אקולוגיה וסביבה, כתב עת למדע ולמדיניות הסביבה, משמש אכסניה רב־תחומית
לדיונים, למאמרים ולמחקרים העוסקים בסוגיות עכשוויות של סביבה וקיימות בישראל.
כתב העת מספק במה מקצועית ובלתי תלויה לדיון ציבורי בין הקהילייה המדעית,
קובעי מדיניות ואנשי ממשל, המגזר העסקי, ארגוני סביבה ובעלי עניין.



ניבי אלרואי, מכתבי רפאים.
2015. שמן על עץ, גילוף בעץ.

הטבע צמא למתרון - הזדמנויות לשמור על זכות הטבע למים

מתפילים ללא גבולות - האם לעד תוכל ישראל להסתמך על מים מותפלים?

גם אתם משתתפים בניסוי הגדול בעולם לבחינת ההשפעות של השבת קולחים

ים המלח, מאחוריך! הכינרת מתייבשת למרות הסקת השאיבה

מדרמור ועד חאלב, משבר האקלים משנה את פני האזור

www.magazine.isees.org.il

אקולוגיה וסביבה
כרך 8 / גיליון 4 / דצמבר 2017 / ניהול משק המים

אקולוגיה וסביבה

כתב עת למדע ולמדיניות הסביבה

גיליון נושאי - ההשפעות הסביבתיות של משק המים

כרך 8 | גיליון 4 | דצמבר 2017

ניהול משק המים בישראל | מבט היסטורי | מדיניות מים | שינוי האקלים | ניהול ביקוש | ניהול היצע | מחזור מי שפכים | מי תהום | מתקני התפלה | מי שתייה | מי ים | מי גשם | מי קולחין

אקולוגיה וסביבה

כתב עת למדע ולמדיניות הסביבה

אקולוגיה וסביבה, כתב עת למדע ולמדיניות הסביבה, משמש אכסניה רב־תחומית לדיונים, למאמרים ולמחקרים העוסקים בסוגיות עכשוויות של סביבה וקיימות בישראל. כתב העת מספק במה מקצועית ובלתי תלויה לדיון ציבורי בין הקהילייה המדעית, קובעי מדיניות ואנשי ממשל, המגזר העסקי, ארגוני סביבה ובעלי עניין.

מוכר ככתב עת שפיט על־ידי המועצה להשכלה גבוהה (וות"ת)

המערכת
האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה
קהילת ניו־יורק 19, תל־אביב, 6775323, טל' 03-6200025
magazine@isees.org.il

ועד מנהל
יו"ר פרופ' אסף סוקניק - חקר ימים ואגמים לישראל
ניר פפאי - החברה להגנת הטבע
ד"ר יהושע שקדי - רשות הטבע והגנים
ד"ר דוד ברנד - קרן קימת לישראל

ניהול ד"ר נטע ליפמן
עורך שחר בוקמן, editor@isees.org.il
עורך־אורח פרופ' יורם אבנימלך, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

עורכת גרפית אנקטי קנדלשיין
עורכת לשון ענבר קמחי־אנגרט

הפקת דפוס שבלול
הדפסה דפוס מאירי

מנוי שנתי לארבעה גיליונות - 180 ש"ח; גיליון בודד - 55 ש"ח
לרכישה: 03-6200025, info@isees.org.il

אקולוגיה וסביבה ברשת www.magazine.isees.org.il

ועדת העורכים

פרופ' יורם אבנימלך
ד"ר איריס אלקחר
ד"ר יגיל אסם
פרופ' פועה בר
פרופ' דוד ברודאי
ד"ר יעל גבריאלי
ד"ר דפנה דיסני
פרופ' יורם יום טוב
פרופ' אורי מינגלגרין
פרופ' ערן פייטלסון
פרופ' חוה פרץ
מוטי קפלן
ד"ר גיל רילוב
פרופ' דברה שמואלי

דצמבר 2017
כרך 8 / גיליון 4

גיליון נושאי - ההשפעות הסביבתיות של ניהול משק המים

על הכריכה
אי בכינרת, שנחשף בשל ירידת המפלס.
צולם בספטמבר 2016, כשגובה המפלס היה [213.35-] מטר. לקראת חורף 2017/18 המפלס ירד מטר נוסף, והוא עומד על [214.30-], כלומר 1.30 מטר מתחת לקו האדום התחתון | צילום: רחף צילום ותיעוד פרויקטים מהאוויר

אקולוגיה וסביבה
הוא מיזם משותף של:
האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה
רשות הטבע והגנים
115 שנות יישוב יהודי
קק"ל קרן קימת לישראל KKL-JNF
החברה להגנת הטבע

תוכן העניינים

3 ברכות
4 דבר העורכים

גיליון נושאי - ההשפעות הסביבתיות של ניהול משק המים
הסוגיות המרכזיות

א. מבט אזורי: השפעות שינוי האקלים על משאבי המים במזרח התיכון ובישראל
/ עמ' 5-36 /

סקירה 6 **שינוי האקלים ומשבר המים במזרח התיכון – מפסימיות לפרגמטיות**: ארנון סופר ואנטון ברקובסקי

סקירה 12 **המצב ההידרולוגי באגן הכינרת – מגמות נצפות וחזויות על בסיס מודלים הידרו־אקלימיים**: עמיר גבעתי ועדי טל

סקירה 20 **אגן ההיקוות של הכינרת – עקרונות לשמירת יציבות הידרולוגית**: אלון רימר

בקצרה 31 **שמירת הכינרת כמקור מים אסטרטגי לנוכח הירידה בכמות המים הטבעיים באגן הכינרת**: דורון מרקל, אהוד קיטאי ואורי שמיר

בקצרה 34 **מים ושכנות טובה – הטמעת ראייה אזורית של מים בחינוך סביבתי**: איימי ליפמן אביזוהר ורותם קארו ויצמן

סיכום ומשמעויות 35 **משמעות השפעותיו של שינוי האקלים**: יורם אבנימלך

ב. שיטות טכנולוגיות לתגבור כמות משאבי המים - התפלה והשבת קולחים
/ עמ' 37-66 /

סקירה 38 **התפלת מי ים – חוסן, אתגרים וסיכונים**: סיניה נתניהו

סקירה 48 **השקיה בקולחים – ממה צריך להיזהר?** דרור אבישר וגפן רונן־אלירז

בקצרה 56 **ההשפעות הסביבתיות של שימוש במים בישראל לפי מתודולוגיית ניתוח מחזור חיים**: נועה מירון וורד בלאס

בקצרה 58 **מדיניות משרד הבריאות לגבי השימוש בקולחים**: זהר ברנט־יצחקי, דוד ויינברג, תמר ברמן ואיתמר גרוטו

בקצרה 60 **היבטים סביבתיים של צריכת מים מותפלים ושימוש בקולחים**: מתן ישראלי, אריאל כהן, מני בן חור, דניאל קורצמן, הראל גל וגיא רשף

בקצרה 63 **זיהום אקווות החוף מאיים על היכולת לספק מי שתייה במחיר בר־השגה**: מיכה אשחר

סיכום ומשמעויות 65 **"תעשיית המים" כרכיב במערכת המים בישראל**: יורם אבנימלך

ג. זכות הטבע למים

/ עמ' 67-82 /

סקירה	68	**זכות הטבע למים? דילמות בשיקום נחלי ישראל לנוכח השינויים במשק המים**: אסף סוקניק ואורית סקוטלסקי
בקצרה	76	**זרימת מים טבעיים בנחלים – מה נעשה בעשור האחרון ולאן פנינו?** הלל גלזמן וניסים קשת
בקצרה	78	**מה צופן העתיד לנחלי ישראל?** אביטל גזית
בקצרה	80	**האם וכיצד יש להתערב ביערות המחט הנטועים בישראל אל מול יובש גובר ושינוי אקלים?** יגיל אסם
סיכום ומשמעויות	82	**שימור נחלים במגבלות המציאות**: יורם אבנימלך
	83	**שולחן הדיונים › רב־שיח בנושא ניצול מי הנגר העירוני**: נעמי כרמון, ירון זינגר, ינאי עמיעז, חיים מסינג, דליה טל
	93	**נקודת מבט › הגיעו מים עד נפש – יש להסדיר את מעמד הציבור בניהול המשאב הציבורי של מים**: נועה יאיון > **הדין הישראלי מבטיח את זכות הטבע למים, ולא מתוקף חוק המים**: דוד שור > **המלצת קריאה: המאבק על כל טיפה – כיצד הניסיון הישראלי מציל את העולם מצמא, מאת סת' סיגל**: מיכל גרין
	98	**שירת הסביבה › והילדה גרה באוהל**: שז
	100	**לזכרו › פרופ' יואב כסלו ז"ל**: ישראל פינקלשטיין
	101	**מכתב למערכת**
	102	**תמונה אחת › דיפלומטיית מים**: קובי גדעון
	104	**המילה האחרונה › התפלה ללא גבול מסכנת את עצמאות משק המים**: ריאיון עם גיורא שחם, מנכ"ל רשות המים

ברכות

לקוראי אקולוגיה וסביבה שלום,

ברצוני לברך את אקולוגיה וסביבה על הבחירה להקדיש גיליון זה למשק המים בישראל, שהוא בין המפותחים בעולם. אספקת המים מתבצעת באופן סדיר ובאיכות גבוהה, לפי התקנים הבין־לאומיים המחמירים ביותר, למרות האקלים המדברי למחצה שאנו מצויים בו.

בשנים האחרונות עברה ישראל מהפכה בתחום המים השפירים. בעבר הסתמכנו בעיקר על ימת הכינרת ועל מקורות המים בצפון, אך כיום מקור מי השתייה העיקרי שלנו הוא מים מותפלים. חמשת מתקני ההתפלה מתפילים יחד כ־600 מלמ"ק בשנה. מטרד הביוב הפך למשאב, וכ־85% ממי הביוב מנוצלים לטובת ענף החקלאות.

חוק המים, שחוקק בשנות ה־50, קובע כי כל מקור מים שייך לציבור. כך, מתאפשרת ראייה מתכללת של כלל מקורות המים. תעריף המים נקבע על־ידי מועצת רשות המים, בהתבסס על כלל ההוצאות וההכנסות של המשק. החל בשנת 2010 מתנהל משק המים כמשק סגור, המממן בעצמו את כל ההשקעות הנדרשות, ללא הסתמכות על תקציב המדינה. איבוד המים במערכת הארצית הוא מהנמוכים בעולם, ועומד על כ־3%. בישראל קיים ידע רחב בתחום ביטחון מים, הן בתחום אבטחה פיזית של מתקני מים הן בהגנה על מערכות מים מפני התקפות סייבר. קיימת בקרה קפדנית ומתמשכת על איכות המים ומתבצע מעקב יום־יומי, באמצעים מתקדמים במיוחד, כדי לזהות זיהומים והרעלת מים.

עם זאת, אתגרים רבים לפתחנו. על פי התחזיות לחורף הקרוב, אנו נכנסים כעת לשנת בצורת חמישית ברציפות. דבר זה מחייב אותנו לחזור ולחסוך במים ולהתנהל בצורה חכמה, כדי שלא לפגוע במקורות המים הטבעיים. כולנו תקווה שנזכה לחורף גשום, שיסייע למלא את המחסר המשמעותי במים באקווות השונות.

בברכה,

ד"ר יובל שטייניץ

שר האנרגיה

קוראות וקוראים יקרים,

ידוע שהיכן שיש מים יש חיים, אבל לעיתים נדמה שהתרגלנו בעולם המערבי להתייחס למים כמובנים מאליהם: אנחנו פותחים ברז בבית ויוצאים ממנו מים לרוויה; ניגשים לסופר וקונים בו מזון שהגיע ממרחקים והושפע ממצב המים במקום אחר. לא כל יושבי העולם נהנים מפריווילגיה זו. איכות המים ופיזורם במרחב ובזמן אינם אחידים וכך גם היכולת לשנע מוצרים. יתרה מכך, מים עדיין תורמים לפריצת מלחמות עקובות מדם (כמו בסוריה) ולהגירה המונית. שינוי האקלים אף עלול להחריף בעיות דרמטיות אלה.

עד לאחרונה היה נדמה לישראלים רבים שהתגברנו על מיעוט המשקעים בזכות התפלה ומחזור מי ביוב, אך שאננות ושנות בצורת קשות החזירו אותנו למשבר במשק המים ובחקלאות. לא רק זאת, ניצול מרבי של מקורות המים השפירים לצורכי האדם לא מותיר מים שפירים – לא עיליים ולא מי תהום – לשאר חלקי המערכות האקולוגיות.

ניהול משק המים הוא משימה מורכבת ששותפים לה גורמים רבים, המייצגים שלל אינטרסים. היא מחייבת איזון בין כמות לאיכות, והתייחסות להיבטים אחרים באורח החיים שלנו. למשל, התפלה ומִחזור המים צורכים אנרגיה רבה שייצורה תורם לשינוי האקלים, והם גם אינם חפים מבעיות איכות – מחסור במינרלים במים מותפלים, ושאריות של חומרים רעילים בקולחים. אתגרים נוספים נובעים מגידול האוכלוסייה, המעצים את הדרישה למים ומגדיל את כיסוי הקרקע בבטון ובאספלט. הכיסוי מונע חלחול לאקוות ומגביר את הנגר העירוני שמזהם את הים. אובדן מים נגרם גם בגלל ניהול לקוי של ביקושים. "היטל הבצורת" שהוטל ב־2009 הביא להפחתת צריכה ניכרת, אולם קשה יהיה לרתום פוליטיקאים להשיב אמצעי שכזה, כיוון שהם אינם ששים להטיל היטלים מיוחדים שיפנו אליהם את זעם הציבור. מעל לכול, ניהול משק המים דורש קונסורציום ציבורי ומקצועי רחב ורב־תחומי, שלא קיים כיום במרחב הציבורי. מסיבות אלה הקמנו את שדולת המים בכנסת, המושיבה את כל הגורמים סביב שולחן אחד, ודנה בפתרונות בני־קיימא למשק המים, ובפרט למשבר המים הנוכחי בישראל. אנו מברכות את מערכת כתב העת אקולוגיה וסביבה שבחרה להקדיש את הגיליון הנוכחי לקיום שיח הכרחי זה.

בברכה,

ח"כ יעל כהן פארן וח"כ נורית קורן

יושבות ראש שדולת המים בכנסת

דבר העורכים

לקוראות ולקוראים שלום רב,

לכאורה, מוזרה היא ההחלטה להקדיש גיליון לבחינת ההשפעות הסביבתיות של ניהול משק המים. שבע שנים בלבד חלפו מאז פרסום דו"ח ועדת החקירה הממלכתית לבדיקת המשבר במשק המים והטיוטה הסופית של תוכנית האב הארצית למשק המים. בתהליך של תכנון מערכת מים וניהולה זהו פרק זמן קצר ביותר. כל שינוי ברכיבים העיקריים של משק המים בישראל מצריך שנים רבות, וכל תכנון של רכיבים עיקריים במשק המים מבוצע לטווח של עשרות שנים. באופן יוצא דופן, למרות פרק הזמן הקצר, ראיית משק המים בתחילת העשור כמעט אינה רלוונטית למשק המים כיום. חוברת זו, המוקדשת להשפעות הסביבתיות של ניהול משק המים בישראל, מוקדשת לסקירה של השינויים הדרמטיים במערכת המים ולדיון במשמעותם.

אנו מצויים כיום בתחילתו של שינוי אקלים עולמי, הצפוי להשפיע גם על משטר הגשמים המקומי למשך זמן ארוך. לפי הידע המצוי בידינו כיום, שינוי האקלים כבר גורם לשינוי בפיזור המשקעים, וצפון המדינה הופך לשחון במידה רבה. מזה מספר שנים השאיבה מהכינרת למוביל הארצי זניחה, אך מפלס הכינרת נותר נמוך. בעוד שבמהלך שנות דור סיפקה הכינרת, דרך המוביל הארצי, מים למדינה, כעת יש צורך לשאוב מים ממישור החוף לכינרת. השינוי באקלים, במשקעים ובחלוקתם משפיע גם על הארצות מסביבנו, ממזרח אפריקה ועד לממלכת ירדן ולארצות ערש התרבות המסופוטמית. שינויים אלה מובילים להשפעות גיאו־פוליטיות בעלות משמעות גורלית, ואנו דנים בהן בפרק א'.

בתחילת העשור נכנסנו בתנופה לעידן ההתפלה. כיום ישראל מתפילה כ־600 מלמ"ק בשנה, שהם רכיב מרכזי באספקת המים. בזכותם של הוגי תוכנית ההתפלה ומפעיליה הוקטנה תלות המדינה בחסדי המשקעים והמים בכינרת. ההתפלה אפשרה למדינת ישראל לעבור מספר שנים שחונות ללא משבר (כמעט, כפי שתראו בהמשך). במהלך השנים האחרונות, ובמידה רבה בעקבות הקמת תאגידי המים, עלה אחוז המים המועברים למתקני טיפול, השתפרה איכות הקולחים, וגבר השימוש בהם להשקיה. בו בזמן, התפתח הידע לגבי הימצאות מזהמים בקולחים, וגברה המודעות בארץ ובעולם להשפעת השימוש בקולחים על הסביבה. על המשמעויות של התפתחות שיטות טכנולוגיות להגדלת כמות משאבי המים אנו מרחיבים בפרק ב'.

לפני עידן ההתפלה והעלייה בשימוש בקולחים היה צורך להפנות חלק ניכר מהמים הטבעיים לצריכה עירונית וחקלאית. עתה חוזרת לדיון הציבורי שאלת סדרי העדיפויות בשימוש במקורות המים הטבעיים שהתפנו – האם לנצלם לשיקום כמויות המים בטבע או להרחבת החקלאות? פרק ג' מתמקד בשאלה כיצד שומרים על יציבות אקולוגית של מערכות טבע מימיות.

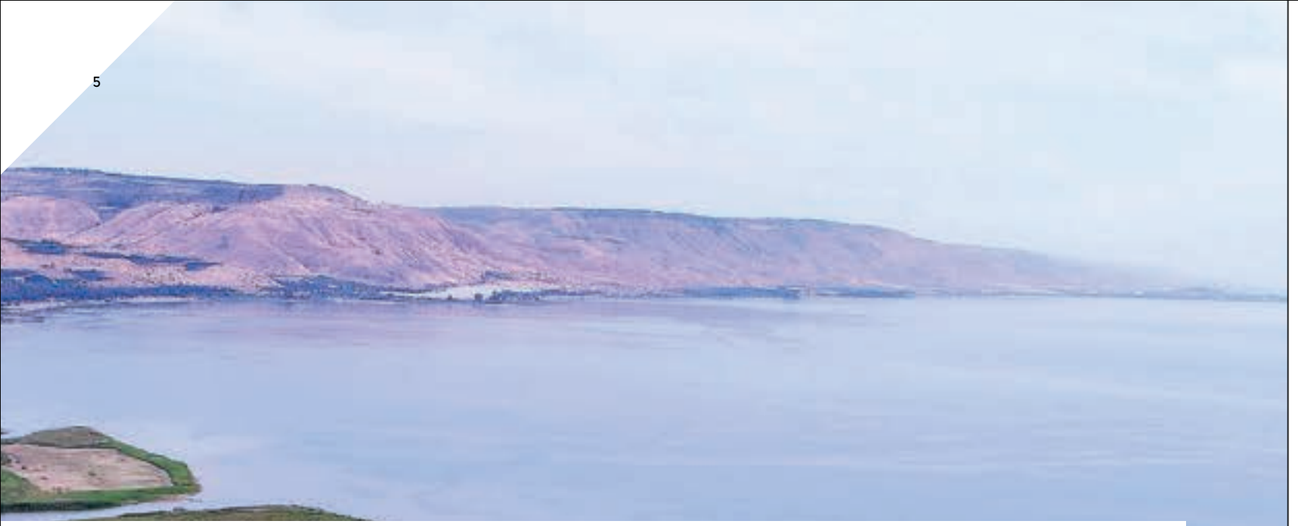
בגיליון זה ניסינו לצייר את התמונה החדשה של מערכת המים, ולהעלות לדיון ציבורי ומקצועי את המשמעויות של השינויים שחלו בה, וזאת בהתאם למטרות אקולוגיה וסביבה. אנו מקווים כי לפרסום החוברת המיוחדת יהיה המשך בדמות פרסומים בכתב ובכנסים מקצועיים וציבוריים. קטעי דיון, שרובם מחייבים המשך דיון ופעולה, וחלק מהם פרובוקטיביים במכוון, מועלים בסוף כל פרק על־ידי העורך־האורח, המבקש שלא להתייחס לדברים כתורה מסיני, אלא להפך, כאל הערות ראשוניות המיועדות להביא להמשך דיון, תכנון ועשייה (ומבטיח כי כל ביקורת תתקבל בהערכה ובתודה).

קריאה נעימה וגשמי ברכה לרוב.

יורם אבנימלך ושחר בוקמן



אי בכינרת מול קיבוץ מעגן, שנחשף בשל ירידת המפלס | צילום: רחף צילום ותיעוד פרויקטים מהאוויר



א. מבט אזורי: השפעות שינוי האקלים על משאבי המים במזרח התיכון ובישראל

/ עמ' 5-36 /

סקירה 6 **שינוי האקלים ומשבר המים במזרח התיכון – מפסימיות לפרגמטיות:** ארנון סופר ואנטון ברקובסקי

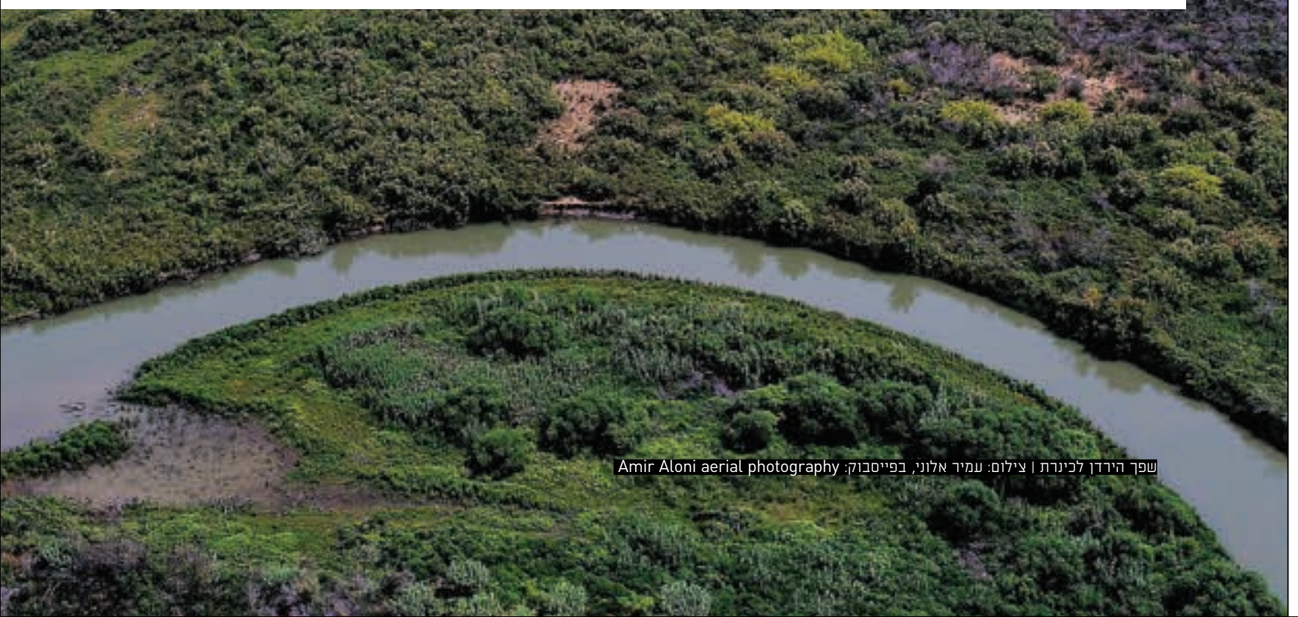
סקירה 12 **המצב ההידרולוגי באגן הכינרת – מגמות נצפות וחזויות על בסיס מודלים הידרו־אקלימיים:** עמיר גבעתי ועדי טל

סקירה 20 **אגן ההיקוות של הכינרת – עקרונות לשמירת יציבות הידרולוגית:** אלון רימר

בקצרה 31 **שמירת הכינרת כמקור מים אסטרטגי לנוכח הירידה בכמות המים הטבעיים באגן הכינרת:** דורון מרקל, אהוד קיטאי ואורי שמיר

בקצרה 34 **מים ושכנות טובה – הטמעת ראייה אזורית של מים בחינוך סביבתי:** איימי ליפמן אביזוהר ורותם קארו ויצמן

סיכום ומשמעויות 35 **משמעות השפעותיו של שינוי האקלים:** יורם אבנימלך



שפך הירדן לכינרת | צילום: עמיר אלוני, בפייסבוק: Amir Aloni aerial photography



פליטה סודנית, שנמלטה מאימת הקרבות בדרפור, נושאת מים שכוחות האו"ם מספקים לתושבי מחנה הפליטים. דרום דרפור,
30.6.2014 | באדיבות UNAMID, פליקר CC BY-NC-ND 2.0

שינוי האקלים ומשבר המים במזרח התיכון – מפסימיות לפרגמטיות

ארנון סופר [1, 2]* ואנטון ברקובסקי [2]

[1] החוג לגאוגרפיה ולימודי סביבה, אוניברסיטת חיפה
[2] קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה, אוניברסיטת חיפה
* soffer@geo.haifa.ac.il

תקציר

המאמר דן במשמעות הגיאופוליטית של שינוי האקלים במזרח התיכון, שתרם למשבר המים באזור. יידונו כאן בעיקר המשברים באגני הנילוס, הפרת והחידקל, בדגש על סוריה, עיראק ומצרים. משבר האקלים מצטרף לשורה של משברים אחרים מעשה ידי אדם – גידול דמוגרפי מהיר, היעדר מכנון לאומי, משטרים טוטליטריים והתדרדרות אקולוגית. משבר האקלים מעצים את המחדלים האחרים, מגביר את חוסר היציבות באזור, ומביא להריסתו. עם זאת, שינוי האקלים מספק הזדמנות להתבונן על המצב הבעייתי של האזור מנקודת מבט פרגמטית ולחשוב על פתרונות גיאופוליטיים אמיצים.

מילות מפתח: האביב הערבי · מחסור במים · מצרים · הנילוס · סוריה · עיראק · הפרת והחידקל · שינוי אקלים · שלום אקלימי

הקדמה

נושא שינוי האקלים אינו יורד מן הכותרות. קיימים חילוקי דעות לגבי עוצמתו, השפעותיו והסכנות הנובעות ממנו, אך אין מפקפקים בקיומו. שינוי האקלים אינו נקשר כיום רק לתחום הקלימטולוגי/מטאורולוגי, אלא יש לו השלכות על תהליכים רבים אחרים, שחלק מהם טבעיים וחלק מעשה ידי אדם.

המאמר הנוכחי מנסה להפיק תובנות משינוי האקלים על רקע המאפיינים הבולטים של אזור המזרח התיכון והשינויים שחלו בו בשנים האחרונות והרעו את מצבו הבעייתי ממילא. נתחיל בהגדרת המזרח התיכון ובסקירת מאפייניו העיקריים והמצב שהוא שרוי בו כיום, ונמשיך בתיאור של השפעות שינוי האקלים על המצב הזה. נסיים בהעלאת הצורך בתכנון עתיד גיאופוליטי חדש של האזור ובחלוקה אחראית ויעילה יותר של משאביו. המאמר מתבסס על מספר מחקרים שנעשו בקתדרת חייקין לגאואסטרטגיה בנושא שינוי האקלים ובנושאים אחרים [1–4, 7–9].

המזרח התיכון – אזור קשה שבעיותיו גדלות

המרחב הגיאוגרפי שאנו דנים בו הוא המזרח התיכון המקובל כיום, וטבעת המדינות העוטפות אותו. המזרח התיכון משתרע בציר צפון–דרום בין טורקיה לתימן ובציר מערב–מזרח בין מרוקו ואיראן, כולל חצי האי ערב, מצרים וצפון אפריקה. הטבעת העוטפת כוללת את מדינות הסהרה, אזורי הסהל שמדרום לה, ואתיופיה.

כל קורא המעיין בספרי גיאוגרפיה של המזרח התיכון יודע שיש מספר מאפיינים עיקריים המשפיעים על חיי האדם באזור זה, ובהם כאלה שהם דטרמיניסטיים: תכסית מגוונת ומסובכת, מדבר, צומת המקשר בין שלוש יבשות, תלות במשאבים מצומצמים ובעיקר מחסור במים (ובעקבותיו קשיים בחקלאות ואי־ביטחון תזונתי). לכך יש להוסיף בעיות דמוגרפיות, שהמשמעותיות ביותר בהן היא הריבוי הטבעי הגבוה. במאה השנים האחרונות הכפילה אוכלוסיית האזור את עצמה שלוש פעמים! בעיה משמעותית לא פחות היא עובדת קיומם של מיעוטים (דתיים, אתניים ועדתיים), הגורמת מתיחויות ואי־סדרים למיניהם, שמלווים ברדיפות, בדיכוי ובגירוש. עיון בהיסטוריה של המזרח התיכון מגלה מערכת יחסים מורכבת בין האוכלוסייה לבין שליטיה, בין האוכלוסייה הנוודית לבין האוכלוסייה יושבת הקבע, ובין זו של עמקי הנהרות ונאות המדבר הפוריים לבין תושבי הרמות, המדבריות וההרים הקשים למחיית האדם. הדטרמיניזם הזה התבטא באין־ספור סכסוכים ומלחמות בין הציוויליזציות השונות באזור – סכסוכים הנמשכים כבר אלפי שנים ועד עצם היום הזה. עובדת היותו של המזרח התיכון גשר בין שלוש היבשות – אסיה, אירופה ואפריקה – מכתיבה גם היא את פגיעותו הדטרמיניסטית. כל תנועה מיבשת ליבשת – של אוכלוסייה, של צבא או של כיבוש – חייבת לעבור דרך צומת זה.

עידן הקולוניאליזם האירופי והתקופה הבתר־קולוניאלית הוסיפו לצרותיו של האזור על־ידי יצירת גבולות מלאכותיים שניתקו קשרים כלכליים וחילקו קבוצות אוכלוסייה בין ריבונים שונים, ועל ידי אי־הסדרה של השימוש במקורות מים משותפים [7]. לכך יש להוסיף משטרים רודניים, נחשלות כלכלית, שסעים חברתיים, סכסוכים תמידיים עם שכנות, והדבר המשמעותי ביותר – חוסר היכולת של המשטרים לספק פתרונות כלכליים־חברתיים לאוכלוסייה ההולכת וגדלה על רקע משאבי טבע דלילים וחוסר פיתוח. כל אלה הפכו את האזור לפצצה מתקתקת.

קריסת חלק מהישויות הפוליטיות באזור נמנעה בינתיים בשל רווחי עתק מיצוא נפט וגז. מקורות האנרגיה הללו גם מזינים את התעשיות והכלכלות המקומיות, רווחיהם הושקעו בסבסוד התוצרת למיניה, ובמקרים מסוימים שימשו לפיתוח אזורי פריפריה נחשלים. גילוי עתודות נפט וגז מחוץ למזרח התיכון לאחרונה, ובייחוד הנפט שמקורו בפצלים, לצד שיפור טכנולוגיות ההפקה, מעמידים בספק את העתיד הכלכלי של המדינות העשירות באזור. ירידת מחירי הנפט והגז כבר גרמה בתקופה האחרונה הפסדים כלכליים וגירעון תקציבי במדינות מייצאות הנפט העשירות ביותר (רוסיה וסעודיה כדוגמה). הפיכתה של ארה"ב מצרכנית האנרגיה הגדולה לספקית של אנרגיה – מאיימת מאוד על הכנסות המזרח התיכון מ"פטרו־דולרים".

גורם נוסף שהציל כמה ממדינות האזור מקריסה הוא אינטרסים כלכליים וגיאופוליטיים של המעצמות, בייחוד במסגרת המלחמה הקרה בין ארה"ב והמערב לבין ברה"מ והגוש המזרחי. המעצמות הגדולות העניקו סיוע נדיב למדינות האזור שהצליחו לתמרן בפיקחות בין רצונותיהן של הענקיות הגיאופוליטיות. סיוע זה הבטיח הישרדות של משטרים לא יעילים במיוחד למשך תקופה ארוכה יחסית (מצרים, לדוגמה, הצליחה לקבל תמיכה משתי המעצמות גם יחד. כך גם ירדן, ואפילו סוריה שצידדה דווקא במוסקבה).

חשוב להדגיש כי המעצמות ניסו לפתור בעיות אסטרטגיות של חלק מן המדינות, בייחוד אלה הקשורות לאגירת מים ולשימוש בהם. המעצמות סייעו בפיתוח החקלאות, בהגברת ייצור המזון ובהשלכות כלכליות־חברתיות נלוות. הדוגמה הבולטת לכך היא בנייתו של סכר אסואן במצריים על־ידי הסובייטים, אך יש דוגמאות נוספות, כמו הסיוע בפיתוח חבל אל־ג'זירה של מזרח סוריה באמצעות הקמת סכרים על נהר הפרת. למרבה הצער, סיוע הזה לא ביטל את חוסר השליטה של המדינות במקורות המים, ולא פתר את הסכסוכים עם השכנות, אלא דווקא להפך.

האביב הערבי שפרץ לכאורה במפתיע, חשף היטב את חולשת המשטרים והמדינות של המזרח התיכון. הוא חשף את חוסר יכולתם של המשטרים הללו להתגבר על רוב הבעיות הכלכליות, החברתיות והפוליטיות שנובעות משילוב נסיבות גיאוגרפיות דטרמיניסטיות עם הנסיבות הפוליטיות. המזרח התיכון של היום שופע ישויות גיאופוליטיות כושלות: לוב, תימן ודרום סודן, שלאחרונה הצטרפו אליהן סוריה ועיראק המפולגות והמתפוררות.

המזרח התיכון כולו, מאיראן ועד ארצות המגרב, מטורקיה ועד קרן אפריקה ואזור הסהל, כמעט ללא יוצאי דופן, מראה סימנים של משבר. אמנם, חלק מהמדינות שומרות על יציבותן, אבל אפילו מעצמות אזוריות, כמו טורקיה או איראן, עלולות למצוא את עצמן על סף משבר קיומי. קונפליקטים ומלחמות שהיו נתונים משך תקופה ארוכה על אש קטנה – מתפרצים בגלוי. המאבקים בין מוסלמים לבני שאר הדתות, בין שיעים לסונים, בין ערבים לפרסים וטורקים (לצד מיעוטים אחרים) מעמידים בספק את הישרדות האזור במתכונתו הנוכחית. בתוך המאבקים על רקע פוליטי וגיאופוליטי משתלבים גם המאבקים על מקורות האנרגיה ועל משאבי הטבע האחרים, ובייחוד על מים. תופעות של היעדר משילות בשטח, היעדר גבולות מוגנים, ריבוי מיליציות לא מזוהות לצד עבריינים וכוחות טרור והתפוררות המדינות – נעשו שכיחות. תנועת אוכלוסיות בלתי מבוקרת (פליטים, עקורים ומהגרים) מסתכמת במיליונים.

למהומה הזו נוסף כיום הגורם של שינוי האקלים, וגם הוא תורם את חלקו למשברים הקיימים.



פלוג'ה, עיראק, דצמבר 2014
| צילום: Idaho Sagebrush, פליקר CC BY-ND 2.0

החרפת משבר המים בשל שינוי האקלים

רקע כללי

מה חלקו של שינוי האקלים בתמונה העגומה שהבאנו לעיל? מה בין קשיים כלכליים, דמוגרפיה, שסעים חברתיים ודתיים, מאבק גיאופוליטי, מהפכות ומלחמות אזרחים לבין שינוי האקלים? השאלה מתחדדת עוד לנוכח העובדה כי קצב שינוי האקלים הוא איטי. מדובר בטווחי זמן ארוכים ובאי־ודאות גדולה, והאקלים של האזור (להוציא תת־אזורים בודדים) ממילא אינו נוח במיוחד.

הקשר בין שינוי האקלים לבין מצבו הנוכחי של המזרח התיכון אינו קשר ישיר, אינו קשר מובהק, וקשה לבודדו משאר הגורמים המעצבים את המזרח התיכון – אך למרות זאת נראה כי אכן קיים קשר כזה. שינוי האקלים מקצין את הבעיות הקיומיות של האזור, ומדגיש את האיבה וחוסר ההסכמה הקיימים בין כל השותפות הנאבקות על המשאבים הדלילים של האזור. שינוי האקלים מביא למצב קיצוני, המחייב מציאת פתרונות ממשיים.

שינוי האקלים בכלל, וזה שבאזור המזרח התיכון בפרט, מביא לשלוש תופעות עיקריות: א. עליית מפלס פני הים (מספר מילימטרים בשנה); ב. עלייה בטמפרטורות (התחממות, התייבשות גוברת והגברת אירועי קיצון); ג. מחסור במים (גם כתוצאה מירידה במשקעים וגם כפועל יוצא של התאדות מוגברת ושימוש מוגבר במים, העיליים ואלה שבאקוות) – וזו הנקודה החשובה ביותר. התופעות הללו משפיעות מצידן על החקלאות (פגיעה בקרקעות) ועל הביטחון התזונתי, מגבירות את הקונפליקטים על משאבים ברמה המקומית, וגורמות הגירה מאזורים מוכים ומסוכסכים ומחסור במקורות האנרגיה (הגברת הצורך בהתפלה, בקירור ובמיזוג) [10]. הבעיה הזו רק תחמיר, בייחוד במדינות צחיחות שאוכלוסייתן גדלה בהתמדה, ושמקורות המים שלהן מתדלדלים או לא נמצאים כלל בשליטתן.

מדינות המזרח התיכון רגישות במיוחד לשינוי האקלים. אין בכך פלא, שכן רוב שטחיהן מושפעים מהאקלים התת־טרופי־מדברי. כל ירידה של 20% בכמות המשקעים השנתיים משמעה אסון לחקלאות הבעל ולמשק החי [15] היא מביאה להתרוקנות או להמלחת האקוות לצד פגיעה בספיקת המים העיליים, להתאדות מוגברת ולהתייבשות האקוות, ובכך לחיסול חקלאות השלחין. השפעה אחרת על אוכלוסיית האזור מורגשת לאחר התייבשותו, כשהנוודים של האזור, המחפשים מרעה לעדריהם, פולשים במכוון או בלית ברירה אל השטחים המיושבים של שכניהם. דבר כזה יכול להתרחש בכל אזור בעולם, אך במזרח התיכון ובאפריקה קיים פסיפס מסובך של רצועות חקלאיות לצד ערים ושטחי מרעה במרחקים קצרים, דבר שהוביל להתנגשות במאבק על משאבים בין החקלאים לנוודים [5].

במהלך המאה ה־20 עברו רוב מדינות מזרח התיכון תהליך עיור מואץ, והן ממשיכות בתהליך הזה במאה ה־21 על חשבון

האדמות הפוריות והמעטות ממילא. האוכלוסייה הכפרית הולכת ומצטמצמת, והחקלאות המסורתית, שעדיין קיימת במזרח התיכון, איננה יעילה. רוב מדינות האזור, אפילו מעצמות אזוריות כגון מצרים, אינן מסוגלות לספק לאוכלוסייתן מזון ומים בשפע, שלא לדבר על ביטחון אישי, על פרנסה או על מימוש עצמי. כמו כן קיימות עדויות למאבק בין חקלאים לנוודים – הבולטים והארוכים שבהם היו ועדיין נצפים בחבל דרפור, בניגריה ובקניה [5]. בעתיד הקרוב, יחד עם שאר הסיבות הקשורות לכושר הנשיאה של האזור, יקצין שינוי האקלים את המאבק על המשאבים [14]. בינתיים מצטברות הוכחות להשפעת שינוי האקלים על פגיעה בחקלאות באזור הסהר הפורה [13], וכמו כן מוצאים התאמה בין פריצת קונפליקטים מזוינים לבין אסונות שנבעו מהגברת אירועי קיצון מסיבות הקשורות לאקלים [17].

המשבר באגני הפרת והחידקל

שינוי אקלים ומחסור במים שחלק ממנו נגרם משינוי האקלים, מילאו, כפי הנראה, תפקיד בלתי מבוטל באירועי האביב הערבי – בייחוד במצרים ובסוריה, שהן, ממילא, מדינות מדבריות. שינוי האקלים בא לידי ביטוי בהתחממות, בהתייבשות ובסדרת בצורות, כמו אלה שפגעו בסוריה החל ב־2008 והראו כי היא איננה מוכנה כלל למשבר במשק המים שהולך ומחריף עם השנים, ולא רק היא [9,4].

ישנן עדויות המעידות על הרעה בכמויות המשקעים כבר משנות ה־90 של המאה הקודמת וכן על הפחתה גדולה בספיקת הפְּרת בגלל הבצורות התכופות, ובעיקר בגלל המים שלקחה טורקיה עם סיום מפעל הסכרים הגדול שלה בפרת [11, 14]. עד שנות ה־90 הגיעה ספיקת נהר הפרת בכניסה לסוריה לכ־32 מיליארד מ"ק בשנה. בשנת 1985 צרכה עיראק לפחות 17–20 מיליארד מ"ק, סוריה צרכה באותה שנה כ־4 מיליארד מ"ק, טורקיה – כמיליארד מ"ק, והיתרה – 7–8 מיליארד מ"ק, התנקזה ברובה לים. מאז שנות ה־90 לקחה טורקיה באופן חד־צדדי כ־15 מיליארד מ"ק, והותירה לסוריה ולעיראק רק כ־15 מיליארד מ"ק, דהיינו מחצית הכמות שנכנסה בעבר. מתוך כמות זו לקחה סוריה כ־8 מיליארד, והותירה לעיראק 7 מיליארד מ"ק בלבד. החידקל לא עבר, בינתיים, שינויים דרמטיים, אבל עיראק תיאלץ להעביר חלק ממימי החידקל לנהר הפרת המתייבש. כמו כן, טורקיה, שבעבר לא השתמשה במי החידקל, מתכוננת לקחת מהמים הללו לפחות 6 מיליארד מ"ק [3, 4, 11–14, 16 וחישובים של המחברים].

את התוצאות אפשר לראות במפות הלוויין, המעידות על צמצום דרסטי של העיבוד החקלאי בעמק הפרת. התוצאות ניכרות גם בהיקף סופות האבק באזור שגדל מאוד. מחסור המים פגע בחקלאות, שאף לפני השינויים הללו לא הייתה יעילה במיוחד, ולא אפשרה אספקת מזון מתוצרת פנים לאוכלוסייה



אגם מלחה (Malha) שהתייבש בסודן. 24.9.2012
| צילום: Sojoud Elgarrai, באדיבות UNAMID, פליקר CC BY-NC-ND 2.0

הגדלה בהתמדה. היובש שנוצר, שהצטרף למשברים האחרים שציינו לעיל, גרם לנטישה המונית של קרקעות בסוריה, והוביל להגירה של מאות אלפי חקלאיים מהכפרים לערים סוריות, ובייחוד לדמשק. הגירה המונית כזאת פירושה דוחק וחוסר יכולת של התשתיות העירוניות "לעכל" את התושבים החדשים ולהעניק שירותים בסיסיים, גם לא מים לשתייה. התסיסה החברתית בעקבות משבר המים הצטרפה לתסיסה הקשורה למחדלים נוספים, ואלה הפכו למרי אזרחי שבשנת 2011 הפך למלחמת אזרחים עקובה מדם, שסופה, באמצע שנת 2017, טרם נראה באופק. כאן המקום להדגיש כי מלחמת האזרחים הסורית התחילה באזור קמישלי, על יובל של הפרת בשם חבור, שהתייבש לחלוטין (בין היתר בשל פעילות טורקית הרסנית), וכן ברצועת שטח ליד דרעא בדרום, שסבלה מבצורת ממושכת [4]. מפגינים בני נוער יצאו לרחובות דרעא למחות על מחסור במי שתייה ונורו על־ידי חיילי המשטר – מה שזירז את פרוץ המרי.

שני יישובים אלה – קמישלי ודרעא – ממוקמים באזור הצחיח למחצה של סוריה, שבעקבות צמצום המשקעים נעשה אזור מדברי, מבלי שהשלטונות נערכו לטפל במשבר.

במסמך שלנו על סוריה [4] אנו מביאים עדויות רבות מהאגנים אוֹרוֹנטֶס, דמשק, ירמוך וחידקל־חאלב, בדבר זעקת המוכתרים לממשל: "אין לנו מים לשתייה!", קריאות שלא נענו.

ברור שלגורמים הגיאופוליטיים היה משקל מכריע במשבר המים של עיראק ושל סוריה. עם זאת, יש לזכור כי גם התנהגותה של טורקיה – האחראית העיקרית למחסור המים בסוריה ובעיראק – קשורה לשינוי האקלים ולרצון להיות בעלת הריבונות על משאבי המים. למעלה מ־50 שנה מקדמת טורקיה תוכניות גרנדיוזיות בפרת ובחידקל, בהן הקמת עשרות סכרים והשקיית מיליוני דונמים באזור דרום מזרח אנטוליה ובאגן הפרת־חידקל.

טורקיה השתלטה באופן חד־צדדי, ללא משא ומתן וללא התרעה מספקת, על רוב מימי הנהרות ויובליהם, והותירה רק שאריות לא קבועות לסוריה ולעיראק, מדינות התחתית הנואשות למים [3, 4].

הבצורות שפקדו את סוריה ועיראק בעשר השנים האחרונות, והמחסור במים שהן חוו בעקבות הקמת המפעל ההידרואלקטרי הטורקי [16] היו רק קדימון למה שמצפה למדינות המתפרקות הללו בעתיד. נראה שטורקיה תמשיך בתוכניותיה באין מפריע, וזאת, כאשר התחזיות של שינוי האקלים באזור צופות הפחתה בכמות המשקעים המזינים ישירות ובעקיפין את הפרת והחידקל משטחה של טורקיה. הכוונה לירידה של כרבע מסך כל הספיקות בנהרות וביובליהם ב־25–30 השנים הקרובות. יתרה מכך, מתברר כי בכל אגן הלבנט – כולל צפון ישראל, ירדן והטבעת הסוגרת על מדבר סוריה, קרי עיראק, סוריה ודרום טורקיה – נצפה רצף בצורות שלדעת מומחים לא היה מזה 900 שנה, או, אם ננקוט לשון זהירה יותר, לא היה מוכר לפחות במאה השנים האחרונות [2, 4, 14]. העלייה בטמפרטורות תגרום להתאדות מוגברת וכמעט להיעלמות של כיסוי השלג בהרי מזרח טורקיה. שיא הנגר בנהרות יגיע מוקדם יותר בגלל הפשרה מוקדמת [11]. המסקנה ברורה: אף על פי שהיצע המים יוגבל, טורקיה תזדקק ליותר מים עבור אוכלוסייתה הגדלה ולמימוש שאיפותיה להגדיל את יצוא תוצרתה החקלאית מאזור הפיתוח החדש. משום כך, יש לצפות כי היא תתחשב פחות בדרישותיהן של שכנותיה.

<u>אגן הנילוס (בדגש על מצרים, סודן ואתיופיה)</u>

לגבי מצרים, אין ספק כי גידול האוכלוסייה המהיר בה (כמו בכל יתר מדינות אפריקה) ומשבר האקלים היו גורמים מרכזיים בהתפרצותו של האביב הערבי. כאן חבר שינוי האקלים לגורמים כלכליים וגיאופוליטיים, והקצין את המצב הפגיע ממילא.

מאז 1967 מתועדת ירידה דרמטית בספיקת הנילוס. הממוצע הרב־שנתי של ספיקת הנילוס היה במשך שנים רבות כ־84 מיליארד מ"ק בשנה, והנה, בשנת 1984 הגיעה הספיקה רק ל־35 מיליארד מ"ק, והמשבר במצרים לא איחר לבוא. אומנם, מאז 1984 היו שוב שנים ברוכות במים בנילוס, והיו אפילו שנים עם שיטפונות, אך המגמה הכללית היא של הפחתה בספיקת הנהר. עד שנות ה־70 נמדדו בנילוס (באזור סכר אסואן) 84 מיליארד מ"ק מים. כיום מודדים שם כ־56 מיליארד מ"ק בלבד. כדי להבין את גודל האסון, נתבונן בנתוני הספיקה השנתית של הנילוס הכחול בכניסה לחרטום: בין השנים 1900–1965 נמדדו כ־56–58 מיליארד מ"ק, בין השנים 1966–1992 נמדדו 50 מיליארד מ"ק, ובשנת 2008 נמדדו 42 מיליארד מ"ק. התחזית מדברת על הפחתה נוספת בעתיד [8].

לעומת הירידה בספיקת המים, האוכלוסייה דווקא גדלה במהירות, ובעקבותיה גדלו הצרכים במים של כל השותפות בנהר. נתון חדש מציין כי בין השנים 1962–2009 גדל השטח החקלאי הכולל באפריקה ב־59%, בעוד שהאוכלוסייה גדלה באותן השנים ב־271% [5]. המחסור במים חזר לסדר היום, ואתיופיה החלה למחות על כך שאף על פי שמרבית מי הנילוס מגיעים משטחה (שם נמצאים מקורות הנילוס הכחול), היא קופחה על־ידי הבריטים ואחר כך על־ידי מצרים. מאז שנת 2000, עם גבור משבר המים, מאיימת אתיופיה המתחזקת על ביטחון אספקת המים של מצרים וסודאן. בעזרת סיוע חוץ החלה אתיופיה לבנות סדרה של סכרים על הנילוס הכחול. על רקע זה תועדה ירידה בספיקת הנילוס במצרים, שהייתה גורם משמעותי בהפסקת מפעלי הפיתוח בסיני ובמדבר הדרומי (מפעל הטושקה) ובהפגנות נגד המשטר בנושא המחסור במים ואיכותם הירודה להשקיה ולשתייה [8]. המרי הסתיים בקורבנות ובהבטחות מצד הממשל לשפר את המצב, הבטחות שנשכחו במהרה על רקע המשבר הכלכלי והפוליטי במדינה. בד בבד עם בעיות בזירת הפנים התגברה המתיחות בין מצרים לאתיופיה בזירת החוץ [3, 8].

מבשימיות לפרגמטיות

כיום שינוי האקלים **אינו הגורם העיקרי** לבעיות האזור, אלא רק גורם משני וזרז של הבעיות הקיימות. אם יתממשו התחזיות המדברות על החמרה בשינוי האקלים, אנו צפויים לחזות במשברים כלכליים שיתורגמו לאי־יציבות פוליטית, בהעצמה של גלי הגירה, בעימותים מזוינים בתוך המדינות הקיימות וביניהן, בפירוקן של מדינות נוספות ואולי בהקמתן של ישויות חדשות [7]. בתחום האקולוגי ברור כי אנו צפויים להתפשטות שטחי המדבר – ראו, לדוגמה, את אגן הכינרת, כולל רמת הגולן ועמק החולה [6].

עם זאת שינוי האקלים מסייע להסתכל באופן פרגמטי על הנעשה ולהציע פתרון גיאופוליטי שיוביל אולי ל"שלום אקלימי".

כל המתבונן במפה הפוליטית של המזרח התיכון מזהה את תוצאות "השלום הבריטי" או "השלום האמריקני" (Pax Americana, Pax Britanica) [1]. העובדות ששתי המעצמות הללו קבעו בשטח, נועדו בדרך כלל לשרת את האינטרסים שלהן, תוך התחשבות מזערית בגיאוגרפיה (הפיזית והאנושית) של האזור ובכושר הנשיאה שלו, ומתוך חוסר תשומת לב לסיכויי אריכות הימים של הישויות הגיאופוליטיות שהוקמו על־ידן.

שינוי האקלים מחייב עיצוב מחדש של מדיניות בת־קיימא שתוכל להתקיים בתנאים הפיזיים החדשים של האזור.

רק חלוקה יעילה יותר של משאבי הטבע של האזור והתחשבות בגורמים הגיאוגרפיים המורכבים שלו מסוגלות להביא לשלום בר־קיימא. מחברי המאמר נמנעים מהצעות קונקרטיות, אך קוראים למומחים מהאזור ומגופים בין־לאומיים להתחיל, כבר היום, לתכנן עתיד גיאופוליטי טוב יותר לאוכלוסיות האזור.

מקורות

[1] ברקובסקי א וסופר א. 2012. גאופוליטיקה ושינויי אקלים במזרח התיכון: בואו של ה"שלום האקלימי" Pax Climatica. אוניברסיטת חיפה: קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה.

[2] ברקובסקי א וסופר א. 2014. שינויי אקלים, היסטוריה, גיאופוליטיקה והמזרח התיכון. אופקים בגאוגרפיה **85**: 240–221.

[3] ברקובסקי א וסופר א. 2016. האמנם לא נלחמים על מים? אופקים בגאוגרפיה **88**: 161–175.

[4] ברקובסקי א וסופר א. 2016. משבר בסוריה ובמימיה. מים והשקיה **543**: 12–15.

[5] גטלמן ג'. 2017. הצטמצמות שטחי החקלאות מערערת את יציבות אפריקה. הארץ, חדשות בעולם. 3 באוגוסט (מתורגם מ־New York Times).

[6] גרין ם. 2017. מפלס הכנרת אביב 2017. ארץ הכנרת **16**: 6.

[7] סופר א. 2014. על גבולות המזרח התיכון – מהסכם סייקס־פיקו ועד לאביב הערבי. מערכות 457: 10–14.

[8] סופר א וברקובסקי א. 2014. מצרים 2014: ניתוח גאואסטרטגי. חיפה: קתדרת חייקין לגיאוסטרטגיה ומרכז המחקר – המכללה לביטחון לאומי.

[9] סופר א וברקובסקי א. 2014. ירדן (הממלכה האשמית) – מדינת חיץ על סף משבר. חיפה: קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה ומרכז המחקר – המכללה לביטחון לאומי.

[10] Badran A. 2017. Water, energy and food sustainability in the Middle East: The sustainability triangle. Springer.

[11] Bozkurt D and Sen L. 2013. Climate change impacts in the Euphrates - Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of hydrology* **480**: 149-161.

[12] Hoerling M, Eischeid J, Perlwitz J, et al. 2012. On the increased frequency of Mediterranean drought. *Journal of Climate*, **25**(6): 2146-2161.

[13] Kelley CP, Mohtadi S, Cane MA, et al. 2015. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **112**(11): 3241-3246.

[14] Kitoh A, Yatagai A, and Alpert P. 2008. First super-high-resolution model projection that the ancient "Fertile Crescent" will disappear in this century. *Hydrological Research Letters* **2**: 1-4.

[15] McNeill J. 2013. The eccentricity of the Middle East and North Africa's environmental history. In: Mikhai A (Ed). Water on sand: Environmental histories of the Middle East and North Africa. New York (NY): Oxford University Press.

[16] Osman Y. 2017. Climate change and future precipitation in arid environment of Middle East: Case study of Iraq. *Journal of Environmental Hydrology* **25**: 1-18.

[17] Schleussner CF, Donges JF, Donner RV, and Schellnhuber HJ. 2016. Armed-conflict risks enhanced by climate-related disasters in ethnically fractionalized countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **113**(33): 9216-9221.



ילדים סורים ממלאים מכלי מים. מחנה הפליטים אל־זעתרי שבצפון ירדן. 27.2.2015 | צילום: Mustafa Bader

המצב ההידרולוגי באגן הכינרת – מגמות נצפות וחזויות על בסיס מודלים הידרו-אקלימיים

עמיר גבעתי* ועדי טל
השירות ההידרולוגי, רשות המים
* amirg@water.gov.il



תעלת הירדן חוצה את עמק החולה, 30.8.2015. מודלים הידרו־אקלימיים צופים כי עד סוף המאה ירדו נפחי הזרימה בנהר הירדן ב־20-50%
| צילום: עמיר אלוני, בפייסבוק: Amir Aloni aerial photography

תקציר

בעשורים האחרונים ניתן לזהות שינוי במשטר ההידרו־אקלימי באגני ההיקוות הצפוניים במדינה, בעיקר באגן הכינרת. השינוי בא לידי ביטוי בירידה בכמויות המשקעים במעלה אגן ההיקוות, בפריסה, בעונתיות המשקעים, וכתוצאה מכך גם בירידה בשפיעת המעיינות, בירידה בספיקות הנחלים ובהתפתחות של גירעון חמור במאזן המים בכינרת. השירות ההידרולוגי מצביע על כך שהמחסור במילוי החוזר המצטבר מגשם בארבע השנים האחרונות (2014–2017) הוא הגדול ביותר המתועד ב־100 השנים האחרונות (1920 עד 2017). על אף הפחתה הדרמטית בנפחי השאיבה למוביל הארצי והיציבות בהיקפי ניצול המים באגן הירדן העליון ובסובב כינרת (מים עיליים ומי תהום) נמצא מפלס הכינרת בקיץ 2017 הרחק מתחת לקו האדום התחתון ([213.88- מטר] מתחת לגובה פני הים) ועד לתחילת הסתיו הוא צפוי לחזור לנקודת השפל מלפני עשור, אז הגיע לשפל של (214.38- מטר). מאמר זה מציג עדויות למצב ההידרולוגי באגן ההיקוות של הכינרת תוך ניתוח הגורמים המשפיעים עליו. המאמר מצביע על כך שהשפעת ההפקה של מי התהום על מגמת הירידה בזרימה בירדן בתקופה 1975–2016, כ־200 מלמ"ק בשנה בתקופה זו, זניחה, וכפי שהצביעו מחקרים קודמים, שינוי האקלים האזורי הוא הגורם העיקרי לירידה הדרסטית בספיקת הירדן ולירידה בשפיעה של מקורות הירדן ושל מעיינות הדן והבניאס, שאינם מושפעים כלל מהפקה.

תוצאות הפעלת מודל הידרולוגי שכוֵל עבור אגן הירדן העליון ושמבוסס על הנתונים המטאורולוגיים שהתקבלו מִמָּבָּר של מודלים אקלימיים חדשים ברזולוציה גבוהה לאזורנו בתרחישים שונים, מצביעות על כך שבעשורים הקרובים צפויות המגמות הנצפות להחריף. על פי המודל צפויות עלייה בהתאדות הפוטנציאלית באגן, הפחתה נוספת בכמויות המשקעים, עלייה בתדירות, במשך ובחומרה של תקופות הבצורת, וכתוצאה מכך הפחתה ניכרת בספיקות בנחלים בצפון.

היחס בין גשם, נגר, שפיעת מעיינות ומילוי חוזר באגן הכינרת משתנה בהתאם לכמות המשקעים. בכמויות גשם קטנות פוחתת יעילות הגשם, וכמות המים הנאגרת יורדת הרבה מעבר לירידה היחסית בכמות הגשם.

לתהליכים אלה יש כבר עתה השפעה עצומה על אגן ההיקוות של הכינרת בכל הנוגע לאספקת מים לחקלאות ולהבטחת מים לטבע. לשינויים ההידרולוגיים החריפים הנצפים והחזויים עשויות להיות השלכות מרחיקות לכת על הכימיה והביולוגיה של הכינרת, ולכך יש להיערך.

מילות מפתח: מדד הבצורת לישראל · יבול מים · יחס גשם־נגר · מילוי חוזר מגשם · מים זמינים

מגמות הידרו־אקלימיות נצפות באגן הכינרת

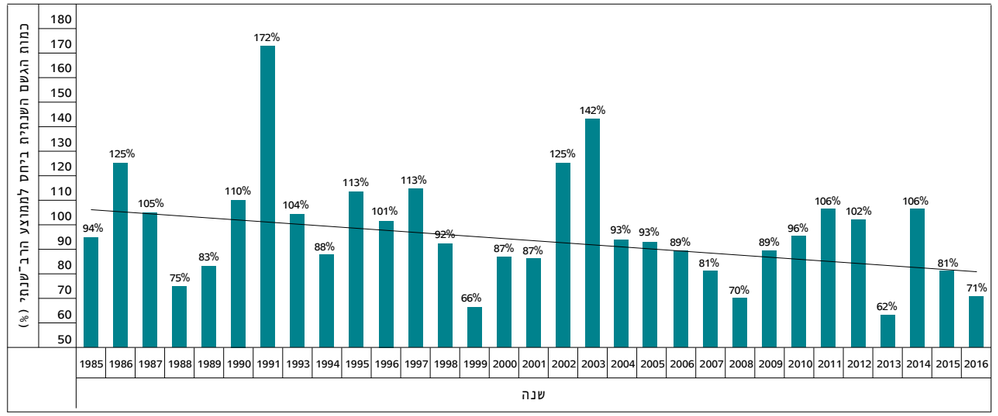
משקעים

מחקרים קודמים הצביעו על מגמת הירידה בכמויות משקעים באגן ההיקוות של הכינרת [7], וכתוצאה מכך על ירידה בשפיעת המעיינות, בזרימות בנחלים ובנפחי המים הזמינים בכינרת בעשורים האחרונים [2, 3, 5, 6]. הירידה בשפיעה ובנפחי המים יוחסה בעיקר לירידה בכמות המשקעים במעלה אגן ההיקוות ופחות לעלייה בצריכת המים באגן [3] משנות ה־70 ועד עתה. בו־בזמן מתועדות גם עלייה בתנודתיות של המשטר ההידרולוגי, התארכות פרקי יובש והחרפה במדד הבצורת (עלייה בעוצמת הבצורת, במשכה ובחומרתה).

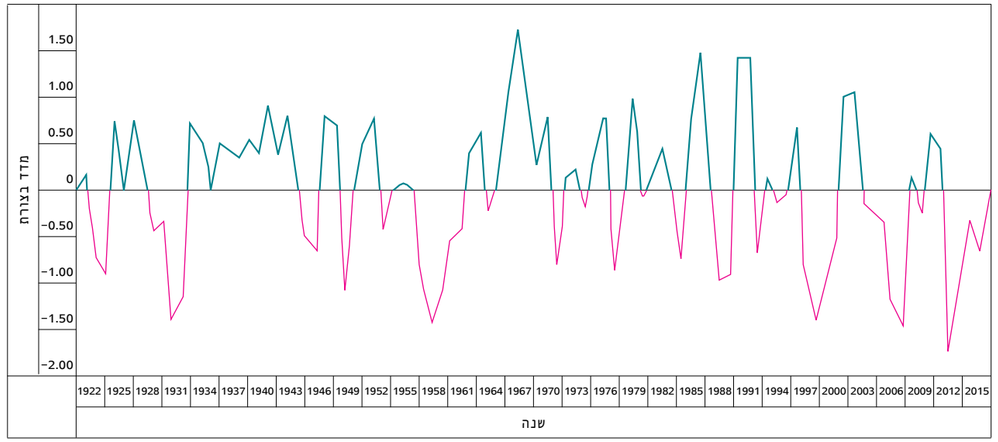
בתקופה 2014–2017 (ארבע שנים הידרולוגיות) החריפה המגמה ביתר שאת, והגירעון המצטבר של נפחי המים הזמינים (סך כל כניסות המים לכינרת מנחלים, ממעיינות ומגשם ישיר מעל האגם בניכוי התאדות) הסתכם ביותר ממיליארד קוב. איור 1 מציג את המהלך הרב־שנתי של כמות הגשם השנתית בשקלול ארצי ביחס לממוצע הרב־שנתי מאז שנת 1985/86. השקלול הכלל־ארצי מתייחס לממוצעי המשקעים באגן הכינרת, בגליל המערבי, באגן ההר ובחוף. לכל אגן משקל שונה בשקלול, על פי פוטנציאל המילוי החוזר שלו. ניתן לראות את הירידה בכמויות המשקעים ב־30 השנים האחרונות במערכת הארצית. איור 2 מציג את מדד הבצורת SPI 24 (Standard Precipitation Index) באגן ההיקוות של הכינרת. המדד מייצג אנומליות מנורמלות בממוצע של כמויות הגשם באגן ההיקוות במשך שנתיים רצופות ובוחן התפתחות מגמות של תקופות בצורת, משך התארכותן, תדירותן ועוצמתן. כלי זה חיוני לתכנון מיטבי של משק המים והוא מאפשר לקבל

מידע על נפח משקעים מצטבר לתקופה נתונה ביחס לממוצע ולא רק על כמויות המשקעים בשנה בודדת. ערכי מדד הגבוהים מ־0 (כל מה שבכחול ב־איור 2) מבטאים ערכים גבוהים מהממוצע, וערכים הנמוכים מ־0 מבטאים תקופות מחסור. בעשרים השנים האחרונות מרבית ערכי המדד נמוכים מאפס, וחלק מהם אף נמוכים ממנו משמעותית.

איור 1. כמות הגשם השנתית ביחס לממוצע הרב־שנתי, בשקלול ארצי מאז שנת 1985
מקור הנתונים: תחנות השירות המטאורולוגי.



איור 2. מדד הבצורת SPI 24 (Standard Precipitation Index) עבור אגן ההיקוות של הכינרת
בכחול שנים גשומות מהממוצע הרב־שנתי, בורוד שנים גשומות פחות מהממוצע הרב־שנתי.



שמעיינות אלה אינם מושפעים משאיבה באזור ההזנה, למעט קידוח חורשת טל שייתכן שמשפיע על השפיעה במעיינות תל דן, כמו עין בריד, כפי שכבר דווח על ידי השירות ההידרולוגי [1]. על כן, את השינויים בספיקתם יש לייחס בעיקר לתנאים אקלימיים והידרולוגיים (אזור ההזנה של המעיינות, רכס החרמון, לא חווה שינויים ניכרים בשימושי הקרקע). עובדה זו מאפשרת להשתמש במעיינות אלה כמדד יעיל למגמות אקלימיות וכסמן לשינוי אקלים. נפחי השפיעה השנתיים ב"סכום מעיינות הדן" (סך כל הנביעות הנמדדות בדן) פחתו בצורה מובהקת משנות ה־70 (value=0.005, ראו נספח 2). נפחי השפיעה ירדו מכ־280 מלמ"ק בשנות ה־70 לכ־200 מלמ"ק בלבד כיום. מגמה דומה ניתן לזהות גם בשפיעת מעיין הבניאס. נספח 3 מציג מגמה דומה עבור נהר הירדן, כפי שנמדד בתחנה ההידרומטרית בגשר הפקק. ניתן לראות שנפח הזרימה השנתי בנהר הירדן ירד מכ־520 מלמ"ק באמצע שנות ה־70 לכ־320 מלמ"ק בלבד כיום. בניגוד למעיינות הדן והבניאס, הזרימה בירדן מושפעת מהפקה. ניתוח השפעת השאיבות (מים עיליים ומי תהום) על מאזני המים באגן הירדן העליון בפרט ובאגן הכינרת בכלל, מובא בהמשך.

נפחי מים זמינים בכינרת

אגם הכינרת הוא בסיס הניקוז של אגן ההיקוות (2,730 קמ"ר, כשליש ממנו מחוץ לשטח ישראל). השינויים במשקעים, בשפיעת המעיינות ובזרימות בנחלים באים לידי ביטוי בסופו של דבר בנפחי המים הזמינים בכינרת (סך כל כניסות המים לאגם פחות התאדות). נפחי המים הזמינים אינם מושפעים משאיבה מהאגם עצמו, אלא מהפקה במעלה (צריכת מים, בעיקר לחקלאות, במעלה אגם הכינרת). איור 3 מציג את נפחי המים הזמינים השנתיים בכינרת מאמצע שנות ה־70. ניתן לראות את מגמת הירידה החדה והמובהקת מנפח של כ־500 מלמ"ק לכ־300 מלמ"ק כיום (P=0.0001). בולט במיוחד הגירעון בנפח בשנים האחרונות, ובעיקר הנפח השלילי בשנת 2013/14 – אז לראשונה מאז החלו המדידות התאדו מהאגם יותר מים מאשר נכנסו אליו.

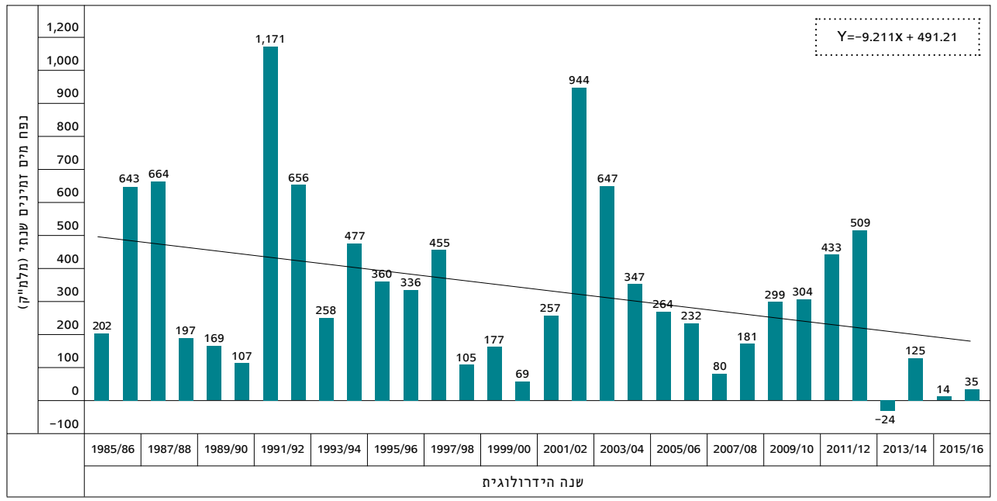
השפעת ההפקה של מי התהום על נפחי הזרימה בנהר הירדן

ניתוח נפחי הזרימה בנהר הירדן (כפי שנמדדו בתחנה ההידרומטרית בגשר הפקק, נספח 3) מצביע על ירידה בנפחים של כ־200 מלמ"ק בתקופה 1975–2016. נבדוק מה תרומת ההפקה ממי התהום על ירידה זו. מיקום אגני מי התהום מצוין בנספח 4, והיקפי ההפקה מהאגנים מצוינים בנספח 5.

א. אגן הגליל המזרחי – אגן זה מתנקז ישירות לכינרת דרך ריכוזי המעיינות בטבחה ובפוליה, ולכן השאיבה בגליל המזרחי לא משפיעה על הזרימות בירדן.

ב. קידוחי חורשת טל והחולה – קידוח חורשת טל 1 (מפיק 8 מלמ"ק בשנה) מזרים את מימיו לנחל בניאס, יובלו של הירדן. קידוחי החולה 7 ו־11 (4–5 מלמ"ק בשנה) זורמים בחלקם לנחל עיון וחלק מהם מסופקים על חשבון שחרור המים

איור 3. נפחי מים זמינים בכינרת





מפלס הכינרת בקיץ 2009 | צילום: בתאל בן עבו, תיכון קוגל (חולון), מתוך אתר פיקיוויקי

ממעיין עין זהב. בכל מקרה, השפעתם על נפחי הזרימה בירדן זניחה, מאחר שמרבית המים המופקים מוחזרים לטבע.

ג. אגן עינן – ניקוזו הטבעי של אגן עינן הוא במעיינות עינן שזרמו בעבר לנהר הירדן. בעקבות פיתוח ההפקה בשנות ה־60 יבש המעיין, ומקור זה נגרע ממאזן זרימות המים בירדן. עם זאת, מאחר שנגרע כבר בשנות ה־60, הוא אינו תורם למגמת הירידה בירדן בתקופה המנותחת במאמר זה: 1975–2016.

ד. אגן בזלות ברמת הגולן – ההפקה באגן היא כ־10 מלמ"ק, ולדעת מרבית ההידרוגיאולוגים, בתקופה זו ההפקה היא בעיקר על חשבון האוגר (storage) והיא מתבטאת פחות בירידה בנפח במוצאים (מעיינות הדופן וזרימות ברמת יהודיה). בכל מקרה, הפקה זו לא גרעה יותר ממספר מלמ"ק בודדים.

ה. קידוחי שמיר־שונית – ההפקה בקידוחים החלה ב־2013/14 (כפי שניתן לראות בנספח 4) ובכמויות של 3–5 מלמ"ק לשנה. על פי ההרכב האיזוטופי (PMC 1) של הפחמן הרדיואקטיבי (C^{14}) בקידוחי שמיר, סביר שהם מפיקים מים עתיקים האגורים בשכבות העמוקות מתחת לרמת הגולן. בכל מקרה, השפעתם על הזרימות בירדן, אם קיימת בתקופת הניתוח, זניחה.

נספח 6 מציג את סך כל ההפקה (מי תהום + מים עיליים) באגן הכינרת בחלוקה גיאוגרפית מאמצע שנות ה־70. ניתן לראות שבאגן הירדן העליון פחתו נפחי ההפקה במגמה רב־שנתית, וכך גם באגן כולו.

לסיכום: השפעת הפקה של מי התהום על מגמת הירידה בזרימה בירדן בתקופה 1975–2016 (ירידה של כ־200 מלמ"ק) זניחה, וכפי שהצביעו מחקרים קודמים [2, 3], שינוי האקלים הוא הגורם לירידה הדרסטית בספיקת הירדן (ולירידה בשפיעת מקורות הירדן, מעיינות הדן והבניאס).

מגמות הידרולוגיות חזויות לאגן הכינרת במאה ה־21

משקעים ותקופות בצורת

לצורך חישוב המגמות האקלימיות העתידיות נעשה במחקר זה שימוש בבסיס נתונים הכולל נתוני משקעים וטמפרטורה יומיים מ־14 מודלים אקלימיים שונים. מודלים אלה התקבלו ברשות המים במסגרת מיזם Africa CORDEX. המודלים הם אזוריים, וכוללים את המרחב של אירופה, המזרח התיכון וצפון אפריקה ברזולוציה מרחבית גבוהה של 0.44 מעלות. המודלים האזוריים מבוססים על מודלים גלובליים המורצים על פי תרחישי פליטות CO_2 שנקבעו על ידי ה־IPCC. התרחישים שנבחרו במיזם CORDEX הם RCP4.5 ("עסקים כרגיל") ו־RCP 8.5 (המשך פליטות מוגבר) [4].

עבור סדרת גשם מכל מודל אקלימי בוצעו השלבים הבאים:

א. ביצוע מבחני מגמה כדי לקבוע באיזה מידה משחזר המודל את מגמת המשקעים המדודה (סדרת הגשם לתקופה 1950–2005). לשם כך נעשה שימוש במבחן T שבודק את מובהקות השיפוע של קו המגמה במודל ביחס לשיפוע המדוד (כלומר, עד כמה המודל מצליח לשחזר את סדרת הגשם המדודה).

ב. אימות של המהלך החודשי של כמויות המשקעים ביחס לכמויות המדודות.

ג. תיקון סטטיסטי עבור סדרת נתוני הגשם בהתאם לנתונים מדודים מתחנות גשם מייצגות (Statistical down scaling) כדי להתאים את הכמויות מהמודל האזורי ברזולוציה של 50 ק"מ לתחנות באגן ההיקוות של הכינרת.

תוצאות מגמות המשקעים של 14 המודלים השונים נבחנו עבור תחנות מדידת גשמים באגן הכינרת (כפר גלעדי, מרום גולן) ונמצא שהממוצע של כל ה־14, הָצֶבֶר, משחזר בצורה הטובה ביותר את מגמות המשקעים המדודות עבור התקופה 1950–2005. ממצא זה מחזק את האמינות בשימוש בצבר גם עבור הסדרות העתידיות לתקופה 2020 עד 2100. איור 4 מציג את כמויות המשקעים השנתיות באזור כפר גלעדי כפי שחושב ממוצע 14 המודלים (צבר) בתרחיש RCP4.5. ניתן לראות שהמודל משחזר את מגמת הירידה שנמדדה משנות ה־50 ועד היום, ושלפיו היא צפויה להימשך גם בעשורים הקרובים, וכמויות המשקעים הממוצעות באזור זה יפחתו לסביבות 700 מ"מ בסוף המאה ה־21 (מגמת ירידה מובהקת,P=0.0001) . נספח 7 מציג את תוצאות חישוב מדד ה־SPI המבוסס על הצבר של 14 המודלים בתרחיש RCP4.5 (נספח ז4) ו־RCP8.5 (נספח ז5). ניתן לראות שעל פי המודלים האקלימיים צפויה בעשורים הבאים עלייה בתדירות, בחומרה ובמשך תקופות הבצורת באגן הכינרת, בשני התרחישים, וביתר שאת בתרחיש RCP8.5.

כיול מודל הידרולוגי לנהר הירדן לצורך חישוב ספיקות ונפחי זרימה עתידיים

הנתונים המטאורולוגיים שהתקבלו מהמודלים האקלימיים (משקעים וטמפרטורה) הוכנסו כקלט למודל ההידרולוגי GR6 שכוייל בעזרת נתונים מדודים מתחנות מטאורולוגיות בגולן עבור הספיקה בנהר הירדן־תחנת גשר הפקק. נספח 8 מציג את תקופת הכיול של המודל (1981–1987), ונספח 9 את תקופת האימות (1988–2014). ניתן לראות שהמודל משחזר היטב את משטר הזרימה בירדן, ותוצאות המבחן הסטטיסטי KGE (מבחן מקובל בספרות, ביחד עם ה־NSE) שהשווה בין הנתונים המדודים בנהר לאלה שחושבו מהמודל, טובות: 0.91 לתקופת הכיול ו־0.84 לתקופת האימות.

השפעות אקלימיות על המחזור ההידרולוגי באגן הכינרת

איורים 5 ו־6 מסכמים את תוצאות הרצות המודל GR6 לנהר הירדן. הקלט למודל היו נתונים מטאורולוגיים שהתקבלו מהצבר של

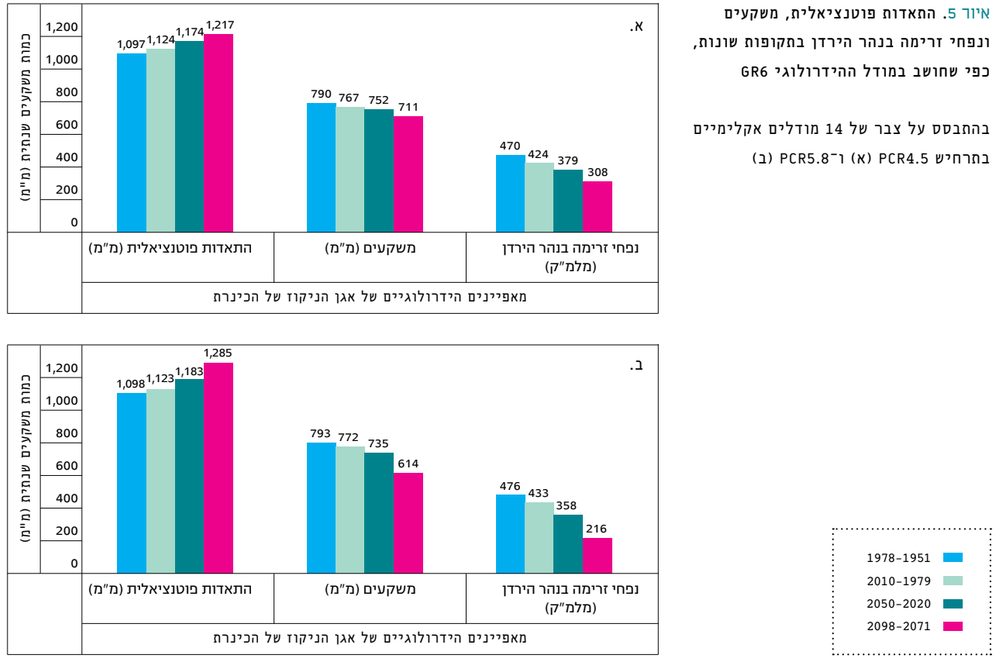


איור 4. כמויות משקעים שנתיות מחושבות לאזור כפר גלעדי בהתבסס על צבר של 14 מודלים אקלימיים בתרחיש RCP4.5

המודלים האקלימיים עבור תקופות שונות, בתרחישים RCP4.5 ו־RCP8.5 ניתן לראות באיור 5 את המגמות הבאות עם השנים: עלייה בהתאדות הפוטנציאלית באגן (מ"מ), ירידה בכמויות המשקעים (מ"מ), ירידה בנפחי הזרימה בירדן (מלמ"ק). איור 6 מציג את המגמות הללו כאשר השינוי בין התקופות השונות הוא באחוזים. התמונה שעולה מהתרשימים מצביעה על כך שבעוד שהירידה הצפויה בכמויות המשקעים צפויה להסתכם בכ־5–15% (תלוי באיזה תרחיש), הרי שהירידה הצפויה בנפחי הזרימה בנהר חדה הרבה יותר: בין 20% ל־50% עד סוף המאה בתרחישים השונים. המסקנה מהרצות אלה היא שיעילות הגשם צפויה להיפגע, כלומר שהיחס בין הגשם לנגר ישתנה. כפי שמשתקף כבר עתה בתצפיות, מתקבלת ירידה בשיעור של כ־50% בכמות הנגר הנאגרת ברמת הגולן בגין ירידה של כ־20% בלבד בכמויות המשקעים. שינוי הידרולוגי משמעותי מושפע גם משינוי באופי המשקעים (עוצמות), בפריסתם (במרחב ובזמן) ובעונתיות. לעונת גשמים שמתחילה מאוחר ומסתיימת מוקדם, וכן להפסקות ממושכות בין אירועי גשם ישנה משמעות הידרולוגיות גדולה: הקטנה של נפחי הנגר העילי, הפחתה בנפחי המילוי החוזר, ירידה בכמות מי התהום ומכאן בשפיעת מעיינות. מגמות אלה ישפיעו בהכרח על נפחי המים הזמינים ועל מפלס הכינרת. על פי מודל השירות ההידרולוגי לחישוב נפחי מים זמינים בכינרת [3, 5, 6], המבוסס על תוצאות המודל ההידרולוגי שהוצג כאן עבור אגן נהר הירדן העליון, צפויים נפחי המים הזמינים בכינרת לִפְחות ולהגיע לממוצע של כ־220–250 מלמ"ק בלבד בממוצע בתקופה 2020–2050 (ירידה של כ־25% נוספים ביחס לנפחים כיום). ההשפעה של רצף שנות בצורת על נפחי המים הזמינים תהיה אף משמעותית יותר, ותביא לעלייה בריכוזי המליחות ולחילוף מים איטי ביחס למשטר ששרר באגם בעשורים הקודמים. לפיכך, מתכננת רשות המים מספר פעולות להתמודדות עם המגמות המתוארות כאן (לתיאור תוכנית הפעולה של רשות המים ראו עמ' 32 בגיליון זה).

איור 5. התאדות פוטנציאלית, משקעים ונפחי זרימה בנהר הירדן בתקופות שונות, כפי שחושב במודל ההידרולוגי GR6

בהתבסס על צבר של 14 מודלים אקלימיים בתרחיש RCP4.5 (א) ו־RCP8.5 (ב)

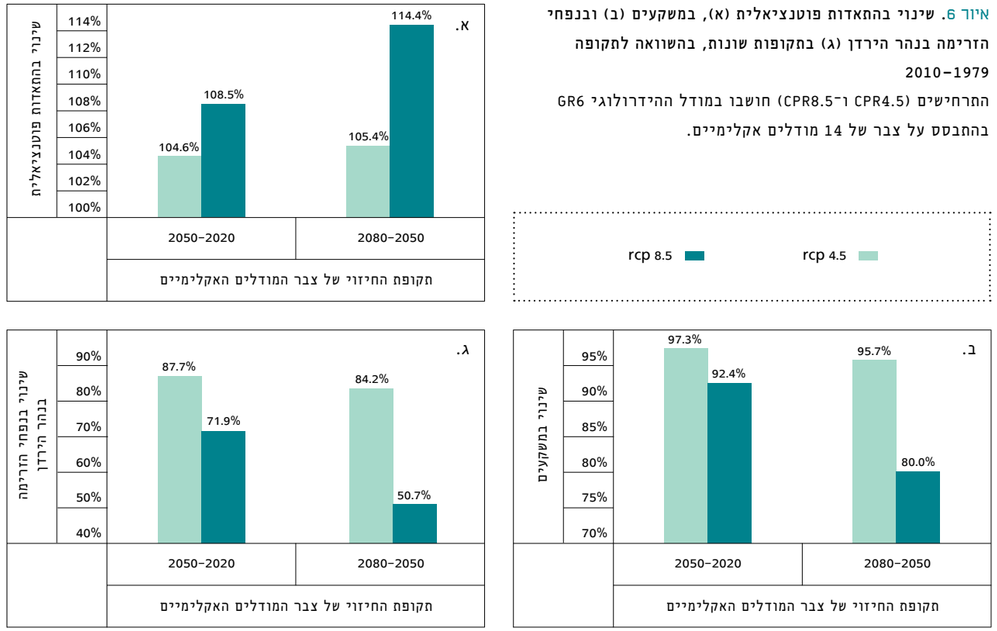


סיכום

מחקר זה מציג ניתוח של מאזני המים באגן הכינרת: מגמות של שפיעות טבעיות במקורות הירדן והשפעת ההפקה של מים עיליים ומי תהום על הזרימות בירדן ועל נפחי המים הזמינים בכינרת. נוסף על כך, בוצע ניתוח של הזרימות החזויות בירדן ונפחי המים הזמינים שצפויים להתקבל בכינרת בעשורים הבאים של המאה ה־21 בהתבסס על ניתוח של מספר רב של מודלים

איור 6. שינוי בהתאדות פוטנציאלית (א), במשקעים (ב) ובנפחי הזרימה בנהר הירדן (ג) בתקופות שונות, בהשוואה לתקופה 1979–2010

התרחישים (CPR4.5 ו־CPR8.5) חושבו במודל ההידרולוגי GR6 בהתבסס על צבר של 14 מודלים אקלימיים.



אקלימיים חדשים ושימוש במודל הידרולוגי.

תוצאות המחקר מאפשרות לקבל מושג טוב יותר על אודות השפעת שינוי האקלים על המחזור ההידרולוגי ועל מאזני המים הצפויים להתקבל באגן, מידע הכרחי לצורך תפעול עתידי ותכנון.

התוצאות מצביעות על כך שלשינוי האקלים האזורי יהיו השפעות דרמטיות על המשטר ההידרולוגי באגן ומכאן גם על האקולוגיה, הסביבה והטבע. מגמת ההתייבשות של מקורות המים הטבעיים באגן הכינרת המוצגת כאן בתרחישים שונים, תחייב היערכות שונה של כלל צרכני המים באגן: החקלאות, הטבע והסביבה. נפחי המים הזמינים באגן לא יוכלו להספיק לכלל השימושים, ויש לספק לאגן מים ממקורות נוספים מחוצה לו, נוסף על אלה הקיימים בו כיום.

מקורות

[1] גבעתי ע וטל ע. 2010. ניתוח יחסי גשם שפיעה בעין באריד כאמצעי לניטור ומעקב אחר השפעה אפשרית של הפקה בקידוחים על שפיעת מעיינות באזור אגני דן־בניאס, דו"ח הידרולוגי, ירושלים. ISSN – 0334–3367.

[2] Givati A and Rosenfeld D. 2007. Possible impacts of anthropogenic aerosols on water resources of the Jordan River and the Sea of Galilee. *Water Resources Research* **43**: W10419.

[3] Givati A and Rosenfeld D. 2013. The Arctic oscillation, climate change and the effects on precipitation in Israel. *Atmospheric Research* **133**: 114-124.

[4] IPCC. 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker TF, Qin D, Plattner GK et al. (Eds). Cambridge (UK) and New York (USA): Cambridge University Press.

[5] Rimmer A and Givati A. 2014. Hydrology. In: Zohary T, Sukenik A, Berman T, and Nishri A (Eds). Lake Kinneret - Ecology and Management. Heidelberg: Springer.

[6] Rimmer A, Givati A, Samuels R, and Alpert P. 2011. Using high resolution climate model to evaluate future water and solutes budgets in the Sea of Galilee. *Journal of Hydrology* **410**: 248-259.

[7] Ziv B, Saaroni H, Pargament R, et al. 2014. Trends in rainfall regime over Israel, 1975-2010, and their relationship to large-scale variability. *Regional Environmental Change* **14**: 1751-1764.



מפל התנור בשמורת נחל עיון. הטיית מקורות הנחל בלבנון גורמת להתייבשות המפל מדי קיץ לאורך עשרות שנים. מים הנשאבים מנחל דן אפשרו שיקום של המערכת האקולוגית של הנחל | צילום: ורנר אקרט

אגן ההיקוות של הכינרת - עקרונות לשמירת יציבות הידרולוגית

אלון רימר

המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל
alon@ocean.org.il

"חיזוי הוא עניין מסובך מאוד, בעיקר בכל הקשור לעתיד"
הפיזיקאי נילס בוהר

תקציר

אגן ההיקוות של הכינרת ("האגן") היה עד לפני שנים ספורות ספק מים עיקרי למערכת הארצית, ומצב המים בו נמדד באופן רציף וסדיר במשך עשרות שנים (גשם, התאדות, ספיקת מעיינות וזרימה בנחלים, מפלסי מי תהום, מפלסי מאגרים וצריכה מקומית). מדידות אלה מאפשרות לבחון בפירוט את מצב המים באגן, שנמצא בימים אלה בגירעון המים הגדול ביותר מאז החלו המדידות. בשנים 1976–2009 זרמו מהאגן לכינרת כ־630 מיליון מ"ק לשנה (מלמ"ש), ואילו בשנים 2009–2016 נכנסו לכינרת רק כ־500 מלמ"ש. מטרת המאמר הנוכחי היא לבחון את מאזן המים השנתי של אגן הכינרת, וכן להציג את הדרכים להערכה ולכימות של מאזן כזה בעבר, בהווה ובתחזיות לעתיד דרך סקירת הנתונים הקיימים. בשנים האחרונות אנו עדים להפחתה מסוימת בכמות הגשם על האגן, ולהפחתה בזרימה לכינרת כתוצאה מכך. למרות זאת הורחבה שאיבת מי התהום באגן בכ־30 מלמ"ש, ומגמה זו נמצאת במגמת עלייה בימים אלה. יש המצדיקים את הרחבת השאיבה הזו בטענה בעייתית כי מי תהום המופקים מבארות עמוקות מוסיפים (ולא גורעים – כמתבקש לפי משוואת מאזן מים פשוטה) לכמות המים הטבעיים באגן. חישוב רב־שנתי המבוסס על מגמות בזמן של מים זמינים בכינרת ועל הגדלת שאיבת מי התהום באגן ההיקוות, מראֶה כי כמויות המים באגן פוחתות בקביעות בשיעור ממוצע של כ־8 מלמ"ש. המשך המגמה הנוכחית יביא בעוד כ־15 שנים בלבד להפחתת כמות המים הזמינים בכ־120 מלמ"ש נוספים, והיא תעמוד אז על כ־150 מלמ"ש בלבד. במקרה כזה, אם נניח שאיבת מים מינימלית הכרחית של אותם 150 מלמ"ש מן האגם עצמו (הפחתה ניכרת לעומת 440 מלמ"ש בשנים 1976–2009), ברור כי זהו מצב של תחילת גירעון קבוע במאזן המים של הכינרת, ותחילת תהליך רב־שנתי של ייבוש האגם.

מלות מפתח: התאדות משטחים חקלאיים · ירידה בכמות הגשם · מאזן מים אגני · מים זמינים לכינרת · מקורות מים טבעיים · שאיבת יתר

הקדמה

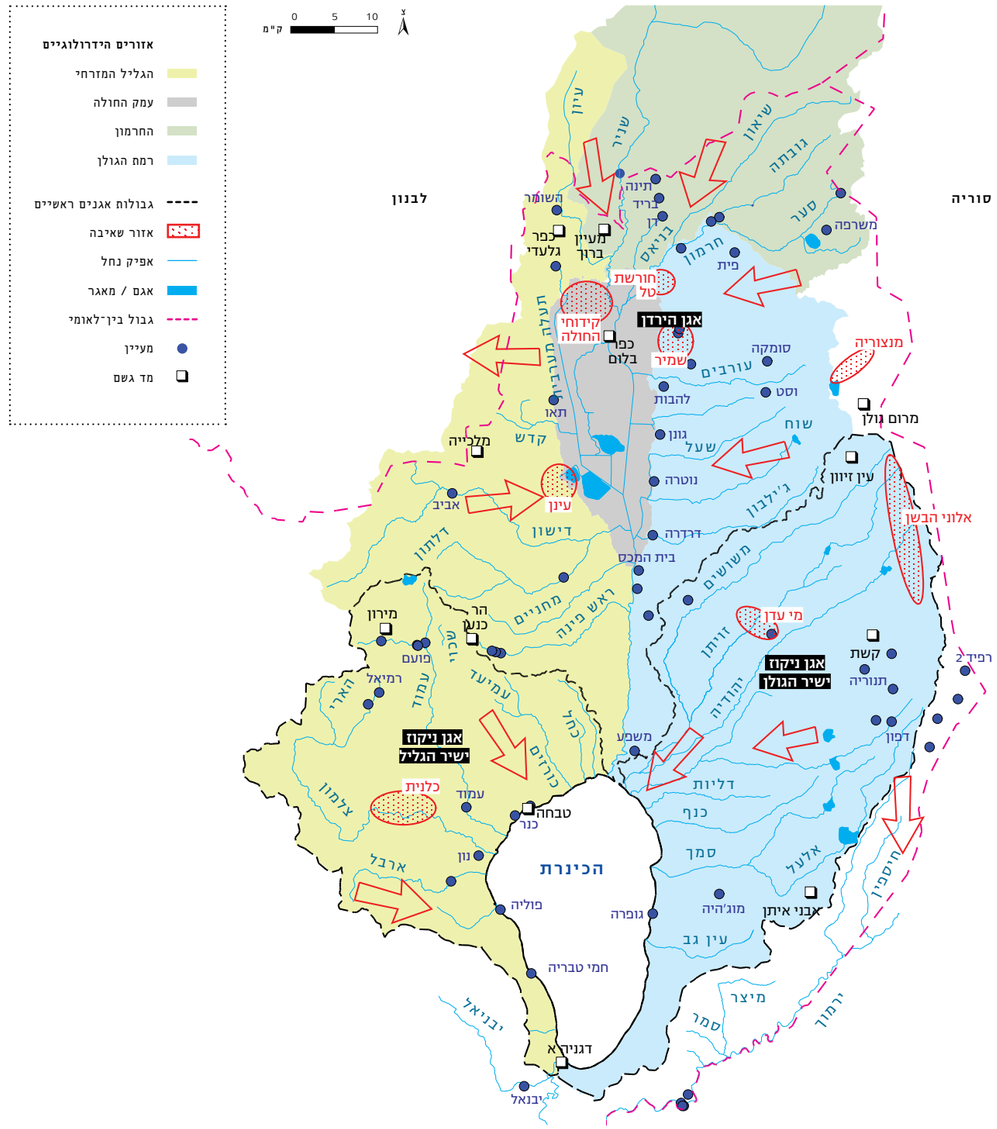
החל בשנת 2005 החלה בהדרגה פעולתם של מתקני ההתפלה הגדולים על חוף הים התיכון. בשנים הבאות יספקו מתקני ההתפלה כ־600 מיליון מ"ק לשנה (מלמ"ש) למערכת המים הארצית, שכמעט שאינה מוגבלת כיום באספקת מים. עם זאת, באזורים נרחבים בצפון (הגליל, הגולן, עמק כנרות, בקעת בית שאן) אספקת המים נשענת על מקורות מים מן הטבע, שפֻמותם הולכת ופוחתת בהדרגה. אגן ההיקוות של הכינרת (להלן "האגן") היה עד לפני שנים ספורות ספק מים עיקרי למערכת הארצית. ככזה, מצב המים באגן נמדד באופן רציף וסדיר במשך עשרות שנים (גשם, התאדות, ספיקת מעיינות וזרימה בנחלים, מפלסי מי תהום, מפלסי מאגרים, וצריכה מקומית). מדידות אלה מאפשרות לבחון בפירוט את מצב המים באגן, שנמצא בימים אלה בגירעון המים הגדול ביותר מאז החלו המדידות.

שטח האגן הוא 2,730 קמ"ר, ומתוכם שטח האגם 165 קמ"ר. מקור המים העיקרי של הכינרת הוא אגן הירדן העליון, ששטחו כ־1,600 קמ"ר (920 קמ"ר בשטח ישראל). החלק המשלים הוא אגן הניקוז הישיר, הכולל את השטח המנקז לכינרת כמה עשרות נחלים ששטחם 577 קמ"ר בחלק הדרומי של רמת הגולן מצפון־מזרח לאגם, ו־388 קמ"ר בהרי הגליל המזרחי (איור 1).

בשנים 1976–2009 סיפק האגן במממוצע 811 מלמ"ש [29] (זה נפח המים המוערך לניצול שנתי ברחבי האגן כולו), ש־634 מלמ"ש מהם נכנסו לכינרת (טבלה 1). הנפח הנותר, 182 מלמ"ש, נצרך במעלה אגן ההיקוות בשאיבה ממקורות מים עיליים בישראל (98 מלמ"ש) ובלבנון (20 מלמ"ש), בשאיבת מי תהום בגליל המזרחי, בגולן ובעמק החולה (49 מלמ"ש) ובהטיית מים מלוחים למוביל המלוח (15 מלמ"ש). שלא כמו ממוצעים אלה, מנתוני מאזני המים לשנים 2009–2016 עולה כי בשנים אלה נכנסו לכינרת רק 500 מלמ"ש [13] (טבלה 1). בהפחתת 240 מלמ"ש התאדות שנתית מתקבלים כ־260 מלמ"ש מים זמינים בלבד. בשנים 2009–2011 נצרכו בשאיבה ממקורות מים עיליים בחלק הישראלי של האגן רק כ־70 מלמ"ש כתוצאה ממדיניות קיצוצים של רשות המים, אך בשנים האחרונות שאיבה זו חוזרת להיות גדולה מ־90 מלמ"ש, כפי שהיה בעבר. שאיבת מי התהום באגן ההיקוות של הכינרת גוברת באופן קבוע, וב־20 השנים האחרונות עלתה מכ־55 לכ־85 מלמ"ש [7].

בעקבות ההפחתה בגשמים וגידול הצריכה בשנים האחרונות חלה ירידה בכמות המים באגן, וכמובן גם ירידה גדולה (למעלה מ־100 מלמ"ש) בכמות המים המתנקזת לכינרת. למרות זאת, דו"ח מפורט העוסק בהערכת כמויות המים הנמנעות מהכינרת עקב

איור 1. המערכת ההידרולוגית של אגן ההיקוות של הכינרת, בחלוקה לאגני משנה: החרמון, רמת הגולן, הגליל המזרחי, ועמק החולה המפה כוללת אפיקי נחלים, מעיינות ראשיים, מאגרים, תחנות נבחרות למדידת גשם ואזורי שאיבת מי תהום. החיצים מתארים כיווני זרימה משוערים של מי תהום ברחבי האגן.



טבלה 1. כניסת מים מאגן ההיקוות לכינרת בשנים 1976–2009 [92] לעומת 2009–2016

מקור מים לכינרת	1976–2009 [29]	2009–2016 [13]
הירדן הצפוני	434	334
נגר עילי מאגן הניקוז הישיר	70	43
שפיעת מעיינות והעשרה	60	60
גשם ישיר על האגם	70	63
סך הכול	634	500

שימושי האדם [14] קובע שניצול המים במעלה אגן ההיקוות של הכינרת דווקא הולך וקטן עם השנים, ודו"ח אחר [4] מציע ששאיבה מאקוות עמוקות באצבע הגליל ובצפון רמת הגולן עשויה **להוסיף מים** למערכת הארצית, מאחר שהן אינן חלק ממאזן המים הידוע עד כה באגן ההיקוות של הכינרת.

מטרת המאמר הנוכחי היא לבחון את מאזן המים האגני השנתי עבור אגן ההיקוות של הכינרת (לא כולל מאזני המים של האגם עצמו) דרך סקירת הנתונים. נציג כאן חישוב כללי של המאזן בעבר ובהווה ותחזיות לעתיד. נסביר מדוע המשך המגמה הנוכחית של הרחבת שאיבות מי התהום יוביל בתוך מספר שנים למאזן מים שלילי באגם (כניסת המים השנתית קטנה מיציאת המים) ולנסיגה קבועה במפלס הכינרת.

גיאוגרפיה ונתונים הידרולוגיים

אגן ההיקוות של הכינרת כולל ארבע יחידות הידרולוגיות הנבדלות זו מזו בכמות המשקעים, ביחסי גשם־נגר, ובצריכת המים המקומית (איור 1): (1) קָרסט היורה של הר חרמון; (2) בזלת רמת הגולן; (3) קָרסט הקנומן־טורון של הרי הגליל המזרחי; (4) אדמות הסחף של עמק החולה.

<u>רכס החרמון</u>

שטחו כ־783 קמ"ר. בנוי משכבת אבן גיר קרסטית שעובייה מעל 2,000 מטר. הגשם והשלג (מעל 1,300 מ"מ בממוצע שנתי) מזינים את שלושת מקורות המים הראשיים של הירדן – הנחלים דן, שניר וחרמון [5, 24] – שתורמים בממוצע רב־שנתי (1979–2007) 250, 116 ו־116 מלמ"ש, בהתאמה. כמויות המים שנמדדו ב־10 השנים האחרונות נמוכות בהרבה, 170 בדן; 62 בשניר ו־93 מלמ"ש בחרמון, כ־67% בלבד מהכמות ב־1979–2007.

<u>רמת הגולן</u>

שטחה כ־1,160 קמ"ר. משתפלת מרום 1,200 מטר מעל פני הים בקצה הצפוני (מג'דל שמס), עד רום של 350 מטר בקצה הדרומי (מבוא חמה). ממוצע המשקעים השנתי נע בין 1,200 מ"מ בצפון עד פחות מ־500 מ"מ בדרום. מבחינה הידרולוגית לרמה שלושה חלקים: (1) אזור צפוני (כ־350 קמ"ר) בין נחל סער־חרמון לנחל גילבון (איור 1) המתנקז לנהר הירדן. תרומת המים העיקרית של אזור זה היא שפיעת "מעיינות הדופן" [6] (כ־30 מלמ"ש), עם תוספת מים המגיעים לירדן בנגר עילי. (2) אזור דרומי (כ־577 קמ"ר) בין נחל משושים בצפון לנהר הירמוך בדרום, המתנקז ברובו ישירות לכינרת דרך נחלי הגולן (משושים: 24 מלמ"ש, יהודיה: 17 מלמ"ש, דליות: 13 מלמ"ש, סמך: 6.7 מלמ"ש). (3) השטח הנותר מתנקז מזרחה ודרומה, אל נהרות הרוקאד והירמוך שמחוץ לאגן ההיקוות של הכינרת.

<u>הגליל המזרחי</u>

שטחו כ־445 קמ"ר. הנחלים העיקריים התורמים מים לירדן הם עיון ודישון, שתורמים ביחד כ־10.5 מלמ"ש, ואחרים המתנקזים ישירות לכינרת: נחל עמוד (כ־1.0 מלמ"ש), צלמון וארבל. מקורות מי התהום העיקריים באזור הם מעיינות עינון, בדרום מערב עמק החולה, ומעיין תאו, כ־5 ק"מ צפונית לעינון. לפני 1960 מעיין עינון היה מקור המים העיקרי ממערב לירדן, כ־20 מלמ"ש [15], ומעיין התאו תרם כ־4.5 מלמ"ש [11]. משנת 1962 גרם ניצול מוגבר של האקווה בבארות עינון לירידה בשפיעת המעיינות. כיום התרומה השנתית של כל מעיינות הגליל המזרחי היא רק 6 מלמ"ש.



רכס החרמון תורם כ־75% מכמות המים באגן הכינרת. לפיכך, להערכת כמות הגשם על הרכס חשיבות רבה בהערכות ובמודלים של כמויות המים באגן | צילום: ורנר אקרט

קידוח שמיר. מים בטמפרטורה של 47°C פורצים מקידוח ארטזי (שאינו מצריך שאיבה). הקידוח נעשה לעומק של כ־1,400 מטר אל תוך שכבות מתקופת היורה | צילום: ורנר אקרט

עמק החולה

שטחו כ־177 קמ"ר. מנקז נגר עילי ומי תהום מהאקוות בחרמון בצפון, בגליל העליון ממערב וברמת הגולן ממזרח [1, 21, 23]. כמות המשקעים השנתית בעמק משתנה בין 400 מ"מ בדרום ל־700 מ"מ בצפון. הנחלים דן, חרמון ושניר מתחברים ליד שדה נחמיה ליצירת נהר הירדן, החוצה את העמק לאורך 21 ק"מ מצפון לדרום. תרומת העמק לנגר עילי ולזרימה בירדן נחשבת זניחה. כמות מים גדולה יחסית נצרכת בעמק לחקלאות ולשימור ערכי טבע (האגמון ושמורת החולה).

מאזן מים אגני

ננסח משוואה כללית של מאזן מים אגני. בהמשך נבחן כיצד מצבים שונים באים לידי ביטוי במשוואה כזו:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = [R - E(S_1)] - [Q(S_1,S_2)+P] + Q_B$$

צד שמאל של המשוואה מציין את שינוי כמות המים באגן $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$ על פני פרק זמן נתון Δt (יחידות נפח לשטח; ΔS_1 כמות בפני הקרקע ו־ΔS_2 מי תהום). בצד ימין (נפח לשטח לזמן), נמצאים R, כמות הגשם על האגן; E, שיעור ההתאדות הממשית; Q, סכום כמויות המים המתנקזות לכינרת במוצא התחתון של האגן (מים עיליים + מי תהום); P, המבטא את כמות המים הנשאבת בתחום האגן; Q_B המציין מעבר מי תהום (האגן מוגדר גיאוגרפית כך שמים עיליים אינם יכולים לעבור מאגן לאגן) לאגנים שכנים שאינם אגם הכינרת (חיובי או שלילי). באגן שנמצא במצב יציב מבחינת כמויות המים שבו, נמצא כי $\Delta S=0$, באגן שחווה התייבשות $\Delta S<0$, ובהרטבה $\Delta S>0$ במשך הזמן, וכך גם סכום האיברים בצד ימין של המשוואה, בהתאמה. באנלוגיה, ניתן להתייחס למשוואה כאילו היא מתארת חשבון בנק של עובד שכיר, כאשר ΔS שינוי כמות הכסף בחשבון; R המשכורת הנכנסת; E מיסים; Q הוצאות קבועות (תלויות בכמות הכסף בבנק); P הוצאות נוספות (בלתי תלויות); Q_B העברות קבועות לחשבון וממנו.

נבחן להלן את המאזן ההידרולוגי במספר תהליכים אפשריים בהנחה שהמצב ההתחלתי של המערכת קבוע ויציב (גשם, התאדות, שאיבה וכמות המים באגן).

א. **רצף של שנים יבשות מהממוצע (R קטן), השאיבה בתחום האגן (P) נשארת קבועה:** במקרה כזה התוצאה תהיה ירידה בכמות המים באגן $\Delta(S_1 + S_2) < 0$, בהתאדות $E(S_1)$ובכמות המים $Q(S_1,S_2)$ שזורמת לאגם. לאחר מספר שנים שחונות תגיע המערכת האגנית למצב יציב חדש שבו מפלס מי התהום (S_2), ההתאדות (E) והספיקה המתנקזת לאגם (Q) קטנים יותר מהמצב הקבוע ההתחלתי. באנלוגיה לעיל, זה יהיה מצב חשבון הבנק של השכיר שלנו אם תהיה ירידה במשכורתו.

ב. **יציבות בכמות הגשם השנתית וגידול בכמות המים הנשאבת (P) לצורכי חקלאות ממקורות מים עיליים (נחלים ומאגרים עונתיים מלאכותיים)**: במקרה כזה הגידול ב־P שווה מיידית להפחתה בספיקה המתנקזת (Q), כי המים שנשאבים להשקיה אינם זורמים בנחלים. נוסף על כך, כמות המים בפני שטח האגן (S_1) תפחת בעיקר בגלל הגדלת השטח החקלאי המאדה בקיץ. באנלוגיה, זה יהיה מצב חשבון הבנק של השכיר שלנו אם יגדיל את ההוצאות הנוספות במזומן.

ג. **יציבות בכמות הגשם השנתית וגידול בכמות המים הנשאבת (P) לצורכי חקלאות ממקורות מים תת־קרקעיים**: כמו במקרה הקודם, תחול הגברה בהתאדות מהשטחים החקלאיים אולם ההפחתה המיידית ב־Q תהיה קטנה באופן משמעותי מכמות המים הנשאבים, ותגדל בהדרגה עד הערך P רק לאחר מספר שנים. מצב זה אנלוגי להגדלת ההוצאות על ידי לקיחת אשראי לשנים רבות לעתיד לבוא. **להפקת מי תהום יתרון פרקטי על פני הפקת מים עיליים, מאחר שההשפעה הסביבתית של ההפקה על כמויות המים הטבעיים מתאחרת, לעיתים בסדר גודל של מספר שנים, אך ברור שהיא תפחית עם הזמן את כמות המים באגן.**

ד. **יציבות בכמות הגשם השנתית ותוספת בכמות המים הנשאבת ממי תהום (P) המופנית ישירות לנחלים לצורך הגדלה מיידית של הספיקה המתנקזת לאגם (Q) ללא שימוש חקלאי**: במקרה כזה Q גדל באופן מיידי ללא שינוי משמעותי בהתאדות בפני הקרקע, אולם על פני פרק זמן ארוך תחול הפחתה בכמות מי התהום באגן (S_2) בשיעור המשתווה לתוספת השאיבה (P). מצב זה אנלוגי לחוסר במזומנים לצורך הוצאות שוטפות חיוניות, שבגינו הַשכיר לוקח כסף באשראי לטווח ארוך.

בהמשך נייחס כל אחד מהתהליכים האלה (א–ד) להידרולוגיה של אגן ההיקוות של הכינרת.

נתוני גשם – בחינת תהליך א

במסמך של רשות המים [17] נכתב כי "בשנים האחרונות ניכרת מגמה של ירידה בהיצע המים הטבעיים בישראל, ומגמה זו נובעת מ־**(א) הפחתה בכמות המשקעים** ומ־**(ב) שינוי משמעותי בפירוס אירועי הגשם ובעוצמתם**". שתי טענות אלה נועדו להסביר גם את תקופת היובש הנוכחית (2014–2017) המתאפיינת במיעוט זרימה בנחלים ובהפחתה בהעשרת מי תהום.

עניין (א) מצוי במחלוקת מסוימת. דו"ח השירות המטאורולוגי [8] שמסקנותיו מבוססות על נתונים משנת 1921(!) ועד 2014 קובע שלא נמצאה מגמת שינוי בכמות המשקעים בישראל, ובאזור הגליל העליון ועמק הירדן בפרט. עם זאת, בשל השונות הגבוהה של סדרת הגשם השנתית בישראל, הוצע [22] שיש מגמת הפחתת גשמים שאיננה מובהקת סטטיסטית, בשיעור קטן מ־2.5 מ"מ לשנה.

על פי הטוענים ל־(ב) ניתן להבחין כי יש פחות ימי גשם בעונה, מספר הימים היבשים גדל, אך עוצמת אירועי הגשם גבוהה יותר מבעבר. לפיכך, השתנו מאפייני מחזורי ההרטבה והייבוש של הקרקע, ויותר מי גשם מתאדים על חשבון זרימה פוחתת בנחלים וירידה בהעשרת האקוות. כדי לתת תוקף מדעי לטענה זו יש להוכיח כי: א. השינויים במופע הגשם (ימים ופריסה) הם אכן בכיוון שצוין לעיל; ב. נוסף על כך, הייתה הפחתה בזרימה בנחלים ובהעשרת מי תהום. במחקר היחיד שבחן את שני השלבים באמצעות מודל הידרולוגי של אגן החרמון [26], לא נמצאו הוכחות לכך ששינוי קטן ומובהק סטטיסטית במופע הגשם בלבד (ללא שינוי בכמות) אכן משנה במידה מובהקת את הזרימה בנחלים ואת עוצמת ההעשרה.

נחזור לעניין ההפחתה בכמות הגשם. בדו"ח מחקר [9] קובעים המחברים כי במזרח הגולן אכן נמצאה מגמת הפחתה מובהקת בגשמים בין השנים 1975–2010 [9]. הפחתה בגשם באגן נמצאה ב־40 שנות מדידה (1970–2011) [3] בשיעור של כ־3.8, 2.7 ו־2 מ"מ לשנה בתחנות מדידת הגשם במרום גולן, בכפר גלעדי ובמירון, בהתאמה. קצב הפחתה דומה בגשמים ב־20 השנים האחרונות (1995–2016, כ־2 מ"מ לשנה) מייצג את ממוצע התחנות מרום גולן, קשת (במרכז רמת הגולן), מעיין ברוך ומלכיה (איור 2). הסטטיסטיקה ארוכת הטווח של מספר תחנות מדידת גשם בצפון רמת הגולן, בגליל המזרחי ובעמק החולה משקפת היטב גם את מצב המשקעים על החרמון [30,20].

למרות מגמת ההפחתה הכללית בגשמים, מן הראוי לשים לב להשוואה בין שני רצפים של שש שנים: 1995–2001 לעומת 2010–2016 (טבלה 2). שני הרצפים התאפיינו בשלוש שנים ברוכות גשמים שלאחריהן שלוש שנים שחונות. ממוצע הגשם של הרצף השני גבוה מזה של הראשון, הן בשנים ברוכות הגשמים הן בשנים השחונות. לעומת זאת, כמות המים הזמינים (כניסת מים לכינרת [Q], פחות התאדות מהאגם [ראו איור 3 בעמ' 15 בגיליון זה]) בשנים השחונות בין 2013 ל־2016 נמוכה ב־56 מלמ"ק מזו של 1998–2001 (טבלה 2). במילים אחרות – **משבר המים בשנים**

איור 2. גשם עונתי לשנים 1995–2017 בתחנות מרום גולן, קשת, מעיין ברוך ומלכיה (על פי נתוני השירות המטאורולוגי)

2014–2016, כפי שבא לידי ביטוי בכמות מים זמינים נמוכה ביותר בכינרת, גדול בהרבה מזה של סוף שנות ה־90, אף על פי שכמות הגשמים בשנים האחרונות הייתה גדולה יותר. ממצא זה אינו עולה בקנה אחד עם שתי הטענות שלעיל – ירידה בכמות הגשם ושינוי מופע הגשם, וסביר יותר להניח שגורמים נוספים הביאו להפחתת כמות המים באגן ולירידה בכמות המים הזמינים.

התאדות, חלחול ושינוי כמות המים בפני הקרקע – בחינת תהליכים ב ו־ג

השפעת ההתאדות על כמות המים באגן תיבחן דרך ניתוח התהליכים הטבעיים בפני הקרקע במהלך שתי עונות גשמים עוקבות – האחת גשומה מאוד (2002/03; כ־1,150 מ״מ בצפון הגולן) והשנייה גשומה פחות (2003/04; כ־690 מ״מ בצפון הגולן). לצורך זה השתמשנו במודל מתימטי־הידרולוגי יומי [2, 24] שמדמה את התנהגות שכבת הקרקע העליונה כתוצאה מגשם ומתנאים אטמוספריים. המודל מחשב את שינויי הרטיבות של שכבת הקרקע העליונה, האידוי מפני הקרקע, חלחול למי תהום וזרימת נגר עילי. המשקעים חודרים לשכבת פני הקרקע העליונה ומעלים בה את תכולת הרטיבות. ההתאדות מפני הקרקע תלויה בתנאים אטמוספריים הבאים לידי ביטוי במושג ״התאדות פוטנציאלית״ (התאדות מפני שטח רווי במים, איור 3) ובתכולת הרטיבות [28] של פני הקרקע. החלחול למי התהום גדל ככל שתכולת רטיבות שכבת הקרקע העליונה גדלה. אחרי ירידה של 230–300 מ״מ גשם [18] או של 400 מ״מ בנחלי החרמון [26], כאשר פרופיל הקרקע העליונה רווי, אין למים אפשרות להיספג בשכבת הקרקע העליונה, ונוצרים שני אפיקי ניקוז: 1. זרימת נגר עילי שגורמת לגאות בנחלים; 2. העשרה מהירה של מי התהום במנגנון שנקרא ״זרימה מעדיפה״ (preferential flow). מנגנון זה מאופיין בכך שבקרקע רוויה, סדקים גדולים בסביבה בזלתית (הגולן) או סביבה קרסטית (החרמון והגליל המזרחי), מתמלאים במים המחלחלים במהירות למי התהום.

התוצאות המוצגות בטבלה 3 ובאיור 3 עבור רמת הגולן מראות את החלחול למי תהום ואת ההתאדות בפועל בשנת 2002/03 הגשומה (כ־579 מ״מ, 50% מהגשם) ובשנת 2003/04 הגשומה פחות (כ־424 מ״מ, 61% מכמות הגשם). ניתוח 30 עונות גשם (1975–2005) הביא לתוצאות הממוצעות הבאות (באחוזים): התאדות – 10±74; העשרה למי תהום – 8±2 ; נגר עילי – 10±18 (השוו ל־70, 10 ו־20 בהתאמה שנמצאו במחקר אחר [19]).

המשמעות של שאיבה לצורכי חקלאות (תהליך ב או ג לעיל) היא גריעת מים מהנחלים או ממי התהום לצורך הגדלת השטח המושקה בקיץ. בשטחים חקלאיים מושקים מתקרבת **ההתאדות בקיץ בפועל** לערכי ההתאדות הפוטנציאלית (איור 3, לפעמים מעל 6 מ״מ ליום), ובכך מגדילה את גירעון המים של האגן.

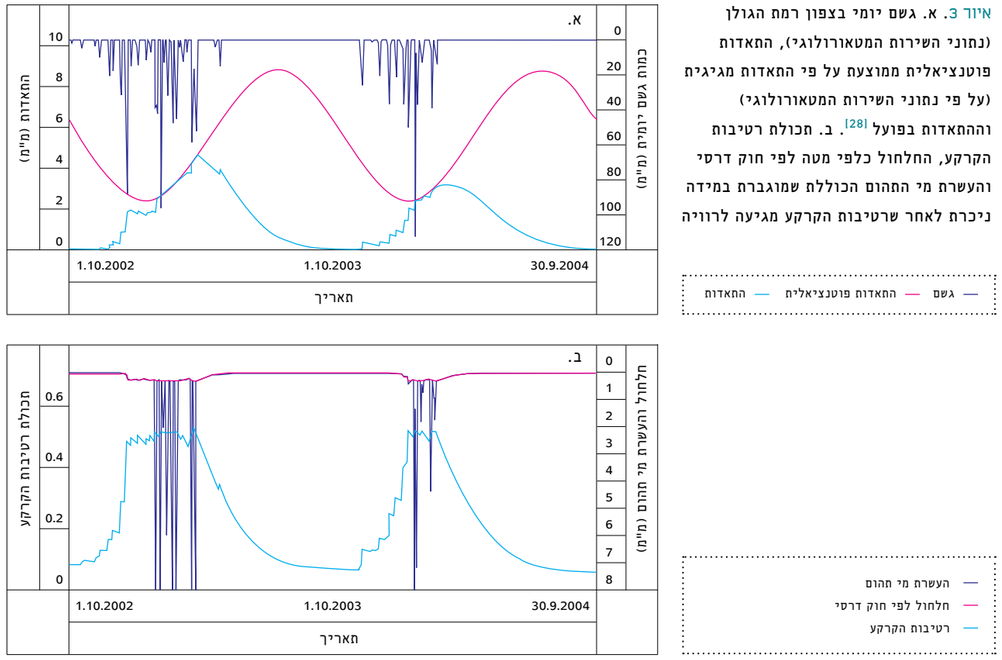
שפיעת מעיינות, הפקה ומפלסי מי התהום – בחינת תהליכים ג ו־ד

חישוב והבנה של יחסים הידרולוגיים ארוכי טווח בין העשרת מי תהום מגשם, שפיעת מעיינות, הפקת מי תהום ושינוי מפלסי מי תהום מדודים הם חיוניים לאמידת כמות המים בתת־הקרקע.

עד שנת 1993 בערך היה קיים סטטוס קוו בניצול מי תהום באגן הכינרת. עיקר ההפקה ממי תהום נעשתה בקידוחי עינן (כ־20 מלמ״ש) ובקידוחי חזון וצומת גולני בגליל המזרחי (כ־20 מלמ״ש). הגברת השאיבה בקידוחי אלוני הבשן החלה ב־1993 (תהליך ג), מפחיתה כ־10 מלמ״ש ממאגר מי התהום. ב־2003 החלו לזרום מים כלואים (ארטזיים) מקידוח שמיר הראשון לאפיק הירדן (תהליך ד), ומשנת 2010 ועד 2012 בוצעו באזור שני קידוחים נוספים לאותה אקווה, שמזרימים את המים לגולן לשימוש חקלאי, ובעתיד הקרוב מתוכננת שם הפקה של כ־20 מלמ״ש נוספים (תהליך ג). מ־2006/07 החל בהדרגה תהליך של העשרת הזרימה בירדן מקידוחים עמוקים בצפון עמק החולה בשיעור של כ־20 מלמ״ש (תהליך ד), וסביר שמים אלה ייתפסו בעתיד הקרוב לצורך אספקת מים לחקלאות ולצריכה ביתית. השאיבה מקידוחי

טבלה 2. ממוצעי גשם עונתי בארבע תחנות מייצגות (על פי נתוני השירות המטאורולוגי), ומים זמינים בכינרת (כניסת מים פחות התאדות [13]) עבור שני רצפים של שש שנים שהתאפיינו בשלוש שנים ברוכות גשמים שלאחריהן שלוש שנים שחונות: 1995–2001 לעומת 2010–2016

שנים	מים זמינים (מלמ״ש)	ממוצע גשם (מ״מ)	קשת (מ״מ)	מלכיה (מ״מ)	מרום גולן (מ״מ)	מעיין ברוך (מ״מ)
1998–1995	415	705	679	613	828	700
2001–1998	140	448	429	392	547	424
2013–2010	440	776	745	626	936	797
2016–2013	84	506	490	451	563	521



איור 3. א. גשם יומי בצפון רמת הגולן (נתוני השירות המטאורולוגי), התאדות פוטנציאלית ממוצעת על פי התאדות מגיבית (על פי נתוני השירות המטאורולוגי) וההתאדות בפועל [28]. ב. תכולת רטיבות הקרקע, החלחול כלפי מטה לפי חוק דרסי והעשרת מי התהום הכוללת שמוגברת במידה ניכרת לאחר שרטיבות הקרקע מגיעה לרוויה

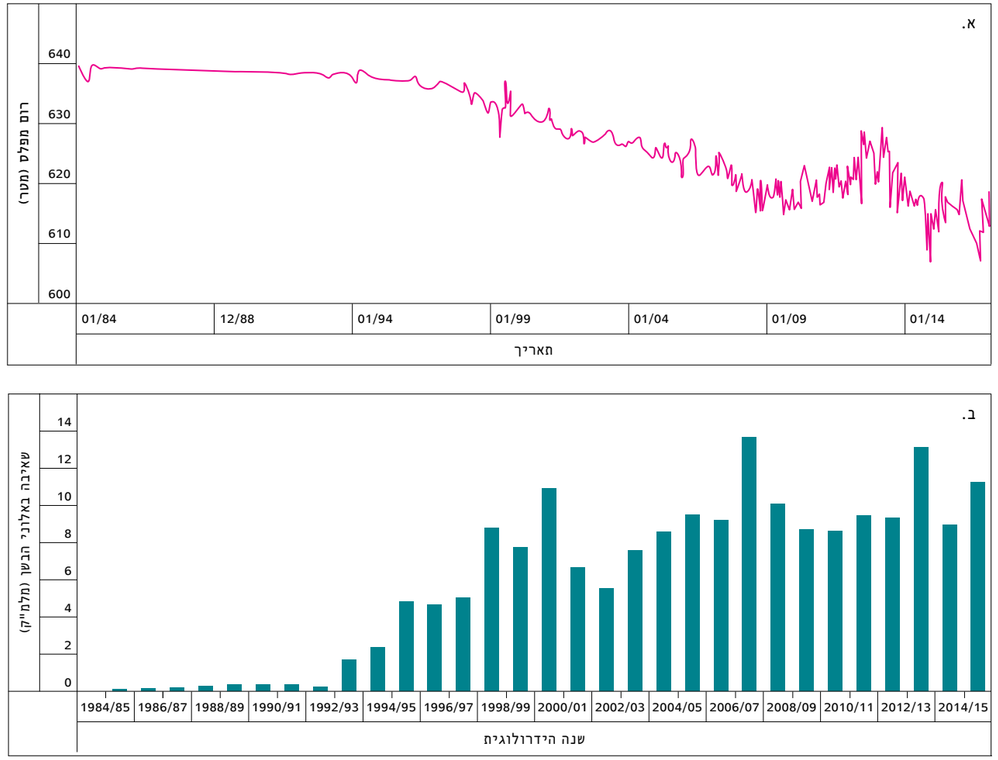
החולה עלתה ב־6 מלמ״ש החל בשנת 2008/09. בשנים האחרונות מתרחבת שאיבת מי התהום בגולן, שעתידה להגדיל במידה רבה את ניצול אקוות הבזלת (תהליך ג).

נבחן את ההתאמה בין מועד הפקת מי התהום בבארות אלוני הבשן מאקוות הבזלת במזרח הרמה לירידת המפלסים שם. מפלס קידוחי אלוני הבשן החל לרדת ב־1994 בד בבד עם הגברת השאיבה ל־10 מלמ״ש (איור 4). מאז 1994 ועד היום ירד מפלס מי התהום באלוני הבשן בכ־30 מטר. המפלס שנמדד באזור מי עדן במורד האקווה (איור 1) נמצא בירידה מתמשכת מאז תחילת המדידות ב־2004, בעיקר בגלל ירידת המפלס במעלה האקווה, באזור אלוני הבשן (גם במחקרים אחרים [6, 12]). חיזוק להשערה זו ניתן למצוא במודל הידרוגיאולוגי [4], המראה כיצד משפיעה שאיבה במהלך עשר שנים באלוני הבשן על הירידה במפלסים באזור מי עדן.

באזור אחר של האגן, בגליל המזרחי, הוגברה בעשור האחרון השאיבה מן האקווה המתנקזת לעבר המעיינות במערב הכינרת. מודל מי תהום מפורט בזמן ובמרחב, הכולל את הגליל המזרחי (״מודל כלנית״ [10]), מראה כי הגדלת ההפקה תפחית את שפיעת המים במעיינות מערב הכינרת בהתאמה לכמות השאיבה שתתבצע בשנים הבאות. משך השינוי עד למצב יציב חדש הוא כ־30 שנה.

סיכום שאיבת מי התהום מהאגן משנת 2014 מראה עלייה של לפחות 30 מלמ״ש לעומת אמצע שנות ה־90 [7]. למרות מצב המים באגן ההיקוות מואצת בימים אלה מגמת העלייה בתנופה רבה.

איור 4. א. מפלס מי תהום ממוצע בשמונה קידוחי מי תהום באלוני הבשן 1984–2017 (על פי נתוני השירות ההידרולוגי).
ב. הפקה שנתית מצטברת מקידוחי אלוני הבשן (על פי נתוני רשות המים)



דיון

עיקרון בסיסי של ניהול משאבי מים טבעיים הוא שמירה על יציבות הידרולוגית באגן. אם אנו מעוניינים בשמירה על אגן הכינרת ועל אגם הכינרת לטווח הארוך, ניצול המים באגן ההיקווה חייב לציית לכלל בסיסי של הפקה בהתאם למצאי המים הטבעיים. בשנים האחרונות אנו עדים להפחתה מסוימת בכמות הגשם על האגן. והנה, למרות שינויים אלה, המביאים לירידה בכמויות המים, הורחבה שאיבת מי התהום בכ־30 מלמ"ש, **ומגמת ההפקה של מים נוספים לחקלאות וניצולם נמצאת בעלייה, בניגוד להיגיון המנחה של שמירת יציבות הידרולוגית**. יש המצדיקים את הרחבת השאיבה הזו בטענה בעייתית כי מי תהום המופקים מבארות עמוקות דווקא מוסיפים (ולא גורעים – כמתבקש לפי משוואת מאזן המים 1 לעיל) לכמות המים הטבעיים באגן [16]. יתרה מכך, על פי מודל מי תהום מרחבי חדש המתאר את תהליכי הזרימה אל עמק החולה וממנו [1], יש למערכת זרימת מי התהום העמוקים בעמק החולה מוצא זרימה עיקרי מערבה אל עבר צפון רכס הרי נפתלי, שמשמעותו מים שיוצאים מתחום האגן לכיוון לבנון. אפשרות כזו היא יוצאת דופן במערכת ההידרולוגית הידועה לנו, שכן היא מבוססת על טענה שאיננה מוכחת, שלפיה כמות גדולה של מי תהום (40 מלמ"ש?) יוצאת מהאגן שלא דרך הזרימה לכינרת (Q_B לפי משוואה 1). על בסיס השערה זו ישנן כבר תוכניות הפקה נוספות, שנועדו לנצל את כמויות המים ש"הולכים לאיבוד" [4], ולהרחיב עוד את שאיבת מי התהום מן האגן. למיטב הבנתי, יש לבדוק היטב את ההשערה **לפני** שמביאים אותה כבסיס תיאורטי לתוכניות הפקה.

בהסתמך על ההיסטוריה של המים הזמינים בכינרת, על מגמת ההפחתה בגשמים ועל הניצול המתגבר של מים במעלה אגן ההיקווה, ניתוח רב־שנתי מראה כי כמות המים הזמינים לכינרת תמשיך לָפְחוֹת בשיעור ממוצע של כ־8 מלמ"ש (ראו איור 3 בעמ' 15 בגיליון זה). במקרה כזה, בתוך כ־15 שנים בלבד תפחת כמות המים הזמינים בכ־120 מלמ"ש נוספים, ותעמוד על כ־150 מלמ"ש בלבד. אם נניח שאיבת מים מינימלית הכרחית של אותם 150 מלמ"ש מן האגם עצמו (הפחתה ניכרת לעומת 440 מלמ"ש בשנים 1976–2009), ברור כי זהו מצב של תחילת גירעון קבוע במאזן המים של הכינרת, ותחילת תהליך רב־שנתי של ייבוש האגם.

כדי לשמור על מצב יציב של כמויות המים באגן ההיקווה של הכינרת אנו מחויבים כיום ל: (א) בנייה ויישום של תוכנית־אב ארוכת טווח שתעדיף הפקת מים מקומית בשיעור קבוע, ואספקת מים נוספת לאגן ממקורות חיצוניים בלבד; (ב) קביעת מדיניות של קווים אדומים שיבטיחו קיום מגבלות לכמויות המופקות בקידוחי הפקה, כדי לשמר שפיעה במעיינות לפחות ברמה הנוכחית; (ג) מעקב הידרולוגי תכוף וצפוף אחרי מפלסי מי התהום בקידוחים מייצגים באגן; (ד) הכנסת מודלים של מי תהום ונגר עילי ככלי עבודה קבוע לכל אזורי האגן; (ה) עריכת מאזני גשם, הפקה ושפיעה תקופתיים בעזרת הנתונים והמודלים, כדי שנוכל להתריע מבעוד מועד על ירידה משמעותית ומסוכנת בשפיעת מים טבעיים.

מקורות

[1] באב"ד א, בורג א ואדר א. 2017. מאזן מים עבור המערכת ההידרוגיאולוגית בעמק החולה. תקציר עבור כנס האגודה הישראלית למשאבי מים. 24–25 במאי 2017; עכו.

[2] בן יונה מ. 2017. מודל גשם – נגר יומי בגישת המערכת (system approach) עבור נחלי דרום רמת הגולן (עבודת גמר לתואר מוסמך). המכללה האקדמית תל־חי (בדפוס).

[3] גבעתי ע ועצמון ב. 2013. מגמות בשפיעת מעיינות בצפון הארץ, דו"ח הידרולוגי 07/2013. ירושלים, ISSN–0334–3367.

[4] גוטמן י, ברגר ד, בורג א וגב י. 2012. אקוויפרים ומערכות הזרימה של מי התהום באצבע הגליל – הצבת מודל קונספטואלי ומודל תאים. דו"ח מכון גיאולוגי GSI/25/2011. ירושלים. דו"ח חברת מקורות מס' 1582.

[5] גלעד ד ושוורץ ש. 1978. הידרוגיאולוגיה של אקוויפרי מקורות הירדן. דו"ח הידרו 1978/5. ירושלים.

[6] דפני א. 2002. ההידרוגיאולוגיה של האקוויפר הבזלתי בגולן (עבודת גמר לתואר מוסמך). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.

[7] השירות ההידרולוגי. 2014. נתונים רב־שנתיים באגן הכנרת. בתוך: מצב מקורות המים 2014. www.tinyurl.com/water-resources-2014.

[8] השירות המטאורולוגי. 2015. שינויים אקלימיים בישראל, ממצאי השירות המטאורולוגי. www.ims.gov.il/IMS/CLIMATE/ClimateChange.

[9] זיו ב, סערוני ה, אלפרט פ ואחרים. 2011. תנודות ומגמות בטמפרטורה, בעומס חום ובמשקעים בישראל ב־30 השנים האחרונות – האם עדות לשינוי אקלימי? בחינה קלימטולוגית־סינופטית. דו"ח מסכם, מוגש למדען הראשי המשרד להגנת הסביבה.

[10] יחיאלי י, שליב ג, וולמן ס ואחרים. 2011. מודל תלת־ממדי של אגן כלנית (אגן פוליה־טבחה), דו"ח מספר GSI/38/2011. ירושלים.



המשך מגמת הירידה בכמויות המים באגן הכינרת יביא בעוד כ־15 שנים לגירעון קבוע במאזן המים של הכינרת ולתחילת תהליך רב־שנתי של ייבוש האגם
| צילום: ורנר אקרט

[11] מיכלסון ח וגולדשטוף י. 1974. הגיאוהידרולוגיה של אקוויפר הקנומן בגליל העליון והמרכזי. תל־אביב: תה"ל. דו"ח מס' 01/74/71

[12] מיכלסון ח. 2009. חוות דעת בעניין הזיהום הבקטריאלי שהופיע בעין סלוקייה בחודש פברואר 2009. הוגש למי עדן ייצור (2007) בע"מ.

[13] מקורות. 2009–2016. מאזני המים, המלח והחום של הכנרת, יח' אגן ההיקוות, חבל ירדן, אתר ספיר.

[14] ספיר ג ושגיא ע. 2014. הערכת כמויות המים הנמנעות מהכנרת עקב שימושי האדם באגן ההיקוות DHV MED בע"מ, דו"ח מסכם.

[15] קדרון י. 1972. שדה עינן – ניצול אקוויפר הקנומן. תל־אביב: תה"ל. דו"ח מס' HR/72/117.

[16] רימר א. 2017. הצפון מתייבש – מה חלקה של שאיבת מי תהום בירידה של שפיעת מעיינות בצפון הארץ? אקולוגיה וסביבה 8(2): 68–69.

[17] רשות המים. נובמבר 2010. תכנית חירום להתמודדות עם משבר המים בישראל בשנים 2011–2012.

[18] Ben-Zvi A. 1988. Enhancement of runoff from a small watershed by cloud seeding. *Journal of Hydrology* **101**(1-4): 291-303.

[19] Dafny ES, Gvirtzman H, Burg A, and Fleischer LC. 2003. The hydrogeology of the Golan basalt aquifer, Israel. *Israel Journal of Earth Sciences* **52**(3): 139-153.

[20] Gur D, Bar-Matthews M, and Sass E. 2003. Hydrochemistry of the main Jordan River sources: Dan, Banias, and Kezinim springs, north Hula Valley, Israel. *Israel Journal of Earth Sciences* **52**: 155-178.

[21] Litaor MI, Eshel G, Sade R, Rimmer A, and Shenker M. 2008. Hydrogeological characterization of an altered wetland. *Journal of Hydrolgy* **349**: 333-349.

[22] Morin E. 2011. To know what we cannot know: Global mapping of minimal detectable absolute trends in annual precipitation. *Water Resources Research* **47**(7), doi: 10.1029/2010WR009798.

[23] Neuman SP and Dasberg S. 1977. Peat hydrology in the Hula basin, Israel: II. Subsurface flow regime. *Journal of Hydrolgy* **32**: 241-256.

[24] Rimmer A and Salingar Y. 2006. Modelling precipitation-streamflow processes in Karst basin: The case of the Jordan River sources, Israel. *Journal of Hydrolgy* **331**(3-4): 524-542.

[25] Sade R, Samuels R, Salingar Y, et al. 2016. Water management in complex hydrological basin - Application of Water Evaluation and Planning Tool (WEAP) to the Lake Kinneret watershed, Israel. In: Borchardt D, Bogardi JJ, and Ibisch RB (Eds). Integrated Water Resources Management: Concept, Research and Implementation. Springer International Publishing.

[26] Samuels R, Rimmer A, and Alpert P. 2009. Effect of extreme rainfall events on the water resources of the Jordan River. *Journal of Hydrology* **375**(3-4): 513-523.

[27] Shamir E, Rimmer A, and Georgakakos KP. 2016. The use of an Orographic Precipitation Model to assess the precipitation spatial distribution in Lake Kinneret watershed. *Water* **8**(12): 591.

[28] Thornthwaite CW and Mather JR. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications In Climatology* **10**(3).

[29] Weinberger G, Givati A, Livshitz Y, et al. 2012. The natural water resources between the Mediterranean Sea and the Jordan River. Jerusalem: Israeli Hydrological Service.

[30] Ziv B, Shilo E, and Rimmer A. 2014. Meteorology. In: Zohary T, Sukenik A, Berman T, and Nishri A (Eds). Lake Kinneret – Ecology and Management. Springer.



מבט אל הכינרת מעל מצוק הארבל | צילום: עמיר אלוני, בפייסבוק: Amir Aloni aerial photography

שמירת הכינרת כמקור מים אסטרטגי לנוכח הירידה בכמות המים הטבעיים באגן הכינרת

דורון מרקל [1]*, אהוד קיטאי [2] ואורי שמיר [3]

[1] מנהל תחום כינרת, רשות המים

[2] אגף התכנון, רשות המים

[3] יו"ר צוות ההיגוי לניטור הכינרת ואגן ההיקוות, רשות המים

doronm10@water.gov.il *



חיבור 'כיפת פוליה' למוביל המלוח מונע כניסה של כ־10,000-15,000 טונות כלוריד מדי שנה לכינרת. 28.12.2016 | באדיבות אלבטרוס

הירידה בכמות המים הטבעיים באגן הכינרת

בעשורים האחרונים מתרחש שינוי במשטר האקלימי בצפון ישראל, בעיקר באגן היקוות הכינרת (ראו עמ' 12 בגיליון זה), המתבטא בירידה בכמויות המשקעים באגן. בעקבות זאת נצפית ירידה רב־שנתית בכמות המים הנכנסים לכינרת. באיור 1 ניתן לראות ירידה של כ־200 מיליון מ"ק בשנה (מלמ"ש) בכמות המים הנכנסים לכינרת במהלך 40 השנים האחרונות. מחקרים שונים של השירות ההידרולוגי מראים כי הצריכה באגן ההיקוות עלתה רק ב־30 מלמ"ק, כך שרוב הירידה בכמות המים הנכנסים קשורה לירידה בכמויות המשקעים ולשינוי באופיים. יתרה מכך, בארבע השנים האחרונות כמות המים הנכנסים הייתה קטנה משמעותית מהממוצע עקב בצורת מתמשכת. מודלים הידרו־אקלימיים מצביעים על כך שבעשורים הקרובים צפויה החרפה של מגמות אלה, ולכן צפויה ירידה נוספת בכמות המים הנכנסים לכינרת (ראו עמ' 12 בגיליון זה).

השפעה צפויה על הכינרת

ההתפלה הגדילה באופן משמעותי את יכולת האספקה באזורי האוכלוסייה העיקריים במדינה, ומאפשרת תפעול גמיש של המערכת הארצית, כולל הפחתת ההפקה מן הכינרת למוביל הארצי ממוצע של כ־250 מלמ"ש לכ־50 מלמ"ש. למרות הפחתה זו נמצא מפלס הכינרת בקיץ 2017 מתחת לקו האדום התחתון ([213–] מטר), וצפוי לחזור בסתיו 2017 לשפל של 2008–2009, שהוא מהנמוכים מאז החלו מדידות המפלס. כל עוד נמשכת מגמת הירידה בכמות המים הנכנסים, וכפועל יוצא מכך פוחתת כמות המים היוצאים, חילוף המים נמוך, והדבר מוביל לעליית מליחות המים בכינרת (שחזרה לאחרונה למליחות של מעל 300 מג"ל כלוריד) ולערעור היציבות האקולוגית באגם, כולל פריחה של אצות כחוליות (ציאנובקטריה).

איור 2 מתאר את עיקרי תחזית עליית המליחות בכינרת כפונקציה של כמות המים הנכנסים לכינרת ושל כמות המלח הנשללת באמצעות הטיית מעיינות מלוחים [5]. מהאיור עולה כי אפילו אם תוקטן כניסת מלח לכינרת בכ־20,000 טונות כלוריד בשנה, ניתן יהיה לשמור את עליית המליחות עד שנת 2040 מתחת ל־300 מג"ל כלוריד וגם זאת רק בתנאי שכמות המים הנכנסת תהיה מעל 490 מלמ"ש בממוצע (במקרה זה יהיו 250 מלמ"ש מים זמינים).

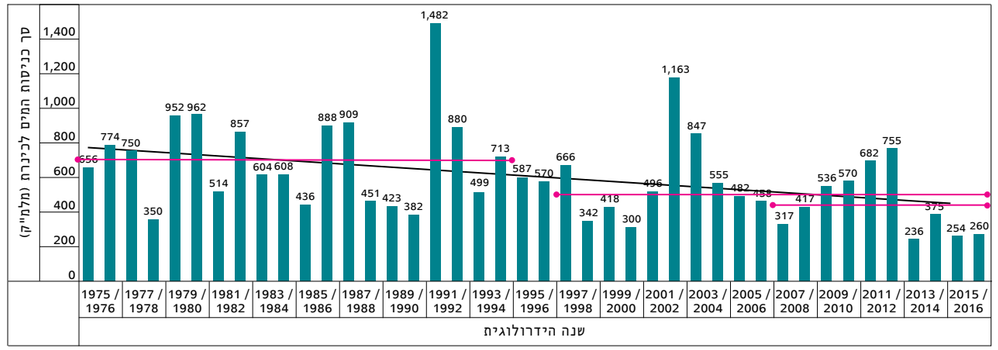
התערערות היציבות האקולוגית של הכינרת מיוצגת בעיקר בפריחות של אצות כחוליות, שהחלו להופיע בכינרת במחצית שנות ה־90 על חשבון פריחת הפרידיניום, אצה שאפיינה את הכינרת בשנות היציבות האקולוגית שלה. איור 3 מציג תוצאות מודל שהורץ ל־25 שנים, בהינתן כמויות מים נכנסות הולכות ופוחתות תוך שמירה על מפלס קבוע (הפחתת כמות היציאה בהתאם לירידה בכמות הנכנסת). מהאיור עולה כי ככל שתחלופת המים קטנה וזמן השהות של המים בכינרת ("גיל המים") גדל, כך גדלים הסיכויים לפריחה נרחבת של אצות כחוליות. כאשר כמות המים הזמינים פחותה מ־440 מלמ"ש (כלומר שיש 200 מלמ"ש זמינים), צפויה פריחת אצות כחוליות ברמה של פי חמישה ויותר מעוצמת הפריחות כיום.

הכינרת כמקור מים אסטרטגי

תוכנית־האב של משק המים קובעת כי גם בעידן ההתפלה תמשיך הכינרת לשמש מקור מים אסטרטגי לתושבים ולחקלאות

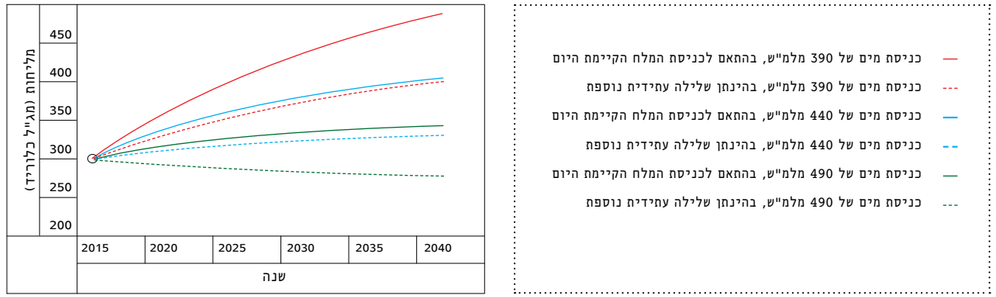
איור 1. כניסות המים לכינרת

הערכים באיור מייצגים את כניסת המים בפועל. הערכים המוצגים שונים מערכי מים זמינים (המדווחים על־ידי השירות ההידרולוגי) היות שלא מנכים מהם את ההתאיידות מהאגם. קו רגרסיה ליניארית בשחור, במחאם (R^2) של 0.1416 ובמובהקות (P–Value) של 0.016. בשנים 1975–1995 נכנסו בממוצע כ־700 מלמ"ק בשנה, ב־1996–2016 נכנסו רק כ־500 מלמ"ק בשנה, ובשנים 2006–2016 נכנסו בממוצע רק 440 מלמ"ש (קווים ורודים אופקיים).



איור 2. תחזית עלייה מליחות הכינרת למשך 30 שנים

בהינתן כניסת מים של 490 מלמ"ש (250 מלמ"ש מים זמינים – ירוק), 440 מלמ"ש (200 מלמ"ש מים זמינים – תכלת) ו־390 מלמ"ש (150 מלמ"ש מים זמינים – אדום). קו מלא בהתאם לכניסת המלח הקיימת היום לאגם, וקו מקווקו בהינתן שלילה עתידית נוספת של 20,000 טונות כלוריד בשנה. התחזית מבוססת על מודל שפיתח ד"ר אלון רימר מהמעבדה לחקר הכנרת, עבור רשות המים [5].



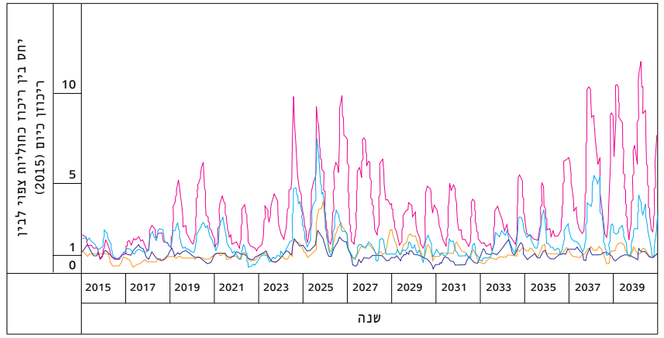
באגן ובסביבתו, מקור למילוי ההתחייבויות לאספקת מים לממלכת ירדן, וגיבוי אסטרטגי למערכת המים הארצית למקרה של כשל בלתי צפוי באספקת מים מותפלים. לנוכח שינוי האקלים והשפעותיו הצפויות על הכינרת קיים חשש שללא פעולות דרסטיות בעתיד, משק המים עלול לאבד את היכולת להשתמש בכינרת למטרות שלעיל. לכן, מתבקשת מדיניות מושכלת לניהול הכינרת כמקור מים תוך ביצוע הפעולות הנדרשות לשמירה קפדנית על איכות מימיו, כפי שיפורט להלן.

תוכנית התגובה של רשות המים

כיוון שהפעלת הכינרת בחילוף מים נמוך לאורך שנים תביא לפגיעה של ממש באיכות מימיה, מכינה רשות המים תוכנית פעולה, הכוללת שלילת מלח וייצוב אקולוגי של האגם [8], וכן דרכים שונות לתגבור כמות המים באגן ובאגם.

פעולות שונות מתוכננות לשלול מלח בכמויות הבאות (של טונות כלוריד לשנה): שדרוג המוביל המלוח (כ־5,000), הטייית המעיין התת־ימי פוליה A ליד מלון ימק"א (10,000–15,000),

איור 3. חיזוי רמת פריחת הציאנובקטריה ביחס לרמה הנוכחית (1) בהינתן כניסות של 540, 440, 340 ו־240 מלמ"ש (300, 200, 100 ו־0 מלמ"ש מים זמינים בהתאמה) מבוסס על מודל DYRESM-CAEDYM שפותח במערב אוסטרליה והותאם לכינרת [2].



הטיה או סגירה חלקית של קידוח כינרת 7 (כ־2,000–4,000) והמשך השאיבה מקידוחי שלילת מלח בגליל המזרחי בהתאם למנגנון השטיפה [7].

פעולות הממשק לייצוב אקולוגי של האגם כוללות:

א. ייצוב המפלסים, בהתאם למדיניות שאומצה ברשות המים, האומרת שמפלס הכינרת המינימלי ינוע במשרעת נשלטת סביב 'הקו הירוק' שהוגדר ל־(211.5–) מטר.

ב. פעולות לשימוש בממשק הדיג כגורם מייצב: אכלוס אמנון הגליל (*Sarotherodon Galiilaeus*), מניעת דיג יתר, מניעת דיג באזור הבטיחה בעונת ההטלה והוצאה של סרדינים במידת הצורך [3].

ג. ממשק חופֵי משמָר, הכולל הגבלת כריתה של הצמחייה החופית ויצירת איזון בין הצורך לשמר את המערכת האקולוגית של הכינרת לבין הצורך בפיתוח תיירות בחופי האגם [4].

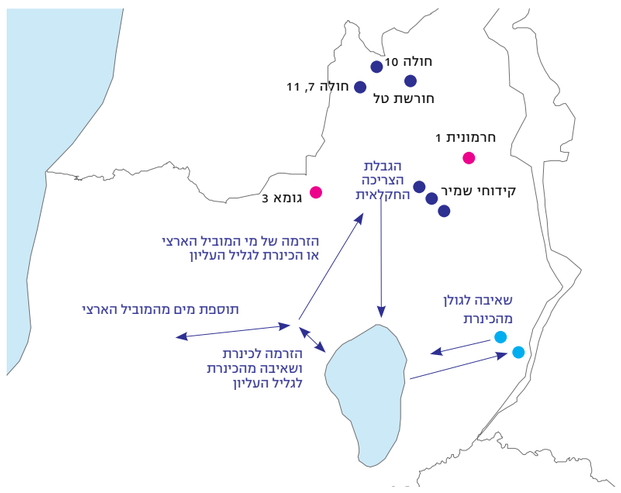
ד. מניעת זיהום ממקורות עתירי זרחן באגן ההיקוות – מניעה מוחלטת של מקורות זיהום צואתיים (אנתרופוגניים ושל בעלי חיים) מאחר שהאצות הכחוליות מוגבלות זרחן ולא מוגבלות חנקן [6].

ה. תפעול מושכל של אגמון החולה תוך העברת מי הכבול בחורף לכינרת ובקיץ להשקיה [1].

בשל הירידה הדרמטית בכמות המים הנכנסים וההשפעות של ירידה זו, מכינים באגף תכנון של רשות המים תוכנית לתגבור כמות המים הנכנסים לאגם והעוברים דרכו (איור 4):

איור 4. פעולות הנבחנות לתגבור מים באגן ההיקוות של הכינרת

בטווח המיידי: הגבלת הצריכה החקלאית;
בטווח הבינוני: תגבור הקידוחים הארטזיים וניצול מי הכינרת כחלק ממקורות המים בגולן;
בטווח הארוך: העברת מים מהמערכת הארצית הן לאגן ההיקוות הן לכינרת בעת הצורך.



א. בטווח הקצר – הגבלת הקצאות מים עיליים לשימוש חקלאי במעלה כינרת. הגבלה זו, שהופעלה בשנתיים האחרונות, מוסיפה לכינרת כ־20 מלמ"ש.

ב. בטווח הבינוני

- תגבור הפקת מים מקידוחים מאקוות שמוצאן אינו בכינרת, שיכולים לספק מים שאינם כלולים במאזן הכינרת. למשל, קידוחי שמיר שנקדחו בתחילת המאה ה־21 מספקים כ־10 מלמ"ש, וקידוחים גומא 3 וחרמונית 1 ייקדחו בקרוב.
- תגבור הפקה בקידוחים הכלולים חלקית במאזן הכינרת. השימוש בקידוחים אלה בשנות בצורת מאפשר שחרור מים טבעיים לנחלים ולכינרת. הקידוחים חורשת טל 1, חולה 1, 7, 10, 11 מספקים כ־20 מלמ"ש.
- שימוש במי הכינרת כחלק ממקורות המים לרמת הגולן תוך שחרור מים טבעיים ממעלה האגן לכינרת (מגדיל את סחרור המים באגם).

ג. בטווח הארוך – הזרמת מים מהמערכת הארצית לאגן ההיקוות (כולל לעמק החולה) ולאגם הכינרת בכמות של כ־100 מלמ"ש. תוספת המים יכולה להיות מופנית לצריכה בעמק החולה תוך שחרור מים טבעיים לנחלים ולכינרת, או מוזרמת ישירות לאגם. היכולת להעביר מים מן הכינרת למוביל הארצי תיוותר בעינה.

מקורות

[1] ברנע ע, מרקל ד, בר אילן י ואחרים. 2012. ניטור הידרו־כימי של מערכת המים העיליים בפרויקט החולה. **הנדסת מים 80**: 38–43.

[2] גל ג וגלבוע י. 2012. תרחישים לבחינת השפעת ירידה במים הזמינים בכנרת על איכות המים והתהליכים האקולוגיים באגם. המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל. דו"ח מס' T26/2012.

[3] מרקל ד. 2012. ממשק הדיג בכנרת – כלי לניהול מיטבי של האגם. **ארץ הכנרת 5**: 17–20.

[4] מרקל ד, זהרי ת, גבאי א וגזית א. 2012. מציאת פתרון משמר לבעיית ההצפה של צמחיית חופי הכינרת, תוך איזון בין צורכי משק המים ותיירות. **אקולוגיה וסביבה 3**(3): 213–215.

[5] רימר א. 2012. תרחישים לבחינת השפעת פחיתת מים זמינים בכנרת על המליחות באגם. המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל, דו"ח סופי לרשות המים, דו"ח מס' T34/2012.

[6] Gophen M, Smith VH, Nishri A, and Threlkeld AST. 1999. Nitrogen deficiency, phosphorus sufficiency, and the invasion of Lake Kinneret, Israel, by the N_2-fixing cyanobacterium *Aphanizomenon ovalisporum*. *Aquatic Sciences* **61**(4): 293-306.

[7] Gvirtzman H, Garven G, and Gvirtzman G. 1997. Hydrogeological modeling of the saline hot springs at the Sea of Galilee, Israel. *Water Resources Research* **33**: 913-926.

[8] Markel D, Shamir U, and Green P. 2014. Operational management of Lake Kinneret and its watershed. In: Zohary T, Sukenik A, Berman T, and Nishri A (Eds). Lake Kinneret: Ecology and Management. Heidelberg: Springer.

מים ושכנות טובה – הטמעת ראייה אזורית של מים בחינוך סביבתי

איימי ליפמן אביזוהר* ורותם קארו ויצמן**

אקופים המזרח התיכון

amy.lipman@gmail.com *

rotem@ecopeaceme.org**

אתגר סביבתי חוצה גבולות

המורכבות בארגון ובניהול של משאבי סביבה נובעת מהיותם משותפים למספר הולך וגדל של אנשים, ממגוון חברות, תרבויות וישויות פוליטיות, שלעיתים נמצאות בקונפליקט ביניהן. המורכבות והמתח מתעצמים כאשר מדובר במשאב טבע חוצה גבולות כמו מים, שערכו הרב וזמינותו הנמוכה הופכים אותו לסלע המחלוקת בין קהילות, עמים ומדינות או לחלק מרכזי בהסכמי שלום, כמו זה בין ישראל לירדן. לא בכדי סוגיית המים היא סוגיה מרכזית הנמצאת במחלוקת בין הישראלים לפלסטינים. כדי לשנות מצב זה יש לפעול להפיכתם של המים ממקור הקונפליקט לבסיס לשיתוף פעולה. שיתוף פעולה בין חברות מציע פלטפורמה לדיאלוג בין־תרבותי מתמשך, מאפשר תהליך של בניית אמון, ומבסס קשרים חברתיים חוצי גבולות של שלום.

בניית שלום סביבתי בנושא המים במסגרת תכנית חינוכית

עבודה חינוכית העוסקת בסוגיות מים חוצות גבולות ראוי שתשים לה למטרה ליצור מנהיגות עתידית אחראית, מיודעת ובעלת ראייה הוליסטית לפתרון בעיות. תוכנית חינוכית שכזאת צריכה לכלול מרכיבים עיוניים לצד פרקטיקה כדי להעניק לתלמידים הבנה עמוקה של הסוגיות הסביבתיות ופרספקטיבה רחבה לגביהן – מרמת הקהילה ועד לאגן ההיקוות חוצה הגבולות. בדרך זאת קושרת התוכנית החינוכית את הנושא הסביבתי לזה האנושי. על הידע שמוקנה לבני הנוער בנושאי טופוגרפיה, אקלים, גיאומורפולוגיה והידרולוגיה, להוות תשתית לשאלות בין־תחומיות לגבי חלוקת מים הוגנת, אחריות, מעורבות פעילה (אקטיביזם) וקבלת החלטות.

כדי לפשט לתלמידים את המורכבות האזורית על בעיות ופתרונות חוצי גבולות לבעיות מים, אנו פורטים אותה לארבעה עקרונות מרכזיים שלאורם מעבירים שיעורים ופעילויות[1]:

א. **מים הם משאב טבעי נייד: מים זורמים על פני גבולות מדיניים, לאורכם ומתחתם**. גישות משפטיות מסורתיות להקצאת משאבי מים, כמו "זכות ראשונים", מוחלפות בהדרגה בגישות חדשות יותר, המדגישות את המחויבות הנגזרת מהשימוש במים משותפים.

ב. **הזכות למים ולתברואה היא זכות אדם בסיסית ולא מוצר צריכה**. חוקי הקצאת מים חייבים להיות גמישים ולאפשר שינוי לאורך זמן בהתאם לצרכים המשתנים ולנסיבות המשתנות.

ג. **חיוני להבטיח את המשך קיומם של משאבי המים ולהגן על המערכות האקולוגיות** המספקות כמות גדולה של שירותים ליחידת שטח לעומת מערכות אקולוגיות יבשתיות, הן כשירותים לאדם – משאבי טבע וסביבה – הן כשירותים למערכת אקולוגית רחבה יותר הנסמכת על מקור המים.

ד. **יש ליישב מחלוקות בנושא מים בדרכי שלום ובגישור בין הצדדים המעורבים**. יש לזהות את הצרכים של כל הצדדים ולמפות חלופות שישמרו על האיזון בין הצדדים והמערכת האקולוגית.

נדבך מהותי בחינוך להבנה אזורית של נושא המים הוא **המפגש עם בני נוער החיים מעבר לגבול אך חולקים את מקור המים**. המפגש עם בני הנוער וההיחשפות לאורח חיים ולתנאי חיים שונים מעלה את מורכבותן ואת חשיבותן של הסוגיות שנלמדו, ומדגים אותן הלכה למעשה. בעבודה המשותפת מתקיים תהליך של בניית אמון דרך למידה משותפת, שינוי דעות קדומות, חיפוש הנושאים המשותפים והדגשת הקשר הגיאוגרפי והסביבתי בין בני הנוער. העמקת הקשר והחשיפה למציאות הסביבתית המורכבת באגן ההיקוות מעודדת שאילת שאלות, בחינת הקשרים וחשיבה ביקורתית על מה שנתפס כמובן מאליו ובלתי ניתן לשינוי.

מרכיב חשוב נוסף לאורך המסע החינוכי הוא הצגת האתגרים הגדולים בתחום המים כ**הזדמנות לשיפור ולשינוי**, להידברות ולשיתוף פעולה בונה עם הקהילה השכנה מעבר לגבול. התהליך אומנם לא פשוט, ורצוף מכשולים וחסמים תרבותיים ופוליטיים, אולם הקניית ידע והגברת מודעות המשולבות בחוויה אישית ובהתנסות מעשית, מפתחות את הצורך ואת היכולת למעורבות פעילה. לכן, מומלץ ליצור מרחב למעורבות פעילה עבור התלמידים: בנייה אקולוגית, כגון מערכת הידרופונית או איסוף מי גשמים, הובלת קמפיין בקהילה, מיפוי מפגעים בשטח, פגישה עם מקבלי החלטות בקהילה, הדרכת תלמידים אחרים, פעילות ברשתות החברתיות ועוד.

החוויה שעוברים בני הנוער במהלך תוכנית חינוכית שמטרתה בחינה אזורית מעמיקה ומושכלת של נושא המים, אמורה לתרום להם מכמה היבטים: תחושת השייכות שלהם לאגן ההיקוות ולנושא המים; הבנת הצורך בשינוי סביבתי; בניית האמון ההדדי כמו גם האמון העצמי ביכולת לחולל שינוי בניהול משותף של מים: שינוי בתפיסות ובהשקפות, ועקב כך בדפוסי פעולה וקבלת החלטות.

מקורות

[1] ליפמן אביזוהר א ובקלה ס. 2013. אוגדן פעילויות מים ושכנות טובה. תל־אביב: ידידי כדור הארץ המזרח התיכון (אקופים). www.tinyurl.com/good-water-neighbors.

סיכום ומשמעויות לפרק א

משמעות השפעותיו של שינוי האקלים

יורם אבנימלך, עורך־אורח לגיליון זה

agyoram@technion.ac.il

השפעות שינוי האקלים על מרחב המזרח התיכון

שינוי האקלים בעולם כולל ירידה בכמות המשקעים במספר אזורים, עלייה במספר השיטפונות ובעוצמתם, עלייה בעוצמת אירועי אקלים חריגים, עלייה במפלס הים, הצפה של אזורים רבים בעולם וחדירה מוגברת של מי ים למאגרי מי התהום ולנהרות. במאה הנוכחית צפויה ירידה של כ־40% בכמות המזון המיוצר בחקלאות, כפי שניתן כבר לראות במזרח אפריקה. תומס פרידמן, העיתונאי הבכיר של הניו יורק טיימס,

פרסם ב־2013 מאמר שעסק בקשר בין שינוי האקלים לאירועים בסוריה. החקלאות בסוריה היא מקור עיקרי לפרנסת האוכלוסייה. עם עצירת הגשמים לא הצליחו האיכרים לקצור יבול, לרעות ולהשקות את העדרים. מחוסר ברירה החלה נהירה המונית לערים, ולדמשק בלבד הגיעו כמיליון 'פליטי בצורת' ללא תעסוקה, מגורים או מזון. מצב זה גרם לפשיעה, להפגנות ולערעור השלטון, דבר שהביא למשבר הקשה במדינה. גם אם זו לא הייתה הסיבה היחידה למשבר, הרי היה זה גורם משמעותי להתערערות המצב בסוריה, על כל תוצאותיו הנוראות.

בגיליון זה מביא ארנון סופר סיכום מעמיק ומרתק לצפוי במזרח התיכון בעקבות עצירת הגשמים הצפויה. אם לא יימצא פתרון, מיליוני אנשים בעולם, לא רחוק מגבולות מדינת ישראל, ייאלצו לנדוד ולחפש מקלט כדי לא למות בגלל רעב, צמא או הצפה. גם מצרים עלולה ללכת בעקבות סוריה, היות שיש בה חוסר במים, המחמיר והולך בגלל הגידול הבלתי מבוקר של האוכלוסייה והסכנה לזרימה חלשה יותר ממקורות הנילוס בגלל פעולות של המדינות מצפון לה. הסכנה למדינת ישראל ממצב כזה אינה פחותה מהגברת השפעתה של איראן על מדינות המזרח התיכון, ובוודאי שהשילוב בין התהליכים הללו חמור עוד יותר.

האם אנו והעולם בכללותו יכולים לעשות משהו בהקשר זה? מתן מחסה לפליטים באירופה אינו פותר את הבעיה. יש צורך למצוא פתרון שיסייע לתושבים להתגבר על האסונות הנגרמים בעקבות שינוי האקלים. העולם חייב להתגייס למשימה כזו.

מדינת ישראל פעלה רבות בשנות ה־50 לקידום חקלאות בארצות אפריקה ובמזרח אסיה. עשינו זאת בשעה שהמדינה הייתה בתחילת דרכה תוך ניסיונות לא פשוטים לרכישת מזון, דלק ומוצרי יסוד שונים ותוך משטר צנע. יש לנו אנשי מקצוע מעולים בתחומי ההידרולוגיה, ההשקיה והחקלאות, ניסיון רב בהקמת מתקני התפלה, וכל זה תוך אפשרות לפיתוח ידע שיעזור לפתור לפחות חלק מהבעיות הנגרמות על־ידי שינוי האקלים. נוכל 'לשכפל' גם בארצות השכנות את מיזם הקמת מתקני ההתפלה, שביצענו בהצלחה כה גדולה בארץ.

אם אין יוזמה ממשלתית בתחום זה, אולי ניתן להתחיל ביוזמה ציבורית ופרטית, תוך שיתוף ארצות אחרות בעולם? אולי נוכל להכשיר פליטים מארצות אפריקה בעבודת חקלאות בטכנולוגיה מתקדמת ומתאימה ולשלוח אותם, יחד עם מדריכים ישראלים, לארצות אפריקה? גם פעילויות המתחילות בקנה מידה קטן, כמו אלה המוזכרות בידיעה של איימי אביזוהר ורותם ויצמן, יכולות להיות שער לפעילויות נרחבות יותר למלחמה ברעב ובצמא.

מימוש חזון כזה יוכל למנוע חלק מהקטסטרופות הצפויות באזור ולקדם את מעמדה של מדינת ישראל. עשינו זאת בעבר. אין כל סיבה שלא נצליח כיום.

ומה אצלנו?

אנו רואים מזה שנים את מי הכינרת נסוגים מקו החוף שהיינו רגילים אליו. שני הניתוחים ההידרולוגיים בפרק זה אמנם מביעים דעות שונות על הגורמים להתדלדלות המים באגן הכינרת ועל הפתרונות לה, אך שניהם מביאים נתונים מדאיגים ביחס לירידה במשקעים וביבול המים באגן. כמו כן, התמעטות הגשמים מתבטאת בהתדלדלות זרימה בחלק לא מבוטל של נחלי ישראל, עד כדי התייבשותם.

לעמק החולה ולגליל העליון אין אוגר מים לשנים שחונות, והאזור סובל לאחרונה ממחסור במים. אם תימשך הירידה בכמות משקעים בצפון, יש סיכון לקיום החקלאות באזור ולזרימת מים בנחלים. גם שימור הכבול בחולה בסכנה, היות שהוא מבוסס על השקיה אינטנסיבית שאמורה למנוע את שריפתו ושקיעתו. בידיעה של דורון מרקל ואחרים מוגשים קווים לתוכנית רשות המים לספק מים לגליל העליון. לשם כך נדרשות הקמת מתקן להתפלת מים והנחת קווי צנרת ושאיבה - פעולות שתכונן וביצוען מצריכים שנים לא מעטות. ומה בינתיים? לא נראה כי יש בידינו כיום פתרונות מספקים לשנים הקרובות. לפיכך, נראה שיש צורך בהקמת צוות שיפעל לתכנון חירום לשמירת הטבע והחקלאות כדי למנוע נזקים בלתי הפיכים. אנו קוראים לקדם בדחיפות מאמץ, חשיבה חדשנית, תכנון והחלטות בכיוון זה.



השימוש הנרחב בהתפלה יצר במדינת ישראל חוסן ועמידות בפני שנים שחונות. התועלת של יכולת טכנולוגית זו ושילובה במערכת אספקת המים הלאומית הוכחה בשנים האחרונות ללא עוררין | צילום: אילן מלסטר

ב. שיטות טכנולוגיות לתגבור כמות משאבי המים - התפלה והשבת קולחים

/ עמ' 37-66 /

סקירה 38 **התפלת מי ים – חוסן, אתגרים וסיכונים**: סיניה נתניהו

סקירה 48 **השקיה בקולחים – ממה צריך להיזהר?** דרור אבישר וגפן רונן־אלירז

בקצרה 56 **ההשפעות הסביבתיות של שימוש במים בישראל לפי מתודולוגיית ניתוח מחזור חיים**: נועה מירון וורד בלאס

בקצרה 58 **מדיניות משרד הבריאות לגבי השימוש בקולחים**: זהר ברנט־יצחקי, דוד ויינברג, תמר ברמן ואיתמר גרוטו

בקצרה 60 **היבטים סביבתיים של צריכת מים מותפלים ושימוש בקולחים**: מתן ישראלי, אריאל כהן, מני בן חור, דניאל קורצמן, הראל גל וגיא רשף

בקצרה 63 **זיהום אקווות החוף מאיים על היכולת לספק מי שתייה במחיר בר־השגה**: מיכה אשחר

סיכום ומשמעויות 65 **"תעשיית המים" כרכיב במערכת המים בישראל**: יורם אבנימלך



המוצא ליס של מתקן ההתפלה באשקלון (הזדם מימין) ושל מי הקירור בתחנת הכוח של חברת החשמל (הזדם משמאל) | צילום: אילן מלסטר

התפלת מי ים - חוסן, אתגרים וסיכונים

סיניה נתניהו

המדענית הראשית, המשרד להגנת הסביבה
SinaiaN@sviva.gov.il

תקציר

משק המים בישראל מתנהל ב"מצב חירום" מעת לעת ולאורך השנים. מציאות זו מצריכה יכולת דינמית להסתגלות למצב באמצעות שינויים במתן הקצאות מים ובניהול מקורות ההיצע. הסיבות למצב זה רבות ומגוונות: אירועי בצורת ממושכת, התדלדלות של כמויות המים במאגרים הטבעיים בישראל בשל מה שלעיתים הוגדר כשאיבת "יתר", התדרדרות איכות המים הטבעיים באקוות בשל זיהומים ממקורות עירוניים (שפכים ואתרי פסולת), חקלאיים ותעשייתיים, חדירת מי ים וסגירת בארות להפקת מים בשל איכות מים לא תקנית. במטרה לצמצם את פערי הביקוש למים ביחס להיצע קבעה הממשלה, בהחלטות שונות, כי על ישראל להיערך להתפלת מי ים. לנגד עיני מקבלי ההחלטות עמדו ההשלכות של שאיבת יתר של מי כינרת ומאגרי מי תהום, קרי המלחת מקורות אלה והצורך בשיקומם ובשמירה על מפלסים רצויים.

התועלת בייצור מים באמצעות מתקני ההתפלה אינה מסתכמת רק בצמצום פערי המחסור במים, באפשרות שיקום מאגרים ובשמירה על מפלסיהם. להתפלה גם תועלת בשיפור איכות המים על־ידי הפחתת המליחות של המים הטבעיים באמצעות מיהול עם מי מוביל ומי בארות, וכן צמצום הצורך בייבוש שטחי חקלאות וגנים ומניעת הרס מקורות המים הטבעיים והמערכות האקולוגיות הטבעיות שבסמיכות.

לא ניתן להתווכח עם הצורך וההצלחה של ישראל ביצירת חוסן לאומי בתחום אספקת המים. כיום ישראל ערוכה במידה ראויה ביותר לשינוי אקלים ובצורות מבחינת אספקת מים לשתייה ולתעשייה. עם החרפת שינוי האקלים באזור, הגידול בביקוש למים והתדלדלות כמות מקורות המים הטבעיים ואיכותם, יהיה על ישראל להגביר מאמצים ולהגדיל את כושר הייצור של המים המותפלים.

עם זאת, אין להתעלם מכך שלבניית חוסן דרך עצמאות לאומית בייצור מים לשתייה יש גם היבטים המציבים אתגרים, ואפילו יוצרים סיכונים שביכולתם לערער את החוסן שנבנה בישראל בעשור וחצי האחרונים. בין האתגרים והסיכונים אפשר למנות השפעות סביבתיות שליליות בים וביבשה בעקבות הקמת המתקנים, יניקת המים מהים והזרמת הרכז לים; פגיעות המתקנים בשל כשלי תפעול טכניים, בשל חשיפה למתקפות סייבר ולאירועים ביטחוניים, בשל תלות באיכות מי המקור ובשל חשש מפני אירועי זיהום ים; שמירה על איתנות פיננסית וצמצום הריכוזיות של בעלי המתקנים; שמירה על בקיאות טכנולוגית ומדעית לנוכח הפקדת מרבית הייצור בידי גורמים פרטיים. כמובן שחלק מהאתגרים והסיכונים הם גם של החברות הפרטיות בעלות המתקנים, אך האחריות הכוללת לאבטחת אספקת מים לצורכי ישראל נותרת בידי המדינה.

ייצור רחב היקף של מים מותפלים בעשורים הבאים יציב אתגר נוסף עבור מדינת ישראל, והוא התמודדות עם כמויות שפכים עצומות. סך הביקוש למים בחקלאות בישראל אינו צפוי להתפתח באותו קצב שהביקוש למים לשתייה יתפתח. יתר על כן, בראייה ארוכת טווח, היקף החקלאות אף עלול להצטמצם בשל התחרות על השימוש בקרקעות, הערך החלופי של הקרקע בישראל ומחיר תשומות המים בחקלאות (השפירים והמושבים). לכן, עלול להיווצר מצב שבו המודל הכלכלי, שהכדאיות הכלכלית של הטיפול בשפכים והשבתם לקולחים לצורכי השקיה (לפי התקן הנוכחי) נשענת עליו - יקרוס. תרחיש זה פותח מספר הזדמנויות שיש לבחון את היתכנותן לעומק, ובהן: שיתוף פעולה אזורי בסחר במים מושבים להשקיה מעבר לשיתוף הפעולה הקיים כיום במסגרת הסכמים דו־צדדיים בנושא מים לשתייה; טיפול בשפכים והשבת הקולחים לרמת טובה יותר המתאימה לאספקת מים לשתייה, לתעשייה ואף לטבע.

מילות מפתח: טכנולוגיות מים · משאבי מים · פיתוח בר־קיימא, קולחים · שינוי אקלים · שיתוף פעולה אזורי · תכנון אסטרטגי של משק מים

מבוא

לאורך השנים קיבלה ממשלת ישראל מספר החלטות ממשלה בדבר הקמת מתקני התפלה. בין ההחלטות ניתן למנות את החלטת ממשלה מס׳ 4895 משנת 1999 המורה על הצורך בהיערכות להתפלת מים לשתייה, החלטת ועדת השרים לענייני חברה וכלכלה משנת 2003 בעניין הקמת שבעה מתקני התפלה עד 2004 שיספקו 315 מיליון מטר קוב מדי שנה (להלן: מלמ״ש) מים, מתווה ההתפלה בהחלטת הממשלה משנת 2000 בעניין הקמת מתקן התפלה של 50 מלמ״ק בחוף הדרומי, החלטת הממשלה מס׳ 1882 משנת 2007 להקמת מתקני התפלה בהיקף כולל של כושר ייצור של 505 מלמ״ש והחלטת הממשלה מס׳ 3533 משנת 2008 שקבעה כי יש להגדיל את היקף זה ל־750 מלמ״ש עד לשנת 2020. כפי שניתן ללמוד מטבלה 1, ההחלטות מומשו והיעדים הולכים ומושגים.

מערך מתקני התפלת מי ים לאורך חופי הים התיכון בישראל וייצור מי שתייה באמצעותם מקנים למדינת ישראל מידה רבה של רווחה. הטמעת הטכנולוגיה להתפלת מי ים כחלק ממערך אספקת המים הלאומי לצורכי שתייה ותעשייה שחררה את ישראל מתלות בלעדית בזמינות משאבי מים טבעיים ומהאי־ודאות הכרוכה בכך [13].

מחקרים קובעים כי בשנים האחרונות נרשם גירעון משקעים מצטבר, מהחמגרים שהתרחשו ב־90 השנים האחרונות. בעיקר נמצא כי ניכרת מגמת ירידה בכמויות המשקעים באגן ההיקווות של הכינרת, שהוא מקור המים הבודד הגדול במדינה מבחינת פוטנציאל המילוי החוזר מגשם. גם לפי תרחיש מתון, לקראת סוף המאה ה־21 צפויים המשקעים לָפחות בכ־10–20% בהשוואה למצב הנוכחי. משטר המים של אגן הים התיכון בכלל ושל ישראל בפרט ייפגע עם ההפחתה הצפויה בכמויות המשקעים מחד גיסא ועם הגברת ההתאדות מאידך גיסא [9, 11].

אם כך, ניכר כי שינוי אקלים ובצורות הם (וככל הצפוי ימשיכו להיות) מקור לאי־ודאות בתכנון משק המים ובתפעול מקורות אספקת המים, והם משפיעים משמעותית על פיתוח החקלאות, על מצב המערכות האקולוגיות, ועל איתנותה. תנודות בכמות המשקעים ובפיזורם בין השנים ובמהלך עונת הגשמים, בשילוב החלטות תפעוליות שונות לאורך השנים שבעקבותיהן ירדו מפלסי הכינרת ומי התהום, אך משפיעות על איכות מקורות המים עצמם, כמו למשל המלחת הכינרת. מכאן, ששילוב טכנולוגיית ההתפלה עם מקורות המים הטבעיים במשק המים נותן מענה משמעותי לסוגיות הקשורות לכמות המים ולאיכותם.

הידיעה שקיימת זמינות מים ממקור טכנולוגי יציב יחסית, מאפשרת, במידה רבה, לנהל באופן אפקטיבי וגמיש יותר לחצים של המשתמשים השונים הנוגעים לדרישות להקצאת מים מגזרית. המרחב הציבורי בעיר, צרכנים ביתיים, התעשייה, החקלאות, הטבע ושכנינו – כולם נהנים בסופו של דבר מהגדלת מצאי המים ומהוודאות שבזמינותם. הגברת זמינות היצע המים מאפשרת לישראל להמשיך ולספק תמהיל של מים שפירים וקולחים למגזר החקלאי.

עם זאת, על אף קיומו של מקור טכנולוגי זה, עדיין מתבקש ניהול אחראי ביחס להגדלת היצע המים המותפלים, שכן אין פתרון טכנולוגי זה חף מעלויות ישירות ועקיפות. יש צורך בהמשך ניהול קפדני ואחראי של משק המים. למשל, בשל הביקושים למים לחקלאות באגן הכינרת מחד גיסא ולנוכח הירידה במפלס הכינרת והמלחתה הגוברת מאידך גיסא, עלו לאחרונה רעיונות ביחס

טבלה 1. השימוש במים מותפלים ותחזית השימוש בהם (מלמ״ק) [12]

נתוני 2005–2014 מבוססים על שימוש בפועל, ואילו נתוני 2015–2020 מבוססים על תחזית שנערכה בעת עריכת הטבלה.

שם המתקן	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
אילת	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
אשקלון	20	100	105	111.5	113	120	120	120.6	117.5	80	115	115	115	115	115	115
פלמחים			15	30	37	45	46	47.6	69	65	90	90	90	90	90	90
חדרה					20	120	127	142.7	125.5	85	127	127	127	127	127	127
אשדוד											100	100	100	100	100	100
שורק									40	120	150	150	150	150	150	150
הגליל המערבי														50	50	50
סך הכול	23	103	123	144.5	173	288	296	313.9	355	353	585	585	585	635	635	635



כלוב סביב צינור יניקת מי ים של מתקן ההתפלה בפלמחים | באדיבות היחידה הארצית להגנת הסביבה הימית, המשרד להגנת הסביבה

להובלת מים מותפלים למילוי הכינרת. לכאורה, לא ניכרת הצדקה להזרים מים מותפלים לכינרת (עלויות ייצור והובלה). נהוג היה שמהכינרת שואבים מים לטובת מערכת המים הארצית. בהינתן מחסור במים בכינרת, האופציה העומדת לבחינה ולדיון ציבורי היא לאו דווקא הזרמת מים מותפלים לכינרת, אלא גם, ואולי אף בראש ובראשונה, בחינה מחודשת של מערך החקלאות בצפון והתאמתו לתנאי האקלים החדשים (למשל סוגי גידולים). שינוי האקלים מחייב היערכות והסתגלות על פני כל הגלובוס, וישראל אינה פטורה מכך.

סך הגידול הכללי הצפוי במים המותפלים בישראל בעשורים הבאים צפוי להעמיד לרשות ישראל גם כמויות שפכים משמעותיים. כיום ניצול השפכים בישראל גבוה מאוד, ומיועד, לאחר טיפול, להשקיה בחקלאות כחלופה למים שפירים. הקולחים אטרקטיביים לחקלאים בשל מחירם המופחת ביחס למים השפירים ובשל תמריץ יחס ההמרה שבין כמות המים השפירים שהחקלאי ויתר עליה לעומת הכמות המוגדלת של הקולחים שהוא מקבל בתמורה לוויתור. הביקוש לכמויות מי קולחים בחקלאות מניע מנגנון כלכלי שמאפשר, נוסף על מקורות מימון באמצעות מחירי המים ותמיכות ממשלתיות, את מימון הטיפול בשפכים העירוניים והשבתם לחקלאות כקולחים. אם כך, יש להבין באיזה אופן המנגנונים הכלכליים הללו ימשיכו להיות רלוונטיים ומספיקים כאשר היצע כמות השפכים יעלה על כמות הביקוש להם, לאחר טיפול, בחקלאות. אל לישראל להיקלע למצב שבו בשל אי־כדאיות כלכלית־חקלאית של מפעלי השבת הקולחים יוזרמו שפכים לא מטופלים או מטופלים חלקית לסביבה ולטבע. באופן חלופי, צריך לבחון יצירת חלופות לקליטת המים, כמו שיתוף פעולה אזורי עם שכנינו בתחום הקולחים לחקלאות או טיפול ברמות גבוהות יותר בקולחים לטובת שימוש כמי שתייה, מים לתעשייה ומים להזרמה לנחלים ולטבע.

לצד החוסן והתועלת המופקת ממתקני ההתפלה, נוצרים אתגרים וסיכונים. עם הגברת הזמינות למים מציבים מתקני ההתפלה אתגרים סביבתיים ובריאותיים לישראל. בעוד טכנולוגיית ההתפלה שחררה את ישראל מתלות במקורות מים טבעיים מתחדשים, היא גם יצרה תלות לאומית כבירה במשאב זה. מקור המים המותפלים מספק כ־42% מכמות המים השפירים המסופקת לכל הצרכים במשק, וכ־80% מכמות המים המסופקת לצרכים הביתיים והתעשייתיים (לפי נתוני רשות המים, בשנת 2015 עמדה כמות המים השפירים לכלל השימושים במשק על 1,400 מלמ״ק בשנה) [12]. מתקני ההתפלה, כמו כל מתקן תעשייה או תשתית, חשופים לפגיעה בשל אירועים ביטחוניים, זיהום ים, תקלות תפעוליות חריגות כמו מתקפת סייבר, ותקלות תפעוליות שוטפות.

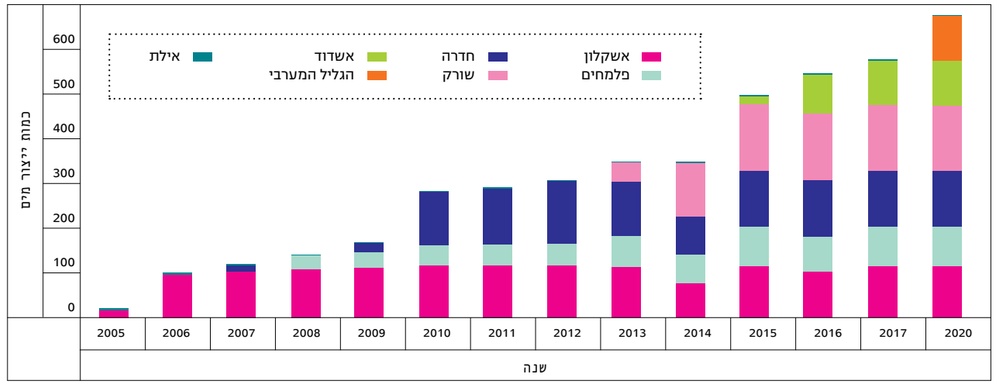
לכן, היום יותר מתמיד חייבת ישראל לנהל את תמהיל מקורות המים, הטבעיים והמלאכותיים, ביתר זהירות. כדי לצמצם את התלות ההולכת וגדלה בייצור מים ממתקני התפלה – תלות שיכולה להיות מתורגמת אף לאיום אסטרטגי ממשי – הכרחי להמשיך ולשלב בניהול משק המים כלי ניהול הן מצד הביקוש הן מצד ההיצע. הסברה וחינוך לשימוש יעיל במים ולחיסכון, תמריצים כלכליים, מניעת זיהום מקורות מים עיליים ומי תהום ושיקומם, ייעול מערכות הולכת המים ומניעת נזילות, ניהול מי נגר, ניצול מים שוֹלְיִים, שיפור מתמיד של איכות מי הקולחים ומניעת זיהום מי הים במשמעותם כמי גלם להתפלה – כל אלה דוגמאות לפעולות שנחוץ לדבוק בהמשך שילובן במשק המים. אתגר נוסף במשק המים המותפלים הוא התחרות המוגבלת והריכוזיות המשמעותית במשק זה.

כושר הפקת מים מותפלים והפקה בפועל

סך כושר הפקת המים המותפלים בישראל עבור מי ים ומים מליחים עומד כיום על כ־683 מלמ״ש. מתוכם 585 מלמ״ש באמצעות חמישה מתקנים להתפלת מי ים בשיטת האוסמוזה ההפוכה – אשקלון, פלמחים, חדרה, שורק ואשדוד (איור 1). עוד 78 מלמ״ש ניתן להתפיל ממקורות מים מליחים המופקים ממי תהום מליחים, במתקנים הממוקמים באילת, בערבה, בדרום מישור החוף ובשפלת החוף באזור חוף הכרמל. באילת ניתן להתפיל 20 מלמ״ש: 3 מלמ״ש ממי ים ו־17 מלמ״ש ממקורות מים מליחים. בפועל, בשנת 2016 הותפלו בישראל 550 מלמ״ש מי ים לשימוש ביתי ותעשייתי מתוך צריכה כוללת 893 מלמ״ק בעבור שימושים אלה. עלות המים המותפלים נעה בין 2 ל־3 ש״ח למ״ק, כתלות בהסכמים של המדינה עם בעלי מתקן ההתפלה.

איור 1. ייצור מים במתקני ההתפלה

ייצור בפועל לשנים 2005–2015 ותחזית ל־2016–2017, 2020. הנתונים מתייחסים להתפלת מי ים בלבד. מקור הנתונים: אגף ההתפלה, רשות המים



היבטים סביבתיים של התפלת מים

לפעילות ההתפלה קיימות מספר השלכות סביבתיות פוטנציאליות: למשל, פגיעה בערכי טבע בחוף, באתרי נוף, בארכיאולוגיה ובהיסטוריה, פגיעה בפעילות ימית ובמתקנים ימיים אחרים, פגיעה בסביבה הימית כתוצאה מסילוק מי רכז התפלה לים, הזרמת כימיקלים שונים למי הים, פגיעה במארג המזון בנקודות יניקת המים, השפעת צנרת תת־ימית, פגיעה במערכת ההידרולוגית, יצירת מפגעי רעש, פליטות מזהמי אוויר וגזי חממה משימוש באנרגיה, שימוש בכימיקלים ובחומרים מסוכנים ואחסונם ופסולת ממברנות [4–7].

כל מתקני ההתפלה בישראל מחויבים לבצע ניטור של הסביבה הימית. הניטור הראשוני מתבצע טרם הפעלת מתקן ההתפלה, ובהמשך עם הקמת המתקן ותפעולו מתבצע ניטור שוטף. היתרי ההזרמה לים ניתנים על־ידי המשרד להגנת הסביבה, ומתחדשים אחת לשנה.

נעמוד בקצרה על ההשפעות הסביבתיות של מספר היבטים בתהליך ההתפלה.

רכז מלחים וכימיקלים

רכז המלחים הנוצר בתהליך ההתפלה מוזרם חזרה לים. בחלוף השנים חלה ירידה ניכרת בצריכת הכימיקלים במתקני ההתפלה לרבות צריכת הברזל במערך טיפול הקדם. עם זאת, בעקבות הקמתם של מתקני התפלה לאורך החוף וטיוב בארות מים החלה נרשמת עלייה בהזרמות זרחן לים (שלא מהשפד"ן) משנת 2006, עם עלייה ניכרת יותר החל בשנת 2009 (איור 2). מקורות אלה הם 9% מכלל הזיהום הימי של זרחן בשנת 2014. נוסף על כך, מתקני ההתפלה החדשים מחויבים לטפל בתשטיפים המכילים ריכוזי ברזל, ולסלקם לאתר פינוי יבשתי במקום לים. עד היום לא נמצאו עדויות לפגיעה משמעותית בסביבה הימית, אך מאחר שישראל משמשת חלוצה בתחום ההתפלה, חשוב שנוסף על הניטור הקפדני בסביבה הימית יבוצעו מחקרים שיבחנו את ההשלכות של ההתפלה על הסביבה הימית.

בהתאם להחלטת הממשלה בנושא טכנולוגיות מים (החלטה מס' 5243 משנת 2012), חברו יחד משרדי המדע, האנרגיה, הגנת הסביבה, הכלכלה, האוצר ורשות המים ופרסמו קול קורא למחקרים בנושא. כיום עוסקות שתי קבוצות עבודה במחקרים המתמקדים בהשפעת הזרמת התמלחות ממתקני ההתפלה על הסביבה הימית. קבוצת עבודה אחת עוסקת בבחינת תפוצת התמלחות ממתקני ההתפלה על מדף היבשת הישראלי הרדוד והשפעתם על הסביבה הימית כיום ובעתיד [1], וקבוצת עבודה שנייה בוחנת את השפעת הזרמת התמלחות ממפעלי התפלה על המערכת האקולוגית בסביבה החופית הימית [2]. כמו כן, שתי קבוצות המחקר בודקות יחד את ההשפעה הסביבתית המצטברת של יניקת המים בנקודות היניקה.

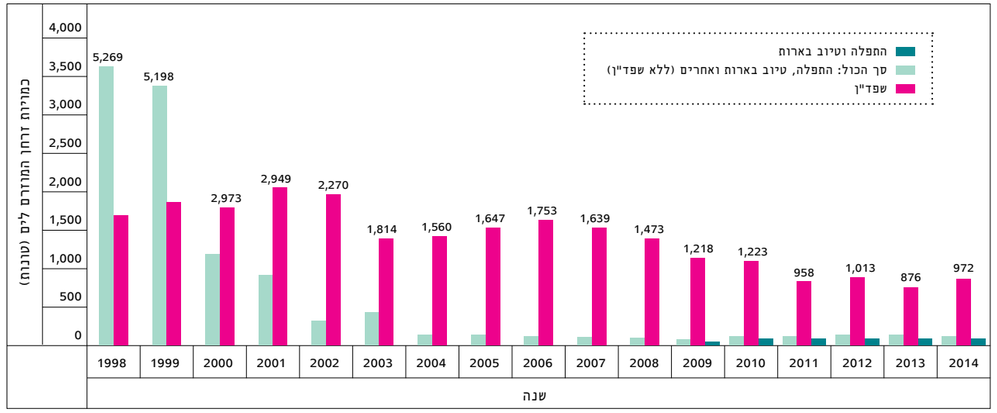
ממברנות: פסולות או משאב?

בסך הכול מותקנות במתקני ההתפלה בשיטת האוסמוזה ההפוכה בישראל כ־167,000 ממברנות (טבלה 2).

אורך החיים של ממברנות ההתפלה – תהליך הגדלת אורך החיים התפעוליים של הממברנות נחקר רבות, אך בסופו של

איור 2. כמויות זרחן המוזרם לים

המספרים הם חישוב סך השפד"ן ועוד סך הכול ללא שפד"ן. מקור הנתונים: היחידה הארצית להגנת הסביבה הימית, המשרד להגנת הסביבה



טבלה 2. כמות הממברנות המוערכת במתקני ההתפלה הקיימים בישראל

לפי הערכת כושר ייצור בשנת 2013. על בסיס ידע אישי (חברת אדן, 28.9.2014) ורשות המים [12]

המתקן	שנת הפעלה	מספר הממברנות	תפוקה (מ"ק ליום)	כושר ייצור שנתי (מלמ"ק)
אשקלון	2005	42,000	330,000	120
פלמחים	2007	28,500	93,000	90
חדרה	2009	51,000	350,000	145
שורק	2013	16,000	411,000	150
אשדוד	2015	כ־29,500	274,000	100
סך הכול	–	כ־167,000	1,458,000	605

דבר, כאשר ביצועי הממברנה יורדים מתחת לרמה אפקטיבית, יש צורך בהחלפה כללית, והממברנות המשומשות הופכות לפסולת בעלת אופי מורכב לשימוש חוזר. גם בתהליך האוסמוזה ההפוכה להתפלה משתמשים בדרך כלל בממברנה, המורכבת משכבה פעילה צפופה (עשויה בעיקר מפוליאמיד [PA]), משכבת פוליסולפון נקבובית (PSf) ומבסיס פוליאסטר עבה. בתהליך ההתפלה מטופלים המים הגולמיים מראש כדי לשפר את ביצועי התהליך ולהאריך את חיי הממברנות [14]. הגדלת אורך החיים של הממברנות חוסכת הוצאות תפעול, וגם הנזק הסביבתי שבהשלכת פסולת ממברנות, מצטמצם.

גודלן הסטנדרטי של הממברנות המשמשות בארץ (כגון הדגמים הבולטים של Dow Filmtech™ ו־Hydronautic™) הוא 8″ (או 16″ במתקן ההתפלה בשורק), ואורכן כמטר. נפח ההטמנה הפוטנציאלי של כלל ממברנות ההתפלה מוערך בכ־6,197 מ″ק. על פי הערכת היצרנים, אורך חיים של ממברנה חדשה הוא כ־7–10 שנים. לפיכך, בתקופת חיי המתקן אמורות להיות מוחלפות בממוצע כ־16,000–24,000 ממברנות בשנה מחמשת המתקנים. בפועל, בין היתר מכיוון שחלק מהמתקנים הם בתחילת דרכם, מספר ההחלפות בשנת 2014 הוערך ב־6,000 ממברנות בלבד (חברת אדן, מידע בע"פ, 2014).

נזקים סביבתיים – נכון להיום מפונות רוב הממברנות ממתקני ההתפלה בארץ למתקני טיפול פסולת. שם טוחנים חלק מהמרכיבים, בעוד שהממברנה עצמה (רוב הנפח) נטמנת. לפיכך, מדובר בפעילות שאינה עומדת בקנה אחד עם עקרונות סביבתיים ובני־קיימא של צמצום ההטמנה. כמו כן, היקף הפסולת הצפוי עשוי לגדול משמעותית עם התרחבות ההתפלה בארץ.

פליטות כתוצאה משימוש באנרגיה

צריכת האנרגיה עבור התפלת מי ים, ולכן הפליטות לאוויר בגין ייצור האנרגיה, משתנות כתלות בגורמי תפעול וטכנולוגיה של המתקן ומקורות האנרגיה שהוא צורך (מרשת החשמל הארצית או מתחנת גז מקומית). העלות החיצונית בעקבות הפליטות לאוויר שנגרמות בתהליך ייצור החשמל, צריכה להיות מופנמת במחיר החשמל. הפנמת עלויות חיצוניות במחיר של מוצר גורמת לו להתייקר, ויוצרת אצל הצרכן תמריץ נוסף להתייעלות בצריכת

המוצר. כאשר העלות החיצונית של פליטות לאוויר בתהליך ייצור אנרגיה אינה מופנמת במחיר הכללי של החשמל, ניתן לראות בעלות זו קירוב לעלות חיצונית של פליטות בגין שימוש באנרגיה בייצור המים המותפלים. לשם הפשטות נניח שמקור החשמל הוא הרשת הארצית. מקובל להעריך כי בעבור ייצור של 1 מ״ק מים מותפלים מושקעים בין 2.5 ל־4.2 קוט״ש או 3.5 קוט״ש בממוצע. לפי הדו״ח הסביבתי של חברת החשמל לשנים 2014–2015, ייצור של 1 קוט״ש גורם לפליטות לאוויר של 1.34 גרם גופרית דו־חמצנית, 1.31 גרם תחמוצת חנקן, 0.04 גרם חלקיקי $PM_{2.5}$ ו־PM_{10} (הדו״ח אינו מציין את ההתפלגות בין שני סוגי החלקיקים, אך ניתן להעריך בקירוב כי ההתפלגות היא 25% ו־75%, בהתאמה) ו־667 גרם פחמן דו־חמצני [10]. שיוך פליטות אלה להערכת העלות החיצונית של הפליטות [8] והכפלתן ב־3.5 קוט״ש בעבור ייצור 1 מ״ק, מביא לעלות חיצונית של פליטות מייצור אנרגיה של 60.25 אגורות לכל 1 מ״ק מים מותפלים או 602,500 ש״ח ל־1 מלמ״ק או 352.5 מיליון ש״ח בעבור 585 מלמ״ק מים מותפלים בכל שנה.

<u>שטחים פתוחים</u>

לבסוף, יצוין בקצרה כי הצורך הפונקציונלי של הצבת מתקני התפלה בקרבת חופי הים פוגע במערכות אקולוגיות חופיות ובבתה. נדירות השטחים האקולוגיים הללו בישראל ידועה. העלויות החיצוניות לדונם כתוצאה מהפרת שטחי חוף ובתה נאמדת במספר אלפי שקלים לדונם, כתלות בערכים הכלכליים של שירותי המערכות האקולוגיות במיקום הספציפי המופר.

חוסן אל מול אתגרים וסיכונים

ראוי שהחוסן שמתקני ההתפלה מספקים לישראל ייבחן אל מול האתגרים והסיכונים שהם מציבים. החוסן שיצרו מתקני ההתפלה במערך אספקת המים בישראל תוך הפחתה משמעותית של אי־ודאות שנגרמה בעיקר בשל שינוי אקלים ובצורות, ברור. אך האם חוסן זה הפחית מקורות נוספים של אי־ודאות וסיכונים?

התלות ההולכת וגדלה של כ־80% ממי השתייה והתעשייה של ישראל במתקנים אלה איננה זניחה. מתקני ההתפלה חשופים, ככל תשתית, לפגיעות, כגון פגיעה ביטחונית, להשלכות של אירועי זיהום ים, ולסיכונים תפעוליים חריגים כמו מתקפת סייבר ותקלות תפעול שוטפות. לצורך ההדגמה, נרחיב בעניין הסיכון שבאירוע זיהום ים.

בשנתיים האחרונות היינו עדים למספר אירועים של זיהום ים ממקורות שונים, שגרמו להשבתת מתקני ההתפלה. בשל הזרמת קולחים ברמה נמוכה לנחל שורק והזיהום שנגרם באזור חוף פלמחים במרץ 2016 הורה משרד הבריאות למפעילי מתקן ההתפלה בנחל שורק להפסיק את שאיבת המים מהים. בקיץ 2016



מערך מתקני ההתפלה מקנה גמישות רבה למנהלי מערכת אספקת המים בישראל | צילום: קובי גדעון, לע״מ

הושבת מתקן ההתפלה באשקלון בגלל תקלות במכון השפכים של עזה, שהביאו לזיהום בכל האזור. באותה התקופה פגעה ספינה שפינתה צינורות נפט באזור נמל חיפה באחד מצינורות ההובלה הפעילים, וגרמה לכתם נפט שהביא לסגירת חופי הקריות, האזור שפועל בו כיום מתקן כפר מסריק. בינואר 2017 גרמה דליפת הנפט שאירעה בצינור המוביל נפט לתחנת הכוח באשדוד לכתם נפט שהתפשט עד לראשון לציון והביא להשבתה מיידית של שלושה מפעלי התפלה. האפשרות להשבתה קצרה או ממושכת של מתקני ההתפלה בשל זיהום ים ממקורות יבשתיים או ימיים איננה תיאורטית, ויש להיערך לה. יש להביא בחשבון גם השבתה זמנית של מתקני ההתפלה בשל תקלות באספקת מקורות אנרגיה בגין תקלות ברשת החשמל או במערך אספקת הגז הטבעי ואי־זמינות דלקים חלופיים.

למתקני ההתפלה נוכחות דומיננטית, והם מציבים אתגרים חדשים. היות שכך, עולה הצורך בהמשך העמדת הטיפול בחלופות הקונבנציונליות לטובת צמצום פערי הביקוש בניהול משק המים בראש סדר היום. חלק מהפעולות לטובת צמצום הפגיעוּת והרחבת החוסן הלאומי במשק המים הן כמובן הקמת מספר מתקני התפלה ואי־הישענות על מתקן אחד או שניים. עם זאת, הפניית משאבים לטובת פעולות של ניהול הביקוש למים ופעולות נוספות הקשורות להיצע המים, קריטית יותר. מבחינת הביקוש למים נציין את הגברת פעולות ההסברה והחינוך לשימוש יעיל במים ולחיסכון ולשיפור מתמיד במנגנוני התמריצים הכלכליים של מחירי המים על פי מכסות. מבחינת ניהול היצע משק המים, נדרשים באופן מתמיד אסדרה, פיקוח ואכיפה לטובת מניעת זיהום מקורות מים עיליים ומי תהום. כמו כן, יש להמשיך לפעול למען שימור ושיקום של אקוות שמהוות אוגר (storage) מים טבעי משמעותי בישראל, טיוב מי בארות שנסגרו, ייעול מערכות הולכת המים ומניעת נזילות, ניהול משמר מי נגר, ניצול מים שוֹלְיִים ושיפור מתמיד בטיפול בשפכים והשבתם כקולחים לחקלאות. כל זאת צריך להמשיך ולהיעשות תוך הקפדה על ניטור ועל מחקר ארוך טווח באשר להשפעת השימוש במים אלה על האדם, על הקרקע, על הסביבה ועל הצומח.

כאמור, הצפי לגידול בסך הביקוש למים בשל גידול האוכלוסין והמשך תחזיות קודרות על אקלים ובצורות מאלצים את ישראל להמשיך ולהיערך להגברת ייצור מים באמצעות התפלה. עם זאת, ואף על פי שאזרחי ישראל מקבלים את גובה מחירי המים כנתון, עלינו לזכור כי הפנייה להתפלת מי ים חייבת להמשיך ולהיות המוצא האחרון שלנו, ואל לנו לחסוך תשומות זמן ומשאבים אחרים בגין קידום הפעולות האחרות הנזכרות לעיל כאשר נמצאה כדאיות כלכלית שמביאה בחשבון תועלת לניהול משק בר־קיימא ולא רק תועלת ישירה.

אתגר נוסף במשק ההתפלה הוא וידוא האיתנות הפיננסית של חברות ההתפלה והתמודדות עם הריכוזיות בענף. נוסף על חיזוק חוסנו של משק המים וההיערכות לפגיעוּת שיצרה התלות של ישראל בייצור מים מותפלים, נכון להקפיד ולהמשיך לבחון את חוסנן הכלכלי של החברות בעלות המתקנים בשגרה, ולא רק בעת כריתת הסכמים בין המדינה לחברה. חוסן כלכלי של מפעלי ההתפלה הוא היבט חשוב ביותר בישראל, מאחר שהמדינה נקטה לרוב שיטה של שיתוף פעולה פרטי־ממשלתי. שיתוף פעולה זה מאפשר חלוקת סיכונים בין המגזר הפרטי לממשלה, בעוד הממשלה מעניקה רשת ביטחון לחברות באמצעות הבטחת רכישת המים המותפלים במחיר שנקבע מראש, וכן פיצוי על כל מ״ק שלא יירכש אם המפעלים יונחו לצמצם את הייצור ביחס לכושר המלא שבהסכם.

מתוך חמשת מתקני ההתפלה הקיימים בישראל, ארבעה נבנו על־ידי חברות פרטיות. שלושה מתקנים נבנו בשיטת ה־BOT (build, operate, transfer), מתקן אחד בשיטת ה־BOO (build, operate, own), ומתקן אחד נבנה באמצעות חברת בת של חברת המים הממשלתית. הקרקעות של כל המתקנים, למעט זה שנבנה בשיטת ה־BOO, הן בבעלות המדינה. דבר זה השפיע על מחיר נמוך יחסי של המים המותפלים. יתרון נוסף שהשפיע על מחירי התפלה נמוכים יחסית, הוא היתרון היחסי שיש לחלק מהקבוצות בתחום האנרגיה (אחזקות בחשמל פרטי ובמאגרי גז טבעי).

היבט כלכלי נוסף הקשור למבנה משק ההתפלה הוא הריכוזיות במשק התפלת המים. שלושה מתקני התפלה (מתוך החמישה הקיימים) המספקים יחד כ־67% מהמים המותפלים, נמצאים בבעלות של חברה אחת (IDE). אומנם מדובר בבעלות משותפת עם חברות נוספות, אך היא אינה סותרת את עובדת הריכוזיות. בעבר נידונה אפשרות מכירת החברה לגורמים בין־לאומיים. בהקשר המדובר, הבעיה בריכוזיות או בכוח המונופול שנוצר לכאורה, אינה נוגעת בהכרח בבעיה הקלָסית של החשש לתיאום מחירים. עם זאת, יצוין שכאשר ישראל הביעה לפני מספר שנים עניין בהרחבת המתקנים הקיימים, ונכנסה למו״מ מול כל אחת מחברות ההתפלה על מחיר קוב מים, היה לחברות כוח מיקוח בשל חוזקן הקולקטיבי ובזכות המידע שהיה ברשותן, שנבע ממומחיות הנמצאת בידי מעטים [11]. הבעיות העיקריות בריכוזיות במקרה זה נובעות מעצם הפקדת הייצור של משאב שהוא בבחינת אסטרטגי־חיוני בידיים פרטיות, ולכן יש להביא בחשבון את א) העוצמה המשתמעת מעצם השליטה על ״ברז הייצור״ של משאב, שללא עוררין ניתן לסווגו כמשאב אסטרטגי־קיומי־חיוני לכלכלת ישראל ולרווחת תושביה. לעוצמה זו השלכות ומשמעויות גם בשגרה וגם בחירום; ב) הריכוזיות של הידע הטכנולוגי והתפעולי המשמעותי שנמצא בידי המגזר הפרטי שהמדינה תלויה בו.

הביקוש למים בישראל ימשיך ויגבר עם גידול האוכלוסייה

ועם העלייה ברמת החיים. היכולת להתפיל, כמעט ללא מגבלה טכנית, מבטיחה כי כמויות המים המותפלים בעתיד יגדלו. גידול זה יביא עימו גם גידול בכמויות השפכים ואת הצורך לטפל בהם. האם יהיו ביקושים לקולחים ומה יהיה המנגנון הכלכלי לטיפול בהם? בעוד כושר התפלת מי הים בישראל עומד כיום על כ־585 מלמ"ש, התחזיות מנבאות העלאת היקף זה עד לכמות של 1,750 מלמ"ק בשנת 2050. אין ספק כי הכפלת כמות הנפשות החיות בישראל והעלייה ברמת החיים בשילוב הצפי להשפעות אקלים אזוריות, מצריכים היערכות בהיבטי ייצור מים, ועל כן, ההיערכות להרחבת ייצור מים באמצעות התפלה – חשובה. בד בבד עם ייצור המים, צפוי שנידרש להתמודד עם כמויות רבות של שפכים. לכן, נדרשת חשיבה סדורה לגבי תיעול השפכים, רמת הטיפול בהם והשבתם לקולחים לטובת השקיה בחקלאות או למטרות אחרות, כמו לנחלים, לים ואף למים לשתייה ולתעשייה. כך אף נוכל לצמצם במידת מה את הצורך בהקמת מתקני התפלה נוספים.

לפי דיווח רשות המים, בישראל מיוצרים 530 מלמ"ק שפכים בשנה. מרביתם נאספים ומטוהרים. שיעור השבת הקולחים בישראל הולך וגדל. הוא עומד כיום על כ־75%, וצפוי להגיע ל־95%. מרבית הקולחים מיועדים לשימוש חקלאי. ההשבה מתבצעת באמצעות כ־135 מפעלים (פרטיים וחברת המים הלאומית, מקורות) המספקים כ־355 מלמ"ק בשנה, כאמור ברובם לשימוש כמים להשקיה. כמות זו מהווה כ־31% מסך המים המסופקים לחקלאות וכ־18% מסך המים המסופקים במדינה לכל השימושים. פיתוח מפעלים להשבת קולחים לחקלאות צפוי להתרחב, כך שהיקף פעילותם בשנת 2020 צפוי לעמוד על כמות של כ־600 מלמ"ק לשנה.

אם תמהיל הביקושים בחקלאות יישאר כפי שהוא כיום (תמהיל של שפירים, שפד"ן וקולחים) וגם אם בעתיד ישתנה התמהיל לטובת כמות גדולה יותר של קולחים, ובהינתן כמות כלל השטחים המושקים כיום, צפוי שיישארו במשק המים עודפים משמעותיים של שפכים נעדרי תמריץ כלכלי לטיפול בהם. התמריץ הכלכלי המשמעותי כיום לטיפול בשפכים ולטיובם לרמה שתהיה ראויה לכל שימוש (תקנות ענבר) הוא הצורך בהשבתם לשימוש בחקלאות כקולחים. זהו הכוח הכלכלי, ונוסף על המניעים הסביבתיים והבריאותיים, הוא המניע המהותי מאחורי ההצדקה הכלכלית להקמת מתקני טיפול בשפכים וליציאה בתהליך הדרגתי של שדרוג המתקנים של טיפול בשפכים מרמת טיפול שניונית לשלישונית. יש לוודא כי המחויבות לטיפול בכלל השפכים בישראל תימשך, וכי הטיפול ישודרג לרמת טיפול שלישונית, ויוקמו מראש מתקנים חדשים בעלי כשירות לטיפול ברמה שלישונית גם כאשר לא כל כמות הקולחים תידרש לטובת השקיה במגזר החקלאי בישראל.

בעניין זה חשוב להזכיר מחקר בנושא יכולת נשיאת מחירי מים שונים לטווח בינוני וארוך [3]. במחקר נבדק כושר הנשיאה של מחירי המים ב־21 אזורים אקולוגיים שונים, ולהלן ממצאיו: בכ־12% מהשטח המושקה ברמה הארצית נמצאים גידולים שאינם יכולים לשלם 1 ש"ח למ"ק, והשטחים נמצאים בסכנת הברה. משנבדק מחיר מים של 1.5 ש"ח למ"ק, נמצא כי 21% מהשטח המושקה נמצא בסכנת הברה. ללא ספק, אין כאן משום המלצה שמחיר המים בחקלאות יסובסד, אלא קריאה למציאת מנגנוני תמריצים יעילים לחקלאות שישקפו את התועלת החיובית שבפעילות זו.

יש לחזור ולהדגיש שעלינו להביא בחשבון את האי־ודאות ביחס להשפעות הסביבתיות והבריאותיות האפשריות של שאריות תרופות, הורמונים ומוצרי צריכה אישיים שנותרים בקולחים המטופלים בשיטות הנהוגות כיום. לפיכך, יש להמשיך ולנהוג על פי עקרון ההיזהרות בעיקר בכל הקשור להשקיה בקולחים באזורים רגישים מבחינה הידרולוגית. צריך להמשיך להקצות משאבים לטובת ניטור ומעקב מחקרי־מדעי ייעודיים לנושאים אלה.

סיכום

היכולת והמוכנות הטכנולוגית של ישראל להתמודד כיום באופן עצמאי עם פערי הביקוש למים הן יוצאות דופן בכל קנה מידה בין־לאומי. טכנולוגיית ההתפלה מספקת מקור חשוב לייצוב התנודתיות של המים הטבעיים, ומאפשרת לצמצם את פערי הביקוש למים ולשפר את איכות המים המסופקים באמצעות מיהול עם מים בעלי ריכוז מלחים גבוה יותר. ההישענות על מתקני ההתפלה לצורכי ייצור מים מקנה לישראל חוסן, אך גם יצרה פגיעות מסוימת. התלות ההולכת וגוברת בטכנולוגיית התפלת מי ים כמקור אספקה כמעט בלעדי בעבור מים לשתייה ולתעשייה הפכה את מערך ההתפלה ממערך גיבוי למשק המים למערך דומיננטי בו. הסיכון הוא כי ההישענות על מתקני ההתפלה תגרום להזנחת הטיפול והשיקום של מקורות מים טבעיים, וכי אלה הראויים עדיין, ינוהלו באופן בלתי מקיים. יתר על כן, בהסתכלות אזורית בכלל ובאזורים ששינוי האקלים נותן בהם את אותותיו, צורכי החקלאות חייבים להיות מותאמים לתנאים החדשים. תכנון החקלאות בישראל חייב להיעשות בהלימה עם תכנון משק המים ובהינתן תנאי האקלים הצפויים. נוסף על כך, יש לבחון את התמהיל האופטימלי של איכויות המים לחקלאות על פי מקורות המים ועל פני המרחב. כל אלה יחד צריכים להיות מובאים בחשבון. זאת ועוד, יש להעמיק ולנתח את התרחישים הנובעים מהחשיפה לסיכונים השונים של מתקני ההתפלה בתפעול, ביטחון, סייבר, אירועי זיהום ים, איתנות פיננסית וההשלכות על המשק בתחום אספקת המים, כולל היבטים מבניים שנובעים מאופי הבעלויות במשק ההתפלה.

לצד כל אלה, ההשקעה והמחויבות ארוכת הטווח לניטור סביבתי ובריאותי (למשל, סוגיית המגנזיום וההשפעה על בריאות הציבור, השלכות של שאריות תרופות בקולחים על הסביבה והבריאות) ולמחקר ופיתוח בתחום ההתפלה חייבות להימשך ולהיות מתואמות בין זרועות הממשלה והחברות. המשאבים בעבור חינוך והסברה לצרכנות טובה יותר, חסכונית במים וששומרת על מניעת זיהום מקורות המים, צריכים להמשיך להינתן ולהיות מושקעים באופן אפקטיבי.

מקורות

[1] ביטון א, סילברמן י, גלנטי ב ואחרים (בעבודה). תפוצת התמלחות ממתקני ההתפלה על מדף היבשת הישראלי הרדוד והשפעתם על הסביבה הימית כיום ובעתיד. המכון לחקר ימים ואגמים והמכון הגיאולוגי לישראל.

[2] ברמן־פרנק א, ברנר ס, קרס נ וגל ג. (בעבודה). הערכת השפעת הזרמת התמלחות ממפעלי התפלה על המערכת האקולוגית בסביבה החופית הימית ע"י אינטגרציה של מדידות ומודלים הידרודינמיים ואקולוגיים. אוניברסיטת בר אילן וחקר ימים ואגמים לישראל.

[3] גרינשטיין־דקר ע וקחל י. 2013. הביקוש למים בכפוף לכושר הנשיאה של הגידולים החקלאיים. ראשון לציון: משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

[4] הופמן ד. 2011. התפלת מים ויישומה בישראל. הרשות הלאומית למים וביוב.

[5] המשרד להגנת הסביבה. 2002. מתקני התפלה: מדיניות המשרד לאיכות הסביבה להגנה על הסביבה הימית והחופית – הים התיכון.

[6] המשרד להגנת הסביבה. 2008. מסמך ההשלמות למדיניות המשרד להגנת הסיבה בנושא מתקני התפלה.

[7] המשרד להגנת הסביבה. 2016. הקמת תשתיות צנרת בים – מדיניות המשרד להגנת הסביבה.

[8] המשרד להגנת הסביבה. 2017. עדכון ערכי העלויות החיצוניות של מזהמי האוויר וגזי חממה ל־1.1.2017.
www.tinyurl.com/air-external-coast-2017

[9] השירות ההידרולוגי, רשות המים. 2017. מגמות הידרו־אקלימיות נצפות וחזויות בישראל והשפעתן על משק המים. פרסום פנימי.

[10] חברת החשמל. 2016. דין וחשבון סביבתי לשנים 2014–2015.
www.tinyurl.com/IEC-Environmental-Report-2016

[11] יוסף י, חלפון נ, פורת ע ואחרים. 2016. מגמות באירועי מזג אוויר קיצוניים בישראל. דו"ח מחקר מס' 21921416. השירות המטאורולוגי.
www.tinyurl.com/Extreme-trends-over-Israel

[12] רשות המים. מתקני התפלה בישראל.
www.tinyurl.com/desalination-stractures

[13] Just RE, Netanyahu S, and Olson L. 2005. Resource depletion, technological uncertainty and adoption of improved technology: The case of desalination. *Resource and Energy Economics* **27**(2): 92-108.

[14] Lawler W, Leslie G, and Le-Clech P. 2012. What are the options for disposal of old RO membranes? *Desalination and Water Reuse* **2**(May-June): 39-40.



בעקבות דליפת שמן מצינור ימי של תחנת הכוח 'אשכול' באשדוד בינואר 2017 הופסקה למשך יומיים פעילותם של שני מתקנים להתפלת מי ים (מתוך חמשת המתקנים הגדולים הקיימים) | צילום: אביב קורט, באדיבות צלול

השקיה בקולחים - ממה צריך להיזהר?

דרור אבישר* וגפן רונן־אלירז

המרכז לחקר המים, ביה"ס למדעי כדור הארץ, אוניברסיטת תל־אביב
* droravi@post.tau.ac.il



תהליך מיצוי ואנליזה של חומרים כימותרפיים משפכי בתי חולים. עד לאחרונה היה מקובל כי הטיפול בקולחים מחייב רק סילוק מיקרואורגניזמים גורמי מחלות וכימיקלים מזיקים. המאמר מעלה את הבעייתיות בהימצאות מזהמים נוספים בקולחים המטופלים: כימיקלים יציבים, שיירי תרופות ומוצרי קוסמטיקה וכן מזהמים שריכוזם כה נמוך עד שאינם מפתחים אוכלוסיית מיקרואורגניזמים המסוגלת לפרקם. חלק מהשיירים הללו עלולים לפגוע בסביבה ובבריאות האדם | צילום: גפן רונן־אלירז

תקציר

למדיניות השבה ומִחזור שפכים ישנה חשיבות רבה הן במניעת זיהום סביבתי הן ביצירת מקור מים נוסף. תכולת המים הקיימים בשפכים גולמיים (99–99.99%), מחייבת למעשה את הפרדת המים מהחומר האורגני והאי־אורגני ואת מִחזורם. בישראל מושבים כ־85% מהקולחים להשקיה חקלאית, וזאת בהשוואה ל־25% בלבד בספרד, ואפילו פחות מזה במדינות אחרות בעולם. ישראל היא מעין מעבדה חיה עבור שאר העולם בכל הנוגע להשלכות של שימוש אינטנסיבי בקולחים להשקיה, וצריכה להוביל מחקר ולתת מענה לשאלות באשר לתקני הקולחים ולאיכותם.

הקולחים המיוצרים בארץ עומדים בערכי התקנות ונחשבים קולחים באיכות גבוהה המתאימים לכל שימוש מלבד מי שתייה, בעיקר כמים מושבים להשקיה חקלאית בלתי מוגבלת. ההשקיה נעשית סמוך למקורות מים עיליים ומעל מקורות מי תהום, כך שהמים זולגים ומחלחלים מהשדות החקלאיים למקורות המים הטבעיים, ונעשים חלק פעיל ממחזור המים בישראל.

קבוצת מזהמים הכוללת שאריות של תרופות מגיעה למכוני טיהור שפכים (מט"שים) מבתי חולים, מהתעשייה, משפכים חקלאיים ובעיקר משפכים עירוניים. המבנה הכימי המיוחד שלהם, המאופיין בריבוי טבעות ארומטיות וקשרים כפולים, יוצר יציבות כימית, ועל כן הטיפול הביולוגי הנהוג במט"שים כטיפול שניוני, אינו יעיל לפירוקם. לפיכך, הקולחים הללו, המוגדרים כקולחים באיכות גבוהה, מכילים תערובת של שאריות תרופות. מחקרים שנעשו בארץ ובעולם הראו נוכחות רבה של חומרים אלה בקולחים שניוניים ואף בשלישוניים במוצא המט"שים, במקורות מים עיליים, במי תהום (מקור מי שתייה) ואפילו בגידולים חקלאיים עצמם (מקור מזון).

לנוכח הנתונים הללו, ברור שחומרים אלה אינם רצויים בקולחים המיועדים להשקיה חקלאית. לפיכך, יש להרחיב את מערך הניטור אחר חומרים אלה, להרחיב ולשכלל את הטיפול השלישוני והמתקדם הן במט"שים הן במקורות הזיהום עצמם, ולהכניס טכנולוגיות מתקדמות לפירוק ולהרחקה של המזהמים.

מילות מפתח: יציבות כימית · מִחזור מים · פירוק ביולוגי · שאריות תרופות · תהליכי טיפול מתקדמים · תוצרי פירוק · תקני איכות קולחים

מבוא

<u>תכולת המים הגבוהה בשפכים והצורך במִחזורם</u>

על פי דו"חות של ארגון הבריאות העולמי, לפחות 1.8 מיליון איש צורכים מים מזוהמים, ובכל יום מתים כ־1,000 ילדים ממחסור במים או מצריכה של מים מזוהמים שאינם ראויים לשתייה [35]. בעיית המים העולמית קיימת הן בהיבט הכמותי (משאב בחוסר) הן בהיבט האיכותי (משאב המועד לזיהום). מים הם משאב חיוני שצריכתו גוברת בהתאם להתפתחות האנושית. הגידול הניכר באוכלוסיית העולם בעשורים האחרונים והצפי להמשכו מצביעים על כך שביובל הקרוב כ־40% מאוכלוסיית העולם יתמודדו עם בעיות של עקת מים ומחסור [35].

סקר ארצי שנערך ב־2014 בנושא איסוף שפכים, טיפול בהם וניצול קולחים, אמד את נפח השפכים הכללי בישראל בכ־513–517 מלמ"ש, הנתרמים משלושת המקורות העיקריים: תעשייה, שפכים ביתיים וחקלאות (בעיקר רפתות) [3]. המים, בתוך הנפח הכולל של השפכים הגולמיים, הם כ־99.99–99%. מתוך מספרים אלה ברור אפוא, שתהליך מִחזור המים מהשפכים הכרחי, הן לטובת הקטנת הזיהום הן לטובת יצירת מקור מים נוסף, בייחוד בעידן שהמים הם משאב חיוני שנמצא במחסור יחסית לדרישתו.

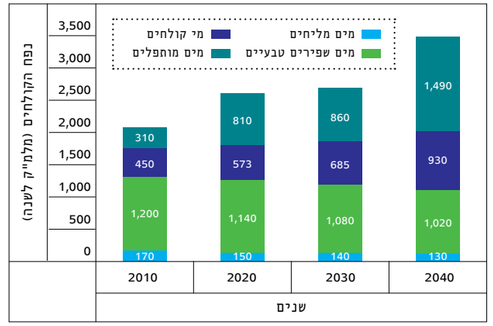
<u>ישראל כמובילה במִחזור מים</u>

שפכים הם תוצר המתקבל לאורך כל השנה, באופן קבוע ויציב [35]. בישראל תעשיית מִחזור המים היא מהמובילות בעולם – מִחזור המים והשימוש החוזר עומד על שיעור הקרוב ל־85%. במקום השני בעולם ניצבת הרחק מאחור ספרד עם כ־25% השבה בלבד [1]. על פי הנתונים בישראל, 93.5% מהשפכים מטופלים במתקני טיפול מכניים ובאגני ייצוב, וכ־87.4% מהם (419 מלמ"ש) מושבים להשקיה חקלאית [2,3]. כמות זו היא 30% מצריכת המים בחקלאות וכ־20% מצריכת המים הכוללת בישראל [3]. השימוש החוזר במים

נעשה בעיקר לשם השקיה חקלאית, החדרה למי תהום, שיקום נחלים והשקיה בגנים עירוניים.

כמדינה שמקורות המים הטבעיים בה הגיעו לניצול מרבי, והדרישה של מקורות אלה עברה את יכולות האספקה, מקורות מים חלופיים תופסים נתח משמעותי ממשק המים המקומי, וצפויים להגיע עד 68% מהמשק כולו עד שנת 2040 [1] (איור 1). במגמה זו הקולחים יכפילו את נפחם בין 2010 ל־2040, ויהיו כ־26% מסך צריכת המים בישראל [1]. אנו משערים ומניחים, כי למרות הכנסת מים מותפלים למערכת המים הארצית כמקור מי שתייה עיקרי, עדיין נחויב לאסוף כמה שיותר שפכים ולטפל בהם כדי למנוע זיהום סביבתי וכדי להמשיך את השימוש החוזר בהם כמקור מים הכרחי להשקיה ולשיקום נחלים.

איור 1. תחזית מקורות המים של ישראל, 2010–2040
עד שנת 2040 נפח הקולחים יכפיל את עצמו, ובסך הכול כ־70% מהמים יגיעו ממקורות חלופיים [1].



המורכבות של שימוש במים ממוחזרים

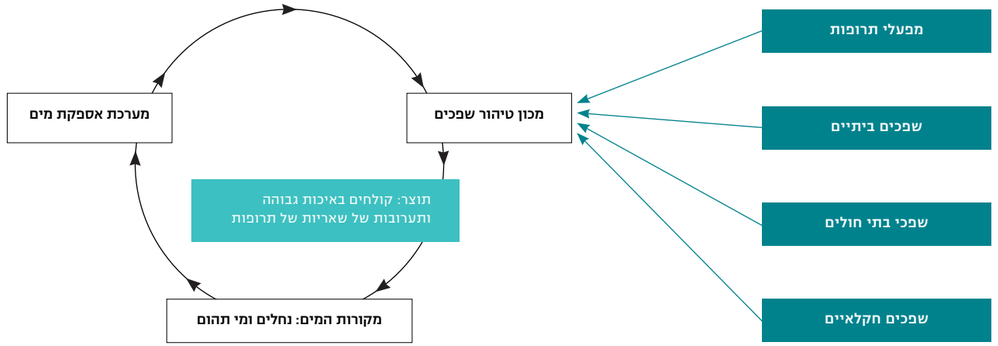
המים המגיעים לשפכים מכילים מרכיבי זיהום רבים שמקורם בשימוש הביתי, התעשייתי והחקלאי (איור 2). בניגוד למים שפירים, השפכים מכילים זיהומים אורגניים ואי־אורגניים בצורה מומסת או חלקיקית [2, 35]. השימוש החוזר בקולחים עשוי לגרום לזיהום של הקרקע והצומח, מקורות המים העיליים ומי התהום הסמוכים עקב הנוכחות של המרכיבים הכימיים הנוספים במים הממוחזרים [35].

ישראל כמובילה בעולם בשימוש בקולחים למעשה משמשת מעבדה חיה וראי לעולם כולו, ומחויבת לבחון את סוגיות השימוש הבלתי מוגבל בקולחים על היבטיו השונים.

לאורך השנים נעשו מחקרים רבים בארץ ובעולם שבחנו את הנזקים הפוטנציאליים לקרקעות ולצמחייה כתוצאה מהשקיה בקולחים המכילים ריכוזים גבוהים של מזהמים אי־אורגניים. נוסף על כך, נעשו מחקרים רבים על נוכחותם ועל השפעתם של מיקרו־מזהמים אורגניים שכיחים, כגון חומרי הדברה, מרכיבי דלק וכדומה. החומרים הללו, שהנזקים הסביבתיים והשפעות הלוואי שלהם על בריאות הציבור נחקרו, עומדים על סדר היום באופן השוטף, נמדדים, מנוטרים וכלולים בתקנות. לעומתם, קבוצות מיקרו־מזהמים אורגניים קשי פירוק, שמקורם בשאריות תרופות ובמוצרי קוסמטיקה שעלולים לסכן את בריאות הציבור, עדיין אינם נמדדים ואינם כלולים בתקנות.

מאמר זה ידון, על כן, בשאלות שמצביעות על הבעייתיות הקיימת בשימוש בקולחים ובחומרים שאינם נמדדים או כלולים בתקנות, ומהם צריך להיזהר: אילו מרכיבים נוספים קיימים בקולחים? מה ריכוזם? מה תוצרי הפירוק? מהי יציבותם הכימית? מה מידת רעילותם? מהי מידת ההשפעה שלהם על הסביבה המושקית? מה הם הפרמטרים הקיימים בתקנות המים? האם

איור 2. המקורות השונים של מזהמים לסביבה נמצאים בסביבות החיים השונות: במשק הבית, בתעשיית התרופות, בבתי חולים ובחקלאות [4]





מיצג 'מעריסה לקבר' במוזיאון הבריטי (British Museum) בלונדון. במיצג כ־14,000 כדורים ותרופות בצורות שונות - מספר מנות התרופה שנוטל אדם בריטי ממוצע במהלך חייו | באדיבות Health Gauge, פליקר CC BY 2.0

הם מספקים בהקשר של מים ממוחזרים? האם הפרמטרים הנבדקים אכן מייצגים הגדרה של קולחים באיכות גבוהה?

מהם המרכיבים הנוספים הקיימים בקולחים? מהו ריכוזם?

השפכים המגיעים למתקני הטיפול מכילים, בין השאר, גם חומרים אורגניים קשי פירוק, כלומר חומרים המאופיינים בקשרים כפולים ובטבעות ארומטיות שפריקותן הביולוגית מוגבלת. שאריות של תרופות הן דוגמה לחומרים יציבים (persistent compounds) שכאלה. לאחר צריכת תרופה, מופרש חלק עיקרי (כ־90%) מהחומר הפעיל של התרופה ונשטף מהגוף, בעיקר מהשתן, ישירות לשפכים, בעיקר בצורתו המקורית (כחומר האֵם), ואף כתוצר פירוק של חומר המקור.

תהליכי הטיפול המקובלים בשפכים כוללים טיפול ראשוני המבוסס בעיקר על סינון ושיקוע, טיפול שניוני שמבוסס על פירוק ביולוגי, טיפול שלישוני המבוסס בעיקר על סינון וחיטוי ולעיתים אף טיפול מתקדם המבוסס על יישום טכנולוגיות מתקדמות לפירוק חומרים ייעודיים. הטיפול השניוני, שהוא השלב העיקרי בהרחקת החומר האורגני המומס, עשוי להרחיק יותר מ־90% מהחומרים האורגניים קלי הפירוק, הנמדדים כצח"ב (צריכת חמצן ביוכימית, BOD) [2]. התוצר, "הקולחים", המאופיינים על פי הפרמטרים המסורתיים (שנכללים בתקנות), נחשב קולחים באיכות גבוהה ביותר.

מחקרים הראו כי בתהליך הביולוגי (השניוני) של טיהור השפכים, חומרים קשי פירוק, כגון שאריות תרופות, אינם מתפרקים בצורה יעילה. כדי להעריך מהי תכולתם הפוטנציאלית של חומרים רפואיים שנצרכו והופרשו למערכות טיפול השפכים, נבדקו נתוני הצריכה של חומרים רפואיים שונים. תרופות שונות, כגון carbamazepine לטיפול בהתקפים אפילפטיים ו־diclofenac, חומר נוגד דלקת שאינו סטרואידי, מזוהות ונמדדות בכל השפכים והקולחים בעולם, וצריכתן מוערכת באלפי טונות בשנה [37]. ראוי לציין כי שאריות של תרופות אלה ואחרות ורבות, המוגדרות כקשות פירוק על אף הצריכה הגבוהה, נמדדות בקולחים עירוניים בריכוזים הנעים בין ננו־גרמים ספורים לליטר ועד מק"ג בודדים [21, 31, 37].

תוצרי הפירוק – מהי יציבותם הכימית? מה מידת רעילותם?

על אף יציבותן הכימית של שאריות התרופות, חלק מהן עשוי לעבור תהליך פירוק בשפכים [34]. נוסף על כך, תהליכי פירוק אלה מתקיימים באופן טבעי כתוצאה מחשיפה לקרינת השמש, כתגובה לרמת ההגבה (pH) של השפכים או בשילוב עם מרכיבים אורגניים נוספים במים [17, 19]. שינויים בהרכב הקולחים ישפיעו באופן שונה על תהליכי הפירוק, כך שבתנאים מסוימים תתפרק מולקולת האֵם בהעדפה לתוצר אחד ובמקרים אחרים בהעדפה לתוצר שונה, עובדה שמקשה אף יותר על יכולת הניטור והמדידה של תוצרי הפירוק [17, 16].

אמוקסיצילין הוא החומר הפעיל של האנטיביוטיקה הנצרכת

ביותר בעולם המערבי. עם זאת, מולקולה זו לא נמדדה וזוהתה כלל בשפכים ובקולחים. נמצא כי האמוקסיצילין עובר הידרוליזה במגע עם המים. למעשה, בעקבות פתיחת הטבעת הבתא לקטמית לטבעת מחומשת משתנֶה "הפרצוף הכימי", ונוצר תוצר פירוק לא יציב ולא רעיל הנקרא דיקטופפרזין [17, 18, 21]. מולקולת פירוק זו מתפרקת אף היא למספר תוצרי פירוק, שרובם לא עמידים ולא רעילים, מלבד תוצר פירוק המכונה בספרות [16, 21] ADP3 (נספח 1, באתר כתב העת). הוא הוגדר על־ידי החוקרים כחומר יציב ופעיל ביולוגית, ולמעשה הוא הנציג של האמוקסיצילין בסביבה. יתר על כן, מולקולה זו נמדדה במגוון מקורות מים עיליים ותחתיים כתוצר הפירוק, שלמעשה, מייצג את מולקולת האֵם, האמוקסיצילין. התיאור לעיל מלמד על השינוי שמולקולות עשויות לעבור במהלך מסען בסביבה, ועל הקושי לזהות את הנציג או הנציגים (תוצרי הפירוק) היציבים, שייתכן שגם הם רעילים.

כאמור, תוצרי הפירוק רבים, מגוונים, ועשויים להיות יציבים (כימית) יותר ממולקולות האֵם [18]. היציבות שלהם מדאיגה במיוחד כשהם יוצרים מבנה כימי פעיל, שעשוי להיות רעיל, ויכולים לסכן את בריאותם של בני אדם ובעלי חיים הנחשפים אליהם, ואף להוביל להתפתחות של חיידקים עמידים במקרה של תוצרי פירוק אנטיביוטיים [17, 21]. תוצרי פירוק פעילים עלולים להיווצר גם בטיפול יזום של חִמצון מתקדם, המוצע כיום כפתרון מועדף לטיפול בשאריות התרופות. לפיכך, החשיבות של לימוד תהליכי הפירוק בתנאים שונים, ניטור ומדידה של תוצרים אלה, רבה [17].

יציבותן של שאריות תרופות ושל תוצרי הפירוק שלהן עשויה להוביל לחלחול של חומרים אלה לסביבה עם הקולחים, כנגר או נקז. בדרך זו הם מתערבבים עם מקורות המים העיליים והתחתיים



מכון טיפול בשפכים בלב שדות מוריקים בבקעת כסלות
| צילום: יוסף אבו ראס, מתוך אתר פיקיוויקי

הסמוכים, בייחוד מתחת לאזורים חקלאיים [5, 37].

קשה מאוד לזהות ולמדוד את הנוכחות של כל תוצרי הפירוק בסביבה עקב היותם חומרים לא מזוהים כלל (ללא שם והגדרה כימית). עובדה זו מובילה לכך שהידע הקיים ברשותנו מועט, כך שישנם למעשה עשרות ומאות חומרים לא מזוהים ולא מדידים כלל בסביבות המימיות (aquatic) השונות [21, 36]. השאלה הגדולה שמעסיקה חוקרים רבים בתחום היא מה מידת רעילותם והשפעתם של תוצרי פירוק אלה על הסביבה, ומה מידת השפעתם על בריאות הציבור [2]. כיוון שאנו מודעים לכך שחומרים אורגניים מומסים ויציבים אלה ותוצרי פירוקם אינם עוברים מינרליזציה למים ולפחמן דו־חמצני במהלך הטיפולים הייעודיים (שניוני, שלישוני ומתקדם), ישנה חשיבות רבה לבדיקת רעילותם של מי תוצר הטיפול.

מהי מידת ההשפעה של שאריות תרופות ותוצרי פירוקן על הסביבה המושקית?

השקיה בקולחים ודישון בבוצת שפכים (קומפוסט בוצה) הן שיטות מקובלות בסביבה החקלאית. בישראל כ־50% מסך ההשקיה בחקלאות היא השקיה בקולחים [27]. ייצור בוצת שפכים בארה"ב ובאירופה עומד על כ־7.2 ו־4.7 מיליוני טונות חומר יבש בשנה, בהתאמה, וכ־50% מכלל ייצור זה משמש חומר דשן בחקלאות [7, 12].

מרגע הגעת החומרים הרפואיים לסביבה החקלאית, אם על־ידי השקיה בקולחים או דישון בקומפוסט בוצה, יכולים להתרחש מספר תהליכים שיקבעו את גורלם בסביבה. תהליכים אלה כוללים תהליכי פירוק והתמרה [20]; תהליכי ספיחה ושחרור מהפאזה המוצקה בקרקע; תנועה לעבר מי תהום [29]; קליטה בצמחים [8, 15, 26]. תהליכים אלה תלויים בעיקרם בתכונות הכימו־פיזיקליות של החומרים הרפואיים, במטען המולקולה כתלות במדד ה־pKa (קבוע הפירוק מבוסס pH), בערך החלוקה אוקטנול מים (Kow) ובתכונות הקרקע, כגון ערך ההגבה ותכולת החומר האורגני.

בתהליך קליטת החומרים על־ידי צמחים שהושקו בקולחים, שאריות תרופות וגם תוצרי פירוקן עוברים שחלוף מהשורשים, לעלים ולפרי, ומצטברים בהם [8, 15, 26]. התוצרת החקלאית (פירות, עלים או שורשים) משווקת למאכל אדם ללא מגבלות.

בתהליך אחר יכולות שאריות התרופות לשמש לחילוף החומרים של הצמח ולהפוך לחומר שונה על־ידי הסרה של קבוצה תפקודית או על־ידי הוספת מולקולה אחרת, וכך לשנות את התכונות הכימיות של החומר הרפואי. במקרה כזה, נוסף על החשיבות בהכרת תוצרי הפירוק של שאריות התרופות, חייבת להיות גם הבנה מעמיקה של תהליכי חילוף החומרים בצמח [8, 11]. נוסף על כך, נמצא כי בבוצת קומפוסט המשמשת לדישון חקלאי בשדות, קיימים ריכוזים גבוהים (מק"ג לק"ג) של חומרים

רפואיים כדוגמת הורמונים ואנטיביוטיקות (מקרולידים). חומרים אלה מאופיינים בערכי חלוקה (Kow) גבוהים, כלומר, הם העדיפו את הפאזה המוצקה על הפאזה הנוזלית. חומרים רפואיים אלה שפוזרו בשדות, עשויים בתנאים מסוימים לעבור שחרור (desorption) ולהגיע לרקמות הצמח (גידול חקלאי) או לחלחל למי התהום [31, 33].

שאריות התרופות מהקולחים, שלא נקלטו בצמחים, עלולות לחלחל מהשטח החקלאי למי התהום, ולהישאב עם המים בבארות [5, 21]. צריכה עקיפה של תרופות דרך מים ומזון מזוהמים באופן בלתי מודע ובלתי מבוקר עלולה ליצור תגובות אלרגיות נרחבות וכשלים בריאותיים נוספים בקרב הציבור ולפגוע בבריאותו [11].

מהם הפרמטרים המתוקנים בתקנות המים? האם הפרמטרים הנבדקים אכן מייצגים הגדרה של קולחים באיכות גבוהה?

בדיקות מלאות לאיכות כימית מתבצעות באופן תדיר בקולחים בכל המתקנים הגדולים בישראל, כמו במדינות מפותחות רבות אחרות. נוסף על כך, מתבצעות בדיקות איכות כגון צח"ב, כלל מוצקים מרחפים (TSS) ועוד, המעידות על רמת הטיפול במט"שים [2, 9, 10]. בשנת 2007, בעקבות פעילות ועדת התקינה – תקן איכות קולחים ("ועדת ענבר"), אוחדו תקני איכות הקולחים עם היבטי תברואה וסביבה להתאמת קולחים להשקיה ולהזרמה בנחלים, ושולבו עם תקנים לאיכות הבוצה הנוצרת מהטיפול במט"שים. למרות ההתייחסות לפרמטרים רבים לניטור, החליטה הוועדה המתקנת לא לכלול בינתיים מיקרו־מזהמים אורגניים, כגון שאריות תרופות, לא בניטור ולא במעקב [2]. מצב זה דומה למצב בשאר העולם [13] – למעט ניטור וניסיון לטפל ברמה לאומית בשאריות אנטיביוטיקה במספר מט"שים בשווייץ [32] אין התייחסות באסדרה (regulation) למיקרו־מזהמים דוגמת שאריות תרופות. למעשה התייחסות המאסדר בישראל באשר לשאריות תרופות היא, עדיין, כאל "חומרים שקופים". משמעותה, למעשה, היא שקולחים המכילים תערובת של חומרים רפואיים קשי פירוק רבים, ואין־ספור תוצרי פירוק, עדיין נחשבים על פי חוק כקולחים באיכות גבוהה, ומותרים לכל שימוש בסביבה.

כפי שהוזכר קודם לכן, שאריות תרופות ותוצרי הפירוק שלהן נמצאים בקולחים, אולם לא מנוטרים, לא נמדדים ולא נקבע להם תקן. כאמור, מחקרים רבים מעידים על כך שחומרים אלה מזהמים את הקרקעות, את התוצרת החקלאית, את מקורות המים השונים, מגיעים אל משקי הבית, ונצרכים באופן שוטף ובלתי מודע. ההשלכות הבריאותיות והסכנות נמצאות עדיין בשלבי מחקר ראשוניים, אך כבר ברור ש"מרק" של חומרים רפואיים שעשויים לקיים תהליכי אֶגְבּוּר (synergy) בינם לבין עצמם ובכך להגביר את אפקט הרעילות של התמיסה, צריכים ואף חייבים לעורר סימני אזהרה, ויש לדרוש תהליכי מניעה והתייחסות של המאסדר. מכאן, שהגדרת הקולחים כאיכות גבוהה פשוט איננה אמינה.

לאן מכאן?

לנוכח המצב שהוצג, לא מן הנמנע שבשנים הקרובות תתווסף הדרישה למדידה, למעקב ולטיפול במיקרו־מזהמים אורגניים, הכוללים שאריות תרופות, במט"שים עצמם, ואף במוצא השפכים כאשר מדובר בתעשייה או בבתי חולים [13]. טיפול במקור הוא טיפול ממוקד במיקרו־מזהמים מסוימים תוך הפרדת זרמים ובנפחים קטנים, ועל כן הוא יעיל יותר וזול יותר.

כפי שהוזכר, הקושי העיקרי בפירוק החומרים הללו נובע מהמבנה הכימי שלהם. החומרים הללו מתפרקים באופן חלקי בתהליך הפירוק הביולוגי המקובל במט"שים, כך שבפועל, החומרים הרפואיים נוכחים כתערובת בקולחים לאחר טיפול שניוני ושלישוני, שמשמשים מקור השקיה עיקרי. בעיה זו אינה נסתרת מעיני המדענים העוסקים בתחום, ומשום כך, מספר קבוצות מחקר בארץ ובעולם מפתחות בשנים האחרונות שיטות משולבות לפירוק ולהרחקה של חומרים רפואיים במוצא הקולחים (במט"ים) ובמקורות הזיהום עצמם (מפעלים ובתי חולים). הפתרונות מתמקדים במספר היבטים טכנולוגיים, אך בעיקר בפיתוח ובמיטוב של תהליכי חמצון מתקדם (AOPs – Advanced Oxidation processes) שנמצאו יעילים ביותר לטיפול בבעיה.

עיקרון הפעולה של תהליכי החמצון המתקדמים הוא הרס (destructive process) של הקשרים הכפולים בחומרים קשי הפירוק, תוך שימוש במנגנוני פירוק ישירים בעיקר אך גם עקיפים, על־ידי רדיקלי הידרוקסיל (OH•) [14]. בסיום תהליך זה ובהתאם לריכוזי המזהמים ולריכוז המחמצנים, הנוזל המטופל (קולחים) מכיל את תוצרי הפירוק של מולקולות האֵם, המאופיינים במבנים כימיים פשוטים יותר, ולכן גם בפריקות ביולוגית גבוהה יותר, שמאפשרת פירוק ביולוגי יעיל ומהיר של התוצרים.

ראוי לציין כי תהליכים אלה, הנחשבים יעילים וידידותיים לסביבה [28], הראו לאחרונה תוצאות מבטיחות ביישום הטכנולוגיה במט"שים [6, 21–24, 38], במפעלי תעשיית התרופות [25] ובבתי חולים [4] במספר מחקרים ומחקרי חלוץ שנעשו בישראל, והדגימו באופן מעשי את היכולת לייצר קולחים שלישוניים נטולי מיקרו־מזהמים.

מודעות

בנסיבות שתוארו לעיל חשוב מאוד לעורר את המודעות ולתת הערכות סיכונים אפשריים מול העלויות הדרושות לתיקון ולאכיפה [30]. לנוכח המחקרים הרבים שנעשו בעניין, היכולת לגבש את ההערכות הללו אפשרית גם בהיבט של זיהוי ומדידה של מיקרו־מזהמים אורגניים, וגם בהיבט של דרכי הטיפול והפירוק שלהם. לדעת הכותבים, המדיניות של התייחסות לחומרים

שנוכחותם בקולחים ידועה כבר מספר שנים, כאל חומרים שקופים, אינה נכונה וכמוה כעצימת עיניים, וזאת בעיקר עקב היות מדינת ישראל מעצמה בשימוש חוזר בקולחים להשקיה חקלאית. נוח מדי להסתתר מאחורי טענות, שטרם הוכחו, כי ריכוז החומרים הללו נמוך והסיכוי שיהוו סכנה בריאותית קטן. טענה זו טרם הוכחה או נבדקה כראוי, בעיקר בגלל מחסור במחקרים הבוחנים את מידת הנזק הבריאותי. נוסף על כך, ראוי לזכור כי תרופות אלה הן חומרים כימיים סינתטיים שלא אמורים להיות נוכחים כלל במים. חומרים אלה נמצאים בקולחים כתערובת, "מרק" של חומרים רפואיים ותוצרי פירוקם. הקולחים, כאמור, מכילים הרבה מאוד חומרים כאלה בריכוזים נמוכים, אך כתערובת, ומעט מדיי ידוע לנו, עדיין, על הסכנות הבריאותיות שעשויות להיגרם מכך.

הכרת קבוצות של תרופות הנמצאות בשימוש נרחב וכן תוצרי פירוקן הרבים והלא מוכרים, במקביל לפיתוח שיטות המדידה שלהם, זיהוי המגבלות האנליטיות, ובחינת השפעת תערובות של חומרים אלה על בריאות הציבור והסביבה, הם שלבים הכרחיים בגיבוש תקנות חדשות להגבלת ריכוז המזהמים הללו במקורות מים ובקולחים [19]. הפיכת שפכי בתי חולים לשפכים תעשייתיים המחויבים לטיפול במקור, דרישה ואכיפה של טיפול ראוי בשפכי תעשיית התרופות וחקיקה מפורשת וברורה באשר לרמות המותרות של מיקרו־מזהמים אורגניים בקולחים הכרחיות כדי ליישם באופן יעיל שיטות טיפול המוצעות להרחקתם. כך ניתן יהיה לייצר קולחים שבאמת יתאפשר לכנותם 'קולחים באיכות גבוהה', המתאימים לכל ייעוד ומטרה וניתן לעשות בהם שימוש ללא כל הגבלה. קולחים באיכות משופרת לאחר שימוש בטכנולוגיות מתקדמות הם היעד שמדינת ישראל צריכה לשאוף אליו, כמובילה בהתרת השימוש בקולחים כמקור עיקרי להשקיה חקלאית.

מקורות

[1] בר־אלי א. 2017. ישראל מתייבשת, אבל כבר לא מתרגשת מזה. דה־מרקר.

[2] גרוסמן ל ורורמן א. 2007 זיהוי ואפיון מזהמים אורגניים רעילים בקולחים להשקיה. משרד הבריאות, המעבדה הארצית לבריאות הציבור.

[3] כהן א, פיימן ד, ישראלי מ וקולר נ. 2016. איסוף וטיפול בשפכים וניצול קולחים להשקיה חקלאית. רשות המים.

[4] Avisar D. 2016. Technologies for water treatment and reuse: Advanced oxidation processes (AOP). City of Knowledge Academic Center, Annual Conference, Wastewater Management; Panama.

[5] Avisar D, Lester Y, and Ronen D. 2009. Sulfamethoxazole contamination of a deep phreatic aquifer. *Science of the Total Environment* **407**: 4278-4282.

[6] Avisar D, Lester Y, and Mamane H. 2010. pH induced polychromatic UV treatment for the removal of a mixture of SMX, OTC and CIP from water. *Journal of Hazardous Materials* **175**: 1068-1074.

[7] Beecher N, Crowford K, Goldstein N, et al. 2007. A national biosolids regulation, quality, end use and disposal survey. USA: NIH.

[8] Ben-Mordechay E, Chefetz B, Tarchitzky J, et al. 2017. Effects of composted biosolids and treated wastewater on uptake and translocation of pharmaceuticals: Lettuce as a case study. 16th International Conference on Chemistry and the Environment. 18-22 June 2017; Oslo.

[9] Bower H. 2000. Groundwater problems caused by irrigation with sewage effluent. *Journal of Environmental Health* **63**: 17-20.

[10] Carr RM, Blumental UJ, and Mara DD. 2004. WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater (2-Wastewater use in agriculture). World Health Organization.

[11] Christou A, Agüera A, Bayona JM, et al. 2017. The potential implications of reclaimed wastewater reuse for irrigation on the agricultural environment: The knowns and unknowns of the fate of antibiotics and antibiotic resistant bacteria and resistance genes – A review. *Water Research* **123**: 448-467.

[12] Eurostat. Sewage sludge production and disposal from urban wastewater (in dry substance (d.s)). 2016. www.tinyurl.com/eurostat-sewage-sludge.

[13] Gerrity D and Snyder S. 2011. Review of ozone for water reuse applications: Toxicity, regulations, and trace organic contaminant oxidation. *Ozone: Science and Engineering* **33**: 253-266.

[14] Glaze WH, Kang J, and Chapin DH. 1987. The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation. *Ozone: Science and Engineering* **9**: 335-352.

[15] Goldstein M, Shenker M, and Chefetz B. 2014. Insights into the uptake processes of wastewater-borne pharmaceuticals by vegetables. *Environmental Science and Technology* **48**: 5593-5600.

[16] Gozlan I, Koren I, and Avisar D. 2016. Identification, mechanisms and kinetics of macrolide degradation product formation under controlled environmental conditions. *Journal of Environmental Analytical Chemistry* **3**: 2380-2391.

[17] Gozlan I, Rotstein A, and Avisar D. 2010. Investigation of an amoxicillin oxidative degradation product formed under controlled environmental conditions. *Environmental Chemistry Letters* **7**: 435-442.

[18] Gozlan I, Rotstein A, and Avisar D. 2013. Amoxicillin-degradation products formed under controlled environmental conditions: Identification and determination in the aquatic environment. *Chemosphere* **91**: 985-992.

[19] Gozlan I, Rotstein A, and Avisar D. 2014. Carboplatin-degradation products formed under deliberated and non-deliberated laboratory experiments: Structural elucidation. *Water, Air, and Soil Pollution* **225**: 1-12.

[20] Grossberger A, Hadar Y, Borch T, and Chefetz B. 2014. Biodegradability of pharmaceutical compounds in agricultural soils irrigated with treated wastewater. *Environmental Pollution* **185**: 168-177.

[21] Lamm A, Gozlan I, Rotstein A, and Avisar D. 2009. Detection of amoxicillin-diketopiperazine-2', 5' in wastewater samples. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* **44**: 1512-1517.

[22] Lester Y, Avisar D, and Mamane H. 2010. Photodegradation of the antibiotic sulphamethoxazole in water with UV/H2O2 advanced oxidation process. *Environmental Technology* **31**: 175-183.

[23] Lester Y, Avisar D, and Mamane H. 2013. Ozone degradation of cyclophosphamide – Effect of alkalinity and key effluent organic matter constituents. *Ozone: Science and Engineering* **35**: 125-133.

[24] Lester Y, Mamane H, and Avisar D. 2012. Enhanced removal of micropollutants from groundwater, using pH modification coupled with photolysis. *Water, Air, and Soil Pollution* **223**: 1639-1647.

[25] Lester Y, Mamane H, Zucker I, and Avisar D. 2013. Treating wastewater from a pharmaceutical formulation facility by biological process and ozone. *Water research* **47**: 4349-4356.

[26] Malchi T, Maor Y, Tadmor G, et al. 2014. Irrigation of root vegetables with treated wastewater: Evaluating uptake of pharmaceuticals and the associated human health risks. *Environmental Science and Technology* **48**: 9325-9333.

[27] Navon R, Hernandez-Ruiz S, Chorover J, and Chefetz B. 2011. Interactions of carbamazepine in soil: Effects of dissolved organic matter. *Journal of Environmental Quality* **40**: 942-948.

[28] Oturan MA and Aaron J. 2014. Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: Principles and applications. A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* **44**: 2577-2641.

[29] Paz A, Tadmor G, Malchi T, et al. 2016. Fate of carbamazepine, its metabolites, and lamotrigine in soils irrigated with reclaimed wastewater: Sorption, leaching and plant uptake. *Chemosphere* **160**: 22-29.

[30] Scott CA, Faruqui NI, and Raschid-Sally L. 2004. Wastewater use in irrigated agriculture: Confronting the livelihood and environmental realities. Canada: CABI.

[31] Shafrir M and Avisar D. 2012. Development method for extracting and analyzing antibiotic and hormone residues from treated wastewater sludge and composted biosolids. *Water Air Soil Pollution* **223**: 2571-2587.

[32] Swiss Federal Council. 2016. Strategy on antibiotic resistance. www.tinyurl.com/antibiotic-resistance-strategy.

[33] Tenenbaum I, Chefetz B, and Avisar D. 2014. Physicochemical behavior of tetracycline and 17α-ethinylestradiol with wastewater sludge-derived humic substances. *Water Air Soil Pollution* **225**: 1-11.

[34] Wang J and Wang S. 2016. Removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from wastewater: A review. *Journal of Environmental Management* **182**: 620-640.

[35] WHO. 2006. WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater (1- Policy and regulatory aspects). Geneva: World Health Organization.

[36] Yin L, Wang B, Yuan H, et al. 2017. Pay special attention to the transformation products of PPCPs in environment. Emerging Contaminants. www.doi.org/10.1016/j.emcon.2017.04.001. (in press).

[37] Zhang Y, Geissen S, and Gal C. 2008. Carbamazepine and diclofenac: Removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. *Chemosphere* **73**: 1151-1161.

[38] Zucker I, Mamane H, Cikurel H, et al. 2015. A hybrid process of biofiltration of secondary effluent followed by ozonation and short soil aquifer treatment for water reuse. *Water Research* **84**: 315-322.



מחזור קולחים להשקיה חיוני בתנאים השורדים בישראל, אם כי ממצאים כגון אלה שבמאמר מחייבים דיון מקצועי וציבורי בדבר אופן השימוש העתידי בקולחים להשקיה | צילום: גפן רונן־אלירז



תחנת כוח הידרואלקטרית בקוויבק (קנדה). הישענות משק האנרגיה של קוויבק על אנרגיה נקייה (98% מהאנרגיה מיוצרת ממקורות מתחדשים) מאפשרת לספק מים לצרכנים תוך פליטה מועטה יחסית של גזי חממה | צילום: Boucheck, מאתר ויקימדיה

ההשפעות הסביבתיות של שימוש במים בישראל לפי מתודולוגיית ניתוח מחזור חיים

נועה מירון [1]* וורד בלאס [2]

[1] בית הספר ללימודי הסביבה ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל־אביב
[2] הפקולטה לניהול על שם קולר, אוניברסיטת תל־אביב
* noastern1@post.tau.ac.il

ישראל ידועה כאחת המדינות המובילות בעולם בפיתוח טכנולוגיות מים מתקדמות ובשימוש בהן וביכולתה לספק מים בכל רחבי הארץ באיכות גבוהה על אף מיעוט המים הזמינים בשטחה. העלות הכלכלית של צריכת מים בישראל ושל שימוש במים מותפלים לעומת מים שפירים ידועה ומובאת בחשבון הן על־ידי מקבלי ההחלטות הן על־ידי הצרכנים. לעומתה, המשמעות הסביבתית של המערכת המורכבת שאחראית על אספקת המים בישראל עדיין נמצאת בסימן שאלה גדול.

ניתוח מחזור חיים (LCA) הוא אחת השיטות המקיפות והמובילות להערכת ההשפעות הסביבתיות של ייצור מוצרים ושירותים ושימוש בהם לאורך מחזור חייהם המלא החל בהפקת חומרי הגלם והייצור, דרך השימוש וכלה בסיום החיים. תוצאות ניתוחי מחזור החיים משמשות לזיהוי ולהעדפה של טכנולוגיות, תהליכים, מוצרים או שירותים בעלי השפעה סביבתית נמוכה יותר.

תהליך ניתוח מחזור החיים כולל: מיפוי של כלל התהליכים במהלך מחזור חיי המוצר; חישוב המלאים על־ידי מיפוי מקיף וכימות של כל החומרים והמשאבים שמשמשים לאורך מחזור החיים ושל כל נתוני הפסולות והפליטות; ניתוח ההשפעות הסביבתיות: המרת המצאי להשפעות סביבתיות בחלוקה לקטגוריות שונות, כגון: פוטנציאל פליטות גזי חממה (GWP), פוטנציאל החמצה של הסביבה (acidification) ופוטנציאל העתרה (eutrophication) של הסביבה הימית. לכל השלבים נעשים ניתוחי רגישות ואי־ודאות.

במחקר שערכו המחברות ומתואר כאן בוצע ניתוח מחזור החיים של מערך אספקת המים בישראל לשנים 2011–2012. במחקר ניסינו לבחון את כלל ההשפעות הסביבתיות של מערך המים בישראל ולהשוות אותן להשפעות במקומות שונים בעולם. הבחינה וההשוואה אפשרו זיהוי והעדפה של מנגנונים, טכנולוגיות, תהליכים, מוצרים או שירותים בעלי השפעה סביבתית נמוכה

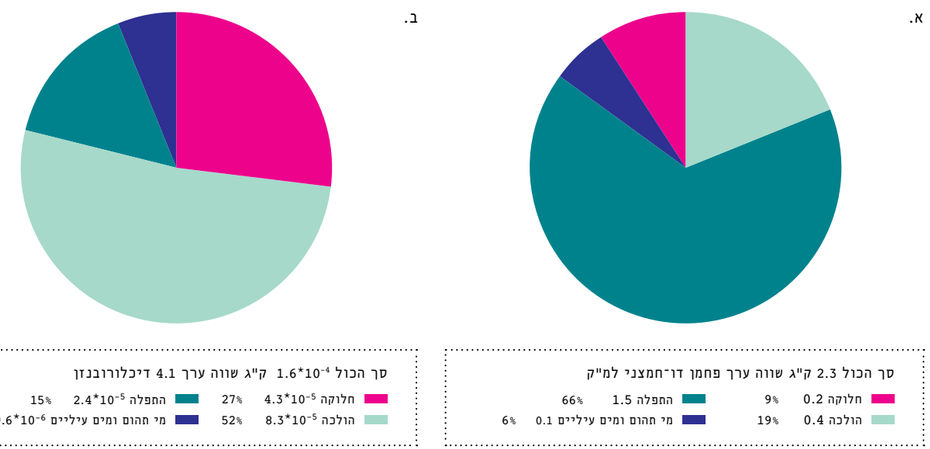
יותר. במסגרת המחקר נאספו נתוני איכות וכמות של המים לאורך כל שרשרת האספקה, השאיבה וייצור המים, הטיפול והאספקה, והחלוקה. כמו כן, נאספו נתונים תפעוליים, ובהם צריכת אנרגיה, כימיקלים וחומרי בנייה, וכן כמויות פסולת ושפכים. נתונים חסרים הושלמו על־ידי אומדנים. חלק ניכר מהנתונים נאספו מרשות המים, ממקורות ומחֶשְׁבּוֹן הלוויין של המים של הלמ"ס, אך התהליך היה מאתגר בגלל עבודה מול מספר רב של גופים, פרטיים וציבוריים, עם מגוון פעילויות שונות. כדי לייצג את פעילות תאגידי המים הרבים נבחרו שמונה תאגידים שהמידע נאסף מהם. מידע ישן לגבי מבנים ותשתיות שוחזר בעזרת מומחים מהתחום. קשיים נוספים כללו הערכות להיקף העבודה שנעשית על־ידי קבלנים ולכן מתבצעת ללא מעקב מדויק, או הערכות הנתונים התפעוליים של גופים פרטיים ששיתפו מידע חלקי מסיבות מסחריות.

באופן לא מפתיע נמצא **שהגורם הראשון בתרומתו להשפעות הסביבתיות של אספקת המים בישראל בשנים 2011–2012 הוא צריכת החשמל בתהליך ההתפלה** (המספק כ־40% מהמים השפירים ברשת המים הארצית), אך הניתוח המקיף (איור 1) מציג תמונה מורכבת. ההשפעות של ההתפלה גבוהות מאוד, אבל בעוד שסביר להניח שתהליך ההתפלה עבר מיטוב טכנולוגי משמעותי, קשה לומר אותו דבר על הולכת המים. חלק מתשתית ההולכה בת יותר מ־50 שנה, והולכת המים תורמת לכ־20% מסך פליטות גזי החממה ולכ־50% מ־"רעילות המערכת האקולוגית היבשתית" (Terrestrial Ecotoxicity, לדוגמה – הרעילות שנובעת מהכימיקלים המשמשים בתהליך ייצור צינורות פלדה, ומזהמת את האדמה והחי או הצומח עליה).

ניתוח כולל ומקיף וניתוח רגישות ברמת המערכת כולה מאפשר תכנון מיטוב מערכתי: לדוגמה, ניתן להשוות הקמת תשתית הולכה מאזורים עתירי מים לאזורים סמוכים עם מצוקת מים. תשתית כזו תאפשר גמישות בשימוש במתקני התפלה ואף תצמצם את הצורך בקיבולת התפלה נוספת. אחד האתגרים החשובים של קובעי המדיניות הסביבתית בשנים הקרובות הוא התמודדות עם ההשפעות הסביבתיות של ייצור החשמל שיתבסס ברובו על גז טבעי ועל אנרגיות מתחדשות. הירידה בהשפעות הסביבתיות של ייצור החשמל תעלה למודעות השפעות שכיום נחשבות משניות ביחס לפליטות מייצור חשמל (לדוגמה, צמצום השפעות של ייצור הבטון המשמש להקמת מאגרי מים על־ידי תכנון מיטבי של מאגרי המים ושימוש בחומרים חלופיים לבטון).

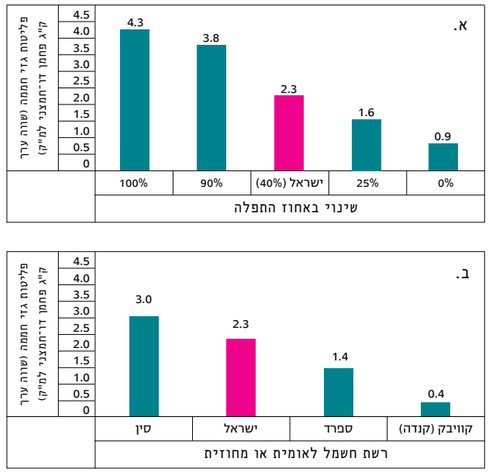
בהשוואה בין ישראל ל־27 מדינות או מחוזות אחרים, נמצא כי במרבית הקטגוריות הסביבתיות **ההשפעות של מערך המים בישראל גבוהות במידה ניכרת מזו של רוב המערכות שנערך בהן מחקר דומה**. לדוגמה, סך פליטות גזי החממה ממערכת אספקת המים של ישראל בראיית מחזור חיים הוא 2.3 ק"ג שווה ערך פחמן דו־חמצני למ"ק, ואילו טווח התוצאות מהמקרים שלא היה בהם שימוש בהתפלה היה 0.17–1.1 שווה ערך ק"ג פחמן דו־חמצני למ"ק [2]. ניתן לתלות זאת בראש ובראשונה בצריכת האנרגיה הגבוהה של ההתפלה, אבל ניתוח רגישות של תמהיל האנרגיה ברשת מציג תמונה מורכבת יותר. שימוש נרחב באנרגיות

איור 1. פליטות גזי חממה (א) ורעילות המערכת האקולוגית היבשתית (ב) של מערכת אספקת המים בישראל, ב־2012, (עבור מ"ק מי ברז) והתרומה באחוזים של תתי־המערכות



מתחדשות יכול להקטין את ההשפעה ב־83% מ־2.3 ל־0.4 שווה ערך ק"ג פחמן דו־חמצני למ"ק (איור 2), טוב יותר אפילו מהמצב לו היו מפסיקים להתפיל מים בישראל!

חשוב לזכור שלהשפעות הסביבתיות של מים יש משקל משמעותי בהערכת ההשפעה הסביבתית של מוצרים ישראליים שונים לאורך חייהם, בייחוד אלה שמצריכים שימוש אינטנסיבי במים בזמן הייצור או בזמן השימוש (כמו בתעשיית המזון). לכן, השימוש בתוצאות ניתוח מחזור החיים של מים על בסיס נתונים מארצות אחרות (לדוגמה משווייץ, שמקובל לקחת ממנה נתונים כאלה) כבסיס לחישוב ניתוח מחזור החיים של מוצרים בארץ עלול להוביל לסטיות גדולות, ובעקבות זאת למדיניות שגויה, בייחוד ביחס למוצרים שמרכיב השימוש במים בהם גבוה יחסית [1].



איור 2. פליטות גזי החממה ממערכת אספקת המים בישראל בשינוי אחוז ההתפלה (א) והשוואה רשת החשמל לרשתות חשמל של מדינות אחרות: סין (כ־78% מפחם וכ־19% מאנרגיה מתחדשת), ספרד (כ־50% מאנרגיה מתחדשת) וקוויבק, קנדה (כ־98% מאנרגיה מתחדשת) (ב)

מקורות

[1] Meron N. 2017. A new methodology for localization in Life Cycle Inventory (LCI); Using water supply systems as a case study (PhD dissertation). Tel-Aviv: Tel-Aviv University.

[2] Meron N, Blass V, Garb Y, et al. 2016. Why going beyond standard LCI databases is important: Lessons from a meta-analysis of potable water supply system LCAs. *The International Journal of Life Cycle Assessment* **21**(8): 1-14.

מדיניות משרד הבריאות לגבי השימוש בקולחים

זהר ברנט־יצחקי [1, 2], דוד ויינברג [1], תמר ברמן [1] ואיתמר גרוטו [3, 4]*

[1] המחלקה לבריאות הסביבה, שירותי בריאות הציבור, משרד הבריאות

[2] הפקולטה למדעי החיים והבריאות, המרכז האקדמי לב

[3] משרד הבריאות

[4] הפקולטה למדעי הבריאות, אוניברסיטת בן־גוריון בנגב

* itamar.grotto@moh.gov.il

החקלאות בישראל היא ענף כלכלי משמעותי. בשנת 2016 עמד ערך התפוקה החקלאית על כ־8.3 מיליארד ש"ח (מתוכם 7.17 מיליארד ש"ח של גידולים צמחיים) [1]. משאבי המים המוגבלים בישראל הביאו לפיתוח ולהטמעה של שיטות מְחזור שפכים בהיקפים יוצאי דופן, וכיום למעלה מ־80% מהשפכים בישראל מטוהרים, ו־50% מהשפכים עוברים טיפול שלישוני.

משרד הבריאות אחראי על אישור הקמת מכוני טיהור שפכים (מט"שים), על קידומם, על בקרה עליהם ועל המעקב אחריהם. נוסף על כך, אחראי המשרד גם על פיקוח על ההשקיה בקולחים ועל הנפקת היתרי ניצול קולחים.

במטרה למנוע סיכונים בריאותיים כתוצאה משימוש רחב היקף בקולחים להשקיה (כגון התפרצויות תחלואה ממיקרואורגניזמים פתוגניים) קבע משרד הבריאות כללים למתן היתרים להשקיה בקולחים. הכללים מגדירים את רמות הטיפול בשפכים (טיפולים שניוניים ושלישוניים) ומתייחסים גם לחסמים ולהגבלות לגבי השימוש בקולחים. חסמים והגבלות אלה כוללים: (א) ניתוק בין הקולחים למערכות מי שתייה; (ב) הרחקת הקולחים המשמשים להשקיה, מהתוצרת החקלאית. לדוגמה, קביעת מרחק מינימלי בין הקולחים לתוצרת החקלאית על פי שיטת ההשקיה או הגבלות על פרקי הזמן בין ההשקיה לקציר; (ג) קביעת דרישות לגבי התאמת איכות הקולחים לסוגי הגידולים השונים. למשל, גידולי תעשייה (כותנה, מספוא), גידולים המיובשים בשמש במשך 60 יום לפחות

(חֲמצה, חיטה) ועצי פרי ניתן להשקות בקולחים שניוניים, בעוד שקולחים שלישוניים ניתנים לשימוש בהשקיה ללא מגבלות [2, 3]. על פי התקנות יכולים קולחים להשקיה ללא מגבלות להכיל עד 10 קוליפורמים צואתיים ב־100 מ"ל. כמו כן, מוגבלים הריכוזים המותרים של חנקן (עד 35 מ"ג לליטר), נתרן (200 חלקים למיליון) ומתכות (לדוגמה: כספית עד 0.005 מ"ג לליטר, עופרת 0.25 מ"ג לליטר) [3].

כיום לא קיימות דרישות אסדרה לגבי הימצאות תרופות ומיקרו־מזהמים אחרים בקולחים המיועדים להשקיה בישראל. זאת ועוד, בישראל ובעולם קיימים פערי מידע רבים בתחום ההשקיה בקולחים, בדגש על מעבר פתוגנים דרך תוצרת חקלאית לאדם, מחסור בהיקף הערכת סיכונים לגבי מיקרו־מזהמים, אפקטים של אֶגבּוּר בין מזהמים שונים, וכן סיכונים הקשורים לעמידות לאנטיביוטיקה בקולחים. נוסף על כך, עלה צורך בהקמת מאגר נתונים מתכלל המכיל מידע מניטור כימי וביולוגי של שפכים ממקורות שונים (משקי בית, בתי חולים, משקי חי, תעשיות תרופות ותעשיות כימיות) לפני הטיפול במט"ש, במהלכו ואחריו, מידע הנוגע לעמידות לאנטיביוטיקה בקולחים, באדמה, בתוצרת החקלאית, בבתי חולים ובמשקי החי.

משרד הבריאות ממשיך לפעול לשיפור אמינות איכות הקולחים. המשרד, בשיתוף עם המשרד להגנת הסביבה ורשות המים, מקדם התוויית דרישות לגבי ריכוז תרכובות פרמצבטיות בשפכים ממפעלי תרופות. מפעלים המייצרים או מפתחים תרופות, נדרשים להגיש רשימה ובה כל התרופות והכימיקלים המשמשים אותם או המיוצרים במפעל, כך שניתן יהיה להתוות דרישות בדיקה עבור כל מפעל. המשרד אף שואף לפתח מנגנון שיעקוב אחר הטכנולוגיות המיטביות הזמינות (BAT) ויטמיען במט"שים העירוניים, וכן מנגנון שיבצע עדכון הערכות סיכונים אקוטיים (כמו הימצאות פתוגנים בקולחים) והערכות סיכונים כרוניים (למשל ממיקרו־מזהמים שונים). נוסף על כך, מקדם המשרד חיזוק כלי האכיפה המנהליים והמשפטיים בהיבטים בריאותיים וסביבתיים.

היבט נוסף שעשוי לשפר את איכות הקולחים ולמנוע סיכונים בריאותיים טמון ב"הפחתה במקור" של מזהמים בשפכים, כגון הימנעות של מפעלי תעשייה מהשלכה מיותרת של חומרים לשפכים, ביצוע רישום מושכל ומדויק של תרופות למטופלים (בדגש על אנטיביוטיקה) והחזרת תרופות שאינן בשימוש, מהציבור אל קופות החולים.

מקורות

[1] הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2016. החקלאות בישראל בשנת 2016. www.cbs.gov.il/reader/newhodaot/hodaa_template.html?hodaa=201707126.

[2] משרד הבריאות. 2002 (תאריך עדכון). דו"ח ועדת הלפרין. עקרונות למתן היתרים להשקיה בקולחים. www.health.gov.il/hozer/bsv_Halperin.doc.

[3] משרד הבריאות. 2010. תקנות בריאות העם (תקני איכות מי קולחין וכללים לטיהור שפכים), התש"ע–2010. www.health.gov.il/hozer/bsv_Halperin.doc.



גידול חוחובה בקיבוץ חצרים לצורכי הפקת שמן מן הפרי. הצמחים מושקים בטפטוף מי קולחים שמקורם בקיבוץ ובבסיס חיל האוויר הסמוך | באדיבות World Water Week, פליקר, CC BY 2.0

היבטים סביבתיים של צריכת מים מותפלים ושימוש בקולחים

מתן ישראלי [1, 4]*, אריאל כהן [1],
מני בן חור [2], דניאל קורצמן [2],
הראל גל [3] וגיא רשף [3]

[1] חטיבת מדע, רשות הטבע והגנים
[2] המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה,
מִנהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני
[3] האגף לאיכות מים, רשות המים
[4] הפקולטה למדעי החיים, אוניברסיטת בר אילן
* matanir@npa.org.il

בעשור האחרון מים מותפלים וקולחים הם מקורות מים מרכזיים במשק המים לצריכה ביתית וחקלאית. נפח המים שהופק בשנת 2015 ממתקני התפלת מי ים היה כ־70% מנפח המים שסופק לצרכנים הביתיים והתעשייתיים בישראל. בשנת 2015 נוצרו כ־520 מיליון מ"ק שפכים ביתיים, ש־94% מהם טופלו ברמה שניונית או שלישונית והפכו לקולחים. כ־87% מהקולחים מושבים להשקיה חקלאית [1]. היקף השטח המושקה במים מושבים עומד על כ־1.3 מיליון דונם, וכ־2/3 משטח זה מוגדרים כשטח בעל רגישות הידרולוגית נמוכה להשקיה בקולחים.

איכות מי הקולחים מושפעת מאיכות מי המקור ומאופן הטיפול בשפכים. במשך שנים, כאשר מי המקור היו טבעיים, התרחשה המלחת קרקעות בשטחים שהושקו בקולחים, בעיקר בקולחים שמקורם בכינרת. עם זאת, בשנים האחרונות קיימת מגמת שיפור באיכות הקולחים, הנובעת משיפור באיכות המים שמקורם בהתפלה, מהפחתת השימוש במי הכינרת ומיישום תקנות שפכי תעשייה. השיפור באיכות הקולחים בא לידי ביטוי בירידת ריכוזי המלחים. בגמר תהליך התפלת מי ים, המליחות (כלוריד: Cl^-, נתרן: Na^+) נמוכה מזו של מים טבעיים, וריכוזי הבורון (B) הגבוהים במי ים (4.5 מג"ל) יורדים לריכוזים של 0.3–0.4 מג"ל. נוסף על כך, ישנה הפחתה משמעותית של ריכוזי יונים כגון סידן (Ca^{2+}), מגנזיום (Mg^{2+}) וגופרית (SO_4^{2-}) [2].

בעקבות זאת, ריכוזי המלחים במתקני טיפול בשפכים (מט"שים) נמצאים במגמת ירידה. לדוגמה, ריכוזי הכלוריד במט"שים ירדו בכ־16% במהלך חמש השנים האחרונות – מריכוזים ממוצעים של כ־280 מג"ל בשנת 2010 לריכוזים ממוצעים של כ־235 מג"ל בשנת 2015.

השילוב בין מים שמקורם בהתפלה ונפח השקיה גדול במי קולחים יוצר פוטנציאל לשינוי של השפעת ההשקיה בקולחים על תכונות הקרקע ועל התפתחות הגידולים החקלאיים. למקור השפיר של הקולחים המשמשים להשקיה (מים מותפלים או טבעיים) ישנה השפעה על תכונות הקרקע ועל התפתחות הגידולים. בשלב הראשון של המחקר המוצג כאן, בוצע ניתוח סטטיסטי של איכות מי הקולחים במט"שים כדי לבחון את המקור העיקרי של מים המגיעים למט"ש (איור 1).

על בסיס נתוני סקרי השפכים והקולחים בשנים 2004–2014 נבחנה היכולת להעריך איכותית את היחס בין מים שפירים, שמקורם משאיבות מהכינרת וממי תהום, למים מותפלים שסופקו לצרכני המים ביישובים המזרימים את שפכיהם למט"ש. המבחן הסטטיסטי התבסס על גודל המִתאם (R) ועל רמת המובהקות (ערך p) של מגמות השינוי בריכוזי הכלוריד, המגנזיום והבורון עם הזמן בקולחי המט"שים בשנים אלה. הניתוח הסטטיסטי (נספח 1, באתר כתב העת) נעשה על נתונים שנלקחו מ־43 מט"שים ברחבי הארץ (שהיו בהם מעל 10 נתונים על איכות הקולחים לאורך התקופה, איור 1).

באזור הדרום נמצאה מגמה מובהקת של ירידה בריכוזי הכלוריד והמגנזיום לאורך השנים. מגמה בולטת נמצאה במט"שים קריית גת, חצור–גן יבנה ובאר שבע ($p<0.0001$, $R>0.90$), עדות לצריכה של מים מותפלים. באזורים המנותקים מהמערכת הארצית (וממים מותפלים) כמו בצפון הארץ, ניתן לראות חוסר מתאם במגמות הכלוריד והמגנזיום בשנים האחרונות, כדוגמת המט"שים בצפת ובקריית שמונה ($p>0.7$, $R<0.09$). במישור החוף ובשפלה יש במט"שים מגמות שונות, שתלויות בשיעור רכיב מי התהום המקומיים המסופקים לצרכנים. למרות קִרבת הערים באזורים אלה למתקני התפלה, אספקת המים בהם מבוססת במידה ניכרת על בארות פרטיות. במט"שים של ערים אלה ניתן לראות חוסר מתאם במגמות הכלוריד והמגנזיום לאורך השנים, ודוגמאות בולטות לכך הן המט"שים נתניה, רעננה והרצליה ($p>0.7$, $R<0.12$). לעומתם, ניתן לראות מגמות מובהקות קצת יותר בשפלה, לדוגמה מט"ש איילון–נשר ($p=0.04$, $R=0.48$), כנראה בהשפעת שילוב של מים מותפלים וקידוחי ירקון–תנינים. במתקן שפד"ן, המטפל בשפכי גוש דן רבתי ומספק כשליש מהקולחים המושבים בארץ, ניתן לראות השפעה חזקה של המים המותפלים, במתאם חזק ומובהק מאוד בין הכלוריד והמגנזיום ($p<0.0001$, $R=0.82$), ומתאם נמוך במעט במגמת הכלוריד בזמן ($p<0.0001$, $R=0.56$). בריכוזי הבורון המגמות היו ברורות פחות. סביר להניח שהשימוש הביתי מוסיף ריכוזי בורון משמעותיים, שממסכים את העלייה הנובעת משימוש במים מותפלים (למרות הטיפול הנוסף בבורון במתקני ההתפלה, ריכוזו במים אלה גבוה מאשר במי התהום). יש לציין כי בשנים 2015–2016 התרחב השימוש במים מותפלים, ולכן רמת המובהקות והמתאם במט"שים המושפעים ממים מותפלים צפויה לעלות בניתוח דומה שיביא בחשבון את נתוני שנים אלה.

איור 1. השפעת מים מותפלים על איכות הקולחים במט"שים



"במתקן שפד"ן, המטפל בשפכי גוש דן רבתי ומספק כשליש מהקולחים המושבים בארץ, ניתן לראות השפעה חזקה של המים המותפלים"
| צילום: אבישי טייכר, מתוך אתר פיקיוויקי

על בסיס המיפוי וניתוח איכויות המים במאגרי הקולחים הוערכה תשומת המלחים בפני השטח. תשומת הכלוריד בשטחים המושקים בקולחים (כולל קולחי השפד"ן) מוערכת בכ־152,000 טונות בשנה. תשומת הנתרן בשטחים המושקים בקולחים מוערכת בכ־94,000 טונות בשנה. כ־98%–92 מתשומת המלחים מושקעת באזורים בעלי רגישות הידרולוגית נמוכה־בינונית. תשומות המלחים המושקעים בפני השטח באזורים המושקים בקולחים גדלו במעט ביחס לגידול בנפח הקולחים. עם זאת, נרשמה עלייה של כ־15% וכ־4.3% בתשומות הכלוריד והנתרן בשטחים המושקים בקולחים, בהתאמה, בהשוואה לנתוני 2012. בשל הגידול בשימוש במים מותפלים המאופיינים במליחות נמוכה, הייתה צפויה להיות ירידה בתשומות הכלוריד והנתרן, אולם העלייה בנפח הקולחים המושקים על חשבון ההשקיה במים השפירים גרמה לעלייתן.

מגמת שיפור ניכרת גם בצמצום עודפי הקולחים המוזרמים לנחלים. לפני כעשור זרמו בממוצע כ־115 מלמ"ק קולחים לנחלים בשנה, במצב של היעדר איגום וחוסר בביקוש בתקופות החורף. כיום מוזרמים לנחלים עודפי קולחים בנפח הנע סביב 40 מלמ"ק בשנה. שיפור באיכויות הקולחים מצמצם את ההשפעה השלילית הקיימת על בתי הגידול הלחים.

מקורות

[1] כהן א, פיימן ד, ישראלי מ וקולר נ. 2016. איסוף וטיפול בשפכים וניצול קולחים להשקיה חקלאית, סקר ארצי – 2014. רשות המים ורשות הטבע והגנים. 2014–www.tinyurl.com/kolhim.

[2] Yerimiyahu U, Tal A, Ben-Gal A, et al. 2007. Rethinking desalinated water quality and agriculture. *Science* **9**: 920-921.

זיהום אקוות החוף מאיים על היכולת לספק מי שתייה במחיר בר־השגה

מיכה אשחר

מהנדס מים
Micha@AOP-Tech.com

ערכו של מקור מים נמדד לא רק בנפחו, אלא גם בזמינות שלו במונחי אספקה. ערך הזמינות ניתן לביטוי בכמה היבטים ובהם: אמינות האספקה, חיסכון באנרגיה בזכות קיצור מרחק הובלת המים, וכן נפח האגירה לצורך אספקת מים בשעות צריכת השיא. אקוות (אקוויפר) החוף היא מקור מים משמעותי במשק המים של ישראל, הנמצא בקִרבה מיידית לריכוזי האוכלוסייה של ישראל. קִרבה זו עושה אותה למרכיב חשוב בתכנון משק המים, אך גם תורמת לזיהום מי התהום הללו. מדיניות לא נכונה של התמודדות עם הזיהום יכולה לפגוע לא רק במאזן הכמותי של משק המים, אלא גם ביכולת אספקת המים למגזר העירוני בזמני צריכת השיא.

אמינות אספקה

בעיית ניהול האיכות והאמינות במשק המים איננה בעיית מיטוב או בעיית ניהול איכות רגילה. תאגידי מים מתנהלים בסביבה לא סלחנית, עם ממשקים ציבוריים ופוליטיים, שאינם מעורים באילוצים הפיזיים אבל מצפים לאמינות אספקה ולאמינות איכות ברמה של 100%. תאגידי המים חשופים תמידית לביקורת ציבור לקוחותיהם, שהוא למעשה האוכלוסייה כולה.

אקוות החוף היא מקור מים מבוזר, ולכן ניהול סיכוני אמינות האספקה ממנה הוא משימה שאפשר להתמודד איתה. לעומתה, מתקני ההתפלה והצנרת המוליכה מהם לרשת הלאומית, חשופים יותר לסיכונים, החל באירועי מזג אוויר חריג, דרך רעידות אדמה וכלה באיומים ביטחוניים. בתקשורת מופיעים הסיכונים לפעמים באופן מפחיד ואקזוטי – ובאופן דיאלקטי־משהו, דבר זה מקטין מחשיבותם בעיני הציבור, אבל אלה סיכונים שיש להם מחיר וצריך לנהל אותם.

קיצור מרחק הובלת המים

ניקח לצורך המחשת העניין עיר קטנה במרכז הארץ, כדוגמת גבעתיים, שצורכת בשנה כ־4 מלמ"ק. בערך 2 מלמ"ק מגיעים מחברת "מקורות" ועוד כ־2 מלמ"ק משלושה קידוחי מים הנמצאים בתחום העיר, כך שהמרחק מהם לנקודות הצריכה הוא אפסי.

אם ניקח עלות ממוצעת להובלה של 0.1 סנט לקוב לק"מ, נקבל כי לעלות של קוב מים שמוצאו במתקן התפלה והוא עובר בדרכו אל העיר כ־20 ק"מ, נוספים 2 סנט. המחיר השנתי של הובלת המים יהיה כ־150,000 ₪. מספרים אלה אינם משתקפים בהכרח במחיר לצרכן או לספק המים. למרות זאת, העלות קיימת, ומישהו חייב לשלם את החשבון.



"מאמץ לשיפור מצבן של בארות מים באקוות החוף (או החלטה על סגירתן) צריך להתנהל באינטנסיביות, על בסיס חשיבותן הלאומית, ולא בראייה מקומית כפי שקורה כיום"

נפח אגירה

עבור אותה עיר מהדוגמה הקודמת, בבריכת האגירה הקיימת יש בפועל 2,500 קוב, ומתכננים להוסיף עוד 6,000 קוב. מערכת המים מתוכננת לספק בימי השיא בסביבות 16–17 אלף קוב, כלומר גם לאחר הרחבת נפח האגירה יהיו מים לחצי יום בלבד. הקידוחים משמשים למעשה נפח אגירה נוסף, אך יש קידוחים שריכוז החנקה בהם גבוה מן המותר. כדי להשתמש במי הקידוחים הללו מוהלים אותם במי מקורות, אבל אם ייפגע חלילה קו מקורות – שכזכור מספק מים לעיר מבחוץ – יחייב הדבר סגירה של הקידוח שנמהל במי מקורות כדי להפחית חנקה. גם אם לא ייסגר הקידוח כדי לאפשר אספקת חירום, עדיין מדובר על הרעה באיכות המים.

במישור הארצי, חשיבות אקוות החוף לצורך נפח אגירה היא קריטית. צריכת המים המוניציפלית בישראל (עירוני, יישובי ותעשייה) מתקרבת ל־800 מלמ"ק לשנה. דרישת התכנון לצריכת שיא **יומית**, נעה סביב 0.36% עד 0.40% מהצריכה **השנתית**, כלומר במונחים ארציים צריכת השיא היומית לתכנון נעה בתחום 3.0–3.2 מלמ"ק ליממה, כ־50% יותר מאשר הצריכה היומית הממוצעת.

כושר ההתפלה (כולל מים מליחים) עומד כיום על קרוב ל־600 מלמ"ק בשנה, כלומר כ־1.6 מלמ"ק ליממה. כאשר יופעל מתקן ההתפלה באשדוד, היקף ההתפלה יכסה בערך את צריכת הבסיס המוניציפלית. לעומת זאת, כדי לתת מענה לצריכות השיא דרוש אוגר תפעולי. לא הגיוני ולא כלכלי לבנות לשם כך עוד מתקני התפלה שיפעלו רק חלק מהזמן.

האוגר התפעולי הוא אקוות החוף, המאבדת נפח תפעולי בגלל זיהומים שונים שמחייבים סגירת בארות. **מה שמזדהם אינן הבארות אלא המים**. זיהום אקוות החוף הוא תופעה דינמית. כשסוגרים קידוח, הקידוח השכן ממשיך לפעול והזיהום עובר אליו, וכך **אובד אוגר תפעולי** נוסף. **התפלת מים איננה מענה לבעית זיהום מקורות המים**. גם אם קידוח פעיל רק מספר חודשים בשנה כאשר הצריכה גבוהה מהצריכה הממוצעת, עדיין, כדאי להשקיע מאמץ בטיובו. אם לא נשמור את הקידוחים הללו נקיים מזיהומים, ניאלץ לקבל בקיץ מים במכליות, או לשלם תמורתם מחיר המגלם עלויות הקמה של מפעל התפלה, שפועל רק שלושה חודשים בשנה. עלויות אלה מאיימות על היכולת לספק מי שתייה במחיר בר־השגה.

לסיכום, מחקרים רבים עוסקים במצבים מתמשכים (תוך חישוב מאזני מסה וממוצעים), אבל צריך להתייחס גם למצבי קיצון – לצריכות השיא – שגם אותן הכרחי לספק. המאמץ לשיפור מצבן של בארות מים באקוות החוף (או החלטה על סגירתן) צריך להתנהל באינטנסיביות, על בסיס חשיבותן **הלאומית**, ולא בראייה מקומית כפי שקורה כיום. המשך הטיפול באופן הנוכחי עלול להביא להאמרת מחיר המים בגלל עלויות אמינות האספקה והאגירה, או להקמת מתקני התפלה שיפעלו רק חלק מהזמן ושעלות המים שתופק בהם תהיה גבוהה בהרבה ממה שמוכר כיום.

מקורות

[1] גרוסמן ג, גולדרט ט ואיילון א (עורכים). 2008. אנרגיה במשק המים, סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 12. מוסד שמואל נאמן, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל.

[2] Raucher SR, Cromwell JE, Cooney K, et al. 2008. Risks and benefits of energy management for drinking water utilities. USA: Awwa Research Foundation. www.waterrf.org/PublicReportLibrary/91200.pdf.



פתח צינור המיועד למי שתייה | צילום: מיכה אשחר

סיכום ומשמעויות לפרק ב

"תעשיית המים" כרכיב במערכת המים בישראל

יורם אבנימלך, עורך־אורח לגיליון זה
agyoram@technion.ac.il

מרבית המים הנצרכים בישראל הם תוצאה של תהליך תעשייתי, מי התפלה וקולחים, וזאת נוסף על מי התהום והמים שנשאבו בעבר מהכינרת. הגדלה עתידית משמעותית של נתח זה של אספקת המים מחייבת ראייה חדשה של משק המים.

סיניה נתניהו, המדענית הראשית במשרד להגנת הסביבה, סוקרת במאמר מקיף את נושא התפלת המים ובהקשר לכך גם את התרומה הצפויה בעתיד לכמות הקולחים המטופלים. השימוש הנרחב בהתפלה יצר במדינת ישראל חוסן ועמידות בפני שנים שחונות, שהן כנראה תופעה צפויה לעיתים קרובות בעתיד, כחלק משינוי האקלים העולמי. התועלת של יכולת טכנולוגית זו ושילובה במערכת אספקת המים הלאומית הוכחה בשנים האחרונות ללא עוררין. המים המותפלים דלים במלחים, ויש בכך יתרון נוסף: ההתפלה לא רק יוצרת תוספת מים חיונית, אלא גם מקטינה משמעותית את סכנות ההמלחה בקרקעות המושקות, מאחר שהשפכים מכילים פחות מלחים. יש לציין כי בשלב זה עדיין אין אספקה של קולחים שמי המקור שלהם מכילים רכיב משמעותי של מים מותפלים לתשלובת הקישון, ועל כן ההשקיה בעמקים זבולון, יזרעאל וחרוד עלולה להביא להמלחתם. חשוב מאוד לספק למטרופולין חיפה ולערים הסמוכות מים מותפלים כדי להפחית את המלחים בשפכים וכך למנוע המלחה של קרקעות העמקים המושקות בקולחים הללו.

להתפלה הנרחבת יש השלכות כלכליות, מדיניות וסביבתיות, הנדונות בפירוט במאמר. ההשפעות הסביבתיות אינן מכריעות, אך מצד שני אינן זניחות. גם אם נשתמש רק בגז כדלק לייצור האנרגיה הדרושה להתפלת המים, ברור כי תהיה עלייה בכמות הפחמן הנפלטת לאוויר, ולכך משמעות מבחינת מחויבויות בין־לאומיות שלנו. גם ההשפעה על הסביבה הימית אינה זניחה, בייחוד לאור הצפי למספר רב יותר של מתקני התפלה וההערכות כי כמות המים המותפלים לאורך החוף שלנו תוכפל ואף תשולש עד ל־2050. הדבר מחייב המשך ניטור, המשך הקטנת ריכוז כימיקלים בתמלחת, וגם שימוש באמצעים הנדסיים להקטנת הנזק ולמיהול מרבי של התמלחת בים במידת הצורך. נקודה נוספת היא שמירה על ים נקי מזיהומים. כאשר הים מזוהם, הדבר עלול לפגוע באפשרות לנצל את מי הים כחומר גלם להתפלה. הסכנה גוברת אם לאורך החוף יהיו משובצים מקורות זיהום יבשתיים, כדוגמת מתקני סילוק ביוב, אצלנו או אצל שכנינו. השימוש הרב במי הים כחומר גלם למי השתייה מחייב הקפדת יתר על איכות הים כאינטרס לאומי, ולא רק מצד חובבי הים ושומרי הטבע.

להגברת התלות בהתפלה גם השלכות מדיניות וכלכליות. תקלה שהביאה להפסקה זמנית בפעילות שדה הגז תמר (בסוף ספטמבר השנה) רק מדגישה את הגברת הצורך של המשק הישראלי באספקה אמינה של גז, שהוא רכיב חיוני לתעשיית המים המותפלים.

כניסת ההתפלה כרכיב מרכזי במערכת המים, והגאווה הלאומית על הישג זה, יצרו מוסכמה כי נפתרו בעיות המים וכי תם הצורך בחיסכון במים. מתברר כי המחסור במים לא נגמר, בייחוד לנוכח השינוי במשטר הגשמים, שכנראה צפוי להימשך בעתיד. מים הם מוצר במחסור באזורנו, ועלינו לקיים אורח חיים התואם זאת. עלינו להקפיד על ניצול יעיל של מים בענפי הייצור ובצריכה הביתית והציבורית. מחירי המים יכולים לתרום להקפדה על שימוש יעיל וחסכוני, אך יש להמשיך גם בפעילויות הסברה ובחינוך לחיסכון במים בכל המגזרים.

דרור אבישר וגפן רונן־אלירז דנים בצורה מפורטת ומקצועית בחשש מהימצאות מיקרו־מזהמים בקולחים,

ובנזקים שהדבר עלול לגרום. המאמר נכתב בעקבות העובדה כי מרב הקולחים המטופלים בארץ משמשים להשקיה בחקלאות. בארצות שאין בהן צורך בהשקיה בקנה מידה נרחב, מסלקים את הקולחים לנהרות, לאגמים ולים כברירת מחדל. הבעיה של שיירי תרופות ומיקרו־מזהמים אחרים היא בעיה עולמית. יש בהחלט צורך בניטור, במחקר ובפיתוח טכנולוגיות לטיפול טוב יותר בקולחים. עמדה זו מקבלת משנה תוקף מעמדת משרד הבריאות בנדון. כמדינה המובילה בשימוש בקולחים, טבעי שנהיה בין המדינות המובילות בניטור, במחקר ובפיתוח בנושא זה. במאמר מוצע ניטור נרחב של מיקרו־מזהמים, המבוסס על בדיקת מאות ואלפי תרכובות אפשריות. ניטור בהיקף כזה נראה כצעד מכביד שעלול להיות יקר עד מאוד. כשם שאי־קולי הוא סמן לזיהום מיקרוביאלי של מים, אנו זקוקים לסמן (או למספר סמנים) להימצאות מיקרו־מזהמים ממקור אנושי, שיהיה קל יחסית לבדיקה. יותר מכך, חשוב להקים בארץ מתקן חלוץ לטיפול מתקדם בקולחים, שיתרום לשיפור מהותי באיכות הקולחים המשמשים להשקיה, ואף לתעשיית הקלינטק הישראלית. להערכתי, הקונפליקט בין השימוש בתרופות (ובכימיקלים אחרים) לבין הימצאות השיירים בקולחים, יחייב פיתוח תרופות יעילות יותר (פחות שיירים לא מנוצלים בגוף) ותרופות בעלות פריקות ביולוגית גבוהה. גם כאן חשוב שישראל תשתתף בפיתוח תרופות אלה, דבר שיקדם את פתרון הבעיות שלנו ואת פיתוח תעשיית הפארמה.

תוספת מי ההתפלה כמענה להגדלת הביקוש עקב הגידול באוכלוסייה תביא בעתיד להגדלה ניכרת בכמות הקולחים שתיווצר, בעיקר במטרופולינים המתרחבים. בו בזמן, חזויה ירידה בכמות השטחים החקלאיים שתוביל לפחות השקיה במרחבי ההשפעה של המטרופולינים. הסיבה לירידה החזויה היא התחרות בין שימוש בקרקע לחקלאות לבין הביקוש להסבה לייעודי קרקע אחרים (בנייה, מסחר, תשתיות ותעשייה). נוסף על כך, חלק ניכר מהקרקעות במישור החוף הן כאלה שאינן יעילות בסינון המזהמים במהלך החלחול למי התהום, ולכן צריך להימנע מהשקיה בקולחים באזורים אלה, בין השאר בגלל הימצאות של מיקרו־מזהמים.

צפוי שנפח הקולחים יוכפל (פחות או יותר) במהלך אופק התכנון של מפעלי מים. לפיכך, יהיה צורך להעבירם לאזורים רחוקים ממרכז הארץ. מפעל השפד"ן כבר הגיע לשיא הקיבולת ביכולת הטיפול בשפכים ולהעברת קולחים מטופלים לנגב. לכן, **יש צורך בתכנון של מערכת הולכת קולחים ארצית** לדרום וכן לעמקים הפנימיים ועד לעמק הירדן. זאת ועוד, ספק אם החקלאות בישראל תהיה מסוגלת לקלוט את כמויות הקולחים שצפויות להיווצר (במחיר שיגלם עלויות טיפול והובלה). עודפי הקולחים עלולים להפוך לבעיה חמורה אצלנו. אין בישראל נהרות ענק שיכולים לקלוט את העודפים הללו ולמהול אותם, ולכן הזרמת קולחים לנחלים ולוואדיות תזהם אותם, דבר שלא יתקבל מבחינה ציבורית ובגופי האסדרה. הזרמת הקולחים לים עלולה לזהם את הים, ועלולה לחבל באפשרות להתפלת המים. הזרמה לים אינה מקובלת עוד, ושומדת בסתירה למחויבות בין־לאומית של ישראל (אמנת ברצלונה). נראה כי הן מהבחינה הגיאופוליטית הן מבחינת בעיות איכות המים ואיכות הסביבה במדינת ישראל, יש תועלת הוֹמָנית, כלכלית, סביבתית ודיפלומטית בהעברת נפחים גדולים של קולחים לשכנינו - לרשות הפלסטינית ולממלכת ירדן.

ג. זכות הטבע למים

/ עמ' 67-82 /

סקירה	68	**זכות הטבע למים? דילמות בשיקום נחלי ישראל לנוכח השינויים במשק המים**: אסף סוקניק ואורית סקוטלסקי
בקצרה	76	**זרימת מים טבעיים בנחלים – מה נעשה בעשור האחרון ולאן פנינו?** הלל גלזמן וניסים קשת
בקצרה	78	**מה צופן העתיד לנחלי ישראל?** אביטל גזית
בקצרה	80	**האם וכיצד יש להתערב ביערות המחט הנטועים בישראל אל מול יובש גובר ושינוי אקלים?** יגיל אסם
סיכום ומשמעויות	82	**שימור נחלים במגבלות המציאות**: יורם אבנימלך



מתקן תפיסת מי עיינות נוטרה (עין א־תינה) במורדות הגולן לצורך השקיה חקלאית | צילום: אורית סקוטלסקי



עין נמפית, נחל נעמן. ירידה במפלס מי התהום גורמת להתייבשות בתי הגידול הלחים באגן ולפגיעה בהם | צילום: אורית סקוטלסקי

זכות הטבע למים? דילמות בשיקום נחלי ישראל לנוכח השינויים במשק המים

אסף סוקניק [1]* ואורית סקוטלסקי [2]**

[1] המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל
[2] רכזת תחום נחלים ומים, החברה להגנת הטבע
assaf@ocean.org.il *
orit.skutel@gmail.com **

תקציר

ניצול מקורות המים הטבעיים של ישראל והפיתוח העירוני והחקלאי המואץ במשך עשרות שנים גרמו נזק ופגיעה בנחלים: בכמות המים בהם ובאיכותם, וכן במערכות האקולוגיות הייחודיות בנחלים ובבתי הגידול הלחים. בעשורים האחרונים הועלה המצב החמור של נחלי ישראל לדיון ציבורי ומקצועי, והוגדר צורך בגיבוש מדיניות לשיקום הנחלים ובתי הגידול הלחים בישראל וביישומה. בשנים האחרונות אנו עדים לשינויי פרדיגמה מהותיים בשני תחומים מרכזיים של מדיניות שיקום שפיעת המים בנחלים. התוכניות העדכניות לשיקום נחלי ישראל מבוססות על שיקום זרימת מקורות המים הטבעיים בנחלים – כולל שחרור מי המעיינות שנתפסו לצורכי חקלאות, ושיקום שפיעת המים בנביעות שיבשו בעקבות ירידה במפלסי מי התהום. המדיניות העדכנית בתחום זה שוללת הצעות קודמות להזרים קולחים מטוהרים לנחלי החוף כבסיס לשיקומם האקולוגי. לכאורה, השגת יעדים אלה מתאפשרת עם התבססות אמצעי ייצור של מים שפירים (התפלה) ומים מושבים באיכות גבוהה לחקלאות, אולם למעשה, תוכניות השיקום שגובשו ועברו שלבים מורכבים של אישורים לביצוע, נתקלות בחסמים, ואינן מקודמות. מאמר זה דן בגורמים שהביאו לפגיעה בשפיעת המים בנחלי ישראל ולהרס בתי הגידול הלחים, ומוצגים בו הלבטים והגישות השונות שמוצעות ומיושמות לשיקום זרימת המים בנחלים, לנוכח התמורות במשק המים בעידן ההתפלה והקשיים בניהול משאבי המים העיליים.

מילות מפתח: אגן הכינרת · בתי גידול לחים · מפעל נחלי מנשה · נחל נעמן · מעיינות · מפלסי מי תהום · מקורות הירדן · קולחים

מבוא

נחלים ובתי גידול לחים מספקים מגוון שירותי מערכת אקולוגית החיוניים לרווחת האדם. הנחלים ובתי הגידול הלחים מספקים: שירותי ויסות שיטפונות וניהול נגר במעלה האגנים; השקעת סחף קרקע והגברת הפוריות של קרקעות בעמקים; טיהור מים מעודפי סחף, מזהמים אורגניים ואחרים. הנחלים מתפקדים כמסדרונות התורמים לשימור הרצף האקולוגי במערכות טבעיות, וכן משמשים מרחבי נופש ופנאי איכותיים בין האזורים המיושבים ובתוך הערים. נוסף על כך, הנחלים מספקים מקורות מים טבעיים (מי מעיינות ומי נגר עילי) לצורכי האדם – לשתייה, לחקלאות ולתעשייה.

למרות החשיבות העצומה של הנחלים ובתי הגידול הלחים לרווחת האדם ולשמירת הטבע, בישראל, כמו בכל העולם, נפגעו מערכות אקולוגיות אלה בעבר, והן עדיין נפגעות באורח אנוש מהפיתוח האנושי. נחלי ישראל הם בבואה המשקפת את הפיתוח העירוני, התעשייתי והחקלאי מלפני הקמת המדינה ועד היום. פעולות פיתוח משמעותיות של המגזר העירוני והחקלאי גרמו להתייבשות של המעיינות והנחלים בצפון הארץ ובמרכזה, להפיכת הנחלים לתעלות ניקוז באגנים חקלאיים ולזיהום מרבית נחלי החוף והעמקים.

בעשור האחרון חלו שינויים דרמטיים במשק המים של ישראל. משנת 2005 ועד היום נבנו לאורך חופי הים התיכון חמישה מתקני התפלה, המספקים כיום כ־600 מלמ"ק בשנה (כ־43% מצריכת המים השפירים), ובעתיד מתוכננת עוד הרחבה ניכרת של כמויות ההתפלה [19]. נוסף על כך, הקמה ושדרוג של מתקני טיהור שפכים הובילו לעלייה עקבית באיכויות ובכמויות של מי הקולחים הזמינים לחקלאות. כיום מנוצלים 87% מתוך השפכים המטופלים לשימושים חקלאיים. כמות זו היא כ־31% מסך המים המסופקים לחקלאות, וכ־18% מסך המים המסופקים במדינה לכלל השימושים [2]. ההתבססות הגדלה של משק המים על משאבי מים "מלאכותיים" (מים שמקורם בהתפלה של מי ים או בטיפול מתקדם בשפכים) מצמצמת במידה ניכרת את חוסר הוודאות באספקת מים לשתייה ולחקלאות בכל האגנים המחוברים למערכת המים הארצית, ופותחת חלון הזדמנויות לשיקום מצב משאבי המים (מפלסי מי התהום ומפלס הכינרת), וכן לשיקום זרימת המים בנחלים. למרות השינויים המהותיים במשק המים ממשיך מצב זרימת המים במרבית הנחלים להתדרדר (למעט מספר נחלים ושמורות טבע שקיבלו בעשור האחרון הקצאות מים במסגרת "זכות הטבע למים" – כמו שמורת החולה, נחל הירקון ושמורת תל דן).

נושא חידוש זרימת המים בנחלים במסגרת מדיניות "זכות

הטבע למים" נמצא במרכז דיון ציבורי כבר למעלה משני עשורים. בשנת 2000 החליטה ממשלת ישראל על הקצאת 50 מיליון מ"ק מים בשנה למטרות שיקום זרימת המים בנחלים. בהמשך להחלטה זו פרסמו המשרד לאיכות הסביבה ורשות הטבע והגנים מסמך מדיניות בנושא **"זכות הטבע למים"** [13], המתמקד בצורכי המים הנדרשים לשיקום זרימת המים בנחלי ישראל. מסמך זה שימש פלטפורמה מקצועית מוסכמת למיסוד הקצאות המים לבתי הגידול הלחים ולנחלים. בשנת 2004 קיבלה מדיניות "זכות הטבע למים" משנה תוקף עם אישורו של תיקון מספר 19 לחוק המים [5], שמכיר בטבע כצרכן של משאב המים, ומנחה את מִנהל רשות המים לספק מים באיכות ובכמות הנדרשות לקיום מערכות טבע ונוף.

במאמר זה אנו סוקרים בקצרה את הגורמים והתהליכים שהביאו לפגיעה האקוטית בשפיעת המים בנחלי ישראל ולהרס בתי הגידול הלחים, ומעלים שאלות הקשורות לשיקום זרימת המים בנחלים לנוכח השינויים החלים במשק המים. בהמשך אנו מעלים דילמות הקשורות לניהול משאבי המים העיליים, בעיקר בתפר שבין החקלאות לטבע, תוך הדגמה מנחלים שונים שתהליכי השיקום בהם נמצאים בשלבים שונים של יישום.

נחלי ישראל – כרוניקה של התדרדרות והזנחה

פעולות פיתוח משמעותיות שקודמו במהלך המאה ה־20, גרמו להתייבשות של מעיינות ונחלים רבים בישראל, לפגיעה בבתי הגידול הלחים ולהיעלמותם מנוף הארץ. ראשית נתפסו מקורות המים הטבעיים (מי המעיינות והנחלים) לצרכים עירוניים וחקלאיים. גם כיום נאגרים המים הנובעים ממרבית המעיינות בישראל, ונשאבים ישירות מנקודות הנביעה לשימוש בעיקר לחקלאות (השקיה וגידול דגים). תפיסת מי המעיינות צמצמה כמעט לחלוטין את זרימת המים במרבית הנחלים, והפכה נחלי איתן רבים לנחלי אכזב. נוסף על כך, שאיבת מי תהום הורידה את מפלס האקוות, ובעקבותיה ירדה שפיעת המעיינות באגנים רבים [7, 9]. הורדת המפלסים באקוות הובילה בחלק מהאגנים להמלחה ולזיהום של מי התהום. במקביל נערכו פעולות להסדרת אפיקי הנחלים כדי להכשיר שדות חקלאיים ולמנוע הצפות וסחף קרקע. פעולות ההסדרה גרמו ליישור הנפתולים, לשינוי תוואי הנחלים ולהכשרת שדות חקלאיים בקרבת האפיקים – על חשבון פרוזדורי הנחלים ותוך ניתוק הנחלים מפשטי ההצפה שלהם. ההתדרדרות במצב הנחלים בישראל נמשכה עד קרוב לסוף המאה ה־20 ללא פיקוח והכוונה מוסדרת. במהלך תקופה זו נחשבו הנחלים משאב שיש לנצלו בהיבט הכלכלי ולשלוט בו בהיבט ההידרולוגי תוך ניצול מרבי של המים הזורמים ומקורותיהם, ושליטה ובקרה הנדסית על אירועי שיטפונות, במטרה לצמצם הצפת שדות ונזקים ליישובים. בעקבות גישה זו ובהיעדר פיקוח ואכיפה הפכו אפיקי הנחלים למצבורי פסולת חקלאית ותעשייתית ולערוצים להזרמת מים נחותים באיכותם, תוך פגיעה חמורה במערכת האקולוגית המורכבת של הנחלים והרס בתי הגידול הלחים.

רק לקראת תחילת המאה ה־21 הועלה המצב החמור של נחלי ישראל לדיון ציבורי ומקצועי הן בגופי הממשל הן בארגונים חוץ־ממשלתיים (NGOs) תוך קביעת צורך ברור ומיידי להגדרה וליישום של מדיניות לשיקום בתי הגידול הלחים והנחלים בישראל [13].

שיקום זרימת המים הטבעיים בנחלים

בשנים האחרונות אנו עדים לשינוי פרדיגמה מהותי במדיניות שיקום זרימת המים בנחלים: מאספקת "הקצאות מים לטבע" (שמשמעותה אספקת כמות מוסכמת של מים מצינור לשמורת טבע) – לשיקום שפיעת מקורות המים הטבעיים בנחלים. מדיניות זו, שמוביל צוות בין־משרדי של רשות המים, המשרד להגנת הסביבה ורשות הטבע והגנים, מקבלת ביטוי יישומי בתוכנית־האב מים לטבע ובתוכניות המים לנחלים [15]. התוכניות העדכניות פרטניות, מתרכזות באגנים מוגדרים, ומבוססות על שיקום זרימת מקורות המים הטבעיים בנחלים – כולל שחרור של מי המעיינות שנתפסו לצורכי חקלאות, ושיקום שפיעת המים בנביעות שֶׁיָּבְשו כתוצאה מירידה במפלסי מי התהום. מהלך זה מהפכני, מאחר שהוא מחייב פירוק מתקני תפיסת מים שנבנו לניצול המעיינות להשקיה חקלאית, שחרור מי המעיינות לזרימה טבעית באפיקי הנחלים, ובתמורה אספקת מקורות מים חלופיים לחקלאות, או, לחלופין, תפיסת המים במורד הנחל. יתרה מכך, מאחר שבחלק מהאגנים שפיעת המעיינות נפגעה בעקבות הירידה במפלס מי התהום, חידוש שפיעת המים באגנים אלה מחייב הפחתת שאיבה של מי תהום. ההפחתה תביא להחזרת מפלסים לרום שמאפשר שיקום שפיעת המעיינות לרמה מוסכמת.

<u>שיקום מפלסי מי תהום לרמה המאוששת שפיעת נביעות שֶׁיָּבְשו</u>

שאיבה מוגברת ממאגרי מי התהום והורדת המפלסים באקוות הובילו לדעיכה בשפיעת מעיינות. סקר של נחלי ישראל שפורסם בדו"ח הנחלים של החברה להגנת הטבע [11] הראה מגמת דעיכה בשפיעה ב־60 מתוך 90 המעיינות שנבחנו. דו"חות שפרסם השירות ההידרולוגי בשנים האחרונות הראו מגמות של ירידה משמעותית בשפיעת המעיינות ברמת הגולן [6] ובגליל [3]. חלק מהירידה בשפיעה מוסבר על־ידי מגמות שינוי במשטר הגשמים, אך חלק לא מבוטל קשור להפקת מי תהום ולהורדת מפלסים [3] (למשל בעינות מלחה בנחל עינן, בעינות שוני בנחל תנינים, בעין כרכרה בנחל בצת, במעיינות רבים בעמק המעיינות ובמעיינות המזינים את נחל נעמן – המוזכר בהמשך). לפיכך, ההמלצה לשיקום של מפלסי האקוות ושל השפיעה הטבעית בנביעות שֶׁיָּבְשו, היא

אבן יסוד במהלך שיקום זרימת מקורות המים הטבעיים בנחלים.

שיקום מפלסי מי התהום ושמירה על קווי תפעול שהשירות ההידרולוגי ממליץ עליהם הם יעדים מוצהרים של רשות המים, המופיעים בתוכנית־אב ארצית ארוכת טווח למשק המים [12]. מדיניות ניהול מפלסי מי התהום, המתבטאת בקווי תפעול המומלצים, נקבעת רק על פי שיקולים של שמירה על איכות מי התהום (מניעת המלחה) ואמינות הספקה [3]. כך, למשל, מנוהלים מפלסי המים הטבעיים באקוות ירקון־תנינים, באקוות החוף ובכינרת. באגנים מרכזיים אלה קווי התפעול המומלצים משקללים שתי מטרות מרכזיות: שיקולי שמירה על איכות מי התהום, וניהול האוגר (storage) במפלסים נמוכים כדי לאפשר מילוי חוזר בתקופת הגשמים. לאור החשיבות הלאומית של האגנים הללו, השייכים למערכת המים התלת־אגנית, **לא מתאים** לקבוע לאקוות המרכזיות הללו קווי תפעול גבוהים שיאפשרו שיקום שפיעת מעיינות בראש העין או במעיינות התמסח.

עם זאת, ראוי להדגיש שגבולות ההפקה וקווי התפעול שהשירות ההידרולוגי ממליץ עליהם לא נשמרים בצורה קפדנית ברוב האגנים הפריפריאליים בישראל (למשל אקוות הבזלת ברמת הגולן, אגנים בגליל העליון ובגליל והתחתון, אגנים בבקעת הירדן ובמרכז הערבה, ואפילו במעלה אגן הכינרת). לכן, ברוב האזורים הגיאוגרפיים הללו מתאפשרת, מזה שנים רבות, הפקת יתר של מי תהום (בעיקר לצורכי חקלאות), המתבטאת, ככל הנראה, במגמות ירידה במפלסי מי התהום – ובהתדרדרות בשפיעת המעיינות. יתרה מכך, **רק במקרים בודדים התווספו לתהליכי קבלת ההחלטות על קווי התפעול של אגן כלשהו, שיקולים ציבוריים נוספים – כמו הדרישה לשקם את שפיעת המעיינות ולשמור על זרימת בסיס יציבה בנחלי האיתן.** שיקול ציבורי כזה מודגם בתוכנית השיקום של נחל נעמן (מקרה זה חריג לטובה).

נחל נעמן, הזורם לאורך יישובי הקריות עד מפרץ עכו, הוא אחד מנחלי החוף הגדולים בארץ. הנעמן ובתי הגידול הלחים סביבו יוצרים חגורה ירוקה טבעית לאורך אחד האזורים העירוניים הצפופים והמזוהמים בישראל. לאור העושר והחשיבות של ערכי הטבע בנחל הוכרזו לאורכו ארבע שמורות טבע, שהחשובה שבהן – שמורת עין אפק – הוכרה כאתר של אמנת RAMSAR לשיקום ולשימור של בתי גידול לחים. שפיעת המים ההיסטורית הטבעית (כ־50 מלמ"ק בשנה) נפגעה קשות משאיבה אינטנסיבית שהורידה את מפלס מי התהום באגן נעמן–כורדני. ירידה במפלס מי התהום ייבשה את המעיינות ואת בתי הגידול הלחים באגן, ופגעה בערכי הטבע הייחודיים לנחל עד כדי סכנה להכחדתם (ראו תמונה בפתח המאמר). בשנים האחרונות נשענת שמורת הטבע עין אפק, שמימיה זורמים לנחל נעמן, על הקצאות מים לטבע, המסופקים בצינור מקידוח סמוך (כ־3 מלמ"ק בשנה בלבד). בשנת 2015 הוכנה תוכנית מים לנחל נעמן [10], המבוססת על שיקום שפיעת מים טבעית במעיינות שמורת עין אפק, על טיפול במי הפלט של בריכות הדגים ועל שיקום זרימת המים בנחל בכמות המתאימה ליעדי השיקום האקולוגי והתיירותי. בתוכנית זו נקבע שכדי לעמוד ביעדי השיקום האקולוגי שהוגדרו לשמורת עין אפק ולנחל נעמן, נדרשת שפיעה טבעית של המעיינות בשמורה בכמות של כ־15 מלמ"ק בשנה (כמות זו היא כשליש מספיקת המים ההיסטורית). תוכנית המים שנשפטה, נשקלה ואושרה ברשות המים, מבטאת שינוי מהותי בתפיסה של שיקום זרימת המים בנחלים: במקום הקצאת מים לשמורות הטבע בצינורות – שיקום מפלס מי התהום וחידוש השפיעות הטבעיות במעיינות בהתאם לצורכי השיקום האקולוגי (גם אם לכמויות מים נמוכות



איור 1. פארק הוד השרון, יוני 2017 | צילום: אסף סוקניק

מאוד בהשוואה לשפיעות ההיסטוריות). עם זאת, מאחר שמפלסי מי התהום באגן נמוכים במידה ניכרת מרום שפיעת המעיינות, יישום תוכנית המים מחייב שיקום אוגר מי התהום באקווה, והעלאת מפלס המים עד לשיקום הנביעות. לכן, יישום התוכנית הוא אתגר גדול למשק המים, אך גם יעד ציבורי חשוב. לנוכח המצב ההידרולוגי הקשה בגליל המערבי והעיכוב בהקמת מתקן גדול להתפלת מי ים הנדרש באזור זה, סביר להניח שיידרש לחץ ציבורי עקבי לפני שתירשם עלייה במפלס מי התהום באגן הנעמן, שתוביל לשיקום שפיעת המעיינות לרמות שיאפשרו שיקום ושימור של ערכי הטבע הייחודיים בנחל.

<u>שחרור מי מעיינות התפוסים לחקלאות לזרימה במורד הנחלים</u>

בנחלים בחבל הים תיכוני ניזונה זרימת הבסיס ממעיינות בלבד, ונשענת על אוגר רב־שנתי של אקוות אזוריות, המתנקז דרך מעיינות או בדליפות מפוזרות (נביעות) לאורך האפיק. נביעות אלה מפוזרות לאורך אפיקי הנחלים, ויוצרות מקטעים של זרימת בסיס יציבה (לעיתים קלושה), המשמשים מקלט חיוני לאורגניזמים שנסמכים על המים בין עונות הגשמים, ומאפשרים שימור מינים ייחודיים של בתי גידול לחים [12]. זרימות הבסיס במרבית הנחלים מושפעות גם מרצף של שנות בצורת, מניצול יתר של האקוות המזינות אותן, וגם מתפיסה ומאיגום של מי המעיינות לצורכי החקלאות המקומית. עשרות מעיינות בישראל (כגון מעיינות בדופן המזרחי והמערבי של עמק החולה, מרבית המעיינות בעמק המעיינות ובגליל המזרחי, עינות כברי בנחל געתון), שרובם בעלי שפיעה מועטה, תפוסים עד היום לשימוש חקלאי, ונשאבים ישירות מנקודות הנביעה למילוי מאגרים או בריכות דגים, להשקיית שדות, או למילוי שקתות להגמעת בקר.

תפיסת מי המעיינות לחקלאות ישירות בנקודות הנביעה היא חסם מרכזי לשיקום זרימת המים בנחלים. באזורים רבים בארץ הקצאות המים לחקלאות שנקבעו לפני עשרות שנים, אינן מותאמות למציאות המשתנה. כיום חלה עלייה משמעותית בזמינות של מקורות מים חלופיים לחקלאות (מים מותפלים וקולחים) ברוב חלקי הארץ. לכן, ניתן לשחרר את מי המעיינות לזרימה בנחלים ולספק מקורות מים חלופיים לחקלאות, בייחוד באזורים המחוברים למערכת אספקת המים הארצית.

באזורים המנותקים ממערכת אספקת המים הארצית, ובעיקר באגן המזרחי – אגן הכינרת, משאבי המים הטבעיים נמצאים במשבר חמור. כמויות המים הזמינות לחקלאות ולטבע הולכות ומצטמצמות, המאבק על חלוקת המים בין החקלאות לבין הטבע והתיירות מתעצם, ופחות מים זורמים בנחלים בעונת הקיץ. הפגיעה החמורה בזרימת הבסיס בנחלים מעלה את הצורך לבחון מחדש את הייעוד של מי המעיינות, ואת אופן הניהול של משאבי המים הטבעיים העיליים.

למשל, באגן הכינרת, אזור ש"מנותק" ממערכת המים הארצית ונעדר חלופות מים, נמדדת בשנים האחרונות ירידה בשפיעת מקורות הירדן, נחלי הגולן ומעיינות הדופן בעמק החולה. במעלה אגן הכינרת ישנם מפיקי מים פרטיים רבים השואבים מים לחקלאות ישירות מנקודת הנביעה של המעיינות ומיובלי הירדן. מתקני הפקת המים הפזורים על מרבית מקורות המים הטבעיים במעלה האגן גורמים לירידה משמעותית ולחוסר יציבות בשפיעת המים בטבע, עד כדי ייבוש עונתי של מעיינות וקטעים של נחלי איתן. נוסף על כך, המצב הנוכחי גורר קושי מהותי באסדרה ובאכיפה של כמויות המים הנשאבות מהנחלים. עם החמרת משבר המים באגן נדרש שינוי יסודי בתפיסה המקובלת של ניהול מי המעיינות. חלופה אפשרית לניהול משולב של משאבי המים הטבעיים במעלה אגן הכינרת מציעה שחרור של מי המעיינות לזרימה בנחלים, צמצום (או ביטול) נקודות השאיבה של המפיקים השונים במעלה האגן ותפיסת המים לחקלאות בנקודות איגום מרכזיות במורד האגן. אין בחלופה המוצעת להביא לצמצום ולפגיעה בכמויות המים לצרכנים החקלאיים, מאחר שאיגום המים המיועדים לחקלאות יבטיח אמינות באספקה; מצד שני, שחרור מי המעיינות במעלה האגן ותפיסת המים במורד הנחלים יאפשרו זרימה קבועה ויציבה בנחלים ואספקת שירותי מערכת אקולוגית לרווחת הציבור והטבע – בבחינת זה נהנה וזה לא חסר.



סכר להטיית מי שיטפונות בנחל סער, שבצפון רמת הגולן | צילום: אורית סקוטלסקי

לסחרר או לא לסחרר?

סחרור מים מוצע לעיתים כפתרון להגדלת ספיקת המים השעתית במקטעי נחלים שבעבר זרמה בהם זרימת בסיס איתנה, וליצירת מופע של נחל איתן זורם. מבחינת שיקום למטרות נופש ופנאי ייתכן שיש יתרונות להגדלת ספיקת המים הזורמים בקטע נחל מוגדר כתוצאה מסחרורם, אולם **סחרור מים אינו פתרון מתאים לשיקום אקולוגי של בית הגידול הלח**. סחרור המים יוצר רצף מים בעל איכות אחידה לאורך קטע הנחל המסוחרר, ומבטל את מפל הריכוזים הטבעי המאפיין נחלים זורמים [12]. יתרה מכך, פתרונות המבוססים על השקעה קבועה של אנרגיה לאספקת מים לנחל – כמו סחרור מים או הזרמת מי תהום מקידוחים, חושפים את בתי הגידול הלחים להפרעות תדירות שנגרמות משיבושים ומתקלות. היות שכך, אין לראות בסחרור מים פתרון לשיקום אקולוגי של נחלים.



מקורות הירדן. מתקן הטיה של מי נחל דן לצורכי השקיה חקלאית | צילום: אורית סקוטלסקי

<u>ניהול נגר עילי: תפיסת מי שיטפונות לניצול ללא פגיעה בנחלים</u>

בנחלים ים תיכוניים קיימת מחזוריות של אירועי שיטפון בעונת הגשמים ולאחריהם ירידה הדרגתית בספיקה, צמצום הזרימה, ובנחלי אכזב – התייבשות. השיטפונות הם המנגנון המחדש את הנחל מדי שנה, שכן השיטפון גורף מהנחל את מה ששקע והצטבר בו, מחדֵש ומרחיב בתי גידול, מחדש את הקשר בין חלקי הנחל, שוטף מזהמים מהנחל, ומפזר לאורך הערוץ את הביוטה ששרדה [4]. במהלך השנים הוקמו מאגרים רבים במעלה נחלי ישראל ולאורכם במטרה לתפוס את מי הנגר ולנצל אותם לשימוש חקלאי. לאיגום מי שיטפונות יש תועלת כלכלית, אולם גם עלויות סביבתיות. בעבר נהגו לבנות בנחלים מאגרי גיא, הבנויים כסכר החוצה את כל רוחב הנחל וכתפיו, חוסם את זרימת המים, והופך את האפיק וסביבתו לבריכת אגירה גדולה [1]. מאגרי הגיא סוכרים את אפיקי הנחלים בצורה לא בררנית, ולכן נוסף למי גאויות החורף תופסים גם זרימות בסיס (של מי המעיינות) וגם זרימות עונתיות – החיוניות לקיום של בתי הגידול הלחים. מאגרי הגיא שנבנו בעבר, למשל בנחלי רמת הגולן ובאגן נחל תנינים, שינו באופן מהותי את משטר זרימת המים, הסחף, והגרופת בנחל, ופגעו במערכת האקולוגית. **כיום קיימת הסכמה על הימנעות מהקמת מאגרי גיא חדשים, ורשות הטבע והגנים מקדמת תוכניות להעברת מי זרימת בסיס דרך הסכרים הקיימים** (ראו בהמשך על מפעל נחלי מנשה). מאגרים (ובריכות דגים) שנבנו לאורך הנחלים בעשורים האחרונים, נבנו כמאגרי צד – מחוץ לערוצי הנחלים. במאגרי צד נשאבים מי השיטפונות מהאפיק או מוטים למאגר באמצעות תעלת הטיה. שיטה זו מאפשרת איגום בררני של מים בעת זרימה שיטפונית בלבד ובהתאם להקצאות מורשות, ובדרך כלל לא מאפשרת עצירה וניצול של מלוא שפיעת המים בנחל.

בהקשר זה, ראוי לדון בעתידו של מפעל נחלי מנשה, שנבנה באמצע המאה שעברה במטרה להטות את מי הנגר הזורמים בארבעה נחלים באגן נחל תנינים (ברקן, משמרות, עדה ותנינים) לאזור חלחול והחדרה בחולות קיסריה (באגן נחל חדרה). הסכרים ותעלות ההטיה מפֵרים בצורה קיצונית את משטר הזרימה הטבעי של נחל עדה ונחל תנינים. בשנת 2010 גובשו הסכמות בין רשות הטבע והגנים למקורות על שיפור משטר המים בנחל תנינים – כולל הזרמת מי השיטפון הראשון בכל עונה למורד הנחל כדי לאפשר מעבר סחף וגרופת לאורך ערוץ הנחל, וקדיחת חורים בשלושת הסכרים לשם העברת זרימת בסיס יציבה דרך הסכרים לכל אורך עונת השפיעה. כיום מגמדות העלייה וההתייצבות בכמות המים במשק המים את חשיבותו של מפעל ההטיה הוותיק. נשאלת השאלה – באיזו מידה קיים עדיין צורך במפעל ההטיה של נחלי מנשה? ראוי לבחון מחדש את מדיניות ניהול מי הנחלים באגן התנינים ולשקול פירוק של הסכרים ושיקום משטר זרימת המים הטבעי בנחלי האגן – לטובת שיקום הידרולוגי ואקולוגי של הנחל.

סוגית הקולחים הזורמים בנחלים

שפכים עירוניים, קולחים ברמות טיפול שונות, שפכי תעשיה ונקז חקלאי (כולל עודפי בריכות גידול דגים) הם – גם כיום – מרכיב לא מבוטל מהמים הזורמים בנחלים. בעשור האחרון נמשכים המאמצים לצמצם ולהפסיק לחלוטין הזרמות אלה תוך בניית תשתיות טיפול בשפכים שייצרו קולחים באיכות שלישונית. ההצלחה מתועדת במספר נחלים שריכוזי המזהמים בהם פחתו בשיעור ניכר [14]. לעומת זאת, זיהום חמור ומתמשך קיים בנחלים שמקורותיהם ביהודה שומרון ועזה, כפי שעלה בדו"ח מבקר המדינה שפורסם לאחרונה [8].

בעבר הציעו אחדות מתוכניות־האב לשיקום של נחלי החוף בישראל שימוש בקולחים מטוהרים לרמת איכות גבוהה (תקן

ועדת ענבר) כמקורות מים מתאימים לשיקום ולייצוב של זרימת המים בנחלי החוף (streamflow augmentation) [8, 17]. פתרון זה יושם כחלק מתוכנית גאולת הירקון, וכיום מי קולחים מטוהרים זורמים בירקון, והם המקור הבלעדי למים במיזם נחל הדר, בפארק השרון, הכולל אגם ונחל מלאכותיים לרווחת הציבור [17] (איור 1). **עם זאת, חשוב להדגיש שמי קולחים, מטוהרים ככל שיהיו, אינם מתאימים לשיקום אקולוגי של נחלים**, מכמה סיבות: הזרמת קולחים מטוהרים בנחל היא שיקום זמני ("על תנאי") בלבד, מאחר שכל כשל במערכת הטיפול בשפכים יגרום להזרמת מים באיכות ירודה לנחל, ויסכל את מאמצי השיקום (ראו עמ' 78 בגיליון זה); נוסף על כך, בקולחים נותרות תרכובות בעלות השפעה ביולוגית ניכרת (תרופות, הורמונים, דטרגנטים), שאינן מסולקות במט"ש (ראו עמ' 48 בגיליון זה). מאחר שלחלק מהחי והצומח בנחל רגישות גבוהה למזהמים, הזרמת קולחים לנחל, מטוהרים ככל שיהיו, עלולה להגביל את קיומם בבית הגידול הלח [18]. מחקרים מראים שלמרות השיפור שחל בכמות וביציבות של זרימת המים בנחלים המועשרים בקולחים מטוהרים, המגוון הביולוגי נותר דל ומאופיין במינים כוללניים (generalist) [16, 18]. **לפיכך, המדיניות הנוכחית, המבוטאת בתוכנית־האב למים לטבע [15] קובעת חד־משמעית ש"שיקום מערכות אקולוגיות לחות לא יבוצע באמצעות קולחים", וכי כל הקולחים בישראל יופנו להשקיה חקלאית, ובנחלים יזרמו מקורות מים טבעיים בלבד.**

למרות המדיניות הנוכחית הברורה בנושא זה, קיימים אילוצים וחסמים טכניים, שיוצרים מכשול בפני יישומה. למשל, השימוש החקלאי הוא עונתי, בעוד הזרם של הקולחים העירוניים קבוע, דבר היוצר מדי חורף עודפים גדולים של קולחים שמצריכים איגום. בהיעדר נפח איגום מספיק מוזרמים לעיתים עודפי קולחים דרך אפיקי הנחלים לים. נוסף על כך, אף על פי שמתקני הטיפול בשפכים משודרגים, ואיכות הקולחים המסופקים לחקלאות משתפרת, דווקא הקולחים השניוניים, הירודים באיכותם, נותרים ללא פתרון קצה. יתרה מכך, הצטמצמות הפער בין מחירי הקולחים לבין מחירי המים השפירים המסופקים לחקלאות, עשויה לצמצם את היקף צריכת הקולחים בעתיד. בהיעדר פתרונות קצה אחרים, כל עודפי הקולחים, שאין להם ביקוש בחקלאות, ימשיכו לגלוש לנחלים.

היות שכך, יש צורך במציאת פתרונות מקומיים ולאומיים להתמודדות עם האתגרים שמציבים הקולחים לשיקום הנחלים. ברמה המקומית, ראוי להשקיע בפתרונות למזעור הפגיעה בנחלים – למשל, החמרת הבקרה על מתקנים קטנים לטיהור שפכים והקמת מאגרי חירום ואגנים ירוקים שיתפקדו כמערכות חיץ בנקודות כשל בין מתקני הטיפול לאפיקי נחלים. ברמה הלאומית, חסרה עדיין תוכנית־אב ארוכת טווח להתמודדות עם עודפי הקולחים. בשנים הקרובות עלולה לעלות מחדש השאלה מה עדיף – להזרים את עודפי הקולחים ישירות לים, או להזרים אותם לנחלי החוף? כדאי שנהיה מוכנים עם הצעות למדיניות ועם פתרונות למזעור הנזק למערכות האקולוגיות בנחלים.

סיכום: הזדמנויות וחסמים בשיקום נחלים

בשנים האחרונות חלים שינויי פרדיגמה מהותיים במדיניות הנוגעת לשיקום הנחלים בישראל. שינוי מהותי חל מתפיסה המקדמת אספקת "הקצאות מים לטבע" ("אינפוזיה" לשמורות טבע עֲיָבשו) במסגרת "זכות הטבע ל(קצת) מים", לתפיסה החותרת לשיקום שפיעת מקורות המים הטבעיים בנחלים על־ידי שיקום מפלסי מי התהום והתחדשות שפיעת המים בנביעות עֲיָבשו, ושחרור מי המעיינות שנתפסו לשימוש חקלאי. מדיניות זו צריכה להתמקד באגנים קטנים, חקלאיים, שבהם שאיבת (יתר) של מים לחקלאות פוגעת בשפיעת המים בנחלים. באגנים חקלאיים אלה, המאופיינים במעיינות ובנחלים שספיקתם נמוכה, זהו יעד ציבורי חשוב, בר־השגה, שלא יגרע כמויות מים משמעותיות ממשק המים.

גם בתחום ניהול השפכים חל שינוי מהותי במדיניות המקובלת. ממדיניות שהציעה להשתמש במי קולחים כבסיס לשיקום נחלי החוף, למדיניות לאומית המייעדת את כל הקולחים להשקיה חקלאית, ומבססת את השיקום האקולוגי בנחלים אך ורק על שפיעת מקורות המים הטבעיים.

לכאורה, שינויים מהותיים אלה במדיניות שיקום הנחלים מתאפשרים בזכות התמורות המהותיות שחלו במשק המים בשנים האחרונות, עם הגידול הניכר בכמויות המים המותפלים ובכמות מי הקולחים. אולם אל מול המדיניות העדכנית – והשאפתנית – ביעדי שיקום הנחלים ניצבים חסמים המעלים שאלות מאתגרות. למשל: באיזו מידה משק המים ערוך, הן מבחינת כמויות המים הן מבחינה כלכלית, לשקם את מפלסי מי התהום שהתדרדרו במשך שנים של שאיבת יתר, ולשקם את שפיעת המעיינות באגנים שמי המעיינות בהם מנוצלים כיום לחקלאות? כיצד ניתן להתגבר על אינטרסים כלכליים ולהוביל להפנמת יעדי שיקום הנחלים בתוכניות תפעול (יישומיות) של משק המים? כיצד ניתן להתמודד עם מגמות עלייה בכמויות הקולחים ולמנוע כשלים ופגיעה חוזרת במאמצי השיקום האקולוגי של נחלים?

נחלים לעולם יהיו ממוקמים בתחתית אגני ההיקוות. תמיד ימשיכו לשאוב מהם את משאבי המים הטבעיים – מכיוון שאלה משאבי מים זולים, והם תמיד ימשיכו להיות "פתרון קצה" זול להזרמת שפכים. האתגר הגדול העומד בפני כל הגורמים העוסקים בשיקום הנחלים, הוא לשכנע את הציבור ואת מקבלי ההחלטות בישראל להכיר בחשיבות הנחלים ולהשקיע את המשאבים הלאומיים הדרושים לשיקומם.



הזרמת מי הכינרת למורד הירדן. המים משמשים למהילת הקולחים בנחל. יולי 2017 | צילום: אורית סקוטלסקי

מקורות

[1] אוזן א. 2010. שיקום ושימור הנחלים ובתי הגידול הלחים בישראל: מדיניות רשות הטבע והגנים. רשות הטבע והגנים. www.tinyurl.com/shikumN.

[2] אחיפז ז. 2017. מתוך הרצאה "עודפי קולחים תמונת מצב וצפי לשנים הבאות" – סיכום מפגש שלישי. 26.1.2017 סדנת נחלים "עודפי מים במאגרים". פורום רשויות ניקוז ונחלים, משרד החקלאות ופיתוח הכפר והמשרד להגנת הסביבה.

[3] גבעתי ע ועצמון ב. 2013. מגמות בשפיעת מעיינות בצפון הארץ. השירות ההידרולוגי – רשות המים. www.tinyurl.com/Givati-Atzmon-2013.

[4] גזית א, ירוסלביץ ד, זס"ק א ואחרים. 2010. רב־שיח בנושא מדיניות שיקום ושימור נחלי ישראל. אקולוגיה וסביבה 1(3): 55–71.

[5] חוק המים (תיקון מס' 19), התשס"ד – 2004.

[6] טל ע. 2016. דעיכה בשפיעת מעיינות במרכז רמת הגולן. השירות ההידרולוגי – רשות המים. דו"ח פנימי.

[7] יחיאלי י, שליב ג, וולמן ס ואחרים. 2011. מודל תלת־ממדי של אגן כלנית (אגן פוליה– טבחה). דו"ח GSI/38/2011.

[8] מבקר המדינה. 2017. זיהומי מים בין מדינת ישראל לשטחי יהודה, שומרון ורצועת עזה. דו"ח שנתי 67ב. www.tinyurl.com/mevaker-sviva.

[9] מושקוביץ י. 2001. הקווים האדומים. מים והשקיה **417**: 6–35.

[10] ספיר ג ואלרון א. 2014. תכנית מים לנחל נעמן – דו"ח סופי. רשות הטבע והגנים ו־MED DHV.

[11] סקוטלסקי א ופרלמוטר מ. 2012. נעגועים לנחל – הנחלים ובתי הגידול הלחים בישראל: מצב קיים, ומתווה לשיקום הידרולוגי ואקולוגי. החברה להגנת הטבע. www.tinyurl.com/nechalim12-pdf.

[12] רשות המים. 2012. תכנית אב ארצית ארוכת טווח למשק המים – חלק א': מסמך המדיניות. www.tinyurl.com/water-master-plan.

[13] שחם ג. 2003. זכות הטבע למים – דרישות מים עבור גופי מים ובתי גידול לחים – מסמך מדיניות. המשרד לאיכות הסביבה ורשות הטבע והגנים. www.tinyurl.com/Giora-Shacham-2003.

[14] שפירא א"ד. 2015. עומסי מזהמים בנחלים. המשרד להגנת הסביבה. www.tinyurl.com/shapira2015.

[15] תה"ל. 2013. תוכנית אב מים לטבע דו"ח –1 אפריל 2013. מוגש לרשות המים המשרד להגנת הסביבה ורשות הטבע והגנים. www.tinyurl.com/water-to-nature.

[16] Arnon S, Avni N, and Gafny S. 2015. Nutrient uptake and macroinvertebrate community structure in a highly regulated Mediterranean stream receiving treated wastewater. *Aquatic Sciences* **77**: 623-637.

[17] Garcia X and Pargament D. 2015. Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making. *Resources, Conservation and Recycling* **101**: 154-166.

[18] Grantham TE, Cañedo-Argüelles M, Perrée I, et al. 2012. A mesocosm approach for detecting stream invertebrate community responses to treated wastewater effluent. *Environmental Pollution* **160**(1): 95-102.

[19] Tenne A. 2010. Sea water desalination in Israel: Planning, coping with difficulties, and economic aspects of long-term risks. Israel Water Authority. www.tinyurl.com/Desalination-in-Israel.



"עין אמפי" במעלה נחל משושים - על סף ייבוש, קיץ 2017 | צילום: הלל גלזמן

זרימת מים טבעיים בנחלים – מה נעשה בעשור האחרון ולאן פנינו?

הלל גלזמן [1]* וניסים קשת [2]

[1] מנהל תחום ניטור נחלים, רשות הטבע והגנים
[2] מנהל אגף סביבה, רשות הטבע והגנים
* hillel@npa.org.il

פיתוח מערכת אספקת המים ליישובים העירוניים, לחקלאות, לפיתוח חבלי ארץ יבשים ולתעשייה חל תוך כדי ניצול מואץ של מקורות המים הטבעיים. בעקבות זאת נעלמו רובם המכריע של בתי הגידול הלחים מנוף ארצנו, ואיתם מיני הצומח ובעלי החיים. בתי גידול לחים שרדו בעיקר בגנים לאומיים ובשמורות טבע, ושטחם הכולל מגיע לכ־8,500 דונם, שהם כ־3% בלבד משטחם לפני כמאה שנים.

בעקבות שינוי חוק המים בשנת 2004 הפכו הטבע והנוף לצרכן מים חוקי, ומשק המים חויב להכלילם במערך הקצאות המים ובתוכניות־האב הארציות של משק המים.

בעשור החולף הותוו כללים להקצאות המים הללו, ובוצעו מהלכים בשיתוף רשות המים, רשות הטבע והגנים והמשרד להגנת הסביבה, שהביאו לשיפור זרימת המים במספר נחלים. עם זאת, נמשכת מגמת הפקת מים מוגברת מהאקוות, ואף נקדחים קידוחים חדשים אל מי התהום. מצב זה, המתווסף אל שנות בצורת מתמשכות ואל מילוי חוזר מועט יחסית לממוצע הרב־שנתי באגנים הצפוניים – מביא לדעיכה נוספת בשפיעת מעיינות ולהתמעטות המים בנחלים.

מחקרים חדשים של הידרולוגים ברשות המים ומחוצה לה מצביעים על מגמת ירידה בשפיעת המעיינות ברמת הגולן ובאגני הגליל המערבי [2,1].

דוגמאות למעיינות ולנחלים שנפגעו ולפעולות שנעשו לשיפור מצבם

מקורות הירקון – המעיינות יבשו בשנות ה־70 עקב שאיבה נרחבת מאקוות ירקון־תנינים. בעקבות החלטת ממשלה "לגאול את הירקון" מוזרמים משנות ה־90 מים שפירים לקטע "גן לאומי ירקון" ו"גן לאומי אפק" מאחד מקידוחי ראש העין הסמוכים. מים אלה מקיימים בית גידול בריא של נחל איתן, אולם לאחר כ־7 ק"מ נכנסים לירקון עודפי קולחים שאינם מנוצלים בחקלאות ממט"שים של ערי הסביבה. מצב זה מחמיר עקב תקלות במט"שים ושחרור לא מבוקר של שפכים שאינם מטופלים כראוי לנחל. כך ירדו לטמיון עשרות שנים של שיקום אקולוגי במורד הירקון, ויש להשקיע כיום משאבים רבים כדי לחזור ולשקם את הנחל.

מעיין עינן – בעבר מקור מים חשוב של אגם החולה ושל שמורת החולה. עקב שאיבה מרובה מהאקווה יבש המעיין בשנות ה־90. כ־12 מלמ"ש מי קידוח ומי ירדן נקיים מוזרמים בשאיבה לשמורה.

נחל עיון – התייבש מאז שנות ה־70 עקב תפיסת מעיינותיו בלבנון. 0.7 מלמ"ש מוזרמים בשאיבה ממערכת הדן לקיום המפלים והנחל כל השנה.

נחל דן – בוצעו שינויים בנקודות תפיסות המים במעיינות כך שיותר מים זורמים באפיק הראשי. למשל, הטיות המים מראש הנחל של הקיבוצים דן ודפנה, שהיו קיימות משנות ה־40 – בוטלו, והמים לצורכיהם נלקחים כיום כ־1.5 ק"מ במורד הנחל.

נחל בצת – מעיינותיו יבשו לחלוטין ב־2001 עקב שאיבה מוגברת בקידוחים שבמעלה האגן המזין אותם. בריכות המים יבשו, וכל החי והצומח שבהן מתו. הקצאת מים מיוחדת של 0.6 מלמ"ש מוזרמת לנחל ממערכת מי השתייה של "מקורות", אולם כמות זו אינה מספיקה. כיום נמצא בתכנון קו נוסף שיכפיל את הספיקה בנחל. הכוונה היא להחזיר את השפיעה הטבעית למעיינות, אך הדבר יתאפשר רק לאחר שתושלם מערכת להגברת אספקת המים מהתפלת מי ים בגליל המערבי כתחליף לשאיבה המשמעותית באקוות.

מעיינות אפק – שפיעת המעיינות בשמורה פסקה בשנות ה־90 עקב שאיבות בקידוחים שבמעלה אגן הנעמן. כדי לשמור ולקיים את ערכי הטבע בשמורה מזרימה רשות הטבע והגנים

מים מקידוח סמוך בספיקה של 3.5 מלמ"ש. תוכנית־אב חדשה לנחל הנעמן מגדירה משטר שפיעה במעיינות אפק וזרימה איתנה לכל אורך הנעמן. אולם, כמו שתואר עבור נחל בצת, הדבר מצריך הגברה של אספקת המים בגליל המערבי ממקורות אחרים והפחתה דרסטית בהפקת מי התהום באגן.

מעיינות רמת הגולן – בוטלה ההטייה של מי המעיינות שנוצלו לשתייה ולחקלאות מאז 1967, ורובם שוחררו לטבע. למרות זאת שפיעתם פוחתת בעשרות אחוזים בשני העשורים האחרונים, ולא רק בגלל מיעוט הגשמים אלא בגלל **הגברת ההפקה בקידוחים באקוות הבזלת בגולן**. אם תימשך מגמה זו בשנים הבאות, אנו צפויים לראות דעיכה ואף התייבשות של מעיינות בגולן וכן ירידה משמעותית בכמות זרימת המים בנחלים הגדולים של הגולן, ובהם: משושים, זויתן, יהודיה ודליות.

עינות גִבתון – בית הגידול הביצתי בשמורה הסמוכה למזכרת בתיה, נוקז על־ידי הבריטים כדי להימנע ממלריה. לאחר קום המדינה הוזנחה השמורה, וסבך עצום של צמחי קנה, עצי אשל וצמחים פולשים סתם את בריכות המים שבה. בעשור האחרון ביצעה רשות הטבע והגנים פעולות הנדסיות נרחבות כדי לפתוח את נוף המים של הביצה ולאפשר לבית הגידול הטבעי להשתקם.

המעיינות לאורך חוף ים המלח – בשמורות עין גדי, עינות קנה וסמר, עין פשחה ועין בוקק בוצעו פעולות נרחבות לשפר ולשמר את מערכות המים הטבעיות שנפגעות בעשורים האחרונים בעיקר מנסיגת מפלס ים המלח.

לסיכום, מצב מקורות המים הטבעיים בארץ שופר בשני העשורים האחרונים הודות לשינויים בחוק המים ולמשאבים רבים שהוקצו למטרת שיקום בתי הגידול הלחים, ובזכות שינויים בנקודות תפיסת המים והעברתם לניצול חקלאי רק לאחר זרימתם במקטעי נחל חיוניים שמאפשרת מתן שירותי מערכת לבתי הגידול הלחים הטבעיים.

רשות המים שוקדת על הכנת תוכנית־אב חדשה למים לטבע ולנוף, כחלק מתוכנית־האב החדשה למשק המים בישראל. תוכנית זו מגדירה את הכלים שמאפשרים לקבוע את הקצאות המים הנדרשות לכל גוף מים באשר הוא, וכן את המנגנונים שיאפשרו מימוש של המים שיוקצו לשם כך.

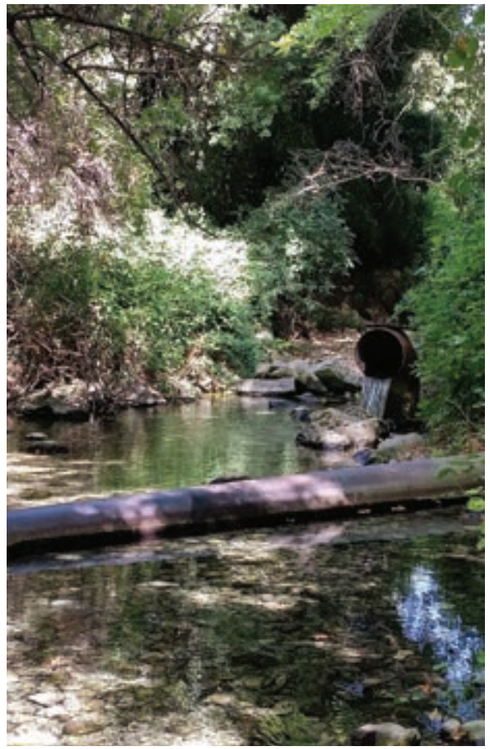
כניסתה של המדינה לעידן ההתפלה אכן מאפשרת השגה של מטרות תוכנית־האב למים לטבע, ובעיקר שיפור של השפיעה במקורות המים הטבעיים על־ידי הפחתה בהפקת מים ממי התהום ואספקת מים מותפלים לבית ולחקלאות תמורתם. למרות זאת, העיכוב המתמשך בהקמת מתקן התפלת מי ים בגליל המערבי, מיעוט הגשמים ומיעוט המילוי החוזר בכל אזור הצפון – מחמירים משנה לשנה את מצב המים בטבע בצפון הארץ, ואנו עדים כיום להתייבשות מעיינות ונחלי איתן כפי שלא היינו עדים להם מעולם.

רשות המים פועלת להבאת כמויות מים נוספות ממרכז הארץ לטובת שתייה וחקלאות באזור צפון הארץ המתייבש, אולם אין בכך די כדי לתת פתרון למקורות המים הטבעיים.

נקווה שהשנים הקרובות יהיו גשומות, שמפלסי המים באגני מי התהום ישובו ויעלו, ושהזרימה הטבעית תחזור למעיינות.

מקורות

[1] גבעתי ע. 2011. בחינת מגמת נפחי שפיעה במעיינות הדופן ברמת הגולן, אגן ההיקוות של הכנרת. השרות ההידרולוגי.
[2] גבעתי ע וטל ע. 2015. דעיכה בשפיעת מעיינות במרכז רמת הגולן. השירות ההידרולוגי – רשות המים.



החל ב־2013 משוחררים מי מעיין חרדלית לנחל כזיב | צילום: הלל גלזמן



תחרות על המים: מי מעיין דבשה, במורדות המזרחיים של הגולן, נתפסים בחלקם בצינור לצורך השקיה חקלאית בעמק החולה, וחלק משוחררים לטבע
[בתמונה בעמוד הבא]. 24.9.2017 | צילום: אביטל גזית

מה צופן העתיד לנחלי ישראל

אביטל גזית

בית הספר לזואולוגיה, אוניברסיטת תל־אביב
בית הספר ללימודי סביבה ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל־אביב
avitalg@tauex.tau.ac.il

מאז הקמתה של מדינת ישראל והאצת הפיתוח עברו רבים מנחלי ישראל תהליכים מחוללי שינוי, מנחלים שזרימת המים, איכותם והמגוון הביולוגי בהם טבעיים, לנחלים עניים במי מקור שמליחותם חורגת מזו של מים מתוקים והם עתירים במזהמים שמקורם בשפכים ובקולחים. בעשורים האחרונים גוברות העדויות והתחזיות להחמרת מגמת ההתייבשות האקלימית באזורנו (ראו עמ' 12 בגיליון זה). למשל, בעשרים השנים האחרונות מספר השנים שממוצע המשקעים הארצי היה נמוך בהן מהמוצע הרב־שנתי היה כפול מזה של שנים גשומות, ותדירות רצפי שנים שחונות הייתה גבוהה יותר. אין להוציא מכלל אפשרות שמגמה אקלימית־הידרולוגית זו היא מחזורית, אך כמדומני שאין חולק שלפחות בעתיד הנראה לעין תישאר זמינות המים בנחלים גירעונית בהשוואה לזו שהתקיימה באזורנו לפני עשורים ספורים. ספיקות המים בנחלים יפחתו, ונחלי איתן או קטעי איתן יחוו תקופות של היעדר זרימה ויהפכו לאכזב, בייחוד לאחר רצף שנות בצורת (ראו עמ' 76 בגיליון זה). בנחלים או בקטעי נחל שיהיו מוגנים מזיהום אך לא מאירועי קיצון הידרולוגיים, ייעלמו המינים הרגישים ויגדל חלקם של המינים העמידים להתייבשות [4]. נוסף לאיום ההידרולוגי מאוימים נחלי ישראל על־ידי גידול האוכלוסייה (כ־2% בשנה [3]), קצב שגדול כמעט פי שלושה מהממוצע במדינות הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכליים (OECD). התחרות על משאבי המים והקרקע תגבר, תחמיר את הירידה בזמינות המים בטבע, ותוסיף פגיעה דרך שינוי שימושי הקרקע באגני הניקוז והשלכותיהם על שטפים הידרולוגיים ועל איכות המים. נוסף על כך, ככל שגדלה האוכלוסייה, גדלות כמויות השפכים והקולחים. מקווי המים, שהם המערכות הנמוכות בנוף, מתפקדים "כמערכת מקבלת" (receiving system) של עודפי קולחים לא מנוצלים וכפתרון הקצה של זרימות שפכים וקולחים בעת תקלה במתקני הטיפול בשפכים (כפי שלמשל אירע לאחרונה בירקון באפריל 2017 [1]). חמור במיוחד מצבם של נחלי האכזב, מערכת אקולוגית ייחודית בלתי מוכרת ובלתי מוערכת על־ידי מי שאינו עוסק באקולוגיית נחלים, שעבורו נחל שבתקופה מסוימת אין בו מים הוא נחל פגום, שיש לשקם אותו על־ידי תוספת מים שיזרמו בו כל השנה. ברבים מנחלי האכזב קיים עולם נסתר של בעלי חיים המתקיימים בלחות הנותרת בערוץ מתחת לפני השטח. זהו בית גידול חשוב בפני עצמו. הציבור אף הוא נהנה לטייל בערוצים בתקופה שאין בהם מים. מעבר ל"החייאת הנחל", מתכנני שיקום

חסרי ידע רואים בנחלי האכזב הזדמנות להפנות מים לאפיקים היבשים גם כפתרון לעודפי הקולחים.

כנגד החשש מהתייבשות קיימת גישה אופטימית שההתפלה תמלא כל מחסור, או לפחות תמנע החמרה של זמינות המים בטבע [2]. המציאות העכשווית גורמת לנו להטיל ספק באופטימיות זו, שכן למרות הקצאת מים לנחלים במסגרת תקנת "זכות הטבע למים" (ראו עמ' 76 בגיליון זה) היא מעולם לא הוקצתה במלואה בשל המחסור המתמשך במים. סביר להניח שגם אם בעתיד תוכל ההתפלה לשפר את מאזן המים בישראל, כולל לצורכי הטבע, עדיין צפויה תקופת ביניים ארוכת שנים של גירעון חמור במים. כתוצאה מכך, המערכות האקולוגיות, בדומה למערכות כלכליות (במיוחד חקלאות), ייאלצו לתפקד תחת משטר הידרולוגי גירעוני. שלא כמו האפשרות של מתן פיצוי למערכות כלכליות שייפגעו (כדוגמת פיצויי בצורת), אין מנגנון פיצוי מיידי ופשוט למערכות אקולוגיות. כדי להציל את שעדיין אפשרי, **נדרשת היערכות חירום מיידית לאיתור אתרי מפלט ולהכרזה עליהם**. אתרים אלה הם קטעי נחל קצרים או ארוכים שמוגנים מפני זיהום, ומוגנים לחלוטין מפני התייבשות (כמות המים המינימלית הנדרשת לקיים את המגוון הביולוגי באתר מובטחת בכל תנאי). במציאות הישראלית אתרי המפלט ששרדו הם לרוב קטעי איתן מצומצמים במעלה הנחל, בקרבת נביעות



מים שנותרו בנחל דבשה לאחר ניצול חלק מהמים לחקלאות. המצב אופייני לחלק מנחלי האכזב: כמות מים קטנה זורמת בערוץ ונעלמת אל תוך החלוקים (ומופיעה שנית במורדו). בלחות הנותרת מתחת לחלוקים מתקיים עולם ביולוגי מיוחד ובלתי מוכר בארץ | צילום: אביטל גזית

ומחוץ לתחום של זרימת שפכים וקולחים. אתרי המפלט ישמשו מוזיאון חי וגרעין אכלוס מחדש בשנים גשומות. השגת היעדים של שמירת המגוון הביולוגי באמצעות אתרי מפלט מחייבת תכנון פרטני ומוקפד של איתור קטעי נחל נבחרים, שמירה על איכותם והקצאה מובטחת בכל תרחיש. סביר שממשק ההגנה על אתרי המפלט יחייב גם הכרה בהם כבעלי מעמד מיוחד בדומה לשמורות טבע.

הגופים האחראים על משק המים ועל שמירת הסביבה והטבע עושים מאמצים בכיוון הנכון (ראו עמ' 76 בגיליון זה), אך לרוב מותנה מתן המענה ההידרולוגי במצב משק המים, ומחייב מאבק חוזר ונשנה לקבלת כמות מינימלית ("מנת ברזל") של מים הדרושה לקיום בתי הגידול והחי והצומח שבהם. החמרת המצב מחייבת עליית מדרגה בהתייחסות לאיום על השלמות הביולוגית בנחלי ישראל, ובהתאם לכך – מתן מענה מלא באתרים נבחרים.

בנחלי האיתן הגדולים שכבר שנים חשופים לזיהום ולהמלחה (כדוגמת נחלי החוף ומורד הירדן) אין מנוס מהקצאה של קולחים באיכות גבוהה ושל מים מליחים במורד הנחל שקרוב לים ומושפע מגאות ומשפל. כך תתאפשר קבלת תועלת לרווחת האדם, גם אם חלקית, תוך ויתור בשלב הביניים על שיקום המגוון הביולוגי שנפגע.

מבין נחלי ישראל, הירדן הדרומי הוא מקרה חריג בעוצמת הפגיעה בו. מאידך גיסא, המורכבות הגיאופוליטית מקשה על שיקומו. החלופה ליצירת אתר מפלט בירדן הדרומי (במורד יציאת הנחל מהכינרת) קיימת, אך מחייבת היערכות שונה מזו המתוכננת כיום. אין ספק שכמו מרבית המערכות האקולוגיות בישראל, **מה שהיה בנחלי ישראל בטרם התערבות האדם לא ישוב ויהיה**, אך ראוי שלפחות במקרים נבחרים, נכסי הטבע שאפיינו את נופי הנחלים ואת תפקודם דורות רבים, יישמרו גם עבור הדורות הבאים.

מקורות

[1] בלומנטל א. 2017. זיהום הירקון: חולדאי מבקש מאלקין להתערב. ynet. 17 במאי: כלכלה ירוקה וקיימות.
www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4963586,00.html.

[2] בר־אלי א. 2017. ישראל מתייבשת, אבל כבר לא מתרגשת מזה. *TheMarker*. 5 ביולי: מגזין.
www.themarker.com/magazine/1.4216351.

[3] טל א. 2017. והארץ מלאה, התמודדות עם פיצוץ אוכלוסין בישראל. בני ברק: הוצאת הקיבוץ המאוחד.

[4] Hershkovitz Y and Gasith A. 2013. Resistance, resilience and community dynamics in Mediterranean-climate streams. *Hydrobiologia* **719**: 59-75.

האם וכיצד יש להתערב ביערות המחט הנטועים בישראל אל מול יובש גובר ושינוי אקלים?

יגיל אסם
המחלקה למשאבי טבע, מִנהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני
yagil@agri.gov.il

עלייה בשכיחות הבצורות מסתמנת כעובדה קיימת באזורנו [31]. לצד מגמה זו נצפית בארץ תמותה ניכרת של עצים בחורש וביער, המיוחסת לעקת יובש [13]. בעוד שתמותה בחורש נתפסת כתהליך טבעי שאינו דורש פעולה מיוחדת, מתעורר דיון באשר למידת ההתערבות הראויה ביערות המחט הנטועים.

יערות המחט בארץ הם מערכת אקולוגית צעירה, מעשה ידי אדם, שהיא מרכיב נופי ותרבותי חשוב בחלק הים תיכוני של ישראל [24]. לצד ממשק יערני שוטף נתונים יערות אלה לתהליכים טבעיים, המעצבים אותם בהתאם לתנאי הסביבה בכל מקום ומקום [26, 27, 29]. עם זאת, קיים עדיין ספק באשר לחוסנם של היערות וליכולתם לעמוד ביובש הגובר מבלי לקרוס. בפני מנהלי היער ניצב האתגר של גיבוש אסטרטגיה ממשקית שתבסס את היערות ותוביל להתפתחותם כמערכת אקולוגית חסונה ומסתגלת.

התאמת דרישת המים של היער לזמינות המים בבית הגידול

הדרך לניהול יערות המחט מול היובש הגובר ראשיתה בממשק יערני שמטרתו לווסת את דרישת המים של היער. יערות רבים בארץ סובלים מצפיפות יתר, ויש צורך לדלל אותם. בספרות המדעית עדויות רבות ליעילות של טיפולי דילול ביערות הסובלים מעקת יובש [30, 18, 17, 16, 14, 9, 8]. משטר הדילולים צריך להתאים את צריכת המים של עומדי יער, לאורך מסלול התפתחותם, לזמינות המים בבית הגידול [32, 11]. שילוב של ידע מדעי ומקצועי שהצטבר בארץ הוביל לאחרונה לפיתוח משטר דילולים כזה המותאם הן לתנאי בית הגידול הן למטרות ניהול השטח בכל מקום [1]. כדי להשיג צפיפות נכונה ביערות יש להגביר את עוצמות הדילול ולהשתחרר מהנחות של יערנות יצרנית שעיצבו את משטרי הדילול בעבר [28]. הניסיון בארץ מלמד כי דילולים בעוצמה גבוהה (כריתה של עד כדי 80%–60 מהעצים) שהתבצעו ביערות אורן צפופים, שיפרו במידה ניכרת את חיוניות העצים והפחיתו את שיעורי התמותה ביער [9]. יש להציב בעדיפות עליונה טיפול ביערות הצעירים (עד גיל 25). איחור בדילול יערות אלה עלול להוביל להיווצרות דור חדש של יערות בוגרים צפופים מדי, הסובלים ממראה ומתפקוד ירודים ללא תקנה. לשם המחשה, הצפיפות המרבית של יערות אורן ירושלים (*Pinus halepensis*) בוגרים בארץ צריכה לנוע בין 20 עצים לדונם בבתי הגידול היבשים ביותר (למשל יערות יתיר ולהב בצפון הנגב) לבין 30 עצים לדונם בבתי הגידול הלחים ביותר. ויסות צפיפות העצים בשילוב עם ממשק רעייה מושכל יצמצם את דרישת המים של צמחיית היער וגם צפוי להגדיל את תרומת הגשם למאגרי המים התת־קרקעיים בשטחים הפתוחים.

תמותה והתחדשות כתהליכי התארגנות עצמית והסתגלות של היער

תמותה של עצים ביער משקפת תהליכים טבעיים של התארגנות והסתגלות החיוניים להתפתחות יער בריא וחסון [7, 21]. החשש שיער שיש בו תמותה הוא יער "שהולך לאיבוד" אינו מוצדק בדרך כלל. גם יער שאינו בעל כיסוי צמרות צפוף הוא יער, ולרוב יערות בעלי נוף פתוח יותר מציגים ערכים אקולוגיים ונופיים גבוהים [2] וגם מותאמים יותר למגבלת המים [9]. יתר על כן, כתמי תמותה ביער יוצרים מורכבות מבנית, ומספקים הזדמנות להתחדשות טבעית המובילה לגיוון גילי ומיני של היער [12, 15, 18]. זאת ועוד, לעצים מתים כשלעצמם תרומה חשובה ביותר למגוון תהליכים היוצרים מערכת אקולוגית מפותחת. כל עוד תהליכים אלה אינם מובילים לסטייה ניכרת ממבנה היער הרצוי על פי מטרות ניהול השטח, יש לקדמם בברכה ואף לעודד אותם. יערות שהעצים הנטועים בהם קרבים לפרקם, ראוי לחדשם ככל האפשר על בסיס התחדשות טבעית ולעודד בכך תהליכי ברירה טבעית והסתגלות לתנאים הייחודיים בכל אתר ואתר. גישה זו רלוונטית במיוחד ליערות אורן ירושלים [19, 25], אורן ברוטיה (*Pinus brutia*) [19, 23] ובמקרים מסוימים, גם ברוש מצוי (*Cupressus sempervirens*) [3]. כחלק מההתחדשות הטבעית יש לקבל בברכה את השתלבותם של עצי חורש טבעי [10, 23, 27, 29]. יש להמשיך ולפתח את המתודולוגיה לחידוש יערות על בסיס התחדשות טבעית עבור מיני עצים שונים ובהתאם לתנאי בית הגידול [23, 25].

תוכנית השבחה לעצי יער

יערות המחט הבוגרים בארץ מורכבים ברובם ממקורות זרעים זרים. לצד המגוון המוגבל של מקורות גנטיים מקומיים, מעורר הדבר חשש באשר לכשירותו של המערך הגנטי ביערות הארץ לספק מענה לאתגרי האקלים הצפויים [5]. היות שכך, יש מקום לתוכנית השבחה גנטית לשיפור העמידות ליובש של עצי יער. כדי לקדם תוכנית השבחה אפקטיבית יש להתמקד ראשית במספר מוגבל של מיני מחט מובילים כגון אורן ירושלים, אורן ברוטיה וברוש מצוי. תוכנית ההשבחה צריכה להיות ארוכת טווח, מתוך הבנה כי השבחה של עצי יער היא תהליך מורכב ורב־שלבי [20, 22, 33]. המקורות הגנטיים להשבחה צריכים להיות רחבים ולהתבסס בעיקר על עצים בוגרים מצטיינים המצויים כיום ביערות וכבר הוכיחו את הצלחתם בבתי הגידול היובשניים של הארץ. ראוי להשקיע מאמץ באיתור עצים כאלה ובסימונם, בעיקר ביערות הדרום. גנוטיפים מצטיינים שנבררו בקפידה צריכים לשמש בעיקר מרכיב מעשיר ביערות קיימים [6] וגם בסיס לחידוש יערות על־ידי נטיעה בשטחים מוגבלים, שתנאי בית הגידול בהם אינם מאפשרים התחדשות טבעית [25, 27].

מידת ההתערבות הראויה

ביערנות קיים מתח מתמיד בין הצורך במתן מרחב הנדרש לתהליכי התארגנות והסתגלות טבעיים של היער לבין הצורך בהתערבות להשגת מטרות שונות. האי־ודאות לגבי מגמות האקלים העתידיות והשלכותיהן מצדיקה נקיטת גישה של "גם וגם". חלוקת היער ליחידות ייעוד שטח שונות המתבצעת לאחרונה במסגרת תוכניות־אב ליער [4] מאפשרת יישום מושכל של הגישה המשולבת. ממשק שמוכוון לייעוד השטח ממקד את רוב הפעולות היערניות בשטחים מוגבלים, שם ההתערבות חיונית וגם בת־ביצוע (למשל, שטחים בייעוד קליטת קהל או אזורי חיץ לאש). בו־בזמן, הוא גם שואף להתערבות מזערית בשטחי יער רבים אחרים (שטחים בייעוד ערכי טבע או יער רב־תכליתי) כדי לאפשר ביטוי מרבי של תהליכים טבעיים הנדרשים לשימור המגוון הביולוגי ולטיפוח כושר ההסתגלות של היערות לסביבה המשתנה.

מקורות

[1] אסם י, ברנד ד, טאובר י, פרבולוצקי א וצורף ח. 2014. תורת ניהול היער בישראל – מדיניות והנחיות לתכנון ולממשק היער. קק"ל.
[2] אסם י, זנגי א, צורף ח ואחרים. 2016. אתר מחקר אקולוגי ארוך טווח (LTER) לחקר ממשק יער נטע אדם בישראל. השפעות דילול וטיפולים בתת־היער על חיוניות ובריאות היער, חידוש טבעי ומגוון ביולוגי ביער אורן ירושלים נטוע. דו"ח שנתי לתכנית מחקר.
[3] אסם י וציפר־ברגר י. 2012. חידוש טבעי של ברוש מצוי (*Cupressus sempervirens*, Cupressaceae) ביערות נטועים בהשפעת תנאי בית הגידול. דו"ח שנתי לתכנית מחקר.
[4] פורת י, צורף ח ואסם י. 2017. תכנית אב ליער ככלי תכנוני לניהול יער מוכוון מטרה – יער הקדושים כמודל. אקולוגיה וסביבה **8**(2): 50–56.
[5] שילר ג. 2013. התנוונות ותמותה מוקדמת של אורן ירושלים בישראל בעקבות יבוא זרעים ממערכות אקולוגיות זרות. אקולוגיה וסביבה **4**(2): 167–175.

רשימת המקורות המלאה מופיעה בנספח 1 באתר כתב העת



מאגר מים ביער יתיר שבצפון הנגב. 23.3.2003 | צילום: בני מור, באדיבות ארכיון הצילומים של קק"ל

סיכום ומשמעויות לפרק ג

שימור נחלים במגבלות המציאות

יורם אבנימלך, עורך־אורח לגיליון זה
agyoram@technion.ac.il

נופי מים הם בעלי חשיבות לאוכלוסייה בכל מקום בעולם, ובוודאי לאלה החיים באזור יבש ושחון. גופי מים משפרים את רמת החיים של האוכלוסייה ותורמים לערכים התיירותיים. נוסף על כך, יש להם גם חשיבות אקולוגית בהיותם בית גידול לצמחי מים ולאוכלוסיות של בעלי חיים החיים בתוך המים או הזקוקים למים בסביבתם.

פיתוח שלא הביא בחשבון את צורכי הטבע ואת העלייה בצריכת המים - הצריכה הישירה, הנובעת מגידול האוכלוסייה ומעלייה בצריכת לנפש, והצריכה העקיפה לאספקת שירותים - הביא לקונפליקט חמור בין הדרישה לאספקת מים לטבע לבין הצרכים האחרים.

המחשבות הראשוניות והחלקיות שלהלן, מועלות כבסיס לדיון תוך ניסיון לקבוע סדרי עדיפות שיאפשרו לגשר, עם כל הקושי שבכך, בין הדרישות לקיום החיים האנושיים הנוכחיים לבין שמירה של הצרכים החיוניים של הטבע. כדוגמה, הדרישה, הנכונה כשלעצמה, להעלאת מפלסי מי התהום כך שנביעת המעיינות תהיה כפי שהייתה לפני מאה שנה, מחייבת להזרים למי התהום באקוות החוף וההר מיליארדי מ״ק של מים באיכות גבוהה. לא נראה שניתן לעמוד בדרישה כזו, ולכן הצגתה עלולה לפגוע באינטרס שלנו כשומרי הטבע.

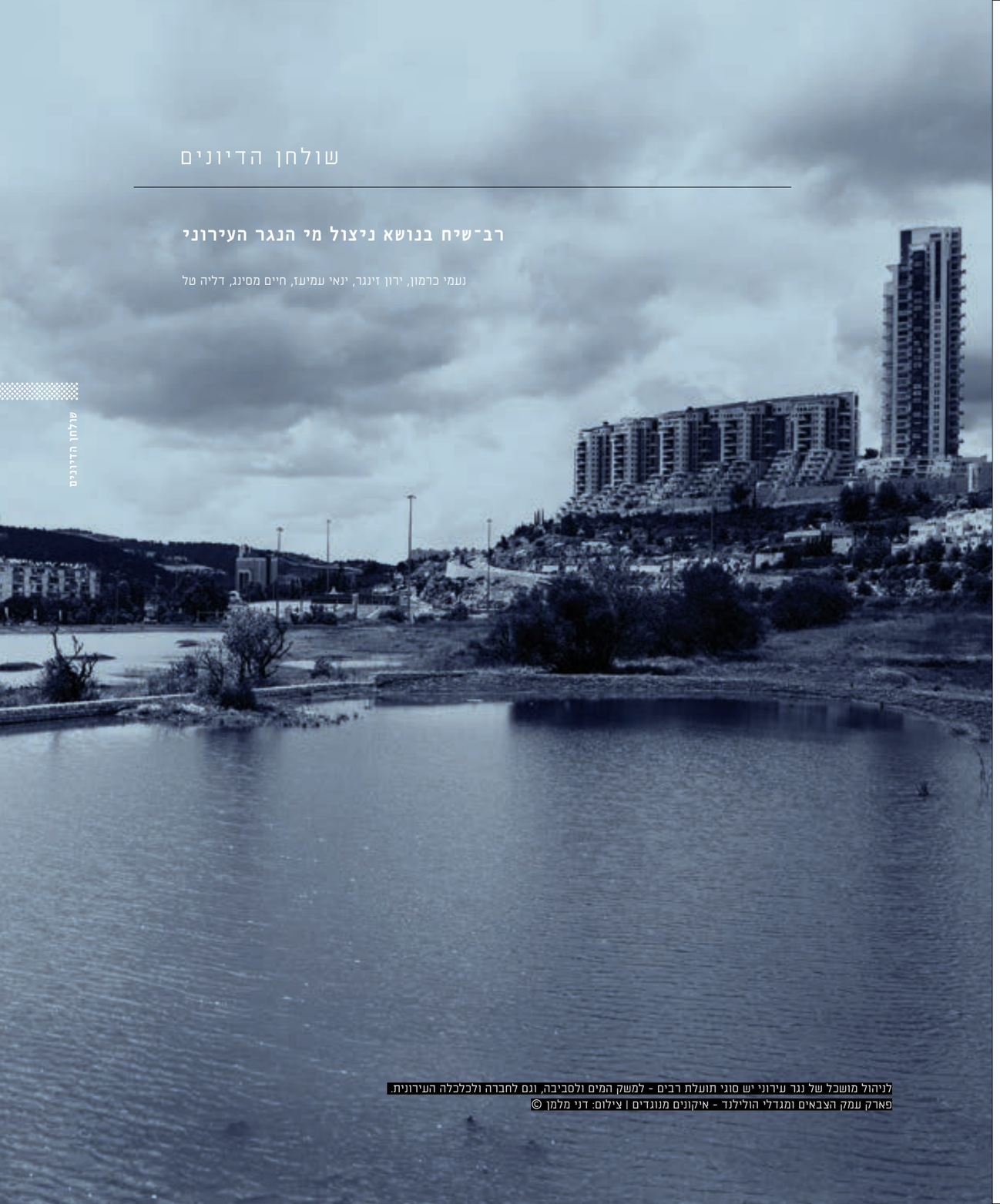
דוגמאות לגישה המשלבת את שימור הנחלים עם מגבלות המציאות:

א. שימור המים במעלה הזרם של הנחל - חלק מנחלי הארץ התקיימו בזכות נביעה של מים צלולים. בהרבה מקרים (בירקון, במעיינות עינן, בעין גדי ועוד) היה נוח לתפוס מים לשימושים השונים במעיין. למרות זאת, ניתן לתפוס את המים במורד הזרם מבלי לפגוע בקיום קטע נחל המבוסס על הנביעה הטבעית ועל מים באיכות גבוהה יחסית. השארת קטע נחל באורך של כ־1-2 ק״מ לפני תפיסת המים תיתן מענה סביר לאספקת מים לצורכי האוכלוסייה יחד עם הפרה מזערית של קטע הנחל.

ב. ״מעיינות שאובים״ - במקום לשמור על מפלס מי תהום גבוה ניתן לשאוב מים שאיכותם הכימית (ואף הטמפרטורה שלהם) זהה לזו של הנביעה הטבעית ולהזרים אותם לנחל.

ג. אזורי השפך - אזורי השפך של נחלי החוף בארץ מאופיינים בחדירה טבעית של מי ים למעלה הנחל. אזורים אלה מבוקשים מאוד לבילוי לאורך הנחלים. הזרמה של מי ים למעלה הזרם (כפי שנעשה מזה שנים בירקון) תספק מים נקיים לצורכי נופש. נוסף על כך, בשנים שחונות יש מחסור חריף בחמצן באזור המגע בין הנחל לים. שאיבת המים עשויה לשפר מצב זה.

ד. שימוש בקולחים מטופלים בקטעים של נחלי החוף - לכאורה, הזרמת קולחים שלישוניים במורד הנחלים יכולה להיות פתרון סביר. הבעיה העיקרית במקרה זה היא תקלות במערכות הטיפול בקולחים, כשתקלה בודדת גורמת לפגיעה, ולעתים לפגיעה לטווח זמן ארוך. ניתן ברוב המקרים למנוע בעיה זו על־ידי תקנה שתחייב הקמה של מתקני אגירה לקליטת הקולחים במקרי חירום.



לניהול מושכל של נגר עירוני יש סוגי תועלת רבים - למשק המים ולסביבה, וגם לחברה ולכלכלה העירונית.
פארק עמק הצבאים ומגדלי הולילנד - איקונים מנוגדים | צילום: דני מלמן ©

שולחן הדיונים

רב־שיח בנושא ניצול מי הנגר העירוני

נעמי כרמון, ירון זינגר, ינאי עמיעז, חיים מסינג, דליה טל

מי נגר עירוני – הקלישאה 'ממטרד למשאב' מעולם לא הייתה מדויקת יותר

שחר בוקמן

המרחב העירוני בישראל גדל, מצטופף, וגורם להרחבת שטחי התכסית העירונית (בנייה, כבישים וריצוף). השטחים הללו מונעים את התהליך הטבעי של חלחול מי גשמים אל מי התהום. כך גורם תהליך העיור להגדלה של נפחי מי הנגר ושל עוצמת ספיקות השיא, שגדלות עוד בשל שינוי האקלים והעלייה בתדירותם של אירועי גשם קיצוניים בעקבותיו. לפיכך, ברור שגם בחורף הקרוב נחווה הצפות ברחבי הארץ ונזקים קשים.

משאבים משמעותיים מושקעים בבניית תשתיות לסילוק מהיר של מי הנגר אל מחוץ לערים (לנחלים ולים), בעוד שבאותו זמן גידול האוכלוסין והעלייה ברמת החיים מגדילים את הביקוש למים בערים, ומצריכים הרחבה של התשתיות להובלת מים אל הערים.

רוב המים שמסולקים כל חורף מהערים, נגרעים ממשק המים הישראלי, והדבר בעייתי בייחוד במישור החוף, מעל אזורי המילוי של אקוות החוף. הוערך כי בשנת 2050 יגיע היקף מי הנגר העירוני ל־160 מלמ"ש, שווה ערך לכ־10% מהיקף ההתפלה הצפויה באותן שנים [1].

משק המים נמצא בגירעון, שניתן לענות עליו דרך הגדלת ההיצע (למשל בהתפלת מי ים), דרך צמצום הביקוש או דרך ניצול טוב יותר של היצע המים הטבעי. לפיכך, יש צורך בשינוי פרדיגמה שבזכותו נתייחס אל מי הנגר כאל משאב שיש לנצלו בצורה המיטבית.

שימור מי הנגר טומן בחובו תועלת רבה – למשק המים ולסביבה כמובן, וגם לחברה ולכלכלה העירונית. שיפור מצבם הכמותי והאיכותי של מי התהום, מניעת זיהום נחלים וים, צמצום עלות תשתית הניקוז ותרומה לאיכות החיים בעיר הם רק דוגמאות נבחרות לכך (ראו פירוט בעמוד הבא). ישנם אמצעים תכנוניים והנדסיים מגוונים לשימור מי נגר, ובהם איסוף מי הנגר, השהייתם בשטחים העירוניים, יצירת שטחי חלחול בגדלים שונים, הקמת מתקני החדרה והתאמת תשתיות ניקוז ותכסית למאפייני הנגר.

כל האמור לעיל עשוי להיתפס כטריוויאלי, הלא כן? כאמור, נדמה כאילו הקלישאה 'להפוך מטרד למשאב' הומצאה כדי לתאר את השינוי התפיסתי הנדרש. אך אם כך, למה השינוי מבושש לבוא? על שאלה זו נסוב שולחן הדיונים בגיליון זה. פניו לחמישה מומחים בתחום, שיסבירו מזווית ראייתם איזה שינוי יש לערוך במערכות הקיימות – שינוי משפטי, אסדרתי, תכנוני או כלכלי.

מקורות

[1] אלון מוזס ט, ארל א, ברנר א ואחרים. 2017. ממטרד למשאב – ניהול והשבת מי נגר עירוני בעיר רגישת מים. קרקע – כתב עת לליבון סוגיות קרקעיות 76.



מדי שנה כ־10,000 דונם של שטחים פתוחים הופכים לבנויים. חלקים גדולים מהשטח אינם חדירים לחלחול מים | צילום: ירון זינגר

'תכנון רגיש למים' – תועלת למשק המים, לסביבה, לחברה ולכלכלה

על בסיס ריאיון עם נעמי כרמון

הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים,
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
carmon@technion.ac.il

'תכנון רגיש למים', ובקיצור תר"מ, הוא ענף של פיתוח בר־קיימא, המקיף מחקר ופרקטיקה. תכנון רגיש למים משלב בין תכנון עירוני ואזורי, כולל היבטים של אדריכלות נוף, לבין ניהול משאבי מים, ומיועד ליצירת תועלת לטובת האדם והטבע.

המחקר בתחום זה החל בישראל בתחילת שנות ה־90, מתוך מוטיבציה להגן על אקוות החוף (שהייתה מקור המים הגדול ביותר בזמנו) מפני תהליך איטום פני הקרקע באזורי המילוי שלה בעקבות בנייה מואצת. שנות המחקר הראשונות הובילו לשלוש מסקנות עיקריות [1]:

א. הנגר הוא משאב ולא רק מטרד, ולכן ניהולו צריך להיות מכוון להשגת תועלת ולא רק לצמצום נזקים;
ב. את מי הנגר מומלץ להחדיר קרוב ככל האפשר למקום ירידת הגשם;
ג. איכות הנגר משכונות מגורים טובה למדי וראויה להחדרה למי התהום, בהנחה שההחדרה נעשית באמצעות חלחול דרך קרקע, ורצוי גם דרך צמחייה.

עלייה במודעות הסביבתית בישראל של סוף שנות ה־90, יחד עם המודעות ארוכת השנים לצורך בחיסכון במים, גרמו באותה תקופה לשינוי איטי בתפיסה של אנשי המקצוע בתחום. בהדרגה נקלט המונח ניהול נגר כתחליף (או תוספת) למונח ניקוז. ניתן לראות בכך שינוי גדול, מאחר שבמשך עשרות שנים היחס למי הנגר היה כאל "מים מזיקים או מים שעלולים להזיק לחקלאות, לבריאות הציבור ולפיתוח הארץ", שיש לסלקם מן השטח העירוני ביעילות הגדולה ביותר, וזאת בהתאם ללשון חוק הניקוז והגנה מפני שיטפונות, התשי"ח (1957).

בראשית המאה ה־21 ניתן היה להיווכח, כי התפיסה של 'תכנון רגיש למים' הגיעה למוסדות האסדרה והתכנון, וקיבלה ביטוי במדיניות משרד הבינוי והשיכון [4] ובתוכנית המתאר הארצית המשולבת למשק המים (תמ"א 34 ב'), ששניים מפרקיה, פרק 3 – נחלים וניקוז ופרק 4 – איגום מים עיליים, החדרה, העשרה והגנה על מי תהום, הושפעו מתפיסת 'תכנון רגיש למים' ומההצעות הפרקטיות הנובעות ממנה. גם חלק מן ההנחיות שפרסמו ועדות מחוזיות, בעיקר במחוז המרכז, הושפעו מהתפיסה, ונוסף על כך מהנדסי ערים אחדות הוציאו הנחיות ביחס לשימוש בנגר ולשימורו.

על אף סיבות לאופטימיות לכאורה, יש להכיר בכך שכל ההתקדמות בתחום נעשתה בהתייחס למצב החברה, הכלכלה

ומשק המים בישראל של שנות ה־90. בגישה שאומצה מובילה המטרה של שימור נגר והחדרה למי התהום, בעוד שבשל שינויים דרמטיים שחלו במשק המים הישראלי, בעיקר התפלת מי ים, השתנו סדרי העדיפויות של מטרות.

בד בבד, חלו בתחילת המאה ה־21 התפתחויות במחקר העולמי. המטרות התרחבו ונצבר ניסיון ביישום פרקטיקות חדשניות. כיום – בארץ ובעולם – רואים בניהול נגר על פי גישת 'תכנון רגיש למים' ניהול שיכול להשיג מגוון רחב של מטרות:

מטרות 'כחולות' – מטרות העוסקות במשאב המים, כולל: הקטנת אירועי הצפות, העשרת אקוות ושימוש ישיר במים ("קציר נגר").

מטרות 'ירוקות' – מטרות סביבתיות, כולל: שיפור איכות 'המים המקבלים' (המים שהנגר מגיע אליהם בנקודת הקצה, למשל נחל, אגם וים), שיקום מערכות אקולוגיות מימיות [2] ושימור קרקע.

מטרות חברתיות – כגון: שיפור איכות האוויר, צמצום השפעת איי חום, שילוב חוויית הטבע בעיר, חינוך לקיימות, שיפור פני העיר ופתרונות לשעת חירום.

מטרות כלכליות – הפחתת נזקי שיטפונות, חיסכון בבניית תשתיות ניקוז, העלאת ערך נדל"ן לצד נוף ירוק וכחול ונָנוף להזדמנויות כלכליות.

כדי להשיג את התועלת הפוטנציאלית הרחבה מניהול הנגר זוהו מספר **מחסומים שיש להתגבר עליהם**:

א. שינוי חוק הניקוז וההגנה מפני שיטפונות – הצעה לשינוי מונחת על שולחן הכנסת מאז 2010, כמעט ללא התקדמות, בעיקר בגלל מחלוקות בין משרד החקלאות לרשות המים.

ב. שיתוף פעולה בין בעלי מקצועות רלוונטיים – התאמת התכנון של מיזמי פיתוח – שכונות, כבישים, פארקים – למבנה ההידרו־גיאוגרפי של השטח, דבר שמחייב עבודה משותפת של מתכננים ומהנדסי מים החל בשלבים הראשונים של תכנון כל מיזם.

ג. הגברת התיאום בין רשויות הניקוז לבין הרשויות המקומיות שבתחומן – התכנון צריך להתבצע מתוך ראיית האגן כולו, כך שהערים במעלה האגן לא יגרמו נזק לערים במורדו.

ד. יצירת תמריצים כלכליים לניהול בר־קיימא של הנגר לרשויות המקומיות ולאזרחים פרטיים – מכיוון שהחוק הישראלי קובע שמים שייכים לציבור, אין לרשויות המקומיות אינטרס כלכלי לטפל בנגר. רשות שתפעל להחדרת מי נגר אל מי התהום תצטרך עדיין לרכוש מים ממקורות לשימוש העירוני. הדבר נכון גם ברמת הפרט.

ה. יש לעדכן את תוכנית המתאר הארצית (תמ"א 34 ב, פרקים 3, 4) בהתאם להתפתחויות במשק המים בעשור האחרון.

ו. הכשרת אנשי המקצוע – יש לקיים קורסים והכשרות מקצועיות לפועלים בתחום, ואף לעדכן את ההכשרה האקדמית שמקבלים אנשי מקצוע חדשים. הבעיה אקוטית בקרב מהנדסי ניקוז ומים, אך רלוונטית גם לאדריכלי נוף ולמתכנני עיר ואזור.

ז. הגברת המודעות הציבורית – חשוב שהתושבים יכירו בתרומתם של אמצעי השהיית נגר ושל החדרת הנגר ברמת המבנה והבניין, כדי שלא יכסו שטח שמיועד להיות חדיר למים, וכדי שלא יחברו את ניקוז הנגר לביוב.

לישראל יש יתרון על פני רוב מדינות העולם: בארץ החוק מחייב הפרדה בין תשתית איסוף הנגר (הנקראת ניקוז או תיעול) לבין תשתית הביוב, וברוב המקומות אכן מקפידים על ההפרדה (אם כי באירועי גשם גדולים גולשים מי הנגר לביוב). ניתן להגיע להישגים על־ידי הטמעת גישת 'תכנון רגיש למים' בתוכניות אגניות ועירוניות [4, 5], בבנייה חדשה, אך גם במיזמי התחדשות עירונית, ואפילו בבנייה ותיקה ניתן לשפר במקצת את המצב. יש לזכור שלא בכל מקום בארץ מתאים להחדיר מי נגר (בשל עומק האקווה, זיהום הקרקע, או מכיוון שאזורים נרחבים כלל לא נכללים באזורי המילוי של האקוות), ושבמדינות אחרות – ובמקצת המקומות גם בישראל – מיישמים דרכים אחרות לנהל את הנגר, כמו מניעת שיטפונות בסופות גדולות על־ידי השהיית הנגר במעלה האגן ושחרור איטי שלו, כמו תכנון מושכל של "פשטי הצפה" במורד האגן וכמו שימוש ישיר בנגר העירוני לטיפוח ירוק וכחול של המרחב העירוני.

מקורות

[1] כרמון נ ושמיר א ואחרים. 1997. תכנון עירוני רגיש למים: הגנה על אקוויפר החוף הישראלי. חיפה: המרכז לחקר העיר והאזור.

[2] מרקוס ל, גזית א וכרמון נ. 2015. שימוש בנגר כבישים להשגת תועלות אקולוגיות וחברתיות. **תנועה ותחבורה 115**: 8–15.

[3] משרד הבינוי והשיכון, 2004. מדריך לבניה משמרת נגר עילי. אנוש מערכות עבור משרד החקלאות ופיתוח הכפר והמשרד לאיכות הסביבה.

[4] שמיר א וכרמון נ. 2007. תר"מ – תכנון רגיש למים: שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי. חיפה: הטכניון, מכון גרנד למחקר המים והמרכז לחקר העיר והאזור.

[5] Carmon N and Shamir U. 2010. Water-Sensitive Planning (WSP): Integrating water considerations into urban and regional planning. *Water and Environment Journal* **24**(3): 181-191.



מתקן חלוץ של מערכת מסננים ביולוגיים (biofilter) בכפר סבא, שתוצאות הפעלתו עומדות בכל תקני איכות המים בישראל | צילום: ירון זינגר

צעדים לקראת "ערים רגישות מים" בישראל – אסדרת ההשבה של מי נגר עירוני

ירון זינגר

מנהל המרכז לערים רגישות מים
עמית מחקר, אוניברסיטת בן־גוריון בנגב והאוניברסיטה העברית בירושלים
yaron.zinger4@gmail.com

די לראות את ההצפות שמתרחשות במערכות גשם גדולות כדי להבין את חומרת הבעיה שיוצרים מי הנגר העירוני בישראל, ודי להיזכר בהצפות הללו בזמן דיבור על היערכות לשנת בצורת כדי להבין את האיוולת הטמונה בבזבוז המים. יתרה מכך, בעיה זו תלך ותחריף עם צמצום מספרם של ימי הגשם, עם הגידול בעוצמת הגשם ועם תהליך העיור המואץ. בעיית מי הנגר מושפעת מהיבטים בין־תחומיים שונים ומשפיעה עליהם, ועל כן רלוונטית לשלל גורמים, כגון הרשויות המקומיות, ציבור האזרחים, רשויות הניקוז, המשרד להגנת הסביבה, חברת נתיבי ישראל, משרד הבריאות, חברות הביטוח, הרשות הארצית לכבאות והצלה, המשטרה, רשות המים, משרד השיכון ומשרד הביטחון.

ניתן להפוך את מי הנגר העירוני ממטרד למשאב באמצעות מספר פעולות:

א. איסוף והשהיה של נגר עירוני במקור.

ב. מציאת פתרון קצה בדמות החדרה, חלחול לאקווה או איגום מי הנגר בבריכת חורף, במאגר מקורה או באגן ירוק.

ג. טיפול במים בטכנולוגיית טיהור, כדוגמת הטכנולוגיה של מסננים ביולוגיים (ביו־פילטרים), ועל כך ראו פירוט בהמשך.

ד. שימוש רב־עונתי – בעוד שבחורף מערכת המסננים הביולוגיים משמשת להשבת מי נגר עירוני, בעונה היבשה ניתן לעשות שימוש במערכת לטובת שיקום מי תהום (הרחקת חנקות, מתכות כבדות, חומר אורגני ועוד), השבת מי מזגנים, מִחזור מים אפורים ואף מִחזור מי מקוואות.

ה. פיתוח כלים כלכליים שיעודדו אימוץ טכנולוגיות להפחתת מי נגר, וזאת בתקציב נמוך יחסית ובעלויות תפעול שוליות, הפחותות מעלויות הגינון העירוני המקובלות כיום. לאחרונה אישרה רשות המים תמריץ בסך 2 ש"ח לכל מ"ק מים מוחדרים.

טכנולוגיית המסננים הביולוגיים הוטמעה באופן נרחב באוסטרליה. הצלחה ראשונית בהתאמת הטכנולוגיה לתנאי הארץ מודגמת מאז שנת 2010 בשלושה מתקני חלוץ שהוקמו. המתקן הראשון, שהוקם בכפר־סבא, עומד בהצלחה בתקני איכות מים (כגון תקן ועדת ענבר להשקיה בלתי מוגבלת, שחרור לנחלים, החדרה ואף איכות מי שתייה ברמה הכימית). בהמלצת רשות המים ובאדיבות קק"ל הוקמו שני מתקני חלוץ נוספים. המתקן בבת־ים משמש חקר מקרה לטיפול בנגר משכונת מגורים קיימת במישור החוף, והמתקן ברמלה הוא חקר מקרה לטיפול בנגר לאורך כביש בין־עירוני.

משתמשי הקצה של "תכנון עירוני רגיש מים" הן הרשויות המקומיות המשדרגות את הפיתוח הקיים או מפתחות שכונות חדשות וגנים ציבוריים. עיריות, הבונות תשתיות חכמות ירוקות,

מעשירות את מי התהום. היות שעלותו של פיתוח התשתיות גבוהה יותר מפיתוח קונבנציונלי, העיריות הללו זקוקות לשיפוי מהמדינה על השקעתן.

מהניסיון בהפעלת שלושת המתקנים הללו וניטורם מצטיירת תועלת המתפרסת על פני קשת רחבה. הטיפול במי נגר עירוני יוצר יתרונות רבים למספר רב של גורמים, אך אליה וקוץ בה. ללא מבט רחב המשקלל את התועלת הבין־תחומית, יש קושי בהפנמת היתרונות הרבים, ואין מי שממקד מאמץ במימוש הפתרון בשיתוף רשויות התכנון המקומיות, המחוזיות והלאומיות.

הצעת "המרכז לערים רגישות מים"

בחינה מתודולוגית - להסתכל בצורה מקיפה, הוליסטית ובין־תחומית על השבה של מי נגר (איסוף, טיהור ושימוש) בדגש על היתרונות והתועלת לציבור. החדרת מים באזור עירוני יכולה להיות מיזם כלכלי, שתלוי כמובן בשיתוף הפעולה של הגורמים המעורבים תוך הסתכלות משוקללת על היתרונות ועל אופן האסדרה וההטמעה. כדי להגיע למנגנון ישים, מקיים ומיטבי, שיאפשר גם התפתחות של תעשייה סביב הנושא (יזמים, מתכננים, קבלנים), אנו מציעים הובלה של משרד האנרגיה והמים או משרד הפנים לאיחוד סוגי התועלת שמבוזרים כיום לכדי אסדרה ישימה ומקיימת. לשם כך נשמח לסייע ולהעמיד את הידע, הניסיון ומסד הנתונים שצברנו בארץ ובאוסטרליה.

תקצוב ותמריץ - הפתרון פשוט ומורכב מ: (א) "מד נטו" המתמרץ "קוב כנגד קוב" (באופן דומה ל"מונה נטו" הנהוג בתחום אנרגיית השמש). כלומר, בעבור נפח החדרת המים למי תהום, תקזז המדינה מהרשות המקומית או מַיִם אחר כמות זהה של צריכת מים; (ב) מוכנות להגדלה עקרונית של הקצאה להפקה אל מול הכמות המוחדרת וכך מתן אפשרות של גמישות הפקה לתאגיד המים.

לסיכום, נדמה שרשויות התכנון בישראל עדיין לא השכילו להפנים את האפשרות לרתום את המשאב המניב - מי הנגר העירוני - להתמודדות עם אתגרים מרכזיים הנוצרים מתהליכי העיור המואצים. "המרכז לערים רגישות מים" בישראל שם לו למטרה לתת מענה מדעי ויישומי לאתגרים הללו תוך בחינתם והתאמתם לתנאים ולצרכים בישראל. עם זאת, כדי להטמיע את הנושא בצורה רחבה וסדורה בערים נדרש שיתוף פעולה בין־משרדי בדמות ועדת היגוי לאומית. הדבר יאפשר גיבוש אסדרה שתיתן מענה בין־תחומי לנושא, ותאפשר מעבר מדורג ואחראי ליצירת "ערים רגישות מים" בישראל.



פארק עמק הצבאים - דוגמה מוצלחת לניהול נגר עירוני בירושלים | צילום: דני מלמן ©

ניהול נגר עילי באזורים עירוניים - מפותחים ומתפתחים

ינאי עמיעז

עמית ממשק - תכנית יישום מדע בממשל
אגף תכנון, רשות המים
האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
yanaia@water.gov.il

לפני כשלושה עשורים החלה קבוצת מומחים ישראלים להנדסת מים ולתכנון ערים מהטכניון לחקור את נושא ניהול הנגר העילי באזורים בנויים (מפותחים) ובכאלה המיועדים לבנייה (מתפתחים), מתוך גישה של קיימות. הדבר נעשה עוד לפני שהתפיסה שרואה את ניהול מי הנגר כיעד חשוב, החלה להכות שורשים במדיניות התכנון של מדינות מערביות שונות.

ניתן היה לצפות כי ישראל תימצא בחוד החנית של קידום נושא זה בעולם, כפי שהיא בתחומים אחרים במשק המים והביוב. למרות זאת, מכלול של גורמים, בהם מנגנונים ממשלתיים

מורכבים ומבוזרים שאחראים על הנושאים המשפיעים על תחום זה בישראל, הביא לידי עיכוב בהתפתחות התחום הלכה למעשה. לעומת זאת, במספר מדינות בעולם המערבי נושאת גישת הקיימות הצלחה מרובה [3, 6].

המדינות שהטמיעו את עקרונות הקיימות בניהול הנגר העילי, בחרו בדרכים ובשיטות ההולמות את תנאי האקלים בתחומן ואת מנגנוני התכנון האופייניים להן [6]. עם זאת, על אף השונות בתנאים, היסודות לניהול הנגר הם בעלי מכנה משותף, ועיקריהם:

א. מניעת נזקי שיטפונות (לחיי אדם ולרכוש).
ב. החדרת מי נגר והעשרת האקוות: על פי נתוני השירות ההידרולוגי, הנגר העירוני הנוצר בערי החוף בישראל מסתכם בכ־40 מיליון קוב בשנה בממוצע (מתוך כ־200 מיליון קוב נגר עילי בתחום הניקוז המערבי).
ג. שמירה על איכות מי הנגר: מניעת זיהום של מקורות המים העל־קרקעיים והתת־קרקעיים.
ד. שיפור איכות החיים ושמירה על המגוון הביולוגי: תכנון ירוק של אזורים מבונים הוכיח את תרומתו לאיכות החיים של התושבים. הנגר המופנה למערכות אקולוגיות שנמצאות בסיכון עקב תהליך הבינוי, נועד לתמוך במגוון הביולוגי בַּמקום ולשמר אותו [2, 4, 5].

בישראל מטופל נושא ניהול הנגר העירוני בשלל חוקים ותוכניות מתאר ארציות (חוק התכנון והבנייה) - כדוגמת חוק הניקוז והגנה בפני שיטפונות התשי"ח (1957), חוק המים התשי"ט (1959), חוק רשויות נחלים ומעיינות התשכ"ה (1965), תמ"א 34 ב'/ 3 תוכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים - נחלים וניקוז, ותמ"א 34 ב'/ 4 - תוכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים - איגום מים עיליים, החדרה, העשרה והגנה על מי תהום. החוקים והתוכניות הביאו לביזור האחריות והסמכויות הנוגעות לנגר העילי, ויצרו חסם לניהולו בראייה מְתַכְלֶלֶת וכוללנית.

הדיון על ניהול בגישת קיימות של הנגר העילי בישראל החל להופיע בשיח התכנוני ובשטח לפני יותר מעשור [1, 4]. לאחרונה גברה המודעות בקרב משרדי הממשלה שעוסקים בעניין, כי יש להטמיע בדפוסי התכנון בישראל את תפיסת הקיימות ואת השיטות הנובעות ממנה בניהול הנגר העילי. לשם כך, יש לבצע פעולות הכוללות שורה של צעדים, כמו שינוי חקיקה לכזו הרואה את הנגר כמשאב הנושא בחובו גם היבטים סביבתיים.

משרדי הממשלה המעורבים פועלים יחד לקידום הנושא באופן משמעותי בשנת 2018 ולהטמעת עקרונות הקיימות לניהול הנגר בגופי התכנון, כדי לשלב בין התכנון העירוני לניהול משאבי מים. הם מתווים דרך ונותנים כלים ושיטות, ממתקנים להחדרת מי גגות לתת־הקרקע, המאפשרים את המשך המילוי החוזר של



פארק אריאל שרון - 8,000 דונם פנויים מבנייה בלב גוש דן. שטחי פשט ההצפה של נחל איילון שומרים על תפקידם הטבעי. חשיבותם גדלה עם גידול הבנייה במעלה הנחל | צילום: אבישי טייכר, מתוך אתר פיקיוויקי

האקוות טרם בוא הבטון והאספלט, ועד למערכות המיועדות לנהל את הנגר במתחמים עירוניים. בין השאר, הכוונה היא לקדם את הנושא מכיוונים שונים: כתיבת מדריך הנחיות לניהול הנגר בערים, תקינה לאביזרים בקידוחי ההחדרה, הפצת הידע בנושא והתמודדות עם חסמי אסדרה וחסמים אחרים.

מקורות

[1] טל ד. 2015. הנגר העירוני, דרכים להפיכתו ממטרד למשאב ומניעת נזקיו לנחלים ולים. עבור עמותת צלול.

[2] לסטר ר, ליבני ד וגרינברג א. 2011. ניקוז, סחף קרקע ונחלים: המסגרת המשפטית והמנהלית. בתוך: בן־צבי א, שחף נ וצדקה א (עורכים). נחלים וניקוז - תהליכים, הנדסה ותכן. הוצאת רשות ניקוז שקמה הבשור - מנהלה לשיקום נחל הבשור.

[3] משרד הבינוי והשיכון, 2004. מדריך לבנייה משמרת נגר עילי. אנוש מערכות עבור משרד החקלאות ופיתוח הכפר והמשרד לאיכות הסביבה.

[4] נתניהו ס, אסף ל וטל ע. 2008. כדאיות כלכלית של שימור מי נגר בדגמים עירוניים ברצועת החוף של ישראל. תה"ל בעבור נציבות (רשות) המים.

[5] שמיר א וכרמון נ. 2007. תר"מ - תכנון רגיש למים: שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי.חיפה: הטכניון, מכון גרנד למחקר המים והמרכז לחקר העיר והאזור.

[6] The Department of Environment and Climate Change - NSW. 2004. Managing Urban stormwater 4th ed. Sydney (Austaralia): NSW Government.



הדמיה של מתקן סינון ביולוגי (biofilter) לאורך כביש בין־עירוני ברמלה. הנגר מהסביבה הסמוכה מתנקז למתקן, מטופל בו, ומוחדר למי התהום

הזדמנות ליצירת מקור מים שהכנסה בצידו

חיים מסינג

מנהל מרחב מרכז, קק"ל
haimm@kkl.org.il

רוב אזרחי ישראל לא מודעים למצבו של משק המים. בעוד שנדמה שאנחנו חיים במציאות של עודפי מים, למעשה משק המים סובל מחוסר שנתי של כ־2 מיליארד מ"ק. כמו בתחומים אחרים שנוצר בהם רִיק בשל תת־פעילות של המדינה, כך גם בתחום של משק המים. לרִיק הזה נכנסה קק"ל. מזה שנים רבות מקימה קק"ל מאגרי מים ומסייעת לפעולות לשיקום נחלים. אנו בקק"ל חושבים שיש למצות את כל הדרכים האפשריות לעזור למשק המים.

הטיפול במי נגר הוא הכרח, קודם כול בגלל המחסור האמור במים; שנית, בגלל הבנייה המואצת הגורמת לכך שכמות המים המחלחלת למי התהום הולכת ופוחתת, ומי נגר מזהמים את הנחלים ואת הים; שלישית, בגלל התלות שנוצרה במערך ההתפלה, שלא רק שהפעלתו יקרה, אלא שיש להיזהר מיצירת תלות מוחלטת בו, בשל החשש לפגיעה חבלנית או מלחמתית בתשתית חיונית זו.

לפני מספר שנים נרתמה קק"ל למיזם לבחינת כלי טכנולוגי לטיפול במי נגר – מסננים ביולוגיים (biofilter). במסגרת "המרכז לערים רגישות מים", הוקם מיזם חלוץ בכפר סבא, שתוקַף בהמשך באמצעות הקמת שני מיזמי חלוץ נוספים בבת־ים וברמלה (ראו עמ' 87 בגיליון זה). באמצעות מיזמים אלה נלמדה הטכנולוגיה, הופקו לקחים, והיכולת לטפל במי הנגר בשכונה עירונית ואף לצידי כבישים – הוכחה. עתה יש לנוע קדימה ולהקים מתקנים כאלה בכל רחבי הארץ.

שני החסמים העיקריים בקידום הנושא הם היעדר תמריץ כלכלי וחוסר מודעות ציבורית. כשרשות מקומית שוקלת הקמה של מתקן סינון ביולוגי, היא בוחנת את הכדאיות הכלכלית של הקמתו והפעלתו, ואת המשמעויות של הקמת המתקן כפי שהן צפויות להיתפס בעיני ציבור התושבים בה.

לפיכך, קק"ל תפעל להובלת אסדרה (רגולציה) שתיצור תמריץ כלכלי להקמת המתקנים. העיקרון הבסיסי צריך להיות מדידת כמות המים שרשות מקומית תחדיר למי התהום, וקיזוז הערך הכספי שיינתן למים הללו, מעלות המים שהרשות רוכשת. הדבר יאפשר חיסכון בתקציב הרשות, ואף יאפשר לה להוזיל את מחיר המים שישלמו תושביה. אין לי ספק שיצירת תמריץ כלכלי שכזה תביא להקמת מתקנים לטיפול בנגר בתחומי רשויות רבות מאוד. רשויות אלה יתרמו באופן ישיר (כמותית ואיכותית) למי התהום של כולנו, וימנעו הצפות מי נגר בתחומן. נוסף על כך, רשויות מקומיות יוכלו להפוך מאגרי השהיית מים לאגמים ולפארקים וכך לשפר את איכות החיים בעיר.

לרשויות המקומיות יש יכולת לגרום שינוי. כאשר התושבים מפעילים לחץ על הרשויות, הן בתורן מפעילות לחץ על משרדי הממשלה. אם רשויות מקומיות יַחברו זו לזו, הלחץ על משרדי הממשלה יחייב אותם לעסוק בנושא. יצירת התמריץ הכלכלי תעודד את הרשויות לאיחוד כוחות שכזה.

לפני יצירת מסגרת אסדרה מתאימה יש לדאוג להקמת גוף יחיד שיהיה האחראי על סנכרון הפעולות. כיום יש מספר משרדי ממשלה ורשויות מדינה המעורבים בנושא, והמציאות מלמדת שאף אחד מהם לא לוקח את ההובלה. **קק"ל תפעל להוביל מהלך ליצירת ועדת היגוי לאומית, בהשתתפות משרדי הממשלה הרלוונטיים, רשות המים והשלטון המקומי, כדי ליצור יחדיו את מסגרת הפעולה המתאימה לקידום אסדרה שתעודד את הטיפול במי הנגר המבוזבזים.**



אגם הסופרלנד, ראשון לציון. האגם קולט מי נגר מראשון לציון, מחולון ומבת ים. האגם הוא גם פנינת טבע עירוני, ואף יצר מנוף להזדמנויות כלכליות, כגון פארק השעשועים סופרלנד ומתחם ים פלאנט | צילום: עמוס מרון, מתוך אתר ויקימדיה

הנגר העירוני, יש מה לעשות

דליה טל

מנהלת קמפיינים, עמותת צלול
daliat31@gmail.com

על פי הערכות רשות המים, כבר כיום מייצר המרחב העירוני בארץ כ־40 מיליון מ"ק מי נגר בממוצע בשנה. הנגר שוטף את רחובות הערים, וזורם לים באמצעות כ־260 נקזים הממוקמים לאורך החופים. בימי הגשם הראשונים של החורף הנגר מזוהם באשפה, בדלקים ובשמנים, בהפרשות בעלי חיים ובחיידקים, וגורם נזקים לרכוש פרטי וציבורי.

נשאלת השאלה כיצד ניתן להתמודד עם הנגר, ואם יש דרכים להפוך אותו ממטרד למשאב. הדברים רלוונטיים בייחוד על רקע גל הבנייה הגדול הפוקד את הארץ ותוכניותיהן של ערים רבות להגדיל במידה ניכרת את מספר תושביהן, וזאת נוסף על שינוי האקלים, שגם לו השפעה רבה על כמות הנגר ועל עוצמתו. מַנהל התכנון במשרד האוצר אומנם קידם לאחרונה מיזם לכתיבת הנחיות לניהול נגר עירוני, אך עד שההנחיות יושלמו יעבור עוד זמן רב, וגם יישומן הוא אתגר לא קל.

ניסיון עולמי מלמד, שכדי לטפל בנגר יש צורך בשילוב כוחות, ממשלתי ועירוני, ושגם לציבור יש תפקיד לא מבוטל. על סמך הניסיון העולמי אפשר להציע צעדים מגוונים שיקדמו את הטיפול בנגר. למשל, על השירות המטאורולוגי והשירות ההידרולוגי לפרסם מפות של עוצמות הגשם וכמויות הנגר בשיטת חישוב אחידה ומחייבת, כמקובל במקומות רבים בעולם. היעדרן של מפות אלה ושיטות החישוב השונות גורמים למתכננים לקבל החלטות שגויות עוד בשלב התכנון. על התחנה לחקר הסחף במשרד החקלאות לעדכן את מפת הקרקעות ולפרסם טבלה של תכונות פיזיקליות של הקרקע. מיפוי חלקי ואחרון נערך בשנות ה־70, וסביר להניח שמאז השתנה המצב בשטח לחלוטין.

עוד מוטל על הרשויות לכלול בחוק התכנון והבנייה דרישה מפורשת למתכננים לערוך סקר גיאו־הידרולוגי לפני התהליך התכנוני (ולא בסופו כמקובל כיום), שיקבע היכן נמצאים המקומות הרגישים להחדרת מים והיכן החלקים הרגישים פחות. בדרך זו יוכל המתכנן לאתר את המקומות שמומלץ לבנות בהם שכונות, ואת המקומות המומלצים להקמת גינה ציבורית או פארק. בהרצליה, למשל, נבנתה תחנת הרכבת במקום הנמוך ביותר בעיר, על ערוץ נחל, ואכן – תחנה זו מוצפת בכל שנה.

נוסף על כך, על המדינה להתנות מתן היתרי בנייה לשכונות חדשות ולשכונות מתחדשות בקיום פתרונות אמיתיים לצמצום הנגר העירוני. השיטה המקובלת כיום במקומות רבים עולם קובעת, כי על המיזם למנוע יצירת נגר עודף על זה הקיים באופן טבעי, תוך הטלת חובה על המתכנן לקבוע את הפתרון לכך בהתאם לתנאי השטח ולסוג המיזם. מן הראוי לאמץ גם בארץ את השיטה הזו ולאכוף אותה.

אפשרות נוספת היא לשקול מתן הנחה על היטל התיעול

(כיום – 10 ש"ח לכל מ"ר מגרש ו־20 ש"ח לכל מ"ר בנייה) לבעל נכס שיוכיח שהוא מקים תשתיות המונעות את החיבור למערכת הניקוז העירונית (מרזבים מתקדמים, גינה מחלחלת, מאגרי מים ועוד). מנגד, יש להטיל היטל תיעול גבוה יותר על בניין חדש שיש בו מרתפים וחניות, ושבנוי עד לגבולות המגרש ואינו מאפשר למי הנגר לחלחל לקרקע. ההיטל הגבוה יבטא את תוספת הנטל על המערכת העירונית. עובדה זו תגרום לקבלנים לשקול אימוץ אמצעים לטיפול בנגר, ולרוכשי הדירות – לדרוש אותם מהקבלנים.

במטרה לשפר את איכות הנגר, הגורם נזקים קשים לנחלים ולים, הגיעה העת לשקול את האפשרות להתיר הזרמת נגר רק לאחר שהרשות תציג תוכנית לצמצום כמותו ולשיפור איכותו. יש להניח, שהצעה מסוג זה תיתקל בהתנגדות דומה לזו שנשמעה בתגובה להצעה להטיל חובת היתר הזרמה על מפעלים המזרימים מזהמים לים. אף על פי כן, נראה שזו הדרך היעילה ביותר לגרום לרשויות לצאת לפעולה, לפחות בתחום איכות הנגר ומניעת זיהומו.

על הרשויות המקומיות מוטל לחייב את הקבלנים לעמוד בעקרונות תכנון משמר מים (תר"מ): לעודד הקמת גגות ירוקים (שקולטים 40% מהמים); לעודד גינות קולטות גשם; לשמור מספיק מקום לפארקים ולגינות לחלחול מים; למנוע חיבור מרזבים למערכת הביוב ולקנוס את העבריינים; לסלול כבישים ומדרכות מחומרים החדירים למים; לבצע סקרים לאיתור חיבורים בלתי חוקיים בין מערכות ביוב ומערכות ניקוז; לקנוס מפעלים המזרימים לרחובות נגר מזוהם באמצעות מרזבים; לעודד הקמת מסננים ביולוגיים ("ביופילטרים") המחדירים את המים לקרקע לאחר טיפול במזהמים (הוקמו כמיזם חלוץ בכפר סבא ובבת־ים על ידי ד"ר ירון זינגר במימון קק"ל, מקורות ורשות המים). אומנם המים בישראל הם רכוש הציבור ולא רכוש הרשות המקומית, עובדה שאינה מעודדת רשויות להחדיר מים, אך אימוץ שיטה של תמריצים והטבות לרשויות יכול לפתור דילמה זו.

לא פחות חשוב, על הרשויות מוטל להגדיר נוהלי תחזוקה למערכת הניקוז, הכוללים ניקוי נרחב של העיר מפסולת לפני הגשם הראשון, ניקוי סבכות, ניקוי רחובות מבדלי סיגריות ומגללי כלבים והתקנת מלכודת פסולת על פתח הנקזים העירוניים כדי למנוע את הגעתה לים. כל עוד הדבר לא נעשה, בכל שנה בעקבות הגשם הראשון נפלטות חולדות לחופי תל־אביב. את המחזה המזעזע הזה ניתן למנוע.

באשר לשכונות ותיקות, גם בהן ניתן לחולל שינויים מרחיקי לכת. אפשר לנצל את הגינות והפארקים העירוניים להחדרת גשם, להתקין מסננים ביולוגיים לשיפור איכות נגר גם במדרכות קיימות ובעיקר לאכוף את תקנות הצנרת המחייבות ניתוק של החיבורים בין הניקוז לבין הביוב, תוך איום בקנסות על חיבורים אסורים. במהלך סוכות 2017 ובעקבות הגשם הראשון זרם ביוב לנחל לכיש דרך הנקזים העירוניים, זיהם את הנחל וגרם לתמותת דגים. ניתוק מערכת הביוב ממערכת הניקוז היה מונע את האירוע.

ומה הציבור יכול לעשות? לבחור להתקין גגות ירוקים המצמצמים את כמות הנגר, להתקין מרזבים המזרימים מים לגינה מחלחלת ולא למערכת התיעול העירונית, להקצות שטחי חלחול בגינה הפרטית, להעדיף רכישת דירה הממוקמת בשכונה המטפלת באופן עצמי בנגר וגם למנוע את זיהום המרחב העירוני באשפה, בגללי כלבים ובבדלי סיגריות. אמצעים פשוטים אלה יוצרים את ההבדל בין סביבה בריאה לסביבה פגועה ומזוהמת.



מי נגר מזוהמים הזורמים לחוף הדולפינריום בתל־אביב, 27.10.2015 | צילום: ניצן מתן

נקודת מבט



פעילי נחל תנינים מאמינים בכוחו של הציבור לפעול ולהשפיע על ניהול משאבי המים בישראל. הם פועלים במישור הציבורי והחינוכי ובקרב מקבלי ההחלטות כדי להוביל שיקום אקו־הידרולוגי לנחל תנינים ומציאת מקורות המים להשבת המים לנחל | באדיבות: חיים לנחל תנינים - תושבים למען הנחל

הגיעו מים עד נפש – יש להסדיר את מעמד הציבור בניהול המשאב הציבורי של מים

נועה יאיון

יועצת משפטית, החברה להגנת הטבע
noalegal@gmail.com

בעקבות משבר מים חריף שפקד את המדינה בשלהי העשור הקודם, החליטה המדינה, בצעד חריג, על הקמתה של ועדת חקירה ממלכתית לבחינת ניהול משק המים בישראל. ועדת החקירה, אחת מ־14 ועדות חקירה ממלכתיות בלבד שמונו מאז קום המדינה, ישבה על המדוכה כשנתיים, ובסופן הגישה את עיקרי מסקנותיה לממשלה [2]. הוועדה מצאה שהגורמים המיידיים למשבר היו "במידה רבה סימפטומים לליקויים בסדרי ממשל".

הוועדה הדגישה את היעדרו של הציבור מתהליכי קבלת החלטות, וקבעה כי: "אחד הליקויים שתרם ללא ספק למשבר נעוץ בהיעדר שקיפות מספקת בכל הנוגע לבעיות שעמן מתמודד משק המים ובאי־שיתוף מספק של הציבור בתהליך קבלת ההחלטות".

לצורך תיקון הליקויים שפורטו, נדרש תיקון חקיקה, שיכניס שינוי משמעותי בניהול משק המים בישראל.

הצעת חוק ממשלתית לתיקון חוק המים (תיקון מס' 25, משנת 2012) [1] הייתה אמורה לחולל שינוי בעיקר בכל הנוגע לקבלת ההחלטות בתחום המים, וכללה את הסדרת סמכויותיהם של שר האנרגיה והממשלה בקשר עם מדיניות המים, הורתה על הכנתן של תוכניות־אב שיתוו מדיניות ארוכת טווח למשק המים, והקימה מחדש "מועצת מים" ציבורית שתפקידה לייעץ לשר בכל הנוגע לנושאי משק המים.

הצעת החוק הייתה צעד בכיוון הנכון, אך גם הייתה רחוקה מלהיות מיטבית. לדוגמה, ההרכב שהוצע למועצת המים הציבורית כלל נציגים מן הציבור, אך נשלט על־ידי נציגי ממשלה,

והיא נעדרה סמכויות משמעותיות. עמדת החברה להגנת הטבע הייתה כי על המועצה הציבורית להיות מאוזנת (ממשלה וציבור) ובעלת סמכויות, ולשקף באופן ראוי את העובדה שהמים הם משאב ציבורי, ושניהולם כרוך בסוגיות חברתיות, כלכליות וסביבתיות רחבות.

אלא שגם הצעת החוק הזו, שעל אף מגבלותיה יישמה את העיקרון של אחריות ובקרה ממשלתיות מחד גיסא ומעורבות ציבורית בהחלטות רשות המים מאידך גיסא, מצאה את דרכה למגירה עם חילופי השלטון (בשנת 2013), יחד עם דו"ח ועדת החקירה הממלכתית. מאז לא נראו עקבותיהם.

נוסף על כך, לאחר עשרות שנים של ניהול משק מים שהתמקד בטווח קצר ובינוני, תוך ניצול יתר של משאבי המים הטבעיים, רק בראשית המאה ה־21 (בעקבות משבר המים החמור של 2001) החלה רשות המים לשקוד על הכנת תוכנית־אב ארוכת טווח. נוסח אחרון לתוכנית פורסם ב־2012, אולם היא נעצרה בשלב של מסמך מדיניות [3] – שלב ראשון בלבד, ועד היום לא הוצגו תוכניות ליישום המדיניות. גם העדכון לתוכנית־האב, הנדרש בדחיפות לנוכח שינויים מהותיים שחלו בינתיים במצב משאבי המים, עדיין מדשדש. כלומר, אין כיום בנמצא תוכנית־אב אופרטיבית ועדכנית שתנחה את פעילות מוסדות רשות המים, ותאפשר בקרה ציבורית על קיום מטרותיה.

אל תוך הלקונה הזו נכנסה החברה להגנת הטבע, ויחד עם מומחים רבים מתחומי המים השונים הקימה בשנה האחרונה את הפורום הציבורי למים, שמטרתו לשמש פלטפורמה לדיון פתוח בתחומי מדיניות משק המים, באכסניה הכוללת בעלי עניין מגוונים. הפורום הוא התארגנות וולונטרית לחלוטין, אך אחת ממטרותיו היא להביא להקמתה של מועצת מים ציבורית, סטטוטורית, מאוזנת – ברוח המלצות ועדת החקירה הממלכתית.

שינוי האסדרה ועדכון החקיקה בתחום המים קריטי כיום כפי שהיה בעת פרסום דו"ח ועדת החקירה, ואולי אף יותר. היעדרה של מדיניות ארוכת טווח שתנחה את הרשות המבצעת, כמו גם היעדר פלטפורמה ציבורית אפקטיבית במוסדות המנהלים את משק המים, מובהקים ומורגשים.

הדברים מקבלים משנה תוקף לנוכח האתגרים הגדולים שעומדים בפני משק המים ונוגעים לכלל תחומי חיינו. צרכני המים מתחרים אלה באלה, בעלי העניין מתרבים, מגמות עולמיות משפיעות על ההיצע ועל איכותו, טכנולוגיות מתפתחות, והציבור מתמקצע ומבקש להיות מעורב בניהול אחד מן המשאבים הציבוריים היקרים לו ביותר.

היות שכך, הגיע הזמן לקרוא לנציגי הציבור היושבים בממשלה, ובראשם לממונים על משק המים – שר האנרגיה ומנהל רשות המים – ולדרוש להסדיר כהלכה את מעמדו של הציבור בניהול המשאב, ולחייב את המאסדרים לתכנן ולהיערך כראוי לתרחישי ביקוש והיצע קרובים יותר ופחות. זה הזמן להשלים את תוכניות־האב למשק המים בכלל, ואת תוכניות המים לנחלים בפרט, וחשוב מכך: ליישם אותן. זה הזמן לקרוא לנציגי הציבור לשמור על מקורות המים שלנו, לשקם את אוגר (storage) המים, להבטיח את איכותו ולשקם את הנחלים – לרווחת הציבור והטבע כאחד.

זה הזמן להוציא את התיקון לחוק המים מן המגירה, לאוורר, לעדכן ולאשר אותו. זה הזמן להביא למשילות מים יעילה וצודקת, משתפת, מאוזנת ושקופה.

מקורות

[1] הצעת חוק ממשלתית לתיקון חוק המים (תיקון 25). 2012. fs.knesset.gov.il/18/law/18_ls1_217216.pdf.

[2] ועדת החקירה הממלכתית בנושא ניהול משק המים בישראל. 2010. דו"ח הוועדה. www.elyon1.court.gov.il/heb/mayim/doc/sofi.pdf.

[3] רשות המים. 2012. תכנית אב ארצית ארוכת טווח למשק המים – חלק א' – מסמך מדיניות. www.tinyurl.com/water-master-plan.

הדין הישראלי מבטיח את זכות הטבע למים, ולא מתוקף חוק המים

דוד שור

הפקולטה למשפטים, אוניברסיטת תל־אביב
dschorr@tau.ac.il

הדעה הרווחת היא שתיקון חוק המים בשנת 2004 ביטא הכרה משפטית בזכות הטבע למים. אולם, בעוד **חוק המים אינו מחייב הקצאה כלשהי לטובת הטבע** – ובהיעדר חובה כזאת לא ניתן לומר כי לטבע זכות כלשהי – זכות הטבע לקבל את המים הנחוצים לו מעוגנת היטב במערכת דינים אחרת. הבחנה משפטית זו אמורה להשפיע על דרכי הפעולה של העוסקים בעבודה החשובה של שימור הטבע בישראל.

סעיף 6 בחוק המים קובע כי "כל זכות למים צמודה לאחת ממטרות המים המנויות להלן; בטלה המטרה – פקעה הזכות

למים" [3]. רשימת המטרות שבהמשך הסעיף כוללת צורכי בית, חקלאות, תעשייה ועוד, והתיקון האמור הוסיף לרשימת המטרות "שמירה ושיקום של ערכי טבע ונוף, לרבות מעיינות, נחלים ובתי גידול לחים" [5]. מלשון הסעיף עולה כי הוא פשוט מונה את השימושים המותרים במים, וקובע שכל זכות מים המוקצית לאדם קשורה למטרה מסוימת, ובעל הזכות אינו יכול להשתמש בהם למטרה אחרת. עם זאת, הוא אינו יוצר כל חובה להקצות כמות מינימלית של מים למטרת שמירת הטבע או לכל מטרה אחרת.

הגורם השלטוני המופקד על הקצאת מים לשימושים ולמשתמשים השונים בהם במדינת ישראל הוא הרשות הממשלתית למים ולביוב. רשות הטבע והגנים פועלת מול רשות המים וצרכני מים שונים, ובמרוצת השנים התפתח נוהג שלפיו היא עורכת חוזים עם גורמים שונים כדי לקבל את הסכמתם לאפשר זרימה של כמויות מים מינימליות בשמורות טבע [4].

אף על פי כן, חוק גנים לאומיים, שמורות טבע, אתרים לאומיים ואתרי הנצחה (להלן: החוק) קובע שלא כך צריכות הרשויות לפעול. סעיף 30 בחוק עוסק בפעולות אסורות בשמורות טבע, וקובע: "לא יבצע אדם פעולה המהווה או העלולה להוות פגיעה בשמורת טבע... אלא בהיתר בכתב מאת המנהל". "פגיעה" כוללת "הפרעה לריבויָם ולהמשך התפתחותם הטבעי" של חיות וצמחים [2]. התקנות שהותקנו מכוח החוק מבהירות (בתקנה 8) ביחס ל"מים המצויים בתחום השמורה או הזורמים אליה": "לא ישנה [אדם] דרך קבע או ארעי את מצבם או את מסלול זרימתם, אל השמורה או בתחום השמורה" [7]. זאת ועוד, סעיף 33 בחוק קובע כי כל הפרעה ל"ערך טבע מוגן", אחד ממאות מיני הצמחים המוגנים וכמעט כל חיות הבר המקומיות, אסורה גם היא על פי חוק, גם מחוץ לשמורות [1, 2].

מכאן, שכל הטיה או שאיבה של מים (ואולי אף הקצאה של מים) הפוגעת בזרימה הטבעית של מים בבתי גידול לחים בשמורות הטבע, ולרוב גם מחוץ לתחומיהן, אסורה על פי דין, אלא אם כן ניתן לכך היתר על־ידי מנהל רשות הטבע והגנים. היתר המנהל כנראה יכול להינתן רק לצורכי מחקר או לטובת הטבע [7, 6]. אין כל פטור בחוק או בתקנות לרשות המים או למשתמשים במים שקיבלו הקצאות מרשות המים.

גם כאשר פגיעה בטבע נעשית בהתאם לזכות מים שקדמה להכרזה על שמורת טבע, יש לבחון את הזכות הנטענת בזהירות. מאז חקיקת חוק המים ב־1959 לא נוצרו זכויות קניין פרטיות חדשות במים, וגם זכויות במים שנוצרו לפני תאריך זה, בהתאם לדין העות'מאני שנהג אז, היו מוגבלות מאוד (מפאת קוצר היריעה לא נוכל להרחיב בנושא כאן) [8].

לסיכום, החקיקה הישראלית מגינה על שמורות טבע ועל ערכי טבע מפני שימושי מים הפוגעים בזרימה הטבעית. על רשות המים להקפיד לא לפגוע בהם, ועל רשות הטבע והגנים לעמוד על זכות הטבע לקבל מים מכוח הדין.

מקורות

[1] אכרזת גנים לאומיים, שמורות טבע, אתרים לאומיים ואתרי הנצחה (ערכי טבע מוגנים), התשס"ה–2005.

[2] חוק גנים לאומיים, שמורות טבע, אתרים לאומיים ואתרי הנצחה, התשנ"ח–1998.

[3] חוק המים, התשי"ט–1959.

[4] שור ד. 2008. עין־גדי, זכות הטבע למים והסכנה בהפרטה חלקית. עיוני משפט ל: 663–683.

[5] תיקון מס' 19 לחוק המים, ס"ח התשס"ד 436.

[6] תקנות גנים לאומיים, שמורות טבע ואתרי הלאום (איסור פגיעה בערכי טבע מוגנים), התשמ"ד–1983.

[7] תקנות שמורות הטבע (סדרים והתנהגות), התשל"ט–1979.

[8] Schorr D .2014 .Water law in British-ruled Palestine .*Water History* **6**: 247–263.

הקצאות מים בשמורות טבע – בין תיאוריה למציאות

תגובה לדוד שור

ניסים קשת

מנהל אגף סביבה, רשות הטבע והגנים
n-k@npa.org.il

מים המשוחררים לטבע ממקורות טבעיים, מושפעים מכמות המשקעים השנתית, משינוי האקלים ומהשפעות אדם כגון הפקה מקידוחים. כאשר שפיעת מקורות המים דועכת (בין אם מסיבות אנושיות ובין אם אקלימיות) נוצר אתגר תפעולי מורכב המקשה על רשות המים להבטיח הקצאת כמות מים קבועה לטבע. לכן, הקצאות מים לטבע כהגדרתן בחוק המים מתקיימות בפועל רק באמצעות צינורות. במקרים כאלה משק המים מחויב לטבע כמו אל כל צרכן אחר.

לגבי מקור מים המצוי בשמורת טבע – יתכן שתיאורטית הצדק עם ד"ר דוד שור. בפועל, טרם ההכרזה על שמורת טבע, מקורות המים בשמורות היו חשופים לניצול מצד גורמים אנושיים

נקודת מבט

שונים. תהליך הכרזת שמורה כולל הכנת תקנון המחייב את כל בעלי העניין באזור המיועד לשמורת הטבע. אם בשטח כבר קיימת תשתית, כגון משאבות מים, הרי שעל התקנון להתייחס להמשך הפעלתן. להערכתי, הגורמים העוסקים בהכרזות על שמורות מבינים שללא החרגת משאבי המים בשמורה לא ניתן להכריז על שמורות הטבע. ריבוי האינטרסים בניהול המים האזורי מחייב לרוב קיום דיאלוג והגעה להבנות ולהסכמות על חלוקת המים בין הטבע לבין הצרכנים האחרים.



יעלה מרווה את צימאונה מטפטפת להשקיית גינה, סמוך לשמורת נחל דוד | צילום: שחר בוקמן

המלצת קריאה: המאבק על כל טיפה - כיצד הניסיון הישראלי מציל את העולם מצמא, מאת סת' סיגל

מיכל גרין

היחידה להנדסת הסביבה מים וחקלאות,
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
agmgreen@tx.technion.ac.il



ספרו של סת' סיגל. המאבק על כל טיפה - כיצד הניסיון הישראלי מציל את העולם מצמא. הוצאת סלע מאיר. 2016.

חודשים ספורים לפני פרוץ מלחמת העולם השנייה פרסם שר המושבות הבריטי מלקולם מקדולנד את הספר הלבן האחרון. בספר הכריזה ממשלת המנדט הבריטי על כוונתה להפסיק את העלייה היהודית לארץ, פרט למכסה "אחרונה" של 75,000 עולים יהודים במשך חמש שנים, וגם זאת בתנאי ש"כושר הקליטה הכלכלי של הארץ" יאפשר זאת. השלטון הבריטי גרס שמקורות המים הזמינים בארץ ישראל לא יאפשרו אכלוס של למעלה משני מיליון תושבים בארץ ישראל, ואי לכך יש להגביל דרסטית את היקף העלייה לארץ. בפועל, שימש הספר מנוע להנחת התשתית התפיסתית והמעשית לניהול המים בישראל. מפרסום הספר דרך כל שנות מלחמת העולם ועד הקמת המדינה, הכינה ההנהגה הציונית שורה של תוכניות שהראו שפוטנציאל משאבי המים בארץ גדול בהרבה מזה שהביאו בחשבון הכלכלנים הבריטים.

הדמות המרכזית בהובלת החשיבה היצירתית והתכנון בתחום המים בישראל היה **שמחה בלאס**, איש החזון והביצוע שפעל מתחילת שנות ה־30 ועד אמצע שנות ה־50. תקצר היריעה מלסקור את פועלו הרב – הוא היה האיש האחראי לגילוי המים בנגב, הוגה רעיון המוביל הארצי, ממקימי מקורות ותה"ל, מממציאי הטפטפות וממקימי חברת נטפים. הוא העלה את נושאי השימוש החוזר בקולחים להשקיה ואת נושא ההתפלה עוד הרבה לפני קום המדינה. למרות רשימת ההישגים המפוארת שלו, רבים וטובים, אפילו בקהילה הקרובה לנושא, אינם מכירים את שמו ואת קומץ המהנדסים, הממציאים והיזמים שיחד איתו אחראים לתכנון ולהקמה של משק המים בישראל. זו סיבה טובה לקרוא את המאבק על כל טיפה, סִפרו המרתק של סת' סיגל שהוא גם רב־מכר של ה"ניו יורק טיימס".

סת' סיגל הוא איש עסקים שמאחוריו שורה מפוארת של אקזיטים, חבר המועצה האמריקאית ליחסיים בין־לאומיים (CFR) וחבר הנהגת השדולה האמריקאית לתמיכה בישראל (AIPAC). במהלך קריירה ארוכה כיוצר הפיק סיגל סדרה זוכת פרסי אמי לרשת ABC, כתב מחזה שהיה מועמד לשלושה פרסי טוני, והקים את אחת מחברות המיתוג התאגידי הגדולות בעולם. את המאבק על כל טיפה כתב סיגל לנוכח מצבו המתדרדר של משק המים העולמי, ולאחר שהגיע למסקנה שהטכנולוגיות והפיתוחים הישראליים יכולים לתת מענה לאיום המחסור במים למיליארדי אנשים על פני כדור הארץ.

שירת הסביבה

והילדה גרה באוהל / שז

עורכת המדור: ד"ר עדנה גורני
ednagorney@yahoo.com

וְהַיַלְדָה גָרָה בְּאֹהֶל
עַל שְׂפַת הַנַחַל הַמְזֹהָם אֵיפֹה שֶׁ
מַשְׁלִיכִים אֶת הָאַשְׁפָּה כָּל בֹּקֶר וְאוֹמְרִים בָּרוּךְ שֶׁהֶחֱיָנוּ
וְלֹא הִגִיעָנוּ לַמָּקוֹם הַזֶה כִּי אֲנַחְנוּ טוֹבִים יוֹתֵר מֵהַיַלְדָה וַאֲנַחְנוּ
כְּשֶׁאֲנַחְנוּ נִכְנָסִים לַבַּנְק אֲנַחְנוּ הוֹלְכִים יָשָׁר לָאֶשְׁנָב שֶׁל הַוִי־אַי־פִּי כִי אֲנַחְנוּ
מְבִינִים מַה שֶׁהַיַלְדָה לֹא מְבִינָה אַף פַּעַם לֹא מְבִינָה
יֵשׁ לָנוּ הַרְבֵּה נְיָרוֹת
בְּכָל מִינֵי צְבָעִים.
וְלַיַלְדָה? הַיַלְדָה גָרָה בְּאֹהֶל
עַל שְׂפַת הַנַחַל הַמְזֹהָם אֵיפֹה שֶׁ
הַחָרָא שֶׁל הָאֲנָשִׁים הַחֲשׁוּבִים
צָף.

זמינות מים נקיים נחשבת בדרך כלל לנושא טכני־טכנולוגי של בארות, קידוחים, צנרת ולאחרונה גם מתקני התפלה. מתחילת דרכה יזמה וביצעה מדינת ישראל הצעירה מיזמים הנדסיים אדירים כדי להביא מים למקומות שהיו חסרים בהם מים, ולייבש מקומות שהיה בהם עודף מים – כדוגמת מיזם מקורות הירקון והמוביל הארצי וייבוש החולה. אך נגישות למים קשורה גם לנושאים פוליטיים־כלכליים־חברתיים, כמו למשל חלוקה בין מדינות שכנות, הקצאת מים בתוך מדינה לחקלאות ולתעשייה ועוד. שאלות כמו מהי זכות הטבע למים, מדוע מותר למכור מי מעיינות ומי מרוויח מכך, ומי ישלם עבור ניקוי מקורות מים מזוהמים – אינן רק שאלות טכנולוגיות.

מדו"חות של האו"ם עולה כי יותר משני מיליארד בני אדם בעולם סובלים ממצוקת מים. המצב צפוי להחמיר בעקבות גידול האוכלוסייה והחרפת ההשפעה של שינוי האקלים. העניים ביותר הם הסובלים ביותר ממחסור במים נקיים וזמינים במקום מגוריהם, והדבר נכון גם מבחינה גלובלית וגם בבחינה של כל מדינה ומדינה. במילים אחרות, אי־שוויון סביבתי קשור לאי־שוויון חברתי־כלכלי. הקשר הגורדי הזה בולט בשירה של שז. הנחל מזוהם כי משליכים אליו אשפה ומי ביוב. הילדה שגרה באוהל על שפת הנחל המזוהם היא ילדה שחיה בעוני – בסביבה מזוהמת, ללא נגישות למים נקיים וללא סיכוי להגיע לבנק, ובוודאי לא לאשנב של הַוִי־אַי־פִּי בבנק. הילדה שגרה באוהל על שפת הנחל, רואה את האשפה הצפה במים יחד עם "החרא של האנשים החשובים". הציפה הזאת מזכירה את הביטוי "שקר צף על פני המים". השקר מורכב ממספר שקרים: מהשקר של "האנשים החשובים" העושים את צרכיהם בדיוק כמו פשוטי העם, אך מרגישים עצמם טובים יותר; מהשקר של חלוקת המשאבים שאיננה שוויונית; מהשקר של המדינה שפועלת לרווחת כל תושביה – אך יותר לרווחת "האנשים החשובים"; מהשקר של השלכת האשפה והביוב "רחוק מהעין רחוק מהלב" – אך הזיהום נשאר איתנו ולא נעלם. לשון השיר הבוטה מעצימה את ההתנגדות לזיוף ולייפוי. הילדה, כמו הילד בסיפור "בגדי המלך החדשים", רואה מבעד לשקרים.

מקורות

[1] שז. 2005. "והילדה גרה באוהל". מטעם – כתב עת לספרות ומחשבה רדיקלית **4**.



"על שפת הנחל המזֹהם איפה שהחרא של האנשים החשובים צף" | צילום: אבי בן זקן

לזכרו

פרופ' יואב כסלו ז"ל, 1932–2017

ישראל פינקלשטיין

המחלקה לכלכלת סביבה וניהול, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים

השנה הלך לעולמו פרופ' יואב כסלו, מבכירי הכלכלנים החקלאיים בישראל וממייסדי המחלקה לכלכלת סביבה וניהול בפקולטה לחקלאות של האוניברסיטה העברית. יואב היה אדם וכלכלן יוצא דופן, בעל מידות נעלות, אינטלקטואל במובן העמוק ביותר של המילה, ומורה הדרך של רבים מאיתנו שעוסקים בכלכלה חקלאית ובכלכלת משאבי המים בישראל.

יואב היה חוקר אקדמי מוביל בתחומים הללו. במהלך הקריירה פרסם עשרות רבות של מאמרים בכתבי עת אקדמיים מהשורה הראשונה, מהם בבמות החשובות ביותר בכלכלה ובכלכלה חקלאית, וכן פרסם שישה ספרים אקדמיים. מחקריו היו לפורצי דרך, והם מצוטטים דרך קבע בשלושה תחומים עיקריים: כלכלת המחקר החקלאי; מבנה המשקים החקלאיים והשינויים הדרמטיים שחלו בו בעשורים האחרונים; כלכלת מים, נושא שעסק בו בעיקר בהקשר הישראלי. בגיליון מיוחד זה אתמקד בהישגיו המחקריים ובפועלו בתחום של כלכלת משק המים (ברשימה אחרת לזכרו עסקתי במחקריו בשני התחומים הראשונים [2]). לענייות דעתי, **למחקריו העיוניים ואף לרעיונות ולמדיניות שקידם בהקשר של משק המים בארץ, ישנה השפעה של ממש על יעילות השימוש במקורות המים הטבעיים בארץ, ולפיכך בעקיפין גם תרומה חשובה לסביבה ולטבע.**

יואב החל לחקור את משק המים באופן יסודי ומקיף לפני כ־25 שנים. במאמרו המקיף הראשון בנושא **התווה רעיונות שהפכו לנכס צאן ברזל במחשבה הכלכלית על משק המים בישראל** [3]. יואב התווה בפשטות ובבהירות את תפקיד משק המים שעיקרו העברת המים: א. גיאוגרפית, מאזורים עתירי משקעים לאזורים שחונים; ב. על פני זמן, משנים ומעונות משופעות במים לעונות יבשות ולשנות בצורת. לתפקידיו אלה משק המים משתמש במאגרים הטבעיים, שאלמלא אסדרה ממשלתית יהיו בסכנה של "בעיית המשאב המשותף". יואב הסביר שהקריטריון להצלחת מנהלי משק המים אינו דווקא היקף האספקה או זמינות המים, אלא סך הרווחה הכלכלית שנוצרת מהשימוש בהם. המים הם משאב במחסור, וגם אם ננצל במלואם כל משאבי המים הטבעיים, נמחזר את מרב מי הקולחים ונתפיל מים אפילו בהיקף כפול מהקיים בישראל כיום – עדיין יחסרו לכלכלה הישראלית כ־4 מיליארד מ"ק מים (שהם כ־60% מהמים הנדרשים לקיומה). לגישור על הפער העצום הזה נזדקק, בכל תקופה עתידית נראית לעין, להמשיך ביבוא "מים וירטואליים" בעיקר באמצעות יבוא גרעינים למספוא ולמאכל אדם.

אסדרה ממשלתית גורמת בדרך כלל ליצירת קבוצות אינטרסים ושדלנות פוליטית. יואב כינה זאת "הידרו־פוליטיקה", והעריך שלשדולה החקלאית ולזו של חברת מקורות השפעה גדולה על מקבלי ההחלטות במשק המים. אסדרה יכולה להתבצע באמצעים מנהליים, קרי מכסות ורישיונות, או באמצעות מחירים אדמיניסטרטיביים והיטלי הפקה. על המחירים וההיטלים לשקף את העלות השולית להפקה ולאספקה של המים, כולל ערך נדירותם.

פרופ' יואב כסלו היה פעיל גם מחוץ למסגרת מגדל השן האקדמי. החקלאות ומשק המים בארץ היו יקרים לליבו, והוא הזדהה עם כאבם ומצוקתם של הקיבוצים והמושבים בגין השינויים הכלכליים־חברתיים הגדולים שחוו בעשורים האחרונים, כולל ייקור הכרחי של המים. יואב היה בין מעצביה של מדיניות קביעת היטלי ההפקה (במסגרת תיקון 11 לחוק המים בשנת 1999). על היטלי ההפקה, לפי תפיסתו של יואב, לייצג את הערך החלופי של המים (מחיר הצל), והטלתם הכרחית כדי ליצור תמריצים כלכליים נכונים לשאיבה ברמה הכדאית ממקורות המים הטבעיים המוגבלים של ישראל. השנה, במסגרת תיקון 27 לחוק המים, בוטלו היטלי ההפקה, ויואב, שהצר על כך, הסביר זאת לקובעי המדיניות, ואף פרסם את ביקורתו מעל דפי העיתונות המקצועית בארץ. בהקשר זה יש לציין את פרסומיו הרבים בכתבי עת מקצועיים בעברית, שאף על פי שאינם זוכים להכרה אקדמית, היו חשובים בעיניו בשל תרומתם לדיון הציבורי ולגיבוש מדיניות מושכלת. נכונותו לתרום למדיניות הציבורית ניכרה גם בחברותו בשורה של ועדות ציבוריות וממלכתיות, בהן ועדת החקירה הממלכתית לניהול משק המים, ועדת ארלוזורוב למשק המים והוועדה המייעצת להסדרת תעריפי מים וביוב לתאגידים. על ספרו משק המים בישראל [1] אני ממליץ לכל מי שמעונין להכיר את מבנה משק המים או לבחון את התאמת משק המים לתפקידיו ולמשימותיו.

יואב היה מורי ורבי, ומצפן לדרכי האקדמית. יהיה זכרו ברוך.

מקורות

[1] כסלו י. 2011. משק המים בישראל. ירושלים: מרכז טאוב לחקר המדיניות החברתית בישראל.

[2] פינקלשטיין י. 2017. יואב כסלו ז"ל. יבול שיא **132**: 84–86.

[3] Kislev Y .1993 .The Water economy of Israel :Principles and their applications .Jerusalem :Institute for advanced political studies.

מכתב למערכת



גיליונות כתב העת רׂתָם - מעכשיו גם באינטרנט

לקוראי אקולוגיה וסביבה שלום,

כלנית – כתב עת מקוון לצמחי ישראל, שמח לבשר כי בימים אלה הושלם מפעל דיגיטציה של כל המאמרים, הכתבות והמדורים שהתפרסמו ברׂתָם, כתב העת שהופיע בשנים 1981–1989 מטעם החברה להגנת הטבע והאוניברסיטה העברית בירושלים. ניתן לקרוא אותם ולהורידם באתר האינטרנט של כלנית באופן חופשי, בכתובת: www.kalanit.org.il/rotem-magazine.

לחשיפה המקוונת של חומרים אלה לאנשי המקצוע ולקהל הרחב יש ערך רב גם כיום, כחלק מתשתית הידע הרחבה על הצמחייה והצומח של הארץ.

כתב העת כלנית, המוקדש לצמחי ישראל וממשיך את כתב העת רׂתָם, מופיע קרוב לשלוש שנים. מתפרסמים בו מאמרים ורשימות על אודות הסיסטמטיקה, התפוצה הגיאוגרפית המקומית והעולמית, הביולוגיה והאקולוגיה של צמחי ארץ ישראל והמזרח התיכון, שימושים בצמחי הבר, תועלתם לאדם, צמחי ישראל במקורות העבריים ובפולקלור של עדות אחרות, שמירת טבע והמגוון הביולוגי. כתב העת מציג חומר מקורי, הרואה אור לראשונה בשפה העברית, כולל תוצאות של מחקרים ודעות. המאמרים והכתבות נכתבים ונערכים בידי אנשי מקצוע בתחום הבוטניקה בישראל.

בברכה,

פרופ' גידי נאמן, בשם מערכת כלנית

תמונה אחת



דיפלומטיית מים

צילום: קובי גדעון, לע"מ

ראש ממשלת הודו נרנדרה מודי וראש הממשלה בנימין נתניהו משוחחים לאחר נסיעת הדגמה בכלי רכב הנושא מתקן לטיהור מים ולהתפלת מי ים. המתקן יכול להתפיל 20 מ"ק מי ים ביום או לחלופין לטהר 80 מ"ק של מי נהרות מליחים או מזוהמים ביום. במהלך הביקור נחתמו הסכמים שיובילו לשותפות אסטרטגית בין המדינות בתחומי המים והחקלאות – ניהול משאבי המים, התפלה, טיפול בקולחים והשבתם לחקלאות, שיפור איכות המים בנהרות והעלאת המודעות לחיסכון במים.

חוף אולגה, 6.7.2017

המילה האחרונה



"אחת המשימות העיקריות שהצבתי לעצמי במסגרת כהונתי היא הרחבת צוואר הבקבוק בהשבת קולחים, שהוא אגירה". מאגר בראש הארבל | צילום: אייל אסף, מתוך אתר ויקימדיה

התפלה ללא גבול מסכנת את עצמאות משק המים

ריאיון עם גיורא שחם, מנכ"ל רשות המים

ראיינו: יורם אבנימלך ושחר בוקמן

גיורא שחם הוא מנכ"ל רשות המים מאז יוני 2017. בעברו היה מעורה במיזמים רבים למען הסביבה, כולל הכנת מסמך המדיניות המרכזי בנושא זכות הטבע למים (2003). נדמה שבעוד שלראשי רשות מים קודמים, ולפניהם לנציבי מים, היה צריך להסביר מהי 'סביבה' כשנכנסו לתפקידם, לגיורא שחם נאלצים להסביר למה אי אפשר לעבוד רק למען הסביבה.

ש: הענן הכבד מעל משק המים (והלוואי שזה ענן גשם) הוא החשש שמא נחנו על סיפה של תקופת יובש ארוכה המאפיינת את האקלים המשתנה ובאה לידי ביטוי בהפחתה במשקעים, בייחוד באגן הכינרת. האם החשש מחייב היערכות מיוחדת של רשות המים?

בשום אופן שלא יובן ממה שאני אומר כאילו יש לי מחלוקת עם מחקרי אקלים. אני לא טראמפ, לא בוש, ולא מאלה שאומרים להד"ם. אני גם לא מתווכח עם מידת ההשפעה של שינוי האקלים על אזורנו. עם זאת, לא אני, ולדעתי לא אף אחד אחר, יודע אם אנחנו בעיצומו של מחזור סטטיסטי נדיר או בתחילת מגמת התייבשות. כשבדקנו את ההיסטוריה המתועדת של המשקעים בישראל במאה השנים האחרונות (מדידות גשם מארבע תחנות מאז 1920) כדי לראות כמה פעמים היה רצף של חמש שנות בצורת – וכל חודש שעובר מחזק את התחזית שהחורף הקרוב יהיה שחון כמו ארבעת החורפים שלפניו – זיהינו שני אירועים כאלה: ב־1933–1937 וב־1956–1961 (אגב, זקני הכפר ראג'ר, שעל מקורות הבניאס, מספרים שבשנים 1960–1961 הבניאס התייבש לגמרי. המצב היום לא רחוק מכך: שפיעת הבניאס פחתה ל־10% מהממוצע). מכאן שייתכן שאנו בעיצומו של אירוע שהסתברותו היא 1 ל־50 שנה. השנה ישנה התופעה העולמית המחזורית של 'אל־ניניה', ולכן ייתכן שההסבר לבצורת בחורף הנוכחי כלל אינו טמון בשינוי אקלים. **היו דברים מעולם, ולכן לא צריך להיכנס לפאניקה, אלא להיערך בצורה מושכלת.** הקמתי צוות שנערך למקרה שגם 2018/9 תהיה שנת בצורת. אנו לוחצים על חברות ההתפלה לספק השנה 50 מיליון קוב מעבר לחובתן החוזית (כמובן בתעריף גבוה יותר למדינה).

וגניח שאכן מדובר בתחילת מגמה של שינוי אקלים. האם למישהו יש מושג לאן היא מובילה? האם נכון להיערך לתרחיש קיצוני של הפסקת הגשמים במרחב שלנו? **כמדינה עם תל"ג של 40,000$ לנפש, הנמצאת על חוף הים, לכאורה אין לנו בעיה להתמודד עם משבר המים.** קודם לתקופתי כמנכ"ל שוריינו סטטוטורית מקומות להקמת מתקני התפלה נוספים בעלי כושר הפקה משותף עצום של 1.2 מיליארד קוב. לכאורה, הממשלה יכולה לקבל היום החלטה, שייקח 5–6 שנים לבצעה, של הוספת כמה מאות מיליוני קוב נוספים, ומשק המים יתבסס כולו על מי ים מותפלים ולא על מקורות המים הטבעיים.

ש: אז העתיד הוא של משק מים המתבסס על התפלה ללא גבול?

לא! צריך להיזהר מאמירות לא אחראיות בדבר הגדלה ללא גבול של תשתיות ההתפלה. לכניסה נרחבת להתפלה יש משמעויות אדירות – סביבתיות, כלכליות, ביטחוניות וגיאו־פוליטיות. זה יעיק על עלויות המים, ובתנאים כאלה מי ישלם על הזרמת מים לנחלים? להתפלה יש נזקים סביבתיים (פליטות גזי חממה, תפיסת שטחים פתוחים) שצריך להביא בחשבון מבחינת ההשפעות החיצוניות. אבל הבעיה העיקרית היא ש**אם נתפיל כמות גדולה בהרבה, אז בשנים גשומות (שעוד יבואו) יהיה לנו יותר מים מכפי צרכינו. הדבר יוביל ללחץ בין־לאומי שיופעל עלינו לוותר על המים הטבעיים והזולים, לטובת שכנינו.** מי יוכל להגיד שצריך מים לנחלים, כאשר מסביבנו יש אוכלוסייה הגוועת בצמא? לא נוכל להתמודד עם לחץ שכזה, אלא אם נקים מערכת המנצלת את המים הטבעיים לצרכים הטבעיים: שיקום בתי הגידול המימיים ושימור החקלאות הירוקה יוצרת הנוף.

החלטה על הגדלת מערך ההתפלה לא צריכה להתקבל מסביב לשולחני, אלא על־ידי הממשלה, וכמו כן, על הציבור להביע את דעתו בעניין.

ש: שיקום בתי הגידול המימיים ושימור החקלאות הירוקה יוצרת הנוף לא חייבים להיות מטרות נפרדות. פתרון אפשרי לבעיית תפיסת מעיינות והתייבשות נחלים הוא הזרמת מי המעיינות בנחלים, תפיסתם במורדות ורק אז הזרמתם לחקלאות. החקלאים טוענים (בצדק) שלא הם צריכים לשאת בעלות המערכת הזו. האם רשות המים תנווט ותוביל קידום פתרון רב־מערכתי שכזה?

את ההשקעות הגדולות בטיהור שפכים צריך לשלם מי שמייצר אותם, בהתאם לעיקרון 'המזהם משלם'. יש להחליט לאיזו רמה הוא נדרש לטהר אותם, וגם על כך כבר ענתה המדינה בקובעה את תקן ענבר לטיפול בקולחים ברמה שלישונית להשקיה ברמה בלתי מוגבלת. העלות הנותרת היא של מפעלי השבה המובילים את הקולחים המטוהרים לשדות. להערכתי, בעלות נמוכה של 1.30–1.50 ש"ח לקוב ניתן להוביל קולחים לכל נקודה מצפון הארץ (פרט לגליל העליון) ועד צפון הנגב ואולי אף מרכז הנגב.

הארץ חולקה לשמונה אזורי קולחים, ובכולם יהיו מפעלי קולחים. ראשון יוצא לדרך מפעל ירקון–חוף הכרמל, המבוסס על הזרמת מים בירקון, תפיסתם במתחם 'שבע תחנות', והולכתם צפונה תוך 'איסוף' קולחי המט"שים שבמרחב בין הירקון לחוף הכרמל והשקיית כל המרחב עד חוף הכרמל. נחלים במרחב שיש לשקמם (חדרה ואלכסנדר), יקבלו ממפעל הקולחים מים שיטופלו בהתאם לתקנות ענבר לאיכות מים לנחלים.

לא נותרו הרבה נחלים שיש לשקמם, רק הירקון, אלכסנדר, חדרה, הקישון ונעמן. עבור כולם יש תוכניות לאספקת מים, שצפויות להתממש, בין אם בקולחים מטוהרים ובין אם בהקצאות מים שפירים. למים המוזרמים לנחלים ולפארקים המתפתחים סביבם יש ערכים חיצוניים אדירים.

ש: אתם מסכימים עם אנשי הטבע שהזרמת קולחים היא פתרון למצב הנחלים?

לפני כעשור הכנתי לגופי שמירת הטבע עבודה גדולה על זכות הטבע למים, ומיפינו בה את כל בתי הגידול הלחים. הייתה הסכמה גורפת שחלק מהשיקום של הנחלים יהיה בעזרת קולחים באיכות מעולה. כיום מתחילים להעלות סימני שאלה על תפיסה זו, אז צריך למצוא פתרונות אחרים. אומנם לא מדובר בהרבה מים (כ־30 מלמ"ש) אבל אין לנו מים שפירים להקצות לזה, ולשקם נחל על־ידי הזרמת מים מותפלים זה מביך.

ש: ומה יהיה על החקלאים? אפילו מהזווית הסביבתית יש ערך עליון בשמירה על דמותה של החקלאות כשומרת על שטחים פתוחים.

אני לא דואג לחקלאים, אני דואג לחקלאות. חקלאות אקסטנסיבית (כדוגמת גידולי אספסת בעמק החולה, תמרים בעמק הירדן, בריכות הדגים בעמק בית שאן, ופרדסים בשרון) לא יכולה לשאת בעלות המים הריאלית (שהיא הערך השולי של המים, כלומר עלות התפלת מי ים). תיקון 27 לחוק המים (שהתקבל בינואר 2017, י.א. וש.ב.) הפך את משק המים לתעריפי, כלומר למשק המתנהל כולו כפונקציה של עלויות המים, ללא תמיכה תקציבית מבחוץ (למעט תמיכה בהיקף של כ־1.5 מיליארד ש"ח בהקמת מתקני השבת קולחים). הדבר גורם לסיכון חמור לחקלאות. בלעדיה לא ינוצלו המים הטבעיים, ואז כאמור יהיה עלינו לחץ להעביר אותם לשכנינו.

אחת המשימות העיקריות שהצבתי לעצמי במסגרת כהונתי היא הרחבת צוואר הבקבוק בהשבת קולחים, שהוא אגירה. בעוד קולחים מיוצרים בכל השנה, שדות מושקים רק בקיץ. אני מכין עכשיו תוכנית ארצית לאיתור השטחים הנדרשים להגדלת האוגר. יש להקים כ־40 מאגרים, בנפח כולל של כ־80 מלמ"ק. הקושי יהיה

לאתר שטחים להקמת כ־20 מאגרים באזור המרכז, שערך הנדל"ן בו גבוה במיוחד.

ש: האם אתה רואה את ישראל כמי שחובתה לסייע לשכנותיה בפתרון מצוקת המים שלהם?

אני מאוד בעד לעזור לשכנינו. הבצורת חוצה גבולות וקיימת לא רק אצלנו. הירדנים והפלסטינים ביו"ש ובעזה מתים בצמא. צריכת המים לנפש אצלם מאוד נמוכה ואין להם מקורות מים. בעזה המצב דרמטי. כתוצאה משאיבת יתר של מי התהום נכנס הים פנימה. אין להם מים! אנחנו מביאים להם מים עד לגדר, אבל אין להם יכולת לקחת אותם, כי אין מערכת הובלה לתוך הרצועה. מדינות זרות תרמו להקמת מתקני התפלה, אך החמאס השתמש בצינורות ובחומרי הבנייה לבניית מנהרות וקסאמים, ולכן עצרו את העברת החומרים. אני מקווה שהעניין לקראת פתרון, תוך בקרה הדוקה. בעיה גדולה היא היעדר תשתיות ותקינות לחלוקת מים ולטיפול בקולחים ברצועת עזה. עשרות מיליוני קוב נשפכים לנחל חאנון (בצפון הרצועה – י.א. וש.ב.) ולים, ומסכנים את קידוחי המים בשקמה ואת מתקן ההתפלה של אשקלון.

כאמור, ביכולתנו להקים כמה מתקני התפלה שנרצה, אבל הירדנים והפלסטינים, גם אם מדינות תורמות יסייעו להם בהקמת מתקני התפלה, לא יוכלו לשאת בעלויות התפעול הגבוהות. יצטרכו למצוא להם פתרון. אילו היו מסכימים, היינו יכולים לסייע יותר. מתקן ההתפלה יקום בעקבה ולא באילת, כי לא רצו שיהיה בשטחנו. הצענו לפלסטינים להקים עבורם מתקן התפלה בחדרה, אך הם לא הסכימו.

כבר כיום אנו מסייעים בצורה נרחבת לשכנינו. אנחנו נמשיך להעביר מים לירדנים אפילו אם יתהפך העולם. בגלל המפלס הנמוך של הכינרת התייבש מוצא הירדן (ליד סכר דגניה) שתחנת היניקה ('דגניה 1') לצינור המזרים מים לממלכת ירדן נמצאת בו. לכן, שמו מחסום עפר בכניסה של הכינרת אל הירדן, ומשאבות ענק מעבירות מים מצד אחד לצד שני. כיום מספקים להם 54 מלמ"ש, וכחלק מהסכם תעלת הימים נספק להם 50 מלמ"ש נוספים, בתמורה לכך שנרכוש מהם 35 מלמ"ש ממתקן התפלה שאמור לקום בעקבה. נספק להם את הכמות המוגדלת עוד לפני שהמתקן בעקבה יתחיל לפעול.

טרם כניסתי לתפקיד מנכ"ל רשות המים היו לי חילוקי דעות חריפים עם חברת מקורות. דרשתי שהמים המסופקים לממלכת ירדן יוזרמו דרך קטע מנהר הירדן, אך לצערי הפסדתי בתביעה שהגשתי לבית המשפט. אומנם בהתאם להסכם ניגוד העניינים שלי, אני מנוע מלעסוק בנושא בשנה הראשונה לתפקידי, אבל עד סוף המשמרת שלי אני אביא מים לנהר ירדן! לא סביר באופן קיצוני שנספק כ־100 מלמ"ש לירדנים – לתעלת הע'ור, לא לברזים – אך לא נוכל לעשות שימוש במים לשיקומו של הקטע הישראלי של נהר הירדן.

ש: מילה אחרונה לקוראינו?

עם כניסתי לתפקיד מנכ"ל הרשות הסוגיות העומדות לפתחי לא הפתיעו אותי, אבל אני מודה שהופתעתי מהצטברות הבעיות ומהעוצמה שלהן. מבחינת משק המים זה קצת מזל שאני מגיע מתוך התחום. אני יודע איפה צווארי הבקבוק, ואם רק יאפשרו לי – אני אכוון את כל האנרגיות הנדרשות לפתיחתם.



מאגר ניר עם וברקע בתי בית חאנון. "אני מאוד בעד לעזור לשכנינו. הבצורת חוצה גבולות וקיימת לא רק אצלנו. הירדנים והפלסטינים ביו"ש ובעזה מתים בצמא." | צילום: איציק מוזן, מתוך אתר ויקימדיה

ממשק

תכנית יישום מדע בממשל

מיסודה של האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה

זוכת פרס יו"ר הכנסת לאיכות חיים לשנת 2017



עיצוב: חגי בלשטיין-לבנון

הדוקטורט שלך יכול להשפיע על החיים שלנו

אנחנו מזמינים אותך לקחת חלק בעיצוב מדיניות הסביבה של ישראל

נפתחה ההרשמה למחזור ח'

אוקטובר 2018 - אוקטובר 2019

מועד אחרון להגשת מועמדות: 8 בינואר 2018

לפרטים נוספים ולמילוי טופסי ההגשה: mimshak.org.il

ממשק - תכנית יישום מדע בממשל היא תכנית פוסט-דוקטורט יישומי במשרדי הממשלה. התכנית מגבשת מנהיגות של בוגרי תואר שלישי מצטיינים ממגוון תחומים, ומכשירה אותם לפעול באופן אפקטיבי במגזר הציבורי. מטרת ממשק היא לשפר את תהליך קבלת ההחלטות בתחומים הנוגעים לאיכות החיים בישראל, ולקדם דו שיח בין הקהילה המדעית ובין קובעי המדיניות בתחומי הסביבה.

האגודה הישראלית **לאקולוגיה ולמדעי הסביבה**

שלוש שנים - שמונה נחלים



BB&A

צעדים מעשיים לשיקום זרימת המים בנחלי ישראל

עד לפני מספר שנים עדיין היה אפשר ליהנות ממים זכים ששצפו בנחלים אשר לאורך החופים ובעמקים, לטייל בין מעיינות שנבעו בפינות חמד נסתרות. כיום, לאור הקמת מתקני ההתפלה וייצוב מצב משק המים, נפתח חלון הזדמנויות להשיב את זרימת המים למעיינות ולנחלים.

שמונה תכניות מים לשמונה נחלים כבר מוכנות ליישום.

תכניות לשיקום זרימת המים בנחלים ("תכניות מים") הוכנו בשנים האחרונות במסגרת "זכות הטבע למים". **לצערנו תכניות המים הללו לא מקודמות לביצוע, ומצב זרימת המים בנחלי ישראל ממשיך להידרדר.**

אנו קוראים להנהלת רשות המים ולחברי מועצת הרשות לפעול לאישור, תקצוב, וביצוע של תכניות מים לנחלים; וכן להכנת תכנית לשיקום זרימת המים בנחלי "ארץ פלגי מים" (מקורות הירדן ועמק החולה).

החברה להגנת הטבע ע"ר
שומרים. מחנכים. אוהבים

לקבלת חוברת התוכנית ופרטים נוספים ניתן לפנות לד"ר אורית סקוטלסקי,
רכזת תחום מים ונחלים בחברה להגנת הטבע • oritsc@spni.org.il



רשות הטבע והגנים

הטבע מת מצמא

בשנים האחרונות נפתר משבר המים לצרכן הביתי בישראל, אולם שאיבת מים מהמעיינות נמשכת, והזרמת מי קולחים לנחלים ממשיכה לזהם אותם. כדי להצילם על רשות המים לצמצם את היקף ניצול מי המעיינות, ולהגדיל את ייצור המים המותפלים לצורכי האדם.

בשנים האחרונות נעשו שינויים גדולים במשק המים בישראל. בעקבות פעילותה של רשות הטבע והגנים וגופים שותפים נעשה שינוי בחוק המים ועיגון זכותו של הטבע למים. משמעותו של שינוי זה היא שהטבע הפך בחוק לצרכן מים לצד הציבור, החקלאות והתעשייה. אולם מצבו של משק המים בישראל עדיין בכי רע. הסיבות לכך הן התמעטות גשמי החורף, עלייה מתמדת בצריכת המים עקב הגידול הטבעי של האוכלוסייה והעלייה ברמת החיים, וכן עקב פיתוח והכשרת שטחי חקלאות חדשים.

עוד סיבה היא הזרמת מי קולחים לנחלים. מקורם במי ביוב שטופלו, ואיכותם נמוכה מאיכות מי המעיינות או מי הנגר שזרמו בנחלים בעבר באופן טבעי. במצב זה הנחלים ממשיכים להזדהם ושפיעת המעיינות פחתה, עד כדי התייבשותם המוחלטת בכמה מקומות.

כדי להציל את הטבע יש להגדיל את כמות המים במשק המים על ידי יתר התפלה של מי ים. עלינו להמשיך להתפילם גם בשנים ברוכות גשם וגם בחורף. כך תקטן שאיבת המים מהנחלים, האקוויפרים המזינים את מעיינותיהם ישתקמו, ומפלס הכינרת יעלה.



צילומים: דורון נסים

בן אדם למקום
www.parks.org.il | *3639