

האוניברסיטה העברית בירושלים  
The Hebrew University of Jerusalem

המחלקה לכלכלה חקלאית ומנהל  
The Department of  
Agricultural Economics and  
Management

המרכז למחקר בכלכלה חקלאית  
The Center for Agricultural  
Economic Research



מאמר לדיון מס' 1.02

משטר מלח בר-קיימא במאגר החוף

ע"י

אור גולדפרב ויואב כסלו

Papers by members of the Department  
can be found in their home sites:

מאמרים של חברי המחלקה נמצאים  
גם באתרי הבית שלהם:

<http://departments.agri.huji.ac.il/economics/indexe.html>

P.O. Box 12, Rehovot 76100

ת.ד. 12, רחובות 76100

## משטר מלח בר-קיימא במאגר החוף\*

אור גולדפרב ויואב כסלו\*\*

### תמצית

מטרת המאמר הזה כפולה – להדגיש את הצורך בהוצאת מלחים ממשק המים, פעולה שעלותה אינה נמוכה, ולהצביע על המקורות המתאימים להוצאה. הניתוח מתמקד באזור החוף ובנתונים חזויים לשנת 2020. כמות המלח שצפויה להגיע באותה שנה לאזור תעלה על 120,000 טון כלוריד ועל מנת לשמור על משטר מלחים בר-קיימא יש להוציא מהאזור כמות זהה מדי שנה. שלישי עד מחצית המלחים המיובאים יסולקו מהאזור בניקוז טבעי לים או במים שיצאו לאזורים אחרים, קולחים ושפירים. את היתרה, עשרות אלפי טונות בשנה, יהיה צורך לסלק באופן פעיל ומכוון. בחנו שלשה יעדי איכות של מים באזור החוף: 150, 100 ו-50 מ"ג כלוריד לליטר, וארבע חלופות של סילוק המלחים: התפלת מים טבעיים, התפלת מים ממקור מסוים (למשל, אקוויפר החוף), התפלת קולחים וסילוק קולחים לים. עלות הסילוק בחלופות נעה בין 50 ליותר מ-200 מיליון דולר לשנה וכצפוי, העלות עולה ככל שעולות דרישות האיכות. בכל החלופות נמצא שעלות הסילוק הנמוכה ביותר היא בהתפלה של מים מאקוויפר החוף (בחלופת האיכות הגבוהה יהיה צורך להתפיל גם מים ממקורות טבעיים אחרים). על אף העלות הגבוהה, סילוק המלח לא ישנה כנראה את מחיר המים לצרכנים ועול הפעולה יוטל על תקציב המדינה ומשלמי המיסים. הניתוח נערך בהנחות מפשטות ועל כן יש לראותו כראשוני. ניתוח מפורט יותר ישלב שיקולים הידרולוגיים והנדסיים נוספים. אולם נראה שהמסקנות העיקריות בדבר הצורך לסלק מלחים ודרך הסילוק היעילה לא תשתנינה.

---

\* המאמר יוצא במקביל בנציבות המים וכמאמר לדיון במחלקה לכלכלה חקלאית ומנהל ברחובות.

\*\* נציבות המים והפקולטה לחקלאות. בהכנת העבודה קיבלנו סיוע בעיצה ומידע מיוסי דרייזין ומעמיתים אחרים במשק המים. יהודה בכמט וגדי רוזנטל קראו טיוטה קודמת של המאמר והעירו הערות חשובות.

### א. הקדמה

בעתיד צפויים להתרחש במשק המים שני תהליכים מקבילים שינועו בכיוונים מנוגדים. האחד יהיה הגדלת כמות המים שתסופק למשק הישראלי, ברובה מהתפלת מי-ים, והשני – הוצאה פעילה של מלחים אל הים. הגדלת היצע המים מתחייבת מגידול האוכלוסייה והתרחבות הביקוש, הוצאת המלח נחוצה בכדי לשמור על המאגרים. מלחים מגיעים למאגרי המים ממקורות אחדים; ביניהם, מעיינות מלוחים בכינרת, תמלחות תת-קרקעיות באקוויפרים, סחף רוח של רסס מי-ים לאורך החוף ומלח שנוסף במשקי בית ותעשייה. המלחים מזיקים לקרקע ולגידולים ובריכוזים גבוהים גם למשקי הבית ולמפעלים. בטרם היתה הפקה של מים מהמאגרים, נשטפו המלחים – מהכינרת ומהמאגרים המזרחיים לירדן ולים המלח, מהמאגרים המערביים בנחלים ובניקוז תת-קרקעי אל הים התיכון. הפקת מים והשימוש בהם, בחקלאות ובעיר, מסחררת את המלחים ומצמצמת את יציאתם ממשק המים (תעלת המים המלוחים בכינרת היא הפעולה המכוונת היחידה להוצאת מלחים). כיוון שהמלחים חוזרים ומתווספים, כמות המלח שמצטברת במאגרי המים הולכת וגדלה.

שתי אפשרויות עיקריות עומדות בפני משק המים כתגובה להמלחה. האחת, להניח למאגרים להמליח ולהחליף בהדרגה את המים מהמקורות הטבעיים במים מותפלים. הדרך השנייה היא להוציא מלח באופן פעיל ולשמור על משק בר-קיימא של מים טבעיים. המסמך הזה עוסק באפשרות השנייה אולם בסיום הדיון נוכל גם להצביע על כך שהאפשרות הראשונה, הזנחת המאגרים, אינה יעילה כלכלית. הניתוח שלנו מוגבל למאגר החוף ואנו בוחנים חלופות של רמות מליחות שתשמרנה לזמן רב ומשווים את העלויות שכרוכות בחלופות. בהנחות הניתוח ובנתונים שעמדו לרשותנו, מסקנתנו העיקרית היא שהדרך היעילה להוציא מלחים ממשק המים היא בהתפלה של מים ממקורות טבעיים (במיוחד, מי אקוויפר החוף). עם זאת, אפילו אם הוצאת המלחים תעשה ביעילות, היא תגדיל במידה ניכרת את העלות הכוללת של משק המים.

### ב. רקע והנחות

איננו הראשונים לטפל בסילוק המלחים. במידה רבה אנו חוזרים על הניתוח שמוצג בנספח 1, תוכנית האב של משק המים, דוח מסכם – שלב הסיבוב המהיר (תהל, 1996), אולם בהנחות אחרות וביעדים אחרים. גם מסקנותינו שונות ממסקנות הנספח. הסבר על תהליכי ההמלחה נמסר אצל מרכזו (2001) והוא גם חזה האצה של ההמלחה בחוף בשנים הקרובות. סכנת ההמלחה וחשיבות נזקי המלחים תפסו מקום מרכזי בסקירה של דן זסלבסקי (1999). הרפז (2000) בחן את ההשפעה של הפקת יתר למשך זמן מוגבל על ההמלחה במאגר החוף. אנו מסתמכים בחישובינו על נתוני החוברת משימות משק המים הישראלי לטווח הארוך (נציבות המים, 2000) בה נמסרו תחזיות צריכה והערכות על הצטברות המלחים בשנים הבאות והודגש הצורך בסילוקם.

התחזית למשק המים שממערב לקו פרשת המים של ארץ ישראל היא שבשנת 2020 תהיה הספקת המים הכוללת באזור 2,206 מלמ"ק<sup>1</sup> מהם 1,135 מלמ"ק ממקורות טבעיים, 621 מלמ"ק קולחים ו-450 מלמ"ק מי-ים מותפלים. תוספת המלחים באותה שנה צפויה להיות 272,000 טונות כלוריד<sup>2</sup> ממקורות טבעיים ומשפכים ו-9,000 טונות במים המותפלים (תכולת המלח במי-ים מותפלים היא 20 מ"ג כלוריד לליטר). במאגר החוף, בו מתמקד הניתוח שלנו, צפויה בשנת 2020 תוספת מלח של 126,600 טון כלוריד. הניתוח מבוסס על הנחות מפשטות רבות, על אחדות מהן נעיר בסיכום העבודה.

על אף שהוא מחולק לתאים ושהתנועה האופקית בו מוגבלת, אקוויפר החוף נתפס כאן כאילו היה מאגר חד-תאי ואילו נשטף, בגשם ובעודפי מי ההשקיה, כל המלח שמושקע על פני הקרקע. אנו מניחים ערבול משלם של המלח בכל הנפח הפעיל של האקוויפר. סביר לצפות שיהיו שינויים באזור החוף גם אחרי שנת 2020, תהיה הרחבה של הספקת מים מותפלים ושפכים והשטח הבנוי יתרחב; כך תגדל גם כמות המלחים שתתווסף למאגר. אולם הכמויות שתתווספנה במשך תקופה לא קצרה תהיינה קטנות יחסית למצאי ועל כן ולמען הפשטות, אנו עורכים את הניתוח לכמויות קבועות – של מים ושל מלחים. בלשון טכנית, הניתוח נעשה למצב יציב.

מצב יציב הוא מצב בר קיימא ופירושו כאן שבכל עת, שנה אחרי שנה, נכנסות למאגר כמויות קבועות של מים ושל מלחים ובכל שנה יוצאות אותן כמויות מהמאגר. אין אגירה של מים או של מלח. אמנם, בגלל אקראיות המשקעים וגורמים אחרים, אפילו יתקיים במשק המים מצב יציב, הוא יהיה סטוכסטי, אקראי: לא בכל שנה יתקיים שוויון בין הכמויות שנכנסות למאגר לבין אלה שיוצאות, השוויון יתקיים רק בממוצע. אולם בשלב זה אנו מתעלמים מהשונויות בין השנים ועורכים את החישובים כאילו השנים היו זהות.

### ג. מודל I

בפרק זה יוצג מודל מצומצם, להדגמה, ובו רק חקלאות. בפרק הבא נציג מודל רחב יותר. המודלים יוצגו באיורים, כמודלים אלגבריים, במשוואות, ובלוחות מאזנים. במעבר מתכולת מלח לכמות כדאי לזכור שמ"ג אחד לליטר הוא טון למלמ"ק.

במודל I (איור 1 שהועתק מתהל, 1996), המשקעים מתווספים למי התהום כהעשרה, חלק מהמים נשאב להשקיה והיתרה מתנקזת לים. מי ההשקיה מתאדים מפני הקרקע ומהצמחים וחלקם דולף למי התהום כמילוי חוזר מהשקיה.

<sup>1</sup> היחידות שנוהגות במשק המים הן מלמ"ק – מיליון מטרים מעוקבים, ומלמ"ש – מיליון מטרים מעוקבים לשנה.

<sup>2</sup> נוח למדוד ריכוז מלח בכלורידים. במלח בישול, המלח הנפוץ, מוסיף הנתרן כ-65% למשקל הכלוריד, כך שטון כלוריד שקול ל-1.65 טון מלח בישול. אין בודאי צורך להוסיף שמלח בישול אינו המזהם היחיד של המים, עדין והלפרין (2001) מטפלים בשורה ארוכה של מזהמים.

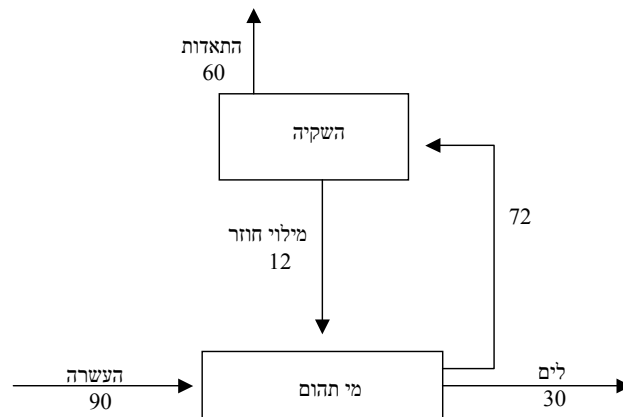
## המודל האלגברי

המודל מוגדר לשנה. המשתנים הם

מלח, כלוריד בטונות לשנה	מים במלמ"ש	
$M_R$	R	העשרה
$M_H$	H	השקיה (שפירים)
$M_Z$	Z	מילוי חוזר מהשקיה
$M_Y$	Y	יציאה לים
-	E	אופוטונספירציה

משוואות המאזן הן

מאזן המים	$R+Z=H+Y$	(1)
מאזן המלח	$M_R+M_Z=M_H+M_Y$	(2)
המילוי החוזר מההשקיה	$Z=0.17H$	(3)
מאזן המים בהשקיה	$H=E+Z$	(4)



איור 1: מודל I, שטפי המים

משוואות (1) ו-(2) מתארות את התנועה של המים והמלח אל המאגרים ומהם. מאזן המים גדל במי המילוי החוזר מההשקיה שאפשר להשתמש בהם פעם נוספת. יש שרירותיות מסוימת בחלוקה של המלחים לזרמי המים מפני שמלחים שמגיעים אל פני הקרקע נשטפים אל תת-הקרקע הן במי הגשם והן במילוי החוזר. לנוחיות ההסתכלות, אנו מגדירים מלח שמתווסף בהעשרה,  $M_R$ , כמלח שבא עם הגשם (רסס מי-ים), מתמלחות או מגורמים אחרים. כל הכמויות הללו נתפסות כחלק מהמלח שבא עם ההעשרה. מלח ששוקע על פני הקרקע עם מי ההשקיה, אנו רואים כאילו הוא נשטף לתת-הקרקע עם המילוי החוזר. משוואה (3) מגדירה שהמילוי החוזר הוא, לפי ההנחה, 17% מכמות המים בהשקיה. המשוואה האחרונה, משוואה (4), משלימה את התמונה,

היא מחלקת את מי ההשקיה למים שמתאדים מפני הקרקע ומהצמחים ולא לה שחוזרים למאגר.

להדגמת המודל נניח (מים במלמ"ש, מלח בטונות כלוריד לשנה): העשרה  $R=90$ , עם תכולת מלח של 50 מ"ג לליטר; על כן  $M_R=4,500$ . יציאה לים  $Y=30$ . כאמור, במצב היציב, הכמויות שנכנסות למאגרים שוות ליוצאות. החישוב למים הוא

$$90+0.17H=H+30 \quad (1)$$

מכאן השקיה  $H=72$ , מילוי חוזר  $Z=12$ , והתאדות  $E=60$  (איור 1).  
נפנה עתה לחישוב ריכוז המלח בזרמים שבמודל. במצב היציב, כל המלח בהשקיה מגיע למאגר במילוי החוזר; כלומר,  $M_H=M_Z$  ולכן  $M_R=M_Y$ . במילים, כל המלח שמגיע למאגר בהעשרה, יוצא לים (אנו מתעלמים ממלח שיוצא ביבולים החקלאיים). נגדיר את ריכוז המלח ביציאה לים באות  $P$  ונכתוב את המשוואה  $M_R=M_Y$

$$90 \times 50 = 30P \quad (5)$$

הפתרון למשוואה הוא  $P=150$ ; כלומר, ריכוז המים שיוצאים לים הוא 150 מ"ג כלוריד לליטר. אך מקור המים שיוצאים הוא במי התהום; על כן במודל זה, במצב יציב, ריכוז המלח במי התהום יהיה גם הוא 150 מ"ג כלוריד לליטר וזה יהיה גם ריכוז המלח במי ההשקיה.

### מאזן

המאזן (לוח 1) מסכם את הכניסות והיציאות של המים והמלח והוא מסודר לפי המבנה של משוואות (1) ו-(2). אולם בלוח נרשמות רק כמויות של מים ומלח שנוספות למאגר; למשל, בהשקיה יוצא מלח מהמאגר, אולם היציאה הזו לא נרשמה בלוח 1 מפני שהמלח שיוצא בהשקיה חוזר למאגר – הוא נשטף במילוי החוזר ובגשם דרך חתך הקרקע אל מי התהום. בכל זאת, בגלל העניין, רשמנו בלוח את ריכוז המלח גם במי ההשקיה, 150 מ"ג כלוריד לליטר.

לוח 1: מאזן המים והמלח במודל I

יציאות מהמאגר			כניסות למאגר			
ריכוז	מלח	מים	השקיה	ריכוז	מלח	מים
150		72	השקיה	50	4,500	90
150	4,500	30	ליים			12
	4,500	102	בסך הכל		4,500	102

הערה: מים במלמ"ש, מלח בטונות כלוריד לשנה, ריכוז במ"ג כלוריד לליטר.

### הערות למודל וללוח

1. הכמויות הכוללות של המים בלוח 1, 102 מלמ"ש בכל צד, הן סיכום התנועות. הערכים הללו גדולים מכמות המים לשימוש במשק של המודל (72 מלמ"ש).

2. במודל, במצב היציב, הזרמים של המים והמלחים חוזרים ושבים באותם גדלים מדי שנה. במציאות, המלח נע בחתך הקרקע באיטיות ועל כן המלח שמתווסף בשנה מסוימת למי התהום הוא מלח ששקע שנים אחדות לפני כן על פני הקרקע. במצב היציב שוקעת מדי שנה כמות קבועה של מלח על פני הקרקע (בדוגמה 4,500 טונות) ואותה כמות מצטרפת למי התהום.

3. ההעשרה וההפקה קובעות, במצב היציב, בעת ובעונה אחת את היציאה לים ואת גובה פני המים במאגר. לכן במודל כללי צריך להוסיף משוואות שתקבענה את כמות המים שיוצאת לים. אולם כאן הנחנו, למען הפשטות, העשרה והפקה בכמויות קבועות ומכאן גם יציאה לים בכמויות קבועות. לכן לא היה צורך לכלול במודל משוואות שתקבענה את היציאה לים.

### *אינטואיציה*

לתפיסה אינטואיטיבית של המושג *המצב היציב* כדאי לשים לב שהמשתנה שמתאים עצמו (המשתנה האנדוגני) הוא תכולת המלח במי-התהום. שלוש הדוגמאות הבאות תבהרנה זאת.

דוגמה ראשונה. נניח שבמודל 1 היציאה לים אינה 30 מלמ"ש אלא 25 מלמ"ק כל שנה. בפתרון משוואה (5) יתקבל עתה שתכולת המלחים של מי-התהום תהיה 180 מ"ג לליטר (ולא 150 מ"ג). כשכמות המים שיוצאת לים קטנה, עולה ריכוז המלח של המצב היציב; כך יוצאת עם המים כל כמות המלח שנכנסה בהעשרה ( $180 \times 25 = 4,500$ ).

דוגמה שנייה. אפשר לעשות את חישוב המצב היציב גם בכיוון ההפוך ולברר כמה מלח נכנס למאגר מים; נעשה זאת לחישוב מקורב של כניסות המלח לכינרת. ב-35 השנים האחרונות היה ריכוז המלח באגם לערך 230 מ"ג כלוריד לליטר; יציאת המים, למוביל ולמורד הירדן, היא 418 מלמ"ש (השירות ההידרולוגי, 2001). כלומר, במוצע יוצאים מהאגם 96,140 טונות כלוריד לשנה. בהנחה שהאגם במצב יציב, כניסת המלח לכינרת גם היא 96,140 טון לשנה. בערכים מקורבים, מאה אלף טון לשנה.

בגלל העניין, אפשר להמשיך את הדוגמה ולשאול מה היתה מליחות מי הכינרת אלמלא הוטו מהאגם מעיינות מליחים? בתעלת המים המליחים יוצאים במוצע 17 מלמ"ש והם נושאים 70,000 טונות כלוריד (Berman, 1998). אילו המים הללו, עם המלח, היו זורמים לכינרת (וכמות המים היוצאת היתה גדלה ב-17 מלמ"ש) היה ריכוז המלח באגם עומד במצב היציב על 382 מ"ג כלוריד לליטר. ההטיה מורידה, לפי חישוב זה, את המליחות הממוצעת של מי הכינרת מ-382 ל-230 מ"ג כלוריד לליטר.

בדוגמה השלישית נחזור למודל 1 ולנתונים השרירותיים שלו; נציג דינמיקה, נראה את שלבי המעבר הראשוניים ממצב תחילי נתון אל המצב המתמיד. נניח שאנו יוצאים ממאגר בו ריכוז המלח הוא 100 מ"ג כלוריד לליטר, הנפח הכולל של המאגר הוא 300 מלמ"ק. כל הנתונים האחרים הם כמו במודל 1.

כמות המלח שנכנסת למאגר השנה (כבכל שנה) היא 4,500 טון. הכמות שיוצאת היא 3,000 טון (30 מלמ"ק בריכוז של 100 מ"ג לליטר). על כן נוספת השנה למאגר

כמות של 1,500 טון מלח. תוספת זו תעלה את ריכוז המלח במאגר ל-105 מ"ג כלוריד בליטר.

בשנה הבאה שוב תיכנס כמות של 4,500 טון כלוריד. הכמות שתצא תהיה 3,150 טון (30 מלמ"ק כפול 105 מ"ג לליטר). על כן התוספת למי התהום תהיה 1,350 טון מלח וריכוז המלח יגדל לכדי 109.5 מ"ג כלוריד לליטר. בדרך זו יתכנס המאגר בצעדים הולכים וקטנים לקראת המצב היציב בו ריכוז המלח במי התהום יהיה 150 מ"ג כלוריד בליטר.

כפי שהדוגמה מראה, נפח המאגר (הנפח הפעיל) קובע את קצב התנועה לקראת המצב היציב אך הוא אינו משפיע על המצב היציב עצמו. על כן לא הופיע נפח המאגר בין המשתנים של מודל I לעיל בו הגבלנו את הניתוח למצב היציב.

#### ד. מודל II

המודל הזה רחב מהקודם בשני כיוונים: הוא ריאלי ועוסק בגדלים שנתבסס עליהם בהמשך הדיון במאגר החוף – כולל צריכה במשקי בית ותעשייה, התפלה ושימוש בקולחים – ואנו משלבים בו סילוק פעיל של מלחים. איור 2 שיוסבר בהמשך מתאר את שטפי המים וריכוזי המלח במודל. סילוק המלחים במודל II הוא בהתפלה של מים טבעיים (מהכינרת ומהאקוויפרים), בפרק הבא נבחן גם חלופות אחרות. ההתפלה הזו מקטינה את כמות המלח במשק המים, אך היא גם משנה את מאזן המים מפני ש-10% מהמים הטבעיים שיותפלו יצאו כמי רכוז. אנו מניחים שבמקום מי הרכוז תסופק למאגר כמות זהה של מי-ים מותפלים. בדרך זו יהיו במודל (בשנת 2020) שני גורמים להתפלה של מי-ים, האחד הביקוש הכולל למים בארץ שיהיה גדול, לפי התחזיות, מההיצע של המים מהמקורות הטבעיים; חלק מהמים המותפלים יגיע לאזור החוף. הגורם השני יהיה התפלה לצורך הקיזוז של מי הרכוז ממפעלי ההתפלה של המים הטבעיים.

בתנאים שתוארו לעיל, הגדלים של המצב היציב – מים ומלח – יתבררו רק לאחר חישוב פתרון מערכת של שלוש משוואות בשלושה נעלמים. אנו נכנה את המשתנים לאחר הפתרון בשם הגדלים האנדוגניים (פנימיים לפתרון המצב היציב) ואת הגדלים שנלקחים כנתונים לפני הפתרון בשם גדלים אקסוגניים. אנו מקווים שההבחנה תהיה ברורה לאחר הצגת המשתנים האקסוגניים והאנדוגניים בלוחות ובמשוואות.

#### *גדלים אקסוגניים*

לוח 2 מחולק לשלושה חלקים: המים הטבעיים הם אלה שמשתמשים בהם מעל מאגר החוף, בחקלאות ובמגזר העירוני, ובהם מים שמופקים ממאגר החוף עצמו ומים מיובאים מאקוויפר ירקון-תנינים ומהכינרת. מים אלה נושאים איתם מלח שרשום גם הוא בלוח. מקורות אחרים למים שמשתמשים בהם מעל מאגר החוף הם מי-ים מותפלים ושפכים. בחלק השלישי בלוח נמסר מידע על שימוש במים, יציאה לים ומילוי חוזר מהשקיה (30 ו-50 מלמ"ש, בהתאמה) למען הפשטות הנחנו שהגדלים הללו קבועים. שני המשתנים האחרונים בלוח 2, יציאת שפירים (אל מחוץ לאזור) ויציאת שפדן, מוסרים



על תחזית השימוש במקומות שאינם בחוף במים שמקורם באזור החוף. המלחים שיהיו במים אלה לא יושקעו מעל למאגר החוף ולכן גם לא יחזרו אליו. המלח במים הטבעיים הוא המלח שמגיע מהמקורות הרשומים. ריכוז המלח שרשום בלוח 2 כתרומת המאגרים אינו זה שמאפיין אותם עתה או שצפוי לעתיד. כך למשל, המלחים שנמצאים היום במאגר החוף הצטברו בו לאחר שנים של השקיה במים

לוח 2: הגדלים האקסוגניים החזויים באקוויפר החוף לשנת 2020

ריכוז	תוספת מלח	מים	
מים טבעיים			
45	12,600	280	חוף
160	28,800	180	ירקון-תנינים
230	41,400	180	כינרת (במוביל)
129	82,800	640	סה"כ טבעיים
מקורות אחרים			
20	4,500	225	התפלה (מי-ים)
100	39,300	393	שפכים
משתנים נוספים			
		655	בית ותעשייה
		200	השקיה (שפירים)
		30	יציאה לים
		50	מילוי חוזר מהשקיה
		30	יציאת שפירים
		160	יציאת שפדן

הערה: מים במלמ"ש, מלח בטונות כלוריד לשנה, ריכוז במ"ג כלוריד לליטר.

ממקורות אחרים, ירקון-תנינים וכינרת, ויציאה מצומצמת לים. מליחות המאגר קרובה עתה ל-200 מ"ג כלוריד לליטר. לעומת זאת, בלוח 2 נרשמה ההערכה של התרומה העצמית לתוספת השנתית של מלח למאגר, במי גשם ומתמלחות.<sup>3</sup> ריכוז המלח שרשום בלוח הוא ממוצע. הריכוז בתוספות למאגר גבוה במיוחד במקומות בהם יש מגע של מים שפירים עם תמלחות, והוא נמוך יותר במקומות אחרים. הראייה של הריכוז כערך ממוצע נכונה במיוחד בשורה של סה"כ טבעיים (לוח 2).

התחזית היא שבשנת 2020 יהיה השימוש במים מותפלים באזור החוף בהיקף של 225 מלמ"ק וזה הערך שנרשם כגודל אקסוגני בלוח (כזכור, במודל זה תהיה במצב היציב התפלה נוספת לקיזוז מי-רכז). כמות השפכים חושבה לפי 60% מהמים שיופנו למשקי בית ותעשייה. תכולת המלח במים המותפלים היא 20 מ"ג כלוריד לליטר, ובשפכים נוספים 100 מ"ג כלוריד לליטר (נוספים למי הרקע, למים שמסופקים למשקי הבית ולתעשייה). לא רשמנו בלוח כמות המלח וריכוזו ל"משתנים הנוספים" מפני שערכים אלה הם אנדוגניים ויקבעו בהמשך הפיתוח של המודל.

#### יעד משק המים באזור החוף

כאמור, אנו בוחנים במודל II מצב יציב עם התפלה של מים טבעיים. ההנחה בחישוב היא שיעד מאגר החוף הוא לספק מים שפירים לכל המשתמשים באזור – משקי בית,

<sup>3</sup> במלים אחרות, ריכוז המלח במאגר (200 מ"ג) מתקבל מחלוקת כל כמות המלח שמצוי היום במי המאגר בכל כמות המים. ריכוז המלח שרשום בלוח 2 מתקבל מחלוקת המלח שמצוי במים שמצטרפים למאגר (בטונות) בכמות המים המצטרפת (במלמ"ק).

תנעשייה והשקיה – במליחות של 150 מ"ג כלוריד לליטר. (הגבלת היעד למצב יציב פירושה שהחישוב יעשה בהנחה, או אילוץ, שלא תהיה צבירה של מים או מלח באזור החוף.) ההספקה הכוללת של המים ושל המלח היא, לפי לוח 2,

מלח בטונות כלוריד לשנה	מים במלמ"ש	
82,800	640	טבעיים
4,500	225	התפלת מי-ים
39,300	393	שפכים
	-30	יציאת שפירים
	- 30	יציאה לים
	+ 50	מילוי חוזר
126,600	1,268	בסה"כ

מתוך זה, ההספקה של המים הטבעיים היא 630 מלמ"ש (50+30-30-640).

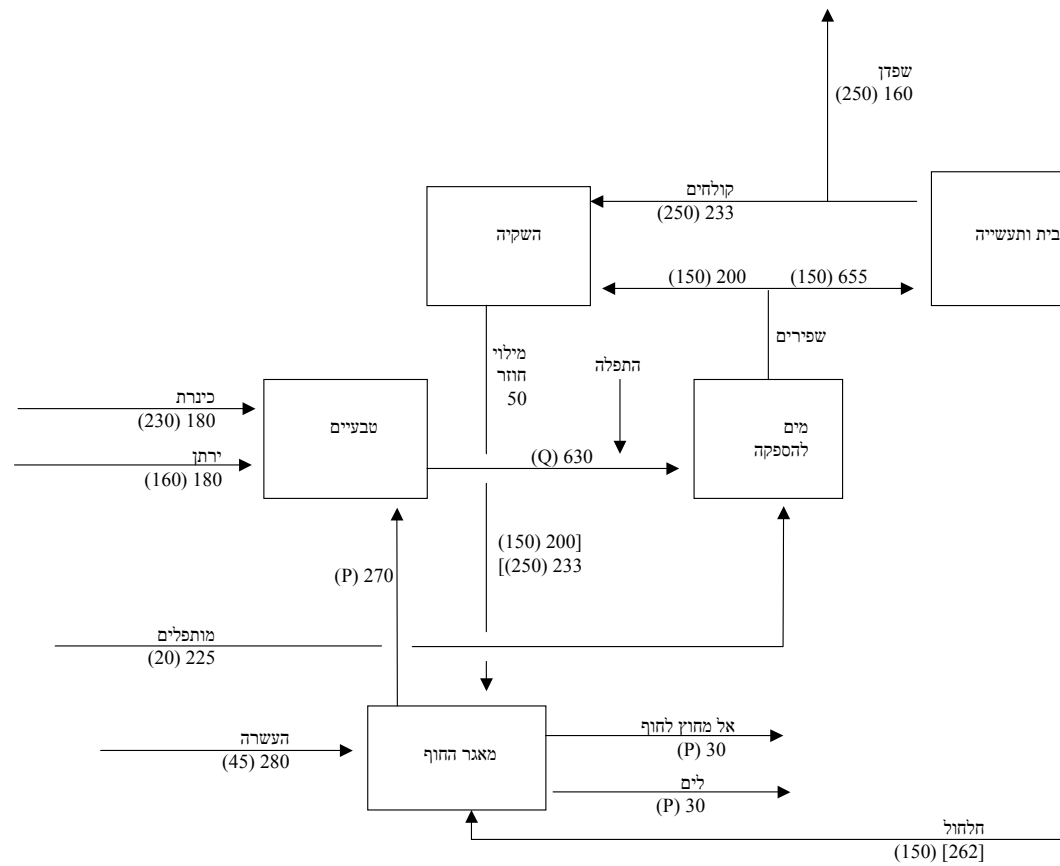
לקביעת המצב היציב שיקיים את היעד של משק המים בעזרת התפלת מים

טבעיים, נגדיר שלושה משתנים שיהיו הנעלמים בחישוב,

Q	ריכוז המלח במים הטבעיים, במ"ג כלוריד לליטר
P	ריכוז המלח במים שבאקויפר החוף, במ"ג כלוריד לליטר
D	התפלה של מים טבעיים, במלמ"ש

נפנה עתה לאיור 2. שטפי המים מסומנים בחיצים ובמקומות המתאימים רשום ריכוז הכלוריד בסוגריים. המים הטבעיים הם, כמו בלוח 2, מי הכינרת, הירתן והמים המופקים ממאגר החוף. (ההפקה היא ההעשרה פחות היציאה לים ואל מחוץ לאזור פלוס מי המילוי החוזר מההשקיה.) ריכוז הכלוריד במי החוף מסומן באות P מפני שהוא גודל אנדוגני ויחושב בהמשך. המים שמסופקים להשקיה ולמגזר העירוני (בית ותעשייה) הם המים הטבעיים והמים המותפלים (באיור לא נרשמה הכמות של המים שיותפלו להוצאת מלחים, היא תחושב להלן). בהתאם ליעד שהוגדר לעיל, תכולת המלח במים המסופקים היא 150 מ"ג כלוריד לליטר. המגזר העירוני מוציא 393 מלמ"ש שפכים, בריכוז של 250 מ"ג כלוריד לליטר (בשפכים נוספים 100 מ"ג למלח שבמי הרקע). 160 מלמ"ש יוצאים במים של השפדן, 233 מלמ"ש קולחים משמשים להשקיה באזור החוף. כמות המים במילוי החוזר מההשקיה למאגר החוף היא 50 מלמ"ש, אולם כל המלח שמושקע בהשקיה, הן של מים שפירים והן של קולחים, מגיע למאגר. על כן מסומנים בצירוף, בסוגריים מרובעים ליד ציר המילוי החוזר, מי ההשקיה לסוגיהם וריכוז המלחים בהם. אנו מניחים שהמלחים שמגיעים למשקי הבית ואינם יוצאים בשפכים, מגיעים גם הם למאגר החוף. הציר שמייצג מלחים אלה מסומן כחלחול (המים שמגיעים למשקי הבית ולא יוצאים בשפכים אינם חוזרים למאגר ועל כן כמותם רשומה בסוגריים מרובעים).

כפי שהאיור מראה, ההתפלה לסילוק מלח תהיה של מים טבעיים. כאילו כל המים הטבעיים מעורבלים לאיכות אחידה בטרם יותפל חלק מהם. בהמשך תיבחנה גם אפשרויות אחרות.



איור 2: מודל II, שטפי המים וריכוז המלח

חישוב הגדלים של המצב היציב יעשה בשלוש משוואות עוקבות. במשוואה הראשונה נחשב את ריכוז המלח במאגר החוף

$$280 \times 45 + 200 \times 150 + 233 \times 250 + 262 \times 150 = (270 + 30 + 30)P \quad (6)$$
$$P = 425$$

בצד שמאל של משוואה (6) רשום כל המלח שנכנס למאגר: בהעשרה, בהשקיה בשפירים, בקולחים ובחלחול. בצד ימין רשומות הכמויות שיוצאות: בהפקה, אל מחוץ לחוף ובניקוז לים; הכמויות הללו מוכפלות בגודל P, ריכוז המלח של המצב היציב במאגר החוף. לפי פתרון המשוואה, הריכוז הוא 425 מ"ג כלוריד לליטר. במשוואה השנייה של המודל נחשב את ריכוז המים הטבעיים בטרם הוצא מהם המלח.

$$Q = (180 \times 230 + 180 \times 160 + 270 \times 425) / 630 \quad (7)$$
$$Q = 293$$

במשוואה (7) השתמשנו בריכוז מי מאגר החוף (425 מ"ג) שחושב במשוואה (6). ריכוז המים הטבעיים בטרם יותפלו הוא 293 מ"ג כלוריד לליטר. עתה נחשב את ההתפלה של המים הטבעיים שדרושה על מנת להוציא, במצב היציב, את כל המלח שמגיע לחוף.

$$160 \times 250 + (30 + 30) \times 425 + (293 - 20) \times D = 126,600 \quad (8)$$
$$D = 224$$

במצב היציב יש להתפיל 224 מלמ"ק של מים טבעיים מדי שנה בכדי לקיים את היעד של הספקת מים שפירים למשקי בית, חקלאות ותעשייה בריכוז של 150 מ"ג כלוריד לליטר ולעמוד בתנאי של סילוק כל המלח שמגיע לחוף. (כזכור, ההתפלה הזו תגרור התפלה נוספת של 22.4 מלמ"ק מי-ים לקיזוז מי הרכוז).

פתרון שלוש המשוואות נמסר כאן במספרים מעוגלים, בחישובים שלהלן השתמשנו בערכים המדויקים. לוח 3 מסכם את הכמויות. בלוח נרשמו כמויות אקסוגניות ואנדוגניות, האחרונות הודגשו בקו. כך למשל, ביציאה של 30 מלמ"ק לים נשטפים 12,741 טונות כלוריד. כמות המלח היוצאת נקבעת אנדוגנית מפני שהיא מכפלה של כמות המים (אקסוגנית) וריכוז המלח במאגר שהוא אנדוגני ונקבע בפתרון המצב היציב. בהתפלת מי-ים, 225 מלמ"ש נקבעו אקסוגנית אך 22 מלמ"ש, כנגד מי הרכוז מהתפלת המים הטבעיים, נקבעו אנדוגנית.

הקולחים מופיעים בשני הצדדים של לוח 3. בצד ימין רשומה כל כמות הקולחים שמיוצרת האזור החוף, 393 מלמ"ש. בצד שמאל רשומים בנפרד 160 מלמ"ש של מי השפדן שיוצאים מאזור החוף ואתם יוצא גם המלח שהם נושאים, היתרה, 233 מלמ"ש,

קולחים ישמשו להשקיה בחוף ועל כן המלחים שהם נושאים אינם יוצאים מאזור החוף ולכן לא נרשמו בלוח.

המים הטבעיים שיוותפלו, 224 מלמ"ש, נרשמו בסוגריים כיוון שהם אינם יוצאים מהחוף; המלח שהם נושאים יוצא. (בסוגריים נרשמו גם 22 מלמ"ש של מי הים שמותפלים כנגד מי הרכז). הסכום לטורי המים, 1,308 מלמ"ש, גדול מהסכום שנרשם בעמוד 9 (1,268 מלמ"ש) כיוון שהוא כולל כאן גם את המים השפירים שיוצאים מהחוף (30 מלמ"ש).

### לוח 3: מלח ומים במצב היציב במודל II

יציאות מהמאגרים			כניסות למאגרים			
ריכוז	מלח	מים		ריכוז	מלח	מים
		655	משקי בית ותעשייה	45	12,600	280
		200	השקיה שפירים	160	28,800	180
425	12,741	30	יציאה לים	230	41,400	180
425	12,741	30	יציאת שפירים	20	4,500	225
						(22)
250	40,000	160	יציאת שפדן	100	39,300	393
250		233	קולחים בחוף			50
293-20	61,118	(224)	התפלת טבעיים			
	126,600	1,308	בסך הכל		126,600	1,308

הערות: א. מים במלמ"ש, מלח בטונות כלוריד לשנה, ריכוז במ"ג כלוריד לליטר.  
 ב. מודגשים בקו – משתנים אנדוגניים.  
 ג. מספרים בסוגריים אינם כלולים בסיכום הטור.

### ה. עלויות

בפרק זה נשווה עלויות לשתיים עשרה חלופות. ארבע הן החלופות של סילוק המלחים: התפלת מים טבעיים, כפי שראינו במודל II (בריכוז ממוצע של כל המים הטבעיים) התפלה של מים ממקור טבעי מסוים; כגון אקוויפר החוף או הכינרת התפלה של הקולחים (שתכולת המלחים שלהם גדולה יחסית) הוצאת הקולחים לים והמרתם במי ים מותפלים. כן נבחן שלוש חלופות יעד של ריכוז המלח במי האספקה (למשקי בית, תעשייה והשקיה): 150, 100 או 50 מ"ג כלוריד לליטר. כפי שיוסבר בהמשך, בכל החלופות נשמרות כמויות המצב היציב. בלוח 4 נמסרות ההנחות שאספנו ממקורות שונים בדבר העלויות של הפעולות שנבחנו לסילוק מלחים. ערכי הלוח הם בדולרים, המטבע בו נמסרו רוב הנתונים.

### לוח 4: עלות הפעולות

עלות (דולר למ"ק)	
0.55	התפלת מי-ים
0.20	התפלת מים טבעיים
0.40	התפלת קולחים
0.05	הוצאת קולחים לים
0.10	טיפול שלישוני

בלוח 4 נרשמה, לצורך ההשוואה, גם העלות של הטיפול השלישוני במי הקולחים. הן התפלת הקולחים והן סילוקם לים משפרים את איכות מי ההשקיה מפני שבשתי חלופות אלה, אם תתממשה, לא יוקצו לחקלאות קולחים לאחר טיפול שניוני (כמקובל היום). על כן הוספנו, להשוואה, לעלות החלופה של התפלת המים הטבעיים את העלות של שדרוג הקולחים לרמת טיפול שלישוני.

#### שתים עשרה חלופות

הגדלים האנדוגניים, אלה שהתקבלו מפתרון המשוואות של המצב היציב, נרשמו בלוח 5. החלופה הראשונה היא מודל II שחושב, כזכור, ליעד של 150 מ"ג כלור לליטר במי ההספקה ולחלופת הסילוק של התפלת המים הטבעיים. כפי שקבלנו, בחלופה זו תהיה התפלה של 224 מלמ"ק של מים טבעיים והריכוז הממוצע של מי מאגר החוף יהיה 425 מ"ג כלוריד לליטר. בחלופה זו תהיה, כזכור, גם התפלה של 22 מלמ"ק מי-ים כנגד כמות זהה של מי-רכוז ממפעלי ההתפלה של המים הטבעיים. ההתפלה הזו של מי-ים היא התפלה נוספת להתפלה של 225 מלמ"ק שנקבעה אקסוגנית ונרשמה בלוח 3 (ולא נרשמה בלוח 5 מפני שעלותה אינה נכללת בהשוואות של הלוח).

לוח 5: שתים עשרה החלופות: כמויות, ריכוז מי החוף ועלות

עלות	ריכוז חוף	הוצאת קולחים	התפלת קולחים	התפלת מי חוף	התפלת טבעיים	התפלת מי-ים	חלופת סילוק
יעד: 150 מ"ג כלוריד לליטר							
80 (57)	425	0	0	0	224	22	התפלת טבעיים
62 (39)	425	0	0	151	0	14	התפלת מי חוף
131	262	0	233	71	0	7+35	התפלת קולחים
158	262	233	0	71	0	7+233	הוצאת קולחים
יעד: 100 מ"ג כלוריד לליטר							
108 (84)	319	0	0	0	330	33	התפלת טבעיים
88 (64)	319	0	0	252	0	24	התפלת מי חוף
173	192	0	233	239	0	24+35	התפלת קולחים
201	192	233	0	239	0	+233 24	הוצאת קולחים
יעד: 50 מ"ג כלוריד לליטר							
148 (125)	214	0	0	0	490	49	התפלת טבעיים
146 (123)	214	0	0	270	213	48	התפלת מי חוף
209	122	0	233	19	360	38+35	התפלת קולחים
236	122	233	0	19	360	+233 38	הוצאת קולחים

הערות: א. טורים 2-5 מלמ"ש, הריכוז במ"ג כלור לליטר, עלות במיליון דולר לשנה.  
 ב. בסוגריים עלות החלופה ללא שדרוג קולחים.  
 ג. התפלת טבעיים בחלופות התפלת קולחים והוצאת קולחים ביעד של 50 מ"ג הן של מי הכינרת והירדן.

העלות של סילוק המלח במצב היציב של פתרון מודל II היא 80 מיליון דולר לשנה. סכום זה כולל גם עלות שדרוג הקולחים לרמת טיפול שלישוני. אם לא יהיה שדרוג, תהיה העלות 57 מיליון דולר לשנה (בסוגריים). בשורה השנייה, נבחנת האפשרות של התפלת המים שמופקים מאקוויפר החוף (באיור 2, חץ ההתפלה מורה עתה על הציר שהולך ממאגר החוף למים הטבעיים). היות ובמצב היציב, מי מאגר החוף יהיו מלוחים יותר מהמקורות האחרים של המים הטבעיים, יהיה צורך להתפיל פחות מי חוף בכדי להוציא אותה כמות מלח מאשר בהתפלת טבעיים מעורבלים ועל כן גם העלות של החלופה הזו (62 מיליון דולר לשנה) נמוכה מעלות החלופה הראשונה. בשורה השלישית, עדיין היעד 150 מ"ג, נבחנת חלופת הסילוק של התפלת קולחים. הקולחים שיותפלו יהיו אלה שיישארו באזור החוף, הקולחים של השפדן לא יותפלו. בחלופה זו נוצרת בעיה: בנתוני שנת 2020, אפילו בהתפלת כל הכמות לא יהיה סילוק המלח מספיק להשיג את היעד של 150 מ"ג כלוריד במי ההספקה. על כן נוספה כאן התפלה של 71 מלמ"ש של מים מהחוף. התפלה נוספת תהיה של מי-ים, 7 מלמ"ש כנגד מי הרכז הטבעיים ו-35 מלמ"ש כנגד מי הרכז מהתפלת הקולחים (15%). סך ההתפלה בחלופה זו עבור אזור החוף בשנת 2020 תהיה 571 מלמ"ש (7+35+71+225+233) והעלות של סילוק המלח תהיה 131 מיליון דולר לשנה. בשורה הרביעית, חלופת סילוק הקולחים לים, גדלה ההתפלה עוד בהשוואה לחלופה הקודמת מפני שיש צורך להתפיל מי-ים כנגד כל כמות הקולחים שיוצאת לים (התפלה שבאה לשמור על כמויות המים של המצב היציב). עלות החלופה תהיה 158 מיליון דולר לשנה. משמעות הנתונים לשמונה החלופות האחרות בלוח 5 דומה לזו של אלה שנסקרו וכפי שאפשר לצפות, סילוק המלחים הולך ונעשה יקר יותר ככל שמחמירה דרישת האיכות.

#### *מלח שהצטבר*

ניתוח סילוק המלחים במצב היציב ובנתוני שנת 2020 מעלה את שאלת המלחים שהצטברו במשך 50 השנים האחרונות, חלקם נמצא במאגרים וחלקם עדיין בתת-ההקרקע בתחום שאינו רווי מעל לאקוויפר. האם מלחים אלה לא יסולקו? התשובה לשאלה מותנית בבחירה של יעד המצב היציב. יעד של 150 מ"ג כלוריד לליטר פירושו שאנו מוכנים לקבל ריכוז של 425 מ"ג כלוריד לליטר במאגר (לוח 5). אם כך, לא רק שלא נסלק מלחים שהצטברו בעבר, אלא אף נניח להם להצטבר עוד בעתיד, עד למצב היציב. לעומת זאת, אם היעד יהיה 50 מ"ג והסילוק יהיה בהתפלת קולחים, תהיה תכולת המלח במצב היציב באקוויפר החוף 122 מ"ג כלוריד לליטר (לעומת כ-200 מ"ג היום) ואז, בעת סילוק המלחים, ילך המאגר ויתכנס לקראת ריכוז המצב היציב בדומה לדוגמה השלישית שהוצגה בפרק ג'. כלומר, במקרה זה, סילוק המלחים יוציא הן את כל המלח שיתווסף בעתיד והן חלק מהמלח שהצטבר בעבר.

*סיכום*

הממצא העיקרי של הניתוח הוא שבכל חלופות היעד שנבחנו, סילוק המלחים בהתפלת המים שמופקים מהחוף הוא הזול ביותר. הפרש העלויות בין חלופות הסילוק הוא בכל המקרים גדול ועל כן סביר להניח שגם בחינה מדוקדקת יותר של העלויות לא תהפוך את המסקנות שלנו על פניהן.

1. עיתוי ומחירים

הניתוח, שנערך לתנאים הצפויים לשנת 2020, מעלה שתי שאלות כלכליות, עיתוי סילוק המלח והמשמעות למחירים במשק המים.

*עיתוי*

ההמלחה מתקדמת באיטיות, משך הזמן בו המלחים נעים בחתך הקרקע נמדד בשנים ויש בחוף אזורים בהם תנועת המלחים מפני הקרקע עד לאקוויפר תימשך עשרות שנים ויותר. מכאן עולה השאלה, מתי יש להתחיל בסילוק מלחים? אולי אפשר לדחות את הפעולה היקרה ולהשאיר את המטלה לדורות הבאים? אפשר לחשוב על עיקרון פשוט לקביעת מועד הפעלת הסילוק: נבחר היום ביעד משק המים, אחד משלושת היעדים של לוח 5 או יעד אחר. מועד הפעלת הסילוק לראשונה יהיה כאשר תכולת הכלוריד במאגר החוף תגיע לריכוז המצב היציב. למשל, אם היעד שייבחר יהיה 100 מ"ג כלוריד לליטר, נפעיל את הסילוק כאשר ריכוז הכלוריד במאגר החוף יגיע ל-319 מ"ג לליטר. בצורה זו נכנס למצב היציב ביום הפעלת הסילוק. הקושי הוא שהעיקרון הפשוט הזה מתעלם משני היבטים של הבעיה. האחד הוא שסילוק המלחים משפר את איכות המים. ההיבט השני הוא שבגלל איטיות התנועה בחתך הקרקע, נמצאות עתה בדרך אל האקוויפר כמויות גדולות יחסית של מלחים. לכן מעריך מרכזו (2001) שההמלחה בחוף תואץ בשנים הקרובות והוא חוזה ריכוז של 266 מ"ג כלוריד לליטר בשנת 2015. אם אמנם "פצצת הזמן" הזו מתקתקת בדרך ליעדה במאגר, משק המים נמצא כבר עתה בשיעורי ההמלחה של המצב הצפוי לעתיד. התחשבות בשני היבטים האלו של בעיית ההתפלה מצדיקה הקדמת ההתפלה לסילוק המלחים, עוד בטרם יגיע הריכוז בפועל באקוויפר לשיעור של המצב היציב שייבחר.

*מחירים*

סילוק המלחים מוסיף לעלות במשק המים. האם הסילוק ישפיע על מחירי המים? המחירים הנכונים הם מחירי העלות החליפית (השולית, הריאלית) וזו הולכת ועולה עם גבור הביקוש. אולם יש גבול עליון לעלות החליפית והוא מחיר ההתפלה. היות והיום, בתקופת המשבר, הביקוש גבוה ביחס לכמות המוצעת, סביר שהעלות החליפית שווה כבר עתה למחיר ההתפלה (ואולי אף יותר כי המפעלים עדיין לא הוקמו). על כן המחיר הנכון הוא מחיר ההתפלה. מחיר זה יש לגבות לכל המים השפירים בחוף, אמנם לא בהכרח באזורים אחרים. לפי ההערכות של לוח 5, גביית מחיר ההתפלה תכסה את עלות הסילוק של המלחים. מי ישלם, אם כך, עבור הסילוק? הממשלה, או נכון יותר,



משלמי המיסים. אילו לא היה צריך לסלק מלחים, ומחיר השפירים בחוף היה נקבע למחיר ההתפלה, הממשלה היתה מקבלת לקופתה את ההפרש בין פדיון הגבייה לעלות ההפקה של המים מהמקורות הטבעיים. בסילוק מלחים הכנסות הממשלה ממשק המים תקטנה.

קביעת מחיר למים שפירים שישווה למחיר המים המותפלים עשויה לגרום לכך שהחקלאים לא ייקחו את כל כמות המים שנועדה לענף בהחלטת הממשלה (450-530 מלמ"ש). אם אמנם כך, יהיה צורך לתמוך במחיר המים לחקלאות, לפי הכלל (מוסנזון, 2001, ע' 12)

עלות = מחיר + תמיכה.

אולם גם במצב זה, עלות סילוק המלחים תיפול על קופת המדינה.

### ז. הערות

החישובים שהצגנו נשענו על הנחות מפשטות ויש לראותם כקירובים ראשוניים. אך אפשר לצפות ששתי המסקנות העיקריות של הניתוח לא תשתנינה גם בעתיד. המסקנה הראשונה היא שסילוק המלחים הוא פעולה יקרה. להדגמה נניח שעלות הספקת המים הטבעיים לאזור החוף היא 15 סנט למ"ק למי האקוויפרים ו-30 סנט למ"ק למי הכינרת, אזי העלות הכוללת (640 מלמ"ש) היא 123 מיליון דולר לשנה. עלות סילוק המלח במצב המתמיד (ממי החוף), אפילו נסתפק ביעד של 150 מ"ג כלוריד לליטר ולא נשדרג את הקולחים, תהיה 57 מיליון דולר בשנה (לוח 5). זו תוספת של 50% לעלות ההספקה. במלים אחרות, סילוק המלחים ממאגר החוף יטיל על משק המים עלות נוספת של כ-250 מיליון שקלים בשנה.

עלות הסילוק של המלח גבוהה, אך העלות של הימנעות מסילוק תהיה גבוהה עוד יותר. למשל, אם נניח לאקוויפר להיהרס ונחליף את המים שלו במי-ים מותפלים, תהיה העלות בקירוב 154 מיליון דולר בשנה, יותר מפי שניים מעלות השמירה על אקוויפר בר-קיימא. סילוק המלחים הוא תנאי הכרחי לקיום משק מים בר-קיימא ועלות הסילוק היא חלק מעלות הניצול האינטנסיבי של מקורות המים. כשם שמשק בית צריך לסלק אשפה ומשק עירוני צריך לסלק ביוב, כך אחת המטלות של משק המים היא לסלק את המלח ולמנוע הצטברותו במאגרים.

המסקנה העיקרית השנייה של הניתוח היא שהדרך היעילה לסלק מלחים היא בהתפלת מים טבעיים מהמקור המלוח ביותר. הסיבה היא שכך כמות המים המותפלים קטנה בהרבה מאשר בחלופות האחרות.

בהתפלה של מים הטבעיים אנו מכוונים הישר ליעד ההספקה. בסילוק מלחים מהקולחים, אנו אמנם משפרים את הקולחים, אך ההשפעה על איכות המים המסופקים היא דרך איכות מי התהום ואז יהיה השיפור של מי ההספקה תהליך איטי, בקצב ההתכנסות של מי התהום למצב היציב. להתפלת המים הטבעיים יתרונות שלא נמנו עד כה. ביניהם, לפעולה הזו תהיה השפעה מיידית על איכות המים במשקי הבית, בתעשייה ובחקלאות. לפי שפירר ורוזנטל (1998) ערך התועלת הזו עשוי לעלות על 0.40 ש"ח למ"ק. לעומת זאת, היו גם יתרונות לחלופות האחרות שלא נמנו בנייתוח;

למשל, העובדה שבסילוק הקולחים לים נחסכת ההשקעה ברשת מיוחדת להשקיה במים אלה.

החישובים בעבודה נערכו למצב היציב בו, למשל ביעד של 150 מ"ג, יהיה ריכוז המלח במי מאגר החוף 425 מ"ג כלוריד לליטר ואז הדרך היעילה לסלק מלחים היא להתפיל את מי האקוויפר הזה. אולם אם סילוק המלחים היה נעשה עתה, כאשר תכולת הכלוריד במאגר החוף היא רק 200 מ"ג, היה כדאי לפתוח בהתפלת מי המוביל מהכינרת עד שהריכוז במאגר החוף היה עולה אל מעל לריכוז בכינרת. אפשרות אחרת, ואף סבירה יותר, היא למקד את ההתפלה באזורים מלוחים במיוחד באקוויפר החוף. הערות אלו מדגימות, אם יש צורך בהדגמה, שהניתוח היה ראשוני. להמשך הבדיקה יהיה צורך לטפל במאגרים האחרים ולשלב ניתוח הנדסי. כן יהיה צורך לבחון ביתר פירוט את הקצב הצפוי של ההמלחה של האקוויפר ואת עיתוי הפעלת הסילוק וכן גם מה קורה למלח שיוצא מאזור החוף. למשל, היש צורך לטפל באזורים שמושקים במי השפדן?

#### ספרות

הרפז, יואב, בדיקה הידרולוגית של מדיניות הפקת יתר מאקוויפר החוף בתקופה של שנים שחונות, תכנון משאבי מים בשיתוף עם הנדסת סביבה ומשאבי מים, 2000.

זסלבסקי, דן, פיתוח בר קיימא של משק המים וגורל החקלאות, הטכניון, 1999.

מוסנזון, רן, הסדרה של שירותים ציבוריים, על מחירים למערכות חשמל ומים ובקרה ציבורית של תעריפים, 2001.

מרכזו, אברהם, "איכות מי תהום – מגמות השינוי במספר פרמטרים נבחרים ואמצעים אפשריים לשיפור המצב", שימוש יעיל במקורות מים מוגבלים, הפיכת ישראל למדינת מודל, בעריכת ברי רובין, מרכז בגין סאדאת למחקרים אסטרטגיים, אוניברסיטת בר-אילן, 2001.

נציבות המים, משימות משק המים לטווח הארוך, 2000.

עדין, אבנר, ורמי הלפרין, "הטיפול במי שתייה – מזהמי מי התהום והרחקתם", סדרי עדיפות לאומית בתחום איכות הסביבה בישראל, מסמך עמדה II, מוסד שמואל נאמן, הטכניון, ענ' 103-121, 2001.

השירות ההידרולוגי, נציבות המים, התפתחות ניצול ומצב מקורות המים בישראל עד סתיו 2000, 2001.

שפיר, צלילה וגדי רוזנטל, ניתוח כלכלי של מניעת מלחים ממערכת אספקת המים, נציבות המים, 1998.

תהל, תוכנית האב של משק המים, דוח מסכם – שלב הטיבוב המהיר, 1996.

Berman, Tom, "Lake Kinneret and its catchment: international pressures and environmental impacts," Water Policy, 1:193-207, 1998.

# PREVIOUS DISCUSSION PAPERS

- 1.01 Yoav Kislev - Water Markets (Hebrew).
- 2.01 Or Goldfarb and Yoav Kislev - Incorporating Uncertainty in Water Management (Hebrew).
- 3.01 Zvi Lerman, Yoav Kislev, Alon Kriss and David Biton - Agricultural Output and Productivity in the Former Soviet Republics.
- 4.01 Jonathan Lipow & Yakir Plessner - The Identification of Enemy Intentions through Observation of Long Lead-Time Military Preparations.
- 5.01 Csaba Csaki & Zvi Lerman - Land Reform and Farm Restructuring in Moldova: A Real Breakthrough?
- 6.01 Zvi Lerman - Perspectives on Future Research in Central and Eastern European Transition Agriculture.
- 7.01 Zvi Lerman - A Decade of Land Reform and Farm Restructuring: What Russia Can Learn from the World Experience.
- 8.01 Zvi Lerman - Institutions and Technologies for Subsistence Agriculture: How to Increase Commercialization.
- 9.01 Yoav Kislev & Evgeniya Vaksin - The Water Economy of Israel--An Illustrated Review. (Hebrew).
- 10.01 Csaba Csaki & Zvi Lerman - Land and Farm Structure in Poland.
- 11.01 Yoav Kislev - The Water Economy of Israel.
- 12.01 Or Goldfarb and Yoav Kislev - Water Management in Israel: Rules vs. Discretion.
- 1.02 Or Goldfarb and Yoav Kislev - A Sustainable Salt Regime in the Coastal Aquifer (Hebrew).