



ההתמודדות עם משאבי המים המוגבלים והלא יציבים בישראל

דניאל קורצמן
המכון למדעי הקרקע המים והסביבה, מרכז וולקני

השתלמות שנתית למורים למדעי החקלאות, מרכז וולקני, ראשון לציון, 13-3-2019



תוכן ההרצאה

- "למטר השמים תשתה מים" השונות המרחבית והעיתית של מטר השמים
- מחזור המים הטבעי והמסגרת בה מופקים מים בישראל
- הגדלת נפח המים לשימוש האדם בתוך גבולות מחזור המים הטבעי
- מי משתמש במים?
- הגדלת נפח המים לשימוש האדם ע"י שימוש במים שאינם שפירים (קולחים, מליחים)
- הגדלת נפח המים לשימוש האדם ע"י יצירת מים שפירים (התפלה, שפד"ן)

דברים יא, 10-11

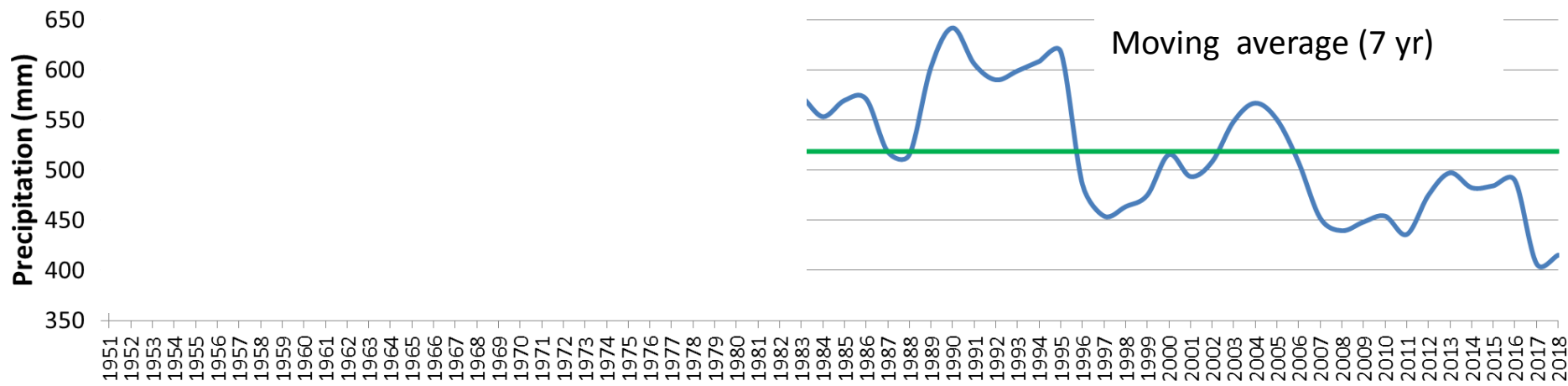
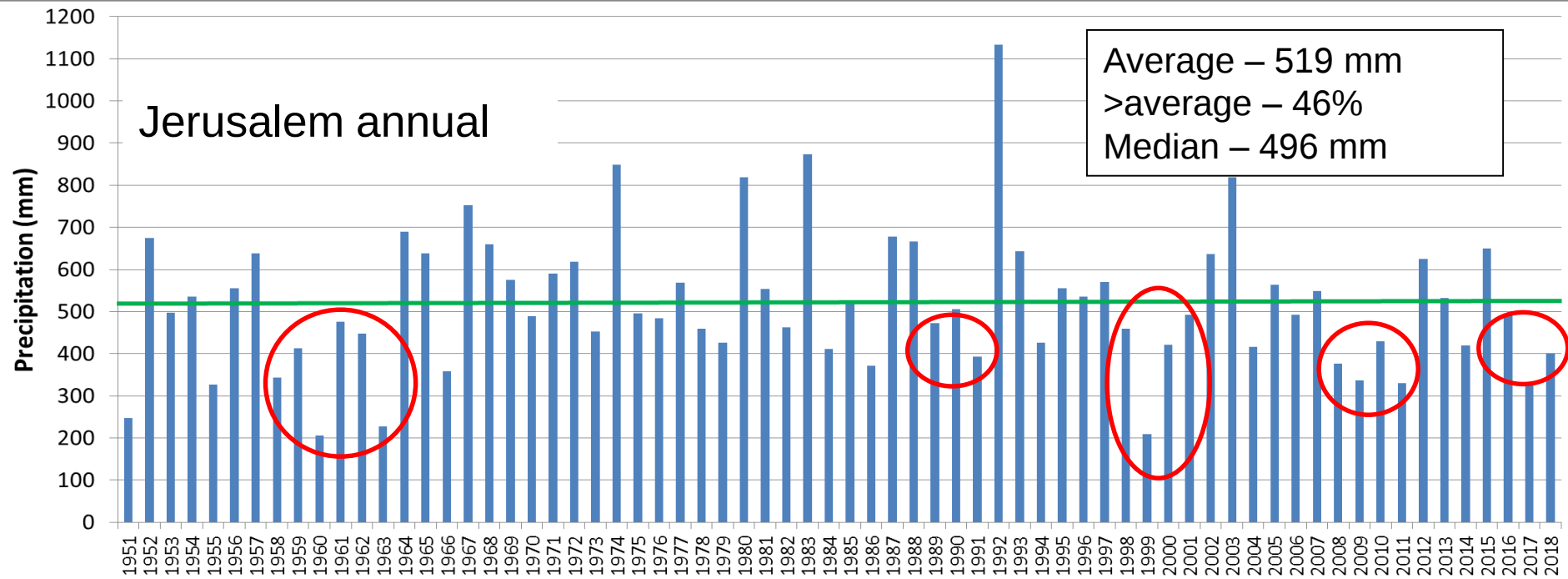


י כִּי הָאָרֶץ, אֲשֶׁר אַתָּה בָּא-שָׁמָּה לְרִשְׁתָּהּ--לֹא כְּאֶרֶץ מִצְרַיִם
הוא, אֲשֶׁר יֵצְאתֶם מִשָּׁם: אֲשֶׁר תִּזְרַע אֶת-זֶרְעָהּ, וְהִשְׁקִיתָ
בְּרִגְלָךְ כֶּגֶן הַיָּרֵק. יֵא וְהָאָרֶץ, אֲשֶׁר אַתֶּם עֹבְרִים שָׁמָּה לְרִשְׁתָּהּ-
אֶרֶץ הָרִים, וּבִקְעוֹת; לְמָטָר הַשָּׁמַיִם, תִּשְׁתֶּה-מֵיִם.

מצרים – מקור מים יציב, הנילוס.
ישראל – מקור מים משתנה במקום ובזמן, מטר השמים.

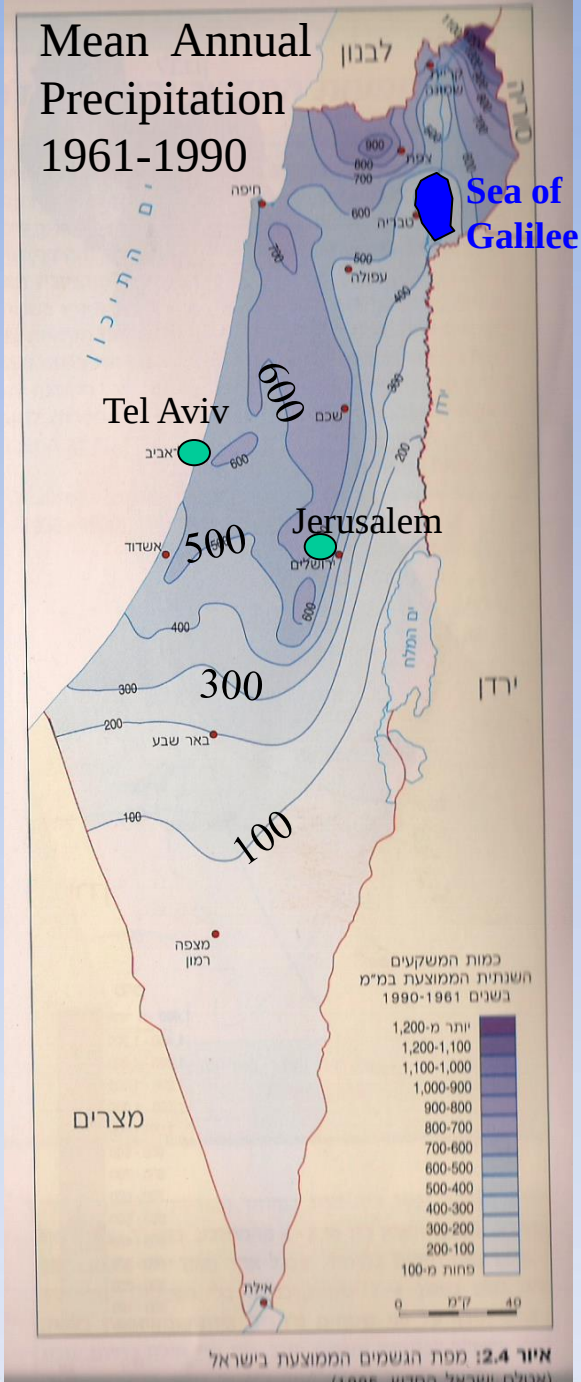
מצרים וישראל, המים משמשים לגידול גידולים (דגן, תירוש ויצהר, עשב
לבהמה – ישראל, גן ירק - מצרים)

“למטר השמים תשתה מים” - חוסר יציבות בזמן שינוי אקלימי או שונות אקלימית?





בעיית השונות המרחבית של מטר השמיים



- הצפון גשום
- הדרום והמזרח צחיחים

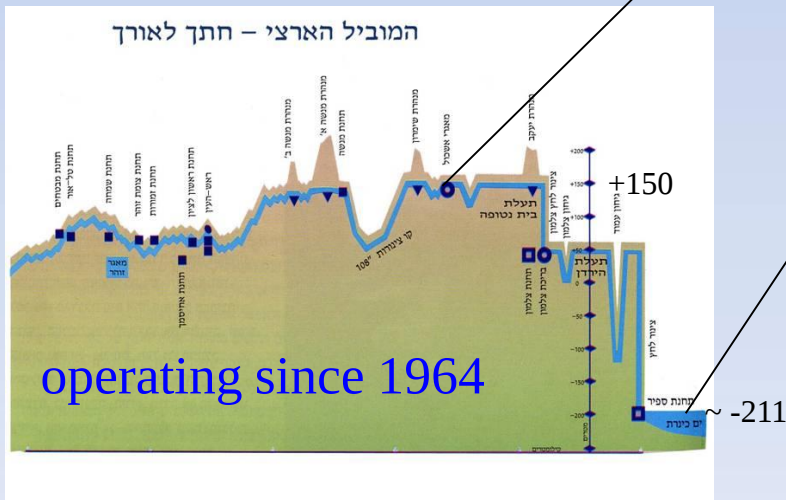
גורמים משפיעים נוספים

- גובה טופוגרפי
- מרחק מהים
- פנות המדרון
- השפעות עירונית

גבירצמן 2002

הפיתרון לבעיית השונות המרחבית קל (יחסית לשונות העיתית)

המוביל הארצי ורשת המים הארצית מוליכה
מים מהצפון הלח לדרום היבש כבר 60 שנה
1955 – קו ירקון נגב
1964- חיבור המוביל הארצי (כנרת – ירקון)

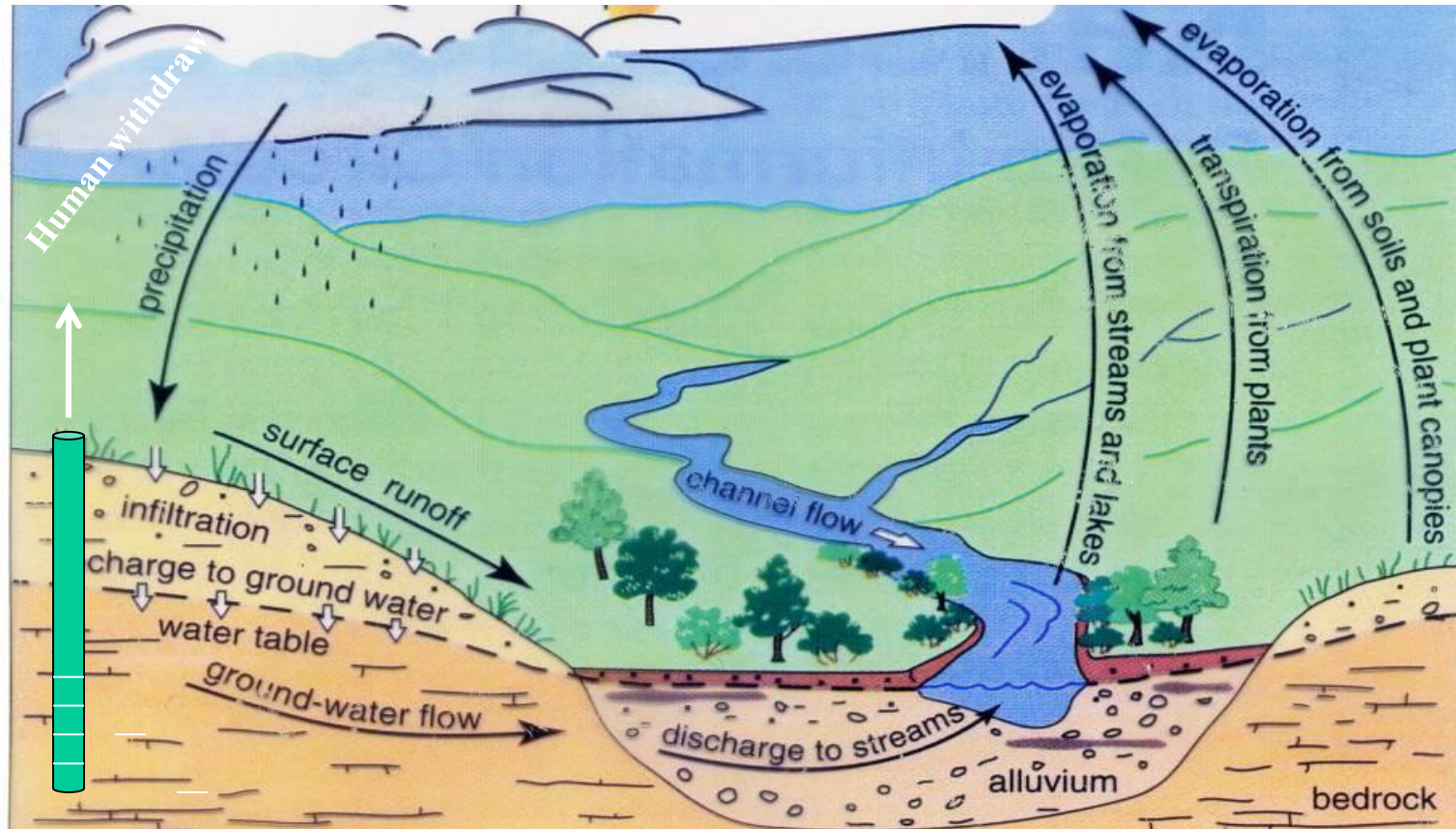


From "Seeking sustainability:
Israel's evolving water
management strategy" by A. Tal.
Science, 2006

החלק השפיר במחזור המים הטבעי



"כל-הנחלים הולכים אל-הים, והים איננו מלא; אל-מקום, שהנחלים הולכים--שם הם שבים, ללכת" (קהלת א)
 17th Century – Pierre Perrault showed that rainfall was sufficient to explain flow of the Seine.



$\Delta S = \Delta P$ (השינוי בנפח המים השפירים במאגרי המים העיליים והתת קרקעיים)
 (זרימה ΔGWF – (זרימה עילית לים/ים המלח) ΔSR – (התאדות) ΔET – (משקעים)
 (הפקת מים מהמאגרים לרווחת האדם) ΔHW – תת קרקעית לים או לאזור מלוח)



סדרי גודל של רכיבי מאזן המים השפירים בישראל

$$\Delta P \sim 5000 - 15000 \text{ (mean } 8000) 10^6 \text{m}^3/\text{year}$$

$$\Delta ET \sim 4500 - 7000 10^6 \text{m}^3/\text{year}$$

$$\Delta SR + \Delta GWF \sim 200 - 6000 10^6 \text{m}^3/\text{year}$$

$$\textbf{HW} = \textbf{800 - 2000 } 10^6 \text{m}^3/\text{year}$$

$$\Delta S \sim -700 - +2000 10^6 \text{m}^3/\text{year}$$



איך משתמשים במקורות המים? - חוק המים הישראלי

חוק המים, תשי"ט-1959*

מקורות המים ויעודם

1. מקורות המים שבמדינה הם קנין הציבור, נתונים לשליטתה של המדינה ומיועדים לצרכי תושביה ולפיתוח הארץ.

מקורות המים מה הם?

2. מקורות המים לענין חוק זה הם המעינות, הנחלים, הנהרות, האגמים ושאר זרמים ומקווים של מים, בין עיליים ובין תחתיים, בין טבעיים ובין מוסדרים או מותקנים, בין שהמים נובעים או זורמים או עומדים בהם תמיד או לפרקים, לרבות מי ניקוז ומי שופכין.

זכות הפרט למים

3. כל אדם זכאי לקבל מים ולהשתמש בהם בכפוף להוראות חוק זה.

הקשר בין הקרקע והמים

4. זכותו של אדם בקרקע אינה מקנה לו זכות במקור מים הנמצא באותה קרקע או העובר בה או בגבולה, אולם אין הוראת סעיף זה גורעת מזכות של אדם לפי סעיף 3.

אין לדלדל מקור מים

5. זכותו של אדם לקבל מים ממקור מים עומדת לו כל עוד אין בקבלתם כדי המלחת המקור או דלדולו.

צמידות הזכות למטרה

6. כל זכות למים צמודה לאחת ממטרות המים המנויות להלן; בטלה המטרה – פקעה הזכות למים; ואלה מטרות המים –

(1) צרכי בית;

(2) חקלאות;

(3) תעשיה;

(4) מלאכה, מסחר ושירותים;

(5) שירותים ציבוריים;

(תיקון מס' 19) תשס"ד-2004

(6) שמירה ושיקום של ערכי טבע ונוף, לרבות מעיינות, נחלים ובתי גידול לחים (בחוק זה – ערכי טבע ונוף).



החוק המלא עם כל התוספות המאוחרות ב-
http://www.nevo.co.il/law_html/law01/235_001.htm

משק המים בישראל עדין ריכוזי (הפחתה בריכוזיות בשני העשורים האחרונים)

- **רשות המים (בעבר נציבות המים)** רשות ממשלתית האחראית על ניהולו, תפעולו ופיתוחו של משק המים בישראל. בתוך כך, אחראית רשות המים על שימור ושיקום מקורות המים הטבעיים, פיתוח מקורות מים חדשים ופיקוח על צרכני ומפיקי מים.

<http://www.water.gov.il/hebrew/Pages/home.aspx>

דב

- **מקורות – חברת המים הלאומית** חברה בבעלות הממשלה המספקת כבר למעלה מ- 75 שנה מים לתושבי מדינת ישראל: כ- 80% ממי השתייה וכ- 70% מסך צריכת המים כולה. מערכת אספקת המים של מקורות מאחדת את מרבית מפעלי המים האזוריים ...

<http://www.mekorot.co.il/Heb/AboutUs/Pages/num.aspx>

- **תאגידי מים, אגודות מים ומועצות מקומיות** - משנת 2001 חלוקת המים לצרכנים ברשויות המקומיות החלה לעבור לניהול של תאגידי מים, תאגידי המים הם יציר כילאיים בין חברות פרטיות לאגודה ציבורית. אגודות, תאגידי מים, מועצות מקומיות רוכשות מים ממקורות ולא בעלות הקצאות ואמצעי הפקה פרטיים ומחלקים אותם לציבור.

<http://www.water.gov.il/Hebrew/Municipal-sector/Pages/Water-and-sewage-corporations.aspx>

- **יצרני מים מותפלים** – חברות פרטיות, ציבוריות (או ממשלתיות) המפעילות מתקני התפלה על חוף הים התיכון ומוכרות את המים למדינה במחיר, נפח, ולתקופה ארוכה הקבועים מראש בהסכם. המים ישתלבו לרוב במערכת הארצית המופעלת ע"י מקורות.

- **תכנון המים לישראל (תה"ל)** – 1952 – 1995 חברה ממשלתית העוסקת בתכנון מפעלי המים של ישראל (המוביל הארצי, הקו השלישי לירושלים ועוד), כמו גם בנושאי תכנון ארוכי תווך (התפתחות זיהומים באקוויפרים ומדיניות הפקה מתאימה וכו.). מ- 1995 חברה פרטית, - עדין מקבלת הרבה עבודות תכנון הקשורות בפיתוח משאבי המים של ישראל.



עד לשנות ה 80 – 90 של המאה הקודמת המאמץ העיקרי שנעשה במשק המים הישראלי היה מניפולציה על כל אחד מרכיבי מאזן המים השפירים הטבעיים לכוון שיפנה יותר מים לצרכנים.

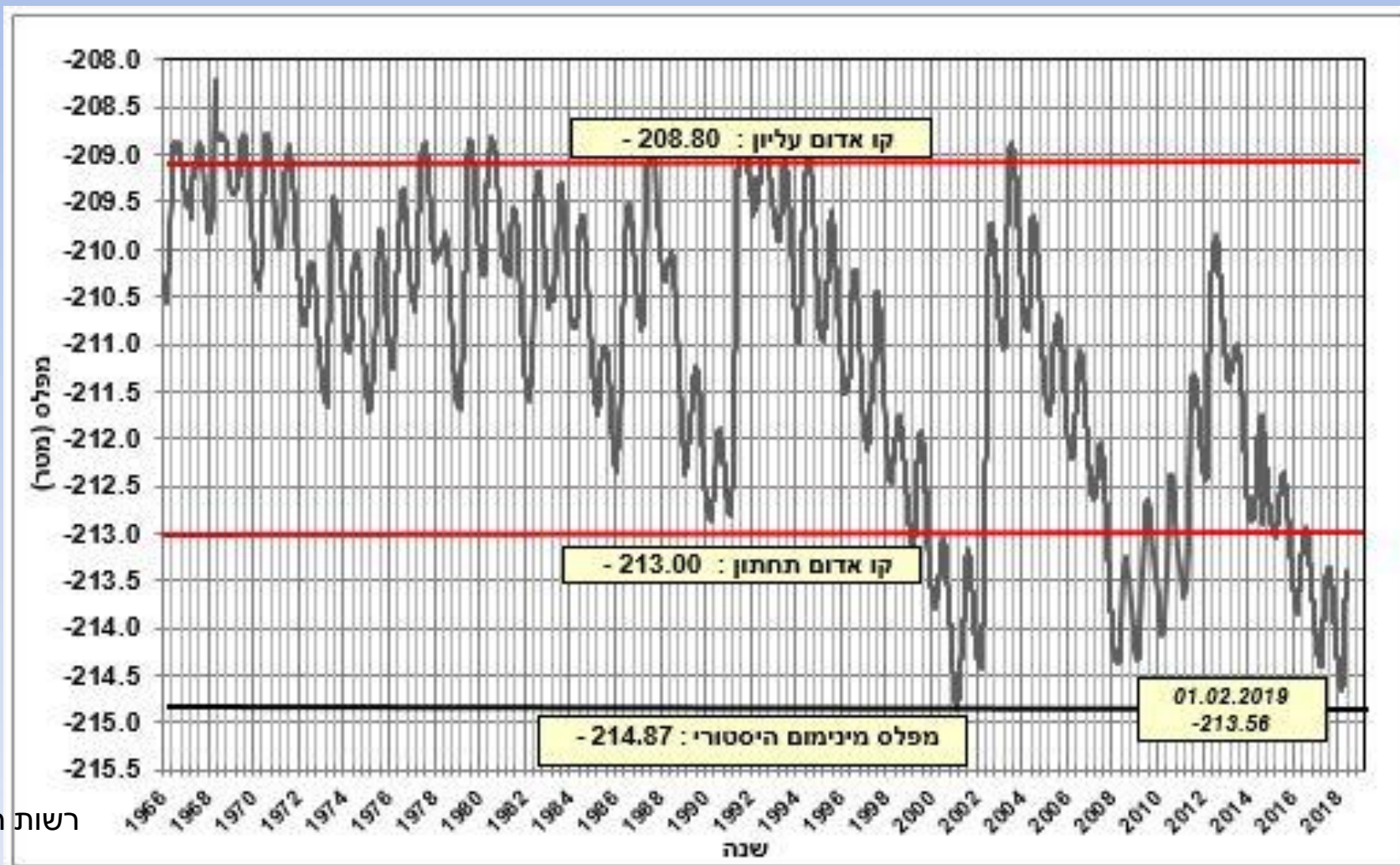
$$\begin{array}{ccccccc} & & \uparrow & & & & \uparrow \\ <\Delta S> = 0? & = & \Delta P & - & \Delta ET & - & \Delta SR & - & \Delta GWF & - & \Delta HW \\ \downarrow & & & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \end{array}$$



השינוי באוגר, כיצד אנו מנהלים את האוברדראפט או עודפי המים

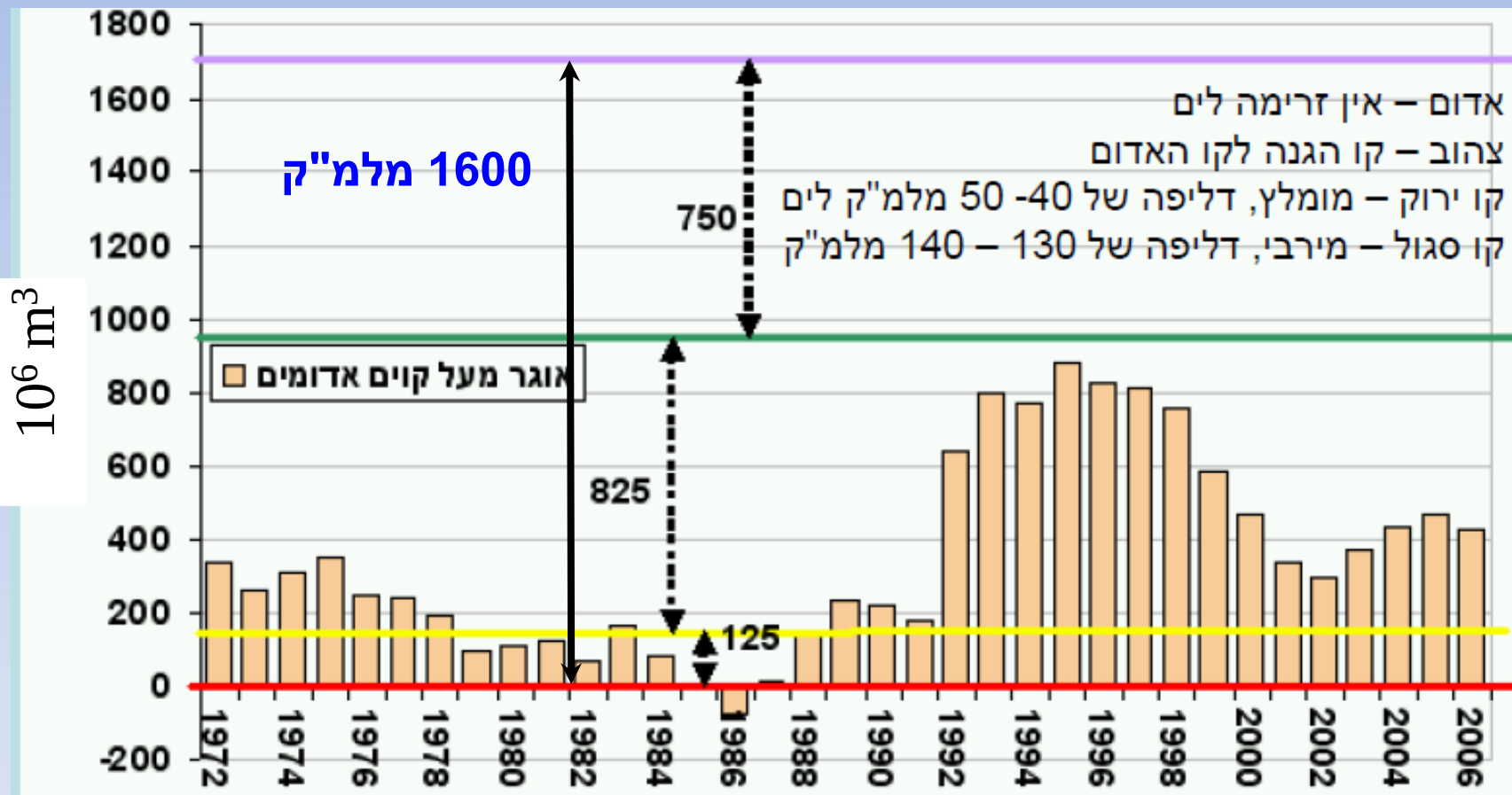
$$\langle \Delta S \rangle = 0? = \Delta P - \Delta ET - \Delta SR - \Delta GWF - \Delta HW$$

דוגמא 1) הכנרת





ΔS – דוגמא 2 אקוויפר החוף



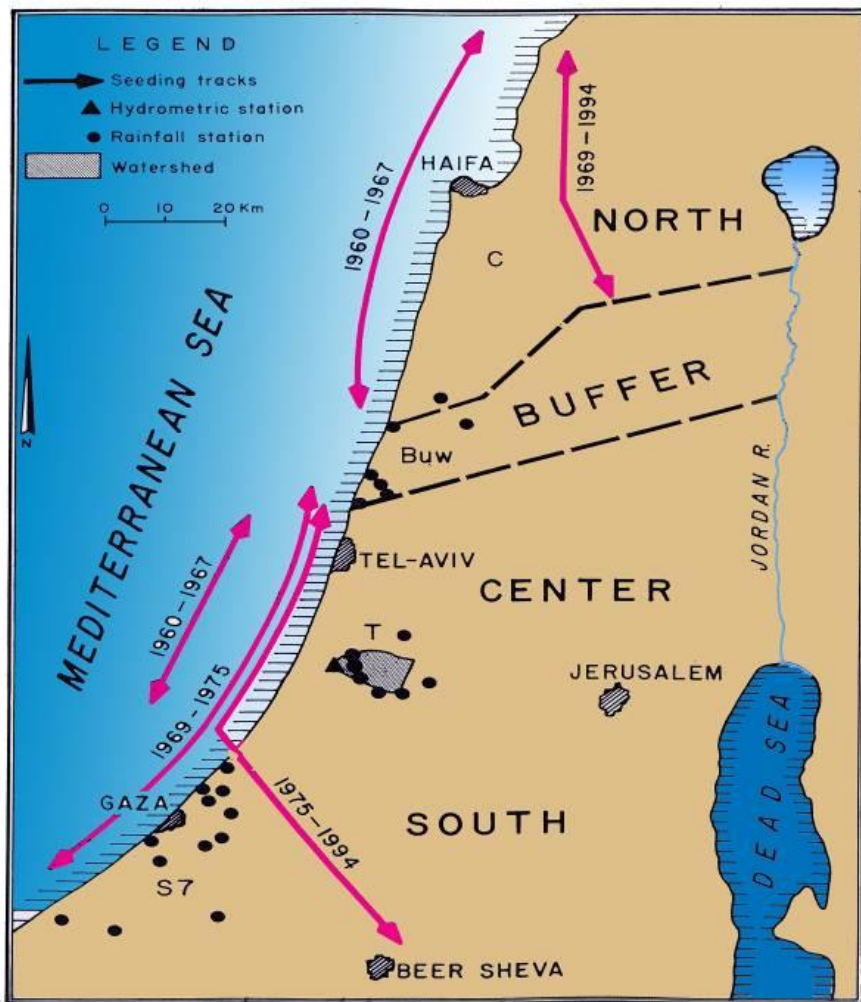
רשות המים



הגברת גשם – זריעת עננים

$$\langle \Delta S \rangle = 0? = \Delta P - \Delta ET - \Delta SR - \Delta GWF - \Delta HW$$

A. Ben-Zvi, A. Fanar/Journal of Hydrology 191 (1997) 161–178



זריעת עננים להגברת גשם מתבצעת שנה. 50 בישראל כבר יותר מ- בהצלחה מסוימת.

בצפון כנראה הגברת הגשם עובדת ומגבירה בכ 10% בממוצע ומתבצעת זריעה.

בדרום זריעת עננים כנראה לא כדאית



הקטנת ההתאדות – מאמץ הנעשה בעיקר ע"י צרכני המים
החקלאיים – חממות בתי רשת. בשנים האחרונות רואים גם יותר
מאגרי מים וקולחים מכוסים למניעת התאדות.

$$\langle \Delta S \rangle = 0? = \Delta P - \Delta ET - \Delta SR - \Delta GWF - \Delta HW$$





תפיסת מים עיליים במאגר עילי או תת קרקעי של מים שפירים ומניעת זרימה שלהם לים

$$\langle \Delta S \rangle = 0? = \Delta P - \Delta ET - \Delta SR - \Delta GWF - \Delta HW$$

ΔSR , דוגמא 1. סכר דגניה המונע זרימה של מי כנרת לירדן הדרומי וים המלח.





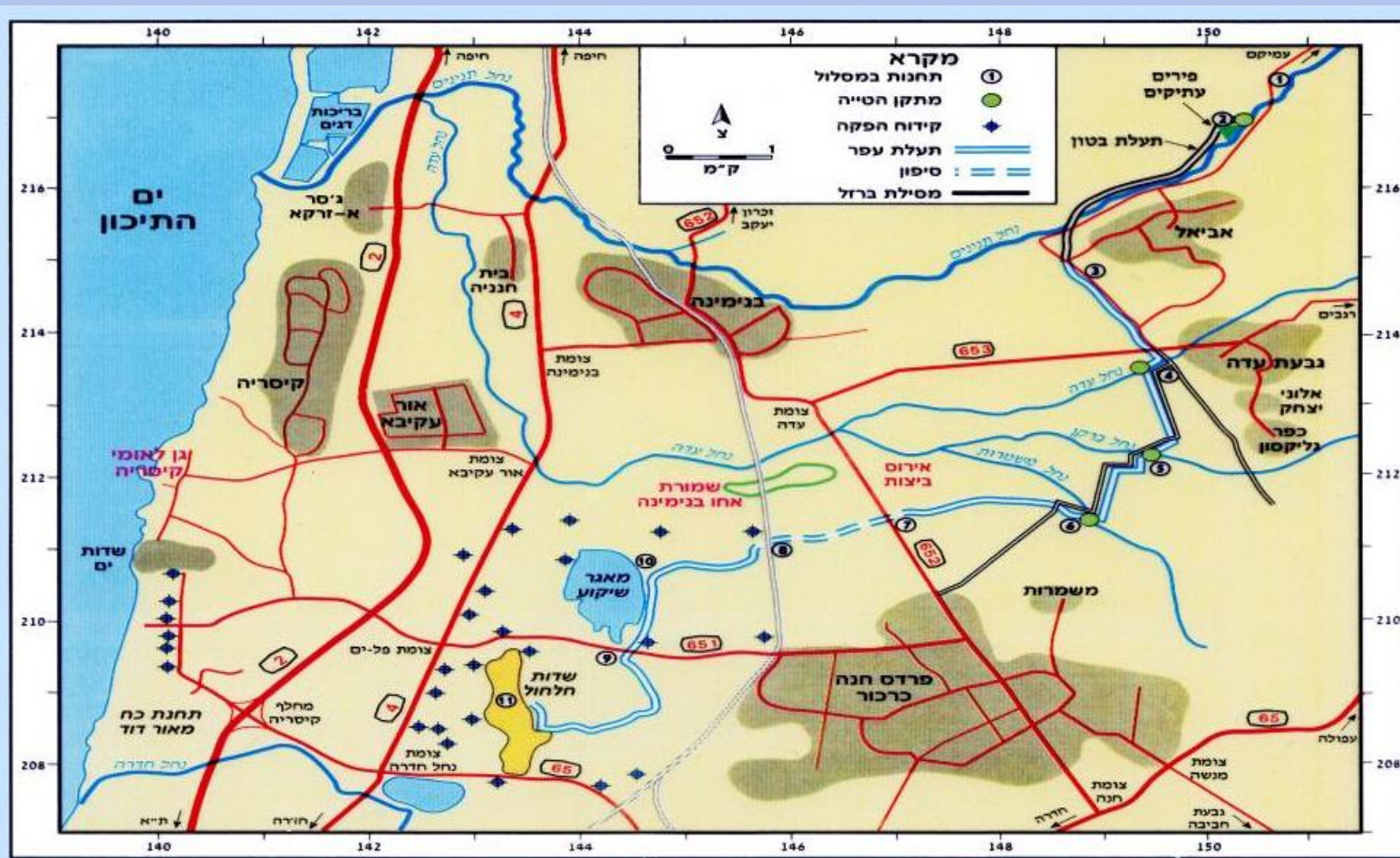
SR, דוגמא 2 – הפוך, תפיסת מים מלוחים ומניעת כניסתם לאוגר המים השפירים. **המוביל המלוח** מי מעיינות מלוחים נתפסים בגדה הצפון מזרחית של הכנרת ומולכים במובל סגור אל הירדן הדרומי



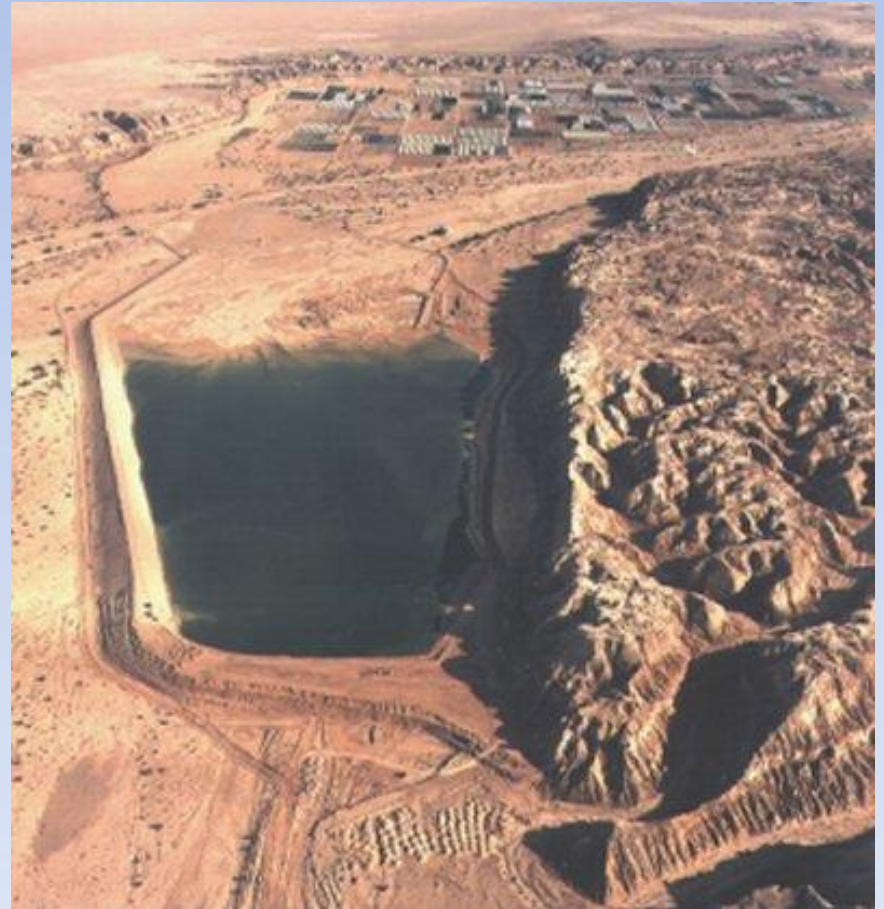


תפיסת זרימות שטפוניות בנחלים הזורמים לים התיכון והטיתם לאזורים בעלי קרקע מחלחלת, ואגירה זמנית באקוויפר

Δ SR, דוגמא 3, מפעל נחלי מנשה, תפיסת זרימות שטפוניות של מי נחל תנינים, עדה, ברקן ומשמרות, הטיתם לחולות חדרה-קיסריה לחלחול לאקוויפר החוף



תפיסת מי שיטפונות בערבה (לאגירה והשקיה ישירה או חלחול לאקוויפר) – מאגר עידן

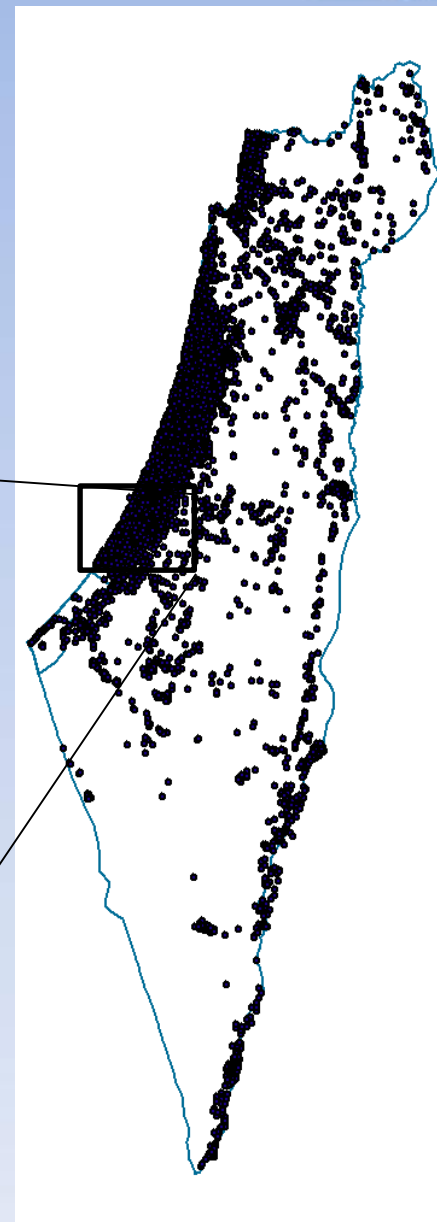
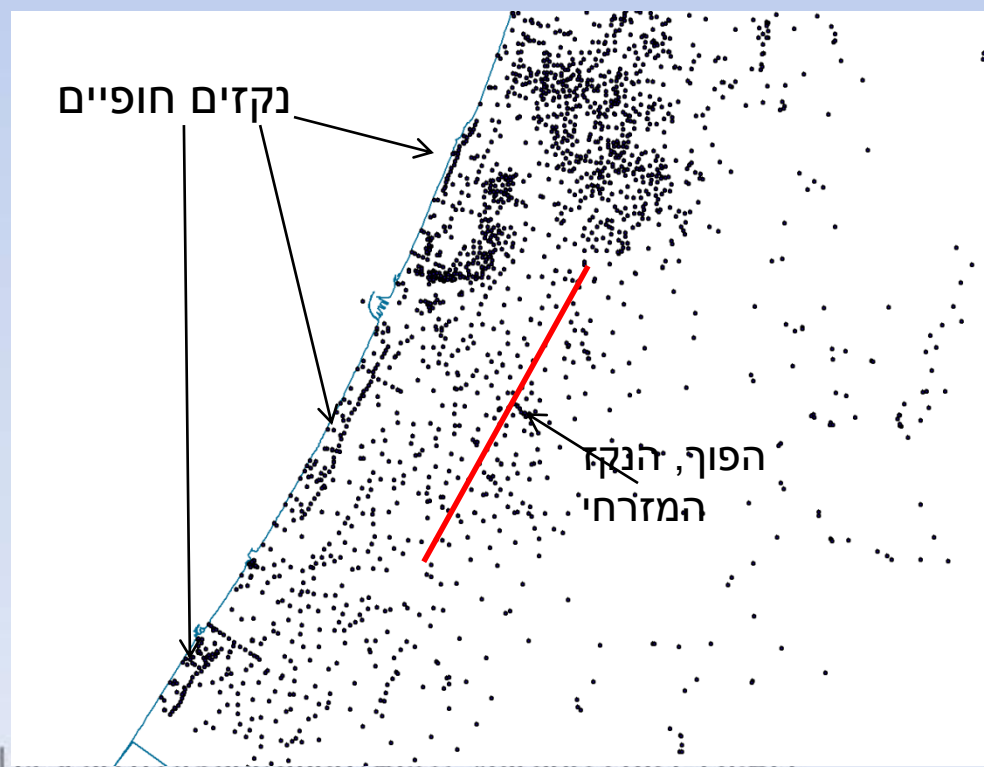




המאמץ המשמעותי ביותר הוא תפיסת מי התהום לפני זרימתם
התת קרקעית (או דרך נביעות סמוכות) לים, לבקעה או לים המלח.

$$\langle \Delta S \rangle = 0? = \Delta P - \Delta ET - \Delta SR - \Delta GWF - \Delta HW$$

זרימת מי התהום אחידה ואיטית יחסית לזרימות שטפוניות ואין
הפסדי אידוי מהמאגר, לכן תפיסה של נפחי מים גדולים אפשרית
בדרך זו. מי תהום הם מקור מים עיקרי באזורים סמי ארידיים.

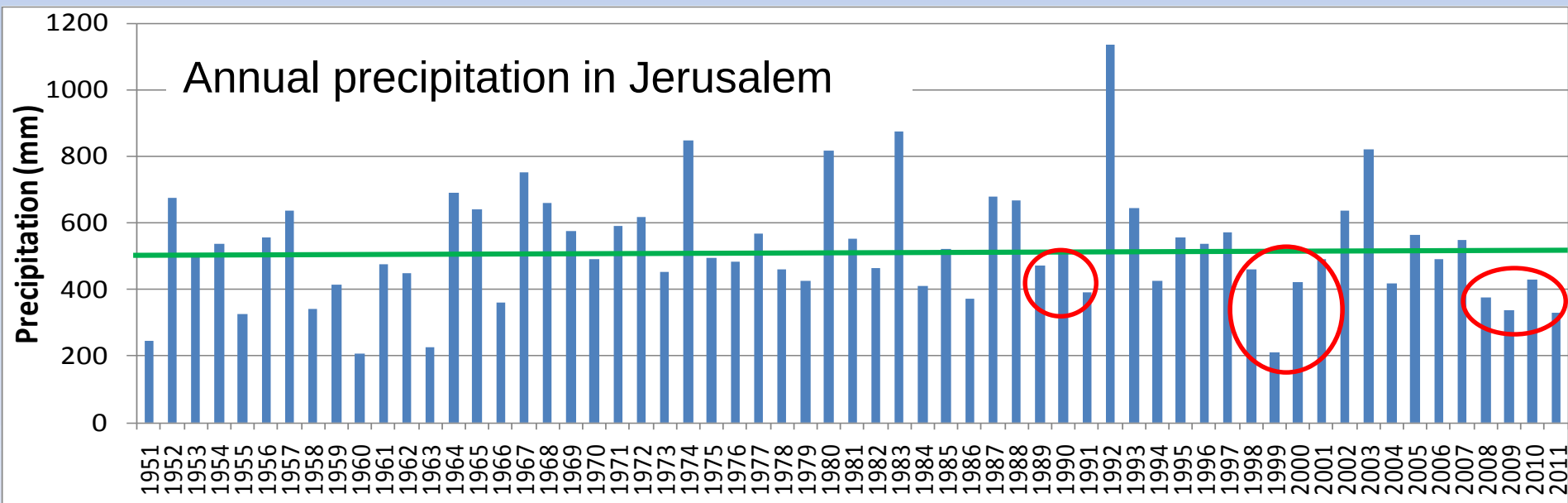




המניפולציות במחזור המים הטבעי ענו על רוב רובה של הדרישה
למים בישראל עד לסוף שנות ה-80, ועד היום הם רוב המים
המסופקים לצרכנים.

הגידול באוכלוסיה והישנות בצורות רב שנתיות בשנים
1989-1991, 1998-2001, 2004-2010.

הביאו למשברי מים שהאיצו תהליך של מציאת מקורות מים נוספים
מעבר ל"מטר השמים".





מקורות מים שאינם מופקים ממחזור המים השפירים הטבעי

1) שימוש במים שאינם שפירים לחקלאות

- **קולחים** (מי שפכים מטופלים)
- מים מליחים (המכילים מלחים אך לא מלוחים כמי ים)

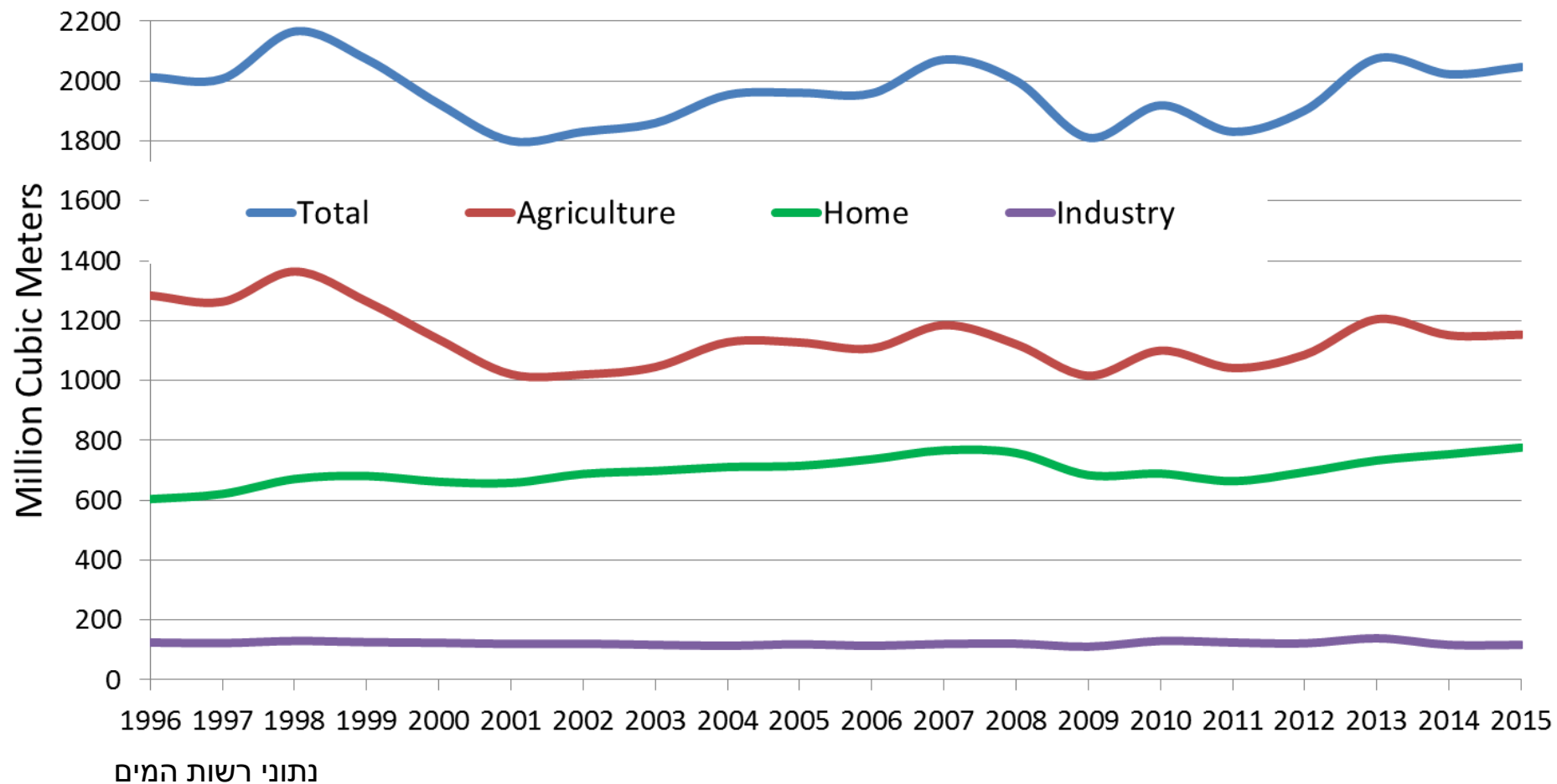
2) יצירת מים שפירים ממקור מים מלוחים (או מליחים)

- התפלת מים מליחים
- **התפלת מי ים**

Who uses the water (fresh and non-fresh)



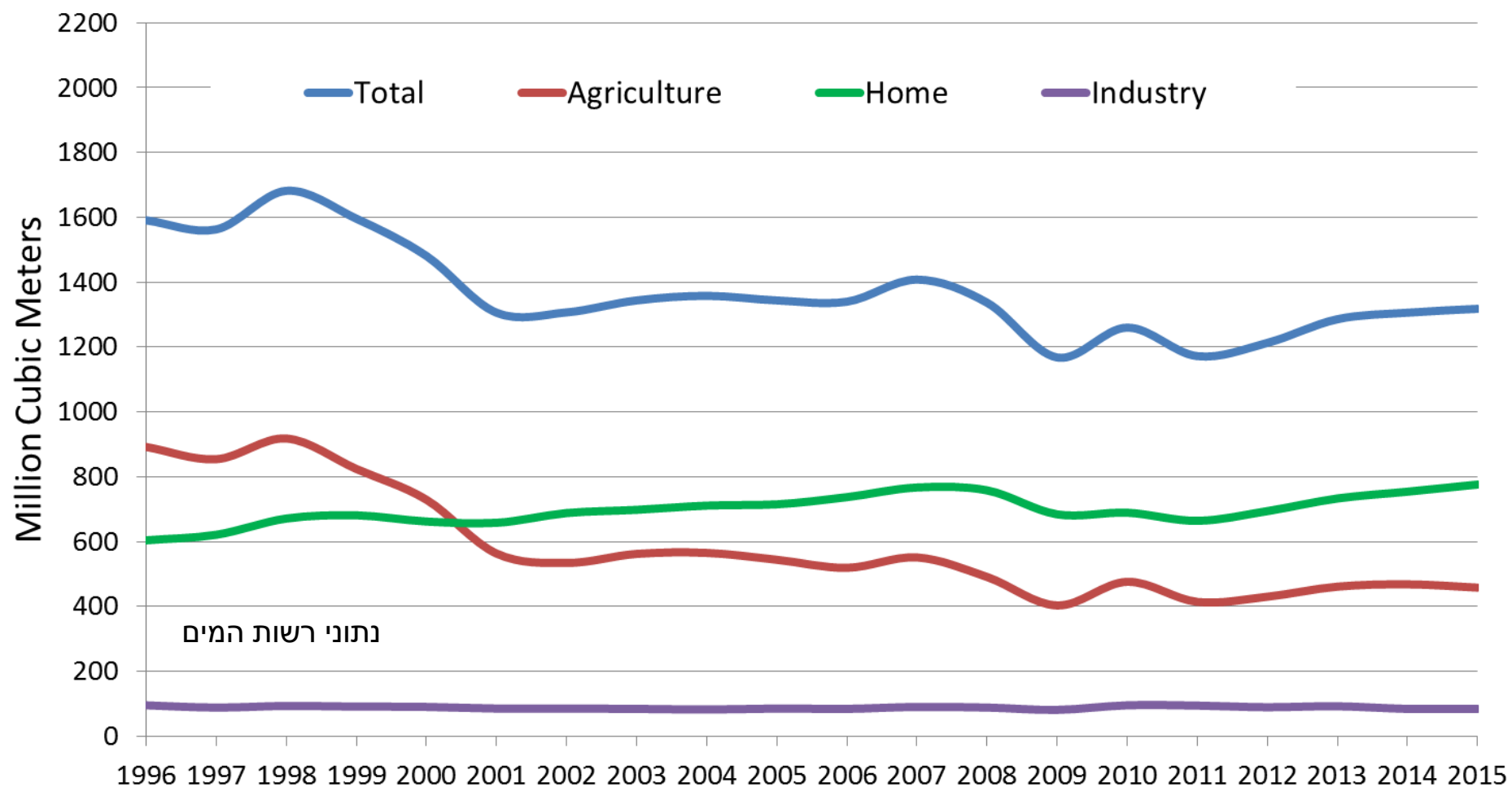
Total water consumption by sectors



Who uses the fresh water?



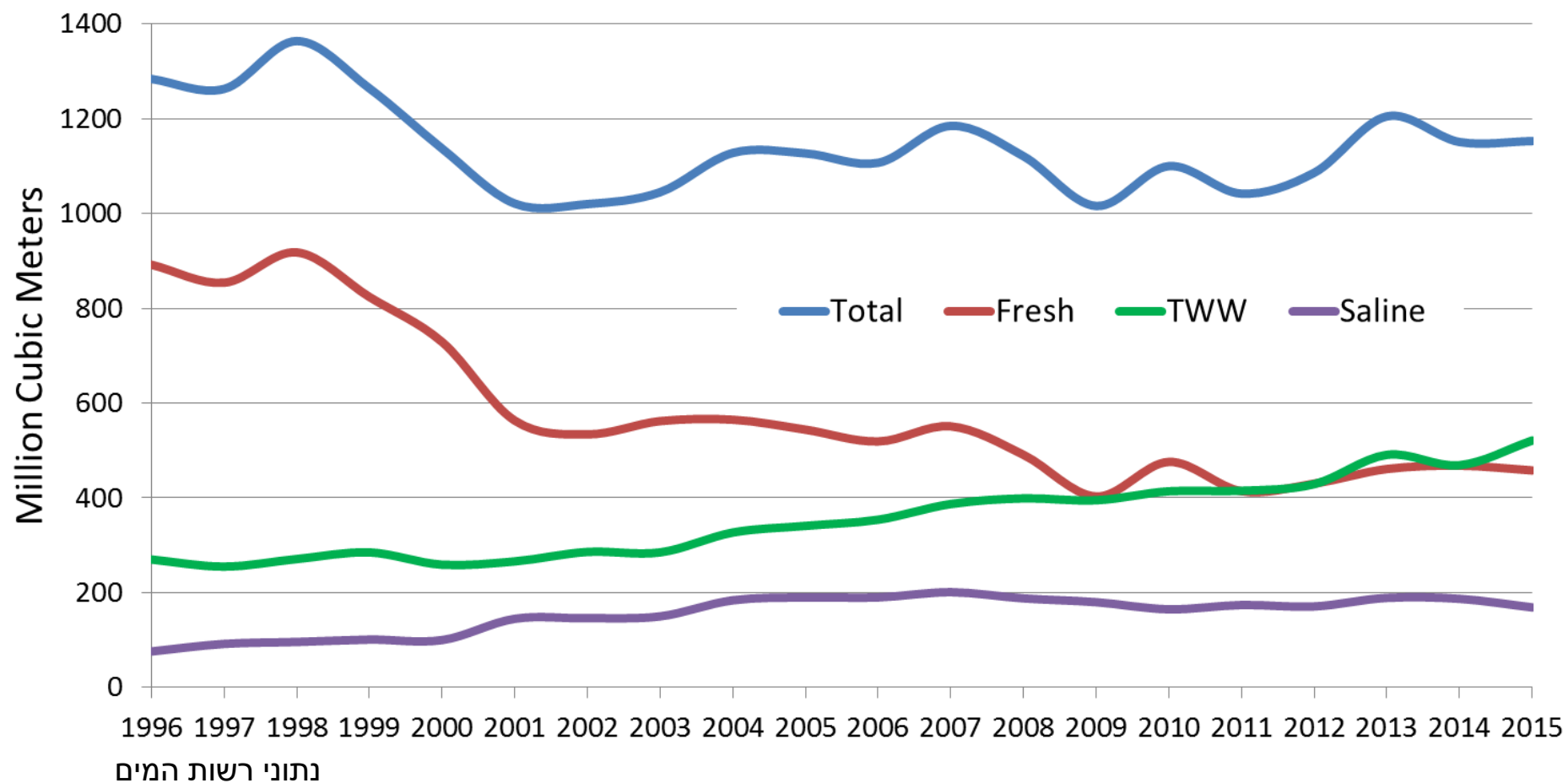
Fresh water consumption by sectors



Water for agriculture

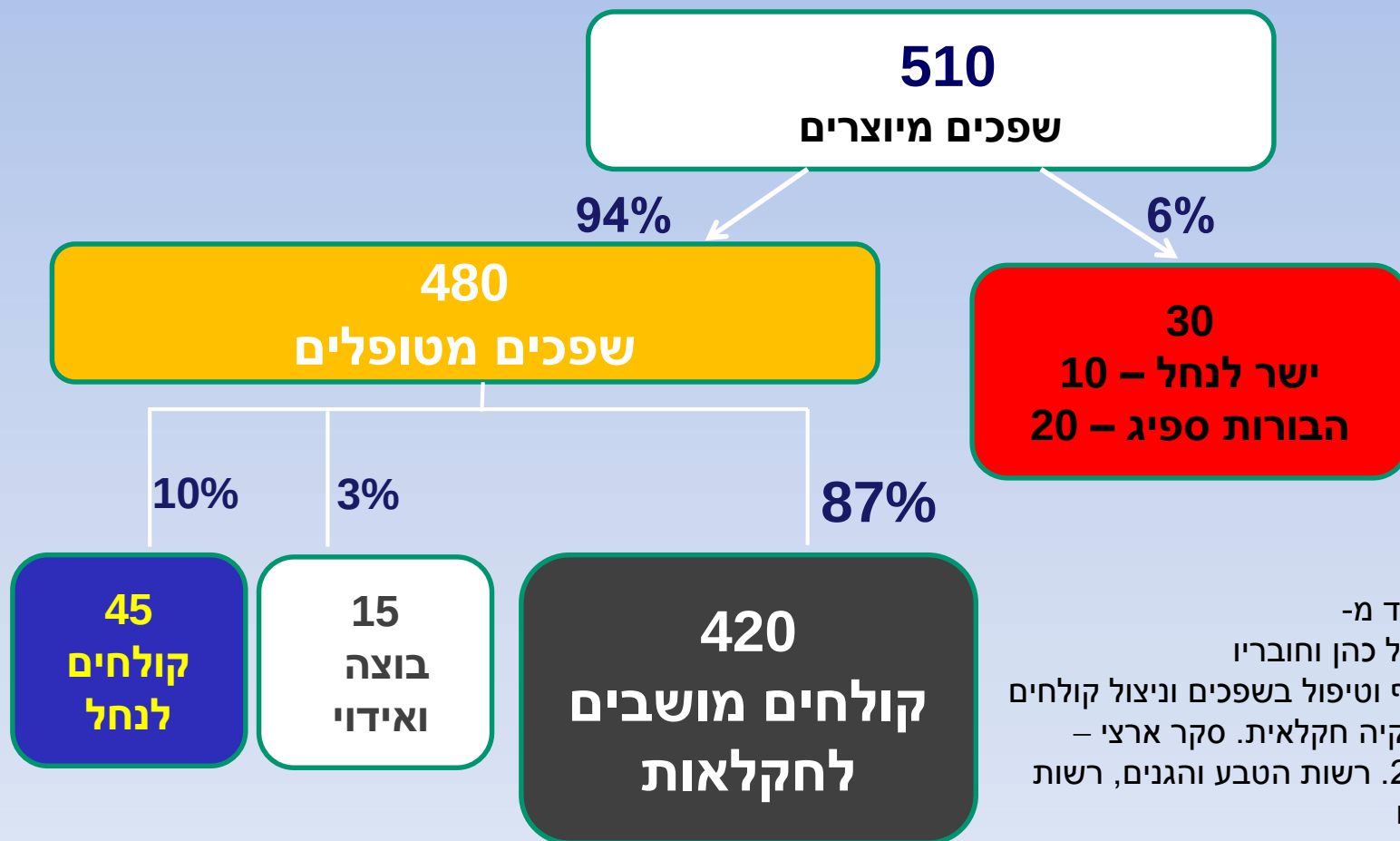


Agricultural water consumption





מאזן שפכים שנתי בישראל לשנת 2014 (במיליוני מ"ק שנת)





שימוש במי קולחים בחקלאות

כבר בשנות ה-50 של המאה הקודמת הוצבו תקנים להשקיה בשפכים\קולחים (הראשונים בעולם). חוק המים המשיב את השפכים לרשות הציבור איפשר לישראל להתפתח ביצירת מצב שכ 95% מהשפכים מטופלים רובם הגדול במכוני טיפול מודרניים ובמעל 80% מהשפכים המטופלים (קולחים) נעשה שימוש חוזר בחקלאות (שנייה בעולם ספרד עם כ 20%). תקנות הטיפול בשפכים הנהוגות כיום הן מתוחכמות יחסית ומבחינות בין קולחים שמוזרמים לנחל לאלה המופנים להשקיה

לנחל	להשקיה	ריכוז התקן
1.5	20	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)
200	10	E-coli (#/100ml)
1	5	Total P (mg/L)

מטעים, פרדסים, גידולי שדה שאינם למאכל אדם, גידולים המושארים להתייבש בשדה 60 יום לאחר ההשקיה האחרונה אפשר להשקות בקולחים רגילים, ירקות אסור.

מי שפד"ן נחשבים למים שפירים מבחינת ההשקיה וניתן להשקות איתם ללא שום מגבלה.



השפד"ן – שימוש בשפכי מטרופולין דן (מורחב) ליצירת מים להשקייה בלתי מוגבלת בנגב המערבי

- מספר תושבים מחוברים - $2,000,000 <$
- נפח שפכים שנתי $\sim 140,000,000$ מ"ק
- נפח קולחים המושב לחקלאות $\sim 130,000,000$ מ"ק
- טיפול שיניוני – בוצה משופעלת

• Soil Aquifer Treatment (SAT) טיפול שלישוני – קרקע-אקוויפר
• קו קולחים באורך 130 ק"מ (הקו השלישי) מוליך את כל מי השפד"ן לאחר שהיו כשנה בממצע בתת הקרקע במשור החוף לנגב המערבי. ברמה הלאומית מפעל זה הפך את הנגב המערבי לאזור החקלאי המשמעותי ביותר על חשבון מישור החוף (לטוב ולרע)

מתקן הטיפול השיניוני



טיפול שלישוני אגני חלחול קולחים לאקוויפר



A red tractor is pulling a red combine harvester through a field. The harvester is filled with harvested grain. The field is tilled, and the sky is overcast.





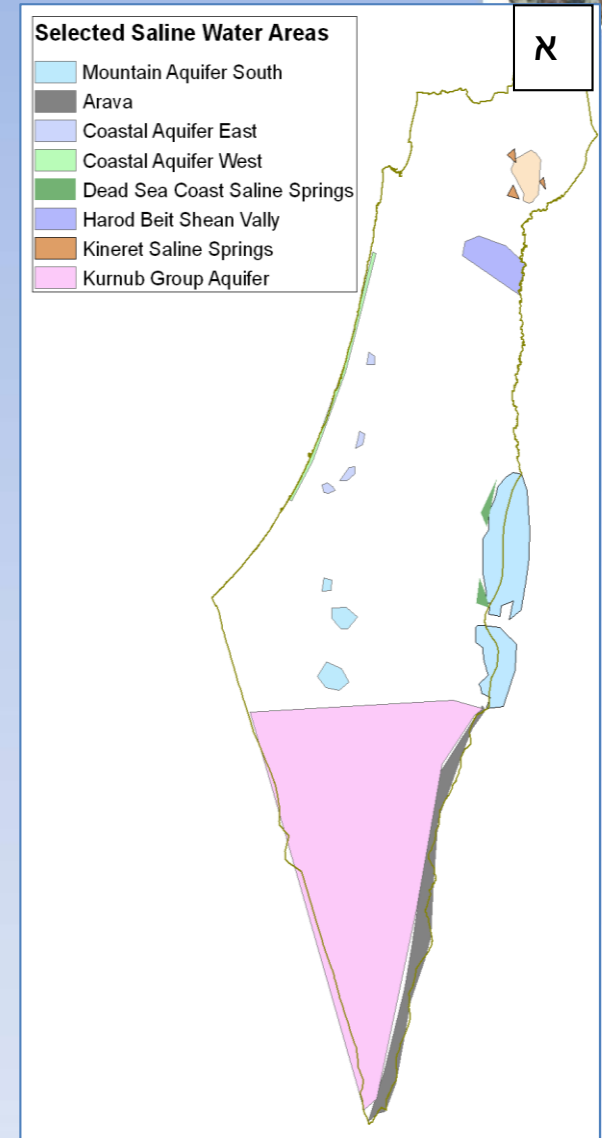
שימוש במים מליחים בחקלאות

למה?

ישנם נפחים משמעותיים של מים מליחים ברובם טבעיים, בנגב ובערבה, ובהיעדר מים שפירים זמינים, פיתרון להתיישבות חקלאית.

המו"פ החקלאי והחקלאים הראו שניתן לגדל תמרים, ירקות, זיתים, תבלינים ועוד, במים מליחים – מה שהפך את הערבה לאזור חקלאי חשוב, כמו גם רמת נגב ואזור ניצנה.

השקיה במים מליחים צורכת יותר מים ומאיצה את המלחת מי התהום (ערבה).





התפלת מי ים

איך? אוסמוזה הפוכה בלחץ גבוה (~ 70 בר) השבה של ~ 50%, טיפול מקדים - סינון, בתר טיפול – תוספת קלציום ואלקליניות והפחתת בורון. מתקנים גדולים לחוף הים התיכון – תימלחות בחזרה לים. מחיר מוצר 2-3 ₪ למ"ק ביציאה מהמתקן.

הקמת מתקני ההתפלה
באמצעות חוזי

Build Operate Transfer (BOT)
משקיעים פרטיים/ציבוריים
משיגים את הכסף, מתכננים,
בונים את המתקן, מפעילים אותו
~ 25 שנה, ואז מעבירים אותו
למדינה.

המדינה מתחייבת לקנות נפח
מים קבוע, במחיר קבוע לתקופת
ההפעלה. במקרה ולא רוצה
לקנות את המים משלמת סכום
קבוע גם על מים שלא נקנו
(כמחצית ממחיר המים).

Figure 4: Ashkelon desalination plant.



Mediterranean seawater desalination capacity – 2016

570 Mm³/yr

Operating since 2010 – 127 Mm³/yr

Operation 2014 – 150 Mm³/yr

Operation since 2007 at 30 Mm³/yr
Since 2014 at 90 Mm³/yr

Operation 2015 – 85 Mm³/yr

Operation 2005 –
118 Mm³/yr

Haifa

Pressure pipes

Open channel

Hadera

Tel Aviv

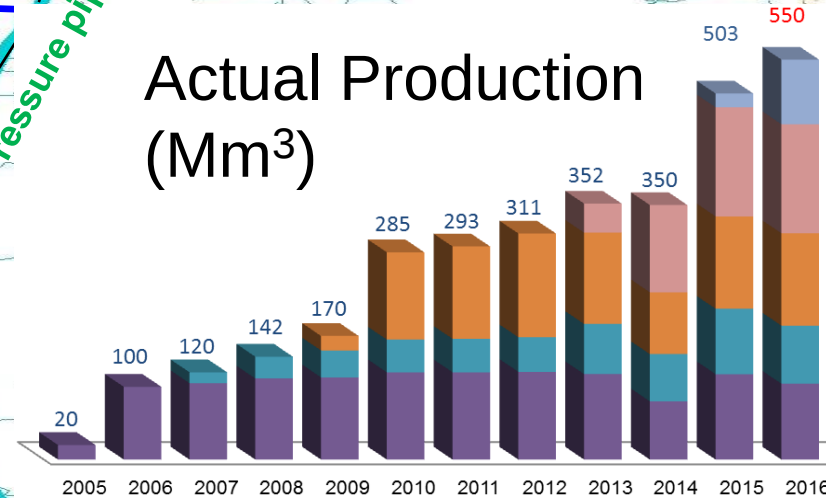
Sorek

Palmachim

Ashdod

Ashkelon

Actual Production
(Mm³)



Jerusalem

נתוני רשות המים



מתקן ההתפלה באשקלון

תחילת הקמה:

ינואר 2003

תחילת הפעלה:

אוגוסט 2005

תפוקה כיום:

120 מלמק"ש



תחילת הקמה: ינואר 2005

תחילת הפעלה: יוני 2007

30 מלמק"ש

2011 - 45 מלמק"ש

2014 - 90 מלמק"ש

מתקן ההתפלה בפלמחים



Agricultural Research Organization (ARO), Volcani Center, ISRAEL

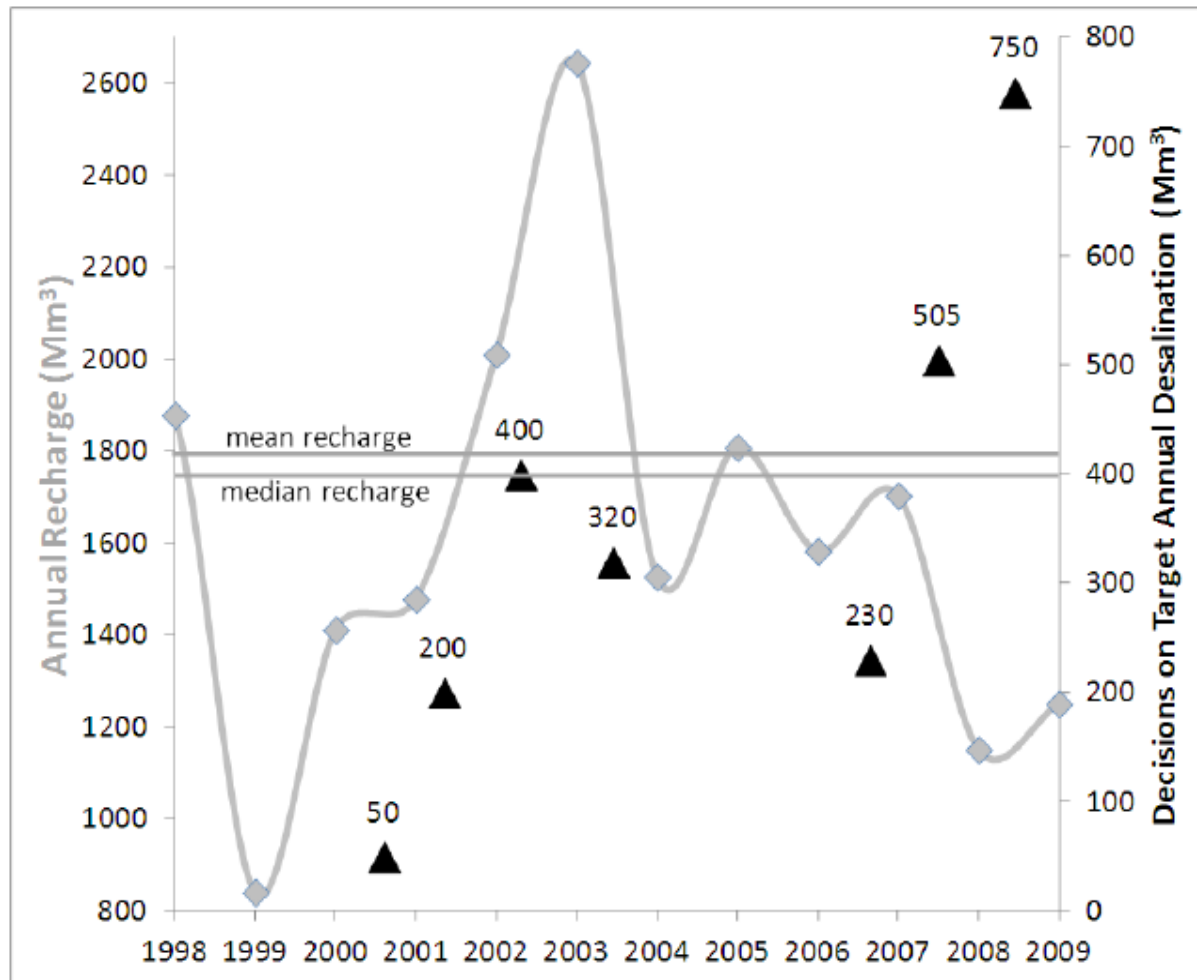


מתקן ההתפלה בחדרה

תחילת הקמה: יוני
2007
תחילת הפעלה: דצמבר
2009
תפוקה: 130 מלמק"ש



כמה מים להתפיל? (או לאיזה יכולת התפלה כדאי להגיע?) החלטות ארוכות טווח מושפעות ממזג אוויר (אקלים?) בעבר הקרוב



Stanhill et al., 2015

החלטת ממשלה האחרונה בעניין בניית מתקני התפלה התקבלה ביוני 2008. ההחלטה הייתה לפתח יכולת התפלת מי ים של 585 מלמ"ק בשנה עד 2013, ו-750 מלמ"ק עד 2020. ב-2018 הגענו ליכולת של 600+ מלמ"ק בשנה. עד עתה הייתה הורדה משמעותית אחת בכמות המים המותפלים ביחס ליכולת ב ינו'-פב' 2014.

ביוני 2018, שוב אחרי בצורת ממושכת, החליטה הממשלה, להגדיל את יכולת ההתפלה ל 900 מלמ"ק עד 2024, ול-1100 מלמ"ק עד 2030. השלב הראשון (עד 2024) קונקרטי ושני מתקני התפלה כבר בתכנון: (1) בגליל מערבי (מחנה שרגא). (2) ליד מתקן התפלה שורק יוקם מתקן שורק ב'.

כבר ב-2019, מתוכנן להתפיל 660 מלמ"ק באמצעות 5 המתקנים הקיימים, ע"י תוספת תשלום למתקנים והפעלתם בספיקות גבוהות גם בזמנים של מחירי חשמל גבוהים (בוקר-צהרים, אמצע שבוע - תעוז). בשל החורף הגשום – לא בטוח שיתבצע

עוד כמה הערות על ההתפלה



- מערכת ההולכה של המים לצרכנים מתפתחת בקצב איטי לעומת מתקני ההתפלה, חלוקת המים לא מיטבית, תשתפר עם הזמן.
- כמה ברת קיימא היא החזרת התימלחת לים?
- השבת המינרלים למים המותפלים – שאלת המגנזיום
- מחיר האנרגיה, ומחירי המים בכלל



מסקנות

- מחזור המים הטבעי מאפשר ניצול של מים שפירים לטובת האדם ע"י טיפול בכל אחד ממרכיבי המאזן. קיימים הזדמנויות וסיכונים בניהול גירעונות ועודפים בגלל השונות של מטר השמים.
- פותחו מקורות מים נוספים מעבר למה שהטבע מאפשר: במיוחד שימוש חוזר בקולחים והתפלת מי ים.
- אלמנטים ריכוזיים במשק המים (חוק המים, תכנון ארצי, מקורות, רשת המים הארצית) אפשרו פיתוח מקורות מים לא טריוויאליים בספיקות מרשימות (בהשוואה למדינות אחרות).



מקווה שלמדתם משהו

בכל מקרה תודה על ההקשבה
דני קורצמן