

צריכת בשר ומשבר המים העולמי

פתרונות שיווקיים

ליבמן- פנר אפרת (066687139)

מורד חן (039961115)

קליין צחי (023977499)

שוחט אלעד (039996517)

קורס "פרויקטים בחקר הסביבה – תשע"ב"

ביה"ס ללימודי סביבה ע"ש פורטר

מרץ 2012

תוכן העניינים:

3	תקציר
3	תודות
4	מבוא
4	משבר המים בעולם
5	צריכת המים של גידולים צמחיים מול בעלי חיים למזון
8	ההיסטוריה של צריכת הבשר
8	השפעת המהפכה התעשייתית על צריכת הבשר
9	שינויים בהרגלי צריכת הבשר במדינות המתפתחות
12	ההשפעה על צריכת המים
14	שימוש בשיווק להשגת מטרות סביבתיות ולהעלאת המודעות לחסכון במים
15	קמפיינים סביבתיים וקמפיינים לחסכון במים
16	בחירת קמפיין מתאים
18	תוויות אקולוגיות ותוויות 'חסכוני במים'
18	Choice experiment
20	השערת המחקר ושאלות המחקר
20	סיכום
21	ביבליוגרפיה

אינדקס תמונות:

- תמונה מס' 1: מחסור המים בעולם. מתוך Jeswani & Azapagic 2011 עמ' 4.
- טבלה מס' 1: טביעת הרגל המימית והערכים התזונתיים של מזונות נבחרים מן הצומח ומן החי. מתוך Mekonnen and Hoekstra 2010 עמ' 5.
- טבלה מס' 2: יעילות בצריכת מים לאדם בדיאטות שונות בקליפורניה. מתוך 2000 , Renault & Wallender עמ' 6.
- טבלה מס' 3: יעילות ההמרה של מזון לבעלי חיים. מתוך Smil 2002 עמ' 8.
- טבלה מס' 4: השוואה בין צריכת בשר (ק"ג לאדם לשנה) בין 1983-1993. מתוך Gill 1999 עמ' 9.
- טבלה מס' 5: צריכת מים לפי יבשות 1950-2000. מתוך Rosegrant 1997 עמ' 11.
- גרף מס' 1: צריכת בשר בק"ג לנפש לפי תמ"ג ב-1997. מתוך York & Gossard 2004 עמ' 10.
- גרף מס' 2: גידול וצריכת בשר בקר בישראל 1990-2004. מתוך Wachs & Tal 2009 עמ' 12.

תקציר

על רקע הגידול באוכלוסיית העולם, הלחץ על מקורות המים המתוקים הולך ומחריף. אם בגלל ניצול יתר וניהול לא נכון, ואם בגלל זיהום גופי מים ומאגרים תת-קרקעיים, כבר היום במקומות רבים בעולם המחסור מורגש. מים נצרכים על ידי האנושות לא רק בצורה ישירה לשתייה או לנקיון, אלא גם לייצור המזון, אך לא כל מזון צורך את אותן כמויות מים. "טביעת הרגל המימית" (water footprint) הוא מדד שמשווה בין צריכת המים של מזונות שונים מן החי ומן הצומח, ומחולק ל"מים כחולים" שיש להשקיע בצורה ישירה בגידול המזון, "מים ירוקים" שאגורים בלחות שבקרקע, ו"מים אפורים" שהזדהמו בתהליך הגידול. המדד מראה כי צריכת המים בגידול בשר מבעלי חיים שונים גבוהה בהרבה בהשוואה לזו של מזונות מן הצומח, כשהשיא שייך לבשר בקר, שבייצורו מושקעים למעלה מ-15,000 ליטר מים לקילו. על רקע זה בחנו בעבודה את הרגלי צריכת הבשר במדינות שונות, ומצאנו כי אל מול רמה גבוהה אך יציבה במדינות המפותחות, במדינות המתפתחות צריכת הבשר עולה בקצב מהיר, כשהנתונים מדאיגים במיוחד לגבי סין. אנו סבורים ששינוי הרגלי התזונה של בני האדם יכול לחסוך כמויות משמעותיות של מים ויש מספר דרכים לעשות זאת – דרך אחת היא להשפיע על היצרנים להפחית את ייצור הבשר על ידי אמצעים רגולטוריים, למשל מיסים ומכסים על ייבוא מזון ומיכשור; דרך אחרת היא להשפיע על הצרכנים דווקא באמצעות קמפיין פירסומי שיעלה את המודעות לביזבוז המים שיש באכילת בשר, ובה בחרנו להתמקד בעבודה זו. על ידי שימוש בשיטת Choice experiment בדקנו מהם הגורמים המשפיעים ביותר על הנבדקים לשנות את הרגלי צריכת הבשר שלהם, ועל בסיס תשובותיהם נוכל בהמשך לבנות קמפיין סביבתי אפקטיבי. מתוך הנחה שקמפיין מוצלח יוביל להורדת צריכת הבשר ועקב כך לחיסכון משמעותי במים.

תודות

אנו רוצים להודות לצוות הקורס "פרוייקטים בחקר הסביבה" בביה"ס ללימודי הסביבה ע"ש פורטר באוניברסיטת ת"א, בראש ובראשונה לפרופסור אביטל גזית. כמו כן אנו רוצים להודות לדורון שולץ שליווה, תמך ומיקד בכל שלבי העבודה. תודה עבוד העזרה בהשגת דו"חות ומידע חיוני- לדיאנה קלמן, מנהלת מרכז המידע בחטיבה למחקר, כלכלה ואסטרטגיה של משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

מבוא

האנושות נכנסת אל המאה ה-21 כאשר היא ניצבת לא רק מול הגידול באוכלוסיה העולמית אלא גם מול דרישותיה ההולכות וגדלות למזון עתיר קלוריות. במקביל הרגלי התזונה במדינות המתפתחות הולכים ונעשים דומים לאלה המוכרים לנו במדינות המערב, ובראשן ארה"ב. כדי לייצר מזון לאוכלוסיה הגדלה דרושים מים, והלחץ על מקורותיהם מתגבר. אם זה לא מספיק, קיימות עדויות שתחת השפעת ההתחממות הגלובלית משתנים דפוסי המשקעים בעולם, ומצוקת המים באזורי מחסור רק הולכת ומחריפה. המים אינם משפיעים עלינו רק באופן ישיר כמשיקה או מזון, אלא מהווים שיקול אסטרטגי הגורם למתח ועימותים בין מדינות, הצפויים להחריף עם התגברות המחסור.

מספר דרכים כבר הוצעו ונוסו בעולם להתמודדות עם המחסור במים, בהן ניתן למנות התפלת מי ים, מיחזור וטיהור שפכים, אמצעים רגולטוריים של העלאת מחירים, מיסים ומכסות מים למגזרים השונים ושימוש בכלי שיווק ומדיה להעלאת המודעות הציבורית למחסור. בעבודה זו בחרנו לגשת אל הבעיה בכלים של שיווק, אך לא מהכיוון המסורתי והמוכר של חיסכון ישיר במים, אלא דווקא על ידי העלאת המודעות למים המושקעים במזון אותו אנו צורכים, ובפרט להשקעת המים הגבוהה מאוד במוצרים מן החי, בראשם בשר בקר.

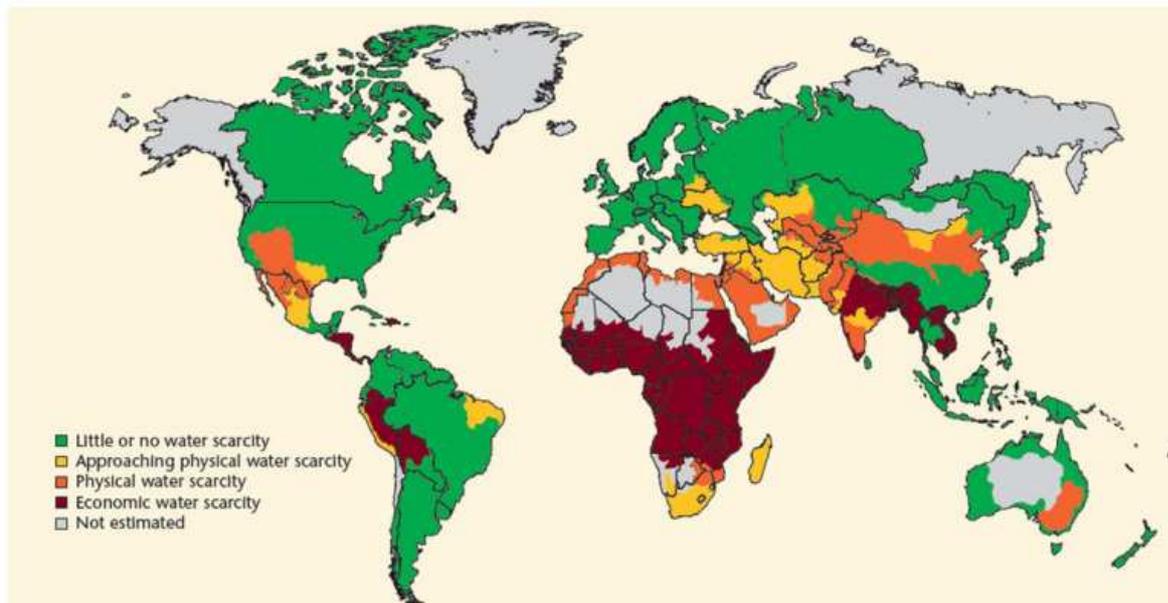
אנו מצפים שיצירת חיבור אסוציאטיבי בקרב הציבור בין צריכת בשר לבין ביזבוז מים, תוביל להפחתה בצריכתו, ובעקיפין להפחתת השקעת המים הכבדה במשקי החי. חשוב לציין שאכן עשויות להיות השפעות נוספות בעקבות שינוי המודעות בנושא והפחתת צריכת הבשר, כמו לדוגמה נזק כלכלי לשוק הבשר והשפעה ישירה על העוסקים בתחום. בעבודה זו בחרנו להתמקד רק בהיבט של חיסכון במים, מתוך הנחה שזה נושא מרכזי שיש לפתור אותו ועל השוק יש להתגמש בהתאם אליו.

משבר המים בעולם

הגידול הצפוי באוכלוסיות העולם, ביחד עם השינויים בהרגלי צריכת המזון במדינות המתפתחות צפויים להגדיל את לחץ השימוש על מקורות המים השפירים. במקביל, שינויי האקלים העולמיים צפויים לשנות את כמויות המים השפירים באזורים שונים בעולם (Pfister et al., 2011). כיום, שימושי המים השפירים בחקלאות מהווה כ-85% מצריכת המים העולמית, כאשר הכמות הנצרכת על ידי החקלאות צפויה להכפיל עצמה עד שנת 2050. מחסור במים יתבטא במערכות רבות, אם בהשפעה ישירה על בעלי חיים שחיים בסביבה מימית, ואם בהשפעות יותר רחבות של שינוי הקרקע, הנוף, והמערכת האקולוגית המקומית כולה (Pfister et al., 2011). ניהול כושל של משק המים במדינות שונות ברחבי הגלובוס, ניצול יתר וזיהום המקורות הביאו גם מדינות שלכאורה לא סובלות ממחסור במים למשבר. כך קנדה, מדינה שנחשבת לעשירה במים, הדרדרה עקב ניהול מוטעה לבעיית מים קשה אשר פגעה הן בכמות והן באיכות המים באזור הערבות המערביות (Schindler et al., 2006). גם באירופה עצמה, התברר כי מי התהום

שנמצאים מתחת ל- 75% מהשטח החקלאי מכילים כמויות חנקה גבוהות ולכן אינם ראויים לשתייה, זיהום בסדר גודל זה הינו כמעט בלתי הפיך (Falkenmark, 2001).
 סין לעומתן נהנת מממוצע משקעים של כ- 640 מ"מ בשנה, אך פיזורם אינו אחיד (פערי קיצון של בין 2300 מ"מ בדרום לעומת 25 מ"מ בצפון). כיוון שהדרום סופג את מרבית המשקעים סובל החלק הצפוני מייבוש ומדבור. מכיוון שמרבית הדגנים בסין מגודלים בחלק היבש הוחלט להעביר מים מן הדרום אל הצפון – פרויקט יקר ומורכב מאוד עקב גודלה של סין (Zheng, et al. 2010).

תמונה מס' 1: מחסור המים בעולם. מתוך Jeswani & Azapagic 2011



צריכת המים של גידולים צמחיים מול בעלי חיים למזון

כפי שמתאר Savenije, המחסור במים נתפס פעמים רבות כמחסור במי שתייה ובמים לשימושים ביתיים כגון היגיינה אישית ובישול. בפועל, מחסור במים לשימוש ביתי ראשוני הוא לרוב אינו מחסור אמיתי, אלא בעיה של ניהול לא נכון של משאבי המים, היעדר מימון לניהול תקין וסוגיה של אורח חיים. בעוד מים לשימוש ביתי ראשוני מהווים חלק קטן מהכמות הנדרשת לקיום אנושי, כמעט 90% מהמים נצרכים לייצור מזון (Savenije, 2000). מתוך 1,700,000 ליטר מים שפירים הנצרכים בממוצע ע"י בן אדם מדי שנה, רק 40,000 ליטר משמשים לשימוש ביתי ראשוני (Gradner-Outlaw & Engelman, 1997).

לאור זאת, בבואנו לטפל בבעייה העולמית של מחסור במים, חשוב להתמקד בענף הבזבזני ביותר, שלהתייעלות בשימוש במים בו תהיה ההשפעה הגדולה ביותר - ייצור מזון (Hoekstra et al, 2009). טביעת הרגל המימית (water footprint) היא מונח שנטבע ב-2002 ע"י Hoekstra, שמשמעותו כמות המים השפירים הנדרשת באופן ישיר ועקיף לייצור המוצר, כאשר כל השלבים

בשרשרת הייצור נלקחים בחשבון (Hoekstra et al., 2009), ונחלקים ל"מים ירוקים", "מים כחולים" ו"מים אפורים". המים הירוקים הם מי גשם, שנאגרים בקרקע ובצמחייה; המים הכחולים נמצאים במאגרי מים עיליים או בבארות, והם המים המשמשים להשקיה או כמי שתייה; המים האפורים הם מדד לזיהום, וערכם מציין את כמות המים הדרושה לדילול הזיהום עד לרמה ראויה לשימוש.

על ידי שימוש בטביעת הרגל המימית, חישובו Mekonnen & Hoekstra את השקעת המים בסוגי גידולים שונים, מן הצומח ומן החי. גידולים צמחיים אינם אחידים בצריכת המים שלהם, ודורשים החל מ-200 ליטר לק"ג עבור קנה סוכר, ועד 9000 ליטר לק"ג עבור אגוזים (ר' טבלה מס' 1). בטווח ניתן למצוא ירקות הצורכים בממוצע 300 ליטר לק"ג, דגנים הצורכים 1600 ליטר לק"ג בממוצע, וקטניות שצורכות 4000 ליטר לק"ג בממוצע. כאשר מחשבים לפי ערך קלורי, מקבלים כי דגנים הם החסכוניים ביותר במים ליחידה קלורית: ייצור Kcal מדגנים דורש בממוצע 0.51 ליטר מים. ייצור Kcal מקטניות דורש 1.19 ליטר מים, בעוד לירקות נדרשים 1.34 ליטר ל-Kcal. היבול הצמחי שצורך את הכמות הרבה ביותר של מים ליחידה קלורית הם אגוזים, הדורשים בממוצע 3.63 ליטר ל-Kcal (Mekonnen & Hoekstra, 2010).

כאשר בוחנים את טביעת הרגל המימית של גידולי בעלי חיים למזון, התוצאות כבר נעות בין 1000 ליטר לייצור ליטר חלב, לבין 15,500 ליטר לק"ג לייצור בשר בקר. נתון זה משתנה בין מדינה למדינה, כשבקליפורניה, שהינה בעלת אקלים דומה לזה הקיים בישראל, דרושים 13,500 ליטר מים לק"ג בשר בקר (McAlpine et al., 2009) ואילו באוסטרליה, במדינת קווינסלנד, שרוב שטחה אינו מדברי, נדרשים 26,000 ליטרים (Peters et al., 2010). לעומת כמויות המים האדירות המושקעות בגידול בקר, ייצור ק"ג בשר עוף הוא חסכוני יותר, אך עדיין דורש 4,300 ליטר מים ולייצור ק"ג ביצים נדרשים 3,200 ליטר מים.

טבלה מס' 1: טביעת הרגל המימית והערכים התזונתיים של מזונות נבחרים מן הצומח ומן החי.

מתוך Mekonnen and Hoekstra 2010

Food Item	Water footprint per ton (m ³ /ton)				Nutritional content			Water footprint per unit of nutritional value		
	Green	Blue	Grey	Total	Calorie (kcal/kg)	Protein (g/kg)	Fat (g/kg)	Calorie (litre/kcal)	Protein (litre/g protein)	Fat (litre/g fat)
Sugar crops	130	52	15	197	285	0.0	0.0	0.69	0.0	0.0
Vegetables	194	43	85	322	240	12	2.1	1.34	26	154
Starchy roots	327	16	43	387	827	13	1.7	0.47	31	226
Fruits	726	147	89	962	460	5.3	2.8	2.09	180	348
Cereals	1232	228	184	1644	3208	80	15	0.51	21	112
Oil crops	2023	220	121	2364	2908	146	209	0.81	16	11
Pulses	3180	141	734	4055	3412	215	23	1.19	19	180
Nuts	7016	1367	680	9063	2500	65	193	3.63	139	47
Milk	863	86	72	1020	560	33	31	1.82	31	33
Eggs	2592	244	429	3265	1425	111	100	2.29	29	33
Chicken meat	3545	313	467	4325	1440	127	100	3.00	34	43
Butter	4695	465	393	5553	7692	0.0	872	0.72	0.0	6.4
Pig meat	4907	459	622	5988	2786	105	259	2.15	57	23
Sheep/goat meat	8253	457	53	8763	2059	139	163	4.25	63	54
Bovine meat	14414	550	451	15415	1513	138	101	10.19	112	153

כשבוחנים את צריכת המים ל-Kcal, מוצאים כי ייצור חלב, החסכוני ביותר במים בהשוואה למוצרי המזון האחרים מן החי, דורש 1.82 ליטר ל-Kcal, ואילו ייצור Kcal בשר פרה דורש 10.19 ליטר מים, נתון זה גם גבוה יותר מצריכת המים ליחידה קלורית של דגנים, קטניות וירקות. גם ייצור בשר עוף, חזיר, צאן, ביצים וחלב דורש פי 3.5 עד 8.5 יותר מים ליחידה קלורית מאשר ייצור דגנים (Mekonnen & Hoekstra, 2010).

לאור נתונים אלה, אופי התזונה מהווה גורם משמעותי ביותר בניצול יעיל של מים: החלפת 50% ממוצרי המזון מן החי בדיאטה במזון צמחי עתיר נוטריינטים כגון קטניות ואגוזים תביא להפחתה של 30% ב-water footprint של ייצור המזון (Mekonnen & Hoekstra, 2010).

מחקר נוסף שנערך בקליפורניה השווה בין צריכת מים הנגזרת מארבעה סוגי תזונה שונים (ר' טבלה מס' 2), ומצא כי תזונה אמריקאית ממוצעת, בה מוצרי מזון מן החי מהווים 44% מסך מסת המזון הנצרכת, דורשת פי שניים יותר מים מתזונה צמחונית בעלת ערך קלורי זהה (Renault & Wallender, 2000).

חשוב לציין שהמידע אודות צריכת המים הגבוה של מזון מן החי אל מול מזון מן הצומח אינו ברור וידוע לציבור. בתחילת המחקר יצרנו קשר עם יצחק מלכא, מנהל אגף בעלי חיים במשרד החקלאות ופיתוח הכפר, וכתגובה ראשונית לרעיון המחקר הוא העריך שצריכת המים של מזון מן החי היא נמוכה משל מזון צמחי. על כן יש חשיבות לפיתוח מחקר זה במטרה להשפיע על הציבור ובעיקר על מקבלי ההחלטות.

טבלה מס' 2: יעילות בצריכת מים לאדם בדיאטות שונות בקליפורניה. מתוך Renault & Wallender, 2000

Type of DIET	Water requirements m ³ -day person	Increase in water productivity from Diet 0 (%)
Diet 0 reference diet	5.40	0
Diet 1 25% reduction of animal product	4.60	17
Diet 2 Poultry replaces 50% beef	4.80	11
Diet 3 Vegetal products replaces 50% red meat	4.40	22
Diet 4 50% reduction of animal product	3.40	59
Diet 5 Vegetarian	2.60	103
Diet 6 Survival	1.00	440

בניגוד לאמונה הרווחת באוכלוסיות רבות באשר לנחיצותם של מוצרי מזון מן החי על מנת לספק רכיבים תזונתיים כגון חלבון, סידן, ברזל וויטמינים, בחינה לעומק מגלה כי תזונה צמחונית מתוכננת מספקת את כל הרכיבים התזונתיים הדרושים לאדם בכל שלבי החיים. יתרה מכך, תזונה צמחונית עשויה אף לספק יתרונות בריאותיים במניעת מחלות מסוימות ובטיפול בהן (Craig & Mangels, 2009).

ההיסטוריה של צריכת הבשר

כדי להביא לחסכון במים על ידי העלאת המודעות לצריכת המים הגבוהה של מזון בשרי בחרנו לבחון תחילה מהו הרקע ההיסטורי של צריכת הבשר ומהו הבסיס לצריכת המזון כפי שהיא מוכרת לנו כיום. עדויות בנוגע לאכילת בשר ע"י אבותינו הקדמונים של האדם אפשר למצוא כבר לפני מיליון וחצי שנים. אספקת המזון מן הצומח באזורי המחיה של חברות ההומינידים השתנתה בהתאם לחילופי העונות, והאדם הקדמון לא יכול היה להתעלם מהאפשרות להשיג גם מזון מן החי. הסברה היא שבתחילת דרכם היו בני האדם אוכלי נבלות, והתחרו בנשרים וצבועים על שאריות הפגרים שהשאירו האריות בסוואנה. רק בהמשך, בערך לפני 700,000 שנים, התחילו בני האדם לצוד באופן פעיל, ועל הצורה שבה צדו ניתן לשער מהתבוננות בהתנהגות השימפנזים של זמננו, אשר ציד קופים קטנים ממלא אצלם תפקיד חשוב הן מההיבט התזונתי והן מההיבט החברתי (Smil, 2002; Milton, 1999).

העדיפות היתה לבשר של יונקים גדולים, בייחוד ממותות, שבזכות השומן בגופן היו עדיפות מבחינה אנרגטית על היונקים הקטנים יותר, כמו ארנבות, שבנוסף יודעות לחמוק טוב יותר. מבחינה אנרגטית, ציד ממותה אחת היה שווה לציד 100 צבאים גדולים, וביזון קטן אחד השתווה ל-200 ארנבות. האנרגיה שהושגה באכילת ממותה אחת, היתה גדולה פי 50-30 מהאנרגיה שהושקעה בציד שלה. רק ציד לווייתן בקרבת החוף, שהניב אנרגיה גדולה פי 2000 ביחס לזו שהושקעה בציד שלו, היה מתגמל יותר (Smil, 2002). כשמספר החיות הגדולות הידלדל בעקבות הצייד, נאלצו בני האדם לצוד חיות מאתגרות יותר לצייד, והטובים בכך זכו להוריש את הגנים לדורות הבאים.

כך התפתחה תאוריה שלפיה הבשר לא רק סיפק תחליף בעל ערך תזונתי גבוה לצמחים, אלא שהשגתו, תיכנון הצייד, שיתוף הפעולה וחלוקת הבשר כברית אסטרטגית בקרב קבוצת בני האדם, שיחקו תפקיד משמעותי באבולוציה הקוגניטיבית של האדם הקדמון, ובגדילת המוח (Smil, 2002). תחילת הביות של בעלי חיים לפני 11,000 שנים הביא כנראה להתפתחות קוגניטיבית אבולוציונית נוספת מכיוון שהצריך יכולות קוגניטיביות חדשות של תיכנון, שיתוף פעולה, ופתרון בעיות (Smil, 2002).

השפעת המהפכה התעשייתית על צריכת הבשר

כאשר בוחנים את דפוסי צריכת הבשר בחברות איכרים באירופה של ימי הביניים, נראה שבעבר אכילת בשר היתה אירוע נדיר, והתרחשה רק לעיתים רחוקות, בחגים ובחתונות. לעומת האיכרים הפשוטים, אנשי המעמדות הגבוהים וחיילים המשיכו להנות מאספקת בשר במנות גדולות, ובאופן כללי נראה שצריכת הבשר בערים תמיד היתה גבוהה מאשר באזורים הכפריים (Smil, 2002). המהפכה התעשייתית, שחלה באמצע המאה ה-19, אופיינה בגלי הגירה לערים הגדולות בחיפוש אחרי עבודה. מגוון המזונות אליו היו חשופים תושבי הערים החדשים גדל מאוד, ובעקבות כך

עלתה צריכת מוצרי חי מהים, חלב, סוכר ופירות. השינויים שהחלו במערב אירופה באמצע המאה ה-19, התפשטו לכל אורך היבשת רק ב-1900, והגיעו למזרח אסיה רק ב-1950. השינוי בתזונה העולמית קיבל דחיפה נוספת לאחר מלח"ע השנייה בצורת סובסידיות ממשלתיות, השבחת זנים ומיני דשן, וכניסת מיכון חקלאי כבד אשר הובילו לעלייה בכמות היבולים החקלאיים. הגידול בכמות איפשר האכלת בעלי חיים נוספים, כך שאם ב-1900 10% מסך הדגנים בעולם שימש להאכלת בעלי חיים, ב-1950 כ-20% מהדגנים שימשו להאכלתם ובסוף שנות ה-90 של המאה הקודמת כבר נחצה קו ה-40%. בבחינת ארה"ב לבדה, השיעור מגיע ל-60% מהדגנים. ערכו הקלורי והתזונתי של המזון המיוצר לבעלי החיים אינו מועבר בצורה יעילה אל בני האדם והולך לאיבוד בין הרמות הטרופיות (אנרגיה הולכת לאיבוד כחום וחלבון כאשר הוא מוטמע ברקמות בעה"ח שבני אדם אינם אוכלים, ר' טבלה מספר 3). אי לכך ומאחר שהעולם עומד בפני דרישה הולכת וגוברת למזון, יש להביא דבר זה בחשבון ולייעד יותר שטחים חקלאיים לגידולים עבור בני האדם, על חשבון אלה המיועדים כמזון למשק החי (Smil, 2002).

טבלה מס' 3: יעילות ההמרה של מזון לבעלי חיים. מתוך Smil 2002

	Milk	Carp	Eggs	Chicken	Pork	Beef
Feed conversion (kg of feed/kg of live weight)	0.7	1.5	3.8	2.5	5.0	10.0
Feed conversion (kg of feed/kg of edible weight)	0.7	2.3	4.2	4.5	9.4	25.0
Protein content (% of edible weight)	3.5	18	13	20	14	15
Protein conversion efficiency (%)	40	30	30	20	10	4

את השפעותיה של המהפכה התעשייתית על צריכת הבשר אפשר לראות בנתונים מצרפת, שם צריכת הבשר עלתה מ-25 ק"ג לאדם לשנה בתחילת המאה ה-19, ליותר מ-100 ק"ג לשנה לאדם ב-1975. באותו אופן, בבריטניה באותה תקופה עלתה צריכת הבשר לאדם לשנה מ-20 ל-80 ק"ג. ביפן, לעומתן, נחצה קו ה-3 ק"ג רק ב-1955, אך בשנת 2000 צריכת הבשר כבר הגיעה ל-45 ק"ג לאדם בשנה, במקביל להתפתחות האדירה של כלכלתה (Smil, 2002).

שינויים בהרגלי צריכת הבשר במדינות המתפתחות

עד לעשורים האחרונים, אכילת בשר במדינות המתפתחות היתה נמוכה באופן משמעותי בהשוואה לזו הנהוגה במדינות המפותחות. ממוצע הצריכה לנפש לשנה באסיה היה בשנות ה-90 של המאה הקודמת 18 ק"ג, ובאמריקה הלטינית 45 ק"ג, רחוק מהממוצע הכללי במדינות המפותחות באותן שנים, 76 ק"ג לאדם בשנה (Gill, 1999).

עד תחילת המאה ה-20, אכילת בשר בחברות האיכרים בסין היתה נדירה, וב-1930 צריכת הבשר השנתית למשפחה נעה בין 1.7 ק"ג ל-30 ק"ג (בין 300 גרם - 5 ק"ג לאדם). בתחילת שנות ה-30 בשר היה המקור ל-2% בלבד מסך האנרגיה שצרך הסיני הממוצע, חצי מהאנרגיה שסופקה ע"י

תפוחי אדמה, ושליש מהאנרגיה שסופקה ע"י סויה (דגנים היו אחראים ל-83% מסך האנרגיה הנצרכת). ביפן, דת השינטו אוסרת על אכילת בקר וסוסים, טאבו שכובד במלואו עד למאה ה-15, אך במידה ניכרת גם אחריה: בשל צפיפות האוכלוסייה ועיבוד כל שטח פתוח לגידול יבולים למאכל, צריכת הבשר ביפן נשארה ברמה של 2 ק"ג לאדם לשנה. גם בהודו, שם הדת הבודהיסטית אוסרת על אכילת בעלי חיים, אכילתם, כצפוי, הייתה נדירה מאוד, כשהעניים מאוד והדתיים מאוד לא אוכלים בשר בכלל (Smil, 2002). לא רק כמויות הבשר הנצרכות אלא גם סוג הבשר הנצרך משתנה מאזור לאזור, כשבאמריקה הלטינית הסוג הנפוץ ביותר הוא בשר בקר ובסין בשר חזיר, אשר אינו נצרך כלל במדינות צפון ומערב אפריקה (Gill, 1999).

בעשורים האחרונים של המאה ה-20 נראה שהעלייה בצריכת הבשר התפשטה גם לשווקים במדינות המתפתחות, שם לא היינו מורגלים בה, אל קהל "הצרכנים החדשים", קהל המוערך בכמיליארד איש המשתייכים למעמד הביניים בסין, הודו, ומדינות אמריקה הלטינית. הביקוש של "הצרכנים החדשים" לכלי רכב ממונעים, אנרגיה וגם תזונה עתירת בשר, מגדיל את הלחץ על המערכות האקולוגיות ברחבי העולם (Myers and Kent, 2004). "התעוררותם" של הצרכנים החדשים מתבטאת בנתון כי היחס בין גודל האוכלוסיה לכמות הבשר הנצרכת אינו משתנה בצורה לינארית. בין השנים 1950-2005 עלתה צריכת הבשר העולמית מ-47 מיליון ל-260 מיליון טונות, כאשר הצריכה לאדם יותר ממוכפלת, ועולה מ-17 ל-40 ק"ג לאדם בשנה (Brown 2006, in McAlpine et al., 2009). בסין למשל, אשר בהתחשב בגודל אוכלוסיתה חלקה בתמונה הכללית הוא משמעותי ביותר, הוכפלה צריכת הבשר השנתית לאדם בין השנים 1983-1993 מ-16 ל-33 ק"ג (Gill, 1999, ר' טבלה מספר 4). במחקר נוסף מ-2003, מצאו Myers & Kent שבין השנים 1990-2000 עלתה בסין צריכת הבשר ב-114%, והיום היא אחראית ל-28% מצריכת הבשר העולמית. נתונים דומים נמצאו גם במדינות דרום מזרח אסיה כמו דרום קוריאה ואינדונזיה, וגם בברזיל ובמקסיקו, נציגות אמריקה הלטינית (Myers and Kent 2003; Gill, 1999).

טבלה מס' 4: השוואה בין צריכת בשר (ק"ג לאדם לשנה) בין 1983-1993. מתוך Gill 1999

	1983	1993
China	16	33
India	4	4
Other East Asia*	22	44
Other South Asia†	6	7
Southeast Asia	11	15
West Asia and North Africa	20	20
Sub-Saharan Africa	10	9
Latin America	40	46
Developed world	74	78

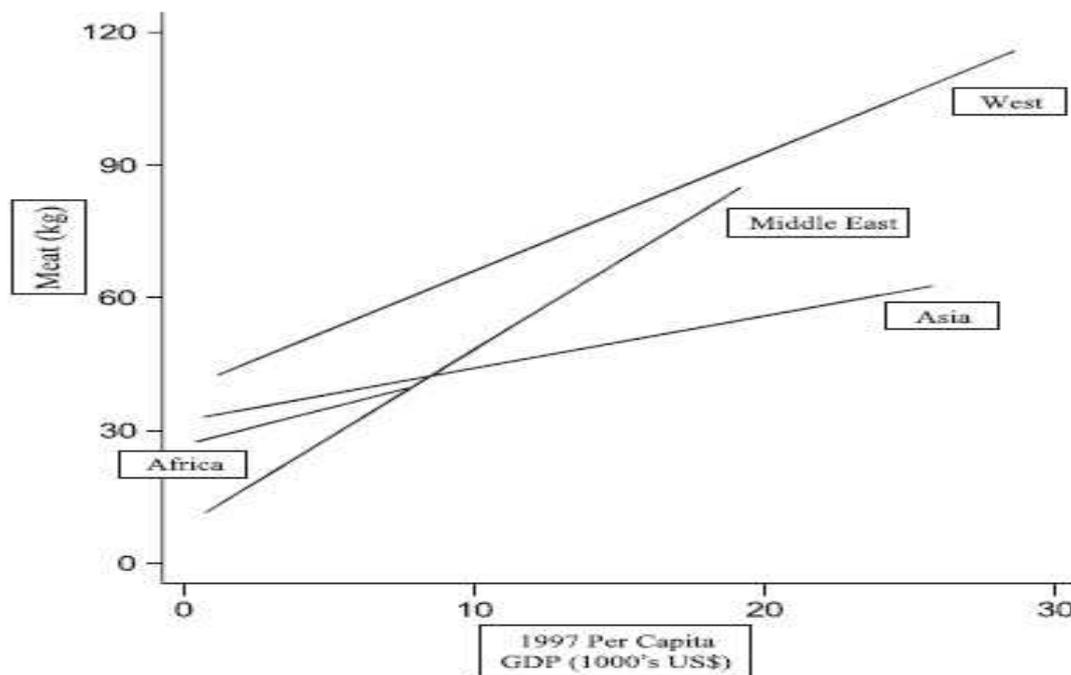
* Hong Kong, Macau, Mongolia, North Korea and South Korea.

† Afghanistan, Bangladesh, Bhutan, Maldives, Nepal, Pakistan and Sri Lanka.

לגלובליזציה תפקיד חשוב בשינוי בהרגלי צריכת הבשר במדינות המתפתחות, אם בגלל השיפורים בעיבוד, השימור והשינוע של מוצרי מזון באופן כללי, ואם בגלל השפעות תרבותיות, כמו חדירת מקדונלדס וההמבורגר לשווקים חדשים (Miele 1999; York & Gossard, 2004). כך, על אף שצריכת בשר גבוהה מיוחסת היסטורית לתרבות המערבית (McAlpine et al., 2009), במצב החדש של שוק גלובלי, המרחקים "התקצרו" משמעותית ואיתם תפיסת הזמן. התרבות המקומית איבדה מחשיבותה לטובת תאגידי ענק עולמיים שעוקפים מגבלות של ביקורת ורגולציות נקודתיות למדינה, כששלבי ואמצעי הייצור השונים יכולים להגיע מכל מדינה אחרת, על פי המאפיינים של פס הייצור הפורדיסטי (Ufkes, 1993). כך צריכת המזון של העולם נעשית יותר ויותר הומוגנית, כשהומוגניות של "הכפר הגלובלי" באה על חשבון הייצור המסורתי המקומי של כל מדינה או אזור, וגם על חשבון האפשרות של הממשל לשלוט על היצע המזון והמחירים הרצויים, ולהגן על התעשייה המקומית (Ufkes, 1993).

הקשר הישיר בין העלייה בצריכת הבשר לעלייה ברמת ההכנסה של המעמד הבינוני, מחזקת את הטענה שצריכת בשר אינה בהכרח צורך פיזיולוגי תזונתי, אלא מושפעת מגורמים נוספים. נראה כי ככל שהשפע הכלכלי במדינה גדל, כך גם עולה צריכת הבשר בה, כיוון שאלו מוצרים הנחשבים "יוקרתיים" יותר (ר' גרף מספר 1). גם תהליך האורבניזציה, במסגרתו האוכלוסייה העולמית מתרכזת יותר ויותר בערים, משחק כאן תפקיד חשוב כיוון שתושבי הערים חשופים למגוון הולך וגדל של מוצרי מזון שלא היו חשופים להם בעבר (York & Gossard 2004), ועצם החשיפה מעלה את הביקוש לאותם מוצרים.

גרף מס' 1: צריכת בשר בק"ג לנפש לפי תמ"ג ב-1997. מתוך York & Gossard 2004.



על מנת לעמוד בביקושים מהשווקים החדשים, תעשיות הבשר של המדינות המגדלות המסורתיות מתרחבות, אך בניגוד לעבר, היום העדרים מיועדים לייצוא. במדינת קווינסלנד שבאוסטרליה הוכפל מספר ראשי הבקר ב-50 השנים האחרונות וחלק גדול מופנה לייצוא ליפן וארה"ב בעיקר. בקולומביה מספר ראשי הבקר גדל באופן אקספוננציאלי מאז 1920, והיום הוא עומד על 27 מיליון, שמתוכם רק 3 מיליון הם לצריכה מקומית והשאר מיועדים לייצוא. מצב דומה קיים גם בברזיל, שם במדינת האמזונס עלה מספר ראשי הבקר בשנים 1990-2007 מ-22 ל-74 מיליון, מה שהופך את ברזיל למובילה בעולם בייצוא בשר בקר, כששליש מכלל הייצוא מגיע ישירות ממדינת האמזונס. גדילת תעשיית הבשר בברזיל מחייבת בירוא יערות לטובת הפיכתם לשטחי מרעה או לגידולי דגנים למספוא, ושטחים אלה באים על חשבון הג'ונגלים. מובן מאליו שעם אובדן בית הגידול נפגע גם המגוון הביולוגי שהיה בו, ועדויות לכך נמצאו גם בקווינסלנד ובאוסטרליה (McAlpine et al., 2009).

ההשפעה על צריכת המים

למרות שקשה לבודד את הקשר הישיר בין העלייה הגלובלית בצריכת בשר לעלייה הגלובלית בצריכת מים, נמצא כי במחצית השנייה של המאה ה-20, בשנות העלייה הגדולה בצריכת בשר וצריכה בכלל, חלה קפיצה משמעותית בנתוני צריכת המים בכל היבשות (ר' טבלה מס' 5). מבחינת שיעור הקפיצה, בצפון אמריקה הוא הנמוך ביותר, "רק" פי 2 וחצי, מ-286 ק"מ קוב ב-1950 ל-796 ב-2000. באפריקה ובאירופה התרחשו הקפיצות הגדולות ביותר, ובשנת 2000 הן צרכו פי 6 יותר מים בהשוואה לשנת 1950 (צרכו בשנת 2000 317 ו-673 ק"מ קוב בהתאמה). אך למרות שבאסיה הצריכה גדלה "רק" פי 3 וחצי, שם היא המשמעותית ביותר מבחינת הכמות, וגדלה באותן שנים מ-865 ק"מ קוב ל-3,187 ק"מ קוב (Rosegrant, 1997).

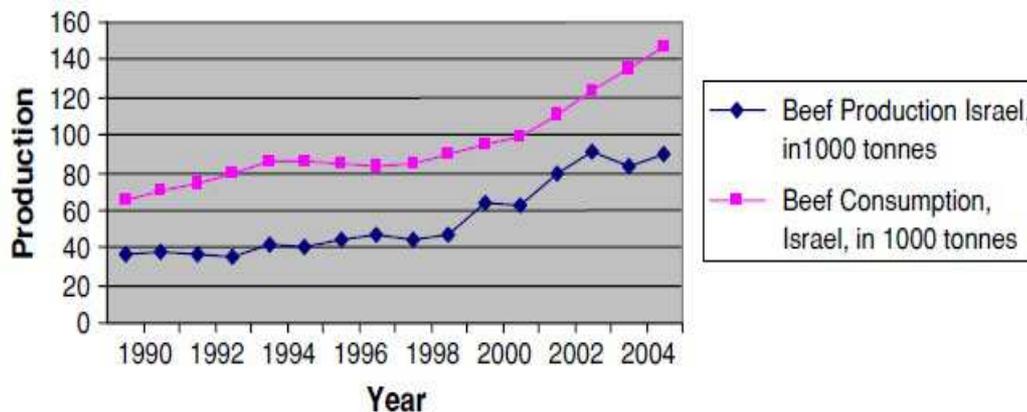
טבלה מס' 5: צריכת מים לפי יבשות 1950-2000. מתוך Rosegrant 1997

	1950	1960	1970	1980	1990	2000
	(cubic kilometers per year)					
Africa	56	86	116	168	232	317
Asia	865	1,237	1,543	1,939	2,478	3,187
Europe	94	185	294	435	554	673
Latin America	59	63	85	111	150	216
North America	286	411	556	663	724	796
Total	1,360	1,982	2,594	3,316	4,138	5,189

בישראל יש היום כ-350,000 ראשי בקר, המהווים 14% מערך התוצרת החקלאית. מתוכם שני שלישי מגודלים בתעשיית החלב והשאר מגודלים למען שוק הבשר. צאן נחשב לקטגוריה נפרדת, אשר מהווה גם היא נתח משמעותי מסך התוצרת החקלאית בישראל, כ-10%. 60% מהבשר

הנצרך בישראל בשנה מיובא, והשאר מקורו בעדרים מקומיים. גידול הבקר בין השנים 1990-2004 יותר מהוכפל, והגיע לכמות של 90,000 טונות בשנה. הצריכה הוכפלה גם כן לכ-150,000 טונות בשנה, כשההפרש בין הייצור לבין הצריכה מקורו ביבוא (ר' גרף מס' 2, Wachs & Tal, 2009). באותן שנים האוכלוסיה גדלה מ-4.8 מיליון ל-6.9 מיליון, כך שקצב הגידול בביקוש לבשר היה גבוה יותר מקצב גידול האוכלוסיה (הלמ"ס). לפי מחקר של York & Gossard (2004), צריכת הבשר לאדם בארץ (כל סוגי הבשר, לא כולל דגים) היא 65 ק"ג בשנה. עם הבעיות הנלוות לגידול בעלי החיים בישראל ניתן למנות רעיית יתר (שלפעמים דווקא עוזרת במניעת שרפות), זיהום מקורות מים, פליטת גזי חממה, ועקב ייבוא הסויה להאכלת הבקר מברזיל וארגנטינה, גם תרומה בעקיפין לבריאו היערות שם ולהתחממות הגלובלית (Wachs & Tal, 2009).

גרף מס' 2: גידול וצריכת בשר בקר בישראל 1990-2004. מתוך Wachs & Tal 2009



המגזר החקלאי הוא צרכן המים הגדול בישראל. בשנת 2007 עמדה צריכת המים של כלל המגזר החקלאי בארץ על 1,185 מלמ"ק, וזאת בהשוואה ל-768 מלמ"ק שנצרכו במגזר הפרטי ו-120 בתעשייה (רשות המים, 2008). מתוך המים שנצרכו בחקלאות, 141 מלמ"ק הושקעו באופן ישיר בענפי החי והמדגה, ויש להביא בחשבון גם 66 מלמ"ק נוספים שהושקעו במספוא גס אשר מגודל כמזון לבהמות (סביר להניח שגם לסוסים וחמורים, שאינם מיועדים לאכילה), ו-124 מלמ"ק שהושקעו בגידול כותנה וגרעינים (הקטגוריה מאוחדת במקור), אשר גם חלק גדול מהם מיועד להיות מזון לבעלי חיים (מתוך נתוני הלמ"ס כפי שמובאים ב"חוברת סביבתית לניהול משק המים" שפירסמה קואליציית ארגוני הסביבה, 2011). בנתוני הלמ"ס אין התייחסות לייבוא מזון לבעלי חיים, כך שבפועל, השקעת המים בגידולם, גדולה יותר מהנתונים המוצגים. מבחינת ערך התפוקה החקלאית, ב-2010 היה ערך משקי בעלי החיים 10.1 מליארד ש"ח, בהשוואה לערך הגידולים הצמחיים שעמד על 16.2 מליארד ש"ח (למ"ס, 2011). יש לזכור כי בשונה מהנהוג בברזיל, בארגנטינה ובקווינסלנד, שם אזורי הגידול אינם סובלים ממחסור במים והעדרים רועים בשטח, בישראל רובם המוחלט של העדרים מגודלים במכלאות, כך שהשקעת "המים הכחולים" (רכיב מי הברז ב- water footprint) גדול יותר.

עד כה סקרנו את צריכת המים הגבוהה של מזון בשרי לעומת מזון מן הצומח, את הרקע ההיסטורי של צריכת הבשר במדינות המפותחות והמתפתחות ואת ההשפעות של צריכה גוברת זו על צריכת המים במבט גלובלי ובארץ בפרט. בכדי לעודד הפחתה בצריכת הבשר ובכך להביא להפחתה בצריכת המים בארץ בחרנו לבחון מהם הכלים העומדים בפני מקבלי ההחלטות ביצירת שינוי והעלאת המודעות לבעיות סביבתיות ובפרט להעלאת המודעות לחסכון במים.

שימוש בשיווק להשגת מטרות סביבתיות ולהעלאת המודעות לחסכון במים

בתקופה של טרום עידן ההשכלה והתיעוש הוגבלה הצריכה בקרב המעמדות הנמוכים. התפיסה הליברלית החדשה, לפיה לכל פרט הזכות למקסם את האושר האישי שלו, גרמה לעלייה משמעותית ברכישת טובין (Sanne, 2002). עקב כך, התייעלות טכנולוגית בשימוש במשאבים לבדה אינה מספיקה על מנת ליצור חברה בת-קיימא וישנו צורך חיוני להביא להפחתה בצריכה. התייעלות טכנולוגית אף עלולה ליצור אפקט בומרנג, ע"י הוזלת עלויות הייצור שתביא להגברת הצריכה (Herring, 1998). עד תחילת סוף שנות ה-90 של המאה ה-20 התמקדה המדיניות הסביבתית של ממשלות וגופים ציבוריים בשחקנים במעלה הזרם, הלא הם היצרנים. העבודה מול היצרנים מהבחינה הזו הייתה קלה יותר: הם גדולים, מאורגנים היטב, קל לפנות אליהם והם מודעים לכך שלפעולות שלהם יש השפעה על הסביבה. עם זאת, לאחרונה מתחזקת הנטייה לתת משקל גדול יותר להשפעתם של הצרכנים-אזרחים ביצירת דפוסי צריכה ברי קיימא. זאת כיוון שגם מדינות בהן מיושמת מדיניות מחמירה מול תעשיות מזהמות, כמו מדינות סקנדינביה, מתקשות להגיע ליעדי קיימות בתחומים כמו מזון, ביגוד, תחבורה ותיירות, ללא התייחסות להתנהגות הצרכנים. בנוסף לכך, תהליכי גלובליזציה גרמו לכך שלמדינות יש יכולת שליטה קטנה יותר על תעשיות ענק, ולכן מקומם של הצרכנים במורד הזרם נהיה חשוב ומשפיע (Spaargaren and Mol, 2008).

את הכלים המשמשים לקביעת מדיניות סביבתית מול היצרנים ניתן לחלק לשני סוגים עיקריים: הסוג הראשון הוא כלים רגולטוריים, כמו קביעת תקנות וסטנדרטים, למשל לפליטות גופרית, וחיוב שימוש בטכנולוגיה מיטבית (BAT), למשל ע"י איסור על שיווק רכבים ללא ממיר קטליטי. הסוג השני הוא כלים כלכליים כמו סובסידיות, למשל סובסידיה שניתנה לחקלאים דנים לרכישת מיכלים לאיסוף הפרשות בעלי החיים, מיסים, למשל המס על הדלק, אגרות, כמו אגרה על הטמנת פסולת וכלים נוספים (Lindeneg 1991).

Jackson (2005) מציע כי כאשר ההתמודדות היא לא מול תאגידיים אלא מול התנהגות צרכנים, ישנן ארבע דרכי פעולה עיקריות להשפעה על התנהגותם:

1. חוקים, רגולציות ותמריצים
2. תוכניות חינוכיות ומתן מידע לציבור
3. ניהול משאבים במסגרת של קבוצות/קהילות קטנות
4. שימוש במניעים מוסריים או דתיים

בעבודה זו בחרנו לבדוק את השימוש בדרך הפעולה השנייה, העברת תכנים לציבור האזרחים- צרכנים על ידי כלים שיווקיים. המידע שאנו מעוניינים להעביר מתמקד בצריכת המים של גידולים צמחיים מול גידולי בעלי חיים, וזאת על מנת להביא לצריכת מזון חסכונית יותר במים. דו"ח של United Nations Environment (GEO) (Global Environmental Outlook) אשר נכתב על-ידי Program (UNEP, 2000) מציע מלבד שינויים כלכליים ופוליטיים, להחדיר את נושאי הסביבה לתוך החשיבה המיינסטרימית ולעודד את הציבור לקחת חלק בפעולות סביבתיות.

קמפיינים סביבתיים וקמפיינים לחסכון במים

קמפיינים המעודדים חסכונות במים וקמפיינים בעלי אופי סביבתי תורמים בהעברת מידע רלוונטי לציבור אשר מטרתו העיקרית לייצר שינוי בקרב הציבור ולעודד התנהגות מושכלת בנושא. קמפיין סביבתי שנחשב לאחת ההצלחות השיווקיות הגדולות ביותר בתולדות מדינת ישראל הוא הקמפיין לשמירה על פרחי הבר של החברה להגנת הטבע, "צא לנוף ואל תקטוף". יש שמייחסים את הצלחתו הגדולה לכך שהפעילות במסגרתו התמקדה בגנים ובבתי ספר, וכן לכך שהוא נמשך לאורך זמן (פז, 2011). בנושא חסכון במים זכור הקמפיין "ישראל מתייבשת", שהציג את פניהן המתקלפות של השחקנית רננה רז ושל הדוגמנית בר רפאלי. בעקבות הקמפיין חלה ירידה של עד 32% בצריכת המים הביתית, אם כי הירידה הייתה נקודתית ולא נראתה השפעה ארוכת טווח (ארבל ובן יהודה, 2010).

קמפיין שמתרחש בשנים האחרונות וקורא להפחתה בצריכת בשר הוא קמפיין Meatless Monday העולמי. סיסמת הקמפיין היא מעבר ליום צמחוני אחד בשבוע כדי לצמצם את הנזק הסביבתי שגורמת תעשיית הבשר, בדגש על "תרומתה" להתחממות הגלובלית, והמסר הוא הפחתה כללית בצריכת בשר ועידוד צריכת מזונות מן הצומח. בארה"ב מודגש בנוסף לנושא ההתחממות הגלובלית גם נושא הנזקים הבריאותיים הקשורים בצריכת בשר והיתרונות הבריאותיים של מזונות מן הצומח. לקמפיין הצטרפו בתי ספר, אוניברסיטאות וחברות מסחריות, והוא זוכה לרוח גבית מהגברת הראשונה מישל אובמה, שנאבקת במגפת ההשמנה בקרב ילדים בארה"ב (אתר Meatless Monday). לפי דו"ח שפרסמה קבוצת הפיננסים CME, בשנים האחרונות חלה ירידה בצריכת הבשר על כל סוגיו לנפש בארה"ב, כשהדו"ח חוזה שירידה זו תגיע ל-12.2% ב-2012 ותקבע את צריכת הבשר על 75 ק"ג לשנה לנפש – שפל שלא נראה בארה"ב מאז שנות ה-60. הדו"ח מצביע על מספר גורמים אפשריים לתופעה, ביניהם המשבר הכלכלי והעלייה במחירי הדגנים (המשמשים גם למספוא), אך בעיקר מדגיש את שינוי המדיניות הממשלתית בארה"ב, שאותה מתאר הדו"ח כ"הכרזת מלחמה על חלבון מן החי". גורם נוסף המובלט בדו"ח הוא "מאמציהם של מספר גדול של ארגונים חוץ-פרלמנטריים המתנגדים לצריכת הבשר ממגוון סיבות, החל ממניעים סביבתיים, דרך זכויות בעלי-חיים ועד צדק חברתי" (Steiner and Meyer, 2011).

השפעת הקמפיינים שהוצגו מדגימה כי שימוש בשיווק והסברה בהחלט עשוי להביא לשינוי בדפוס התנהגות וצריכה. היות ובישראל קיימת מודעות קולקטיבית גדולה לנושא החיסכון במים, יש מקום לבדוק האם מהלך הסברתי בקרב האוכלוסייה הישראלית, שיתמקד בצריכת המים הגבוהה של מוצרי בשר, יביא לירידה בצריכתם. לשם כך נחוצה בדיקה אודות המהלך ההסברתי המתאים ביותר לציבור בארץ כדי לבנות קמפיין סביבתי המתאים לאופי הקהל המקומי.

בחירת קמפיין מתאים

בעשורים האחרונים מופיעים מחקרים המעוניינים לתמוך בתהליך השיווק הסביבתי, ולשם כך מתמקדים בבחינת התוצאות האופטימליות מקמפיינים סביבתיים. קיים קושי בבחירת הקמפיין המיטבי כיוון שכל קמפיין צריך להיות מותאם למאפיינים המקומיים, וכמעט בלתי אפשרי להסיק נוהל כללי מתוך מקרים פרטניים. לשם כך נחוצה טכניקה להשוואת ההשפעות ממגוון של שיטות קמפיינים בתנאים זהים.

Mosler (2008) מציע סימולציית מחשב כפתרון לגילוי איזה סוג קמפיין עובד באופן הטוב ביותר ותחת אילו תנאים. הוא טוען שרצוי שקמפיין סביבתי יהיה יעיל ברמת הקהילה, אבל יש חובה שכל חבר בקהילה יהיה מושפע באופן אישי (Mosler, 2008). מודל הסימולציה המתבסס על "סוכנים" תופס את חברי הקהילה כסוכני מידע ומלמד על השפעות הקמפיין והמנגנונים הפועלים בו ברמת המיקרו (Gilbert & Troitzsch, 1999). הגישה במודל זה מתמקדת בהדמיית תהליכי קשרים בין אישיים, כיוון שלסוכנים ישנה השפעה הדדית אחד על השני והשפעה זו היא המפתח לאפקטיביות של קמפיינים סביבתיים (Mosler & Brucks, 2001).

ב-Mosler 2008 מציע למזג בין שתי תיאוריות:

הראשונה, ELM - "Elaboration Likelihood Model" (Petty & Cacioppo, 1986), מתמקדת ברמת הפרט ומשקפת את השינויים הפנימיים בעקבות קמפיינים בתפיסה הפסיכולוגית של האינדיבידואל ואת השינוי בהתנהגותו כלפי הסביבה. התיאוריה מציעה חלוקה של הסוכנים כמעבירי מידע בדרגות יסודיות שונות, כשעומק הידע של סוכן הוא פונקציה של מוטיבציה ויכולת יצירת שינוי. קבלת אינפורמציה ברמת יסודיות גבוהה (עמוקה) מסוכן מגדילה גם את המוטיבציה של האחר לשינוי, בעיקר ככל שאיכות הטיעון עולה. במקרה שהטיעון של הסוכן אינו מוצג לעומק מה שישפיע על צרכן אחר הם האמינות, הסטטוס והאטרקטיביות של מעביר המידע הסביבתי. בנוסף ניתן לראות ממחקרים שכאשר סוכן בעל עמדות קיצוניות מעביר מידע באופן מגמתי יוצר "אפקט בומרנג", בו סוכן בעל דעות המנוגדות לו יתנגד ויבחר לאמץ דעות הפוכות לטענה, בזמן שסוכן המצדד בדעה קרובה לטענה המוצגת יבחר לאמץ אותה אליו (Petty & Wegener, 1999). התיאוריה השנייה, המתייחסת להשפעת קמפיינים ברמת המערכת החברתית, נקראת "Diffusion Of Innovations" (Rogers, 1995), ועוסקת באופן הדיפוזיט שבו חדשנות מתווכת ומועברת בערוצים שונים (טלוויזיה, עיתונות ושלטי חוצות) לאורך זמן בקרב חברים במערכת חברתית.

Mosler & Martens (2008) מחברים בין שתי התיאוריות ומנתחים אותן על פי מודל הסימולציה של הסוכנים, כאשר המודל בודק את שינויי היחס כלפי קמפיינים לאיכות הסביבה. במחקר נותחו נתונים של קהילות בנות 10,000 איש תחת חמישה משתנים מבוקרים אשר קודדו לסימולציות מחשב: (1) המתודות לשכנוע - נחלקות לטיעונים חזקים או לרמזים שוליים לשינוי. (2) עומק האינפורמציה- נמדד לפי הרלוונטיות של המסר. (3) גישת הקהל- אם הם תומכי איכות הסביבה ("ירוקים") או שאינם תומכים ("לא ירוקים"). (4) מידת הקשרים החברתיים בקהילה. (5) ערוצי התקשורת – בהתייחסות גם לתקשורת המונים וגם לתקשורת בין אישית.

המחקר מציג נתונים המאירים על מספר היבטים שרצוי להתייחס אליהם בבחירת קמפיין מתאים למערכת חברתית מסוימת. לפי הנתונים **טיעונים חזקים** הם יוצרי שינוי בקרב אוכלוסיה "ירוקה" אך בקרב אוכלוסיה "שאינה- ירוקה" יש יותר השפעה לטיעונים מסוג רמזים שוליים (לשינוי) ונחוצים פחות אנשי קשר. מכאן שבאוכלוסיה עם מעט קשרים חברתיים (בהנחה שמדובר באוכלוסיה לא ירוקה), יפעל טוב יותר קמפיין שטיעונו מרמזים ואינם חזקים וישירים. בבחירת ערוץ התקשורת המתאים הם מציגים עדיפות לסוכני השינוי בתקשורת בין- אישית על פני כל ערוצי תקשורת ההמונים (Mosler & Martens, 2008), אך חשוב לציין שנחוץ שימוש ראשוני בערוצי תקשורת ההמונים כדי להעביר את המידע למספר רב של סוכני שינוי.

במחקר ניסיוני לבחינת האפקטיביות של קמפיין טלוויזיוני סביבתי המעודד חסכון בצריכת דלק נבחנו שלוש ערים באוסטרליה. ארבעה שבועות של קמפיינים אינטנסיביים בטלוויזיה נערכו בשתי ערים בעוד העיר השלישית שימשה כבקרה ובה לא הוקרן הקמפיין. לצורך המחקר חולקו 400 שאלונים באופן אקראי לתושבי העיר, מחציתם לפני ומחציתם לאחר הקמפיין הטלוויזיוני. התוצאות הדגימו השפעה קטנה אך משמעותית מבחינה סטטיסטית ברוב המדדים של אמונות ועמדות על כוונה עתידית לחסוך בדלק ודיווח עצמי על התנהגויות של חסכנות. בקמפיינים נבחרו שני טיעונים מרכזיים שהוצגו בפרסומות של 30 שניות. טיעון אחד הציג שחסכון בדלק משפיע על חסכון כלכלי והשני ניסה לעודד את החסכנות דרך העלאת ערכים של אזרחות טובה. מרבית הנשאלים ציינו שהטיעון המשפיע מבחינתם הוא חסכון בכסף ולא שאיפה לאזרחות טובה (Syme 1987). אולם, מחקרים הבודקים השפעת קמפיינים על חסכון במים מציגים שהטיעון המרכזי שיצר מוטיבציה לחסוך הוא דווקא תחושת החובה של הצרכנים כאזרחים. יתכן שבמוצר כמו מים, שהעלויות שלו לצרכן נמוכות יחסית (לעומת דלק) יש פחות עניין בחסכון של כסף לעומת תחושת המחויבות כלפי החברה (Kantola et al., 1983). Roberts (1966) מראה במחקרו שדאגה לסביבה מסבירה בסך הכל 6% מהסיבות לרכישת מוצרים ידיוותיים לסביבה, לכן לדעתו ישנם גורמים אחרים המשפיעים על הצרכנים. הגורמים שנמצאו כמשמעותיים ביותר היו המחיר, הנוחות והערך (Roberts 1996).

פרסומות טלוויזיה הן משפיע דומיננטי בהעברת מידע לציבור ויכולות להעלות את המודעות בחברה, אך הן לא מספיקות ככלי של יצירת שינוי סביבתי. השפעתן תורמת בשלב החשיפה לידע, ואולי אף לרמת השכנוע, אך זה אינו כלי מספק בכדי להעביר את הצרכן לשלב קבלת ההחלטה

ובחירה בפעולה תואמת (Syme 1987). במקרה שלנו עודד הבחירה להפחית בצריכת הבשר ובכך להוביל לחסכון במים מצריכה גם כן שילוב בין העלאת המודעות לבין נקיטת פעולות נוספות המעודדות את הבחירה בשטח, כמו לדוגמה תזכורת בעת ביצוע הקניות בסופר.

תוויות אקולוגיות ותוויות 'חסכוני במים'

בשוק המתחדש ניתן לראות היום בקרב קהל הרוכשים עניין באופי הסביבתי של מוצרים. תגובתן של פירמות לכך הוא סימון המוצרים על-ידי תוויות אקולוגיות שמדגישות את התרומה הסביבתית של מוצר ומייצגות אותו כמוצר "ירוק". אחת המדינות הראשונות שהכניסה תוויות אקולוגיות הייתה גרמניה עוד בשנת 1978, מאז הן הפכו לכלי מרכזי בהגנה על הסביבה עם כמעט 4,000 מוצרים מאושרים (Loureiro et al., 2001). תוויות אקולוגיות שנכנסו לשוק מוצרי הטונה, "בטוח לדולפינים" (המציינות שנעשה פיקוח על הדייג ולא נעשתה פגיעה מיותרת בדולפינים) הוכחו כמשפיעות על התנהגות צרכנית. המעבר החד של הצרכנים לרכישת מוצרי טונה עם התוויות "בטוח לדולפינים" מוצג במחקרו של Teisl (2002).

יצירת שינוי בשלב קבלת ההחלטה של הצרכן, קרי רכישת מוצר ידידותי לסביבה המסומן על ידי תווית סביבתית, הצריכה ידע בסיסי מוקדם על הנושא. הצרכן הכיר את ההשפעות השליליות של דייג הטונה על דולפינים עם בזכות קמפיינים מוקדמים, סרטים תיעודיים, כתבות ועוד אשר התמקדו בהעברת האינפורמציה הראשונית אל הציבור.

סימון צריכת המים של מוצרי מזון על גבי האריזות עשויה לקדם את יצירת השינוי באמצעות חיזוק שלבי קבלת ההחלטה ונקיטת פעולה מסוג חדש, ובכך לעודד מעבר לצריכת מזונות צמחיים חסכוניים במים, אך רק לאחר שהצרכנים רכשו את הידע החדש והשתכנעו. כדי להחדיר את המסר בציבור יש צורך לתכנן מערך שיווקי אשר מתאים לאופי המקומי ולוקח בחשבון ערכים ועקרונות של הצרכנים המקומיים. לדוגמה המודעות בארץ לחסכון במים כבר קיימת, רק יש צורך לנתב אותה לאספקטים נוספים, כמו בניית תפריט מזון חסכוני במים.

Choice Experiment

במהלך תכנון הקמפיין ושלביו, עוד לפני ההשקעה הכספית בו, ניתן לבדוק על ידי מחקרי שיווק מהו הגורם המשפיע ביותר על ציבור הצרכנים וכך להשיג את המידע הנחוץ אודות הצרכנים לבניית המערך השיווקי (Kinneer and Taylor, 1996). שיטת ה- Choice Experiment נפוצה להערכת קמפיינים סביבתיים ולהערכת הפחתה בצריכה ומאפשרת לחזות מראש כיצד יגיב אינדיבידואל בסיטואציה מסויימת, במקרה שלנו המטרה לבדוק מה יגרום להפחתה בצריכת הבשר ובכך להפחתה בצריכת המים. היתרון של שיטה זו על פני שיטות מסורתיות להערכה הוא שהיא מאפשרת להתייחס לתכונות שונות של המוצר שאינן כלכליות בלבד (Wikstrom, 2003). לדוגמה שימוש בשיטה זו נעשה במחקר שבחן בניית מודל של מוטיבציה מוסרית בקרב צרכנים, ואת האפקטיביות שלו להביא אנשים לידי ביצוע פעולות מיחזור (Brekke et al., 2002). השיטה

מבוססת על ההנחה שהערך והשימוש נובעים ספציפית מהתכונות של המוצר (Bennet et al., 2001). Lacaster (1966) טען שצרכנים בוחרים במוצרים לפי השירותים השונים שהם מספקים להם - באיכותם, בסטטוס שלהם ובתרומתם הסביבתית. Choice Experiment עוזר לבדוק מה עומד מאחורי אותן בחירות של האינדיבידואל (Hanely et al., 1998). Wikstrom (2003) השתמש בשיטה על מנת לבדוק את המוכנות של צרכנים שוודים לרכוש קפה שגודל באופן הגון ואקולוגי. הוא אסף מידע מכ-100 משיבים ועיבד אותו במודל אקונומטרי. חלוקת העדיפויות של הצרכן נבדקה בהתייחסותו למחירי הקפה, כמות הצריכה ביום, והאם הצרכן חבר באיזשהו ארגון ללא מטרת רווח. באופן דומה נרצה במחקר שלנו לבחון את יחס הצרכן למחירי המזונות, אם מן הצומח או מן החי, כמה הוא צורך מהם ביום, מהי המוכנות שלו לוותר על מוצרי בשר והאם הוא חבר בארגון סביבתי. שאלון מקדים יספק לנו את המידע הנחוץ על פרנסתו, השכלתו, הסטטוס שלו, מקור תרבותי, הרגלי אכילה ופעילות חברתית או סביבתית אם קיימת. לאחר מכן, על פי המודל של Choice Experiment, יוצגו לו סינריומים שונים המורכבים מתכונות מגוונות מהם יצטרך לבחור את התצלום המועדף עליו, לפי בחירותיו ניתן יהיה להבין מה חשוב יותר שיופיע בקמפיין. הסינריומים ישקפו שתי אפשרויות פרסומיות אליהן הוא עשוי להימשך ויכללו התייחסות לצבעים המועדפים בפרסום, לאופי המסר העדיף, כמו לדוגמא האם הצרכן נתפס יותר למסר של חיסכון במים או של חיסכון כספי, האם מושכת אותו יותר התייחסות חיובית למזון צמחי או שלילית למזון מן החי, האם הוא נמשך לקבלת מידע אינפורמטיבי אודות צריכת בשר ועלויות המים וכדומה.

חשוב לציין שקיים פער בין הדימוי העצמי של המשיבים לבין קבלת ההחלטות שלהם בפועל, וזהו מרכיב בעייתי במהימנות הניסוי. על מנת להגביר את התוקף של תוצאות ניסוי מסוג זה, יש לדאוג שהרכב הנדגמים יהיה דומה ככל האפשר לצרכן המקומי הממוצע אליו מופנה הקמפיין (Wikstrom, 2003).

על סמך תשובות הנבדקים, ועל בסיס ידע ממחקרים קודמים שאת חלקם תיארנו בחלק זה של העבודה, אנו מקווים ללמוד את הבסיס לבחירותיו של הצרכן במקרה זה. בעתיד נוכל להשתמש בהן לבנות את הקמפיין המתאים ביותר להפצת המידע אודות בזבזנות המים בצריכת בשר בהשוואה למזון צמחי. רוב הקמפיינים לחיסכון במים התמקדו בעבר בחיסכון ישיר, ובמחקר זה נבדוק את ההשפעה של יצירת אסוציאציה עקיפה ובלתי שגרתית על מנת להביא לחסכון שעשוי להיות משמעותי הרבה יותר. אנו מקווים שידע זה יסייע גם בבחינת קמפיינים העוסקים בסוגיות סביבתיות נוספות בעתיד.

השערת המחקר ושאלות המחקר

כפי שתארנו צריכת בשר השתרשה והתרחבה בעולם המודרני תחת השפעות משולבות של אמונה רווחת בערכים תזונתיים, נורמות תרבותיות המייחסות אכילת בשר לסטטוס חברתי גבוה ותהליכי גלובליזציה מלווים בהסכמי סחר של תאגידי מזון בינלאומיים. עקב צריכת המים הגבוהה של מזון מן החי בכלל ומוצרי בשר בפרט (בהשוואה למזון בעל ערך תזונתי מקביל מן הצומח), והשפעתה המשמעותית על משאבי המים העולמיים, יש לשאוף להפחתת צריכת מזון מן החי.

השערת המחקר היא שיצירת האסוציאציה בין אכילת בשר לבזבז מים בכלים שיווקיים תביא לירידה בצריכת הבשר. ירידה אשר תוביל לחסכון בצריכת המים.

כחלק מבחינת השערת המחקר נרצה להשיב על **שאלות המחקר:**

1. האם קיימת מודעות בציבור למושג ה Water footprint?
2. האם קיימת מודעות בציבור ל Water footprint הגבוהה של בשר ולהיותו "בזבזן מים"?
3. מהן האמונות של הנבדקים לגבי הערך התזונתי-בריאותי של בשר?
4. אילו אספקטים של אכילת בשר יש להבליט בקמפיין כדי להביא לירידה בצריכתו?
5. באילו תנאים חסכון במים יועדף על הנאה אישית מאכילת בשר?
6. האם קיים שוני בין התייחסותן של קבוצות שונות מקרב הנבדקים לאכילת בשר?
7. לאילו קהלים כדאי לכוון את הקמפיין על מנת להשיג אפקטיביות מירבית?
8. כיצד ישפיע הניסוי על צריכת הבשר של הנבדקים?

סיכום

בעבודה זו סקרנו את הסיפור המצביעה על כך שהלחץ על מקורות המים בעולם הולך וגדל, עקב שלוש סיבות עיקריות: גדילת אוכלוסיית בני האדם, הגידול ברמת הצריכה שלהם, ושינוי דפוסי המשקעים עקב ההתחממות הגלובלית. למשבר המים העולמי יהיו השלכות נרחבות, החל מאיכות המים שישתו אזרחי מדינות עניות, דרך מצוקת מזון במדינות שכבר היום עומדות על סף פיצוץ אוכלוסין, ועד למשברים אסטרטגיים ומלחמות.

בחרנו להתמקד בנושא הצריכה, ובאופן פרטני בצריכת בשר, והבאנו מחקרים רבים שמצאו שגידול בשר למאכל צורך הרבה יותר מים ממזונות מן הצומח, למרות שאלה יכולים לספק את הצרכים האנרגטיים והתזונתיים במלואם. במדינות הנמצאות במשבר מים יש להתחשב בנתונים אלו ולהתוות מדיניות על פיהם, על מנת לחסוך במים. הראנו גם שקיים קשר בין עושרה של מדינה לרמת צריכת הבשר בה, ושכיום קיימת מגמה עולמית של עלייה בצריכת הבשר, הבולטת במיוחד במדינות המתפתחות, ובראשן סין.

העלייה בצריכת הבשר באה לידי ביטוי גם בישראל בשני העשורים האחרונים. משאבים רבים הושקעו בפתרונות למצוקת המים המלווה את מדינת ישראל מיום הקמתה, אם בבניית תשתיות

לאומיות כמו המוביל הארצי, ואם בהקמת מתקני ההתפלה החדשים. גם קמפיינים נערכו ונחלו הצלחות מסוימות, אך בכולם הודגש החיסכון הישיר במים במגזר הביתי. בעבודה זו הצענו לגשת אל הנושא באופן עקיף, על ידי בחינת יצירת האסוציאציה בין אכילת בשר לביזבז מים, בתקווה להשפיע על הציבור להוריד את צריכת הבשר. אנו מקווים שמציאת קמפיין מתאים שיעלה את המודעות לנושא יוביל לירידה בגידולי הבשר בארץ ולחיסכון משמעותי במים. בניגוד להקמת תשתיות חדשות ופיתוחים טכנולוגיים הדורשים ממון ואנרגיה, חיסכון פשוט הוא האמצעי המשתלם ביותר ותופעות הלוואי שלו הן בעלות ההשפעה המתונה ביותר. קמפיין שנועד להשפיע על צרכני הקצה יהיה אפקטיבי הרבה יותר אם יבוא במקביל לצעדים אל מול הסקטור החקלאי. העלאת מיסים על חלקים שונים בשרשרת הייצור של בעלי החיים, שחלקם יגולגל אל הצרכנים (ובכך יורידו את הביקוש), סובסידיות לגידולים אלטרנטיביים, ומכסות מים קשיחות יעזרו כולן להוריד או לפחות לעצור את הגידול בביקושים לבשר בישראל ולשחק תפקיד חשוב במערכה לחיסכון במים.

ביבליוגרפיה:

1. Bennet, J., & Blamey, R., 2001. *The Choice Modelling Approach to Environmental Valuation*. Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham.
2. Brekke, A. K., Kverndokk, S., & Nyborg, K. 2002. *An economic model of moral motivation*. Journal of Public Economics, 87: 1967-1983.
3. Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y., 2003. *Virtual Water Flows Between Nations in Relation to Trade in Livestock and Livestock Products*. Value of Water Research Report Series No.13, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands.
4. Craig, W.J. & Mangels, A.R., 2009. *Position of the American Dietetic Association: Vegetarian Diets*. American Dietetic Association Position Papers, Vol.109, Issue 7, pp. 1266-1282.
5. Falkenmark M., 2001. *The Greatest Water Problem: The Inability to Link Environmental Security, Water Security and Food Security*, International Journal of Water Resources Development, 17:4, 539-554.
6. Gardner-Outlaw, T., and Engelman, R., 1997. *Sustaining water, easing scarcity: a second update*. Washington, DC: Population Action International.
7. Gilbert, N., Troitzsch, K.G., 1999. *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press, Buckingham.

8. Gill, M., 1999. *Meat production in developing countries*. Proceedings of the nutrition society, 58: 371-376.
9. Hanley, N., & Wright, R.E, & Adamowicz, V., 1998. *Using Choice Experiments to Value the Environment*. Environmental and Resource Economics, Vol. 11.
10. Herring, H., 1998. *Does Energy Efficiency Save Energy: the Economists Debate*. EERU Report 074, The Open University.
11. Jackson T., 2005. *Motivating sustainable consumption*. A report to the Sustainable Development Research Network
12. Kantola, S.J., Syme, G.J, & Nesdale, A.R., 1983. *The effects of appraised severity and efficacy in promoting water conservation: an informational analysis*. J. of Applied Social Psychology 13: 164-182.
13. Kinnear, T. C. and Taylor, J. R., 1996. *Marketing Research: An Applied Approach*. 5th Ed., McGraw-Hill, New York.
14. Lancaster, K., (1966). *A New Approach to Consumer Theory*. Journal of political Economy 74:132-157.
15. Loureiro, M.L, McCluskey, J.J., & Mittelhammer, R.C., 2001. *Assessing consumers' response toward organic, eco-labeled and regular apples*. Journal of Agricultural and Resource Economics, 26 (2) (2001), pp. 404–416
16. Lindeneg K., 1991. *Instruments in environmental policy – different approaches*. Waste Management and Research, Vol. 10 pp. 281-287.
17. McAlpine, C.A., Etter, A., Fearnside, P.M., Laurence, W.F., 2009. *Increasing world consumption of beef as a driver of regional and global change: A call for policy action based on evidence from Queensland (Australia), Colombia and Brazil*. Global Environmental Change, 19:21-33.
18. Mekonnen, M. M & Hoekstra, A.Y., 2010a. *The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Production*. Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands.
19. Mekonnen, M.M.& Hoekstra, A.Y., 2010b. *The Green, Blue and Grey Water Footprint of Farm Animals and Animal Products*. Value of Water Research Report Series No. 48, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands.

20. Miele, M., 1999. *Short circuits: New trends in the consumption of food and the changing status of meat*. International planning studies, Vol. 4, No. 3 pp. 373-387.
21. Milton, K., 1999. *A Hypothesis to explain the role of meat-eating in human evolution*. Evolutionary anthropology, issues news and reviews.
22. Myers, N., & Kent, J., 2003. *New consumers: The influence of affluence on the environment*. PNAS, Vol. 100, No.8, pp. 4963-4968
23. Mosler, H. J., & Brucks, W., 2001. *The simulation of social influence among agents using social psychological theories*. In: Saam, N.J., Schmidt, B. (Eds.), *Cooperative Agents. Applications in the Social Sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 125–147.
24. Mosler, H. J., & Martens, T., 2008. *Designing environmental campaigns by using agent-based simulations: Strategies for changing environmental attitudes*. Journal of Environmental Management, Vol. 88, pp. 805–816.
25. Oki, T., & Kanae S., 2006. *Global Hydrological Cycles and World Water Resources*. Science 313, pp. 1068
26. Peters, G.M., Wiedemann, S.G., Rowley, H.V., Tucker, R.W., 2010. *Accounting for water use in Australian red meat production*. International Journal of Life Cycle Assessment 15, pp. 311-320
27. Petty, R.E., & Cacioppo, J.T., 1986. *The elaboration likelihood model of persuasion*. In: Berkowitz, L. (Ed.), *Advances in Experimental Social Psychology*. Academic Press, New York, NY, pp. 123–205.
28. Petty, R.E., & Wegener, D.T., 1999. *The elaboration likelihood model: current status and controversies*. In: Chaiken, S., Trope, Y. (Eds.), *Dual-process Theories in Social Psychology*. The Guilford Press, New York, NY.
29. Renault, D. and Wallender, W. W., 2000. *Nutritional Water Productivity and Diets*. Agricultural water management 45: 275-296.
30. Roberts, J.A, 1996. *Green Consumers in the 1990s: profile and Implications for Advertising*. Journal of business Research 31:217-231.
31. Rogers, E. 1995. *Diffusion of Innovations*, 4th Ed. The Free Press, New York, NY.
32. Rosegrant, M.W., 1997. *Water Resources in the twenty-first century: Challenges and implications for action*. Food, agriculture and the

- environment discussion paper 20, International food policy research institute.
33. Schindler, D. W., & Donahue, W. F., 2006. *An impending water crisis in Canada's western prairie provinces*. PNAS Vol.103 ,No.19, pp. 7210-7216.
 34. Sanne C., 2002. *Willing consumers or locked in? Policies for a sustainable consumption*. Ecological Economics Vol. 42, pp. 273-287.
 35. Smil V., 2002. *Eating meat: Evolution, Patterns, and consequences*. Population and development review Vol. 28, No. 4, pp. 599-639.
 36. Syme, G.J., Seligman, C., Steven J. Kantola, S.J., Macpherson ,D. K., 1987. *Evaluating a Television Campaign to Promote Petrol Conservation*. Environment and Behavior, Vol. 19, no. 4, pp. 444-461.
 37. Spaargaren G., and Mol A.P,J., 2008. *Greening global consumption: Redefining politics and authority*. Global Environmental Change Vol. 18 pp. 350-359.
 38. Savanije, H.H.G., 2000. *Water Scarcity Indicators: The Deception of the Numbers*. Phys. Chem. Earth (B), Vol. 25, No.3, pp. 199-204.
 39. Teisl, M.F.,Roe, B. Hicks, R.L., 2002. *Can Eco-Labels Tune a Market? Evidence from Dolphin-Safe Labeling*. Journal of Environmental Economics and Management 43: 339-359.
 40. Ufkes, F.M., 1993. *Trade liberization, agro-food politics and the globalization of agriculture*. Political Geography, Vol. 12, No. 3, pp. 215-231.
 41. UNEP, 2000. Global Environmental Outlook. Retrieved from <http://www.unep.org/geo2000/S>.
 42. Wikstrom, D. (2003). *Willingness to Pay for Sustainable Coffee, A Choice Experiment Approach*. Master's thesis. Lulea University of Technology.
 43. Wachs, E., & Tal, A., 2009. *Herd no More: Livestock Husbandry Policies and the Environment in Israel*. Journal of Agricultural Environmental Ethics 22: 401-422.
 44. York, R., & Gossard, M.H., 2004. *Cross-national meat and fish consumption: exploring the effects of modernization and ecological context*. Ecological Economics 48: 293-302.
 45. Zheng, C., Liu, J., Cao, G., Kendy, E., Wang, H., Jia, Y., 2010. *Can China Cope with Its Water Crisis? Perspectives from the North China Plain*. Ground Water, vol. 48, no. 3, pp. 350-354.

46. Meatless Monday website www.meatlessmonday.com

47. ארבל י., בן יהודה ד., 2010. השפעתם של מסע ההסברה והיטל הבצורת על ביקושי מים בישראל 2007-2009. אקולוגיה וסביבה גיליון 3 עמ' 46-50.
48. הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2011. דו"ח החקלאות בישראל בשנת 2010. מתוך אתר הלמ"ס.
49. הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2011. שנתון סטטיסטי לישראל 2011, אומדני אוכלוסייה.
50. פז ע., 2011. היום בו הרקפת הרימה ראש. "בשביל הארץ" עמ' 10-13.
51. רוזנטל ג., ארז ר., וארגוני הסביבה, 2011. מדיניות סביבתית לניהול משק המים.
52. רשות המים 2008 – דו"ח צריכת המים הכללית בשנת 2007 לפי מטרות צריכה. מתוך אתר רשות המים.

גידול אקוופוני כשיטה למחזור וחסכון מים

בענף המדגה

060468543 _טנבאום עידן

017920422 לנדאו איתי

304021843 שכטמן קארינה

מוגש במסגרת הקורס

"פרויקטים בחקר הסביבה" תשע"ב

פרופ' אביטל גזית

העבודה התבצעה בהנחייתו של אלון אלירן

פברואר 2012

תוכן העניינים

מבוא 4

המערכת האקופונית

מאפיינים כלליים 6

מבנה המערכת 7

סוגי דגים 11

סוגי צמחיה 11

שיקולים בבניית מערכת אקופונית 12

אקופוניקה בעולם

רקע 15

מערכת UVI 15

אקופוניקה במדבר 17

העתיד הקרוב 18

אקוופוניקה בישראל

20 רקע

20 חקלאות מים בישראל

21 מערכות "חצי אקוופוניות"

21 חסכון פוטנציאלי בבריכות דגים קונבנציונלית

21 חממת המודל בעין שמר

22 אקוופוניקה ברשות הפלשתינאית

23 שימוש במים מליחים בנגב

24 מו"פ ערבה

24 רגולציה

25 **חסרנות השיטה**

27 סיכום

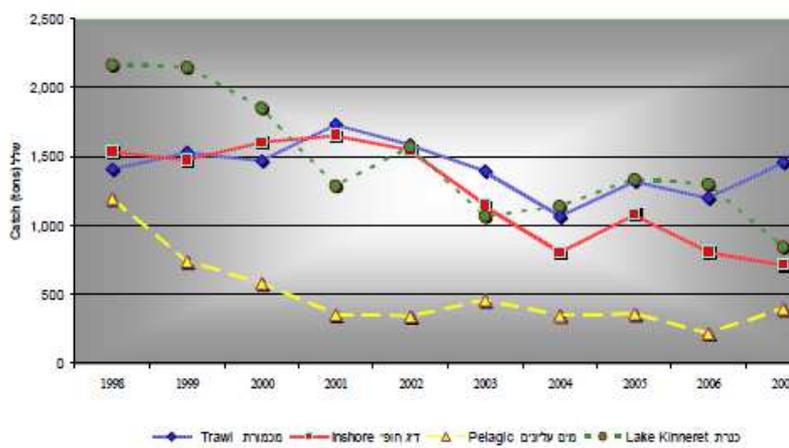
28 רשימת מקורות

31 נספחים

10:

הלך השנים האחרונות המודעות להתמעטות המשאבים הטבעיים הולכת וגוברת, כאשר הדגש החשוב ביותר נוגע יכות זמינות המים (Pedrero et al. 2010). מקורות מים נחשבים כבסיס לשרידות אנושית והתפתחות כלכלית (Agboola et al. 2000), אך גורמים שונים ובהם זיהום מים, מדיניות שימוש באדמות, שינויי אקלים, שימוש לא ל של מים בחקלאות ונטיות משתנות של הכלכלה מביאים לכך שזמינות מקורות המים השפירים נמצאת בדעיכה (Davies et al. 201). כמו כן מקורות המזון מתדלדלים אף הם וחלה עלייה בדרישה למזון עם העלייה בגודל וכלוסייה. כמעט שליש מאוכלוסיית העולם תלויה בדגים כמקור חלבון עיקרי, אך עם זאת כ 14 מתוך 17 אזורי ייג בעולם נמצאים מתחת לקו האדום של דייג יתר.

שראל אנו עדים למגמה של ירידה מתמשכת בשלל הדייג כל שנה (שפירו, 2008) (איור 1).



ר 1- שלל הדגים בים התיכון ובכנרת 1998-2007 (שפירו, 2008)

מנת לספק את הדרישה הגדלה לדגים חל מעבר לגידול מסחרי של דגים בחוות גידול, ברובן יבשתיות, אך עקב חלה משמעותית של מחסור במים ומחירי המים המאמירים קיים קושי בהגדלת הייצור.

שראל מייצרים כ 18,000 טון דגים בשנה, רובם בשיטות גידול מסורתיות בבריכות עפר ומאגרים, שיטות הנחשבות זבזוניות במים. על מנת לשמור על איכות מים סבירה בכל שלבי הגידול מתבצעת תחלופה שוטפת של חלק ממי ריכה המכילים תרכובות אורגניות ואנאורגאניות. המים המזוהמים מוזרמים לרוב לנחל סמוך, מזהמים אותו וכן

ויום סכנה גם למקורות מים עיליים ותחתיים אחרים שדרכם זורם הנחל. בהתאם לכך, ענף המדגה עומד בפני נית לרפורמה אקולוגית שתתאים את המשקים לתנאים הסביבתיים הקרובים, ומשרד החקלאות מעודד מעבר ימוש בטכנולוגיות לחסכון ושיפור איכות המים.

ת האלטרנטיבות לגידול בשיטה הקיימת נקראת אקופוניקה.

זה זו עומדת ביעדי משרד החקלאות בצורך לחסכון במים (0.3 מ"ק/ק"ג דג) אך כיום אין שימוש מסחרי בשיטת ול זו בישראל (שפירו, 2008; מוזס, 2010; עופר, 2010).

וופוניקה הינה שיטת גידול חקלאית המבוססת על שילוב של גידול צמחים (הידרופוניקה) ודגים (אקווקולטורה) ערכת סגורה אחת. עקרון המערכת הבסיסי הינו מחזור הנוטריינטים מהפרשות הדגים וסחרור מים לשימוש חוזר על הצמחים תוך טיהור המים מעודף נוטריינטים על ידם (Rakocy et al, 2004).

זידרופוניקה הינה שיטה חקלאית לגידול צמחים וירקות במצע מנותק תוך כדי סחרור מים. הצמחים יכולים לגדול מצעי אחיזה שונים כגון: פילם נוטריינטי, אסדות צפות, אבן הפרלייט, ורמיקוליט, חצץ, חימר, כבול (חומר אורגני שמש להסקה ודישון) ונסורת, או בשילוב כמה מהם. ברוב המערכות המסחריות כיום משתמשים ב"פילם וריינטי" (שוקת פלסטיק דקה המייצבת את הצמחים, ודרכה עובר זרם נוטריינטים - איור 2), ובאסדות צפות צע פלסטיק המעניק יציבות מכנית לצמח - איור 3) (Diver, 2006). צמחים הידרופוניים מדושנים ע"י דשן מומס וזרק למי ההשקיה באופן מחזורי ע"מ לשמר שורשים לחים ולשמור על אספקת נוטריינטים קבועה. נוטריינטים אלו יעים בד"כ מדשנים סינטטיים כמו קלציום ניטראט המסיסים במים, והם מהווים כ-50-70% מעלות התפעול של רכות אלו (תומר שגיא - נספח 1).



איור 2- טכניקת פילם נוטריינטי (Rakocy et al. 2006).



איור 3- טכניקת אסדות צפות (Rakocy et al. 2006).

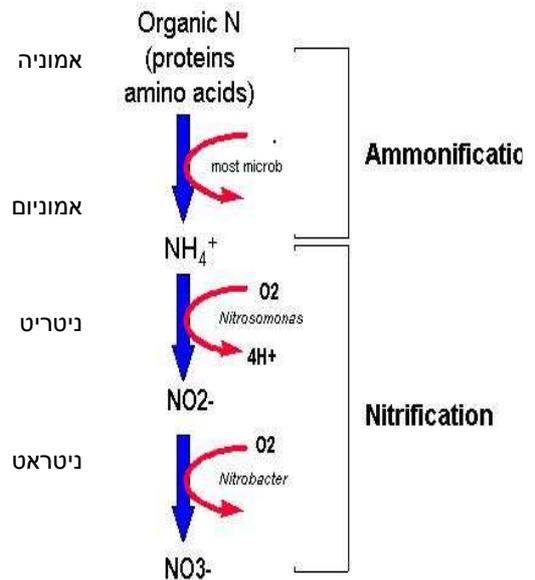
להידרופוניקה וגם לאקווקולטורה היבטים שליליים, לגידולים הידרופוניים דרושים נוטריינטים מסחריים יקרים, מויות מדוייקות. באקווקולטורה הבעיות החמורות ביותר הן הצטברות של פסולת אורגנית וחוסר חמצן, לכן נוצר יך בהחלפה של לפחות חלק מהמים (כ 10%-30%) על בסיס יומיומי, וסינון החלק הנותר, עובדה הגורמת לבזבז של מים וכן הוצאה כלכלית גדולה בתפעול המערכת (Blidariu et al. 2011).

ני המערכות הנ"ל יעילות מאד בגידול דגים וצמחים, ואם נשלב את שתיהן יחד, חסרונותיהם יהפכו ליתרונות.

זערכת האקוופונית

זופוניה - מאפיינים כלליים

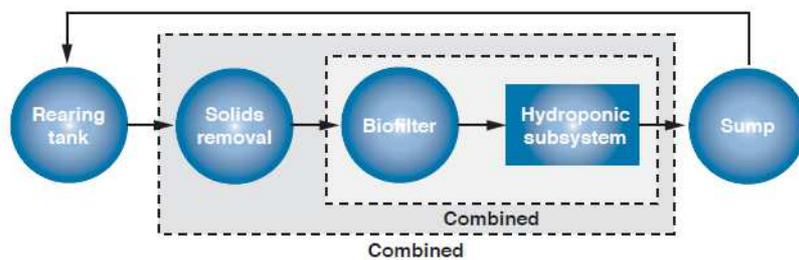
קוופוניה, הפסולת מבריכות הדגים משמשת כחומר דישון למצעים הידרופוניים. חיידקים ניטריפיקנטים טרוזומונאס וניטרובקטר), הזוכים את תוצרי הפסולת של הדגים (בעיקר חנקן מומס בצורת אמוניה) לנטריינטים נים לצמחים בכך שהם הזוכים אמוניה לניטראט בתהליך הניטריפיקציה (איור 4). בעוד שתרכובות של אמוניה זריט רעילות לדגים מחד ואינן זמניות לצמחים מאידך, הרי שניטראט הינה תרכובת חיונית הנצרכת ע"י צמחים. מור, אם תוצרי פסולת היו נשאים בבריכות הדגים הם היו מזהמים את המים, ובריכוזים מסויימים אפילו היו עילים את הדגים (ידוע כי רכוזי אמוניה גבוהים מובילים לפגיעה בזימים ברירות ובכבד, בעיות התפתחותיות יילה ואף מוות). במקרה זה הצמחים, בתיווך החיידקים, משמשים כביופילטר והמים שמוזרמים לבריכות הדגים חר המעבר במערכות ההידרופוניות, חוזרים נקיים ומטהרים. כך, למעט אידוי אין יציאת מים מתוך המערכת (Diver, 2006; Blidariu et al. 201).



ור 4 - תהליך הניטריפיקציה <http://www.swac.umn.edu/classes/soil2125/img/9snitrf.jpg>

נה המערכת האקוופונית

רכיבים ההכרחיים במערכות אקוופוניה כוללים: בריכות גידול דגים, אגן שיקוע וסינון מוצקים מרחפים, מכל פילטרציה, מערכת גידול הידרופונית, ואגני ניקוז (איור



(5).

איור 5- המרכיבים ההכרחיים במערכת אקוופונית (Rakocy et al. 2006).

ז יוצאים מבריכות הדגים, בעזרת משאבה או בכוח הגרוויטציה (צילום 1,2). המים, העשירים בהפרשות הדגים, רים ע"י משאבה למכל סינון מוצקים אורגניים מרחפים (אם לא יוצאו חלק מהמרחפים האורגניים מהמערכת רמות מצן המומס יירדו ורמות הפחמן הדו חמצני יעלו בהתאמה, עקב הפירוק של חומר זה). מכל שיקוע עובד בד"כ על יטציה (איור 6). לאחר מכן המים ימשיכו למכל הביופילטרציה (צילום 3) שם מוחלפים האמוניה והניטראט טריט ע"י חיידקים בתהליך הניטריפיקציה (במכלים אלו מפוזרים בד"כ מרכיבים המכונים "כדוריות ביולוגיות" ם כדורי חרס מחוררים בעלי שטח פנים גדול המאפשרים התפתחות של מרבצי חיידקים ניטריפיקנטים). לאחר כל ן המים יגיעו אל הערוגות ההידרופוניות (צילום 5 וצילום 6,7) שם הנוטריינטים יצרכו ע"י צמחים, ולאחר מכן ברו למכלי איסוף וניקוז (צילום 4), ויזרמו חזרה אל מכלי גידול הדגים (Rakocy et al. 2006).

נמחק: י

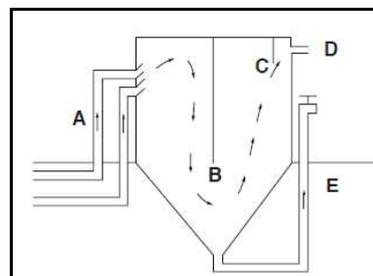


תמונות 1 ו 2: בריכות דגים בגידול אקוופוני. צולם ע"י קארינה שכטמן



תמונה 3 - מכל ביופילטרציה המכיל כדוריות ביולוגיות.

צולם ע"י קארינה שכטמן



Cross-sectional view (not to scale) of UVI clarifier showing drain lines from two fish rearing tanks (A), central baffle (B) and discharge baffle (C), outlet to filter tanks (D), sludge drain line (E) and direction of water flow (arrows).

איור 6 - מכל שיקוע (Rakocy et al. 2006).



תמונה 5 ארוגה הידרופונית מסוג- פילם נוטריינטי



תמונה 4 אגן איסוף מים

צולם ע"י קארינה שכטמן

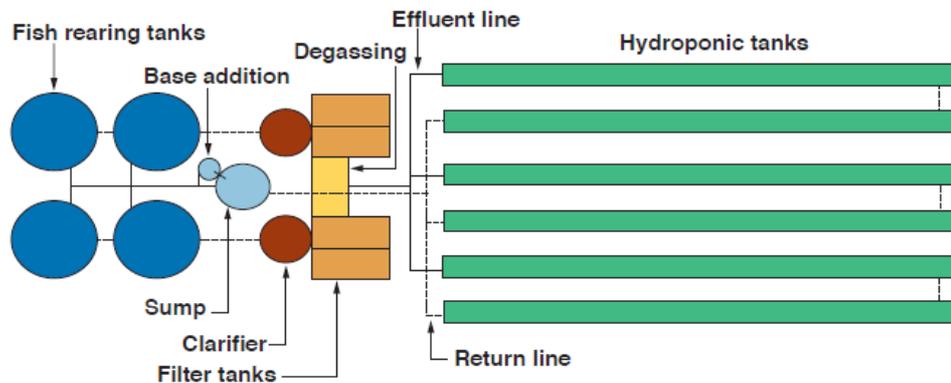


תמונה 7 כניסת מים לארוגה ההידרופונית



תמונה 6 יציאת מים מהארוגה ההידרופונית

צולם ע"י קארינה שכטמן



איור 7-דוגמא למערכת אקוופונית מסחרית מאיי הבתולה (Rakocy et al. 2006).

ערכת האקוופונית הינה לרוב מודולרית כלומר ניתן לשנות את מיקומי המרכיבים השונים בהתאם לצורך. של ישנן מערכות בהן אגן האיסוף והניקוז נמצא אחרי מכל הביופילטרציה, ולפני הערוגות ההידרופוניות, זה אפשר במידה והערוגות הינן גבוהות וכך המים מהן יעברו ישירות לבריכות הדגים בגרוויטציה. כמו כן ניתן לשלב מכלי הביופילטרציה לערוגות ההידרופוניות (ע"י שימוש בחציץ למשל), וכן ניתן גם לשלב בין מכל השיקוע לבין ל הביופילטרציה לבין הערוגות, וכך המצע של של הצמחים יכול לשמש כמסנן להסרת המוצקים המרחפים- מצב זה אפשר במערכות בעלות עומס אורגני מועט- כלומר מערכות לא מסחריות בדרך כלל (Rakocy et al. 2006).

איון שנערך עם מר תומר שגיא ומר מוטי כהן, מנכ"ל לי חברת LIVINGGREEN (נספח 1), נמסר כי מערכות מסחריות בדר"כ אחרי אגן לשיקוע מוצקים מרחפים גדולים יש להוסיף אגן מינרליזציה, בו מוסרים מהמים י סינון מוצקים מרחפים קטנים, הניתנים לניצול חוזר ע"י הפיכתם למומסים בתיווך מיקרואורגניזמים שונים א ניטריפיקנטים). אחרי אגן זה המים יגיעו מתקן לשחרור גזים (de-gasing) שבו יוסר מהמים הפחמן הדו חמצני שוחרר ע"י האורגניזמים השונים אשר גורם לירידת ה pH במערכת. זה יהיה גם המכל בו מוסיפים נוטריינטים ופיים כגון אשלגן וברזל החיוניים לגידול הצמחים, וכן ניתן לפקח בו על ערך הגבה ע"י הוספת אשלגן הידרוקסידי עלאת ה pH או חומצה פוספורית להורדת ה pH – שכן חיידקי הניטריפיקציה, מתרבים באופן הטוב ביותר בערכי זה ניטראליים (בסביבות pH = 7). דוגמא למבנה מערכת מסחרית שנבנתה באיי הבתולה ניתן לראות באיור 7. ורך כל חלקי המערכת יש לשמור על זרימת חמצן קבועה במים שכן הדגים הצמחים והבקטריות כולם דורשים צן, וכן יש לפעפע גזים מיותרים מהמערכת – תהליך המבוצע בתיווך חמצן. לכן במערכות מסחריות ימוקמו אבות לדחיסת אויר במכל הדגים, במכלי הביופילטרציה ובערוגות הצמחים (Rakocy et al. 2006).

י: דגים

י: הדגים שיגודלו במערכת נבחרים ע"פ התכונות שיאפיינו את אותה מערכת. למשל בס מפוספס רגיש לריכוזי ולגן ולכן לא מתאקלם טוב במערכות אקוופוניות בהן נדרשת תוספת אשלגן (המזרז גדילת צמחים). כעיקרון כל דג סוגל להתמודד עם שינויים באיכות המים ולא רגיש לשינויים קלים בחומציות, רמות חמצן, ומרחב מחייה יוכל תאים לגידול אקוופוני. כאלו הם למשל קרפיון הבריכות והשפמנון היכולים לחיות בטווחים משתנים של איכויות ז (Rakocy et al. 2006).

עם זאת, ברוב במערכות המסחריות כיום מגודלים בעיקר אמנונים. לאמנונים זמן חיים קצר בין לידה לשלב בו ניתן קצור אותם (בין 6-9 חודשים). האמנונים, בדומה לקרפיון ולשפמנון טולרנטיים לשינויים קיצוניים באיכות המים, לרמות חמצן נמוכות בבריכות. עם זאת הסיבה העיקרית לגידולם היא שהוא הדג הטעים והמבוקש ביותר מבין דגי ים המתוקים, מחירו בשוק גבוה משל קרפיון, הוא בעל יחס פילה למשקל גוף גדול, וכן יחס המרת המזון למשקל הוא גבוהה מאד -1.7 (כלומר על כל 1.7 ק"ג מזון מקבלים 1 ק"ג דג) (תומר שגיא). זאת נהוג לגדל מספר מינים של דגים בבריכה אחת ע"מ לצמצם את האפשרות בה גורם מחלה ספציפי למין דגים וים, מוביל לחיסול כל התוצרת (Jones, 2002).

י: צמחיה

ורטית, ניתן לגדל את כל סוגי הצמחים במערכת אקוופונית. עם זאת ע"מ שמערכת אקוופונית תהיה מוצלחת יש מור על יחס קבוע בין נפח בריכות הדגים (הנוטריינטים) והצמחים, ע"מ למנוע הצטברויות של עודפי תרכובות וינם נצרכים ע"י המערכת. ערכות הידרופוניות, כמות הנוטריינטים המסופקת לצמחים נשלטת ע"י המגדלים והיא מדויקת ומדודה. כאמור, חלק מים מוחלפים באופן סדיר ע"מ למנוע הצטברות חומרים מזיקים. מכיוון שבאקוופוניקה הנוטריינטים מסופקים ע"י ימת מים מבריכות הדגים, הרי שיש מינים מסויימים של צמחים שעוברים אדפטציה טובה יותר למערכת זאת. ירת מיני הצמחים שיגודלו במערכות אקוופוניות תלויה בצפיפות הדגים ליחידת שטח (בגלל כמויות הנוטריינטים זרות מכך). ככלל לצמחים חד עונתיים, שאינם משקיעים בפיתוח גזע, יש דרישה תזונתית קבועה ונמוכה ולכן, ה, צמחי מרפא שונים, בזיליקום, תרד, עירית, וגרגיר הנחלים מסתגלים למערכות אקוופוניות בצורה טובה. לצמחים ניבים פירות (עגבניות, מלפפונים ופלפלים) יש דרישה תזונתית משתנה לאורך שלבי הגידול ולכן גדלים טוב יותר ערכות אקוופוניות בהם צפיפות הדגים גדולה וזמינות הנוטריינטים מגוונת (Diver, 2006).

חיים שיגודלו במערכות מסחריות צריכים להיות בעדיפות צמחים שהדרישות התזונתיות שלהם אינן משתנות לאורך זור החיים שלהם (למשל חסה צורכת כמויות קבועות של חנקן לאורך כל תהליך הגידול). עגבניות למשל, דורשות ויות גבוהות של חנקן וזרחן בשלבי הגידול הראשוניים, ולאחר מכן הן דורשות כמויות גדולות של סידן ואשלגן, איות קטנות של חנקן. מכיוון שרוב המרכיבים התזונתיים מגיעים מהמזון לדגים, וכיום אין מזון לדגים עם יחסי

ולגן-סידן-חנקן משתנים או מותאמים לשלבי גדילה, הצמחים שיתאימו בצורה הטובה ביותר למערכות אקוופוניות חריות הם צמחים שדורשים כמויות גדולות של חנקן לאורך כל חייהם (Jones, 2002).

זר שגיא מוסיף שסיבה נוספת לכך שגידול "עשבים ירוקים" מוצלח יותר במערכות אקוופוניות היא, שבגידול ירופוני מנותק מצע אין למעשה תמיכה מכנית לצמח (בניגוד לגידול בקרקע שם הממשק בין מערכת השורשים רקע מספק את התמיכה) ולכן גידולי עלים שאינם דורשים תמיכה מכנית לגידולם מתאימים יותר.

קולים בבניית מערכת אקוופונית

יכולים העומדים בפני מקבלי ההחלטות בבניית מערכת אקוופונית הינם רבים ומורכבים, אך שלב בחירת המרכיבים ז כנראה השלב החשוב ביותר. הן בגידולים ההידרופוניים והן בבריכות הדגים הבקרה כמעט אבסולוטית - ישנם ימים רבים במערכת וחובה על המגדל לשלוט בכל התנאים.

ד הגורמים החשובים ביותר לבחירת הגידול ההידרופוני הוא כמות הדגים המתוכננים לאכלס את המערכת אל מול ות הצמחים. כמות הדגים צריכה להתאים בצפיפותה ובקצבי הגידול שלהם "ע"מ לשמור על קיום תקין של מצע יידקים הניטריפיקנטים ולהבטיח לצמחים את כמות הנוטריינטים הדרושה לגידולם (Rakocy et al. 2004).

מ שהמערכת תהיה רווחית מבחינה כלכלית צריך להבטיח שכמויות יכול הדגים והצמחים ישמרו כל הזמן על תפוקה קסימאלית. הבימוסה המקסימאלית של דגים שהמערכת יכולה להכיל מבלי להגביל את גידול הדגים נקראת- כמות ול קריטית. שמירת המערכת קרוב לערכי כמות ייבול קריטיים (ע"י שימוש יעיל במרחב הבריכות), ממקסמת את ויות הייצור, ומקטינה את הצורך בשינויי ואריאציות תכופים של מזון, פקטור חשוב מאד המכתיב גם את גודל רוגות ההידרופוניות. ככלל, כמות הייבול הקריטית במערכות אקוופוניות לא תחרוג מיחס של 0.50 פאונד/גלון, ריכות הדגים. שמירה על יחס זה תאפשר התפתחות מהירה של דגים, ותקטין את האפשרות של גידול הדגים בתנאי ה. מעל ליחס זה אחוזי שרידות ירדו (בגלל העקה הנגרמת מצפיפות), גודל הדגים יקטן וכך גם קצב הגידול. מתחת זס זה אחוזי השרידות יעלו וכך גם גודלם וקצב גידולם אך התפוקה של המערכת תקטן ויעילותה הכלכלית תפחת.

ו כן, היחס בין גודל המערכת ההידרופונית לגודל בריכות הדגים צריך להיות מותאם מבחינת נפחים. היחס הנהוג ם הוא 1:2 (מטר מעוקב של מים לשני מטר מעוקבים של מצע גידול הידרופוני). יחס זה נגזר מכמות המזון סופקת לדגים ליום, ומשטח הגידול של הצמח. אם יחס זה יהיה גבוה מידי נוטריינטים יצטברו מהר, ויגיעו לרמות ילות. ניתן למנוע זאת הן ע"י הזרמת מים בתדירות גבוהה יותר, או ע"י הגדלת שטח הערוגות ההידרופוניות. אם ז זה יהיה נמוך מידי, יחסרו לצמחים אבני בניין חיוניות להתפתחותם, ויהיה צורך בהוספת "תוספי מזון". יחס זה ו: קבוע ויכול להשתנות, לדוגמא אם מצעי הגידול הם בעלי עומק רדוד יחסית (של 7.62 סנטימטרים- המשמשים דול חסה ובזיליקום למשל), היחס ישתנה ל-1:4. שמירה על יחס אופטימלי תביא לתפוקה גדולה של צמחים מצד ד, ולשמירה על ריכוז נוטריינטים קבוע מאידך (Rakocy et al. 2006).

מים נוספים המשפיעים על קביעת יחס זה הם: קצב החלפת המים, רמות הרקע של נוטריינטים במי המקור, מהירות רת החלקיקים האורגניים המרחפים, וסוג הצמח (Diver, 2006).

קול נוסף הוא בבחירת המצע ההידרופוני. מצעים מסוימים אינם דורשים מכל ביופילטריציה נוסף, משום שהערוגות ידרופוניות גדולות מספיק ובעלות שטח פנים נרחב להתבססות החיידקים הניטריפיקנטים. כך המקרה במצע בוסס על אסדות צפות, ומצעי חצץ, חול וכו'. מצעים אחרים אינם מתאימים למטרה זו, למשל, מצע הידרופוני בוסס על "פילם נוטריינטי" מתאפיין בשטח פנים ונפח מים קטן יחסית ומחייב מכל נפרד לביופילטריציה (Rakocy et al. 2000). כמו כן יש להתחשב באספקטים נוספים, לחצץ למשל יש כמה חסרונות בולטים, הוא אמנם ל כמצע ביופילטריציה וכן בצמידות לניטריפיקציה הוא משחרר סידן התורם להתפתחות הצמחים, אך משקלו כבד רש מבנה תומך חזק, השורשים של הצמחים נשארים תקועים במצע לאחר הקצירה, ובנוסף נאגר בתוכו חומר יגני מרחף, המועד להתפתחות מיקרוביאלית בלתי רצויה. השילוב של אגירת החומר האורגני יחד עם האטת זרימת ים יוצר אזורים אנאורגניים בסמיכות לשורשי הצמח הגורם לתמותת הצמחים. מצע המבוסס פילם נוטריינטי, הוא ע זול, משקלו קל, וניתן לגדל כמות גדולה של צמחים אם מתאימים את המרחקים בין הצמחים לקצב גדילתם. שיטת סדות הצפות יעילה בעיקר לגידול צמחים עשבוניים, כאשר אין בעייה של אגירת חומר אורגני צף, משום ששורשי מחים נמצאים בנפח מים גדול. מכיוון שהאסדות בעצם מצלות על המים, הטמפרטורה אינה עולה בצורה דרסטית - יון משמעותי למערכות באזורים חמים. החיסרון הבולט של מערכות כאלו הוא הקשר בין בריכות הדגים לארוגה ידרופונית - אליה יכולים להסתנן מזיקים כמו חלזונות אוכלי שורשים ואף הדגים עצמם (Rakocy et al. 2006).

ד הגורמים החשובים מבחינת איכות המים הוא ערך ה-pH. ערך ה-pH מושפע בין היתר מתהליך הניטריפיקציה, זההליך הנשימה של היצורים החיים, שכן בתהליכים אלו משתחררות חומצות המורידה את ערכי ה-pH לטווח ערכים נצי. בעוד שהנתאים האופטימאליים לתהליך הניטריפיקציה הם בערכי חומציות שבין 7 ל-9 (כאשר מתחת ל-6.6 פעילות חיידקים ניטריפיקנטיים), ערכי החומציות המיטביים לגידול צמחים נעים בין 5.5 ל-6.5. הצמחים הם חוליה החלשה" במערכת מבחינה זו, מכיוון שערכי החומציות בתמיסה משפיעים על יכולת הצמח לקלוט אלמנטים יוניים לגדילתו. לדוגמא, ברזל נחושת לא זמינים לצמחים בערכי pH גבוהים מ-7, לעומת זאת, מסיסותם של לציום מולבידיום ומגנזיום יורדת בחדות בערכי חומציות הנמוכים מ-6. ערכי ה-pH המיטביים לדגים הם בטווח ין: 6-8. לכן במערכות אקוופוניות נהוג לשמור על ערכי חומציות של 7. זוהי אפשרה שבין תהליך ניטריפיקציה טימאלי לבין זמינות נוטריינטים לצמחים. ערך זה נשמר ע"י הוספת בסיס (אשלגן וסידן הידרוקסידי) במכל נפרד באגן איסוף המים, הוספת הבסיס תלויה בעיקר בתדירות האכלת הדגים. (Rakocy et al. 2004, Rakocy et al. 2000).

ים חשוב נוסף הוא הסרת עודפי החומר האורגני מהמים. כאמור החלקיקים האורגניים המרחפים מוסרים ע"י אגני קוע ומסננים, הפסולת האורגנית המומסת מוסרת ע"י חיידקים וצמחים. כמות הנוטריינטים המוסרת מהמים, תלויה מות הצמחים, כמות המזון, וכמות הפסולת המוזרמת מבריכות הדגים. כדי לשמור על איכות מים גבוהה, יש להתאים כמות הנוטריינטים המוזרמים, לכמות הצמחים הגדלים במערכת הידרופונית. לדוגמא, במערכת אקוופונית בה מחים גדלים ברפסודות, קיבולת הסרת הפסולת שווה ל 1.2 פאונד של מזון לכל רצועת מצע הידרופוני של 4*8 ז. ניתן להגדיל את כמות הצמחים, ובכך להוריד את כמות הפסולת לאפס, אך כמות הנוטריינטים לא תספיק לגדילת מחים (Blidariu et al. 2011).

ערכות אקוופוניות אסור השימוש בחומרי הדברה מחשש שאלה יזיקו לדגים, וכך גם אסור השימוש בחומרים איביוטיים לדגים מחשש שאלו יצטברו בתוך הצמחים ויזיקו לאוכלוסיית החיידקים הניטריפיקנטים ולכן יש לנקוט מצעים כדוגמת הדברה ביולוגית, מחסומים פיזיים ומלכודות (Rakocy et al. 2006).

זרפוניקה בעולם

זע

עיון שבבסיס התפיסה האקוופוניית קיים כבר מאות שנים. במאה ה-20 שילוב של התקדמות מהירה במדע, עלייה ודעות לסביבה, וגדילה חדה של אוכלוסיית כדור הארץ הביאה להתעניינות חוזרת באקוופוניקה כשיטה חקלאית - מצד האקדמיה והן מצד חקלאים המחפשים פתרונות לחקלאות מפותחת ומתקדמת יותר. ב1969 בשיאו של עשור הסביבתי" היה זה הזוג ג'ון ונסטי טוד מאינדיאנה, ארה"ב שהחליטו להקים במו ידיהם חווה אקוופונית רכנות ביולוגית אורגנית המקיימת את עצמה. בסופו של דבר הצליחו בני הזוג ליצור מערכת שיכולה לקיים ארבעה שים. התוצרת הייתה דגים וירקות אורגנים שתאמו את תפסתם עומם האקולוגית. הפרסום של הצלחת החווה זיר לכותרות שיטת גדולות שכמעט ונעלמה.

ינות השמונים קיבל הפן האקדמי של התחום דחיפה משמעותית כאשר מוסדות מחקר בארה"ב החלו לעסוק בנושא. סוויים שנערכו בתקופה זו התמקדו באפיון רכיבי המערכת הנדרשים לטובת מיצוי יתרונותיה של השיטה ובמידות ב גידול ירקות והרחבת אפשרויות הגידול של ירקות וצמחי תבלין בשילוב עם דגה לקנה מידה מסחרי. אמצע שנות השמונים הצליחה קבוצת חוקרים באוניברסיטת איי הבתולה לבנות מערכת אקוופונית יעילה. מערכת זו הייתה הראשונה שנבנתה, קדמה לה המערכת שפיתחו מק'מורתרי וסנדרס מאוניברסיטת צפון קרוליינה שהתבססה העקרונות שניסחו הזוג טוד, אך המודל של איי הבתולה היה הראשון שחתר לכיוון של גידול בקנה מידה מסחרי (Diver, 200). מרגע שהוכחה היתכנות מסחרית לא ניתן היה עוד להתעלם מיתרונות האקוופוניקה - האפשרות דול מנותק מצע, טיפוח של שני סוגי גידולים בו זמנית, תפוקות ייצור גבוהות, הימנעות משימוש בחומרי הדברה: טיביןטיקות ויעול השימוש במים תוך צמצום הזיהום הסביבתי.

רכת UVI – איי הבתולה, ארה"ב.

רכת UVI (University of Virgin Islands) הינה מערכת מחקרית ניסיונית שהוקמה ופועלת באוניברסיטת איי תולה מאמצע שנות ה-80. מערכת זו הייתה הראשונה שניסתה לבחון את הפוטנציאל המסחרי של גידול אקוופוני. ב השנים האחרונות בוצעו במתקן הניסוי מחקרים רבים בנושא והמעבדה של ד"ר ג'ימס רקוצ'י נחשבת למובילה ולם בתחום זה. עקרונות היסוד שהונחו בסוף שנות ה-80 ע"י ד"ר רקוצ'י וצוות המחקר שלו משמשים גם כיום ברוב ערכות האקוופוניות.

י הבתולה נמצאים בים הקריבי, דרום מזרחית לחופיה הדרומיים של פלורידה. האיים ממוקמים על קו התפר בין זור הטרופי לסאב-טרופי ונהגים מכ 250 ימי גשם בשנה, ומכמות משקעים ממוצעת הגבוהה מ 1000 מ"מ. עם זאת, טח האיים אין אגני היקוות או נחלים. בנוסף מאופיינים האיים בקרקע מליחה, עשירה במינרלים ובלתי חדירה לחול. עובדה זו מבטלת כמעט לחלוטין את האפשרות של קיום מאגרי מים מתוקים, ניצול מי אקוויפר או קיומה של

נמחק: י

נמחק:

לאות גידולי שדה. בשל מגבלות השטח לא ניתן להקים באיים מאגרי מים מלאכותיים וכך, על אף כמויות המשקעים
זוהות נוצר באי מחסור במים לצריכה ביתית וחקלאות ותושבי האיים מסתמכים בעיקר על קציר גשמים לאספקה
יומית של צורכיהם. במצב הנתון לא מתקיימת חקלאות מסחרית בשטח האי והתושבים, אשר רבים מהם הם תושבי
ה"ב שהיגרו לאי בעשורים האחרונים והתרגלו לרמת חיים גבוהה - נאלצים להסתמך על יבוא תצרוכת חקלאית
חוץ, תוך התפשרות על טריות המוצרים, והשלמה עם גובה המחירים הכולל את עלויות הובלת המזון. בנסיון
תור את המחסור בתוצרת חקלאית מקומית ויחד עם זאת להתמודד עם סוגיית המים, החל מחקר באוניברסיטה
קומית שבחן שיטות אלטרנטיביות לגידול מקומי של תצרוכת חקלאית.

ונים הראשונות עסקו בניסויים בעיקר באפיון וייצוב המערכת - הגדרת המרכיבים הנדרשים במערכת אקוופונית
סי הנפחים בין מרכיביה השונים. מרגע שאופיינה יחידת בסיס מתפקדת החלו ניסיונות לייצר מערכת בעלת היתכנות
חרית. בעשר השנים הראשונות להפעלת המערכת נערכו בה ניסויים רבים. חלקם עסקו בהרחבת טווח הגידולים
וטנציאלים ואחרים בניסיונות לבצע Scaling-up - הגדלת המערכת ובחינת יעילותה בתנאים החדשים. כך, יחידת
סיס (איור 7) שמורכבת 4 בריכות דגים הוחלפה במערכת ובה 8 או 12 בריכות. כמות ונפח מתקני השיקוע ואסדות
ולי השדה הוכפלה בהתאם (Rackocy at al. 1997).

הלך השנים בוצעו מספר ניסויים ארוכי טווח. המטרה הייתה להוכיח כי המערכת שתוכננה יציבה ומפגינה תוצאות
נות לאורך זמן. בין השנים 1995 - 1997 נערך ניסוי ארוך טווח ראשון במערכת בהיקף מסחרי. בדצמבר 2002
בצע ניסוי שני שנפרש על פני 22 חודשים והסתיים באוקטובר 2004. שני הניסויים נועדו לבחון את יציבות
ערכת לאורך זמן קריטריון חשוב בעיקר במערכות מסחריות.

צאי הניסויים: ראשית המערכת הוכיחה יציבות לאורך כל תקופות הניסוי בשני הניסויים. התפוקות נותרו דומות
ורך כל מחזורי קצירה. אחזי שרידות הדגים נעו בין 89-98%. נעשה שימוש בפיזור אבקה של החיידק *Bacillus*
thuringien כאמצעי להדברה ביולוגית של זחלים ונמצא כי ניתן לחסוך את הצורך בהדברה כימית האסורה
יטת הגידול האקוופונית. בניסויים נבחן גידול של דגים משני מינים: אמנון יאור ואמנון אדום. גידולי השדה
וצמדו להם השתנו לאורך הניסוי אך בעיקר נבחנו בזיליקום ובמיה אשר נמצאו כאידיאלים לגידול עם מיני
מנונים בתנאים שנבחרו. תפוקות הדגים הממוצעות בניסוי של 2002 היו 61.5 ק"ג למ"ק מיכל עבור אמנון יאור
70. ק"ג למ"ק מיכל עבור אמנון אדום (טבלה 1). כמויות הבזיליקום הממוצעות עמדו על פי 3 בהשוואה לאותה
ות מים בגידול בקרקע, ואילו בגידול במיה נמצאה כי הכמויות עמדו על פי 18 בהשוואה לגידול בקרקע. הפיצוי
מי של מים היה מעט גבוהה בהשוואה לממוצע במערכת זו, ועמד על 2.4% מנפח המערכת הכולל, כאשר בניסויים
רי טווח הושג רף התחנות על 0.46%. כמות הצריכה המינימלית הכוללת של מים שהושגה בניסוי ב-1995 בעבור
ול ק"ג דג עמדה על 0.25 מ"ק, כ-5% בלבד מכמות המים הנצרכת במערכות אקסטנסיביות מסורתיות
(Rackocy et al., 1997, 2000).

Table 1. Average production values for male mono-sex Nile and red tilapia in the UVI aquaponic system. Nile tilapia are stocked at 0.29 fish/gallon (77 fish/m³) and red tilapia are stocked at 0.58 fish/gallon (154 fish/m³).

Tilapia	Harvest weight per tank (lbs)	Harvest weight per unit volume (lb/gal)	Initial weight (g/fish)	Final weight (g/fish)	Growth rate (g/day)	Survival (%)	FCR
Nile	1,056 (480 kg)	0.51 (61.5 kg/m ³)	79.2	813.8	4.4	98.3	1.7
Red	1,212 (551 kg)	0.59 (70.7 kg/m ³)	58.8	512.5	2.7	89.9	1.8

לה 1 - תפוקה ממוצעת של אמנון יאור ואמנון אדום בניסוי ארוך טווח שנערך ב 2002 (Rackey 2006)

ויפניקה במדבר

רב הסעודית, מדינה בעלת אקלים מדברי, מים נחשבים למצרך מבוקש ומחירים הולך ומאמיר. בשל כמויות שקעים הנמוכות התפתחותה של חקלאות מים מתוקים במדינה מתעכבת, בעוד הביקושים לדגי מים מתוקים ותוצרת לאית טריה עולים (Al-Hafedh et al. 2003). בדצמבר 2001 הוקמה במרכז למחקרי סביבה בערב הסעודית רכת אקוופנית נסיונית על פי המודל שהתוו ניסויים ב UVI - 4 מיכלי דגים, מערכת שיקוע ו 6 אסדות לגידול חי. לכל אחד מארבעת מיכלי הדגים הוכנסו דגי אמנון במשקלים שונים (42g, 74.8g, 138g, 248g) זאת על מנת חון שיטת גידול דיפרנציאלית שיאפשר קציר מדורג של המיכלים בכל 6-8 שבועות באופן שמייצר אספקה שוטפת דגים. במקביל נשתלו באסדות הצפות שתילי חסה.

גזאי הניסוי הראו כי לאורך רוב הניסוי נשמרו תנאי איכות מים טובים במערכת. הערכים הממוצעים של פרמטרים ן המצן מומס (DO), pH, ריכוזי אמוניה ו-NO₂ שמרו על טווח התקין, אם סטיות קלות שנמדדו ותוקנו ברובם ופן עצמאי על ידי המערכת, ללא התערבות חיצונית ומבלי שגרמו לתמותה חריגה של דגים. תפוקות הדגים ערכת עמדו על 44.6 ק"ג למ"ק - נמוך מהתפוקות שהושגו בניסוי UVI עקב צפיפות דגים ראשונית נמוכה, ועם ז ערך זה עדיין נחשב בערך תפוקה מסחרי. שרידות הדגים הממוצעת בניסוי עמדה על 97.5% (טווח שרידות של 93-99%). נמצאו הבדלים מובהקים במשקל הדגים הממוצע בין מקרים בהם גודלה אוכלוסיה מעורבת של זכרים ונקבות, למקרים בהם גודלה אוכלוסיית זכרים בלבד (משקל הדגים הממוצע למ"ק היה גבוהה יותר ב-12% בגידול יום בלבד). בהשוואה למערכות אקסטנסיביות שבהם נדרשת תוספת פיצוי מים יומית בכמויות שבין 10-30% עח המערכת בעבור תפוקה של 15-18 ק"ג למ"ק של דגים, בניסוי זה בעבור תפוקה של 44.6 ק"ג/מ"ק אמנונים יש פיצוי יומי של מים שעמד על 1.4% בלבד מנפח המים הכולל. מלבד זאת המערכת גם הפיקה 42 ראשי חסה ור כל מ"ק. בחישוב כולל של צריכת מים - במערכות גידול אינטנסיביות נדרשים כ 5 מ"ק מים על מנת לגדל ק"ג דג. בשיטה האקוופנית שיושמה בניסוי זה נדרשו 0.32 מ"ק בלבד עבור גידול של ק"ג דג (Al-Hafedh et al. 2006).

תיד הקרוב

ברואר 2012 נחנכה באבו-דאבי מערכת אקוופונית מסחרית בבעלות פרטית. הפרויקט הוא יוזמה משותפת של 'מי שלטון באבו דאבי ובמימון חלקי של חברת JBA Agritech. ע"פ ארגון המטאורולוגיה העולמי בדומה כנתה ערב הסעודית, ממוצע המשקעים השנתי באבו דאבי עומד על פחות מ 100 מ"מ והממשלה מעוניינת טמעה של טכנולוגיות הקשורות במים. אין מידע רב על הפרויקט באבו דאבי שכן את הפרויקט כולו אופף מעטה של ייות מסחרית אולם פורסם כי בשלב הפילוט צפויה המערכת להפיק כ-25 טון דגי אמנון וכ 400,000 ראשי חסה צור שנתי הפרויקט באבו-דאבי צפוי להגדיל את הייצור המקומי, ולהדגים טכנולוגיה לשימוש יעיל במים. במידה כ'ח היתכנות מסחרית – צפויה להיכנס שיטת גידול זו לשימוש נרחב במדינות נוספות במפרץ הפרסי ומשם להתפשט זרחה התיכון כולו, במודל התפשטות דומה לאופן שבו הוטמעו טכנולוגיות התפלה (מתוך אתר JBA Agritech).

זה מעניינת אשר יתכן ותבשיל בעתיד לכדי יישומיות היא זו של חוקר הסביבה פרופ' דיקסון דספומייר מאוניברסיטת לומביה בניו יורק. יוזמה זו מציעה הקמת חוות קלאיות אנכיות בגגות גורדי שחקים במרכזי ערים. בבסיס היוזמה גד הרעיון כי פיתוח קלאות אנכית יאפשר פיננסי שטחים קלאיים לשתילת צמחייה ייעודית בעלת יכולת ספיגת פחמן 'הה, וזאת תפחית את ריכוזי הפחמן הדו חמצני באזורים האורבניים. נוסף על כך, ניתן יהיה לגדל את המזון בסמוך קום שבו הוא נצרך, ובכך לחסוך בהוצאות וגם להפחית את כמות המזהמים הנפלטים במהלך ההובלה של תוצרת לאית (Despommeir, 2010). ייעוד החוות כפי שהוגדר בחזון הפרויקט הוא לצמצם את צריכת האנרגיה ולהגדיל תפוקת המזון במרכזי הערים אך כמובן ניתן לזהות ברעיון זה גם פוטנציאל לחסכון במים. תוכנית זו מהווה טפורמה קלאסית לשילוב של מערכות אקוופונית, שבהם גידול אנכי אינו מהווה מגבלה. יתרה מכך, מכיוון שהמערכות עדות להקמה על גגות ניתן לשלב אל תוך המערכת מתקנים לקציר גשם ומיכלי איסוף שיספקו את רוב צרכי המים 'המערכת. בעבר כבר נוסה רעיון הגידול בגגות במרכזי ערים כאשר חברת "אורגניטק" הישראלית פיתחה "מסוע זומטי" ייעודי לחוות גורדי שחקים (תמונה 8). במערכת זו נישאים מגשים צפים של צמחים בזרם איטי מעל לבריכות מ, תוך שהם עוברים בסדרה של מנגנוני הזנה מבוקרים. בתום מחזור של מספר שבועות הם מוכנים לקצירה.



נה 8 - מערכת מסוע אוטומטית לגידול אקוופוני בגגות גורדי שחקים (מתוך <http://www.popsi.com>)

זופוניקה בישראל

ז

ראל ממוקמת באזור צחיח למחצה, ומאופיינת בעונתיות ברורה - קיץ שחון וחורף בו נפרשת כמות המשקעים ונתית (כ - 500 מ"מ) על פני 4-5 חודשים. בישראל אין נהרות או גופי מים תוך יבשתיים למעט הכנרת, ולמרות ז נחשבת למובילה עולמית בייצור הקלאי בכלל, ובחקלאות מים בפרט. משבר המים בישראל מחייב פיתוח שיטות שניות ויצירתיות לחסכון במים. הגידול באוכלוסיית ישראל, בהמשך למגמה העולמית, מייצר קונפליקט מובנה: ד, עלייה בצריכת תוצרת הקלאית ומים שפירים, ומאיךך הידלדלות שטחים פנויים לגידולי שדה והידלדלות ומעותית של מקורות המים (Kolkovski et al. 2003).

לאות מים בישראל:

המדגה במים פנימיים בישראל פועל ברובו בבריכות עפר ומאגרים פתוחים. היקף הייצור השנתי בענף עומד על 18,000 טון (עופר, 2010). מקורות המים העיקריים לענף זה הם מים בדרגות מליחות שונות - נביעות, קידוחים שיטפונות. צריכת הדגים לנפש בעשור האחרון נותרה יציבה (כ 10 ק"ג/נפש/שנה) והגידול הכמותי שנרשם נובע ובו מגידול באוכלוסייה. הייצור המקומי מהווה 35% בלבד מהצריכה, ובשנים האחרונות נמצא בתחרות קשה מול ק הדגים המיובאים, דבר המחייב את המגדלים הישראליים להתייעל (שפירו, 2008). האמנון הינו הדג הנצרך ביותר ויק המקומי (42%), והעובדה שדג זה עמיד בטווח רחב של איכויות מים משתנות כגון מליחות, עכירות וערך הגבה, ניקה לו נקודות זכות רבות במערכות גידול בכלל ואקוופוניות בפרט, ואכן מיני אמנונים הם הנפוצים יותר בשימוש קוופוניקה (Rakocy and McGinty, 1989).

פ ניר פרוימן, מנהל תחום חקלאות מים פנימיים באגף הדייג של משרד החקלאות, אין כיום בישראל גידול מסחרי דגים בשיטות אקוופוניות (נספח 2). עם זאת, ישנן מספר חברות קטנות המציעות מערכות ביתיות למכירה וקורסים שיים בנושא. אחת החברות בהן ביקרנו היא חברת Livingreen הממוקמת בישוב בית הרות. בנוסף, קיימות רכות משולבות מסחריות לגידול אצות אורגניות, כדוגמת החווה המסחרית "סיקורה" שליד מכמורת בסמוך לשפך ל אלכסנדר. מקורות המים לחווה הם מים מלוחים הנשאבים מקידוח באר בעומק 70 מטר סמוך לשפך אלכסנדר כדי ימנע מזיהום ופסולת. בטרם הגעת המים לאצות, הם עוברים בבריכות של חלזונות וקיפודי ים ע"מ להעשירם פרשות שישמשו דשן לגידול אורגני של האצות. יש לציין שהמזון שמסופק לבע"ח הימיים מקורו באצות המגודלות מן, רעיון שניתן ליישום במערכות אקוופוניות לגידול דגים ובכך לחסוך הוצאות על מזון לדגים. בסוף התהליך המים שבים לים דרך נחל אלכסנדר. בעבודה זו נתמקד בשימוש יעיל בענף המדגה במים פנימיים ולא בחקלאות ימית. בוססת מים מלוחים.

בריכות "חצי אקוופוניות" בצפון הארץ:

להתמודד עם המחסור במים בישראל, הוקמו בעבר מאגרים לאגירת מי גשמים בעונת החורף לניצול חקלאי בעונת יץ. מאגרים כאלה הוקמו לראשונה בשנות ה-60 של המאה הקודמת בעמק חרוד לשרות הקיבוצים באזור, זקלאים המקומיים החליטו להשתמש בהם גם לגידול דגים בטרם הופנו המים לשימוש המקורי - השקיית השדות גטעים. אלה הן למעשה המערכות המשולבות הראשונות המנצלות את המים פעמיים. אך בשונה ממערכות ופוניות בהן ניתן להמשיך ולסחרר את המים בין שני הגידולים, במאגרים אלה לאחר השימוש השני – ההשקיה, ים אינם מנוצלים עוד (kolkovski et al, 2010).

כונ פוטנציאלי בבריכות דגים קונבנציונאליות:

ול דגים בשיטות קונבנציונאליות כגון מאגרים ובריכות עפר מייצר את מרבית תוצרת הדגים בחקלאות המים זראל (מוס, 2010). צריכת מים ממוצעת במערכות מסוג זה נעה בין 7 – 5 מ"ק/ק"ג דג. במערכות אקוופוניות יכת המים קטנה בסדר גודל ואף למעלה מכך. חסכון זה מתבטא בכ 3-5 מ"ק/ק"ג דג מיוצר, או 3-5 מלמ"ק לכל 10 טון דגים. במידה ונמיר מחצית מהיבול השנתי כיום, הרי שמדובר בחסכון של כ 45 מלמ"ק בשנה – כמות יקולה לזו שמפיק מתקן ההתפלה בפלמחים. בר לכך, יש לקחת בחשבון צמצום משמעותי של הנזק הסביבתי הנוצר ע"י מי הפלט המזוהמים. ע"פ דו"ח שהוכן ור עמותת צלול, מי הפלט עוברים כברירת מחדל לנחל הסמוך ומסכנים את מערכות הצומח והחי בנחל. מי פלט אלה ילים כמויות גדולות של שאריות חומרי הזנה ומזון שהדגים מפרישים, תרופות, כימיקלים, חומרים אנאורגאניים, קן, זרחן ומוצקים מרחפים. כמו כן, עלולים המים המזוהמים לחלחל למאגרי המים התחתיים ולזהם גם אותם. בדו"ח נגים שלושה פרויקטים שמספקים אומדן ראשוני של ההשקעות שיידרשו וההוצאות השוטפות לטיפול במי הפלט יבוץ מעגן מיכאל, אגן נחל חרוד ומוצא נחל דן (עופר, 2010).

מת המודל בעין שמר:

ממה של המוסד החינוכי "מבוא עירון" הנמצאת בקיבוץ עין שמר בוצעו ניסויים לגידול משולב של צמחים שונים דול אמנונים. החממה הינה הידרוסולרית, בה מורכבת מערכת דו-כיוונית לחילוף חום המבוססת על ריסוס אנכי של זות מים בקוטר 0.6 מ"מ מגובה של כ-3 מטרים אל בריכת דגים. מחליף החום מעביר במשך כל החורף עודפי חום וויר החממה ישירות למי בריכת הדגים. מעבר לכך, החממה אינה מאבדת מים היות שהמים המתאדים מתעבים חזרה מי הבריכה.

ת מהעבודות הראשונות שבוצעו במקום היה גידול תירס במגשי קלקר שצפו על מרזבי מי בריכת הדגים במשך 35 ם, מול גידול דומה במים רגילים כביקורת. התוצאות הראו כי אורך הגוף והמשקל היבש של התירס המושקה במי יכת הדגים היו גדולים יותר ב - 15.2 ו - 26.5 אחוזים בהתאמה. בעבודה נוספת נבדק גידול צמח הסלרי, אך הפעם

ל השקיה במי דשן. בתחילת הניסוי הצמחים שגודלו על מי הדשן צמחו מהר יותר, אך לקראת הסוף השיגו אותם מחים שגודלו על מי בריכת הדגים (טלטש ושות', 1999).

וּפּוֹנִיקָה בַּרְשׁוֹת הַפְּלִשְׁתִּינְאִית:

רויקט ניסוי שנערך במהלך 2011 באזור בית לחם נבדקה אקוופוניקה כמערכת בת-קיימא לגידול מזון ו/או עסק, היות וברשות הפלשתינאית הגישה למים למטרות פיתוח חקלאי הינה בעייתית. בנוסף, מערכות אלו הסכנויות קום ויכולות להיות ממוקמות כמעט בכל מקום – יתרון חשוב בעיקר לאזורים אורבאניים צפופים ומחנות פליטים. רויקט גודלו אמנונים בשילוב מספר מיני צמחי מאכל, בהשוואה לגידול מסורתי באדמה. נבדקו צריכת המים זשמל, מזון לדגים (טבלה 2) וייצור יומי של צמחי המאכל (טבלה 3). בתוצאות ניתן לראות יתרון ברור למערכת קוופונית בהיבט של צריכת מים (כמחצית), וייצור משמעותי של מזון היכול לשמש לצריכה אישית ואף למכירה. וּבְדֵה שֶהַשׁוֹרְשִׁים חֲשׂוּפִים כֹּל הַזְמַן לְמִים וְדֶשֶׁן מֵאִפְשֶׁרֶת שְׁתִּילָה בְּצִפִּיפּוּיּוֹת גְּבוּהוֹת יוֹתֵר וְלִכֵּן גַּם יָבֹול גְּדוֹל וְמֵהִיר ר. גידול בשיטות אקוופוניות מציע חסכון במים גם כאשר מדובר ביבול החקלאי (הצמחים), היות וטכניקות ירופוניות משתמשות ב 10-20% מהמים בלבד בהשוואה לגידול רגיל בשדה (Kotzen & Appelbaum, 2010). זֶרֶן הַמַּעֲרֶכֶת מֵתַבְטָא בְּצִרִיכַת חֲשֵׁמֶל וְעֵלוּיּוֹת מְזוֹן לְדָגִים (Viladomet & Jones, 2011).

Input	Aquaponic system	Soil patch
Water		
Total consumption (m ³)	8.81	19.
Daily consumption (L/day)	64.7	141.
Unit cost (ILS/m ³)	5	
Total cost (ILS)	44.04	96.
Daily cost (ILS)	0.32	0.
Electricity		
Total consumption (KWh)	310.08	
Daily consumption (KWh/day)	2.28	
Unit cost (ILS/KWh)	0.56	
Total cost (ILS)	173.64	
Daily cost (ILS)	1.28	
Food		
Total consumption (kg)	12.9	
Daily consumption (kg/day)	0.25	
Unit cost (ILS/kg)	8	
Total cost (ILS)	103.18	
Daily cost (ILS)	2	
Total cost (ILS)	321.36	96.
Daily running cost (ILS)	3.6	0.

לֵה 2 : צִרִיכַת מִים, חֲשֵׁמֶל וְעֵלוּיּוֹת מְזוֹן לְדָגִים בְּמִשְׁךְ 136 יְמֵי הַפְּרוּיֶקֶט (Viladomet & Jones, 2011)

	Number of plants	Value (ILS/kg)	Aquaponic daily production			Soil daily production		
			g/plant	g (total)	Value (ILS)	g/plant	g (total)	Value (ILS)
Basil	6	167	5.02	30.12	5.03	1.66	9.96	1.6
Mangold/chard	12	20	5.83	69.96	1.4	NA		
Tomato	6	4	35.6	213.6	0.85	8.3	49.8	0.1
Okra	2	17	14.88	29.76	0.51	1.19	1.19	0.0
Sweet pepper	4	4	7.82	31.28	0.13	1.06	4.24	0.01
Chilli pepper	4	5	0.33	1.32	0.007	NA		
Butternut squash	4	7	18.64	74.56	0.52	0.43	1.72	0.0
Melon	4	3.5	6.1	24.4	0.09	NA		
Total (ILS/day)					8.53			1.9

לה 3 : יצור יומי של מע' אקוופונית מול גידול באדמה במשך 136 ימי הפרויקט (Viladomet & Jones, 2011)

מוש במים מליחים בנגב :

זן שכמות המים המתוקים בעולם הולכת ומצטמצמת, גוברת חשיבות ניצול מי תהום מליחים ממקורות גיאותרמיים. מוש במים מליחים בגידול אקוופוני מציע הזדמנות לחסכון במים, ובו בזמן גידול דגים וצמחייה למאכל. בית המים הגיאותרמיים הזמינים בישראל נחשבים מלוחים מדי (8-12 ppt) בהשוואה למקובל (0-5 ppt), על אחת הוכמה כאשר המליחות במערכות מדגה גדלה עקב האיזוי. בערכי מליחות אלה גידול של גידולים רגישים אינו ים, אך גידולים כגון אבטיח, אספסת ועגבניות מוצלחים מאוד. "עגבניות מדבר מתוקות", זן ידוע שפותח בישראל ל ע"י שימוש במי תהום מליחים מבוקש מאוד בשוק המקומי והאירופאי (Kolkovski et al, 2010). דבר הנגב, למרות היותו אזור עני במשקעים ובמים עיליים, ישנם מאגרי מים מליחים תחתיים גדולים המוערכים - 200 מיליארד מ"ק.

חקר שבוצע לאחרונה בנגב נבדק השימוש במים מליחים לעומת מים שפירים במערכות אקוופוניות לגידול אמנונים מגוון ירקות, עשבי תבלין וצמחים אחרים. איכות המים המליחים והשפירים נוטרה במהלך הניסוי ונמצאה הולמת זפיקה לבריאות הדגים מצד אחד ולגידול הצמחייה מצד שני (Kotzen & Appelbaum, 2010). כל הדגים נשאו יאים לאורך הניסוי למעט מקרה בודד של תמותה במערכת המים המליחים. קצב גידול הדגים היה נמוך הן במים ליחים והן במים השפירים, ועמד על כ 1.4 גר/יום בלבד בהשוואה לקצב המקסימלי האפשרי (3.5 – 1.5 גר/יום) (Rakocy & McGinty, 198), אך מוקד הניסוי היה שמירה על בריאות הדגים. קצב גידול הצמחייה היה זהה בשתי ערכות, כאשר המינים המוצלחים ביותר הם : חציל, סלרי, פלפל חריף, סלק, בצלצלים, קולרבי, מנטה, פטרוזיליה :לין גרגר הנחלים. מינים שהצליחו חלקית : שומר, תות שדה ועגבנייה. מינים שלא הצליחו לשגשג : כוסברה, זים, לואיזה לימונית ותרד.

סקנה העיקרית מהניסוי היא שאקוופוניקה מבוססת מים מליחים מציעה הזדמנות לחסכון במים ע"י שימוש רק ב 10 – 20 מהמים בהשוואה לגידול מסורתי, ובאותו הזמן לעלייה ביבול.

"פ ערבה :

חילת העשור הקודם פותחו במו"פ ערבה מספר משקי מודל לגידול דגים אינטנסיבי במערכות אקוופוניות אפשרות ניצול של יתרונות האזור:

- כמויות גדולות של מי תהום מליחים זמינים.
- מזג אוויר חם במשך תשעה חודשים בשנה המאפשר תקופות גידול ארוכות של דגי מים חמים – למשל אמנון.
- מים ממקור גיאותרמי בשילוב חממות מאפשרים גידול גם בחורף.
- ריחוק גיאוגרפי מאפשר בידוד מגורמי מחלות שונים.

זאת שונות של אקוופוניקה פותחו ונבחנו במשך שנים רבות בקנה מידה שונה, ממערכות ניסוי פיילוט ועד להוות חת מהמערכות נמצא שהיבול החקלאי הוכפל בהשוואה לגידול רגיל. מעבר לכך, הגידול הושג ללא הוספת חומרי ברה, כך שניתן לשווק אותו בתור מזון אורגני וידידותי לסביבה (Kolkovski et al., 2003).

ילציה:

פ רבקה אופנבך ממו"פ ערבה, נערכו בעבר מספר ניסויים לשלב אקוופוניקה במשקים, אך הנושא לא התקדם בגלל בלות שהטיל משרד הבריאות (נספח 3). על פי מר דוד ויינברג, מהנדס ארצי לתכנון וקולחים במשרד הבריאות, תייחסות למי בריכות הדגים היא כאל שפכים הדורשים טיהור, ולכן השקיית גידולים רגישים כגון ירקות עלולה לסכן בריאות הציבור. במידה ומוודאים הרחקה של פתוגנים לרמה המקבילה לרמה הנדרשת בטיפול בשפכים סניטאריים 11 מושבות קוליפורמים ל 100 מ"ל) ניתן להשתמש בהם להשקיה בלתי מוגבלת. במידה ומדובר בגידולים שאינם אכל כגון כותנה, הדרישות אינן מחמירות וייתכן כי לא יידרש טיפול כלל. יש לציין כי ע"מ לקבל היתר יש להגיש ניות הכוללות הסבר הנדסי מפורט (נספח 4). במחקר על מערכות אקוופוניות המשלבות גידול אמנונים, חסה ותירד קסיקו, נמצא כי חיטוי אמין של המים יכול להתבצע ע"י שימוש בקרני UV (Gonzalez - Alaniz et al., 2011). רכות חיטוי UV מסוג Medium Pressure מאפשרות עבודה בספיקות גבוהות במיוחד ובעלות יכולת קטילה של כל י: החיידקים והוירוסים הידועים בענף גידול הדגים (עופר, 2010).

זרונות השיטה

ד יתרונות השיטה כפי שהוצגו כאן קיימים גורמים אשר עלולים להרתיע חקלאים וגופים ירוקים מלתמוך בשיטת ול זו:

זדן ערך נופי: בריכות הדגים הפתוחות וגידולי השדה מהווים חלק בלתי נפרד מתמונת הנוף במדינות רבות. הגידול ד בשטחים הבנויים רק מדגיש את הצורך בשמירה על שטחים ירוקים פתוחים. מערכות אקוופוניות מצריכות בד"כ ני חממה. החממה מבטיחה גידול יציב לאורך כל השנה, מונעת תנודות בטמפרטורה לאורך היממה, ומצמצמת ומעותית את אובדן המים כתוצאה מאידוי. אך יש לזכור כי משמעות השימוש בחממות היא אובדן הערך הנופי של זת הגידול, והמרתם במבנים חקלאיים תוך אובדן הערך האסתטי בנוף החלקאי.



זונה 9 : המחשה של אובדן הערך הנופי. <http://www.hof-ashkelon.org.il>

זכת אנרגיה: המערכות האקוופוניות המוצעות כיום אינן חסכוניות באנרגיה. מרכיב חשוב באקוופוניקה הוא שמירה הומאוסטזיס – יציבות פנימית קבועה של המערכת המשליכה באופן ישיר על התפוקות. לשמירה על הומאוסטזיס זת אנרגטית גבוהה. לאורך כל התהליך נדרשות מערכות ניטור ובקרה, נעשה שימוש במערכת משאבות ושמירה על פרטורה. במבט ראשון נדמה כי מערכות אקוופוניות הינן ידידותיות לסביבה – הן מצמצמות את כמויות השפכים וזרמים החוצה, מפחיתות את הצורך בדישון ובאנטיביוטיקות, חסכוניות במים ואורגניות. מאידך חשוב לזכור כי ערכת זו צריכת אנרגיה גבוהה בהשוואה לשיטות הגידול המסורתיות ויש להתחשב גם בתרומה העקיפה של שיטת ול זו לזיהום הסביבה. בנוסף, צריכת אנרגיה גבוהה מעלה באופן משמעותי את עלויות תפעול המערכת ומקטינה את דאיות הכלכלית של שיטת גידול זו.

זיות הקמה ותחזוקה: בהשוואה לשיטת הגידול המסורתית, לגידול בשיטה האקוופונית עלות הקמה ראשונית גבוהה. ישת הקמת חממות, השקעה במערך משאבות, אמצעי שליטה ובקרה, מיכלים לגידול דגים ואסדות לגידול הידרופוני.

ו כן, פוטנציאל התקלות גדול יותר ועלויות התיקון גבוהות במערכות מסוג זה המשופעות בטכנולוגיה. סוגיה זו ולה להוות גורם מרתיע במוטיבציה של חקלאים מלבצע את תהליך המעבר מחקלאות מסורתית לאקוופוניקה.

כּוּם

וק המים העולמי נתון לפתחו של משבר. המשך ההתנהלות הנוכחית יוביל בהכרח למחסור חמור במים במדינות ות וברור כי בתחום זה ידרשו רפורמות ושינויי התנהלות בעשורים הקרובים. יחד עם זאת, ההתקדמות במחקר זיתוח טכנולוגיה תומנים בחובם פוטנציאל רב להתמודדות עם הנושא. השערת המחקר שלאורה פעלנו הניחה כי זרה של מערכות קונוונציונאליות לגידול דגים במערכות אקוופוניות תוביל להתייעלות בצריכת המים בענף הדגה בישראל.

ודה זו נועדה לייצר את הבסיס לבחינת השערה זו. הנתונים שהוצגו מוכיחים כי בתכנון נכון ניתן כבר כיום לחסוך 90% מכמות המים לגידול דגים במעבר לשימוש באקוופוניקה, וזאת מבלי לכלול את התפוקות הנוספות של ערכת כגון גידולי שדה והפחתת שפכים. מערכות אקוופוניות מתוכננות באופן מודולרי, ויאפשרו בעתיד לקלוט וכן כל פיתוח חדש בתחום. אנו ממליצים לבחון בכלים מדעיים וכלכליים את הפוטנציאל של מערכות אקוופוניות יקף מסחרי כמרכיב בפתרון הכולל לסוגיית המחסור במים.

זלות המחקר שיהיה צורך לבחון :

מהו פוטנציאל ההמרה בארץ – מהם מקורות המים והכמויות שבשימוש ענף המדגה בארץ כיום?

האם קיימים מכשולים ליישום תהליך ההמרה בארץ (מבחינה טכנולוגית, גיאוגרפית, רגולטיבית)?

אילו גופי מים טבעיים בארץ ייהנו ממעבר זה?

מהן המשמעויות הסביבתיות והכלכליות של מהלך זה?

זות

נמחק: ׀
נמחק:

צוננו להודות למר מוטי כהן ומר תומר שגיא מחברת Living green על הסיוע באיסוף החומר והרשות לצלם וזה שבבעלותם. לפרופ' גידי חולתא מהמכון הוולקני אשר סייע ביצירת הקשר הראשוני עם ד"ר ג'יימס רקוצ'י. למר ווינברג משרד הבריאות ומר ניר פרוימן מאגף הדיג במשרד החקלאות אשר תרמו להבנת תמונת המצב בישראל יבטי רגולציה ועמדת משרדי הממשלה בנושא. תודה לאלון אלירן, מנחה הקבוצה על העצות החכמות והרעיונות קוריים אשר הובילו אותנו לויכוחים אין ספור, אך תרמו תרומה מכרעת לגיבוש התוצר הסופי כפי שהוא מוגש כאן. זה אחרונה וחשובה מכל לד"ר ג'יימס רקוצ'י מאוניברסיטת איי הבתולה אשר פינה מזמנו היקר להשיב על כל שאלה ורה עניינית, והעשיר אותנו רבות במידע שופע ומעניין.

צימת מקורות:

- טש ב, זמיר נ, פרץ י וגבע א. 1999. ניצול יעיל של מים באמצעות גידול דגים וצמחים בחממה משולבת. מים שקייה, גליון 387, עמ': 42-47.
- ס' נ. 2010. סיכום טכנו-כלכלי לפרויקט המדגה המתועש 2006-2009. משרד החקלאות ופיתוח הכפר אגף הדיג וקלאות המים הקריה החקלאית – בית דגן.
- ז' א. 2010. מי פלט בריכות הדגים סקירה וביחנה כלכלית ראשונית. צנובר – עובד גובי, קבוצת תכנון בע"מ עבור ותת "צלול".
- ז'רו ג. 2008. הדיג וחקלאות המים בישראל בשנת 2007. משרד החקלאות ופיתוח הכפר אגף הדיג וחקלאות המים ריה החקלאית – בית דגן.
- Al-Hafedh YS, Alam A, and Beltagi MS. 2008. Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *Journal of the World Aquaculture Society*. Vol.39, No. 4: 510-520.
- Agboola, J.I, Braimoh A.K. 2009. Strategic partnership for sustainable management of aquatic resources. *Water Resource Management* **23**:2761-2775.
- Blidariu F, Grozea A. 2011. Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Means of Aquaponics – Review. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*, **2**:44
- Davies, E.G.R, Simonovic S.P. 2011. Global water resources modeling with an integrated model of the social-economic-environmental system. *Advances in Water Resources* **34**:684-700.
- Despommier D., 2010 *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*.
- Diver, S. 2006. Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture. www.attra.ncat.org/attra-pub/aquaponic.html, [Accessed January 1, 2012].
- González-Alanis P, Gutierrez-Olgún JI, Castro-Segura I et al. Food safety study of leafy greens irrigated with Tilapia farm effluents in Tamaulipas. 2011. In: Better science, better fish, better life. Proceedings of the ninth international symposium on Tilapia in aquaculture.
- Jones S. 2002. Evolution of aquaponics. *Aquaponics J* **6**: 14-17

Kolkovski S, Hulata G, Simon Y et al. 2003. Integration of agri-aquaculture systems – The Israeli experience. A Resource Handbook for Australian Industry Development. Edited by Gooley GJ and Gavine FM.

Kotzen B and Appelbaum S. 2010. An investigation of aquaponics using brackish water resources in the Negev Desert. *Journal of Applied Aquaculture*. 22: 297-320.

Pedrero F, Kalavrouziotis I, Alarcón JJ. 2010. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management* 97:1233-1241.

Popma T and Masser M. 1999. Tilapia life history and biology. SRC Publication No. 283. Stoneville, MS: Southern Regional Aquaculture Center.

Rakocy JE and McGinty AS. 1989. Pond culture of Tilapia. SRAC Publication No. 280. Stoneville, MS: Southern Regional Agricultural Center.

Rakocy JE, Bailey DS, Shultz K et al. 1997. Evaluation of a commercial - scale aquaponic unit for the production of Tilapia and lettuce. *Tilapia aquaculture: Proceedings from the fourth international symposium on Tilapia in aquaculture*. P: 357–372

Rakocy JE, Shultz RC, and Bailey DS. 2000. Commercial aquaponics for the Caribbean. *Proceedings of the 51st Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. P: 353-364.

Rakocy JE, Bailey DS, Shultz RS *et al.* 2004. Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. p. 676-690. *In: New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Held September 12-16, 2004 in Manila, Philippines.*

Rakocy JE, Masser MP and Losordo TM. 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics – integrating fish and plant culture. SRAC Publication No. 454. Stoneville, MS: Southern Regional Agricultural Center.

Viladomat L and Jones P. 2011. Development of aquaponic systems for space and water efficient food production in the occupied Palestinian territories.

Websites:

<http://www.jbauae.com>JBA Agritech website

http://www.wmo.int/pages/index_en.htmlWorld meteorological organization -

- 3700 - החומר הנחשף
 - nft - החומר שיהיה צריך - החומר שיהיה צריך
 - החומר שיהיה צריך

החומר שיהיה צריך

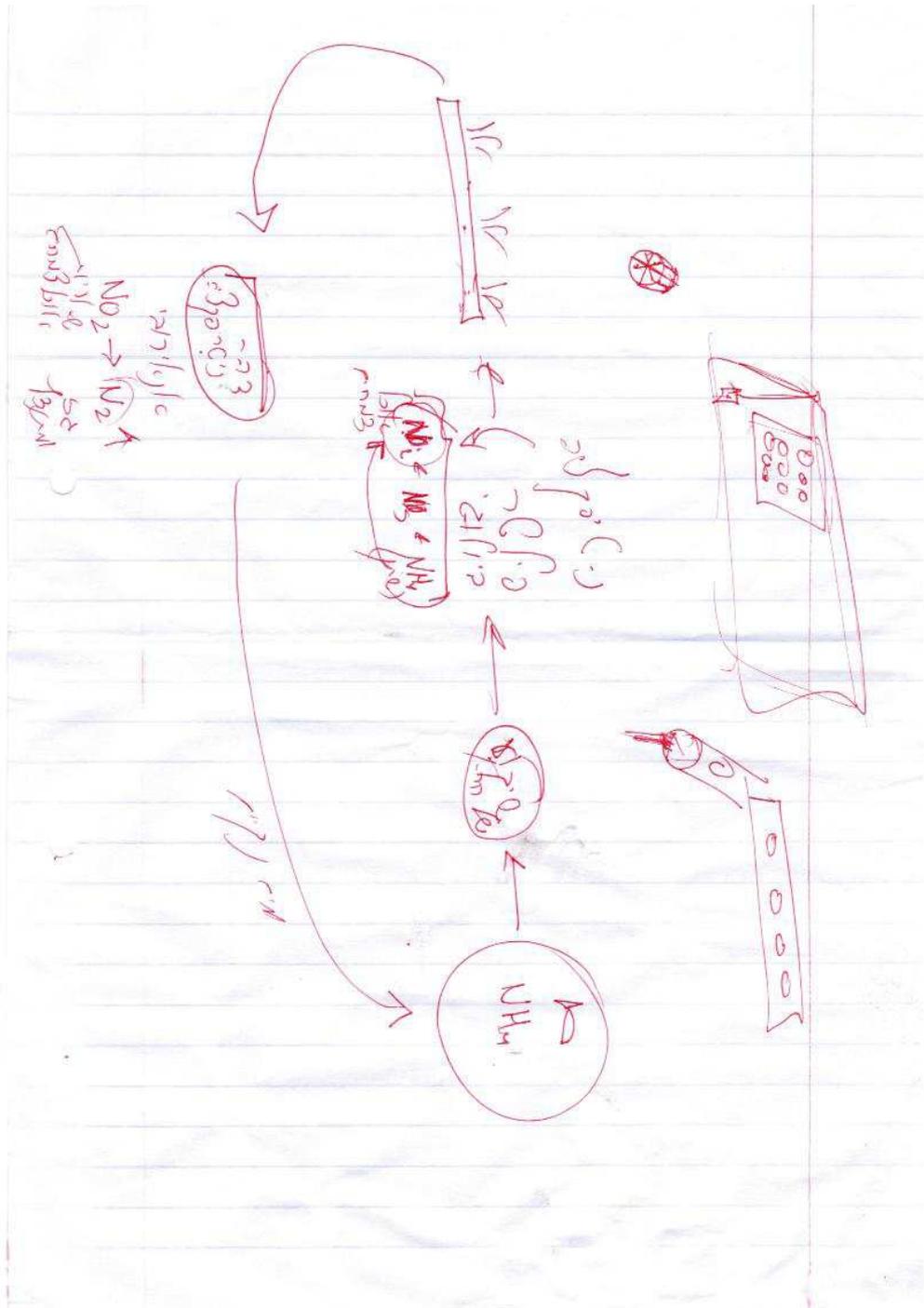
- 30% החומר שיהיה צריך - nft
 - החומר שיהיה צריך

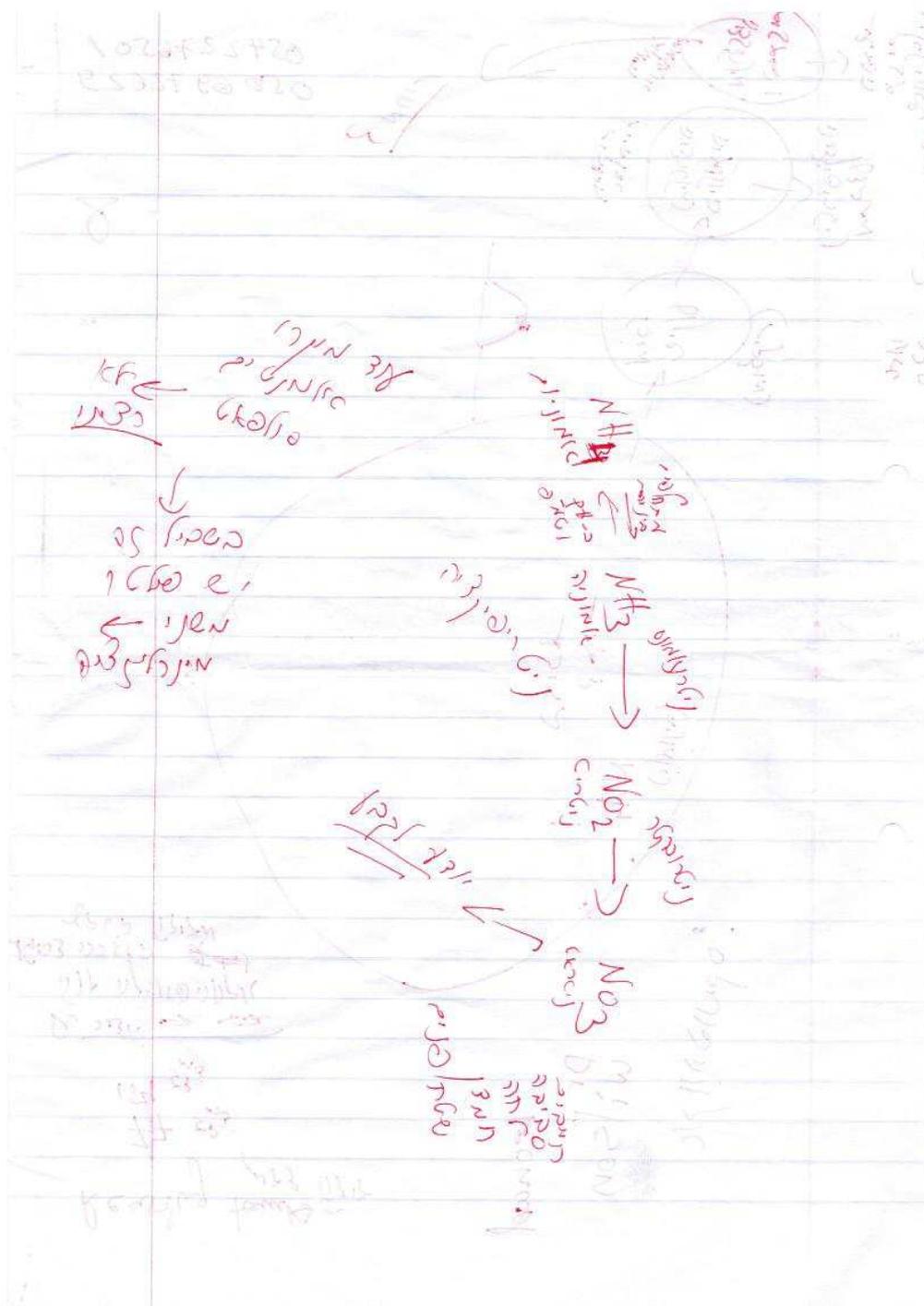
commercial hydroponics

הידרופוניקה
 - החומר שיהיה צריך (החומר שיהיה צריך)
 - החומר שיהיה צריך (החומר שיהיה צריך)
 - החומר שיהיה צריך (החומר שיהיה צריך)
 - החומר שיהיה צריך (החומר שיהיה צריך)

קצוץ
 - החומר שיהיה צריך - החומר שיהיה צריך
 - החומר שיהיה צריך (החומר שיהיה צריך)

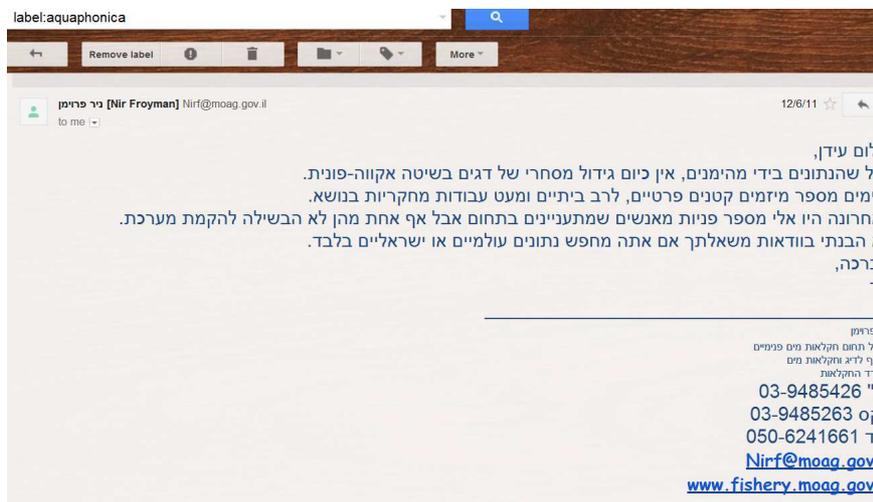
מטען - החומר שיהיה צריך, fcr
 - החומר שיהיה צריך (החומר שיהיה צריך)
 - החומר שיהיה צריך (החומר שיהיה צריך)
 - החומר שיהיה צריך (החומר שיהיה צריך)



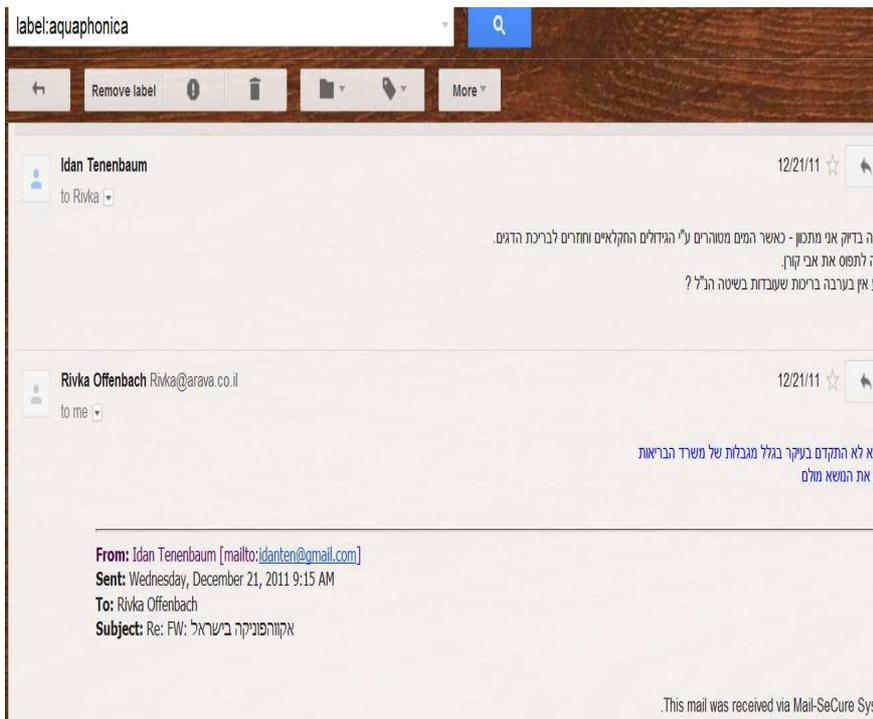


- 1906
 - 1907
 - 1908
 - 1909
 - 1910
 - 1911
 - 1912
 - 1913
 - 1914
 - 1915
 - 1916
 - 1917
 - 1918
 - 1919
 - 1920
 - 1921
 - 1922
 - 1923
 - 1924
 - 1925
 - 1926
 - 1927
 - 1928
 - 1929
 - 1930
 - 1931
 - 1932
 - 1933
 - 1934
 - 1935
 - 1936
 - 1937
 - 1938
 - 1939
 - 1940
 - 1941
 - 1942
 - 1943
 - 1944
 - 1945
 - 1946
 - 1947
 - 1948
 - 1949
 - 1950
 - 1951
 - 1952
 - 1953
 - 1954
 - 1955
 - 1956
 - 1957
 - 1958
 - 1959
 - 1960
 - 1961
 - 1962
 - 1963
 - 1964
 - 1965
 - 1966
 - 1967
 - 1968
 - 1969
 - 1970
 - 1971
 - 1972
 - 1973
 - 1974
 - 1975
 - 1976
 - 1977
 - 1978
 - 1979
 - 1980
 - 1981
 - 1982
 - 1983
 - 1984
 - 1985
 - 1986
 - 1987
 - 1988
 - 1989
 - 1990
 - 1991
 - 1992
 - 1993
 - 1994
 - 1995
 - 1996
 - 1997
 - 1998
 - 1999
 - 2000
 - 2001
 - 2002
 - 2003
 - 2004
 - 2005
 - 2006
 - 2007
 - 2008
 - 2009
 - 2010
 - 2011
 - 2012
 - 2013
 - 2014
 - 2015
 - 2016
 - 2017
 - 2018
 - 2019
 - 2020
 - 2021
 - 2022
 - 2023
 - 2024
 - 2025
 - 2026
 - 2027
 - 2028
 - 2029
 - 2030
 - 2031
 - 2032
 - 2033
 - 2034
 - 2035
 - 2036
 - 2037
 - 2038
 - 2039
 - 2040
 - 2041
 - 2042
 - 2043
 - 2044
 - 2045
 - 2046
 - 2047
 - 2048
 - 2049
 - 2050
 - 2051
 - 2052
 - 2053
 - 2054
 - 2055
 - 2056
 - 2057
 - 2058
 - 2059
 - 2060
 - 2061
 - 2062
 - 2063
 - 2064
 - 2065
 - 2066
 - 2067
 - 2068
 - 2069
 - 2070
 - 2071
 - 2072
 - 2073
 - 2074
 - 2075
 - 2076
 - 2077
 - 2078
 - 2079
 - 2080
 - 2081
 - 2082
 - 2083
 - 2084
 - 2085
 - 2086
 - 2087
 - 2088
 - 2089
 - 2090
 - 2091
 - 2092
 - 2093
 - 2094
 - 2095
 - 2096
 - 2097
 - 2098
 - 2099
 - 2100

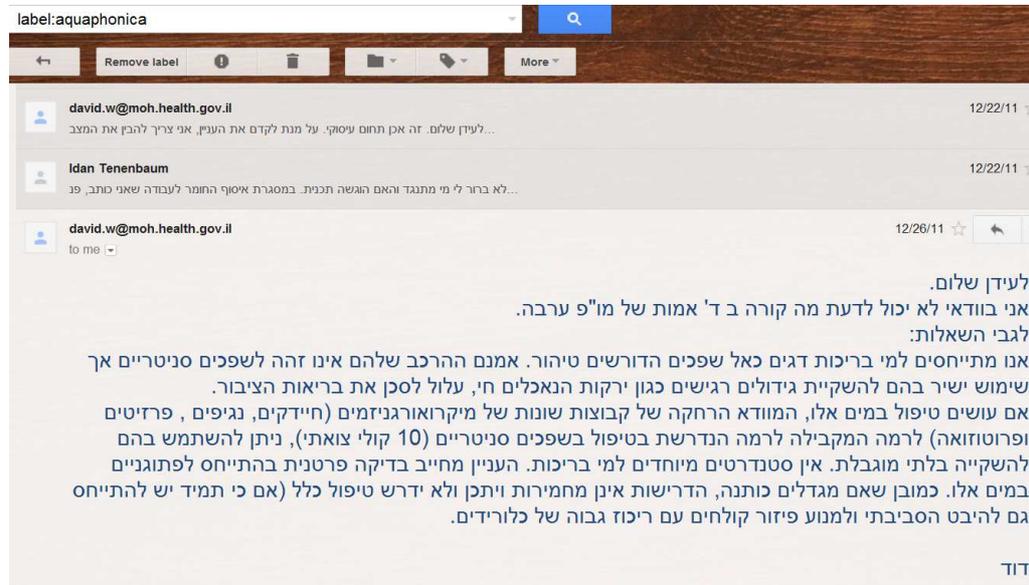
2: תכתובת דוא"ל עם ניר פרוימן, מנהל אגף חקלאות מים באגף הדיג של משרד החקלאות (דצמבר 2011).



3: תכתובת דוא"ל עם רבקה אופנבך ממו"פ ערבה (דצמבר 2011).



צפ 4: תכתובת עם מר דוד ויינברג – משרד הבריאות (דצמבר 2011).



החדרת מי נגר במרכז תל אביב



יפתח זיו 027365139

אורי מלר 066065707

לילך שטרסלר 021697826

קורס "פרויקטים בחקר הסביבה – תשע"ב"

ביה"ס ללימודי סביבה ע"ש פורטר

מרס 2012

מנחה: פרופ' אביטל גזית

חונכת: שרון בר לב

תוכן הענינים:

4	.....<u>תקציר</u>	1.
5	.....<u>מבוא</u>	2.
12	.....<u>רקע</u>	3.
34	.....<u>שאלת והשערת המחקר</u>	4.
34	.....<u>בחירת האתר - גן מאיר</u>	5.
38	.....<u>מטרות המחקר</u>	6.
42	.....<u>שיטות המחקר</u>	7.
47	.....<u>סיכום ומסקנות</u>	8.
48	.....<u>רשימה ביבליוגרפית</u>	9.

תודות:

שרון ברלב - דוקטורנטית בית ספר פורטר ללימודי סביבה. חונכת ומייעצת בפרויקט. על העזרה, היעוץ וההכוונה.

ירון זינגר - דוקטורנט במכון לערים רגישות למים באוניברסיטת מונאש, ויקטוריה, אוסטרליה. מייבא שיטת הביופילטר לישראל. על סיוע נרחב, אספקת נתונים עדכניים ומענה לכל שאלותינו.

חנן בונה - רכז עצים, אגף שפ"ע, עיריית ת"א. מקדם ומנסח עיקרי של מסמך תכנון רגיש למים בעיריית ת"א. על העזרה בנעשה בנבכי עיריית ת"א.

דוד ג'קמן - מנהל אגף תיעול, עיריית ת"א. על העזרה, הנתונים והנכונות לסייע.

1. תקציר:

אקוויפר החוף תורם למשק המים 240-300 מלמ"ק מים בממוצע בשנה, עובדה המייצבת אותו כספק המים השלישי בגודלו, אחרי הכנרת ואקוויפר ההר. ברם, כמות המים הזמינים לשימוש בו, הולכת וקטנה כתוצאה משני תהליכים – הקטנת המילוי החוזר עקב כיסוי פני השטח, וזיהום והמלחה של המים האגורים באקוויפר כתוצאה משימוש יתר באקוויפר עצמו ובשטח שמעליו.

בעיה זו לא נעלמה מעיני המתכננים, ובאמצע שנות ה-90 של המאה הקודמת החל תהליך שמטרתו שימור מי נגר אלו. מדיניות תכנון זו, שזכתה לשם "תכנון רגיש למים" (תר"מ), הביאה לכתיבת מסמכי תכנון לאורם אמורים לפעול המוסדות השונים. עם זאת, המדיניות העולה ממסמכי תכנון אלו מכוונת רובה ככולה לתכנון שכונה חדשה מן היסוד, ולכן נותנת מענה חלקי בלבד לעיר שהינה כבר מבונה ומפותחת.

במרכז תל אביב הבעיה חמורה במיוחד, שכן העיר מפותחת באופן מלא ושטחם של השטחים הפתוחים המאפשרים תפיסה של מי נגר הוא קטן ביותר. בחישוב גס, כ-17 מלמ"ק של מי גשם היורדים על פני שטחה של העיר תל אביב-יפו רבתי זורמים לים ואובדים לאקוויפר. במחקר זה אנו טוענים כי במרכז ת"א, כמו באזורים צפופים אחרים, השטחים הציבוריים הפתוחים (שצ"פים) ובפרט הגנים הציבוריים, מהווים את השטח הפוטנציאלי העיקרי לתפיסה וטיפול בכמויות מי נגר גדולות ברחבי העיר.

דא עקא, מי הנגר אינם ניתנים להחדרה כמות שהם. לאחר שזרמו ברחובות העיר ובמובלים, מים אלו מכילים מזהמים שונים כגון מוצקים מרחפים, מתכות כבדות, זיהומים אורגניים שונים ופתוגנים. מכאן שעל מנת להחדיר את מי הנגר יש לטפל בהם טרם ההחדרה. במחקר זה אנו טוענים כי מתקן הטיפול המתאים ביותר הינו ביופילטר המשלב טיפול ביולוגי ופיסיקלי למי הנגר, אשר הוקם בכפר סבא בשנת 2010 בהובלתו של מר ירון זינגר.

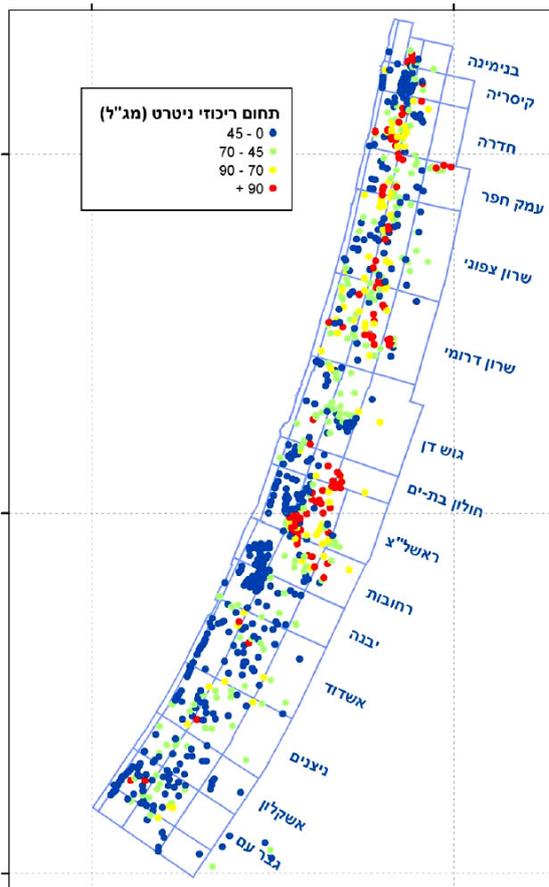
מטרת מחקר זה תהיה להקים מתקן שכזה באופן נסיוני, על מנת לבדוק את יכולתו לתפוס, לטפל ולהחדיר מי נגר בגן ציבורי במרכז ת"א. האתר שנבחר לביצוע הניסוי הינו גן מאיר, המשתרע על שטח של 35 דונם בליבה של ת"א. הגן, המצוי בשקע טופוגרפי בלב אגן ניקוז של כ-800 דונם, מהווה אתר אידיאלי לניסוי זה.

מחקר זה יגדיר את הבדיקות הנדרשות לצורך הקמת המתקן והמערכות עבור הניסוי – בדיקות קרקע, ספיקות מי נגר, עלויות הקמה, בחינת תועלות כלכליות, חברתיות ואקולוגיות. אנו תקווה כי ניסוי זה יוכיח את תועלתו הכלכלית כמו גם את תרומתו האפשרית לאקוויפר החוף ובכך ירים את תרומתו למאמצים הנמשכים להחדרת מי נגר בערים בישראל.

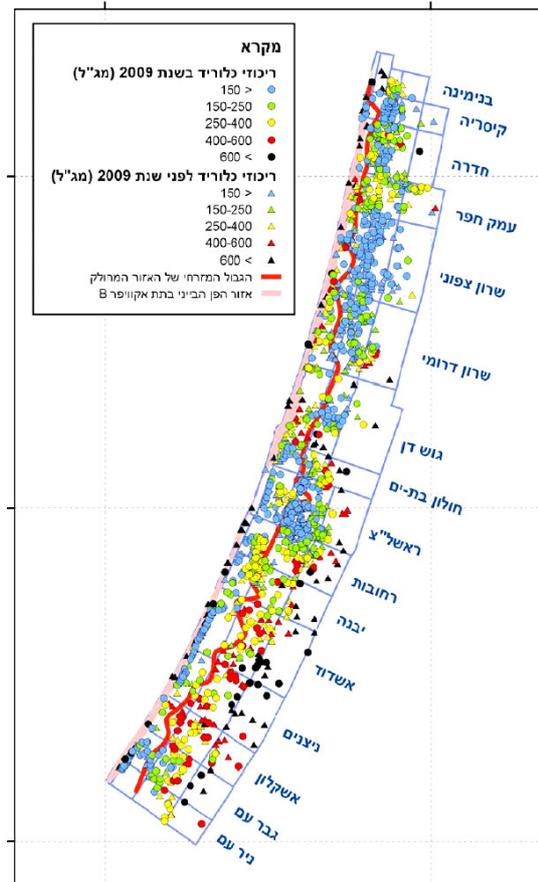
אזור המגע בין מי האקוויפר המתוקים למי הים המלוחים מכונה "הפן הביני" (איור 2.2). מפלס מי התהום הוא מעט גבוה ממפלס מי הים, וכמו כן המשקל הסגולי של מי התהום המתוקים נמוך יותר משל מי הים המלוחים, וכך מי התהום נותרו מופרדים ממי הים. הורדת המפלס של מי התהום עקב שאיבה מוגברת, הביאה להקטנת הלחץ של מי התהום על מי הים, וחדירת המים המלוחים לתוך המים המתוקים.



איור 2.2: הפן הביני.
מקור: אתר של מאוריסיו אזרצקי



איור 2.4: ר'
מתוך אתר רש



איור 2.3: ריכוז הכלור
2009 וב
מתוך אתר רשות המים ו

ממצאי קידוחים מן השנים האחרונות מצביעים על חדירת הפן הביני כ-1700 מטר מקו החוף, בניגוד ל-2000 מטר לפני מספר שנים. ב- 50% מאורך קו החוף מי הים חדרו כבר אל חלקו המערבי של האקוויפר שבו מרוכז למעלה ממחצית נפח השאיבה (נתונים רב שנתיים באגן החוף, רשות המים). שינוי האוגר בשנת 2006/07 (אמדן ראשוני) נאמד בכ- (-43) מלמ"ק. נפח המים באקוויפר נמוך בכ-600 מלמ"ק ממצב האוגר הדרוש לבלימת התקדמות הפן הביני ושחזור הזרימה הטבעית ממזרח למערב (מצב איכות מקורות המים בישראל, 2006/7, רשות המים). רשות המים מחלקת את אקוויפר החוף לתאי אוגר, המסומנים בקווים כחולים באיור 2.3. כל נקודה על המפה מסמלת קידוח. הקצב הממוצע של עליית ריכוז הכלוריד מאז שנות ה-60 הוא הוא כ-2 מג"ל לשנה. בתאים המזרחיים מרחובות ודרומה, ניתן לראות כי המליחות גבוהה במיוחד (400-600 או מעל 600 מג"ל) בתאים הדרום מזרחיים, וכן בשוליים המערביים של האגן כולו.

ריכוזים גבוהים של כלורידים במים אינם מהווים סיכון בריאותי, אך הם פוגעים בטעם המים ועלולים לגרום לנזק בריאותי עקיף עקב שתייה מופחתת של מים. ב-2007 עדכנה וועדת עדין את תקנות איכות מי השתייה בישראל, וקבעה כי ריכוז הכלוריד המירבי במי השתייה צריך לעמוד על 450 מג"ל (משרד הבריאות, 2007).

אקוויפר החוף הנו פריאטי בחלקו (חדיר למים מפני השטח) ועל כן רגיש למפגעי זיהום בפני הקרקע. האקוויפר ממוקם באזורים המאוכלסים ביותר במדינה, ועל מחשופיו, באזורי ההעשרה הטבעית, מתקיימת פעילות עירונית, תעשייתית וחקלאית. תנאים אלו מקשים מאוד על שימור האקוויפר באיכות מי שתייה. כיום, המודעות לשימורו גדלה וכן נצבר ידע על הסיכונים וגורמיהם. בעבר, לאורך שנים רבות סולקו מעליו שפכים עירוניים ותעשייתיים, באופן בלתי מבוקר (כרמון ושמיר, 1997). מרבית תרומת המלחים והמזהמים היא תוצאה של פעילות חקלאית (השקיה, דישון, הדברה), דליפות ממתקני ביוב וסילוק פסולת מוצקה, חלחול מאגני החדרה על פני השטח, תעשיות, קווי דלק, ופעילויות אנוש נוספות. חשוב לציין כי מלח או מזהם החודר מפני הקרקע ומוסע על ידי המים המחלחלים דרך האזור שאינו רווי במים, מגיע למי התהום רק כעבור מספר שנים ולעתים אחרי עשרות שנים. "קצרים הידרולוגיים" הנובעים מפעילות אנושית כמו קדיחה או בנייה, יכולים לקצר באופן משמעותי את זמן ההסעה (נתונים רב שנתיים באגן החוף, רשות המים).

אחד האינדיקטורים לזיהום ממקור אנתרופוגני (דשן, ביוב) הוא החנקה (ניטראט, NO_3), המשמשת מדד כללי לאיכות המים. ריכוזים גבוהים של חנקה גורמים למחלת הכחלת אצל תינוקות, הנגרמת עקב תחרות בין חנקה וחמצן על אתרי קישור בהמוגלובין. בנחלים, ריכוז גבוה של ניטרט יכול להוביל למוות של דגים. בקרבת שפכי הנחלים לים, כמויות גדולות של חנקה יכולות להוביל לאאוטרופיקציה, גדילה בלתי מבוקרת של אצות המשנה את מבנה האקו-סיסטמה. החנקה מרוכזת בדרך כלל במי תהום, כיוון שבמים עיליים היא מסולקת בעזרת תהליכי דה-ניטריפיקציה (פרידלר וגרין, 2001). ריכוז החנקות הממוצע בקידוחי אקוויפר החוף בשנת 2009 עומד על 63.2 מג"ל והקצב הממוצע של עלייתו מאז שנות ה-70 הוא 0.7 מג"ל לשנה. ריכוזים גבוהים של חנקות (מעל 70 מג"ל) נמצאים בעיקר באזורי החקלאות הוותיקה שבין חדרה לרחובות, כלומר בחלקו המרכזי והצפוני של האקוויפר. ריכוזי חנקות נמוכים יחסית (פחות מ-45 מג"ל) נמצאים בעיקר בחלקו המערבי והמרכזי של דרום אגן החוף. ב-2007 עדכנה וועדת עדין את תקנות איכות מי השתייה בישראל, וקבעה כי ריכוז החנקות המירבי במי השתייה צריך לעמוד על 70 מג"ל (משרד הבריאות, 2007).

חשיבותו של אקוויפר החוף:

אם כן, אקוויפר החוף חשוף לזיהומים ממקורות אנושיים, ושאירת היתר הובילה גם להמלחתו. מכיוון שהאקוויפר יושב תחת האזור המיושב ביותר בישראל, לא ניתן למנוע את הבנייה מעליו, שמהווה מקור לזיהום מחד וחסימה של חלחול מי גשמים מאידך. כבר ב-1997 קבעו כרמון ושמיר במחקרם "הגנה על אקוויפר החוף הישראלי" כי "בשל כמות המים שהוא מספק, כושר האגירה והמיקום המועדף, יש למדינת ישראל אינטרס עליון בשימורו ובטיובו של אקוויפר החוף". (כרמון ושמיר, 1997).

כמות המים המותפלים בישראל עומדת כיום על כ-300 מלמ"ק בשנה בשלושה מתקנים להתפלת מי ים באשקלון, בפלמחים ובחדרה, ובמתקנים נוספים להתפלת מי מליחים. יעד ההתפלה בהתאם להחלטת ממשלת ישראל משנת 2008 הוא 600 מלמ"ק בשנה בהקדם האפשרי ו-750 מלמ"ק בשנה עד שנת 2020. בשנת 2013 כמות המים המופקת ממתקני ההתפלה השונים תעלה על 50% מכמות המים הנצרכת (מתוך אתר רשות המים). השילוב של הידרדרות כמעט בלתי נמנעת של איכות מי אקוויפר החוף, יחד עם התכנית הממשלתית והכספים המושקעים בהתפלה, מעלה שאלה בדבר נחיצותו של אקוויפר זה. אפשר לטעון כי במציאות העכשווית ניתן לוותר עליו. אך אקוויפרים בכלל ואקוויפר החוף בפרט ניחנים במעלות קריטיות, שאין להן תחליף.

מיקומו של אקוויפר החוף מתחת למרכזי האוכלוסין הגדולים מגדיל את ערך מימיו, משום שהם פטורים מעומס ההובלה מן המקור אל הצרכן. עלות ההובלה במקרה שמקור המים מרוחק יותר מהצרכן, כוללת הנחת צינורות לאורך יותר קילומטרים, נזילות ופיצוצים לאורך הקווים, תחנות הגברה (בוסטרים) לאורך הדרך, בניית ואחזקת בריכות השוואה, ועוד. מכאן שהדרך הזולה ביותר לאספקת מי שתיה לתושבי גוש דן, תהיה דרך אקוויפר החוף במידה ויהיה נקי ממליחות ומזהמים.

שימוש במי האקוויפר חוסך בהובלה, אך גם באחסון המים. לו היה עלינו לאחסן את מי הגשמים בהיעדר האקוויפר, הייתה לכך עלות לא מבוטלת המתבטאת בשווי השטח במדינה הסובלת ממחסור בנדל"ן, הקמת מאגרים ובריכות, תחזוקתם, ודאגה לאיכות המים במאגרים אלה. אקוויפר החוף מהווה מאגר תפעולי חשוב מכיוון שהוא היחיד היכול לאגור נפח מים גדול לתקופה רב-שנתית. ואכן, בשנים ברוכות מיוחדים לאקוויפר מים הנאספים ממאגרים אחרים בארץ וכן מי שיטפונות. בנוסף, אקוויפר החוף מהווה כיום מאגר לאחסון מי קולחין ומי התפלה, גם לטובת טיובם וגם במקרה של עודף מים. ללא הצורך לנקות את הזיהום הנגרם מפעילות אנושית, למאגר כזה אין כל עלות, ועצם השתייה בו משפרת את איכות המים. במידה ואקוויפר החוף ימשיך להזדהם, לא רק שלא ניתן יהיה לשאוב ממנו, גם לא ניתן יהיה להשתמש בו לאחסון מי קולחין או מי התפלה, כיוון שהוא יזהם אותם.

מים טובים לשתייה מכילים מינרלים חיוניים כגון סידן, כלוריד, מגנזיום, אשלגן, פלואור ועוד. אקוויפרים הם למעשה שכבות של סלעים שונים שבחריירהם נאגרים המים, ומכאן נקל להבין כי הסלעים תורמים מינרלים למי השתייה שלנו. מטרת תהליך ההתפלה הוא להוציא מן המים מליחים, אך בתהליך מסוננים החוצה גם מינרלים חיוניים לבריאותנו. וועדת עדין 2007 קבעה: "התפלת המים מקטינה את ריכוז כל מרכיבי המים, והיא עלולה לגרום להרחקה כמעט אבסולוטית גם של מרכיבים שיש חשיבות מיוחדת לקליטתם ע"י הגוף ממי שתייה". (משרד הבריאות, 2007). הוועדה קבעה כי המינרלים: סידן, מגנזיום, יוד ופלואוריד הם בעלי חשיבות מיוחדת במים, וקבעה כי יש להוסיף למי ההתפלה פלואוריד. בנוגע לשאר המינרלים, הוועדה קבעה כי יש לעקוב אחר בריאות אוכלוסיות הניזונות ממים מותפלים. (משרד הבריאות, 2007). על אף הידע הרפואי בתחום המינרלים, יהיה זה חוסר אחריות להטיל על המדענים את בחירת הרכב המים שאנו שותים, באותה המידה שנעדיף להסתמך על חלב-אם על פני פורמולות מלאכותיות. ברור כי למים טבעיים ישנן

מעלות רבות, שחלקן אף אינן ידועות. כל תושב החשוף למידע זה יעדיף שתיית מי תהום נקיים על פני מים מותפלים.

מעלה נוספת שיש לאקוויפר על פני מאגר מלאכותי, הוא חשיבותו האסטרטגית בשימורו כמאגר מים לשעת חרום. המאגר התת-קרקעי חשוף הרבה פחות לזיהומים בזדון או בשוגג, לא כל שכן לפגיעה פיזית בעת לוחמה. במצבה הביטחוני של מדינת ישראל יש לכך חשיבות מיוחדת.

אם נמשיך במגמה של דלדול אקוויפר החוף, הרי שלא ניתן יהיה לספק ממנו מים לתושבי המרכז. לפיכך, יהיה צורך להסיע את המים ממקורות צפוניים או לספק מים מותפלים. בשני המקרים מדובר באפשרות יקרה יותר, שכן אחזקת רשת המים נושאת עלויות כבדות. במקרה של מים מותפלים, הרי שהמחיר הסביבתי של שימוש בחשמל, שימוש בכימיקלים, שפיכת הרכז לים ועוד הופך את אספקת המים מאקוויפר החוף לרצויה אף יותר. ומסכמת תכנית האב הארצית ארוכת הטווח למשק המים, מיולי 2011:

"גם בעתיד יהוו מאגרי המים הטבעיים נכס אסטרטגי וישמשו כמקור משמעותי... למאגרים הטבעיים יש תפקיד חשוב כאוגר אופרטיבי במערכת הכוללת של ייצור וצריכה... למראית עין, חשיבותם של המאגרים הטבעיים יורדת עקב השינויים במשק המים, מכניסת מי-ים מותפלים ושימוש גדל והולך של קולחים לאספקה לחקלאות, אולם הם ימשיכו להוות מרכיב חיוני במערכת אספקת המים לאורך שנים, הן כמקור והן כאוגר אופרטיבי." (רשות המים, 2011).

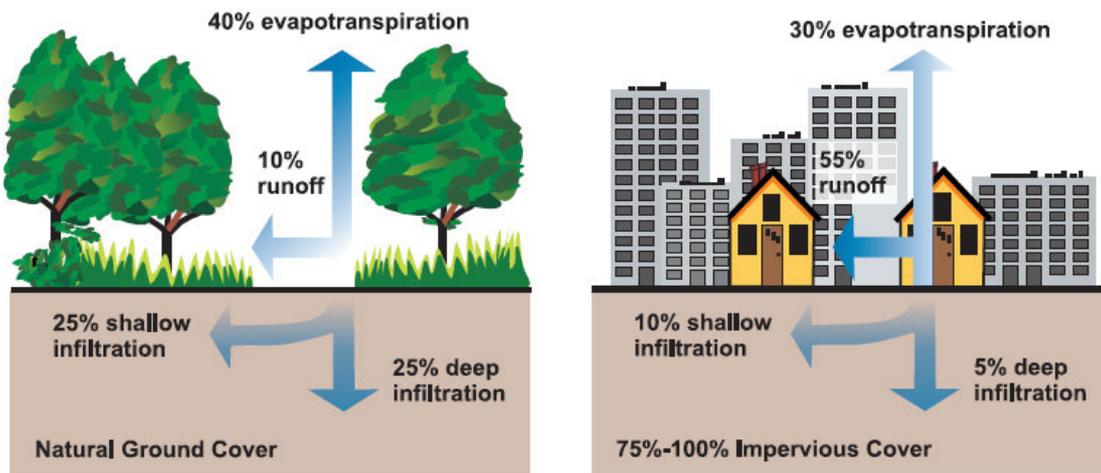
ב. תהליך העיור.

כאמור לעיל, יכולתו של אקוויפר החוף לשמר את תרומתו למשק המים תלויה, בין השאר, בזמינותם של שטחים פתוחים ונקודות החדרה דרכם יכולים מים ממקורות שונים לחלחל למי התהום. ברם, השטחים הפתוחים שמעל אקוויפר החוף הולכים ונאטמים על ידי בנייה אורבנית, עשירה במלט ובאספלט, אשר אינה חדירה למים. בעיה זו מוצגת במחקרים של פרופ' נעמי כרמון ופרופ' אורי שמיר (כרמון ושמיר, 2001) בהם הם מספקים נתונים מדאיגים אודות מצבו העתידי של אקוויפר החוף והשטחים הפתוחים המזינים אותו.

כרמון ושמיר התבססו במחקרם על הנתונים שהוצגו בתכנית האב "ישראל 2020" (מזור, 1997), ובו הם עורכים ניתוח של צרכי הפיתוח הצפויים עד לשנת 2020 מעל אקוויפר החוף ושל העקרונות המובילים של הפיתוח העירוני המקובל בישראל, כאשר לטענתם השילוב ביניהם עשוי להוביל להידלדלות וירידה קריטית באיכותו של אקוויפר החוף. זאת בהתבסס על נתוני ההתרחבות הצפויה באוכלוסייה המתגוררת על השטחים שמעל אקוויפר החוף, התרחבות משמעותה תוספת של כמיליון תושבים בין השנים 2000 ל-2020. בעקבות התרחבות זו צפויה התכסית האטומה מעל האקוויפר לגדול בצורה משמעותית – מתוך 1900 קמ"ר שמעל אקוויפר החוף צפויים 912 קמ"ר להיות שטחים אורבאניים מפותחים (כ-50%), הכוללים כ-500 קמ"ר תכסית אטומה (26%). בכך זו תהיה הכפלה של שיעור התכסית האטומה שמעל אקוויפר החוף משנת 1990. (כרמון ושמיר, 2001)

כרמון ושמיר מניחים כי ללא התערבות מיוחדת, מגמות הפיתוח העתידיות בערים לא יונחו בעיקרן על ידי שיקולים של הגנה על מי התהום אלא על ידי שיקולים כלכליים של פיתוח, התומכים ביצירת שטחים אטומים רבים, דוגמת מגרשי חניה ושטחים מרוצפים. עוד מראים ממצאיהם כי בהינתן ומתכונת פיתוח זו תימשך צפויים הפסדי החלחול לאקוויפר החוף להגיע לכדי 150 מלמ"ק בשנה, כמות שערכה מוערכת בין 30 ל-100 מילוני דולרים (כרמון ושמיר, 2001). מעבר לכך, מדובר בפגיעה קריטית ביכולת המילוי החוזר של האקוויפר וביכולתו לשמש כמקור מים זמין עבור ריכוזי האוכלוסייה שמעליו.

הערכות אלו מתבססות בין השאר גם על ההבדלים בין ניצולת מי הגשמים בשטחים טבעיים ואותה ניצולת בשטחים עירוניים בנויים. על פי נתוני הסוכנות להגנת הסביבה בארה"ב (EPA – Environmental Protection Agency), המוצגים באיור 2.5, פיתוח של שטח טבעי לכדי שטח עירוני בנוי משמעותו הפסד של כ-20% מסך מי הגשמים שהיו מגיעים למי התהום ועוד 15% שהיו מגיעים לתת הקרקע. סך הכל הפסד של כ-35% ממי התהום שהיו חודרים לקרקע. כתוצאה חל גידול משמעותי באחוז המים המומרים ממי גשמים לנגר עילי – עליה של 45% לסך של 55%.



איור 2.5: שיעורי חדירה של מי גשם בשטח טבעי ובנוי. מקור: Environmental Protection Agency

העובדה שיותר מחצי מכמות מי הגשמים שנופלים בשטח עירוני הופכים לנגר עילי היא בעלת משמעות רבה. ההשלכות הן עליה בכמות ובקנה המידה של ההצפות בשטחים העירוניים, הגורמת לנזקים ברכוש ואף בנפש, ובתמורה מחייבת השקעות מאסיביות בבניית ותחזוקת מערכות ניקוז גדולות יותר.

אך העלייה בכמות הנגר העירוני הופכת אותו גם למשאב יקר ערך ובלתי מנוצל לשיפור מצבו של האקוויפר. אמנם המצב כיום הוא שהרוב המוחלט של מי הנגר מובלים דרך מערכות הניקוז אל הים, תוך שהם מוסיפים חטא על פשע וסוחפים אליו לכלוך ופסולת עירונית, אך ניתן היה לנצל לפחות חלק מהמים האלו להחדרה לתוך האקוויפר ובכך לשפר את מצבו. אך בטרם נוכל לעשות כן, עלינו לבדוק מהי איכותם של מי הנגר העירוניים על מנת לקבוע אם הם ראויים להחדרה.

ג. טיפול בנגר.

מהנדסי הניקוז בארץ ובעולם רגילים לשים להם למטרה סילוק מהיר ככל האפשר של מי הנגר העירוני מסביבת המגורים וניתובם לים או לנחלים באמצעות מערכות תיעול בעלות ספיקה גדולה. בדרך זו הולכים לאיבוד בכל שנה מיליוני מ"ק של מים שחלקם הניכר באיכות טובה. המצב הרצוי הוא ניתובו של הנגר העל קרקעי הנוצר בעיר, באופן רגיש לשיקולי שימורו של משאב מי התהום. המשמעות הקונקרטית של תכנון רגיש כזה היא הגדלת ההחדרה לקרקע של מי גשם נקיים והקטנת הספיקות והנפחים של הנגר העירוני.

כאשר הנגר העירוני עובר דרך ארוכה, הוא אוסף בדרכו מזהמים, במיוחד בשטחי כבישים ואזורי מסחר ותעשייה. לפיכך, מי נגר עירוני יזהמו את הקרקע שמתחתם ואת מי התהום, אלא אם יעברו טיפול טיהור. שיקולים אלה מובילים למסקנה כי יש יתרון להחדרת מי הגשם היורד בעיר סמוך ככל הניתן למקום נפילתו.

נעמי כרמון ואורי שמיר, בעבודותיהם השונות החל מ-1997, ממליצים על איסוף נגר בתחום מגרש הבנייה הבודד. הם מכנים גישה זו "טיפול במי נגר על קרקעי והחדרה ברמת המיקרו". (כרמון ושמיר, 1997).

מאז הדיון בשיטה שהחל מהמחצית השנייה של שנות ה-90, חלו התפתחויות רבות בתחום. "המדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר עילי" בהזמנת משרד הבינוי והשיכון, בליווי משרד החקלאות והמשרד להגנת הסביבה, שיצא בשנת 2004, עוסק בתכנון רגיש למים של אזורים אורבניים חדשים על מגוון יעודי הקרקע שלהם. העיר החדשה, לפי חזונו של המדריך, תשתמש בכל השטחים הפתוחים, פרטיים כציבוריים, לתפיסת הנגר במקום ולהחדרתו באיכות טובה.

בהתאם לכך, ב-2007 פורסמה תכנית מתאר ארצית תמ"א 34 ב'4: תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים, איגום מים עיליים, החדרה, העשרה, והגנה על מי התהום. התכנית מנחה לגבי ניצול נגר בכל הרמות, ואמורה לחול על כל שטחי מדינת ישראל. בין היתר היא מחייבת השארת 15% מהשטח הבנוי פתוח להחדרה. כמו כן היא קובעת שהשטחים הציבוריים הפתוחים (שצ"פים) ישמשו לתפיסת נגר.

במקרה של הקמת שכונה חדשה, קל לתכננה כך שהנגר יאסף סמוך למקום היווצרותו, ויהיה באיכות טובה מספיק להחדרה ישירה. מכיוון שבעבודתנו אנו עוסקים בשימור נגר בעיר בנויה במיוחד, תל-אביב-יפו, אין אפשרות להתאים את כל או אפילו רוב חצרות הבתים לאיסוף נגר, ובטח שלא לתכנן את העיר מחדש כך שבנקודות הנמוכות בעיר ייבנו שטחי החדרה ציבוריים כפי שמציע המדריך של משרד הבינוי והשיכון. מכיוון שהנגר עובר מסלול עד לפתח התיעול בשטחה של עיר פעילה במיוחד, יש להניח כי הוא צבר מגוון מזהמים בדרכו, בניגוד לנגר "מקומי" שאותו מאשרת המדינה להחדרה ישירה מקומית.

החדרה אחראית של מי נגר עירוניים חייבת לשלב טיפול מקדים לטיהור הנגר לפני החדרתו. מיקום מיטבי של מתקני טיפול כאלה הוא בשטחים ציבוריים פתוחים, שם הם ישתלבו ללא פגיעה בנוף או בשימוש השטח האחרים. מובן כי בתוך עיר צפופה עלינו להשתמש בפתרונות low Tech המבוססים על סינון איטי, ללא רעש מנועים וללא השפעה שלילית על הסביבה. מים מאגן הניקוז של אזור נבחר בעיר יגיעו דרך מערכת התיעול הקיימת למתקן הטיפול, שם יעברו טיפול ידיותי לסביבה שיתואר בהמשך, ויוחדרו לאקוויפר כשהם באיכות מתאימה.

ד. סיכום המבוא.

אקוויפר החוף הוא אחד ממקורות המים הגדולים והחשובים במדינת ישראל והוא יושב מתחת לריכוז האוכלוסייה הגדול והצפוף בישראל, ריכוז אשר צפוי להמשיך ולגדול בצורה משמעותית בשנים הקרובות. כבר עתה סובל האקוויפר מבעיות של זיהומים הנובעים מפסולת ושפכים תעשייתיים, עירוניים וחקלאיים ומבעיות של שאיבת יתר, הגורמות לחדירת הפן הביני ולהמלחה של בארות מעבר ליכולת השימוש בהם. בעיות אלו צפויות להחמיר כתוצאה מתהליך העיור, אטימת התכסית שמעליו והפגיעה ביכולת המילוי החוזר של האקוויפר.

אך תהליכי העיור משמעותם גם עליה משמעותית בנגר העילי, ואלו למעשה הופכים למשאב מים בלתי מנוצל אשר עשוי לייצר פתרון חלקי לבעיה. זאת בתנאי שאיכות המים ומדיניות התכנון תאפשרנה את השימוש בנגר העירוני להחדרה לאקוויפר.

3. רקע

א. מדיניות לאומית.

הבעיה אותה אנו מציגים בעבודה זו, לפיה מגמות הפיתוח העתידיות מעמידות את אקוויפר החוף בסכנה, איננה חדשה ולמעשה נעשו מחקרים רבים בשנים האחרונות בתחום התכנון, על רמותיו השונות, בניסיון להתמודד איתה. אחד מאותם מחקרים הוא מחקרם של פרופ' כרמון ופרופ' שמיר אשר פיתחו כתגובה לבעיה זו ובמהלך שורה ארוכה של מחקרים, גישה חדשה וברת קיימא לניהול הפיתוח העירוני הנקראת **תר"מ – תכנון רגיש למים** (כרמון ושמיר, 1997, 2001, 2007). מהות הגישה הוא שילוב הפיתוח העירוני עם ניהול משאבי המים על מנת לוודא כי הבניה העירונית תיעשה תוך פגיעה מינימאלית בכמות ואיכות מי התהום (כרמון ושמיר, 2007). גישת תר"מ פותחה תוך התבססות על גישות דומות, דוגמת ה-Water Sensitive Urban Design, שפותחו באירופה, אוסטרליה, יפן וצפון אמריקה והתמרת העקרונות ליישום בישראל (הפניות לשורה ארוכה של מחקרים כאלו ניתן למצוא במאמרם של כרמון ושמיר מ-1997).

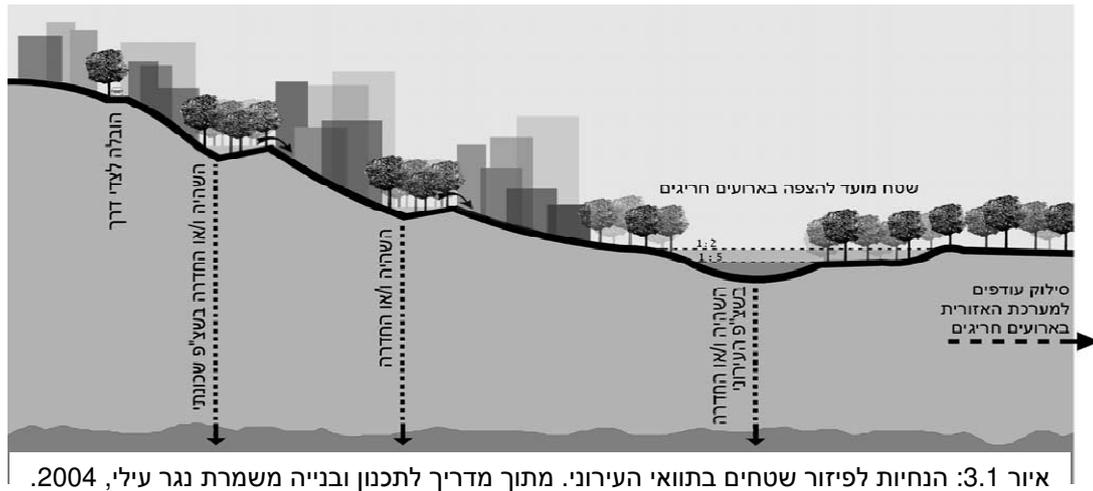
גישת התר"מ מדגישה שימור של משאבי המים בסביבה העירונית, מניעת סיכונים ונזקים הנגרמים ממים, כגון הצפות, ושיפור איכות החיים על ידי שימוש מושכל במים. כל זאת תוך עמידה בצרכי הפיתוח העתידיים של ישראל, או כפי שמציגים זאת כרמון ושמיר: "מטרת תר"מ איננה לעצור פיתוח ובנייה עקב שיקולי מים, אלא לאפשר בנייה רצויה מבחינה חברתית וכלכלית, גם באזורים רגישים כמו מישור החוף של ישראל". (כרמון ושמיר, 2007).

כרמון ושמיר מונים שורה של אמצעים בהם ניתן לפעול להאטה, אגירה והחדרה של מי הנגר ולנצלם לטובת האקוויפר, כולל התרת 15% מכל שטח המיועד לפיתוח בעיר על מנת שיהיו חדירים למי גשמים, והובלת המים משטחים בלתי חדירים הכרחיים, כגון מגרשי חניה, לשטחים ציבוריים להחדרה.

אך תר"מ מונה גם מטרות משנה כלכליות וחברתיות, ביניהן חיטון בבניית צנרת ניקוז, בתשלומים עבור מים, בעלויות ביטוח ותשלומי ביטוח הקשורים בהצפות, עליית ערך נכסי נדל"ן ליד נוף ירוק-כחול, פלטפורמה לפיתוח קהילתי ולפעילות חינוכית וגם פתרונות חירום למים בשעת חירום (כרמון ושמיר, 2007).

בשנים האחרונות החלה גישת התר"מ לתפוס מקום בולט בשיח התכנוני בישראל ולהשפיע גם על מדיניות התכנון ברמה הממשלתית והמקומית. אחת הדוגמאות הבולטות לכך הוא **המדריך לתכנון ובניה משמרת נגר עילי** שהוציאו במשותף משרד השיכון והבינוי, המשרד לאיכות הסביבה ומשרד החקלאות בשנת 2004. המדריך מיועד לאנשי המקצוע בתחום התכנון והבניה ומפרט את המטרות לשמם רצוי לקיים תכנון משמר נגר עילי. בין המטרות ניתן למצוא מניעת האבדן של מי הגשמים המשמשים להעשרת מי התהום הנגרם כתוצאה מהקטנת שטחים מחדירי מים, הקטנת ההשקעות במערכות ניקוז עירוניות חדשות ומניעת עומס יתר במערכות קיימות על-ידי הקטנת הנפח המנוקז ומניעת זיהום מי הנגר להחדרה על-ידי תפישתם בסמוך למקום היווצרותם (אנוש מערכות, 2004).

בנוסף, מפרט המדריך מהם הנהלים ותהליכי התכנון אותם יש לקיים על מנת לשמר נגר עילי בצורה היעילה והמועילה ביותר, כולל התייחסות לרמת התכנון הכוללני, דוגמת מיקום שטחי ההחדרה בתוואי העירוני על פי נתונים טופוגרפיים והידרולוגיים, והתייחסות לרמת התכנון הפרטנית, דוגמת שיטות שימור הנגר לסוגי אתרים שונים.



דוגמא משמעותית נוספת היא תכנית המתאר הארצית המשולבת לניהול משק המים מיולי 2007 – **תמ"א 34 ב/4**. ההבדל המשמעותי מהמדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר עילי הוא שבניגוד למדריך התכנון, תמ"א 34 ב/4 היא מסמך מדיניות מחייב. גם תמ"א 34 ב/4 מייחסת חשיבות רבה לשימור הנגר העירוני, כפי שניתן לראות במטרת התכנית:

"ליצור מסגרת תכנונית לאיגום מים, החדרה, העשרה והגנה על מי-התהום, המשולבת עם שימור וניצול מיטביים של מי הנגר העילי תוך הקטנת נזקי הצפות, וזאת על ידי: ייעוד שטחים למפעלי החדרה ולאיתרי החדרה ומתן הוראות לתכנונם; מתן הנחיות להקמת מאגרים להשהיה ולניצול ישיר של מי נגר עילי..." (תמ"א 34 ב/4, 2007).

תמ"א 34 ב/4 אף היא מהדהדת כמה מהעקרונות שהותוו על ידי מחקריהם של כרמון ושמיר, כגון הותרת 15% משטחי הבינוי בכל מגרש כך שיהיו חדירי מים, הובלת נגר משטחים בנויים לשטחים פתוחים לצורך האטה, אגירה והחדרה דרך שטחי חלחול ומתקני החדרה.

ההתקדמות ביחס לנגר העירוני המוצגת הן בגישת תר"מ כפי שניסחוהו כרמון ושמיר, הן במדריך התכנון מ-2004 והן בתמ"א 34 ב/4, היא משמעותית ועמוקה. ביטוי לכך ניתן למצוא בתכנית האב הארצית ארוכת הטווח למשק המים של רשות המים מיולי 2011:

"מבחינה מקצועית, תחום הניקוז נוהל במשך שנים בגישה המסורתית של ראיית הנגר כ"מים מזיקים" (כמוגדר בחוק הניקוז משנת 1957). רק ב-10 עד 15 השנים האחרונות, חודרת ההכרה כי הנגר הוא גם משאב, ולא רק מטרד הגורם לנזקי הצפות בשטחים הבנויים ופוגע בפוריותה של קרקע חקלאית. גישה חדשה זו מדגישה את התועלות הפוטנציאליות הרבות הטמונות בנגר, לטובת האדם והטבע, מעבירה את מרכז הכובד של ניהול הנגר למסגרת של אגן ההיקוות העל-קרקעי ומבטאת התחשבות מרבית בתנאים הטבעיים והאנושיים המקומיים." (רשות המים, 2011).

אך ככל שהתקדמות זו היא משמעותית היא עדיין מכילה מספר תחומים פרוצים ובלתי מטופלים.

ראשית, הן תר"מ והן מדריך התכנון מ-2004 (ובצורה חלקית גם תמ"א 34 ב/4) אמנם מתייחסות לבנייה קיימת, אך שמות את עיקר תשומת הלב על בנייה חדשה. ניתן לשער כי זוהי תוצאה של נקודת ההתייחסות המקורית של תר"מ, שהיא ביחס לתכנית האב העתידית של "ישראל 2020". קשה להתווכח עם ההנחה

שיישומה של גישת תר"מ קלה יותר לביצוע בבנייה חדשה ואף כנראה זולה יותר, אך התמקדות זו מפספסת את פוטנציאל ניצול מי הנגר הנאספים בשטחים הבנויים הקיימים, אשר למעשה גם מהווים את רוב השטח המבונה הצפוי ב-2020 על פי תכנית "ישראל 2020". אם רשות המים מעוניינת לעמוד באתגר שהציבה בפני עצמה לפיו "הגישה העקרונית לניהול ארוך טווח של מקורות המים הטבעיים תהיה שיקום ושימור המשאבים כערך אסטרטגי לאומי" (רשות המים, 2011, פרק ח', סעיף 4) הרי שביחס לאקוויפר החוף עליה לטפל בנגר גם בשטחים בנויים קיימים.

שנית, גם במקומות שבהם כבר ישנה חובה לבנייה משמרת נגר על פי חוק גם בשטח בנוי, כמו בתמ"א 34 ב/4, ישנן פריצות אשר הופכות את ההשתמטות מחוק זה לפשוטות וכדאיות. בסעיף 24 של אותה התמ"א ניתן פטור מכל חלקי הסעיף המחייב בנושא שימור נגר (סעיף 23.3) במקרים שבהם "התכנית חלה על מגרשים בהם הקרקעות אינן חדירות; התכנית חלה בשטחים בהם קיים חשש לזיהום מי תהום בגלל קרקע מזוהמת או מי נגר מזוהמים; מגמות התכנון באזור מכוונות לניצול תת הקרקע [...] בהיקפים שאינם מאפשרים השארת שטחים חדירי מים; מי התהום בתחום התכנית גבוהים וקיים חשש להצפות..." (תמ"א 34 ב/4, 2007, סעיף 24). במצב זה ניתן תמריץ לבעלי שטח פרטיים ולקבלנים, ובמיוחד במרכז הארץ היכן שערך הנדל"ן גבוה מאוד, לטעון שהקרקע בשטחם אינה חדירה למים ולאפשר לעצמם לבנות על 15% נוספים מהשטח.

חלק מבעית האכיפה של נושא הנגר נובעת מכך שהוא אינו מוגדר מנהלית בצורה ברורה. על כך נכתב במסמך רשות המים מיולי 2011 כי "תחום הנגר והניקוז סובל מכשלים מנהליים ומכשלים מקצועיים, אשר כתוצאה מהם נגרמו למשק ולחברה נזקים, הפסדי מים באיכות טובה והפסדי תועלות משמעותיות אחרות. ניהול הנגר והניקוז מובל כיום בעיקר ע"י משרד החקלאות. מבחינה מנהלית, תחום זה "נופל בין הכסאות" של משרדים ממשלתיים אחדים, רשויות ניקוז ורשויות מקומיות. גבולות האחריות והסמכות אינם ברורים וחסרות הנחיות והסכמות בדבר דרכי המימון של תשתית חיונית זו." (רשות המים, 2011, פרק ח', סעיף 10). משום כך אין זה מפתיע כי עיקר ההתקדמות בנושא התרחשה בערים שהחליטו לקחת אחריות ויוזמה בנושא ולא חיכו עד לגיבושם של כלי מדיניות ממשלתית מסודרים.

ב. סקירה של הנעשה בישראל בנושא ניהול נגר.

דו"ח "בחינה והתאמה של בניה משמרת מים בשיטת ה-LID בתנאי הארץ" משנת 2010 שהוגש לרשות המים ע"י לסטר וחובריו, בא לסקור ולמפות את כלל החסמים העומדים בפני ההטמעה והיישום של גישת ה-Low Impact Development (LID) בכל הנוגע לניהול נגר. גישת ה-LID הינה גישה לבניה משמרת מים, אשר מתבססת על עקרון חיקוי הטבע: החדרת הנגר בסמוך למקום היווצרו. הדו"ח כולל בדיקה מדגמית של מדיניות ויישום של ניהול נגר במספר ערים בישראל, בהתמקד במרחב גוש דן. הדוגמאות אינן רבות, אך בכל זאת עולה כי הרוח מנשבת לכיוון חשיבה הרואה בנגר משאב ולא מטרד. עיריות רבות נכונות לשתף פעולה עם הנחיות ותקנים של פיתוח רגיש למים.

רעננה: בשנת 2001 אימצה עיריית רעננה תקן בינלאומי לניהול סביבתי (ISO 14001), בכלל זה ניהול נגר. לעת עתה, הרשות העירונית אימצה את חיוב השארת שטח של 25% בתחום התב"ע לצורך החדרה, וזאת כצעד מחמיר ביחס להוראות תמ"א 34 ב/4 (שהמליצה על 15%). בימים אלו מתבצע תכנון של פיילוט ברמה העירונית לאיגום וניצול מי הנגר.

בוצעו מספר מיזמי פיילוט להחדרה מקומית ברמה השכונתית. דוגמה לכך היא פארק גורדון, שבו רוב השטח הציבורי הונמך טופוגרפית ביחס למבנים המקיפים אותו, תוך קליטת עודפי הנגר השכונתיים והחדרתם בסדרת קידוחי החדרה מקומיים בשטח הגן.

יש לציין שבחשיבה הכוללת לגבי תכנון עתידי לניהול הנגר העירוני, לא הובאה כלל האפשרות לשינויים במערכות הניקוז העירוניות. הדבר נובע מתוך החשש לאחריות המשפטית בגין נזקי הצפות ברכוש ובחיי אדם, ואין הרשות העירונית מוכנה לקחת על עצמה סיכונים בעניין זה.

כפר-סבא: בשכונה הירוקה החדשה בכפר סבא, שם הותקן ביופילטר לטיהור והחדרת מי נגר, נמצא שהיזמים מצטמצמים להנחיות תמ"א 34 ב'4 בלבד, תוך תכנון קידוחי החדרה מקומיים וכן השארת 20% משטח התב"ע להחדרה. התכנון אינו מתבסס על סקר גיאוי-הידרולוגי וללא כל מידע למצב האקוויפר באזור זה.

נמצא שתכנון מערכות הניקוז השכונתיות, נעדר כל התייחסות להשפעה האפשרית של קידוחי החדרה. כלומר, מערכות הניקוז מתוכננות לגודל המרבי, מבלי לקחת בחשבון את ההפחתה האפשרית בעודפי המים במרחב הציבורי.

חולון: עם פרסום תמ"א 34 ב'4, החלו בעיריית חולון לדרוש שלושה מרכיבים בתכנון ברמת התב"ע: השארת שטח של 15% ללא בינוי, תכנון רצועה לא מבונת בין שולי חניונים תת קרקעיים לבין גבולות המגרש וכן תכנון קידוחי החדרה בשטח התב"ע. בגלל תביעות על רטיבות תחת הקרקע היועץ המשפטי ביטל את החיוב בקידוחי החדרה.

בשכונת "נווה שושנים" בחולון: הפרויקט כלל תוכנית להרחבת שכונת מגורים קיימת, שבו באופן חריג למדי, נכלל אדריכל הנוף בתחילת תהליך התכנון הכולל של הפרויקט. נקיטת גישה תכנונית זאת, באה לידי ביטוי בקביעת יעודי הקרקע במרחב השכונה, תוך התייחסות לטופוגרפיה הטבעית ולכיווני זרימת הנגר במרחב. התכנית כללה מתחילתה: תכנון קידוחי החדרה מקומיים ברמת הבית הבוודד, תיעול עודפי הנגר לשצפ"ים לצורכי השקיה באמצעות פיזור וכן החדרה בשטח השצפ"ים באמצעות קידוחים.

יש להדגיש שלמרות התכנון מוטה הנגר ברמת הבית הבוודד והשכונה, עיריית חולון בחרה שלא לוותר על מערכת הניקוז העירונית, או להקטינה ביחס לנגר המטופל באמצעות סל האלמנטים שהוטמעו. זאת מתוך החשש לתביעות משפטיות בגין נזקי הצפות. טענת העירייה שהאלמנטים שאומצו, לא יאפשרו לטפל בשיאי גאות גבוהים, העשויים לנבוע מגשמים זעף בעוצמות גבוהות, כפי שקורה בשנים האחרונות.

הרצליה: הרצליה ידועה מבחינה היסטורית כאחד המוקדים לאורך מישור החוף, בהם היו בעיות ניקוז הודות לשכבות אטימות בחתך הלא רווי תחת התשתית העירונית. האתר הידוע בהקשר זה היא שלולית החורף העונתית, המכונה ה'באסה'. כיום שטח ה'באסה' הינו פארק עירוני גדול ומטופח, אשר מהווה גם אתר איגום למי הנגר העירוני. בעיר קיימים מספר מוקדים הסובלים כמעט מדי שנה מהצפות חוזרות ונשנות, וזאת כתוצאה מהימצאותם בשקעים טופוגרפיים. הרשות העירונית השקיעה ברבות השנים השקעות ניכרות בהתקנת מערכת ניקוז עירונית, על מנת לפתור את הבעיה, אך ללא הואיל. כיום הניקוז של חלק מהעיר מופנה ל"באסה", שם הוא עובר דרך תעלות לא מדופנות עד שמגיע לשלולית החורף עצמה, המקיימת מגוון רחב של מינים. נעשה ניטור לאיכות המים שקבע שאיכותם לאחר המעבר בתעלות מתאים לאיגום והחדרתם בחלחול טבעי.

ראש"צ: בשונה מערים רבות אחרות, בהן מוטלת האחריות לניקוז הנגר על הרשות העירונית, תאגיד המים במקרה זה קיבל על עצמו את האחריות לניהול הנגר והפך אותו למשאב כלכלי. הנגר מתועל באמצעות מערכת הניקוז העירונית, אל שטחי איגום והחדרה. קיימת הפרדה בין נגר שמקורו באזורי מגורים, לבין נגר שמקורו באזורי תעשייה, עם עומסי מזהמים גבוהים. שטחים ההחדרה מצויים ברצועת החולות שממערב לעיר. כיום שטחי האיגום קולטים את הנגר העירוני גם משטחן של נס-ציונה, חולון ובת ים, וכמו כן נגר מכביש 431. בתכניות תאגיד המים להרחיב את תיעול וניצול הנגר, עד ליעד של 80% מכלל שטח העיר ראש"צ. יתרת הנגר העירוני של העיר, מתועלת לנחל שורק וכן לנקז איילון.

המערכת הייחודית עלתה לתאגיד כ-14.5 מיליון שקלים, אך התחשיבים מעריכים כי הפעלתה תחסוך לעירייה כ-5 מיליון שקלים בשנה. ההתייעלות הכלכלית נסמכת בעיקרה על המשוואה לפיה מחירי המים צפויים להאמיר בעתיד, בעוד מי הגשמים הם למעשה ללא עלות.

בכל הערים שצוינו לעיל, ישנה חובה לקיים את הוראות תמ"א 34 ב'4. בכולן הבעיה הבולטת היא היעדר מנגנון הנדסי מקצועי ברשות העירונית, אשר יפקח על החלת החובה ברמת התכנון ויותר מכך, ברמת היישום. בהיעדר מידע גאו-הידרולוגי מפורט במחלקת ההנדסה ברשות העיר, יש הכרח להסתמך על מהימנותם של אנשי המקצוע האמונים על הכנת נספחי הניקוז, הצמודים לתב"ע. דווח לכותבי הדו"ח על מקרים בהם התגלה שמהנדס הניקוז או ההידרולוג קבע כי הקרקע אינה מחלחלת כלל על מנת להתחמק מעלויות התמ"א. גילוי זה מבהיר את חולשתה של המערכת העירונית ביישום הוראות ניהול הנגר.

עוד בעיה מרכזית העולה מן הדו"ח הוא קשיין של העיריות להקטין את מערכות התיעול או לאכוף הנחיות מסוימות, מחשש לתביעות בגין נזקי הצפה. (לסטר, 2010).

בנוסף, פרט לעיר ראשון לציון, אין כמעט התייחסות לשימור נגר מאזורים בנויים שלא ניתן להקצות בהם שטחי החדרה. כאשר ההחדרה כבר נעשית, היא מבוצעת במקום בעזרת בורות החדרה פשוטים, שניסיון העבר מראה שהם עלולים להיסתם תוך חורפים ספורים עקב סחף של אדמה.

ג. מדיניות עיריית תל אביב בנושא ניהול נגר.

בתל-אביב טרם נראו הישגים מעשיים הנוגעים להחדרת נגר, למעט מספר מצומצם של בורות החדרה פשוטים בכמה גנים ציבוריים בעיר. דוגמא כזאת ניתן לראות בגן פלדמן ביפו, שהיה מגרש כדורגל והיום הוא גינה ציבורית. הנגר זורם על דשא שמגיע בסופו של דבר לבורות החדרה מלאים חצץ. כאמור, בורות כאלה הוכיחו עצמם כלא יעילים בחלוף זמן קצר.

אנו רואים בגנים הציבוריים הרבים הפרושים ברחבי העיר כבעלי פוטנציאל גבוה לאיסוף נגר והחדרה. בראיון שערכנו עם הגב' יפה טל, מנהלת מחלקת הפרויקטים באגף לשיפור פני העיר (שפ"ע) בעיריית תל אביב, האמון על הגינות הציבוריות בעיר, עלו מספר נקודות. האגף פרסם באתר עיריית ת"א מצגת עם צילומי פרויקטים נבחרים לשנת 2010, ושם הבחנו כי הגינות הציבוריות החדשות שנבנות למעשה אוטמות עוד ועוד שטחים שנתרו ללא כיסוי בעיר (למשל ריצוף או כיסוי גומי רך במגרשי משחקים לילדים), ולא נותנות מענה להחדרת מי הגשמים. מענה הולם וזול לביצוע יכול להיות: הנמכת ערוגות הצמחים כך שישמשו לאיגום וחלחול איטי של מי הגשם, בורות החדרה פשוטים, הקמת הגינה באזור נמוך מהסביבה, חיפויים מחלחלים כמו חצץ ועוד. מסתבר שעל אף כל הנאמר בתמ"א 34 ב'4, אין האגף רואה בגנים הציבוריים שטחים פוטנציאליים לאיסוף נגר. ברוח זו, האגף רואה במי הגשם מטרד להולכי הרגל שיש לסלק. פתרונות פשוטים יחסית כמו הנמכה, מהווים בעיה עבור האגף מאחר וכלבי העיר הורסים את הערוגות ולכן דווקא מגביהים אותן. במקרים הבודדים בהם ישנה התייחסות לנגר, בתכנון גינות חדשות,

המענה המקסימלי הוא בניית בורות החדרה ישירה פשוטים המיועדים רק למים משטח הגן. באיסוף של נגר מחוץ לגן בשטח הגן עצמו, אגף שפ"ע אינו מתעסק כלל (יפה טל, ראיון אישי).

בשנת 2010 הציג ירון זינגר מאוניברסיטת מונאש באוסטרליה, דו"ח היתכנות לקליטת פרויקט הביופילטר בעיר תל אביב בפני מנכ"ל עיריית ת"א. מדובר בפרויקט שיוצג בהרחבה בהמשך העבודה, ובמרכזו הצבת ביופילטר בשטחים פתוחים נבחרים בעיר תל אביב, אליהם ייאסף נגר, ינוקה בשיטה זולה וידידותית לסביבה, ויוחדר למי התהום. אף על פי שהעירייה הייתה מיועדת להשתתף בפרויקט רק במחצית מעלותו, היא דחתה אותו. זאת בעת שבעיריות אחרות כמו כפר סבא, רמת השרון ובת ים, הסכימו להשקיע את הסכום. הסיפור בא להמחיש כי בעיריית תל אביב נושא שימור הנגר עוד לא הוטמע בקרב אנשי המפתח היכולים להטות את הכף לטובת תכנון רגיש למים. (ירון זינגר, ראיון אישי).

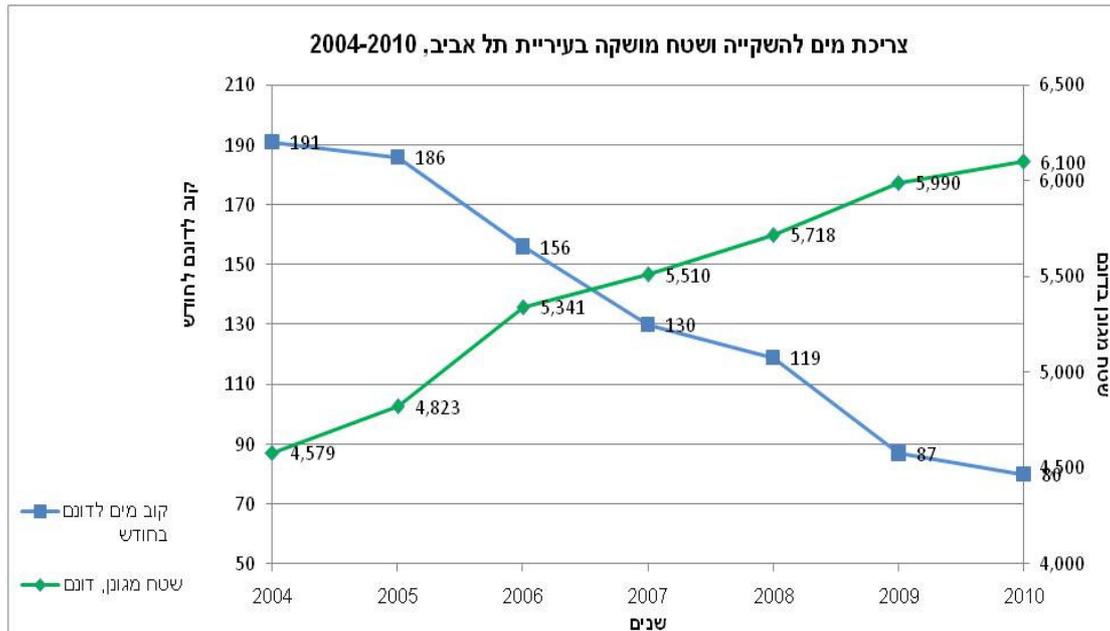
דו"ח "בחינה והתאמה של בניה משמרת מים בשיטת ה-LID בתנאי הארץ" מ-2010, בחן בין היתר את נושא שימור המים בעיר תל אביב. נמצא כי התכנון החדש מצליח לעקוף את הנחיות תמ"א 34 ב/4 בעזרת שימוש ציני בסעיף 24 של התמ"א, המעניק פטור מהחדרה במקרים מסוימים:

"בתל אביב, בדומה לערים אחרות שנבדקו, ישנה חובה לקיים את הוראות תמ"א 34 ב/4. דווח לנו על מקרים בהם התגלה שמהנדס הניקוז או ההידרולוג, שהתבקש לחוות את דעתו המקצועית לגבי אפשרויות ההחדרה המקומיות במסגרת נספח הניקוז, קבעו שהקרקע בתחום התב"ע אינה מחלחלת כלל. קביעת חוות דעת מקצועית זאת, הקנתה ליזמים פטור מחובת ניהול הנגר בתחום המגרש, שהמשמעות היא תוספת אחוזי בנייה ניכרים, על פני שטח שהיה מיועד לחלחול טבעי. גילוי זה מבהיר את חולשתה של המערכת העירונית ביישום הוראות ניהול הנגר.

הבעיה הבולטת היא היעדר מנגנון הנדסי מקצועי ברשות העירונית, אשר יפקח על החלת החובה ברמת התכנון ויותר מכך, ברמת היישום. בהיעדר מידע גאו-הידרולוגי מפורט במחלקת ההנדסה ברשות העיר, יש הכרח להסתמך על מהימנותם של אנשי המקצוע האמונים על הכנת נספחי הניקוז, הצמודים לתב"ע." (לסטר, 2010).

כלומר, כשמדובר בידיים פרטיות, האינטרס לעקוף את הנחיות תמ"א 34 ב/4 על מנת לצמצם עלויות בנייה והגדלת אחוזי הבניה, עולה על האינטרס הציבורי להצלת אקוויפר החוף, שתועלתו כלל אינה ברורה למי שאמור להשקיע כסף בהחדרה.

מראיון שערכנו עם גב' מיכל נהרי, האגרונומית הראשית של מחלקת גנים ונוף בעיריית תל אביב, עולה כי העירייה השקיעה מאמצים רבים לחסכון במים בשטחים הציבוריים ברחבי העיר, כבר משנת 2008. התרשים להלן מתאר את הירידה בכמות המים להשקיה שצורכת עיריית תל אביב בשטחים הציבוריים הפתוחים שברשותה, בין השנים 2004 ו-2010.



תרשים 3.1: הירידה בצריכת המים להשקיה בשצ"פים בתל אביב. עיבוד מתוך נתוני מחלקת גנים ונוף עיריית ת"א, שנמסרו על ידי הגב' מיכל נהרי בראיון אישי.

לפי תרשים 3.1 לעיל, ניתן לראות כי בעוד שכמות המים להשקיה לדונם ירדה פי 2.4 בין השנים 2004 ו-2010, כמות השטח המגונן עלתה בכ-1,400 דונם.

הסיבה העיקרית ליכולת העירייה להפחית את כמות המים להשקיה לדונם, היא המעבר למערכת השקיה ממוחשבת, יעילה ומבוקרת. במקום השקיה לפי זמן, כפי שהיה נהוג בעבר, כיום משקים לפי כמות מים. כמו כן, בגנים הציבוריים יש כיום העדפה לצמחים רב שנתיים, חסכוניים במים. פרחים עונתיים, הדורשים השקיה רבה, נשתלים רק באיי תנועה או במקומות אחרים בולטים לכל עין. העירייה עושה גם מאמץ לצמצם מדשאות לנוי, ולשמור רק על מדשאות המשמשות "לדריכה" - מנוחה, משחק, פיקניק וכיו"ב. (מיכל נהרי, ראיון אישי). מנתונים אלו ניתן להבין מהתמורות שחלו בגינון בעיר, שנושא החיסכון במים, הטומן בחובו גם חסכון בכסף, הוטמע יפה בעירייה.

לאחר הרפורמה במשק המים, שכללה הקמת תאגידי מים שבאחריותם אספקת המים והטיפול בביוב, נושא הנגר נותר על פי חוק בניהול העירייה. למעשה, ניהול הנגר נותר בידי אותם האנשים שתכננו את מערכות התיעול הכבדות, ומחזיקים בתפיסה הישנה של הנגר כמטרד. העירייה לא רואה מול עיניה את הפוטנציאל הכלכלי והאקולוגי שבהחדרת מי נגר.

הגוף היחיד נכון להיום, שהשכיל לתפוס את הפוטנציאל הרווחי של מי הנגר הוא תאגיד המים של ראשון לציון "מניב ראשון בע"מ", שבניגוד לרוב התאגידים לקח על עצמו גם את נושא הטיפול במי הגשמים.

החל משנת 1999 מי הגשמים נאספים לאגם הסופרלנד במערב העיר (כיום המים מגיעים מראשל"צ, חולון ובת-ים). מאגם הסופרלנד, מועברים המים ע"י משאבות לאגם הנקיק הנמצא דרומית לאגם הסופרלנד. בחלקו הדרום מזרחי של אגם הנקיק, באזור חולי, מחלחלים המים לאקוויפר. משנת '99 ועד 2008 חלחו כך 12 מליון קוב מי גשמים. באופן רגיל, רשות המים מטילה "היטל הפקה" שיצרן המים משלם לאוצר. עם זאת, במקרה של "מניב ראשון", התאגיד קיבל פטור מהיטל זה, מה שהגביר את רווחיות הפרויקט.

באוגוסט 2006 הניחו קו השקיה לפארקים במערב העיר. מיולי 2007 מושקים כל הפארקים והגינות הציבוריות במערב העיר במי גשמים. התאגיד קיבל היתר שאיבה מרשות המים של 1.5 מליון קוב בשנה.

כמות המים להשקיה היא 1.2-1.4 מליון קוב בשנה. המשמעות היא חסכון של 5 מליון ש"ח בשנה, כיוון שלמעשה לא קונים מים להשקיה.

השלב הבא בתכנית של "מניב ראשון בע"מ" הוא הפיכת מי גשמים למי שתייה. המים יטופלו, יוחדרו לאקוויפר, ולאחר מכן ישולבו במערך המים העירוני. כמות המים המתוכננת שתסופק בשנה היא 6-7 מליון קוב. גם כאן מדובר בחסכון ברכישת מי שתייה.

מאחר ועיריית תל אביב עשתה עבודה יפה בכל הנוגע להפחתת כמויות המים להשקיה, כיוון שהחיסכון הכספי הינו מיידי, אנו מאמינים כי לו החדרת מי נגר היתה מתוגמלת באופן ישיר, העירייה היתה פועלת באופן דומה. אם תמיכת רשות המים כפי שנעשה עם תאגיד "המניב ראשון בע"מ", תובטח, שימוש במי נגר מטופלים להשקיה, או החדרת מים באיכות טובה לתוך האקוויפר, יכולה לחסוך לעירייה כסף רב ובכך לעודד את מקבלי ההחלטות לפעול בדרך זו. במקרה זה יושג חסכון כספי בטווח המיידי, מעבר לחיסכון בטווח הארוך הכרוך בשימור אקוויפר החוף כמקור למים איכותיים.

יחד עם זאת, ראוי לציין מספר יוזמות לשינוי מחשבתי בעירייה. הראשונה היא הכנת תכנית המתאר לעיר תל-אביב (תא/ 5000) שטרם הושלמה, ובה צפויה להיות התייחסות מפורטת לנושא אקולוגיה עירונית. כותבי התכנית הציבו בין שאר יעדיה, להתייחס לנושא צמצום הנגר העילי ושימורו, וכן נקיטת אמצעים להחדרתו לקרקע לטובת העשרת האקוויפר, וכל זאת כנגזרת מתוך הוראות תמ"א 34 ב'4.

יוזמה אחרת היא של צוות מקצועי שהורכב אד-הוק לצורך הכנת מסמך מנחה בנושא בנייה משמרת מים. הכוונה היא לענות על הצורך של היעדר הנחיות מפורטות לבנייה, הן מבחינה טכנולוגית והן מבחינה מנהלית. את המהלך מקדמים מר חיים גבריאל ומר חנן בונה, מאגף שפ"ע עיריית ת"א. יש לציין כי מר חנן בונה, יוזם המהלך, הוא רכז העצים בעירייה והחל בתהליך כשראה שתמ"א 34 ב'4 אינה נאכפת כלל בעיר. מה שהחל כיוזמה של איש שהנושא יקר ללבו מטעמים אישיים, אמור בסופו של דבר להפוך להנחייה של העירייה. הכנת המסמך הנמשכת כבר 4 שנים, טרם הסתיימה והוא טרם נדון במסגרת הועדה המקומית. עם סיום ההליך, יש כוונה לצרף את ההנחיות לתיק המידע לכל המבקש לבנות, כהנחיות מחייבות לבניה בתל אביב-יפו. המהלך אמנם מתקדם באיטיות, אך לכשיצא לפועל יוכל להשפיע השפעה אמיתית ומורגשת על ההתייחסות לנגר בעיר (חנן בונה, ראיון אישי).

ד. מרכז ת"א - הבעיה בהתגלמותה.

בתל אביב, בעיקר במרכז העיר, בעיית הטיפול בנגר חמורה במיוחד. על פי המדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר עילי 2004 (הדגשה על ידי המחברים): "חשוב שהשצ"פים, בעיקר הגינות הפנים שכונתיות, ישמשו לתפקוד רב תכליתי הכולל את הקליטה אגירהו השהייהו החדרה של המים, בין יתר התפקודים של השטח: פנאי ומשחק וצרכים אקולוגיים" (אנוש מערכות סביבתיות, 2004).

תמ"א 34 ב'4 קובעת השארת 15% משטחו של כל מבנה חדש להחדרת נגר. אך מרכז העיר תל אביב מורכב משכונות וותיקות שכמעט ולא נותר בהן שטח לתכנון מחדש. פירושו של דבר הוא שבנייה של שטחים ציבוריים בהתאם למדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר עילי, או השארת 15% משטח המבנה לחלחול, אינם אפשריים.

שווי הנדל"ן בעיר גבוה ביותר, מה שמעניק לקבלנים סיבה נוספת לנסות ולהתחמק מתמ"א 34 ב'4. בנוסף, כפי שהראינו בפרק הקודם, העירייה עדין אינה מוכוונת לטיפול בנגר ומאפשרת לקבלנים להתחמק בקלות מדרישות התמ"א.

אם מסתכלים על שטחי מרכז העיר הפתוחים היכולים לשמש לחלחול, הרי שאין הרבה כאלה- כיסוי השטח האטים המחובר במרכז העיר הוא גבוה, מעל 50% (קסלר, 1996), כך שבעת סופה, מי הגשם מציפים את הכבישים והאזורים הנמוכים, מופנים למובלי הניקוז שלעתים לא עומדים בעומס, ורק מיעוט המים נספג בשטחים הפתוחים.

המחשה טובה של כמויות מי הגשם שנשפכות לים במרכז העיר, מתקבלת מצפייה בתמונה 3.2, שצולמה ע"י יפתח זיו ב-1 בפברואר 2012, בעת ארוע גשם. התמונה מראה את פתחו של אחד המובלים העיקריים המוביל מי נגר אל הים. ניתן להבין בנקל שתפיסה אפילו של חלק מהמים האלה במהלך החורף, היתה משפרת את מאזן המים לטובת האקוויפר מתחת לעיר.



תמונה 3.2: פתח מובל התיעול בחוף טרומפלדור בחוף המרכזי של ת"א בעת ארוע גשם, 01/02/2012. צילום: יפתח זיו.

בשנים האחרונות קיימת תופעה הולכת ומחמירה של זיהום מי התהום באקוויפר החוף במחוז תל אביב. התופעה הביאה עד היום לפסילתם של המים ב- 96 קידוחים למי שתייה מתוך 166 קידוחים שהיו במחוז ב-1980. מתוכם 4 בארות בשנתיים האחרונות: ב-2010 נפסלה באר צור בתעש עקב פרכלוראט, באר 2 קריית אונו עקב חנקות. ב-2011 נפסלה באר צהלה בת"א עקב פרכלוראט ובאר צהל 6 הרצלייה עקב חנקות. (משרד הבריאות, 2012).

על פי תרשים 3.2 להלן, הגורם העיקרי לפסילת בארות מי שתייה במחוז תל אביב, היא זיהומי חנקה (ניטרט), שהיא תוצר פירוק של חומרים אורגניים חנקניים ע"י בקטריות בקרקע ובמים.

הערות	מספר קידוחים למי שתייה שנפסלו לשתייה, 1980-2011	גורם הזיהום
מתוכם 4 חרגו גם בכלורידים, 3 גם במתכות ו-1 גם במיקרומזהמים אורגניים	32	חנקות
מתוכם 1 חרג גם בחנקות ו-3 גם בפרכלוראט	21	מיקרומזהמים אורגניים
מתוכם 4 חרגו גם בחנקות	13	המלחה באקוויפר
מתוכם 3 חרגו גם במיקרומזהמים אורגניים	9	פרכלוראט
מתוכם 1 חרג גם בחנקות	8	מתכות ורעלים
	11	בעיות טכניות / סיבות לא ידועות
	2	זיהום סניטרי (שפכים)

תרשים 3.2: טבלה המציגה את התפלגות הבארות שנסגרו במחוז ת"א בין השנים 1980 – 2011 לפי סיבת הסגירה. נתונים: משרד הבריאות, 2012

21 בארות נסגרו עקב המצאות מיקרו-מזהמים אורגניים. מיקרו-מזהמים אורגניים כוללים 4 קבוצות: מיקרו-מזהמים נדיפים כמו דלק, חומרי הדברה כמו לינדן, טריהלומתאנים שהם כלורו-אורגניים או ברומו-אורגניים העלולים להיווצר במים כתוצרי לוואי של תהליך החיטוי, וחומרים נוספים הנמצאים בתוספת 7 לתקנות מי השתיה בישראל (פרידלר וגרין, 2001). הנסתר עולה על הגלוי בכל הנוגע להשפעתם המיקרו-מזהמים על בריאות האדם והסביבה. פרכלוראט הוא עוד מיקרו-מזהם, שעיקר מקורו הוא בתעשיית חומרי הנפץ (מפעל תע"ש ברמת השרון). 13 בארות נסגרו עקב המלחה, תוצאה של שאיבת יתר ומחסור במילוי חוזר, עקב זריקת מי הגשם לים.

סגירת הבארות במחוז תל אביב מראה עד כמה מצב האקוויפר זקוק לשיקום, באזורים המיושבים ביותר בארץ. יש צורך בניקוי הזיהום הקיים במים ובאכיפה הדוקה יותר למניעת זיהומים נוספים, אך גם בהשבת המילוי החוזר של האקוויפר במי גשם. מכיוון שהעיר תל אביב היא עיר אינטנסיבית מבחינת תנועה, מסחר ותעשייה ואף המצאות חיות מחמד, מובן מאליו שהנגר הזורם בשטחה אינו נקי ממזהמים. ענין זה מקשה על ביצוע ההחדרה בכל מקום נתון, בעיקר אם המים עברו כברת דרך בתוך העיר ולא מוחדרים מיד במקום נפילתם.

העיר תל אביב, אם כך, מציבה מספר אתגרים בבואנו לנהל את הנגר שבשטחה- כמות השטחים הפתוחים היא מצומצמת וכל מטר רבוע הוא בעל חשיבות, המצב האקוויפר הולך ומרע, הנגר בכמויות גדולות ואיכותו, אם כי טרם נבדקה, בוודאי אינה ראויה להחדרה ללא טיפול.

ה. שטחים ציבוריים פתוחים – שימושים ומטרות.

לאור גודל המכשלות במרכז תל אביב, עולה השאלה היכן יהיה מתאים ביותר במרכז העיר לטפל בנגר העירוני. מבט חטוף בתצלום לוויין של מרכז העיר (תמונה 3.3) נותן את התשובה באופן בולט:



תמונה 3.3: תמונת מרכז העיר תל אביב. מקור: אתר Google Maps

בתמונה ניתן לראות כי מרבית העיר מכוסה באספלט ובטון וכי רק מספר מוגבל של מקומות משמשים כאיים ושדרות "ירוקים". אלה הם **שטחים ציבוריים פתוחים (שצ"פים)**, שזו הגדרה בתכניות מתאר עירוניות לשטחים שהוקצו לצורכי ציבור, ואלו הם השטחים הזמינים ביותר לשימוש עבור פעילות שימור מים. אך תחילה יש להבין יותר לעומק מהם שצ"פים ומהם שימושיהם האפשריים.

במדריך לתכנון שטחים ציבוריים פתוחים בערים, שהוציא ב-2008 המשרד להגנת הסביבה יחד עם משרד הפנים והמשרד לבינוי ושיכון, מוגדרים השצ"פים כ"בסיס לרקמת החיים העירונית, בהיותם עורקים המקשרים בין אזורי המגורים למוסדות הציבור, החינוך והקהילה בעיר." (האן ושפירא, 2008, עמ' 9). מדריך זה אף מגדיר שני סוגים עיקריים של שצ"פים – גנים ופארקים, ושצ"פים תפקודיים (כגון צירים ירוקים, שטחי חיץ וגינות, שדרות, מעברים להולכי רגל ואופניים, רחבות וכיכרות) (האן ושפירא, 2008).

המדריך ממשיך ומונה את תפקידיו וחשיבותו של השצ"פ העירוני, הכוללים: **תפקודים תכנוניים** – שצ"פים מהווים את השלד של המרחב הציבורי המתווך ומקשר בין המרחבים הפרטיים ולכן בו מתקיימת עיקר ההתרחשות העירונית; **תפקודים חברתיים** – שטחים לשימוש לפנאי נופש וספורט, מקום מפגש חברתי וקהילתי ומקום לרוגע ולהפגת תחושת האורבאניות (Ulrich, 1984 בתוך Chiesura, 2004); **תועלות כלכליות** – ערך הנובע מתדמית העיר, מכושר המשיכה שלה ומעליית ערכי נדל"ן; **ותפקודים סביבתיים** – שיפור תנאי

מיקרו אקלים (הצללה שמורידה טמפרטורה), חיץ ממטרדים וקליטת זיהומים, שימור ערכי טבע מקומי ואף שימור מי נגר.

אך ההתייחסות לתפקידים הסביבתיים של השצ"פים היא דבר יחסית חדש. היסטורית, הרקע להיווצרותם של השצ"פים והתמורות בתפקידיהם היו כמענה לצרכים ובעיות אנושיים (Cranz & Boland, 2004). גם המדריך של המשרד להגנת הסביבה מהדהד שאריות מתפיסה זו באומרו ש"כל סוג של גן עונה על תפקודים וצרכים שונים של האוכלוסייה" (האן ושפירא, 2008).

ביחס לכך, מציגים Cranz & Boland טיפולוגיה של הפארקים והגנים העירוניים והתפתחותם על פי סוג הבעיות עליהם נדרשו לענות ועיצובם כתוצאה מכך. טיפולוגיה זו כוללת ארבעה מודלים מסורתיים של פארקים וגנים אורבאניים כפי שהתפתחו בניו יורק, כשכל מודל התפתח כתוצאה ממה שנתפסו כבעיות אורבאניות בוערות בזמנם :

שטחי תענוג (Pleasure Grounds) – 1850-1900: שטחים גדולים שנוצרו בפאתי הערים ושימשו בעיקר את המעמד הגבוה. הם עוצבו עם נוף טבעי ונוצרו במטרה להגביר את בריאות הציבור ולאפשר פעילות ספורטיבית.

גני רפורמה (Reform Parks) – 1900-1930: גנים קטנים יותר שנועדו למעמד העובדים ומוקמו בתוך הערים. הם עוצבו בצורה סימטרית וללא דימויים של טבע או נוף. כאן החלו להופיע גם מתקני השעשועים לילדים. פארקים וגנים אלו הוצגו כמפחיתים עימותים חברתיים, כמחזקים את התא המשפחתי כמונעים הפצה של מחלות וכדרך לחנך אזרחים.

מתקני פנאי (Recreation Facilities) – 1930-1965: לאחר מכן נוצרה הבנה כי גנים ציבוריים הם שירות ממשלתי שאינו דורש הצדקות. בשלב זה החלו לפזר גנים ציבוריים בכל רחבי הפרברים של ניו יורק. גנים אלו עוצבו כשטחי משחקים מאספלט.

מערכת השטחים הפתוחים (Open Space System) – 1965-היום: בשנים אלו החלה להיווצר תפיסה אומנותית יותר לפיה פעילות פנאי יכולה להתרחש בכל מקום, כמו על שפת אגם או ליד פסי רכבת ישנים, ולכן יש לעצב אתרים שונים לכל הקשר ומקום. גנים אלו נפרשים בכל רחבי העיר ויוצרים מערכת.

אך החידוש במאמרם של Cranz & Boland הוא בהכרה שבשנים האחרונות (החל משנות ה-90), כשבעיות אקולוגיות הפכו להיות מוכרות כבעיות חברתיות מהבוערות ביותר, יש להציע סוג חדש של גינה ציבורית – **הגינה המקיימת (Sustainable Park)**. גינה כזו מטרתה, לטענת החוקרים, לשפר את בריאות הציבור ואת בריאות המערכות האקולוגיות. גינה זו מעוצבת על ידי סממנים טבעיים אך שמה דגש על מטרות אקולוגיות כגון, שימוש בצמחיה מקומית, שיקום מערכות אקולוגיות, בנייה מקיימת (כגון שטחים חדירים למים) ושימוש במיחזור (Cranz & Boland, 2004).

הניתוח של Cranz & Boland אמנם מתייחס לגנים וגינות ציבוריות בניו יורק, אך הוא מזהה שינוי מגמה מהותי ביחס לשצ"פים בתקופה הנוכחית והוא הצורך להכיל על השצ"פים העירוניים לא רק שימושים חברתיים אלא גם שימושים אקולוגיים, כגון החדרת נגר עירוני לשיקום אקוויפר החוף.

יש לציין כי לשימוש בשצ"פים לצורך מימוש מטרות אקולוגיות יתרון משמעותי והוא שהם נמצאים בשליטה עירונית. נקודה זו חשובה מפני שכפי שהצגנו בפרק על מדיניות התכנון העירוני, הותרת האחריות על

החדרת הנגר העירוני בידי בעלי קרקעות פרטיים מסתיימת לעיתים קרובות בהתחמקות מהחוק ומסתיימת ללא התקדמות ממשית בנושא. שימוש בשצ"פים מאפשר לעקוף בעיה זו ובו בזמן גם משדר מסר לגבי אחריותה של העירייה או הרשות המקומית כלפי תושביה.

1. איכות מי נגר עירוני

נגר עירוני מקורו בעיקר ממשטחים לא חדירים כמו רחובות, מגרשי חניה וגגות. הגשם אוסף מזהמים ממשטחים אלה ובסופו של דבר מגיע למערכת התיעול. משטחים חדירים כמו גנים ציבוריים ופרטיים תורמים לנגר רק במידה שעצמת הגשם גבוהה מספיקת החלחול של האדמה (Armon, 1997).

מחקרים רבים עוסקים במדידת איכותם של מי נגר. רובם מציינים כי יש קושי ניכר בבדיקת איכותם של מי הנגר ובקרתה, בגלל האופי הבלתי רציף של הגשמים, השינוי בעוצמות ונפח הגשמים, והשינוי בריכוזי החומרים המזהמים לאורך ציר המרחב והזמן (בורמיל, כרמון ושמיר, 2003).

קיימים 4 סוגי זיהום עיקריים במי נגר:

1. מוצקים מרחפים (TSS). חלקיקים שנאספו אל המים בדרכם. חלקיקים אלה מסוננים בקלות בדרכם באדמה או ע"י מסנן חול פשוט.
2. בקטריות, וירוסים, טפילים- בעיקר עקב מגע עם הפרשות בע"ח וחדירת ביוב, במקרה שמערכת הביוב והתיעול לא מופרדות לחלוטין.
3. נוטריינטים- חומרים חנקניים וזרחניים, מעודדים התפתחות אצות במים. נפוץ יותר בנגר מאזורים חקלאיים עקב המצאות דשן על הקרקע.
4. מתכות כבדות וחומרים רעילים אחרים (מיקרו מזהמים אורגניים ואנאורגניים)- המתכות הנפוצות ביותר בארץ הן ברזל, אלומיניום ואבץ. חומרים רעילים אחרים הם אסטרים שונים, פנולים, שמנים, דלק ואחרים.

הפעילות האנושית המרוכזת בשטח העירוני מביאה לתוספת של אבק, חול, חומרי הזנה, חומרים אורגניים מפורקים, רעלים אורגניים, מתכות כבדות ובקטריות על פני השטח. מי התהום, הרדודים במחוז תל אביב, עשויים להזדהם בקלות ע"י חלחול נגר שהמיס מזהמים ממקור עירוני, דליפות דלק, סילוק לא מוסדר של חומרים מסוכנים וצנרת ביוב דולפת (נתיב וחבריה, 2006).

בשנים 1999-2000, במסגרת העבודה "נגר עירוני בשכונות מגורים", בורמיל, כרמון ושמיר (2003) בדקו את איכות הנגר בשכונת המגורים "קריית גנים" בראשון לציון. הבדיקות נערכו בשנים 1999-2000. נבדקו 42 פרמטרים שמתוכם רק 28 הראו כמויות מדידות. הממצאים תמכו בהשערה כי מי הנגר בשכונת קריית גנים ראויים להחדרה, בהשוואה לתקן המחמיר ביותר למי שתייה. סימני אזהרה נמצאו רק לגבי עופרת, שלא עמדה בתקן ב-8 מתוך 13 דגימות. ריכוזי הכלור והניטרט בנגר העירוני היו נמוכים בהרבה מהריכוזים במי התהום בתאי האקוויפר של ראשון לציון. המסקנה היא שהחדרת מי נגר מן האיכות שנמדדה תשפר את איכות מי התהום שמתחת לראשל"צ, לפחות מבחינת ריכוזי כלור וניטרט. (בורמיל, כרמון ושמיר, 2003)

במחקר שנערך באוניברסיטה העברית ב-2006, נתיב וחבריה בדקו מאפיינים כימיים ואיזוטופיים של מי הגשם בתווך הלא רווי של האקוויפר, במי התהום בעיר ובשטחים חקלאיים ופתוחים, כדי להעריך את השפעת שימושי הקרקע השונים על איכות מי התהום באקוויפר החוף (נתיב וחבריה, 2006). הסביבות העירוניות שנחקרו ממוקמות באשדוד, עיר שקצב התפתחותה בארבעים השנים האחרונות היה מואץ ביותר. העומק למפלס מי התהום בעיר ובקרבתה נע בין 10 ל-32 מטר. לפי המחקר, בשטח העירוני נצפה נגר בכל

אחת מסופות הגשם שנרשמה בעיר, כולל הקטנות ביותר. יתרה על כך, מי נגר נצפו מיד לאחר ראשית ירידת הגשם. כתוצאה מן התגובה המהירה של גשם לנגר בשטח העירוני וההתנקזות של אגנים שונים בעיר בזמנים שונים אל אותו נקז (צינור תיעול נגר), נצפו בכל אירוע גשם מספר זרימות שטפוניות.

מי הנגר נבדקו ב-186 דגימות מנקזים באשדוד, אליהם מתנקז כ-80% משטח העיר. מן הנתונים עולה שמי הנגר העירוני מכילים ריכוזים נמוכים ביותר של יונים (סידן, נתרן, כלור, גופרית, אמוניה ועוד), כולם מתחת לריכוז המקסימלי של תקן מי השתייה של ישראל לשנת 2000. לעיתים האמוניה הראתה תוצאות גבוהות. ריכוזי היונים במי הנגר היו גבוהים מאלו במי הגשם, פרט לסולפט SO_4 שהיה גבוה יותר במי גשם. עוד הראו כי בנקזים הגדולים היה שיעור ההתעשרות ביונים של הנגר לעומת הגשם גדול מ-2, ובנקזים הקטנים היה כ-1.8. נראה כי ככל שהשטח המתועל לנקז גדול יותר, מי הנגר העוברים בו שוטפים כמות גדולה יותר של אבק ומלחים המצטברים על פניו בתקופות היובש. ריכוזי היונים בדגימות מים מן הנגר הראשון בחורף 2001/2 לעומת דוגמאות משלוש עונות חורף ללא גשם ראשוני, העלתה כי הריכוז המקסימלי של היונים השונים במי הנגר בסופה הראשונה היה גבוה יותר ביחס לערכים הממוצעים בסופות האחרות. גם הפסקה בזרימת הנגר עקב הפסקות בגשם והתחדשות הזרימה מאוחר יותר מלווה תמיד בעליית ריכוז המלחים.

גלישות של שפכים ממערכת הביוב המוצפת אל הרחובות במהלך סופות גדולות, מסבירות את העליה הגבוהה (פי 4.5) בריכוזי האמוניה בנגר לעומת הגשם.

תרכובות אורגניות נדיפות שנמדדו כוללות תוצרים של פירוק חומר אורגני טבעי כמו (כמו טריפנול, מנטול, לימונין), חומרי הדברה, דלק ונגזרותיו, ממסים נפוצים וחומרי שטיפה שונים. במי הנגר נמצאו 61 תרכובות אורגניות נפוצות וכצפוי, בגלל החשיפה של המים לאוויר במהלך זרימתם על פני הקרקע, ריכוזן היה נמוך.

מספרן של התרכובות האורגניות החצי נדיפות היה כפול מזה של התרכובות הנדיפות. הריכוזים היו נמוכים מאוד. ב-40% מהדוגמאות באיזורי מגורים לא נמצאו כלל תרכובות אורגניות חצי נדיפות.

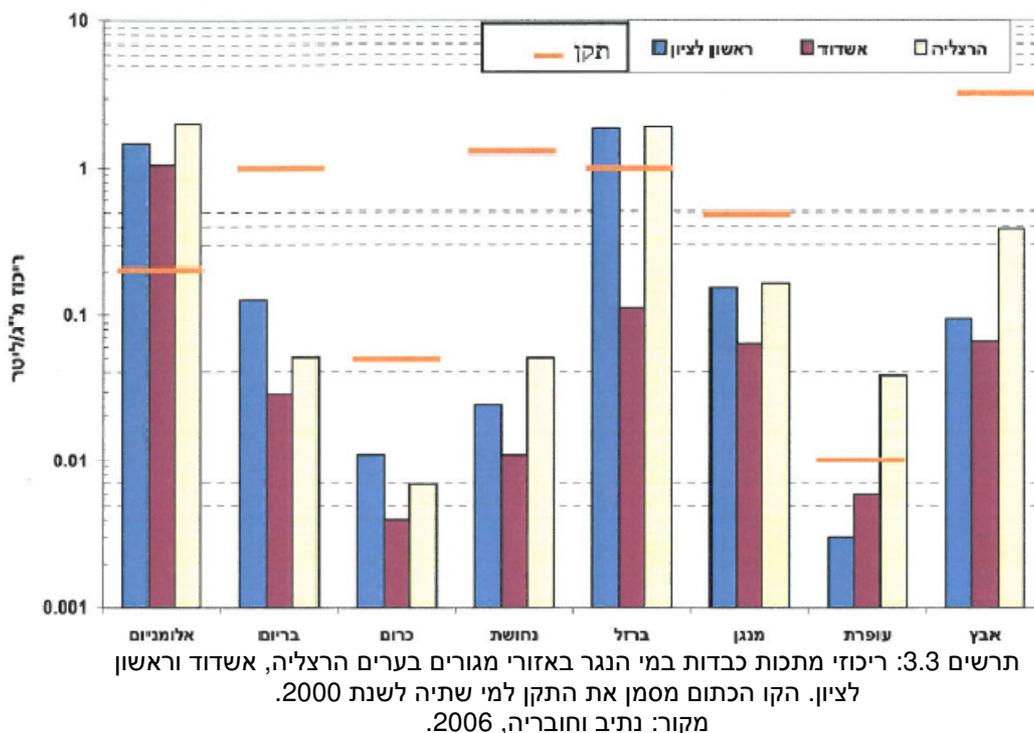
אנאליזות מיקרוביאליות של 31 דוגמאות מי נגר הצביעו על ערכים של $107,000$ CFU/100ml (Colony Forming Units) בממוצע של קוליפורמים וקוליפורמים צואתיים. התקן למי השתייה עומד על 1. הערכים הגבוהים מעידים על תרומה של מי ביוב או שטיפה של צואת בעלי חיים דרך מערכות הניקוז העירוניות.

לסיכום המחקר באשדוד, איכות מי הנגר המנוקז משטחי מגורים טובה ביותר. ריכוזי המלחים ויסודות הקורט נמוכים מאלו של תקן מי השתייה, בעוד שמגוון וריכוזי התרכובות האורגניות (ממקורות של דלק, חומרי הדברה ונגזרות מזון) קטנים מאוד. יש לציין כי ריכוז הכלורידים עמד על 30 מ"ג/ל לעומת 250 מ"ג/ל במי כינרת בעת כתיבת הדו"ח. נמצאו כמויות גבוהות של חומר מרחף TSS, פחמן אורגני TOC וחידקים. כל שימוש חוזר במי הנגר יצטרף לתת פתרון לפרמטרים אלה. החוקרים ציינו כי החדרה של מי הנגר לתת הקרקע תשפר מאוד את איכותם בפרמטרים אלה.

במחקר על כמויות ואיכויות הנגר בהרצליה ורעננה (גולדשלגר וחובריו, 2008), נלקחו כ-80 דוגמאות על פני 3 שנים לבדיקת איכות מי נגר משלושת שימושי הקרקע האופייניים לאזורים עירוניים- מגורים, תעשייה וכבישים.

גם בהרצליה ורעננה מי הנגר מאופיינים בריכוזים נמוכים של מלחים וחומר מרחף, ריכוזי היונים היו נמוכים מבתקן מי השתייה, ונמוכים מבמי האקוויפר המקומי.

על פי הדו"ח של הרצליה-רעננה, המוליכות הכללית של מי הנגר נמוכה, וסביר להניח שהחדרת מים אלה לתת הקרקע תשפר את איכות מי האקוויפר. ערכי הכלוריד והניטרט היו נמוכים משמעותית מערכי האקוויפר המקומי.



לגבי מתכות כבדות, עולה שהתמונה המתקבלת באשדוד, ראש"צ, הרצליה ורעננה היא דומה. מי הנגר הכילו ריכוזים נמוכים של מתכות כבדות ואינם מהווים בעיה סביבתית. עם זאת, ריכוזי המתכות הכבדות בראש"צ ובהרצליה היו גבוהים מהריכוזים באשדוד. יתכן כי הסיבה לכך היא עומסי תנועה כבדים יותר בערים אלה.

גם בהרצליה ורעננה מצאו החוקרים כי ריכוזים גבוהים של קולי צואתי וקוליפורמים נמצאו במי נגר מכל שימושי הקרקע. ממצא זה מחייב טיפול במים לפני שימוש חוזר בהם. במי התהום נמצאים לרוב ריכוזים נמוכים בהרבה של קולי צואתי, וזאת משום יכולת הסינון של הקרקע וההתפרקות הטבעית של הזיהום המיקרוביאלי בתת הקרקע.

מבין השימושי הקרקע השונים שנבחנו בהרצליה-רעננה, איכות הנגר הטובה ביותר נמצאה באזורי מגורים המייצגים את רוב השטח העירוני. גם על פי דו"ח זה, מי הנגר יכולים לשמש כמקור מים נוסף אם ינוצלו בצורה מושכלת, הן להחדרה בצורה ישירה לאקוויפר והן לצרכי השקיה של גנים ומדשאות. החדרתם למי הנגר תשפר את איכות מי האקוויפר. ברוב המקרים נדרש טיפול מקדים במי הנגר לפני החדרתם לסילוק מתכות כבדות, חמרי הדברה ומזהמים מיקרוביאליים. (גולדשלגר וחובריו, 2008).

בנוסף למחקרי איכות המים העדכניים שנערכו בישראל, בשנת 1997 ערך ארמון (Armon, 1997) סקירה של הספרות העולמית בנושא איכות מי נגר (כרמון ושמיר, 1997). להלן ממצאיו העיקריים:

פתוגנים שנמצאו בנגר עירוני: מספר מחקרים ברחבי העולם נמצאו פתוגנים במי נגר עירוני, כמו סלמונלה סטרפטוקוקוס, אי-קולי ואף טפילים כמו ג'ארדיה וקריפטוספורידיום. לפתוגנים בעלי "מנת הדבקה מינימלית" קטנה יכולה להיות השפעה מסוכנת על מי התהום, בעיקר בהחדרה ישירה. בתקני מי שתייה,

ריכוזם של כל הפתוגנים צריך לעמוד על אפס. האורגניזמים המאיימים ביותר הם וירוסים, עקב גודלם הקטן והעובדה כי הקרקע לא מסננת אותם ביעילות. יצוין כי חיידקי קוליפורם משמשים במחקרים על איכות הנגר כאינדיקטור לזיהום, אך הבדיקות לא כוללת בדרך כלל את מגוון הפתוגנים האפשריים, לא כל שכן וירוסים שאין שיטות יעילות וזולות למדידתם.

זיהומים כימיים בנגר עירוני: עקב גודלם המולקולרי, מסיסות והימצאותם במקורות רבים, מיקרו מזהמים מתגלים לעתים תכופות בנגר עירוני. טרי-כלורו-אתילן TCE הוא דוגמא לכימיקל הנוצר בכלורינוציה של המים, או תוצר של שימושים ביתיים-עירוניים כמו ניקוי יבש או קירור, ודווח על המצאותו במקרים רבים במי התהום. שתייה ממושכת של מים מזהמים גורמת לדיכוי מערכת העצבים ותפקודי הלב.

המסקנות העיקריות של ארמון באשר להתאמת מי הנגר באזורים עירוניים להחדרה הינן:

- מי הגגות והחצרות בעיר הינם הנקיים ביותר, ומתאימים להחדרה ישירה.
 - כלי רכב הינם מקור למזהמים. החדרה של מי נגר ממגרשי חניה וכבישים דורשת בדיקת איכות ונקיטת צעדי זהירות מתאימים.
 - נגר מאזורים תעשייתיים טעון בדיקה ספציפית לפני שניתן לתכנן החדרתו.
 - יש לסלק בנפרד נגר משטחים של פעילות מזהמת, ולהימנע משילובו בנגר העירוני המועמד להחדרה ישירה.
 - מרכיבי הזיהום בנגר העירוני מופיעים בעיקר בתצורות הניתנות לסילוק ע"י סינון במהלך הזרימה באזור הבלתי רווי בקרקע. את עובי שכבת הקרקע הדרושה לסילוק יעיל יש לקבוע לפי תכונות הקרקע באתר הנדון.
 - וירוסים הם גורם לסיכון איכות מי התהום, שכן יש להם יכולת לשרוד ולעבור מרחקים ניכרים בזרימה בקרקע. לכן יש להיזהר בנגר ממשטחים בהם תיתכן השפעת נגיפים, כמו בית חולים.
 - יש להרחיק את ההחדרה ממערכת איסוף השפכים וממקורות זיהום אחרים כמו תחנות דלק.
- משלושת המחקרים בישראל שתוארו לעיל, ומסיכומו של ארמון לגבי המחקרים בעולם, עולות מסקנות דומות. איכות מי הנגר של אזורי מגורים היא טובה מאוד, ונמצאת מתחת לתקן לאיכות מי שתייה כמעט בכל הפרמטרים. פרמטרים בעייתיים הם: מוצקים מרחפים – בעיה זו תיפתר בסינון דרך קרקע, ופתוגנים- בעיה שעשויה להיפתר גם היא בסינון יעיל ושהייה באקוויפר. עוד בעיה היא מיקרו מזהמים אורגניים שאינם נדיפים, שהבדיקות להימצאותם הן מורכבות ויקרות בעיקר בגלל ריכוזם הנמוך. סביר להניח שריכוזם בנגר משכונות מגורים יהיה שולי, לעומת בנגר מאזורי תעשייה.

ז. סוגי הטיפול בנגר

מתקנים לאיסוף, השהייה והחדרה של מי הגשם יכולים לפעול ברמות השונות של הרקמה העירונית. בקנה מידה גדול, ניתן לבנות אגני חלחול גדולים המקבלים מי נגר ממרחב עירוני גדול מימדים. בקנה מידה בינוני - המבנה או הבלוק השכונתי, תעלות עשב לאורך שבילים וכבישים שכונתיים, צינורות ניקוז חדירים, אגמי חלחול קטנים בגינה ציבורית ועוד. בקנה מידה קטן - הבניין הבודד ומגרשו, מרזבי גגות המתחברים לחצר למתקן החדרה ישיר או לאחר טיפול.

התועלות המצופות ממתקן לטיפול בנגר עילי נגזרות מן המטרות אשר לשמן הוא קם, ביניהן ניתן למנות: הפחתת נזקי הצפות, הפחתת נזקים בשטחים ובגופי מים, הפחתה של רמת זיהום הנגר, אגירת מים, שיפור הנוף העירוני, הקטנת העלות הכוללת של מערכת ההגנה מפני הצפות ושיטפונות וכמובן תוספת חלחול להעשרת מי התהום.

בבניית מתקן לטיפול בנגר, יש להתייחס לשיקולים הבאים:

- ספיקת ופריסת המשקעים.
- נפח הנגר הצפוי, וספיקתו.
- סוגי המזהמים המצויים בנגר וריכוזם.
- זמינות הקרקע עבור המתקן, התחשבות בשימושי קרקע שכנים, שימושי קרקע עתידיים.
- התחשבות בסיכונים פוטנציאליים לאוכלוסייה, והסכמתה להקמת המתקן.
- לא כל קרקע מתאימה להחדרה. יש להתחשב בטופוגרפיה, שכבות הקרקע, חדירות הקרקע למים, מפלס מי התהום, ועוד.

כמו כן, לא ניתן להתעלם מהשיקול הכלכלי. על מנת לקבל את תמיכת הרשויות המקומיות והעיריות, לרוב יש להוכיח כדאיות כלכלית של המתקן בטווח הרחוק.

שיטות להחדרת נגר יכולות להיבנות בעלות כלכלית נמוכה מאוד, או אפסית לעומת פיתוח שאינו רגיש למים, למשל במקרה של יחידות ריצוף אטומות המונחות על הקרקע במרחק זו מזו, בשילוב עם דשא או חצץ. כמו כן, תכנון שיפועים לכיוון שטחים פתוחים ויצירת בורות החדרה לא עמוקים המלאים בחצץ. פתרונות כאלה הם בעייתיים מבחינת נוחות להולכי הרגל, בעיקר לבעלי מוגבלויות, וכמו כן יש לבחון את היכולת להתמודד עם סיכויי סתימת החדירות במשך הזמן.

בהתייחס לפרק שעוסק באיכות הנגר לעיל, נראה כי איכות הנגר בישראל נמוכה בפרמטרים מסוימים מהתקן למי שתייה (זיהום מתכות מסוימות, ריכוז יונים), אך עולה על התקן בפרמטרים אחרים (בעיקר זיהום בקטריאלי, ברזל ואלומיניום, וייתכן גם שבמיקרו-מזהמים אורגניים לא נדיפים). הראנו גם שבתל אביב איסוף הנגר במקום היווצרותו הנו בלתי אפשרי. לפיכך בחרנו להתמקד בסקירה של מגוון פתרונות הכוללים איסוף נגר, טיפול בנגר והחדרתו (בורמיל, כרמון ושמיר, 2003).

להלן סוגי המתקנים העיקריים המשמשים היום בעולם למטרות אלו. בסוף הרשימה מופיע הפתרון הנבחר על ידינו:

תעלות החדרה- תעלת חפורה בתוך הקרקע, המלאה אבנים או חצץ, המקבלת את מי הנגר ישירות ממרזבים או מפני השטח, רצוי דרך משטח דשא או עשב. התעלה טובה לטיפול במים שמקורם באירוע הגשם הראשון בעונה או בגשם המופיע לאחר הפסקה גדולה. במקרים כאלה הנגר מכיל בנוסף לריכוז גבוה של מזהמים מומסים, גם לכלוך גס (Gross Pollutants) כמו שקיות, ניירות וכי"ב.

רצוי לדפן את דפנות התעלה ביריעה חדירה ומעליה דשא. אפילו תעלה לא גדולה יכולה לשפר במידה משמעותית את איכות הנגר העובר דרכה. לטיפול נוסף בנגר מומלץ לשתול רצועת דשא ברוב של 6 מטר לפחות, שתשמש כרצועת סינון. כמו כן יש להקפיד על מרחק של לפחות 3 מטרים מיסודות הבניינים, כאשר התעלה במורד השיפוע מן המבנה.

במסגרת הפתרון שאנו מציעים בשטחים בנויים, התעלה יכולה לשמש להבאת נגר ממרזבי בניינים סמוכים לגינה הציבורית. נגר כזה צפוי להיות עני במזהמים תעשייתיים, אך עשיר בחומר ביולוגי בגלל לשלשת ציפורים ובע"ח אחרים. במעבר בתעלה תשופר איכותו עד שיגיע למתקן הטיפול המרכזי, בנקודה הנמוכה ביותר בסביבה.

תעלות מכוסות צמחיה - Vegetated Swales: הן רחבות ושטוחות ומכוסות צמחייה עשבונית צפופה. ככל שהתעלה ארוכה יותר, יכולת סילוק המזהמים גדולה יותר. תעלות יבשות מתאימות לאיסוף נגר ממטחים קטנים באזורי מגורים ואין בהן סכנה לבטיחות הציבור. תעלות רטובות מכילות מים באופן קבוע והן משמשות בעיקר לניקוז נגר בשולי דרכים ובאזורי הפרדה בין נתיבים. תעלה זו דורשת שטח רב יותר מתעלה מלאה חצץ.

רצועות סינון - Grass Filter Stripes: משטחי צומח אליהם מוזרמים עודפי נגר בזרימה משטחית. המטרה היא האטת מהירות הזרימה, סינון והחדרה ע"י חלחול. גם רצועה כזו יכולה לשמש שלב מקדים לפני מתקן הטיפול. סינון הנגר ברצועות נעשה בעזרת הצמחים הגדלים בהן. רצוי שתהיה צמחייה כיסוי נמוכה. זהו אמצעי פשוט ביותר ודרישות ההקמה והאחזקה ועלותן נמוכות מאוד. עם זאת, בישראל תידרש השקיה בתקופת הקיץ.

אגני החדרה - Infiltration Basins: תפיסה, שהייה והחדרה של נגר עילי לקרקע. האגנים מתוכננים מחוץ למסלול הזרימה הישירה של מי נגר ומתוכננים כך שהמים יתנקזו מהם ויחדרו לקרקע תוך 72 שעות. ניתן לשלב בהם צמחיה ליצוב הקרקע והפחתת מזהמים. אגן החדרה כזה בנה תאגיד המים "מניב ראשון בע"מ" ממערב לעיר ראשל"צ.

אגנים ירוקים בנויים - Constructed Wetlands: שקע מלאכותי שחלק גדול מקרקעיתו מכוסה צמחייה. אגנים ירוקים משמשים לשיקוע חומרים מרחפים ולקבוע נוטריינטים. בישראל, אגן שכזה צריך לקבל מים בכל עונות השנה, כלומר מי נגר בלבד לא יוכלו לקיים אותו. חשוב לקצור את הצמחים פעם בתקופה, מאחר שהם אוגרים מזהמים. אם הצמחים יירקבו במקום, החומרים האצורים בהם ישוחררו חזרה לתוך המים.

ביופילטר פיסיקאלי - Physical Biofilters: בשל נדירות משאבי הקרקע בארץ, ומכיוון שבעבודתנו בחרנו לעסוק בניהול נגר באזורים בנויים ובתל-אביב בפרט, מתקני איסוף גדולים בצורת בריכות שהייה וטיפול אינם רלוונטיים. גם פתרונות כמו מרצפות המונחות בריווח או תכנון מחדש של השיפועים אינם ישימים בעיר אינטנסיבית ובנויה כמו תל אביב.

לפנינו עומדות שתי מגבלות עיקריות בטיפול בנגר עירוני: מחסור בשטח, וכמות מזהמים גבוהה בנגר. לכן נתמקד במתקני טיפול ששטחם קטן וניתן לשלב אותם בשצ"פים עירוניים, ויעילות סילוק המזהמים שלהם גבוהה. כך ניפטר מכמות גדולה של מזהמים תוך שאנו מאפשרים לשצ"פ למלא את שאר תפקידיו החברתיים והאקולוגיים.

מתקנים כאלה הם פילטרים פיסיקאליים או "ביופילטרים", מתקני סינון המשלבים מיקרואורגניזמים להגברת יעילות הטיפול.

טכנולוגיית הביופילטרציה היא חלק מגישה מגישה "תכנון עירוני רגיש למים", הרואה בכל שטח ציבורי פתוח שטח פונקציונאלי לקליטת מי השיטפונות העירוניים, טיפול בהם והחדרתם למי התהום לשם אחסונם ושימוש חוזר בהם בעתיד.

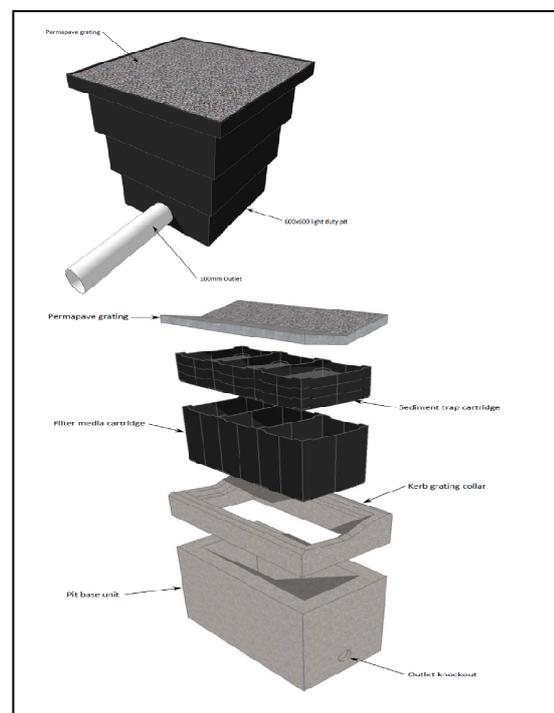
מערכות פילטרציה פיסקליות-כימיות שימושיות במיוחד כאשר מעוניינים לטהר מים שהזיהום העיקרי שבהם אינו חנקן. ישנם מסננים שיכולים להיות על קרקעיים או תת קרקעיים. מסנני חול פשוטים ניתן לקבור בקרקע, כאשר בשכבות העליונות חומר דק ובתחתונות חומר גס יותר. הנגר מוזרם למתקן בעזרת שיפועים או תעלה פשוטה.

אוניברסיטת מונאש באוסטרליה, פיתחה לאחרונה מתקן פילטרציה חדשני, שאינו ביולוגי, ופועל על סינון פיסקלי בתחזוקה מינימלית. המתקן יכול להיות מונח מתחת למדרכות, וגודלו יכול להשתנות לפי הספיקות המתוכננות. באיור 3.4, בחלק העליון מוצג המתקן כאשר הוא סגור. בחלק התחתון ניתן לראות את חלקי השונים. הנגר מחלחל לתוך המתקן מלמעלה ועובר סינון- בחלק העליון מורחקים מזהמים מרחפים, ובחלק התחתון מזהמים מומסים. הלכלוך הגס והעדין מתאספים בתחתית, ומדי פעם בפעם רכב יעודי שואב את הלכלוך (ירון זינגר, ראיון אישי).

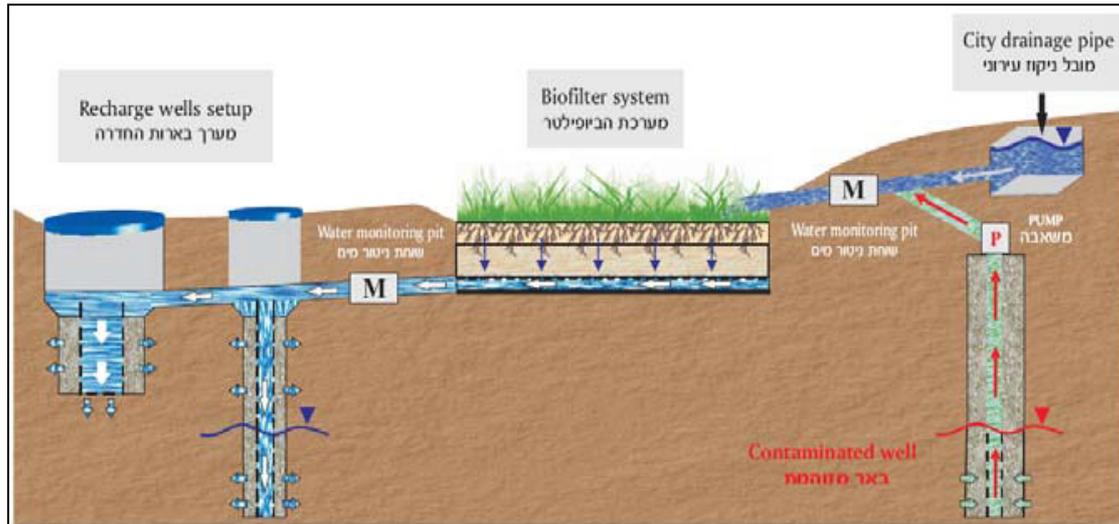
מערכות ביופילטרציה או Bioretention הן מערכות המשלבות סינון פיסקאלי של המים, השהייתם, ותוספת סינון ביולוגי בעיקר לשם דה-ניטריפיקציה. מערכת כזאת תהיה עשויה שכבות סינון, ההולכות ונעשות עדינות יותר במורד הפילטר. בשכבות העליונות שתולים צמחים שעל שורשיהם חיידקים מבצעי דה-ניטריפיקציה. החיידקים והפטיות על שורשי הצמחים ניזונים מעוד חומרים מזהמים במים, ובכך מסייעים להפחתת הנוטריינטים במים באופן כללי. כמו כן הצמחייה עוצרת מזהמים גסים ומאיטה את זרימת המים. שורשי הצמחים נוצרים כל הזמן, ובאדמה נותרים שורשים מתים. השורשים המתים יוצרים תעלות (פרפורציות) באדמה המגבירות את חדירות המים, ואת כניסת החמצן לקרקע (Wong, 2006).



תמונה 3.5: הביופילטר בשכונה הירוקה בכפר סבא, 2011. צילום: ירון זינגר



איור 3.4: מתקן פילטרציה מודולרי חדשני. בחלק העליון המתקן מורכב, בחלק התחתון מרכיביו של המתקן. נמסר על ידי ירון זינגר בראיון אישי.



איור 3.6: מבנה הביופילטר הדואלי המותקן בכפר סבא
מקור: Zinger, 2011

בתחום זה בולטת במיוחד מערכת הביופילטר הדואלי שהותקנה בכפר סבא. זינגר וחובריו פיתחו באוניברסיטת מונאש שבאוסטרליה, מערכת פילטרציה פיסית-ביולוגית למי נגר. המערכת בנויה שכבה של צמחים ארוכי שורש שתוך של חול ההולך ונעשה עדין, בשכבה שאינה רווית מים.

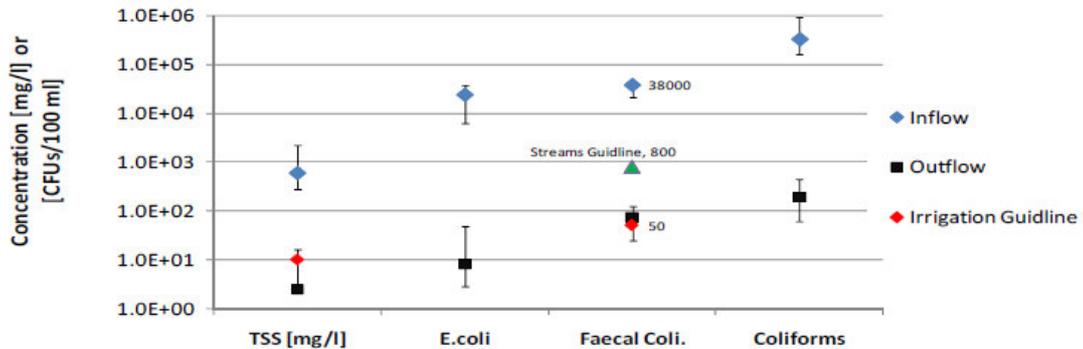
האזור הרווי מכיל חול עדין בתוספת מקור פחמן צלולוז, שהוא שילוב של רסק עצים וקש מגידולי אפונה. הצלולוז מתפרק באיטיות יחסית, בגלל נוכחותה של פטריה המעכבת פירוק שנמצאת ברסק העצים. הצלולוז משמש כתורם אלקטרוני עבור תהליך הדה-ניטריפיקציה שנעשה ע"י החיידקים על שורשי הצמחים.

ביופילטר מסוג זה הותקן בהובלת זינגר בשכונה שעדיין בתהליכי פיתוח בכפר סבא, "כפר סבא הירוקה". שטח המתקן הוא 85 מ"ר ועומקו 1.2 מטר. המערכת תוכננה כך שמי הנגר מגיעים אליה עם כוח הכבידה, ממובל ניקוז עירוני גדול, שעד הקמת הביופילטר תועל לנחל גן חיים.

הניסוי בכפר סבא מתואר במאמרם של זינגר וחובריו מ-2011, A Dual-mode Biofilter System: Case Study in Kfar Sava, Israel. המים עוברים דה ניטריפיקציה ע"י החיידקים המצויים בשורשי הצמחים, לאחר מכן ממשיכים בשכבות הסינון, ולבסוף מוחדרים למי התהום בשתי שיטות- החדרה ישירה לעומק האקוויפר, או החדרה בבאר רדודה כך שהמים ממשיכים לחלחל דרך שכבות הקרקע לפני הגיעם לאקוויפר. הבאר הישירה היא בעומק 87 מטר, ישירות לשכבה הרוויה של האקוויפר, ובקוטר 8 צול, כשהמים מוחדרים ע"י צינור בקוטר 3 צול. שלוש הבארות הרדודות הן בעומק 24 מטר ובקוטר 1 מטר, כשצינור ההחדרה הוא בקוטר 12 צול. בניגוד למצופה, דווקא הבארות הרדודות והרחבות הצליחו לעמוד במשימת ההחדרה בהצלחה יתרה, עם ספיקה של 20 מ"ק לשעה (ירון זינגר, ראיון אישי).

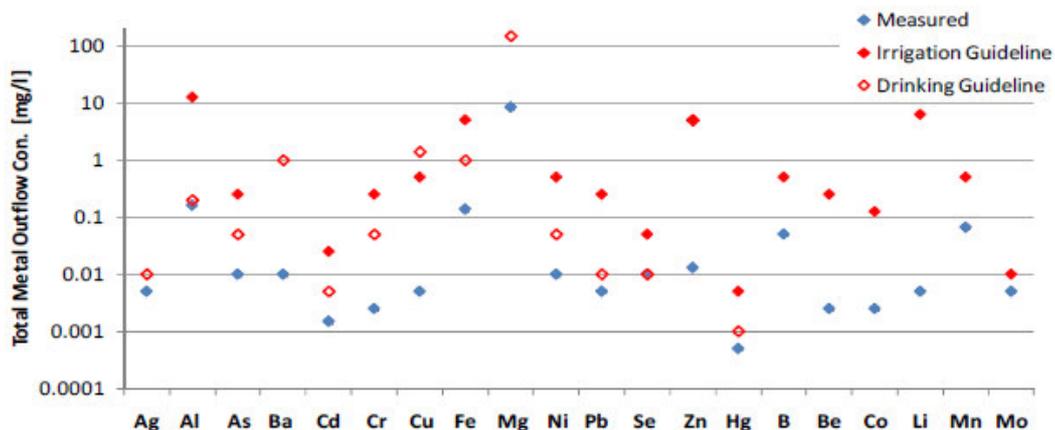
אך המעניין ביותר במערכת זו שנבנתה בכפר סבא, הוא השימוש הדואלי שלה. בישראל, נשאלת השאלה כיצד יהיה ניתן לשמר את הצמחייה ואת החיידקים התלויים בה לאורך חודשי הקיץ הארוכים והיבשים. במערכת בכפר סבא בחן זינגר שימוש נוסף, והוא שאיבת מי תהום מבאר מזוהמת בקרבת מקום, טיהורם והשבתם לאקוויפר.

הבאר הקרובה הייתה מזהמת בעיקר בניטראט שמקורותיו בדישון השטחים החקלאיים שהיו בסביבה, וככל הנראה דליפות ממערכת הביוב. הרחקת הניטראט מהמים שנשאבו מבאר זו, הייתה טובה בספיקות נמוכות. מבחינת טיהור מי הנגר, זינגר הגיע לתוצאות מספקות במגוון פרמטרים שנבדקו, כגון: מתכות כבדות, ניטראט, אמוניה, מוצקים מרחפים, פחמן אורגני, ואינדיקטורים פתוגניים.



תרשים 3.4: תרשים לוגריתמי המציג ריכוז מוצקים מרחפים (TSS) ואינדיקטורים פתוגניים בכניסה (נקודות כחולות) וביציאה (נקודות שחורות) מהביופילטר הדואלי בכפר סבא. באדום: הנחיות לאיכות מי השקיה. מקור: Zinger, 2011

בתרשים 3.4 לעיל, הנקודות הכחולות מייצגות את המדידות של מי הנגר בכניסה לביופילטר, לאחר שעברו דרך ארוכה בשכונות המגורים הוותיקות של כפר סבא ובצינור הניקוז עצמו. הנקודות השחורות מייצגות את איכות הנגר לאחר הטיפול. הנקודות האדומות מייצגות את התקן להשקיה במדינת ישראל. ניתן לראות שהביופילטר הרחיק את המוצקים המרחפים (TSS) בכ-3 סדרי גודל. את האינדיקטורים הפתוגניים, אי-קולי, אי-קולי צואתי וקוליפורמים, הרחיק הטיפול גם כן בכ-3 סדרי גודל.



תרשים 3.5: תרשים לוגריתמי המציג ריכוז מתכות כבדות ביציאה (כחול), הנחיות לאיכות מי השקיה (אדום מלא) והנחיות לאיכות מי שתייה (אדום חלול) בביופילטר הדואלי בכפר סבא. מקור: Zinger, 2011

מבחינת הטיפול במתכות כבדות, ניתן לראות כי לרוב תוצאות המדידה (כחול) נמוכות מהתקן להשקיה (אדום מלא) ואף מהתקן למי שתייה (אדום חלול).

מבחינת תחזוקה, לאחר התבססותה, המערכת דורשת מעט מאוד הן מבחינת כוח אדם והן מבחינת עלות. שורשי הצמחים מתחדשים, והשורשים המתים משאירים אחריהם תעלה המגדילה את חלחול החמצן הדרוש לתהליך הדה-ניטריפיקציה. בין החורף הראשון והחורף השני בהם המערכת נבדקה, היא עברה שיקום של 120% (ירון זינגר, ראיון אישי).

הביופילטר מצריך רענון כל 15-20 שנה עקב הצטברות מתכות בשכבה העליונה. אז יש צורך לגרד את השכבה העליונה (5-7 ס"מ), להניח שכבה חדשה ולשתול את הצמחייה המתאימה.

מערכת ביופילטר כפי שתוארה להלן, עם או בלי פונקציה טיהור הבארות, מהווה פתרון אידיאלי לטעמנו להטמעה בשצ"פים בערים בנויות וצפופות. המערכת תספק את היתרונות הבאים:

- יכולת התקנה בגינה ציבורית בגודל בינוני ומעלה (מעל 3 דונם), ואף בשצ"פים לא מנוצלים כגון כיכרות תנועה, מדרכות רחבות וכיו"ב. הגודל המינימאלי של המערכת הוא 0.5 מטר על 0.5 מטר.
- הביופילטר מהווה תוספת יפה לנוף, ואינו מהווה סיכון או מטרד לתושבים (גובה המים באגן- עד 40 ס"מ ועומד בתקני הבטיחות לבריכות מים).
- מאפשר תפיסת מי הנגר בסמוך למקום היווצרותם, בתוך שכונות המגורים.
- בעונת היובש, הביופילטר יהווה מערכת לטיוב בארות עתירות בחנקות ומתכות כבדות בשיטות ירוקות ובעלות נמוכה.
- תרומה לדימוי הירוק של העיר- הביופילטר יכול להוות פרויקט דגל של ערים המעוניינות לחרות על דגלן את נושא הקיימות העירונית.
- מבחינה חברתית, הביופילטרים הפזורים ברחבי העיר יהוו תזכורת חינוכית לחשיבותם של מי הנגר.
- כדאיות כלכלית – על כל קוב מי נגר שיוחדרו, יקבל תאגיד המים פטור מהיטל ההפקה שהוא משלם לרשות המים, בדומה לנעשה באגני ההחדרה בראשל"צ. כמו כן המים המטופלים יכולים לשמש להשקיה ובכך לחסוך בהוצאה על מים.
- היתרון ההידרולוגי של המערכת הוא שיכוך גל הגאות של הנגר המעמיס על מערכת הניקוז, וגלי שיטפונות אשר נכון להיום גורמים נזק לתשתית וכבישים.
- טיהור מי הנגר ומניעת זיהום אקוויפר החוף, מי התהום והנחלים והים במתכות כבדות, נוטריינטים, שמנים, חיידקים פתוגניים ומזהמים נקודתיים נוספים.
- החדרת המים למי-התהום, תוך ניצול תהליך השבחת המים הטבעי המתקיים באקוויפר.
- והמטרה הלאומית: שיקום אקוויפר החוף וטיובו לטובת שימוש בר-קיימא.

4. שאלת והשערת המחקר

מהאמור לעיל, עולה כי בעיר ת"א בכלל ומרכזה בפרט כמויות מי נגר אשר בעבר מילאו את האקוויפר, אך משקמה העיר, זורמים לים ואינם ממלאים אותו עוד. איכות מי נגר אלו אינה מתאימה להחדרה ללא טיפול עקב צבירת מזהמים בעת זרימת מי הנגר על פני השטח העירוני ובמובלים. מרכז ת"א הינו אזור הבנוי בצפיפות ואין בו מקומות רבים בהם ניתן ליישם החדרה. למעשה, השטחים היחידים המהווים פוטנציאל ליישום מתקן שכזה הם השצ"פים, מאחר והם מקיימים שני תנאים: ראשית, הם שטחים פתוחים בהם יש מקום פיזי להקמת מתקן החדרה. שנית, הם בבעלות העיריה, כך שאין עלות לקרקע ואין קשיים של בעלויות.

מכאן עולה שאלת המחקר:

כיצד ניתן להיעזר בשטחים ציבוריים פתוחים במרכז העיר ת"א לתפיסת מי נגר לצורך החדרה לאקוויפר החוף?

השערת המחקר הינה:

על ידי תכנון מחדש של שטחים ציבוריים נבחרים בעיר, ניתן לנצל את מי הגשם ההופכים לנגר עבור העשרת מי התהום ועבור שימושים נוספים לטובת האדם והסביבה.

5. בחירת האתר – גן מאיר:

לצורך בחינת ההשערה, המחקר יתמקד בהקמת ביופילטר להחדרת מי נגר בשצ"פ במרכז העיר ת"א. לשם כך יש לבחור אתר החדרה.

מרכז העיר ת"א – הים ממערב, הירקון מצפון, דרך נמיר ודרך מנחם בגין ממזרח, והקו המחבר את גן צ'רלס קלור ומגדל שלום מדרום – מאופיין בהיותו אזור המפותח באופן מלא, מבונה בצפיפות רבה ומשובצים בו מספר לא רב של שצ"פים, רובם לא גדולים (איור 5.1). סוג השצ"פ המתאים להקמת אתר החדרה הוא גן ציבורי, שכן בגן ציבורי ניתן ביתר קלות לקדוח אל שכבת מי התהום ומתקן החדרה יכול להשתלב בו כחלק מהגיגון. על האתר הנבחר לעמוד גם במספר קריטריונים נוספים על מנת לשמש לצורכי המחקר.

1. עליו להיות ממוקם באזור נמוך, כך שמי הנגר יתנקזו לכיוונו באופן טבעי ולא יעשה שימוש במשאבות או אמצעי הזרמה מסובך אחר.
2. על אגן הניקוז המזרים נגר אל אתר החדרה להיות גדול דיו, כך שכמויות המים הניתנות להחדרה תהיינה משמעותיות.
3. על הגן להיות ממוקם מעל אזור באקוויפר המאפשר החדרה.
4. על שטח הגן להיות גדול דיו על מנת להכיל את מתקן החדרה בנוסף לשימושים האחרים שלו. קריטריון זה אינו תנאי הכרחי שכן גודל מתקן החדרה הוא עד 100 מ"ר והוא יכול לתפוס גם את כל שטח הגן, אולם נכון הוא כי מתקן שכזה ישתלב בגן ולא יהווה את מרבית שטח הגן.



איור 5.2 – אגני ניקוז ותיעול עיקריים במרכז ת"א – סימונים על ידי המחברים על פי קסלר 1996.
מקור: Google Maps.



איור 5.1 – גנים ציבוריים במרכז ת"א – מסומנים בירוק מקור: אתר GIS של עיריית ת"א, שכבת גנים ציבוריים.

שם האגן	שטח אגן (קמ"ר)	שטח מחובר מרוצף (אחוזים)	אורך זרימה עד לצנרת (מטרים)	שיפוע שטח ממוצע (אחוזים)
סוקולוב	1.65	53	320	0.25
אבן גבירול	2.28	57	230	0.38
המלך ג'ורג'	1.12	51	266	2.86
נווה שלום	0.95	53	242	1.97

תרשים 5.1 – נתונים הידראוליים אודות אגני ניקוז ותיעול עיקריים במרכז ת"א. מעובד מתוך קסלר 1996.

במרכז ת"א 4 אגני ניקוז ותיעול עיקריים: אגן סוקולוב, אגן אבן גבירול, אגן המלך ג'ורג' ואגן נווה שלום (איור 5.2). קיימים עוד מספר אגנים קטנים מאד, המתנקזים ישירות לים או לירקון, אך אגנים אלו אינם עומדים בקריטריון השני לעיל.

מתרשים 5.1 עולה כי ההבדלים בנתונים ההידראוליים בין האגנים אינם גדולים, ולכן הקריטריון המכריע הוא מיקומו של גן ציבורי במקום מתאים בשטח האגן. מאיור 5.2 עולה כי באגני אבן גבירול וסוקולוב אין גנים גדולים באזורים הנמוכים. באגן נווה שלום, קיים גן ציבורי גדול דיו, גן הכובשים (איור 5.1), אולם הוא סמוך לים (מרחק של כ- 150 מ') ולכן אינו עונה על הקריטריון הרביעי לעיל. בנוסף, גן הכובשים מנקז אליו את אזור שוק הכרמל אשר סביר כי מהווה מקור לזיהום משמעותי במי הנגר ולכן אינו מתאים כאתר לביצוע פיילוט. עם זאת, דווקא בשל הזיהום, זהו אתר בו כדאי לטהר את מי הנגר בעתיד, על מנת למנוע זיהומים.

הגן הציבורי העונה לכל הקריטריונים הינו גן מאיר בלבן של אגן ניקוז המלך ג'ורג' (איור 5.3). גן מאיר (מסומן בירוק) נמצא בשקע טופוגרפי ולכן מהווה אתר אידיאלי לאיסוף מי נגר. כל האזור מגבולו המזרחי

של אגן הניקוז ועד גבולו המערבי של גן מאיר עצמו (מסומן באדום) מתנקזים באופן טבעי אל הגן. האזור שממזרח לגן מתנקז על גבי הכבישים עד גבולו המזרחי של הגן, רחוב המלך ג'ורג', שם מי הנגר נאספים בקולטנים אל מובל העובר מתחת למרכזו של הגן. היותו של גן מאיר שקע טופוגרפי, בנוסף לעובדה כי המובל עובר במרכזו, בעומק של כ- 1.5 מ' מתחת לפני הקרקע מאפשרים הובלת מי נגר למתקן ההחדרה בכח הכבידה בלבד ללא שימוש במתקני עזר.



איור 5.3 – אגן המלך ג'ורג' – שטח האגן המתנקז לגן מאיר (באדום), גן מאיר (בירוק) ומובל עיקרי (מסומן במקור ע"י עיגולים שחורים מחוברים). הדגשות על ידי המחברים. קסלר 1996.

כאמור, אל גן מאיר מתנקז כל השטח הנמצא מזרחית לגבולו המערבי של הגן. שטח זה מהווה כשני שלישים משטח אגן הניקוז כולו. השטח המצוי מערבית לגן מתנקז מערבה ונכנס למובל העובר מתחת לגן מאיר במורדו, ולכן אינו ניתן לתפיסה בשטח הגן. שטח האגן המתנקז לגן מאיר הוערך בעזרת יישום מדידת מצולע באתר GIS של המרכז למיפוי ישראל ונמצא כעומד על 800 דונם לערך. שטח זה הינו גדול דיו, ובאמדן זהיר מניב כמות מי נגר שנתית של כ- 205,000 קוב, ר' חישוב להלן עמ' 43. סביר ביותר כי בשלב הפיילוט לא יוכל מתקן ההחדרה לטפל ולהחדיר את כל כמות מי הנגר הזו. לדוגמה, במתקן הביופילטר בכפר סבא הוחדרו 2500 קוב בלבד במשך 18 חדשי פעילות (ירון זינגר, ראיון אישי).

הגן מצוי במרחק של כ- 800 מטר מהחוף ולכן מתאים יותר מגן הכובשים להחדרה.

זהו גן ציבורי גדול מאד בשטח של 35 דונם, ולמעשה הינו הגן הציבורי הגדול ביותר במרכז ת"א (להוציא את כיכר המדינה אשר אינה מוגדרת כגן ציבורי והבעלות על הקרקע היא פרטית בחלקה). שטחו של גן מאיר מחולק לשימושים רבים: שדרת הולכי רגל, פינות משחק לילדים, גינת כלבים, בריכה אקולוגית, שטחי גינון ובית קפה. הוספת מתקן החדרה אפשרית בשטח הגן ואף יכולה לתרום לו, הן אקולוגית והן חברתית-חינוכית. בנוסף, בגבולו הדרומי של הגן מצוי בית ספר יסודי אשר מתקן החדרה שכזה יכול להשתלב בפעילות החינוכית המתבצעת בו.

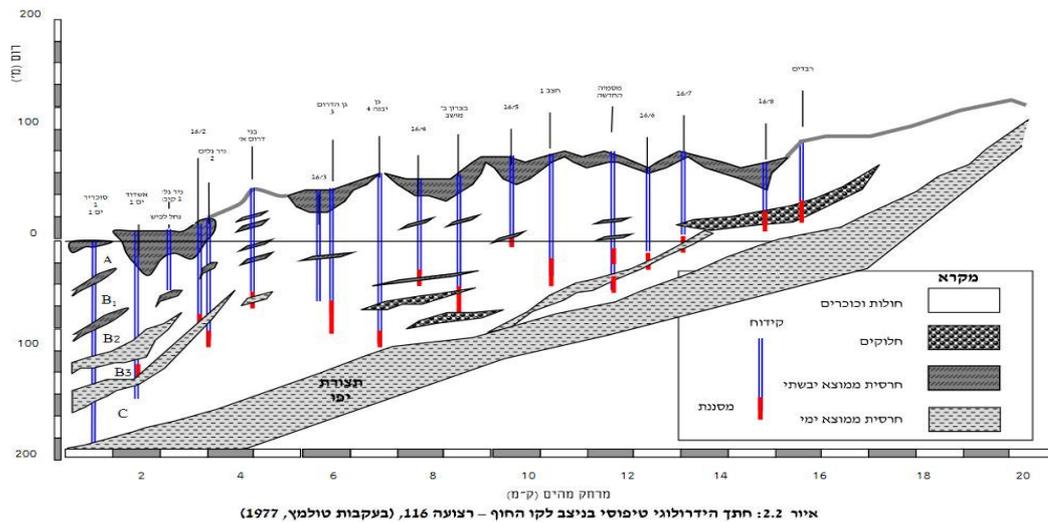
נוסף על כל אלו, הגב' יפה טל בעיריית ת"א מסרה בראיון עימה כי גן מאיר צפוי לעבור פיתוח בזמן הקרוב, כך שהקמת מתקן החדרה בשטחו יכולה להשתלב בתכניות הפיתוח מבלי שיהיה צורך לבצע עבודות ייחודיות לצורך הקמת המתקן.

מכל האמור לעיל עולה כי גן מאיר מהווה אתר אידאלי להקמת מתקן ביופילטר שיהווה פיילוט להחדרת מי נגר לאקוויפר החוף.

6. מטרת המחקר

א. בדיקת התשתית הסטרטיגרפית וההידרולוגית בסביבת גן מאיר.

בדיקת התשתית הסטרטיגרפית וההידרולוגית בסביבות גן מאיר דרושה על מנת לדעת בצורה הטובה ביותר האפשרית את מבנה הקרקע, מבנה האקוויפר והרכבם הכימי של מי האקוויפר מתחת לאתר החדרה. על פי ניתוח התשתית הסטרטיגרפית ניתן יהיה לקבוע את עומק וסוג הקידוח הנדרשים לצורך החדרה. אם סוג הקרקע והמסלע הם בעלי מוליכות הידרולית טובה, ניתן לקדוח באר החדרה שטוחה ורחבה. לבאר כזו מספר יתרונות: ספיקת המים דרכה מהירה יותר, כלומר ניתן להחדיר בעזרתה יותר מים בזמן קצוב ובכך לשפר את עבודת הביופילטר בארועים שטפוניים, החלחול דרך שכבות הקרקע מוסיף עוד תווך של סינון וטיפול לפני הגעת המים אל מי התהום, ובנוסף עלות הקידוח נמוכה יותר.



איור 6.1 – חתך הידרולוגי טיפוסי של אקוויפר החוף בניצב לקו החוף. הים משמאל. מקור: נתונים רב שנתיים באגן החוף, דו"חות שנתיים באתר רשות המים.

על פי ניתוח מבנה האקוויפר באזור והרכבם הכימי של המים בו, ייקבע עומק הקידוח ואופי פעולת הביופילטר. לאקוויפר החוף 4 תתי מבנים A, B, C ו-D (באיור 6.1 לא מופיע תת מבנה D). בשל הקירבה לים ייתכן כי בתת מבנים A ו-B ריכוז הכלורידים חורג מעל ל-250 מ"ג, כלומר האקוויפר "הומלח". אם זהו המצב, ניתן להחדיר מים לאקוויפר בשני אופנים. האחד, לקדוח עמוק יותר ולהחדיר ישירות לתתי מבנים C או D. קידוח עמוק שכזה דורש באר החדרה צרה בעלת ספיקה נמוכה יותר, עלויות גבוהות יותר וייתכן כי הוא מצריך החדרה ישירה המחייבת רמת טיפול גבוהה יותר במים. לחילופין, ניתן להשתמש במים המוחדרים על מנת לדלל את ריכוז הכלורידים. פעולה זו הינה מורכבת ועדינה, ועל מנת לנסות אותה יש למפות היטב את מבנה האקוויפר באזור החדרה. במקרה זה ניתן גם לשאוב מים מהאקוויפר ולהעבירם בביופילטר לצורך דילול הכלורידים והחדרת מים בעלי ריכוז כלורידים נמוך בחזרה לאקוויפר, אם כי הביופילטר האמור אינו מרחיק כלורידים בצורה טובה. ייתכנו גם זיהומים אחרים באזור שיהפכו את החדרה למיותרת, ולכן יש לבדוק נתונים אלו לפני הקמת הביופילטר.

ב. אומדן כמויות הנגר באגן הניקוז של גן מאיר, שיפועים וספיקות.

אומדן כמויות הנגר, השיפועים, הספיקות ומאפיינים נוספים שלאגן הניקוז של גן מאיר דרושים על מנת לתכנן את אתר הביופילטר ואת מבנהו. אומדן כמויות נגר ראשוני הכרחי לצורך בחינת ההיתכנות. אומדן הכמויות והספיקות בארועי גשם קטנים, רגילים וארועי שיא במובל שתחת גן מאיר הכרחי לצורך תכנון הספיקות שיעברו דרך הביופילטר בארועי הגשם השונים, על מנת להבטיח את פעולתו התקינה. אומדן השיפועים ומהירויות הזרימה במובל, יכתיבו אם יש צורך להאט את הזרימה לפני הכניסה לביופילטר. מחד ישנו רצון להעביר כמה שיותר מים דרך הביופילטר בזמן קצוב, על מנת לטפל בכמה שיותר מים, מאידך קצב זרימה מהיר מדי עלול לחבל במערכת או שלא לאפשר טיפול מיטבי. מאפיינים נוספים של אגן הניקוז כמו מקדם הנגר הממוצע, חיבוריות השטחים האטימים וזמן הריכוז שלו המאפשר לדעת את פרק הזמן עד ספיקת השיא בארוע גשם, יאפשרו תכנון מיטבי של הביופילטר כך שיוכל לטפל בכמה שיותר מי נגר מבלי להיות חשוף לנזקים והצפות של ארועי גשם גדולים בהסתברויות נמוכות של 10, 20, 50 ואף 100 שנה. למותר לציין, כי בידי העירייה אין מדידות של ספיקות, אלא אומדנים מחושבים בלבד.

ג. בחינה של איכות מי הנגר בגן מאיר.

בפרק "איכות מי נגר עירוניים" סקרנו את העבודות שנעשו בארץ ובעולם לניטור מי נגר עירוניים. כל העבודות שנבחנו מצביעות על איכות מפתיעה לטובה של הנגר העירוני, יחד עם הסתייגות בעיקר בכל הנוגע למתכות מסיסות (ברזל, אלומיניום) ואינדיקטורים פתוגניים (חיידקים, וירוסים ואף טפילים). החוקרים קבעו כולם שיש לטפל במים לפני החדרתם למי התהום.

לאור ניסיונו ושיטתו של ירון זינגר עם מערכת הביופילטר בכפר סבא, דגימת איכות הנגר בכל אתר המיועד להתקנת המערכת אינה הכרחית. ההנחה היא שיש זיהום, וכי הביופילטר מסוגל להתמודד איתו בספיקות נמוכות, עד להגעה לאיכות הראויה להחדרה (לא לשתייה). כלומר ניטור הנגר מצינור התיעול המזרים מים לביופילטר אינו שלב הכרחי עבור הקמתו.

עם זאת, כדי לקבוע את הצלחת הפיילוט יש לדגום את המים בכניסה לפילטר וביציאה ממנו, לבחינת הרחקת המזהמים ברמות ספיקה שונות. הפרמטרים העיקריים לבדיקה יהיו, בהתאם לסיבות לסגירת הבארות במחוז ת"א (פרק "מרכז תל אביב, הבעיה בהתגלמותה"), ובהתאם לתוצאות הניטור ממחקרים בערים אחרות בישראל:

1. מוצקים מרחפים.
2. מתכות כבדות.
3. מיקרו-מזהמים אורגניים: בעיקר נגזרות דלק.
4. אינדיקטורים פתוגניים, כולל וירוסים וטפילים.
5. ארבעת הפרמטרים לעיל ימצאו בוודאות גבוהה במי הנגר של מרכז תל אביב.
5. חנקה (ניטרט).

כמויות החנקה במי הנגר של תל אביב לא צפויות להיות גבוהות, כיוון שזהו נגר ממקור לא חקלאי. עם זאת, מכיוון שזהו מזהם נפוץ בתוך האקוויפר, וכיוון שהוא מגיע לנגר עירוני מסיבות של גלישת ביוב, יש להקפיד הקפדה יתרה על הרחקתו ממי התהום.

לאחר קבלת תוצאות הבדיקות, יהיה ניתן לקבוע כיצד התמודד הביופילטר עם הספיקות וריכוזי הזיהום של הנגר ממרכז תל אביב. במידה והרחקת הזיהום לא תעמוד בסטנדרטים להחדרה, יהיה צורך להקטין את ספיקת המים למתקן.

ד. בחינת מערכת הביופילטר בשטח.

לאחר שהשטח נבחן מבחינת התשתית הסטרטיגרפית וההידרולוגית, ונותחו הספיקות שיגיעו למתקן הביופילטר, יש להציב את המערכת בגן מאיר ולבחון את תפקודה.

מבחן התוצאה החשוב ביותר הוא בדיקת איכות המים בכניסה והיציאה מהמכשיר, כמתואר בסעיף הקודם. בנוסף, יש לבחון את המערכת עבור הפרמטרים הבאים:

• החדרת מי הנגר לתוך האקוויפר

מטרת העל של הביופילטר היא השבת המילוי החוזר שאבד לאקוויפר עם תהליך העיור. יש לבחון את קצב ההחדרה לו מסוגל המתקן בשטח. ייתכן כי יכולת ההחדרה תהווה גורם מגביל לטיהור המים.

בניסוי בכפר סבא נקדחו שני סוגים של בארות החדרה- עמוקה ורדודה. הסתבר כי דווקא באר החדרה הרדודה הייתה יעילה יותר מהעמוקה. גם כאן יש לבחון מהו עומק ההחדרה האופטימלי.

• פילטרציה של מי התהום בעונת היובש

מערכת טיהור ביולוגית כפי שאנו מציעים, טומנת בחובה בעיה- בחודשי הקיץ החמים של תל אביב יש להשקות את הצמחים כדי למנוע מוות של המערכת. הפתרון בכפר סבא היה שאיבת מים מזוהמים בניטרט מבאר מושבתת סמוכה, טיהורם והשבתם לאקוויפר. החדרת המים לאקוויפר מחייבת קידוח, ולכן אף על פי שאין באר קרובה לגן מאיר, ניתן לשקול בחודשי הקיץ שאיבת מים מהקדח, טיהורם והשבתם להשקיה. זאת במידה והמים אכן זקוקים לטיהור. ייתכן גם כי מי האקוויפר במרכז העיר הם באיכות טובה להשקיית הביופילטר והגן ללא טיפול מקדים.

• השקיה בחורף ובקיץ

כפי שמערב העיר ראשון לציון מושקה במי הגשמים מפרויקט ההחדרה של תאגיד "מניב ראשון בע"מ", ניתן להשקות את גן מאיר ואת ושטחים הסמוכים לו במים הנגר לאחר טיפול. בקיץ, ניתן לשאוב מים מן האקוויפר להשקיה. כך תחסוך העירייה במים שפירים להשקיה, שתעריפם גבוה.

• "אי ירוק" מוקף ספסלים להנאת התושבים

הביופילטר יכול להשתלב כתוספת נוף נאה לגן מאיר, וניתן לעצב את הצמחייה שבו ואת צורתו בדרכים יצירתיות. ניתן לשקול להשתמש באבני השפה של המתקן כספסלים, ואף להצל את שטחו. כך "הולך לאיבוד" מינימום שטח לטובת שיקום האקוויפר.

ה. בחינת התועלות הכלכליות של הביופילטר בגן מאיר.

בחינה של התועלות הכלכליות היא שלב קריטי בכל פרויקט ולרוב מהווה את נקודת ההכרעה אם להשקיע בו או לא. פרויקט הביופילטר בגן מאיר אינו חריג במובן זה וגם הוא מחייב בחינה של התועלות הכלכליות אותן הוא יכול להציע, על מנת להציג את כדאיותו הכלכלית.

במקרה שלנו התועלות מתחלקות לשתי קבוצות עיקריות: התועלות הכלכליות לעיר עצמה והתועלות ביחס להפקת מים ממקורות אחרים (בעיקר התפלה).

תועלות כלכליות לעיר עצמה - כרמון ושמיר קבעו במחקרם משנת 2007 מספר פרמטרים של תרומה כלכלית אפשרית לתכנון רגיש למים במרחב העירוני, ביניהם: חיסכון בתשלומים עבור מים כתוצאה משימוש במים להשקייה; פטור מהיטל הפקת המים המתקבל מרשות המים, בדומה להסכם עם "מניב ראשון"; חיסכון בעלויות ביטוח ותביעות נזיקין הקשורים בהצפות; וחיסכון בבניית צנרת ניקוז (כרמון ושמיר, 2007). תועלות אלו הינן רלוונטיות גם לגבי הביופילטר.

התועלות ביחס להפקת מים ממקורות אחרים (בעיקר התפלה) – התועלות הללו מתייחסות לתועלות של הוספת מים ברי שימוש לאקוויפר, שאם לא כן היה צריך להפיק מהתפלה. לשם כך יש להשוות עלויות בין מ"ק מים שיוחדרו דרך הביופילטר למ"ק מים מהתפלה. התועלות הנמנות בקבוצה זו כוללות חיסכון בעלות ההתפלה, בהובלת המים וחיסכון בעלויות חיצוניות כגון זיהום אוויר וערך הגז להפקת האנרגיה (רוזנטל, 2010).

מעבר לשתי קבוצות תועלות אלו, קיימת תועלת מרכזית נוספת והיא התועלת הכלכלית שבשיקום האקוויפר. אומדן של תועלת זו כרוך במחקר רב מאוד ולא ניתן יהיה לבצעו במסגרת מחקר זה.

כמו כן, לא מן הנמנע שיתגלו תוך כדי ביצוע הפרויקט השפעות חיצוניות נוספות אותן יהיה ניתן להעריך ולהוסיף לרשימת התועלות הכלכליות של הביופילטר.

7. שיטות מחקר

א. ניתוח נתונים סטטיסטיים והידרולוגיים של הקרקע במרכז העיר.

ניתוח הנתונים הסטטיסטיים וההידרולוגיים יבוצע באחת או יותר מהדרכים להלן:

- ניתוח החתכים הסטטיסטיים הקרובים ביותר לאתר. חתכים אלו יושגו מרשות המים ו/או מקורות.
- ניתוח נתונים מהקידוחים ההידרולוגיים הקרובים ביותר לאתר. מנתוני הקידוחים ניתן להוציא הן את מבנה הקרקע והן את הרכב מי האקוויפר. נתונים אלו יושגו מרשות המים ו/או מקורות.
- במידה והנתונים לא יהיו עדכניים דיים או קרובים גאוגרפית דיים, ניתן לבצע קידוח בדיקה וניטור לעומק לא רב באתר עצמו. קידוח שכזה כרוך בעלויות גבוהות יותר, אך הוא נותן ודאות מוחלטת באשר לסוג הקרקע ולהרכב מי האקוויפר בתתי מבנים A ו- B. קידוח עמוק לא אפשרי בשל עלויות גבוהות והוא גם אינו נדרש, שכן תתי מבנים אלו מנותקים מהים וקדיחת באר ההחדרה מתבצעת כמעט עד מפלס מי התהום בהם.

ב. היבטים של הנדסת תיעול – אמדן כמויות הנגר, ניתוח שיפועים וספיקות.

אומדני המאפיינים ההידרולוגיים של אגן הניקוז יתבצעו ב-3 דרכים שונות אשר ישלימו זו את זו:

- קבלת נתונים מהעיריה – תכנית אב לניקוז ת"א (קסלר, 1996) כוללת בתוכה נתונים הידרולוגיים רבים. התכנית כוללת את שטח אגן הניקוז, השיפועים בו, חיבוריות השטחים האטימים ואת הספיקות המירביות עבור סופות תכן של פעם בשנתיים ופעם בחמש שנים. בימים אלו מצויה עיריית ת"א בהליכי מכרז לתכנית אב חדשה לניקוז. בנוסף, במחלקת התיעול בעירייה מצויות מפות מפורטות באשר למובלים באגן הניקוז (איור 7.1), מיקומם, גדםם והספיקות המתוכננות לעבור בהם. הצעד הראשון יהיה קבלת כל הנתונים הללו מעיריית ת"א. למותר לציין כי עיריית ת"א, ולמעשה רובן המכריע של העיריות, אינה מודדת הלכה למעשה את הספיקות במובלים, אלא מסתמכת על החישובים שנעשים ע"י יועצים חיצוניים בעת הכנת תכנית האב.



איור 7.1 – מובל ראשי תחת גן מאיר, מיקום ונתונים. הדגשות ותגיות של המחברים.
מקור: מפת תיעול עיריית ת"א גליון 30-31.

- חישוב תאורטי – לצורך הקמת הביופילטר ידרשו נתונים נוספים מעבר לנתונים המצויים בתכנית האב לניקוז. תכנית האב לניקוז אינה סוכמת כלל את כמויות הנגר באגן, אלא ספיקות שיא בלבד. אמדן כמות הנגר השנתית הממוצעת (Q) מבוצע על פי בן צבי (1975) על ידי המכפלה של כמות הגשם השנתית הממוצעת בת"א במ"מ (P), שטח אגן הניקוז בדונם (A) ומקדם הנגר הממוצע (K).

$$Q = P \cdot A \cdot K \quad (1)$$

כמות הגשם השנתית הממוצעת בת"א הינה 583 מ"מ (ממוצע גשם רב שנתי בתחנת קרית שאול, השירות המטאורולוגי). שטח אגן הניקוז המתנקז לגן מאיר הוא כ- 800 דונם (הוערך בעזרת יישום מדידת מצולע באתר GIS של המרכז למיפוי ישראל). חישוב מדויק יותר יבוצע בעזרת תוכנת GIS ייעודית כפי שיפורט להלן. מקדם הנגר הינו מספר בין 0 ל-1 המבטא את היחס בין כמות הגשם היורד לבין כמות הנגר הנוצרת בפועל. מספר זה תלוי בכיסוי השטח ובחיבוריות השטחים האטימים, כאשר ככל שהוא קרוב יותר ל- 1, כמות הנגר גדולה יותר עבור כמות גשם מסוימת. בן צבי נוקב בעבודתו בערך של 0.7 עבור מרכזי ערים.

ברם, הערכת מקדם הנגר היא הקשה ביותר לחישוב כיום, ערכו מתקבלים על פי טבלאות שמגדירות טווח ערכים למספר טיפוסי בניה אופייניים. השימוש בטבלה הוא בעייתי מסיבה כפולה: שרירותיות בחלוקה שגוזרת דין שווה על כל דגם בינוי, וקביעת טווח ערכים אשר מראש מתנה סטיה חישובית מסוימת. ערכו של מקדם הנגר משתנה בין יישוב עירוני אחד למשנהו על פי פרמטרים שונים: צפיפות בניה, שטח כבישים, אחוז כיסוי עירוני, דגם ניקוז הגגות ותשתית טבעית: (ליתולוגיה, קרקע ושיפוע). ההנחה היא כי קיימים מספר דגמי בניה אופייניים, מסווגים לפי גודל ותכונות משתני התכסית בתוכם. דגמי הבינוי מזוהים למעשה עם שם תיאורי שגור: מרכז עיר, פרבר עירוני, ישוב חקלאי, אזור תעשייה וכו'. (ענבר וחובריו 2005). ענבר וחובריו חישובו בעבודתם מקדמי נגר עבור מספר שכונות בחיפה, ביקנעם ובירושלים והגיעו לערכים אמפיריים של 0.21-0.44. על מנת לבצע אמדן זהיר, נשתמש במחקר זה בערכים שהתקבלו על ידי ענבר וחובריו ולא בערך שקבע בן צבי. עם זאת, נעשה שימוש בערך הגבוה ביותר שנמדד ע"י ענבר וחובריו שכן מרכז ת"א מבונה יותר מכל השכונות שנבדקו על ידיהם. לפיכך, בהצבת הערכים לעיל, האמדן הראשוני הינו:

$$Q = P \cdot A \cdot K = 583 \cdot 800 \cdot 0.44 = 205,216 \text{ m}^3 \cdot \text{year}^{-1} \quad (2)$$

כמות זו, של למעלה מ- 205,000 קוב בשנה הינה כפי הנראה יותר ממה שהביופילטר כפיילוט מסוגל לקלוט.

תרומה נוספת שמראים מחקרם של ענבר וחובריו, היא פיתוח רכיב עבור תוכנות GIS המאפשר ניתוח מורכב יותר של שטח אגן הניקוז. שימוש ברכיב זה באגן הניקוז של גן מאיר ייתכן ויאפשר חישוב מדויק יותר של מאפייני הזרימה באגן הניקוז.

- התקנת מדי ספיקה במובל תחת גן מאיר – במידה ויידרש מידע מדויק יותר, ובהתאם לעלויות הנגזרות, ניתן לשקול התקנתו של מד ספיקה במובל העירוני. מחד מד ספיקה שכזה יתן את הנתון המדויק ביותר. מאידך, מאחר ושונות ארועי הגשם באזורנו היא גבוהה, מדידה לאורך עונת גשם אחת ואפילו שתיים, לא תתן תמונה שלמה באשר לאופי הזרימה באגן הניקוז. למותר לציין כי בכניסה למתקן הביופילטר מותקן מד ספיקה, אולם הוא מודד רק את הספיקות הנכנסות למתקן ולא את הספיקות במובל עצמו.

ג. סקירת ספרות בנושא מי נגר בערים שונות בישראל, דיגומים מקומיים של נגר וניתוח

מעבדתי.

עבודות המחקר לניטור מי נגר שנערכו בארץ, הצביעו על קושי ביצירת פרופיל של מי הנגר במדידות ספורות. איכות מי הנגר משתנה תכופות בהתאם לעוצמת הסופה, ההפרש בין סופה אחת לקודמתה, זמן הדגימה- בתחילת, אמצע או סוף הסופה, ועוד. לכן, כדי לקבל תמונה מלאה של איכות מי הנגר בתל אביב, יש לדגום באזורים שונים (תעשייה, מגורים), במועדים רבים לאורך חורף אחד, ולמעשה בפריסה על פני יותר מחורף אחד. זוהי עבודת מחקר בפני עצמה, המצריכה זמן ומשאבים רבים, אנושיים וכספיים.

לפיכך בבואנו לדגום את מי הנגר בכניסה וביציאה ממתקן הביופילטר בגן מאיר, עלינו לוותר על יצירת פרופיל וודאי של איכות המים. בהסתמך על המחקרים שיש בידנו, ועל נתוני הדגימות מהמתקן בכפר סבא, נעריך מתי ואילו פרמטרים עלינו לדגום, במתכונת מצומצמת.

בכפר סבא הותקנו לצד הביופילטר שני דוגמים אוטומטיים- מדובר ברובוט עם גלגל מסתובב הממלא בקבוקים במים, ומרוקן אותם כעבור זמן מוגדר. הדוגמים מאפשרים גמישות מסוימת בהגעה לאתר, כיוון שניתן להגיע עם שוך הסערה ולדגום מים מתחילתה.

אם כן, בחינת איכות הנגר בכניסה וביציאה ממתקן הביופילטר בגן מאיר תתבסס על שתי שיטות מחקר:

1. סקירת ספרות מהארץ והעולם בנושא ניטור נגר עירוני, לזיהוי הפרמטרים המרכזיים לדיגום במי נגר עירוני. ייתכן כי יש להוסיף בדיקות מעבדה מורכבות החסרות ברבים מהמחקרים, כמו מיקרו מזהמים אורגניים לא נדיפים, וירוסים וטפילים.

2. דיגום אוטומטי של המים בכניסה וביציאה מהמתקן, בדיקות מעבדה וניתוח התוצאות. תוצאות המעבדה הן האינדיקציה העיקרית למידת ההצלחה של הביופילטר בספיקות הנתונות.

ד. התקנת הביופילטר ומערכות ניטור בשטח גן מאיר.

התקנת מערכת הביופילטר והדיגום האוטומטי היא החלק הקריטי בעבודה, שצריך להיעשות בפיקוח קפדני ותוך השקעת משאבים כספיים גדולים. קודם לה שלב הביורוקרטיה והסטטוטוריקה הכרוכים בבניית מתקן שכזה בלב העיר, שלא נכנסו אליו בעבודה זו.

התקנת מערכת הביופילטר בגן מאיר כרוכה ב:

- חפירה רדודה (1.2 מטר עומק על כ-80 מ"ר) של הביופילטר עצמו, ומילוי בשכבות הסינון השונות על כל מרכיביהן, כולל הנחת שכבה תורמת אלקטרוניס.
- התחברות לצינור התיעול המוביל מי נגר מתחת לגן מאיר.
- קידוח עמוק, רדוד, או שניהם גם יחד, להחדרת המים המטופלים לתוך האקוויפר. ישנה אפשרות להחדרה ישירה לשכבה הרוויה של האקוויפר, או להחדרה רדודה המאפשרת למים להמשיך ולחלחל אל השכבה הרוויה, בתלות בשכבות הקרקע שבמקום.
- התקנת דוגם אוטומטי אחד או יותר, למען דיגום של המים לפני ואחרי הטיפול.
- בחינת התקנת משאב שתשאב מהאקוויפר בחודשי הקיץ להשקיה של הגן והסביבה.

ה. אומדן עלויות ותועלות בשיטות כלכליות.

ניתוח עלות-תועלת הוא כלי כלכלי המאפשר להשוות בין העלויות ובין התועלות של הפרויקט ולהסיק לגבי יעילותו וכדאיותו הכלכלית (Lipton, 1995). במסגרת הניתוח מודדים את כל העלויות של הפרויקט, מודדים את כל התועלות הישירות והנלוות של הפרויקט, מבצעים היוון (כלומר המרה לערכי הווה) של התועלות והעלויות העתידיות ומקבלים ערך נוכחי נקי לפיו ניתן להחליט על הכדאיות הכלכלית של הפרויקט.

מודלים של ניתוח עלות תועלת משתנים בעיקר ביחס לשיעור הניכיון שעל פיו עורכים את ההיוון. זוהי נקודה משמעותית כיוון ששיעור הניכיון מצביע על היחס לתועלות העתידיות ולערך שאנו מייחסים לתועלת חברתית גם של הדורות הבאים. כמו כן רוב הבעיות הסביבתיות הן בעיות שדורשות טיפול ארוך טווח ולכן שיעור זה הוא בעל השפעה רבה. לרוב שיעור ניכיון לפרויקט חברתי (שיעור ניכיון חברתי) יהיה נמוך משיעור הניכיון המקובל (כיוון שבכך הוא מקטין פחות את ערכי התועלות העתידיות).

במדריך לתכנון ובניה משמרת נגר עילי מ-2004 מוצע מודל לבחינת הכדאיות של אמצעים לשימור נגר עילי, אשר על בסיסו יערך הניתוח גם לפרויקט הביופילטר:

מרכיבי המודל:

- **C** – השקעה כוללת במתקן
- **AC** – עלות שנתית, הכוללת תחזוקת המתקן (חישוב של חלוקת ההשקעה הכוללת על פני שנות הפרויקט)
- **Q** – כמות שנתית ממוצעת המתווספת למי התהום כתוצאה ישירה של המתקן הנבדק (תוערך בהשוואה לחלופה בה הנגר העילי זורם באופן חופשי לשטחים שבמורד אגן הניקוז המקומי או למערכת הניקוז העירונית).
- **1V** – ערך החיסכון ממ"ק של נגר עילי, המשומר באמצעות המתקן הנבדק (מתייחס לתועלת מהפקת מ"ק מים ביחס לשיטות הפקה אחרות כגון התפלה).
- **2V** – חסכון עקיף ממ"ק של נגר עילי (מתייחס לתועלות עבור העיר, כגון ניקוז, חיסכון בביטוח וכדומה)
- **I** – שיעור ניכיון חברתי. במודל המקורי I הינו שיעור הריבית הריאלית. על ידי החלפה בשיעור הניכיון אנו נותנים ערך גבוה יותר לתועלות החברתיות החבויות בפרויקט, כפי שהוסבר קודם לכן.
- **PMT** – החזר שנתי של ההשקעה (C) בשיעור הניכיון החברתי (I) לאורך חיי המתקן (N).

קריטריון כלכליות

המתקן יהיה כלכלי, אם יתקיים אי-השוויון להלן:

$$PMT (I, N, C) < (V1 + V2) * Q - AC \quad (3)$$

8. סיכום ומסקנות.

בעוד שמדינת ישראל מצויה במצב של מחסור במים ההולך ומחמיר עם גידול האוכלוסיה, הרי שעם הימשכותו של תהליך העיור, כמויות גדולות של מי גשמים שבעבר היו מחלחלים אל מי התהום ומעשירים אותם, מוצאים היום את דרכם לים וכך אובדים למשק המים. עובדה זו מעלה בצורה ברורה את הצורך בהחדרת נגר עירוני אל מי התהום. פתרון זה נותן מענה הן לבעיות שיוצר הנגר והן לפגיעה המתמשכת באקוויפר החוף, בבחינת "שתי ציפורים במכה אחת". לפני החדרתם לאקוויפר, יש לטפל במי הנגר להוצאת המזהמים שהצטברו בהם במהלך הזרימה ברחובות העיר. מכאן שכל פתרון לתפיסה של מי נגר חייב לתת מענה גם לבעיה זו. מתקן הביופילטר שנבנה בכפר סבא בהובלתו של ירון זינגר, מהווה מתקן מתאים ביותר לצורך זה – שטחו קטן יחסית לספיקתו, יכולתו בטיפול במי נגר מוכחת, והוא מהווה בעצם חלק מגן ציבורי בהיותו מושתת על צמחיה. במרכז תל אביב, כמו גם בערים אחרות שפיתוחן הושלם, לא ניתן לייעד שטחים חדשים עבור מתקני תפיסה וטיפול, בשל העובדה ששטחים פנויים אינם נמצא, או לחילופין הינם יקרים מדי. ברם, במרכזי ערים רבות מצויים שטחים בהם ניתן גם ניתן להקים מתקנים שכאלו – הגנים הציבוריים. במרכז תל אביב, גן מאיר הינו דוגמה מצוינת לשטח שכזה.

לפיכך ביקשנו בעבודה זו לתאר את הבדיקות הנדרשות להקמה נסיונית של מתקן שכזה בגן מאיר. בדיקותינו הראשוניות הביאו אותנו למסקנה כי מתקן שכזה יכול להיבנות ולעבוד במרכז תל אביב, מסוגל לטפל במי הנגר ולהחדירם באופן מבוקר למי התהום. כמובן שהחלטה סופית בענין יכולה להילקח רק לאחר השלמת הבדיקות, ומעבר לכך, לאחר קבלת הסכמתם של כל הגופים המעורבים.

אחד החסמים העומדים בדרכו של פרויקט זה כמו בפרויקטים סביבתיים אחרים, הוא ייתכנותם הכלכלית. החזר ההשקעה במתקן תלוי בכמות המים שתצליח לייצר העירייה עבור השקייה, ובפטור מהיטל ההפקה שתעניק רשות המים. אולם, יש לזכור כי לפרויקט גם תועלות רבות נוספות, הן לתושבי הערים באופן ישיר וכמובן למדינת ישראל בכלל. ההשקעה בפרויקט הינה חד פעמית, כשלאחר מכן תחזוקתו משתווה לתחזוקת גינה רגילה. בהשוואה למתקן ייצור מים כמו מתקני ההתפלה, השפעתו הסביבתית הכוללת של מתקן שכזה קטנה עשרות מונים ובכך מגדילה את יעילותו בטווח הארוך.

הקמה מוצלחת של הביופילטר בטבורה של תל אביב תוכיח, אנו מקווים, את ייתכנותם של פרויקטים רבים כאלו בתל אביב ובערים אחרות, ובכך יתאפשרו החדרה ושימושים אחרים בנגר שהיום זורם כולו לים. פרויקטים כאלו יכולים לכלול גם שימושים אחרים בנגר, כמו תפיסתו עוד בשטחי המגרשים, כפי שמציעים מסמכי התכנון הרגיש למים, השהית הנגר בגנים הציבוריים היכולה להביא לחסכון במי השקיה, טיפול בנגר ושימוש בו להשקית גינות, כפי שמאפשר הפילטר הכימי-פיסיקאלי המפותח באוניברסיטת מונאש, איגום מי הנגר ליצירת שלוליות חורף, דוגמת המתרחש בהרצליה ועוד.

עבודה זו מצטרפת לעבודות רבות אחרות הקוראות לשנות את סדרי החשיבה הקיימים במגוון תחומים: נגר אל לו שייחשב מטרד, אלא יש להתייחס אליו כמשאב; שימושיהם החברתיים-רווחתיים של גנים ציבוריים אל להם לבוא על חשבונם של השימושים האקולוגיים; הפתרונות למשק המים נמצאים אצל כל אחד בחצרו האחורית ובקהילתו, לאו דווקא בפרויקטים לאומיים – תרומתם המצרפית של פרויקטים קטנים רבים משתווה ויכולה אף לעלות על תרומתם של פרויקטים עתירי משאבים, ממון והשפעה על הסביבה.

9. רשימה ביבליוגרפית.

מקורות:

- אנוש מערכות סביבתיות, 2004, מדריך לתכנון ובניה משמרת נגר עילי. משרד הבינוי והשיכון, משרד החקלאות ופיתוח הכפר והמשרד לאיכות הסביבה, ירושלים.
- בורמיל, ש., כרמון, נ., שמיר, א., 2003, נגר עירוני בשכונות מגורים. המרכז לחקר העיר והאזור, הטכניון, חיפה.
- בן צבי, א., 1975, חקר המערכת הארצית ותכנונה לקראת מצבים קיצוניים צפויים בשנות ה-80 וה-90, תחזית השפעת העיור על המילוי החוזר לאקוויפר החוף. תה"ל, תל אביב.
- גולדשלגר, נ., אלון, מ., בר, י., בן דור, א., גרזוזי, ג., שושני, מ., שגיא, פ., אסף, ל., 2008, הערכת כמויות ואיכויות הנגר בהרצליה ורעננה לצורכי ניצול מים והשפעת שימושי קרקע. דו"ח מסכם לרשות המים, ירושלים.
- כרמון, נ., שמיר א., (בהשתתפות ארמון, ר., גולדמן, ד., כץ, ש., קרונבטר ל.), 1997, תכנון עירוני רגיש למים: הגנה על אקוויפר החוף הישראלי. המרכז לחקר העיר והאזור, הטכניון, חיפה.
- כרמון, נ., שמיר א., 2001, בנייה משמרת מים. *הנדסת מים*, (47), עמ' 19-20, ש.נ.אר מידע ומדיה, תל אביב.
- כרמון, נ., שמיר א., 2007, תר"מ – תכנון רגיש למים: שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי. משרד השיכון, ירושלים.
- לסטר, ר., אלמוג, ר., ליבני, ד., רוזנטל, מ., 2010, בחינה והתאמה של בניה משמרת מים בשיטת ה-LID בתנאי הארץ. משרד התשתיות הלאומיות, רשות המים, ירושלים.
- מזור, א. (מוסד שמואל נאמן והטכניון), 1997, "ישראל 2020": תכנית אב לישראל בשנות האלפיים. עבור מדינת ישראל, ירושלים.
- משרד הבריאות, 2007, הועדה לעדכון תקנות איכות מי השתיה – ועדת עדין - סיכום עבודת הועדה. משרד הבריאות, ירושלים.
- משרד הבריאות, 2012, מידע שנמסר בדוא"ל לפי בקשת המחברים, על ידי האגף לבריאות הסביבה, משרד הבריאות.
- נתיב, ר., שיין, ד., אסף, ל., 2006, ניטור מי גשם, נגר ומי תהום בסביבה עירונית. דו"ח מסכם לנציבות המים, ירושלים.
- ענבר, מ., פלד, א., זיגל, א., 2005, מציאת מקדם הנגר העילי בסביבה עירונית, דו"ח מחקר לנציבות המים, אוניברסיטת חיפה, חיפה.
- פרידלר, ע., גרין, מ., 2001, ניתוח נתוני איכות מים עבור עמותת אזרחים למען הסביבה בגליל. תכנית ממש"ק – מחקר מדעי בשיתוף הקהילה, מרכז ציפורי, יער ירושלים.
- קסלר, א., (צנובר יועצים בע"מ), 1996, תכנית אב לניקוז תל אביב. עיריית תל אביב. תל אביב.
- רוזנטל, ג., 2010, דו"ח בחינה כלכלית-מוסדית של שימוש בשיטת הביופילטר. עבור קק"ל, תל אביב.
- רשות המים, 2011, תכנית אב ארצית ארוכת טווח למשק המים, מסמך מדיניות מהדורה 3. רשות המים, ירושלים.
- שפירא, ע., האן, א., 2008, שטחים ציבוריים פתוחים בערים: מדריך לתכנון. המשרד להגנת הסביבה, משרד הפנים ומשרד הבינוי והשיכון, ירושלים.
- תכנית מתאר ארצית (תמ"א) 34 ב'4, 2007, תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים - איגום מים עיליים, החדרה, העשרה והגנה על מי התהום. משרד הפנים, ירושלים.

Armon, R., 1997, Recharge of groundwater by infiltrated urban runoff: quality aspects (microbiological and chemical),

בתוך כרמון, נ., שמיר א., (בהשתתפות ארמון, ר., גולדמן, ד., כץ, ש., קרונבטר ל.), 1997, תכנון עירוני רגיש למים: הגנה על אקוויפר החוף הישראלי. המרכז לחקר העיר והאזור, הטכניון, חיפה.

Chiesura, A., 2004, The Role of Urban Parks for the Sustainable City. *Landscape and Urban Planning*, (68:1), pp. 129–138, Elsevier B. V., Amsterdam, Netherlands.

Cranz, G., Boland, M., 2004, Defining the Sustainable Park: A Fifth Model for Urban Parks. *Landscape Journal*, (23:2), pp. 102-120, University of Wisconsin Press, Wisconsin, USA.

Environmental Protection Agency, 2003, Protecting Water Quality from Urban Runoff: Document No. EPA 841-F-03-003. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., USA.

Lipton, D. W., Wellman, K., Sheifer, I. C., 1995 Economic Valuation of Natural Resources: A Guidebook for Coastal Resources Policymakers. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 5, Washington, D.C., USA.

Wong, T. H. F., (ed.), 2006, Australian Runoff Quality: A Guide to Water Sensitive Urban Design. Engineers Australia, Canberra, Australia.

Zinger, Y., Deletic, A., Fletcher, T. D., Breen, P., Wong, T., 2011, A Dual-mode Biofilter System: Case Study in Kfar Sava, Israel. Centre for Water Sensitive Cities, Department of Civil Engineering, Monash University, Victoria, Australia.

מקורות אינטרנט:

השירות המטאורולוגי, כמות גשם חודשית, שנתית ועונתית ממוצעת (מ"מ) בתקופה 1980/1-2009/10:
<http://ims.gov.il/IMS/CLIMATE/ClimaticAtlas/RainNormals.htm>

מאוריסיו אזרצקי, אתר "רב היבטים על ארץ ישראל":
<http://mauricioeretzisrael.wordpress.com>

מרכז מיפוי ישראל (מפ"י), אתר GIS:
<http://beta.govmap.gov.il/>

עיריית ת"א, אתר GIS:
<http://gis.tel-aviv.gov.il/iview/viewer.htm>

רשות המים – אתר הבית:
www.water.gov.il

רשות המים - מידע על אגן החוף:

http://www.water.gov.il/Hebrew/WaterResources/Coastal_aquifer/Pages/default.aspx

רשות המים - מצב איכות מקורות המים בישראל והפעולות שנקטו למניעת זיהומים, 2006/7:

<http://www.water.gov.il/Hebrew/ProfessionalInfoAndData/Water-Quality/DocLib5/Report-water-quality.pdf>

רשות המים - מתווה התפלת מים:

http://www.water.gov.il/Hebrew/Planning-and-Development/Desalination/Documents/mitva_hatpala.pdf

רשות המים - נתונים רב שנתיים באגן החוף, דו"חות שנתיים:

<http://www.water.gov.il/Hebrew/ProfessionalInfoAndData/Data-idrologeime/2009/hof.pdf>

תאגיד המים "מניב ראשון בע"מ" - מסמך פרויקט שימוש במי גשמים:

<http://www.meniv-rishon.co.il/shimushbemeigshamim.pdf>

ראיונות אישיים:

מר חנן בונה, רכז עצים, אגף שיפור פני העיר, עיריית ת"א, ראיון אישי, 11/1/2012. מראיינים: המחברים.
מר ירון זינגר, דוקטורנט באוניברסיטת מונאש, ויקטוריה, אוסטרליה ומוביל פרויקט הביופילטר בכפר סבא,
ראיון אישי, 20/1/2012. מראיינים: המחברים.

גב' יפה טל, מנהלת מחלקת פרויקטים באגף שיפור פני העיר, עיריית ת"א, ראיון אישי, 22/1/2012.
מראיינים: המחברים.

גב' מיכל נהרי, אגרונומית ראשית של מחלקת גנים ונוף, עיריית ת"א, ראיון אישי, 10/1/2012. מראיינים:
המחברים.

בחינת עקרונות חינוך סביבתי כבסיס להצעת מודל חינוכי לחיסכון במים

הצעת המחקר מוגשת במסגרת קורס פרויקטים בחקר הסביבה תשע"ב

מרצה הקורס : פרופ' אביטל גזית

מנחת העבודה : שרון בר-לב

מוגש על ידי : ספירית רוטמן, רוני ברגר וכרמל ויסמן

תודות

לשרון בר-לב על ההנחיה, על ההקשבה, התמיכה וההכוונה.
לפרופ' אביטל גזית על התמיכה בנקודת המפנה.

תוכן עניינים

5.....	מבוא.....
	1. רקע לעבודה :
6.....	1.1 רקע למשבר המים בישראל.....
11.....	1.2 רקע ספרותי לחינוך הסביבתי בעולם ובארץ.....
16.....	2. שאלת המחקר.....
16.....	2.1 מטרות המחקר.....
16.....	2.2 השערות המחקר.....
17.....	3. סקירת מודלים בעולם.....
17.....	3.1 רקע לבחירת המדינות.....
18.....	3.2 הצגת התכניות.....
20.....	3.3 טבלה מסכמת.....
23.....	4. סקירת מודלים לתכניות חינוך לחיסכון במים בארץ.....
24.....	4.1 מודל ירושלים.....
26.....	4.2 מודל החברה להגנת הטבע - "לוקחים את המים בידיים"
28.....	5. הצגת המודל המוצע.....
31.....	6. שיטות מחקר.....
33.....	7. סיכום.....
34.....	ביבליוגרפיה.....

מבוא

משבר המים הנו בעיה עולמית ממנו סובלות מדינות רבות בעולם. ישראל, סובלת מזה שנים רבות ממשבר מים חמור במיוחד. מיקומה הגיאוגרפי של ישראל באזור בעל אקלים מדברי, רצף של שנים שחונות, גידול באוכלוסייה, עלייה ברמת החיים וניהול לקוי של משק המים הם הגורמים המובילים שהובילו למשבר זה.

משבר המים בהחלט זוכה להתייחסות מדינית וציבורית; קמפיינים פרסומיים מופקים, ועדות מיוחדת מתכנסות וטכנולוגיות חדשות ומחוכמות מיושמות. במהלך קורס "פרויקטים בחקר המים", שבמסגרתו נכתבת עבודה זו, דנו בניהול יעיל של מים בשעת מחסור. אנו סבורות כי הפעולה העיקרית בניהול יעיל של מים בשעת מחסור צריכה להיות חיסכון במים וכי דווקא פעולה זו, שהיא הזולה, הפשוטה והסביבתית ביותר מבין מגוון הפתרונות המוצעים למשבר המים בישראל, נזנחת על ידי מקבלי החלטות במדינה.

בשנים האחרונות, חלה עלייה בצריכת המים במגזר העירוני, לעומת ירידה והתמתנות במגזר החקלאי. ניהול משק המים העירוני תוך דגש על חיסכון ומודעות טומן בחובו פוטנציאל לחיסכון משמעותי. צריכת המים במגזר העירוני מתפרשת על פני צריכה ביתית, של משקים פרטיים וצריכת מים לצרכים עירוניים (מבני ציבור, גינות ציבוריות וכו').

בעבודה זו נבקש להתמקד בפוטנציאל חיסכון המים באמצעות חינוך ייעודי לשינוי הרגלים לחיסכון במים בקרב תלמידי בית ספר. אנו סבורות, כי חינוך ילדים לחיסכון במים ישפיע על נתוני צריכת המים במגזר הפרטי היום וגם בעתיד. נוסף להנחת היסוד כי ילדים הם "סוכני מוסר" וכי הטמעת הרגלים לחיסכון במים בקרבם, תחלחל למשק המים הביתי שלהם, להרגלי חיסכון המים של משפחתם ותביא לירידה בצריכת המים בפרטית; חשוב לזכור כי הילדים של היום הם מקבלי החלטות של המחר. במדינה שמתמודדת עם משבר מים מהותי, יש לחנך את דור העתיד למודעות לסוגיית המים ולניהול חכם של המשאב היקר הזה. נכון לפברואר 2012 לא קיימת תכנית חינוכית ייעודית לחינוך לחיסכון במים ברמה הלאומית. אנו סבורות כי תכנית שכזו הכרחית על מנת להציל את משק המים הישראלי. עבודה זו תעסוק בהצעת מודל חינוכי שכזה, שיצמח בהתאם למשבר המים המקומי, לעקרונות החינוך הסביבתי ובהמשך לסקירה של מודלים קיימים בארץ ובעולם.

העבודה תפתח בסקירה כללית של משבר המים העולמי ושל משבר המים הישראלי, על גורמיו, מהלך השתלשלותו והפתרונות המוצעים לפתרון המשבר. בשלב שני, נציג את עקרונות החינוך הסביבתי, עליהם נבקש להתבסס בבואנו לנסח מודל חינוכי ייעודי לחיסכון במים. לאחר מכן, נבקש להציג סקירה של מודלים חינוכיים ייעודיים לחיסכון במים בעולם, תוך התמקדות במדינות אפריקה, אוסטרליה וקליפורניה. בשלב הבא, נציג מודלים מקומיים לתכניות חינוכיות ייעודיות לחיסכון במים ונתמקד בתכנית של עיריית ירושלים ותכנית של החברה להגנת הטבע, אשר מיושמת בכמה ערים בצפון. לבסוף, נציג עקרונות למודל סביבתי חינוכי לחינוך לשינוי הרגלים לחיסכון במים, בהתבסס על המודלים שנבחנו, על משבר המים המקומי ועל עקרונות החינוך הסביבתי ונציג הצעות לשיטות מחקר לבחינת המודל בפועל.

1. רקע

1.1 משבר המים

משבר המים בישראל הוא חלק ממשבר עולמי. בעוד שמקורות המים בעולם הולכים ומדלדלים בעקבות ירידה ניכרת בכמויות הגשמים, תקופות בצורת מתמשכות וניהול לקוי של משאבי המים; הביקוש למים והצריכה של המשאב היקר הזה גדלה עם גידול האוכלוסייה והעלייה ברמת החיים. על פי נתוני האו"ם וארגון הבריאות העולמי, משבר המים אמור רק להחריף ועד שנת 2025 תיווצר מצוקת מי שתייה בלמעלה ממחצית ממדינות העולם¹.

משבר המים טומן בחובו סכנות נוספות. הסכנה הראשונה היא סכנה בריאותית חמורה. בעקבות ניהול לקוי של משאב במים, הפכו מקורות טבעיים שהיו שמישים ללא רלוונטיים, ואיכות המים במקורות הנמצאים בשימוש הידרדרה. המלחת מאגרי מים טבעיים ע"י שאיבת יתר, זיהום ע"י חומרי תעשייה ושפכים לא מטופלים, הם חלק מגורמים שמובילים לעובדה המבהילה כי מחצית מאוכלוסיית העולם סובלת מאחת משש המחלות הנובעות ממים שאינם ראויים לשתיה, ביניהן כולרה ודיזנטריה. הסכנות הבריאותיות הללו, אינן נחלתם של מי שלדאבונם נולדו במדינות מתפתחות הסובלות ממחסור במים; ע"פ נתוני ארגון הבריאות העולמי גם בארה"ב חולים מדי שנה כשישה מיליון איש כתוצאה משתיית מים מזוהמים.

סכנה נוספת הגלומה במשבר המים העולמי היא סכנה סביבתית. מחסור במים, מביא לעיתים קרובות להפקעת מקורות מים באופן הגורם לפגיעה אנושית במרקם הטבעי. כך למשל, בסקוטלנד שימוש מאסיבי במי ביצות שעברו טיפול לצורך שימוש להשקיה, הוביל לסחף של קרקעות בערוצי נחלים סמוכים, להכחדה של זני דגים ולירידה בפועל בכמויות מים הראויות לשתיה (אתר חברת "מקורות"). פגיעה סביבתית הנובעת ממשבר המים, מתרחשת גם במערכות האקולוגיות במדינת ישראל. בעבר, זרמו בערוצי הנחל שבמדינה מים צלולים ולצידם התקיימו מערכות אקולוגיות ומגוון רחב של צמחים ובע"ח. עם ההתיישבות המאסיבית בראשית המאה העשרים, נפגעו הנחלים בהדרגה עקב שאיבה וניצול מקורות המים מצד אחד והזרמה לא מבוקרת של שפכים ומזהמים אל ערוצי הנחל מצד אחר. כך למשל, הולכות ומתייבשות הלגונות והביצות שבבקעת הירדן הבטיחה עקב ירידת מפלס הכנרת. דוגמה נוספת היא שמורת מעיינות ירקון, אשר מתקיימת כיום על קצבה של 0.7 מלמ"ש מים אשר מקבלת מנציבות המים, לעומת 220 מלמ"ש שזרמו בה בעבר (גבירצמן, 2002, ע"מ 237).

אם כן, משבר המים הינו בעיה עולמית וככזה הוא זוכה לתגובות הן ברמות הבינלאומיות, למשל באמצעות נתונים בארגון הבריאות הבינלאומי, התייחסות של האו"ם לנושא, סיוע הומניטארי למדינות מתפתחות עם בעיית מים והן ברמה הלוקאלית, כלומר בתכניות פרטניות של מדינות וערים.

¹ הנתונים לקוחים מתוך אתר חברת "מקורות" שכתובתו <http://www.mekorot.co.il/Heb/articles/pages/watercrisis.aspx>

יובל ארבל ודניאל בן יהודה טוענים במאמר משנת 2010 שכותרתו "השפעתם של מסע ההסברה והיטל הבצורת על ביקושי מים בישראל" כי ישנו פער גדול בין פרקטיקות ניהול ביקוש המים בעולם לבין ישראל. לדבריהם, ההבנה כי הגידול בביקושים ועלויות הקמת מפעלי מים חדשים (כגון סכרים, מתקני התפלה וכו') הולכים וגדלים בקצב מתגבר; כך גם עלויות הנזקים הסביבתיים כתוצאה מהפקת מים נוספת, הובילה מובילי מדיניות בעולם לנקוט בגישה על פיה "יש לתת עדיפות לחיסכון במים ולאמצעים להגברת יעילות השימוש במים, לפני כל חלופה אחרת שצריכה להישקל רק כמוצא אחרון" (אראל ובן יהודה, 2010). כאמור, לפי מאמר זה גישה זו איננה הגישה המובילה בקרב מקבלי ההחלטות במדינת ישראל ופוטנציאל החיסכון של מים שפירים באמצעות חינוך והסברה (המוערך ב-5000 מלמ"ק לשנת 2020) רחוק ממימוש הפוטנציאל שלו (אראל ובן יהודה, 2010).

בשלב זה של העבודה, נבקש לדון בקצרה **במשבר המים בישראל**, בהגדרות המשבר, בהשתלשלותו ובניסיונות הפתרון שלו תוך דגש על נושא החינוך וההסברה.

מדינת ישראל נמצאת על גבול המדבר, כאשר צפון הארץ גשום יחסית ודרומה יבש. מדי כמה שנים מתקיים רצף של שנים שחונות. מקורות המים העיקריים של ישראל הינם: מקורות עיליים (בעיקר הכנרת); מי תהום (אקוויפרים); מי שיטפונות ונגר ומקור נוסף של הפקת מים באמצעים טכנולוגיים (לדוגמה השבת קולחין והתפלה). חלק ממקורות המים של ישראל משותפים לה ולשכנותיה, והדבר משפיע גם כן על היצע המים.²

ביקוש המים בישראל נובע משימושים ביתיים (לרבות גינון, מבני ציבור, בתי מלאכה ושירותים ציבוריים אחרים); תעשייה; חקלאות וכאמור מן העברה לירדן ולרשות הפלשתינית. החל משנות השבעים, ביקוש המים הלך וגדל בעקבות גידול באוכלוסייה ועלייה ברמת החיים; במקביל היצע המים לא גדל והחלה שאיבת יתר שנועדה להשלים את הפער הגובר בין הביקוש להיצע, דבר שגרם לפגיעה באיכות המים ובסופו של דבר לפגיעה בהיצע (גבירצמן, 2002). למרות שבמהלך ההיסטוריה תפסה החקלאות חלק נכבד משימוש היצע המים, בשנים האחרונות ישנה ירידה בצריכת המים השפירים בחקלאות (בין השאר עקב שימוש במי קולחין) ועלייה בשימוש במים שפירים במגזר הפרטי. בשנת 2000, לדוגמה, הועברו לצורכי חקלאות פחות מחמישים אחוזים מהמים השפירים, בעוד שבשנת 1970 הועברו יותר משמונים אחוזים (מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 2008).

משבר המים מוגדר כמצב שבו קיימת רמה גבוהה של סיכון לאובדן שליטה על האיזון הנדרש בין הצריכה הנוכחית של מים לכל המטרות הקבועות בחוק, לבין היכולת לספק את כמות הצריכה האמורה באיכות הנדרשת לכל אחת מהמטרות מבלי לפגוע במקורות המים הטבעיים ותוך התחשבות באיכות הסביבה ובעלות כלכלית סבירה (דוח ועדת החקירה הממלכתית בנושא ניהול משק המים בישראל, 2010).³

² 35 מלמ"ק מים מועברים לירדן בכל שנה. לפי ההסכם, העברה של 20 מלמ"ק מים נוספים מותנית בהפקת מים מהירמוך. עקב הבצורת הקשה בירדן בשנים האחרונות מועברת כמות נוספת כהלוואה, אף על פי שהזרימה בירמוך מעטה. 52 מלמ"ק מועברים לרשות הפלשתינית. כ-32 מלמ"ק נוספים מופקים על ידי הפלשתינים עצמם מאקוויפר ההר. (הנתונים לקוחים ממרכז המחקר והמידע של הכנסת, 2008).

³ במהלך העבודה נתייחס לדוח זה כאל "דוח הוועדה". ועדת החקירה הממלכתית בנושא ניהול משק המים בישראל הוקמה ב-2008 בהמשך לדו"ח מבקר המדינה בנושא.

אם כן, מדינת ישראל בהחלט מודעות לחומרתו של משבר המים ולצורך הבווער לטפל בו. הבעיה טמונה בהתייחסות למשבר המים, בדרכי הטיפול המוצעים וביישום ההצעות הללו ונעוצה בשורשי ההיסטוריים של משבר המים.

העיקרון הראשון שמציע דוח הוועדה מ-2010 לנושא משבר המים, שיש להתייחס אל המים כאל מוצר במחסור שיש לנהוג תמיד ריסון בצריכתו, לא היה תמיד עיקרון מנחה במדיניות המים של מדינת ישראל שהייתה מדיניות של "הליכה על הסף" בכל הנוגע למדיניות ההפקה של המים (דוח ועדת החקירה הממלכתית בנושא ניהול משק המים בישראל, 2010). מתחילתה של הציונות, ולאחר מכן- עם הקמתה של מדינת ישראל, לא הסכימו מנהיגי הציונות והמדינה להכפיף את תכניות הפיתוח של ארץ ישראל ושל המדינה הצעירה למגבלות הטבע. מקבלי ההחלטות לא הסכימו לפעול על פי דעת מומחים מבחוץ שקבעו כי מגבלות קרקע ומים לא יאפשרו קליטת תושבים נוספים. עם הקמת המדינה, הוכנו תכניות פיתוח לחקלאות ולגידול אוכלוסייה על פי תחזיות אופטימיות לכמויות המים שניתן להפיק, בלא מתן משקל ראוי למגבלות המשאבים. ההעדפה של קידום מטרות לאומיות של פיתוח ויישוב על פני שמירה על משאב המים הייתה מודעת ולא מודעת כאחד ולוותה בקבלת החלטות אמיצות שהיוו חלק מהקמת המדינה הצעירה. חקיקת חוק המים, שנחשב למתקדם בעולם, והקמת המערכת המקצועית לתכנון ותפעול משק המים, העידו על החשיבות הרבה שתפס נושא המים במערך התכנון הלאומי ובגיבוי בממשלה.

אולם, בהמשך נדחק משק המים ממרכז העשייה, הפיתוח וגם מן הסדר היום הציבורי. יחסית לשינויים הדמוגרפיים המפליגים ולתהליכי העיור והתיעוש שהתאפיינו בגידול בביקוש למים, לצד הרחבת הידע והטכנולוגיות, לא המשיך משק המים להתפתח במידה שנדרשה. כך קרה שכבר החל משנות השבעים של המאה העשרים עלה ביקוש המים על היצע המים הטבעיים והחלה מגמה של שאיבת יתר, אשר הפכה את משק המים לחשוף ופגיע לנזקי שנים שחונות (דוח ועדת החקירה הממלכתית בנושא ניהול משק המים בישראל, 2010).

בסוף שנות השמונים, הגיע משבר המים לשיא בעקבות שתי סדרות רצופות של שלוש שנות בצורת (1984-1986, 1989-1991). כבר ב-1987 פורסם דו"ח מבקר המדינה הראשון בנושא ובו התריע המבקר על מצבו העגום של משק המים, על סכנות הזיהום וההמלחה וקרא לפעולה דחופה בנושא. משבר המים הוסיף והחריף, וב-1990 הגיש המבקר דו"ח נוסף, אשר הדגש העיקרי בו עסק בניהול לא תקין של משק המים. המבקר תלה את האשמה במשבר המים בהקצאת המים לצריכה חקלאית בכמות העולה על כמות המים המתחדשת מהגשמים בממוצע רב שנתי. שנת 1992, שהייתה שנה ברוכת גשמים, הובילה לירידה של משבר המים מסדר היום הציבורי והמדיני. לא בוצעה רפורמה, קיצוץ המים לחקלאים בוטל ושאבת היתר נמשכה. בשנת 1999 הגיעה שאיבת היתר למימדי שיא ועמדה על כחצי מיליארד מ"ק בשנה (גבירצמן, 2002). שאיבת יתר בסדר גדול כזה, היא כמובן בעלת השלכות מרחיקות לכת על איכות המים ועל שימוש אפשרי במשאב בעתיד.

ב-1999 הורה נציב המים על שינוי הגדרת הקו האדום התחתון מבחינה משפטית והוא סומן כעת במינוס 213.3 מטרים; בשנת 2000 שונתה הגדרת הקו האדום התחתון שנית והועמדה על מינוס 214 מטרים. שינוי הקו האדום התחתון ודאי לא תרם למודעות הציבורית למשבר המים, אלא דווקא הרחיק את חומרת המשבר מעיניו של הציבור.

משבר המים הינו תוצר של ניהול לקוי של משק המים ועומד בקשר ישיר עם אופן חלוקת הנטל והאחריות בין משרדי הממשלה. על פי גבירצמן, זרועות השלטון המעורבות במשק המים בישראל הן רבות והסמכויות מפוצלות ביניהן. משרד התשתיות הלאומיות מופקד על משק המים ומבצע באמצעות נציבות המים אשר ממונה על ביצוע חוק המים, על מסגרת השימוש במים ועל הקמת מפעלי מים; המשרד להגנת הסביבה אחראי על מניעת זיהום ועל רשות הנחלים; משרד הפנים אחראי על תשתית הביוב; משרדי החוץ והביטחון על הסכמי המים עם המדינות השכונות, כאשר מבין כל ההסתעפויות הללו המשפיע ביותר הוא משרד האוצר. פיצול הסמכויות וניגוד האינטרסים בין זרועות השלטון הביא לידי חוסר יכולת לקבל החלטות ובפועל לידי שיתוק בהתמודדות עם משבר המים (גבירצמן, 2002, עמ' 239). גורם נוסף המשפיע לרעה על אופן קבלת ההחלטות בהקשר למשבר המים הוא היעדר שקיפות. ייתכן שאם הציבור היה מודע לסכנות שנוצרו עקב הפעולות והמחדלים של הגורמים האמונים על משק המים, לא הייתה מדינת ישראל נקלעת למשבר חמור כל כך (דוח הוועדה, 2010).

דוחות חוזרים הן של עמותות כגון אדם טבע ודין, והן של גופים ממשלתיים כגון ועדת החקירה הממלכתית בנושא ניהול משק המים בישראל, ממשיכים לצייר תמונה עגומה של ניהול משק המים בישראל. נכון לדו"ח של הוועדה מ-2010 טרם גובשה תכנית אב מסודרת לטיפול במשבר המים. מרבית ההחלטות שכן התקבלו איבדו מתוקפן בשל היעדר תקציב ופתרון המשבר חייב היה לנבוע מקביעת יעדים אסטרטגיים ומטרות, ומתכנית אב לטווח ארוך העולה בקנה אחד עם אותם יעדים ומטרות ומהווה בסיס להכנת תכניות כלליות ומפורטות במישור הארצי והאזורי.

באחרונה גוברת ההכרה כי המגזר העירוני הוא המגזר העיקרי בו טמון עדיין פוטנציאל ניכר לחיסכון. האמצעים האפשריים לחיסכון במים במגזר העירוני ע"פ דו"ח הוועדה הינם: חינוך והסברה; מתן תמריצים לשימוש באביזרים חוסכי מים; הגבלת צריכה בחקיקה ותמחור מלא של תעריפי מים תוך אימוץ העיקרון של עלויות הפקה מלאות ויישום מדרגות מחירים שישבסדו את הצריכה הבסיסית ויקבעו מחירים גבוהים ככל שרמת בצריכה עולה. למרות שדוח הוועדה מציין את חשיבות החינוך וההסברה בהקשר לחיסכון במים במגזר הפרטי, אין הוא מציג תכנית חינוכית ייעודית לחיסכון במים, ואף לא מעגן את הצורך הבווער בתכנית שכזו. להרגשתנו, חשיבות החינוך לחיסכון במים נותר בגדר הערת אגב בדוח הוועדה, כמו גם בשיח הציבורי והממשלתי אודות משבר המים.

אנו מאמינות כי אכן צמצום הצריכה הביתית במגזר העירוני הוא מקור זמין וזול יחסית להפחתת מצוקת המים. יתרה מכך, צמצום צריכת המים במגזר הפרטי הוא חובה של כל אזרח במדינת ישראל בשנת 2012. ראשית כל, חיסכון במים הוא ה"דבר הסביבתי לעשות". ניצול משאבי המים ללא חיסכון עלול לפגוע במשאבי הטבע הקיימים, במערכות האקולוגיות והיא מעשה חסר אחריות כלפי הדורות הבאים. חיסכון במים הינו הזדמנות עבור כל אזרח במדינה להיות פעיל סביבתי. שימוש חכם במשאב המים הקיים מתיישב עם עקרונות הקיימות ויכול לצמצם את היקף הצורך באמצעים אחרים לפתרון משבר המים, אמצעים אשר עלולים לגבות מחיר סביבתי כבד. מתקני התפלה לדוגמה, גוזלים שטח מרצועת החוף המצומצמת גם כן של מדינת ישראל, צורכים אנרגיה ומעלים את זיהום האוויר (המידע אודות התפלה לקוח מאתר האינטרנט של "אדם טבע ודין"). שנית, ללא חיסכון במים במגזר הפרטי, ימשיך מחיר המים לעלות בניסיון

לעודד חיסכון במים כך שאוכלוסיות חלשות, שלא יעמדו בעליית המחירים, יהפכו בעל כורחן לאוכלוסיות שהמים נחשבים "על חשבונן". חיסכון אישי במים, אם כך, הוא הזדמנות לקחת חלק בעשיית "צדק חברתי". נוסף לכך, למשבר המים היבט פוליטי חשוב שהציבור לא בהכרח מודע לו. כמדינה קטנה "מוקפת אויבים", מדינת ישראל אינה יכולה להרשות לעצמה להיות תלויה במדינות אחרות כשמודבר במשאב החיים החשוב ביותר. לבסוף ניהול נכון של ביקוש המים במגזר הפרטי הוא פיתרון שיכול לחסוך כמות דרמטית של כ-30% מהצריכה במדינה, ליצירת מודעות ציבורית ולחינוך יש חלק מרכזי בניהול ביקושים בשל הפוטנציאל לשנות דפוסי התנהגות של ציבורים גדולים, ובכך להוביל לחיסכון גדול במים (בריקס, ארבלי, בן יהודה וברומברג, 2010).

לבסוף, חיסכון במים במגזר הפרטי הוא פיתרון זול, שמראה תוצאות כמותיות משמעותיות. העיר סרגוסה שבספרד למשל, בהתמודדות שלה עם משבר המים, החליטה לנסות ולצמצם את הצריכה בעיר, לפני פניה להגדלת היצע המים. לצד תכנית סבסוד ותמריצים להתקנת חוסכי מים, התמקדה היוזמה של עיריית סרגוסה בחינוך לשינוי דפוסי ההתנהגות, תמחור מתאים וטיפול בדליפות במערכת. הקמפיין פנה לסקטורים רחבים בציבור ופנה אל "גאווות היחידה" הקהילתית של תושבי העיר. חיסכון המים הוצג כיעד משותף. כמעט 70% מבתי הספר בעיר נטלו חלק בפרויקט, שכלל גם שינוי בהרגלי הניקיון של מבנים ציבוריים ומרכזי הקניות, שימוש חוזר במים ברחיצת מכוניות, חינוך סביבתי בבתי ספר ושינוי בהרגלי שימוש. בשלב הבא, הוציאה העירייה תקנות עירוניות לחיסכון במים, פירסמה וחילקה מדריכים מפורטים ומשובי הערכה עצמית למגזרים שונים כמו מלונאות ותיירות, מוסדות לימוד ומשקי בית. תכנית זו הפחיתה את צריכת המים הביתית הממוצעת מ-113 ליטר לאדם ליום ב-1996 ל-96 ליטר ב-2008 (בריקס, ארבלי, ברומברג, 2010).

אם כן, חיסכון במים במגזר העירוני באמצעות חינוך הציבור והעלאת המודעות לנושא הוא אפשרי וגם יעיל, הוא נעשה בספרד, באוסטרליה ובאפריקה. מדינת ישראל מודעת בהחלט למשבר המים שלה, אך בעוד סקטור החלקאות עומד במרכז הויכוח הציבורי, חסרה תכנית אסטרטגית המשלבת כלים כלכליים, חינוכיים ורגולטיביים לחיסכון משמעותי במגזר הביתי. חיסכון אשר מוערך בכ-250 מל"ק לפחות (בריקס, ארבלי, ברומברג, 2010). חשיבות החינוך והמודעות הציבורית עלתה על "שולחן הדיונים" בעשר השנים האחרונות של ההתמודדות עם משבר המים, אולם טרם הוקצו משאבים ראויים לנושא וטרם פותחה תכנית מסודרת לשם כך (דוח הוועדה, 2010).

ההתייחסות המשמעותית ביותר לחשיבות ההתעוררות הציבורית בהקשר למשבר המים באה לידי ביטוי בקמפיין מ-2008 "ישראל מתייבשת", בו הופיעו שורה של מפורסמים (ובניהן בר רפאלי) כשפניהם מתקלפות כמו אדמת מדבר שיבשה וקראו לציבור לשמור על המים. יעילותו של קמפיין זה הייתה נקודתית וקשורה לגורמים נוספים, להיטל הבצורת, ל"באזז" סביב השתתפותה של בר רפאלי בקמפיין ולבחירתו של פרופ' אורי שני לאיש השנה בתחום השיווק בעיתון דה מרקר (ארבל, בן יהודה, 2010).

אנו מאמינות, כי על מנת לנצל את פוטנציאל החיסכון במגזר הביתי, על מנת להגיע לתוצאות משמעותיות כפי שראינו בדוגמה מן העיר סרגוסה, ועל מנת להציל את משק המים בישראל, חייבת מדינת ישראל להשקיע בתכנית חינוכית מוגדרת ולפעול למען שינוי הרגלים לחיסכון במים בקרב ילדים.

לפני שנתפנה, לעסוק במודלים חינוכיים לחיסכון במים, נבקש להביא כאן סקירה קצרה של עקרונות החינוך הסביבתי באשר הוא.

1.2 חינוך סביבתי – רקע

פרופ' טלי טל מגדירה חינוך סביבתי כ"כל מעשה חינוכי, הנעשה בבית הספר ומחוצה לו, ושואף להקנות ידע על הסביבה הפיסית והאנושית-חברתית, לקדם אכפתיות וכבוד לסביבה, לאדם ולחברה, ושמטרתו לפתח מיומנויות לפעולה למען הסביבה הפיסית והאנושית-חברתית - הוא חינוך סביבתי" (טלי טל, 2009).

החינוך הסביבתי החל להתפתח כחלק מההתעוררות החברתית והסביבתית שאפיינה את העולם המערבי בשנות השישים והביאה עצמה מודעות לנזקים הסביבתיים הנגרמים בעולם המתועש. בתקופה זו הצורך בהבנת מורכבותם של יחסי הגומלין בין האדם לסביבה, במטרה לשפר את איכות חיי האדם גבר, וכתוצאה מכך עלתה גם ההכרה בחשיבותו של חינוך סביבתי. (Keiny & Zoller, 1991). בתחילת דרכו, הוגדר החינוך הסביבתי כתחום חינוכי המהווה מענה עתידי לבעיות הסביבתיות הנוצרות עם ההתפתחויות הטכנולוגיות-תעשייתיות של האדם.

ביל סטאפ הוא שהגדיר לראשונה את החינוך הסביבתי וטען כי "החינוך הסביבתי מכוון ליצירת חברה אשר אזרחיה הם בעלי ידע על הסביבה הביופיסית והבעיות איתן היא מתמודדת, בעלי מודעות לפתרונות אפשריים לבעיות אלו, ורצון לפעול למען הפתרון של אותן בעיות" (סטאפ, 1969).

ב-1970 בכינוס של האיגוד הבינלאומי להגנת הטבע (IUCN) והארגון לחינוך, מדע ותרבות של האו"ם (UNESCO) אשר נערך בנבאדה בארה"ב, גובשה הגדרה בסיסית לחינוך סביבתי אשר קבעה כי "חינוך סביבתי הוא תהליך אשר מטרתו פיתוח של מיומנויות וערכים, הנדרשים לשם הכרה והבנה של יחסי הגומלין בין האדם וסביבתו התרבותית והטבעית. "לפי הגדרה זו, החינוך הסביבתי מכיר בצורך בקבלת החלטות וגיבוש קוד מוסרי בנוגע לסוגיות סביבתיות (Palmer, 2003).

בשנים שלאחר מכן, התעורר העניין והצורך בגיבוש תכנית בינלאומית לחינוך סביבתי אשר הוצגה בכינוס שנערך בבלגרד בשנת 1975. תכנית זו התמקדה במטרות, יעדים, מושגי יסוד ועקרונות מובילים שאושרו בוועידה הבין-ממשלתית בטיביליסי ב-1977.

מטרות החינוך הסביבתי שהוגדרו בוועידה זו:

1. לעודד פיתוח של מודעות והכרה ביחסי הגומלין בין כלכלה, חברה, פוליטיקה וסביבה באזורים שונים, עירוניים וכפריים.

2. לספק לכל אדם באשר הוא הזדמנות לרכוש ידע, ערכים, מודעות, רגש מחויבות ומיומנויות אשר נדרשים בכדי להגן על ולשפר את סביבתו הטבעית.

3. לפתח דרכי התנהגות חדשות של יחידים, קבוצות וחברות כאחד, כלפי הסביבה

(UNESCO, 1978)

בשנת 1980 הופיע לראשונה, המונח פיתוח בר קיימא, במסמך יסוד של האו"ם שעסק באסטרטגיות לשימור וזכה לפרסום רחב (WCED, 1987). במהלך שנות ה-80 נכתבו מספר

מסמכים נוספים שהתמקדו בנושא של שימור מול פיתוח. המסמך המרכזי בנושא נכתב בשנת 1987 ונקרא "עתידנו המשותף" (Our Common Future) המכונה גם דו"ח ברונטלנד ע"ש ראש ממשלת נורבגיה דאז, שבו עלתה לראשונה רשמית ההכרה באחריות האנושית להתדרדרות במצבן של המערכות האקולוגיות על פני כדור הארץ ובמחויבות המשותפת של כל תושביו לפעול לשינוי. חינוך לפיתוח בר קיימא ולאחר מכן – חינוך לקיימות הפך למרכזי בשיח של החינוך הסביבתי, ויש הרואים בו זרם חדשני ונפרד, המאפשר עיסוק רחב יותר בביקורת חברתית. אחרים תופסים את הרעיון של חינוך לקיימות כרעיון אחד בתוך אוסף של גישות ודגשים בחינוך סביבתי. אף על פי שההכרה בחשיבות החינוך סביבתי, היא בת יובל שנים והעיסוק בו נמשך מאז, אין הסכמה לגבי התכנים והדגשים בהם ראוי להתמקד, כמו גם לגבי האופן שבו החינוך הסביבתי ראוי להשתלב במערך הבית ספרי (Lucas, 1991; Sauvé, 2005). ברבות השנים, התפתחו גישות שונות בתחום החינוך הסביבתי השונות במהותן בתפיסה ובדרכים ליישום. הרעיון המשותף לכלל הגישות הוא דאגה לסביבה, וחשיבות החינוך כגורם מרכזי לשמירת הסביבה. מיפוי הגישות של החינוך הסביבתי נעשה בצורות שונות. בשלב זה נציג שילוב בין שני צורות חלוקה. האחת, נעשתה ע"י Sauvé והיא מבוססת על שתי קבוצות עיקריות: גישות "וותיקות" שהופיעו בשנות ה-80-70 של המאה ה-20 וגישות "צעירות" שהופיעו משנות ה-90 ועד היום. השנייה, נעשתה ע"י ד"ר איילון שוורץ והיא מבוססת על חלוקה של הגישות ל-3 דגמים עיקריים. להלן טבלה מציגה את תמצית השילוב בין שתי צורות החלוקה:

גישות ותיקות בחינוך הסביבתי שנות ה-80-70	גישות צעירות בחינוך הסביבתי שנות ה-90
נטורליסטית (טבעית)	הוליסטית
שימור (המשאבים, הטבע)	ביו-אזורית
פתרון בעיות	פעלתנית
מערכתית	ביקורתית
הומניסטית	פמיניסטית
ערכית	אתנוגרפית
	אקו-חינוכית
	חינוך לפיתוח בר קיימא / חינוך לקיימות

- דגם ראשון
- דגם שני
- גישות מקדימות לדגם שלישי
- דגם שלישי

להלן סקירה קצרה של הגישות ומהות ההבדלים ביניהן:
התפיסות הוותיקות יותר מתמקדות בערכי שימור הטבע והערכת הטבע, כאשר אחת ההנחות הבסיסיות היא שלטבע יש ערך פנימי, מעבר למשאבים שהוא מספק ועל כן יחס האדם צריך להיות בהתאם לכך. שוורץ בחר להציג את התפיסות הוותיקות כדגם ראשון – דגם שימור הטבע

המתמקד בעולם הטבעי בנפרד מבני האדם ובעל ערכים פנימיים. בבסיס הגישה עצם הרעיון של התפתחות הוא דבר פסול. ביקורת רבה אשר הופנתה לגישה זו, התייחסה אליה כאל גישה רומנטיציסטית העלולה להוביל לאקו-פאזיזם; בני האדם נותרים מחוץ לטבע וכל מלאכת כפיים של האדם נתפסת כאויב הסביבה, ולכן צריך להתנגד לכך ולהיאבק למען הסביבה (שוורץ, 2006).

עם העלייה במודעות לבעיות הסביבתיות המתרחשות כתוצאה מפעילות אנושית, התפתחו גישות הרואות בצורך של התלמידים כאזרחי העתיד להתמודד עם מיומנויות של פתרון בעיות. עפ"י מאמרו של שוורץ הדגם השני מהווה שלב מעבר שבין התפיסות ה"וותרות" אל עבר ה"צעירות" עפ"י החלוקה של Sauvé. דגם זה מכונה "מדעי איכות הסביבה". תפיסות אלו רואות את בני האדם כחלק מהעולם הטבעי, ומדגיש את תלותם בעולם זה למען בריאותם ושגשוגם. וכן, השפעות פעילות האדם על העולם הטבעי מתוך הרגשה של דחיפות בתחום שמירת הטבע בשל השפעות שליליות של האדם על הטבע וההשלכות הבריאותיות לכך.

המדע בתפיסות הללו נתפס כמקור מידע שעל פיו ניתן לשקול החלטות וכמו כן, כבסיס איתן למציאת פתרונות לבעיות שאיתן מתמודד האדם. הביקורות המוצגות אל מול תפיסות אלו מתייחסות אל חסרונותיו כי תפיסה זו אינה יכולה לספק ערכים מאחר שמתייחס אל המשאבים החומריים-פיסיים אשר הסביבה מספקת לאדם. המדעים הסביבתיים נלמדים ללא קשר משמעותי לבחירות הערכיות שהתמודדות כזו נדרשת אליהם כגון ערכים של צדק סביבתי וצדק חברתי. המדעים הסביבתיים מביאים אל תוך המשוואה אך ורק נושאים מסוימים שניתנים לכימות. ומכאן, העולם הטבעי הופך למקור פיסי וחומרי בעבור בני האדם.

לאורך התפתחות הגישות עד לשאיפה לדגם השלישי שמציע שוורץ, מופיעות גישות שונות השמות דגש על נושאים שונים ומציגות ערכים שונים, החופפים לעיתים. הגישה ההומניסטית, מתייחסת למפגש בין נוף לאדם ודנה בשיקולים הקשורים ברווחת האדם, באורח חייו ובסביבתו החברתית. הגישה הערכית מתייחסת בעיקר ל"ערכים סביבתיים או ל"מוסר סביבתי". הגישה ההוליסטית מתייחסת להתפתחות האינדיבידואלית של הלומד ביחס לסביבה ולבסוף, הגישה הביו-אזורית מתייחסת לפיתוח יחסים בין הקהילה לבית הספר כחלק מתחושת שייכות ומדעות מקומית. לאורך התפתחות הגישות עד לשאיפה לדגם השלישי שמציע שוורץ, גישות המציעות דגש בתחומים שונים מציגים דגש ערכי שונה ולעיתים חופף:

הגישה ההומניסטית - מתייחסת למפגש בין נוף ואדם - הנוף האנושי. שיקולים הקשורים ברווחת האדם, באורח חייו ובסביבתו החברתית.

הדגם השלישי, אשר מציע שוורץ, נוצר מתוך סינתזה בין שני הדגמים הקודמים, ומתוך התפתחות הגישות, ויוצר איזון במתח שבין שימור לפיתוח. עפ"י דגם זה האדם נתפס כחלק ממערכת שלמה בדגש יחסי הגומלין שבין המרכיבים של המערכת. דגם זה שואף לשמר את היתרונות שבגישות הקודמות ומתייחס לחסרונותיהן, ואף לגבש חזון עתידי כולל של חיי האדם והחברה. הדגם השלישי כולל בתוכו את הן את הגישות המתייחסות לסביבה כמערכת המורכבת ממרכיבים שונים המקיימים ביניהם יחסי גומלין ואת הגישות המערכתיות הכוללת בתוכן את זיהוי המרכיבים ואפיון יחסי הגומלין ביניהן. השילוב בין הגישות בא לידי ביטוי בהגדרת המושג "קיימות" כתפיסת עולם ודרך חיים השואפת למימוש הצרכים הסביבתיים, החברתיים והכלכליים של כל אדם, תוך שמירה על הזכות של הדורות הבאים לממש את צורכיהם" (טלי ט', 2009).

הדגם השלישי כולל בתוכו את הזרם המרכזי של החינוך הסביבתי כיום שנע בין הגישות של חינוך לקיימות וחינוך לפיתוח בר קיימא מציג גישה חדשה שבניגוד לגישות החינוך הסביבתי המסורתי אשר הגביל עצמו לגישה הנטורליסטית, והזניח את ההיבטים החברתיים ובעיקר הכלכליים נותן מענה ואף חזון חלופי להתמודדות עם בעיות סביבתיות.

דגם זה מציע שילוב עקרונות המבוססים על גישות נפרדות קודמות וחדשנות בדגש של חברה וכלכלה. להלן סיכום עקרונות מתוך מאמר של טלי טל "חינוך סביבתי וחינוך לקיימות":

1. קהילת בית הספר היא קהילה לומדת בתהליך מתמשך.
2. רלוונטיות ואקטואליות של נושאים ודילמות עבור הלומד.
3. על החינוך הסביבתי להיות מבוסס על ידע ועליו להכיל היבטים ריגושיים וחברתיים.
4. חינוך סביבתי צריך להתקיים בסביבה (למידה חוץ כיתתית).
5. חינוך סביבתי מתקיים בהקשר חברתי-תרבותי.
6. חינוך סביבתי הוא בינתחומי ושואב ממקורות תוכן שונים. הנושאים הסביבתיים באים לידי ביטוי כמעט בכל תחום דעת הנלמד בבית הספר.
7. על חינוך סביבתי להקנות כלים, אסטרטגיות חשיבה ופעולה כחלק מהכשרת אזרחי העתיד בחברה דמוקרטית; הוא מחנך לביקורתיות ומקנה מיומנויות לפעולה.
8. חינוך סביבתי מחזק שיתופי פעולה בין גורמים שונים.
9. חינוך סביבתי מחנך לפעולה (אקטיביזם).

בישראל, כמו במדינות אחרות, חינוך סביבתי איננו מקצוע לימוד ולכך יש השלכות רבות. כתוצאה מכך לא קיימת תכנית לימודים המפורסמת ע"י משרד החינוך ויש מעט ספרי לימוד או מדריכים למורים בחינוך הסביבתי העשויים לשמש כמקורות עבור בתי ספר וארגונים סביבתיים (טלי ט' 2009).

תחום החינוך הסביבתי מתייחס אל מרכיבי הסביבה כולה, שכן לימודים על הסביבה ובסביבה הם חלק מתכניות הלימודים כבר מראשיתו של החינוך העברי מתחילת המאה ה-19 תחת שמות של "חינוך לאהבת הארץ", "לימודי טבע ומולדת". במתכונתם הנוכחית לימודי הסביבה בבית הספר היסודי משולבים במקצוע הלימוד של "מדע וטכנולוגיה" כאשר הוא מבוסס על מסמך סטנדרטים (משרד החינוך התרבות והספורט, 2004). מטרת מסמך זה הייתה לשפר את החינוך המדעי טכנולוגי בישראל בהתאם להחלטת הממשלה מס' 246 מיום 14.5.03 בדבר "תוכנית אסטרטגית לפיתוח בר קיימא בישראל". מסמך הסטנדרטים מהווה בסיס מחייב לתכנון הלימודים ובו משולב נושא של איכות הסביבה מבין שבעת נושאי החובה שבתכנית הלימודים מדע וטכנולוגיה. למרות זאת ובהתאם להתפתחות הגישות שתיארתי קודם, מתוך מאמר המהווה מבוא למחקר הסוקר את החינוך הסביבתי במערכת החינוך בישראל נאמר כי "מתוך סקירת חומרי הלימוד, שיטות ההוראה והקצבת השעות מראה שגישת משרד החינוך היא כי ניתן לחנך לסביבתיות על ידי הקניית ידע לתלמידים ותוך כמעט התעלמות מהיבטים חברתיים והערכיים של החינוך הסביבתי" (אלון ט' ואחרים, 2008).

בשנת 2012 משרד החינוך ביחד עם המשרד להגנת הסביבה הוציא מסמך בשם "חינוך לקיימות" המשמש כמתווה לתכנון תכנית לימודים בית ספרית בחינוך לקיימות המציג מודל אינטגרטיבי לפיתוח תלבו"ס (תכנית לימודים בית ספרית) - המודל נמצא ברמת הצעה לבתי ספר, טרם גובשו תקציבים, הכשרות צוות מתאימות ופתרונות טכניים בכדי לממש את התכנית.

לסיכום חלק זה, ניתן להבחין כי השינויים בגישות התרחשו לאור השינויים בתפיסה ובמציאות הפוליטית, החברתית, החינוכית והסביבתית. גישות המאוחרות יותר התפתחו מן המוקדמות בהתאם לצרכים ולידע חדש שנוצר. גיבוש תפיסה אינה מחייבת בחירה של גישה זו או אחרת, אלא השילוב בין עקרונות, ערכים ומסרים סביבתיים, בהתאם לצורך הנדרש וכמובן שלא יהיו סותרים זה את זה ואף מגבשים איזון כגון דוגמת שימור מול פיתוח. קיים פער בין התיאור של התפתחות הגישות של החינוך הסביבתי בספרות המקצועית בארץ ובעולם לבין קצב התקדמותה בהתפתחות יישומה במערכת החינוך בישראל.

2. שאלת המחקר

2.1 מטרות המחקר

עבודת מחקר זו, מבקשת, כאמור, להתמקד בפוטנציאל חיסכון המים באמצעות חינוך ייעודי לשינוי הרגלים לחיסכון במים בקרב תלמידים.

מאחר ואנו סבורות כי על מנת למצות את פוטנציאל החיסכון באמצעות חינוך, ישנו צורך בוער בהכנת תכנית חינוכית ייעודית לחיסכון במים בקרב תלמידים, ומאחר ובדיקה מדוקדקת מול משרד החינוך, המשרד להגנת הסביבה ובחינה של המלצות ועדת החקירה הממלכתית לנושא משק המים העלו כי לא קיימת תכנית שכזו; מטרת העל של העבודה הינה פיתוח מודל חינוכי ייעודי לשינוי הרגלים לחיסכון במים בקרב תלמידים.

על מנת לפתח מודל חינוכי שכזה, המתאים גם למשבר המים הספציפי במדינת ישראל וגם לעקרונות החינוך הסביבתי, סקרנו בחלקה הראשון של העבודה את משבר המים בישראל ומיפינו את עקרונות החינוך הסביבתי.

מטרה נוספת, אשר תסייע לנו בפיתוח המודל החינוכי המדובר ותוצג בחלק הבא של העבודה הינה בחינה של מודלים קיימים לחינוך סביבתי ייעודי לשינוי הרגלים לחיסכון במים בקרב תלמידים במדינות הסובלות ממשברי מים בעולם (הצגה מפורטת של תכניות באפריקה, אוסטרליה וקליפורניה) ובחינה של תכניות ברמה מקומית בישראל (תכנית עיריית ירושלים ותכנית מקומית של עמותה של החברה להגנת הטבע).

שאלת המחקר הנגזרת ממטרות אלו הינה- בחינת עקרונות חינוך סביבתי כבסיס להצעת מודל חינוכי לחיסכון במים.

2.2 השערות המחקר

אנו סבורות כי בחינה של עקרונות החינוך הסביבתי, משבר המים בישראל וסקירה של מודלים מיושמים לשינוי הרגלים לחיסכון במים בקרב תלמידים, תחזק את טענתנו כי מודל חינוכי ייעודי לחיסכון במים ברמה הלאומית הוא הכרחי. נוסף על כך, אנו משערות ששלושה עקרונות חשובים יחזרו במודלים הנבחנים ובעקרונות החינוך הסביבתי וישמשו עמודי תווך במודל המוצע: ראשית, עיקרון של מקומיות; מודל נכון ויעיל יתייחס גם לפן המקומי של משבר המים, ויהיה גמיש מספיק על מנת להתאים עצמו למקומות שונים. שנית, עיקרון של רב תחומיות, המודל החינוכי הייעודי לחיסכון במים יוכל להשתלב בקלות עם תחומי לימוד אחרים ולחלחל לחוויה הבית ספרית הכוללת. עיקרון שלישי, הוא שמודל חינוכי ייעודי לשינוי הרגלים לחיסכון במים יהיה מודל יישומי, כלומר מודל שישלב למידה חווייתית, תוך התנסות.

לבסוף, אנו מאמינות כי נמצא שחינוך ילדים לחיסכון במים אכן ישפיע גם על הצריכה הביתית ויביא להטמעת ודעות חברתית ולשינוי תרבותי.

3. מודלים לחיסכון במים בעולם

על מנת לגבש מודל חינוכי ייעודי אפקטיבי לחיסכון במים, נבקש בשלב זה להציג סקירה של מודלים לחינוך לחיסכון במים בעולם הכוללת סקירה של תכניות לימודים בנושא המים בשלוש מדינות: ארה"ב, אפריקה ואוסטרליה. בכדי לבדוק מהו המודל החינוכי האפקטיבי רצינו לבדוק כחלק מהמחקר מהם המודלים לחינוך לחיסכון במים בעולם: ארה"ב (קליפורניה), אוסטרליה (גוספורד) ואפריקה (כללי).

3.1 הרקע לבחירת המדינות והגורם המניע להפעלת תכניות חינוכיות בשלוש

המדינות

המדינות הנ"ל נבחרו, משום שהן מתאימות לשמש מודל השוואתי למדינת ישראל, כאשר הקו המנחה הינו מחסור במים לאורך זמן, אשר מצריך שינוי התנהגותי ביחס לאופן צריכת ושימור המים.

סקרמנטו, בירת קליפורניה, מאופיינת במזג אוויר חם ויבש בקיץ. בחורף יורדים מעט גשמים וימי הגשם קצרים. אפריקה, סובלת אף היא ממיעוט בימי גשם ומבעיות תברואה קשים שמביאות במקרים רבים למוות של ילדים ומבוגרים, זאת בשל חוסר מודעות, ידע וטיפול ראוי במים לצרכים השונים ולשתייה. אוסטרליה, בדגש על הבירה גוספורד, אזור עם אקלים סובטרופי המתאפיין בימי קיץ חמים עם טמפרטורות גבוהות וגשמים מתונים בחורף. בעיות אלו גורמות לכך שאנשי מקצוע, מומחים ואזרחים לוקחים חלק בשינוי ההתנהגותי ביחס לאופן הצריכה ושימור המים במדינתם.

חלק מהשינוי, ואולי המשמעותי והחשוב ביותר הוא העיסוק בנושא המים בתחום החינוך. גני ילדים ובתי ספר הם כלי להטמעה של שינוי ביחס לכל הנוגע בחסכון במים, הבנת הבעיות סביב הנושא והשימוש היעיל שצריך לעשות על מנת לשמור על משאב טבע יקר זה.

בחלק הבא יוצגו שלוש תכניות שונות ללימוד והטמעה של משאב הטבע היקר, המים, בשלוש המדינות באופן רחב ותוך הדגשתם של היבטים שונים, כגון: הגורם המממן של התכנית, יעדים, יוזם התכנית וכד', שבאים לידי ביטוי בכל אחת מהתכניות. כמו כן, תוצג טבלה ככלי עזר לניתוח התכניות השונות.

3.2. הצגת התכניות

אוסטרליה

רקע:

מועצות משותפות לגוספורד (Gosford) וווינג שיר (Wyong Shire) פיתחו שלוש תכניות לימודים לילדי בית הספר. התכנית מחולקת לשכבות הגיל השונות. מגן עד גיל 12- התכנית עוצבה במטרה לחנך ילדים איך לחסוך במים באופן כללי ואיך לחסוך במים בסביבה הביתית, כמו כן התכנית מתמקדת בלימוד נושא אספקת המים ואיך המערכת עובדת ומה ניתן לעשות בכדי לשמור ולשמר את המים הנקיים.

מבנה התכנית:

התכנית לחינוך למים מתואמת על ידי מדינת גוספורד ועל ידי המרכז לחינוך סביבתי. המגמה בתכנית "watertight" היא להתאים את תכנית הלימודים הבית ספרית לנושא המים ושימור מים. זאת כדי להעלות את המודעות לחיסכון במים וניהול בעיות המים בין קהילת בית הספר. כל התלמידים בגילאי הגן והיסודי הנמוך משתתפים בסדרה של פעילויות שמתמקדות בנושאים הבאים: מחזור המים, אספקת מים, שימוש במים, ניהול נכון של המים. רוב הפעילויות קשורות בתכנית הלימודים של אותו איזור ובהתאם למדיניות הסביבה במקום עצמו. פעילויות לדוגמה כוללות בדיקות איכות המים, יצירת יצירות אומנות, פתרון בעיות, כתיבת דו"חות, תקשורת הודעות, למידת מודלים ומפות. תכנית זו מופעלת בבית הספר ומעלה את המודעות הסביבתית.

התועלת מהשתתפות בתכנית:

1. לתלמידים תהיה הבנה טובה יותר של אספקת המים ואת חשיבות המים בקהילה.
2. התלמידים ישיגו תוצאות טובות באמצעות הפעילויות שיש להן נגיעה בחיי היומיום שלהם.
3. פיתוח תכנית לניהול מים לבית הספר כאשר התלמידים יהיו מעורבים ובעלי אחריות בניהול.
4. המסרים לגבי חשיבות המים בחיי היומיום של התלמידים יחלחלו לקהילה רחבה יותר (גורם להפצת ידע).

(מועצת רשות המים של גוספורד, 2010).

ארה"ב (קליפורניה)

רקע:

תכנית המים של קליפורניה יוצאת מתוך נקודת המוצא של משבר המים העולמי, אשר ממשיך להסלים. כל יום, כמות ואיכות מקורות המים משפיעה על בריאות ורווחה של כמעט שבעה מיליארד אנשים על פני כדור הארץ. עם זאת, לאחד מכל שמונה אין גישה למים נקיים בשפע. חינוך המים מעולם לא היה יותר קריטי. כמו שבתי ספר, בתים ועסקים "הולכים ברוק" גם לחינוך מים יש תפקיד מרכזי. באמצעות חינוך מים, אנשים יכולים:

- לזהות את כתובת פרשת המים שלהם.
- לגלות את תפקידן במחזור ההידרולוגי.
- להבחין שאין גבולות לזרימת המים והוא מחבר את כולנו.

קלפורניה רואה את עתידה כקשורה באופן הדוק למים. בבעיות המים העולמיות יש לטפל באמצעות מעורבות ציבורית גדולה יותר בכל הרמות הסוציו אקונומיות, בין כל המשתמשים במים על פני כל הגבולות. יש לספק לאנשים הבנה עמוקה יותר של סוגיות סביבתיות מורכבות ואת הכישורים הדרושים כדי לבצע את האתגרים של המאה הנוכחית. ניהול מים בר קיימא הוא חיוני כדי להבטיח את היציבות החברתית והכלכלית, כמו גם סביבה בריאה - יושג אך רק כתוצאה משיתוף פעולה ומחויבות חינוכית.

(<http://projectwet.org/water->, <http://www.watereducation.org/doc.asp?id=873>)

(Lauer, 2009), ([/education-project-wet/water-education-project-wet](http://education-project-wet/water-education-project-wet))

מבנה התכנית:

מאז 1984, קרן פרויקט WET הקדישה את עצמה למשימה של ילדים, הורים, מורים וחברי הקהילה של העולם עם חינוך מים. שלא למטרות רווח, עבודת WET משיגה את שליחותו של החינוך ברחבי העולם על ידי מים.

- מים עוברים דרך מערכות החי לבין הדומם וקושרים אותם יחד ברשת המורכבת של החיים.
- מים באיכות בכמות מספקת הוא חיוני עבור כל המשתמשים במים (יצרני האנרגיה, חקלאים וחוואים, דגים וחיות בר, יצרנים, כפריים ועירוניים כאחד).
- ניהול משאבי מים הוא חיוני לילדים שהם דור העתיד עם יציבות חברתית וכלכלית בסביבה בריאה ובת קיימא.
- מודעות וכבוד למקורות המים יכולים לעודד מחויבות אישית, אחריות לכל החיים והשתתפות חיובית של הקהילה.

העיר סקרמנטו, בירת קליפורניה משתמשת בתכנית WET אך עושה את ההתאמה לתכנית הלימודים הבית ספרית המופעלת בעיר. הלימודים בתכנית הם ילדי בתי הספר הציבוריים בעיר בגילאי 6-12. דוגמה לתכנים שנלמדים הם: מים נקיים, אנשים בריאים- הילדים לומדים על סוגי החומרים במים, איכותם וריכוזי החומרים המצויים בהם. זיהום מים והשלכותיו ודרכים לטיהור המים. דרכי ההוראה ועבודת התלמידים נעשית בעזרת מיומנויות למידה, כגון: איסוף נתונים, שאילת שאלות, פיתוח השערות, איסוף מידע והצגת הנתונים. הכלים בהם משתמשים התלמידים בעת הלמידה הם: קריאת מפות, עבודה עם מיקרוסקופ, משקפת והכל נעשה בהתאם לנושא הנלמד והפעילות המתוכננת לאותו השיעור, כמו כן העבודה מותאמת לשכבות הגילאים בבית הספר (http://www.watereducation.org/userfiles/HWHP_STANDARDS_FINAL.pdf).

אפריקה

רקע:

ליותר ממחצית בתי הספר באפריקה אין גישה למים ראויים ולמתקני תברואה. מחסור במים באיכות טובה עלול להשפיע בין היתר על בריאותם של התלמידים. שתיית מים לא ראויים יכולה להביא להשלכות רבות בקרב התלמידים. לדוגמה, הם עלולים לסבול ממחלות שונות, כאבי בטן, שיעור נוכחותם בכיתה יורד ולכן גם הישגיהם הלימודיים יכולים להיפגע. כדי לשבור את מעגל הקסמים הזה יש צורך בשימוש בתכניות חינוכיות ללימוד נושא המים במדינה. הרעיון הוא שהתלמידים יתנסו בחקר והבנה של סוגיות המים השונות במדינה, על השפעות של מים

מלוכלכים ולא בטוחים וחוסר בהיגינה (מתוך אתר האינטרנט "פרויקט המים של אפריקה" <http://thewaterproject.org/>, Dzikus, 2001).

תכנית ערכית לחינוך למים היא אחת התכניות שנבדקה בעבודת המחקר שלנו. מובילי התכנית vbwe הם קבוצת מומחים, המורכבת ממומחים בינלאומיים ואזוריים על חינוך למים, מפתחי תוכניות לימודים וניהול משאבי מים עירוניים ציינו כי יישום של גישה ערכית לחינוך למים, באופן פורמאלי או בלתי פורמאלי ללמידה, הוא אסטרטגיה מבטיחה להביא לשינוי חיובי ומתמשך בגישה ובהתנהגות כלפי מים בכל רמות החברה במדינה, בעיקר באמצעות תוכנית הלימודים.

<http://www.unhabitat.org/content.asp?typeid=19&catid=461&id=2256&activeid=222>

(

מבנה התכנית:

מזה כשנתיים מופעלת באפריקה תכנית פיילוט הכוללת שש מדינות שונות באפריקה: רפובליקת חוף השנהב, אתיופיה, גאנה, סנגל, זמביה וקניה. תכנית הלימודים באפריקה בנושא המים משלבת חינוך לערכים פנימיים של האדם. התכנית מתאימה לילדים בגילאי בית הספר היסודי. לכיתות הנמוכות מוצעת שיטת לימוד ישירה שמתאימה יותר לאוכלוסיית הגיל הרך בשל היותה מורכבת מפעילויות ויזואליות, אמצעי המחשה ודרך משחק. לתלמידים הבוגרים יותר מוצעת שיטת הלימוד האינטגרטיבית כאשר המטרה היא לשלב את מקצועות הליבה של תכנית הלימודים הבית ספרית, כגון: מדעי הסביבה, כימיה, גיאוגרפיה ומתמטיקה בנושא המים (Dzikus, 2001).

3.3 טבלה מסכמת

הטבלה הוכנה לצורך השוואה בין המדינות השונות ומתבססת על קריטריונים שנמצאו מתאימים כמו למשל יוזם התכנית בכל מדינה, חזון התכנית, יעדיה וכו'. החלקים המודגשים מציגים את נקודות הדמיון, בהם נעסוק בהרחבה בהמשך.

קריטריונים/שם התכנית	VBWE-אפריקה	Wet - קליפורניה	Watertight - אוסטרליה/גוספורד
בעיות מים (מבט על)	מים ברמה נמוכה ורמת סניטציה נמוכה	מיעוט בימי גשם	מיעוט בגשמים.
צורך ויעדים	להביא לשינוי התנהגותי של הציבור ביחס למים	להביא למודעות נושא של בעיות מים במדינה, לזהות את הקשר בין הזמינות למים נקיים והיציבות הגלובלית.	להעלות מודעות לשימור מים וסוגיות בטיפול במים בקרב קהילות ביה"ס.

מועצה מקומית של העיר גוספורד.	Water education foundation - קרן ללא מטרת רווח.	United nation-habitat	יוזם התוכנית -
מועצת הערים של גוספורד ווינג שיר בשיתוף המרכז לחינוך סביבתי.	שותפים : המשרד להגנת הסביבה, Un-habitat, ארגון המטאורולוגים העולמי.	התכנית מיושמת על ידי un-habitat בשיתוף עם ה- unep ושותפים נוספים מתכנית המים של אפריקה	גורם מרכז של התוכנית - בית ספר עצמאי, משרד החינוך, רשות המים
תלמידים יקבלו הבנה רחבה לגבי בעיות מקומיות בהספקת מים וחשיבותם במרחב העירוני, לפתח תכנית לטיפול במים בביה"ס שילדים ייקחו בה חלק.	לטפח חשיבה אחראית ולהעצים תלמידים לקחת חלק ולפעול בקהילות במטרה לפתור בעיות מים מקומיות.	ליצור מערכת אתית חדשה לשימוש במים מילדות עד זקנה.	חזון התוכנית
תכנית ממוקדת במים.	תכנית ממוקדת במים.	תכנית ממוקדת במים.	האם התוכנית ממוקדת במים או שהיא תוכנית "סביבתית כללית"
סביבת עבודה יצירתית, בחינה מעשית של איכות המים, פתרון בעיות, דו"ח כתיבה, לימוד מודלים ומפות.	שימוש בחוברות עבודה, אירועי מים של הקהילה, פעילויות בשטח, אמצעי המחשה.	מבוססת ערכים	אמצעים פדגוגיים מיוחדים
נושא המים על רבדיו השונים.	נושא המים על רבדיו השונים כחלק נפרד מלימוד מקצועות הליכה.	שתי גישות בהתאם לגיל הילדים : שיטה ישירה מול שיטה אינטגרטיבית	האם השיטה מרוכזת במקצוע אחד או מרובדת במספר מקצועות (ביזור מול ריכוז, "הטמעה" מול "החדרה")
רשות המים בעיר.	מימון של גופים שונים התורמים מכספם לתכנית.	הסוכנות השוודית הבינלאומית לשיתוף פעולה ופיתוח	גורם מממן

מסקנות הנובעות מהתכניות בעולם

תכניות הלימוד של נושא המים עוצבו כך שכל בית ספר באזור או כמה בתי ספר מאותו אזור ידון בבעיות המקומיות. יש הבדל בין מדינה למדינה והצרכים שונים. בכל אזור שמים דגש על נושאים רלוונטיים שמחליטה הרשות המקומית. לדוגמה, אפריקה דוגלת בתכנית שהיא ערכית יותר שמתייחסת להקניית ערכים בהקשר למים, קליפורניה מתמקדת בנושא המודעות שצריכה להיות בשכבות השונות באוכלוסייה ובציבור הרחב והצורה הגלובלית והרחבה של בעיות המים ואוסטרליה מתמקדת יותר בנושא של שימור מים.

מההשוואה שנעשתה בין התכניות נמצאו גם כמה נקודות דמיון בין התכניות. שלוש התכניות צמחו על רקע משבר מים במדינות השונות כאשר מילת המפתח היא מחסור. תכניות שרואות את הילדים כ"דור המייסדים" הבא שצריך להקנות לו ערכי מים, הכרה והבנה כוללת ומקומית של בעיות המים הקיימות, על מנת שהוא ידע לנהל ולהתמודד עם בעיות אלו בעתיד. מדגישות את אלמנט האחריות למשאב טבע יקר שצריך לנצלו בתבונה- האחריות מוטלת על האזרחים, הקהילה, מערכות חינוכיות כאשר במערכות חינוכיות המגמה היא להפעיל תכניות חינוכיות למים מהגיל הצעיר שכולל את הגן עד לגיל המבוגר שכולל את בית הספר היסודי, חטיבה והתיכון. נקודת דמיון נוספת מתייחסת לכך שהתכניות מבוססות מים. קיים שילוב של מקצועות לימוד שונים במים אך הפעילות והטמעת הנושא החינוכי קשור ישירות למים. קביעת התוכן של תכנית הלימודים בנושא המים מותאמת מקומית לבעיות המים הנובעות במדינה, אך באופן כללי בכל המדינות קיימת בעיה של מחסור במים. ניתן לומר שבאפריקה יש התייחסות לנושא המים בהיבט ההיגיני יותר בגלל תנאי התברואה הבעייתיים במדינה, עניין שמצריך התייחסות.

*נקודות הדמיון בין התכניות מסוכמות בטבלה שמתחת:

קריטריונים/שם התכנית	VBWE-אפריקה	Wet - קליפורניה	Watertight - אוסטרליה/גוספורד
בעיות מים (מבט על)	מים ברמה נמוכה ורמת סניטציה נמוכה	מיעוט בימי גשם	מיעוט בגשמים.
צורך ויעדים	להביא לשינוי התנהגותי של הציבור ביחס למים	להביא למודעות נושא של בעיות מים במדינה, לזהות את הקשר בין הזמינות למים נקיים והיציבות הגלובלית.	להעלות מודעות לשימור מים וסוגיות בטיפול במים בקרב קהילות ביה"ס.
האם התוכנית ממוקדת במים או שהיא תוכנית "סביבתית כללית"	תכנית ממוקדת במים.	תכנית ממוקדת במים.	תכנית ממוקדת במים.

4. סקירת מודלים לתכניות חינוך לחיסכון במים בארץ

כפי שנאמר ברקע לעבודה, בישראל, כמו במדינות אחרות, חינוך סביבתי איננו מקצוע לימוד ולכך יש השלכות רבות. יוצא מכך שמשדד החינוך לא פרסם תכנית לימודים ויש מעט ספרי לימוד או מדריכים למורים בחינוך הסביבתי העשויים לשמש כמקורות עבור בתי ספר וארגונים סביבתיים (טלי ט' 2009).

תכניות חינוך לחיסכון במים מבוססות בחלקם על עקרונות החינוך הסביבתי, ונובעות רובם ככולם מהצורך בשינוי הרגלים למטרת חיסכון במים על ההשתמעויות החינוכיות והסביבתיות. שותפים לתכנית הם בד"כ רכזי איכות הסביבה של היחידות הסביבתיות העירוניות, אך רבות התכניות שאינן מתועדות המיושמות ע"י יוזמות מקומיות במסגרות פורמליות כגון גנות, מורות ומנהלי בתי ספר, וכן במסגרות לא פורמליות כגון מתנ"סים, פנימיות וכד'.

בפרק זה נציג מודלים לתכניות חינוך סביבתי המיושמות במסגרת עירונית או פרטית. מטרת הצגת המודלים היא למפות עקרונות המיושמים במספר רב של בתי ספר, זאת בכדי להבין את התמונה הרחבה של החינוך לחיסכון במים בישראל.

התכנית שנציג הינה מודל הפועל בעיר ירושלים: "שומרים על המים בירושלים" ומופעל ע"י תאגיד המים "גיחון" ומנהל החינוך העירוני ירושלים. מודל נוסף הפועל בישובים שונים בצפון הארץ "לוקחים את המים בידיים" המופעל ע"י "החברה להגנת הטבע".

קיימים מודלים יישומיים שונים להפעלת תכניות לחינוך סביבתי בבתי ספר:

מודלים להפעלת תכניות לחינוך סביבתי:

יש סוגים שונים של תוכניות בחינוך סביבתי, הנבדלים בהיקפם ובמרכזיותם בחיי בית הספר, למשל:

- א. תוכנית לימודים בית ספרית (תלב"ס) - תוכנית הנבנית סביב נושא תוכן רלוונטי לבית הספר בתחום סביבתי, ערכי, חברתי, והמהווה חלק משמעותי בשיח הבית ספרי, סביבו נשזרת פעילות חינוכית נרחבת.
 - ב. מרחבי למידה בבית הספר – מרחבים פיזיים או וירטואליים המתמקדים בתכנים סביבתיים, כאשר אלו אינם מהווים חלק מתוכנית רב שנתית כוללת.
 - ג. הרחבת ההיבטים הסביבתיים בתוכניות לימודים קיימות ופרויקטים יזומים.
- מאחר שאנו בוחנות את המודלים ברמה התיאורטית ולא ברמה המעשית בחלק זה לא ניתן למקד באיזה אופן של מודל היא מופעלת בתוך בתי הספר שכן ישנם בתי ספר שמשלבים את התכנית כחלק מהתלב"ס, ישנם בתי ספר שמשלבים את התכנית כחלק מהרחבת נושא לימודי מסויים כגון: גאוגרפיה/ מדע וטכנולוגיה/ מולדת ועוד, ולעיתים אף התכנית מועברת בבית ספר כתכנית מנותקת הקשרים. הצגת המודל בשלב זה, אם כן, באה לבחון את הרמה התיאורטית בהתאם לעקרונות החינוך הסביבתי.

4.1 תכנית הלימודים בירושלים

עיקרי המודל החינוכי לחיסכון במים יוצגו בטבלה הנ"ל:

שם תוכנית	שומרים על המים בירושלים
בעיות מים (מבט על)	<p>מיקוד בבעיות מקומיות:</p> <ul style="list-style-type: none"> - עלייה בצריכת המים בעקבות עליה ברמת החיים. - עלייה בצריכת המים בעקבות גידול במספר התושבים באוכלוסיה. - בעקבות עלייה בצריכת המים יש צורך בטיפול בשפכים וע"י כך מניעת נזקים סביבתיים.
צורך ויעדים	<ul style="list-style-type: none"> - הצעת פתרונות רלוונטיים לחיסכון במים הניתנים ליישום. - הפנמת הרעיון שעיקר צריכת המים בירושלים נעשית במגזר הביתי כ-55% מהצריכה במגזרים השונים - הבנת בסיס הטכנולוגי להשבת מים ולטיפול בשפכים : חשיבות סביבתית, חברתית וכלכלית.
יוזם התוכנית	<ul style="list-style-type: none"> - מנח"י (מנהל חינוך ירושלים) – היחידה למדע וטכנולוגיה - תאגיד המים של ירושלים – "הגיחון"
גורם מרכזי של התוכנית - בית ספר עצמאי, משרד החינוך, רשות המים	<ul style="list-style-type: none"> גב' רבקה זוהר רכזת חינוך סביבתי היחידה לחינוך סביבתי מנח"י – עיריית ירושלים
חזון התוכנית	<ul style="list-style-type: none"> - חינוך לשמירת הסביבה ולחסכון במשאבי טבע - חשיפת התלמידים למערכות ממסדיות המספקות שירותים לתושב העיר מתוך מטרה להופכו לשותף פעיל בהשגת המטרות הסביבתיות
רציונאל	<ul style="list-style-type: none"> - היחידה נכתבה ברוח תפיסת מב"ט והיא מתאימה לנושא המים הנלמד בכיתות הבינוניות של בית הספר היסודי או בנפרד – כנושא "בוער" ברמה הלאומית. - הביקור ודפי העבודה מציגים סוגיית S.T.S מובהקת (שילוב היבטים מתחום המדע, הטכנולוגיה והחברה)
ניתוח עפ"י עקרונות חינוך סביבתי	<p>מודעות:</p> <ul style="list-style-type: none"> - להציג את הטכנולוגיות העירוניות שפותחו על מנת לענות על צרכי התושבים. - להציג טכנולוגיות גבוהות שמטרתן לשמור על בריאות הציבור מחד ועל המשאב החשוב והשבתו לשימוש, מאידך. <p>ידע:</p> <ul style="list-style-type: none"> - לחשוף את התלמידים בירושלים לבעיית המחסור במים. - לחשוף את התלמידים לבעיית מי השפכים ודרכים לפתרונה. <p>עמדות:</p> <ul style="list-style-type: none"> - לפתח אחריות אישית כלפי משאב ציבורי. - לאמץ עמדות ברורות בנושא החיסכון במים ושמירת המים כמשאב לאומי. <p>השתתפות פעילה:</p> <ul style="list-style-type: none"> - לאמץ הרגלי התנהגות ידידותיים לסביבה.
אמצעים פדגוגיים מיוחדים	<ul style="list-style-type: none"> - יחידת לימוד - סיור לימודי במתקני אגירה ובמכון לטיהור שפכים של חברת ה"גיחון".
האם השיטה מרוכזת במקצוע אחד או מרובדת במספר מקצועות (ביזור מול ריכוז, "הטמעה" מול "החדרה")	<p>התכנית מרוכזת במס' מפגשים מצומצם שבסיומו פעילות שיא שהוא הסיור במט"ש הגיחון</p>
גורם מממן	<ul style="list-style-type: none"> עיריית ירושלים תאגיד המים הגיחון.

בתכנית הלימוד יש ערך מוסף להיסטוריה של המים בירושלים. לאור העובדה שירושלים ממוקמת בגובה 800 מ' מעל גובה פני הים, ויושבת על קו פרשת המים כך שכל המים זורמים ממנה. עוד בימי קדם וגם בקום המדינה, היה צורך למצוא פתרונות לשימור מים בירושלים. בעבר הפתרונות היו שימוש באמות מים, בארות לאיסוף מי גשמים ובריכות הר הבית. בריכת הסולטן ובריכת ממילא ששימשו בעבר מאגרי מים, מהווים היום נכסים סביבתיים ותרבותיים. אחרי קום המדינה ועם התפתחות הטכנולוגיה, הקימה חברת מקורות קווי מים בירושלים ובהמשך הוקם מפעל הגייחון בנחל שורק אשר מטפל בשפכים של ירושלים.

לסיכום מודל ירושלים, תכנית הלימודים קצובה ל-4 מפגשים + סיור במפעלי הגייחון. לא בהכרח ניתן דגש להמשכיות שכן אין בקרה ומעקב על כך במסגרת התכנית. השותפים לפרויקט הם התלמידים הלומדים בתכנית ולא בהכרח תלמידים מכיתות אחרות. דווקא שותפות ברמת בית באה בחשבון, שכן ישנה הדרכה על מתקנים לחיסכון במים כגון: חסכמים והתנהגות צרכנית נאותה כלפי צריכת המים.

התכנים רלוונטים ואקטואליים עבור הלומד שכן, ישנה התייחסות למצב המים בירושלים כיום, לגורמי הטיפול במקורות המים ובטיפול בשפכים.

אין דגש ללמידה חוץ כיתתית המפגש עם המים רק במסגרת טיפול שפכים, ברמת ידע טכנולוגי וחשיבות סביבתית ולא בהכרח ידע ערכי.

התכנית שמה דגש לקשר בין צמיחה דמוגרפית לבין צריכת המים וכן סקירה היסטורית של מקורות המים בירושלים ובימי המצור.

התכנית המוצגת מוגבלת למס' מפגשים לא ניתן להעריך על פיה עד כמה יש שילוב בין תחומי. זה נתון לשיקול בית הספר ונקבע עפ"י סדרי העדיפויות שלו.

שיתוף הפעולה שבין מנהל חינוך עירוני לבין תאגיד פרטי יוצר גיבוש אינטרסים הדדי גם מהפן החינוכי וגם מהפן של חשיפת התלמידים לגורמים עסקיים.

התכנית לוקה בחסר מבחינת עקרונות החינוך הסביבתי מבחינת רמת מיומנויות של תלמידים. התלמידים אינם לוקחים חלק בהתמודדות עם שאלות אתיות, קבלת החלטות, חשיבה ביקורתית, וכד'. התכנית בנויה כמשפך של ידע המועבר בצורה חד סטרית מהמורה אל התלמיד.

4.2 תכנית הלימודים של החברה להגנת הטבע - "לוקחים את המים בידיים"

שם תוכנית	לוקחים את המים בידיים – תכנית חינוכית ייעודית של החברה להגנת הטבע
בעיות מים (מבט על)	נקודת המוצא היא שמדינת ישראל נמצא במצב של מחסור, כאשר שינוי התנהגותי בהרגלי צריכת המים בסקטור הפרטי יביא לחיסכון משמעותי במים.
צורך ויעדים	1. העלאת המודעות בקרב תלמידים, הורים, קהילה, מורים וצוות בית הספר לצורך בחיסכון במים. 2. חשיפה לנתונים אישיים וארציים, תוך הבנה מעמיקה של מצב המים בישראל. 3. שינוי התנהגותי, שיוביל לחיסכון במים בקרב הקהילה, ויאפשר עשייה משמעותית למען הסביבה. 4. השתתפות אזרחית במאמץ ארצי לחיסכון במים.
יוזם התוכנית	דפנה גן, חינוך סביבתי החברה להגנת הטבע
גורם מרכזי של התוכנית - בית ספר עצמאי, משרד החינוך, רשות המים	עמותת מלכ"ר – החברה להגנת הטבע. אגף שימור סביבה וטבע.
חזון התוכנית	התכנית רואה בחשיבות חיסכון בצריכת המים השפירים בסקטור צרכני המים במגזר הביתי ברשויות המקומיות – כפי שמתבטאת בצריכה שנתית לנפש. התכנית ממוקדת בהשגת תוצאות מהירות יחסית, עם אמצעי מדידה מאוד ברור (חסכנו / לא חסכנו), מאפשר לבתי ספר להיות שותפים ו"לראות" את התוצאות בעיניים – גורם שיסייע לבתי ספר להירתם לעשייה.
רציונאל	הילדים מהווים סוכנים משמעותיים לשינוי בבתי אב. התכנית מתבססת על נקודת המוצא שלילדים יש כח השפעה רב על הוריהם ועל הקהילה. לב הפעילות טמון במפגשים עם התלמידים בכיתות וההיזון החוזר בין הפעילות בכיתה לפעילות של כל אחד ואחת בביתו הוא.
ניתוח עפ"י עקרונות חינוך סביבתי	מודעות: העלאת המודעות לבעיית מצב המים בישראל מחד ונתוני רמות הצריכה האישיות מאידך. ידע: שימושי המים, מקורות המים, תכונות המים, חשיבות החיסכון במים לאור המצב הקיים. עמדות: גיבוש עמדות כחלק מהכנת עלון הסברה שנושא חשיבות המים. מיומנות: קריאת מונה מים ועריכת טבלת מעקב – איסוף, עיבוד וניתוח נתונים. כתיבת טיעוני כדאיות לחיסכון במים כחלק מהכנת הקמפיין. השתתפות פעילה: בניית קמפיין הסברה, התקנת חסכמים בבתיים, ייעול השימוש במים, מינוי תורן חסכן.
אמצעים פדגוגיים מיוחדים	פעילויות הדרכה בכיתה ובמרחב בית הספר. עריכת סקר צריכה ושאלון הרגלי שימוש במים – בבית ובבית הספר. הפצת חומרי הסברה: עלון המתאר את חשיבות החיסכון במים. עידוד לחיסכון במים באמצעים טכנולוגיים והתנהגותיים.
האם השיטה מרוכזת במקצוע אחד או מרובדת במספר מקצועות (ביזור מול ריכוז, "הטמעה" מול "החדרה")	התכנית ממוקדת במבנה הוראה בכיתה ובתיעוד של צריכת מים בבית ובבית הספר. ישנה המלצה לחיבור נושאים חינוכיים למקצועות הלימוד השונים בבית הספר – בהתאם לחלק מן הפעילויות. התכנית משלבת פעילות מול מנהל החינוך ביישוב, מנהלי בית ספר, מורים, תלמידים, הורים וקהילה רחבה. השילוב בין כל הגורמים הללו, מאפשר הטמעה טובה יותר של הצורך בחיסכון ומבטיח שינוי התנהגותי משמעותי בקרב באי הקהילה.
גורם מממן	הפעילות מתקיימת ביישובים בצפון הארץ שמשותפים בפרויקט. גורם המימון תלוי במבקש ה"שירות". רשות מקומית/ מוסד חינוכי וכד'.

התכנית להפחתת צריכת המים הביתית הנה תכנית חינוכית הכוללת מספר מעגלים המערכת העירונית המתחילים ברשות המקומית, מנהלי בתי ספר, עוברים לילדים ולמורים ומגיעים עד לקהילה בבתיים.

השילוב בין כל הגורמים יאפשר הטמעה טובה יותר של הצורך בחיסכון ויבטיח שינוי התנהגותי משמעותי בקהילות בהן התכנית תופעל. השאלה העולה האם השינוי הינו בר קיימא כלומר יהפוך לכדי אימוץ הרגלים חדשים. או שמא התכנית מוגדרת כפרויקט וכמו כל פרויקט טוב כשהוא יסתיים התלמידים יחזרו להתנהלותם המוכרת והידועה.

רובד נוסף בתכנית זו הוא הדגש של שילוב אמצעים פרסומיים שיאפשרו השפעה על הקהילה הבוגרת – זאת בתנאי שהם יכוונו אליה ולא יעבירו תחושה של "חינוך במסגרת בית - ספרית" שהם לא קשורים אליה.

התכנית מבוססת על שילוב של מגוון מתודות: חקר, מעקב, התנסות, חוויה, שיעורים כיתתיים ופעילות במרחב בית הספר כדוגמת איתור מקורות המים בבית הספר לשימושים השונים ועוד. כאשר הרעיון הבסיסי הוא דגש על פעילות חווייתית שתרתום את התלמידים לפעול למען חיסכון במים בביתם ובכלל בהתנהלותם.

על פי התכנית יש גיבוי המשך למשל הצעה לתורן חסכן – אחראי להמשך קידום מודעות ורכישת הרגלי צריכה נאותה של מים.

נקודה נוספת למחשבה, התכנית ממוקדת בהשגת תוצאות מהירות יחסית, עם אמצעי מדידה מאוד ברור (חסכנו/ לא חסכנו), מצד אחד זה מאפשר לבתי הספר להיות שותפים לעשייה הסביבתי וממש לראות תוצאות בשטח גורם שיסייע להירתם לתכנית. אך מצד שני יש לשקול מהו המחיר של השגת תוצאות מהירות בתהליך קצר האם יש לכך השפעות לטווח קצר? והאם תהיה לכך המשכיות?.

5. הצגת המודל המוצע

עבודת מחקר זו מבקשת, כאמור, להתמקד בפוטנציאל חיסכון במים באמצעות חינוך ייעודי המבוסס על שינוי הרגלי צריכה בקרב תלמידים, מתוך הנחה שהילדים עצמם מהווים פתח לשינוי בבתי אב בישראל בנושא חיסכון במים.

במהלך העבודה נעשה ניסיון למפות את התפתחות הגישות השונות לחינוך סביבתי בעשורים האחרונים מהשלב הראשוני של הגדרת החינוך הסביבתי ועד הגישות הרווחות כיום של קיימות ופיתוח בר-קיימא. כמו כן, נעשתה סקירת מודלים של חינוך ייעודי לחיסכון במים בארץ ובעולם, בכדי למצות את העקרונות המעשיים ובכך להביא לכדי הבניית תכנית לימודים במודל חדשני אותו אנו רואות לנכון, בכדי להשיג את מטרות החינוך הסביבתי בכלל וחיסכון במים בפרט. עקרונות אלו מהווים גשר בין התיאוריה לפרקטיקה.

אומנם, הגישות בחינוך הסביבתי השתנו במהלך השנים, אך הנקודה המעניינת היא שמטרות החינוך הסביבתי נשארו קבועות. הן באות לידי ביטוי, כיום, תחת הכותרת של "אוריינות סביבתית" הכוללת: ידע בנושאי סביבה ואקולוגיה, עמדות בנושאי סביבה והתנהגות סביבתית ("ידידותית לסביבה") (טל א' ואחרים, 2007).

מכאן, שפיתוח מודל חינוכי ייעודי לחיסכון במים הינו בהכרח יהיה מבוסס על עקרונות של חינוך סביבתי. השאלה היא מהם העקרונות המיטביים המשיגים את היעדים המוגדרים של תכנית חינוכית לחיסכון במים, בראשם שינויים בהרגלי צריכת מים לכדי התנהגות חסכונית.

להלן עקרונות המודל המוצע:

1. בית הספר כמרכז קהילתי – מהווה מקור ידע לקהילה המקומית בסביבה וליווי תהליכים מתמשכים עם כל הבאים במגע עמה, כגון: מורים, תלמידים, הורים ושכנים.
 2. לימוד מבוסס הקשר – התמודדות עם דילמות רלוונטיות ואקטואליות עבור התלמידים (ידע מבוסס מקום).
 3. לימוד מבוסס הקשרים חברתיים-תרבותיים – למשל במודל של ירושלים המציג את הקשר שבין עלייה בגודל האוכלוסייה וברמת החיים בעיר לבין עלייה בצריכת המים העירונית והביתית. גמישות התכנית צריכה לבוא לידי ביטוי בדילמות המותאמות לכל בית ספר או לכל אזור בכדי שההתמודדות עם השאלות תהיה רלוונטית ואקטואלית ולא תישאר בעמדה תיאורטית.
 4. לימוד בינתחומי בנושאים הקשורים למים ולא מיקוד בנושא של חיסכון במים – נושא המים הוא בעל חשיבות רבה לחיינו, ניתן למצוא הקשר כמעט בכל תחום דעת הנלמד בבית הספר בכדי ליצור הבניית הקשרים בין-תחומיים המהווים קשת רחבה של ידע ומודעות אצל התלמידים. לימוד הנושא לא יעשה במנותק משאר תכנת הלימודים, אלא באופן משולב, כך לדוגמה יחלחל נושא המים לשיעורי מתמטיקה או טבע ויהווה חלק אינטגרלי מחוויות בית הספר עבור התלמידים.
 5. תכנית המבוססת על שיתופי פעולה בין גורמים שונים: שילוב של "שינוי מלמעלה" בתכנית המבוססת על "שינוי מלמטה".
- שיתוף פעולה בין משרדים סביב גיבוש המודל החינוכי. מודל נכון דורש התייחסות של משרד החינוך כמובן, אך גם של המשרד להגנת הסביבה.
- חשוב להדגיש כי למרות שאנו סבורות כי יש צורך בהגדרה קונקרטית של המודל ברמה לאומית, על המודל להיות גמיש מספיק כדי להתאים עצמו לרשויות מקומיות שונות ואף לבתי ספר שונים.

תכנית לימודים לשינוי הרגלים לחיסכון במים צריכה להיות תכנית המציגה עקרונות כללים ומאפשרת חופש למורים ולאנשי החינוך המקומי.
עיקרון הגמישות, מוביל אותנו לעיקרון המקומיות; ברמה המקומית תתייחס התכנית להיסטוריה של המקום, למסורות ותחבור לקהילה המקומית סביב שינוי הרגלים לחיסכון במים. כך לדוגמה, ראינו כי התכנית בירושלים מתייחסת להיסטוריה של מצוקת המים בעיר, והתכנית באפריקה מתייחסת למסורות מקומיות של מזמורים וסיפורי עם.

6. פעולה יישומית – בחינוך הסביבתי יש חשיבות רבה לעשייה ולא רק להקניית הידע והערכים. במודל זה אנו רואות חשיבות רבה בהקמת מערך הנראה לעין וזמין לכל בנושא של חיסכון במים. הרעיון שאנו מציגות הוא שילוב של מערכת לאיסוף מי גגות בבית הספר כחלק מתכנית הלימודים. מערכת מסוג זה יכולה לחסוך כמויות ניכרות של מים המיועדים להשקיית גינות ו/או להדחת אסלות בבית הספר, מים אשר עלולים להגיע למערכות ניקוז ובהמשך לים במקרים רבים, מתוך הנחה שרוב בתי הספר וסביבתם מכוסים בטון המונע חלחול למי תהום. לדעתנו, בפעולה זו התלמידים רואים לנגד עיניהם תהליך אמיתי של איסוף מים וניצול יעיל בתחומי בית הספר, לומדים להעריך את כמויות המים ומכך לומדים שיעור אמיתי לחיים בבית הספר על הדרך שבה ניתן לחסוך במים בדרכים נאותות, ולא רק דרך למידה "תחת איום" מתמיד למצב המים בישראל וההשלכות השליליות של חסך במים.

בפעולה זו ניתן להבחין במספר עקרונות החינוך הסביבתי שבאים לידי ביטוי:

א. מערכת איסוף מי גשמים מגגות מהווה מרכז לימוד חוץ כיתתי ועל כן עונה על הצורך של למידה על הסביבה - בסביבה, במקרה זה היא סביבת בית הספר וניצול מקורות המים המקומיים.
ב. מערכת איסוף מי גשמים מגגות מהווה מקור לחינוך סביבתי פעיל, ועשייה מהותית לקראת חיסכון במים כולל מיומנויות פיזיות שונות שמקורם בתחזוקה פשוטה למדי של מיכלי האגירה וצינורות ההובלה.

ג. סביב מערכת זו ניתן ליצור למידה של חשיבה ביקורתית כחלק מהכשרת התלמידים כאזרחי העתיד בחברה דמוקרטית. זאת על ידי לימוד דילמות ערכיות חברתיות- סביבתיות המזדמנות לתלמידים. שאלות שיכולות לעלות בדיונים כיתתיים, למשל: למי המים שייכים? מי קובע לאן המים זורמים? מדוע הם לא מנוצלים בצורה יעילה יותר לטובת התושבים? ועד לדילמות הנוגעות לנושא של חשיבות שמירת שטחים פתוחים לחלחול מי גשמים על פני פיתוח ובנייה מאסיבית המונעת חלחול, ואף העלאת מודעות לנושאים כמו: תכנון רגיש למים וחשיבותו.

ד. היכרות עם היבטים כלכליים בחיסכון במים ברמה הביתית ואף ברמה המוסדית.

ה. גיוס התלמידים ליצירת אקטיביזם משמעותי הנובע מתוך שאלות ביקורתיות. העלאת מודעות הקהילה בנושא המים, זמינות המים וחשיבות החיסכון בהם וכמובן הרגלי צריכת מים.

לסיכום, אנו סבורות כי הצעד הראשון לגיבוש מודל חינוכי ייעודי לשינוי הרגלים לחיסכון במים הינו הנחייה ברורה של משרדי הממשלה בנושא. על מנת שהמודל ימצא את מלוא הפוטנציאל שלו ואכן יצליח להקנות לתלמידים הרגלים לחיסכון במים על המודל להתגבש בשיתוף פעולה בין משרדים שונים ותוך שמירה על העקרונות המוצגים להלן. ישנה חשיבות לעשייה משמעותית במסגרת בית הספר ולא רק הקניית הידע והמודעות. הייחודיות של המודל המוצע בפרק זה הוא מערכת יישומית לחיסכון במים וגישה חינוכית של חיסכון מתוך עשייה ולא מתוך הפחדה.

גיוס התלמידים והקניית הערכים לא נעשים בהכרח באופן ישיר, אלא ברובו באופן עקיף מתוך תולדה של עשייה וחיסכון במים באופן הנראה לעין. מערך של מיכלי אגירת מים יכול לספק מדד מוחשי על ידי התלמידים לרמות חיסכון במים בבית הספר במהלך תקופות שונות - על ידי ירידה במפלס המים במיכלים. המעקב אחר כמויות המים שנאגרו מחד ושנוצלו מאידך, במסגרת הבית ספרית מעלה את תחושת האחריות והאכפתיות מצד התלמידים לשמירה על המים ברמה המקומית ומקנה ידע סביבתי ברמה הארצית והעולמית. לדעתנו, הדיון בנושא חיסכון במים וחשיבותו במסגרת בית הספר על בסיס חסך במאגרי מי תהום שאינם זמינים ואינם מוחשיים לתלמידים גורם להרחקה ולחוסר הבנה מעמיקה בייחוד בבית הספר היסודי בו התלמידים לומדים נושאים בצורה מוחשית יותר והרבה פחות מופשטת.

חשוב לציין שבבואנו להציע את המודל התבססנו, בין היתר, על תכנית לחיסכון במים שהצגנו בעבודה זו, מוקדם יותר והיא: התכנית לחסכון במים בקליפורניה. תכנית זו משמשת כמקור להצלחה ויכולה להביא לתוצאות חיוביות בהטמעת הנושא בקרב התלמידים ועשויה להשפיע על אופן הצריכה הביתית. התכנית משלבת את לימוד נושא המים דרך פעילות חקר, חוויה, פעילות מעשית בשטח תוך כדי ביצוע מדידות ובדיקות לקביעת איכות המים. התכנית משלבת גם עבודה עם ספרים וחוברות לימוד והתאמה של התכנים לבעיות שמאפיינות את העיר, במקרה של קליפורניה מדובר על הבירה סקרמנטו. למרות שמדובר בכמה ערים שונות ובעיות מים שונות יש תכנית מובנית עם תכנים ודרכי פעילות דומים כאשר כל עיר עושה את ההתאמות שלה בצורה מקומית. כשם שבתכנית קליפורניה הילדים מתנסים בפעילויות המעודדות חקר, לאו דווקא מערכת איסוף מי גשמים, נתן לנו את ההבנה שמערכת לאיסוף מי גשמים בבית ספר יכולה להוות בין השאר כלי לעידוד ועשייה קונקרטי של אספקט חשוב בנושא המים. מערכת לאיסוף מי גשמים עשויה לעודד את התלמידים ללמוד, לחקור, להתנסות ולהבין את משמעות החיסכון במים וניצולם באופן יעיל וחכם. וכפי שצויין קודם, למערכת איסוף מי גשמים בבית ספר השפעות רבות בכמה מישורים שפורטו בעקרונות המודל המוצע מוקדם יותר בפרק זה.

6. שיטות מחקר

עבודה זו לא כוללת בדיקה של המודל המוצע לאחר יישומו בשטח. פרק זה מציג את שיטת המחקר האיכותי, שהיא השיטה המתאימה לדעתנו, לבדיקה של תוצאות המחקר, כלומר, המודל החינוכי שהוצג בפרק הקודם.

המחקר האיכותי הוא שם כולל לאופני מחקר שונים. כלי מחקר רבים נכללים במחקר האיכותי כגון: תצפית, ראיון, ניתוח, מסמכים ועוד. את המידע מקבלים מהנחקרים עצמם, תמונות, תעודות, וכיו"ב, והם מייצגים סגנונות הזדהות שונים, החל מאימון מלא באנשים, שאותם ואת תרבותם מנסים ללמוד, עד חשדנות מסוימת כלפיהם. על פי הגישה האיכותנית "הבנת חיי החברה האנושית תושג באמצעות חקר פרטים המפרשים את חיי השגרה שלהם ונותנים להם משמעות. חקר החברה חייב לקשור בין פרשנויות אלה לבין הסיטואציות היום-יומיות שבהן מתנהלים חיי האנשים" (Hitchcock&Hughes אצל שי ובר-שלום, 2002) (צבר בן-יהושע, 1995).

בספרם "המחקר האיכותני בחקר החינוך" שי ובר-שלום מתייחסים להבדל שבאוקלוסיית המחקר במחקר הכמותי לעומת האיכותי ומדגישים ש"בשונה מאוקלוסיית מחקר כמותי, שבו הנבדקים נבחרים באופן מדגמי, באוקלוסיית מחקר איכותי מתייחסים למשתתפים במחקר כמוסרי מידע" כפי שמצאו אצל קראתוול (Krathwohl, 1993) אצל שי ובר-שלום, 2002).

המחקר האיכותי כולל מאפיינים מתודולוגיים ועקרונות משותפים כפי שסוכם בספרה של צבר בן-יהושע שהלכה בעקבות בוגדן וביקלן (Bogdan& Biklen, 1982) אצל צבר בן-יהושע, 1995) והם:

1. המחקר האיכותי שואב את נתוניו מהמערך הטבעי, והחוקר הוא מכשיר המחקר העיקרי. במחקר איכותי החוקר עצמו, יכולת הקליטה שלו, רגישותו, פתיחותו והתבונה שלו להתרחשויות הוא הכלי לאיסוף הנתונים למחקר.
2. מחקר איכותי הוא תיאורי. הוא מכיל נתונים הנאספים במילים או בתצלומים, כאשר בהצגת התוצאות יש תיאורים הממחישים את הדיווח, כגון תעתיק של הראיונות, רישומים בשטח, תמונות, תעודות ומסמכים.
3. חוקרים מעוניינים בתהליכים יותר מאשר בתוצאות או בתוצרים. במחקר האיכותי בודק החוקר תהליכים שונים בעת התרחשותם.
4. החוקרים נוטים לנתח את נתוניהם באופן אינדוקטיבי. חוקרים איכותיים אינם מבקשים לאשר השערות שהיו להם בראשית המחקר או להפריכן. תפישתם מתגבשת עם הצטברות הנתונים, והתיאוריה נבנית נדבך על נדבך, על יסוד ראיות, עדויות ופיסות מידע הנאספים בתהליך דינמי של בניית תיאוריה המעוגנת בשדה (Glaser&Strauss, 1967) אצל צבר בן-יהושע, 1995).
5. הגישה האיכותית מייחסת חשיבות למשמעות הדברים של הנחקרים. חוקרים איכותיים מעוניינים להבין מה חושבים האנשים שעליהם נעשה המחקר. מאחורי כל ביטוי חיצוני של התנהגות יש לאדם כוונות מסוימות, ולהבנתן מייחסים החוקרים חשיבות מרובה.

חשוב להדגיש שלא בכל דו"ח איכותי באים כל המאפיינים הללו לידי ביטוי בעוצמה שווה, אך בדרך כלל הם מצויים במחקר (צבר בן-יהושע, 1995).

במסגרת עבודת המחקר הנוכחי ובמהלך חיפוש חומר תיאורטי לעבודה גילינו שבמחקרים בחינוך סביבתי משתמשים בכלי מחקר איכותי. זה חיזק את רצוננו להשתמש בכלי מחקר זה. לדוגמה, במחקר של הטכניון ל"בחינת השפעה של פעילות בחינוך הסביבתי על מודעות והתנהגות סביבתית של תלמידים בב"ס יסודי ותיכון" השתמשו החוקרות בשאלון בו הציגו שאלות פתוחות בטענה שזה "נותן תמונה מעמיקה", מאפשר לקבל תמונה רחבה ועמוקה יותר של הקבוצה הנחקרת (http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/mechkarim/7-203_1.pdf). במחקר אחר של מכון הנרייטה סאלד בנושא "פיתוח אינדיקטורים להערכת ההשפעה של בתי ספר סביבתיים ותכניות חינוכיות בתחום הסביבה ועל קהילותיהם" השתמשו החוקרים גם כן בכלי איכותי, השאלון, בדרך זו יכלו החוקרים לעמוד על עמדות והתנהגויות בענייני סביבה של הנחקרים ולהבין את ההשפעות בצורה יותר מעמיקה (http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/mechkarim/7-702_1.pdf).

ממחקר נוסף בנושא אוריינות סביבתית שבדק את מצב האוריינות הסביבתית הקיימת בקרב תלמידי כיתות ו' וי"ב, היוו התלמידים מדגם מייצג למערכת החינוך בישראל בשל בחירתם על בסיס מגזר, גודל יישוב, רמת הצלחה בלימודים ומצב סוציו-אקונומי. כפי שצויין במחקר זה, "מרכיבים מסוימים של אוריינות סביבתית קשים במיוחד להערכה במחקר כמותי רחב היקף. לדוגמה, הדרך העיקרית לבדיקת התנהגות היא על ידי עדות אישית, וכך גם לגבי עמדות" (שגיא, נגב ושות', 2007).

ומכאן שאם היינו עורכות מחקר במסגרת העבודה היינו בוחרות לערוך מחקר איכותי ולא כמותי ומיישמות אותו על פרויקט פיילוט שבו יוטמע המודל על כמה בתי ספר שהאוכלוסיה בהם עם רמה סוציו-אקונומית דומה. במסגרת המחקר היינו משתמשות בכלים כמו: עריכת שאלונים עם אנשי חינוך וגורמים מקצועיים, ראיונות עם מורים תלמידים והורים ובדיקה של צריכת המים בבית הספר. בעזרת שאלונים היה אפשר לברר על עמדות תלמידים ביחס לחיסכון במים, יחס המורים ועמדתם בכל הקשור לחיסכון במים.

המחקר האיכותי הינו כלי לאיסוף נתונים תוך כדי התרחשות התהליך ועל כן על בסיס מסקנות הפיילוט שיושגו באמצעות המחקר האיכותי, יהיה ניתן לשפר את המודל ולהמשיך ולהטמיע אותו בבתי ספר נוספים.

7. סיכום

עבודת מחקר זו נערכה במסגרת הקורס "פרויקטים בחקר הסביבה". אחת ממטלות הקורס שקבלנו הייתה לערוך מחקר כאשר ההתייחסות צריכה להיות לכותרת "ניצול יעיל של מים בתנאי מחסור". ניסחנו שאלת מחקר והתמקדנו בעיקר באיסוף חומר תיאורטי וכתובת הרקע הספרותי. במחקר זה לא נדרשנו לערוך מעשית את המחקר, אך כן נתבקשנו להציע שיטות מתאימות לבדיקתו במידה והיינו חוקרות מעשית.

נושא המחקר שבחרנו להתמקד בו היה בחינת עקרונות של מודלים חינוכיים בארץ ובעולם, במטרה להציע מודל חינוכי לחיסכון במים. זאת לאחר שהגענו למסקנה שלא קיים מודל חינוכי ללימוד בנושא חיסכון במים. נדרשנו לחפש חומר תיאורטי ולהתמקד בכמה נושאים רלוונטיים שהיוו בסיס להצעת המודל. התחלנו עם רקע למשבר המים בעולם ובארץ, המשכנו לרקע על החינוך הסביבתי והגישות השונות לאורך התפתחות הזמן והשינויים שנעשו. לאחר מכן הצגנו את המודלים החינוכיים לחינוך בשלוש מדינות בעולם, ארה"ב, אוסטרליה ואפריקה. עמדנו על הרקע לבחירת המדינות כמדינות שיכולות לשמש כמודל חינוכי לישראל בגלל הדגש במדינות הללו על מחסור במים. הצגנו דוגמה לתכניות שפותחו בארצות אלה ללמידה והטמעת הנושא של המים. משם המשכנו ב"זום אין" לתכניות ברמה המקומית, הצגנו את התכנית בירושלים ותכנית של ה"חברה להגנת הטבע". לאחר סקירת הספרות הרחבה הגענו לשלב של הצעה למודל חינוכי במודל המוצע הצגנו את העקרונות שלדעתנו צריכים לבוא לידי ביטוי בכדי להביא לשינוי ההרגלים לחיסכון במים והם: גמישות, מקומיות, רב תחומיות והתנסות. הצענו בסופו של תהליך שהלימוד ילווה על ידי שימוש במגוון כלי הוראה, לדוגמה, קיום שיעורים בכיתה לצד יציאה לטיולים והבנה והתנסות בשטח, וגם שהמודל יהיה יישומי, התלמידים יהיו חלק מתהליך הלמידה ויחוו באופן פעיל תוך כדי התנסות חווייתית את הנושא.

אם היינו מבצעות את המחקר היינו משתמשות בכלי איכותי מסוג שאלון כדי לבדוק עמדות בקרב תלמידים, הורים ואנשי חינוך לגבי המודל שהצענו. זהו חלק חשוב בקידום המודל והפיכתו למעשי.

אנו סבורות שהחינוך הוא כלי שיכול להביא לידי שינוי הרגלים לחיסכון במים בצריכה הביתית. הילדים הם דור שיכול להפיץ את הידע ועל כך עמדנו גם בסקירת הספרות. ולכן, חשוב מאוד להטמיע הרגלים בעזרת מודל חינוכי שיוכל לעזור במערכת החינוך להביא לשינוי מערכתי כולל.

דרך העבודה צברנו ידע רב, למדנו את שלבי הכנת המחקר איתם נצטרך להתמודד בשלב הבא שלנו בגיבוש נושא מחקר וביצועו במסגרת התיזה.

למרות שלא הכרנו אחת את השנייה עם תחילת גיבושנו לידי קבוצה, תוך כדי התהליך הכרנו יותר והצלחנו לעבוד יחד כצוות ולהתגבר על הקשיים וחוסר ההסכמה שנבע מדי פעם בינינו בתהליך גיבוש הנושא למחקר ובהמשך בתוכן הרקע הספרותי. אין ספק שהיה כאן אתגר אבל בסופו של דבר בשיתוף ובעזרתה של שרון בר לב האסיסטנטית, שתרמה לנו רבות הן ברמה התוכנית והן ברמה הרעיונית, הצלחנו יחד "להוליד" נושא למחקר.

ביבליוגרפיה

רשימה בעברית:

אהרוני יובל, בן יהודה דניאל, השפעתם של מסע ההסברה וניטל הבצורת על ביקושי מים בישראל 2009-2007, אקולוגיה וסביבה, גיליון מס' 3, אוקטובר, 2010.

בריקס ד, ארבל י, בן יהודה ד, וברומברג ג.. ניהול ביקושי מים מיטבי במגזר העירוני - דוגמאות מהעולם. תל-אביב: ידידי כדור הארץ המזרח התיכון, 2010 תל אביב.

גבירצמן חיים, משאבי המים בישראל- פרקים בהידרולוגיה וסביבה, יצחק בן צבי, 2002, תל אביב.

טל אורי, נתונים על משבר המים בישראל- מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 2008.

טל, אלון, יעקוב גראב, מיה נגב, גונן שגיא ואלן סלזברג 2007. "אוריינות סביבתית במערכת החינוך בישראל", דו"ח ביניים לפרויקט מחקר, אוניברסיטת בן-גוריון, יולי 2007.

דו"ח הועדה הפרלמנטארית לנושא משק המים, 2010.

טלי טל, חינוך סביבתי וחינוך לקיימות: עקרונות רעיונות ודרכי פעולה, 2009

מסמך הסטנדרטים. 2004. משרד החינוך התרבות והספורט.

<http://cms.education.gov.il/NR/rdonlyres/0634F9A4-FB0C-439D-B316-158C7B167891/17235/alldoc.pdf>

טלי טל, חינוך סביבתי וחינוך לקיימות: עקרונות רעיונות ודרכי פעולה, המשרד להגנת הסביבה, ירושלים, 2009.

צבר בן- יהושע, נ'. המחקר האיכותי בהוראה ובלמידה, מודן הוצ' לאור בע"מ, 2009, גבעתיים.

שי, א' ובר- שלום, י'. המחקר האיכותי במחקר החינוך, דביר הוצ' לאור, 2002, ירושלים.

שוורץ א, פרדיגמות משתנות בתפיסה הסביבתית, 2006, אתר מרכז השל.

Andre Dzikus, Human values in water education- creating a new water-use ethic in African cities, 2001, UnHabitat

3 IUCN, UNEP, WWF ,World conservation strategy: Living resource conservation for sustainable development, 1990, . IUCN: Gland, Switzerland.

Keiny, S., & Zoller, U. (Eds.). Conceptual issues in environmental education, 1991, New York: Peter Lang.

Lucas, A. ,Environmental education: What is it, for whom, for what purpose and how. In S. Keiny & U. Zoller (Eds.), Conceptual issue in environmental education (pp. 25-48), 1991, New York: Peter Lang

Palmer, J. A. Environmental education in the 21st century: Theory, practice, progress and promise, 2003, London: RoutledgeFalmer.

Sauvé, L. (2005). Currents in environmental education: Mapping a complex and evolving pedagogical field. *Canadian Journal of Environmental Education*, 10, 11-37.

UNESCO Intergovernmental Conference on Environmental Education, 1978, Tbilisi (USSR.)

WCED. Our Common Future, The Brundtland Rep., 1987, Oxford: Oxford University Press.

A Briefing on California Water IssuesLauer Susan. 2009

רשימה אינטרנטית:

<http://www.gwcwater.nsw.gov.au/index.php/education/210>

[/http://thewaterproject.org](http://thewaterproject.org)

<http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/mechkarim/7->

http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/mechkarim/7-702_1

<http://www.watereducation.org/userfiles/CA%20Briefing%20Feb%202009.pdf>

http://www.watereducation.org/userfiles/HWHP_STANDARDS_FINAL.pdf

טיפול בשפכים בבסיסי צה"ל
מרוחקים באמצעות מערכת
אגנים ירוקים

דוברובסקי ניר 033338567

זהבי עטר 037173937

זמיר רעות 039501929

ניר סיגלית 025254319

קורס "פרויקטים בחקר הסביבה – תשע"ב"

בית הספר ללימודי סביבה ע"ש פורטר

פברואר 2012

תודות :

- פרופסור אביטל גזית, הפקולטה למדעי החיים, אוניברסיטת תל אביב
- איתי אליאב- מנחה העבודה, אוניברסיטת תל אביב
- אמיר צלאל, מהנדס סביבה בחברת טריפל טי
- יזהר יצחקי , יועץ צה"ל בנושא איכות סביבה
- דפנה פרגמנט, טריפל טי

תוכן עניינים

עמ' 4	תקציר
עמ' 4	מבוא
עמ' 6	1. מבנה הצעת המחקר
עמ' 6	1.1 שאלת המחקר
עמ' 6	1.2 השערות המחקר
עמ' 7	1.3 מטרות המחקר
עמ' 7	1.4 קשיים באיסוף מידע
עמ' 8	2. טיפול בשפכים בצה"ל – רקע
עמ' 8	2.1 הצגת הבעיה בטיפול בשפכים כיום
עמ' 10	2.2 ליקויים קיימים והשפעתם על הסביבה
עמ' 12	2.3 החלטת הממשלה בדבר חיבור צה"ל לביוב:
עמ' 13	2.4 הגורמים המעורבים בהליך הטיפול בשפכים
עמ' 16	3. שיטת אגנים ירוקים כפתרון לטיפול בשפכים בצה"ל
עמ' 16	3.1 הצגת טכנולוגיות טיהור מסוג אגנים ירוקים
עמ' 19	3.2 שימוש באגנים ירוקים בצבא ארה"ב
עמ' 26	3.3 מאפייני בסיסי צה"ל בדרום הארץ
עמ' 28	3.4 התאמת מערכת אגנים ירוקים משולבת לטיפול בשפכי צה"ל
עמ' 29	3.5 ניצול חוזר של המים
עמ' 33	4. מקרה חקר – בסיס רמון
עמ' 35	5. סיכום ומסקנות
עמ' 36	6. רשימת מקורות
	7. נספחים:
עמ' 39	נספח 1:
עמ' 41	נספח 2:
עמ' 42	נספח 3:
עמ' 43	נספח 4:
עמ' 45	נספח 5:

תקציר

במסמך זה נבחן את מידת ההתאמה של מערכת אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בבסיסי צה"ל מרוחקים הנמצאים בדרום הארץ, ושאינם מחוברים למערכת ביוב קיימת, וכיצד ניתן ליישם את השימוש החוזר במים המטוהרים שיופקו ממערכת זו.

מבוא – טיפול בשפכים בבסיסי צה"ל מרוחקים באמצעות אגנים ירוקים

הצעת מחקר זו, באה כתגובה לנושא שהוגדר בשנים האחרונות כחשוב ומכריע בעתידה של מדינת ישראל. צפיפות האוכלוסין, שינויי האקלים וההתחממות הגלובלית הביאו ליצירת משברים סביבתיים שבהשפעתם ניתן להבחין ברחבי העולם כולו באופנים שונים. כבר שנים רבות שישאל יחד עם מדינות רבות בעולם נאלצת להתמודד עם מחסור פיזי במים כתוצאה משינויים אלה. ייתכן ובראייה קדימה ותכנון נכון, היה ניתן לפתור חלק מהבעיות שהתעוררו בעקבות המשבר. אך בישראל, משבר המים נגרם בעיקר בשל אי-מימוש החלטות ממשלה ובשל הצרכים הגדלים של האוכלוסייה ושל המשק.¹ על-פי המדיניות שאומצה בתחילת שנות ה-2000 הוחלט שיש לתת פתרון לכלל צורכי המים במדינת ישראל, בלי להעדיף סוג צריכה מסוים. אך שנים רבות קיימת אי בהירות בנוגע למדיניות אכיפת החוקים בנושא.²

בשנת 1999 לאחר שנים של התנהלות לקויה בנושא, הכריזה ממשלת ישראל על מצב חירום במשק המים ופרסמה תקנות לשעת חירום כדי להתמודד עם המשבר.³ בהחלטתה קבעה הממשלה כי שר התשתיות הלאומיות, שר האוצר ושר הפנים יפעלו כנדרש להיערכות מוקדמת של משק המים להתפלת מי ים.⁴

בין ההחלטות שהתקבלו, הושם דגש על נושא הטיפול בשפכים. נושא הטומן בחובו פוטנציאל אדיר לחסכון במים שפירים (מים נקיים ראויים לשתיה). ניתן למצוא את עיקרי הדברים בהחלטות ועדת ענבר, ועדה לתקני איכות קולחים. החלטות הועדה הטילו על המשרד להגנת הסביבה להוביל תקן מחודש למי קולחין. הרציונל שעמד מאחורי הנחיה זו, היה לאפשר שימושים נרחבים ככל האפשר במים מושבים כתחליף למים שפירים ובכך להקל על מצוקת משק המים מבחינה כמותית, איכותית וכלכלית, תוך התחשבות בבריאות הציבור ושמירה על הסביבה.⁵

הצעת מחקר זו תעסוק בנושא משבר המים במסגרת צבא הגנה לישראל, גוף המהווה חלק גדול מאד מהמדינה הן מבחינת פריסה גיאוגרפית והן מבחינה דמוגרפית. אנו חיים במציאות בה חלק מבסיסי צה"ל עדיין לא מחוברים למערכת ביוב, או בעלי תשתית ביוב שאינה עומדת בתקנים המחייבים, והשפכים הנוצרים בבסיסים אלה מוזרמים לטבע ללא כל טיפול מקדים ופגיעתם בסביבה ניכרת.

¹ מרכז המחקר והמידע, משבר משק המים בישראל- יישום והמלצות ועדת החקירה הפרלמנטארית למשק המים ולפיתוח בר קיימא, כתבה פלורה קוך דבידוביץ', 27 ליולי 2008.

² ראה לעיל הערה 1, בעמוד זה.

³ החלטת הממשלה מס' 4895 להתפלת מי ים (מרץ 1999)

⁴ ראה לעיל הערה 3 בעמוד זה

⁵ תקני איכות מי קולחין- ועדת ענבר (מאי 2004)

לאור משבר המים שהוצג, ולאור הליקויים החמורים שהתגלו בסביבתם של חלק מבסיסי צה"ל, החליטה ממשלת ישראל בימים אלו, ינואר 2012, על ביצוע פרויקט לחיבור כל מחנות צה"ל למערכת הביוב. על פי ההחלטה, מוטלת אחריות על משרד הביטחון לדאוג לחיבורם של מחנות צה"ל למתקני טיהור שפכים (מט"ש) אזוריים. ההחלטה לא דנה במקרים בהם מדובר בבסיסים מרוחקים ומנותקים, שאינם סמוכים למתקנים מסוג זה ולהם לא ניתן פתרון חלופי. בסיסי צה"ל בדרום הארץ וביהודה ושומרון הם דוגמא טובה לבסיסים כאלו. הצעת מחקר זו שמה דגש על נושא טיפול בשפכים בבסיסים המרוחקים באזור הדרום, שחיבורם למט"ש אזורי אינו מתאפשר עקב ריחוקם. אנו מציעים לבדוק פתרון הכולל מערכת אגנים ירוקים משולבת לטיהור השפכים. מדובר במערכת אקולוגית, ידידותית לסביבה, המאפשרת טיפול מקומי, עצמאי בשפכי הבסיסים ללא תלות במט"ש אזורי ובעלות נמוכה.

פרק 1- מבנה הצעת המחקר:

לאחר הצגת הצעת המחקר בפרק הראשון, הפרק השני יפתח את המסמך בתמונת מצב נוכחית, מקיפה עד כמה שאפשר, על הנעשה כיום בצה"ל בנושא טיפול בשפכים, ויעמוד על הליקויים והשלכתם על הסביבה. לאחר מכן נציג את עיקרי החלטת הממשלה בנושא, לאור הליקויים שהוזכרו ואת הגורמים המעורבים ביישומה.

בפרק השלישי, תוצג סקירה כללית על טיהור מים באמצעות מערכת אגנים ירוקים, שיטות הטיפול ומאפיינים. לאחר מכן נציג דוגמא לשימוש באגנים ירוקים בבסיסים בצבא ארה"ב באזורים גיאוגרפיים דומים, במטרה ללמוד האם ניתן ליישם זאת בארץ. בהמשך נפרט את מאפייני דרום מדינת ישראל מבחינה אקלימית וגיאוגרפית על מנת שנוכל לאפיין את המערכת המתאימה ביותר לתנאים אלו ולשפכים בבסיסים אלו. בסוף פרק זה נציג את מערכת האגנים המשולבת שלדעתנו תהיה המתאימה ביותר להתמודדות עם שפכי בסיסים מרוחקים ביחד עם אפשרויות לניצול המים המטוהרים. הפרק הרביעי חותם את הצעתנו עם מקרה חקר בבסיס רמון בדרום הארץ, בו נעשה שימוש במערכת אגנים ירוקים משולבת. מדובר בפרויקט חד פעמי, יחידי מסוגו בשיתוף עם גוף חיצוני שתרים את כספו וזמנו לבניית המערכת. אנו נרצה לבחון את הפרויקט ולהסיק מניסיון זה, האם ניתן לתת מענה דומה בבסיסים מרוחקים נוספים בנושא טיפול השפכים.

1.1 שאלת המחקר

האם ניתן לפתור את בעיית השפכים בבסיסי צה"ל מרוחקים בדרום הארץ באמצעות מערכת אגנים ירוקים משולבת, ובכך לתרום לחסכון במים ולמניעת מפגעי זיהום?

1.2 השערות המחקר

- חלק מבסיסי הדרום מרוחקים ולא מתוכננים להיות מחוברים למט"שים קיימים.
- מערכת אגנים ירוקים משולבת מסוגלת להתמודד עם שפכים בבסיסי צה"ל בדרום הארץ בהתחשב בתנאים הנמצאים באזור מדברי.
- מערכת אגנים ירוקים משולבת מסוגלת לטפל ביעילות בשפכים הסניטריים של הבסיס.
- את המים המטופלים ניתן לנצל למספר שימושים בתוך בסיסי צה"ל- השקיית גינות, הדחת אסלות, שימוש לשטיפת רכבים וכלי רכ"ם בסדנאות רכב ורק"ם והשקיית פארקים בתוך ומחוץ לכותלי הבסיס ובריכה נופית.

1.3 מטרות המחקר

להצעת מחקר זו מספר מטרות עיקריות ;

- לבחון את מידת ההתאמה של טיפול בשפכים על ידי מערכת משולבת של אגנים ירוקים והתאמתה לסביבה מדברית ולשפכים צה"ליים.
- בחינת ישימות שימושי המים המטוהרים בבסיסים עצמם בהתאם לרמת הטיהור, ותוך התחשבות במגבלות בריאותיות וסביבתיות.
- הצגה לגורמים האחראים על הטיפול בשפכים בצה"ל (משרד הביטחון, המשרד להגנת הסביבה, משרד התשתיות), של שיטת "אגנים ירוקים" כפתרון אפשרי לבעיה זו.

1.4 קשיים באיסוף מידע

מהלך המחקר היה מלווה בקשיים סובייקטיביים בשל העובדה שהנהלים בצה"ל אינם מאפשרים חשיפת מידע ;

- חוסר נגישות למידע והעדר דוחות או פרסומים הקשורים לפעילות צה"ל בנושא איכות הסביבה בכלל והטיפול בשפכים בפרט.
- חוסר שיתוף פעולה מצד גורמים המעורבים בהחלטת הממשלה מטעמי בטחון שדה. גם גורמים חיצוניים שפועלים בשיתוף פעולה עם הצבא, כגון המשרד להגנת הסביבה ורשות המים, חתומים על סודיות מול צה"ל ואינם יכולים לספק מידע בנושא השפכים או הטיפול בהם וכן תוכניות לעתיד.
- מקורות מידע מועטים בשל העובדה שצה"ל לא מאפשר חשיפה של פעולותיו בתוך הבסיסים.

פרק 2- טיפול בשפכים בצה"ל - רקע

2.1 הצגת הבעיה בטיפול בשפכים כיום

פרק זה מציג נקודות מרכזיות בהתנהלות צה"ל בנושא טיפול בשפכים. מדובר בנושא חשוב, העומד על הפרק בימים אלו, לאור הליקויים הרבים שנמצאו (ויפורטו בהמשך), אשר הובילו לקבלת החלטות מכריעות שעתידות לשנות את תמונת המצב הנוכחית בישראל. נושא השפכים בצה"ל הינו נושא בעל רגישות גבוהה מאחר ומדובר בגוף גדול בעל פוטנציאל זיהום נרחב בסביבה, עקב השטחים הרבים שעומדים לרשותו.

חלק מהפעולות הנדרשות ממשרדי הממשלה בנושא מים ושפכים תחת סמכותו של משרד התשתיות הלאומיות, הן דאגה לאספקת מים לצורכי הפיתוח של מדינת ישראל באמינות וכן בכמות ובאיכות מתאימות; טיפול במי שופכין ושימוש חוזר במי הקולחין בחקלאות, לצרכים עירוניים ותעשייתיים ולצורכי טבע, על-פי תקן שימנע נזקים סביבתיים; שימור מקורות המים הטבעיים הראשיים וטיהור מקורות המים מהזיהום הקיים; מניעת הצטברות מלחים במקורות המים ושיפור איכות המים המסופקת לכל מטרה; קידום החינוך לחיסכון במים והפיכת החיסכון במים לדרך חיים.⁶

על מנת לעמוד בדרישות המוצגות, תפקידה של הממשלה לדאוג לטיפול מיטבי בשפכים המיוצרים ברחבי מדינת ישראל. צה"ל בהיותו גוף גדול, בעל השפעה מהותית על הסביבה אמור להיכלל בתכניות הטיפול, אלא אם מצוין אחרת. עד היום, קיימים בסיסים רבים ברחבי הארץ שאינם מחוברים למערכת הביוב, והשפכים הנוצרים, מוזרמים לסביבה ללא כל טיפול מקדים. על פי אדם טבע ודין (להלן: אט"ד), 150 מחנות צה"ל הפועלים כיום, טרם חוברו לתשתיות ביוב מוסדרות, ושפכים ממחנות אלו אינם מטופלים כראוי או מוזרמים ישירות לשטחים פתוחים וגורמים לזיהום קשה של מקורות המים ונחלי ישראל.⁷

הבעייתיות הגלומה בהעדר מערכת לטיפול בשפכים בצה"ל כבר זכתה להתייחסות בדו"ח מבקר המדינה, במסגרתו נערכה בחינת נושא שמירת איכות הסביבה ע"י צה"ל, תוך התייחסות לנושא הליקויים בטיפול שפכי המחנות. בדו"ח המבקר נמצא כי בחלק ממחנות צה"ל קיימים פתרונות קצה ברמה מקומית, כאשר חלק ממתקני הטיפול ישנים, אינם עומדים בתקני האיכות הנדרשים ואין בהם פתרון לסילוק הקולחין.⁸ בנוסף, גם דו"ח ועדת החקירה הממלכתית בנושא ניהול משק המים בישראל, התייחס לאחריותו של משרד הביטחון לטפל בשפכיו ולכך ששפכים לא מטופלים אלו, מזהמים מקורות מים חשובים ביותר.⁹ הדברים אף נכתבו ביתר פירוט, בעמדת המשרד להגנת הסביבה בנושא משבר המים בישראל, לפיה מחנות צה"ל מהווים למעלה מ-50% מהמקורות להם טרם נמצא פתרון בנושא שפכים, בזו הלשון:

⁶ החלטת הממשלה מס' 246 תכנית אסטרטגית לפיתוח בר קיימא בישראל (מאי 2003).

⁷ אדם טבע ודין <http://il.org.adamteva.www/dbAttachedFiles/Uploads/pdf.biyuv>

⁸ משרד מבקר המדינה דוח שנתי 55 א לשנת 2004

⁹ דו"ח ועדת החקירה הממלכתית בנושא ניהול משק המים בישראל (מרץ 2010)

"אחד מגורמי הזיהום שטרם טופלו הינה מערכת הביטחון בכלל וצה"ל בפרט. השפעתה של פעילות צה"ל על איכות הסביבה בישראל רחבה ומשמעותית, משום פריסתה הגיאוגרפית הרחבה, אופייה והיקפה, והנגיעה שיש לה לחלקים גדולים מתושבי מדינת ישראל. כיום מזהמים מקורות המים של ישראל באופן חמור על ידי משרד הביטחון ומתקניו..."¹⁰

שפכים בכלל ושפכי צה"ל בפרט, מכילים כמויות גדולות של מזהמים אורגניים ופתוגניים (גורמי מחלות). כדי ששפכים לא יהוו סכנה לסביבה ולציבור, צריך להעבירם תהליך טיהור שפכים הכולל שלבים שונים בטרם נוכל לבצע בהם שימוש חוזר. שפכים תעשייתיים עלולים להכיל מזהמים שונים שטווח השפעותיהם רחב ביותר ומשום כך נדרשת הקפדה על איכות שפכי התעשייה ועמידתם בדרישות הסביבתיות.

בבואנו לבחון את הטיפול בשפכים בצה"ל ניתן לחלקם ל-2 קבוצות:

□ שפכים סניטריים, בדומה לשפכים הביתיים: ממשרדים ומגורי חיילים הכוללים שירותים ומקלחות, חדרי אוכל ומטבחים.

□ שפכים תעשייתיים – הכוללים שמנים ודלקים המשמשים בצה"ל בעת הפעלת מוסכים, סדנאות רכב וטייסות. הפעילות השוטפת במוסכים כוללת שימוש בסוגים שונים של חומרים, בכלל זה שמנים מינרלים והידראוליים, ממסים ועופרת ממצברים, שסילוקם באופן בלתי מבוקר עלול לגרום לנזקים קשים לסביבה. פוטנציאל הזיהום הרב ביותר מצוי בשמנים המשומשים. שמן משומש מכיל מתכות כבדות ורעילות וחומרים אורגניים שונים המסווגים כחומרים מסוכנים. שמנים ודלקים הנמצאים בשימוש, נשפכים או נזרקים למשטח העבודה ובהמשך קיים ניקוז שפכים אלו לאחר ניקוי המשטח. שפכים אלו מכילים: שמנים, נפט, דלקים וממסים שונים, מים, דטרגנטים, סודה, נתרן ולכלוך כללי. שפכים אלו נשטפים במהלך ניקוי משטחי העבודה או עם מי הגשמים לתעלות הניקוז ומשם למערכת הביוב, או לסביבה אם המשטחים לא מתוחזקים כהלכה. הזרמת חומרים אלו למערכת הביוב או מחוץ למוסד, על פני הקרקע, גורמת לזיהום קשה ולסכנה לסביבה.¹¹

על פי דו"ח מבקר המדינה, בתחנות הדלק של צה"ל לא מותקנים מפרידי דלק ועקב כך זורמים למערכות הביוב תשטיפים בלי שהופרדו מהם הדלקים והשמנים. בין השאר עלה כי רב תחנות הדלק נבנו שלא על פי תקנות המים (מניעת זיהום מים) (תחנות דלק) התשנ"ז – 1997, אלא ישירות על האדמה ולא על משטחי תדלוק העשויים חומר אטום שאינו סופג שמנים ודלקים.¹²

¹⁰ המשרד להגנת הסביבה

http://www.mimshak.gov.il/Articals/enDispWho?Object=enDispWhat&view=enDisplay&BlankPage=enPage?jsp.en/bin/il.gov.sviva://http_maim_mimshak=enZone5845&Articals=enDispWho

¹¹ זיהום קרקע בישראל- התופעה ודרכי הטיפול בה, יניב רוני, אוגוסט 2009, עמ' 4.

¹² משרד מבקר המדינה, דוח שנתי 61א לשנת 2010, עמ' 232.

הצעת המחקר מתמקדת בטיפול בשפכים מהסוג המצוין בקבוצה הראשונה, אם כי בלתי נמנע ששאריות של שפכים תעשייתיים מוצאות את דרכן לשפכים הביתיים.

2.2 ליקויים קיימים והשפעתם על הסביבה

זיהום מי תהום: אחד המקורות השכיחים לזיהום מי התהום הן דליפות של דלקים ממכלי אחסון וממתקני הובלה. צה"ל הינו אחד המשתמשים הגדולים במדינה בדלקים ובשמנים לצורכי תחבורה, חימום וסיכה, ובאחריותו מספר רב של מתקני דלק שהוא מתפעל ומתחזק, כגון: תחנות דלק, חוות של מכלי דלק ומערכות של צנרות דלק. בהוראת קצין הלוגיסטיקה הראשי ליחידות צה"ל בנושא מניעה וטיפול בזיהומי דלקים ושמנים בצה"ל, נכתב, כי ליטר אחד של דלק או שמן יכול לזהם מיליון ליטר מי תהום שאיתם יבוא במגע.¹³

ממסמך של הוועדה לשמירת איכות הסביבה במערכת הביטחון, שבחן את אזור בסיס חצור, עולים גורמים נוספים לזיהום מי תהום כגון: שפיכת עודפי דלק מטוסי סילון (דס"ל) ממטוסים שחזרו מטיסות לקרקע שליד הדירים התת קרקעיים (דתי"ק); הזרמת שפכי שטיפת המטוסים לקרקע; דליפות מצנרת הדלק; גלישות ממכלי הדלק; והזרמת עודפי דלק לבורות סופגים.¹⁴

בתגובה לממצאים אלו, הגישה עמותת אדם טבע ודין (אט"ד) עתירה לבג"צ ביולי 2008, בדרישה לחייב את הגורם המזהם, משרד הביטחון, ואת רשויות האכיפה המופקדות על שמירת מקורות המים – רשות המים והמשרד להגנת הסביבה – לפעול לשיקום אקוויפר חצור המזוהם.¹⁵ בעקבות העתירה, קבע בג"צ במרץ 2010, כי על משרד הביטחון להגיש תקציב ועקרונות פעולה לטיפול בזיהום שגרם בסיס חיל האוויר בחצור למי השתייה. מדובר בזיהום שהתגלה כבר בשנות ה-80 ולא טופל מעולם על ידי הגורם המזהם (צה"ל), משרד הביטחון או על ידי הרשויות המופקדות על מניעת זיהום הקרקע ומקורות המים של מדינת ישראל.

זיהום קרקעות: מעקב בנושא זיהום קרקעות משמנים ודלקים במחנות צה"ל שנערך בפיקוד הצפון באזור אגן היקוות הכנרת, מטעם מנהלת הכינרת, מצביע על עשרות מקרים שבהם זוהמו קרקעות במחנות צה"ל בשמנים ובדלקים. נמצאו קרקעות ספוגות בדלקים ושמנים, מכלים ללא מאצרה, משטחי טיפול ללא הסדרה של ניקוז ואיסוף שמנים, וגלישת דלקים ושמנים ממכלים כתוצאה ממילוי עודף.¹⁶ מבדיקת הדוחות של מנהלת הכינרת ממאי 2002 ומנובמבר 2003, עלה כי חזרו ועלו רוב הזיהומים שצוינו בדו"ח מינואר 2001. יוצא אפוא, כי פיקוד הצפון לא נקט את הפעולות הדרושות להפסקת הזיהומים ולטיפול בליקויים. משרד מבקר המדינה העיר

¹³ משרד מבקר המדינה דוח שנתי 55א לשנת 2004, עמ 97.

¹⁴ הוועדה לשמירת איכות הסביבה במערכת הביטחון מפברואר 2001

¹⁵ אדם טבע ודין <http://il.org.adamteva.www/?http=ArticleID=878&CategoryID/>

¹⁶ משרד מבקר המדינה דוח שנתי 55א לשנת 2004, עמ 98.

לצה"ל בכלל ולפיקוד הצפון בפרט, כי עליהם לנקוט את הפעולות הנדרשות כדי למנוע המשך זיהום הקרקע באגן ההיקוות של הכינרת. לחלק ניכר מהליקויים שהועלו בעבר טרם ניתן מענה. גם באזורים אחרים בארץ נמצא כי חלק מהסיבות לזיהומי הקרקע נובע מהפערים באמצעים, כדלהלן: אחסון חביות שמנים ללא מאצרה; מכלים תת-קרקעיים לאחסון של דס"ל ללא דופן כפול; היעדר מתקני הפרדה; מתקני הפרדה לא מתוחזקים.¹⁷

טיפול בשפכים: חלק ניכר ממערך הטיפול והסילוק של השפכים בצה"ל, מושתת על בורות ספיגה, ופעילותו של צה"ל מאז כניסתו לתוקף של תקנות למניעת זיהום מים להתנתקות מבורות אלה, הייתה מצומצמת.¹⁸ טיפול בשפכים באמצעות בורות ספיגה טומן בחובו פגיעה ממשית בקרקעות ומי התהום מאחר שהם משמשים לקליטת שפכים לשם סילוקם בדרך של לחחול לקרקע. צה"ל אינו עומד בדרישת התקנות בדבר התנתקות מבורות ספיגה קיימים ואף לא גיבש תכנית רב שנתית הכוללת התנתקות מבורות הספיגה הקיימים.

דרך טיפול נוספת היא באמצעות בריכות אידוי. על פי נתוני מרכז בינוי, יש בצה"ל 103 בריכות אידוי על פי החלוקה הבאה: 39 בפיקוד הצפון, 16 בפיקוד המרכז ו-48 בפיקוד הדרום.¹⁹ באוגוסט 2003 פרסמה מפקדת קצין הרפואה הראשית (מקרפ"ר) תוצאות סקר שערכה בנושא אחזקת בריכות אידוי של צה"ל ובו נכתב, כי מספר בריכות אידוי אינן מתוחזקות או שרמת האחזקה שלהן ירודה עקב אחזקה על ידי גורמי הבינוי בפיקוד המרכז ובפיקוד הדרום שאינה מספקת. גורמי הבינוי של צה"ל טוענים כי איכות הבריכות ירודה בגלל שבשנים האחרונות חסרים תקציבים לשיקומן, ובשל תכנון ישן של הבריכות שאינו תואם את דרישות המשרד לאיכות הסביבה כיום.²⁰

ליקויים נוספים שנתגלו בבריכות, כוללים בריכות שגודלן קטן ביחס לכמות השפכים; נזילות שפכים בצנרת הביוב המוליכה לבריכה; גלישת שפכים מבריכות; סימנים לשאיבת שמנים מהבריכה ושפיכתם בסמוך לבריכת החמצון; צמחייה בבריכות ובדפנותיהם; צנרת גלישה רקובה; היסחפות של הסוללה החיצונית של הבריכה; סתימה בצינור מאסף הגורמת לזרימת השפכים לשטח; בריכות שיקוע לא מתפקדות ועולות על גדותיהן; אי-הגעת שפכים לבריכות; אי-מעבר שפכים מבריכת השיקוע לבריכות; אי-הגעת שפכים לבריכה עקב פיצוץ של צינור ביוב תת-קרקעי במחנה; וצינורות מעבר והובלת שפכים שבורים.²¹

¹⁷ משרד מבקר המדינה דוח שנתי 55א לשנת 2004, עמ' 99.

¹⁸ תקנות המים (מניעת זיהום מים) (בורות ספיגה ובורות רקב), התשנ"ב-1992.

¹⁹ משרד מבקר המדינה דוח שנתי 55א לשנת 2004, עמ' 103.

²⁰ משרד מבקר המדינה דוח שנתי 55א לשנת 2004, עמ' 113.

²¹ ראה לעיל הערה 18.

2.3 החלטת הממשלה בדבר חיבור צה"ל לביוב:

לאור ממצאים אלו יחד עם התערבות בלתי פוסקת מצד ארגונים סביבתיים רבים, הביא המינהל לתשתיות ביוב (להלן: מילת"ב),²² לגיבוש החלטת ממשלה בנוגע לחיבור מחנות צה"ל לפתרונות ביוב, בהיקף של 400 מיליון ש"ח תוך כ- 5 שנים.²³

עיקר ההחלטה (נספח 1):

- משרד הביטחון יחבר את מחנות צה"ל המפורטים בתוכנית למערכות ביוב קיימות, ובמקרים בהם החיבור למערכות ביוב קיימות אינו אפשרי, יקים פתרונות ביוב למחנות, תוך שימוש בטכנולוגיות יעילות וסטנדרטים מקובלים, ובתיאום עם המינהל לפיתוח תשתיות ביוב ברשות הממשלתית למים ולביוב.
- התוכנית תבוצע על פני חמש שנים וחצי, בהתאם לסדרי העדיפויות שיקבעו.
- משרד הביטחון יתקצב באופן מיידי סך של 400 מיליון ש"ח בהרשאה להתחייב בתקציב הביטחון לשנת 2010.
- כל בסיס חדש יחובר למערכת טיהור שפכים על פי הוראות כל דין, לרבות דין עתידי, ללא בקשת הגדלת תקציב משרד הביטחון.
- רשימת מחנות צה"ל המפורטים בתכנית שמורה במזכירות הממשלה.

מאז קבלת ההחלטה מתכנס צוות עבודה בראשות המילת"ב בשיתוף המשרד להגנת הסביבה, משרד הבריאות, משרד הביטחון וצה"ל לשיבות תקופתיות, לצורך גיבוש פתרונות ביוב מיטביים למחנות צה"ל בהתייחס למשק המים והביוב הלאומי ולשם הסדרת נוהלי העבודה בין הגופים השונים. סקר ארצי נמצא בשלבי הכנה סופיים לבדיקה מקיפה של כל אחד מבסיסי צה"ל ברחבי הארץ לבדיקת תשתיות הפנים וחלופות לטיהור השפכים בחיבור לפתרונות קצה נורמטיביים. עם השלמת הסקר יעודכנו סדרי העדיפויות לביצוע התכנית.

רוב בסיסי צה"ל כנראה יחוברו למערכות ביוב קיימות על פי התוכנית הנ"ל, כלומר למט"שים אזורים. אך ישנם בסיסים של צה"ל שחיבורם למתקני טיהור שפכים קיימים אינו אפשרי. חיבור הבסיסים תלוי בין היתר במיקומם הגיאוגרפי ובקרבתם למתקן לטיהור שפכים (מט"ש) אזורי. החיבור למתקן כזה מצריך תשתית מסועפת של מערכת צינורות תת קרקעיים, ממקור השפכים למט"ש. מדובר בתשתית שעלותה עומדת על סדרי גודל של מיליוני שקלים. בסיסים מרוחקים מאד ממתקן טיהור כגון בסיסים רבים בנגב ובאזור יהודה ושומרון מקשים על אופן חיבורם וייתכן שלא יכללו בתכנית כתוצאה מכך (נספח 2).²⁴

²² זרוע הביצוע הממשלתית לקידום וסיוע בביצוע תשתיות ביוב

²³ ראה נספח 1 – החלטת ממשלה מספר 1770 (יוני 2010)

²⁴ ראה נספח 2 – מפת מט"שים בישראל

2.4 הגורמים המעורבים בהליך הטיפול בשפכים

הליך הטיפול בשפכים נוגע למספר רב של בעלי עניין, כאשר לחלקם מטרות ועמדות מנוגדות. בסעיף זה נזהה את בעלי העניין ונמפה את האינטרסים שלהם על מנת לגבש את השילוב המיטבי לשיתוף פעולה בעבור בסיסי צה"ל המרוחקים ממתקני טיהור לשפכים.

על פי הסעיף הראשון בהחלטת הממשלה שהוזכרה בפרק זה, ותקנות הביוב המחייבות טיפול בשפכים, נראה כי הרגולציה בכללותה, מכוונת להתקשרות עם תאגידי הביוב האזוריים, שכן אלה מותאמים לסיטואציה הנוכחית ולדרישות הרפואיות/תברואתיות של משרד הבריאות, למערכת המיסוי המוניציפאלית וכן לכלכלה הישראלית.

תקנות הביוב מגדירות את גבולות סמכויות הרשות המקומית בנושאי ביוב ושפכים כך שבאחריות הרשות המקומית נמצא כל מקור המייצר שפכים, למעט נכסים המוחזקים על ידי צבא הגנה לישראל או משמשים למטרה ביטחונית אחרת.²⁵

אנו מאמינים שעבור נכסים ביטחוניים אלה הנמצאים באזור מרוחק ומחייבים טיפול, ניתן יהיה לטפל בשפכים בטיפול עצמאי, באמצעות מערכת אגנים ירוקים משולבת. המגמה בצה"ל היא לחבר כל מקום שאפשר למט"ש אזורי ולא להסתמך על טיפול עצמי אך על פי מחקר שנעשה עבור המשרד להגנת הסביבה הבוחן את הישימות של מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, מחנות צה"ל מבודדים יכולים להיות מקום פוטנציאלי ליישום מערכת אגן ירוק. ישנם מספר בסיסים כאלה בעלי כמות שפכים של פחות מ-100 קוב ליום, בהם פתרון הביוב שנמצא שם כיום אינו מספק.²⁶

נראה שהדרך ליישום עבור אותם בסיסים מרוחקים אינה פשוטה כלל ומלווה במספר קשיים ומכשולים. הקושי הראשון טמון בהגדרה של מתקן לטיהור שפכים. הטיפול באמצעות אגן ירוק מעוגן בחוק תחת אותם חוקים של החיבור למתקני טיהור שפכים ואין הבחנה בין מתקן רגיל לבין אגן ירוק, למרות שמדובר במאפיינים שונים לגמרי. על פי תקנות בריאות העם: "מיתקן טיהור שפכים" או "מט"ש" – מיתקן לטיפול בשפכים, הוא כל מאגר שהחליטו עליו הממונים בהסכמת מנהל רשות המים, אמצעי, או תהליך טיפול נוסף, אשר מיועד להפחתת ריכוז המזהמים שבשפכים.²⁷

מאחר ואגן ירוק מוגדר כמט"ש לכל דבר ועניין, עולה הקושי הבא הנוגע למעורבות הגורמים האחראים לביצוע ולבקרת המתקן. להל"ן הגורמים המעורבים:

רשות המים – הגוף העומד בראש ניהול ותפעול משק המים בישראל.
המינהל לפיתוח תשתיות ביוב (מילת"ב) – הזרוע המיישמת את החלטות הממשלה.

²⁵ חוק הרשויות המקומיות, התשכ"ב 1962.

²⁶ ישימות של מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, נובאר 2010, עמ' 68.

²⁷ תקנות בריאות העם (תקני איכות קולחים), התש"ט 2009.

משרד הפנים – אחראי על תכנון ועל הרשויות המקומיות.

משרד הבריאות – אחראי על איכות המים ומניעת תחלואה בקרב הציבור.

משרד הגנת הסביבה – אחראי לשמור על הסביבה מפגיעה הנגרמת כתוצאה מטיפול לקוי בשפכים.

הרשויות המקומיות – עירייה, מועצה מקומית או איגוד ערים שמתפקידן התקנת הביוב ואחזקתו.

משרד הביטחון – אחראי על צה"ל וביצוע ההחלטה.

תאגיד הביוב - גופים מקצועיים עצמאיים שתפקידם לנהל את משק המים באזורם.

הטבלה הבאה ממפה את הגורמים המעורבים העיקריים ביישום ההחלטה לשימוש באגנים ירוקים בצה"ל ואת השפעתם על יישום התהליך.

רשויות מקומיות	משרד הבריאות	משרד להגנ"ס	המינהל לפיתוח תשתיות ביוב
מתפקידה לדרוש היטלי ביוב בעבור יצרני שפכים הנמצאים בגבולותיה.	1. תפקידו לוודא שאיכות המים לאחר הטיפול תהיה ברמה נאותה והשימוש בהם לא יגרום לתחלואה בקרב הציבור. 2. הדרישות ממחוז למחוז משתנות. ²⁸	יום את התכנית לחיבור מחנות צה"ל לתשתית ביוב. אין בידינו את תגובת המשרד בנוגע לשימוש באגנים ירוקים בבסיסי צה"ל.	בכדי לעמוד בדרישות ועדת ענבר יעדיפו להשתמש באגנים ירוקים כאמצעי ליטוש במט"שים קיימים, ²⁹ ולא כמתקן העומד בפני עצמו.
ההיטל מהווה אילוץ כלכלי כזה שעלול ליצור תמריץ שלילי כנגד הפנייה לפיתרון עצמאי מקומי בטיפול השפכים בתוך כותלי הבסיס.	1. עלול להקשות על מציאת שימושים למים שיטוהרו בבסיסים. 2. הכבדה על אישורי התכניות (לא כל הבסיסים שייכים לאותו אזור).	החיבור יחסוך למשק משאבים ומאמצים רבים הנדרשים בכדי לשקם את הנוק הסביבתי שנגרם.	מבחינת המילת"ב, עד שלא תוכח יעילותם של אגנים ירוקים בארץ, תהיה התנגדות לשימוש בהם לטיהור שפכים ראשוניים. ³⁰

²⁸ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל", גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 49.

²⁹ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל", גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 65.

³⁰ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל", גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 67.

בנוסף למעורבותו ולהשפעתו הייחודית של כל אחד מן הגורמים המוזכרים, לכולם יחד, קיימת נטייה למרכז ככל האפשר את הטיפול בביוב בארץ, בעיקר עקב חוסר במערכי פיקוח ואכיפה של המשרד להגני"ס ומשרד הבריאות. בנוסף, יש לציין שחדירה של טכנולוגיה חדשה כגון מערכת אגנים ירוקים, דורשת מידה של חדשנות ונטילת סיכונים מה שעלול להוות גורם מעקב כתוצאה מבירוקרטיה, תהליכי קבלת החלטות איטיים ודפוסי חשיבה ישנים בחלק ממשרדי הממשלה והרשויות. כיום לא קיימת חקיקה, תקנות, נהלים או הנחיות כלשהם לבנייה ותפעול של אגנים ירוקים.³¹

לסיכום, הנזקים הנגרמים לסביבה ולמקורות המים עקב טיפול לא נאות בשפכים של צה"ל, הובילו את הממשלה לקבל החלטה בדבר חיבור בסיסי צה"ל לתשתיות ביוב קיימות. בבסיסים בהם לא יתאפשר חיבור כזה יש להציע פתרונות חלופיים לטיפול בשפכים. הפתרון שאנו מציעים הינו טיפול באמצעות מערכת אגנים ירוקים משולבת. הטיפול באמצעות אגנים ירוקים נחשב לחדשני וטרם הוכח דיו כאמין ובטוח בארץ ישראל. בנוסף, עצם היותו מתקן לטיפול בשפכים, למרות מאפייניו השונים ממט"שים רגילים קיימים, מהווה קושי לאשר את השימוש בו בבסיסי צה"ל מרוחקים. בנייתה של המערכת המוצעת, מערבת גורמים רבים שלכל אחד מהם דרישות שונות המקשות על אישור התכנית. אך לאור חובת הטיפול בשפכים, דרישה חוזרת בקרב המשרד להגני"ס וארגוני הסביבה, אנו מאמינים שבאזורים מרוחקים הדורשים הולכת ביוב למרחקים גדולים, עדיפה החלופה של טיפול מקומי עצמאי. הפרק הבא מפרט בהרחבה את המערכת לטיפול בשפכים שאנו מציעים, את יתרונותיה וחסרונותיה בהתאם למאפייני האזור בהם היא מיועדת להתקיים בליווי דוגמאות מהנעשה בצבא ארה"ב באותו תחום.

³¹ ראה לעיל הערה מס 26 בעמוד 10.

פרק 3 – שיטת אגנים ירוקים כפתרון לטיפול בשפכים בצה"ל

כפי שנאמר בפרקים הקודמים, קיים קושי לחבר בסיסים מרוחקים למט"שים קיימים, המרוחקים מהם עשרות קילומטרים ולפעמים אף יותר. בעיה זו חריפה במיוחד בבסיסי צה"ל בנגב, שהוא שטח נרחב, המאוכלס בדלילות ומאופיין באקלים מדברי יבש. גורמים אלה משחקים תפקיד חשוב בהשלכות הסביבתיות שיפורטו בהמשך.

הדרך שבה אנו מציעים לבחון את ההתמודדות עם בעיית השפכים, היא באמצעות מערכת אגנים ירוקים משולבת, כפי שיפורט בהמשך הפרק. כדי להבין מהי מערכת משולבת, ראוי שנבין תחילה מהם אגנים ירוקים.

3.1 הצגת טכנולוגיות טיהור מסוג אגנים ירוקים

המושג אגנים ירוקים מוגדר כטכנולוגיה אקולוגית "ירוקה" לטיפול במים, המתבססת על תהליכים טבעיים המתרחשים בבתי גידול לחים. זוהי שיטה מודולרית וניתן להתאימה למטרות ולאילויות שונות של טיפול במים. אגנים ירוקים מסוגלים להרחיק מזהמים הכוללים מוצקים מרחפים, חומר אורגני, פתוגנים, נוטריינטים, וביעילות נמוכה יותר- מתכות כבדות ומיקרו-מזהמים.³²

מנגנוני ההרחקה באגנים ירוקים כוללים מנגנונים פיזיקאליים כימיים וביולוגיים:

מנגנון פיזיקאלי- שיקוע של מוצקים מרחפים ע"י כוח המשיכה.

מנגנון כימי- שיקוע כימי, התמרה, החלפת יונים וספיחה.

מנגנון ביולוגי- פירוק אורגני של חומר מתכלה הנעשה ע"י מיקרואורגניזמים, צמחיית המים (במידה וקיימת), פלנקטון, אצות, פטריות וחסרי חוליות.³³

בשנים האחרונות חלו התפתחויות טכנולוגיות רבות בתחום וכיום קיימות צורות תפעול רבות של אגנים ירוקים בהתאם לאיכות השפכים ולאיכות הנדרשת של הקולחין היוצאים מהמערכת.³⁴ השוני יכול להתבטא בסוג המצע ותצורת הנקבוביות, סחרור המים, אורור מאולץ, משטר זרימה מלאכותי, סוג הצמחייה, או היעדר צמחייה.³⁵ מחקרים מהשנים האחרונות מראים שאגנים ירוקים מסוגלים להתמודד גם עם שפכים תעשייתיים כגון טיפול בשפכים בתעשיית המזון, תעשיית הנייר, ובתי זיקוק לנפט. במגזרים תעשייתיים אלה אגנים ירוקים משמשים להשלמת הטיפול בשפכים, לאחר שמתבצע בהם טיפול ראשוני.³⁶

³² ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 16

³³ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 17.

³⁴ Kadlec & Wallace Treatment wetlands second edition, 2009.

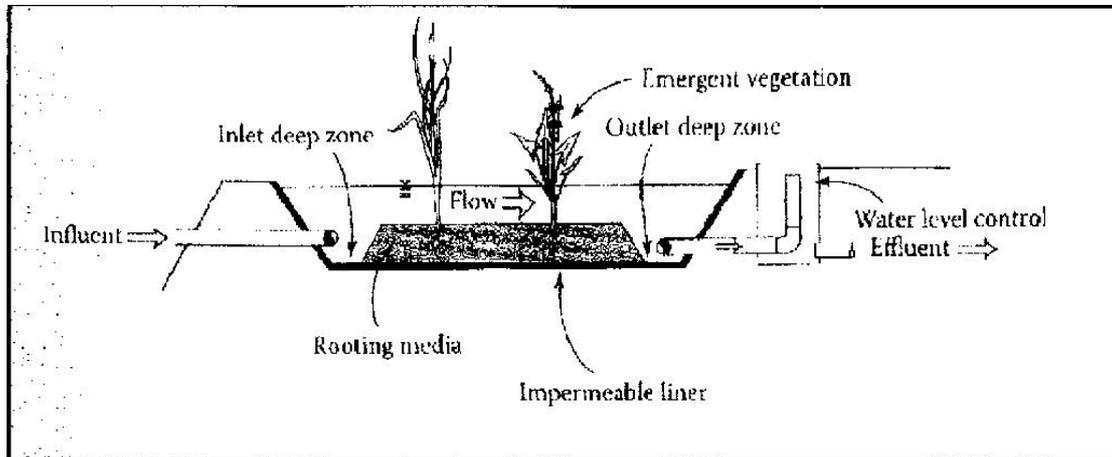
³⁵ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 18.

³⁶ ראה לעיל הערה מס' 32

ישנם שלושה סוגים עיקריים של אגנים ירוקים המחולקים על פי שיטת זרימת המים בהם :

3.1.1 זרימה עילית (FWS - FREE WATER SURFACE)

בריכות רדודות שעומקן עד מטר והן בעלות מצע לתמיכה בשורשי הצמחים בקרקעית. זרימת המים בהם הינה עילית (איור מספר 1). אגנים אלו דומים לביצות טבעיות ולרוב דורשים שטחי הצפה נרחבים יחסית. שכבת המים העליונה אירובית, בעוד שהמים העמוקים יותר בעלי אחוז חמצן נמוך יותר. הצמחייה מאטה את זרימת המים ותורמת בכך לשקיעת חלקיקים מהמים ולפירוקם, כך שהרחקת TSS (מוצקים מרחפים) באגנים אלו נחשבת יעילה. הרחקת זרחן וחנקן מאידך היא פחות יעילה. לשם הרחקה יעילה יותר של אמוניה באמצעות נידוף מומלץ לשלב באגן אזורים נקיים מצמחים, בהם המים חשופים לאוויר ללא הגבלה.³⁷



איור 1- סכמת אגן ירוק בזרימה עילית FWS-³⁸

המים זורמים על פני השטח, חשופים לאוויר, כשצמחייה טבולה במים ושורשיה מעוגנים בתוך המצע. זמן שהיית השפכים באגן ארוך יחסית, ומתרחשים בו תהליכים אירוביים- בעמודת המים העליונה ובשורשי הצמחים, ותהליכים אנאירוביים- בעמודת המים התחתונה.

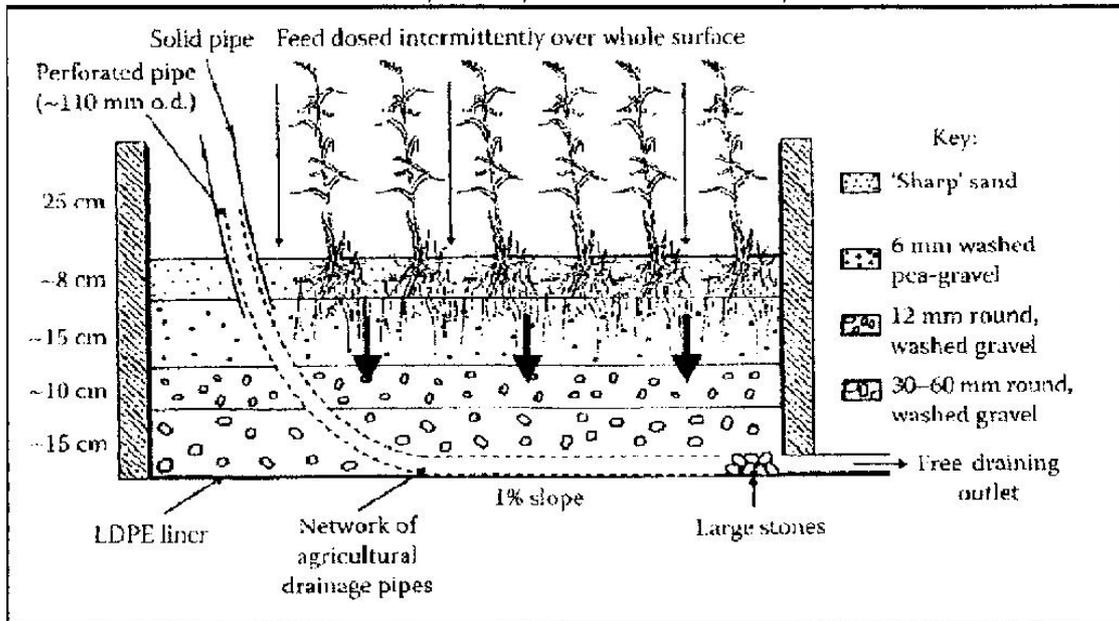
3.1.2 זרימה תת קרקעית אופקית (HSSF-HORISONTAL SUB-SURFACE FLOW):

בשיטה זו זרימת המים נעשית מתחת לפני השטח, דרך מצע גרגרי (השתול בצמחי מים) ושורשי הצמחים בצורה אופקית (איור מספר 2). סמוך לשורשים קיימים תנאים אירוביים אך בשאר האזורים קיימים תנאים בעלי ריכוז חמצן נמוך או חסרי חמצן. לפיכך התהליכים השולטים במערכת זו הם בעיקר תהליכי חיזור ופירוק ביולוגי. תצורה זו של אגן ירוק מאפשרת

³⁷ ראה לעיל הערה מס' 32

³⁸ Kadlec & Wallace Treatment wetlands second edition.

הרחקה יעילה של TSS (מוצקים מרחפים), אולם הצטברות יתר של TSS במערכות אלו עלולה להפחית את המוליכות ההידראולית עד כדי סתימתו והצפתו של האגן. שיעור הרחיקת החנקן תלוי ביעילות תהליך הדה-ניטריפיקציה (המתקיים בתנאי מחסור בחמצן), שהנו יעיל בזרימה אופקית.³⁹ בשיטה זו הרחיקת BOD (Biochemical Oxygen Demand) היא יעילה למדי. כמו בשאר הסוגים של אגנים ירוקים גם בשיטה זו הרחיקת הזרחן היא מוגבלת.⁴⁰



איור 2- סכמת אגן ירוק בשיטת HSSF⁴¹

המים זורמים באופן אנכי דרך המצע, כשעל פני השטח אין מים עומדים. באיור מופיעה צמחייה המאפשרת ליצור יותר חללים במצע ומגיבה עם הקולחים בצורות שונות, אך שיטה זו עובדת גם ללא צמחייה. השיטה מצטיינת בתהליכים אירוביים שכן המצע מאוורר היטב, ומשך שהות השפכים קצר יחסית.

3.1.3 זרימה תת קרקעית אנכית (VSSF- VERTICAL SUBSURFACE FLOW)

בשיטה זו המים בדרך כלל מוזרמים על המצע בפעימות מחזוריות ומחלחלים דרך המצע הגרגרי ויוצאים בתחתית המערכת (איור מספר 3). אגנים מסוג זה מאווררים ומתקיימים בהם תהליכי חימצון ופעילות מיקרוביאלית אירובית המפרקת חומר אורגני תוך תהליך של חנקון (nitrification).⁴² מערכת מסוג זה מצוינת בתהליך הניטריפיקציה, אך לוקה בדה-ניטריפיקציה

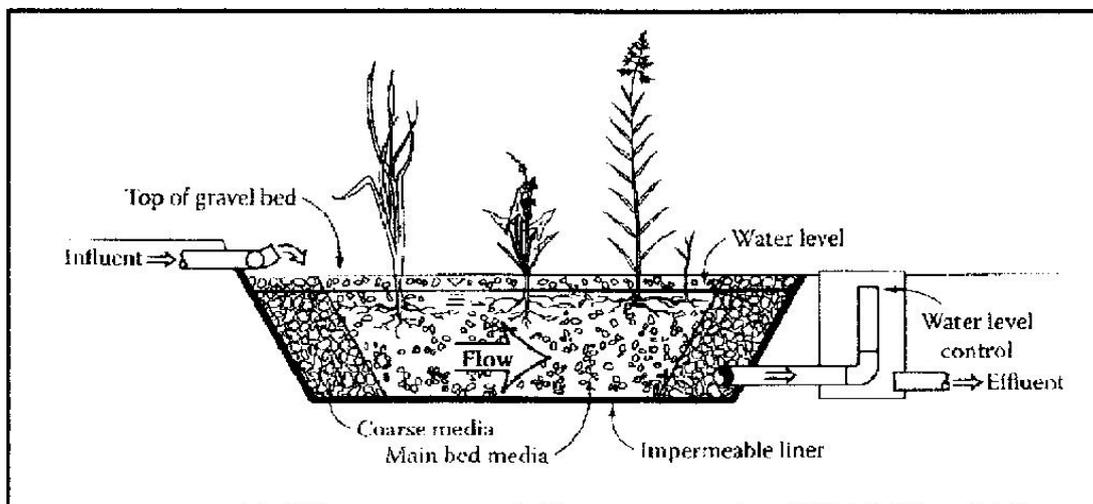
Vymazal J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*

⁴⁰ ראה לעיל הערב מס' 36 בעמוד הקודם

⁴¹ ראה לעיל הערה מס' 36 בעמוד הקודם

⁴² ראה לעיל הערה מס' 36 בעמוד הקודם

ולכן תיתכן בה עליה בריכוז החנקות.⁴³ מערכות VSSF הן יעילות בהרחקת TSS (מוצקים מרחפים), (BOD (Biochemical Oxygen Demand) ואמוניה, אך יעילות הרחקת TSS בשיטת HSSF היא בדרך כלל יעילה עוד יותר.⁴⁴



איור 3- סכמת אגן ירוק בשיטת VSSF.⁴⁵

המים זורמים בצורה אופקית דרך המצע שהוא בעל שיפוע מתון. באיור מופיעה צמחייה המאפשרת ליצור יותר חללים במצע ומגיבה עם הקולחים בצורות שונות, אך שיטה זו עובדת גם ללא צמחייה. השיטה מצטיינת בתהליכים אנאירוביים שכן המצע לא מאוורר היטב.

3.2 שימוש באגנים ירוקים בצבא ארה"ב

בפרק זה אנו מבקשים לסקור את הנעשה בצבא ארצות הברית כמקרה בוחן למחקרינו בכל האמור בפתרונות של אגנים ירוקים לשפכים של בסיסים מרוחקים. בחינה ראשונית של הגישה בה צבא ארה"ב נוקט לבעיה של שפכים שמייצרים בסיסי הצבא, והפתרונות המוצעים לבעיה זו, העלתה כי צבא ארה"ב בכלל וחיל ההנדסה בפרט מייחסים חשיבות עליונה, עד כדי עמידה בקנה אחד עם נושאים של בטחון לאומי, לבעיות וזיהומים אקולוגיים בשטח ארה"ב. יחידות חיל ההנדסה האמריקאי האמונות על שמירת הסביבה מפיקות צבר רב של דו"חות ותסקירי השפעה על הסביבה ובעקבותן מנפיקות ומיישמות פתרונות לבעיה. הנושא של אגנים ירוקים כפתרון לאותם זיהומים אקולוגיים קיימים, או שפכים שהם תוצר של פעילות צבאית בתצורתם האינטגרלית או כפתרון יחידי לסוגי שפכים שונים בבסיסים מרוחקים הינו פתרון שכיח בצבא ארה"ב. פתרון זה עומד על הפרק במספר לא מבוטל של הצעות ודוחות המוגשים

Vymazal J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*

Kadlec & Wallace Treatment wetlands second edition.⁴⁴

⁴⁵ ראה לעיל הערה מס' 42 בעמוד זה

EPA.⁴⁶ כמו כן הדרך בה מוטמע ומיושם הטיפול בנושאים של זיהום סביבתי אקולוגי שמקורו בבסיסי הצבא בכלל, והפתרונות לשפכים הצבאיים שאחד מהם הוא אגנים ירוקים בפרט היא רוטינית עד היותה חלק בלתי נפרד ואינהרנטי מהפעילות הלוגיסטית/תכנונית של חיל ההנדסה בצבא זה.

בתוך הצבא האמריקאי ישנן יחידות סמך להערכה ומתן פתרונות לבעיות סביבתיות ברמות המחקר והביצוע, אשר הינן חלק מחיל ההנדסה האמריקאי. אותן יחידות אמונות על הפקת תסקירי השפעה על הסביבה, מתן פתרונות ביצועיים לבעיות אקולוגיות, וכן על שיתוף הציבור בדבר מפגעים סביבתיים ודרכי פתרונם האופציונאליות. הסיבה לבחירתנו בצבא ארה"ב לשם בדיקת הפתרונות היישומיים לשפכים של בסיסים היא בשל אותו ריבוי חומרים המפורסמים במידעוני (Engineering corps bulletin) חיל ההנדסה האמריקאי בנושא של שפכים וזיהום הנובע מבסיסי הצבא, והפתרונות האקולוגיים המותאמים להם.⁴⁷ סיבה נוספת לבחירה בצבא ארה"ב כמקרה בוחן היא השונות האקלימית, הטופוגרפית ושל תכנית הקרקע וזאת בשל גודלה העצום של המדינה, וכפועל יוצא מכך מגוון רחב של בסיסים באזורי ספר אשר ניתן לבדוד אותם כבעלי תנאים פיזיים דומים יחסית לישראל (אזור מדבריות אריזונה ו Mohava Desert בקליפורניה לנגב הישראלי וכו') ובכך ליצור השוואה בקירוב עם שטחים דומים בנגב הישראלי, בסוגי פתרונות אפשריים לאותם שפכים וזיהומים הנגרמים על-ידי פעילות צבאית, פתרונות המותאמים לסביבה הטופוגרפית והאקלימית הנתונה.

צבא ארה"ב נבדל בצורה ניכרת מאוד לעין מצבאות רבים בכל האמור למאמץ המחשבתי, התכנוני והיישומי. קרי טיפול פיזי בנושאים של מפגעי סביבה המיוצרים בבסיסי הצבא הן הפעילים, והן בסיסים שננטשו אך נותרו בהם משקעים של חומרים מסוכנים. היות נושא הטיפול במפגעי הסביבה תחום פעילות רוטיני ואינהרנטי של חיל ההנדסה האמריקאי בפעולותיו לצמצום מפגעים סביבתיים, פעולות אותן מיישמות מחלקות מובנות ומקצועיות האמונות על נושא השמירה על הסביבה אינו דבר הנפוץ בצבאות מערביים ואינו טריוויאלי גם לא בצבאות אירופאים.⁴⁸

בהנחיות חודשיות של צבא ארה"ב המתפרסמות בשקיפות רבה לציבור הרחב

במידעונים (Engineering corps bulletin) של חיל ההנדסה האמריקאי ישנן הוראות והנחיות מפורשות בדבר היותי הצבא מחויב במסגרת החוקה והחוק הפדראלי להגן על מקורות המים, בהם נכללים אגנים ירוקים טבעיים, נחלים, מי נגר עילי ומי תהום כחלק מחובתו הלאומית לשמירת ביטחונם ואיכות חייהם של אזרחי המדינה.⁴⁹

לאור זאת אנו מבקשים לבחון את האפשרות ליישם הקמה של מערכת אגנים ירוקים בדומה לצבא ארה"ב בתנאים שהם דומים אקלימית וטופוגרפית בצה"ל פתרונות של אגנים ירוקים לשפכי בסיסים מרוחקים של הצבא שלא חוברו למט"שים, וברמת המדיניות כיצד תפיסה

⁴⁶ US Environmental Protection Agency of the ministry of agriculture

⁴⁷ Cumulative Impact Assessment Synopsis- המינוח המקביל לתסקיר השפעה על הסביבה

⁴⁸ Public works technical bulletin, USA engineering corps JUNE 2003

⁴⁹ Environmental Protection and enhancement army regulation feb. 1997 sec. 2-6

זו של הגנה על מקורות המים כחלק ממחויבות הצבא הנגזרת מהחוקה האמריקאית לשמירת ביטחונם ואיכות חייהם של התושבים באה לידי ביטוי? אילו פתרונות מוצעים? ובהתמקדות על הצעת המחקר הנוכחית, האם אגנים ירוקים בסביבת בסיסים מרוחקים הם פתרון מוצע ובר יישום ועד כמה הוא נפוץ ככלי לטיפול בסוגי השפכים שמייצרים אותם בסיסים.

את מעורבות הצבא האמריקאי בנושא של איתור בעיות ומפגעים סביבתיים קיימים או כאלה אותם הוא מייצר, הערכת הסיכון שהוא מנפק לאותם סיכונים, והפתרונות היישומיים שהוא מייצר ניתן לראות ביתר שאת בנתונים מרחיקי הלכת של כמות הדו"חות של ההערכה הסביבתית השנתיים שחיל ההנדסה מנפק כפי שנתונים אלה באים לידי ביטוי במידעוני החיל. ההתאמה של פתרונות ירוקים לבעיות ומפגעים סביבתיים שצבא ארה"ב מייצר בין אם בבסיסים פעילים ובין אם בבסיסים שננטשו והמעורבות של חיל ההנדסה האמריקאי בנושאים סביבתיים בכלל, ובפתרונות של אגנים ירוקים עבור בסיסים ומקורות צבאיים מזהמים בפרט היא כה מאסיבית, עד כי בשנת 1995 נתקבלו ב-EPA האמריקאי כ-62,000 בקשות ליצירת דו"ח הערכת השפעה מצטברת על הסביבה (cumulative impact assessment synopsis).⁵⁰ דוחות אלה נוצרו בכדי להגן על אגנים ירוקים טבעיים ושטחי טבע בכלל, ועל אזורים בסביבת בסיסים שהטבע בהם נפגע בשל פעילות הבסיס בפרט. דו"ח זה שהוא חלק מהליך פרוצדוראלי בכדי לקבל היתר עבור פתרון מובנה כמו מתקן לטיהור שפכים אגן ירוק וכדומה מהסוכנות להגנת הסביבה של משרד החקלאות האמריקאי (US Environmental protection agency) EPA הוא מדד משקף למעורבות ולחשיבות שמקנה חיל ההנדסה לטיפול בבעיות של שפכים ומזהמים בכלל, ולפתרונות יישומיים ופונקציונאליים למפגעי סביבה כדוגמת מטש"ים או אגנים ירוקים המותאמים לשפכי המפגע בפרט. מספר בלתי נתפס זה של דו"חות השפעה על הסביבה למפגעי סביבה ומקורות זיהום צבאיים מהווה עלייה תלולה של 60% ממספר הבקשות הדומות שהוגשו שלוש שנים לפני כן.⁵¹

במרץ 2008 היתוו EPA האמריקאי בשיתוף עם חיל ההנדסה בצבא ארצות הברית רגולציה המעניקה הקלה מפצה לפתרונות הנדסיים ומלאכותיים לבעיות של זיהום מי תהום ומי נגר עילי.⁵² ההקלה המפצה בעצם באה להפחית את היקף הקריטריונים התכנוניים שפתרונות ירוקים לבעיות סביבה אמורים להציג בעיקר מההיבטים הפרוצדורליים, וכפועל יוצא מכך לעזור בזירוז של קבלת אישור על פתרונות מלאכותיים להפחתת זיהומי מים וקרקע כדוגמת זו של אגנים ירוקים והפחתת הבירוקרטיה הכרוכה בכך. כחלק נוסף מהרגולציה הוחלט להגביר את זכות הציבור למידע של תסקירי סביבה ושקיפות רבה יותר, ולתת לו במה להיות שותף בהחלטות התכנוניות הכרוכות בפתרונות ובקבלת החלטות בפתרונות שונים שאגן ירוק הוא אחד מהם לבעיות של זיהום קרקע ומים על ידי הצבא בפרט, וכלל הגורמים כמו תעשיות בכלל. הקלות אלו קשורות בין השאר גם ברתימת שטחים מסוימים וייעודם לטובת יצירת אגן במקום הייעוד המקורי שהותווה להם, ובכך מפחיתות את ההתעסקות הפרוצדוראלית הקשורה בדילמה של

⁵⁰ ראה לעיל הערה 47

⁵¹ A Synoptic Approach for Assessing Cumulative Impacts to Wetlands, by Brooke Abbruzzese, Scott

Volume: 21, Issue: 3, Pages: 457-475 G Leibowitz Environmental Management (1997)

⁵² http://www.epa.gov/owow_keep/wetlands/wetlandsmitigation/index.html

ייעוד הקרקעות שגוזלת זמן יקר ועיכוב הפרויקט שבעטיו המשך זיהום הקרקע והמים באזור. על ידי מתן הקלות אלה הרגולציה מאפשרת ל-EPA וליחידות הסמך הסביבתיות של חיל ההנדסה, יכולת מעקב טובה יותר לאורך זמן, והגברת יכולת החיזוי, הביצוע המהיר וההצלחה בפרויקטים אקולוגיים להפחתת זיהומי מים בין השאר על ידי אגנים ירוקים (EPA Website). הרגולציה הנ"ל שהיא נגזרת של תקנת המים 404 למים נקיים מאפשרת לחיל ההנדסה האמריקאי יכולת מעקב וביצוע טובים יותר בתכנון ויישום פתרונות של אגנים ירוקים לבעיה של הפסד מים טובים, מי תהום ומי נגר עילי בשל שימוש מזהם של שפכים בסביבות של בסיסים צבאיים, וכפועל יוצא לשמר טוב יותר מקורות אקוואטיים לטובת האזרחים בסביבת הבסיס.⁵³

במידעון של חיל ההנדסה האמריקאי מיוני 2003 ישנה התייחסות לעליה החדה בשימוש בפתרונות של אגנים ירוקים כטכנולוגיה לאיזון אקולוגי של מים מזוהמים משפכים ביתיים, תעשייתיים, מסחריים וכו' שאת כל הנ"ל מייצר בסיס צבאי ממוצע. לדברי הכותב אגנים ירוקים מהונדסים הם הפתרון המתאים ביותר לשפכים הנ"ל בשל היותם זולים באופן יחסי מבחינה כלכלית, קלים לבניה ולתפעול ותחזוקה לאורך זמן רב ומסוגלים לתת מענה מאוד אפקטיבי לבעיות של סוגי שפכים שונים שבסיסי צבא מייצרים.⁵⁴ הכותב מציין את ההטרונות הקיימת במבנה הפיזי והפונקציונאלי של האגנים הירוקים כיאה לצורך הקיים בטיפול בשפכים בכל בסיס ובסיס, וכן בשל ההבדלים הגיאוגרפיים המייצרים את השוני במענה. כמו כן הוא מבחין בשוני נוסף בתצורת האגנים הירוקים המהונדסים הנובע לפיו בהבדלים בין אזורי שיפוט שונים וחוקי מדינה ייחודיים לכל מדינה ומדינה בארה"ב בהתאם לחלוקה הפדראלית הנהוגה בארצות. לפיו חלוקה זו והבדלים במדיניות ובאוטוריטה השיפוטית מייצרים רגולציות ובירוקרטיות שונות, וכפועל יוצא מזה מכתיבים את תצורת בניית האגן הירוק מבחינה של שטח ותצורה, כמו גם מההיבט התכנוני ההידרולוגי והביו-כימיקלי. השוני בין חוקי המדינות, והרגולציה הנבדלת שפועל יוצא שלה הוא שימת דגשים שונים בתמהילים מגוונים גם על ההיבטים הפיזיים של האגן הירוק, הם אלו שיכתיבו את מידת הצלחתם והאופטימאליות של האגנים הירוקים. לדברי הכותב היתרונות הבולטים של פתרונות מסוג אגנים ירוקים בסביבת בסיסים צבאיים לשם טיפול אופטימאלי בשפכי הבסיס הם להלן:

1. הפחתה של פוטנציאל זרימת השפכים בשל הפחתת הצורך בהעברתם וניודם למט"שים מרוחקים.
2. פתרונות של אגנים ירוקים מפחיתים משמעותית את הזיהום שנוצר כתוצאה משפכי דלקים, שמן ועוד מרכיבים אנתרופוגניים המחלחלים לקרקע ולמי התהום.
3. פתרונות של אגנים ירוקים תורמים להפחתה משמעותית בצריכת האנרגיה והחשמל בבסיס בכך שהם מייצרים אנרגיה בתצורתה הטבעית ומנצלים תנאים טופוגרפיים כגון הפרשי גבהים ואת המים הזורמים בהפרשים אלו בכדי לייצר אנרגיה (אנרגיית הידרו).

⁵³ <http://water.epa.gov/lawsregs/guidance/wetlands/sec404.cfm>

⁵⁴ Public works technical bulletin, USA engineering corps JUNE 2003

4. אגנים ירוקים ביולוגיים מייצרים כר גידול לאורגניזמים ותכסית אשר משפרת את המאזן האקולוגי הסביבתי.

במידעון חיל ההנדסה האמריקאי מצוינים שלושה סוגים עיקריים של אגנים ירוקים: FWS Wetland (Free Water Surface) תוואי זרימה טבעי של נגר עילי, SF Wetland (Subsurface Flow), זרימה תת קרקעית של המים, ותצורה שלישית שבה נעשית מניפולציה על הטבע הנקראת VFSS Wetland (Vertical Flow Subsurface System) שיטה בה מזרימים את המים בצורה ורטיקאלית והם נאגמים ונאגרים בבסיס. שיטה זו היא גם כר ליצירת אנרגיה חלופית בשל הפרשי הגבהים וליצור טבעי של חשמל לבסיס וחסכון בהפקה מזהמת של חשמל.⁵⁵ השיטה השכיחה ביותר בארה"ב לטיפול בשפכים ביתיים ושפכים של חברות קטנות בגודלן עפ"י המידעון הינה ה-SF SUBSURFACE FLOW שהיא השיטה הפחות נתונה לזיהומים, ואינה מייצרת תוואי חדש או משבשת תוואי תנועה קיימים של נגר. שיטה זו פחות חדירה לזיהום של דלקים וחומרים מסוכנים, והיא מיושמת בשכיחות רבה מאוד בבסיסי הצבא לטיפול בשפכים המוגדרים כשפכים ביתיים. לעומת שיטת ה-SF- במתחמים ובסביבת יצרני שפכים גדולים יותר כגון חברות תעשייה כבדות, או בבסיסים קיימים או נטושים שכמות השפכים בהם היא מאסיבית ומכילה ערב רב של חומרים כדלקים, חומרים ונוזלים רעילים ועוד, נהוגה השיטה של ה-FWS המשולבת בד בבד עם יצירה של חייץ יחסי בינה ובין הבסיס ובכך מאפשרת יצירה של תכסית בתצורתה הטבעית מבלי שתיפגע על-ידי מזהמים. בצבא ארה"ב נעשה שימוש בשתי השיטות הנ"ל בלמעלה מאלף בסיסים, ומתחמים צבאיים קבועים או ארעיים, כולם ללא יוצא מן הכלל פרויקטים של חיל ההנדסה. כל זאת לאחר בחינה מדוקדקת של היתכנות, תכנון ומעקב יסודיים, וביצוע שנעשה בשיתוף פעולה הדוק עם EPA.⁵⁶

דגש נוסף בו מתמקד חיל ההנדסה בטיפול ובתכנון הפתרונות לבסיסים ולזיהום והשפכים שלהם הוא התאמה אינטגרטיבית של יותר מאגן ירוק אחד בכדי לתת מענה למגוון השפכים שהבסיס מייצר. ההטרוגניות הרבה של סוגי השפכים הצבאיים דורשת בהתאם כר רחב יותר של פונקציות אגניות כאשר כל אחת ואחת מהן בהתאם לפונקציונאליות שלה, ולמבנה הביולוגי והפיזי של האגן נותנות מענה מדויק לשפכים אליהן נועדו. אגן מסוג SF יתאים במענה שהוא נותן לשפכים ביתיים המיוצרים בכל בסיס שבו יש פעילות חיילים, וכן ישנם אגנים מסוג FWS הנותנים מענה טוב יותר לשפכים אנתרופוגניים רעילים כגון דלקים שמנים ועוד מגוון חומרים מזהמים הנספגים באדמה כחלק מהפעילות הצבאית הכרוכה בשימוש בהם.

לפי מידעון חיל ההנדסה האמריקאי פתרון של שני אגנים ירוקים ולעיתים אף שלוש שונים במהותם, בהרכבם הביולוגי ובגודלם, עבור בסיס אחד שבו מגוון פעילויות אנושיות וצבאיות כאחד הינו הפתרון האופטימאלי במתן מענה מקיף לבעיית זיהום הקרקע הקיימת באזור ולזיהום מי התהום והנגר העילי בסביבת הבסיס.⁵⁷ לטענת המקור (המידעון) בבסיסים

Public works technical bulletin, USA engineering corps JUNE 2003 ⁵⁵

Public works technical bulletin, USA engineering corps JUNE 2003 ⁵⁶

Public works technical bulletin, USA engineering corps JUNE 2003 ⁵⁷

בהם לפי תסקיר סביבה שנעשה טרם בניית האגן הירוק נמצאו רמות זיהום גבוהות של דלקים וחומרים מסוכנים לאיכות המים, הפתרונות של מספר אגנים ירוקים שונים בתכליתם כמו שילוב של אגן מסוג VSSF הנותן פתרונות לשפכים האנתרופוגניים והרעילים שהבסיס מייצר בשכבות שמתחת לקרקע ופוגעות בעיקר במי התהום, ובמקביל לו אגן מסוג SF הנותן מענה לרוב לסוגי שפכים ביתיים, וכן לזיהום של מי נגר עילי, הינם השילוב האופטימאלי לשפכי הבסיס. אגנים אלו בהרכבם הפחמני, בשימוש הנעשה בכורכר ובמספר מרכיבים דומים בהקמתם, מספקים פתרונות שהוכחו בבדיקות מספר שנים לאחר מכן כיעילות מאוד בהפחתת כלל סוגי המזהמים בכל שכבות הקרקע ובהתאמה לתוואי הטופוגרפי והאקלימי של הבסיס (במקרה זה מובאת דוגמא לבסיס שריון באזור מדבריות נאבדה שלו הותאמו מספר אגנים ירוקים בסביבת הבסיס בהתאם לאקלים והטופוגרפיה הייחודית של המקום ועל ההצלחה שפרויקט זה נחל בשל ההתאמה הפונקציונלית של מספר אגנים בהתאם לסוגי השפכים).

מעבר להקמתם של אגנים ירוקים חדשים בקצב מואץ בשנים האחרונות כפתרונות לטיפול בשפכי בסיסים צבאיים, נעשות גם פעולות של הרחבה והעמקה של אגנים ירוקים קיימים. הרחבת שטח האגן באה לידי ביטוי הן בהגדלת שטח החיץ של אותם האגנים ממקורות טבע כמו נחלים וכו' וזאת בכדי ליצור בידוד טוב יותר של פעולת האגן וטיהור שפכי הבסיס הסמוכים ממקורות המים או הטבע עליהן הוא מבקש להגן ולהזרים מים מטוהרים, וכן היא באה לידי ביטוי בהגדלת שטח האגן עצמו בהתאם לעקומת הגידול של פעילות הבסיס המשפיעה ביחס ישר על השפכים אותם הוא מייצר. דוגמא טובה להגדלת תוואי האגן הירוק והיקפו בשל גידול בהיקף פעילות הבסיס היא זו של האגן הירוק שהוקם בסמיכות לבסיס Marines Corps באי Oahu שהוואי. בדוגמא זו בה נציג נתונים של הרחבת האגן ניתן יהיה לראות את הדינאמיות וההתאמה שעובר אגן ירוק קיים בהתאם לשינויים, במקרה זה גידול, בסדרי כוח האדם והפעילות הצבאית המזהמת בבסיס שכפועל יוצא מהם הוא היקף הגידול בשפכים שהבסיס מייצר לאורך השנים שלאחר יצירת האגן הירוק. אחת הפעולות הבסיסיות שניכרות בהתאמת האגן לשינויים הנ"ל היא שינוי הגדלת שטח החיץ בין הבסיס לבין האגן וזאת לשם ספיחה ארוכת טווח יותר של המזהמים שהבסיס מייצר בכדי לטהרם טרם יגיעו למי תהום או נחלים. במקרה של בסיס גדול ומרוחק זה ישנם ארבעה אגנים ירוקים בסביבת הבסיס אשר נבנו והותאמו מבחינת סוגי התכסית ותצורתם הפיזית לסוגי השפכים שהבסיס מייצר. בדו"ח שיצא כ-80 חודשים לאחר גמר בניית ארבעת האגנים הירוקים בסביבת הבסיס נמצא כי כל אחד מארבעת האגנים הורחב לאורך הזמן לעיתים אף יותר מהכפלה של השטח כמו במקרה של אגן Percolation Ditch שהוא אחד מארבעת האגנים הירוקים מסוג SF WETLAND המקיפים את הבסיס. תיחומו של האגן הנ"ל גדל מ 41,000 Acers (165 קמ"ר) בקירוב בשנת 2002 ל 94,000 Acers (368 קמ"ר) בשנת 2009. במקרה של אגן זה ישנה יותר מהכפלה של שטח האגן בשל גידול הפעילות הצבאית בבסיס שפועל יוצא שלה הוא הגברת הזרמתם של שפכים צבאיים בעיקר דלקים אל הקרקע והים הסמוך.



תמונה 1. צילום של האגן הירוק המהונדס ע"י הצבא הגדול ביותר בהוואי.⁵⁸

מבחינה של פרסומי צבא ארה"ב לגבי מפגעים סביבתיים שהם תוצר הצבא והטיפול בהם ניתן לראות בבירור כי מושם דגש רב בצבא האמריקאי על אבחון הבעיות הסביבתיות, והקצאה משאבית ברמת התכנון והביצוע לטיפול בהם. הצבא אמון על הכנת תסקירי ודו"חות סביבה שיטת עבודה רוטינית, הגשתן ל-EPA, ולאחר קבלת החלטות ביצוע מניעתי לטיפול בזיהומים ושפכים שמקורם בפעילות הצבאית. קבלן הביצוע של הצבא להכנת הדו"חות הסביבתיים, וביצוע מסקנותיהם הוא חיל ההנדסה שלו יחידות שזהו תחום התמחותן. יחידות אלו מביאות לידי ביצוע מלא של הפתרונות המוצעים לכל זיהום הנובע מבסיסי הצבא והן אמונות על שמירת הסביבה הטבעית של בסיסים וטיפול המתאים ביותר לכל מפגע. במקרה שלנו הן מיישמות פתרונות של אגנים ירוקים התואמים פונקציונאלית לסוג השפכים שהבסיס מייצר, גודל המתחמים והבסיסים והתנאים הפיזיים והאקלימיים בשטח הבסיס. מעבר לפעולה ענפה של דוחות סביבה ורגולציה אשר מוטמעת חזק בתוך הצבא האמריקאי של פתרונות סביבתיים בדמות אגנים ירוקים להחזרת הטבע ולטיהור השופכין של הבסיסים, ישנה גם פעולה מתמדת של שיפור הקיים. פתרונות של אגנים ירוקים שכבר יושמו עוברים הרחבה של היקפם, לעיתים נוסף עוד אגן שונה בפונקציונאליות שלו וכן מורחב החיץ בין הבסיסים לאגנים, כל זאת לשם שמירת האפקטיביות שלהם בהתאם לגידול בפעילות הצבאית ובסד"כ הבסיס אשר מגדילים בהתאמה את כמות השפכים שהוא מייצר. כמו כן יחידות ההנדסה האקולוגיות אמונות על התאמת סוגי האגנים בהתאם לסוגי השפכים הנפוצים בצבא, כאשר לרוב נעשה שימוש ביותר מאגן ירוק אחד וזאת בהתאם להטרוגניות של שפכי הבסיסים אשר נחלקים לשפכים ביתיים טיפוסיים, כמו גם לשפכים אנתרופוגניים כדלקים, שמנים חומרים מסוכנים כימיים וכו'.

<http://www.poh.usace.army.mil/CW/CW.htm> ⁵⁸

המסקנות הבולטות מחקירת דרך השימוש של צבא ארה"ב באגנים ירוקים בכדי לתת מענה לשפכי בסיסים צבאיים בעיקר לאלה המרוחקים מהכרך היא כי שימוש בפתרון זה של אגנים ירוקים לטיפול במספר רב של שפכים אותם מייצרים בסיסים מרוחקים הוא שכיח בצבא האמריקאי, גם ובעיקר במקומות בהם התנאים הטופוגרפיים והאקלימיים זהים לאלו שבנגב הישראלי המאופיין באקלים מדברי נוקשה, מיעוט במשקעים, שטף קרינה גבוה, סופות חול ומשרע טמפרטורות גבוה בין שעות האור ללילה. הסיבה הנוספת בבחירת אגנים ירוקים כפתרון אופטימאלי לטיפול בשפכי בסיסים מרוחקים על-ידי הצבא האמריקאי נובעת מההיבטים הכלכליים של עלות מופחתת לעומת הפתרון הסטנדרטי של מתקנים לטיהור שפכים בעיקר כאשר הבסיס שוכן באזורים מרוחקים מאורבניזציה. בשל הסיבות הנ"ל- תנאי הטופוגרפיה השטח והאקלים, וההיבטים הכלכליים נבחרים לרוב אגנים ירוקים כפתרון למפגעי ושפכי הבסיסים המרוחקים בארה"ב, ויעילותם ממוקסמת כאשר הם מתוכננים נכון מבחינת גודל החיץ שלהם מהבסיס, תצורתם וסוג האגן בהתאם למענה הפונקציונאלי שכל אחד מסוגי האגנים נותן. האינטגרציה של כמה סוגים שונים של אגנים ירוקים בסביבת בסיס אחד והרחבתם הדינאמית בהתאם לשינוי בהיקף פעילות הבסיס בכדי לתת את המענה ההיקפי הגדול והאופטימאלי שניתן להטרונגיות של סוגי השפכים שהבסיס מייצר הם התועלות העיקריות של אגנים ירוקים.

3.3 מאפייני בסיסי צה"ל בדרום הארץ:

בסיסי צה"ל בדרום מאופיינים במספר פרמטרים הגורמים לכך שאגנים ירוקים יכולים להתאים להם באופן מיוחד:

1. בסיסי צה"ל מאופיינים בשפכים אנטרופוגניים ושפכים תעשייתיים גם יחד. בשל הפעילות הנרחבת והמגוונת של צה"ל, ישנו שימוש נרחב במגוון שמנים ודלקים בבסיסים השונים. דלקים ושמנים אמורים להיאסף בנפרד מהשפכים הסניטריים ולהישלח למקומות בהם מתבצע מחזור שלהם, ולא להגיע למערכת השפכים של הבסיסים. בפועל, ישנם מקרים בהם שאריות של שמנים ודלקים כן מגיעים למערכת הניקוז של השפכים הסניטריים. כפי שצויין קודם, אגנים ירוקים מסוגלים להתמודד עם מגוון סוגי שפכים. בשפכי שמנים ודלקים יש צורך בטיפול מקדים לפני הכניסה למערכת אגנים ירוקים, כפי שנהוג בתעשיות של בתי זיקוק לדוגמה, אולם אם מדובר בגלישות נקודתיות בריכוזים נמוכים מערכת אגנים ירוקים תצליח להתמודד עם השפכים טוב יותר ממט"ש אינטנסיבי שעלול להיסתם כתוצאה מגלישה כזו.⁵⁹ בבסיסי צה"ל בהם יש שימוש נרחב בשמנים ודלקים, שלעתים גולשים מעבר לאגני האיסוף המתוכננים להם, ישנה חשיבות לכך שמערכת הטיפול בשפכים תהיה בעלת גמישות, ומסוגלת להתמודד גם עם זליגות כאלו.

⁵⁹ פרופסור גזית אביטל, 2012, נספח 5

2. בסיסים רבים הנם מבודדים ורחוקים מרחק של עשרות קילומטרים ואף יותר, ממתקני טיהור שפכים אזוריים קיימים. הובלת מי השפכים עד למתקנים אלה לא כלכלית, ומאופיינת בדליפות צנרת בעייתיות שיכולות לגרום למפגעים סביבתיים, כך שנדרש פתרון מקומי, עצמאי בבסיסים עצמם. מערכת אגנים ירוקים מאפשרת טיפול בשפכים קרוב למקום היווצרותם.
3. עלות ההקמה, הטיפול והתחזוקה בשיטות אגנים ירוקים נמוכה משמעותית ביחס לשיטות אחרות לטיפול בשפכים, זהו גורם כלכלי, משמעותי שבא לידי ביטוי בתקציב הביטחון הכללי.⁶⁰
4. בבסיסי צה"ל בדרום, גודל השטח לא מהווה גורם מגביל כפי שקורה במקומות מיושבים ואף בבסיסים במרכז הארץ, כך שניתן להקצות שטחים לטובת שימוש באגנים ירוקים לצורך טיהור שפכים.
5. השימוש בשיטת אגנים ירוקים אינו דורש מומחיות וידע מקצועי נרחב, מעבר לשלב ההקמה. עובדה זו מאפשרת חסכון בכוח אדם מיומן לתפעול המערכות האינטנסיביות. אגנים ירוקים בכללם הם פשוטים להקמה ולתפעול לאורך זמן. פשטות התפעול חשובה במיוחד בבסיסי צה"ל בגלל תחלופה אינטנסיבית בכוח אדם, ומחסור בכוח אדם קבוע ומיומן לטיפול בשפכים.
6. בשיטת אגנים ירוקים באופן כללי אין צורך בטיפול בבוזה, שהיא אחד המרכיבים המסובכים לטיפול בטיפולים אינטנסיביים.⁶¹ תכונה זו חשובה במקומות כמו בסיסים צה"ליים מפני שהמערכת מספקת טיפול פשוט יחסית למערכות אחרות, שלא דורש כוח אדם מקצועי ומיומן להפעלת המערכת.
7. מערכות אגנים ירוקים בכללן הן יציבות ופחות רגישות לשינויים באיכות וכמות השפכים.⁶² ניתן להניח כי קיימת תנועתיות בכמות ואיכות של שפכים בבסיסי צה"ל בדרום הארץ ולכן גמישות זו חשובה במקרה זה.
8. יעילות הרחקת המזהמים גבוהה ביותר בשיטה זו ביחס לשיטות אקסטנסיביות אחרות.⁶³
9. מערכות אגנים ירוקים מסוגלות לטפל גם במזהמים שאינם מנוטרים כגון מתכות כבדות ומיקרו מזהמים.⁶⁴
10. חשוב להדגיש שבאזורים מדבריים קיימות סופות חול שעלולות לגרום לסתימת המצע במערכת האגנים הירוקים.⁶⁵ במערכת האגנים הירוקים שאני מעוניינים לבחון בעבודה זו ניתן פתרון לבעיה זו ע"י כך שרוב השלבים נמצאים תחת שכבה אינרטיית המונעת סתימה ע"י חול כפי שיצוין בהמשך.

⁶⁰ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 59.

⁶¹ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 62.

⁶² ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 48.

⁶³ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 52.

⁶⁴ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 27.

⁶⁵ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 56.

3.4 התאמת מערכת אגנים ירוקים משולבת לטיפול בשפכי צה"ל

בהצעת מחקר זו, אנו מעוניינים להציג אפשרות לשימוש ספציפי במערכת אגנים ירוקים משולבת, כפי שנראה באיור מספר 4. אפשרות זו מתאימה לבסיסי צה"ל מרוחקים בדרום הארץ שלא יחוברו למערכת קיימת לטיהור שפכים.



איור 4- מערכת טיפול בשפכים המוצעת בבסיסי צה"ל בנגב. במערכת זו מי הקולחין עוברים מספר שלבים- התחלת הטיפול באגן שיקוע בו מתבצעת שקיעה של המוצקים והחומרים המרחפים (TSS), המשך טיפול במערכת מסוג VSSF המצטיינת בתהליכים אירוביים, המשך טיפול במערכת מסוג HSSF המצטיינת בתהליכים אנאירוביים, ומשם לשלב כלוריניציה המאפשר הרחקת פתוגנים. בכל המערכת אין שילוב צמחייה כדי להפחית אבדן של מים. המים המושבים מנוצלים.

מערכת משולבת מאפשרת פתרון כולל לשפכי הבסיס בצורה יעילה תוך ניצול היתרונות של כל אחד מהשלבים במערכת זו. באגן השיקוע שוקעים מוצקים וחומרים מרחפים (TSS) העלולים לגרום לסתימת מערכת האגנים הירוקים. המערכת האנכית (VSSF) מצטיינת בביצוע תהליכים אירוביים בשפכים, והמערכת האופקית (HSSF) מצטיינת בביצוע תהליכים אנאירוביים בשפכים. שילוב של שתי המערכות מאפשר הימצאות של מגוון אורגניזמים מפרקים המתקיימים בתנאים שונים. לדוגמא, תתבצע פעילות טובה ויעילה יותר בהרחקת אמוניה, בתהליכי ניטריפיקציה ודה- ניטריפיקציה כך שמתקבל חנקן אינרטי שיכול להתנדף לאטמוספירה ללא נזק.⁶⁶

שלב הכלוריניציה מאפשר הרחקת חיידקים פתוגנים (גורמי מחלות), והתוצאה היא שמתקבלים קולחים ברמת טיהור שלישונית, וכך מתאפשר ניצול חוזר של המים לשימושים שונים בתוך הבסיס כמו השקיה, ללא חשש לפגיעה בבריאות החיילים. המערכת המשולבת דורשת שטח קטן בהשוואה לשטח הדרוש לבריכות אידוי שמצויות בשימוש כיום בבסיסים רבים, והיא זולה באופן יחסי להקמה ולתפעול.⁶⁷ הסוגים השונים של האגנים הירוקים במערכת, האנכי והאופקי, יכולים להימצא מתחת לשכבת חצץ, ללא שימוש בצמחייה, כך שאין כמעט התאיידות של מים מהמערכת (Evapotranspiration). באזורים מדבריים יכולה להיווצר בעיה של סתימת המצע במערכת עקב סופות חול. כיוון הזרימה האנכי במערכת VSSF עלול ליצור יניקה של החול כלפי מטה, אל השכבות העליונות של המצע. ניתן

⁶⁶ פרופסור גזית אביטל, 2012, נספח 5

⁶⁷ שימונת מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 52.

לכסות את מערכת האגנים הירוקים בחומר אורגני אינרטי שימנע את סתימת המערכת.⁶⁸ כמו כן, בזרימה תת קרקעית פוחתת משמעותית אפשרות החשיפה לפתוגנים, בשונה משיטות אקסטנסיביות אחרות.⁶⁹

חשוב להדגיש, שלמרות כל היתרונות המובאים כאן, ייתכן מאוד ששפכים מסוגים שונים, ובמיוחד שפכי דלקים ושמינים יזדקקו לטיפול מקדים לפני כניסתם למערכת האגנים הירוקים. כמו כן במידה ורוצים לטפל בסוגי שפכים נוספים פרט לשפכים אנטרופוגניים יש ליצור מערכת נוספת של אגנים ירוקים שתהיה מסוגלת להתמודד עם מתכות כבדות או שמינים ודלקים, וליצור הפרדה גם בין מערכות האיסוף וההובלה של השפכים.

הבעייתיות בשימוש במערכות אגנים ירוקים בארץ מובאת בפרק 2 העוסק בגורמים המעורבים בתהליך, וניתן לומר שזהו המכשול העיקרי העומד בפני שיטה זו. ניתן לראות דוגמה למערכת משולבת של אגנים ירוקים הקיימת בבסיס חיל האוויר ברמון בפרק הבא. בבסיס זה מערכת אגנים ירוקים משמשת לטיפול בשפכים סניטרים בלבד ומי הקולחים משמשים אך ורק להשקיית פארק שהוקם ע"י JNF ארה"ב, לרווחת תושבי הבסיס. הנהלים לא מאפשרים את ניצול המים לשימושים נוספים כמו הזרמת עודפי מים מחוץ לבסיס והשבתם לטבע, בגלל מכשולים בירוקרטים. בעולם שיטה זו מנוצלת בצורה מקיפה הרבה יותר, גם בבסיסים צבאיים בהיקף גדול כפי שמופיע בסעיף הקודם, המתאר את הנהוג בבסיסים בצבא ארה"ב.

3.5 ניצול חוזר של המים

שפכים שאינם מטופלים מהווים מקור לזיהום המאיים על הסביבה ועל מי השתייה. שפכים שעברו תהליכי טיהור מאפשרים הימנעות מזיהום וניצול חוזר ויעיל של המים. ועדת הפנים והגנת הסביבה של הכנסת אישרה בינואר 2010 את תקנות בריאות העם (תקני איכות מי קולחים וכללים לטיהור שפכים), התשי"ע – 2010 (להלן: תקנות ענבר).⁷⁰ מטרת התקנות, שהתקין השר להגנת הסביבה ביחד עם שר הבריאות, היא להגן על בריאות הציבור, למנוע זיהום מקורות מים משפכים ומי קולחים, לאפשר ניצול חוזר של מי קולחים כמקור מים, להגן על הסביבה לרבות על מערכות אקולוגיות והמגוון הביולוגי, הקרקע וגידולים חקלאיים. השרים התקינו תקנות אלו כדי להבטיח את איכות הקולחים המטוהרים במתקני הטיפול בשפכים. תקנות אלה מעמידות את ישראל כמובילה בין המדינות המפותחות בכל הנוגע לערכים מחמירים של שמירה על הסביבה בדגש על מניעת זיהום מקורות מים.⁷¹

⁶⁸ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 56.

⁶⁹ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 55.

⁷⁰ תקנות בריאות העם (תקני איכות מי קולחים וכללים לטיהור שפכים), התשי"ע - 2010

⁷¹ תקני איכות מי קולחין, המשרד להגנת הסביבה, 2012 <http://www.sviva.gov.il>

תכנון מקדים וביצוע נאות של אגנים ירוקים, באתרים המתאימים לכך, יאפשרו קולחים באיכות גבוהה מאד, שניתן לנצלם במספר דרכים עיקריות:

3.5.1 להשקיה: השימוש העיקרי החוזר בקולחים, הוא להשקיה חקלאית והשקיה מוגבלת בפארקים ציבוריים – שימושים המוסדרים בהנחיות ועדת הלפרין (להלן: ועדת הלפרין).⁷² איכות המים המטופלים תהיה ברמת איכות "מאד גבוהה" אם אין בשימוש סיכוי למגע אדם. במידה וקיים סיכון (RISK) למגע אדם תידרש איכות מים "מעולה" (על פי ועדת הלפרין – מקסימום 14 קולי צואתי ב-100 מ"ל, עכירות מקסימום 5 NTU, צח"ב ממוצע חודשי 10 מג"ל).⁷³

הרחבה לועדת הלפרין, אשר נכנסה לתוקף בשנת 2003 היא "הכללים לשימוש חוזר בנופש בעיר ובתעשייה", כללים אלו מגדירים בבירור את התנאים להשקיית גינון ציבורי וכן אספקטים שונים של שימוש חוזר בתעשייה. עיריות רבות החלו בקידום של השקית הגינון הציבורי במי קולחים. ניתן לציין לדוגמה את עיריית יבנה, עיריית ירושלים, עיריית ראשון לציון ועוד. השקית גינון ציבורי בקרבה למגורים דורשת פיקוח צמוד והדוק ואמצעי בקרה רבים אשר יבטיחו את איכות הקולחים הנדרשת מצד אחד ומניעת כשלים מן הצד השני.⁷⁴

בהקשר זה יש לשים לב לנושא של המלחת הקולחים, כיוון שרוב הקולחים המטופלים צפויים להיות מיועדים להשקיה. תקן ענבר קובע רמות כלוריד של 250 מג"ל לכל היותר. אגן ירוק אינו מרחיק מלחים ואף עלול להמליח את הקולחים במקצת. עם זאת למעט שיטות של התפלת קולחים, אין טכנולוגיית טיהור אחרת שמרחיקה מלחים. בנוסף, בעת השימוש באגן הירוק יש לשים לב להרחקת זרחן על פי תקנות ענבר, ולכן כדאי להתמקד ביישומו באזורים בהם יש הקלת זרחן בתקן ענבר ל – 10 מג"ל כמו בנגב ובערבה.⁷⁵

על פי חברת טריפל טי האחראית להקמת מתקני אגנים ירוקים בבסיס רמון, המתקן מתוכנן לטפל בכל השפכים האנטרופוגניים בבסיס, כשחלק מהקולחים יטופלו לרמה שלישונית (10/10/25/20 BOD/TSS/TN/NH₄ + חיטוי). קולחים אלו ישמשו להשקיית הפארק בלב הבסיס שנתרם על ידי JNF. שאר המים מועברים לבריכות אידוי, כך שיוכלו להתמודד עם עודפי המים ואין שחרור של מים מחוץ לבסיס.⁷⁶

3.5.2 הזרמה בנחלים במסגרת המאמצים להחייאת הנחלים⁷⁷: רבים מנחלי ארצנו נפגעו עקב ניצול יתר לצרכי האדם וזיהומם בשפכים. במצוקת המים הקיימת בישראל, לא ניתן לשקם נחלים באמצעות הזרמה של מים שפירים ולכן שיקומם נעשה באמצעות קולחים. גישה זו מחייבת

⁷² דו"ח ועדת הלפרין "עקרונות למתן היתרים להשקיה בקולחים", אוגוסט 1999, (מעודכן באוקטובר 2002)

⁷³ גדעון אורון וחברים, הנחיות חלופיות להשבת מים אפורים, 2009

⁷⁴ דו"ח פעילות מסכם, רשות הטבע והגנים היחידה לניטור סביבתי, 2003

⁷⁵ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל", כתבו גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 65

⁷⁶ אמיר צלאל, 2012, נספח 4

⁷⁷ בר אור, גפני, 1995, חואניקו ופרידלר, 1996

שהקולחים המוזרמים לנחלים יהיו באיכות המתאימה לשיקום.⁷⁸ לפני כחמש עשרה שנים החל צוות מחקר בטכניון בראשות פרופ' מיכל גרין, לבחון את שיטת האגנים הירוקים בתנאים מבוקרים ובניסוי שטח מצומצם בנחל אלכסנדר, על קולחי העיר נתניה. פרופ' גרין הדגישה בפרסום תוצאות מחקרה את הפוטנציאל הרב הגלום בשיטה זו, לליטוש קולחים עד לרמת ניקיון שתתאים להזרמה בנחלים, לצרכים אקולוגיים ונופשיים-נופיים כאחד.⁷⁹ לאחרונה ועדת ענבר הוסיפה תקן נוסף לאיכות קולחים לצורך הזרמה לנחלים (ראה נספח 3), כך שלמעשה, שיקום נחלים הוא מקרה פרטי של ליטוש, לאיכות קולחים ברמה שונה.⁸⁰ לפיכך, במסגרת שיקום נחלים, יש להתחשב במדדים שונים, שכן איכות הקולחים הנדרשת שונה לצורך שיקום אקולוגי. לדוגמא: עליה מתונה בכלורידים אינה מהווה בעיה בשיקום נחלים ואינה מסכנת את המערכת הביולוגית בנחל. בנוסף המליחות אינה מסכנת את האקוויפרים, שכן המלחים מומסים במים וזורמים בערוץ הנחל לים.⁸¹ מסיבה זו הסטנדרט לכלורידים של ועדת ענבר להזרמה לנחלים הושם על 400 מג"ל, לעומת 250 מג"ל בהשקיה בלתי מוגבלת. לעומת זה, לגבי זרחן, ועדת ענבר החמירה וקבעה ערך של 1 מג"ל בלבד להזרמה לנחלים וזאת על מנת למנוע אאוטריפיקציה. מערכות אגנים ירוקים אינן יכולות להרחיק זרחן לרמות אלו ולכן אם רוצים לעמוד בערכי ענבר יש לוודא שריכוז הזרחן בכניסה לאגן הירוק יהיה בהתאם.⁸²

3.5.3 שימוש עירוני חוזר בקולחים: שימוש הכולל במדינות שונות גם שימוש להדחת אסלות ושימושים עירוניים נוספים כמו מתקנים לשטיפת מכוניות. השימוש העירוני מחייב קיום של מערכות מים כפולות, שהן כשלעצמן מהוות סיכון רציני לבריאות הציבור, כתוצאה מאפשרות להיווצרות חיבורים צולבים בין מערכת המים השפירים לבין מערכת הקולחים לשימוש חוזר. חיבור צולב יכול לגרום להזרמת כמויות קולחים ניכרות למערכת מי השתייה ולכן ישנה חשיבות עליונה לשמירה על תנאים מיוחדים להפעלת מערכות מים כאלה ולפיקוח עליהן, כמו גם על איכות הקולחים שמותר להזרים במערכות אלו. על פי ועדת הלפרין נדרשת כאן למעשה איכות קולחים לפחות ברמה של "איכות מעולה".⁸³

3.5.4 בריכה נופית: אגנים ירוקים הינם מערכת שנוצרה בצורה מלאכותית, ושמתיימים בה תהליכים טבעיים בסביבה רווית מים ועתירת צמחיה. אגן ירוק שמתוכנן, מבוצע ומתוחזק כהלכה, מהווה פנינה רבת חן ומוקד אקולוגי עשיר ומרתק להתפתחות מינים רבים של צמחים ובעלי חיים.⁸⁴

⁷⁸ בר אור, 2000

⁷⁹ גרין מ. 1995

⁸⁰ ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 65

⁸¹ Safier, 2006.

⁸² ישימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל, גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ' 66

⁸³ הלפרין ר., עלוני א. כללים לשימוש חוזר בקולחים בעיר, בנופש ובתעשייה, משרד הבריאות, יוני 2003

⁸⁴ גפני, א., 2000

בבואנו להתייחס לשימוש חוזר ולניצול יעיל של מים, לאחר שטופלו במערכת של אגנים ירוקים, במערכות קטנות כמו בסיסי צה"ל מרוחקים בדרום הארץ, יש לציין שימושים נוספים: ניתן להשתמש באגנים הירוקים עצמם למטרות נוי, נוף ונופש ולניצול הקולחים להשקיית עצים שונים כדוגמת איקליפטוסים במרחב האגן הירוק לשם יצירת אזורים מוצלים לרווחת החיילים והמבקרים בבסיס. בנוסף, ישנה חשיבות לשימוש באגנים ירוקים כמטרה חינוכית. אגן ירוק יכול להיות פרויקט צבאי חשוב המהווה דוגמא אישית, הן מבחינת צה"ל כגוף המייצג את המדינה והתורם לקידום איכות הסביבה המקומית, ובנוסף אספקט של מעורבות אישית ותרומה של חיילי הבסיס למודעות לשמירה על הסביבה ולתרומה למשק המים הלאומי. לדעתנו ניתן וניתן יהיה להשתמש בעתיד במי קולחים ברמת טיהור גבוהה ("איכות מעולה") לשטיפת רכבים/מטוסים/כלי רק"מ. כיום הדבר אינו אפשרי בשל מגבלות רגולטוריות, שכן מדובר במגע אדם במי קולחים (ועדת הלפרין, תקנות ענבר).

לסיכום, נראה כי לשפכים מטופלים יש תפקיד משמעותי בניצול חוזר ויעיל של המים. הפיכת ה"מטרד" למשאב מביאה עמה תועלות חיצוניות נוספות הבאות לידי ביטוי בשמירה על איכות הסביבה, שימור "ריאות ירוקות", שיקום נחלים ושמירה על החי והצומח. בפרק הבא ניתן לראות מקרה לדוגמא בבסיס חיל האוויר רמון, שם מתבצע ניצול חוזר של מי קולחים המטוהרים במערכת אגנים ירוקים לטובת פארק שהוקם במקום.

בסיס חיל האוויר – רמון, ממוקם בדרום הארץ במצפה רמון באזור בעל אקלים מדברי, הרחק ממתקן לטיהור שפכים אזורי והוא דוגמא קיימת לבסיס שבו הוקמו אגנים ירוקים לטיפול בשפכים. כיום, המתקן מהווה דוגמא למערכת עצמאית וזולה לטיפול בשפכים, החוסכת את העלויות הנלוות להזרמת השפכים למט"ש אזורי.

בסיס רמון הינו אחד מיני בסיסים רבים שלא טיפלו כראוי בשפכים שנוצרו ואלה הוזרמו לטבע ופגעו בקרקע, בחי ובצומח. בבסיס פעל מט"ש בעבר, בשילוב עם אגני חימצון, אולם עלות הפעלתו הייתה יקרה, נדרש לכך צוות מיומן לטיפול בשפכים ובנוסף, מערכת הטיפול הישנה איבדה מיעילותה וכבר לא יכלה להתמודד עם כמות השפכים ההולכת וגדלה שנוצרה בבסיס, עקב התפתחות הבסיס.⁸⁵

כתוצאה מכך, ובמסגרת רצון ליצור פארק לרווחת אנשי הבסיס ומשפחותיהם, JNF ארה"ב,⁸⁶ תרמה כסף וחיפשה חברה מתאימה שתקים במקום אגנים ירוקים ותשדרג את מערכת טיהור השפכים הקיימת. כוונתה של JNF ארה"ב הייתה שהמערכת תשמש כמודל לבסיסי צה"ל נוספים ולקהילות מבודדות, שיוכלו להשתמש במודל זה ולטהר את השפכים שלהם באופן דומה לרווחת אנשי הבסיסים והקהילות.⁸⁷

האגן הירוק, על פי התכנית הינו מקווה המים הגדול בנגב לטיהור שפכים, באמצעות שכפול הליכים ביולוגיים, כפי שמתרחשים במקווי מים טבעיים. מדובר בטכנולוגיה חסכונית בחשמל הדורשת תחזוקה מינימלית. במים הממוחזרים יהיה ניתן להשתמש להשקיית הפארק בגודל של 7.5 דונם ובכך להביא לחסכון של כ- 80,000,000 ליטרים של מים שפירים בשנה. פרויקט זה יכול לשמש כמודל לטיפול ושימוש חוזר במים עבור ישובים מרוחקים ברחבי המדינה.⁸⁸

החברה שנבחרה לביצוע הפרויקט היא חברת Triple T הישראלית, שהקימה במקום מערכת מסוג Tidal flow VSSF הפועלת על גבי התשתית של אגני החמצון הקיימים. שיטה זו הינה שיטת תפעול חדשה יחסית ב-VSSF ובה האגן הירוק מוצף ומנוקז באופן מחזורי מספר פעמים ביום לצורך קיום תהליכים של חנקון ודה-ניטריפיקציה באותו תא טיפול.⁸⁹ החברה בחרה להשתמש בשיטת Tidal flow VSSF בגלל פשטות הפעלתה, אוורור השפכים היעיל שהיא מאפשרת והעובדה שבשיטה זו כמעט ולא נוצרת בוצה שהטיפול בה מסובך. כמו כן זמן שהיית השפכים במערכת מאווררת זו הוא קצר יחסית, כל הטיפול מתבצע תחת פני הקרקע, ובשיטה זו

⁸⁵ Water facts and figures, JNF, 2009

⁸⁶ Jewish National Fund, בשנת 1926 התאגד גוף זה בארצות הברית מתוך כוונה לפתח מאמץ אמריקאי ייחודי

לתמוך במדינת ישראל המתפתחת.

⁸⁷ ראה הערת שוליים 73

⁸⁸ ראה הערת שוליים 73

⁸⁹ שימות מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל", גילעד ספיר ומיכל אשכנזי, ינואר 2010, עמ 66

גם אין שימוש כלל בצמחים כך שאובדן המים באיוד הוא לא משמעותי, וכמו כן נחסכת פעולת קציר הצמחייה התקופתית.⁹⁰

שתי בריכות אידוי לשעבר, מהמערכת המקורית, משמשות את מערכת האגנים ושתי בריכות האידוי הנוותרות מהמערכת המקורית משמשות לקליטת עודפי השפכים שלא מוזרמים להשקיית הפארק. המערכת מתפרסת על פני שטח של כחמישה קמ"ר, שמתוכם 2.5 קמ"ר משמשים את האגנים הירוקים, והשאר משמשים כבריכות אידוי הקולטות את עודפי השפכים שלא חוזרים לבסיס המערכת מאוד פשוטה להפעלה, ולמעשה פרט לשתי משאבות המסחררות את השפכים בין שתי בריכות האגנים הירוקים אין בה כלל ציוד מכאני שיכול להתקלקל.⁹¹

המערכת נכנסה לפעילות בספטמבר 2011 ומטפלת בהספקים של 800 מ"ק ליום. המערכת מצליחה להוריד את רמת ה-BOD מ-400 מג"ל בשפכים הגולמיים ל-10 מג"ל ביציאה מהמערכת, ואת רמת ה-TSS (מוצקים מרחפים) מ-950 מג"ל בשפכים הגולמיים ל-10 מג"ל ביציאה מהמערכת. הקולחים עוברים סינון חול והכלרה המביאים אותם לאיכות טיפול שלישונית בטרם השבתם להשקיה בבסיס.⁹²

חברת Triple T מחוייבת לטפל במערכת במשך 5 השנים הראשונות מרגע הקמתה, ובהמשך התחזוקה תתבצע בהתאם להחלטת משרד הבריאות. המערכת מטפלת אך ורק בשפכים סניטרים ולא ערוכה לטפל בשפכים המכילים דלקים ושמנים, וזאת בשל מגבלות רגולטוריות. במטבח הבסיס ישנו בור מפריד שומן המונע מהשומנים להגיע יחד עם שאר השמנים הסניטרים למערכת האגנים הירוקים.⁹³

לסיכום, ניתן לומר שמקרה זה הוא דוגמה מצוינת לכך ששיטת הטיפול המוצעת בבסיס רמון היא ברת ביצוע וישימה בשטח, למרות שעדיין לא נוצלו כאן כל האפשרויות הגלומות בשיטה, והמערכת משמשת רק לשפכים הסניטרים/אנטרופוגנים, ומי הקולחין המטופלים משמשים אך ורק להשקיה. ייתכן שבעזרת שינויים רגולטוריים ניתן יהיה להפיק משיטה זו יותר, לטפל בעוד סוגי שפכים תעשייתיים הנמצאים בבסיסי צה"ל, ולהשתמש במי הקולחין לשימושים רבים יותר, כפי שהוצע קודם לכן.

⁹⁰חברת טריפל T, 2011

⁹¹אמיר צלאל, 2012, נספח 4

⁹²ראה הערת שוליים 76

⁹³ראה הערת שוליים 77

פרק 5 - סיכום ומסקנות

שפכים שאינם מטופלים כראוי מהווים נזק סביבתי קשה, פוגעים בצמחיה, בבעלי החיים ובמקורות המים. במצב הנוכחי של משבר המים, אסור לקבל מצב של הזנחה והתעלמות מדוחות, המצביעים על ליקויים חמורים בהתנהלות של צה"ל בנושא הטיפול בשפכים, בבסיסים הפזורים ברחבי הארץ. לאחר שנים רבות של פעילות מצד ארגוני הסביבה ומשרדי הממשלה שאחראים על נושא זה, התקבלה החלטת ממשלה המחייבת חיבור של צה"ל למערכת ביוב. בימים אלו, צה"ל החל בחיבור בסיסים גדולים במרכז הארץ למערכות טיהור קיימות לטיפול בשפכים. הבעיה שמסתמנת היא בחיבור בסיסים מרוחקים בדרום הארץ או ביהודה ושומרון למכונני טיהור אזוריים קיימים, מכיוון שהם מרוחקים מהם.

במסמך זה אנו מציעים לבחון אפשרות לטיפול מקומי של השפכים באמצעות מערכת אגנים ירוקים משולבת, בתוך בסיסי צה"ל ללא צורך בטיפול ראשוני ושינוע שלהם עד למט"ש האזורי, ובכך למנוע אפשרות של תקלות, דליפות והזרמת השפכים לטבע. אגנים ירוקים אינם תחליף למט"ש אזורי והם מסוגלים לתת מענה בקנה מידה קטן, ובכך לפתור את בעיית השפכים בבסיסי צה"ל מרוחקים בדרום הארץ. אגנים ירוקים יכולים לעזור בטיהור שפכים במקומות בהם יש קושי בחיבור למערכות ביוב קיימות ולתת פתרונות מקומיים, כמו במקרה של בסיסי צה"ל המרוחקים ממכונני טיהור אזוריים. מערכת אגנים ירוקים הינה טכנולוגיה אמינה אשר משתמשים בה בכל העולם, החל משנות ה-50, כולל לטיפול בשפכים גולמיים ותעשייתיים. גם בצבא ארה"ב נעשה שימוש נרחב במערכות של אגנים ירוקים והוא הוכח כיעיל. בישראל, השימוש בטכנולוגיה זו הינו מועט ולרוב היא משמשת כתחנת מעבר למי קולחים, כמטהר אחרון בשרשרת הטיפול. כמו כן קיימת התנגדות בקרב מקבלי ההחלטות לטיפול מקומי (ללא חיבור למט"ש) במערכת אגנים ירוקים מאחר והמערכת טרם הוכיחה עצמה בארץ וישנה עדיפות לטיפול במתקנים גדולים באופן ריכוזי.

מערכת אגנים ירוקים הינה מערכת מודולארית המתאימה לטיפול בשפכים מסוגים שונים, כולל שפכים ייחודיים, הנמצאים בבסיסי צה"ל מתוקף פעילותם הצבאית. זוהי מערכת שמסוגלת להתמודד עם תנודתיות בשפכים ומתקבלות איכויות שונות של קולחים הנדרשות ביציאה מהמערכת, בהתאם לשימוש שנעשה בהם (השקיה, השבה לנחלים, ליטוש). ניתן לשלב סוגים שונים של אגנים ירוקים לצורך הפקת יעילות מרבית של המערכת והעלאת יעילות הרחקת המזהמים. מקרה לדוגמא ניתן לראות בבסיס חיל האוויר ברמון, שם הוקמה מערכת כזו בשנה האחרונה, והיא מטפלת ביעילות בשפכים הסניטריים של הבסיס. את המים היוצאים מהמערכת מנצלים להשקיית פארק גדול בתוך הבסיס.

הטיפול המקומי בשפכים מאפשר ניצול חוזר ויעיל של מי הקולחים בבסיסי צה"ל עצמם. בין אם מדובר בהשקיה של פארקים המיועדים לרווחת החיילים או מערכת אגנים ירוקים המהווה בריכה נופית ואסתטית, כמעין "ריאה ירוקה" בתוך הבסיס. ניצול חוזר של המים מביא תועלת רבה הבאה לידי ביטוי בשמירה על הסביבה, וחסכון במים.

רשימת מקורות

דוחות

- דוח ועדת ענבר לתקני איכות מי קולחין, כתב דורון לביא, מאי 2004.
- דו"ח ועדת הלפרין, "עקרונות למתן היתרים להשקיה בקולחים", אוגוסט 1999 (מעודכן באוקטובר 2002)
- דו"ח שנתי משרד מבקר המדינה מס 55א לשנת 2004
- דו"ח ועדת החקירה הממלכתית בנושא ניהול משק המים בישראל, מרץ 2010.
- דוח משרד מבקר המדינה 61א, פעילותם של צה"ל ומשרד הביטחון בתחום הגנת הסביבה בצה"ל, שנת 2010.
- משרד הבריאות-המחלקה לבריאות הסביבה, דו"ח פעילות מסכם לשנת 2003, רשות הטבע והגנים, היחידה לניטור סביבתי.
- עמדת המשרד להגנת הסביבה בנושא משבר המים בישראל, 2009.

מסמכי כנסת

- זיהום קרקע בישראל- התופעה ודרכי הטיפול בה, כתב יניב רוני, אוגוסט 2009
- משבר משק המים בישראל- יישום והמלצות ועדת החקירה הפרלמנטארית למשק המים ולפיתוח בר קיימא, כתבה פלורה קוך דביבוביץ', יולי 2008, עמ' 3-4.

החלטות ממשלה

- החלטת ממשלה מס' 4895, 7 למרץ 1999.
- החלטת הממשלה מס' 246, 14 למאי 2003.
- חוק הרשויות המקומיות (ביוב) התשכ"ב 1962.
- תקנות המים (מניעת זיהום מים) (בורות ספיגה ובורות רקב), התשנ"ב-1992
- תקנות בריאות העם (תקני איכות קולחים), התש"ט 2009
- תקנות בריאות העם (תקני איכות מי קולחים וכללים לטיהור שפכים), התש"ע - 2010

מקורות אינטרנטיים

- אדם טבע ודין

<http://www.adamteva.org.il/?CategoryID=878&ArticleID=641>

[pdf.biyuv/dbsAttachedFiles/Uploads/ il.org.adamteva.www://http](http://www.adamteva.org.il/Uploads/dbsAttachedFiles/biyuv.pdf)

□ המשרד להגנת הסביבה – תקני איכות מי קולחין, 2012
<http://www.sviva.gov.il/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWh at=Zone&enDispWho=kolhim&enZone=kolhim>
<http://www.sviva.gov.il/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWh at=Zone&enDispWho=kolhim&enZone=kolhim>

- Environmental Protection and enhancement army regulation feb. 1997 sec. 2-6 Environmental Protection Agency website:
(www.epa.gov/wetlandsmitigationmarch 2008)
(<http://water.epa.gov/lawsregs/guidance/wetlands/sec404.cfm>)

מקורות נוספים

- אורון גדעון וחברים, (2009), הנחיות חלופיות להשבת מים אפורים, "מים והשקיה", גיליון 504.
- אשכנזי, מ., ספיר, ג. (2010), מחקר מס' 8-608 - ישימות של מערכות אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל.
- פרופסור גזית אביטל (2012) ראיון אישי, אוניברסיטת ת"א (עטר זהבי & רעות זמיר & סיגלית ניר מראיינים).
- גפני, א., י. בר-אור, (1995), הצעה רעיונית לפתרון בעיית עודפי קולחים על ידי ניצולם להחייאת הנחלים הראשיים בישראל, "מים והשקיה", גיליון 345, עמ' 45-48.
- גפני, א. (2000), אגנים ירוקים-חלופה סביבתית לטיהור ולניצול שפכים/קולחים, "מים והשקיה", גיליון 399, עמ' 12-22.
- גרין, מ. (1995), שיקום נחלים באמצעות אגנים ירוקים. אקולוגיה וסביבה, כרך 2 גיליון 3, עמ' 157-160.
- הלפרין, ר., עלוני, א. (2003), כללים לשימוש חוזר בקולחים בעיר, בנופש ובתעשייה, מדינת משרד הבריאות, מדינת ישראל.
- צלאל אמיר (2012), ראיון טלפוני (מראיין - עטר זהבי)
- פרידלר, ע., מ. חואניקו, (1996), הקצאת מים לשיקום נחלים נבחרים בישראל, בהוצאת המנהלה לשיקום נחלי ישראל.

- Bar-Or Y. (2000). Restoration of the rivers in Israel's coastal plain. *Water, Air and Soil Pollution*. (123), 311-321.

- JNF(2009), facts and figures on Israel's water shortage.
- Kadlec R. H. & S. D. Wallace. (2009). *Treatment Wetlands* .Second edition . CRC Press, Tylor & Francis Group.
- Safier G. (2006). *Application of Constructed Wetlands in Israel*. Bachelor Thesis, Brandenburg University of Technology, Faculty IV, Cottbus, Germany
- Public works technical bulletin, us engineering corps JUNE 2003US Army corps of engineering Honolulu district Aug.2008
- Vymazal J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment* .48-65 ,(380)

נספח 1: ביצוע תכנית לחיבור צה"ל לביוב

מזכירות הממשלה

החלטה מס. 1770 של הממשלה מיום 10.06.2010.

הממשלה ה-32 בנימין נתניהו

ביצוע תכנית לחיבור מחנות צה"ל לביוב נושא ההחלטה:

1. להטיל על שר הביטחון לבצע את התכנית הרב שנתית שהוכנה על ידי צוות מחליטים: בינמשרדי בראשות המינהל לתשתיות ביוב במשרד התשתיות הלאומיות לחיבור מחנות צה"ל לפתרונות ביוב (להלן - "התוכנית"), כמפורט להלן:

א. משרד הביטחון יחבר את מחנות צה"ל המפורטים בתוכנית למערכות ביוב קיימות, ובמקרים בהם החיבור למערכות ביוב קיימות אינו אפשרי, יקים פתרונות ביוב למחנות. זאת תוך שימוש בטכנולוגיות יעילות וסטנדרטים מקובלים, ובתיאום עם המינהל לפיתוח תשתיות ביוב ברשות הממשלתית למים ולביוב.

ב. התוכנית תבוצע על פני חמש וחצי שנים, בהתאם לסדרי העדיפויות המפורטים בתוכנית.

2. להטיל על שר הביטחון ועל השר להגנת הסביבה לממן את ביצוע התוכנית האמורה באמצעות הקצאת תקציבים כדלקמן:

שנה	משרד הביטחון	המשרד להגנת הסביבה (הלוואה)	סה"כ הסכום המוקצה לתוכנית
2010	20	12.5	32.5
2011	40	25	65
2012	40	25	65
2013	50	30	80

2014	50	30	80
2015	50	27.5	77.5
2016	50	50	-
2017	50	50	-
2018	50	50	-
סה"כ	400	0	400

3. התכניות תוגשנה לאישור מקצועי והנדסי של המינהל לפיתוח תשתיות ביוב להבטחת איכות ביצוע העבודות, ליווי יישומן בשטח, והקצאה יעילה של התקציבים שהוגדרו בהחלטה זו.

4. הקצאת התקציבים על-ידי המשרד להגנת הסביבה תיעשה באמצעות השתתפותו בתקציב משרד הביטחון בשנים 2010 עד 2015. השתתפות זו תועמד כהלואה למשרד הביטחון אשר תוחזר במהלך השנים 2016 עד 2018, בהתאם לאמור בסעיף 2 לעיל.

5. התקציבים האמורים בטבלה שבסעיף 2 לעיל ישמשו אך ורק לפרויקט חיבור מחנות צה"ל לביוב.

6. התקציבים אותם יקצה המשרד להגנת הסביבה ישמשו למימון הפרויקט רק לאחר שהוצא באותה השנה מלוא הסכום המוקצה על-ידי משרד הביטחון בהתאם לסעיף 2 לעיל.

7. משרד הביטחון יתקצב באופן מיידי סך של 400 מיליוני ש"ח בהרשאה להתחייב בתקציב הביטחון לשנת 2010.

8. משרד הביטחון יקצה לנושא סכומים כאמור בסעיף 2 לעיל מדי שנה בקבוצת אוצר נפרדת בתקציב הלא מסווג.

9. כל בסיס חדש יחובר למערכת טיהור השפכים על פי הוראות כל דין, לרבות דין עתידי, ללא בקשת הגדלת תקציב משרד הביטחון.

10. משרד הביטחון ישא במלוא העלות של הפרויקט, גם אם תהיה בפועל שונה מ-400 מיליוני ש"ח באופן בו יעמיד תקציב מזומן שנתי בגובה 50 מיליוני ש"ח עד לסיום הפרויקט.

11. להטיל על שר הביטחון להגיש תוכנית עבודה רב שנתית לחיבור מחנות צה"ל לביוב לאישור המינהל לתשתיות ביוב והמשרד להגנת הסביבה לא יאוחר מיום 31 ביוני 2010.

12. להקים צוות משותף בראשות המינהל לתשתיות ביוב שחבריו יהיו עובדי

משרד הביטחון, המינהל לתשתיות ביוב והמשרד להגנת הסביבה, ולהטיל על שר הביטחון לדווח אחת לרבעון על סטטוס ביצוע התוכנית.

13. לבקשת השר להגנת הסביבה, להקים צוות משותף, שחבריו יהיו עובדי משרד הביטחון והמשרד להגנת הסביבה, ומטרתו לבחון את התמודדותו של משרד הביטחון עם מפגעים סביבתיים אחרים.

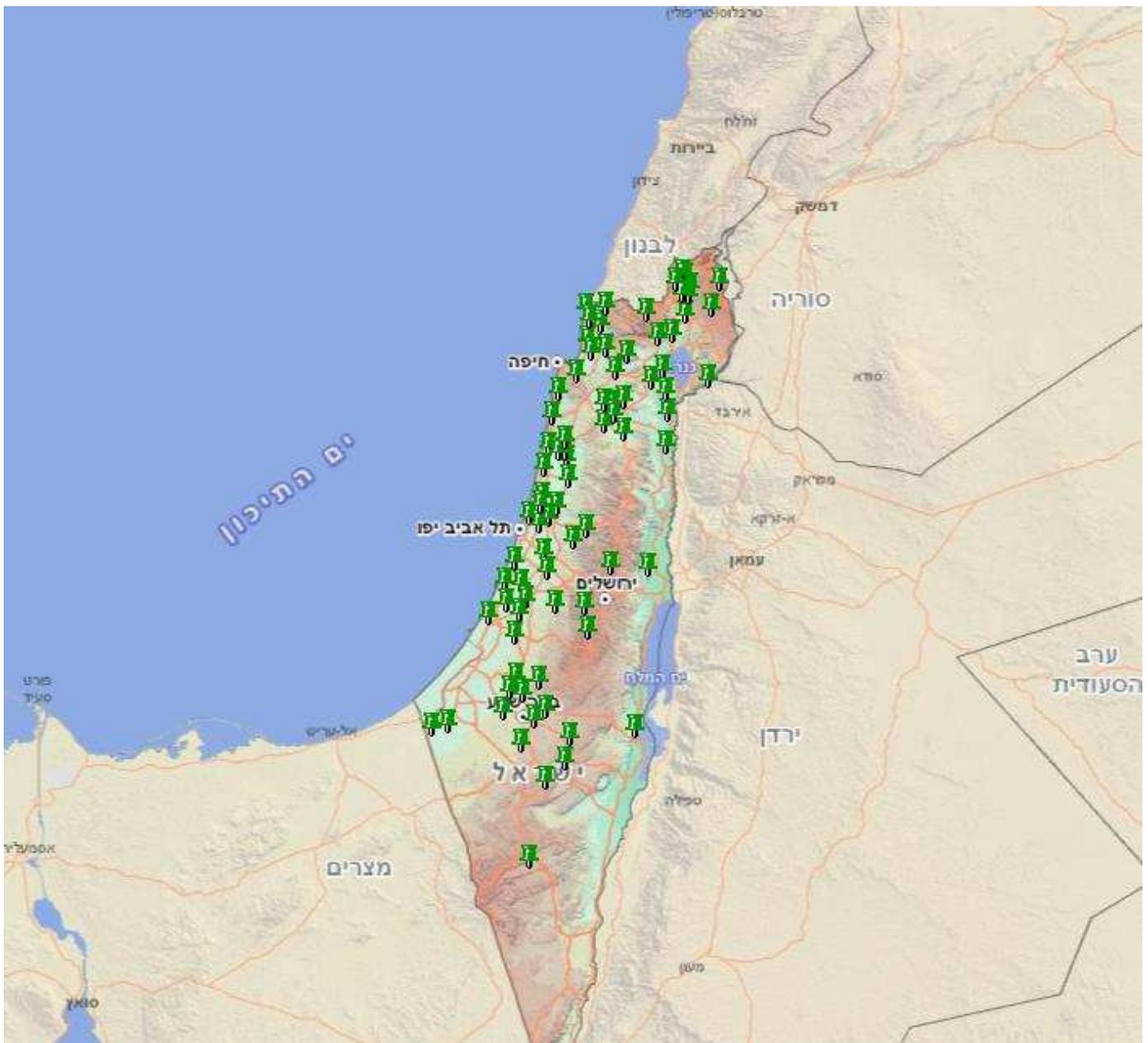
(*) רשימת מחנות צה"ל המפורטים בתכנית שמורה במזכירות הממשלה."

נספח 2: מפת מט"שים בישראל 2012

מתוך אתר המפות הממשלתי:

<http://beta.govmap.gov.il>

מפה זו מראה שבאזורים מסוימים בארץ לא קיימים כלל מט"שים שאליהם ניתן לחבר את בסיסי צה"ל, לדוגמה בדרום הארץ.



רמות מרביות ליסודות ורכובות מומסים ומרחפים ולפרמטרים שונים בקולחים במוצא המט"יש להשקיה ללא מגבלות ולהרחקה לנחלים

טור ב'	טור א'		
נחלים	להשקיה ללא מגבלות*	יחידות	פרמטר
	1.4	dS/m	מוליכות חשמלית
10	10	mg/L	BOD
10	10	mg/L	TSS
70	100	mg/L	COD
1.5	20	mg/L	חנקן אמוניאקלי
10	25	mg/L	חנקן כללי
1.0	5	mg/L	זרחן כללי
400	250	mg/L	כלוריד**
	2	mg/L	פלוואריד
200	150	mg/L	נתרן
200	10	יח' ל-100 מל.	קולי צואתי
3<	0.5<	mg/L	חמצן מומס
8.5-7.0	8.5-6.5		PH
1		mg/L	שמן מינרלי
0.05>	1	mg/L	כלור בותר
0.5	2	mg/L	דטרגנט אניוני
	5	(mmol/L) ^{0.5}	SAR
	0.4	mg/L	בורון**
0.1	0.1	mg/L	ארסן
0.0005	0.002	mg/L	כספית
0.05	0.1	mg/L	כרום
0.05	0.2	mg/L	ניקל
	0.02	mg/L	סלניום
0.008	0.1	mg/L	עופרת
0.005	0.01	mg/L	קדמיום
0.2	2	mg/L	אבץ
	2	mg/L	ברזל
0.02	0.2	mg/L	נחושת
	0.2	mg/L	מנגן
	5	mg/L	אלומיניום
	0.01	mg/L	מולבדינום
	0.1	mg/L	ונדיום
	0.1	mg/L	בריליום
	0.05	mg/L	קובלט
	2.5	mg/L	ליתיום

נספח 4 : ראיון טלפוני עם אמיר צלאל- מהנדס סביבה בחברת טריפל T :

הראיון נערך ע"י הסטודנט עטר זהבי, ב- 15.1.2012, במסגרת עבודה סמינריונית בקורס פרויקטים בחקר הסביבה בביה"ס פוטר ללימודי סביבה באוניברסיטת ת"א. מטרת הראיון הייתה איסוף מידע על הקמת ותפעול מערכת האגנים הירוקים שהוקמו ע"י חברת טריפל T בבסיס רמון בנגב.

שאלה: מתי החלו לפעול האגנים הירוקים בבסיס רמון ובאיזו מסגרת?

תשובה: האגנים החלו לפעול לפני כארבעה חודשים (ספטמבר 2011), לאחר עבודת הקמה שערכה כשנה, מסוף שלב התכנון. האגנים פועלים במסגרת השבת מים לפארק צמחייה בבסיס שנתרם ע"י JNF (Jewish National Fund) ארה"ב.

שאלה: מדוע בחרתם להשתמש בשיטת Tidal Vertical Sub Surface Flow?

תשובה: שיטה זו מאפשרת שימוש באמצעים מכאניים להכנסת חמצן לשפכים ומאפשרת טיפול אירובי טוב יותר תוך כדי שמירה על פשטות הפעלה. השיטה מבוססת על שימוש בשתי משאבות בין שני אגנים עם זרימה ורטיקלית בין אגן לאגן. ישנם מקומות בהם מנצלים הפרשי גבהים אך כאן לא היו הפרשי גבהים ולכן השימוש במשאבות.

ריקון אגן מביא להכנסת חמצן וכך השפכים עוברים מאגן לאגן עם הפרשי עומס נמוכים. יתרון נוסף של השיטה הוא שאין עודפי בוצה. כמו כן אין ציוד מכאני רב, ולמעשה פרט לשתי המשאבות אין כלל ציוד שיכול להתקלקל.

שאלה: האם יש שימוש בצמחים בשיטה זו?

תשובה: בשיטה זו אין שימוש בצמחים כלל, וכל זרימת המים נעשית מתחת לשכבת חצץ, דבר המקטין את אובדן המים ע"י אידוי. לפי הספרות שימוש בצמחים לא עוזר לתהליך טיהור המים, אולי פרט להרחקת מתכות ומיקרו- מזהמים, ואלמנטים אלו אינם משמעותיים בשפכים סניטריים. כמו כן חוסר השימוש בצמחים חוסך את קציר הצמחייה.

שאלה: האם האגן אמור לטפל רק בשפכים אנתרופוגניים ולא מסוגל לטפל גם בדלקים ושמונים לדוגמה?

תשובה: ישנן מגבלות לפי חוק שלא מאפשרות טיפול בשמונים מינרלים. בבסיס יש מטבח עם בור מפריד שומן וכל עסק נדרש להפרדת שמונים משאר השפכים הסניטריים, גם בערים. לפעמים קורה שיש גלישה אך האגנים הירוקים לא אמורים להתמודד עם שמונים. האגן עומד גם במגבלות הסטנדרטיות בחוק.

שאלה: באיזה נפח שפכים מדובר ובאיזה היקף שטח?

תשובה: מדובר בהיקף של כ- 200 קוב ליום שפכים עתידיים על שטח של 2500 מטר רבוע- רק האגנים. כלל המערכת יושבת על שטח של כחמישה דונם, וכוללת גם בריכות לקליטת הקולחין. בעבר היו קיימות בבסיס ארבע בריכות כחלק ממתקן טיפול שפכים אינטנסיבי וכעת שתיים מהבריכות הוקצו לטובת האגנים הירוקים ושתיים משמשות עדיין כבריכות אידוי.

שאלה: מדוע הפסיקו להשתמש במט"ש האינטנסיבי?

תשובה: החליטו להפסיק את השימוש בגלל קושי התפעול במט"ש. המערכת שלנו מאוד פשוטה לתפעול, וגם אם משאבה מפסיקה לפעול מסיבה כלשהי עדיין האגן הירוק עומד בדרישות. למעשה לא זקוקים לאיש מקצוע שיתפעל את האגנים הירוקים.

שאלה: מי אחראי על תפעול האגנים הירוקים כרגע?

תשובה: חברת טריפל T התחייבה לטפל באגנים הירוקים ב- 5 השנים הראשונות, ואחר כך יחליטו לגבי ההמשך. ייתכן שבהתאם להפרטות שנעשות בצה"ל יחליטו להפריט גם את הטיפול בשפכי הבסיסים.

שאלה: מה עושים עם המים המטוהרים שיוצאים מהאגנים הירוקים?

תשובה: ביציאה חלק מהמים הולכים לחיטוי ברמה שלישונית ואז משמשים להשקיית הפארק ש- JNF בנו בבסיס וחלק הולכים לבריכות האידוי. המים משמשים אך ורק להשקיה, אסורים לשימושים נוספים כגון הדחת אסלות לפי תקנות וועדת הלפרין ממשרד הבריאות. ספיקת המים מתוכננת כך שבריכות האידוי יוכלו להתמודד עם עודפי המים ואין שחרור מים מחוץ לבסיס. איכות המים לאחר החיטוי עומדת בסטנדרטים של השקיה חקלאית מוגבלת ומשמשים להשקיית הפארק שהוקם, כולל מדשאות שצורכות מים רבים.

שאלה: מהם יתרונות השיטה באקלים מדברי?

תשובה: יחסית לשיטות אקסטנסיביות אחרות בהן זמן הטיפול הוא ארוך ולכן יש אידוי רב, כאן זמן הטיפול הוא קצר יחסית, עקב הכנסת האוויר למערכת באופן פעיל, שמקטינה את משך הטיפול. כמו כן כל הטיפול מתבצע מתחת לחצץ ועוזר במניעת אידוי מיותר.

שאלה: האם ניתן לטפל גם בשמנים באמצעות האגן הירוק?

תשובה: לא מטפלים טיפולים ביולוגיים בשמן מינרלי, בעל פוטנציאל אנרגטי גבוה. את השמנים אסור לשפוך גם לפי התקנות, לכן אוספים אותם בבורות איסוף.

נספח 5: ראיון עם פרופסור אביטל גזית מתאריך 1/2/2012 :

1. האם לדעתך ניתן לטפל בביוב אנטרופוגני במקום הזיהום באמצעות אגנים ירוקים (למשל בבסיסי צה"ל מבודדים)? האם יש צורך בטיפול מקדים כלשהו?

תשובה: שיטת אגנים ירוקים היא שיטת טיהור מבוססת הכוללת ארסנל של אפשרויות על בסיס אגנים ירוקים. צרוף של פיסיקה, כימיה וביולוגיה בא לידי ביטוי במערכת זו ויכול להיות מכוון למזהמים מסוימים. הטיפול נעשה בהתאם למקום בו הוא פועל. לכל מקום יש אפיון של השפכים בהתאם להרכב האוכלוסיה, מפעלים, תעשייה, חקלאות.

2. מהם יתרונות שיטת האגנים הירוקים על פני שיטות אחרות לפי נסיוןך עם מערכות כאלו בעבר?

תשובה: אחד היתרונות של השיטה הוא שיש לה מגוון תנאי סביבה גם במערכת בודדת וגם בשילוב בין מערכות. ורטיקל – הכנסת אוויר שגורמת לחמצון המערכת. הורזונטל – אין הכנסת אוויר ומתקיימים תנאים אנאירוביים. בשתי המערכות יש תנאים שונים ולכן קיים מגוון אוכלוסיות של חיידקים ופטריית הגדלים בתנאים שונים, ובהתאם לכך הפעילות שהם מבצעים בטיהור השפכים.

יתרון נוסף – האוכלוסייה המפרקת נשארת במערכת לאורך זמן כיוון שהיא נשארת במערכת (הקרום הביולוגי שעל גבי המצע האבני), ומי שעובר זה רק המים. גם חיידקים ופטריית שגדלים לאט נמצאים במערכת זו, דבר שמגדיל עוד יותר את מגוון המפרקים והיכולות שלהם. ברוב המקרים צריכים שילוב של תנאים לטיהור איכותי, גם אירובי וגם אנאירובי. לדוגמא: אמוניה הינו אחד מתוצרי הפרוק של חומר אורגני שהינו מאד רעיל ונדף. בשפכים ביתיים ישנה הצטברות של אמוניה בשל עומס אורגני גדול. ניתן לסלק אמוניה על יד חמצונו לניטראט בתהליך ניטריפיקציה, וזה נעשה בסביבה אירובית. (במערכת אגנים מסוג ורטיקל) את הניטראט נהפוך לחנקן גזי בתהליך שנקרא דה-ניטריפיקציה, תהליך שמתקיים בתנאים אנאירוביים (במערכת אגנים מסוג הורזונטל). החנקן הגזי מתנדף לאוויר. שתי אוכלוסיות החיידקים המפרקים שונות ולכן נדרש מגוון תנאים. א-פריורי, ניתן לחשוב שדווקא שילוב של אפשרויות ייתן תוצאה טובה יותר של פרוק.

3. באיזה אגן ירוק היית ממליץ להשתמש בבסיסי צה"ל בדרום?

תשובה: טיפול בשפכים ביתיים נעשה ויעילותו מוכחת. טיפול בשפכים הכוללים המצאות של שמנים ודלקים אפשרי כל עוד נעשה טיפול מקדים.

4. האם ניתן לדעתך, להשתמש באגנים ירוקים לטיפול בסוגי שפכים נוספים ולא רק בשפכים אנתרופוגניים? (למשל דלקים ושמינים ומתכות כבדות).

תשובה: כיום מתבצע מחזור שמנים-אוספים שמנים ומעבירים אותם לטיפול, זיקוק ומתקבל שמן לשימוש שונה. אגנים ירוקים אינם יכולים לטפל בשמינים ודלקים נקיים, אלא רק בשאריות הנשטפות עם השפכים או עם מי הנגר.

חייב להיות טיפול קדם לשפכים אם אין טיפול מקדים המערכת לא תעבוד. אגן ירוק נועד לשפר את הקולחים ולא עומד בפני עצמו. בריכה ראשונית היא בריכת שיקוע- קדם טיפול להרחקת מוצקים. ממנה עובר לבריכה שנייה, בריכת חמצון, שם מתחיל הטיפול הביולוגי. קימות שם אצות שמספקות חמצן למערכת והחיידיקים מתחילים בפרוק. משם המים עוברים למערכת משולבת לטיפול של אגנים ירוקים. המערכת הקלאסית האולטימטיבית כוללת: vertical, אח"כ horizontal, ואחרון free flow, ואחריו המים נשאבים. נקודת המפתח להצלחת התהליך היא זמן שהייה. ככל שהמים נמצאים יותר זמן במערכת, החיידיקים מפרקים טוב יותר. כלומר צריך מערכת גדולה יותר או שצריך להעביר בסחרור מספר פעמים על אותו אגן וזו מערכת שדורשת משאבה ואנרגיה ויש לקחת זאת בחשבון מבחינת עלויות ותחזוקה.

מתכות כבדות הינן חומרים שאינם מתפרקים, ולכן אינם יכולים להיעלם. ישנה שיטה שנקראת phytoremediation שבה החומר נאגר בצמחיה אך גם במקרה זה יש גבול מסוים לכמות. אפשר לתת לצמחיה לגדול, קוצרים את הצמחים ושוב נותנים להם לאגור מתכות ולגדול וחוזר חלילה. את הצמחייה שנקצרה שולחים לטיפול שנעשה במקום אחר, ברמת חובב לדוגמא.

5. האם ניתן לדעתך, לאור הקשיים הרגולטוריים, להשתמש במים שטופלו ע"י אגנים ירוקים גם מחוץ לבסיסים, למשל לצורך השבה לנחלים ולמי תהום?

תשובה: המים היוצאים צריכים לעמוד בתקן מסוים ואיכות מסוימת כדי שניתן יהיה להשתמש בהם. לא מאשרים שיטה שלא נותנת איכות זו.

אחת השיטות לשיפור קולחים היא SAT – שיטה בה מעבירים את הקולחים דרך חול המשמש כמסננת ויוצאים באיכות של מי שתייה. יתכן ואם יש עודפי מים בבסיסים ניתן לעשות בריכת חלחול במקום בריכת אידוי, ואז המים יחלחלו למאגר כלשהו. תהליך זה יבוצע במקום כלורניציה. זהו תהליך איטי ביותר וככל ששכבת החול גדולה יותר איכות המים המתקבלת טובה יותר. אחרי זמן מסוים של שימוש יש צורך להחליף את החול, והשאלה מה זמינות החול.

6. אילו שימושים נוספים למים מטופלים היית מציע, פרט להשקיית גינות בבסיסי צה"ל?

תשובה: הבעיה עם מדשאות היא בעיה בריאותית של מחוללי מחלות (פתוגנים). אם עושים כלורניציה למים פותרים את הבעיה. כלורניציה היא בעצם טיפול נוסף ועוד השקעה כלכלית, מלבד זאת כלור מרוכז הינו חומר מסוכן (מחמצן חזק) ודורש תנאים להחזקתו ומפעיל מוסמך לשימוש בו.

מדובר בשיטה ידידותית לסביבה ובמצב בו אין מה לעשות עם המים ניתן להקים בריכה נופית.

7. מדוע לדעתך השימוש באגנים ירוקים בארץ מועט ביחס לנהוג בעולם?

תשובה: אגנים ירוקים אינם תחליף למט"שים. הם נועדו לקנה מידה קטן ולתת פתרונות מקומיים בלבד. כיצד גילו שיטה זו? שחררו שפכים לביצות טבעיות וגילו שנעשתה שם עבודת טיהור טובה. הבעיה ששיטה זו דורשת שטחים נרחבים. כיום מדובר על שטחים מצומצמים יותר ולכן זה נהפך רלוונטי יותר גם לישראל. אין הרבה ניסיון בארץ עם שיטה זו במיוחד בקנה מידה גדול. המערכת הגדולה ביותר כיום בארץ היא בירקון. עקרונית ניתן להתאים אגנים ירוקים לטיפול בכל סוג של מזהם. בהקשר זה יש בעולם חברות רבות ופחות בארץ עם שיטות בלעדיות (כולל פטנטים). חשוב להשתמש בטכנולוגיה זו בתבונה, לדעת למה היא מתאימה ולמה לא.



כיצד ישפיע שימוש במים אפורים להדחת אסלות על כמות ומחיר המים הזמינים לחקלאות בישראל

אמרי אהרוני 036280964, ניצן עינב 037692613,

לב רוזנשטיין 305821621

מרצה: פרופ' אביטל גזית

מסיע: אלון אלירן

הצעת מחקר במסגרת קורס "פרויקטים בחקר סביבה"

אדר התשע"ב, מרץ 2012

תוכן עניינים:

עמ'	
3	1. מבוא
4	2. רקע
4	2.1. משק המים בישראל – תמונת מצב
4	2.1.1. משק המים בישראל
5	2.1.2. המחסור במים, צפי משק המים העתידי
5	2.2. מערכות מים אפורים – פוטנציאל שימוש וחסכון
6	2.2.1. איכות מים נדרשת למערכות מים אפורים
7	2.2.2. סוגי מערכות קיימים לשימוש ביתי
9	2.2.3. היתכנות טכנית וכלכלית
10	2.3. מצב הקולחים בישראל
10	2.3.1. מערך המטש"ים – נתונים
11	2.3.2. שימוש בקולחים בחקלאות, יתרונות וחסרונות של השקיה בקולחים
12	2.3.3. תעריפי מים שפירים וקולחים לחקלאות ולצריכה הביתית
13	2.4. סקירת שימוש במים אפורים וקולחים בעולם
15	3. הקשר בין הצריכה הביתית לצריכה החקלאית
16	4. המוטיבציה שלנו לשאלת המחקר
17	5. שאלת המחקר
17	6. השערת המחקר
17	7. מטרות מחקר
18	8. ביבליוגרפיה

מבוא 1.

במדינת ישראל ישנו מחסור תמידי במים, מחסור המחייב חשיבה מתמידה לגבי דרכים לחסכון ויעול השימוש במקורות המוגבלים הקיימים.

בישראל מצב ייחודי שבו כמעט כל השפכים ממוחזרים לשימוש חוזר, מרביתם להשקייה בחקלאות.

לצד השימוש בקולחים הולכים ונבנים בישראל מתקני התפלה שלוקחים חלק חשוב בפתרון בעיות המים של ישראל.

אך למתקני התפלה ולהשקיה בקולחים השפעות סביבתיות ארוכות טווח, חלקן עדיין לא ידועות וכמו כן הם צורכים אנרגיה רבה (משאב נוסף במחסור) – מתקני ההתפלה לצורך ייצור מים, המטש"ם לטיפול במים ושניהם צורכים אנרגיה רבה של תחזוקה, הובלה ועוד.

לכן יש צורך לבחון דרכים נוספות לחסכון במים - שימוש במערכות מים אפורים מקודם בארץ ובעולם כאחת הדרכים היעילות לחסכון כזה.

הצעת מחקר זו מבקשת לבחון השפעה של שימוש במערכות מים אפורים להדחת אסלות במגזר הפרטי-עירוני על כמות ומחיר מי הקולחים לחקלאות, מתוך הבנה שלמגזר הפרטי השפעה רחבה על כמות מי הקולחים הזמינה לחקלאות.

משק המים ומחירי המים בישראל מבוססים על מערכת כלכלית סבוכה עם שחקנים ומניעים רבים שיש לקחת בחשבון במחקר.

אנחנו מאמינים כי ניתוח ההשפעות ההדדיות בחדירה נרחבת של מערכות מים אפורים תספק כלי חשוב בידי מקבלי ההחלטות בנוגע לקביעת מדיניות בנושא.

2.1 משק המים בישראל: תמונת מצב**2.1.1 משק המים בישראל**

משק המים בישראל (אספקת מים שפירים וטיפול בשפכים) מנוהל על ידי הרשות הממשלתית למים וביוב אשר אחראית "על שימור ושיקום מקורות המים הטבעיים, פיתוח מקורות מים חדשים ופיקוח על צרכני ומפיקי מים"¹.

אספקת המים והטיפול בשפכים מתבצעת ע"י גופים שונים כמו מקורות, תאגידי מים וביוב עירוניים וחברות פרטיות.

לפי חוק המים (1959) אין בישראל מים בבעלות פרטית, כל אדם זכאי לשימוש במים על פי הקבוע בחוק והקצאת המים נעשית בראיה משקית.

החל משנת 2010 עלות המים לצרכן משקפת את עלות ההפקה והטיפול האמיתית של המים ללא התערבות ממשלתית ישירה. מחירי המים לצרכן הפרטי עלו בעקבות החלטה זו בכ-30-35%, עליה זו נובעת מגורמים נוספים ישירים ועקיפים, ביניהם הקטנת הצריכה עקב מסעות פרסום מוצלחים לצמצום וכן הקמת תאגידי מים רבים המנוהלים כחברות עסקיות, מחירים אלו עדיין מקפלים בתוכם סובסידיה למים חקלאיים.

מחירי המים לחקלאים עדיין מסובסדים, אך בתוך משק המים עצמו ולא מסבסוד חיצוני של הממשלה, בתהליך הולך ופוחת כפי שהוסכם בין הממשלה לחקלאים.

משק המים הינו משק סגור כלכלית – כך שאין מעבר כספים ששולמו על מים ו/או ביוב למטרות שאינן קשורות למשק המים.

2.1.2 המחסור במים, צפי משק המים העתידי

מדינת ישראל נמצאת במחסור מתמשך במים. שנות בצורת רצופות, משטר גשמים לא אחיד, תהליכי עיור וכד' מול אוכלוסיה הולכת וגדלה - יוצרים מחסור במים שפירים וירידה באיכות המים במאגרים הקיימים (כנרת, אקוויפרים) כתוצאה משאיבת יתר.

מקורות אספקת המים נכון ל-2010:²

מתוך סך היצע של 2131 מלמ"ש – מקורות מים טבעיים מהווים מעל 50%, קולחין – כ-20%, והתפלה מהווה קרוב ל-15%.

¹ www.water.gov.il אתר רשות המים

² 19 מתוך תכנית האב הארצית למשק המים, עמוד
<http://www.israelwater.org.il/December%202010.pdf>

הצריכה העירונית (להלן: ביתית) מהווה כ-35% מצריכת המים הכללית הכוללת מי קולחין ומים מליחים לצד המים השפירים (חשוב להדגיש שמי הקולחין נחשבים לחלק ממאגר המים הכללי בישראל) ואם נתייחס למים השפירים בלבד הצריכה הביתית מהווה כ-50% מצריכת המים של ישראל.

הצריכה למשק בית בשנת 2010 היא 100 מ"ק לנפש לשנה. תכנית האב למשק המים מסתכלת קדימה עד 2050 ולפיה מתוכננים מתקני התפלה וניהול משק המים כולו, כך שניתן יהיה לספק מים גם במצבי קיצון (בצורת, ירידה באיכות המים) לאוכלוסייה הגדלה.

בתוכנית האב ישנה הנחה של צריכה ביתית הולכת וקטנה עד ל-95 מ"ק לנפש לשנה בשנת 2050. הנחה זו מתבססת על יעול בשימוש במים אך מדגישה כי "ירידה יציבה בצריכה לנפש תושג רק אם יושקעו המשאבים המתאימים לחיסכון בשימוש במים."³

לפיכך ישנו צורך למצוא דרך להקטנה של כמות צריכת המים הביתית.

2.2 מערכות מים אפורים – פוטנציאל שימוש וחיסכון

מערכת למחזור מים אפורים להדחת אסלות היא מערכת שמטרתה היא חסכון בצריכת מים שפירים במשק הביתי. המערכת מפרידה בין סוגי השפכים הביתיים במקור: "מים שחורים" - זרם המים המגיע מהאסלות ומכיוור המטבח ומכיל ריכוז גבוהה של מזהמים אורגניים ופתוגנים. "מים אפורים" - מכילים ריכוז נמוך יותר של מזהמים ומגיעים מיתר המקורות בבית ובעיקר מהמקלחות, כיורי הרחצה ומכונת הכביסה. המים השחורים מופנים ישירות למערכת הביוב העירונית בעוד המים האפורים נאספים בצנרת הובלה נפרדת ומובלים למתקן שבו מטופלים המים עד רמה תברואתית ואסתטית ראויה ולאחר מכן מושבים על מנת לשמש כמי הדחה לאסלות.

פוטנציאל החיסכון גלום בכך שכל הדחת אסלה שנעשית בשימוש של מים אפורים ממוחזרים מהווה חיסכון של אותה הכמות מים שפירים שבהם נעשה שימוש עד היום.

כמות השפכים הביתיים בישראל נעה סביב 100-150 ליטר לאדם ליום (55-35 מ"ק לאדם לשנה)⁴. ממחקרים שנעשו בנושא התפלגות השימושים השונים של מים במשק הביתי עולה

³ 18 מתוך תכנית האב הארצית למשק המים, עמוד <http://www.israelwater.org.il/December%202010.pdf>

⁴ E. Friedler & N. I. Galil (2008) – on site grey water reuse in multi-storey buildings: sustainable solution for water saving, *department of civil & environmental engineering, technion Israel institution of technology.*

כי 30%-40% מהמים משמשים להדחת אסלות בעוד 38%-50% מהמים מופנים למקלחות, כירי הרחצה ולכביסה⁵. מכך עולה שניתן להחליף את כל מי הדחת האסלות במים שפירים וע"י כך לחסוך עד 40 ליטר לאדם ליום (15 מ"ק לאדם לשנה).

פוטנציאל חסכון משמעותי במים ברמה הארצית ייתכן רק אם תהיה חדירה משמעותית של מערכות כאלו למגזר העירוני בישראל והן יותקנו בבנייני מגורים ורבי קומות. ככל שאחוז גדול יותר ממשקי הבית יעברו לשימוש במים אפורים להדחת אסלות כך החיסכון השנתי למשק המים בישראל יהיה משמעותי יותר ויכול להשפיע על החלטות כגון הקמה של פחות מתקני התפלה או מטשי"ם חדשים. מכיוון שהתקנה של מערכת בבניין מגורים כוללת עלויות גבוהות יחסית של שינוי התשתיות בבניין והקמה של מתקן הטיפול, כמו גם עלויות תפעול ותחזוקה שוטפת ע"י איש מקצוע מוסמך, נמצא שבישראל מערכת כזאת מראה כדאיות כלכלית רק בבניינים בני 3 קומות (או 12 דירות) ומעלה. ב-20 השנים האחרונות כ-55% מבנייני המגורים החדשים שנבנו היו בני 3 קומות או יותר ונראה שבעתיד אחוז זה רק יעלה. במידה ויוסרו ההגבלות בתחום, אזי חדירה ריאלית של 30% מבתי האב בישראל אפשרית עד שנת 2030⁷. במצב כזה יעמוד החיסכון השנתי הכולל על קרוב ל-50 מלמ"ק בהתאם לגידול הצפוי באוכלוסייה⁸.

2.2.1 איכות מים נדרשת למע' מים אפורים

מים אפורים, למרות שנתפסים כנקיים יחסית מכילים כמות ניכרת של זיהום ממקור אנושי, ואינם ראויים לשימוש חוזר בצורתם הגולמית.

איכות המים האפורים משתנה בהתאם למיקום, לאופי הצריכה ואף השעה ביום⁹, מדדי הזיהום העיקריים שנתגלו בספרות המחקרית נעים סביב-

צריכת חמצן כימית COD- 150 עד 450 מ"ג/ל

צריכת חמצן ביולוגית BOD- 60 עד 200 מ"ג/ל

מדד עכירות NTU- 40-240^{10 11 12}

⁵ שם

⁶ אבי אהרוני, מנהל מחלקת השבת קולחים חברת מקורות- "השבת קולחים בעיר כחלק ממערך המים העירוני", מצגת מתוך "קורס פרויקטים בחקר הסביבה" אוניברסיטת ת"א תשע"ב

⁷ E. Friedler & N. I. Galil (2008) – on site grey water reuse in multi-storey buildings: sustainable solution for water saving, *department of civil & environmental engineering, technion Israel institution of technology*

⁸ " מתוך אתר האינטרנט של (2030) - "תחזית אוכלוסיית ישראל עד שנת 2008 הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה

http://www.cbs.gov.il/reader/newhodaot/hodaa_template.html?hodaa=200801056

⁹ A. Grossa, D. Kaplana & K. Bakerb (2007)- Removal of chemical and microbiological contaminants from domestic greywater using a recycled vertical flow bioreactor (RVFB), *ecological engineering 3 1 (2 0 0 7) 107-114*

¹⁰ שם

¹¹ E. Friedler, R. Kovalio & A. Ben-Zvi (2010)- **Comparative Study of the Microbial Quality of Greywater treated by Three On-Site Treatment**

בנוסף מכילים מים אפורים חיידקים ופתוגנים שעלולים להוות סכנה לציבור, אלו נמצאים לרוב בסביבת המחיה של האדם ומוצאים את דרכם אל המים האפורים בעיקר דרך כוירי הרחצה והמקלחת שם מתבצעת הפעילות הסניטרית.

קוליפורמים צואתיים מראים שונות גדולה בין המחקרים עם ערכים שנעים מ 0 ועד 10^5 cfu למ"ל¹³ ¹⁴. מחוללי מחלות כמו *Staphylococcus aureus* ו *Pseudomonas aeruginosa* שעלולים לגרום לזיהומי עור ורקמות ריריות (אף גרון וריאות) או *Salmonella* שאחראי לזיהומים במערכת העיכול נמצאים בריכוזים שמהווים סכנה לבריאות¹⁵. בתנאים אלו ובמקרה שהמים עומדים פרק זמן במערכת בין האגירה לשימוש, יתפתח תהליך פרוק מיקרוביאלי של החומר האורגני שעלול להביא לפגיעה באיכות האסתטית של המים ויצירה של ריחות לא נעימים וכן התפתחות מואצת של פתוגנים ורעלנים. בתנאי מזג האוויר בישראל בגלל החום צפויה התפתחות מהירה יותר ביחס למדינות אירופה והמערב שבהן נעשה רוב השימוש במערכות השבת מים אפורים ולכן נדרש טיפול קפדני יותר.

מטרת הטיפול במערכות מים אפורים היא להביא את המים לרמה ראויה לשימוש בהדחה של אסלות. מבחינה אסטטית המים צריכים להראות צלולים וללא התפתחות של ריחות לא נעימים באסלה או במיכל ההדחה. מבחינה תברואתית המים צריכים להכיל רמה נמוכה של חיידקים פתוגנים בצורה שלא תאפשר הידבקות במחלות של המשתמשים גם אם נוצר מגע עם המים המושבים כתוצאה מנזילה בצנרת או מגע לא מכוון עם מי ההדחה. לכן הדרישות העיקריות ממערכת להשבת מים אפורים להדחת אסלות הן הרחקה כמעט מלאה של החומר האורגני הזמין לפרוק במים ולאחר מכן חיטוי ברמה כזאת שימנע התפתחות חוזרת של פתוגנים לרמה מסוכנת גם בשלב האגירה שלאחר הטיפול.

2.2.2 סוגי מערכות קיימים לשימוש ביתי

מערכות ראשונות שהיו זמינות בשוק התבססו על מיכל שיקוע וסינון פיזי של המים ברמות שונות ולאחר מכן חיטוי בעיקר ע"י הוספה של כלור פעיל למים. מערכות אלו לא הרחיקו מומסים מכל סוג מהמים ודרשו רמת תחזוקה גבוהה והשקעה ניכרת בהוספה של כלור.

Systems, *Environmental Technology*

¹² E. Friedler, Y. Gilboa (2010)- Performance of UV disinfection and the microbial quality of greywater effluent along a reuse system for toilet flushing, *Science of the Total Environment* 408 (2010) 2109–2117

¹³ שם

¹⁴ E. Friedler, R. Kovalio & A. Ben-Zvi (2010)- Comparative Study of the Microbial Quality of Greywater treated by Three On-Site Treatment Systems, *Environmental Technology*

¹⁵ E. Friedler, Y. Gilboa (2010)- Performance of UV disinfection and the microbial quality of greywater effluent along a reuse system for toilet flushing, *Science of the Total Environment* 408 (2010) 2109–2117

עם השיפור בטכנולוגיות הטיפול במים נוספו שיטות חדשות לשוק המסחרי בעיקר- טיפול ביולוגי מואץ- מבוסס על מדיום שבו מתפתחים חיידקי הפרוק (ריאקטור ביולוגי) ואורור של המערכת לקבלת פירוק אירובי מהיר של החומר האורגני. טיפול ממברני- בשיטת אוסמוזה הפוכה, RO, הזרמה של המים בלחץ דרך מדיום פיזי עביר למחצה והרחקה של כל המיקרואורגניזמים כולל פתוגנים ווירוסים, הרחקה מלאה של המומסים האורגנים וניתן להגיע אף עד הרחקה של מלחים.

חיטוי באמצעות קרני UV- יעיל למדי ואפקטיבי לגבי טווח רחב של פתוגנים כולל כאלו שחסינים לכלור. אינו דורש הוספה של כימיקלים למערכת והקפדה על מינונים. אך חיטוי יעיל מתקבל רק כאשר המים צלולים למדי ואין חלקיקים מרחפים שיחסמו מעבר של הקרניים.

מרבית המערכות משלבות במהלך הטיפול שלב ראשוני של השקעה של מוצקים מרחפים גסים ולאחריו שלב של טיפול ביולוגי שיכול לכלול ריאקטור ביולוגי מסוג כלשהו או מיכל אוורור אינטנסיבי שבו מתפרק מרבית החומר האורגני, אחריו יבוא שלב של סינון פיזי או ממברנלי ולבסוף חיטוי. לאחר הטיפול יאגרו המים במיכל אגירה לקראת שימוש חוזר.^{16 17}

במחקר המשווה בין מספר שיטות טיפול שנערך בטכניון בחיפה הראה שטיפול ריאקטור ביולוגי (RBC- rotating biological contactor) או בשילוב טיפול ממברנלי (MBR- membrane bioreactor) מגיעים לתוצאות טובות מאד בהפחתה של מזהמים במים- הפחתה של מעל 95% ב BOD וצלילות כמעט מלאה, 98%-100% הפחתה ב NTU¹⁸.

האיכות המיקרוביאלית של המים- מערכות המבוססות על טיפול משולב כולל חיטוי יכולות להגיע להרחקה של 99% ומעלה בספירת החיידקים הכללית וספירת חיידקי קולי צואתי. גם זיהומים וויראליים למיניהם לא עוברים את שלב החיטוי במערכת¹⁹ כך שניתן לומר שבשלב היציאה ממתקן הטיפול שתי השיטות מביאות את המים לרמה שהוגדרה כ"איכות מעולה" לפי הגדרות וועדת הלפרין לשימוש במים מושבים במרחב העירוני שמשמשות כתקנות משרד הבריאות למתן היתרים למערכות מים אפורים משנת 2008.²⁰ (טבלה 1)

תופעה שנתגלתה במחקרים מראה על אפשרות של התפתחות משנית של חיידקים פתוגנים בשלב האגירה לאחר הטיפול בתהליך שנקרא "אפקט הקפיצה"²¹. לכן יש להקפיד על בקרה על איכות והמים וייתכן שנדרש חיטוי חוזר לפני השימוש.

¹⁶ שם

¹⁷ A. Grossa, D. Kaplana & K. Bakerb (2007)- Removal of chemical and microbiological contaminants from domestic greywater using a recycled vertical flow bioreactor (RVFB), *ecological engineering* 3 1 (2 0 0 7) 107-114

¹⁸ E. Friedler, R. Kovalio & A. Ben-Zvi (2010)- Comparative Study of the Microbial Quality of Greywater treated by Three On-Site Treatment Systems, *Environmental Technology*

¹⁹ שם

²⁰ - ("כללים לשימוש חוזר בקולחים בעיר, בנופש ובתעשייה" הוכן עבור משרד 2003. הלפרין & א. עלוני)
המהנדס הארצי- משרד הבריאות.

²¹ E. Friedler , Y. Gilboa (2010)- Performance of UV disinfection and the microbial quality of greywater effluent along a reuse system for toilet flushing,

טבלה 1- הגדרות משרד הבריאות לשימוש במים מושבים במרחב העירוני (2008), לפי תקני וועדת הלפרין			
איכות "מעולה"	איכות "גבוהה מאד"	איכות הקולחים הדרושה	
0 – בחציון חודשי	10 – במוצע חודשי	ממוצע\חציון חודשי	קולי צואתי –
14	40	מקסימום	
10	10	ממוצע חודשי	צח"ב
NTU 2	5 NTU – או 10 מג"ל מ"מ	ממוצע יממתי	עכירות
NTU 5	10 NTU	מקסימום	
8.5 – 6.5	8.5 – 6.5	הגבה	
1 מג"ל	1 מג"ל	כלור נותר – אחרי חצי שעה זמן מגע	
0.5 מג"ל		* כלור נותר – בחיבורי צרכן	
המים יהיו חסרי ריח		ריח	

2.2.3 היתכנות טכנית וכלכלית

איכות המים הנדרשת ואופי הבניה גוזרים את מבנה המערכת שיוקם. במרחב עירוני צפוף, קרי בנייני דירות רבי קומות שהם היעד לחדירה מסיבית של מערכות יש צורך להתקין מערכת מרכזית שתרכז את כל המים האפורים בבניין למתקן הטיפול ותשיב אותם להדחת אסלות באמצעות צנרת נפרדת. על מנת למנוע סכנה לבריאות המשתמשים יש לדאוג לבקרה ותחזוקה שוטפת של המערכת ע"י חברה או גוף מקצועי מוסמך. מטבע הדברים ההתקנה פשוטה וזולה יותר כאשר היא משולבת בשלב הבניה אך לא מן הנמנע לשלב מערכות גם בבניינים קיימים ע"י שינוי של מערך הצנרת הקיים. ברחבי העולם וגם בישראל קיים היום מגוון רחב יחסית של מערכות פועלות שמגלות אמינות בפעולה ובמדדי האיכות לאורך זמן. לפי הערכה קיימת עלות המתקנים למשפחה פרטית

עומדת על 15-20 אלף שקל, אם אפשרות לחסכון של 12 מ"ק למשפחה לחודש. במחירי המים העדכניים החזר השקעה אפשרי תוך 10-13 שנים.²² בישראל היום, משרד הבריאות שהוא הרשות האחראית על אישור מתקנים לטיפול בשפכים מגביל הקמה של מתקנים בבניינים פרטיים מתוך חשש לרשלנות בפיקוח ותחזוקה של מערכות לאורך זמן, וחדירה של מים מושבים לצנרת מים שפירים בעקבות חיבור לא מתוכנן. חדירה נרחבת של מערכות בישראל תתאפשר רק עם שינוי בחקיקה וקידום הנושא ברשויות הממונות.

2.3 מצב הקולחים בישראל

2.3.1 מערך המטש"ים – נתונים

מידי שנה מיוצרים בישראל כ-530 מלמ"ק שפכים אשר מגיעים לטיפול בכ-135 מט"ש²³. מתוך כלל השפכים הנ"ל כ-75% מושבים להשקיה בחקלאות, כלומר מידי שנה מיוצרים במכוני הטיפול כ-355 מליון מ"ק. כמות זו מהווה כ-31% מסך המים המסופקים לחקלאות (1045 מלמ"ש) וכ-18% מסך המים המסופקים במדינה לכל השימושים.²⁴ בכוננת רשות המים להמשיך ולפתח מט"ש"ים על מנת להגיע ליעד של כ-600 מלמ"ק קולחים בשנת 2020 אשר יהוו כ-95% מכלל השפכים המיוצרים. בשנת 2001 הוקמה ועדה בין משרדית בראשות דר' יוסי ענבר, סמנכ"ל המשרד לאיכות הסביבה. מטרת הועדה הייתה לקבוע תקן חדש לאיכות הקולחין בישראל אשר יחמיר את התקן מעבר לרמה השניונית אשר היתה נהוגה במט"ש"ים. לאחר גיבוש התקן וביצוע ניתוח עלות-תועלת אשר הראתה כי שינוי התקן ייטיב עם המשק הישראלי, עקרונות ועדת ענבר אומצו על ידי ועדת שרים בממשלה. עד היום מרבית המט"ש"ים אינם עומדים בתקן ה"חדש" ותידרש עוד השקעה כלכלית גדולה לצורך השדרוג.

2.3.2 שימוש בקולחים בחקלאות, יתרונות וחסרונות של השקיה בקולחים

²² מרים גרמז, ערן פרידלר, אילן כץ- "מסמך מדיניות סביבתית למשק המים" פרק ז- מיחזור מים אפורים

²³ אתר רשות המים: <http://www.water.gov.il/Hebrew/WaterResources/Effluents/Pages/default.aspx>

²⁴ שם

מדינת ישראל מתפארת באחוז ההשבה הגבוה של מי קולחים להשקיה בחקלאות בהשוואה למדינות אחרות בעולם, ואכן השקייה בקולחים מאפשרת שמירת היקף החקלאות המושקת יחד עם הפניית מים שפירים לשימוש עירוני ללא צורך בשאיבת יתר ממקורות המים.²⁵ אך עם זאת, קולחים מכילים מרכיבים שונים כגון- מלחים, חומר אורגני מרחף ומסיס, חומרי הזנה, מיקרו מזהמים ופתוגנים שיכולה להיות להם השפעה מזיקה על הגידול, הקרקע, מקורות המים והסביבה.²⁶

ניקח לדוגמא את נושא הנוטריינטים (חומרי הזנה). להימצאות ריכוזים גבוהים יחסית של נוטריינטים בקולחים יכולה להיות השפעה אגרונומית וסביבתית. חומרי ההזנה בקולחים יכולים לשמש את הגידול ועל ידי כך להקטין את הצורך בתוספת דישון. לעומת זאת, חומרי הזנה אלו יכולים לנוע בתוך הקרקע או עם מי הנגר העילי ולהגיע למקורות המים ולזהם אותם. כמו כן, מכיוון שריכוז חומרי ההזנה בקולחים לא נקבע על פי צרכי הגידול, במקרים מסוימים השקיה בקולחים עלולה להסב נזק לגידול עקב תוספת חומרי הזנה בשלבים בהם הצמח רגיש לעודף בחומרים כאלו.²⁷

להלן טבלה המסכמת את היתרונות והחסרונות בהשקייה בקולחים בשלושה קריטריונים שונים- סביבתי, בריאותי וכלכלי:

חיסרון	יתרון	
דישון יתר וחלחול נוטריינטים	חסכון בהפקת מים שפירים ושאיבת יתר	סביבתי
חלחול מזהמים ומתכות כבדות	חסכון במתקני התפלה	
המלחת קרקעות	חסכון בשימוש בדשן סינטטי	
דור המזהמים החדש		
צמצום מגוון גידולים חקלאיים		
סכנה לתקלות באיכות המים		בריאותי
סכנה לפתוגנים במזון	-	
פגיעה באיכות מי תהום		
מערכת כפולה – שפירים/קולחים	חסכון במים שפירים	
בלאי ציוד השקייה גבוה יותר	חסכון במתקני התפלה	

²⁵ בן-חור, מ' וי' רבינא. 2002. שימוש בקולחים להשקיה - היבטים אגרונומיים וסביבתיים. הנדסת מים נוזלים ודשקיה, גיליון מס' 20 : 13-22

²⁶ שם
²⁷ שם

עלויות גבוהות במאגרי המים	עלות מים נמוכה יותר לחקלאים=מזון זול יותר	כלכלי
	חסכון בדשן	
	אספקת מים קבועה וידועה	

2.3.3 תעריפי מים שפירים וקולחים לחקלאות ולצריכה הביתית

עלות המים המשוקללת הממוצעת לצרכן הביתי הינה 9.8 ₪ למ"ק והיא מורכבת מעלות מים: 4.2 ₪ למ"ק. עלות טיפול בשפכים: 5.6 ₪ למ"ק. בתוך עלות המים כלול רכיב משמעותי של 0.9-1 ₪ למ"ק סובסידיה למים חקלאיים. סך הסובסידיה הגיע ב-2011 לכדי 480 מיליון ש"ח, ואמור לקטון בהדרגה לפי הסכם שנחתם בין החקלאים לממשלה.²⁸

עלות מים לחקלאות (המסופקים ע"י מקורות)²⁹:
מים שפירים: 1.79-2.56 ש"ח למ"ק (ללא חריגות)
קולחין מהשפד"ן: 0.97 ש"ח למ"ק (ללא חריגות)
קולחין לחקלאות: 0.84 ש"ח למ"ק ויורד עד 0.76 ש"ח למ"ק לקולחין באיכות נמוכה.

2.4 סקירת שימוש במים אפורים וקולחים בעולם

השימוש במערכות מים אפורים הינו נושא טעון ושנוי במחלוקת במדינות רבות ברחבי העולם. מצד אחד ישנם גופים פרטיים ומוסדיים רבים אשר מעודדים את הטמעת המערכות באופן נרחב אך מצד שני ישנם מגבלות וחסמים רבים. פרת'אפר וצוות המחקר, בבואם לחקור את המגבלות בשימוש בממ"א באומן, חילקו את הגורמים השונים המגבילים את הטמעת ממ"א האופן נרחב לקבוצות הבאות; גורמי איכות וכמות וכמו כן גורמים כלכליים,

²⁸ אתר רשות המים http://www.water.gov.il/Hebrew/Rates/Pages/prices_explanation.aspx
²⁹ ספר תעריפי המים והביוב <http://www.water.gov.il/Hebrew/Rates/DocLib1/water-prices-book-1.1.12.pdf>

חוקתיים, חברתיים וממסדיים³⁰. מבחינת המחקר האקדמי, בוצעו ומבוצעים עדיין ניסויים רבים ופרוייקטי פיילוט במערכות מים אפורים ברחבי העולם.^{31 32 33}

מבחינת רגולציה, רק מדינות מעטות הרימו את הכפפה ומעודדות באופן אקטיבי את השימוש בממ"א, ביניהן ניתן לראות את אוסטרליה, יפן וקפריסין.³⁴

באוסטרליה למשל, השיקה הממשלה תכנית לאומית לסבסוד חלקי של התקנת מערכות

מים אפורים ביתיות. The National Rainwater and Greywater Rebate Initiative בין השנים 2009-2011 הציעה ממשלת אוסטרליה לתושבים מענק חד פעמי של עד \$500 אוסטרלי בעבור התקנה של מערכת מים אפורים בבית. במסגרת זאת, שילמה הממשלה מעל 7 מיליון דולר לבעלי בתים ברחבי המדינה. במאי 2011 נפסק הפרוייקט הלאומי בעקבות קיצוצים בתקציב המדינה.³⁵

גם **בארה"ב** היחס לממ"א הוא אמביוולנטי. לא קיימת רגולציה פדרלית וכל מדינה מסגלת לעצמה את מדיניותה בנוגע למים אפורים.³⁶ שתי מדינות שהסדירו את השימוש בממ"א ואף מעודדות אותה הינן אריזונה וקליפורניה. בשתי המדינות הללו קבעו קריטריונים ברורים לשימוש בממ"א וזאת מתוך הרציונאל שאלפי בתים מבצעים שימוש במערכות כאלה באופן פיראטי על כן עדיף להנחיל קווים מנחים לשימוש בטוח מאשר להמשיך להפנות גב למתרחש. כיום על פי הערכות, פועלות במדינת קליפורניה לבד כשני מיליון ממ"א כאשר אחוז קטן מהם בלבד מאושר על פי תקן.

הדירקטיבה האירופאית EEC/91/271 מציינת כי יש לבצע שימוש חוזר במים מטופלים כאשר הדבר מתאים ("whenever appropriate") אך אינה מפרטת מעבר לכך ומשאירה הרבה מקום לפרשנות.³⁷ **בגרמניה**, אשר מובילה בתחום המחקר בנושא, מערכות מים אפורים הינם חוקיים אך יש חובה לרשום את המערכת במשרד הבריאות.

בישראל, ניתן לזהות שלושה תהליכים הקשורים להטמעת שימוש חוזר במים אפורים, במישור החוקתי/מדיני, במחקרים אקדמיים ובקרב הציבור. הראשון, במישור החוקתי/מדיני, הינה הצעת החוק לשימוש במים אפורים שעבר בוועדת הכנסת לחקיקה ב-2010. החוק

³⁰ Prathapar et al, 2006, Overcoming constraints intreated greywater reuse in Oman, Desalination 186, pp. 177-186.

³¹ Nolde, E. Greywater 2005, treatment systems in Germany: Results, experiences and guidelines, Water Science & Technology, 51(10), 203-210.

³² K. Mourad et al, 2011, Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria. *Journal of Environmental Management*.

³³ J.G. March et al. 2004, Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel, Mallorca Island, Spain. *Desalination* 164, 241-247

³⁴ L. Allen et. al. 2010, Overview of Greywater Reuse: The potential of greywater systems to aid sustainable water management, *Pacific Institute*.

³⁵ אתר המשרד לאיכות הסביבה האוסטרלי: <http://www.environment.gov.au/water/policy-programs/nrgi/index.html>

³⁶ CSBE Website: http://www.csbe.org/graywater/report/graywater_reuse_other_countries.htm#2.0

³⁷ V. Somogyi et al. 2009, On-site wastewater treatment systems and legal regulations in the European Union and Hungary. *Agriculture and Environment*, 1, 57-64.

שהוצע על ידי ח"כ ניצן הורוביץ מסדיר את השימוש בממ"א בבניינים ציבוריים חדשים שייבנו. במקביל, מבצעים מחקרים רבים בנושא כאשר מוביל את התחום בישראל פרופ' ערן פרידלר מהטכניון. התהליך השלישי הינו לקיחת החוק לידיים על ידי אזרחים אשר מתקינים מערכות מים אפורים ביתיים מבלי לחכות לתהליך הבירוקרטי שעלול להיסחב עוד שנים רבות.

הקשר בין הצריכה הביתית לצריכה החקלאית

3

בשל רמות השבת הקולחין הגבוהות בישראל נוצר קשר סבוך בין הצריכה הביתית לחקלאית, קשר זה מתבטא הן ברמת ההיצע והביקוש של המים, הן ברמת ניהול משק המים כלכלית והן ברמת המורכבות הפוליטית. ברמת ההיצע והביקוש – כל חסכון משמעותי במשק המים הביתי משפיע ישירות על היצע מי הקולחים לחקלאות, ובהתאם לכך ישתנה הביקוש החקלאי למים שפירים.

ברמת ניהול משק המים – שינוי מהותי בצריכת המים הביתית מצריך התכוננות וראיה רחבה וארוכת טווח על ההשפעות ההדדיות בין המשק הביתי והחקלאי, מתוך הבנה שכל שינוי משפיע באופן ישיר ועקיף של הצריכה הביתית על החקלאית ולהיפך. ברמה הפוליטית – משק המים ושינויים בו מושפעים מהרבה כוחות ולחצים פוליטיים, הקשרים שהוצגו מביאים לכך שלחצים של החקלאים, משרד החקלאות וכו' משפיעים על הצרכן הפרטי ועוד השפעות פוליטיות רבות וקבוצות לחץ משפיעות על היכולת לשינוי. על אף היותו של משק המים ריכוזי – ישנן המון תת-חברות אזוריות ופרטיות שמשפיעות על ניהולו ברמה הפוליטית (מקורות, חקלאים, מטשי"ם, תאגידי מים, עיריות, חברות ההתפלה ועוד)

נכון להיום עדיין קיים סבסוד של המים לחקלאות ע"י הצרכנים הביתיים. סבסוד זה מביא לתלות נוספת בין הצרכן החקלאי לביתי – הקטנת כמות המים בצריכה ביתית כתוצאה משימוש במערכות מים אפורים תביא להקטנת הסבסוד של המים לחקלאות וגם קשר זה יש לקחת בחשבון, יחד עם הפחתת הסבסוד המתוכננת גם כך.

שימוש נרחב במים אפורים להדחת אסלות עלול לגרום לשינוי באיכות השפכים המגיעים למטשי"ם – היות והמים יגיעו עם ריכוז של יותר חומר אורגני, אך כבר אחרי טיפול ראשוני. שינוי באיכות השפכים יצריך שינוי שיש לבדוק ברמת הטיפול במים במטשי"ם מה שיכול לגרום לשינוי במחיר המים היוצאים מהמטשי"ם כקולחים.

המוטיבציה שלנו למחקר

4

ענף החקלאות בישראל הוא ענף עם עדיפות לאומית, שהמדינה קידמה עוד מקומה. עדיפות זו נובעת הן מהערך הלאומי תרבותי שניתן לחקלאות בישראל עוד לפני קום המדינה והן בכדי לעודד ולתמוך בתעשייה החקלאית הענפה הקיימת ולוקחת חלק חשוב בכלכלת המדינה.

מכיוון שהחקלאות מתבססת הרבה על מי קולחים, התבססות הולכת וגדלה, כל השפעה על כמות הקולחים תוביל להשפעה על כמות ומחירי הקולחים הזמינים לחקלאות.

עם זאת, מספר מחשבות הביאו אותנו להציע את שאלת המחקר שתוצג בפרק הבא:

- כ-40% מהמים לחקלאות בארץ הינם מים מושבים, מי קולחין שעברו טיהור במטש"ם ומושבים כמי השקיה לגידולים חקלאיים.
איכות המים היוצאת מהמטש"ם מבוקרת ומנוטרת על בסיס קבוע כדי לוודא איכות מים טובה וראויה לחקלאות, עם זאת הבדיקות נעשות לגבי חומרים מזיקים (פתוגנים וכד') אותם אנחנו מכירים ויודעים לנטר, כיום מתקיימים מחקרים לגבי דור המזהמים החדש המגיע מתרופות וכד' שעדיין אין לנו מידע מלא על השפעתם ועל הדרך לסילוקם³⁸.
אנחנו לא נכנסים במסגרת המצומצמת של הצעה זו לחלוקה של מי ההשקיה לגידולים שונים, אך נציין כי במים המושבים מושקה המזון שאנחנו אוכלים.
- כ-35% מהמים במשק הביתי משמשים להדחת אסלות, כ-17% מהמים השפירים בארץ משמשים להדחת אסלות (!!!!). המים המשמשים לצורך זה הינם מי שתיה שפירים שבמצב רגיל האדם לא בא איתם במגע ישיר כשהוא מדיח את האסלה.
- צריכת המים הביתית בישראל צריכה לרדת משנה לשנה ולהגיע מרמה של 100 מ"ק לנפש לשנה לכדי 95 מ"ק לנפש לשנה עד שנת 2050³⁹.
שלושת המרכיבים שהוזכרו לעיל מביאים אותנו לערער על החשיבה הרגילה שלנו בה מים שפירים משמשים להדחת אסלות בעוד מי קולחין משמשים לגידול מזון, ולחפש דרך להורדת כמות המים למשק הבית העירוני.
שימוש במים מושבים (מים אפורים) להדחת אסלות יקטין את כמות המים המגיעים למטש"ם ומופנים בהמשך לחקלאות (ואף ישפיע על איכותם ולכך נתייחס בהמשך).
אך עם זאת יתכן כי השימוש החוזר במים יאפשר הגדלת מכסות של מים שפירים לחקלאות במחירים נמוכים יותר. מחקר זה מבקש לבדוק את האפשרות לשנות את "סדרי העולם" שהוזכרו לעיל ולתת כלים בידי טווי המדיניות להחליט ולקדם שימוש במים אפורים להדחת אסלות באופן מוסדר ומסיבי במגזר העירוני.

5 שאלת המחקר

כיצד ישפיע השימוש במים אפורים להדחת אסלות, על

מחיר וזמינות המים לחקלאות?

³⁸ A.G.Watkinson et al, 2009, The occurrence of antibiotics in an urban watershed: from wastewater to drinking water, since of the total environment 407, 8, pages 2711-2723

³⁹ תכנית האב הארצית למשק המים, עמוד 19

6 השערת המחקר

- שימוש חוזר במים אפורים להדחת אסלות, במשק הביתי, באופן מסיבי – יביא לחסכון במים שפירים שיכול לאפשר: פינוי מים שפירים לחקלאות ו/או ויתור על מתקני התפלה.
- שימוש חוזר במים אפורים יקטין את כמות השפכים המגיעים למטשי"ם.
- הרכב השפכים החדש יהי שונה ויקטין את עלות הטיפול במטשי"ם.
- שפכים מטופלים במקור ישנו את ההתנהלות של משק המים ויורידו את העלויות בכל הרבדים (עלויות טיפול, בניית מטשי"ם, שדרוג מטשי"ם וכו').
- האוכלוסיה גדלה בקצב גבוה בהרבה מקצב גדילת החקלאות. לכן כמות השפכים ההופכים לקולחים גדל גם הוא.
- שינוי בכמות הקולחים המיוצרים ומחיר הטיפול בהם יביא לשינוי מחיר הקולחים לחקלאות.

7 מטרות מחקר

- בחינה לפי אחוזי חדירה שונים של מערכות מים אפורים להדחת אסלות – כמה מים שפירים יחסכו במשק הפרטי.
- בחינת מידת ההקטנה בכמות ואיכות השפכים המגיעים למטשי"ם, בהתאם לאחוזי חדירה שונים של מערכות מים אפורים להדחת אסלות.
- בהתאם לאותם אחוזי חדירה – בחינת החסכון הכספי בטיפול במטשי"ם ושדרוג/הוספת תשתיות
- מיפוי השחקנים השונים במשק המים והבנת השפעתם על מחירי המים.
- בנית מודל כלכלי המתאר את השינוי הצפוי במחיר וזמינות מים לחקלאות בהתאם לרמות חדירה שונות.

8 ביבליוגרפיה

עברית

אבי אהרוני, מנהל מחלקת השבת קולחים חברת מקורות- "השבת קולחים בעיר כחלק ממערך המים העירוני", מצגת מתוך "קורס פרויקטים בחקר הסביבה" אוניברסיטת ת"א תשע"ב

בן-חור, מ'. וי'. רבינא. 2002. שימוש בקולחים להשקיה - היבטים אגרונומיים וסביבתיים.
הנדסת מים נזלים והשקיה, גיליון מס' 20 : 13-22

מרים גרמז, ערן פרידלר, אילן כץ- "מסמך מדיניות סביבתית למשק המים" פרק ז- מיחזור מים אפורים

. "כללים לשימוש חוזר בקולחים בעיר, בנופש ובתעשייה" הוכן 2003. הלפרין & א. עלוני
עבור משרד המהנדס הארצי- משרד הבריאות

English

A. Grossa, D. Kaplana & K. Bakerb (2007)- Removal of chemical and microbiological contaminants from domestic greywater using a recycled vertical flow bioreactor (RVFB), *ecological engineering* 3 1 (2 0 0 7) 107–114

A.G.Watkinson at al, 2009, The occurrence of antibiotics in an urban watershed: from wastewater to drinking water, since of the total environment 407, 8, pages 2711-2723

E. Friedler & N. I. Galil (2008) – on site grey water reuse in multi-storey buildings: sustainable solution for water saving, *department of civil & environmental engineering, technion Israel institution of technology*.

E. Friedler, R. Kovalio & A. Ben-Zvi (2010)- Comparative Study of the Microbial Quality of Greywater treated by Three On-Site Treatment Systems, *Environmental Technology*

E. Friedler , Y. Gilboa (2010)- Performance of UV disinfection and the microbial quality of greywater effluent along a reuse system for toilet flushing, *Science of the Total Environment* 408 (2010) 2109–2117

Lazarova, V, S.Hills & R.Birks. (2003). "Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing", *Water Science & Technology: Water Supply, Vol. 3(4): 69-77*

V. Somogyi et al. 2009, On-site wastewater treatment systems and legal regulations in the European Union and Hungary. *Agriculture and Environment*, 1, 57-64.

קישורים לאתרי אינטרנט

אתר רשות המים: www.water.gov.il

אתר רשות המים: http://www.water.gov.il/Hebrew/Rates/Pages/prices_explanation.aspx

הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2008) - "תחזית אוכלוסיית ישראל עד שנת 2030":
http://www.cbs.gov.il/reader/newhodaot/hodaa_template.html?hodaa=200801056

ספר תעריפי המים והביוב: <http://www.water.gov.il/Hebrew/Rates/DocLib1/water-prices-book-1.1.12.pdf>

תכנית האב הארצית למשק המים: <http://www.israelwater.org.il/December%202010.pdf>

**איגום מי נגר בשטחי פארקים מטרופוליניים
כמענה לצרכי המים של הפארק
פארק אריאל שרון כמקרה בוחן**



**קורס פרויקטים בחקר הסביבה
תשע"ב, פברואר 2012**



יניב ברפמן

רונה בן ציון

עמית רוזנטל

036364347

066107186

036580538

תוכן עניינים

2.....	רשימת טבלאות ואיורים
3.....	תודות
4.....	תקציר המאמר
5.....	מבוא
6.....	1. רקע
6.....	1.1 מהו פארק מטרופוליני?
6.....	1.2 רקע היסטורי
7.....	1.3 תועלות הפארקים העירוניים
9.....	1.4 אתגרים
13.....	1.5 אקלים ים תיכוני
15.....	2. אפשרויות איגום ותפקודיהם השונים
15.....	2.1 אפשרויות לניצול מי נגר
16.....	2.2 איגום מים
24.....	3. פארק אריאל שרון
23.....	3.1 אגן היקוות נחל איילון
24.....	3.2 התמודדות עם ספיקות שיא בנחל
24.....	3.3 תוכנית אדריכלית לפארק אריאל שרון
25.....	3.4 מאפייני קרקע בפארק
25.....	3.5 צריכת משאבי טבע בפארק
26.....	3.6 מקורות המים לשימושים השונים בפארק
29.....	4. מטרת המחקר וחשיבותו
30.....	5. סיכום לעבודה
32.....	6. ביבליוגרפיה
37.....	נספח א': אגן ההיקוות איילון-ירקון ומיקומו של פארק אריאל שרון באגן
38.....	נספח ב': מאזן עודפי חפירה ומילוי, תוכנית הניקוז, פארק אריאל שרון
39.....	נספח ג': מבנה ליתולוגי של הקרקע בפארק אריאל שרון

רשימת טבלאות ואיורים

18.....	טבלה 1 : מאפייני מי שפכים, מי שטפונות עירוניים ונתוני מים באגנים ירוקים
19.....	טבלה 2 : תיאור הטיפול בזיהומים באגן ירוק

תודות

ראשית נרצה להביע את תודתנו העמוקה לדורון שולץ על הנחייתו בכתיבת עבודה זו. על הסיוע בזיהוי הסוגיות המרכזיות ופענוח המורכבות הייחודית המאפיינת פארקים מטרופולינים בכלל ופארקים בישראל בפרט. הנחייתו המקצועית לאורך הקורס ותרומתו להבנה ובחירת הגישה לניתוח הדילמות המרכזיות היוו חלק מהותי ובלתי נפרד בכתיבת עבודה זו וכן סייעו ליצירת התוצר הסופי והצגתו.

לפרופ' אביטל גזית, אוניברסיטת תל אביב, על הקורס המרתק ומרחיב אופקים.

חשוב לנו להודות להנהלת פארק אריאל שרון; ובפרט למנכ"ל החברה, מר משה בורוכוב והמהנדס הסביבתי, מר שי לוי, על הסיוע באיסוף חומרים ומידע על פארק שרון, הבנת הנושא ולמידתו לעומק.

למהנדסים, מר חובב אלגביש, ממשד המהנדסים לביא נטיף וכן מר דני קסורלה, מהנדס מאגרים ראשי בחברת מקורות. על הקדשת זמן להסבר ולימוד אשר סייע לנו רבות להבין את היתרונות הטמונים בפרויקטים קיימים והיכולת לממש גישה דומה במתחם כדוגמת פארק שרון, הנבחן בעבודה זו.

נרצה גם להודות למר זאב לנדאו מרשות ניקוז ירקון על סיוע באיסוף מידע, שיתוף בידע וניסיון.

תקציר המאמר

(כתבה: רוני בן ציון)

השטחים הפתוחים במרחב המטרופוליני תורמים תרומה משמעותית ליצירת איכות חיים, שמירה על ערכי טבע, נוף ומורשת וכן להקלה בתחושת הצפיפות העירונית. תועלות הציבוריות נובעות מקיומם של פארקים בכלל ופארקים עירוניים הן רבות, הבולטות מביניהן כוללות יצירת אזור של נופש וטיול (בחיק הטבע) בקרבת מקום מגורים, משיכת אוכלוסייה חזקה למגורים בסביבה, ריאה ירוקה לעיר, שבירת איי חום, הפחתת רעש, הפחתת נגר עילי והזנת אקוויפריס.

על מנת לקיים פארק מטרופוליני נדרשים משאבים טבעיים וכספיים רבים. בתוך כך בולטת סוגית המים, כמשאב הכרחי לקיומו של פארק משגשג וירוק לאורך זמן. לאור משבר המים העולמי ויתר על כן כתוצאה ממצוקת המים בישראל עולה הסוגיה הקריטית - **כיצד ניתן לפתח פארקים מטרופוליניים, לטובת הציבור הרחב, כך שלא יהוו מעמסה כלכלית ואקולוגית כתוצאה מצריכת המים לשימושים עצמיים על סביבתם?**

ככלל מקורות המים אשר יכולים להזין את הפארק הינם מי גשמים, מי נגר עירוני, מי קולחים, מים שפירים ואף מים תת-קרקעיים. מאידך שימושי מים משתנים בהתאם לסוגי הפעילויות ושימושי הקרקע המתוכננים בפארק, מיקום הפארק במרחב העירוני, תוואי השטח וכדומה.

פארקים מטרופוליניים באזורי אקלים ים-תיכוני מהווים אתגר של ממש בניהול משק המים המקומי. כחלק ממערך הפתרונות המצויים בשימוש בפארקים מטרופוליניים באזורי אקלים ים-תיכוני ובפרויקטים מקומיים בישראל עולה כי ישנם מספר פתרונות איגום ותיעול של שטפונות ומי נגר עירוני בשימוש ביניהם ניתן למנות אגנים ירוקים, מאגרי צד עונתיים, מאגרים תת-קרקעיים (החדרה למי תהום) וכן פשט הצפה. בעבודתנו זו בחרנו לבחון את מידת היישומות של פתרונות איגום אלו בפארק המטרופוליני המצוי כעת בתהליכי הקמה בישראל, פארק אריאל שרון.

פארק שרון, אשר שימש במשך עשרות שנים חצר האחורית של מטרופולין דן במרכז הארץ "בזכות" הר הפסולת חירייה, הוכרז בשנת 2005 כפארק מטרופוליני, משמע שטח ציבורי פתוח לתועלת כלל הציבור. יחיד בגודלו, הפארק משתרע על פני 8,000 דונם, ומוגדר שטח גלילי, כלומר אינו שייך לרשות מוניציפאלית. הפארק אשר תוכנן במקור ע"י הבריטים כ"פשט הצפה" הינו בעל תפקיד חשוב לעצירה ומניעה של הצפות במרכז העיר ת"א-יפו. שטח אגן הניקוז (היקוות) של נחל איילון מגיע כדי 815 קמ"ר. הנחל בעיקרו הוא נחל אכזב ורוב הזרימה בו היא ניקוז של שיטפונות. נחל איילון עובר במרכז הפארק, שם מתמזגים אליו נחל שפירים ונחל כופר.

כיום לפארק ישנה תוכנית סטטוטורית ותוכנית אדריכלית המפרטת את השימושים השונים בתחומי הפארק. תמהיל שטחי הפארק כולל שטחים ברמת פיתוח אינטנסיבית ושטחים אקסטנסיביים. בתוך כך הפארק צפוי לצרוך משאבי מים וכן לפעול על פי עקרונות של קיימות בתכנון ובתפעול. בעוד תפקידו של הפארק לרסן גאויות ושיטפונות מים בתקופות החורף, בשלב זה לא נבחר מקור מים בר קיימא לצריכת המים המאסיבית השוטפת של הפארק ביתר עונות השנה. מחקר זה בא לענות על הצורך למצוא פתרון מעשי לסוגיית ייעול השימוש במים בפארק שרון, הדורש כמויות מים אדירות לתפעולו השוטף. מטרת

המחקר הינה להציע פתרון יישומי, אשר אינו קיים כיום בפארק, להסטת עודפי המים בעונות גשומות לטובת צריכתו השוטפת על בסיס פתרונות איגום וידע צבור בארץ ובעולם.

מבוא

(כתב: עמית רוזנטל)

פארק מטרופוליני הינו שטח פתוח בגודל של כמה אלפי דונמים המספק תכני פנאי שונים ומגוונים למטרופולין. הפארקים המטרופוליניים הם מסמליהן של הערים ומהווים מרכז תפקודי למתרחש בהן (האן ושות' 2011). לפארק מטרופוליני תועלות רבות נוספות, בהן ניתן למנות תועלות חברתיות (Coley, Sullivan, & Kuo, 1997) ובריאותיות (Barton & Pretty, 2010; Ward Thompson et al., 2010; van den Berg, Maas, Verheij, & Groenewegen, 2012) למשתמשים בו, שמירת ערכי מורשת, נוף, טבע ומגוון ביולוגי (Sandström, Angelstam, & Mikusiński, 2006; Cao, Onishi, Chen, & Imura, 2010; Eliasson & 2011), ערכים אקולוגיים כמו שבירת אי החום העירוני (Hyun-kil, 2002), אתר החדרת מי נגר עירוני לאקוויפר (Sabto, 2010; האן ושות' 2011) והפחתת זיהום אוויר ורעש (Bolund & Hunhammar, 1999). הפארק המטרופוליני מגדיל את אטרקטיביות העיר וערך הדירות בקרבתו (Groese & Hedgcock, 2006; גארב, 2001) ומושך תיירים מבחוץ, דבר המגדיל את אפשרויות התעסוקה (Chiesura, 2004).

יחד עם זאת, פארקים ואזורי נופש מטרופוליניים מזמנים אתגרים רבים, בין היתר בהיותם מקומות מבוקשים לפיתוח נדל"ני (קרני, 2004; רינת, 2004, 2010; לוי, 2011; האן ושות' 2011; בן דוד, 2012) והעובדה שערכם הכלכלי קשה לכימות (גארב, 2001; "כיוון", 2004). במסגרת קורס "פרויקטים בחקר הסביבה" שנושאו בשנת הלימודים תשע"ב היה "ניצול יעיל של מים בתנאי מחסור", בחרנו להתמקד באחד האתגרים המרכזיים בניהול פארקים מטרופוליניים באזורים בעלי אקלים ים תיכוני כדוגמת ישראל (Di Castri, 1981; Aschmann, 1973; פולק ולחמן, 1992): ניהול יעיל של משק המים בפארק.

לניהול משק מים יעיל מספר היבטים, בהם השפעות מגורמים שונים על איכות וכמות המים בפארק (Cortner & Moote, 1994; Elmqvist et al., 2004; Subra & Waters, 1996; רז, 2008) המביאים לתהליכים אקולוגיים שונים כזיהום ואאוטרופיקציה (Jaensch, 1992; Nixon, 1995; Jonge, Elliott, & Orive, 2002; רז, 2008), בחירת צמחיה חסכונית במים ותחזוקת מערכת השקיה יעילה (Pare, Sauri, & Domene, 2006; Groese, 2009). לאור זאת, בחירת מקור המים לפארק היא הסוגיה המשמעותית ביותר. בעבודה זו ננסה להציע מחקר לבדיקת התכנות לשימוש בפתרונות איגום שונים בפארקים מטרופוליניים, תוך שימוש בפארק אריאל שרון כחקר מקרה ספציפי.

1. רקע

(כתב: עמית רוזנטל)

1.1 מהו פארק מטרופוליני?

המונח פארק מטרופוליני הינו מושג תכנוני ייחודי לישראל ומקביל למושג פארק עירוני או אזורי במדינות שונות. נראה כי ההבדל נובע מסדרי הגודל השונים של הערים במדינות ההשוואה כגון ארה"ב, בריטניה, צרפת, הולנד וגרמניה.

למרות השימוש הנפוץ במונח בישראל, אין בנמצא הגדרה רשמית ומלאה לפארק מטרופוליני, אולי בשל הצורות הרבות אותן הוא עשוי ללבוש. האן ושות' (2011) מתארים ארבעה מאפיינים אשר מייחדים פארק מטרופוליני משטחים פתוחים אחרים:

1. מתן שירותי פנאי למטרופולין.

2. צמידות או סמיכות לעיר הראשית במטרופולין.

3. שטח של כאלפי דונמים.

4. תכני פנאי שונים ומגוונים.

הפארק המטרופוליני אינו חלק ממדרג השצ"פים העירוני, הכולל גנים מקומיים (עד 5 דונם), שכונתיים (עד 40 דונם), רובעיים (עד 350 דונם) ופארקים עירוניים (שפירא והאן, 2006), אלא מהווה חלק ממארג השטחים הפתוחים הבינעירוניים. מארג זה כולל יערות (לפי תמ"א 22), גנים לאומיים ושמורות נוף (לפי תמ"א 8 ותמ"א 35), נחלים וסביבותיהם, אזורי נופש מטרופולינים וכן פארקים אזוריים, המפורטים כייעודי קרקע בתכניות מתאר מחוזיות (האן ושות', 2011).

1.2 רקע היסטורי

(מבוסס על האן ושות', 2011)

ההכרה בחשיבות השטחים הפתוחים באזורים צפופים והומי אדם הינה עתיקת יומין ומופיעה אף במקורות היהודיים. חז"ל קבעו כי "ישיבת כרכים קשה" ורש"י פירש "שהכל מתיישבים שם ודוחקין ומקרבין הבתים זו לזו, ואין שם אוויר", כנגד יישובי הספר בהם "גינות ופרדסים סמוכים לבתים ואווירם יפה" (רוזנסון, 1987).

שטחים פתוחים הם "נחלת הכלל", עיקרון הקשור בטבורו לערכי דמוקרטיה וצדק חברתי. בתקופת ימי הביניים, נמסרו שטחים ציבוריים ("Commons") בבריטניה לאצילים ובעלי קרקעות עשירים, במהלך שהביא לריכוז 99% מהקרקעות בידי המאיון העליון (מישורי, 2005). פרדריק אולמסטד (Olmsted), מחשובי מתכנני הנוף האמריקאיים ומתכנן הסנטרל פארק בניו יורק, רצה להעניק לבני המעמד הנמוך בארה"ב מקום אליו יוכלו ללכת בנוחות לאחר יום העבודה, לטייל לשעה קלה מבלי לראות, לשמוע או לחוש את שאון העיר. בדומה לחז"ל, תיאר את רחובות העיר כהומים, מרחיקים את הבריות האחד מן השני ומעוררים בהם רגשי קנאה (1870, תרגום חופשי). בנוסף שאף אולמסטד לקדם "ידידות אזרחית" באמצעות הפארקים אותם תכנן. אולמסטד ומתכנני נוף נוספים בבריטניה, צרפת וארה"ב קיבלו את

ההשראה לפארקים מאותן אחוזות נופש בריטיות (Landy, 2000, האן, 2011) אשר נמצאו על אדמות שהופקעו מאבות-אבותיהם של הפועלים האמריקאיים העניים.

תנועת הפארקים העירוניים, תנועה פוליטית-חברתית אשר פעלה במערב אירופה ובארצות הברית מראשית המאה ה-19, היתה זו שלמעשה נתנה את הדחיפה החברתית להקמת הפארקים בעולם. התנועה, אשר קמה כתגובה למהפכה התעשייתית ותוצאותיה השליליות, דגלה בערכים סוציאלי-דמוקרטיים. יתר על כן, תמיכתם של אישי ציבור בכירים בתנועה סייעה לקדם את הקמתם וטיפוחם של שטחים ציבוריים ירוקים גדולים בסמוך לערים הגדולות או בתוכן. תנועת הפארקים העירוניים חרטה על דגלה את הדאגה לבני המעמד הנמוך וראתה בפארקים פתרון לבריאותם הפיזית והנפשית. לדידה, שלטונות העיר אחראים לאספקת השטחים הפתוחים לתושבי העיר בני כל המעמדות כחלק מתפיסת עולם סוציאלית הדואגת למעוטי היכולת. בעקבות פעילותה של התנועה הוקמו פארקים עירוניים גדולים ומפורסמים, ביניהם הייד פארק (לונדון), יער בולון (פאריס) והסנטרל פארק בניו יורק.

בישראל נודע הצורך בשטחים פתוחים בצמוד לערים כבר בימי הקמת המדינה. בחודשים מאי-אוגוסט 1950, שיגר ראש הממשלה דאז, דוד בן גוריון, ארבעה מכתבים שנושאים איתור שטחים לפארקים עירוניים באזור גוש דן. המכתבים, שמוענו לחברי הממשלה, לראשי הערים תל אביב, רמת גן וגבעתיים ולגורמים מקצועיים, דנים במאפייני הפארקים העתידיים לקום ומדגישים את הצורך בנוחות גישה ובפתיחת השטחים לציבור הרחב.

בשנת 1992, עם פרסומה של התכנית הארצית לבנייה, פיתוח וקליטת עלייה – תמ"א 31, אומצה הגישה המטרופולינית בתכנון הארצי וכיום הפארקים העירוניים הינם מרכיב מרכזי בתכנון העירוני והמטרופוליני בישראל.

1.3 תועלות הפארקים העירוניים

בינואר 2012 פרסמה החברה להגנת הטבע את דו"ח האיומים על השטחים הפתוחים (שם) ובו הזהירה מעלייה רצופה באיומים על השטחים הפתוחים בישראל, שהופכת להיות המדינה הצפופה ביותר בעולם המערבי. למרות תמונת המצב הזו, יש לציין שעם אישור תמ"א 35 (אשר החליפה את תמ"א 31) בשנת 2005, הכירה מדינת ישראל בחשיבות ה"שמירה על שטחים פתוחים ועל ערכי טבע, חקלאות, נוף ומורשת" תוך "הבחנה ברורה בתוך המרחב הארצי בין שטחים מאפשרי-פיתוח לבין שטחים מוטי-שימור" (שם). על מנת לחדד את הקונפליקט האינהרנטי בין פיתוח לשימור, נסקור את התועלות שבשטחים פתוחים במרחב העירוני.

1.3.1 ערך בריאותי, חברתי, פסיכולוגי (איכות חיים) וחינוכי

כהמשך ישיר למימרות העתיקות על חשיבות השטחים הפתוחים, מחקרים רבים עוסקים כיום בקשר בין שטחים ירוקים ובריאות הנפש. במחקר משותף למספר אוניברסיטאות בבריטניה (Ward Thompson et al., 2012), עולה כי הימצאות שטחים פתוחים בקרבת מקום המגורים מסייעת בהפחתת רמת הלחץ באירועים בלתי צפויים שליליים. החוקר ההולנדי ואן דן ברג ושות' (2010) מצא כי המצאות מרחב ירוק במרחק של עד שלושה קילומטרים מהבית מפחיתה באופן משמעותי את הקשר בין אירועי חיים מלחיצים, תלונות בריאותיות ובריאות כללית נתפסת. Barton & Pretty (2010) הראו כי לחשיפה למרחבים ירוקים, אפילו לפרק זמן מינימאלי (כ-5 דקות) השפעה חיובית חזקה על מצב הרוח והערכה עצמית. קולי ועמיתיו (1997) מצאו במחקרם שנוף טבעי בסביבה העירונית מעודד פעילויות חוץ של התושבים ומושך

קבוצות גדולות ומגוונות יותר, ובכך מייצר הזדמנויות לאינטראקציות חברתיות. האן (2011) מציינת כי פארקים מטרופוליניים יכולים לתרום לקשר בין האדם לסביבה ע"י סיורים מודרכים למשפחות, צפייה בבעלי חיים, תכניות לשיקום אתרי מורשת עם בני נוער וכן הלאה.

1.3.2 שמירת ערכי נוף מורשת, טבע ומגוון ביולוגי

דו"ח האיזמים על השטחים הפתוחים של החברה להגנת הטבע (בן דוד, 2012) מציין 110 אתרים המאוימים על ידי לחצי פיתוח, מהם 23 איזמים שנוספו בשנת 2012. השמירה על השטחים הפתוחים מקבלת משנה תוקף לאור עושרה הביולוגי של ישראל, הנמצאת על מפת ה-Biodiversity Hotspots העולמית (Myers et al. 2000). במדינה קטנה וצפופה כישאל, הפארקים המטרופוליניים מגינים על ערכי טבע, נוף ומורשת ייחודיים. להלן שתי דוגמאות מתוך עבודה שבוצעה בנושא (האן ושות' 2011):

- אזור הנופש המטרופוליני המתוכנן במזרח נתניה (כ-5,000 דונם) מכיל מינים נדירים כסחלבים, צבעונים, אזוביון ועוד ופריחה מרהיבה באביב, אלונים בודדים ששרדו מיער קדום ומבנים מתקופות התיישבות שונות בארץ. במרכז השטח מצויה מחצבה נטושה, אשר בתחתיתה בריכת חורף, בסביבתה פעילים בעלי חיים שונים וקירותיה משקפים את שכבות הקרקע המקומיות.

- אזורי הנופש המטרופוליניים המתוכננים באזור ראשון לציון – רחובות – נס ציונה (סה"כ כ-10,000 דונם) מכילים שרידי יישובים מהתקופה הרומית והערבית, בתי מגורים גדולים משנות ה-30, מחנה "גבעת מיכאל" ואחוזת "נחלת ראובן" שהוכרזו כ"אתרי ראשית התיישבות" ומיועדים לשימור, כפר הנוער "עיינות" וערכי מורשת רבים נוספים.

כפי שראינו הגדרת אזורים כפארקים מטרופוליניים, בהם הפיתוח מוגבל מאוד בהיקפו, מסייעת בשמירה על מינים נדירים הנמצאים בסכנת הכחדה וכן בשמירה על מינים מקומיים שרגליהם נדחקות כתוצאה מהרחבת הסביבה העירונית. מחקר שנערך בשבדיה (Sandström et al., 2006) מצא כי כמויות מספקות של צמחייה טבעית כעצים ושיחים בגבהים שונים הם מרכיבים חיוניים לשמירה על מגוון גדול של מיני ציפורים בשטחים ירוקים עירוניים.

1.3.3 שבירת איי חום וריאה ירוקה

החוקר Kardinal Jusuf וחבריו (2007) מצאו כי טמפרטורת פני הקרקע הממוצעת בפארקים בסינגפור במהלך היום נמוכה ב-2°-5° מעלות צלסיוס מהטמפרטורה הממוצעת באזורים אחרים בעיר, תופעה המכונה אי קור פארקי - Park Cool Island, בניגוד לאי-החום העירוני - Urban Heat Island (Cao et al., 2010). האפקט המקרר של הפארק יכול גם להשתרע מעבר לגבולותיו ולהשפיע על השטחים העירוניים הסובבים (Eliasson & Upmanis, 2000). כמו כן מסייעים שטחים ירוקים בעיר בהפחתת כמויות גז החממה פחמן באמצעות קליטתו ע"י עצים ושיחים (Hyun-kil, 2002). Bolund & Hunhammar (1999) מצאו כי מדשאות ופארקים בשטוקהולם (שבדיה) תורמים גם לטיהור האוויר מזיהום והפחתת רעש.

1.3.4 תרומה לרשות המקומית (דימוי העיר)

פארקים מטרופוליניים כסנטרל פארק בניו יורק או פארק הירקון בתל אביב-יפו הם מסמליהן של הערים ומהווים מרכז תפקודי למתרחש בהן (האן ושות' 2011). אפשרויות הפנאי והערכים האסתטיים וההיסטוריים המגולמים בפארקים עירוניים מגדילים את אטרקטיביות העיר ומושכים תיירים מבחוץ, דבר המגדיל את אפשרויות התעסוקה (Chiesura, 2004).

1.4. אתגרים

פארקים ואזורי נופש מטרופוליניים מזמנים אתגרים רבים בתהליכי התכנון והביצוע, החל משלב ההכרזה לאורך שלבי ההקמה וכן במהלך הניהול והתפעול השוטף.

1.4.1 מקומות מבוקשים לפיתוח נדל"ני

מבין השטחים הפתוחים בישראל שהוגדרו כמאוימים (בן דוד, 2012) ניתן למצוא מספר אתרים שהוגדרו בתכניות המתאר כפארקים מטרופוליניים כדוגמת פארק מישור החוף (בשטח של כ-4,700 דונם) המשתרע מצומת מורשה מערבה לאורך כביש 5 (אוחיון-קניגסברג, 2010). לחצי נדל"ן אלו ליוו גם את הקמתו של פארק שרון ואף הובילו להתפטרות יו"ר צוות הקמת הפארק בתחילת 2004 (קרני, 2004). חברת "הזרע", שמחזיקה בחלק מהקרקות המיועדות לפארק, יזמה תכנית להקמת 10,000 יחידות דיור בשטח שבאחזקתה (רינת, 2004) וסירבה לפנות את השטחים שבאחזקתה (רינת, 2010). במרץ 2011 נדחתה עתירת חברת "הזרע" נגד הקמת הפארק (לוי, 2011). תופעת הלחצים הנדל"ניים אינה ייחודית לישראל. בלונדון יזמים ורשויות מקומיות פיתחו שטחי-משחק גדולים מהנדרש בתקן בשל מצוקת קרקע, על חשבון שטחים פתוחים. התופעה מותנה מאוד לאחר לחץ ציבורי (האן ושות' 2011).

1.4.2 פיתוח שטחים אינטנסיביים עלול לפגוע בשטחים אקסטנסיביים

אתגר נוסף בפיתוח הפארק הוא מציאת האיזון בין פיתוח אינטנסיבי, הדורש פעולות בינוי ותשומות רבות לפיתוח אקסטנסיבי (טבעי), כך שהראשון לא יבוא על חשבון האחרון. לצורך כך יש לזהות את המערכות הטבעיות בפארק ואת התנאים הדרושים לקיומן, לנהל ולנטר את המשאבים הדרושים להן ולמתן את השפעת הפיתוח עליהן באמצעים למיתון מפגעי רעש, אור ואבק (האן ושות', 2011).

1.4.3 כדאיות/עמידה כלכלית

כפי שראינו פארקים מטרופוליניים טומנים בחובם תועלות מרובות, אולם ערכם הכלכלי ותרומתם לסביבה ולחברה קשה לכימות. גארב (2001) מציין כי קושי זה גורם למקבלי ההחלטות להעדיף את פיתוח השטחים לנדל"ן למגורים ולמשרדים. יחד עם זאת קיימות מספר שיטות להערכת ערכם של שטחים פתוחים. גארב מתאר שיטות אלה במאמרו, אך מזהיר כי יש לראות בהן אומדנים בלבד, ולא להסתמך על ערכם המדויק.

שיטת תמחור הדוני – אומד את התועלת המתקבלת מעליית ערך נכסים הנובעת מערכי הנוף של הפארק. שיטת אומדן קונטינגנטי – שיטת מחקר המבוססת על שאלונים המציעים "שוק היפותטי" בו יכולים הנשאלים "להשקיע" בתכונה נופית של הפארק ניקיון, מניעת פיתוח השטח וכך הלאה.

שיטת עלויות נסיעה – מתמחרת את השימוש בפארק ע"י כימות עלות הנסיעה אליו, בזמן ובכסף. רווחים אלה, גם אם קיימים, אינם נראים בתזרים השוטף של הפארק בשלבי התכנון והניהול. בשל כך נדרשים לצורך מימון הפארק תקציבים ממקורות חיצוניים – ממשלתיים, מוניציפליים או אחרים. בפרקטיקה, מימון הפארקים מתחרה על משאבי תקציב אחרים ועלול לדחות את ביצוע הפרוייקט. מנגד, בשיטת המשק הסגור, בה הפארק ממומן מההכנסות המיוצרות ע"י בניה בשטחו, פיתוח הפארק עלול להיעצר בשל נפח הון גדול אשר אינו זמין בשל זמן החזר ההשקעה הארוך ("כיוון", 2004).

1.4.4 משק המים בפארק

בשל התלות הכלכלית האינהרנטית בה פועלים רוב הפארקים, ניהול משק מים יעיל בפארק מהווה את אחד האתגרים המשמעותיים ביותר. מלבד השאיפה לשמירה על יעילות כלכלית בהשקיית הפארק, נדרש לשמור על איכות מים (שלעיתים מושפעת מגורמים חיצוניים) ואספקת מים קבועה. הנושא האחרון בעייתי במיוחד בניהול פארקים באזורי אקלים ים תיכוני, עליו נרחיב בהמשך.

1.4.4.1 איכות וכמות המים – השפעה ממקורות שונים

פארק מטרופוליני הוא מערכת אקולוגית המושפעת מגורמים רבים. לעתים קרובות צוות הפארק נאלץ להתמודד עם תופעות אשר אינן בשליטתו, והטיפול בהם הוא בסמכות גופים אחרים. בהקשר זה טוענות Cortner & Moote (1994) שניהול שטחים פתוחים ברמת המערכת האקולוגית לא ייתכן כל עוד שטחים ומקורות מים מחולקים בין גבולות פוליטיים. אחת הבעיות איתם נאלצים להתמודד בפארק הינה **איכות המים** אשר מושפעת במידה רבה מאירועי זיהום מים, שיכול להגיע ממקורות נקודתיים או לא נקודתיים. דוגמא לסיבוך בירוקרטי כזה מתקיימת בפארק העירוני הלאומי בשטוקהולם, שבדיה. גופי מים רבים המשפיעים אקולוגית על הפארק מנוהלים ע"י תאגיד המים העירוני, אשר לו אין נציגות במועצה המנהלת של הפארק (Elmqvist et al., 2004), דבר המקשה על ניהול המערכת האקולוגית של הפארק.

בישראל התרחש אירוע זיהום חמור בפארק הירקון בשנת 2008, כאשר שריפה שפרצה במפעל רהיטים התפשטה למיכלים שהכילו כ-160 טון דטרגנטים וחומרי גלם במפעל "סנו". בשל כשל לא ברור, זרמו המזהמים אל מתקן טיהור שפכים וגרמו לקריסתו, דבר שהוביל לזרימת דטרגנטים וקולחים לא מטופלים לנחל. הערכת אקולוג רשות נחל ירקון היא שכל אוכלוסית החי במים הושמדה, דבר שהוביל גם לתגובת שרשרת בגדות הנחל (רז, 2008). במקרה זה, פעולותיה של רשות נחל הירקון, המהווה גורם מנהל למערכת האקולוגית של הנחל, היו רק במסגרת שיקום הנזקים.

סוג נוסף של זיהום הוא זיהום ממקור לא נקודתי, אשר נגרם מתנועת מים על פני השטח ובתוכם אל מאגרי מים עיליים ותת-קרקעיים. הנגר אוסף ומעביר מזהמים טבעיים ומעשה ידי אדם (Subra & Waters, 1996). רשות נחל ירקון משקיעה משאבים רבים בניקוי הנחל מפסולת הנזרקת בצידי כבישים ונשטפת אל הנחל באירועי גשם (רז, 2008). בעיה נפוצה נוספת היא סחיפת מי נגר עילי המכילים דשנים וחומרי הדברה משדות חקלאיים. חומרי ההדברה מביאים לזיהום המים והדשנים מובילים לתופעה של אאוטרופיקציה בגופי מים.

אאוטרופיקציה היא עלייה בשיעור אספקת החומר האורגני למערכת אקולוגית (Nixon, 1995), אשר עשוי לגרום להיפוקסיה (מחסור חמצן) ואף אנוקסיה (מחסור מוחלט בחמצן) בגופי המים (Jonge et al., 2002). תופעה זו מתרחשת לדוגמא בפארק Herdsman Lake בפרת', מערב אוסטרליה, שם קיימת תופעה של פריחת אצות, בנוסף לזיהום המים בחומרי הדברה חקלאיים ומתכות כבדות מהתעשייה (Jaensch, 1992).

כמות המים המגיעה אל שטח הפארק מושפעת גם היא מגורמים שונים. אינג' חובב אלגביש ממשרד "לביא נטיף מהנדסים" נותן דוגמא לפארק אגמי החולות הסמוך לראשון לציון ובת ים. האגן הדרומי של הפארק מנקז שטח של כ-8,000 דונם מאזור ראשון לציון והאגן הצפוני מנקז שטח כ-22,000 דונם, רובם בשטח העיר חולון. במרוצת השנים השתנתה באופן דרמטי כמות המים המגיעים אל הפארק. אחוז השטח

הבנוי באגן ההיקוות הצפוני גדל פי שלושה מאז הוקם אגם ה"סופרלנד" המנקז אותו, ועומד כיום על 75%. כמות המים המגיעה גדלה בהתאם. בנקודה אחרת בפארק ("האגן הדרומי") הוקמו שני מאגרים זמניים על מנת לנקז מים שבעבר נאגמו בביצה, שנעלמה עם בניית כביש 431. לצורך התמודדות עם ספיקות שיא נשאבים מים מאגם הסופרלנד אל אגם נוסף המכונה "אגם הנקי", ובמקרה הצורך אל אגם החולות. סה"כ נפח קיבולת מערכת האגמים 3.5 מליון קוב. במצב בו נעשה במים המגיעים אל הפארק שימוש להשקיה, על המים לעמוד בסטנדרטים להשקיית גינן ציבורי כפי שהוגדרו ע"י מרכז השלטון המקומי (2009).

1.4.4.2. השקיה יעילה

על מנת שפארק מטרופוליני יעמוד בסטנדרטים הדרושים מבחינת יעילות מערכת ההשקיה, ישנם מספר מאפיינים חשובים שיש לשים עליהם דגש: התאמת הצמחיה לאקלים, צפיפות הצמחיה, יעילות מערכת ההשקיה ואיכות תחזוקתה.

אקלים ים תיכוני הוא בדרך כלל חם ויבש בקיץ, כאשר הדרישה לחקלאות, שימושים עירוניים ותיירות נמצאת בשיא. באזור המטרופוליני של ברצלונה, אחת מבעיות הסביבתיות המשמעותיות הינה חוסר יציבות ביחס בין הביקוש להיצע המים. במציאות בה פיתוח מקורות מים חדשים הוא יקר, הפחתת הביקוש נהיית קריטית. מחקר שבוצע בפארקים ציבוריים באזור המטרופוליני של ברצלונה (Parés-Franzi et al., 2006) מצא שהפארקים העירוניים עדיין רחוקים מלהיות מנוהלים ברמה נאותה מבחינת הקריטריונים הסביבתיים. המכשול העיקרי הוא שעריות לא משלמות עבור המים, ולכן מפעילות בקרת צריכה ברמה חלשה וללא תמריצים לחסוך. בדרך כלל הניהול הסביבתי של הפארק נמצא כבעל מתאם לאמצעים הכלכליים של העירייה המקומית. מעניין לציין שהמחקר מצא שדווקא ערים בהן שלטו מפלגות בעלות אוריינטציה חברתית או ירוקה השתמשו במים בצורה פחות מקיימת - בניגוד לאידיאולוגיה שלהן, למרות שהיו בהן יותר פארקים.

פרת' (Perth), בירת מערב אוסטרליה, היא העיר בעלת שיעור הצמיחה הפרברי הגבוה ביותר באוסטרליה (Western Australian Planning Commission, 2005). הפיתוח הפרברי מתקדם, בין היתר, לאזורים חקלאיים נטושים הגובלים בבתי גידול לחים. פרת' ופרבריה ממוקמים ב'נקודה חמה' מבחינת מגוון ביולוגי (Myers et al., 2000), נושא המביא לדיון את תכנון הנוף וארכיטקטורת השצ"פים בהקשר למגוון הביולוגי. המונח שטח ציבורי פתוח (שצ"פ) באוסטרליה שונה מ'שטחים ירוקים פתוחים' במדינות אחרות ונתפס כשטח פתוח המשרת את צורכי הפנאי של הקהילה המקומית, וכולל שטחי דשא ומגרשי משחק לפוטבול אוסטרלי וקריקט. כמות הדשא בשצ"פים היא נושא מרכזי לדיון בממשלות המקומיות, מפני שדשא מהווה צרכן משמעותי למים ותקציבי תחזוקה. איזורים ללא דשא, בהם צומחת צמחיה מקומית המשמרת את המגוון הביולוגי באזור, מתאימים לפעילות פנאי פאסיבית כמו הליכה ודוחקים את פעילויות הספורט המסורתיות (Grose, 2009).

בפארק Herdsman Lake שהוזכר לעיל הבעייה "נפתרה" בכך שהפארק אינו צורך מים להשקיה, ולמעשה מהווה מערכת אקולוגית טבעית הניזונה ממי שטפונות עונתיים הפוקדים את האזור. בעונות החורף האגם מתמלא מנגר עירוני המתנקז אליו מרדיוס של כ-4 ק"מ. בשל אידוי של כ-2,000 מ"מ בשנה, יורד בקיץ מפלס המים עד לכדי 15% משטח הפנים של האגם. ירידת מפלס המים חושפת צמחיה מגוונת, המשמשת אתר הזדווגות חשוב לציפורי מים, ובמיוחד לברבור השחור (Cygnus atratus), המופיע בסמל

מדינת אוסטרליה המערבית ועל שמו נקרא נהר ה-Swan העובר בסמוך. לפארק מגיע קהל רב למטרות למידה, צפייה בציפורים, טיול ושיט (Jaensch, 1992).

1.4.4.1 פארקים עירוניים כאזורי חלחול למי תהום – חקר מקרה בפרת', מערב אוסטרליה

רוב שטחי הפארקים אינם בנויים ועל כן יכולים לתפקד כשטחי חלחול למי נגר עילי, המזינים את האקוויפר ומונעים זרימה של נגר עילי אל מערכת הניקוז וגריעתו ממשק המים הזמין (האן ושות' 2011). פרת' ממוקמת על מישור חוף חולי, בעל פרמיאבילות גבוהה המייצר מערכת ניקוז טבעית אל מאגר מים תת קרקעי הקרוב לפני הקרקע. בין הדיונות החוליות, תעלות טבעיות שהיו נמוכות מקו מי התהום איפשרו למים לפרוץ החוצה ולייצר בתי גידול לחים. עם היווסדה, פיתוח העיר כלל ייבוש מאסיבי של השטחים הלחים או הפיכתם לפארקים בסגנון אירופאי. החולות הסופגים באזור כוסו בכבישים ומבנים, והחל סילוק מקיף של הצמחייה המקומית. הקרבה של מי התהום לפני הקרקע גורמת לתופעה של הצפות, אשר מתעצמת בגלל הסרת הצמחייה המקומית, המושכת מים בקביעות ממי התהום ותורמת לשמירה על מפלסם. המערכת העירונית לסילוק מי השטפונות (storm water) עוצבה על מנת לנקז במהירות את המים לאגנים או ישירות לאוקיינוס.

מתחילת שנות ה-90, שצ'פים באזור פרת' תוכננו ונבנו עם אגני אגירה למי שטפונות. כתוצאה ישירה מכך הקצאת השטחים שיועדו לצורכי פעילויות פנאי וספורט פחתה. התהליך שינה את פני הפארקים הציבוריים בפרת', כאשר פארקים עירוניים כבר לא הספיקו לצרכי הפנאי האוסטרליים המסורתיים, והופיעו יותר פארקים מקומיים ושכונתיים שהתאימו לפעילות פנאי פאסיבית בלבד כהליכה, טיולים ופיקניקים. אגני האגירה, המחזיקים מים באופן מלאכותי, תרמו גם להעלאת ערך הנכסים הצופים עליהם (Grose & Hedgcock, 2006).

בעוד אזורים מסוימים בפרת' סובלים מעליית מפלס מי התהום, אזורים אחרים סובלים מירידה במפלס בשל התכסית העירונית הבנויה. פארק Perry Lakes משמש כאתר החדרה למי שפכים מטופלים בשיטה המכונה מילוי אקוויפר מנוהל (MAR - Managed Aquifer Recharge). הפרוייקט מתוקצב ע"י ממשלת אוסטרליה בסכום של 2.6 מליון דולר אוסטרלי (Sabto, 2010).

1.5. אקלים ים תיכוני

(מבוסס על פרובולוצקי, פולק ולחמן, 1992)

כפי שתואר להלן, ניהול משק המים בפארק עירוני הוא משימה מורכבת, הדורשת תיאום בין מספר (לעיתים רב) של גורמים, תכנון מקדים מעמיק וניהול אקולוגי מורכב. במקרים מסוימים הבחירה באמצעים מסוימים לניהול משק מים בפארק המטרופוליני נושאת השפעה חברתית מרחיקת לכת. קשיי הניהול מתחדדים עוד יותר בפארקים המנוהלים באזורים בהם שורר אקלים ים תיכוני. נקדיש את הפרק הקרוב להסבר על סוג אקלים זה.

Di Castri (1981) מציג מספר מאפיינים מרכזיים להגדרת האקלים הים-תיכוני בעולם:

- האקלים הים-תיכוני הוא מעין אקלים מעבר בין אקלים ממוזג לאקלים טרופי יבש.
- ריכוז משקעים בחורף (במהלך כ-5-4 חודשים).
- קיץ ארוך ויבש מאוד מבחינת משקעים (כ-8-7 חודשים).
- שונות רבה בכמות המשקעים משנה לשנה.
- קיץ מתון עד חם.
- חורף קריר עד קר.
- קרינת שמש חזקה, במיוחד בקיץ.
- לאורך חופי הים, במקומות שבהם שורר אקלים ים-תיכוני אופייני, נפוץ ערפל ימי, ולחות האוויר גבוהה.

Aschmann (1973) בדק נתונים מתחנות מטאורולוגיות והגיע למסקנה שבאקלים ים תיכוני לפחות 65% מהמשקעים מרוכזים בחורף, בעוד שטווח המשקעים הוא 275-900 מ"מ בשנה. לפי הגדרה זו, ניתן למצוא בעולם חמישה אזורים המאופיינים ע"י אקלים ים-תיכוני:

- אגן הים התיכון הכולל קטעים מצפון אפריקה.
- האזור הנמוך של מדינת קליפורניה בארה"ב.
- חגורה סביב אזור הכף בדרום אפריקה.
- המורדות הנמוכים המערביים של האנדים בצ'ילה.
- האזור הדרומי והדרום-מערבי באוסטרליה.

אזורים אלה נמצאים לרוב בצד המערבי של יבשות, בין קווי רוחב 40 ל-30. בצד הצפוני של הים התיכון הם מתמשכים לקווי רוחב צפוניים יותר, ובמערב אוסטרליה – לקווי דרומיים יותר. ככל שמתקרבים לקו המשווה, האקלים נהיה מדברי, וככל שמתקדמים לכיוון הקטבים, עולה כמות המשקעים והם נהיים מרוכזים פחות בחורף. אם קיימת שרשרת הרים עיקרית במקביל לחוף, האזור הים-תיכוני יימשך, לרוב, רק על המדרונות הפונים לים (למשל, קליפורניה או הרי יהודה). באף מקרה, אקלים זה אינו נמשך לעומק היבשת, היות וקור חורפי, יובש או גשם קיצו משנים את סוג האקלים.

אספקת מים שוטפת וקבועה לפארק מטרופוליני היא תנאי הכרחי להקמת ותפעול פארק נאה ומושך את העין. הנושא אינו פשוט באקלים היס-תיכוני – פתרון אפשרי לכך עשוי להיות איגום מי נגר עילי בשטח הפארק, כפי שהוצג לגבי הפארקים בפרת'. נציג להלן מספר פתרונות איגום.

2. אפשרויות איגום ותפקודיהם השונים

(כתב: יניב ברפמן)

מבחינת הספקי המים, התנאים הטופוגרפיים ותהליכי העיור באזור אגן ההיקוות של נחל איילון עולה כי ישנן כמויות גדולות של מים שזורמים דרך "צוואר בקבוק" שנמצא בקצה המערבי של פארק אריאל שרון ומשם מנוקזים אל התעלה שבין נתיבי איילון (נחל איילון) אל נחל הירקון ומשם לים. מים אלה הינם מים באיכות מספיק טובה להשקיית החקלאות, להשקיית הפארק ואף להחדירם לאקוויפר החוף. על פי דרישותיהם של מתכנני הפארק נקבע כי הפארק צריך כמות מים שלא תעלה על 5 מליון קוב לשנה בעוד בחורף ממוצע עוברים בפארק כ-25 מליון קוב, על כך יפורט בפרק 3 לעבודה זו. בפרק זה נתמקד במספר אפשרויות מעשיות שנבדקו ובוצעו בעולם באזורים בעלי מזג אוויר ים תיכוני המאופייין במשקעים לא סדירים.

2.1 אפשרויות לניצול מי נגר

(Asano, 2002)

1. **השקיית חקלאות** - משקפת את הנתח המשמעותי ביותר בצרכנות המים בעולם. שימוש חוזר במים אלו מאפשר הרחבה של הזדמנויות עתידיות לניצולם היעיל במדינות מפותחות ומדינות מתפתחות כאחד
2. **השקיה נופית** - מהווה את הנתח השני בגודלו במדינות מפותחות וכולל בתוכו השקיית פארקים, מגרשי משחקים, מגרשי גולף, צמחיית בצידי כבישים, צמחייה במרכזי קניות, אזורי משרדים ואזורי פיתוח תעשייתיים. פיתוח נופי וגינון דורשים מערכות מים מורכבות שתפקידן להסיע את המים הנדרשים למרחקים ארוכים.
3. **תעשייה** - הנתח השלישי בגודלו. מים אלה משמשים בעיקר למערכות קירור ולתהליכי יצור מוצרים. בחלק קטן מן השימושים המצויינים לעיל נזקקים למים באיכות גבוהה מאוד ואילו כל השאר יכולים להסתפק במים שעבר טיפול שניוני. (אם זה פעם ראשונה שמוזכר במסמך צריך להסביר בכמה מילים מה זה).
4. **החדרה למי תהום** - הנתח הרביעי כולל שימוש במי שטפונות למילוי מאגרים, הן בברכות החדרה למי תהום וגם באמצעות קידוחי החדרה. שימוש זה מאפשר לחדש את מלאי המים במאגרים תת קרקעיים וכן החדרת מים לאקוויפרים חופיים כדי למנוע המלחה.
5. **יצירה מחדש ושימושים אקולוגיים** - מהווה הצרכן החמישי בגודלו של שימוש חוזר במים במדינות מתועשות, מכיל בתוכו מים שאיכותם לא מאפשרים את שתייתם ומאפשר להקים אגמים מלאכותיים, ניתן לנתב מים אלה לצורך פארקים אורבאניים, מאגרי מים למגרשי גולף, מים אלה יכולים לשמש יצירת אגנים ירוקים מסיבות שונות כמו: יצירת בתי גידול, העשרה ואגירה, ניקוי והחזרה לטבע.

תיעול וניצול של מי שטפונות יכול להתבצע על ידי הגדרת תחום לניהול מי כנגר כדוגמת פשט הצפה או לחילופין ע"י שימוש בפתרון הנדסי לאיגום המים. כלל פתרונות האיגום ההנדסיים מגוונים ומציגים

מספר אפשרויות ביצוע, אף על פי כן, רובם ככולם מותאמים לתנאים הטופוגרפיים הספציפיים של אותו אזור, איכות המים המקומית וכמובן לשימוש הספציפי לשמו נדרשת אגירת המים.

2.2. איגום מים

ניתן לסווג את האפשרויות ההנדסיות לאיגום מים לפי מספר קריטריונים עיקריים (תה"ל, 1995):

1. **שיטת תפיסה של מים** - מאגר גיא, מאגר צד (בהטיה גרביטציונית או בשאיבה), סכרוני השחייה.
 2. **איגום** - עונתי, רב שנתי, עילי, תת קרקעי.
 3. **איכות המים** - מים שפירים, מים לשימוש מוגבל.
 4. **שילוב ישיר במערכות הארציות** - (מפעלי שפד"ן ותשלובת הקישון) שימוש חוזר של מים גם ע"י ערבוב במי מאגרים קיימים או החדרה ישירה לתוך מערכות הפצת המים.
- ניצול משולב עם מקורות מים אחרים** - במקרים רבים מי גאיות מנוצלים יחד עם מים אחרים כגון, קולחין, ניקוז מעיינות.

2.2.1 פשט הצפה (איגום עונתי)

עליית המודעות בקרב החברה האנושית לפונקציות הכלכליות והאקולוגיות שאגנים ירוקים בכלל ופשט הצפה בפרט משפרים את האקולוגיה: תהליכי טיהור מי שפכים בנחלים, העשרת המגוון הביולוגי והצמחי. החל לגדול מספר המחקרים בתחום בצורה משמעותית. הרקע להצגת פשט הצפה כפתרון הינו השינוי בתפיסה וההבנה שע"י הזרמת מי השיטפונות לאזורי הפשט ניתן לגדל יערות, חקלאות ובקר בקצב שיכול להתחדש בהתאם לקצב גידול האוכלוסיה, זאת בהשוואה לפתרונות מקובלים בעת ההיא אשר כללו יצירת סכרים גדולים למטרת ניצול אנרגיה אשר גרמו לשינויים שליליים משמעותיים בבתי הגידול למשל ייבוש החלק הנמוך יותר של הנחל, זה שנמצא מאחורי הסכר.

השימוש בפשט הצפה נמצא כטבעי יותר ואף טומן בחובו יתרונות נוספים של ניצול לטובת דיג, העשרת הפלורה והפאונה וכן בתי גידול לבעלי חיים (Junk et al., 1989).

יצירת פשט ההצפה מבוצעת על ידי מיקום מספר סכרים לאורך הנחל אשר נועדו להאט את זרימת המים ולבסוף לחסום את גובהם עד למפלס המים הרצוי (Ward & Stanford, 1995). ע"י כך המים מתחילים להתפשט למרחבים שמעבר לגדת הנחל. גודל פשט ההצפה תלוי בנתונים הגיאוגרפיים של השטח ובגובה הסכר. עוצמת השיטפונות בנחלים הם שילוב של נתונים הידראוליים וגיאומורפולוגיים, שיטפון יכול להיות בלתי צפוי עד צפוי, מקטן ועד גדול מאוד. מבחינה הידראולית פשט הצפה מושפעת בצורה ישירה ממעבר מים וחומרים נוספים שמושאים איתם, מבחינה אקולוגית היא מהווה אזור מעבר בין האזור המוצף לבין האדמה היבשה. באזורים שמתאפיינים בפולסים קטנים ובלתי צפויים אזור המעבר האקולוגי נרטב ומתייבש פעמים רבות מה שיוצר תנאים לאוכלוסיות אחרות לשגשג (Junk et al., 1989).

Taylor et al. (2011) תיארו מצב שבו פשט ההצפה גורם לשגשוג ברבדים שונים. החוקרים מצאו כי סביב פשט ההצפה מתפתחות אוכלוסיות צמחים ואורגניזמים שונים, המאפשרים לגדל מגוון רחב של דגים למאכל. כמו כן המים שנאגרו נמצאו באיכות מספיק טובה כדי להשקות את החקלאות שבאזור כולו. פשט ההצפה בקליפורניה מסוגל לקבל מעל ל- 80% ממי השיטפונות של נהר הסקרמנטו בזמן אירוע גשם

גדול. יתר על כן שטח פשט ההצפה כולל שטחים חקלאיים נרחבים אשר מושקים מאותם מקורות מים וכולל מספר אגנים ירוקים שמהווים בית גידול אופטימאלי לכ- 42 מיני דגים (Taylor et al., 2011).

בתוך כך מתאר המאמר כי בפועל, סכרים בעלי מבנה מורכב לא מצליחים להחזיק לאורך זמן, בעוד סכרים קטנים ופשוטים עומדים ללא בעיה בכוחות טקטוניים והידראוליים שונים.

בכדי לבדוק את האפשרות לקיים פשט הצפה צריך להתייחס בעיקר לנושא הטופוגרפיה. המדריך לייצוב גדות נחלים בעריכתו של סיני גדעון מפרט כי יש לבצע סקירה טופוגרפית או פוטוגרמטרית לצורך קבלת קווי גובה של תוואי ערוץ הנחל ופשט ההצפה בכדי לקבל את הפרופיל האורכי המסמל את מפלס הקרקעית. בנוסף יש למדוד את פרופילי הרוחב לאורך הערוץ, את השינויים הקרקעיים שניתן לראות בעין, סימני זרימות שיא ובסיס בעבר. יתר על כן יש לאסוף דגימות קרקע בגבהים ומיקומים שונים ולאמוד את השפעתם על הצמחייה המקומית לסוגיה, הקרקעות ותעלת פשט ההצפה.

2.2.2 אגן ירוק (איגום עונתי/רב עונתי)

מאז ומעולם מי שיטפונות היוו בעיה למהנדסי קרקע וערים. עיקר המאמצים מתרכזים כיום במטרה להרחיק זרימות חזקות ממרכזי אוכלוסיה ולהאט את קצב זרימת השיטפון. אותם הסכרים שנבנים במורד הנהרות והנחלים יוצרים תופעת איגום מים חדשה. מים אלה מתאפיינים באיכות נמוכה ומערכות אקולוגיות פגועות: חלקי נחל שלא מקבלים מים, לאחר שיטפון נוצרות ברכות עם מים עומדים. כיום מי שיטפונות עירוניים מזוהים כבעיית זיהום עיקרית בנחלים. האתגר הגדול שעומד בפני מהנדסים הוא תכנון מערכות מים ביו-טכנולוגיות שיוזעות להתמודד עם זיהומים אלה. אחת הדוגמאות למערכת כזו היא מערכת **אגנים ירוקים** הנבנית בידי אדם.

אגן ירוק מבצע טיפול במים בשלושה מישורים שונים: פיזיים, ביולוגיים וכימיים. מערכת אגן ירוק מורכבת ממרכיבים ביוטיים ואביוטיים שחשובים להשלמת תהליך טיפול מלא (Greenway, 2000). רוב הניקוי שנעשה במערכת מבוצע על ידי צמחייה ומיקרו אורגניזמים.

בניית אגנים ירוקים הפכה להיות אחת הדרכים המקובלות בעולם בהתמודדות וטיפול במי גשמים טבעיים, עירוניים ותעשייתיים. למערכת מסוג זה מספר יתרונות בולטים. ראשית, אגן ירוק הינו בעל יכולת ליצור חיץ שליטה והגנה מפני הצפות. בנוסף לכך המערכת מספקת שירותים אקולוגיים וחברתיים חשובים. על מנת לתכנן מערכת יעילה ואפקטיבית יש צורך בהתאמת השטח לכמויות המים הצפויות. גודל האגן נקבע על פי עוצמת השיטפון, מאפייני הזיהום, אופי הטיפול הרצוי ואופן המעצור הרצוי לשיטפון. עבודת התכנון מבוצעת על ידי מהנדסים, אדריכלים ואקולוגים, והאתגר שניצב בפניהם מורכב בכדי לתכנן מערכת אפקטיבית צריך למצוא את הפיתרון המיטבי למיקום הספציפי, מאחר וכל מקום בעל מאפייני מים ומאפיינים טופוגרפיים שונים.

טבלה 1 להלן מתארת את נתוני המים: מאפיינים הקיימים במי שפכים, שיטפונות עירוניים ונתוני האגן הירוק שצריכים להיות כדי לטפל בהם (Greenway, 2004).

טבלה 1: מאפייני מי שפכים, מי שטפונות עירוניים ונתוני מים באגנים ירוקים

נתוני האגן הירוק	שפכים	מי שיטפונות עירוניים
נוטריאנטים, כוליפורמים Tss, tvs, bod	תלוי בטיפול מקדים	תלוי בגודל השטיפה, אזור השטיפה, עומס הגשם, בדרך כלל tss גבוהה, מתכות, פחמימן.
עומס זיהומי	גבוה	משתנה
עומס הידראולי	יציב	לא יציב
זמן עיכוב	3-7 ימים	5 ש"י-40 ימים
גודל המאגר	ביחס לגודל האוכלוסייה	תלוי ב % שטח הניצול
עוצמה ומהירות שיטפון	תלוי במערכת השפכים והערבוב שלהם עם מי גשמים	תלוי בגשם וגודל השטח
צמחייה	צמחים שורשיים וצמחיה צפה	צמחייה לשטח יבש ורטוב
אזור האגן	שטח פתוח, עומק (20-50) ס"מ	שטח פתוח, עומק (30-60) ס"מ
יתושים	טורפים, וצמחייה מתאימה	טורפים, וצמחייה מתאימה
אחזקה	הסרה של עשבים	הסרה של זבל, סדימנטים, עשבים

ישנם שני סוגים עיקריים של אגנים ירוקים:

1. FWS Free Water Surface - שיטה שבה משתמשים בשטח הקיים, אם צריך מפזרים אדמת חרסית בכדי שיהיה חלחול מינימאלי (Greenway, 2004).

2. SSF Subsurface Flow Systems - מתאימה יותר לקרקע מוצקה ותתאים יותר לאזורים סוב-טרופיים עד טרופיים, מתאפשרים צמחים אחרים (Greenway, 2004).

הטיפול בשפכים והרחקת המזהמים נעשים על ידי הזרמתם דרך השורשים של צמחים הגדלים בבריכות האגן הירוק. צמחים אלו יכולים להתפתח בסביבת מי שפכים ומתאימים להשתרשות במצע רדוד ועשיר במים. בדרך כלל משמשים בתהליך בצמחי קנה, אשר שורשיהם יוצרים תעלות במצע הגידול, דרכן חודר החמצן אל השפכים. מצע הגידול עליו גדלים הצמחים הוא בדרך כלל תערובת של חול, חצץ וקרקע מקומית המאפשרת את זרימת הנוזלים דרכה. הצמחים מפתחים שורשים צפופים היוצרים משטח בעל שטח פנים גדול עליו מתפתחת אוכלוסיית מיקרואורגניזמים עשירה. מיקרואורגניזמים אלו מפרקים את המזהמים האורגניים בשפכים ומשתמשים בהם כמקור לאנרגיה. חלק מתוצרי הפירוק נקלטים על ידי הצמחים, כך נוצרים יחסי גומלין בין הצמחים למיקרואורגניזמים המאפשרים הן פירוק ביולוגי והן שגשוג של הצמחייה (Greenway, 2004).

תהליכים פיזיקאליים הם תהליכים שגורמים להאטת הזרימה, לשקיעת חומרים מוצקים מרחפים אל קרקעית האגן שם מתרחשים תהליכי סינון ונידוף של החומרים (Greenway, 2004).

תהליכים ביולוגיים הם תהליכי פירוק חומרים על ידי מיקרואורגניזמים וספיחת חלק מתוצרי הפירוק על ידי הצמחים. חלק מהמתכות הכבדות נקלטות על ידי הצמחייה וחלקן נקשר לחלקיקי המצע. חנקן משתחרר לאטמוספירה בתהליכי פירוק. (Greenway, 2004).

תהליכים כימיים הם בעצם תגובות כימיות בין חלקיקי זיהום שונים, בעיקר מתכות (בתהליכי חמצון – חיזור), הגורמים לשיקוע של חלק מהתוצרים כחומרים בלתי מסיסים על הקרקעית. חשיפה לאור ולגזים אטמוספריים גורמת לפירוק חלק מהחומרים האורגניים ולהמתת מיקרואורגניזמים פתוגניים.

ע"פ מחקרה של (Greenway 2000) החומרים שניתן לטפל בהם ע"י אגנים ירוקים הינם:

1. מוצקים- מטופל ע"י מיקרו אורגניזמים שחיים על שורשי הצמחים, בתהליך הפרוק נוצר מזון לצמחים.

2. נוטריאנטים- חלקיקים אינאורגנים הופכים לאורגנים ישירות ע"י פרוק של מיקרואורגניזמים ושימוש ע"י הצמחים.

3. מתכות- ספיגה מיקרוביאלית, ספיחה ושקיעה.

4. פחמימנים- ספיגה מיקרוביאלית.

5. פתוגנים- קרינת UV טבעית, שליטה ביולוגית במערכות אקולוגיות של האגן הירוק.

בכדי שנוכל לעצב אגן ירוק תקין עלינו להבין את המשמעויות האקולוגיות שלו, הוא יכול לטפל היטב במזהמים אך דורש תקינות ורציפות לאורך כל השנה (Greenway, 2004).

טבלה 2 מתארת את הטיפול שעובר כל סוג מזהם באגן הירוק (Greenway, 2004).

טבלה 2: תיאור הטיפול בזיהומים באגן ירוק

זיהום	התנהגות האגן הירוק
תרחיפים גדולים ו bod	סדימנטים מטופלים ע"י צמחייה, חלקיקים נצמדים לשכבה הביולוגית של הצמח, תהליכים מיקרובים של חלקיקים אורגניים.
נוטריאנטים	טיפול ישיר של צמחייה ומיקרואורגניזמים. נוטריאנטים אנאורגניים הופכים לביומאסה אורגנית ע"י תהליכים מיקרוביים.
מתכות	ספיחת מתכות לתוך סדימנטיים או ע"י שיקוע.
פחמימן	הפחתה ע"י מיקרובים
פטוגנים	קרינת UV טבעית, שליטה ביולוגית ע"י מיקרובים במערכת האקולוגית, ספיחה לתוך סדימנטים, תמותה טבעית וריקבון.

מי הגשמים ששוטפים את פני המטרופולינים אוספים מזהמים ומשם מגיעים לנחלים ולמערכות אקולוגיות. כפתרון חיץ לסוגיה זו נעשה שימוש באגנים ירוקים במטרה לטפל במים המזהמים

בסדימנטים, חלקיקים אנאורגאניים ונוטריאנטים טרם הגעתם אל המאגר או הנחל. (Greenway, 2000).

על פי המדדים שפותחו באנגליה, על מנת שהטיהור יהיה אפקטיבי אגן ירוק צריך לאפשר למים להישאר בתחום האגן לכל הפחות 3-5 שעות של שיטפון ולכל היותר 10-15 שעות של שיטפון. כמו כן רצוי כי שטח האגן יהיה בין 0.5% עד 5% מהשטח הכללי של המים (Persson, Somes, & Wong, 1999). היעילות ההידראולית של האגן תלויה ביחסים שבין גודל האגן לבין הישארות המים באגן, המחקר מראה שככל שהאגן גדול יותר ישנה יעילות הידראולית של עד 90% באגן שמהווה 3% שטח. בכדי שהתהליכים הרצויים יתרחשו באגן הירוק יש צורך שעומק המים יהיה בין סנטימטרים בודדים ל-1.5 מטר. העומק שאליו מגיעים הצמחים תלוי בכמות האור ובעכירות המים. מבנה הכניסה והיציאה - אזור כניסת המים צריך להיות 1.5 - 2 מטר לכל היותר מה שמאפשר מקסום של המקום בו חלקיקים בינוניים יכולים לשקוע מבלי להפריע לזרימה. באזור היציאה רצוי שתהיה סוג של מסננת שתאפשר לאסוף אשפה צפה או חלקים גדולים של זיהום, עליה להיות גבוהה יחסית כדי לטפל במים במקרה של שיטפון. כשמדובר בכמויות מים גדולות שמגיעות בבת אחת הטיפול שהאגן הירוק יודע לעשות הוא הטיפול הפיזיקאלי, הטיפול הביולוגי והכימי לוקחים יותר זמן (Greenway, 2000).

2.2.3 מאגר צד – מים המיועדים לחקלאות (עונתי)

מאגר צד הינו מאגר שנבנה בצורה מתוכננת ע"י מהנדסים ומתכננים. בצורתו הקלאסית, המאגר נבנה לצידו של ערוץ הנחל, במרחק סביר של עשרות-מאות מטרים ממרכזו. בעת שיטפון סוכרים את המים שזורמים ע"י סכר קטן או מגלש. באותה הנקודה נחפרת תעלה או מוקמת תחנת שאיבה קטנה אשר מנתבת את המים אל המאגר. דוגמא מצוינת למערכת מאגרים כזו הינה מאגרי נחל הבשור.

אגן ההיקוות של נחל הבשור הוא מהגדולים באגני נחלי ישראל. שטחו הכולל מגיע לכדי 3,500 קמ"ר. נחל הבשור חוצה ומחבר מגוון מיוחד של נופים ויחידות גיאוגרפיות. הוא יורד מהר הנגב הגבוה בדרום, דרך מישורי רמת הנגב הצחיחים אל "הנגב הירוק" ורצועת עזה. במרכז - נחל באר שבע היורד מהרי חברון דרך באר שבע ומתחבר אל נחל הבשור באזור באר אסנת - צאלים, שרובו הוגדר כמרחב תכנון נפרד המתוכנן ע"י צוות מקביל. בצפון - נחל גרר - מגבעות להב, רהט והנגב המערבי עד לחיבורו לנחל הבשור ליד תל ג'מה – רעים (רוזנצוויג וטל, 1996). קיימות לאורך נחל הבשור מערכות מים עתיקות שניתנות לזיהוי עד היום. על פי דבריו של דן גזית (ארכיאולוג האזור מטעם רשות העתיקות), ישנם שרידים של סכר ומתקני הטיה בנחל ובגדות. המאגרים הישנים לא החזיקו מים ואמצעי האיטום באותה תקופה היו מבוססים בעיקר על חומרים ביטומנים שהיו פגיעים מאוד לתהפוכות מזג האוויר ולטמפרטורה. ניסיונות יותר מאוחרים נעשו בשנות ה-40 ע"י מהנדס (קולובנוב) באזור רביבים. האמצעים הטכניים ההנדסיים שעומדים כיום לרשות המהנדס המתכנן הינם רבים ומגוונים ובמחירים סבירים שהחקלאות המודרנית יכולה לעמוד בהם מבחינה כלכלית. מאגר נירים שהוקם בשנות ה-70 בנפח 0.6 מלמ"ק, שופץ ונאטם בשנות ה-80. מאגר זה היה המאגר הראשון האטום באגן נחל הבשור התחתון. מערכת האיגום תוכננה בהתחשב במיקומה המיוחד של המאגרים ומתקניהם בתוכנית הטיילות לאורך נחל הבשור. הקו המנחה של חברת מקורות, רשות הטבע והגנים, מועצה אזורית אשכול ואדריכלי הנוף

היה לעשות לפי מיטב השיפוט ההנדסי כך שניתן יהיה לשלב את המאגרים ומתקניהם בתוכנית פיתוח הטיילות לאורך הנחל (קשטן, 2002).

באגן ההיקוות של הנחל ישנן בעיות זיהום משמעותיות, מי השיטפונות בנחל הבשור כוללים שאריות של שפכים תעשייתיים מאזור רמת חובב ומכילים כמות גדולה של חומר אורגאני המוסע במי שיטפונות. תכנון המאגרים הגיע כיום לנקודה שבה ניתן לטפל במי השיטפונות בצורה הטובה ביותר כך שיתאימו לשימושים חקלאיים: טיפול ביולוגי בתוך המאגר, טיפול במקרים של התפתחות אצות בלתי רצויות ובדיקת חתכי מים בתוך המאגר מפני המים ועד התחתית (קשטן, 2002).

בכדי שיוכלו להתקיים מאגרי צד ישנם מספר תנאים הכרחיים (רוזנצוויג וטל, 1996):

2.2.3.1 ניקוז ורציפות הנחל

1. מזעור נגר והשהייתו בתחומים מבונים וסביב מערכות תשתית, מיתון ספיקות, צמצום סיכוני הצפה ייעול מערך הניקוז העירוני.
2. פיזור מרבי של יציאות ניקוז נגר עירוני אל הנחל.
3. בתחום רצועת הנחל, במיוחד בשטחים הפתוחים, הימנעות משינוי תוואי הנחל והתערבות באמצעים של בינוי.
4. טיפול במניעת כניסת מזהמים אל מערכות הניקוז.
5. קביעת אמצעים למניעת התחתרות הנוצרת מתכנון לקוי של דרכים ולמניעת סחיפה של דרכים אל הנחל.
6. בחינה של כל הגשרים, חציות של מערכות תשתית, מעבירי מים וחסמים אחרים, קיימים ומתוכננים העשויים לעכב מעבר ספיקות תכן שייקבעו.
7. חציות, מעברים וגשרים יתוכננו כך שיאפשרו גם מעבר בעלי חיים ומטיילים. מעברים של דרכי מטיילים יאפשרו מעבר לפי רמת המינוע שנקבעה לדרך.

2.2.3.2 ביוב

1. רמת הטיהור של הקולחין תהיה כזו שתאפשר ניצולם להשקיית פארקים וקיום גופי מים פתוחים. בהתאם תהיה בתחום התוכנית הקפדה על פתרון האיסוף, הטיהור והשימוש בשפכים.
2. קווי ההולכה של ביוב יהיו ככל הניתן מחוץ לרצועת הנחל. הרצועות ההגנה יהיו קווי ההולכה קצרים ככל הניתן.
3. בכל מקרה שהוא, לא תותר הזרמה של קולחין, גם מטוהרים, בנחלים.
4. מתקני הטיהור והטיפול בשפכים בשטחי התוכנית יכללו פתרונות למקרי תקלות לרבות מערכות עצירה ושאיבה שימנעו זרימה לנחל.
5. קולחים מטוהרים יוקצו בעדיפות ראשונה לפארקי נחל עירוניים.

2.2.3.3 שימושים חקלאיים

1. ב"רצועת הנחל" לא תותר הקמת מבנים חקלאיים כלשהם. החקלאות תוגבל לחקלאות אורגנית וידידותית לסביבה ולמטייל בלבד.
2. ב"רצועת ההגנה" מוצע למנוע הקמת מבנים ושימושים חקלאיים כגון: מבני משק לבעלי חיים, בתי אריזה, מרכז מזון לבעלי חיים, מחסנים וריכוזים של חומרי הדברה, משטחי שטיפה ומתקני קומפוסט.
3. במתקנים כאלה שיוקמו ב"תחום ההשפעה" תבטוח הפרדה מלאה וטיפול במערכת הנגר והניקוז.

2.2.3.4 איטום מאגרים (קשטן, 2002)

1. איטום ביריעות פלסטיק מרותכות, קיימת בקרת ריתוכים ע"י לחץ אוויר, ואקום ופריצת ריתוכים.
2. בקרת דליפות בעזרת צינור ניקוז היקפי מתחת לסוללה, כלל סילק הדליפות לשוחות בקרה חיצונית.
3. שאיבת המים מהמאגרים בעזרת מתקן מצוף מתוכנן.
4. אפשרות שטיפת המאגר ע"י מי המילוי, ציוד מכאני לניקוי המשקעים בקרקעית, בור שאיבה מיוחד למשקעים.

2.2.4 פרויקט נחלי מנשה - החדרה למי תהום (איגום רב שנתי, תת קרקעי) (שימרון, 1995)

איגום תת קרקעי כדוגמת פרויקט נחלי מנשה הינו פיתרון מצוין לניהול מי נגר, מחיר השטח שדרוש בכדי לאגור כמויות מים גדולות על פני השטח באזור צפוף אוכלוסין הוא גורם מעכב ואף פוסל פרויקטים חיוניים רבים, כמו כן בתהליך ההחדרה המים עוברים סינון טבעי בשכבות החוליות כך שלאחר הסינון המים טובים לשתייה.

2.2.4.1 מבנה המערכת

המפעל מורכב ממספר חלקים עיקריים:

1. סכרוני הטיה מבטון, על כל אחד מהנחלים לעיל, להטיית הזרימה מהנחל אל מערכת המפעל.
2. שדות הצפה (3 שדות על 450 דונם בקרוב) לפיזור והחדרת המים המוטטים אל המאגר המווסת התת קרקעי- אקוויפר.
3. מובילים גרביטציוניים (1.7 ק"מ תעלת בטון מלבנית ועוד 14 ק"מ תעלות עפר בלתי מצופות) להולכת המים מהנחלים אל שדות ההצפה.
4. מאגר השהיה אופרטיבי (3.0 מלמ"ק) אליו מובילים המים העכורים המוטטים מהנחלים בתחילת כל חורף ובעת הגאות לשם שקיעת המרחפים, בטרם הולכת המים על שדות ההצפה.
5. קידוחי הפקה וצנרת לשאיבת המים מהאקוויפר (המאגר המווסת הרב שנתי) והספקתם לצריכה באזור ומחוצה לו.

אגן הניקוז של נחלי מנשה משתרע על שטח של 230 קמ"ר החל מאזור הרי מנשה ועד למישור החוף בסביבת מעגן מיכאל וקיסריה. האגן כולל את מוצא המעיינות ואפיקי הנחלים תנינים, עדה, ברקן ומשמרות. המשקעים הרב שנתיים באגן ההיקוות נעים סביב 638-656 מ"מ, כמויות הגשמים נעו סביב 145 מלמ"ק בשנה. החלק המזרחי של אגן ההיקוות מזין את מפעל נחלי מנשה, באזור מתגוררים כ 30,000 איש ו-10 ישובים כפריים, מושבה (גבעת עדה) וישוב עירוני (פרדס חנה-כרכור), החלק המערבי של אגן הניקוז בו מצויים מאגר השיקוע ושדות הפיזור של המפעל, כולל את איזור דיונות החוף ושפכי הנחלים לים, בנימינה, אור עקיבא, קיסריה ומעגן מיכאל. למפעל נחלי מנשה מספר מרכיבים. בהיותו מבוסס על הספקת מים מנחלים, אשר הזרימה בהם אך ורק מספר חודשים במשך שנה גשומה, המרכיב העיקרי הוא המאגר, 24 מלמ"ק קיבולת בקירוב, אשר תפקודו לווסת בין כמויות המים המוטות מהנחלים, לבין הספקתם לצריכה בשיעור קבוע וברציפות בכל ימות השנה, בין אם היא שחונה או גשומה. מסיבות אקלימיות, טופוגרפיות ואחרות, המאגר המווסת הינו בתת הקרקע ונמצא בתחום האקוויפר הפלסטיקוני שבאזור חולות קיסריה. כתוצאה מכך, כל מערכת המפעל תוכננה כשילוב של תפיסת מי נחלים והספקתם לצריכה באמצעות אקוויפר, המתפקד כמאגר מווסת רב שנתי. שלושת הנחלים (סנונית, עדה וברקן) מתאחדים בקרבת מעגן מיכאל לאפיק אחד (נחל תנינים) שדרכו זורמים מימיהם אל הים. אופייני לנחלים אלה הוא רציפות הזרימות בהם במשך רוב ימי החורף והימשכותם לעיתים בשנים ברוכות גשמים עד לחודש אוגוסט, כאשר המים אינם גואים והם צלולים ומתוקים לכל אורך הנחלים, עד לסביבת חצייתם את כביש מס' 4 חדרה- זיכרון יעקב. מכאן ועד לשפך הים המים מלוחים עקב שפיעת מעיינות ונביעות רבות, שמקורן באקוויפר "ירקון תנינים" (שימרון, 1995).

2.2.4.2 זיהום

הסיכון הנקודתי לזיהום מי שיטפונות באגני ניקוז של נחלי מנשה, נובע בעיקר מרמת הטיפול הנמוכה בשפכים של הישובים ומספר מפעלי תעשייה באזור. רוב הטיפול מבוצע באגני שיקוע וחמצון המשמשים גם לאגירה תפעולית לצרכי השקיה. הסכנה של גלישת מאגרים בעיקר בתקופת השיטפונות החורפיים היא גבוהה ומהווה סיכון לטיב המים המגיעים למפעל ההטיה. זאת בנוסף לזיהום האפשרי מחלחול והורקת בורות ספיגה. סיכון נקודתי נוסף נוצר עקב זיהום של מפעלים בתעשייה ובחקלאות, שהטיפול בשפכיהם מבוצע באופן לקוי, חלק מוזרם לאפיקי הנחלים בקטעים שלפני שכרוני ההטיה (שימרון, 1995). מערכת בקרת זיהום- ניתוח דוחות המעקב ואיכות המים בקידוחי ההפקה מצביע על ההבדלים בין איכות מי השיטפונות ומי הקידוחים. במי הקידוחים לא נמצאו המזהמים שנמצאו בניטור הנחלים וזאת בעקבות הטית הזרימה הראשונית מחוץ למפעל, שיקוע מרחפים, סינון באמצעות חלחול דרך שכבת החול (תהליך-SAT) וכן יישום דוחות הניטור וההתרעה מפני זיהומים אפשריים במעלה אגן ההיקוות (מקורות, 2010).

2.2.4.3 נתונים (מקורות, 2010)

1. זרימת המים לאגן השיקוע מתחילה לאחר 200-240 מ"מ גשם.
2. ממוצע רב שנתי 620 מ"מ גשם. סה"כ ההתאדות השנתית – 1689 מ"מ לשנה.
3. המים מוחדרים באמצעות 33 קידוחי החדרה.
4. ממוצע החדרה בשנה- 12.8 מלמ"ק אך יכול גם להגיע ל 32 מלמ"ק כפי שהיה בחורף '92.
5. בשנים שחונות הוחדרו 1-2 מלמ"ק.
6. עליית מפלס האקוויפר תלוי בכמות ההחדרה ומפלס המינימום התחילי של אותה שנה.

3. פארק אריאל שרון

(מבוסס על הנהלת חברת הפארק, 2012)

(כתבה: רוני בן ציון)

פארק שרון, אשר שימש במשך עשרות שנים כחצר האחורית של מטרופולין דן במרכז הארץ "בזכות" הר הפסולת חירייה, הוכרז בשנת 2005 כפארק מטרופוליני, משמע- שטח ציבורי פתוח לתועלת כלל הציבור (החלטת ממשלה מס' 3562, 2005). יחיד בגודלו, הפארק משתרע על פני כ-8,000 דונם, ומוגדר כשטח גלילי (תמ"מ 5/3, 2004). כלומר, אינו שייך לאף אחת מהרשויות המוניציפאליות הגובלות בו הכוללות את הערים תל אביב, רמת גן, חולון ואזור. בשטח הפארק נכללים, כאמור, הר הפסולת חירייה, פארק דרום ובי"ס החקלאי מקווה וישראל. במרכזו של הפארק המתוכנן עובר נחל איילון, אליו מתמזגים נחל שפירים ונחל כופר (רשות ניקוז ירקון, 2012). נחל איילון הינו נחל אכזב ורוב הזרימה בו נובעת מניקוז שיטפונות בחלקו ההררי ממזרח (שם). כך, בעונות הגשומות, מתמלא הנחל על גדותיו וזורם בעוצמה מערבה, בסמוך לשכונותיה הדרומיות של תל אביב ואל תוך נתיבי איילון. פארק אריאל שרון, אשר תוכנן במקור לפני כ-75 שנים ע"י הבריטים כ"פשט הצפה" של נחל איילון, הינו בעל תפקיד חשוב לעצירה ומניעה של הצפות בשכונות אלו (שם).

3.1. אגן היקוות נחל איילון

מבוסס על רשות ניקוז ירקון, 2012.

נחל איילון הינו יובלו הגדול ביותר של נחל ירקון, מה שהופך אותו לחלק מאגן היקוות נחל ירקון-איילון, אחד האגנים הגדולים בישראל אשר מנקז שטח של כ-1,800 קמ"ר (רשות המים, 2010). מתוך כלל השטח, אגן ההיקוות של נחל איילון מגיע כדי 815 קמ"ר (ראה נספח א' לעבודה זו. רשות ניקוז ירקון, 2012). אגן ההיקוות נחלק ממזרח למערב לשלושה חלקים: הר, שפלה ומישור (רשות ניקוז ירקון, 2012). מנתוני רשות ניקוז ירקון עולה כי לאורכו מתנקזים אל נחל איילון נחלים גדולים, ביניהם נחל גזר, בית עריף, נחל נטוף, נחל אזור וכן שפירים וכופר (בשטח הפארק). חשוב לציין כי לא כל נפח המשקעים באגן ההיקוות מגיע לפארק שרון וזורם לים. לאורך אגן ההיקוות מצויים מספר מאגרי מים וסכרונים, המשמשים לאיגום מי שטפונות, בעיקר לצרכי השקייה חקלאית ולמעשה מפחיתים את כמות הנגר המגיעה לחלק המישורי. אף על פי כן, המים אשר מגיעים לאזור זה בסופו של דבר מתנקזים למוצא צר במרכז הליבה האורבאנית של ישראל - גוש דן, וזורמים לים דרך מוצא נחל ירקון. יש לציין כי בנחל איילון ויובליו אף זורמים שפכים וקולחין אשר מקורם ביישובים שלאורכו. בעונת הקיץ, כאשר הזרימה בנחל פחותה, נשאבים השפכים והקולחין למתקני השפד"ן בסכר שתולים.

בשנים האחרונות הואץ תהליך העיור בשטח האגן, אחוז השטח הבנוי גדל והורחבה התשתית הפיזית (כבישים וכיוב) על חשבון שטחים פתוחים. הדבר הביא להגדלה ניכרת של כמויות הנגר העילי הזורם לנחלים (רשות ניקוז ירקון, 2012). תשתית הניקוז, אשר מבוססת על מערכת נחלים טבעיים נפגעה כתוצאה מתהליכים אלה והצורך בשמירה על שטחי הצפה וניהול נגר הפך בולט וחשוב יותר. שטחו של פארק שרון כיום, אשר הוגדר ע"י הבריטים כפשט הצפה לפני כ-75 שנים כאמור, הינו דוגמה לתכנון

מתקדם לטווח ארוך. כך למעשה נאסרה בו כל בנייה והוא אף לא נכלל בתחומן של הרשויות המקיפות אותו. המתכננים הישראלים שמרו על ההנחיה הבריטית ביוזעם כי איילון ויובלו, נחל שפירים, מועדים להצפות במיוחד עם גידול הבנייה במעלה הנחל (כרמון ושמיר, 2007).

3.2. התמודדות עם ספיקות שיא בנחל

הצפות בשכונות הסמוכות ובנתיבי איילון עשויות לסכן חיי אדם ואף עלולות לגרום לנזקים לא מבוטלים ברכוש ותשתיות. ההיקפים הכספיים כתוצאה מנזקי הצפות ושטפונות יכולים להגיע למיליונים רבים. כך למשל עיריית ת"א עתרה לקבלת פיצוי על סך כ-6.7 מיליון ₪ כנגד חברת ביטוח בסוגית הנזקים שנגרמו לעירייה עקב ההצפות בחורף הסוער בשנת 2000 (ללא מחבר, 2002).

במטרה למתן את ספיקות השיא במורד האיילון (בנתיבי איילון) וכן למנוע את ההצפות בשכונות הסמוכות לפארק, הוכנה תוכנית מקיפה לניקוז וריסון גאויות בנחל איילון בשטח הפארק (פלגי מים ותה"ל, 2009). תוכנית הניקוז מתועדת להתבצע בשטח ניכר מצפון לכביש 1 וכוללת יצירת תוואי שטח המותאם לאירועי שיטפונות המתרחשים אחד ל-25, 50 ו-100 שנים. ביצוע תוכנית הניקוז יכול לפירות עומק, העברת עודפי עפר ושינוי הטופוגרפיה הטבעית של הפארק לטובת יצירת חסמים שישמשו כמגנים טבעיים באירועי שיטפון יוצאי דופן. תחת הנחות חישוב ספיקת היעד בנחל באירוע שכזה נלקחים בחשבון נתונים מטאורולוגיים וטופוגרפיים. התוכנית מכוונת להתמודד עם אירוע הצפה המתרחש אחת ל-100 שנים. הנחת עורכי התוכנית הינה כי ספיקות הזרימה בנחל באירוע כזה יעמדו על 600 מ"ק לשנייה. כך לשם ההשוואה בחורף הסוער בשנת 91/2 עמדה הספיקה בנחל על 250 מ"ק/שנייה (רשות ניקוז ירקון, 2012).

חשוב לציין כי במקביל לתכנון הפארק, מתוכנן פרויקט לאומי של הרחבת מסילות רכבת ישראל בתוואי נתיבי איילון, פרויקט המכונה "המסילה הרביעית" בהובלת משרד התחבורה (רכבת ישראל, 2012). בכדי ליישם את תוכנית הרחבת מסילות הרכבת יידרש מתן פתרון לבעיית הניקוז של נחל איילון במרכז נתיבי איילון בת"א. יישומה של תוכנית להקמת מסילה רביעית מותנה במידה רבה ביצירת פתרון ניקוז בשטח פארק שרון.

על מנת להבין את סדרי גודל של נפח המשקעים והזרימה בנחל איילון, יצויין כי בממוצע רב שנתי בין השנים 1985 ל-2010 נמדדה ע"י השירות ההידרולוגי של רשות המים זרימה של כ-25 מלמ"ק לשנה בנחל איילון בנקודת המדידה בשכונת עזרא, ת"א (רשות המים, 2010).

3.3. תוכנית אדריכלית לפארק שרון

החל מנובמבר 2004 קיימת תוכנית סטטוטורית לפארק - תכנית מתאר מחוזית (תמ"מ) 3/5. על בסיס תכנית זו עוצבה ופורסמה ב-2005 תכנית אדריכלית (ובעיקרה תכנית אדריכלית נופית) בעריכתם של צוות אדריכלים בינלאומי ובהובלתו של אדריכל הנוף פיטר לץ (שם). התכנית האדריכלית, המכונה גם Master Plan, מהווה את תכנית המתאר העקרונית ומפרטת את השימושים בתחומי הפארק (ראה תרשים 1 להלן). התכנית אשר מושתתת על עקרון פיתוח בר קיימא, מגדירה את החזון התכנוני של הפארק, אופיו ועיצובו בטווח הארוך. חוזקה העיקרי בהעצמת ייחודיותו של הפארק במרקם הנוף העירוני הצפוף במרכז גוש דן.

תמהיל השטחים בפארק כולל שטחים ברמת פיתוח אינטנסיבית ושטחים אקסטנסיביים. השטחים האקסטנסיביים נחלקים לשלושה סוגים: אזורי ההצפה טבעיים בלב הפארק, שטחים חקלאיים ושטחים טבעיים לשימור והשבה של נופים טבעיים. באמצעות הגדרת השטחים מתאפשרת ההתאמה של אזורי התכנון לתפקידו של הפארק כ"פשט הצפה" כפי שצוין בפירוט לעיל. על פי התכנון, ליבו של הפארק יהווה שטח פראי, עשיר בצמחיה טבעית, המיועד וצפוי להתמלא בתקופות חורפיות גשומות בזרימות מים חזקות ואילו ביתר הזמן יהווה מרחב לפנאי ונופש לטובת ציבור המבקרים בפארק ואף יתקיים בו מופע מים בסחרור אשר ייצר תחושה של זרימה טבעית, אם כי מצומצמת, בנחל. יתרונותיה, חסרונותיה ומחזוריותה "הטבעית" של פשט הצפה, הובאה בפירוט בפרק 2 לעבודה זו.



תרשים 1: תוכנית Master Plan לפארק שרון, פיטר לץ 2008 (שם).

3.4 מאפייני הקרקע בפארק

על מנת לבצע את תוכנית הניקוז בלב ליבו של הפארק ידרשו פעולות חפירה והעמקת תוואי השטח במרכזו. על פי התכנון הנוכחי עודפי העפר יופנו לאזורים היקפיים סביב פשט ההצפה (ראה נספח ב' לעבודה זו. Master Plan, 2008). מניתוח המבנה הליתולוגי של הקרקע בפארק שרון עולה כי הקרקע בשטח הפארק, רובה ככולה, הינה קרקע המאופיינת בסלע חרסיתי (נספח ג' לעבודה זו. רשות הטבע והגנים, 2002/3).

שגב וסביר (2004) מפרטים במאמרם את תכונותיו של סלע החרסית. סלע זה הינו סלע משקע אגמי, הנוצר מבליה של סלעים עתיקים והתפרקותם עד לגודל זעיר ביותר (0.02 מ"מ ופחות). הסלעים השחוקים נסחפים ומצטברים, מתלכדים יחדיו ויוצרים סלע רך ופריך. לחרסיות יש גוונים שונים שמקורם בתחמוצות ברזל ובחומרים נוספים המצויים בסלעי החרסית. שכבת החרסית המצויה באדמה הינה אטימה למים בגלל זעירותם של גרגרי החרסית (המרווחים ביניהם קטנים מאוד), ובגלל תכונתם לספוח אליהם מים ולתפוח בבואם במגע עם המים. על גבי שכבות של חרסית בעומק האדמה מצטברים בד"כ מי תהום ולכן שכבות אלו מהוות אקוויקלוד (שכבה עוצרת מים).

בשל הפורוזיביות הנמוכה של הקרקע החרסיתית המצויה בפארק שרון, כלומר יכולתה הנמוכה לספוח אליה מים, נמנע ברבות השנים חלחול מי התשטיפים לאקוויפר החוף וזיהום מסוכן למערכת האקולוגית ולאדם (זמני ינוסח מחדש). ככלל, קרקע חרסיתית משמשת בשל תכונותיה לפתרונות איגום שונים ובפרט לבניית מאגרי מים. מכיוון שבמהלך יישום תוכנית הניקוז בפארק ייווצרו עודפי עפר של קרקע חרסיתית, נראה כי קיים פוטנציאל מסוים לשימוש בחומרים אלו לטובת פתרון איגום.

3.5. צריכת משאבי טבע בפארק שרון

כדרכם של פארקים ושטחים מגוונים במרחב העירוני, צפוי פארק שרון לצרוך משאבי מים ואנרגיה וכן משאבים כספיים לטובת הפעלת כוח אדם, תחזוקת המתקנים, מערכות ההשקיה והגינון וכיוב. על פי התכנית האדריכלית המפורטת, צפוי הפארק לצרוך כ-5 מיליון קוב מים בשנה לטובת השקיה, גינון, מילוי האגמים, ניקיון ותחזוקה שוטפת של מתקני הפארק. בחישוב ממוצע מדובר על היקף השקיה שנתית בכמות של כ-1,000 מ"ק לדונם לשטחים המגוונים (מצפון לכביש 1) כלומר, ללא השטחים החקלאים שברשות ב"ס מקווה וישראל. לשם השוואת סדרי גודל, כמות מים זו הינה שוות ערך לצריכה של כ-83 אלף איש, לפי חישוב ממוצע של כ-60 מ"ק צריכה שנתית לאדם (מקורות, 2012).

3.6. מקורות המים לשימושים השונים בפארק

הבאת מים המתאימים לשימושי הפארק הינה סוגיה סבוכה הנוגעת למספר בעלי עניין שונים. נתאר להלן בקצרה את האפשרויות להבאת מים לפארק והקשיים הצפויים למימושו:

- **כמות משקעים שנתית** - כמות המשקעים השנתית הממוצעת, כפי שנמדדה בפארק שרון עומדת על 552 מ"מ לשנה כלומר כ-1.3 מלמ"ק בחישוב שנתי ממוצע (רשות המים, 2010). דרישת המים לצרכי השקיה בפארק כוללת את כמות המשקעים השנתית היורדת בשטחו. כאמור, מופעי הגשם אינם אחידים כאשר מדובר באקלים ים תיכוני. כמו כן, בשל מיקומו של הפארק בחלקו המישורי של אגן ההיקוות, מופעי החורף חזקים ואינם מאפשרים ניצול שוטף בצורה אחידה לאורך תקופת הגשמים השנתית.
- **מי קולחין** - מספר מפעלי טיהור והשבת שפכים מצויים באזור הפארק. על פי הנהלת הפארק, נבחנות אפשרויות להשקיה במי קולחין. אף על פי כן נכון למועד כתיבת העבודה, לא נמצאה חלופה ברת יישום אשר תוכל לספק לפארק את תצרוכתו השנתית במלואה מסיבות שונות, כאשר הבולטת מביניהן הינה ההסכמים הקיימים באזור המרכז בין תאגידי המים והרשויות המקומיות אל מול צרכני קולחין כדוגמת שפד"ן. נושא זה נמצא כיום בבדיקה אל מול הרשויות המקומיות ורשות המים. יודגש כי קיימת מגבלה נוספת בשימוש הנובעת מהגבלות השימוש במי קולחין, כפי שזכר בפרק 1 לעבודה, הקשורות בעמידה בסטנדרטים להשקיית גינון ציבורי כפי שהוגדרו ע"י משרד הבריאות להשקיית אזורים מגוונים עירוניים באמצעות מי קולחין (המרכז לשלטון מקומי, 2009).
- **מי אקוויפר** - הפקת מים ע"י שאיבת מי אקוויפר מתת הקרקע בשטח הפארק. חלופה זו מספר מגבלות מרכזיות:

1. אקוויפר החוף מצוי במצב של שאיבת יתר.

2. בשל כך, מי האקוויפר הינם בעלי מליחות גבוהה יחסית ומציבים מגבלות לשימוש לצרכי השקיה וגינון.

3. המבנה הליתולוגי בפארק משקף קרקע חרסיתית ברובה. משמע, נדרש לחדור דרך שכבה זו על מנת להגיע לעומק האקוויפר ולשכבת מי התהום.

4. עלויות שאיבה מתת הקרקע גבוהות באופן יחסי (אנרגיה וציוד).

- **מתקן התפלה** - הועלתה אפשרות להקמת מתקן קטן להתפלת מי ים, המצויים בקרבה לפארק באופן יחסי. עלויות ההקמה של המתקן וכן תפעולו השוטף צפויים להיות גבוהים ויעילותם הכלכלית מוטלת בספק. לפי הנהלת חברת הפארק אפשרות זו אינה עומדת לדיון בשלב זה.
- **נגר עילי ומי שיטפונות** - כאמור, שטח אגן ההיקוות של אגן נחל איילון מגיע כדי 815 קמ"ר. נפח המשקעים השנתי על פני כלל אגן היקוות נאמד בכ-365 מלמ"ק בממוצע רב שנתי על פי נתוני רשות המים. נתונים אלו מצביעים על נפח זרימה בנחל איילון בתחנת המדידה בפארק של כ-25 מלמ"ק בממוצע רב שנתי (בין השנים 1985 עד 2010), מתוכם 18 מלמ"ק מהווים נפח גאוויות. בשל היקף הזרימה ומופעי גאוויות לאורך השנה בולטת ההבחנה כי במידה וימצא פתרון איגום בעל קיבולת מספקת לצרכי הפארק, הניתן לשילוב בתוכנית האדריכלית, תתאפשר יצירת מקור מים יציב שיאפשר אספקת מים לאורך שנת הצריכה.

4. מטרת המחקר וחיבתו

כפי שנסקר בפרקים לעיל נושא צריכת המים בפארקים מטרופולניים הינו סוגיה חשובה, בעלת משמעויות אקולוגיות, כלכליות בתפעולו השוטף של הפארק. פארק שרון, כפארק בהקמה, אשר נושא המים לא קיבל פתרון חד משמעי, מהווה הזדמנות יוצאת דופן לייצר פתרון מושכל, יעיל חסכוני ובר קיימא לביקוש המקומי של הפארק למים. סקירת מקורות המים לצרכי הפארק העלתה אתגרים וקשיים רבים ביישום ובכל זאת הציגה רעיון להתאמת הביקוש להיצע המים באזור באמצעות פתרון איגום. על מנת לבחון את ההיתכנות תכנונית, כלכלית וסביבתית של הפתרונות השונים, נדרש לבצע מחקר מעמיק אשר בו יבוצע איסוף של כלל הנתונים, ניתוח אינטגרטיבי של שיקולי עלות למול תועלת, השפעה סביבתית צפויה, התאמה לתמ"מ וכן לתוכנית האדריכלית של הפארק.

לפיכך **מטרת המחקר** המוצע בעבודה זו הינה מציאת פתרון איגום מי שיטפונות לפארק אריאל שרון אשר ייתר את הצורך ברכישת מים לצרכי הפארק.

השערת המחקר בשלב זה לעבודה הינה כי כמות מי הנגר והשיטפונות הניתנת לאגירה בשטחי פארק מטרופוליני מסוגלת לספק את צריכתו השוטפת.

על מנת להשיג את מטרת המחקר ואף לאשש את ההשערה המרכזית הועלו מספר **שאלות מחקר** עיקריות:

1. אלו פתרונות איגום הינם ברי יישום בשטח פארק אריאל שרון ומהם היתרונות והחסרונות עבור כל אחד מהפתרונות אלו?

שאלה זו נועדה לבחון מהם הפתרונות הישימים לפארק, יתרונותיהם וחסרונותיהם. כך לאתר שתי חלופות מרכזיות, מתוך כלל האפשרויות הקיימות בפרקטיקה בתחום זה, על פי סקירת פתרונות האיגום שנערכה בפרק 2 לעבודה זו. יתכן, וכמובן לא ניתן להעריך בשלב זה, כי תוצאת עבודת החקר שתעשה עבור שאלה זו תוביל לאיחוד פתרונות, למשל שילוב פתרון מאגר צד יחד עם פשט הצפה.

2. מהי כמות המים (ספיקה) הצפויה להיאגם בשטח הפארק במונחים שנתיים ועונתיים (מופע חורף) בפתרונות המוצעים?

במטרה לענות על שאלה זו, יבוצע אומדן של כמויות המים הצפויות להיאסף בכל אחד משתי החלופות שאותרו.

3. מהם השימושים האפשריים של מי שיטפונות ונגר בשטחי הפארק וסביבתו ומהי הכמות המבוקשת עבור כל אחד השימושים הללו?

במטרה לענות על שאלה זו יבחנו כלל השימושים הנדרשים למול הנהלה הפארק לרבות צרכי השקיה וגינון, תחזוקה שוטפת, שטחי חקלאות, אטרקציות, אגמים וכן מופע מים המתוכנן לאורך השנה בערוץ הנחל המרכזי.

4. מהן אפשרויות התאמת ההיצע לביקוש בשני מצב טבע; עודף (איגום) ומנגד מחסור. בשלב זה במחקר תבוצע התאמה בין צרכי הביקוש למים בפארק כפי שאותרו בסעיף 3 למול יכולת איגום של שני הפתרונות הנבחרים בסעיף 2.

5. מה התועלות הצפויות לפארק ולסביבתו כתוצאה מיישום הפתרון שנמצא במחקר כמיטבי עבור הפארק?

לסיכום תיבחן יכולת היישום בפועל תוך שימת דגש על היבטים תכנוניים, כלכליים ואקולוגיים.

5. סיכום לעבודה

(כתבה: רוני בן ציון)

עבודה זו, אשר נכתבה במסגרת קורס פרויקטים בחקר הסביבה באה להדגיש את החשיבות שביעול שימוש המים בסביבה עירונית. כפי שהוסבר והובא בפירוט בעבודה זו פארקים עירוניים בכלל ופארקים מטרופוליניים בפרט, מהווים צרכני מים משמעותיים ביותר, בשל שטחם רחב הידיים ורמת האיכות הגבוהה המאפיינת אותם (כמו למשל נראות ירוקה, תחזוקה שוטפת מוקפדת ועוד). בעבודתנו עמדנו על חשיבותם של פארקים מטרופוליניים ותרומתם, אשר לאו דווקא נמדדת בערכים כספיים בלבד, לסביבתם הקרובה, למערכת האקולוגית ולאדם המתגורר בסביבה העירונית האורבאנית. נסקרו הרקע ההיסטורי להקמת פארקים, התועלות והאתגרים המאפיינים אותם בארץ ובעולם ואף ניתן דגש על פארקים הממוקמים באזורי אקלים ים-תיכוני.

כפי הוזכר בעבודה אזורי אקלים ים תיכוני, מאופייניים בשונות משקעים גבוהה לאורך השנה ולכן נושא טיפול בשטפונות וניהול מי נגר דורש תשומת לב רבה, השקעות וניהול שוטף. מאידך גיסא, באזורים אלו לא ניתן לקיים שטחים מגוננים, ירוקי עד, ללא מים. הפער בין הביקוש להיצע מציע הזדמנות ייחודית לאזן בין צרכים מנוגדים ובכך להשיא את התועלות משימוש במשאב המים. מסקירת הפתרונות לסוגיות הקיימים בשימוש בארץ ובעולם עולה כי קיימות מספר אפשרויות לוויסות גיאיות והסתת עודפי מים כך שניתן יהיה להשתמש בהם בתקופות יבשות יותר. פתרונות אלו כללו שימוש במאגרים תת קרקעיים, מאגרי צד, אגנים ירוקים ואף פשט הצפה. כל פתרון בעל מאפיינים שונים, לפיכך הינו בעל יתרונות וחסרונות שיש לבחון ביחס למיקום הפרטי והמסוים.

הבחירה לדון בסוגיות המים ופתרונות האיגום הניתנים ליישום בפארק שרון, המצוי בימים אלו בשלבי תכנון והקמה מתקדמים, מאפשרת להכניס שיקולים כלכליים ואקולוגיים למנגנון ניהול משק המים בפארק הנבנה בימים אלו. מטרת המחקר, כאמור, הינה להציע פתרון יישומי להסתת עודפי המים בעונות גשומות לטובת צריכתו השוטפת על בסיס פתרונות איגום וידע צבור בארץ ובעולם.

בחלק זה של העבודה, אשר כלל ביצוע סקירת ספרות ורקע לתהליך המחקר מעשי, הובאו נתוני הבסיס ובצע ניתוח ראשוני של הדילמה המרכזית בפארק אריאל שרון. על מנת להציג את הפתרון המיטבי, הניתן ליישום בפארק יש לבחון את ההיתכנות תכנונית, כלכלית וסביבתית של הפתרונות השונים, לרבות ביצוע מחקר מעמיק, ניתוח אינטגרטיבי של שיקולי עלות למול תועלת, בחינת ההשפעה סביבתית צפויה מיישום הפתרון, התאמתו לתמ"מ וכן לתוכנית האדריכלית של הפארק.

בשל הפוטנציאל היוצא מן הכלל המצוי בפארק אריאל שרון וסביבתו, אנו רואים חשיבות רבה בהשלמת מחקר זה ואיתור פתרון נכון. פתרון אשר יאפשר לקיים פארק מטרופוליני (ים-תיכוני) במרכז הארץ,

עשיר בצמחיה וטבע, מושך קהל ומבקרים כמובן לאורך שנים רבות ויתר כל כן לשימושם של הדורות הבאים לאחרינו.

- Asano, T. (2002). Water from (waste)water--the dependable water resource. *Water science and technology*: a journal of the International Association on Water Pollution Research, 45(8), 24-33. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12019829>
- Aschmann, H. (1973). *Distribution and Peculiarity of Mediterranean Ecosystems* (pp. 11-20). New York: Springer-Verlag.
- Barton, J., & Pretty, J. (2010). What is the best dose of nature and green exercise for improving mental health? A multi-study analysis. *Environmental science & technology*, 44(10), 3947-55. doi:10.1021/es903183r
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29(2), 293-301. doi:10.1016/S0921-8009(99)00013-0
- Cao, X., Onishi, A., Chen, J., & Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*, 96(4), 224-231. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.03.008
- Chiesura, a. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning*, 68(1), 129-138. doi:10.1016/j.landurbplan.2003.08.003
- Coley, R. L., Sullivan, W. C., & Kuo, F. E. (1997). Where Does Community Grow?: The Social Context Created by Nature in Urban Public Housing. *Environment and Behavior*, 29(4), 468-494. doi:10.1177/001391659702900402
- Cortner, H., & Moote, M. (1994). Trends and issues in land and water resources management: Setting the agenda for change. *Environmental Management*, 18(2), 167-173. Springer New York. doi:10.1007/BF02393759
- Di Castri, F. (1981). *Mediterranean-type shrublands of the world*. Amsterdam: Elsevier Ltd.
- Eliasson, I., & Upmanis, H. (2000). Nocturnal Airflow from Urban Parks-Implications for City Ventilation. *Theoretical and Applied Climatology*, 66(1), 95-107. Springer Wien. doi:10.1007/s007040070035
- Elmqvist, T., COLDING, J., BARTHEL, S., BORGSTRÖM, S., DUIT, A., LUNDBERG, J., ANDERSSON, E., et al. (2004). The Dynamics of Social-Ecological Systems in Urban Landscapes: Stockholm and the National Urban Park, Sweden. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1023(1), 308-322. Blackwell Publishing Ltd. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1196/annals.1319.017>
- Greenway, M. (2000). Biotechnological Stormwater Management For Flood Protection And Water Quality Improvement With Special Reference To Landscape Design , Public Recreation And Wildlife Habitat Creation. *Environmental Engineering*, 133-152.
- Greenway, M. (2004). Constructed Wetlands for Water Pollution Control - Processes , Parameters and Performance. *Most*, 12, 491-504.
- Grose, M. J. (2009). Changing relationships in public open space and private open space in suburbs in south-western Australia. *Landscape and Urban Planning*, 92(1), 53-63. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204609000334>

- Grose, M. J., & Hedgcock, D. (2006). Designs for Stormwater Disposal in Public Open Space: An Ecological Assessment of Current Practices in Western Australia. *1st Australian National Hydropolis Conference* (pp. 1-20). Retrieved from <http://www.hydropolis.com.au/papers.htm>
- Hyun-kil, J. (2002). Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. *Journal of Environmental Management*, 64(2), 115-126. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479701904918>
- Jaensch, R. P. (1992). Herdsman Lake - WA080. *Australian Government, Department of the Environment and Heritage*. Retrieved March 3, 2012, from <http://www.wagouldleague.com.au/dehreport.htm>
- Jonge, V. N. D., Elliott, M., & Orive, E. (2002). Causes , historical development , effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication, 1-19.
- Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. In D. P. Dodge (Ed.), *Proceedings of the international Large River* (pp. 110-127).
- Kardinal Jusuf, S., Wong, N. H., Hagen, E., Anggoro, R., & Hong, Y. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat International*, 31(2), 232-242. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397507000148>
- Landy, M. (2000). Frederick Law Olmstead: Civic Environmentalist. In C. T. Rubin (Ed.), *Conservation Reconsidered*. Rowman & Littlefield. Retrieved from <http://books.google.co.il/books?id=E2hGE3lyh6UC>
- Myers, N., Mittermeier, R. a, Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. a, & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-8. doi:10.1038/35002501
- Network city- a milestone in metropolitan plannin. (2005). Perth.
- Nixon, S. W. (1995). Coastal Marine Eutrophication: A Definition, Social Causes and Future Concerns. *Ophelia*, (41), 199-219.
- Olmsted, F. L., & American Social Science Association. (1870). Public parks and the enlargement of towns read before the American Social Science Association at the Lowell Institute, Boston, Feb. 25, 1870. Cambridge, Mass.: Printed for the American Social Science Association, at the Riverside Press. Retrieved from <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/8341276.html>
- Pare, M., Sauri, Æ. D., & Domene, E. (2006). Evaluating the Environmental Performance of Urban Parks in Mediterranean Cities: An Example from the Barcelona Metropolitan Region. *Environmental Management*, 750-759. doi:10.1007/s00267-005-0197-z
- Parés-Franzi, M., Saurí-Pujol, D., & Domene, E. (2006). Evaluating the Environmental Performance of Urban Parks in Mediterranean Cities: An Example from the Barcelona Metropolitan Region. *Environmental Management*, 38(5), 750-759. Springer New York. doi:10.1007/s00267-005-0197-z
- Persson, J., Somes, N. L. G., & Wong, T. H. F. (1999). Hydraulics Efficiency of Constructed Wetlands and Ponds. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 40(3), 291-300.
- Sabto, M. (2010). Wastewater to rejuvenate aquatic reserve in Perth. *Ecos Magazine*. Retrieved January 31, 2012, from <http://www.ecomagazine.com/?paper=EC155p7a>

- Sandström, U. G., Angelstam, P., & Mikusiński, G. (2006). Ecological diversity of birds in relation to the structure of urban green space. *Landscape and Urban Planning*, 77(1-2), 39-53. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204605000277>
- Subra, W., & Waters, J. (1996). Non Point Source Pollution. *Water*, 2231-2233.
- Taylor, P., Sommer, T., Harrell, B., Nobriga, M., Brown, R., Moyle, P., & Schemel, L. (2011). California's Yolo Bypass: Evidence that flood control can be compatible with fisheries, wetlands, wildlife, and agriculture. *Fisheries (Bethesda)*, (January 2012), 37-41.
- Ward Thompson, C., Roe, J., Aspinall, P., Mitchell, R., Clow, A., & Miller, D. (2012). More green space is linked to less stress in deprived communities: Evidence from salivary cortisol patterns. *Landscape and Urban Planning*. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.12.015
- Ward, J. V., & Stanford, J. A. (1995). The serial discontinuity concept: Extending the model to floodplain rivers. *Regulated Rivers: Research & Management*, 10(2-4), 159-168. John Wiley & Sons, Ltd. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1002/rrr.3450100211>
- van den Berg, A. E., Maas, J., Verheij, R. a, & Groenewegen, P. P. (2010). Green space as a buffer between stressful life events and health. *Social science & medicine (1982)*, 70(8), 1203-10. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.socscimed.2010.01.002
- אוחיון-קניגסברג, כרמית. (2010). פארק מטרופוליני מישור החוף - מתווה תכנוני ועקרונות פעולה. תל אביב-יפו. מקור: <http://www.teva-tlv.co.il/wp-content/uploads/Nofesh1.pdf>
- בן דוד, איתמר. (2012). דו"ח האיומים על השטחים הפתוחים. מקור: http://www.teva.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/Threats2012SPNI.pdf
- גארב, יעקב. (2001). הערך הכלכלי של פארקים ושטחים פתוחים - סקירת ספרות תוך התייחסות ליער ירושלים. מקור: http://www.sviva.gov.il/Environment/Static/Binaries/ModulKvatzim/p0141_2.pdf
- האן, איריס. (2011). פארקים ואזורי נופש מטרופוליניים בישראל - עיקרי הדברים, המלצות ליישום ומדריך למתכנן. ירושלים.
- האן, איריס; בלבן, עמיר; וינדזור, אהובה; רוזנר, יערה; קפלן, מוטי; רוזנטל, גדי ויהושע נחום. (2011). פארקים ואזורי נופש מטרופוליניים בישראל, כרכים ראשון ושני (בעריכת איריס האן). ירושלים: מכון ירושלים לחקר ישראל. מקור: <http://www.jiis.org.il>
- כרמון, נעמי ושמיר, אורי. (2007) תכנון רגיש למים- שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי. הטכניון, מכון גרנד למחקר המים, המחקר לחקר העיר והאזור. עמ' 10.
- לוי, דותן. (2011). תביעות נוספות של הזרע מעכבות את הקמת פארק שרון. כלכליסט. מקור: http://www.calcalist.co.il/real_estate/articles/0,7340,L-3512900,00.html
- לץ, פיטר וברוידא, עליזה. (2005). תכנית אדריכלית לפארק שרון.
- מישורי, דניאל. (2005). תולדות רעיון הגידור. ארץ אחרת, גליון 29. 22-28, מקור: http://www.ecowave.org.il/articles.php?record_id=13
- פרובולוצקי, אבי; פולק, גדי ולחמן, אסתר. (1992). האקלים הים-תיכוני. החורש הים תיכוני: רקע כללי - סקירת ספרות. יד הנדיב, החברה להגנת הטבע.

קרני, יובל. (2004). "הלחצים הופכים את פארק איילון לעסקת נדל"ן. מקור:
<http://www.ynet.co.il/articles/1,7340,L-2872424,00.html>

קשטן, אסף. (2002). תכנית אב לשיקום ופיתוח נחל הבשור - כרך א'

רוזנסון, ישראל. (1987). חיים בירושלים של מטה. טבע וארץ. (294), מקור:
http://www.snunit.k12.il/heb_journals/aretz/294032.html

רוזנצוויג, דן וטל, שמעון. (1996). מאגרים כמקור מים לנגב.

רז, יונתן. (2008). דו"ח נחל הירקון, מקור: http://yarqon.org.il/publications/yarqon_stat_2008/#/25

רינת, צפריר. (2004). על התכנית להקמת פארק איילון. הארץ
מקור: <http://www.haaretz.co.il/misc/1.1528697>

רינת, צפריר. (2010). חברת הזרע מסרבת לפנות אדמות המיועדות לפארק על שם אריאל שרון. הארץ Online.
מקור: <http://www.haaretz.co.il/news/law/1.1198220>

שגב מ. וסביר ב. (2004): מסע במרחבי כדור הארץ: פרקים נבחרים בגיאוגרפיה פיסית, הוצאת מט"ח, 168 עמ'.

שימרון, ז. (1995). סקר סביבתי - אגן הקוות נחלי מנשה.

שפירא, עמית והאן, איריס. (2006). שטחים ציבוריים פתוחים בערים - בחינת ההיבטים התכנוניים. מקור:
www.sviva.gov.il

ללא מחבר

אפשרויות ניצול נגר עילי. (1995).

המשרד להגנת הסביבה אתר האינטרנט, החלטת ממשלה מס' 3562, פארק איילון. (2005). מקור:
http://www.sviva.gov.il/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWhat=object&enDispWho=News%5E12789&enZone=gov_decisions&enVersion=0&

חברת הפארק, "תוכנית אסטרטגית לפיתוח בר קיימא בחברת פארק אריאל שרון", (2009). הוגש כחלק מדו"ח דירקטוריון לשנת 2009 לרשות החברות הממשלתיות.

חוות דעת בנושא ההתכנות הכלכלית ואופן ההסדרה והמימון להקמת פארקים באזור מזרח נתניה ונס ציונה. (2004).

חירייה פארק המחזור, אתר האינטרנט. (2012). מקור: <http://www.hiriya.co.il>

מפעלי החדרה, מקורות. (2010)

מקורות, אתר האינטרנט, ניהול משאבי מים, נתוני צריכה (2012). מקור:
<http://www.mekorot.co.il/HEB/WATERRESOURCESMANAGEMENT/CONSUMEDATA/Pages/default.aspx>

עיריית ת"א תובעת 6.7 מיליון שקל ממגדל עקב הצפות. (2002). מקור:
<http://www.ynet.co.il/articles/1,7340,L-2253038,00.html>

פארק אריאל שרון, אתר האינטרנט הרשמי. (2012). מקור: <http://www.parksharon.co.il/>

רכבת ישראל, פיתוח- פרויקטים עתידיים- מסילה רביעית באיילון. (2012). מקור:
<http://www.rail.co.il/HE/Development/Future/Pages/ayalon.aspx>

רשות המים, המחלקה למים עיליים והידרומטראולוגיה, השירות ההידרולוגי, סיכום עונת הגשמים 2009/2010 ומאפייניה ההידרולוגיים העיקריים (2010). ירושלים. מקור: <http://www.water.gov.il/>

רשות ניקוז נחל ירקון, אתר הרשות, ניטור אקלים. (2012). מקור: <http://www.yarkon-nikuz.org.il/>

שימוש בקולחים ברמה מעולה להשקיית הגינון הציבורי. (2009). מקור:
www.iula.org.il/img/AdditionalData/milka/ginunkolhim.doc

תכנית מתאר ארצית לגנים לאומיים, שמורות טבע ושמורות נוף - תמ"א מס' 8, הוראות סביבתיות בתכנית. (1981) מקור: http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/Articals/t8_1.pdf

תכנית מתאר ארצית ליער ויעור מס' תמא/22 - הוראות התכנית. (1995). מקור:
http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/Articals/t22_1.pdf

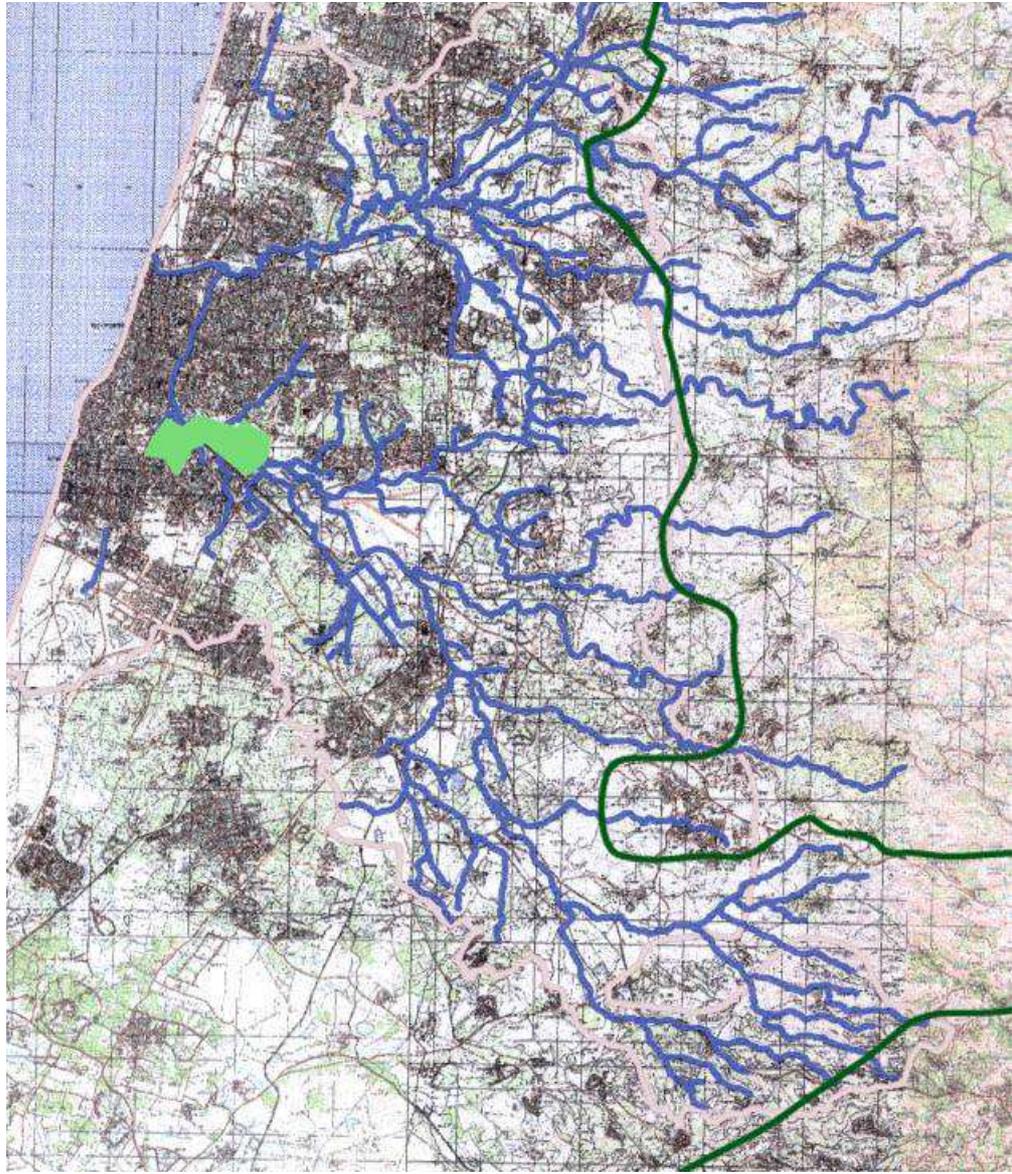
תכנית מתאר ארצית משולבת לבנייה, לפיתוח ולשימור - תמ"א 35. (2005). מקור:
<http://www.moin.gov.il/Subjects/GeneralPlaning/Pages/default.aspx>

תכנית ריסון גיאויית בנחל איילון - פארק שרון. (2009).

ראיונות עם גורמי מפתח (ינואר - פברואר, 2012, מראיינים: המחברים)

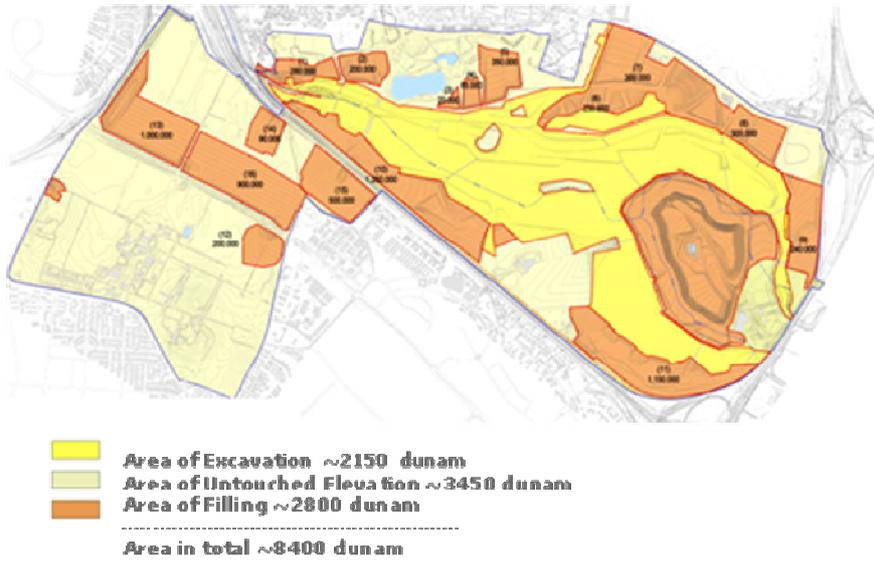
- אינג' אלגביש, חובב, מהנדס ניקוז, מוביל פרויקט ראשל"צ, משרד מהנדסים לביא נטיף.
- מר בורוכוב, משה, מנכ"ל חברת פארק שרון.
- מר לוי, שי, מהנדס סביבתי, חברת פארק שרון.
- מר לנדאו, זאב, מנכ"ל רשות ניקוז ירקון.
- מר קסורלה, דני, מהנדס מאגרים ראשי, מקורות.

נספח א': אגן ההיקוות איילון-ירקון ומיקומו של פארק אריאל שרון באגן



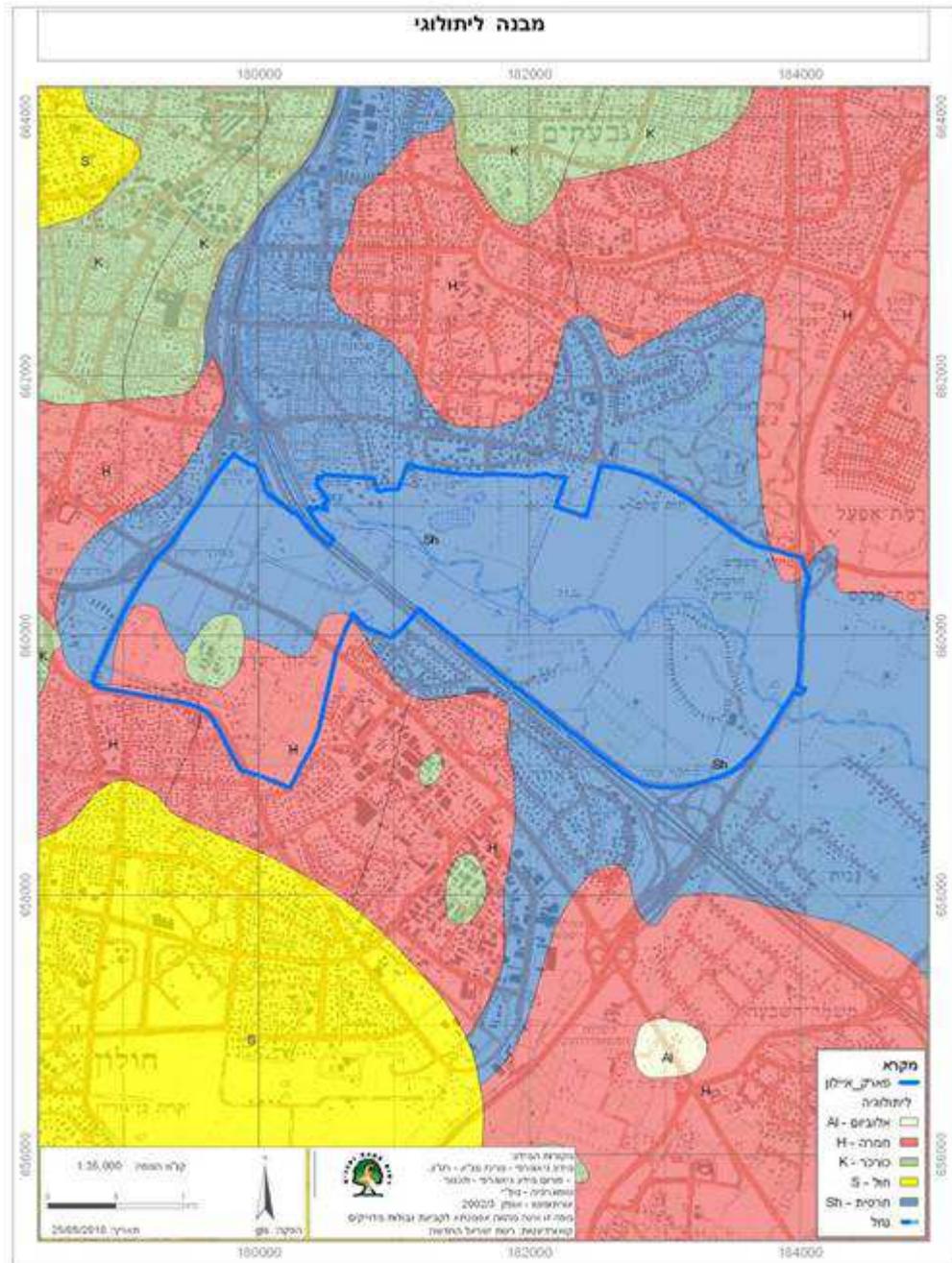
מקור : רשות ניקוז ירקון, 2012.

נספח ב': מאזן עודפי חפירה ומילוי, תוכנית הניקוז, פארק אריאל שרון



מקור : תוכנית Master Plan פארק אריאל שרון, 2008.

נספח ג': מבנה ליתולוגי של הקרקע בפארק אריאל שרון



מקור: רשות הטבע והגנים, 2002/3, התקבל מהנהלת פארק שרון.



אוניברסיטת תל-אביב

מחזור שפכי רפתות, באמצעות אגנים ירוקים

אלעד פרג (043367218)

שלומית ליפשיץ (051454791)

קרן קסנר ברמן (066617325)

**קורס "פרויקטים בחקר הסביבה" - תשע"ב
בית הספר ללימודי סביבה ע"ש פורטר,
מרס 2012**

תוכן עניינים :

4	.....תקציר
5	.....מבוא
7	.....
8	.....פרק א' משק הרפתות בישראל
9	.....1א שפכי הרפתות
11	.....2א הרפורמה במשק החלב
14	.....פרק ב' אגנים ירוקים
14	.....1ב בעית שפכי רפתות ופתרונות קצה
13	.....1.1 מכון לטהור שפכים
15	.....2.1 בריכת חמצון
17	.....2.2 אגנים ירוקים
18	.....1.2 יתרונות וחסרונות של אגנים ירוקים
18	.....2.2 תהליך טהור באמצעות אגנים ירוקים
20	.....3.2 שלושה סוגי אגנים ירוקים הנחלקים על פי הזרימה
23	.....4.2 הטכניקות המועדפות בישראל לטהור שפכי רפתות
26	.....פרק ג' טיהור מי רפתות, באמצעות אגנים ירוקים, "פיתרון קצה" כדאי, באזורים מסוימים בישראל
31	.....שאלת המחקר, השערת המחקר, מטרת המחקר, חשיבות המחקר
32	.....סיכום
33	.....רשימה ביבליוגרפית
35	.....נספחים, רשימת איורים, צילומים, טבלאות
36	.....1. ראיון עם טובה אברך ולירון תמיר מועצת החלב
38	.....2. טבלת חסרונות ויתרונות של שיטת אגנים ירוקים
39	.....3. ראיון אמיתי אבנון, חברת א.א. מהנדסים
41	.....4. ראיון יעל בן צבי, חברת עפרה צמחי מים
43	.....5. טבלת אגנים ירוקים בישראל כיום
44	.....6. ראיון אמיר צלאל, חברת טריפל טי
45	.....7. ראיון יצחקי טל רפת מעגן מיכאל

תודות

אנו שמחים להביע, את תודתנו, לפרופ' אביטל גזית, על ההוראה.
לדוקטורנט איתי אליאב, על הפגישות, הליווי וההדרכה.
בני אזולאי – מנהל תשתיות, קיבוץ מעגן מיכאל.
טל יצחקי – מנהל הרפת - קיבוץ מעגן מיכאל.
ד"ר טובה אברך, חדשנות ובריאות - מועצת החלב.
לירון תמיר, כלכלן - מועצת החלב.
אמיתי אבנון, מהנדס- מחברת א.א מהנדסים.
יעל בן צבי, מנכ"לית - חברת עפרה צמחי מים.
אמיר צלאל, מהנדס - חברת טריפל טי.

תקציר (קרו)

משק המים בישראל, עובר בתקופות האחרונות שינויים גדולים. ביניהם, הקמת מפעלים להתפלת מי ים, צמצום הספקת המים השפירים לחקלאות והמרתם בקולחים, הקמת תאגידי מים ברשויות המקומיות, יסוד הרשות הממשלתית למים ולביוב והכרה באפשרות שאנו עומדים בפני שנים שחונות רבות, כנראה כתולדה של שינויים אקלימיים גלובליים.

על אף הצלחות בניהול משק המים, לאורך השנים נתגלו גם ליקויים סביבתיים שונים, שנובעים מהקושי לקיים במלואן את המשימות המורכבות שהמשק מציב. במחקר שערך המשרד להגנת הסביבה, נתגלה פוטנציאל זיהום גבוה למקורות מים בשל חלחול שפכי הרפתות לקרקע ולמי התהום. בהתאם לכך הנהיג המשרד, בשיתוף מספר גופים נוספים את "הרפורמה במשק החלב". שתי מטרות הנחו את יוזמי הרפורמה: 1. התייעלות הענף, תוך צמצום ההוצאות: הגדלת יחידות ייצור הרפתות, באמצעות ניוד מכסות ייצור חלב, הקמת שותפויות ופרישת יצרנים מהענף תוך צמצום מספר הרפתות. 2. מניעת הזיהום הסביבתי מהרפתות והגנת מקורות המים, על ידי שדרוג סביבתי של הרפתות והקמת תשתיות להגנת הסביבה.

בכדי להתמודד עם בעיית הזיהום הסביבתי ולהגן על מקורות המים, נקבע כי על כל רפת להציג "פיתרון קצה" נאות לשפכי הרפת. המשרד להגנת הסביבה, הציע מספר פתרונות קצה אפשריים בפני בעלי הרפתות.

הצעת המחקר מתמקדת בשאלה, האם אגנים ירוקים ישימים לטהור שפכי רפתות בישראל. תוצג השערה לפיה, טיהור שפכי רפתות, באמצעות אגנים ירוקים, אכן יספק "פיתרון קצה" כדאי, באזורים מסוימים, בישראל. מטרת המחקר הינה למצוא את מטרות הרפורמה, במשק החלב ולמנוע זיהום סביבתי על ידי שפכי הרפתות, בנוסף לייעול השימוש בשפכים המטוהרים למטרות נוספות.

מבוא (קרו)

מקור המים הטבעיים שלנו, הוא בגשמים, שעוצמתם משתנה משנה לשנה. עם הזמן נוספו למים הטבעיים שני מקורות נוספים: האחד הוא מי הקולחים ומים מושבים משפכים שנאספו, טוהרו והועברו לשימוש חקלאי ומקצתם לטבע. המקור השני הוא המים המותפלים, במיוחד בחוף היס התיכון (כסלו; 2011).

הצעת מחקר זו תעסוק בסוגיית טיהור השפכים מהרפתות, במשק החלב בישראל. תחילה, המחקר יציג את סוגיית הרפתות, כמויות הזבל והשפכים הנוצרים בהן והדרך שנבחרה להתמודד עם סוגיית שפכי הרפתות על ידי המשרד להגנת הסביבה.

ענף גידול הבקר, מייצר כמויות שפכים ופסולת, גדולות ביותר. בכמויות זבל אלו, קיים סיכון גבוה לזיהום הסביבה, בעיקר זיהום מקורות המים. משק פרות החלב בארץ, מייצר בשנה יותר מ- 300 אלף טונות זבל מוצק ובמוצק, נאגרים כ- 250-300 ליטר שפכים, לפרה ביום (צדיקוב, 2001).

סך תוצרי הנוזלים מהרפתות, נאמד בלמעלה מחמישה מיליון טונות בשנה, בריכוז של 8% - 13% חומר יבש. תוצרי נוזלים אלו מכילים כ- 250,000 טונות חנקן וכ- 4,500 טונות זרחן, חנקות, מלח, בורון ועוד. על ידי מדד הצח"ב נמדדת צריכת החמצן הביולוגית (BOD- Biological Oxygen Demand), המודד זיהום מים בחומרים אורגניים. פרה מפרישה בממוצע 1 ק"ג צח"ב ליום בהשוואה לבני אדם, המפרישים בממוצע 50 גרם צח"ב ליום. מכאן, שהפרשת צח"ב מפרה אחת, שקולה להפרשת צח"ב מ- 20 בני אדם. אי לכך, שפכים שהטיפול בהם לקוי יכולים לחלחל אל מי התהום ולגרום להתדרדרות באיכות המים, עד כדי פסילתם לשתייה ולפגיעות סביבתיות רבות (צדיקוב, 2001).

בשנת 1999, פרסם המשרד להגנת הסביבה, תקנות לטיפול בשפכי רפתות (דחובני ועוד, 2001). הרפתות נדרשו לסלק בדרך נאותה, את תוצרי הלוואי המיוצרים במקום. כדי שרפת תאושר, היה עליה להציג "פתרון קצה" נאות. כלומר, יעד סופי אליו מסולקים השפכים וואו הזבל הנוצרים ברפת, העומד בדרישות החוק וממזער, את הנזקים הסביבתיים (צדיקוב, 2001).

לאחר תיאור משק החלב והרפורמה שבוצעה בו, תוצג טכניקת האגנים הירוקים כ"פיתרון קצה" אפשרי לטיהור שפכי הרפתות. שיטת האגנים הירוקים לטיהור שפכי בעלי חיים, יכולה להוות תחליף אפשרי וואו מרכיב מתוך מערכת שפכים, רחבה יותר. לכן, יש לבדוק היטב את יתרונות וחסרונות הטכניקה, להבין את התהליך המתקיים בשיטה זו, העקרונות לפיה היא מתבצעת, אופן יעילותה, וההשקעה הכלכלית הכרוכה בה, לעומת פיתרונות הקצה המועדפים כיום (Simeral, 1998).

לאחר ניתוח המידע המשותף לטכניקת האגנים הירוקים ומתייחס לטיהור שפכי הרפתות, המחקר ידון באזורים, בהם מתקיימות רפתות ואף ייתכן כי משק החלב בהם משגשג ואף על פי כן, המשרד להגנת הסביבה עוד לא אכף את ביצוע הרפורמה במלואה.

הצעת המחקר תציג, ראשית, את נושא בעיית השפכים ממשקי הרפתות וטיפולם בארץ. בהמשך תוצג טכניקת האגנים הירוקים ולבסוף יוצעו האזורים הרלוונטיים ליישום הטכניקה.

פרק א' - משק הרפתות בישראל (אלעד)

בפרק זה תוצג תחילה הגדרת מבנה ופעילות הרפתות בישראל ויסקרו שימושי המים בהם. לאחר מיכן ימופו תוצרי השימושים השונים במים והסכנות הסיבתיות הכרוכות בהם. בהמשך תובא הרפורמה במשק החלב, כדרך ההתמודדות לבעיות הסיבתיות שהוצגו, הנחיות הרפורמה, ביצוע הרפורמה בשטח ולבסוף ייבדקו התוצאות והסוגיות הנלוות לפעולות אלו.

רפת הינה מכלאה לגידול בקר לצורכי ייצור חלב, הכוללת מתקנים מגוונים, כגון: פייטום, הזרעה, עמדת עגלים, רובוט חליבה, מאביס תערובת, אבוס בליל, תאי רביצה, שקתות מים, מכון חליבה, אזור בית חולים ואזור חיצוני לקבורה והובלה למשחטה (צדיקוב, 2001).

בענף החלב בישראל, קיימות רפתות שיתופיות (קיבוצים ומושבים שיתופיים), רפתות משפחתיות (במושבים) ורפתות בבתי ספר חקלאיים ומכוני מחקר (הלמ"ס, 2010). נכון לשנת 2010, קיימות בישראל, כ- 957 רפתות ב- 297 ישובים (שנתון מועצת החלב, 2010). משק החלב בישראל מייצר למעלה ממיליארד מאתיים וחמישים מיליון ליטר חלב בשנה, כאשר ערך הייצור ברפתות עולה על 3 מיליארד ₪ בשנה. מספר הפרות במשק כולל 125,000 פרות בוגרות (לא כולל את המשקים הקיימים מעבר לקו הירוק) (הלמ"ס, 2010).

רפת ממוצעת בישראל, בה מגדלים בממוצע כ- 300 פרות וכ- 240 עגלות, צורכת לשם שימוש בסיסי של המתקנים וקיום הבקר למעלה מ- 22,000 קוב מים בשנה. בהעדר נהלים, פיקוח ואכיפה ייתכנו סיכונים סביבתיים ותברואתיים ממשיים, משפיכת תוצרי השימוש במים באופן בלתי מבוקר (צדיקוב; 2001).

א.1 שפכי הרפתות :

שפכי הרפתות מורכבים משפכים ומתשטיפים.

שפכים – מוגדרים כמים, ששימשו לשטיפות ברפת, כולל המוצקים בתרחיף והבוצה. מוצאם במכון החליבה, בחצר ההמתנה הצמודה, שטיפת עטיני הפרות, ההפרשות בזמן החליבה, ציוד החליבה וצינון הבקר. בממוצע, נאגרים כ 250-300 ליטר לפרה ליום – 800 מ"ג/לי צח"ב. (צח"ב - צריכת חמצן ביולוגית, BOD – זיהום מים בחומר אורגני. אומדן לכמות החמצן הנדרשת לפירוק החומר האורגני על ידי חיידקים).

תשטיפים – מוגדרים כנוזלים, כולל מי גשם, שהיו במגע עם זבל, או נבעו ממנו. נוזלי הזבל האורגני, או מי הגשם שבאו במגע עם הזבל (צדיקוב, 2001)

בנוסף קים ברפת הזבל הנערם בחצרות הרביצה, בשטחי שיכון הפרות, ובקרקע חשופה לנגר / גשם. בשנה נוצרים יותר מ-300 אלף טונות, זבל מוצק, ממשק החלב בלבד.

פרה בוגרת מפרישה ביום 34-57 ק"ג צואה ו 23-32 ליטר שתן. במונחי צח"ב - פרה מפרישה בממוצע 1 ק"ג צח"ב ליום. בהשוואה לבני אדם, המפרישים 50 גרם צח"ב, ליום. בהערכה שנתית: פרה חולבת, צורכת 18 מ"ק מים בשנה, פרה יבשה צורכת 16 מ"ק מים, בשנה ועגלות /עגלים מינקות עד גיל שנתיים, צורכים 19 מ"ק מים בשנה. סך הכל, נוצרים למעלה מחמישה מיליון טונות שפכים מרפתות בשנה (צדיקוב, 2001).

משק החלב זוהה כענף המזהם ביותר, מבין ענפי החקלאות השונים. עיקר הזיהום נגרם מזרימת תשטיפים וחלחולם באופן בלתי מבוקר, הנובע מפעילות ואופי הרפת. המשרד לאיכות הסביבה מציין, כי תעשיית הרפת בכללה מייצרת בשנה 3 מיליון טון זבל, 1.35 מיליון מ"ק שתן, 10 מיליון מ"ק שפכים ו-100 מיליון מ"ק תשטיפים. בנוסף לכך, נותרים 15 מיליון ק"ג פגרים בשנה ו-10 מיליון ק"ג הפסדים, חלקי גוף שאינם עוברים עיבוד למאכל אדם (המשרד להגנת הסביבה, 2008).

שפכי הרפתות מאופיינים בעומס אורגני גבוה, איכות לא קבועה, ספיקה לא סדירה, כמות מוצקים גדולה והרכב מומסים בעייתי. לכן, יש צורך בויסות הזרימה, הפרדת המוצקים וטיפול בעומס האורגני הקיים בשפכים, או אגירה מקומית ושינוע השפכים (פלדלייט, 2000).

נמצא כי, המקורות האפשריים לזיהום מפעילות הרפת הם :

- א. זיהום מקורות מים בנוטריאנטים (N,P) חנקות, מלחים, חומר אורגני ופתוגנים.
- ב. זיהום קרקע במלחים, חומר אורגני ופתוגנים.
- ג. מפגעי ריח, זבובים ומפגעים ויזואליים.

הזיהום העיקרי הוא האיום על מקורות המים, באופן ישיר (פיזור בלתי מבוקר, אחסון בתנאים לא נאותים ונגירה מרפתות בלתי מוסדרות) ובאופן עקיף נוצר זיהום מהתשטיפי והשפכים (צדיקוב, 2001)

2א. הרפורמה במשק החלב

בעקבות דו"ח נציבות המים ביוני 1997, בנושא פוטנציאל זיהום מקורות המים ולאחר מספר מחקרים קודמים, יחד עם שינויים כלכליים בסחר העולמי בשוק החלב שהתנהלו בשנת 1999, הוחלט להסדיר את משק החלב בארץ. החלטה זו הועלתה מחשש לקריסת השוק הישראלי וזיהום ממשי למקורות המים (נציבות המים; 2005).

עד שנת 2008 החל תהליך שדרוג וניהול כלל הרפתות בישראל. תהליך זה התבצע בזכות מענקים רבים מצד המדינה ונוהל ופוקח, ע"י ארבעה גופים עיקריים: מועצת החלב שתפקידה היה שיפור תנאי מחיית הבקר, משרד החקלאות שתפקידו היה ריכוז הרפתות, משרד האוצר בתפקיד ניהול התקציב והמשרד להגנת הסביבה כמפקח הפרויקט, פיקוח על לוחות הזמנים והנחת קווי היסוד לתשתיות. במסגרת הרפורמה אושרו השקעות בסכום כולל הגבוה מ 780 מליון ₪, בתשתיות למען איכות הסביבה ברפתות. המענקים לטיפול הסביבתי היוו כ-55% מסך כל המענקים שאושרו במסגרת הרפורמה. תמיכות כספיות רבות, ניתנו במהלך הרפורמה, בכדי שהרפתות יוכלו לעמוד בתקנים ובטכנולוגיות החדשות ומנגד הורחבו סמכויות האכיפה והפיקוח על המשק כולו (צדיקוב ושושני, 2001)

לאור הרפורמה, הוחלט להעניק תקן חדש לרפת, הידוע בשם: "רפת בועה". במסגרת התקן, על כל רפת ישנה וחדשה לעמוד בניתוק מוחלט, בין מכלולי הרפת, לבין הסביבה. מטרת תקן זה הינה להסדיר:

- א. מניעת מגע בין מי גשם נקיים לזבל. ב. מניעת חלחול המים, שבאו במגע עם הזבל.
- ג. קליטה וטיפול, בכל המים שבאו במגע עם זבל (דחובני ועוד, 2001).

בנוסף, על "רפת בועה" לעמוד בתקני "פתרונות קצה" מחמירים לשפכים, לפי המיקום הגיאוגרפי ומספר הפרות ברפת. הוחלט על שינוי מבני הרפתות, הקמת בריכות "קדם טיפול" ולעיתים אף על איחוד רפתות ממניעי צמצום הזיהום וייעול (דוחובני ועוד; 2001).

תרם הרפורמה משק החלב אופייני בחוסר פיקוח ואכיפה, חוסר נהלי בניה ותשתיות, זיהום אזורי ושימוש בטכנולוגיות ישנות. בעקבות הרפורמה, בין השנים 1999 – 2008 משק החלב התקדם למצב שדרוג, ניהול ואכיפת כלל הרפתות בישראל. בעקבות השקעות שבוצעו בתשתיות להגנת הסביבה במהלך הרפורמה, רוב הזיהום הופסק והענף נמצא לקראת הסדרה מלאה. זאת ועוד, לפי מאמר סיכום תוצאות הרפורמה בשנת 2008, 47% מרפתות החלב עומדות בדרישות מודל "רפת בועה" עם תשתיות למניעת חלחול מזהמים למניעת נגירת זבל בלתי מבוקרת, תשטיפים ושפכים, למניעת זיהום מי גשם נקיים, אצירת זבל מסודרת במאצרות ו"פתרון קצה" הולם לשפכים (המשרד להגנת הסביבה; 2008)

הרפורמה נחשבת בעיני כל המשרדים כהצלחה, שמטרותיה מולאו:

1. איכות הסביבה - סיוע במניעת מפגעים, הגנה על מקורות המים, תוך שמירה על איכות הסביבה.
 2. התייעלות הרפת – הפחתת מחיר לצרכן הישראלי, תוך שמירה על רווחיות העוסקים בענף.
 3. איחוד רפתות - תמריץ ליצרני החלב, להפנמת ועידוד ההתייעלות.
 4. פיתוח הכפר - שמירה על הרפתות במשק המשפחתי.
- (דוחובני ועוד; 2001).

בתום התהליך ניתן לומר, כי על אף הצלחת הרפורמה, נותרו מספר נקודות תורפה לטיפול. נקודות תורפה, אלו הן: הנחיות לא ברורות עד סופן, בנושא מציאת "פיתרון הקצה" לטיפול בשפכים. למעשה, עדיין קיימות מספר רפתות לא מבוטל, שאינן השלימו את הרפורמה ונותרו מחוץ לרפורמה, ללא הסדרי אכיפה וללא אישור פעילות (אברך ותמרי; 2012)¹

¹ ראה ספח 1, ראיון עם ד"ר אברך. ט, מנהלת תחום בריאות ב"מועצת החלב" ועם תמרי. ל, כלכלן ב"מועצת החלב" (2012).

פרק ב' – פתרונות קצה ליישום משק החלב (שלומית)

בפרק זה יתוארו בעיות הזיהום, הנוצרות בעקבות שפכי הרפתות והשיטות השונות לטיהורן ולטיפול בהן. בהמשך, תוצג טכניקת טיהור שפכי הרפתות באמצעות אגנים ירוקים וסקירת הנעשה בתחום זה בישראל.

ב.1 - בעיית שפכי רפתות ופתרונות קצה אפשריים:

המזהמים העקרים בשפכי רפתות הם חומר אורגני, חנקן, זרחן, גורמים מיקרוביאליים, וביניהם גורמי מחלות למיניהן, חומרי ניקוי וחיטוי, תרופות ומתכות כבדות. החנקן והזרחן שבמי השפכים מכונים גם נוטריינטים (חומרים מזינים) והינם נחוצים ליצירת חלבונים בצמחים. עם זאת, כמויות נוטריינטים מרובות בשפכים רעילות ועשויות ליצור, במידה ומגיעות לאגם, לבריכה, או לנחל, מצב של פריחת אצות (אאוטרופיקציה) הגורע מהמים את החמצן המצוי בהם (Cronk, 1995).

לכן, משרד החקלאות קבע תקנות מחייבות לכלל בעלי הרפתות בכדי למנוע זהום סביבתו וזהום מי תהום, על ידי שפכי הרפתות (דוחובני ועוד; 2001). קביעת מידת טהור המים נעשית על פי המלצות ועדת ענבר המופיעים בדו"ח המסכם (2003). בהתאם לכך, קיימים שני מדדים: האחד, כמות הצח"ב, צריכת החמצן הביולוגית, (BOD) והשני כמות החומרים המרחפים (TSS-Total Suspended Solids). לעתים, אף מציינים, את רמת החנקן במים. המדדים הם במיליגרם לליטר (mg/l, מג"ל). איכות המים, מצוינת בצורת שבר, במונה מתוארת רמת הצח"ב ובמכנה מתוארת רמת ה TSS: צח"ב/TSS. תקנות ענבר קובעות, כי מים שיוצאים ממכון טהור, צריכים להיות ברמה $TSS > 20/30$ צח"ב, כלומר כמות צח"ב פחותה מ-20 מג"ל וכמות חומרים מרחפים פחותה מ-30 מג"ל. בשפכים רגילים ריכוז המדדים האלה בכניסה למתקן הטהור הוא 400/400. בשפכי רפת הריכוז שלהם בכניסה למתקן הוא 2200/8000 (א.א מהנדסים).

קודם להזרמת השפכים אל המערכות המטפלות עליהם לעבור קדם טיפול, הנקרא גם טיפול ראשוני, בכדי להוציא מהמים מוצקים גסים וכבדים, שמנים וחומרים צפים ולהביא אותם לרמת עומס אורגני מתאימה – שהיא צח"ב מתחת ל 1000 מ"ג לליטר. בתהליך קדם הטיפול, נאספים שפכי הרפת למיכל (ראה צילום 1), מופרדים המוצקים מהשפכים, על ידי השקעתם, בבריכות אצירה, או באמצעות מתקן הפרדה (ראה צילום 2). המוצקים המופרדים (צילום 3), נלקחים לטיפול, במתקני טפול מיוחדים ובדרך כלל מיוצר מהם קומפוסט.

צילום 1. מתקן לאסוף התשטיפים מהרפת. ממנו נשאבים המים למתקן הפרדת המוצקים .



צילם אלעד פרג

צילום 2: קדם טיפול: מתקן הפרדת מוצקים באמצעות גרוויטציה על ידי השקעה ברפת מעגן מיכאל.



צילם אלעד פרג

צילום 3: המשקע שהופרד.



צילם אלעד פרג

מי הקולחים יכולים להיות מטוהרים ברמת טיפול ראשוני (נמוכה), טיפול שניוני (רמה בינונית), או שלישוני (רמה גבוהה).

- **טיפול ראשוני (קדם טיפול):** טיפול מכני הכולל סינון שפכים גס, שיקוע חלקיקים כבדים ושיקוע ראשוני, הכולל הרחקת חלק מהמוצקים המרחפים והחומר האורגני. רמת טהור זו, נמוכה ולמעשה משמשת, כטיפול מקדים, להמשך תהליך הטהור (פארטו; 2003).
- **טיפול שניוני:** טיפול ביולוגי, בו מתבצע תהליך פירוק החומר האורגני, המצוי בשפכים, הרחקת המוצקים המרחפים, שיקוע הבוצה (המכילה בעיקר את החיידקים המפריקים) וחיתוי הקולחים, לצורך סילוק מיקרואורגניזמים פתוגניים (גורמי מחלות). בתהליך מתקבלים קולחים צלולים, באיכות 20/30 ורמת חנקן שווה, או נמוכה מ 50 מג"ל ניתן להשתמש במים אלה, לשימושים חקלאיים מסוימים, שהם אינם למאכל אדם ולהזרמה לנחלים (פארטו, 2003).

- **טיפול שלישוני:** טיפול נוסף לקולחים, המעלה את איכותם לרמת 10/10, כלומר רמת צחי"ב – הנמוכה מ- 10 מג"ל וריכוז מוצקים מרחפים הנמוך מ 10 מג"ל וכן רמת חנקן נמוכה מ- 20 מג"ל. זו איכות אשר ניתן להשתמש בה להשקיה בלתי מוגבלת-לגידולים חקלאיים למאכל אדם, להשקית מדשאות וגינות, להזרמה לנחלים ולהשקיה מעל אקוויפרים וזאת בלי חשש לבריאות הציבור, או זיהום האקוויפר. תהליכי הטיפול במעבר מרמה שניונית, לשלישונית, נקראים ליטוש. טיפול שלישוני יכול לכלול אחד, או יותר מהתהליכים הבאים.

1. סילוק חנקן בתהליך ביולוגי.

2. סילוק זרחן בתהליך ביולוגי ו/או על ידי כימיקלים.

3. סינון נוסף של מוצקים מרחפים.

4. סינון גרביטציוני: החדרה לתת קרקע - סינון הקולחים על ידי החדרה דרך חול שבסופו מתקבלים קולחים באיכות גבוהה מאוד. תהליך זה דורש משאבי קרקע גדולים (בישראל הדבר נעשה כיום רק במכון הטיהור של גוש דן - השפד"ף).

5. סינון בלחץ: סינון הקולחים על ידי העברתם במסנני חול סגורים. בשיטה זו, אין צורך בשטח גדול וקיימת בקרה טובה יותר, על איכות הקולחים. עם זאת, הסינון בלחץ, צורך עבודה עם לחצים גבוהים, המסופקים על ידי משאבות, תהליך יקר הדורש אנרגיה רבה. דוגמה לתהליך כזה בארץ הוא מכון טיהור השפכים בכרמיאל

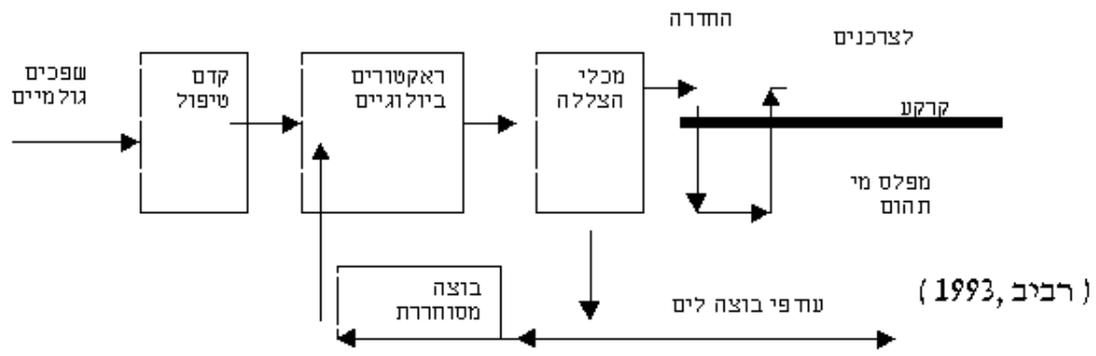
(פארטו, 2003; שחף, 2010).

קיימות טכנולוגיות שונות, שמטרתן לסלק את המזהמים המצויים, בשפכים בכלל ובשפכי רפתות בפרט ולטהר את המים ברמה שניונית, או שלישונית. טכנולוגיות אלה שונות זו מזו, במידת המורכבות שלהן, בעלויות הקמתן ואחזקתן, במידת המיומנות הנדרשת להפעלתן, בשטח הנדרש להן ובאורך זמן תהליך הטהור. להלן, תיאור שתי הטכנולוגיות העיקריות, הנהוגות כיום בישראל: מכון אינטנסיבי לטהור שפכים ובריכת חמצון.

ב.1.1 - מכון לטהור שפכים (מט"ש)

שיטת טיהור מים אינטנסיבית, הפועלת בשיטת הבוצה המשופעלת. בתהליך זה (ראה איור 1), מוזרמים המים, המיועדים לטהור, לריאקטורים ביולוגיים, שהם אגני אוורור ואליהם מוכנס אוויר, באופן מכני ובכמויות גדולות. באגנים אלה מתפתחת אוכלוסיית חיידקים פעילה (מקור החיידקים מהאוויר וכן מבוצה, שמוכנסת למים בתחילת התהליך). תרכובות אורגניות וחנקניות, המצויות בשפכים, עוברות פירוק על ידי החיידקים והופכות לביומסה, או לגז, הנפלט לאטמוספירה. לאחר מספר שעות שהייה, מוזרמים השפכים המטוהרים, ברמה שניונית, מאגני האוורור, למכלי הצללה, בהם שוקעת הבוצה והמוצקים המרחפים האחרים (רובם הם תאי חיידקים ותרכובות אורגניות לא מסיסות) ומתקבלים קולחים צלולים. חלק מהבוצה, הנוצרת כמשקע, מוחזרת בסחרור, לאגני האוורור והיתרה, מסולקת כבוצה עודפת ומוזרמת לים, או מועברת למתקנים ייצור קומפוסט. הקולחים ברמה השניונית, מועברים להשקיה או לטיפול שלישוני. עיקר הטיפול השלישוני הינו החדרתם למי התהום ושאיבתם מחדש, כך שבהמשך ישמשו המים להשקיה, או להזרמה לנחלים. משך השהייה במתקן כיממה. רמת הטהור בסוף התהליך היא 10/10 (סנס וליברמן, 1999; יאמיריס')

איור 1: תהליך טהור שפכים, באמצעות בוצה משופעלת.



<http://ichut.macam.ac.il/shfach.html#5>

צילום 4: מתקן לטהור שפכים.



<http://www.environmentindex.com/he/companies>

יתרונות וחסרונות, שיטת הבוצה המשופעלת:

יתרונות השיטה: דורשת שטח קטן ביחס לבריכת חמצון. הקולחים המופקים הם באיכות שניונית גבוהה ושלישונית. משך התהליך קצר ונמשך מספר שעות עד יממה, לכל היותר. חסרונות השיטה: רגישות גבוהה לאיכות השפכים, לנוכחות חומרים רעילים, לריכוז החומר האורגני ולטמפרטורת הסביבה. עלות הטיפול בשפכים גבוהה יחסית והתהליך מחייב בקרה צמודה והפעלתה מתבצעת על ידי כוח אדם מיומן, ברמה טכנית גבוהה (אמירים).

ב. 1. 2 - בריכת חמצון

בריכת חמצון הנה שיטה אקסטנסיבית לטהור מים, המבוססת על בריכה מלאכותית, שמתבצע בה סילוק החומר האורגני באמצעות חמצון ביולוגי, על ידי מיקרואורגניזמים, שצפים במים מגיעים לבריכה באופן ספונטאני וטבעי. בריכת החמצון, מתאימה, בעיקר, לשפכים שאינם מכילים כמויות חומר אורגני גבוהות מאד ונהוגה במחנות צבא וביישובים קטנים ומבודדים, בהם מאות ספורות בלבד של תושבים. הטהור נמשך כשבועיים. בעבר, הייתה זו השיטה הנפוצה בישראל (שחף, 2010).

תהליכי הטיהור המתבצעים בבריכת החמצון, מתבססים על סימביוזה בין אצות ירוקות, המבצעות הטמעה בשכבת המים העליונה, שאליה חודרות קרני השמש ובכך מעשירות את המים בחמצן, לבין מיקרואורגניזמים, המנצלים את החמצן, כדי להתקיים וליזון מהחומר האורגני, המצוי בשפכים וכך לפרקו (שחף, 2010).

צילום 5: בריכת חמצון לטיפול בביוב של בסיס צהלי בנגב.



צילום: עוזי דגני <http://www.nrg.co.il/online/54/ART2/280/374.html>

יתרונות וחסרונות, שיטת בריכת החמצון:

יתרונות השיטה: פשוטה וזולה להפעלה ולאחזקה. ולא דורשת כוח אדם רב. תהליך ההכשרה לאחזקת המתקן, פשוט.

חסרונות השיטה: תהליך רגיש לתנאי האקלים, לשינויי טמפרטורה, לשינויי אורך היום וכדומה. ככל שעומס השפכים על הבריכות גדול יותר, הן הופכות למטרד, בשל היחס, בין קצב ייצור החמצן, הנגרם על ידי השמש והאצות (פוטוסינתזה), לדרישת החמצן, הנגרמת על ידי כמות המיקרואורגניזמים, בשפכים. מטרדים חמורים הם מפגעי ריח ויתושים. משך הטיפול במים, ארוך יחסית, כשבועיים בממוצע, נדרש שטח רב ורמת טהור השפכים הינה שניונית, נמוכה ורמתה בממוצע 45/85. צח"ב=30-60 מג"ל, מוצקים מרחפים (TSS)=50-120 מג"ל, חנקן =40-50 מג"ל (אמירים).

ב. 2 - טכניקת האגנים הירוקים - (CW) CONSTRUCTED WETLAND הנקראת גם שיטת האחו-הלח או שיטת מרבדי הקנה (Reedbed Filter), או שיטת מב"ט (מערכת ביולוגית טבעית). זוהי שיטה טבעית ואקולוגית לטיהור מי שפכים, המחקה את מנגנוני הטבעיים של הטבע בטיהור מי ביצות (אבנון ויעקב, 2001).

מי השפכים מוזרמים לבריכה מלאכותית ורדודה, שבתשתיתה חצץ ונטועים בה צמחי מים וצמחי גדה שונים. טהור המים מתבצע בעיקר על ידי מיקרואורגניזמים המתפתחים על מצע שורשי הצמחים וגבועליהם. רמת הטהור שניונית = 20/30. לאחר הכלרה, משמשים המים להשקיה ולשימושים נוספים. המים שוהים באגנים מספר ימים. 10/10 (חברת טריפל טי).

צילום 6: אגנים ירוקים, ברפת במעגן מיכאל.



צילם : אלעד פרג

צילום 7 : אגנים ירוקים, בנאות סמדר.



http://www.ayala-aqua.com/images/1/neot_smadar10.jpg

ב. 2. 1 - יתרונות וחסרונות, שיטת האגנים הירוקים, לטיהור שפכי רפתות:

יתרונות השיטה: טכניקת טהור מים, באמצעות אגנים ירוקים, מלאכותיים, Contracted Wetland (CW), מתבססת על תהליכי פירוק טבעיים, המתרחשים בבתי גידול לחים (ספיר ואשכנזי, 2010). יתרון השיטה בחסכון האנרגטי המשמעותי שבתפעולה מתוך כך שהיא ממוקמת בקרבת הרפת ובאיכות שניונית גבוהה של מי הקולחים המטוהרים באמצעותה ולכן מתאפשר גלגול ושימוש בקולחים בקרבת מקום (2. עפרה צמחי מים, 2005). בנוסף לכך, משך הטהור מהיר יחסית והינו מספר שעות עד מספר ימים. האגנים אסתטיים, מוסיפים לנוי הישוב, מושכים אליהם מגוון חרקי מים, דו חיים ציפורים ועוד ובכך מעשירים את מגוון המינים ואת המערכת האקולוגית (Cronk, 1995)

חסרונות השיטה: הקמת אגנים ירוקים, דורשת בחירה בשטח מתאים הידרולוגית. ההקמה בפועל, כרוכה בעבודות עפר, איטום הקרקע, הוספת מצע וצמחים ואי לכך היא יקרה למדי. אחזקת המתקן דורשת הכשרה, ידע ומיומנות. המערכת עשויה להיסתם ומושפעת מתנאי טמפרטורה. בתנאים מסוימים, יכולים להיווצר מפגעי ריח ומקור משיכה ליתושים (ספיר ואשכנזי, 2010).

ב. 2. 2 - תהליך טיהור השפכים באמצעות אגנים ירוקים

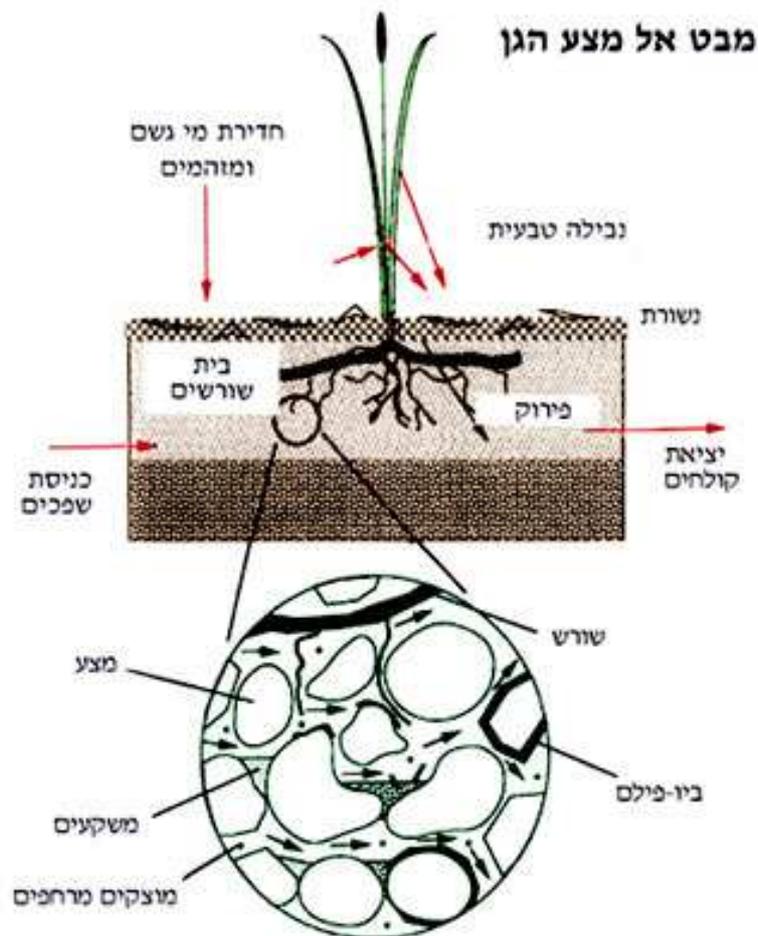
CW הוא שם כולל למספר שיטות ותפיסות עולם. המשותף לכולן הוא השימוש בצמחי מים בתהליך הטיהור. לצמחי המים תכונה ייחודית והיא מערכת הולכת הגזים. הצמח מעביר חמצן מן האוויר, לבית השורשים הנמצאים במצע רווי נטול חמצן באופן טבעי. במקביל, הצמח משחרר לאוויר גזים שמשחררים בתהליך הטיהור ובמיוחד חנקן. הצמח מפריש לבית השורשים לא רק חמצן, אלא גם חומרים אחרים שיוצרים סביבת גידול מיטבית למיקרואורגניזמים המפרקים מזהמים בשפכים. לצמחים שונים סביבה שונה של מיקרואורגניזמים. מעבר מים דרך סביבות שונות אלה מאפשר גם למולקולות קשות לפירוק, להתפרק באופן הדרגתי בסביבות השונות (עפרה צמחי מים, 2005).

בתחתית הבריכה שכבה קרקע אטימה, או יריעה סינתטית אטימה למים וכן מבנים אחרים לשליטה בכיוון הזרימה, עוצמתה, זמן השהיה בבריכה ומפלס המים. על חלק מהמרכיבים האלה מפעיל המתקן יכול להשפיע. מצע בריכה הוא חומר נקבובי, כגון: חצץ, או חול. במצע זה שתולים צמחי מים, כגון: קנה, סוף ואחרים, על פי שקולים גיאוגרפיים ואקלימיים שלוקח בחשבון מתקין הבריכה צמחי הקנה מאדים נפח מים רב וכך מפחיתים, את כמות הנוזלים, במערכת. כתוצאה מכך, עלית ריכוז המזהמים במערכת, מזרזת את תהליך הטיהור (אבנון ויעקב, 2001).

הרחקת המזהמים, באמצעות אגנים ירוקים, נעשית על ידי שלושה תהליכים מקבילים :

1. הרחקה פיסיקלית: שקוע מוצקים, סינון, ספיחה ונידוף.
2. הרחקה כימית: שקוע כימי, ספיחה, הידרוליזה, חמצון, תגובות פוטוכימיקליות.
3. תהליכים ביולוגיים: פירוק אורגני, של חומר מתכלה, הנעשה על ידי מיקרואורגניזמים, אירוביים ואנאירוביים. נעשה חילוף חומרים, בצמחיית מים, פלנקטון, אצות, פטריות וחסרי חוליות. חלוף חומרים זה, מנצל חלק מהנוטריינטים שבשפכים, אם כי רוב הפירוק הביולוגי, נוצר סביב שרשי הצמחים. המצע החצאי, שדרכו זורמים המים, ועליו נוצר קרום, של מושבות מיקרואורגניזמים, נקרא ביופילם. מיקרואורגניזמים אלה, ניזונים מהמזהמים האורגנים, בשפכים וכך מפרקים אותם, ממצב מולקולות אורגניות מורכבות, למרכיביהן, שהינם בעיקר, מים, פחמן דו חמצני וגז חנקן. (ספיר ואשכנזי, 2010; אבנון ויעקב, 2001).

איור 2: מבט על מצע האגן הירוק ומרכיביו, עקרון התהליך הנעשה באגנים ירוקים.



(אבנון, ויעקב, 2001)

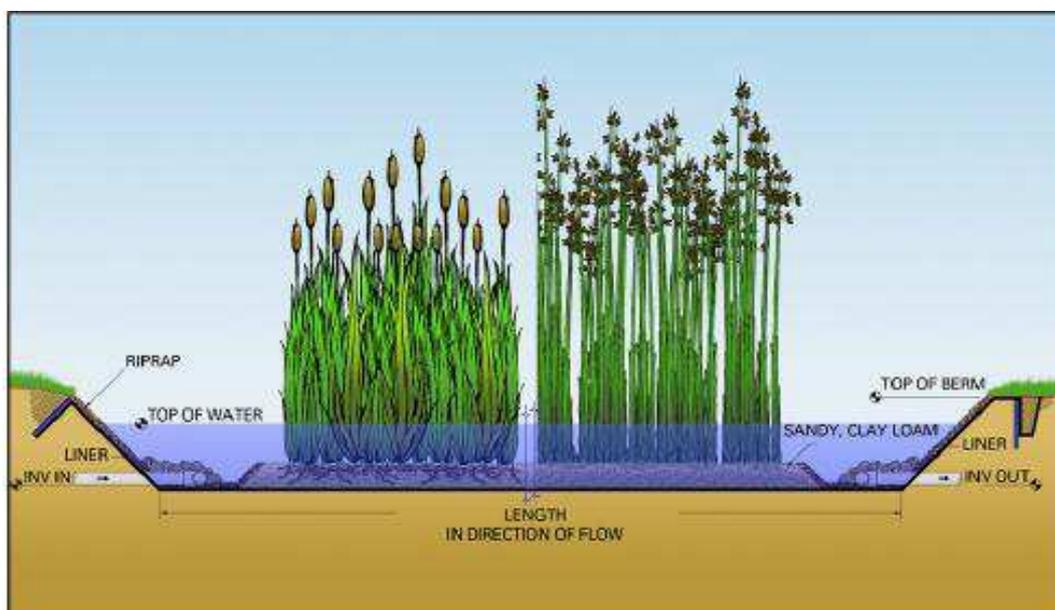
ב. 2. 3 - שלושה סוגי אגנים ירוקים, מלאכותיים, הנחלקים על פי זרימת המים:

1. זרימה עילית - FWS (Free water surface) או SFW (Surface flow wetland):

אגן ירוק הזומה לביצה טבעית. שיטה זו מבוססת על בריכה רדודה בעומק מקסימאלי מטר אחד, המשתרעת על שטח רחב ויש בה מצע שאוחז צמחי מים רבים. השכבה העליונה אירובית והתחתונה כמעט נעדרת חמצן. המים מוזרמים דרך גבעולי הצמחים והשורשים בזרימה איטית. הרחקת המוצקים בשיטה זו טובה. הרחקת חנקן וזרחן, פחות יעילה. גם סילוק חיידקים, אינו יעיל ויש אף ריבוי פתוגנים. אגנים מהסוג זה מתאימים לטהור שפכי רפתות ומשקי חי אחרים, בהם קיים גודש רב של חא"פ (חומר אורגני פריק), אם כי קיימת בעיית ריבוי יתושים (ספיר ואשכנזי, 2010).

יתרונות שיטה זו, הינו מחירה הזול באחזקה, ביכולתה להעלים ריחות רעים ואף מספקת בית גדול, למיני בר. חסרונות השיטה הם: בתצורת המים הרבה, היא מושפעת מתנאי אקלים עונתיים, שעשויים לשבש את פעולתה, כגון קור קיצוני, או בצורת וחסרון נוסף הוא כי עם כמויות גדולות של אמוניה, במקרה של גודש, יהרסו הצמחים (Simeral, 1998). חסרונות אלו ממעיטים מכדאיותה השיטה (ספיר ואשכנזי, 2010).

איור 3: טהור מים, באמצעות אגנים ירוקים, בשיטת הזרימה העילית

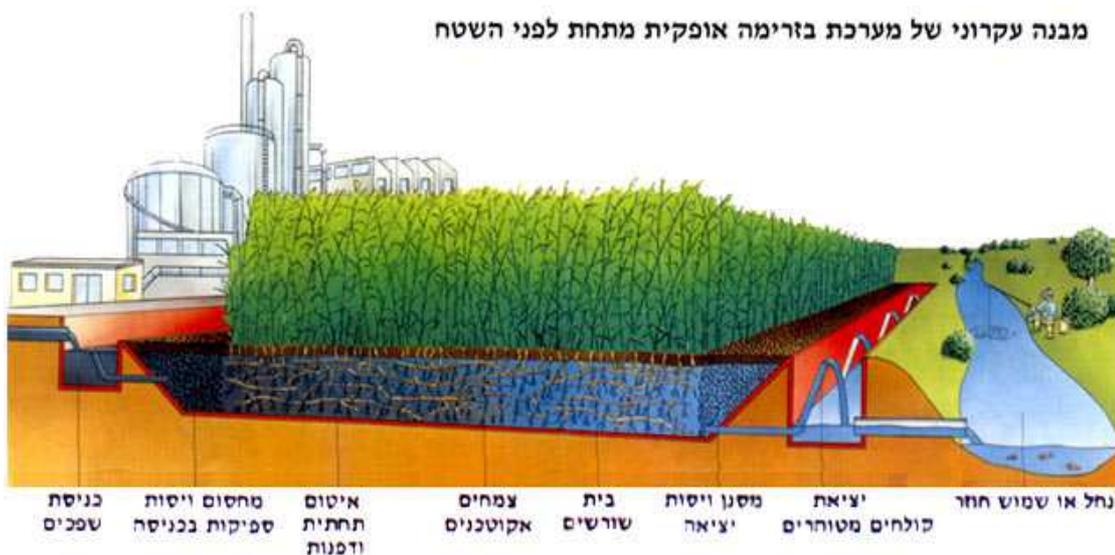


מקור תמונה: <http://www.natsys-inc.com/resources/about-constructed-wetlands>

2. זרימה תת קרקעית אופקית HSSF Horizontal Subsurface Flow :

זרימת המים נעשית מתחת לפני השטח דרך מצע גרגרי, ששתולים בו צמחי מים ושורשי צמחים. המים עוברים מצד אחד של הבריכה לצד שני. בקרבת השורשים מתקיימים תנאים אירוביים. עם זאת, ברוב השטח ישנה רמת חמצן נמוכה. סילוק החומר האורגני בשיטה זו טוב. לעומת זאת, פירוק האמוניה פחות טוב. רוב הפירוק נעשה באמצעות תהליכי חיזור ופירוק ביולוגי על ידי האורגניזמים, שבשכבת הביופילם. הזרחן מושקע על הקרקעית ומורחק מהמים ביעילות רבה יחסית (עפרה צמחי מים, 2005). חסרון השיטה הוא שבמקרה של סופות חול, הבריכה עשויה להיסתם (ספיר ואשכנזי, 2010).

איור 4: טהור מים, בשיטת אגנים ירוקים, זרימה תת קרקעית אופקית

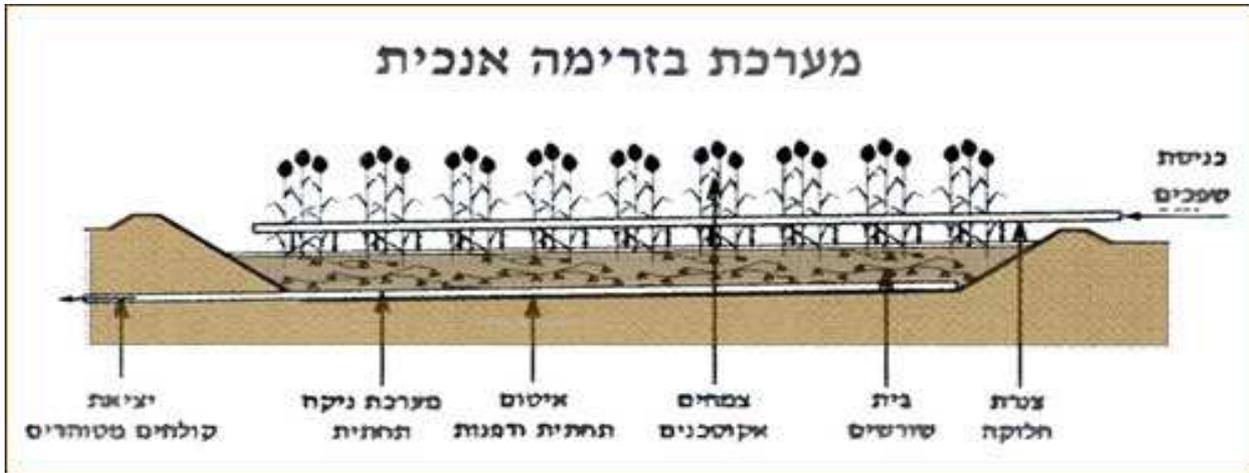


מתוך : אבנון ויעקב, 2001

3. זרימה תת קרקעית אנכית VSSF Vertical Subsurface Flow :

המים מוזרמים ומפוזרים מעל המצע דרך צינור טפטוף, בפעימות מחזוריות. המים מחלחלים דרך המצע הגרגרי ויוצאים בתחתית המערכת. האגן מאוורר ומתקיימים בו תהליכי פירוק, באמצעות חמצון ופעילות מיקרוביאלית אירובית המפרקת את החומר האורגני. שיטה זו, פחות טובה מהשיטה האופקית בפירוק החומר האורגני, ברם מיעלת את תהליך פירוק האמוניה (ניטריפיקציה) וסילוק עודפי החנקן מהשפכים (ספיר ואשכנזי, 2010)

איור 5: טהור מים, בשיטת אגנים ירוקים, זרימה תת קרקעית אנכית

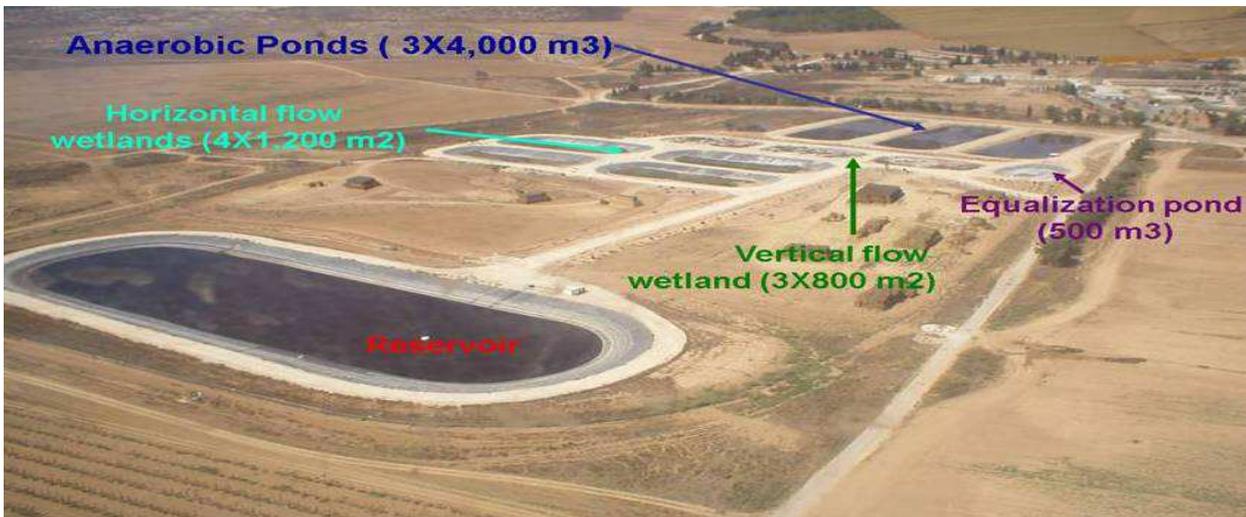


אבנון ויעקב, 2001

ניתן ליצור, מערכת היברידית, המשלבת שני סוגי מערכות. נפוץ השלוב בין המערכת האנכית ולאחריה האופקית, בזו אחר זו. שילוב זה מיעל את הרחקת החנקן. שיטה חדשה, נקראת שיטת הגאות והשפל Tidal Flow, בה האגן מוצף ומנוקז באופן מחזורי מספר פעמים ביום. כך מתאפשר סילוק החנקן, באופן יעיל יותר (חברת טריפל טי).

שיטה היברידית נוספת, נקראת טא"יא – טכנולוגיית אגנים ירוקים אינטנסיבית, שמשלבת שיטת אגנים ירוקים, בזרימה תת קרקעית אופקית עם סחרור המים והשקעת בוצה, בשיטת בוצה משופעלת (חברת טריפל טי)

צילום 8: שיטת טא"יא, אגנים ירוקים, קבוץ להב.



(TripleT; <http://www.triplet.co.il/default.asp>)

סיכום ביניים: יתרונות וחסרונות טכניקת האגנים הירוקים ביחס לטכניקות השונות:

יתרונות CW

- שטח: קטן יותר, משנדרש לברכות חמצון וגדול יותר ממט"ש
- אבוד מים והמלחה: פחות מבריכות חמצון, יותר ממט"ש
- איכות הקולחין: טובה משל בריכות חמצון, פחותה משל המט"ש.
- עלות הקמה: דומה להקמת מט"ש. גבוהה מבריכות חמצון.
- עלות האחזקה: גבוהה מבריכת חמצון, נמוכה ממט"ש.
- איכות טהור: טובה. גבוהה בהרבה משל בריכות חמצון. נמוכה מזו של מט"ש
- רגישות: חוסר רגישות לאיכות השפכים
- הרחקת חנקן: סבירה. גבוהה מבריכת חמצון, נמוכה ממט"ש

חסרונות CW

- הרחקת זרחן מוגבלת
- נדרשת מומחיות להפעלת המערכת
- עלות בניה גבוהה
- אינה מוכרת ע"י משרד הבריאות, כשיטה להרחקת פתוגנים.
- בשטחים שרגישים הידרולוגית, יש לבנות מערכת איטום וניטור בנייה המייקרת, את ההקמה.
- לעתים יש בעית ריח ויתושים, בעומס אורגני גבוה.

(ספיר ואשכנזי, 2010; אבנון, 2012; יצחקי, ט. 2012; חברת 'א.א. מהנדסים'; צלאל, 2012; חברת טריפל טי)²

ב. 2. 4 – הטכניקות המועדפות בישראל לטיהור שפכי רפנות

לישראל, מספר יתרונות בולטים יחסית למדינות צפוניות יותר, ביישום שיטת האגנים הירוקים. היתרונות העיקריים הם: טמפרטורות ממוצעות גבוהות יחסית ומספר ימי קרינה רב בשנה. לעומת זאת יש לישראל גם שלושה חסרונות, בהקשר ליישום שיטת האגנים הירוקים: רמת מליחות גבוהה בשפכים כתוצאה מדטרנגטים ובורון, שיעורי אידוי גבוהים עקב דיות שאף הם גורמים להמלחה ומחירי קרקע גבוהים (ספיר ואשכנזי, 2010). את שיעורי האידוי הגבוהים, ניתן לפתור במידת מה, בשיטות האגנים התת קרקעיים (גפני, 1999). את שיעורי המליחות הגבוהים, ניתן לפתור על ידי תקנות והמלצות להפחתת ההמלחה בייצור סבוני הכביסה והדטרנגטים (ובר, 2001).

מערכת לטיהור מי שפכי רפנות באמצעות אגנים ירוקים פעילה כיום בישראל לאורך זמן, ולשביעות רצון בעלי הרפת בקיבוץ מעגן מיכאל במעגן מיכאל קיימת מערכת טיהור שפכים, באמצעות אגנים ירוקים, בשיטה היברידית המשלבת שתי בריכות, בראשונה זרימה תת קרקעית אנכית ובשנייה זרימה תת קרקעית אופקית המתופעלת באמצעות תשטיפים, בכמות 50 קו"ב מים, ליום (אתר א.א. מהנדסים; אבנון, 2012)³.

עם זאת, שיטת האגנים הירוקים לא נכללה כאפשרות מומלצת בתקנות הרפורמה במשק החלב. הסבות לכך הן:

1. יחסי ציבור - הדרך לפיה נתפסים האגנים הירוקים, בעיני מקבלי החלטות. מספר כישלונות בעבר החמירו את התדמית הבעייתית של האגנים הירוקים.
2. טכנית – חוסר ידע מספק, מגרעות טכניות וחוסר היכולת בשליטה ובקבלת מידע מדויק על מידת ניקיון המים.
3. ממשלתית - מדיניות מרכזו שאינה תומכת בטיהור מים פרטני. משרד הבריאות איננו מכיר בשיטה זו להרחקת פתוגנים, שכן על פי תקן ענבר, המים היוצאים ממתקן טיהור לצרכי השקיה צריכים להיות ברמת 10 קולי צואתי על כל 100 מ"ל ובתוצאה רמת טיהור שלישונית. רמה זו איננה מתקבלת ב CW (ספיר ואשכנזי, 2010). אי לכך, גם משרד הבריאות, לא תומך בהקמת אגנים ירוקים (בן צבי, 2012)⁴

² ראה נספח 2, מקור. טבלת חסרונות ויתרונות, שיטת האגנים הירוקים, בהשוואה לשיטות אחרות

³ ראה נספח 3, ראיון עם אבנון. א, א.א. מהנדסים.

⁴ ראה נספח 4, ראיון עם בן צבי. ג, 'עפרה צמחי מים'.

על פי המלצות ועדת ענבר, שיטת האגנים הירוקים מתאימה לישובים מבודדים באזורים מרוחקים, בהם בעיית צפיפות השטחים פחות בעייתית. שיטה זו, איננה מומלצת סביב אגן הכנרת ובגולן, בשל רגישות הידרולוגית ומחשש לכניסת מזהמים לכנרת (ספיר ואשכנזי, 2010).

מספר חברות פרטיות מקדמות את טכנולוגית האגנים הירוקים בישראל, לטהור מי ביוב בכלל וטהור שפכי רפתות בפרט. החברות העיקריות הן: חברת "א.א מהנדסים", שמקימה מערכות הפועלות בשיטה המשולבת (תת קרקעית אנכית ותת קרקעית אופקית), חברת "עפרה צמחי מים", שמקימה מערכות הפועלות בשיטת הזרימה התת קרקעית האופקית וחברת "טריפל-טי", שמקימה מערכות הפועלות בשיטת טא"יא (טכנולוגית אגנים ירוקים אינטנסיבית) (ספיר ואשכנזי, 2010; אבנון, 2012; צלאל, 2012).⁵

כיום קיימות בישראל תשע מערכות של אגנים ירוקים לטיפול בשפכי- בעלי חיים, שהוקמו על ידי אותן חברות פרטיות. מערכות אלו הוקמו בהתאם לתוואי ומאפייני השטח המקומיים (בן צבי, 2012) (אבנון, 2012; צלאל, 2012).⁶ בקיבוץ מעגן מיכאל הוקמה מערכת פיילוט לטכניקת האגנים הירוקים, בחסות המשרד להגנת הסביבה, בניהול א.א מהנדסים ובתפעול חברת "מדן סחר" לטיהור שפכי רפת הקיבוץ. המים המטוהרים בתהליך האגנים הירוקים במעגן מיכאל משמשים לגידול דגים הראויים למאכל אדם (רוזינסקי, 2006; ספיר ואשכנזי, 2010; אבנון, 2012; צלאל, 2012).⁷

⁵ ראה נספח 5, מקור. טבלת מערכות האגנים הירוקים, הקיימות כיום בישראל.

⁶ ראה נספח 4, ראיון עם בן צבי. ג. 'עפרה צמחי מים', נספח 3 ראיון עם אבנון. א. 'א.א מהנדסים' ונספח 6 ראיון עם צלאל. א. (2012). חברת טריפל טי

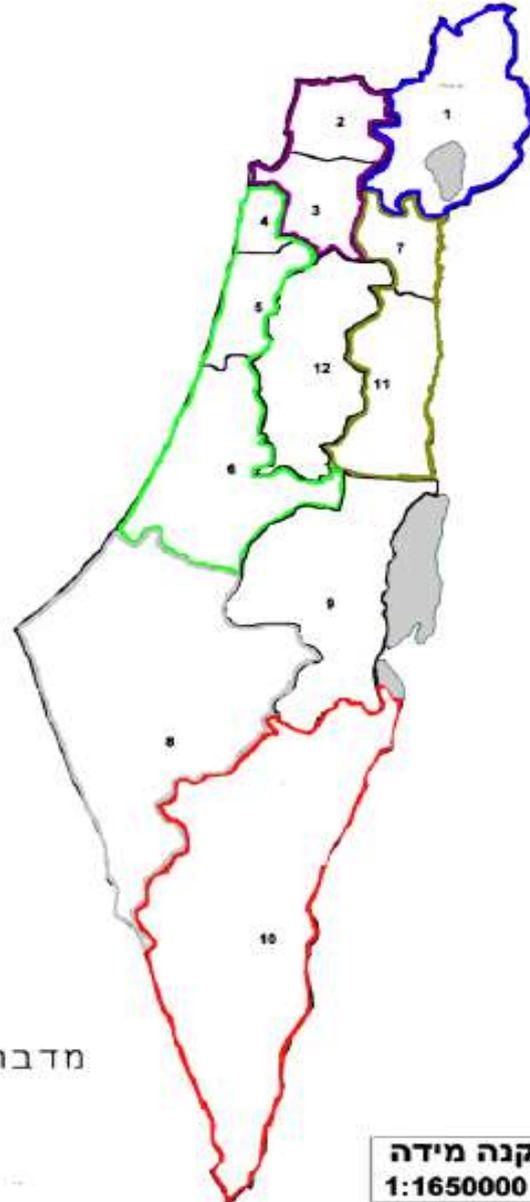
⁷ ראה נספח 5. טבלת מערכות האגנים הירוקים, הקיימות כיום בישראל.

פרק ג' (קדו)

בפרק זה, יוצגו האזורים המועדפים להקמת אגנים ירוקים, כ"פתרון קצה" לשפכי רפתות. הפרק יפרט את מכלול הטיעונים כהמשך ישיר לפרקים הקודמים. בפרק א' הוצגה הרפורמה במשק החלב, לפיה כל הרפתות מחויבות להציג "פתרון קצה" מאושר על פי התקנים החדשים. בפרק ב' הוצגו מכוני טיהור השפכים ובריכות החמצון כאפשרויות המועדפות ל"פתרונות הקצה", לפי הנחיות הרפורמה במשק החלב. למרות אכיפת הרפורמה ברוב אזורי הארץ, נותרו אזורים שתרם השלימו את דרישות הרפורמה ואינם עומדים בתקן "רפת בועה". פרק זה יתמקד באזורים הללו ויציג את הקשיים העומדים בפני בעלי הרפתות לעמוד בתקני הרפורמה. כפועל יוצא מכך, יוצגו הטיעונים להעדפת שיטת האגנים הירוקים כ"פתרון קצה" באזורים אלו.

לפי הדו"ח המסכם של ועדת התקינה – "ועדת ענבר" לתקן איכות הקולחים, חולקה הארץ לשישה אזורים מאפיינים ראשיים ולמספר תתי אזור. בסך הכל הארץ חולקה ל 10 תתי אזורים. חלוקת האזורים התבססה על אפיון דומה של השטחים, על בסיס הפרמטרים הבאים: מקורות אספקת המים השפירים, רמת המשקעים, סוג הקרקע, מגוון גידולים, קיום אקוויפר באזור וסוגו (מים מליחים או שפירים, מפלס גבוה או נמוך) (פארטו, 2003).

מפת חלוקת האזורים²

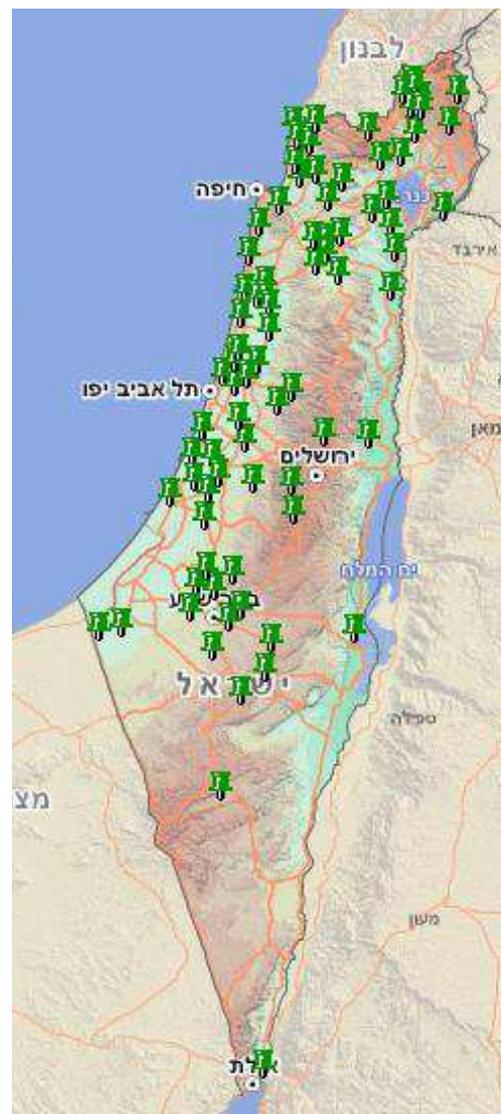
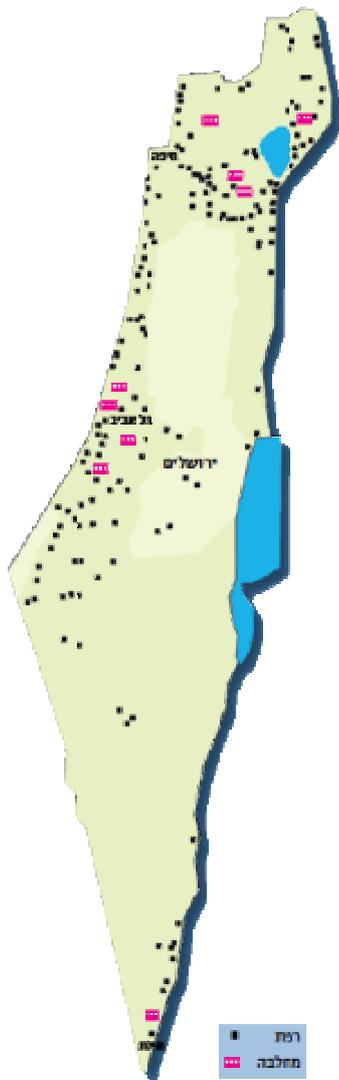


שם אזור	
1	כנרת
2	גליל מערבי
3	קישון
4	חוף כרמל
5	שרון
6	מרכז
7	ירדן תחתון
8	נגב
9	מדבר יהודה וים המלח
10	ערבה
11	בקעת הירדן
12	יהודה ושומרון

קנה מידה
1:1650000

במפות להלן, ניתן להיווכח בהקבלת האזורים, בהם קיימים מכוני טיהור
אזוריים, לבין מיקום הרפתות בארץ:

איור 7: מפת פריסת המטש"ים **איור 8: מפת פריסת הרפתות הארצית**



מפת מתקנים קיימים לטיפול בשפכים.

מועצת החלב; 2010.

[http://beta.govmap.gov.il/
?c=5byTWO/ywxGvpnICXHrteQ
%3d%3d%3RwXqGLyKHk1rc85n
VwHEg%3d%3d&z=0&b=0&ulay=1237](http://beta.govmap.gov.il/?c=5byTWO/ywxGvpnICXHrteQ%3d%3d%3RwXqGLyKHk1rc85nVwHEg%3d%3d&z=0&b=0&ulay=1237)

מהמפות הנ"ל ניתן להסיק, כי באזורים המסומנים במספרים הבאים (לפי דו"ח סיכום "ועדת ענבר") קיים מחסור במכוני טיהור אזוריים, על אף הימצאותן של מספר רפתות לא מבוטל במקום:

117 – הירדן התחתון ובקעת הירדן, מאופיין בקרקעות חרסית-טין אטימות ללא סיכון משמעותי לזיהום אקוויפר.

8 – הנגב, קרקעות לס אטימות, מעל אקוויפרים עמוקים ומליחים, אין רגישות לנושא המלחת האקוויפר, או חנקות.

9 – צפון מדבר יהודה וים המלח.

10 – הערבה, הקרקע החקלאית בערבה הינה קרקע לס-סחף מעל מי תהום מליחים, לכן אין רגישות לנושא המלחת האקוויפר, או חנקות.

על פי הנחיות הרפורמה במשק החלב, האפשרויות העומדות מנגד למכוני הטיהור, הן הצנעת השפכים בקרקע חקלאית ובריכות חמצון. לפתרונות קצה אלה, ישנם מספר מגבלות וחסרונות, המעמידים אותם בעדיפות נמוכה, מטכניקת האגנים הירוקים ויתרונותיה על פניהם.

שפכים, בהם תכולת המים גבוהה, ניתנים לשאיבה אל מחוץ לרפת. לכן ניתן למחזר את השימוש בהם, באמצעות פיזורם והצנעתם בשדה וואו הכנת קומפוסט, בשילוב עם תוספים מתאימים. היתרונות בשיטה זו הם: חיסכון בחומרי דשן סינתטיים, העשרת הקרקע בחומר אורגני ו"פתרון קצה" לגיטימי לשפכי הרפתות. שיטה זו הייתה יעילה בעבר ואף היוותה מקור טבעי לנוטריינטים וכך השדות זובלו ביעילות. אף על פי כן, פתרון זה הפך לפחות יעיל בשל הגדלת כמות השפכים מצד אחד והקטנת שטחי השדות מצד שני (Cronk, 1995).

מאחר והעומס האורגני בשפכים גבוה מכושר הנשיאה של הקרקע, פזור השפכים צריך להיעשות באופן מבוקר, על פי כמויות ואיכויות השפכים, הרגישות ההידרולוגית באזור, סוג הקרקע והגידולים הנהוגים בה. בנוסף לכך, בעונת הגשמים שיטה זו אסורה לאור סיכון חלחול השפכים מעבר לקרקע החקלאית, בשל זרימת המים המוגברת בהם (צדיקוב, 2001).

בנוסף לחסרונות המתוארים בשיטת הצנעת השפכים בקרקע חקלאית, קיים קושי לאכוף את הבדיקות הנדרשות לכושר נשיאת השטח גם אם מתבצעות הבדיקות הנדרשות והשטח נמצא כשיר לנשיאת השפכים, עדיין קיימת סוגיית אגירת השפכים בעונת החורף הגשומה. לכן קשה לתאר שיטה זו, כ"פתרון קצה" הולם.

כפי שמתואר בפרק ב' טכניקת בריכת החמצון, מתאימה בעיקר לשפכים, שאינם מכילים כמויות חומר אורגני גבוהות ונהוגה בטיהור שפכים בכמויות מזעריות, יחסית לשפכי הרפתות. תהליך זה רגיש, היות והוא משופע מתנאי אקלים, שינויי טמפרטורה, שינויי אורך היום וכדומה. כמו כן, תהליך הטיהור ארוך יחסית, נדרש למענו שטח רב ורמת טהור השפכים שניונית – נמוכה. כתוצאה מכך, בעומס שפכים, בריכות החמצון הופכות למטרד.

אגנים ירוקים כ"פתרון קצה" עדיף באזורים מרוחקים ממכונני טיהור שפכים.

כפי שהוצג בפרק ב', יתרונות טכניקת האגנים הירוקים הינם: החיסכון האנרגטי המשמעותי שבתפעולם, משך הטהור מהיר יחסית לבריכות חמצון, האגנים אסתטיים בשונה מבריכות החמצון, מוסיפים לנוי הישוב, מושכים אליהם מגוון חרקי מים, דו חיים ציפורים ועוד ובכך מעשירים את מגוון המינים ואת המערכת האקולוגית. כמו כן, על פי המלצות ועדת ענבר, שיטת האגנים הירוקים מתאימה לישובים מבודדים באזורים מרוחקים, בהם בעיית צפיפות השטחים פחות בעייתית וזאת בהתאם לאזורים שהוצגו בפרק זה, המרוחקים ממכונני טיהור שפכים.

אחד מיתרונותיה המהותיים ביותר של שיטה זו נעוץ בעובדה, כי האגנים הירוקים ממוקמים בקרבת הרפת והמים המטוהרים באמצעותם, נאמדים באיכות שניונית גבוהה. יתרון זה, מאפשר ליצור מערכת ייעול בשימושי המים השונים באופן מקומי. כך, את המים המטוהרים ניתן לתעל לשימושים נוספים, כגון: השקיה בקרבת המקום, לשימוש במשקים מקומיים נוספים (בריכות דגים למשל), שיקום נחלים ועוד.

הצעת מחקר זו ממליצה ליצור פיילוט, של טכניקת האגנים הירוקים, לטיהור שפכי הרפתות, כ"פתרון קצה" הולם, לרפתות הממוקמות באזורים הנ"ל.

לאחר בדיקת האגנים הירוקים, כטכניקה יעילה לטיפול בשפכי הרפתות, המחקר יאיר על "פתרון קצה" נוסף מעבר לאפשרויות הנהוגות כיום לפי הרפורמה במשק החלב. האגנים הירוקים ישמשו "פתרון קצה" לגיטימי, מורשה ומובטח סביבתי באזורים המותאמים לכך.

שאלת המחקר

האם אגנים ירוקים ישימים לטהור שפכי רפתות בישראל?

השערות המחקר

טיהור שפכי רפתות באמצעות אגנים ירוקים, יספק "פיתרון קצה" כדאי, באזורים מסוימים בישראל.

מטרת המחקר

- הערכת יעילות מחזור שפכי הרפתות באמצעות אגנים ירוקים. כולל, התייחסות לעלות תועלת, אזורים גיאוגרפיים מומלצים, יתרונות וחסרונות הטכניקה.
- מציאת פתרון מועדף לטיהור שפכי הרפתות, במשקים שלא מתקיימת בהן האכיפה והפיקוח למניעת הזיהום הסביבתי.

חשיבות המחקר

טהור שפכי הרפתות בהיקפים נרחבים, לרמת קולחים הניתנים לשימוש חוזר בהיבטים שונים, יגרום לתיקון סביבתי וייעול משק המים. חשיבות המחקר היא ביכולתו לקדם ולשכלל משקי חקלאות שונים, כגון: משק המים, משק החלב ומשקים חקלאיים נוספים שיהנו ממקור מים אמין, יעיל, זמין וזול.

סיכום (קרו)

ענף גידול הבקר דורש תשתיות בסיסיות ומשאבים סביבתיים רבים, כגון קרקע, מים ומזון. הצעת מחקר זו תעסוק בצריכת המים של הרפתות, פוטנציאל זיהום השפכים הנוצרים מצריכה זו וטכניקה אפשרית לטיהור השפכים, לגלגולם לשימושים נוספים ולניצולם המקסימאלי.

הצעת מחקר זו עוסקת בשימוש יעיל במים, במצב מחסור. על כן, הסוגיה בה דן המחקר, הינה ייעול ושימוש חוזר בשפכים במגזר החקלאי במשק הרפתות בישראל. בפרק א', נסקרה תכולתם, השפעתם וייעודם של שפכי הרפתות יחד עם הרפורמה במשק החלב שהונהגה משנת 1999. על פי תקנות רפורמה זו, הטיפול הנכון בשפכי בעלי החיים מחייב הקמת מתקנים מתאימים, הרי אלה הם "פתרונות קצה" הולמים ומאושרים על ידי הרפורמה.

בפרק ב', נסקרו פתרונות הקצה המועדפים והוצגה טכניקת האגנים הירוקים כאפשרות לגיטימית ומאושרת, ע"י הרפורמה, "כפתרון קצה" מהימן, לטיהור שפכי הרפתות. הצעת המחקר משערת כי היתרון העיקרי לטכניקת האגנים הירוקים, ביחס לנושא ייעול המים במצב מחסור, הוא כי מערכת הטיהור הינה מקומית, מוסיפת נוי וניתן להשתמש בתוצריה, המים המטהרים, לשימושים מקומיים נוספים.

לבסוף, הוצגו האזורים המועדפים לטיהור שפכי הרפתות באמצעות אגנים ירוקים. האזורים שהוצגו מאופיינים בחוסר עמידת משק החלב בהם, בתקנים הנהוגים ברפורמה.

אנו מאמינים, כי שיטת האגנים הירוקים באופן ובתפעול הנכונים למיקומם, תספק אפשרות חלופית ל"פתרון קצה נאות". האגנים הירוקים אינם נהוגים, באופן מעורר השתאות, היום, בישראל ולכך מספר הסברים. עם זאת, לאחר הקמת הפיילוטס, באזורים המותאמים לכך כפי שהוצגו בפרק ג', אנו מקווים כי גישה לא אוהדת זו, כלפי האגנים הירוקים תשתנה לטובתה.

רשימה ביבליוגרפית

- אבנון. א. ויעקב. ל. (2001). טיפול משוכלל בשפכים בדרך הטבע - *Constructed wetlands*. מים והשקיה, גליון 415, עמודים 27-34.
- גפני. א. (1999). אגנים ירוקים, חלופה סביבתית לטהור ולניצול שפכים/קולחים. מים והשקיה. גליון 398, עמ' 13-17.
- דוחובני. ד.; טלפוס. ק.; ד"ר צדיקוב. א.; צוק בר. א.; ד"ר שושני. ע.; תמיר. ל. (2001). הרפורמה בענף החלב. מדינת ישראל, משרד החקלאות ופיתוח הכפר והמשרד לאיכות הסביבה.
- ובר. ב. (2001). צמצום זהום מקורות מים וסביבה מאבקות כביסה בישראל. המשרד לאיכות הסביבה. אגף שפכי התעשייה, דלקים וזיהום קרקעות.
- כסלו. י. (2011). משק המים בישראל. מרכז טאוב לחקר המדיניות החברתית בישראל, סדרת ניירות מדיניות, נייר מדיניות מס' 15. ירושלים.
- ספיר. ג. ואשכנזי. מ. (2010). ישימות של מערכות של אגנים ירוקים לטיפול בשפכים בישראל. מחקר מספר 608-6 דו"ח מסכם. המשרד לאיכות הסביבה. עמ' 64 – 72.
- משרד התשתיות הלאומיות – נציבות המים (2005). מצב איכות מקורות המים בישראל והפעולות שננקטו למניעת זיהומם, 2004. מוגש לוועדת הכלכלה של הכנסת.
- רוזינסקי. ע. (2006). משענת קנה רצוף. קו למושב והדף הירוק, מוסף הרפת והחלב פארטו הנדסה בע"מ (2003). ועדת התקינה – תקן איכות קולחים ("ועד ענבר"), דו"ח מסכם.
- פלדלייט. מ. (2000). השפעות שילוב קולחי רפתות במי המאגר על איכות המים וההשקיה. מים והשקיה, גליון 401, עמודים 19-20.
- צדיקוב. א. (2001). רפת החלב – ההיבט סביבתי הנדסי. מים והשקיה, גליון 415, עמודים 15 – 21.
- שנתון סטטיסטי לישראל (2010). הרפורמה בענף החלב ומה הלאה. משרד להגנת הסביבה, לוח 12-19.
- Cronk, J.K., (1995). *Constructed wetlands to treat wastewater from dairy and swine*. Department of agricultural engineering, university of Maryland, college Park. USA.
- Simeral .D.K. (1998). *Using constructed wetlands for removing contaminants from livestock wastewater*. Ohio State University Fact Sheet. School of Natural Resources.

אתרי אינטרנט:

א.א. מהנדסים

<http://aaengineers.co.il/HAA.html#>

אמירים – בריאות וסביבה. מכוני טיהור שפכים ומתקני שאיבה

<http://www.amirim-he.co.il/article.php?id=3>

רשות המים: www.water.gov.il

המרכז למיפוי ישראל. אתר המפות הממשלתי. מפת מתקנים קיימים לטיפול בשפכים.

<http://beta.govmap.gov.il/?c=5byTWO/ywXGvnpnICXHrteQ%3d%3d|3RwXqGLyKHk1rc85nVwHEg%3d%3d&z=0&b=0&ulay=1237>

המשרד להגנת הסביבה (2008). רפורמה במשק החלב ומה הלאה.

http://www.sviva.gov.il/Environment/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWhat=Object&enDispWho=Articals^l3642&enZone=dairy_branch_reform

סנס ר. וליברמן, מ. (1999) הבעיות הסביבתיות של טיהור מי שפכים והשבתם לשימוש חוזר

<http://ichut.macam.ac.il/shfach.html>

שחף א. (2010). שדרוג קולחים להשקיה בלתי מוגבלת. אתר חברת:

GES – Global Environmental Solution Ltd.

[http://www.ges.co.il/files/ori\(1\).pdf](http://www.ges.co.il/files/ori(1).pdf)

1. Ofra Aqua Plants (2005); *constructed wetlands* מושגים ושיטות

http://www.ofra-aqua.co.il/default.asp?catid={728BFDA0-147E-4BE9-BE86-0E6C4F942374}&details_type=1&itemid={C09B0FFF-C0B6-4202-B1EB-D5A3DEE80B69}

1. Ofra Aqua Plants (2005); *טיפול בשפכי רפתות*.

http://www.ofra-aqua.co.il/default.asp?catid={EC3DDDF6-43DB-4E33-B4AD-F012C805EFA4}&details_type=1&itemid={93F52ADE-1EFA-4E05-8D58-8040D8F1FEBA}

TripleT – Technologies for Today & Tomorrow; <http://www.triplet.co.il/default.asp>

נספחים

1. ראיון 1. אברך. ט ותמיר. ל (2012). מועצת החלב
טבלה 1 : חסרונות ויתרונות של שיטת אגנים ירוקים, בהשוואה לשיטות אחרות
2. ראיון 2. אבנון. א (2012). חברת 'א.א מהנדסים'.
ראיון 3. בן צבי. י (2012). מנכ"לית ומתכנתת חברת 'עפרה צמחי מים'.
2. טבלה 2. המערכות האגנים הירוקים, הקיימות כיום בישראל לטיהור שפכי בעלי חיים.
ראיון 4. צלאל. א (2012). חברת טריפל טי
5. ראיון 5. יצחרי. ט אזולאי. ב (2012) מנהל הרפת ומנהל התשתיות במעגן מיכאל

רשימת איורים:

1. תהליך מתקן בוצה משופעלת (מט"ש)
2. עקרון התהליך באגנים ירוקים
3. טהור בשיטת זרימה עלית
4. טהור בשיטה תת קרקעית אופקית
5. טהור בשיטה תת קרקעית אנכית
6. מפת אזורים על פי דו"ח ענבר
7. מפת מכוני טהור שפכים
8. מפת פזור רפתות בישראל

רשימת צילומים:

1. מתקן להשקעת מוצקים
2. קדם טיפול
3. המשקע מקדם הטיפול
4. מכון טהור שפכים
5. בריכת חמצון
6. אגנים ירוקים מעגן מיכאל
7. אגנים ירוקים נאות סמדר
8. שיטת טא"א, קבוץ להב

רשימת טבלאות:

1. חסרונות ויתרונות, שיטת האגנים הירוקים, בהשוואה לשיטות אחרות.
2. מערכות אגנים ירוקים, שקיימות כיום, לטיפול בשפכי רפתות או חזיריות בישראל

נספח 1

ראיון עם ד"ר טובה אברך, מנהלת תחום בריאות ב"מועצת החלב"

ועם לירון תמיר, כלכלן ב"מועצת החלב" (2012)

מראיין – אלעד פרג

סיכום ראיון:

1. **כמה פרות סך הכל בארץ?** התקבל קובץ מפורט המעריך את מספר ראשי החולבות (חישוב מסכת החלב של רפת חלקי ממוצע התפוקה של פרה. למעשה, הוסבר כי מספר הפרות לא משמעותי, המועצה מתחשבת רק בנתון תפוקת החלב.
2. **כיצד משק החלב עובד בארץ?** הוסבר כיצד ענף משק החלב מתנהל, כיצד מכסות החלב מחושבות וכיצד על הרפתות לעמוד בדרישות. על קנסות של ייצור יתר ועל החוסר בתפוקת החלב. בנוסף, הוסבר על תקני איכות החלב המחמירים וכיצד מאורגן משרד מועצת החלב.
3. **האם ניתן להקים בישראל רפת חדשה?** קשה מאד, זהו עסק כלכלי רווחי ומחושב היטב, כמעט אין רפתות חדשות ומכסות החלב מחושבות היטב לכל יישוב ומיקום. רק שר החקלאות יכול לאשר והוא עושה זאת לעיתים נדירות, השנה אושרו רפתות רק באזורים הנזקקים לתמיכה. בעיקר ליישובים חדשים בפריפריה. זהו עסק מאד רווחי. יישוב באר יצחק, ויישוב ניר-עוז/ ניר עם...
4. **כיצד המועצה רואה את המהלך הרפורמה?** הרפורמה תרמה לרווחת הפרה. ובעקבות כך כמות ואיכות החלב גדלו. רפתות שלא עמדו בכך, נפלו כי החלב לא נקנה. חלב באיכות גרועה, לא נקנה ולעיתים הרפת נקנסת ובכך יש מוטיבציה כלכלית לשיפור ועמידה בתנאי הרפורמה. יש פיקוח הדוק לכל רפת ורפת, כל ליטר חלב נבדק לחיידקים, פטריות, דם, וכיו"ב. הרפורמה למעשה הסדירה את ייצור החלב.
5. **מאין הגיעה הרפורמה:** הרפורמה הגיעה מתוך הצורך הן להסדיר את הענף והן מתוך המצוקה הכלכלית בה הענף היה. התקיים חוסר סדר וחוסר יעילות אשר אילצה את המערכת לקחת ולעשות סדר בענף כולו. מבחינתנו הרפורמה הייתה מהמהלך מבורך אשר הביא לתוצאות יפות וטובות מאד.
6. **כמה רפתות סיימו את הרפורמה:** הרפורמה הסתיימה. אין עוד תמיכות ומענקים לרפתנים. המצב בשטח אינו פשוט, נותרו רפתות רבות אשר עליהם להתייעל עוד יותר בכדי שיוכלו לעמוד בדרישות של מועצת החלב, מטמפי ועד תקני איכות החלב המחמירים. בשטח, נותרו עוד מספר לא מבוטל של רפתות שלא עומדות בתקנים ואנו, מועצת החלב מנסים לעזור להם באמצעות הדרכה והצמדת מומחים עבור ייעול הרפת. כל זאת, בכדי שיוכלו לעמוד בתקנים. אז הרפורמה הסתיימה אך אנו מנסים לעודד ולגרום לרפתות עוד ולהמשיך להתייעל. המוטיבציות כלכליות! אין דרך אחרת. אנו מנסים לתת מידע והסברים, אך ללא מוטיבציה כלכלית אין שום ייעול.

- נכון, כרגע ישנם עוד רפתות שפשוט לא עומדות בתקנים אבל אין לנו סמכות לחסל או לאלץ סגירת רפת, אנו רק יכולים לא לקנות את החלב, או לבצע סנקציות כלכליות. לגבי עוולות סביבתיות, אנו מודעים ובקשר רציף עם משרד הסביבה אך הדבר לא באחריותנו.
7. **רפתות מחוץ לקו הירוק**: מחוץ לקו הירוק ולכן לא באחריותנו, אין לנו מושג מה קורה שם ואנו גם מקפידים שלא יסחרו בחלב שמגיע מאזורים אלו, מיד ניתן לראות את טיב החלב וכמות החיידקים.
8. **חוק החלב**: החדש שנכנס לתוקפו זה עתה אמור להסדיר טוב יותר את כל ענף החלב. ביחד עם ההדרכות והכנסים החדשים אנו מתייעלים עוד יותר.
9. **איך התחילה הרפורמה (לירון תמיר)**: הרפורמה התחילה מעבודה מחקרית בנושא סכנות זיהום הכנרת. אחר"כ הייתה ועדה בין משרדית ואט אט הצטבר עוד ידע שהכריח את המשרדים ורשות המים לקחת את הנושא ברצינות.
10. **אגנים ירוקים (לירון תמיר)**: בעקבות המחקרים, הצטבר ידע חדש בנושא ונמצא שיש פתרונות אפשריים בנושא, כיצד ניתן לטפל בשפכי בע"ח באמצעות אגנים. הוחלט לבצע במקביל את אתרי הפיילוט ולהתחיל לממש את הידע בפועל באתרים ספציפים בכדי באמת למנוע את סכנת הזיהום. כל האחריות על הנושא הייתה על משרד לאיכות הסביבה ואכן הם לקחו זאת תחת אחריותם.
11. **שינויים עתידיים בנושא**: מלבד חוק החלב, איחוד רפתות, שיפורים טכנולוגיים והדרכות לרפתנים אני לא רואה את הרפתות משקיעות עוד במהלכים דרסטיים ללא תמיכה כלכלית ממשלתית. הרפורמה כעיקרון כיסתה את הנושא ובשטח רוב הרפתות מצאו מענה. שוב, אלו שלא, לא ישרדו.

נספח 2

ספיר ואשכנזי, 2010; אבנון, 2012; צלאל, 2012; בן צבי, 2012

טבלת חסרונות ויתרונות, שיטת האגנים הירוקים, בהשוואה לשיטות אחרות

ממד	אגנים ירוקים	בריכת חמצון	מט"ש
רמת צחי"ב ביציאה	20 מג"ל	45 מג"ל	10 מג"ל
רמת חנקן ביציאה	50 מג"ל	50 מג"ל	20 מג"ל
רמת זרחן ביציאה	מוגבל	מוגבל	טובה
עלות הקמה	כ4500 ש"ח למ"ר	זול יותר	כ4500 ₪ למ"ר
עלות אחזקה	זול. שליש העלות של תפעול אינטנסיבי.	זול	יקר
מיכון ובקרה רציפים	לא דורש	לא דורש	דורש
עמידות המתקן	8-20 שנה	עשרות שנים	עשרות שנים
משך זמן עד פעולה מלאה מסיום ההקמה	חודש עד שנתיים	מידי	מידי
משך זמן הטהור	מספר ימים	כשבועיים	כיממה
שטח	כ500 מ"ר. גדול פי 20 משטח מט"ש	כ2000 מ"ר גדול פי 80 משטח מט"ש-בממוצע	קטן. כ25 מ"ר
כוח מיומן/הכשרה אדם	דרושה מומחיות רבה	לא דרושה מומחיות רבה	דרושה מומחיות רבה
הכרה על ידי משרד הבריאות	לא מוכרת להרחקת פתוגנים	לא מוכרת	מוכרת
ידידותיות לסביבה	גבוהה	בינונית (ריח, יתושים רסוס)	בינונית. ריח. מבנה
טיפול בבוצה	לא	לא	כן
אידי ומהלחה	בינוני	גבוה	קטן
רגישות לכמות ואיכות השפכים	קטנה	קטנה	גבוהה
אמינות	גבוהה, כי אינה ממוכנת	גבוהה. אינה ממוכנת	בעייתית בגלל המיכון שעשוי לגרום לתקלות

נספח 3

ראיון עם אמיתי אבנון מחברת 'א.א. מהנדסים' (2012)

מראיינת – שלומית לפשיץ

1. מידת ההצלחה של אגנים ירוקים לטהור שפכים בישראל:

מטרת האגנים הירוקים היא להוריד ערכים של שפכים בכדי להזרימם לביוב ציבורי. איכות המים מתאימה למים שיוצאים אחרי טפול שניוני ממט"ש. מתאימים לבריכות דגים. אם רוצים להביאם לרמה יותר גבוהה צריך להעבירם טיפול נוסף. היתרון של אגנים ירוקים לעומת מט"ש הוא שלא נוצרת בוצה. סלוק הבוצה והעברתה במט"ש דורשת משאבים. במעגן מיכאל יש מתקן שעובד 10 שנים שמטהר עשרות קוב ליום ללא תקלות וסביר להניח שימשיך לעבוד ואין צורך לנקות אותו ולבנות מחדש אחרי שנים כי השורשים של הצמחים עושים פעולה של אוורור ופתיחת מעברים הידראוליים בתוך המצע. לכן המתקן לעולם לא נסתם..

יש מתקנים של א. א מהנדסים שעובדים כיום במעגן מיכאל- התוצר הוא מים לבריכות, בקבוץ רמת דויד- התוצר מוזרם עם מי הביוב של הקבוץ למט"ש, וגם בקבוץ אליפז האגנים הירוקים מטהרים את מי הרפת יחד עם המים הסניטרים של הקבוץ והם משמשים להשקיה.

2. **אזורים מועדפים בישראל**

לטענתו אין אזורים מועדפים. בכל מקום וכבל מערכת הטפול בשפכי רפת הוא בעייתי .

3. **האם כל המתקנים שלכם מאותו סוג?**

המתקנים שלהם כולם שלוב בין זרימה אופקית לזרימה אנכית

4. **האם יש מתקן עובד בכפר יהושע?**

נעשה שם פיילוט לרפת פרטית. לא יודע מה קורה עם זה כי זה קודם על ידי אגודה שכברא קיימת ואין עם מי לדבר.

5. **האם יש מתקן שעובד ברמת דויד?**

יש מתקן עובד ברמת דויד לטהור שפכי הרפת שאחר כך נכנסים לביוב שמוזרם למט"ש.

6. **מה הן הבעיות בהפעלת מתקן כזה?**

אין בעיות. המערכת יקרה בהקמה אבל לאחר הבעיות, שתמיד קיימות, בהקמה, המתקן עובד לאורך שנים רבות עם אחזקה ועלויות מינמליות. ר' דוגמה מעגן מיכאל.

יש דרישות הולכות ומחמירות של המשרד להגנת הסביבה ומשרד הבריאות בנוגע לאיכות הטהור של המים. הבעיה עם משרד הבריאות שאין מדיניות וכל אחד אומר משהו אחר

7. מה המשמעות של אי עמידה בתקן ענבר במי אגנים ירוקים בנוגע לרמות הזרחן?

רמות הזרחן היוצאות מהמט"ש הן סבירות ומופחתות מאלה שהמים נכנסו איתן. הרמות גבוהות מתקן ענבר. רוב הזרחן נספח למצע. . בשביל להגי לתקן ענבר צריך לעשות טפול שלישוני

8. האם נכון להגיד שאגנים ירוקים לא מסלקים את הפתוגנים מהמים במידה ראויה?

סלוק פתוגנים מהמים הוא בסדרי גדול – כלומר פי כמה וכמה יותר קטן ביציאה שלהמים מהמט"ש לעומת כניסתם אבל לא ברמה של טהור שלישוני.

נספח 4

ראיון עם יעל בן צבי, מנכלי"ת ומתכנתת חברת 'עפרה צמחי מים' (2012)

מראיינת – שלומית לפשיץ

השאלות

1. מה מידת ההצלחה של אגנים ירוקים לטהור מי שפכים של רפתות בישראל
 2. האם יש אזורים מועדפים בישראל?
 3. האם יש משמעות לאקלים להצלחת הטהור?
 4. האם כל המתקנים שלכם הם מאותו סוג (זרימה תת קרקעית אופקית) או שיש מספר סוגים או שלובים?
 5. מה יעוד המים המטוהרים בנאות סמדר? בלוטן? בציפורי?
 6. מה הן הבעיות בהפעלת מתקן כזה?
 7. מה המניע של הישובים לעשות אגנים ירוקים?
- תשובות:

1. מידת הצלחה של אגנים ירוקים לטהור שפכים בישראל היא עצומה מבחינה טכנית: איכות המים, אמינות, תחזוקה ושביעות רצון של מפעלי המתקן
2. בעבר היו אזורים שהיה קל יותר לקבל אישורים על ידי משרד הבריאות אבל כיום בכל ישראל המצב זהה וקשה יותר. המשרד שמכשיל את הפרויקטים הוא לרוב משרד הבריאות. לדוגמה לא אישרו לקבוץ זיקם להקים אגנים ירוקים לטהור שפכי הרפת והקבוץ והנמוק היה כשלוש פרויקט טהור השפכים של החזיריה בלהב. הסיבה שפרויקט זה נכשל היא שהוא נעשה על ידי חברה אנגלית שלא הכירה את התנאים בארץ.
3. נושא השטח הוא לא רלוונטי בדרך כלל כי מדובר ברפתות שנמצאים בשטחים חקלאיים וזהו שטח לא יקר והמשמעות הכספית של חסכון בעלויות וקבלת תוצרים מהמתקן שווה לחקלאים.
4. יש חשיבות לאקלים מבחינת התכנון ש סוגי הצמחים וצורות הזרימה אבל בכל סוגי האקלים ניתן להקים אגנים ירוקים בישראל.. אין הבדל מבחינה כלכלית.
5. המתקנים של עפרה צמחי מים הם כולם מהסוג של הזרימה האופקית. קודם להזרמה לבריכה יש להשקיע את החומר הגס בשפכים בבריכת בטון. חומר זה נאסף ומועבר למתקים של טפול בזבל. השיטה של א.א הנדסים היא הזרימה האנכית, יתרון השטה של הזרימה האופקית – צורך שטח קטן יותר לעומת הזרימה האנכית, חסרון יש צורך לפנות בוצה מהבריכה כל כמה חודשים שזה אומר בפועל להוציא

את כל החומר הצמחי והבוצה מהבריכה ולהקים אותה מחדש. לכן שיטת העבודה היא עם 2 בריכות. הבוצה שמוצאת מהאגן היא קומפוסט מוכן באיכות גבוהה שמשמש בחקלאות.

6. יעוד המים המטוהרים בכל הישובים – השקיה

7. הבעיות בהפעלה נובעות לעתים מאי הפעלה נכונה. יש לדעת לבנות נכון בשפועים הנכונים, להשתמש בחומרים הנכונים ובצמחים הנכונים ואז המתקן עובד טוב.

8. המניע לעשות אגנים ירוקים- גם אדיאולוגי אקולוגי וגם תקציבי – העלות של הטיפול במתקנים האלה היא נמוכה בהרבה מאשר במתקן של בוצה משופעלת

נספח 5

ספיר ואשכנזי, 2010; אבנון, 2012; מחברת 'א.א. מהנדסים; צלאל, 2012; חברת טריפל טי

טבלת המערכות האגנים הירוקים, הקיימות כיום בישראל לטיהור שפכי בעלי חיים.

מקום	אזור בישראל	תכנון ע"י	שנת הקמה	סוג שפכים	רמת טיפול	יעוד הקולחים	שיטת האגנים
אליפז	ערבה	א.א.מהנדסי ם	2008	סניטרים, רפת חלב	שניונית	השקיה חקלאית	זרימה אופקית
נאות סמדר	ערבה	עפרה צמחי מים	2006	סניטרים, דיר עזים, מחלבה בית בד ויקב	שניונית	השקיה חקלאית	זרימה אופקית
לוטן	ערבה	עפרה צמחי מים	2008	סניטרים ורפת חלב	שניונית	השקיה ופארק צפרות	זרימה אופקית
מעגן מיכאל	חוף הכרמל	א.א. מהנדסים	2002	שפכי רפת	שניונית	בריכות דגים	משולב זרימה אנכית ואופקית
שמואלי בציפורי	גליל תחתון	עפרה צמחי מים	1998	שפכי רפת	שניונית	השקיה	זרימה אופקית
רמת דויד	עמק יזרעאל	א.א. מהנדסים	2007	שפכי רפת וקבוץ	נמוכה משניונית	הזרמה למערכת הביוב הציבורית	משולב
שומריה	נגב	טריפל טי	2011	בסיס צבאי, ישוב ורפת	פוליש* (עינבר ללא חיטוי)	השקיה	טאיה, אופקי עם שני אגני סחרור
להב	נגב	טריפל טי	2009	שפכי קבוץ וחזיריה	פוליש* (עינבר ללא חיטוי)	השקיה	טאיה, כני"ל

נספח 6

ראיון עם צלאל א. (2012). חברת טריפל טי

מראינת: שלומית ליפשיץ

לטריפל טי 2 מתקנים לטהור מי שפכים של בעלי חיים. האחד שעובד כבר שנתיים נמצא בקבוץ להב והשני חדש, עובד כחודשים בשומריה.

בשני המקומות המתקן מטהר את מי השפכים של הרפת לאחר טיפול ראשוני, יחד עם המים הסניטרים של הישוב ולבסוף המים מוזרמים להשקיה.

השיטה שבה הם פועלים נקראת טאיא. באמצעות 2 אגנים. המים מוזרמים בגרוויטציה בין 2 הברכות, זרימה תת קרקעית אופקית. בריכה ראשונה שמתמלאת מעבירה לבריכה השניה ואז באמצעות משאבות מרוקנת הבריכה הראשונה ומקבלת שוב את המים שעברו מהאגן השני ונשאבים ממנו. זו שיטה לטפל בשפכים שמכילים הרבה חומר אורגני ונוטריינטים. מהרגע שמגיעים המים למתקן ועד סיום התהליך עוברים כ 45 יום, כאשר 40 יום מתוכם נמשך הטפול המקדים שבו שוהים המים בברכה בתנאים אנאירובים ומתבצע חלק מהפירוק של החומר האורגני ושקוע של חומרים מרחפים. פעם בשנה מרוקנים את הבריכה ואוספים מתוכה את החומרים שהושקעו בה.

המתקן מצוי בקרבת החזיריה שנקראת בלהב "המכון לחקר החיי".

שאלות כלליות: מים שנשפכים בשדות חייבים לעבור טפול מקדים

משך הזמן שלוקח למטי"ש של מים סניטרים לטהר הוא כ 1 יום. יש לקחת בחשבון שבמי חזיריה ורפת יש רכוז הרבה יותר גבוה של צח"ב (22,000 לעומת כמו מאות (? במים סניטרים)

בברכת חמצון (שהתתיחס אליה כאל בריכה אנאירובית) חושב שימים בודדים, כמו באגנים ירוקים. שיטת טאיא * טאיא – טכנולוגית אגנים ירוקים אינטנסיביים.

נספח 7

ראיון וסיור עם מנהל הרפת טל יצחקי ומנהל התשתיות בני אזולאי במעגן מיכאל

תאריך: 1 בינואר 2012. מקום: קיבוץ מעגן מיכאל

במהלך סיור מפורט משותף בו הוצגה הרפת ומתקניה השונים, הוצגו והוסברו תהליכי הניקוז, שטיפה ופעילות השיגרתית של הרפת. בנוסף, נערך סיור באזור האגנים הירוקים.

ש: ספרו קצת על הפרוייקט של האגנים הירוקים, כיצד הקיבוץ התחיל והתנהל עימו, יתרונות וכו'?

1. הפרוייקט (שימוש באגנים ירוקים) כולו היה חלוצי וראשוני ונערך כפיילוט בקיבוץ. (בני אזולאי)

2. מימון הפרוייקט נעשה בעזרת המשרד לאיכות הסביבה (במסגרת הפיילוט והרפורמה) כ 75% מימון. (בני אזולאי)

3. מערכת האגנים הירוקים בקיבוץ הינה מערכת בת 8-9 שנים, ביקורת ותחזוקה לא יקרה אך ללא התמיכה הממשלתית הקיבוץ לא היה בוחר בפתרון זה (שיקולי עלויות ראשוניות יקרות ובעיקר אלטרנטיבות אפשריות קיימות בענף (המט"ש))

4. לאגנים מחוברים שטח ההמתנה לחליבה ושטח החליבה עצמו. (שטיפת עטינים, צינון בימי הקיץ וכו') ובנוסף ניקוז בורות התחמיץ. (טל יצחקי)

על מבני הרפתות הכנה לאיגום מי הנגר (מרזבים ותעלות) - ניתן לניתוב והכנסה למערכת האגנים אך כרגע אין צורך והמים מופנים לבריכות דגים. (בני אזולאי)

5. אין כל צורך בחיבור שטחים אחרים של הרפת מאחר ורפת זו במהותה שונה מרפתות "רגילות". הפרות נמצאות על הקרקע ופעם ביום הקרקע מעורבלת ומתייבשת, כך שאין תשטיפי שפכים מתוך הרפת. זאת להבדיל מרפתות אחרות באזור בהם הפרות רובצות על משטחי בטון ואין ייבוש קרקע. רפתות אלו בנויות מתאי רביצה של 2 X 1.22 מטר, בה הפרה יושבת על הבטון ואת הבטון שוטפים יחד עם השפכים. (טל יצחקי)

6. אישור לפרוייקט ניתן מאחר ורפת זו נמצאת על קרקע חרסית - אין סכנה של חלחול השפכים למי תהום. (בני אזולאי)

7. יתרון משמעותי – חיסכון בתשלום למט"ש - יקר יחסית 450-500 ש"ח לראש בשנה, מוצקים רבים יחסית ויש צורך בהוספת מים רבים. (טל יצחקי)

ש: מהם המחירים של הפרוייקט הזה מבחינת הקיבוץ?

1. פתרון האגנים הירוקים גבה מהקיבוץ שטח רב ויקר. (בני אזולי)
2. ברפת קיבוץ "הבוניים" למשל יש שיטה שונה בה כל השפכים נאספים לבור עמוק (כמו באירופה) עד סוף החורף. (טל יצחקי)
3. מבחינת עלויות – לרפת "הבוניים" למשל, תשלום שבועי לנוהל איסוף השפכים ואיגומם - ותשלום לקבלן מבצע. ל"מעגן מיכאל" אין כל הוצאות מסוג זה. נקודה חשובה מאחר וכעיקרון אין הוצאות מלבד הוצאות תחזוקה שוליות. (בני אזולי)
4. פעמים בשנה מוציאים את הזבל / אדמה משומשת מהרפתות - חינם באופן יחסי מאחר ומוכרים את הזבל לגד"ש אבוקדו וכו' – וזאת הוצאה ללא עלות. (טל יצחקי)
5. יש בעיות בקיץ - זבובים וריח. מאחר ואין חלחול מהיר, יש עלות למדביר - תבאורן היתושים. זיכרון סובלת יותר מהקיבוץ עקב משטר הרוחות. (בני אזולי)

ש: האם כל המים מושבים מהאגנים הירוקים?

1. המים לאחר האגנים עוברים תהליך של הכלרה, זאת לפני כניסת המים למערכת המים הממוחזרים הכללית של הקיבוץ. (בני אזולי)
2. מבנה מערכת האגנים הירוקים - קיים מפריד מוצקים - באמצעות גרביטציה המים נאספים בתעלות - הכל נאסף לבור עמוק של 7 - 8 מטר עומק מבטון עם מערבל למטה - המים נעים בסירוקלציה באמצעות משאבת לחץ - ההפרדה נעשית למעלה והמים חוזרים חלילה - הזבל המתקבל קטן יחסית בכמותו (מבחינת מכירה) אך זהו קומפוסט מצויין לגד"ש. (בני אזולי)
3. הכל אוטומטי. כך שאין הוצאות מלבד תחזוקת תקלות (מחיר נמוך יחסית) (בני אזולי)
4. כל חצי שנה יש פיקוח של משרד הבריאות והחקלאות, הראשון מחמיר יותר מבחינת טיב ואיכות המים ולכן ההכלרה. (טל יצחקי)

ש: קצת פרטים על המבנה של הבריכות:

1. מבנה האגנים הירוקים - 2 בריכות עלית וקרקעית, מאחר וזה פיילוט חומרי הקרקע שנבחרו (החץ וכו') אינם בהתאמה מושלמת ולכן ישנו חלחול יחסית איטי של המים (חיסרון). הצמחייה: 5 שורות שעליהם צמח הקנה. כל פעם שורה אחת מקבלת מים לחלחול. (טל יצחקי)
2. כמות ה BOD נמדדת ומנוטרת לאורך כל התהליך - זה עובד! (טל יצחקי)

3. המערכת עובדת על 150 קוב מים ליום - לעיתים גורם מגביל מאחר וזה המון מים, יש פתרון מקומי למקרה וחסר מים (הוספת מים חיצוניים מהמרזבים). (בני אזולי)

ש: לקחים מהפרוייקט?

1. לקח מהפיילוט – יש לשמור על רווח בין שורות למעבר גיזום וטיפול בקנה. קיום המצב קצת בעייתי מבחינת הגיזום. (טל יצחקי)

2. לקח מהפיילוט – מבנה התחתית נעשה באמצעות יריעות פלסטיק קשיחות, לעתיד, עדיף ריצפה מבוטנת עם יכולת ניטור לגבי מצב הקרקע. (בני יצחקי)

ש: מה לדעתכם הקושי העיקרי בהטמעת המערכת בארץ?

1. קושי בהטמעת השימוש באגנים הירוקים בישראל, הידע על האגנים הירוקים לא היה רב בזמן הרפורמה, כיום המצב שונה והאגנים הינם פתרון ריאלי לרפתות בישראל. (בני יצחקי)