

# ניהול משק המים בתנאים של אי-ודאות

אורי שמיר

גבול עליון. אם נשתמש בכל האמצעים העומדים לרשותנו ובהנחה, כמובן, שמספר האוכלוסים יגדל עד כדי כך שיצטרך למים הנוספים<sup>2</sup>. על פי נתונים מעודכנים של השרות ההידרולוגי<sup>3</sup>, פוטנציאל המים הטבעיים השפירים בין הים לירדן הינו בממוצע כ-1,700 מיליון מטר מעוקב לשנה, וההערכה היא כי מתוך כמות זאת, יעמדו לרשות אוכלוסיית ישראל כ-1,200-1,100 מיליון מטר מעוקב לאחר התחשבות בצרכים של שאר האוכלוסייה בשטח זה. נטייתו של בלאס לאמץ ערכים גבוהים של הפוטנציאל נבעה, ככל הנראה, מרצונו להוכיח כי ניתן לקבץ מן העולם וליישב בארץ אוכלוסייה יהודית גדולה. עם זאת, ראוי לציין שהערכתיו לא היו תלושות מן המציאות, והוא הסתמך על המידע והידע שעמדו לרשות המומחים באותה עת, לאחר שהוא עצמו פרסם כבר בשנת 1942 הערכה של פוטנציאל המים<sup>4</sup>, בה תחם את הפוטנציאל של סך המקורות בין 1,700 ל-1,900 מיליון מטר מעוקב לשנה, וסיכם (בעמוד 9, שם): "...נוכל לסכם את מי הנהרות והמעיינות בארץ ישראל בכמות של 1,800 מטר מעוקב לשנה, רובם ככולם ניתנים לניצול חקלאי, מהם 1,500 מיליון מטר מעוקב באגן הירדן וכ-300 מיליון מטר מעוקב באיזור הניקוז לים". מי תהום אינם מופיעים בסיכומים, משום שבהעדר ניצול משמעותי של מי תהום (כפי שהיה בזמנו), הזרימות העיליות מהוות בקירוב סביר את הפוטנציאל הניתן לניצול.

חזונו של חלוצי משק המים כלל תכנית להקמת מוביל ארצי, שיחבר את מקורות המים בצפון ובמרכז עם הדרום, והיה לאחד המפעלים האזרחיים הגדולים שידעה ישראל. תכניות מקדימות הוכנו עוד טרם קום המדינה, תכנון מפורט החל ב-1952 והמוביל נחנך ב-1964, זאת כאשר הידע, המידע והתחזיות היו ראשוניים - על מצאי המים טבעיים, על האוכלוסייה העתידית, פריסתה וצריכתה (האוכלוסייה עברה את סף המיליון השני רק ב-1970). החלטות מנהיגי משק המים הצעיר היו רבות מעוף והרואיות בתנאי אי-הודאות, והנחו על ידי החזון של פיתוח המדינה וגידול אוכלוסייתה.

צריכת המים בחקלאות, שהייתה מנוע הצמיחה של המדינה בשנותיה הראשונות, חושבה בשנות ה-50 כ-500-600 מטר מעוקב לדונם - בקירוב פי 3-2 מזו הממומשת היום, וכיום יש בהם חלק ניכר של שימוש בקולחים, שלא נלקחו אז בחשבון. גם בצד ההנדסי והכלכלי היו אי-ודאויות משמעותיות. מי ידע בשנות ה-50-40 על מושג הפוטנציאל הטכני והעלות של התפלה? חלוף ההתפלה הממברנלית השולטת כיום, פרופ' סידיני לב (Sidney Loeb), יצר בקליפורניה את הדגמים הראשונים של ממברנות רק בשנות ה-60, לפני שעבר לאוניברסיטת בן-גוריון בנגב (שם נפטר בשנת 2008).

תכנון והקמת מערכות מים מתייחסים לפרקי זמן של עשרות שנים. המוביל הארצי ושלוחותיו העיקריות עדיין מתפקדים ומשרתים היטב 60 שנה אחרי שהחלו לפעול (גם אם לא לעולם חוסן, ונדרשות השקעות ניכרות בתחזוקה ובשדרוג). כמובן, שבמשך הזמן מוכנסים שינויים ותוספות, אבל ללא המבנה

החלטות על פיתוח ותפעול משק המים מתקבלות תמיד בתנאי אי-ודאות, ודורשות חזון, מנהיגות ובסיס מקצועי איתן. פרופ' אמריטוס אורי שמיר מתאר החלטות בתנאי אי-ודאות בעבר ובהווה, ומתווה את צרכי העתיד

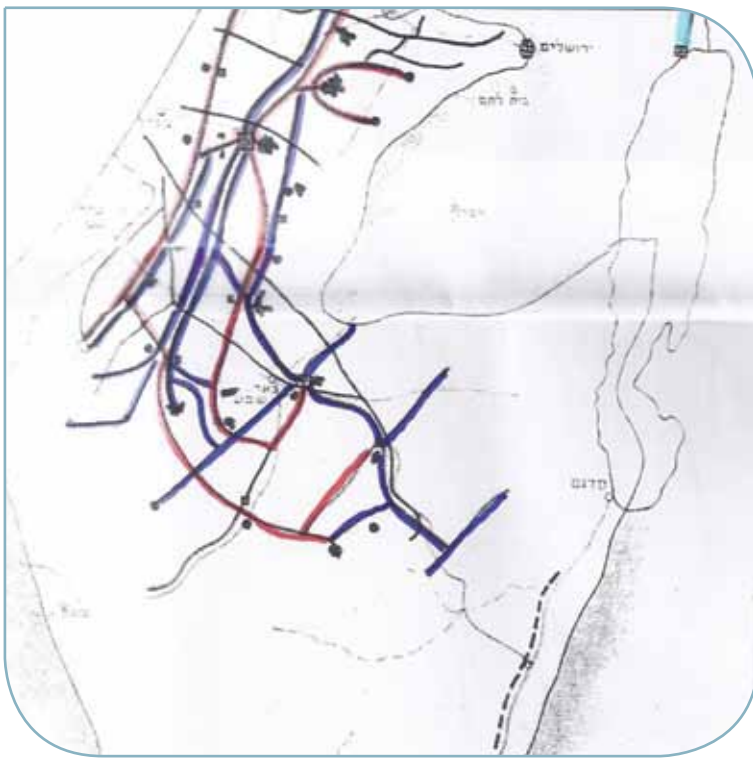
## רגע של היסטוריה

שמחה בלאס, מחלוצי משק המים בישראל, שרטט בשנת 1949 את דמותה העתידית של מערכת המים הארצית<sup>1</sup>, ובשנת 1952 כתב: "למרות אי הביטחון בהערכת כמות המים והדעות המנוגדות, בא הועד הארצי לידי מספרים לצורך תכנון, והם: בהערכה זהירה יש לקחת בחשבון כמות

צריכת המים בחקלאות, שהייתה מנוע הצמיחה של המדינה בשנותיה הראשונות, חושבה בשנות ה-50 כ-500-600 מטר מעוקב לדונם - בקירוב פי 3-2 מזו הממומשת היום, וכיום יש בהם חלק ניכר של שימוש בקולחים, שלא נלקחו אז בחשבון

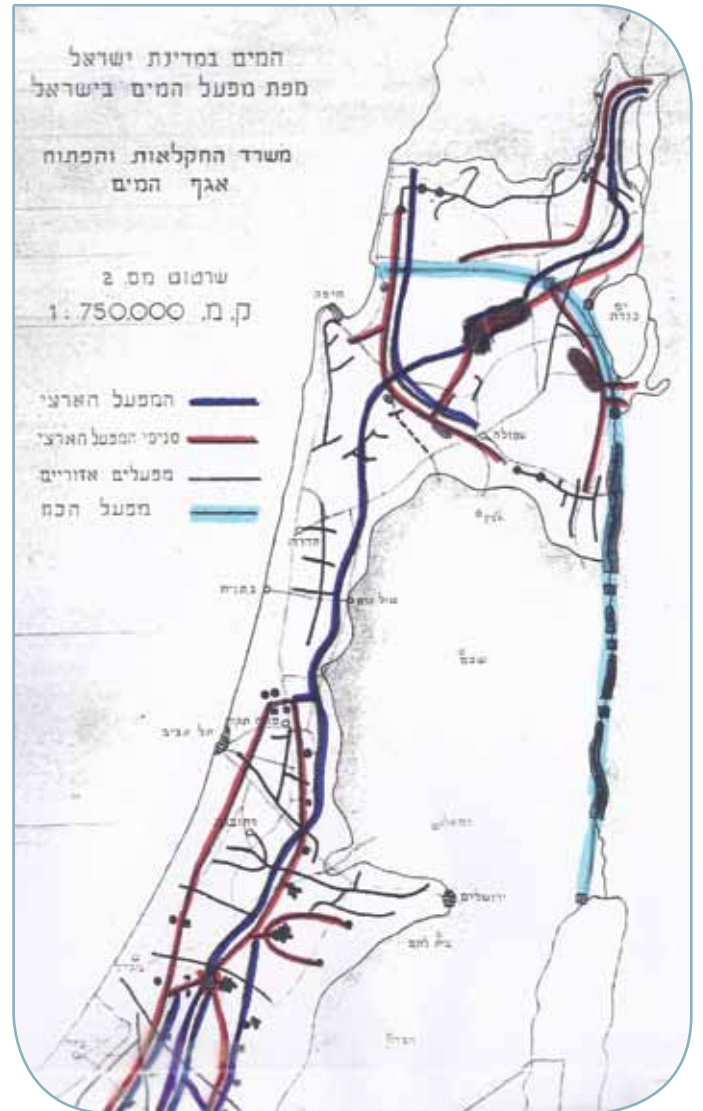
מומצעת של 2,400 מיליון מטר מעוקב לשנה, אך הועד קיבל גם מספר של 3,000 מיליון מטר מעוקב לשנה בתור מספר שאפשר להשיגו. הנני חושב מחובתי לציין, שהמספר של 3,000 מיליון מטר מעוקב אינו נראה בעיני

\* אורי שמיר הוא פרופסור אמריטוס בפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית בטכניון, מקים המכון למחקר המים על שם גרנד ומנהלו הראשון בשנים 2001-2013, יועץ לרשות המים, חבר בצוות המו"מ על מים עם שכנינו ויו"ר צוות ההיגוי לניטור הכנרת ואגן ההיקוות. האיגוד הישראלי למים (אג"ם) העניק לו בשנת 2013 את פרס מפעל החיים.  
1. S. Blass, 25 May, 1949: "Four-Year Plan 1949/53", Water Department, Ministry of Agriculture, State of Israel  
2. ש. בלאס, יוני 1952: "המים במדינת ישראל: סקירה", מדינת ישראל, משרד החקלאות והפיתוח (שימו לב: "פיתוח" צורף בזמנו למשרד החקלאות)  
3. Weinberger, G. et al., 2012: "The Natural Water Resources between the Mediterranean Sea and the Jordan River", Hydrologic Service, Water Authority  
4. ש. בלאס, 1944: "אוצרות המים בארץ ישראל: סיכויי השקאה ופיתוח הידרו-אלקטרי", הוצאה מחודשת על ידי חברת "מקורות", מהדורה מהודרת ומצומצמת



איור 2: מפת מפעלי המים בישראל - חלק דרומי (בלאס, 1952)

אז הוחלט על ביצוע ההתפלה על ידי המגזר הפרטי, המוכר את המים המותפלים למדינה על פי הסכם ארוך-טווח ובתנאים נקובים. ההמשך ידוע: מתקן ראשון באשקלון החל לייצר ב-2005, פלמחים בשנת 2007 וחדרה בשנת 2009, הביאו את הכושר המותקן לכ-300 מיליון מטר מעוקב לשנה. המתקן בשורק החל לאחרונה לספק גם הוא, וביחד עם הרחבות במתקנים הקיימים והמתקן באשדוד שנמצא בהקמה, יביאו את סך הכושר המותקן בשנת 2014 לכדי 600 מיליון מטר מעוקב לשנה (זאת אל מול הפוטנציאל הטבעי של 1,100-1,200 מיליון מטר מעוקב לשנה). בתכנית האב למשק המים, יש תחזית טנטטיבית של הרחבת הכושר המותקן עד שנת 2050<sup>5</sup>. מימושה של הרחבה תעמוד למבחנים חוזרים במהלך השנים, אולם כבר בעת הנוכחית דרושה תכנית טנטטיבית זו על מנת לשריין אתרים מתאימים, בתנאים של תחרות עם פיתוח תשתיות אחרות וקשיי ההתמודדות עם המערכת הסטטוטורית.



איור 1: מפת מפעלי המים בישראל - חלק צפוני (בלאס, 1952)

המקורי האיתן - היה קשה עד בלתי-אפשרי להביא את המערכות הארציות ליכולת השירות ממנה אנו נהנים כיום. תוספות משמעותיות למערכות הראשיות עוברות מסלול רב-שנים של תכנון, אישור וביצוע. לדוגמה, המערכת החמישית האמורה למלא את צרכי ירושלים עד שנת 2065 תוכננה ונדונה במשך שנים רבות ורק לאחרונה הוחל בביצועה.

### התפלה: עבר, הווה ועתיד

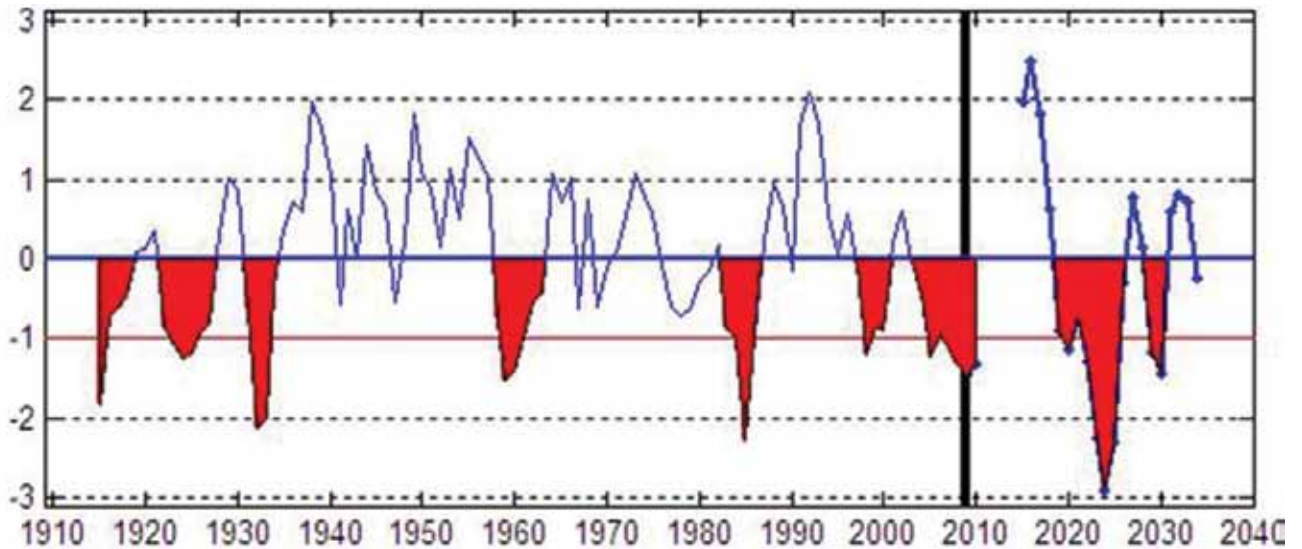
הקמת מתקני התפלה עוכבה זמן רב, למרות שהיה ברור וידוע כי השאיבה ממקורות המים הדרושה לעמידה בדרישות הצריכה עולה במשך שנים רבות על המילוי הטבעי של מאגרי המערכת, זאת בטענה שצריכת המים בחקלאות אינה יעילה מספיק, ובמקום להוסיף אספקה יש לצמצם את הצריכה בחקלאות. אי-הודאות במקרה זה היא בזירה הפוליטית: כוחה של החקלאות לשמר את הקצאות המים שלה מול התנגדות האוצר להשקעה ממשלתית במתקני התפלה. רק בשנת 2000 נענה שר האוצר והתשתיות דאז, בייגה שוחט, לעמדת המומחים שטענו, כי אין ברירה אלא להתפיל.

5. רשות המים, 2012: "תכנית אב ארצית ארוכת-טווח למשק המים: מסמך מדיניות, מהדורה 4, אוגוסט, 2012"  
 6. ד. גמזין, מ. זיידה, א.שמיר, 2011: "ניתוח הסתברותי של הפער בין הביקוש למים שפירים והיצע הטבעי ברמה הארצית, לתקופה עד 2050", תוכנית אב למשק המים, אגף התכנון, רשות המים

IPCC - International Panel on Climate Change, Ar. 5 .7

בתמיד - המקור היחיד לתוספות מים בעתיד יהיה מהתפלה, גם אם תחול מהפכה טכנולוגית כלשהי

היקף הכושר המותקן של מתקני ההתפלה נקבע על ידי הערכת הפער בין הצריכות החזויות לבין הפוטנציאל של המים הטבעיים השפירים. בחישוב זה משחקים תפקיד מרכזי המשתנים הלא-ודאיים, הן בצד היצע הטבעי והן בצד הביקוש<sup>6</sup>. בעשרות השנים האחרונות היו תקופות של 5-7 שנים שבהן הייתה העשרה נמוכה מן הממוצע, ותחזיות אקלימיות מצביעות על החמרה נוספת. בתקופות אלה משמש האוגר שבאקוויפרים ובכנרת לויסות (כמו משיכה מחשבון בבנק בתקופות של הכנסה נמוכה), אך זאת יש לעשות ללא פגיעה במקורות (כפי שכבר קרה בעבר), ולכן כמות ה"הלוואה" מוגבלת. מתקני ההתפלה, שאינם תלויים בחסדי שמים, מהווים מרכיב רב-ערך במאזן הזה. הכושר המותקן צריך לאפשר אספקה אמינה גם בתקופות של מחסור במים טבעיים, ולכן גודלם נקבע על ידי תקופות



איור 3: אינדקס בצורת (SPI) במערכת הארצית: הערך בציר האנכי הוא מספר סטיות התקן של המשקעים השנתיים מן הערך החציוני הרב-שנתי. שטחים אדומים מצביעים על תקופות רצופות של משקעים נמוכים. עד שנת 2011 אלו נתונים, לאחר מכן תחזיות בעזרת מודלים אקלימיים (מקור: הרשות ההידרולוגי, הרשות הממשלתית למים ולביוב, דו"ח פעילות לשנת 2012)

אשר מקטין את עלויות ההולכה. חשוב להזכיר, כי חסרונותיהם כוללים עלויות גבוהות מאלו של רוב המים הטבעיים, צריכת שטחי חוף בתחרות עם שימושים אחרים, חשיפה אפשרית לתקיפה ולחבלה, צריכת חשמל הגורמת לפליטת גזי חממה (אם כי השימוש באנרגיה למטרות התפלה לאספקת מים למשפחה, גם אם כל צריכתה היא של מים מותפלים, אינה מגיעה לכדי עשירית מצריכת האנרגיה שלה למטרות אחרות, הכוללות תאורה, קירור, חימום, תחבורה, ועוד).

אין ספק כי המקור היחיד לתוספות מים בעתיד יהיה מהתפלה, גם אם תחול מהפכה טכנולוגית כלשהי (לא ידועה, וכמובן לא ודאית). תחזית האוכלוסייה בישראל לשנת 2050 היא בסביבות 13-15 מיליון איש. על פי הצריכה העירונית המקובלת, כיום 90-100 מטר מעוקב לנפש לשנה, מיתרגם לכדי 1,200-1,500 מיליון מטר מעוקב לשנה (וזוה רק לצריכה העירונית, מבלי להחשיב צריכה תעשייתית וצריכה חקלאית הדורשת מים שפירים). גם אם לוקחים בחשבון הקטנה מסוימת על ידי ייעול וחיסכון, יהיה צורך להכפיל ויותר את כושר ההתפלה המותקן כיום. כמובן, שאין צורך לבנות כושר זה כבר היום, והתחזיות יתעדכנו באופן שוטף במשך השנים.

### אי-ודאיות נוספות והשפעתן

מכל הנאמר לעיל, ניתן אולי לקבל רושם שאי-הודאות הגדולה ביותר נובעת מהידרולוגיה ושינויי אקלים - מחד, ותחזיות הצריכה - מאידך. אבל קיימים גורמים נוספים רבים המהווים אתגר לא פחות של אי-ודאות לקובעי המדיניות, למתכננים, למקימים ולמפעילים במשק המים. להלן רק מספר דוגמאות: מעבר מחנות הצבא לדרום, והגדלת האוכלוסייה האזרחית במרחב זה מהווים אתגר טכנוני, עקב הקושי להעריך את פריסת הצריכה העתידית בזמן ובמרחב. בצד הצריכה - תגובת צרכנים ביתיים וחקלאיים למחירי המים עשויים לשנות במידה משמעותית את הצריכה בפועל, וכתוצאה מכך, גם את תקבולי המים שעל פי תזרימם העתידי צריך לבסס ניתוחי עלות-תועלת של מפעלי המים.

ניהול נגר וניקוז בשטחים עירוניים, במטרה לנצל את מי הנגר תוך מיתון שיטפונות והגנה מפני הצפות, נושא בו עוסקים מהנדסי ניקוז בשיתוף עם מתכנני ערים ונוף, בנוי על סטטיסטיקה של עוצמת ושכיחות אירועי גשם והתמרתם לזרימות, וזאת על פי ניתוח נתונים היסטוריים ותחזיות

המחסור הללו. אבל תקופות אלו לא ודאיות, בתכיפותן, משכן ובעוצמתן, ולכן קביעת היקף ההתפלה הדרוש דורש החלטות לטווח ארוך בתנאים של אי-ודאות. בנוסף לאי-הודאות ההידרולוגית ה"רגילה", יש לקחת בחשבון את ההשפעות האפשריות של שינויי האקלים. בימים אלה מפרסם הצוות המדעי הבינלאומי לעניין שינויי האקלים את דו"ח מספר 5<sup>7</sup>. מדו"ח זה ומעבודות הנעשות בארץ על ידי הידרו-מטאורולוגים, ניתן ללמוד כי צפויה עלייה בתדירות, משך ועומק הצורות (איור 3).

תחזית האוכלוסייה בישראל לשנת 2050 היא בסביבות 13-15 מיליון איש. על פי הצריכה העירונית המקובלת, כיום 90-100 מטר מעוקב לנפש לשנה, זה מיתרגם לכדי 1,200-1,500 מיליון מטר מעוקב לשנה (רק לצריכה העירונית, מבלי להחשיב צריכה תעשייתית וצריכה חקלאית הדורשת מים שפירים)

משיבנו מתקני ההתפלה, ניתן אמנם להשביחם לתקופה מסוימת - אם אין צורך או כדאיות בהפעלתם (על פי ההסכם שנחתם עם הזכיינים), אולם לכך יש עלות. ואמנם כבר בשנה הקרובה צפוי כי לא תיירש מלוא הכמות שניתן להתפיל אחרי שנת גשמים ברוכה ולאחר כניסת המתקנים לפעולה. יש לצפות, כמובן, שכאשר זה יקרה - תגבר הביקורת על הכושר שכבר הותקן ועל התכניות להמשך.

למים המותפלים יתרונות נוספים, מעבר להיבט הכמותי כשלעצמו, ביניהם: אמינות גבוהה, איכות מעולה (המאפשרת מיהול עם מים באיכויות נמוכות במטרה להביאם לשימוש), מיקום סמוך למרכזי הצריכה העירונית העיקריים

מטאורולוגיות ואקלימיות.

ניהול הכנרת ואגן ההיקוות, שמטרתו שימור והגנה על האיכות האקולוגית של מי האגם והתאמתם לאספקה, דורש יכולת חיזוי של תגובת מערכת פיסיקלית-כימית-אקולוגית מורכבת לפעולות ניהול באגן ובאגם, חיזוי המסתמך על ידע שנוצר בידי מומחים במהלך שנים רבות ושימוש במודלים אקולוגיים מסובכים, תוך מאמץ להקטין ככל האפשר את אי-הודאות של החיזוי.

זריעת עננים להגברת מטר מתבצעת בארץ משנות ה-60. תחילה במתכונת של ניסוי סטטיסטי מבוקר (בו זורעים רק חלקית ומשווים לזמנים ו/או מקומות לא זורעים). לאחר קבלת מסקנות ראשונות על תרומת הזריעה, נערכה מאמצע שנות ה-70 זריעה אופרטיבית – על כל השטח ובכל עת שמתקיימים תנאים מתאימים. כך גדלה תוספת המשקעים, אך מתבטל הבסיס הסטטיסטי לזיהוי השפעת הזריעה, שעל תרומתה רבו הויכוחים במשך השנים. עתה, עם שיפור מצבו של משק המים עקב כניסת התפלה, לאחר שנה ברוכה ומאגרים שמצבם השתפר, אנו חוזרים בעונת הגשמים הקרובה לניסוי, הנקרא "ישראל 4". צוות המשלב מומחי מטאורולוגיה וסטטיסטיקאים הכין את "ספר הניסוי", הקובע את המתכונת של ביצוע הזריעה, כך שניתן יהיה לזהות את אפקט הזריעה בסופן של כמה שנות ניסוי.

הסדרים גיאופוליטיים יכולים לשנות את מאזן המים של ישראל, הן לתוספת (למשל מתעלת הימים) או לגריעה (הגדלת צריכת שכנים

ממקורות המים בין הירדן והים). זה מצביע על אי-הודאות במישור הפוליטי החיצוני והפנימי של ישראל. החלטות ממשלה המשפיעות על התנהלותו של משק המים, למשל, נושא התאגידים והתפתחותם על פני השנים. קיימת מדיניות ממשלתית הנוטה לכיוון של הפרטה, גם אם התאגידים כיום אינם במלואם בידי המגזר הפרטי. הפרטת מערכות המים העירוניות יכולה לגרום לשינויים עצומים בתפקודו של משק המים, הן המשק העירוני עצמו והן של המערכות המרכזיות שבאחריות הממשלה או בחברת מקורות (שגם היא עברה ועוברת תהליך דמוי-הפרטה).

### קבלת החלטות בתנאי אי-ודאות

הבאת תוצאות של ניתוחים ותכנון בפני מקבלי החלטות, במטרה לאפשר להם לקבל החלטות מבוססות נתקלת תמיד בקושי של הסברת התשתית המקצועית לתוצאות המוצגות. הדבר קשה ככל כפליים, כאשר מביאים לדיון ולאישור תוצאות המנוסחות במונחים של הסתברויות. קושי זה מגביר את חובתם של אנשי המקצוע להיות מיומנים בניתוחים סטטיסטיים ואופטימיזציה, ועוד יותר בהצגת ובהסבר התוצאות במונחים המאפשרים הבנתם והסתמכות עליהם בקבלת החלטות.

מכאן החשיבות בהכשרת ובהעסקת אנשי מקצוע בעלי יכולות אלה במגזר הציבורי, כך שיוכלו ליזום, להנחות ולהוביל עבודות המייצרות בסיס לקבלת החלטות בתנאים של אי-ודאות.

