מדינת ישראל

משרדי הממשלה

מס' תיק מקורי

מחלקה

מקורות חברת מים בע"מ
מהנדס ראשי - פרסומים

15 / 7

בעיות תכנון לטווח ארוך במשק המים הישראלי

3 / 1970 - 3 / 1970

ת ה " ל
תכנון המים לישראל בע"מ

בעיות תכנון לטווח ארוך
במשק המים הישראלי

קובץ מעבודות היחידה לתכנון לטווח ארוך משנת 1969/70

תל־אביב
מרץ 1970
HG/70/026

ת ה " ל
תכנון המים לישראל בע"מ

אגף מחקר ופיתוח - היחידה לתכנון לטווח ארוך

בעיות תכנון לטווח ארוך
במשק המים הישראלי

קובץ מעבודות היחידה לתכנון לטווח ארוך משנת 1969/70

תל־אביב
מרץ 1970
HG/70/026

מ ב ו א

קובץ זה כולל מספר תזכירים שנושאיהם היו בטיפולה של היחידה לתכנון לטווח ארוך (אגף מחקר ופיתוח) בתה"ל בשנת 1969/70. הטיפול בנושאים אלה הינו חלק מפעילותה של יחידה זאת במחקר ובתכנון של משק המים הארצי.

הקובץ כולל נושאים שונים אשר המאחד אותם הוא עיסוקם בנתוני יסוד של התכנון לטווח ארוך של משק המים הישראלי. ברירת הנושאים המקובצים כאן נעשתה על ידינו על סמך הערכתנו כי בירורם חיוני לתכנון הנדון בגלל חשיבותם הסיגולית ובגלל הצורך הדחוף בפיתוחם ובקידומם.

ברירת הנושאים הנכללים בקובץ זה, אופן הטיפול בהם וכן הממצאים, המסקנות וההמלצות שכאן - הינם באחריות היחידה לתכנון לטווח ארוך בתה"ל ואינם מחייבים בפרסומם כאן גורמים אחרים כלשהם.

ברוב הנושאים הסתייענו ביחידות מקצועיות שונות של תה"ל ובעיקר ביחידת חקר ביצועים, יחידת המחשב, היחידה הכלכלית והאגף ההידרולוגי - כמפורט בתזכירים השונים שבקובץ זה. כמו כן הסתייענו בבקורתו של מר י. ורדי, מנהל האגף למחקר ופיתוח.

מתוך פעולות היחידה לחקר ביצועים יצויין במיוחד חלקו הרב של ד"ר עודד לוין ז"ל אשר ייעץ והנחה בקשר לכמה מהעבודות שכאן עד לנופלו בשירות מילואים ברמת הגולן ב-12 ליוני 1969.

תזכירי הקובץ חוברו ונערכו ע"י פ. דלינסקי וא. קלי.

העריכה הסכנית של קובץ זה וכן הטיפול הסכני באיסוף הנתונים המופיעים בו ובעריכתם - נעשו בידי מר דוד קורן. שרטוטי הקובץ נעשו בידי הגב' יהודית קטן.

אליעזר קלי

מרץ 1970 מנהל היח' לתכנון לטווח ארוך

רשימת התזכירים בקובץ

(תוכן כל תזכיר מפורט בראש התזכיר)

1. מודל סימולציה של מערכת כנרת - שורון

2. בעיית המחסור במשק המים הארצי

3. המלחת הכנרת בתקופה 1968 - 1912

4. חיזוי מליחות מי הכנרת הנשאבים אל המפעל הארצי

5. סקר גורמים המשפיעים על צריכת המים הביתית ע"פ נתוני 28 ישובים עירוניים בשנת 1968/69

6. הגשם המלאכותי ומשמעותו לגבי משק המים הארצי

7. הערכת פעולות הגברת המטר בצפון הארץ

8. תחזית דמות משק המים הישראלי וצריכת מי ים מותפלים בסוף המאה

1.

1. מודל סימולציה של מערכת כנרת - טורון

ה ק ד מ ה

מודל הסימולציה של מערכת כנרת-טורון הוזמן מהיחידה לחקר ביצועים מצד היחידה לתכנון לטווח ארוך, על מנת לבחון את התגובות של רכיבי המערכת לשינויים הנדסיים ותפעוליים אפשריים.

דו"ח המפרט את שתי תכניות המחשב של המודל, מאת ד. י. גלוק וק.יוסופוביץ, הוצא לאור בשפה האנגלית ביולי 1969 (פ.מ. 896)

פרק "ג" של התזכיר הנוכחי הוא תרגום עברי של קטעים מסוימים מהדו"ח האמור, עם שינויים קלים שבאו בעיקר כדי להסביר אי-אלה מונחים.

ייעוץ בקשר לתכנון המודל נתקבל מאת ד"ר ע. לוין ז"ל. ה"ה א. קלי (מנהל היחידה), מ. קנדל ו-פ. דלינסקי אחראים לבניית המודל על כל תכונותיו ואילוציו.

תזכיר זה נערך על ידי פ. דלינסקי.

ה ת ו כ ן

עמוד

ט ב ל א ו ת

נספחים לדו"ח

מודל סימולציה של מערכת כנרת-טורון

א. מבוא

1. מודל הסימולציה המתואר בתזכיר זה פותח לשם הכרת אופן הפעולה של "מערכת כנרת-טורון". הכרה כזאת דרושה לשם ייעול ההפעלה וייעול ההרחבה של מערכת זאת. נושאים כגון בחינת אלטרנטיבות הנדסיות שונות הקשורות בהגברת ניצולם של יבולי המים בכנרת, או בניצולו האופטימלי של אקוויפר הטורון, נזקקים בחישוביהם למודל זה.

2. בשלב הנוכחי פותח פוטנציאל המים בישראל לצורכי הספקה כדי 85% מהיקפו הארצי. מקורות המים הנותרים הם בבחינת מקורות שוליים המצריכים השקעות גדולות יחסית לפיתוחם. ייקור ההשקעות עשוי לנבוע מגורמים כגון ריחוק המקור מאזורי הספקה, איכות מים ירודה או זמיניות בלתי רצופה.

3. היבול השנתי הממוצע (הכניסה בניכוי ההתאדות) בכנרת הינו כ-600 מיליון מ"ק, אולם יבול זה איננו קבוע והוא משתנה בתחומים רחבים, בין 200 ל-1,400 מיליון מ"ק לשנה. בשנים של יבולים גדולים נאבדות כמויות ניכרות של מים מתוקים מהכנרת מחמת גלישות לירדן התחתון. יוצא אפוא שחלק מסוים של יבול המים הממוצע בכנרת הינו בבחינת מים בלתי זמינים .

4. יבולי המים הגדולים של הכנרת חלים על רקע אקלימי הנתון בהתאמה עם האירועים האקלימיים ביתר חלקי הארץ. היבולים הגדולים וההגלשות הגדולות של מי הכנרת נרשמים בדרך כלל בתקופות גשומות במיוחד, העשויות לחזור במשך מספר שנים רצופות. קיים מתאם בין יבולים גדולים בצפון ליבולים גדולים במרכז הארץ. יוצא אפוא - בסבירות סטטיסטית מסוימת - שהמאגרים במרכז הארץ המיועדים לאגירת עודפי מי הכנרת, עשויים להיות מלאים דווקא בתקופות בהן מצויים עודפי מים בצפון הארץ.

5. עם השלמת "מוביל המים הארצי" נוצרה מערכת מים ארצית המאפשרת העברות והחלפות מים בין-אזוריות. מתוך שילוב של תת-מערכות, הוגברה השפעת הגומלין בין מרכיבי המערכת הארצית. אופיה המורכב של המערכת הארצית אינו מאפשר, במקרים רבים, ניתוחים הנדסיים בודדים של מפעל זה או אחר .

כאשר באים באמצעות המודל לחקור, למשל, את הגברת ניצולם של יבולי הכנרת, ברור שהכרחי הוא שהניתוח ההנדסי ייעשה באופן משולב עם יתר הרכיבים העיקריים של המערכת הארצית.

6. מתוך האמור לעיל מסתבר שהמודל הנדון חייב להקיף, נוסף על הרכיבים הפיזיים והמנהליים המקובלים (כגון כושר הובלה הידראולי, אגירה, הפסדים במאגרים, איכות של מי ההספקה) גם יחסים הידרו- מטאורולוגיים בין אגני המים הנוגעים לדבר. תיאור מפורט של המתאמים ההידרו- מטאורולוגיים הבין אזוריים. יובא בהמשך התזכיר. סכימה של המערכת כנרת - טורון מובאת בנספח מס' 3.

7. נוסף על הנאמר ביחס לכנרת, איפשר המודל לראשונה לימוד של נושאים חיוניים כגון:

א. התנהגות אקוויפר טורון-קינומן כרכיב של המערכת הארצית

ב. השפעת שינויים במכסות המים על משטר הספקת המים

ג. השפעתן של החלטות מנהליות לגבי איכות המים על מבנהו של משק המים.

המודל סיפק נתונים ביחס לממדי המחסור בתנאי הפעלה שונים. המחסור מבטא את ההפרש שבין מערכת של מכסות מים מסוימות לבין כמות המים המסופקת בפועל. כמו כן נרשמו לכל סידרה של 30 שנה, שנות ההתרוקנות של הטורון ומספר השנים שהשאיבה מהכנרת דרומה הופסקה. נקבעה ההשפעה על כמות המים המסופקת הנובעת משינוי ברמת המליחות המותרת להשקיה בדרום.

תזכיר זה אינו מנתח את כל ממצאי ההרצות, מאחר והוא בא בעיקר לתאר את המודל גופו, ולהציג ממצאים הנוגעים לשינויים במשטר התפעול של הכנרת.

בנספח מס' 2 מוצג סיכום של 55 הרצות של מודל הסימולציה.

ב. מקורות המים הכלולים במודל הסימולציה

1. מודל הסימולציה מקיף שני מקורות המים העיקריים של משק המים הארצי: מי הכנרת מחד, ומי האקוויפר של שורון-קינומן מאידך. שני מקורות המים האלה מהווים יותר מ-60% של פוטנציאל המים הכללי - 900 מתוך 1,450 מיליון מ"ק (מלמ"ק) לשנה.

2. היבול הרב-שנתי הממוצע של הכנרת הוא לפי נתוני "מאזן המים של הכנרת"(*) 596 מיליון מ"ק, והוא משקף את התקופה שבין שנת 1912 לשנת 1961. ממוצע דומה נתקבל לפי נתונים יומיים של כניסות לכנרת עבור התקופה של 19 שנה, מ-1949 עד 1968. מסתבר שהיבול השנתי הממוצע בתקופה זו הסתכם ב-504 מיליון מ"ק. אולם יש להוסיף למספר זה צריכה במעלה האגם של כ-100 מיליון מ"ק. ראוי לציין שלאור הכניסה הגבוהה מאוד של שנת 1968/69, עשויים ממוצעים אלה לעלות באופן משמעותי.

3. סטיית התקן של הכניסות השנתיות לכנרת, כפי שנרשמו בתקופה שבין 1949 ל-1969 היא 229 מיליון מ"ק לשנה. נציין שערך זה משקף את הכניסה לשנת 1968/69. סטיית התקן עבור התקופה שבין 1912 ל-1962 נרשמה כ-196 מיליון מ"ק לפי "מאזן המים של הכנרת". בטבלה הבאה מובאים נתוני פילוג שכיחות של יבולי מים שנתיים בכנרת המבוססים על התקופה שבין 1912 ל-1962 נרשמה כ-196 מיליון מ"ק לפי "מאזן המים של הכנרת". בטבלה הבאה מובאים נתוני פילוג שכיחות של יבולי מים שנתיים בכנרת המבוססים על התקופה שבין 1912 ל-1968/69. העקום של פילוג זה מובא בנספח מס' 1.

טבלה 1: יבולים שנתיים של הכנרת ושל האקוויפר השורון-קינומני בהסתברויות שונות לפי נוסחת פירסון מס' III**

אחוז ההסתברות	יבולים שנתיים של הכנרת מלמ"ק	יבולים שנתיים של האקוויפר השורון-קינומני מלמ"ק
0.10	182	- 144
1.00	239	- 41
5.00	312	+ 53
10.00	359	+ 104
20.00	423	+ 164
50.00	586	+ 287
80.00	796	+ 412
90.00	926	+ 478
95.00	1,043	+ 534
99.00	1,298	+ 641
99.90	1,625	+ 764
99.99	1,924	+ 868

(*) מאזן המים של הכנרת. תה"ל 1964, פ.מ. 369

(**) Water Supply and Waste Disposal, John Wiley and Sons Inc., N.Y., Chapman and Hall Limited, London, pp 175-180.

מתוך הטבלה הנ"ל ניתן להבחין בהשתנות הגבוהה של היבולים השנתיים המגיעים לכנרת. למשל יש לחשוש-בהסתברות של 10% - מפני שנת בצורת בה היבול השנתי לא יהיה גדול מכ-360 מיליון מ"ק. באותה הסתברות ניתן לצפות ליבול שנתי שיעלה על 920 מיליון מ"ק.

(4 מקור המים השני שנכלל במודל הסימולציה הוא האקוויפר של תצורת טורון קינומן. שטחי המילוי החוזר הטבעי של אקוויפר זה משתרעים מנחל התנינים בצפון ועד לקו הגשם של 400 מ"מ בדרום בקירוב. הממוצע השנתי של המילוי החוזר הטבעי בתקופה שבין 1932/33 ל-1967/8 הוא 289 מיליון מ"ק לשנה, ואילו סטיית התקן של המילוי החוזר הטבעי לאותה תקופה - 147 מיליון מ"ק לשנה. בטבלה 1 מוצגים ערכי השכיחות של היבולים השנתיים המגיעים לאקוויפר הטורון - קינומן.

(5 בדומה לתופעות טבע רבות, אין הפילוג הסטטיסטי המתקבל עבור היבולים השנתיים של הכנרת סימטרי לגבי הממוצע. ביטוי לאי סימטריות זו הינו ה Skew (נטייה) של הפילוג לפי הנוסחה:

$$\text{Skew} = \frac{\bar{X} - \text{Mode}}{\text{Standard deviation}}$$ סימטריות.

ה-Mode הינו הערך השכיח ביותר בו בזמן ש- $\bar{X}$ הוא הממוצע האריתמטי של היבולים השנתיים. הנטייה של פילוג היבולים בכנרת הינה 0.480 עבור התקופה שבין 1912/13-1968/69; פילוג היבולים של הטורון הינו למעשה נורמלי כאשר הנטייה היא 0.048.

(6 בחינה השוואתית של נתוני המילוי החוזר עבור שני האגנים המדוברים, מעלה את הממצאים הבאים:

א. בשנים של "יובש" בכנרת (יבולים שנתיים שאינם עולים על 399 מיליון מ"ק) שוררים תנאי בצורת גם באגן הטורון - קינומן.

ב. בשנים של יבולים שנתיים גבוהים בכנרת (מעל ל-900 מיליון מ"ק) היו גם היבולים באגן הטורון בד"כ, גבוהים במידה ניכרת מהממוצע הרב-שנתי.

ג. בתחום הביניים של יבולים שנתיים בכנרת הנעים בין 401 ל-800 מיליון מ"ק לשנה, נרשמים ההפרשים המוחלטים הגדולים ביותר בין יבולי הכנרת ויבולי הטורון, כשהם מבוטאים כסטיות מהממוצע הרב-שנתי של כל אגן. בשנת 1955/56 למשל יבול

הכנרת 450 מיליון מ"ק (-24%) לעומת היבול בטורון של 518 מיליון מ"ק (+64%). נטייה זו - להפרשים גבוהים בין הסטיות מהממוצע של שני האגנים - מוצאת את ביטויה בערכי סטיות התקן הגבוהות שנרשמו עבורם בתחום הנדון בין 401 ל-800 מיליון מ"ק.

טבלה 2 מסכמת את הנתונים העיקריים בנדון.

ד. לאור המוסבר לעיל, ברור היה למתכנני מודל הסימולציה שקיים צורך לקבוע קשר בין הכניסות השנתיות לשני מקורות המים במודל. הדרך בה נעשה הדבר מפורטת בפרק ג'.

ט ב ל ה מס' 2

יבולי הכנרת ואגן הסורדן מחושבים כסטייה מהממוצע הרב-שנתי עם חלוקה לתחומים ולפי סדר עולה

מס' סדורי	שנה	יבולי כנרת (0 - 399)				יבולי כנרת (400 - 799)				יבולי כנרת (800 ויותר)			
		יבולי כנרת מלמ"ק/שנה	יבולי סורדן מלמ"ק/שנה	סטייה מהממוצע הרב שנתי של הכנרת ב-%	סטייה מהממוצע הרב שנתי של הסורדן ב-%	יבולי כנרת מלמ"ק/שנה	יבולי סורדן מלמ"ק/שנה	סטייה מהממוצע הרב שנתי של הכנרת ב-%	סטייה מהממוצע הרב שנתי של הסורדן ב-%	יבולי כנרת מלמ"ק/שנה	יבולי סורדן מלמ"ק/שנה	סטייה מהממוצע הרב שנתי של הכנרת ב-%	סטייה מהממוצע הרב שנתי של הסורדן ב-%
1	1932/33	102	42	- 82.9	- 86.6								
2	1933/34	199	185	- 66.6	- 41.3								
3	1959/60	218	113	- 63.4	- 64.1								
4	1956/57	296	247	- 50.3	- 21.6								
5	1958/59	308	192	- 48.3	- 39.1								
6	1950/51	381	46	- 36.1	- 85.4								
7	1960/61					416	203	- 30.2	- 35.6				
8	1955/56					450	518	- 24.5	+ 64.4				
9	1954/55					465	231	- 22.0	- 26.7				
10	1961/62					475	344	- 20.3	+ 9.2				
11	1935/36					490	123	- 17.8	- 61.0				
12	1936/37					563	454	- 5.5	+ 44.1				
13	1949/50					576	465	- 3.4	+ 47.6				
14	1957/58					582	323	- 2.7	+ 2.5				
15	1943/44					586	216	- 1.7	- 31.4				
16	1940/41					604	176	+ 1.3	- 44.1				
17	1946/47					627	111	+ 5.2	- 64.8				
18	1945/46					633	278	+ 6.2	- 11.7				
19	1941/42					642	285	+ 7.7	- 10.5				
20	1934/35					652	42	+ 9.4	- 86.6				
21	1939/40					736	311	+ 23.8	- 1.2				
22	1938/39					767	460	+ 28.7	+ 46.1				
23	1942/43					773	404	+ 30.4	+ 28.3				
24	1947/48					799	236	+ 34.1	- 25.1				
25	1944/45									804	587	+ 34.9	+ 86.4
26	1953/54									807	356	+ 35.4	+ 11.2
27	1951/52									822	507	+ 37.9	+ 60.9
28	1952/53									849	263	+ 42.4	- 16.5
29	1937/38									868	343	+ 45.6	+ 8.9
30	1948/49									983	444	+ 64.9	+ 41.0
	סטייה ממוצעת	250	137	- 57.9	- 56.3	602	287	+ 1.0	- 8.7	855	416	+ 43.5	+ 31.9
	סטייה תקן של הסטייה מהממוצע			σ = 15.1	σ = 24.4			σ = 18.9	σ = 41.7			σ = 10.4	σ = 34.7

טבלה מס' 2

ב. תיאור מפורט של מודל הסימולציה

1. המערכת

המודל הנדון כולל שני מאגרי מים:
מאגר עילי (הכנרת), ומאגר תת-קרקעי (האקוויפר הטורון-קינומני).
נוסף על אלה, כלולים במודל אי-אלה מקורות ארעיים של מים נוספים.

(א) מאגר הכנרת

רק חלק מהכנרת משמש כמאגר. עתה נעים מפלסי המאגר בין רום 209.0- לרום 212.0- מ', והנפח המנוצל כ-500 מלמ"ק. מבחינת אמצעי השאיבה המותקנים, קיימת אפשרות להגדיל את הנפח ע"י הורדת המפלס התחתון עד 214.0-מ' וכמו כן קיימת אפשרות, מבחינת הטופוגרפיה של האגם, להגביה את המפלס העליון עד 208.0- מ'.

הכנרת מחדשת את אוגר מימיה ע"י כניסות טבעיות ממקורות שונים. התורם העיקרי הוא הירדן, ומקורות אחרים, קטנים יותר, הם נחלים, מעיינות וגשם. נמצא כי קיים מתאם חודשי גבוה בין כל הכניסות הטבעיות האלה.

מאגר זה של הכנרת משמש להספקת מים לצרכנים באזור שבקרבתו, המקבלים מים ישירות ממנו, ולצרכנים הנמצאים לאורך הירדן, וכן להעברת מים באמצעות המוביל הארצי לחלקה הדרומי של הארץ. קיימת התחייבות לספק מים לצרכני האזור, והתחייבות זו תכובד אף אם יגרום הדבר לירידת מפלס המים מתחת לגבול התחתון. על מנת למנוע הצפות בעונת הגשמים מוגלשים המים בחורף דרך סכר דגניה.

(ב) מאגר הטורון-קנומן

מאגר תת-קרקעי זה מכיל בערך 1,400 מלמ"ק מי תהום. קיים מתאם שנתי גבוה, חיובי, בין כניסות המים לטורון לבין הכניסות לכנרת, אך נתוני הכניסות החודשיות אינם מספיקים כדי לגלות מתאם כזה גם על בסיס חודשי.

במודל הנדון הונח כי הכניסה השנתית של יבולי המאגר התת קרקעי מחולקת במידה שווה בין 5 חודשי החורף (אוקטובר - פברואר). קיימת גם האפשרות למלא את אוגר הטורון באמצעות החדרה של כמויות מים נוספות מהצפון (הכנרת).

חלק מהמים האגורים במאגר הטורון נפסד דרך מעיינות ודליפות. הפסדי מים אלה מורכבים כדלקמן: כמות קבועה של 15 מלמ"ק לשנה; 4% מהנפח השנתי הממוצע; ו-2% לחודש מהנפח שמעל ל1,200 מלמ"ק באותם החודשים בהם עולה הנפח מעל לערך זה.

היות ומי הטורון הם בעלי מליחות נמוכה, אפשר להשתמש בהם, במקרה הצורך, להורדת המליחות במי המוביל הארצי עד לרמה המותרת להשקיה, לפני הזרמתם לדרום.

(ג) <u>מקורות מים נוספים</u>

לפי תכנית ההפעלה של מערכת המים הארצית, יש לספק למערכת כמויות קטנות של מים (4 מלמ"ק לחודש) במשך 10 שנות פעולה, ממקורות נוספים בצפון, לאחר מכן תופסק הספקה זו. מצפים להגדיל את הכניסות לכנרת באמצעות גשם מלאכותי, ולכן נכללה התוספה הצפויה ממקור זה בהרצות של מודל הסימולציה (כאפשרות).

2. <u>הצרכנים הנמנים על המערכת</u>

(א) הספקת המים לצרכנים באזור הכנרת וצפונה לה מובטחת לפי כללי ההפעלה הנקוטים כאן בכל מקרה. צריכה זו מסתכמת ב-280 מלמ"ק לשנה, המתפלגת לפי החודשים כמוצג בטבלה 3.

<u>טבלה 3: צריכת המים באזור הכנרת (במלמ"ק)</u>

אוק.	נוב.	דצמ.	ינואר	פבר.	מרס	אפר.	מאי	יוני	יולי	אוג.	ספט.	סה"כ
39.2	41.6	30.4	23.3	13.2	6.6	6.1	14.0	15.9	23.2	30.1	36.4	280.0

כל שינוי בביקוש השנתי מתחלק בין החודשים באופן יחסי.

(ב) הצרכן העיקרי של המערכת הוא האזור הדרומי של ישראל. הביקוש של צרכן זה מתמלא בכמויות מים המובאות מהצפון כאשר המליחות היא ברמה המותרת המקסימלית.
כמויות נוספות של מים, אם קיים ביקוש להן ואם הינן בנמצא, מסופקות מהטורון. כרגע דרושים לדרום 550 מלמ"ק מים לשנה, המתפלגים לפי החודשים כמפורט בטבלה 4. כל שינוי בביקוש השנתי מתחלק בין החודשים באופן יחסי.

טבלה 4: הצריכה בדרום (במלמ"ק)

אוק.	נוב.	דצמ.	ינואר	פבר.	מרס	אפר.	מאי	יוני	יולי	אוג.	ספט.	סה"כ
55	38	27	27	28	28	44	44	55	66	72	66	550

(ג) לפי תכנית ההפעלה של מערכת המים הארצית, היא תצטרך לספק מים לצרכן נוסף בצפון, בשיעור של 1 מלמ"ק לחודש, החל מהשנה ה-11 לפעולתה.

3. כללי הפעלה לקטעים שונים של המערכת

בקטעים שונים של המערכת מיישם הדגם כללי הפעלה שנקבעו מראש. כללים אלה הם כדלהלן:

א. מים המוגלשים מהכנרת

בעונת החורף יש צורך להגליש מים מתוך מאגר הכנרת על מנת למנוע הצפות מזיקות בחופיו. מופעלת תכנית הגלשה המתבססת על הצורך לשמור על כך שההסתברות להצפה בחודשי החורף תהיה מתחת לערך נתון (בין שלושה לחמישה אחוזים) ובו בזמן יכול המאגר נפח מים גדול ככל האפשר בסוף החורף (*).
לפי תכנית זו, הכמות המוגלשת הצפויה בתחילת כל חודש היא פונקציה של הגורמים הבאים: נפח המים במאגר בתחילת כל חודש, הנפח המקסימלי של המאגר, שיעור השאיבה, כושר הגלישה המוגבל מצד מתקן המגלש והכמות המכסימלית (בלחי מוגדרת) והמינימלית (17 מלמ"ק לחודש) שמזרימים לתוך הירדן התחתון.
קביעת תכנית הגלישות המבוססת על "נתונים יומיים של כניסות לכנרת" לתקופה שבין 1949 ל-1968. (תה"ל, צוות הכנרת).

(*) ר' "בקרה אופטימלית של הגלשות מהכנרת בעונת החורף" היח' לחקר ביצועים, תה"ל 1967.

ב. כללים לשאיבת מים מהכנרת

השאיבה מהכנרת מתנהלת לפי מדיניות הקובעת כי הכמות שתישאב תהיה מקסימלית. ברם, מקסימום זה יהיה מוגבל ע"י הגורמים הבאים:

(1) כושר השאיבה של המערכה

(2) הצורך לשמור על כמות מינימלית של מים במאגר שאפשר להשתמש בה במקרה שתידרש שאיבה בחודשים הבאים. כמויות מינימליות אלה, או ערכים חודשיים קריטיים, חושבו (*) והם מוצגים בטבלה 5.

טבלה 5 : נפחים חודשיים קריטיים (במלמ"ק)

אוק.	נוב.	דצמ.	ינואר	פבר.	מרס	אפר.	מאי	יוני	יולי	אוג.	ספט.
20	0	0	0	0	30	70	110	110	85	70	35

(3) לא יסופקו מים לצרכנים אם מליחותם תעלה על ערך נתון (ערך זה הוא, לדוגמה, 250 ח"מ כלור). אם המליחות תעלה על ערך זה, יהיה צורך במהילה. אפשר יהיה לקבל את ערך המליחות הרצוי, ע"י קביעת כמות המים שיש לשאוב מן הכנרת, לאחר הוספת מים בעלי מליחות נמוכה (לדוגמה - 80 ח"מ כלור ממקורות נוטפים בצפון) וע"י קביעת כמות המים שתובא מהטורון, אשר גם מימיו הם בעלי מליחות של 80 ח"מ כלור.
הכמויות שיובאו מהמאגר הטורוני תלויות בבית הקיבול של הטורון, בעונה ובכמות המים שתהיה בטורון למטרות מיהול ו/או החלפה. החלפת מים ניתנת לביצוע בעונת הקיץ כשחלק מהמים המקומיים המשמשים להשקיה מוחלפים במי כנרת, בתנאי שתכולת הכלור במי ההשקיה לא תעבור על רמה מסוימת (כיום: 170 ח"מ בצפון הארץ ו-250 ח"מ בדרום).

(4) המים שיישארו לאחר סיפוק ביקוש הצרכנים אינם יכולים להיות מוחדרים לטורון אם אין נפח ריק בנמצא. נפח במאגר זה מוגדר כנפח מתחת לערך הקריטי הנתון מצד המתכנן (ברוב המקרים השתמשו ב-1,200 מלמ"ק).

---

* Effective control and scheduling of Lake Kinneret pumping operations. Dean and Buras, P.N. 282, Tahal 1963

(5) ההגבלות בהספקת המים מסיבות של מליחות או רום נמוך בכנרת חלות רק על צרכני הדרום, מאחר והצרכנים מסביב לכנרת וצפונית לה ממשיכים לקבל את מכסתם בכל מקרה שהוא.

4. מנגנון ההמלחה של ים כנרת

היידע הקיים לגבי מנגנון ההמלחה בכנרת אינו מספיק לתיאור מנגנון זה. על מנת להתגבר זמנית על בעיה זו, הוכנה תוכנית סימולציה באופן המאפשר יישום שתי נוסחאות אלטרנטיביות היינו:

א. המלח נכנס לכנרת בשיעור קבוע לשנה

ב. כניסת המלח הינה פונקציה של רום פני המים משקעי העבר הפונקציה ששמשה לכך עד כה הינה: *

$$DS = 100,000 + 109,000\ DKH - 120\ (\frac{P_3}{2} + P_2 + \frac{P_1}{2}) + 20\ P_o$$

כאשר -

DS = כמות המלח בטונות הנכנסת לתוך המאגר בשנה

DKH = ההפרש בין המפלס הנוכחי לבין מפלס נתון של מי הכנרת

P_i = הכניסה לתוך הכנרת במשך השנה i האחרונה של הנתונים ההיסטוריים (i = 0 1 ..3)

בכל הנוסחאות הונח כי כמות המלח שנכנסה לתוך המאגר התערבבה עם כל המים שבתוכו

5. מטרת הסימולציה והדיווחים

בשנות הפעולה השונות של מערכת המים הארצית, עשויים לחול שינויים, כגון בתיפעול המערכת כתוצאה משינויים בנתונים וכו'.

---

* ממצאים עדכניים אחרים ראה בתזכירים אחרים בקובץ זה.

מודל הסימולציה הוכן באופן שיוכל לבחון את תגובותיה של המערכת לשינויים כאלה, לאפשר קבלת החלטות כיצד להפעיל את המערכת ולשנות אלמנטים בתוכה. תכנית הסימולציה מדווחת על תוצאות של 81 משתנים. הדיווח ניתן ע"י היסטוגרמות, שהן אומדנים של פונקציית ההסתברות של משתנים אלה. והרי רשימת המשתנים:

16 - 1	התפלגות שאיבת מי הכנרת בשנה ה-2, ה-5, וה-30 החודש ה-3, ה-9, וה-12.*
32 - 17	התפלגות הנפח בכנרת בשנה ה-2, ה-5, ה-15, וה-30 עבור החודש ה-3, ה-6, ה-9, וה-12.*
48 - 3	התפלגות השאיבה מהשורון בשנה ה-2, ה-5, ה-15, וה-30 עבור החודש ה-3 ה-6, ה-9, וה-12.*
56 - 49	התפלגות המליחות בכנרת בשנה ה-2, ה-5, ה-15, וה-30 עבור החודש ה-2, וה-7. **
60 - 57	התפלגות הגלישות השנתיות מהכנרת בשנה ה-2, ה-5, ה-15, וה-30.
64 - 61	התפלגות הנפח בשורון בתחילת השנה ה-2, ה-5, ה-15, וה-30.
65	התפלגות הגלישה השנתית (30 שנה).
66	התפלגות השאיבה השנתית מהכנרת (30 שנה).
67	התפלגות המחסור השנתי לצרכנים (30 שנה).
68	התפלגות השאיבה השנתית מהשורון (30 שנה).
69	התפלגות השאיבה השנתית מהכנרת (30 שנה) לפי ערך נוכחי.

---

* החודש: 3 - דצמבר, 6 - מרץ, 9 - יוני, 12 - ספטמבר.

** החודש: 2 - נובמבר, 7 - אפריל.

70 התפלגות המחסור השנתי לצרכנים (30 שנה) לפי ערך נוכחי

71 התפלגות השאיבה השנתית מהטורון (30 שנה) לפי ערך נוכחי

72 התפלגות הגלישה השנתית (30 שנה) לפי ערך נוכחי

73 התפלגות הגלישה השנתית (5 שנים)

74 התפלגות השאיבה השנתית מהכנרת (5 שנים)

75 התפלגות המחסור השנתי לצרכנים (5 שנים)

76 התפלגות השאיבה השנתית מהטורון (5 שנים)

77 התפלגות השאיבה השנתית מהכנרת (5 שנים) לפי ערך נוכחי

78 התפלגות המחסור השנתי לצרכנים (5 שנים) לפי ערך נוכחי

79 התפלגות השאיבה השנתית מהטורון (5 שנים) לפי ערך נוכחי

80 התפלגות הגלישה השנתית (5 שנים) לפי ערך נוכחי

81 התפלגות הזמן החולף עד שהטורון מתרוקן בפעם הראשונה

שיעור הריבית ששימש עד כה לחישובי הערך הנוכחי הינו 8% לשנה.

6. <u>תיאור המערכת המקוצרת</u>

על מנת לאפשר קבלת החלטות מהירות, הוכנה תכנית סימולציה למערכת קטנה יותר. תכנית זו דומה לתכנית המתוארת לעיל והיא מופעלת באותה צורה. ההבדל היחיד הוא בזה שהמלח הנכנס לתוך המאגר אינו מובא בחשבון, ולא נעשו חישובי המליחות. רק 17 משתנים ניתנים והם:-

1 התפלגות השאיבה השנתית מהכנרת (5 שנים)

2 התפלגות השאיבה השנתית מהכנרת (30 שנה)

3 התפלגות השאיבה השנתית מהכנרת (5 שנים)לפי ערך נוכחי

4 התפלגות השאיבה השנתית מהכנרת (30 שנה) לפי ערך נוכחי

5 התפלגות המחסור השנתי לצרכנים (5 שנים)

6 התפלגות המחסור השנתי לצרכנים (30 שנה)

7 התפלגות המחסור השנתי לצרכנים (5 שנים)לפי ערך נוכחי

8 התפלגות המחסור השנתי לצרכנים (30 שנה) לפי ערך נוכחי

9 התפלגות השאיבה השנתית מהטורון(5 שנים)

10 התפלגות השאיבה השנתית מהטורון(30 שנה)

11 התפלגות השאיבה השנתית מהטורון(5 שנים)לפי ערך נוכחי

12 התפלגות השאיבה השנתית מהטורון(30 שנה) לפי ערך נוכחי

13 התפלגות הגלישה השנתית(5 שנים)

14 התפלגות הגלישה השנתית(30 שנה)

15 התפלגות הגלישה השנתית(5 שנים) לפי ערך נוכחי

16 התפלגות הגלישה השנתית(30 שנה) לפי ערך נוכחי

17 התפלגות הזמן החולף עד שהטורון מתרוקן בפעם הראשונה

7. נ ת ו נ י ם

א. מקור הנתונים

הנתונים ההיסטוריים שהשתמשו בהם עבור הכנרת היו חישובי הכניסות החודשיות נטו של סדרות בירות לתקופה שבין 1912/13 ל-1961/62(*). הכניסה נטו היא הכמות הנכנסת מהירדן, מנחלים, ממעיינות ומהגשמים, פחות ההתאדות. בחודשי השיא של הקיץ עלולה הכניסה נטו להיות שלילית. הנתונים השנתיים של הכניסות לטורון התבססו על התקופה שבין 1921/22 ל-1964/65 (**).

ב. ניתוח הנתונים

(1) כניסות חודשיות לכנרת

נבחנה הנורמליות לכל אחת מ-12 הכניסות החודשיות ונמצאה רמת המובהקות לכל חודש. התוצאות שנתקבלו מראות שהכניסות החודשיות יכולות להיחשב כמתפלגות באופן נורמלי.
ממוצעים חודשיים וסטיות התקן חושבו לכל חודש. כמו כן חושבו מקדמי המתאם בין כל שני חודשים רצופים.

ג. (2) כניסות שנתיות לשני המאגרים

הוחלט לחלק את הכניסות השנתיות של דטורון ל-3 קבוצות המקבילות לכניסות לכנרת, בתחומים שבין 0 ל-400, 401 ל-799, וגדולים מ-800 מלמ"ק לשנה. הממוצעים וסטיות התקן עבור הכניסות לטורון המקבילות לשלושת התחומים הנ"ל מובאים בטבלה 6.

טבלה 6: ממוצעים וסטיות התקן של הכניסות לטורון

תחומי כניסות שנתית לכנרת-מלמ"ק	הכניסה הממוצעת לשנה לטורון - מלמ"ק	סטיית התקן- מלמ"ק לשנה
0 עד 400	137.5	84.0
400 עד 799	287.8	135.0
800 ויותר	416.7	118.9

(*) מאזן המים של הכנרת. תה"ל 1964, פ"מ 369

(**) ניצול מי נחל התנינים לצורכי הספקת מים. פ.דלינסקי, תה"ל 1968

ד. <u>הגרלת נתוני היבולים</u>

הוגרלו סדרות של כניסות חודשיות לכנרת ולטורון, כאשר כל סדרה מורכבת מ-30 קבוצות, וכל קבוצה היא בת 30 שנה.

הוגרלו כניסות לכנרת לפי טכניקת מונטה-קרלו לאחר שהביאו בחשבון את ההתפלגות שנקבעה והפרמטרים שלה (ממוצע, סטיית התקן, ומקדם המתאם בין חודשים רצופים).

הנוסחאות שהשתמשו בהן לקבלת הסידרות הסינתטיות היו:

$$SK'_{t+1} = \sqrt{1 - RK^2_{t,t+1}} \cdot SK_{t+1}$$

$$\overline{XT}_{t+1} = \overline{XK}_{t+1} + (XK' - XK_t)\frac{SK_{t+1}}{SK_t} \cdot RK_{t+1,\,t}$$ כאשר

$\overline{XK}_t$ = ממוצע הכניסה לכנרת בחודש t

$\overline{XK}_{t+1}$ = ממוצע הכניסה לכנרת בחודש t + 1

SK_t = סטיית התקן של הכניסה לכנרת בחודש t

SK_{t+1} = סטיית התקן של הכניסה לכנרת בחודש t+1

$RK_{t,\,t+1}$ = מקדם המתאם בין הכניסות של חודש t, t+1

XK_t = הערך שהוגרל מהתפלגות הכניסות בחודש t

היות ומניחים כי קיימת נורמליות, אפשר היה לקבל כניסות שליליות גבוהות לכל חודש. בכדי למנוע כניסות שליליות כאלו, הוגבלו הכניסות המינימליות לערכי ההתאדות החודשיים. ערכים אלה מובאים בטבלה 7.

טבלה 7: כניסות חודשיות מינימליות (במלמ"ק)

אוק.	נוב.	דצמ.	ינואר	פבר.	מרס	אפר	מאי	יוני	יולי	אוג.	ספט.
28.0	25.0	0	0	0	0	0	0	34.0	35.0	40.0	34.0

לפי המלצת צוות הכנרת של המחלקה להידרולוגיה של תה"ל, הוגדלה סטיית התקן השנתית של היבולים באופן מלאכותי. הערכים החיוביים הקיצוניים נתקבלו בהנחה, שההתפלגות של הערכים הקיצוניים של העקום הנורמלי הינה אחידה.

כניסות שנתיות לתוך המאגר הסורוני הוגרלו בהתאם לפרמטרים שלו, (ממוצע וסטיית התקן) והכניסות החודשיות שנתקבלו ע"י חלוקה שווה של הערך השנתי בין חמשת חודשי החורף.

ד. סיכום וניתוח של מספר ממצאי הסימולציה

1. המודל, כאמור לעיל, מיועד בין היתר לאפשר בחינה השוואתית של אלטרנטיבות הנדסיות שונות, הקשורות בהגברת ניצולם של יבולי הכנרת. כללית, הגברת ניצולם של מי הכנרת חושב בדרך של הגדלת האיגום התפעולי מחד, ו/או הגברת כושר השאיבה של המערכת מאידך. הגמישות של המודל איפשרה קביעה של תרומת המים הסגולית בכל אלטרנטיבה בנפרד, ובצירוף עם אלטרנטיבות אחרות. בין היתר נבחנו שתי אפשרויות של הרמת מפלס הכנרת מהמפלס התקני העליון של 209.0-: האחת למפלס 208.5- והשנייה למפלס 208.0-. כמו כן נבחנה הורדת המפלס התפעולי של הכנרת מהמפלס התקני התחתון של 212.0- לכדי 213.0- ולכדי 214.0- מ'.

נבדקו גם שלוש אלטרנטיבות לגבי כושר השאיבה מהכנרת, והן:

א. כושר השאיבה "הנוכחי" של 36 מיליון מ"ק לחודש בהפעלה של תחנת מנשה ותחנת ראשון.

ב. כושר שאיבה של 42 מיליון מ"ק לחודש.

ג. כושר שאיבה של 50 מיליון מ"ק לחודש.

2. בטבלה 8 מובא סיכום של חלק מהנתונים שנתקבלו מפעולות הסימולציה השונות, לגבי הגברת ניצולם של יבולי הכנרת. טבלה מסכמת של כל הרצות במודל מובאת בנספח מס' 2.

טבלה 8: סיכום מספר ממצאים של הסימולציה

מס' סדורי	מס' הרצה	רום תפעולי מתחת לפני הים	כושר שאיבה חדשית מלמ"ק	שאיבה ממוצעת מהכנרת 30 שנה מלמ"ק	גלישה ממוצעת מהכנרת 30 שנה מלמ"ק	הערות
1	101	-209.0 עד -212.0	36	287.7	42.3	כולל מנגנון המלחה לפי ירסחה
2	102	-209.0 עד -212.0	42	293.9	36.7	
3	103	-209.0 עד -212.0	50	298.3	33.0	
4	104	-208.0 עד -212.0	36	294.8	34.4	
5	105	-208.0 עד -212.0	42	300.2	29.8	
6	106	-208.0 עד 212.0	50	304.0	26.9	
7	114	-208.5 עד -212.0	36	290.6	38.8	
8	120	-209.0 עד -213.0	36	288.6	43.0	
9	234	-209.0 עד -212.0	36	287.8	42.9	לא כולל מנגנון המלחה
10	235	-209.0 עד -213.0	36	298.5	36.6	
11	236	-209.0 עד -214.0	36	306.4	33.6	

בסעיפים הבאים יובא דיון על המשמעויות של ממצאים אלה ביחס לנושאים הבאים:

א. הגדלת ניצולם של מי הכנרת עקב הרמת המפלס ב-0.5 וב-1.0 מ' והורדת המפלס ב-1.0 מ' וב-2.0 מ'.

ב. הגדלת ניצולם של מי הכנרת עקב הגברת כושר השאיבה של המערכת לכדי 42 ו-50 מיליון מ"ק לחודש.

3. <u>הגדלת ניצולם של מי הכנרת כתוצאה משינוי המפלס התפעולי של פני המים</u>

א. עיון בממצאי ההרצות מס' 101, 104 ו-114 מצביע על ההשפעה של העלאת מפלס הכנרת על הגברת ניצול מימיה. מסתבר שהעלאה בשיעור של מטר אחד תוסיף כ-7 מיליון מ"ק לשנה לפוטנציאל המים הארצי, לעומת כ-3 מיליון מ"ק לשנה, כאשר ההעלאה היא בשיעור של 0.5 מ' (המדובר בכושר שאיבה של 36 מיליון מ"ק לחודש). יודגש כי רווחי המים הנ"ל כוללים את הרווחים הנובעים מההנחה שההרמה מקטינה את נביעת המלח. במילים אחרות: תועלת ההרמה, כפי שהיא מבוטאת ע"י הגברת ניצולם של מי הכנרת, כוללת כבר את העובדה שמאחר והכנרת יותר מתוקה (בגלל ההרמה) - מתאפשרת שאיבה מוגברת.

ב. נבחנה היעילות של הורדת המפלס התפעולי של האגם ב-1.0 וב-2.0מ', כלומר הורדה לרומים של 213.0- ו-214.0-מ'. גם במקרה זה כושר השאיבה הוא 36 מיליון מ"ק לחודש. ניתן ללמוד תוך עיון בהרצה מס' 120 שמנגנון ההמלחה, כפי שהונח, מבטל את התועלת של תוספת האוגר הבאה כתוצאה מהורדת המפלס.
ההתמלחות המוגברת של האגם מביאה להפסקות תכופות יותר של השאיבה מהכנרת דרומה, ולכן מתווסף מיליון מ"ק לשנה בלבד למשק המים הארצי כתוצאה מהורדה זו.
המדובר הוא, כמובן במנגנון המלחה המגביר את כניסות המלח עקב הורדת המפלס בשעור הנזכר בסעיף 4.

ג. נבחנה התועלת של הורדת מפלס הכנרת ללא התחשבות במנגנון המלחה. ממצאי הרצות מס' 234, 235, ו-236 מצביעים על הגברת הניצול ב-10 וב-19 מיליון מ"ק לשנה בממוצע, כאשר הורדת המפלס התפעולי של הכנרת היא 1.0 ו-2.0 מ'.

4. <u>הגדלת הניצול על ידי הגברת כושר השאיבה של המערכת</u>

א. כושרי השאיבה שנבחנו מתייחסים לנתונים הבאים:

(1) שאיבה של 36 מיליון מ"ק לחודש - אגב הפעלה של תחנות מנשה וראשון.

(2) שאיבה של 42 מיליון מ"ק לחודש.

(3) שאיבה של 50 מיליון מ"ק לחודש.

ב. להלן טבלה המציגה את הממצאים העיקריים הקשורים בהגדלת ניצולם של יבולי הכנרת, לפי שלוש האלטרנטיבות הנ"ל.

<u>טבלה 9</u> : <u>הגדלת ניצולם של יבולי הכנרת על ידי הגברת כושר השאיבה.</u>

מס' הרצה	רום תפעולי של הכנרת מ'	כושר שאיבה חודשי מלמ"ק	שאיבה ממוצעת לשנה מלמ"ק	תוספת מים לשנה מלמ"ק
101	209.0-עד 212.0-	36	287.7	-
102	209.0-עד 212.0-	42	293.9	6.2
103	209.0-עד 212.0-	50	298.3	10.6
104	208.0-עד 212.0-	36	294.8	-
105	208.0-עד 212.0-	42	300.2	5.4
106	208.0-עד 212.0-	50	304.0	9.2

ג. להלן סיכום של תרומת המים למשק הלאומי עקב פעולות הנדסיות שונות. מבלי להיכנס לניתוח הכדאיות של האלטרנטיבות האמורות, ברור שקיימת עדיפות מובהקת להורדת מפלסי התפעול, אולם, כפי שנאמר, לא נלקח כאן בחשבון מנגנון המלחה - הנחה המצריכה ליבון מעמיק.

טבלה 10 : הגברת ניצול מי הכנרת: מימצאים עיקריים

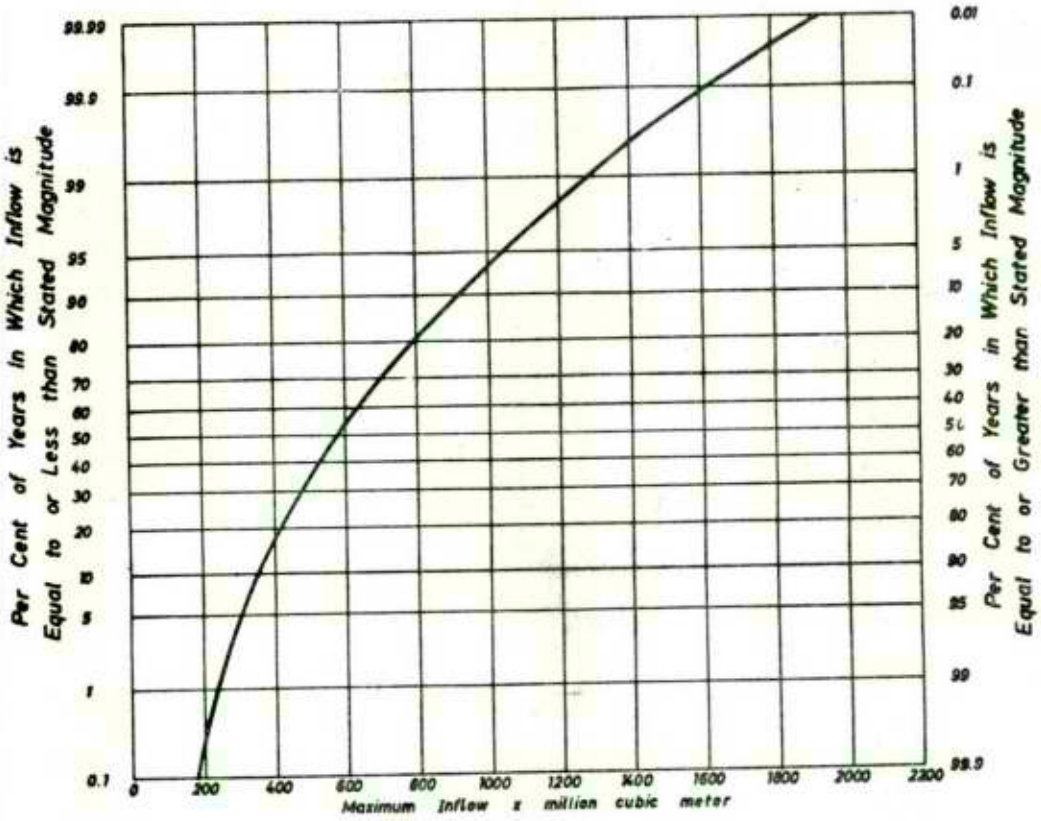
רום תפעולי של הכנרת מ'	כושר שאיבה לחודש מלמ"ק	פרסים על מנגנון המלחה	הגברת ניצול מי הכנרת לשנה מלמ"ק
-209.0 עד -212.0*	36	כולל מנגנון המלחה	-
-208.5 עד -212.0	36	כולל מנגנון המלחה	2.9
-208.0 עד -212.0	36	כולל מנגנון המלחה	7.1
-209.0 עד -212.0	42	כולל מנגנון המלחה	6.2
-209.0 עד -212.0	50	כולל מנגנון המלחה	10.6
-209.0 עד -213.0	36	ללא מנגנון המלחה	10.7
-209.0 עד 214.0	36	ללא מנגנון המלחה	18.6

* כבסיס השוואה משמשים המפלסים התפעוליים של 209.0- עד 212.0- מ' וכושר שאיבה של 36 מיליון מ"ק לחודש.

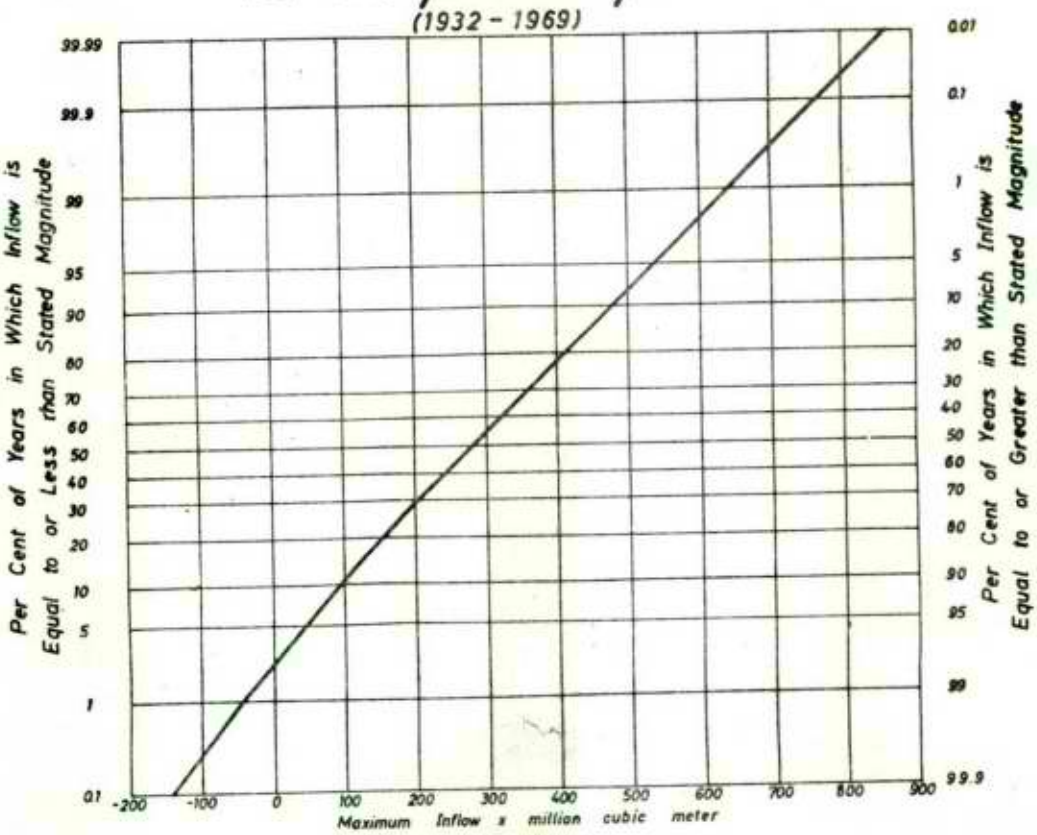
5. מתוך נתוני הסימולציה של המודל, ניתן להבהיר מספר שאלות ביחס ל"מחסור" במי הספקה בתנאי תפעול שונים. "המחסור" לצורך עבודה זו, מוגדר כהפרש בין ההספקה בפועל ובין הצריכה המתוכננת במלמ"ק לשנה. כאמור, כללה כל הרצה 30 תקופות בנות 30 שנה כל אחת. בתנאים רגילים של כושר שאיבה בשיעור של 36 מלמ"ק להודש, ורומים תפעוליים של 209.0- עד 212.0- , מסתבר שמתוך 30 תקופות אלה רק ב-10 תקופות לא נרשמה התרוקנות של אקוויפר השורון. הגדלת הצריכה בדרום ב-75 מיליון מ"ק לשנה - לכדי 625 מלמ"ק - מבדילה באופן ניכר את ממדי ההתרוקנות של אקוויפר זה (הרצה מס' 7 בנספח מס' 2). ניתן להבחין בהשפעה החיובית של מצב המאגרים על סיכויי המחסור לשוות של 5 שנים - דבר העשוי להשפיע על מספר החלטות חשובות בקשר לפיתוח מקורות מים בטווח הקצר.

יש לציין שבאמצעות המודל ניתנים הפילוגים של המחסור השנתי לתקופות של 5 ו-30 שנה, ואף בערכם הנוכחי. נוסף על כך, ניתן פילוג הזמן שאקוויפר השורון מתרוקן בפעם הראשונה. לנושא "המחסור", עקב חשיבותו, יוחד תזכיר אשר הוקדש לניתוח מפורט יותר של המשמעויות השונות הנובעות מהרצות מודל המערכת כנרת - מורון (ראה תזכיר 2 בקובץ זה).

פילוג השכיחות של יבולי מים שנתיים לכנרת
לפי עקום פירסון סוג III
(1912 - 1969)



פילוג השכיחות של יבולי מים שנתיים לאקוויפר טורון-קינומן
לפי עקום פירסון סוג III
(1932 - 1969)



סיכום 55 הרצות מודל הסיפולציה של המערכת הארצית

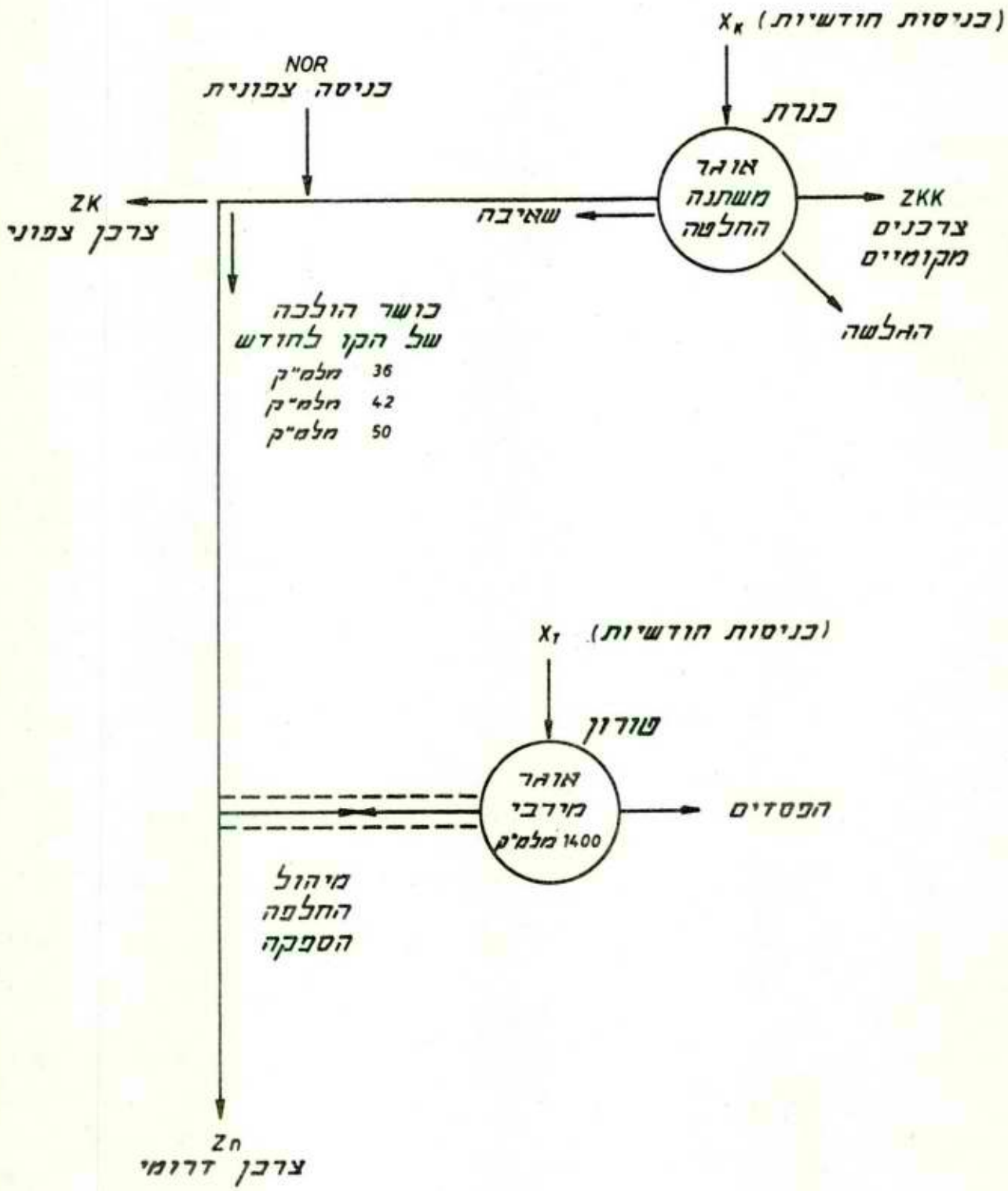
מס' מדורי	מס' הרצה	רום תפעולי של תכנית מתחת לפני הים מטרים	כושר א שאיבה חורפי מלמ"ק	יכולי כנרת ממוצע מלמ"ק לשנה	יכולי מורון ממוצע מלמ"ק לשנה	צריכה סביב הכנרת מלמ"ק לשנה	צריכה בדרום מלמ"ק לשנה	שאיבה ממוצעת מהכנרת מלמ"ק לשנה: לחמש שנים	שאיבה ממוצעת מהכנרת מלמ"ק לשנה: לשלושים שנה	בלישה ממוצעת מהכנרת מלמ"ק לשנה: לחמש שנים	בלישה ממוצעת מהכנרת מלמ"ק לשנה: לשלושים שנה	מחסור ממוצע מלמ"ק לשנה: לחמש שנים	מחסור ממוצע מלמ"ק לשנה: לשלושים שנה	מספר סדרות ממרן 30 בתן המורון לא התרוקן	כניסת מלח ממוצעת ל-30 שנה באלפי טונות לשנה	מליחות ממוצעת עבור חודשי נובמבר לאחר 30 שנה מ"ג כלור לליטר מים	ב ע ר ו ת	אא
1	101	209 - 212	36	596	310	280	550	317.6	287.7	72.6	42.3	3.5	25.8	10	107.3	214.4		
2	102	209 - 212	42	596	310	280	550	329.6	293.9	67.2	36.7	3.6	26.2	9	121.9	242.1		
3	103	209 - 212	50	596	310	280	550	340.1	298.3	63.0	33.0	3.5	26.3	9	132.1	259.6		
4	104	208 - 212	36	596	310	280	550	319.4	294.8	61.6	34.4	3.5	23.3	10	89.4	190.7		
5	105	208 - 212	42	596	310	280	550	331.0	300.2	57.8	29.8	3.6	24.1	10	109.5	226.7		
6	106	208 - 212	50	596	310	280	550	341.9	304.0	54.4	26.9	3.5	24.8	10	123.8	250.4		
7	107	209 - 212	36	596	310	280	625	324.2	290.7	67.6	39.6	7.8	65.6	3	110.5	215.9		
8	108	209 - 212	36	715	310	280	550	344.1	345.5	151.2	102.6	1.9	5.6	20	54.2	98.9		
9	109	209 - 212	42	715	310	280	550	361.1	363.0	141.6	86.4	1.9	5.5	21	73.3	131.1		
10	110	209 - 212	50	715	310	280	550	376.6	375.8	133.2	74.6	2.0	6.0	23	89.3	157.7		
11	111	208 - 212	36	715	310	280	550	346.9	356.9	131.6	88.8	1.9	4.5	23				
12	112	208 - 212	42	715	310	280	550	364.8	375.0	123.8	72.6	1.9	4.8	23	36.3	81.8		
13	113	208 - 212	50	715	310	280	550	380.0	388.2	117.5	60.7	2.0	5.2	23	58.9	119.5		
14	114	208.5- 212	36	596	310	280	550	318.4	290.6	68.0	38.8	3.5	24.9	10	99.8	206.5		
15	115	208.5- 212	36	625	310	280	550	328.1	310.7	83.0	48.6	3.0	16.6	15	81.9	167.1		
16	116	209 - 212	36	596	310	280	550	317.4	291.4	72.6	39.5	3.5	22.8	10	107.3	187.0	כניסת מלח קבועה 107.3 אלף טון לשנה	
17	117	209 - 212	36	625	310	280	550	327.1	307.2	88.0	52.5	3.0	17.5	12	91.8	180.0		
18	118	209 - 212	36	596	310	280	550	311.7	281.7	75.0	47.7	3.7	30.1	9	93.5	186.9		
19	120	209 - 213	36	596	310	280	550	336.8	288.6	70.2	43.0	2.6	29.1	8	144.8	279.9		
20	201	209 - 212	36	596	310	280	550	317.4	291.4	72.6	39.5	3.5	22.8	10				
21	202	209 - 212	42 ,36	596	310	280	550	330.0	298.6	67.2	33.4	3.6	22.4	10				
22	203	209 - 212	50 ,36	596	310	280	550	340.5	303.6	63.0	29.4	3.4	22.2	10				
23	204	208 - 212	36	596	310	280	550	319.3	296.9	61.6	33.0	3.5	21.5	10				
24	205	208 - 212	42 ,36	596	310	280	550	331.5	303.1	57.8	28.3	3.6	21.6	10				
25	206	208 - 212	50 ,36	596	310	280	550	342.2	307.0	54.4	25.5	3.4	22.0	10				
26	207	209 - 212	36	596	310	220	550	341.9	332.6	96.5	56.7	2.0	8.3	15				
27	208	209 - 212	42 ,36	596	310	220	550	357.6	343.9	90.2	46.4	1.9	8.2	15				
28	209	209 - 212	50 ,36	596	310	220	550	369.1	352.1	84.4	39.4	1.8	8.2	16				
29	210	208 - 212	36	596	310	220	550	343.7	339.3	83.5	48.7	2.0	7.6	18				
30	211	208 - 212	42 ,36	596	310	220	550	359.6	350.5	77.7	39.0	1.9	7.9	18				
31	212	208 - 212	50 ,36	596	310	220	550	372.4	357.9	72.6	32.8	1.8	7.9	17				
32	213	209 - 212	36	596	310	220	610	349.0	337.4	92.1	52.1	3.9	25.1	8				
33	214	209 - 212	42 ,36	596	310	220	610	366.0	349.1	84.4	41.5	3.8	24.1	10				
34	215	209 - 212	50 ,36	596	310	220	610	380.8	357.6	77.7	34.4	3.6	23.5	9				
35	216	208 - 212	36	596	310	220	610	350.7	343.8	79.6	44.6	3.9	23.2	10				
36	217	208 - 212	42 ,36	596	310	220	610	368.0	354.6	72.5	35.1	3.8	22.7	10				
37	218	208 - 212	50 ,36	596	310	220	610	383.1	361.9	67.1	29.5	3.6	22.7	10				
38	219	209 - 212	36	596	310	280	550	310.8	290.4	93.6	43.2	0.8	20.3	12			נפח החילי בכנרת 500 מלמ"ק;בשורון 1,400 מלמ"ק	
39	220	209 - 212	36	596	310	280	550	308.5	290.0	73.8	39.8	2.0	21.3	11			נפח החילי בכנרת 390 מלמ"ק;בשורון 1,100 מלמ"ק	
40	221	209 - 212	36	596	310	280	550	306.2	289.6	55.9	36.6	4.1	23.4	10			נפח החילי בכנרת 280 מלמ"ק;בשורון 800 מלמ"ק	
41	222	209 - 212	36	596	310	280	550	299.8	288.6	43.8	34.3	11.1	27.2	9			נפח החילי בכנרת 180 מלמ"ק;בשורון 500 מלמ"ק	
42	223	209 - 212	36	596	310	280	550	285.2	286.5	36.8	32.7	33.8	33.1	6			נפח החילי בכנרת 70 מלמ"ק;בשורון 200 מלמ"ק	
43	224	209 - 212	36	596	310	280	500	303.8	286.6	99.0	46.7	0.0	8.1	17			נפח החילי בכנרת 500 מלמ"ק;בשורון 1,400 מלמ"ק	
44	225	209 - 212	36	596	310	280	500	302.1	286.4	78.9	43.3	0.5	8.6	17			נפח החילי בכנרת 390 מלמ"ק;בשורון 1,100 מלמ"ק	
45	226	209 - 212	36	596	310	280	500	300.1	286.0	60.1	40.0	2.5	9.6	15			נפח החילי בכנרת 280 מלמ"ק;בשורון 800 מלמ"ק	
46	227	209 - 212	36	596	310	280	500	296.8	285.6	45.9	37.1	6.0	11.7	14			נפח החילי בכנרת 180 מלמ"ק;בשורון 500 מלמ"ק	
47	228	209 - 212	36	596	310	280	500	283.5	283.8	38.2	35.2	21.7	16.1	10			נפח החילי בכנרת 70 מלמ"ק;בשורון 200 מלמ"ק	
48	229	209 - 212	36	596	310	280	600	317.1	292.9	88.6	40.6	2.3	41.6	4			נפח החילי בכנרת 500 מלמ"ק;בשורון 1,400 מלמ"ק	
49	230	209 - 212	36	596	310	280	600	315.3	292.6	69.1	37.4	3.5	43.8	4			נפח החילי בכנרת 390 מלמ"ק;בשורון 1,100 מלמ"ק	
50	231	209 - 212	36	596	310	280	600	310.3	291.8	53.2	34.5	7.5	47.5	4			נפח החילי בכנרת 280 מלמ"ק;בשורון 800 מלמ"ק	
51	232	209 - 212	36	596	310	280	600	301.8	290.6	42.5	32.3	18.5	52.8	4			נפח החילי בכנרת 180 מלמ"ק;בשורון 500 מלמ"ק	
52	233	209 - 212	36	596	310	280	600	286.5	288.2	36.1	31.0	47.3	60.8	3			נפח החילי בכנרת 70 מלמ"ק;בשורון 200 מלמ"ק	
53	234	209 - 212	36	596	310	280	550	310.8	287.8	77.0	42.9	1.9	9.3	15			נפח החילי בכנרת 420 מלמ"ק;בשורון 800 מלמ"ק	
54	235	209 - 213	36	596	310	280	550	331.7	298.5	74.6	36.6	1.0	8.1	19			נפח החילי בכנרת 585 מלמ"ק;בשורון 800 מלמ"ק	
55	236	209 - 214	36	596	310	280	550	344.9	306.4	73.5	33.6	0.0	7.5	20			נפח החילי בכנרת 750 מלמ"ק;בשורון 800 מלמ"ק	

א) כמקרה של 2 מספרים המספר הימין מציין את כושר השאיבה בשנתיים הראשונות

אא) נפח החילי בכנרת 420 מלמ"ק, בשורון 800 מלמ"ק, אם לא צויין אחרת בהערות
(נפח החילי נמדד מרום התפעולי הנמוך בכל מקרה ומקרה).

נספח מס' 2

סכימה של מערכת כנרת-טורון



2.

2. בעיית המחסור במשק המים הארצי

עבודה זאת נעשתה ביחידה לתכנון לטווח ארוך, אגף מחקר ופיתוח, תה"ל, ורוכזה ע"י אלישע קלי. אסמכתאות לעבודה זאת נמצאו בעבודות הבאות:

א. "מודל סימולציה של מערכת כינרת-טורון", תה"ל, אגף מחקר ופיתוח, ספטמבר 1969, פ"מ 740 ערוך ע"י פרץ דלינסקי.

ב. תזכיר (טיוטה) פנימי: "אומדן צמצום הייצור של חקלאות השלחין במקרה של הקטנת כמויות המים המסופקות לחקלאות" מאת ד"ר מ. שאלתיאל, תה"ל, אגף מחקר ופיתוח, יולי 1969.

ג. תזכיר (טיוטה) פנימי: "ערך נזק המחסור (מחירי שנת 66/7)" מאת עודד שפירא, תה"ל, היחידה הכלכלית.

ד. מדיניות הפעלה אופטימאלית של המאגר הדרומי במערכת המים הארצית באמצעות תכנית דינמי" ח"ב 15/69, מאי 1969, ערוך ע"י ק. יוספוביץ וי. אברבך.

ה. תזכיר (טיוטה) פנימי "אומדן תמורה ממוצעת למים בחקלאות בתשכ"ח" (על סמך נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה), ינואר 1970, מאת אמנון שלומאי, אגף מחקר ופיתוח, תה"ל.

ה ת ו כ ן

ש ר ט ו ט י ם

בעיית המחסור במשק המים הארצי

1. כ ל ל י

המחסור מסמן בתזכיר זה את ההפרש שבין מכסת הספקת המים התקינה (מבלי להגדיר כעת את "ההספקה התקינה") ובין מכסה קטנה יותר המסופקת זמנית כאשר אין די מים במקורות ובמאגרים לספק מכסה מלאה.

מערכת הספקת המים בישראל יש בה המאפיינים היסודיים הבאים: מילוי טבעי אקראי, צריכה שנתית (מהמקורות הקיימים) - קבועה בקירוב ומאגר בעל נפח מוגבל המיועד לווסת את ההפרשים שבין המילוי הטבעי והצריכה. בכל מערכת הספקת מים שיש בה הגורמים הנ"ל, עשוי להיווצר מחסור. סיכויי המחסור גדלים ככל שהווריאביליות של יבולי המים - גדולה יותר, ככל שנפח המאגר המווסת - קטן יותר וככל שממוצע הצריכה השנתית - גדול יותר.

קיימות נוסחאות תיאורטיות שונות הקושרות את סיכוי המחסור עם הגורמים המאפיינים הנ"ל[1], אולם אלה מתאימות לנתונים מופשטים שאינם מתאימים לתנאים הקונקרטיים של מערכת המים שלנו ולפיכך הדרך הסבירה ללימוד תופעת המחסור הינה סימולציה של פעולת המערכת הארצית.

המחסור לכשיקרה, יקרה בעיקר בגלל גורם טבעי שאין עליו שליטה - הבצורת, אבל קיימים גורמים שיש עליהם שליטה בידי אדם ואף הם עשויים לתרום לתקרית המחסור. גורמים אלה הינם בעיקר: רמת הצריכה ורמת האוגר המצוי כיום במאגרים.

סיכויי המחסור הינו הגורם היחידי הבולם את רמת הצריכה מלעלות מעבר למכסה מסוימת. מאחר שיש כיום מים במאגרים אפשר, פיזית, (במקום לפתח מקורות מים חדשים) להעלות את הצריכה השנתית מעבר לרמתה הנוכחית ואף מעבר לשעור ההתמלאות השנתית הממוצעת של המאגרים (ואין זה ברור מראש שאין זה כדאי). הגורם היחידי השם גבול לרמת

---

(1) ראה ב: Hurst H.E., "Long Term Storage" Constable, London, 1965.

הצריכה והמכריח לפתח מקורות חדשים (יקרים) למרות שיש עדיין מים זמינים במאגרים - הריהו סכנת המחסור וההנחה כי נזק המחסור גדול בשעורו המוחלט מהתועלת שבשימוש מיידי (שאם לא כך מדוע לא לצרוך מייד יותר למרות סיכויי המחסור ?). מכאן החשיבות היסודית של גורם המחסור והצורך בהכרתו המדויקת ככל האפשר.

צרכני המים בארץ לא התנסו עד כה הרבה במחסור היות ועד כה, מקורות חדשים שהוכנסו תמיד לשימוש, סייעו להכהות את פגיעת המחסור אולם שימוש כזה במקורות חדשים - לא יחזור בעתיד - עכ"פ לא באותו קנ"מ שבעבר. מצב של "כמעט מחסור" ארע ב-1964 סמוך להפעלת המפעל הארצי. אז פחתו המים במאגרים במידה רבה ורק הכנסת מי הכינרת לשימוש - הצילו את צרכני המים בארץ מ"מחסור" .

ייחוס ערכים כמותיים לתופעת המחסור ולמשמעותה הכלכלית , קשירת תופעת המחסור לפעולות השונות הנתונות להחלטה והסקת מדיניות הפעלה אופטימאלית מהנ"ל - הריהם נושאי הסעיפים הבאים .

2. <u>ת מ צ י ת</u>

המחסור הריהו ההפרש שבין מכסת הספקת המים התקינה המובטחת לצרכנים ובין כמות קטנה יותר המסופקת להם זמנית כאשר אין די מים (באיכות תקינה) במקורות ובמאגרים לספק מכסה מלאה.

המחסור תלוי בעיקר בגורם שאין לנו שליטה עליו:- הווריאביליות של יבולי המים הטבעיים - אך הוא תלוי גם בכמה משתני החלטה אשר החשוב שבהם הוא רמת הצריכה.

הכלי העיקרי המשמש ללימוד תופעת המחסור הוא מודל הסימולציה של מערכת המים הארצית. הממצאים הבסיסיים הנלמדים מכלי זה בקשר למחסור (מפורטים בטבלה שבסעיף 5) הם כי, בדגם הצריכה הנהוג היום, הסיכוי לאי זה שהוא מחסור בעתיד הוא כ-$2/3$ וכי תוחלת סה"כ המחסור ב-30 השנים הבאות היא כ-700 מיליוני מ"ק.

הסקת מסקנות לגבי מדיניות וקביעת כללי הפעלה בקשר לתופעת המחסור, תלויים בערך הכלכלי שמייחסים לנזק המחסור. נזק זה באומדנו הנוכחי (מוצג בטרסוט 6) הינו בין 32 אג'/מ"ק ל-82 אג'/מ"ק כאשר המחסור נע מ-100 ל-500 מיליוני מ"ק/שנה.

המסקנה הנובעת מהנ"ל לגבי ההפעלה האופטימלית (מוצגת בטרסוט 10) היא כי יש לספק לצרכנים קרוב למכסה המאוזנת (המכסה המשתווה ליבול המים הממוצע) כאשר האוגר (דהיינו: כמות המים המצוייה) במאגר הטורון הוא בין כ-500 לכ-1100 מלמ"ק אך לספק להם יותר מכך או פחות מכך כאשר האוגר הינו גדול מהנ"ל או קטן מהנ"ל בהתאמה.

3. מהות המחסור

המאגרים הרב-שנתיים המשמשים את המערכת הארצית, הינם הכנרת, המאגר התת-קרקעי של אגני נחלי הירקון והתנינים ומאגרי אגני החול שלאורך שפלת החוף. "התרוקנותם" הנזכרת לעיל של המאגרים האלה איננה התייבשות פיזית אלא הגעה לגבול אשר ירידת פני המים מעבר לו - תגרום ע"פ הידוע או המשוער כיום, להמלחת המים.

הרום התחתון המתוכנן של הכנרת הוא כ-212- מ'. רום גבולי זה נקבע מחמת החשש שירידה מתחתיו תגרום לנביעה בלתי מוכרת ו/או בלתי ניתנת להחזרה של המעיינות המלוחים התת-קרקעית.

הרום התחתון של אגן הטורון (כ-9+ מ' באזור הירקון וכ-6+ מ' באזור מענית) נקבע ג"כ מחמת ההנחה כי בירידה מתחת לרום זה יחדרו לאקוויפר המתוק מים מלוחים.

הרומים התחתיים של אגני החול נקבעו על סמך הידיעה בדבר תזוזה רבה מדי של הפן הבינ י (אזור הגבול שבין מי האגן המתוק ומי הים המלוחים) פנימה לכיוון האגן המתוק והמלחת חלק ממימיו.

העובדה כי הרומים התחתיים במאגרים הרב-שנתיים השונים - אינם גבול ההתייבשות הפיזית של המאגרים אלא גבולות בטחון בפני המלחה - עובדה זאת יוצרת סיכוי מסוים שה"מחסור" הנדון כאן - משמעותו האמיתית לא תהיה אי הספקה אלא הסתכנות להמלחה רבה בתקופת המחסור ולאחריה. אך, מכל מקום, הדיון המספל כאן במחסור אינו מביא סיכוי זה בחשבון והוא דן במחסור רק כבהפחתה בהספקה.

המחסור יופיע, איפוא, בעקבות שנים שחונות כאשר תגמרנה כל הרזרבות במאגרים הרב-שנתיים והוא יתבטא באי-היכולת לספק לצרכנים את מכסתם.

הכלי העיקרי המשמש אותנו ללימוד תופעת המחסור הוא מודל הסימולציה* של המערכת. במודל הסימולציה ניתן לחקות סדרות רבות של תקופות הפעלה של מערכת כנרת טורון וללמוד מכך את תופעת המחסור. תכונות המחסור, מוגדרות ע"כ בקשר להסקתן מתוך ממצאי ההרצות במודל הסימולציה תכונות המחסור שבהן נעסוק להלן וכנוייהן הינם:

---

*ראה "מודל סימולציה של מערכת כנרת-טורון", תה"ל, אגף מחקר ופיתוח - ספטמבר 1969. פ"מ 744

א. מספר שנות המחסור - בתוך סדרה של שנים רצופות המהוות את סוות הפעולה של המפעל (בד"כ 30 שנה) צפוי מספר מסוים של שנות מחסור.

ב. מספר סדרות המחסור - במודל הסימולציה מריצים בד"כ 30 סדרות בנות 30 שנה כ"א. כל סדרה כזאת מבטאת אפשרות של התרחשויות בתקופת חיים ריאלית של המפעל. 30 הסדרות כולן מהוות את האוכלוסיה הסטטיסטית המלמדת את התופעה; המחסור מופיע באחדות מכלל אוכלוסיה זאת ומספרן הוא "מספר סדרות המחסור".

ג. עומק המחסור - כמות ההספקה החסרה בשנה מסוימת היא עומק המחסור.

ד. משך המחסור - המחסור עשוי לבוא בשנה בודדת ואז משכו שנה אחת ואף במספר שנים תכופות. מספר זה הוא "משך המחסור".

ה. נפח המחסור - סה"כ הכמויות החסרות כתוצאה מהמחסור.

ו. נזק המחסור - ערך הנזק הכספי הנגרם למשק כתוצאת המחסור.

ז. נזק המחסור בערכו הנוכחי - כנ"ל בערך נוכחי.

4. <u>מודל הסימולציה כאמצעי ללימוד נתוני המחסור</u>

כאמור, כמכשיר העיקרי ללימוד פרטי המחסור משמש מודל הסימולציה. פרטי המודל ראה ב"מודל הסימולציה של מערכת כנרת-טורוך", ספטמבר 1969, פ"מ 744.

(1) פרטי מאגר הטורון במודל הנם הבאים:

א. נפח המאגר (מים זמינים בלבד) הוא 1,400 מלמ"ק.

ב. המאגר מאבד מדי שנה 15 מלמ"ק ועוד 4% מהנפח השנתי הממוצע וכן 2% לחודש מהנפח שמעל 1,200 מלמ"ק (באותם החודשים שבהם הנפח עלה על 1,200 מלמ"ק).

ג. עודפי כנרת שאינם נצרכים מוחדרים למאגר הטורון אם נפח האוגר שלו נופל מ-1,200 מלמ"ק.

המודל מדווח ביחס למחסור את הממצאים הבאים:

א. ההתפלגות הסטטיסטית של עומק המחסור בכל שנה במשך 30 שנות פעולה וכן בנפרד במשך 5 שנות הפעולה הראשונות.

ב. כנ"ל, אולם לגבי ערכים מהוונים (ערכים מוכפלים במקדם "ערך נוכחי").

ג. התפלגות הזמן העובר (ב-30 המחזורים) עד להתרוקנות הראשונה של מאגר הטורון.

ד. כמו ב' אולם לגבי הערך הכספי של נזק המחסור (בהתאם לפונקציית נזק מסויימת - ראה פרק 8).

מודל הסימולציה מקיף צריכה שנתית של כ-830 מלמ"ק (שהם כ-$^2/_3$ מהצריכה הנוכחית בישראל) המורכבים כלהלן:

א. צריכה באזור מקורות הכנרת והכנרת עצמה (כולל שחרורים הכרחיים דרומה): 280 מלמ"ק.

ב. "צריכה דרומית" בשעור של כ-550 מלמ"ק/שנה המורכבת בעיקרה מיבול אגני הטורון (כ-290 מלמ"ק כולל איבודים לנחל התנינים) ומיבוא מהכנרת.

מודל הסימולציה איננו מתחשב בווריאביליות של הצריכה עקב בצורת - הצריכה על פיו שווה כל שנה. הונח כי הזנחת גורם זה של ווריאביליות לא תפגע בממצאים במידה משמעותית מאחר והווריאביליות של הצריכה קטנה מאוד לעומת הווריאביליות של יבולי המים (ראה שרטוט 2) ואין מתאם גבוה ביניהן.

מודל הסימולציה, בעיקר שימושיו, איננו מגדיל את הצריכה משנה לשנה. יש לראות, איפוא, את המערכת המיוצגת במודל כיחידה סגורה אשר כל תוספת של צריכה והספקה, נחשבת לגביה כמערכת נפרדת.

אסמכתא לגישה זאת היא ההערכה כי המקורות החדשים בעתיד שיהיו בעיקרם מי ביוב מושבים ומי ים מותפלים, יהיו <u>מקורות יציבים קבועים</u> שלא יזדקקו כלל לאגירה מאחר ותפוקתם תהיה שווה כל שנה ויוכלו ע"כ להחשב כמערכת נבדלת שצרופה לקיימת לא ישנה את האופי והמידה של תלות המערכת הקיימת במאגרים.

ע"פ כללי הסימולציה, הצרכנים באזור הכנרת ומקורותיה, אינם מפסיקים או מקטינים את צריכתם בתקופת מחסור. המחסור חל כולו על ה"צרכנים הדרומיים".

כמוסבר, "מערכת כנרת-טורון" הנדונה כאן איננה כוללת את מאגרי אגני החול ומאגרים רב-שנתיים אחרים הנמצאים בשימוש בארץ. מאגרים אלה מהווים אמנם גורם באגירה הרב-שנתית ועשויים להשפיע על המחסור אולם, נראה כי בקירוב ראשון תופעת המחסור במערכת כנרת-טורון מאפיינת את התופעה בארץ כולה: מחסור יחסי לזה של המערכת הנדונה ישרור ע"פ הנחה זאת גם באזורי האגנים שאינם כלולים במערכת והתרגום של המחסור של המערכת למחסור הארצי הוא תרגום של קנה מידה: % ההספקה המקוצצת במערכת לרגל המחסור - הוא בקרוב ראשון גם ה-% בכלל הארץ. (ברור נוסף ראה להלן בסעיף 11).

5. <u>ממצאי מודל הסימולציה ביחס לנתוני מחסור</u>

דוח נתוני המחסור ע"י מודל הסימולציה מעלה תמונה מסוימת של המחסור ולהלן מפורטים עיקריה: דוגמא לאופי המחסור ופיזורו בזמן על פני מחזור שנים בן 30 שנה - מובא בשרטוט 1. הגורם העיקרי המשפיע על היווצרות מחסור הוא גורם שאיננו בשליטתנו - גורם הבצורת (ראה שרטוט 2: הוריאבליות של הצריכה הארצית ושל יבולי הכנרת). אולם, קיימים גם גורמים שונים שהם בשליטתנו לפחות במידה מסוימת והם המשפיעים על נתוני המחסור (נפח המחסור, שכיחותו ועומקו), לדוגמא:

- ככל שהצריכה נמוכה יותר, המחסור יהיה קטן יותר.

- ככל שהאוגר ה"תחילי" (הקיים כיום במערכת) גדול יותר - המחסור יהיה קטן יותר.

- ככל שכושר השאיבה מהכנרת גדול יותר, הכלחתה קטנה יותר, הגלישות ממנה קטנות יותר - כן יהיה המחסור קטן יותר.

מכל הגורמים האלה והאחרים המשפיעים על המחסור, יש חשיבות מיוחדת לרמת הצריכה ולאוגר התחילי. ממצאי הרצת מודל הסימולציה ביחס להשפעת שני אלה על נתוני המחסור מובאים בטבלה הבאה וכן בשרטוטים 3, 4.

ממצאים המפרטים את השפעת רמת הצריכה על פילוג כלל המחסור בסדרה בת 30 שנה - מובאים בשרטוט 5.

טבלת נתוני המחסור

פרטי המחסור במערכת כנרת-טורון ע"פ הרצות מודל הסימולציה (מס' 233 - 219)

נפח תחילי במאגרי כנרת+טורון מיליארד מ"ק	צריכה (מלמ"ק/שנה) נתון	730 כמות (מלמ"ק)	730 נזק (מלל"י)	780 כמות (מלמ"ק)	780 נזק (מלל"י)	830 כמות (מלמ"ק)	830 נזק (מלל"י)	880 כמות (מלמ"ק)	880 נזק (מלל"י)	930 כמות (מלמ"ק)	930 נזק (מלל"י)
1.90	מחסור ממוצע ב-30 שנה	2.8	-	8.1	-	20.3	-	41.6	-	71.5	-
	כנ"ל מהורון	0.7	0.391	2.0	1.206	4.9	3.056	10.0	8.303	17.7	11.833
	מחסור ממוצע ב-5 שנים	0.0	-	0.0	-	0.8	-	2.3	-	3.7	-
	כנ"ל מהורון	0.0	0.000	0.0	0.000	0.5	0.188	1.6	3.456	2.5	2.005
	מחזורים ללא מחסור	24 פעמים		17 פעמים		12 פעמים		4 פעמים		פעם אחת	
1.08	מחסור ממוצע ב-30 שנה	3.4	-	9.6	-	23.4	-	47.5	-	79.9	-
	כנ"ל מהורון	1.1	0.568	2.8	3.710	6.4	3.996	12.8	8.303	21.8	14.632
	מחסור ממוצע ב-5 שנים	1.0	-	2.5	-	4.1	-	7.5	-	13.5	-
	כנ"ל מהורון	0.7	0.278	1.7	8.990	2.8	1.885	5.3	3.456	9.6	6.715
	מחזורים ללא מחסור	23 פעמים		15 פעמים		10 פעמים		4 פעמים		פעם אחת	
0.27	מחסור ממוצע ב-30 שנה	6.9	-	16.1	-	33.1	-	60.8	-	96.7	-
	כנ"ל מהורון	3.2	1.657	6.5	8.990	12.2	7.420	21.0	13.353	32.7	21.360
	מחסור ממוצע ב-5 שנים	12.6	-	21.7	-	33.8	-	47.3	-	67.0	-
	כנ"ל מהורון	9.9	4.810	17.0	3.710	26.6	15.109	37.3	23.566	52.8	34.081
	מחזורים ללא מחסור	17 פעמים		10 פעמים		6 פעמים		3 פעמים		פעם אחת	

הארפן שבו חושב נזק המחסור מוסבר להלן בפרקים 7, 8.

6. <u>מסקנות עקרוניות מממצאי נתוני המחסור</u>

ממצאי נתוני המחסור המוצגים בפרק הקודם, ניתן להסיק כמה מסקנות לגבי התועלת שבהגדלת ההספקה בנפח חד-פעמי או בהספקה שנתית קצובה.

התועלת שבנפח חד-פעמי המצטרף אל המאגרים מתבטאת בשיפוע העקומים שבשרטוט 8. בתנאי צריכה של 830 מלמ"ק (לדוגמא) ובתנאי אוגר תחילי של כמיליארד וחצי (ראה שרטוט 8) תועלת החדרה (מיידית, חד-פעמית) של 500 מלמ"ק משמעה הקטנת נזק המחסור ב-18 מלל"י. אם האוגר הינו חצי מיליארד מ"ק בלבד, מביאה החדרת אותה כמות להקטנת נזק המחסור ב-75 מלל"י. במקרה הראשון כדאי להחדיר כעת למאגר מים רק אם עלות ההחדרה (כולל עלות ייצור המים והובלתם) קטנה מ: 3.6 אג'/מ"ק = 500 מלמ"ק /18 מלל"י ואילו במקרה השני החדרה כדאית אם עלותה אינה עולה על 15 אג'/מ"ק. כדאיות ההחדרה תעלה ככל שהמאגרים יהיו יותר ריקים וככל שהצריכה השוטפת תהיה יותר גבוהה.

מהנתונים המוצגים בשרטוט 8 ניתן גם להסיק בקשר לתועלת שבהגדלת הצריכה השוטפת הקבועה. הגדלת הצריכה מ-830 מלמ"ק/שנה ל-880 מלמ"ק/שנה בתנאי אוגר תחילי של 1.3 מיליארד מ"ק (שרטוט 8), מגדילה את נזק המחסור ב-120 מלל"י (במשך 30 שנה). במידה שצריכה מעל המכסה ("מכסה" היא בערך ברמת 830 מלמ"ק/שנה) אינה עשוייה להביא תועלת נקייה בשעור הנ"ל - הריהי בלתי כדאית.

חשבון נפרד ביחס לצריכה האופטימאלית, מובא להלן בסעיף 9.

7. <u>התאור הפיזי של המחסור</u>

מאחר וסיכויי המחסור מהווים כאמור קנה מידה חשוב לקביעת הכדאיות של מדיניות הספקת המים (האם כדאי או לא כדאי להקציב לצרכנים יותר מים) - הרי מן ההכרח, לשם קביעת מדיניות מבוססת, לקבוע מהו ערכו של נזק המחסור למשק. קביעה זאת מוצגת להלן בשני שלבים:

א. קביעת תיאורו הפיזי של המחסור.

ב. קביעת הערך הכלכלי של המחסור בהסתמך על התאור הפיזי הנ"ל.

התאור הפיזי של המחסור מסתמך על הבאים:

א. המחסור יוסל כולו על החקלאות ולא על הצריכה העירונית.

ב. אופי הסלת המחסור על הענפים החקלאיים השונים מבוסס על הערכה ושיקול סוביקטיביים (ולא על חישוב בשלב זה) בדבר מינימוזציה של נזק המחסור הזה למשק וללא התחשבות בשיקולים ואילוצים מוסדיים, אזוריים וכו'.

להלן תאור הסלת המחסור על החקלאות*. תאור זה מתיחס לכלל החקלאות הישראלית ולא רק זאת הכלולה במודל הסימולציה והוא מבוסס על הנתונים הכלליים הבאים:

(1) שעור הצריכה החקלאית היה כ-1.03 מיליארד בשנת 1967 ו-1.07 מיליארד מ"ק בשנת 1969 (עם קיזוז שינוי בצורת לא כולל מליחים וחוזרים וכולל צריכה ביתית בהתישבות).

(2) הכמות הנ"ל מתחלקת כלהלן:

הדרים	33%
גידולי תעשייה ותבואות שלחין	18%
עצי פרי	15%
מספוא	15%
ירקות, ת"א מקשה	10%
מדגה	5%
שונות	4%
סה"כ	100%

---

*הנתונים הבאים הינם תמצית ממצאי התזכיר (הפנימי): "אומדן צמצום הייצור של חקלאות השלחין במקרה של הקטנת כמויות המים המסופקים לחקלאות" מאת ד"ר מ. שאלתיאל תה"ל, אגף מחקר ופיתוח, יולי 1969.

- הקטנת ההספקה החקלאית ב-10% תחול על בריכות דגים במים מתוקים ועל מרבית שטחי סלק הסוכר.

- הקטנת ההספקה ב-20% תחול בנוסף לנ"ל על כל סלק הסוכר, 40% מהכותנה והאספסת לקמח.

- הקטנת ההספקה ב-30% תחול בנוסף לנ"ל על רוב שטחי ירקות השלחין.

- הקטנת ההספקה ב-40% תחול בנוסף לנ"ל על רוב שטחי המספוא הירוק והשחת ועל רוב הבננות (תוך השארת רק מה שדרוש להספקת שתילים לעתיד).

- הקטנת ההספקה ב-50% תחול בנוסף לנ"ל על רוב ההספקה לרוב הכרם והגלעיניים (תוך וויתור על הפירות אך שמירת העצים עצמם).

- הקטנת ההספקה ב-60% תחול בנוסף לנ"ל על כל הגלעיניים ועל 20% מההספקה להדרים (תוך וויתור על 25% מפרי ההדרים).

- הקטנת ההספקה ב-70% תחול בנוסף לנ"ל על רוב שטחי ההדרים (תוך וויתור על רוב היבול).

- הקטנת ההספקה ב-80% תחול על כל שטחי השלחין. רוב המים במקרה זה יוקצבו להשקאת מטעים במגמה שלא ילכו לאיבוד (תוך וויתור על כל הפרי של השנה הנוכחית). מספר ימי העבודה בחקלאות ירד במצב זה לכ-1/3 מהנורמאלי.

8. <u>ערך נזק המחסור</u>

המחסור וצורת הטלתו על המשק כמתואר לעיל, יגרמו נזק מסוים למשק. נזק זה חושב כלהלן:*

א. ערך הנזק חושב כערך הפדיון של הגידולים. (שיטת חישוב כזאת כוללת הנחה כי לחשומות המובטלות שאין ייעוד אלטרנטיבי).

ב. לא נוסף לערך הנזק גורם ה"כופל" דהיינו, גורם הנזקים העקיפים למשק המתלווים לנזק הבסיסי הנ"ל.

בתנאים ובמגבלות האלה, נמצא נזק המחסור כלהלן:

מחסור (מלמ"ק)	100	200	300	400	500	600	700	800
נזק המחסור (ל"י/מ"ק)	0.25	0.40	0.63	0.70	0.70	0.76	0.77	0.78

עבור שימושים שונים שייעשו במספרים הנ"ל, תוקנו המספרים בדברים הבאים:

א. היות ומודל הסימולציה מקיף רק $2/3$ מהצריכה הארצית, יוחסו נזקי המחסור לכמויות המהוות $2/3$ מאלה הרשומות בטבלה.

ב. ע"פ נתוני טבלה זאת, הרי הנזק השולי דהיינו הנזק המתיחס ל-100 מלמ"ק <u>האחרונים</u> של המחסור, לפעמים עולה ולפעמים יורד. בעוד שסביר להניח כי הוא תמיד יעלה (נזק ה-100 מיליון ה- n יהיה תמיד גדול מנזק ה-100 מלמ"ק ה- (n -1) (ראה שרטוט 6).

בהתאם לשני הנ"ל, הוצבה פונקציית נזקים משוערת כלהלן:

עומק המחסור (מלמ"ק/שנה)	נזק המחסור בל"י לכל מ"ק	נזק כולל (מלל"י)	הנזק לכל 100 מלמ"ק שוליים (מלל"י)
100	0.32	32	32
200	0.51	102	70
300	0.64	192	90
400	0.74	297	105
500	0.82	410	113

(ראה שרטוט 6)

פונקציית הנזק שבשרטוט 6 הוכנסה למודל הסימולציה (ראה סעיף 4). תוחלת נזק המחסור ע"פ הפונקציה הנ"ל, מתוארת בשרטוטים 8,7. פונקציות הנזק ששמשה בהרצות המדווחות בשרטוטים אלה, כוללת תוספת עבור מחסורים עוקבים. התוספת עבור מחסור עוקב היתה 20%.

---

*הפרטים שלהלן הינם תמצית מתוך טיוטת תזכיר פנימי "ערך נזק המחסור", (מחירי שנת 66/7), נובמבר 1969 מאת עודד שפירא תה"ל, היח' הכלכלית.

9. <u>הפעלה אופטימאלית</u>

על סמך הנתונים המוצגים בסעיפים שלעיל ניתן להציג את השאלה: מהו הניצול השנתי האופטימאלי של המערכת. ניצול מיידי רב - מעלה את ההכנסה מיידית, אבל - (ראה שרטוטים 3, 4) מכניס סיכון גבוה יותר של מחסור. ככל שהאובר המצוי במאגרים - רב יותר, כן סיכוי המחסור קטן יותר וכדאי יותר לנצל יותר ניצול מיידי. סביר, איפוא, כי המדיניות האופטימאלית הינה: לנצל יותר את המערכת כשהאגנים מלאים ולנצלה פחות כשהם ריקים.

נגדיר את מטרת ההפעלה כלהלן: ההפעלה האופטימאלית היא זאת שתביא למקסימום את התועלת למשק במשך תקופת חיי המפעל. התועלת למשק מורכבת משנים:

א. התועלת הנובעת מהספקת המים (בסימן חיובי)

ב. הנזק הנובע מאי הספקה (בסימן שלילי).

פרטי נתוני התועלת והנזק - ראה בסעיף הבא:

ההפעלה האופטימאלית חושבה בדרך של תכנות דינמי* (Dynamic Programming) נוסחת הריקורסיה של התכנות הדינמי בניסוחה הכללי הינה:

$$\left[\begin{array}{c}\text{הרווח המקסימלי}\\ \text{למשק החל בשנה}\\ n \text{ ועד סוף}\\ \text{תקופת חיי המפעל}\\ \text{כאשר נפח המים}\\ \text{במאגר הוא } V\end{array}\right] = \underset{\substack{\text{(רמות שונות}\\ \text{של הספקה } C\\ \text{בשנה } n\text{)}}}{\text{Max}} \left[\left(\begin{array}{c}\text{הרווח בשנה}\\ n \text{ כאשר}\\ \text{נפח המים}\\ \text{במאגר הוא}\\ V\end{array}\right) + \begin{array}{c}E\\ \text{רמות שונות}\\ \text{של כניסה}\\ I\end{array}\right]\left(\begin{array}{c}\text{הרווח למשק}\\ \text{בתנאי מדיניות}\\ \text{אופטימאלית החל}\\ \text{משנה } (n+1) \text{ ועד}\\ \text{סוף חיי המפעל}\\ \text{כאשר נפח המים}\\ \text{במאגר } (V+I-C)\end{array}\right)\right]$$

E: סימון תוחלת

ממערכת של ערכי תועלת ונזק המפורטים בסעיף הבא נובעת, ע"פ חישוב התכנות הדינמי הנ"ל, המדיניות האופטימאלית המוצגת בשרטוט 10.

---

* ראה דו"ח "מדיניות הפעלה אופטימאלית של המאגר הדרומי במערכת המים הארצית באמצעות תכנות דינמי". ח"ב 69 , תה"ל.

10. <u>נתוני תועלת ונזק</u>

ה"תועלת" משימוש בכמות מים מסויימת הינה ההפרש בין התוצאות הכלכליות של שני מצבים: מצב שבו היה שימוש בכמות מים מסויימת ומצב שבו לא נעשה השימוש.

ניתן לתאר בהקשר לנושא הנדון מצב שבו אין ייעוד אלטרנטיבי לתשומות השונות המעורבות (בנוסף למים) בייצור החקלאי ואז: ערכן כאשר הייצור אינו מתקיים (מפאת מחסור במים) הוא אפס והתועלת - ע"פ ההגדרה הנ"ל היא הפדיון. או התועלת היא העדר ה"נזק" כאשר הנזק משמעו - (ע"פ הגדרתו בסעיף 8) - העדר פדיון.

ניתן לתאר, אלטרנטיבית, מצב אחר שבו יש ייעוד אלטרנטיבי ומחיר אלטרנטיבי חיובי לתשומות השונות ואז "התועלת" היא הפדיון פחות ערך התשומות האלה וערכה קטן במידה רבה מאשר במקרה הקודם בו אין ייעוד אלטרנטיבי לתשומות. המצב הראשון מתאים בקירוב למקרה שבו עולה שאלת כדאיות השימוש במים - בפתאומיות ולטווח קצר ואין שהות למצוא ייעוד אלטרנטיבי לתשומות. המצב השני מתאים בקירוב למצב שבו עומדת שאלת הכדאיות הנ"ל - לטווח ארוך.

בהתאם לשתי האפשרויות האלה, נקבעו לצורך חישובי ההפעלה האופטימאלית שני מודלים נפרדים של נזק ותועלת:

יוער מראש כי שני מודלים אלה אינם מיועדים להיות מציאותיים אלא לתחום את המציאות משני צדדים קיצוניים. הצבת שני גבולות קיצוניים כאלה, עשוייה להחליף לצורך עניינו - כפי שיוצג להלן - את תאור ה"מציאות האמיתית".

א. <u>מודל א'</u>:

התועלת שווה לפדיון והנזק הוא העדר התועלת (ראה שרטוט 9, מודל א'). פונקציית התועלת זהה לפונקציית הנזק (שרטוט 6) אולם בסימן (+) במקום סימן (-) של הנזק. במילים אחרות: לכל רמת הספקה צמודה תועלת מתאימה. הקטנת ההספקה גורמת להקטנת התועלת והקטנת תועלת זאת היא בלבד מהווה את ה"נזק". לנוסחה המתארת את פונקציית התועלת (שרטוט 9) יש מבנה נפרד בתחום ההספקה 0 עד 550 מלמ"ק/שנה ומבנה נפרד (תועלת קבועה) בתחום 550 עד 700 מלמ"ק/שנה - היות ולתחום 550-0, נלקחו נתוני סעיף 8 (שרטוט 6) ואילו לגבי ההספקה הגבוהה מ-550 (גבולה העליון: 700), הונח כי תועלתה נשארת קבועה כמו להספקת 550 מלמ"ק/שנה.

ב. מודל ב':

מובדרת "מכסה" (הקצבת מים שהובטחה לצרכנים). ההספקה יכולה להיות קטנה מהמכסה, זהה לה או גדולה ממנה. כל הספקה מביאה "תועלת" כמו במודל הנ"ל אולם שעורה רק 15% משבמודל הנ"ל. אם ההספקה היתה מתחת ל"מכסה", הרי ההפרש החסר (מכסה מינוס הספקה) כרוך בקנס אולם הפעם הקנס אינו רק העדר תועלת אלא הרבה יותר מכך: מלוא הנזק ע"פ הפונקציה שבשרטוט 6. מודל זה מתואר בשרטוט 9 ב'.

האסמכתא לנקיטת הערך 15% היא הבאה:*

התמורה לעבודה עצמית, הון קרקע ומים בחקלאות ב-1968		724 מלל"י
התמורה לעבודה עצמית (15.1 מיליוני י"ע במחיר 22.5 ל"י לי"ע)	340 מלל"י	
התמורה להון (8.6% למלאי הון של 1400 מלל"י)	120 "	
התמורה לקרקע (-20. ל"י לדונם)	83 "	
סה"כ לעבודה הון וקרקע		543 מלל"י
התמורה למים		181 מלל"י
התמורה למ"ק מים (1205 מלמ"ק, כולל מליחים**)	15.0 אג'/מ"ק	
עלות הפעלת מתקני המים (לא כולל מחיר ההשקעות במפעלים. כולל עלות הפעלה שוטפת בלבד ע"פ שווה ערך של 1.5 קו"ש למ"ק)	5.0 "	
תועלת השימוש במים	10.0 אג'/מ"ק	

תועלת זאת מהווה כ-15% מהנזק שבאי השימוש ע"פ סעיף 8.

פילוג התועלת הממוצעת הזאת - 10 אג'/מ"ק - ביחס לכל רמת הספקה נעשתה כאמור בפרופורציה לפונקציית הנזק מחוסר נתונים לחישוב מדוייק יותר (ראה שרטוט 9 ב'). יוער כי לצורך השימוש במודל האופטימיזציה,

---

* מתוך תזכיר (פנימי) מאת אמנון שלומאי אגף מחקר ופיתוח תה"ל, "אומדן תמורה ממוצעת למים בחקלאות בתשכ"ח" (על סמך נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה). ינואר 1970

** כמות המליחים היא כ-140 מלמ"ק/שנה והפרדתם לא נעשתה מחוסר נתוני הפונקציות הכלכליות שלהם.

אין חשיבות רבה לצורת הפילוג היות וכאן קובע בעיקר סה"כ התועלת עבור כמויות שבקרבת המכסה המלאה.

שני המודלים הכלכליים המקורבים הנ"ל הוצבו ללא התייחסות רבה למידת דיוקם היות והכוונה בהצבתם היתה כאמור לקבוע שני גבולות קיצוניים לנתוני "תועלת" למודל האופטימיזציה. רק אם יגלה מודל האופטימיזציה (סעיף 9) רגישות להבדל שבין שני המודלים הכלכליים הנידונים - יהיה עניין בחיפוש דיוקים גדולים יותר בין שניהם.

השימוש בנתוני מודל א' ומודל ב' (שרטוט 9) מביא כאמור למדיניות האופטימאלית המוצגת בשרטוט 10.

מתברר כי ממצאי ההפעלה האופטימאלית הנובעים מהנתונים הנ"ל, אינם רגישים במידה רבה להבדלים שבין מודל א' ומודל ב' והמסקנה הנובעת משניהם כאחד היא (שרטוט 10) כי יש לספק במערכת כמות קבועה הנופלת במקצת מיבול המים הממוצע (שהוא 550 מלמ"ק שנה. מספר זה מתייחס ליבול המים של הסורוק ולעודפי הכנרת המיובאים דרומה) כאשר האוגר אינו נמוך מדי או גבוה במיוחד. כאשר האוגר נופל מכ-0.5 מיליארד או עלה על כ-1.1 מיליארד, יש להוריד או להעלות את ההספקה בהתאמה.

11. <u>הכללת מאגרי החול במערכת כנרת-סורון</u>

נתוני המחסור המנויים עד כה התייחסו כאמור למערכת כנרת-סורון. "אגני החול" - המאגרים התת-קרקעיים שלאורך שפלת החוף - לא נכללו במודל הסימולציה של המערכת והשפעותיהם המיוחדות על כלל תופעת המחסור לא נמנו לעיל.

הסיבות לאי הכללתם היו בעיקר הבאות:

א. אגני החול אינם קשורים למערכת המרכזית באותו קשר חזק בו קשורים אליה הכנרת ואגני הסורון. רבים מהם אינם קשורים כלל אל המערכת והם מהווים ויהוו מערכות עצמאיות נבדלות.

ב. אגני החול שונים מאגני הסורון בכך שאינם מהווים מאגר אחיד והינם - הרבה יותר מאשר אגני הסורון-שורה של מאגרים קטנים נבדלים.

ג. אגני החול מהווים גורם קטן יחסית. הן נפחם והן יבוליהם השנתיים - קטנים מאלה של אגני הסורון של המערכת.

ד. נתוניהם ההידרולוגיים של אגני החול, מסובכים וקשים לתאור הרבה יותר ממאגני הסורון. גורם ההשהייה הקיים ביחס לתהליכי התמלאותם, הפונקציות המסובכות של איבודיהם, גורם הפן-הביני הנמצא בתנועה ועוד - מקשים על צירופן למודל הסימולציה בצורה שתהיה מעשית מבחינת השימוש במודל ובו בזמן מדויקת מבחינת חיקוי המציאות.

ה. ניתן להניח, בקירוב ראשון, כי התופעות העיקריות המאפיינות, מבחינת המחסור, את מערכת כנרת-סורון המהווה כ-$2/3$ מההספקה הקונבנציונלית, תאפיינה גם את יתר ההספקה שאיננה כלולה בה.

בגלל הגורמים הנ"ל ייעשה צרוף אגני החול למערכת בדרך מקורבת בלבד. ניסוי של צרוף בדרך זאת נעשה ע"י ההנחה שסיפוח מלא של אגני החול (סיפוח שיהיה אפשרי במלואו אחרי הוספת כלים מתאימים) למערכת ניתן לתאור מקורב ע"י צרוף פשוט של נפח מאגרי החול, צריכת צרכני אגני החול ויבולי המים של אגני החול - לאלה של אגן הסורון. בהתאם לכך, בוצעו במודל הסימולציה הרצות הכוללות את אגני החול.

צרוף אגני החול נעשה ע"י צרוף נפח אגירה אך ללא צרוף אוגר (כמות המים שבמאגר) וזאת בהנחה כי האוגר הנוכחי שלהם הוא אפס (לנוכח מציאות אוגר חיובי בכמה מהם ו"אוגר שלילי" באחרים).

ממצאי הרצות אלה, מובאים בשרטוט 11.

מהרצות אלה נלמד כי בתנאי האוגר הנוכחיים במאגרי המערכת, וברמת הצריכה הנוכחית הוספת נפח אגירה של 300 מלמ"ק תוריד את תוחלת המחסור הצפוי בכ-13%. הוספת נפח אגירה של 600 מלמ"ק תוריד את תוחלת המחסור הצפוי בכ-20%.

12. <u>ס י כ ו ם</u>

צריכת המים השנתית במערכת הארצית ("מערכת כנרת-סורוק"), איננה מובטחת מפני משברים שאופיים הוא קיצוץ ההספקה דהיינו "מחסור" במים. יש סבירות של כ-2/3 כי תהיה לפחות שנת מחסור אחת במערכת ב-30 השנים הבאות.

הגורם העיקרי להיווצרות מחסור הוא הבצורת אבל, בנוסף לה, גם פעולות רצוניות של מפעילי משק המים עשויות להשפיע על גודל ושכיחות המחסורים. העיקרית שבפעולות אלה היא הקצבת המים השנתית. ככל שרמת ההספקה גבוהה יותר - כן סיכויי המחסור גדולים יותר. מצב דברים זה מעמיד את השאלה מהי ההספקה האופטימאלית.

לקביעת דבר זה יש לקבוע את ערך נזק המחסור וערך ההספקה. הערכים שנקבעו לצורך זה הם: ערך נזק מחסור העולה מ: -32 ל: 82 אג'/מ"ק כאשר המחסור גדל מ-100 ל-500 מלמ"ק/שנה וערך תועלת השימוש במים הוא זהה (והפוך בסימנו) לזה של המחסור או, אלטרנטיבית, 15% מהנ"ל.

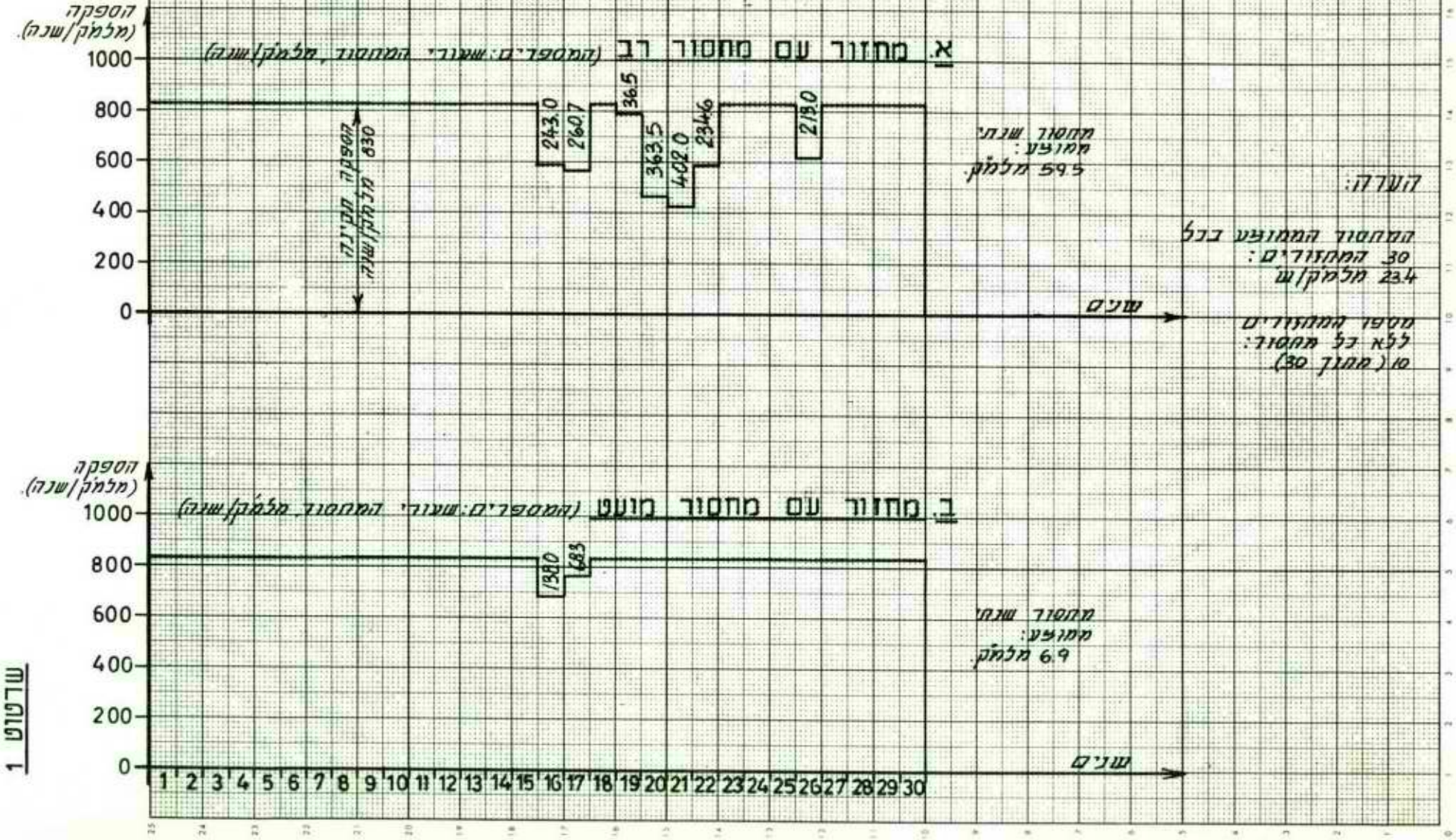
מנתונים אלה מתקבל כי ההספקה האופטימאלית במערכת צריכה להיות נמוכה במקצת מיבול המים הממוצע כל זמן שהאוגר במאגר הסורוק הינו בין 0.5 מיליארד ל-1.1 מיליארד מ"ק. ההספקה האופטימאלית יורדת מההספקה הנ"ל או עולה עליה כאשר האוגר יורד מהאוגר הנ"ל או עולה עליו בהתאמה.

בהתאם לזאת, ההספקה הנוכחית, בהיותה שווה בערך לממוצע יבולי המים, הריהי גבוהה במקצת מהאופטימאלית (האוגר במאגר הסורוק הריהו כ-0.9 מיליארד מ"ק כיום).

יש ענין מעשי בשאלה איך משפיע על סיכוי המחסור צרוף יותר מלא של מאגרי החול למערכת. בירור ראשוני של ענין זה העלה כי צרוף כזה לא ישנה במידה רבה את המצב הנוכחי לגבי סיכוי המחסור.

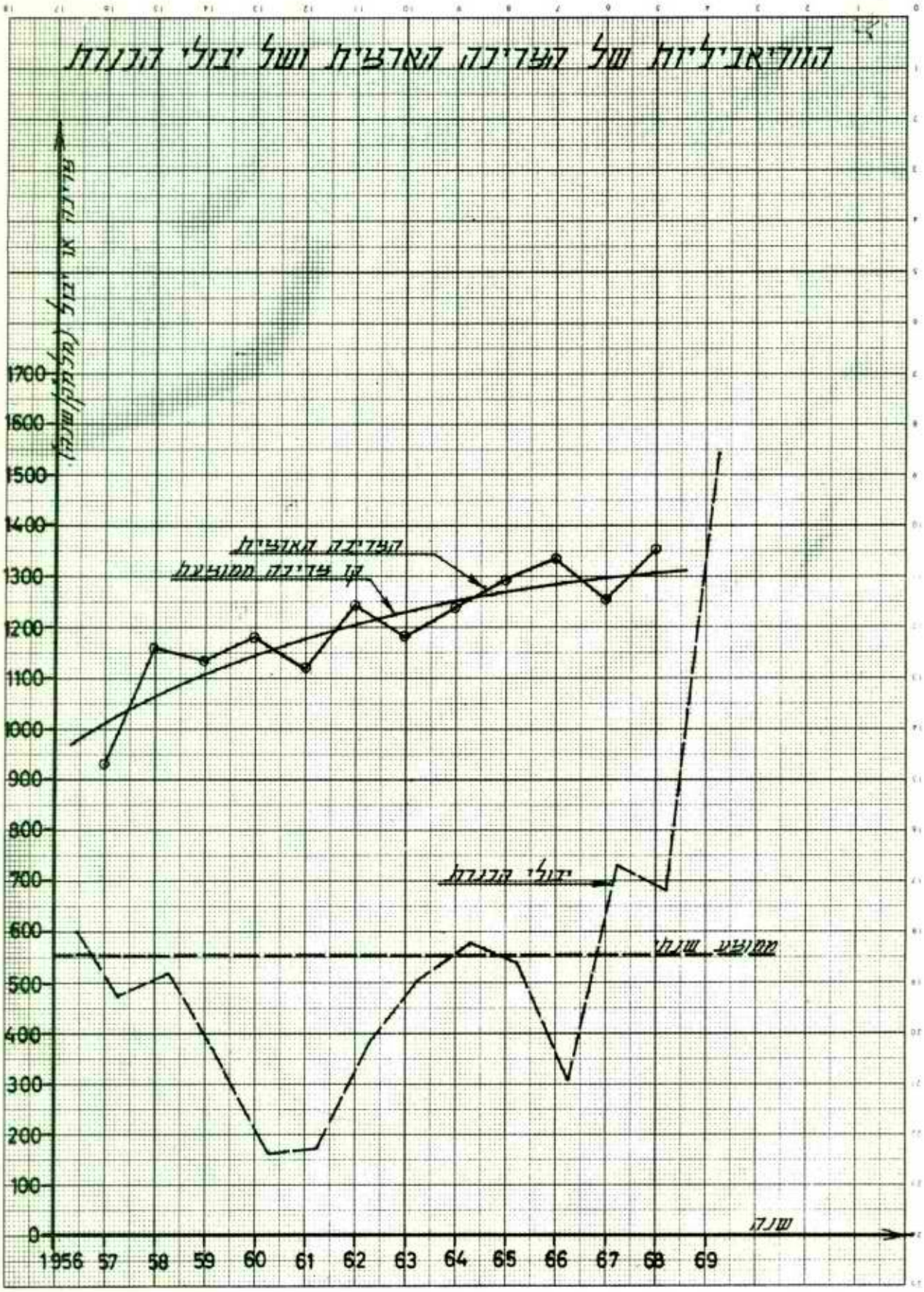
דוגמת נחוני מחסור במערכת כנרת עודון

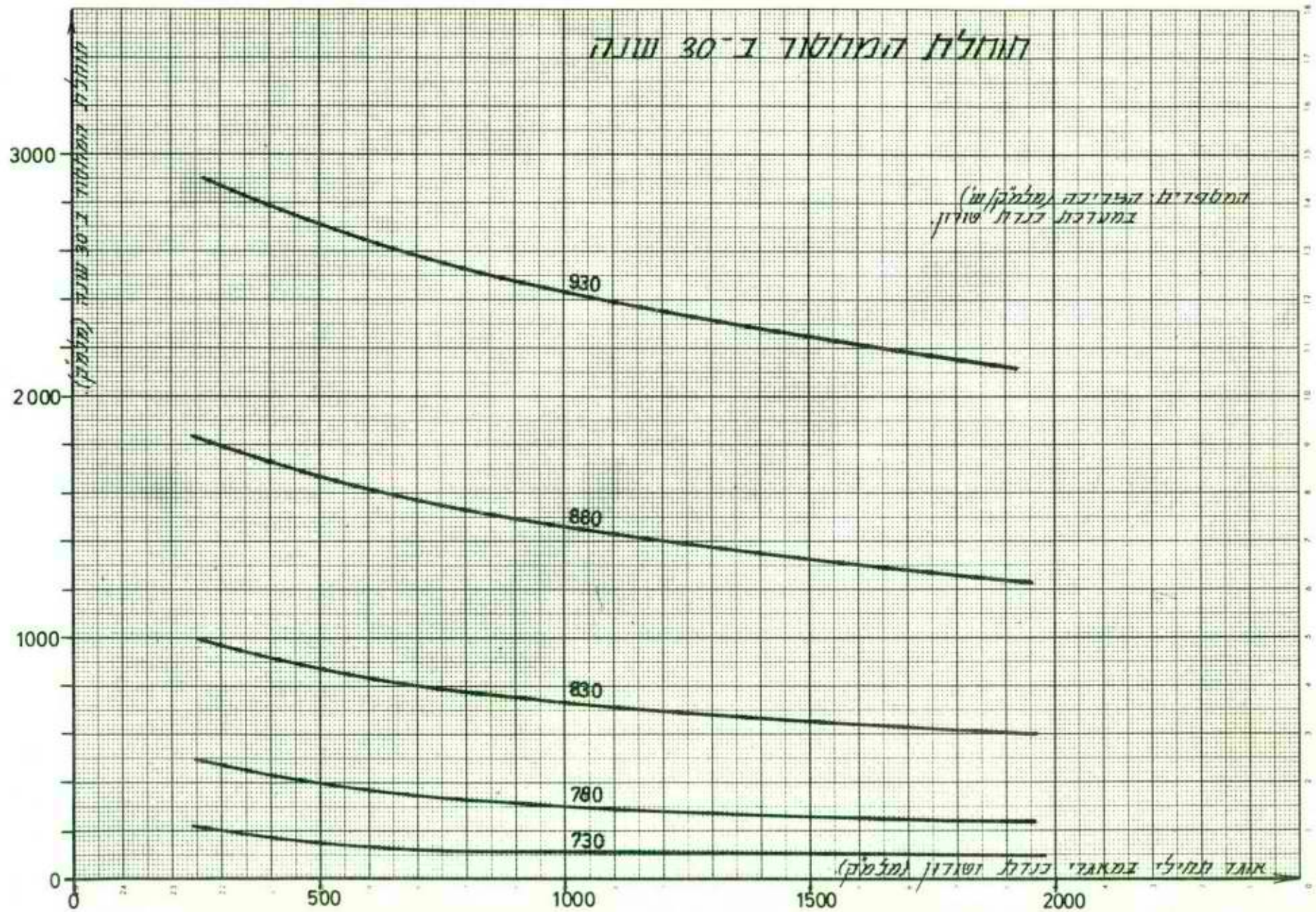
הדגמה מס' 221



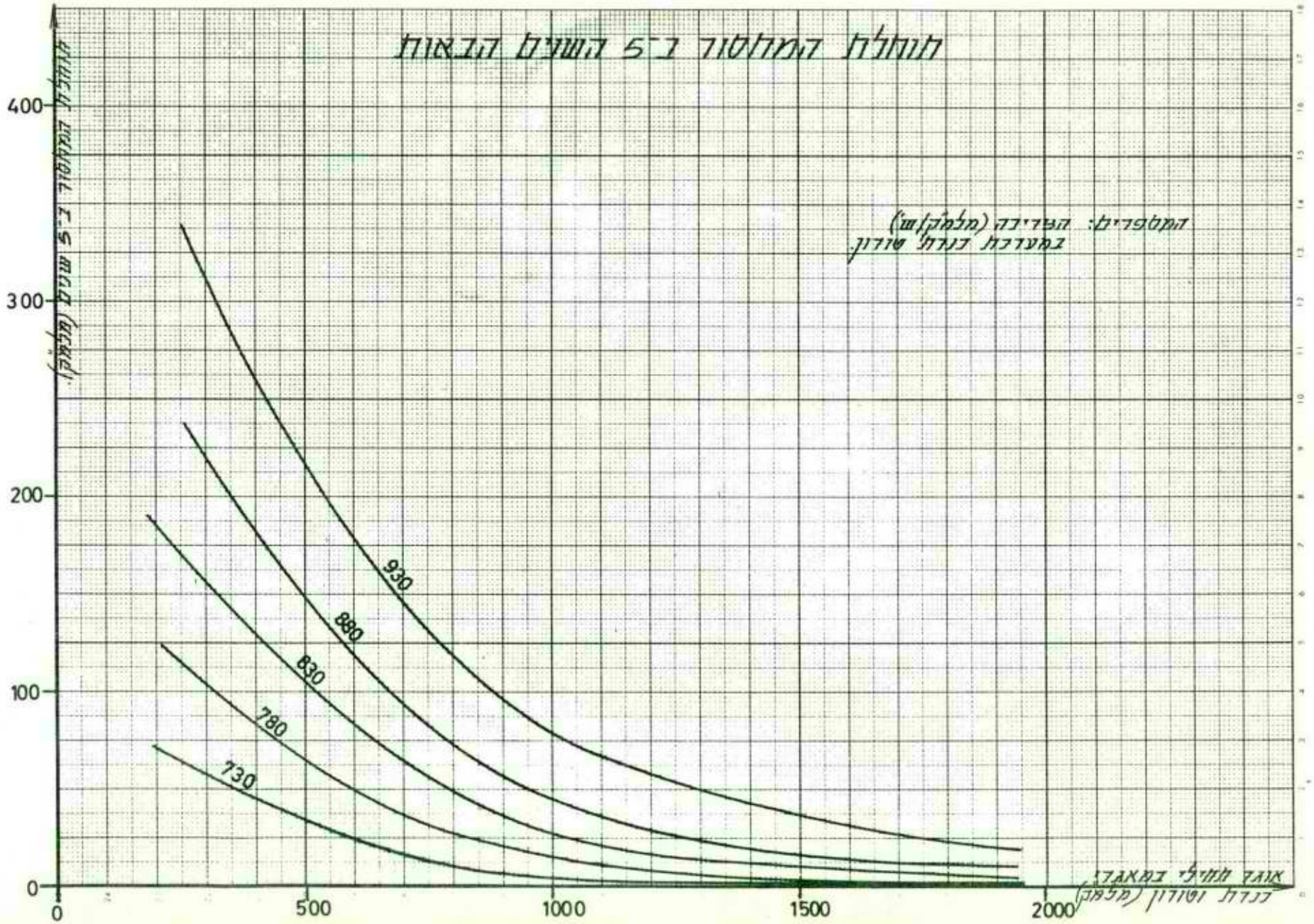
שרטוט 1

שרטוט 2


הוריאנטיות של העבירה הארצית ושל יבולי הרגרת
עבירה או יבול (מליון/שנה)
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
העבירה הארצית
קו עבירה ממוצעת
יבולי הרגרת
ממוצע שנתי
שנה
1956
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69

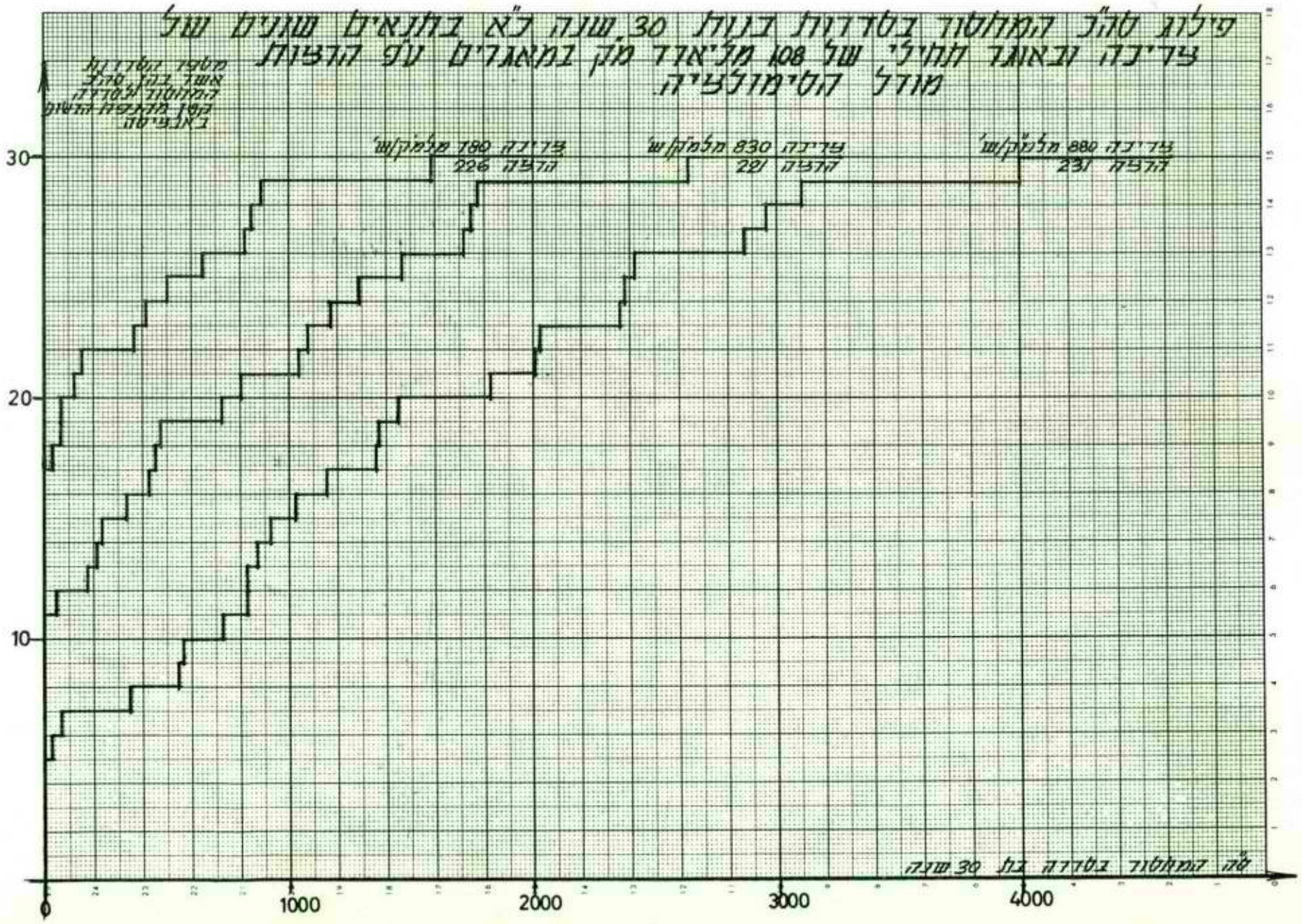

תחולת המרחמר ב־30 שנה
המטפרית הצריכה (מלמ"ק/ש')
במערכת כנרת שורון
930
880
830
780
730
אגד ממיילי במאגרי כנרת ושורון (מלמ"ק)
3000
2000
1000
0
500
1000
1500
2000

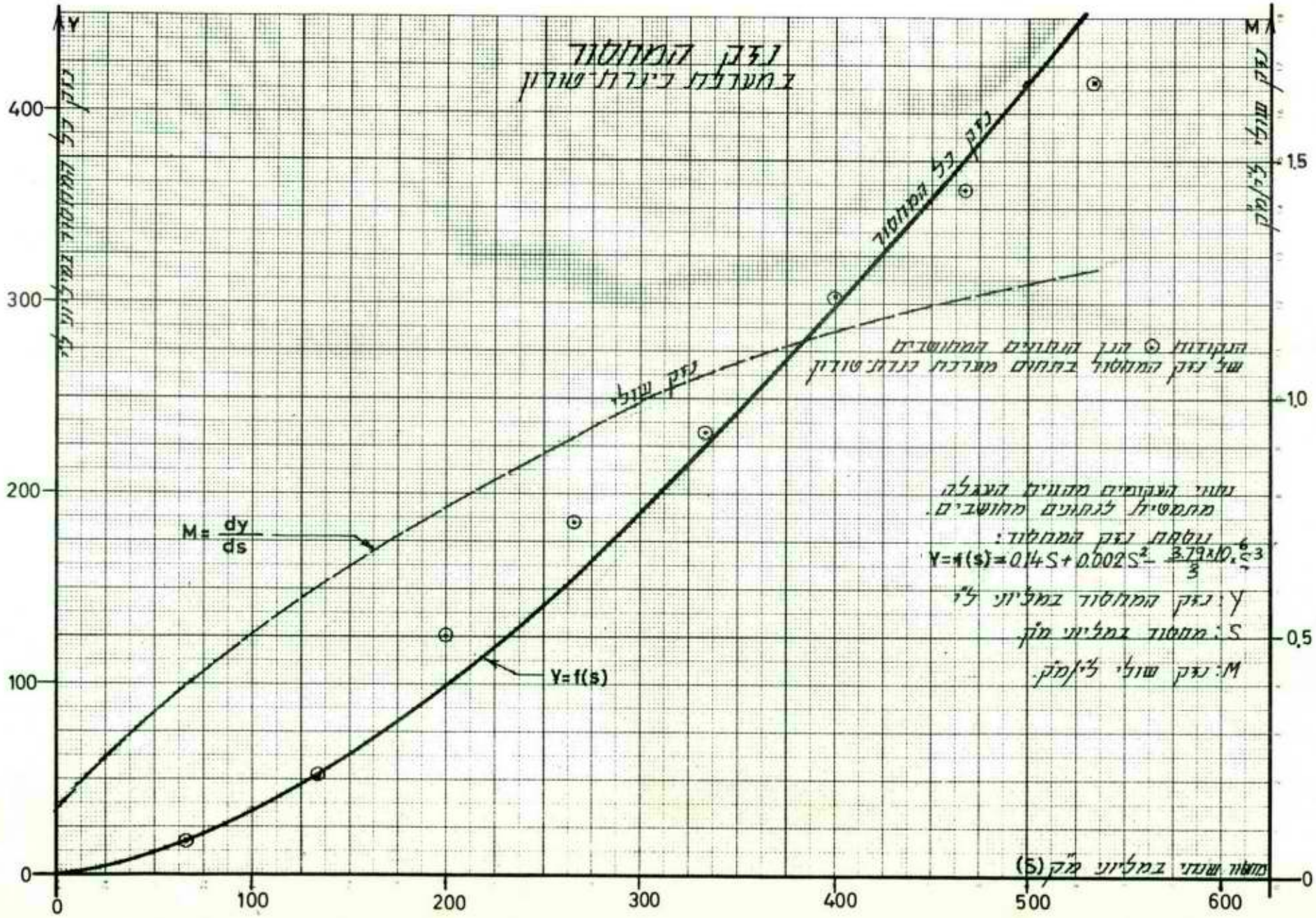
שרטוט 3


תוחלת המחלטור ב־5 השרים הנראות
גודל המקלטור ב־5 שנים (מלמ"ק)
המספרים: העדיפה (מלמ"ק) שו
בהערכת רגלת שורון
930
880
830
780
730
אגף תחילי בתאגד:
רגלת שורון (מלמ"ק)
0
100
200
300
400
500
1000
1500
2000

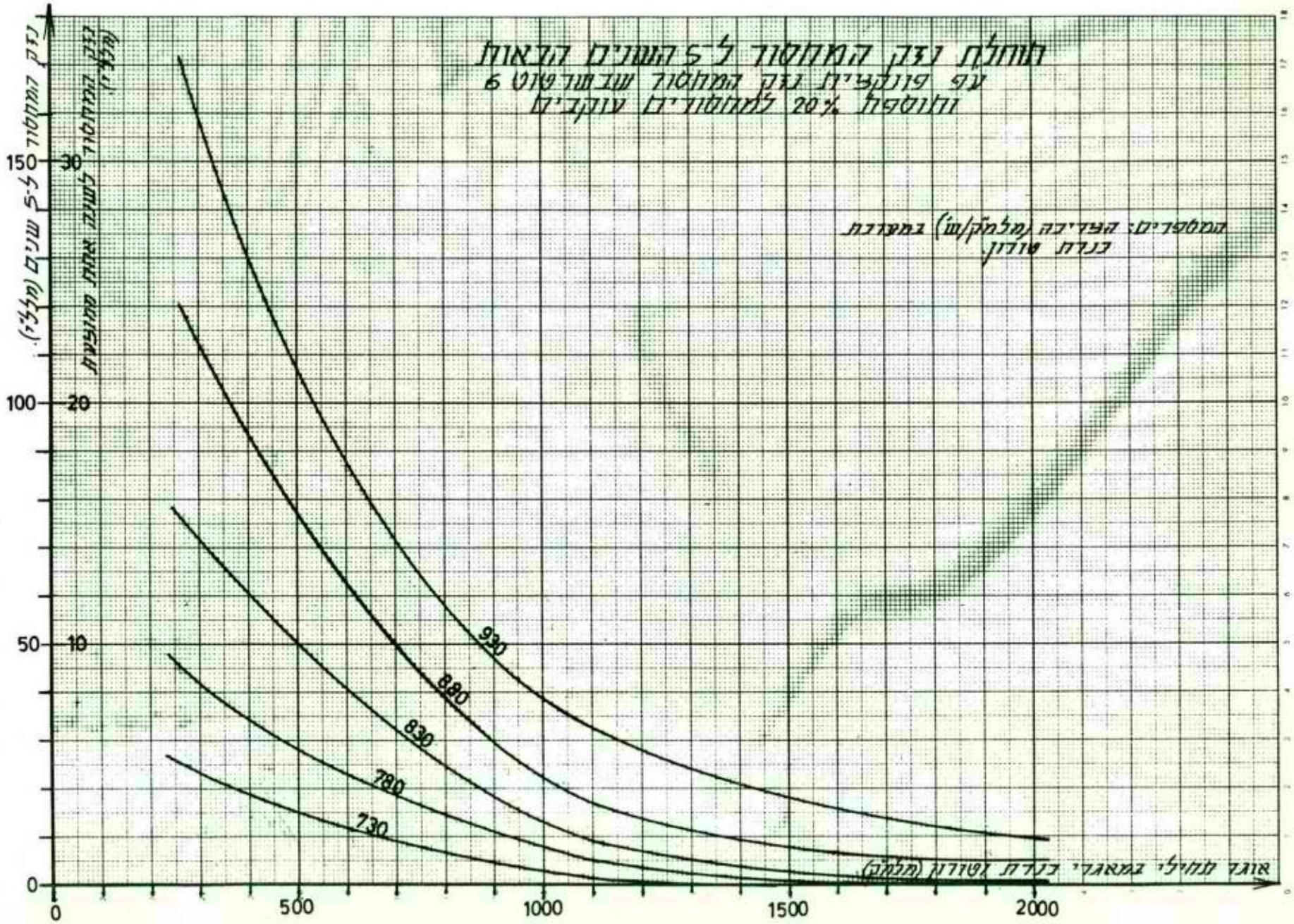
שרטוט 7

שרטוט 5

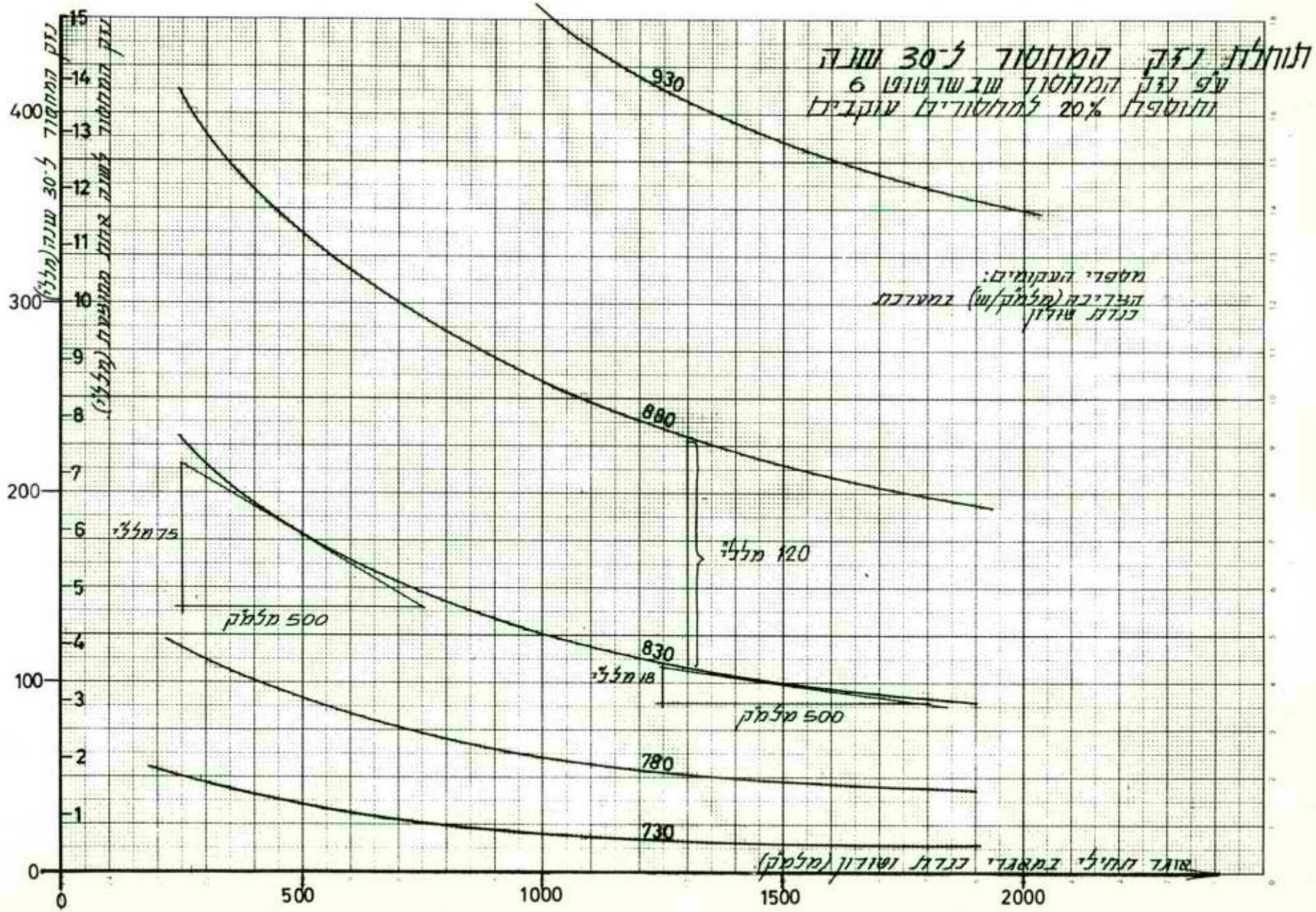

פילוג סה"כ המחטור בסדרות בנות 30 שנה כ"א בתנאים שונים של
צריכה ובאגר חודשי של 108 מיליארד מק"ש במאגרים עפ"י הצורת
מודל הסימולציה.
מספר הסדרות
אשר בהן סך
המחטור בסדרה
נפל מתחת הנתון
באנכיות
צריכה 880 מלמ"ק/שנ'
הרצה 231
צריכה 830 מלמ"ק/שנ'
הרצה 291
צריכה 780 מלמ"ק/שנ'
הרצה 226
סה"כ המחטור בסדרה בת 30 שנה
30
20
10
0
1000
2000
3000
4000


נזק המחטור
במערכת כיורת שורין
נזק של המחטור במליון ל"י
Y
M
נזק שולי מיליון ל"י
נזק של המחטור
נזק שולי
M = dy/ds
Y=f(s)
מחטור שנתי במליון מ"ק (S)
0
100
200
300
400
500
600
0,5
1,0
1,5

שרטוט 9

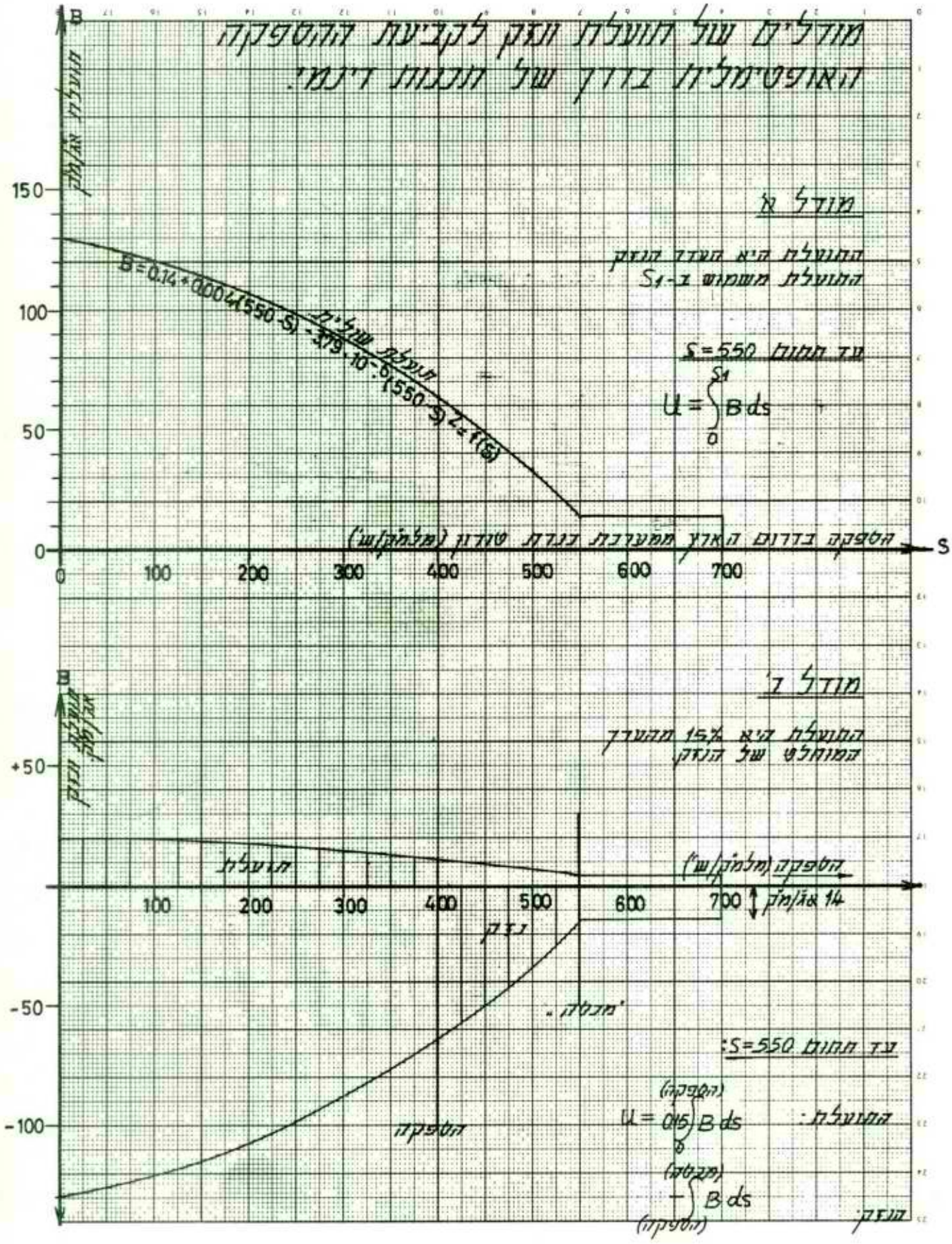

הוחלת נגן המחטור ל-5 השנים הראות
עם פונקציית נגן המחטור שבשרטוט 6
והוספת 20% למחטורים עוקבים
המספרים: העברה (מלמק/שנה) במערכת בגרת טורון
נגן המחטור ל-5 שנים (מלמ"ל)
נגן המחטור לשנה אחת המוצעת (מלמ"ל)
150
100
50
0
30
20
10
0
500
1000
1500
2000
930
880
830
780
730
אורך עמיד במאגרי בגרת טורון (מלמק)

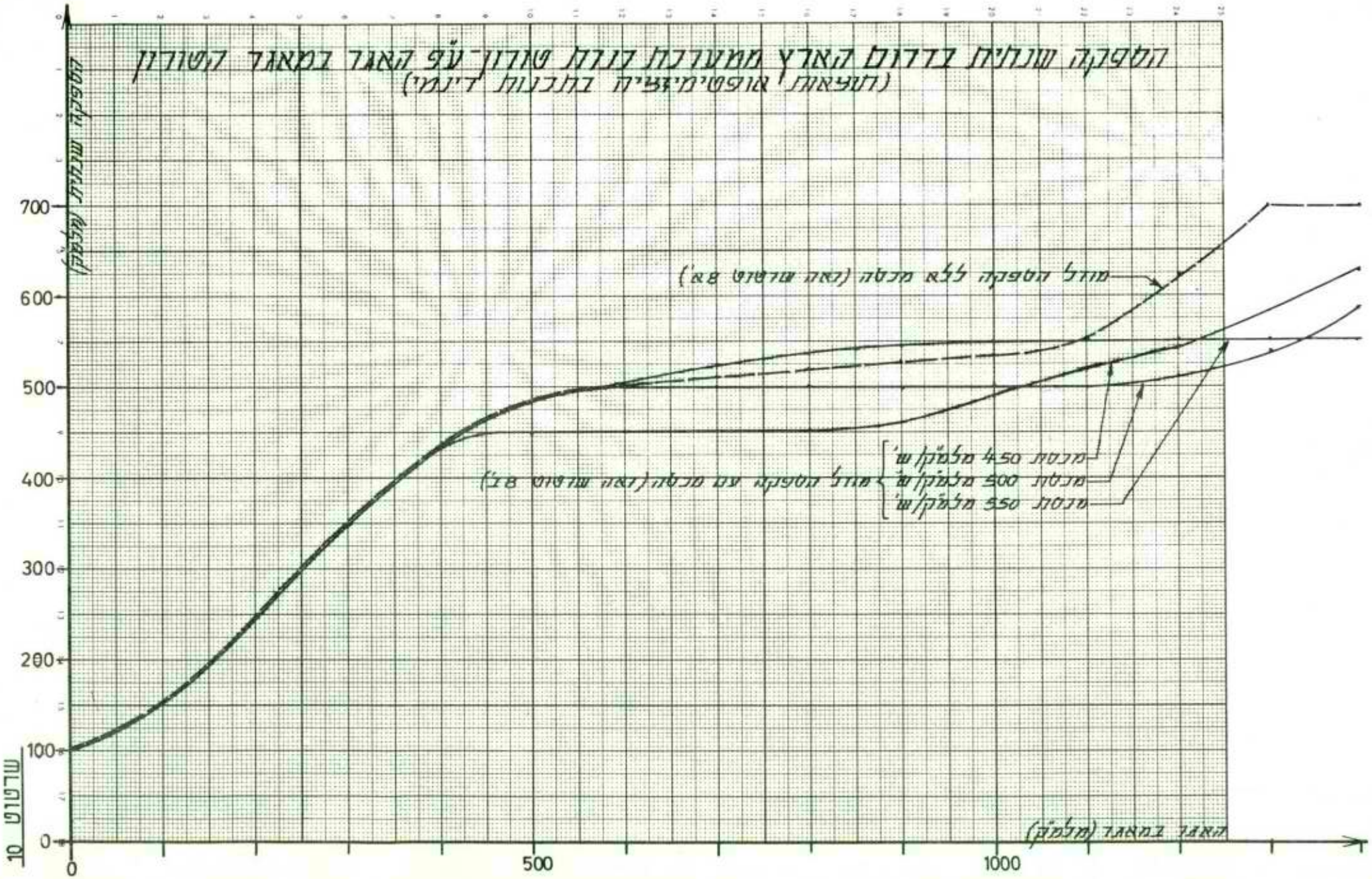
שרטוט 7

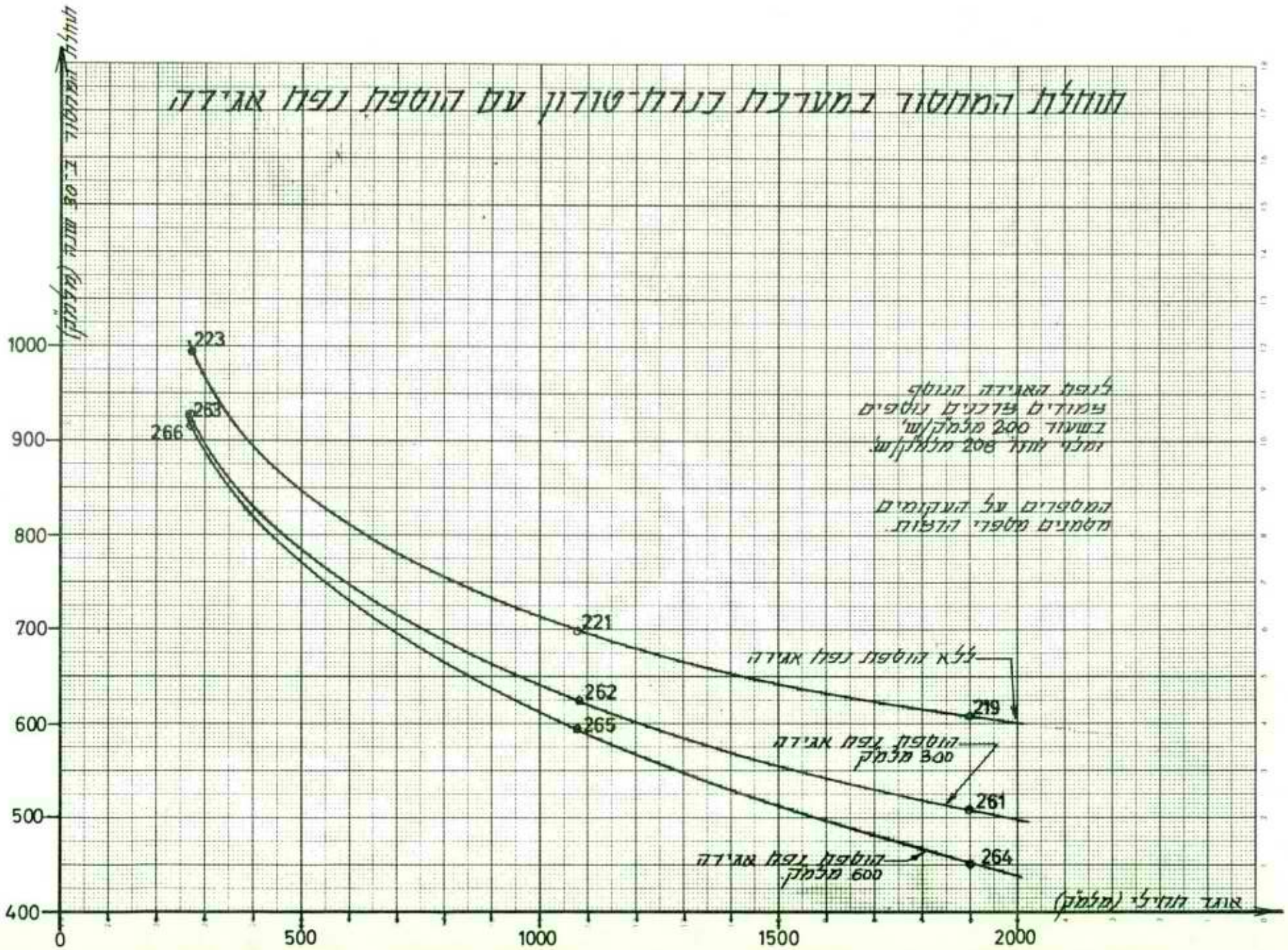

תוחלת נזק המחטור ל-30 שנה
עם נזק המחטור שבשרטוט 6
ותוספת 20% למחטורים עוקבים
מספרי העקומים:
הצריכה (מלמ"ק/ש') במערכת
כנרת שורון
930
880
830
780
730
120 מלל'
75 מלל'
18 מלל'
500 מלמ"ק
500 מלמ"ק
נזק המחטור ל-30 שנה (מלל')
נזק המחטור לשנה אחת המוערכת (מלל')
0
100
200
300
400
0
500
1000
1500
2000
עומס תחילי במאגרי כנרת ושורון (מלמ"ק)

שרטוט 8

שרטוט 9


מודלים של המעלת מגנט לקביעת ההספקה
והאופטימליות בדרך של תכנות דינמי.
מודל א'
המעלת היא העדר המגנט
המעלת משמשת ב-S_1
עד המגנט $S=550$
$U=\int_0^{S_1} B\,ds$
B=0.14+0.004(550-S)-379·10^-6(550-S)^2
המעלת מול ה"מ
ההספקה בדרום הארץ ממערבית בגדת טורדן (מלמ"ק/ש')
מודל ב'
המעלת היא 15% מהערך
המוחלט של הנדן
המעלת מול הנדן
המעלת
ההספקה (מלמ"ק/ש')
14 אגלמ"ק
נדן
"מגנטה"
עד המגנט $S=550$:
המעלת: $U=0.15\int_0^{S}(\text{ההספקה})\,B\,ds$
$-\int_{S}^{S_1}(\text{מגנטה})\,B\,ds$
הנדן:
ההספקה


הטפקה שנתית בדרום הארץ ממערכת בורות טורון עפ"י האגר במאגר השורן
(הערות אופטימיות בתכנות דינמי)
הטפקה שנתית (מק"מ)
700
600
500
400
300
200
100
0
מודל הטפקה ללא מגבלה (ראה שרטוט 8א')
מגבלת 450 מלמ"ק/ש'
מגבלת 500 מלמ"ק/ש'
מגבלת 550 מלמ"ק/ש'
מודל הטפקה עם מגבלה (ראה שרטוט 8ב')
שרטוט 10
0
500
1000
האגר במאגר (מלמ"ק)


תוחלת המחסור במערכת כנרת־טורון עם הוספת נפח אגירה
תוחלת המחסור ב־100 שנה (מלמק)
1000
900
800
700
600
500
400
0
500
1000
1500
2000
אורך תהילי (מלמק)
223
263
266
221
262
265
219
261
264
לגופת האגירה הנוסף
עמודים ערכים נוספים
בשעור 200 מלמק/ש'
ומלא יחד 208 מלמק/ש'
המספרים על העקומים
משמעים מספרי הדגמות
ללא הוספת נפח אגירה
הוספת נפח אגירה
300 מלמק
הוספת נפח אגירה
600 מלמק

שרטוט 11

3.

3. המלחמת הכנרת בתקופה 1968 - 1912

עבודה זאת חוברה ע"י פרץ דלינסקי, תה"ל, היח' לתכנון לשוות ארוך. העבודה התבססה במדה רבה על עבודת "צוות הכנרת" של ענף ההידרולוגיה של תה"ל שהכין את התשתית למחקר הנדון בשחזרו את הכניסות היומיות לכנרת משנת 1949.

תודת המחבר נתונה למר בולדשמיט המנהל לשעבר של השרות ההידרולוגי, ולמר אורן מנהל התחנה לחקר הדייג הימי על עזרתם בהכנת עבודה זאת.

ה ת ו כ ן

ש ר ט ו ט י ם

1. תכולת כלור ממוצעת בכנרת לפי תפוקה של 170,160 ו-180 אלף טון לשנה והתכולת ההיסטורית .

2. תכולת כלורידים בכנרת בח"מ לפי מדידה ולפי הנחות שונות בקשר לתפוקת המלח השנתית 1949 - 1968 .

המלחת הכנרת בתקופה 1912-1968

ת ק צ י ר

1. לגבי תכנון אופטימלי של משק המים הישראלי קיימת חשיבות לא מבוטלת בהבהרת מספר שאלות הקשורות במנגנון ההמלחה של הכנרת. עבודה זו מתייחסת למנגנון זה אולם איננה באה להסביר את מכניזם ההמלחה בכנרת על פרטיו ההידרו-ביאולוגיים אלא - על רקע ההמלחה ההיסטורית - להציע מודל מופשט שהינו כעין **אינשגרטור** של מנגנון המלחה מסובך מאד, מנגנון אשר בחלקו הגדול איננו מובן **עדיין**.

2. שיטת הניתוח שהנחתה עבודה זו מבוססת על התחקות אחר השינויים ההנדסיים וההידרולוגיים שנרשמו ביחס לכנרת בתקופה 1912-1968. תקופה זו של 56 שנים חולקה למספר תת-תקופות שאופיינו על ידי גורמים שונים כגון מפלסים נמוכים; משקעים מרובים וכיו"ב. להלן בטבלה הבאה סיכום הפרמטרים העיקריים המיוחסים למשכי זמן שונים בתקופה 1912-1968.

טבלה מס' 1 - פרמטרים עיקריים עבור 4 משכי זמן

ת ק ו פ ה	רום ממוצע	יבול ממוצע כ-% של יבול 1912-1962 סדרת בירות	תפוקת כלורידים קבועה טון x 1000
1912-1934	-210.23*	97.5	153
1934-1949	-210.74	118.4	192
1965-1968	-209.62	-	172
1949-1968	-210.11	-	170

* רום ממוצע עבור תקופה 1934 - 1926 בלבד

3. תקופת 1949 - 1934 הצטיינה בכניסות מים גדולות לכנרת מחד וברומים נמוכים במיוחד מאידך. השוואת נתוני תקופה זו לתקופה 1968 - 1965, שאופיינה בכניסות מים גדולות מהממוצע אולם ברומים גבוהים, הצביעה על קשר בין הרום ותפוקת המלח. קשר זה התבטא בתוספת של 35,000 טון כלורידים עבור רום שהוא בממוצע 1 מ' לשנה נמוך מ-210.20-. מעל ל-210.20- תפוקת המלח הינה יציבה ונעה סביב 170,000 טון לשנה .

4. תקופת 1969 - 1949 שמשה כתקופת בחינה להיפותסה שהוצגה בסעיף מס' 3 . ערכי מליחות שהתקבלו כתוצאה מהשימוש בהיפותסה זו מועלים יחד עם עקומים רלבנטיים אחרים בשרטוט מס' 2 .

5. נוסחת תפוקת המלח המוצעת מתיישבת כללית בדעה הנתמכת על ידי חלק מהידרולוגים העוסקים בבעיית הכנרת, הווי אומר שקיים רום מסויים שממנו ומטה תפוקת המלח מתגברת. ראוי לציין שהנוסחה התקבלה באופן בלתי קשור לעבודות קודמות בנושא, פרט להסתמכות על חומר עובדתי הקשור בנתונים הידרומטריים .

6. השערך הנקוב של 35,000 טון כלורידים לשנה ל-1 מ' הורדה הוא יחסית נמוך וקיים צורך לבחון אם שעור זה הינו קבוע (ליניארי) לכל הרומים מתחת ל-210.20-. בד בבד עם הגדלת כושר השאיבה של מערכת הארצית העשויה להביא לרומים נמוכים מאלה שנרשמו בשנים אחרונות, מומלץ לנהל מעקב שוטף לאחר תפוקת המלח בכדי להבטיח מידע ניסויי מהימן העשוי לתרום לשימוש יעיל יותר של מי הכנרת לצורכי אספקת מים.

א. כ ל ל י

1. מטרת תזכיר זה הינה להבהיר אספקטים מסויימים הקשורים במנגנון ההמלחה של הכנרת. קיימת לגבי משק המים הלאומי חשיבות רבה לנושא האמור מאחר ויש בו כדי להשפיע על החלטות הקשורות באופן הפעלת הכנרת כמאגר מערכת המים הארצית.

2. התקופה ההיסטורית שנחקרה היא התקופה 1912-1968, תקופה החופפת אירועים הנדסיים שונים אשר הטביעו את חותמם על צורת התפעול של האגם. על ידי קביעת התכונות המסוימות המאפיינות את פרקי הזמן השונים, מתאפשר בידוד וניתוח של גורמים חשובים לאורך משכי זמן ארוכים.

3. תקופת 1912-68 חולקה ל-4 תת-תקופות כדלהלן:

א) 1912 - 1934
ב) 1934 - 1949
ג) 1949 - 1968
ד) 1965 - 1968

באמצעות סימולציה של מאזני מלח חושבו תכולות כלור חודשיות עבור הכנרת כאשר הונחו שיעורים שונים של תפוקות מלח קבועות. תכולות הכלור המחושבות הושוו לתכולות הכלור המדודות ונתקבל עבור כל תקופה כעין אומדן של תפוקת מלח קבועה. אומדנים אלה יוחסו לנתוני רום וכניסת מים תקופתיים. בעזרת המידע שהושג על ידי הניתוח התקופתי יושמו הממצאים באמצעות ניתוח מפורט של התקופה 1968-1949.

4. ניתוח כימי של מי כנרת נעשה על ידי החוקר האנגלי אנגדל שדגם את מי-הכנרת ב-27 לאוקטובר 1912. חוקר זה קבע שתכולת הכלורידים של האגם הינה 239 חלקי מליון (ח"מ) ותכולת חומר נמס כללי 536 ח"מ.

המדידה הרשומה של מליחות הכנרת הידועה לנו שבאה לאחר זו של אנגדל היא משנת 1934 ונעשתה על ידי השירות ההידרולוגי המנדטורי מדגימה שנלקחה על יד דגניה. תכולת הכלורידים שנרשמה אז היתה 300 ח"מ (חומר נמס כללי 720 ח"מ). בשנת 1949 נעשה סקר של הכנרת שכלל בין היתר קביעת תכולת כלורידים בעומקים שונים לפי חודשי השנה. סקר זה על כל פרטיו דווח בעבודה של אורן "תכונות פיסיקליות וכימיות של ים כנרת" (1).

5. בתקופה 1965-68 בוצעו 6 מבצעים חצי שנתיים במטרה לחשב מאזני מלח תקופתיים. פרסום מס' (2) מתאר את הניסוי שנערך בתקופה 13.3.67 - 7.9.66. בניסוי זה נלקחו 670 מדגמי מים מהכנרת ב-80 תחנות ברוחבי עומק של 2.5 מ'. 6 מאזני המלח המנויים מהווים החומר המהימן ביותר בנושא ויוקדש להם בהמשך דברינו סעיף מיוחד.

ב. <u>תפוקת מלח לעומת רום האגם וכניסת מים בסיסית (1965-1968)</u>

1. להלן טבלה המציגה נתוני תפוקת מלח, רום ממוצע וכניסת מים בסיסית לכנרת לפי תקופות בעלות משך זמן של 182½ יום כל אחת. בתור מדד של כניסה בסיסית התייחסנו לכניסות נטו לכנרת* שנרשמו עבור החודשים יוני ונובמבר בהתאם לפרקי זמן בין ספטמבר ומרס או מרס-ספטמבר.

<u>טבלה מס' 2 - נתונים בסיסיים לתקופת הניסוי 9/68 - 9/65</u>

תקופה	תפוקת מלח טון	תפוקת מלח שנתית - טון	רום ממוצע לתקופה	כניסת מים נטו יוני או נוב' - מלמ"ק
9/65-3/66	99,000	179,800	-210.076	40.52
3/66-9/66	80,800		-209.621	31.52
9/66-3/67	61,000	164,600	-210.140	31.46
3/67-9/67	103,600		-209.133	60.24
9/67-3/68	78,600	172,900	-209.506	45.12
3/68-9/68	94,300		-209.258	38.20
ממוצעים	86,200	172,400	-209.622	41.17

ראוי לציין שעקב אי דיוקים בקביעת רכיבים שונים של מאזן המלח יש לייחס סטיה של כ-20% לערכי תפוקות המלח החצי שנתיים המובאים לעיל.

2. לפי נתוני טבלה מס' 2, חושב קו רגרסיה דו-משתני כאשר תפוקת המלח (Y) מושווית לכניסת מים בסיסית (X_1), ולרום הכנרת (X_2); הנוסחה המתקבלת היא:

$$Y = 0.82\ X_1 + 6.63\ X_2 + 1442.0$$

Y = תפוקת מלח באלפי טון לחצי שנה

X_1 = כניסת מים בסיסית לתקופה חצי שנתית במלמ"ק לחודש

X_2 = רום פני הכנרת במטרים.

מקדם המתאם של הקו האמור הינו 0.673.

---

* סה"כ כניסות + גשם מעל פני הכנרת פחות התאדות לפי הדו"ח 19 שנה 1949-1968 של המחלקה להידרולוגיה.

מסתבר שהשפעת הרום על תפוקת המלח היא יחסית זעומה. הורדת המפלס הממוצע מנאמר 209.0- עד 210.0- תקסין לפי הנוסחה את תפוקת המלח בבדי 13.26 אלף טון לשנה. לעומת זאת הגברת הכניסה הבסיסית ב-10 מיליון מ"ק לחודש עשויה להגביר את תפוקת המלח ב-16.4 אלף טון לשנה.

3. התקופה הנסקרת 9/68 - 9/65 מאופינת במפלסים גבוהים במיוחד - הרום הממוצע עבור התקופה הינו 209.622- . לפי מודלים של מנגנון המלחה הקובעים קשר הפוך חזק בין הרום ותפוקת המלח היה יוצא שתפוקת המלח שהיתה צריכה להתקבל הינה קטנה מזו שנרשמה בפועל. אין בממצאי 1965-68 כדי לאשר הנחה זו לפחות בתחום המפלסים החודשיים הממוצעים שנרשמו בתקופה האמורה (מ-209.09- עד 210.29-). מאידך הסימן הזהה - ז"א הורדת מפלס האגם גוררת הקטנת תפוקת מלח - עשוי לבטא גורמי המלחה שלא קבלו ביטוי בנוסחה הנ"ל מאחר ומקדם מתאם שחושב הינו, כאמור, 0.673.

ג. <u>שיחזור היסטורי של מליחות הכנרת לתקופה 1949-1969</u>

1. באמצעות הדווח היומי של כניסות ויציאות מהכנרת (3) הסוקר תקופה של 19 שנה (1949-68) ובתוספת נתונים הידרומטריים לתקופה 2/69 - 10/68, נעשה שחזור היסטורי של מליחות הכנרת. נקודת המוצא של שחזור זה הינה חודש אוקטובר 1949 כאשר נקבעה מליחות ממוצעת של 271 ח"מ כלור (כפי שדווח בדף 57 מתוך פרסום (1).)

2. הסימולציה ההיסטורית לתקופה 2/69 - 10/49 נעשתה באופן חודשי לפי נוסחת מאזן המלח כדלהלן:

$$Cl_1 = \frac{V_o\, Cl_o + K_1 - X\,out(\frac{Cl_o}{2})}{V_1 + X\,out/2}$$

כאשר:

V_o = נפח האגם בתחילת התקופה במלמ"ק

V_1 = " " בסוף " "

$X\,out$ = נפח שנצרך ושגלש במשך התקופה במלמ"ק

Cl_o = מליחות ממוצעת של האגם בחלקי מליון בהתחלת התקופה

Cl_1 = " " " " " " בסוף "

K = כניסת מלח לאגם במשך התקופה בטונות של כלורידים.

3.1 משנת 1949 ואילך נעשו מספר רב של דגימות כימיות של מי הכנרת; אולם מחמת ההשתנות השכבתית הגבוהה של התכונות הכימיות ופיסיקליות של האגם ומחוך סטיות במדידות עצמן קיים העדר כללי של נתונים מהימנים בקשר לערכי מליחות ממוצעים.

כאמור, הנסיון הרציני ביותר לקביעת מליחות ממוצעת ומאזני מלח נעשה בתקופה 9/68 - 9/65. מלבד הנתונים החצי שנתיים האמורים, נעשה בעת האחרונה על ידי צוות הכנרת שחזור מליחות ממוצעת יומית לתקופה 65 - 1964. ערכי מליחות אלה מבוססים על דגימה יומית ב-12 נקודות ועל נתונים הידרומטריים ואנרגטיים יומיים.

3.2 בטבלה מס' 3 מובאים נתוני מליחות ממוצעת של הכנרת כפי שנתקבלו מ-2 מקורות המנויים בסעיף הקודם (נתונים אלה מופיעים בטור המכונה "מליחות היסטורית"). מובאים כמו כן נתוני מליחות ממוצעים לפי 3 סימולציות של תפוקת מלח קבועה לתקופה 1968 - 1949.

טבלה מס' 3 - תכולות כלור היסטוריות ותכולות כלור לפי 3 תפוקות מלח קבועות - (1968 - 1949)

חודש	שנה	מליחות היסטורית ח"מ כלור	סימולציה 160,000 טון לשנה;ח"מ כלור	סימולציה 170,000 טון לשנה;ח"מ כלור	סימולציה 180,000 טון לשנה ח"מ כלור
ספט'	1964	356	340	358	377
מרס	1965	342	319	336	354
ספט'	1965	346	323	341	359
מרס	1966	342	320	338	357
ספט'	1966	349	329	349	369
מרס	1967	326	302	321	340
ספט'	1967	319	299	318	337
מאי	1968	287	268	285	303
אוק'	1968	297	276	295	313
סטיה ממוצעת מוחלטת מהמליחות ההיסטורית בח"מ			20.9	3.0	16.1

3.3 בטבלה מס' 3 ובשרטוט מס' 1 ניתן להבחין בהתאמה היחסית הגבוהה בין תכולת הכלור ההיסטורית בתקופה 10/68 - 9/64 ובין אלה שהתקבלו מתוך ההנחה שתפוקת המלח עבור תקופת 68 - 1949 הינה קבועה בשיעור של 170,000 טון לשנה. עבור 9 תכולות הכלור המנויות בטבלה מס' 3, יוצא שהסטייה הממוצעת המוחלטת של הסימולציה בעלת התפוקה הקבועה של

170,000 טון כלור לשנה, הינה 3.0 ח"מ כלור. הסטיות הממוצעות המוחלטות של 2 הסימולציות האחרות הן פי 5-7 גדולות מזו של 170,000 טון לשנה.

3.4 נציין פה שתפוקה זו של 170,000 טון כלורידים לשנה היא כעין אומדן ראשון בלבד מאחר ונראה בהמשך דברינו, שתפוקת המלח בתחילת התקופה הנלמדת (57 - 1949) היא גבוהה מ-170,000 טון לשנה. מכל מקום ניתן לסכם על בסיס האמור לעיל כדלהלן:

א. סימולציה ההיסטורית של שחזור מליחות הכנרת לתקופה 9/68 - 10/49 הצביעה על אומדן תפוקת מלח ממוצעת של 170,000 טון לשנה. רום האגם הממוצע לתקופה זו היה 210.20- או כ-58 ס"מ נמוך מאשר בתקופה 9/68 - 9/65.

ב. בתחום הרומים בין 209.00- עד 210.20- לא הוכח קשר סיבתי בין תפוקת המלח שנע סביב 170,000 טון לשנה ובין הרום.

ד. <u>תקופת 1932 - 1912</u>

1. תקופה זו מתוחמת על ידי הדגימה של אנגדל מחד ועל ידי הקמת סכר דגניה ב-1932 לצרכים הידרו-חשמליים מאידך. תקופה זו של כ-20 שנה הוא כעין חתך לאורך זמן של המשטר הסבעי הבלתי מופר של האגם והוא משמש כתקופה השוואתית לתקופות "מופרות" מאוחרות.

2. בתקופה זו תכולות הכלור הידועות לנו הן כאמור מ-27.10.1912 ומתאריך 24.5.1934. לפי התיאור של אנגדל (7) המדגם נלקח בסמוך לפני האגם מאניית קיטור שהפליגה במרחק של מיל אחד דרומית לטבריה, ז"א ממול חמי טבריה. עקב המיהול המהיר של הנביעות המלוחות והמרחק מהחוף שאניית הקיטור היתה צריכה לשמור והעובדה שהדגימה נלקחה סמוך לפני האגם-לא נראה שמעיינות מלוחים אלה היו משפיעים על ערך המליחות המדווח. איש הצוות-האחראי על בדיקת המים מבחינה כימית - קובע שכמות המים שנדגמה לא הספיקה לבדיקה מפורטת ומדויקת וייתכן ויונים כגון אשלגן וברומיד בתכולות זעירות לא נתגלו למרות המצאותם במים. מתוך האמור לא ניתן היה לבצע מאזן כימי של היונים במים. במה שנוגע לקביעת תכולת הכלורידים, הטכניקה של 1912 הינה למעשה זהה לזו בשימוש היום ולכן ואין סיבה טכנית לכך שנתוני תכולת כלורידים אינם מהימנים.

3. תכולת הכלורידים שנקבעה על ידי אנגדל היא 239 ח"מ, תכולה יחסית נמוכה. תכולה כזו יכולה להצביע על תפוקת מלח ממוצעת נמוכה או על כך שקדמה לתאריך הדגימה תקופה שהיתה במיוחד גשומה. עיון בפרסום

של ה. אשבל (4) מורה שתקופת 3 השנים 1912 - 1909 היתה תקופה גשומה. ממוצע הגשם בבירות לתקופה זו נקבע כ-1021 מ"מ/שנה לעומת ממוצע רב-שנתי (לתקופה 1962-1816) של 856 מ"מ.

כידוע קיים מתאם בין כניסות לכנרת ובין הגשם בבירות, ולכן תכולת הכלורידים שנקבעה על ידי אנגדל משתלבת באופן סב ר במחזור ההידרו-מטראולוגי של הכנרת.

4. הכניסות החודשיות של הסימולציה לתקופה 34-1912 נלקחו מפרסום (6) "טור ביירות - כמויות מים חדשיות מחושבות". כמו כן הונח מתוך העדר נתוני מפלס שהרום החודשי עבור התקופה 9/26 - 9/1912 הינו קבוע 210.52-. החל מאוקטובר 1926 הרום נקבע לפי נתוני מפלס שנלקחו מדף 68 של פרסום (6). באותם החודשים ששינוי הנפח החודשי לא התאים לכניסה החודשית המחושבת, הותאם שינוי הנפח לכך שיציאת המים החודשית היא 0 ולא ערך שלילי.

בטבלה מס' 4 מוצגים ערכי תכולות כלור כפי שהתקבלו מתוך 3 הנחות של תפוקת מלח קבועה: 170,160 ו-180 אלף טון לשנה. לידן מובאות 2 מדידות כלור ממאי 1934 ומאוקטובר 1935.

טבלה מס' 4 - תכולות כלור היסטוריות ותכולות כלור לפי 3 תפוקות מלח קבועות (1912-1935)

תאריך	מליחות היסטורית ח"מ כלור	סימולציה 160,000 טון לשנה; ח"מ כלור	סימולציה 170,000 טון לשנה; ח"מ כלור	סימולציה 180,000 טון לשנה; ח"מ כלור
24/5/34	300	321	340	360
13/10/35	316	325	344	364

לפי סימולציה זו תפוקת המלח הקבועה ההולמת ביותר את ערכי המליחות המדודים היא כ-153,000 טון לשנה. כמובן יש להתייחס בזהירות למספר זה משום ההנחות שהונחו לגבי תקופה 1926 - 1912 ובגלל העובדה שידועות רק 2 מדידות כלור בסוף התקופה. הרום הממוצע לתקופה 5/34 - 9/26 הינו 210.23-.

ה. <u>תקופה 1949 - 1934</u>

1. תקופה זו מצטיינת בכך שהכנרת במשך הזמן המנוי שימשה כמאגר מים של המפעל ההידרו-אלקטרי בנהריים. עם דעיכת הזרימות לכנרת בסוף האביב, נפתחו שערי דגניה ע"מ להבטיח את הספק החשמל המתוכנן. כתוצאה מכך רומי הכנרת במשך 20 שנה אלה היו נמוכים באופן בולט; הרום החודשי הממוצע התקופתי הינו 210.74-. מלבד האמור, 20 השנים

הנ"ל נתברכו בכמויות גשם בלתי-רגילות. בכפר גלעדי ירד בממוצע בתקופה 48/49 - 1934/35 849 מ"מ לשנה לעומת ממוצע רב-שנתי (68/69 - 1921/22) של 783 מ"מ לשנה. על פי הכניסות החודשיות לכנרת לפי סידרת כפר גלעדי, היבולים השנתיים בתקופה 49 - 1934 היו גדולים ב-15% לעומת התקופה 62 - 1926.

2. תקופה זו של מפלסים נמוכים מחד וכניסות גדולות מאידך היא חריגה מבחינת תפוקת המלח הממוצעת התקופתית ביחס ליחר משכי הזמן שנסקרו. בסבלה הבאה ניתן להבחין שתפוקת המלח הממוצעת התואמת את המדידה של אפריל 1946 ואוקטובר 1949 היא 192,000 טון לשנה.

טבלה מס' 5 - תכולות כלור היסטוריות ותכולות כלור לפי 3 תפוקות קבועות עבור תקופה 49 - 1934

תאריך	מליחות היסטורית ח"מ כלור	סימולציה 170,000 טון לשנה; ח"מ כלור	סימולציה 180,000 טון לשנה; ח"מ כלור	סימולציה 190,000 טון לשנה ח"מ כלור
11/4/46	276	248	260	273
24/2/47	276	252	265	278
10/49*	271	237	250	262

* ממוצע חודשי לפי פרסום מס' (1) דף 57

3. תפוקה ממוצעת זו של 192,000 לשנה, ניתנת להסבר היפותטי על ידי הרומים הנמוכים שנרשמו מחד ועל ידי כניסות המים הגדולות מאידך העשויות לגרור איתן כמויות מוגברות של מלח. ראינו מתוך לימוד ממצאי 9/68 - 9/65 שהגברת כניסות המים עשויה להשפיע כדי 16,000 טון לשנה עבור גידול בכניסות הבסיסיות של 10 מליון מ"ק לחודש. לפי סדרה זו של 6 ניסויים, הכניסה הבסיסית הממוצעת ללא ניכוי התאדות היתה 41.2 מליון מ"ק. אם נצא מההנחה שהזרימה הבסיסית היא מותאמת באופן יחסי ומושלם לכניסות השנתיות, הפרש בכניסות השנתיות בין התקופות 49-1934 ו-68-1965 של 5% לטובת התקופה המוקדמת יכול היה להסביר העלאת תפוקת מלח בסדר גודל של 3,000 טון לשנה.

4. יש אם כן להסביר תפוקת מלח עודפת לתקופה הנדונה לעומת 68-1965 של כ-19,000 טון לשנה. כאמור, הרום הממוצע לתקופה 49-1934 הוא 210.74-. מתוך ממצאי תקופת 68-1965 מסתבר שבתחום הרומים מעל 210.20, כניסת המלח השנתית הינה קבועה ונעה סביב 170,000 טון לשנה. אם ניחס את תפוקת המלח של 19,000 טון לשנה להפרש בין 210.74- ו-210.20-, יצא שהעלאת תפוקת המלח השנתית הנגרמת על ידי הורדת הרום ב-1 מ' מתחת ל-210.20- היא 35,000 טון.

ו. ניתוח מפורט של תקופת 1949-68; בחינת היפותסה

1. בסעיף "ב" נקבע אומדן ראשוני של תפוקת מלח ממוצעת עבור התקופה 1949-68. אם כי התפוקה של 170,000 טון לשנה תאמה ערכי מליחות ידועים בסוף התקופה, לא כן לגבי פרק דזמן 1949-62. למרות העובדה שלא נקבעו ערכי מליחות ממוצעים, קיימות עבור 1949-63 כעין מעטפות של מדידות מליחות המובאות בשרטוט מס' 2. ניתן להבחין בשרטוט הנ"ל שעבור דתקופה 1949-62, תפוקת 170,000 טון כלור נותנת ערכי מליחות נמוכים לעומת מעטפות המליחות המובאות. לעומת זאת, התפוקה הקבועה של 180,000 טון לשנה הולמת יותר את פרק הזמן 1949-62, אולם נרשמו לאחר 1962 סטיות מהותיות בין המליחות הממוצעת המדודה של האגם ואלה שנתקבלו מתוך ההנחה השניה - ז"א 180,000 טון כלורידים לשנה.

2. העקום השלישי המובא בשרטוט מס' 2 הינו של כניסות מלח משתנות בהתאם להנחה שתפוקת המלח השנתית היא 170,000 טון בתוספת 35,000 טון עבור רום ממוצע שנתי של 1.0 מ' מתחת ל-210.20-. תפוקות המלח השנתיות חושבו החל משנת 1949/50 בהתאם לאמור כלהלן: 178, 208, 175, 181, 180, 189, 175, 176, 177, 177, 170, 170, 170, 170, 170, 170, 170, 170, 170, 170; הכל באלפי טון.

3. ערכי מליחות שהתקבלו מתוך השימוש בתפוקת מלח משתנה מועלים בעקום בשרטוט מס' 2. כללית, עקום זה המוסק מתוך לימוד התקופה 1934-49 מתאים יותר לערכי מליחות המדודים מאשר 2 תפוקות המלח הקבועות כאשר המדובר בפרק הזמן 1949-68, אם כי לגבי התקופה אפריל 1954 ומאי 1955 קיימת סטיה מסוימת בין תחומי המעטפת וערכי המליחות המחושבים. קרוב לוודאי שסטייה זו נובעת מכניסות המים הבלתי רגילות של השנה 1953/54. העקום הנ"ל מתיישב בד"כ בתחום מעטפת המליחות עד 1964 ולאחר שנה זו נמצא סמוך לעקום של המליחות הממוצעת המדודה. הסטיה המוחלטת לתקופה 1964-68 בין עקום המליחות המדוד ועקום של תפוקת מלח משתנה היא 4 ח"מ כלור בממוצע.

ז. הערות ומגבלות של המחקר

1. בפרק "ב" הדן בתקופה 1965-68, מדובר על קשר בין תפוקת המלח וכניסות המים לכנרת. במסגרת העבודה הנוכחית לא נמצא חומר השוואתי מספיק על מנת לקבוע קשר זה באופן מפורש, ולכן הסימולציה המבוססת על תפוקת המלח ב-1949-68 לא התחשבה בגורם זה. אין ספק שבטווח הקצר יש בזה להסביר חלקית את הסטיות בין מעטפת המליחות המדודה ובין אלה שהתקבלו כתוצאה מהנחות שונות לגבי תפוקת המלח. אולם ביחס

לתקופה של 20 שנה, השפעת כניסות המים לכנרת על תפוקת המלח הממוצעת היתה מצטמצמת מאחר והתקופה כולה מצטיירת כתקופה ממוצעת מבחינת כניסות מים לאגם. לעומת השפעת הרום על תפוקת המלח, הגורם השני אינו - נתון אם לא נתחשב בגשם מלאכותי - להחלטת מפעילי המערכת. לכן לצורך חישובי מליחות לטווח הארוך גורם יבולי המים לכנרת אינו בעל משמעות מהותית.

2. הונחו בחישובי מאזן המלח החודשי מספר הנחות אשר אינן תואמות במדויק את המציאות. ראשית, מליחות מי ההגלשות דרך סכר דגניה נלקחה (כשווה לזו של המליחות הממוצעת של האגם - דבר שאינו נכון מבחינה מעשית מאחר וקיים פער ביניהם של מספר ח"מ כלור). כמו כן הונח שכל כמות המלח הנכנסת לאגם נמהלת באופן שווה ומידי במי הכנרת. המלח המוכנס באמצעות הירדן ומי השפונות צורף לכמות המלח הכללית, ולא נעשה תיקון שנתי שהתחשב בגורם משתנה זה.

3. חישוב תפוקת המלח הממוצעת לתקופה 1934-49 התייחס לנקודה תחילית של 2 מדידות מליחות בלבד שנעשו בשנים 1934 ו-1935. נשאלת השאלה באיזו מידה אי דיוקים במדידות אלה מסוגלים להשפיע על חישוב תפוקת המלח התקופתית? נבחנה רגישות חישוב תפוקת המלח לערכים תחילים ונתברר כי מאחר ומדובר במשך זמן של 15 שנה, אין תפוקת המלח הממוצעת המחושבת רגישה לערכים תחיליים בתחום של 30± ח"מ כלור.

4. הפישוטים המנויים מעלה עלולים לגרום לסטיות זעומות בלבד ואין בהם כדי לשנות כמותית מסקנות מחקר זה. יש להדגיש שעבודה זו איננה באה להסביר את מכניזם ההמלחה ההידרולוגי של הכנרת אלא להציע מודל המלחה העשוי לשמש לצרכי תכנון הפעלה אופטימלית כרכיב של המערכת הארצית.

ביבליוגרפיה

1. Oren O.H. 1957. Physical and Chemical Characteristics of Lake Tiberias. Sea Fisheries Research Station and Water Planning for Israel Ltd. P.N.9

2. צורת הכנרת 1967. מאזן המלח של הכנרת, דו"ח ביניים ליום 13.3.67. תה"ל, הענף למחקר הידרולוגי.

3. צורת הכנרת 1968. דו"ח 19 שנה 1949-1968 של כניסות יומיות לכנרת. תה"ל. הענף למחקר הידרולוגי.

4. אשכל ד. תשכ"ג מאה ושבע-עשרה שנה של מדידות גשם, (1845-1962). האוניברסיטה העברית.

5. Department of Land Settlement and Water Commissioner. 1948 Chemical Analyses of Water from Rivers, Springs, Wadis and Wells.

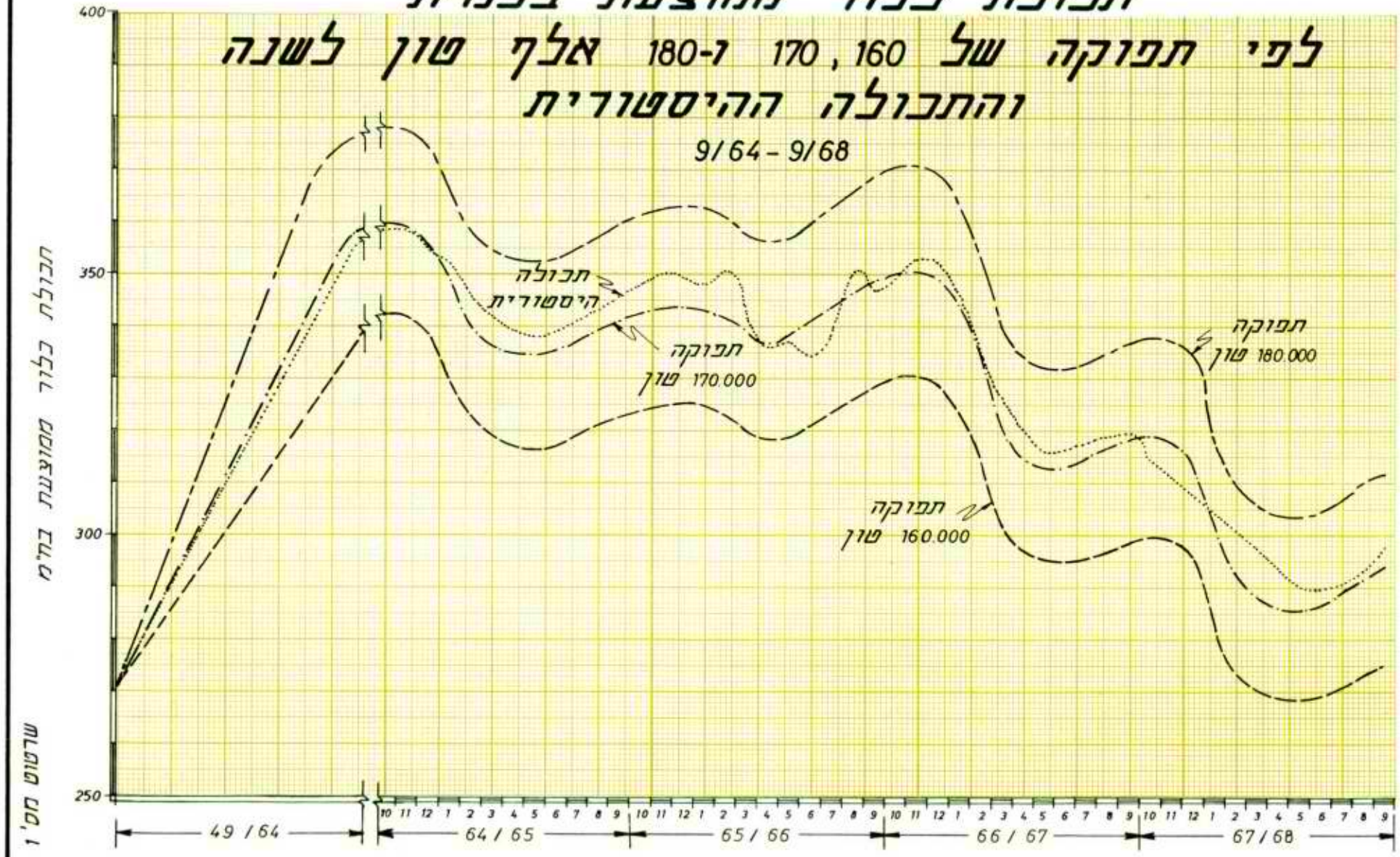
6. המדור למים עיליים 1964 מאזן המים של הכנרת, תה"ל. הענף למחקר הידרולוגי, פ"מ 369

7. Annandale, N. 1913. Introduction to a Report on the Biology of the Lake of Tiberias. J. As. Soc. Bengal.

תכולת כלור ממוצעת בכנרת

לפי תפוקה של 160, 170 ו-180 אלף טון לשנה
והתכולה ההיסטורית

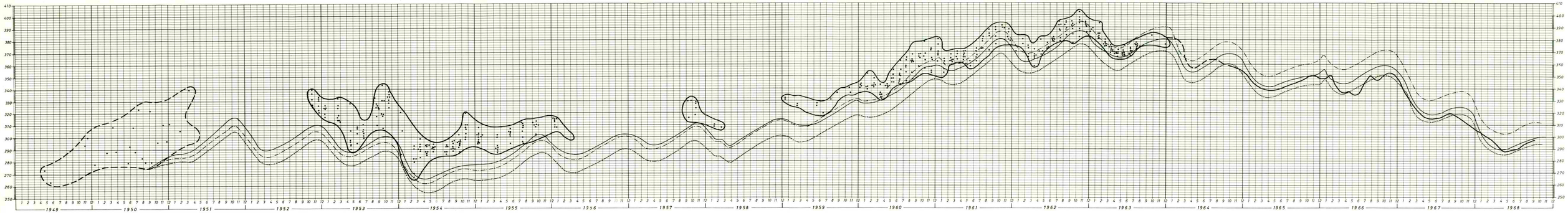
9/64 - 9/68



שרטוט מס' 1

שרטוט מס' 2

תכולת כלורידים בכנרת בח"מ לפי מדידה ולפי הנחות שונות בקשר לתפוקת המלח השנתית 1968 - 1949



מקרא

- משטח של תכולת כלור
- משטח של תכולת כלור (אומדן)
- תכולת כלור ממוצעת (מדידה)
- תכולת כלור ממוצעת (אומדן)
- תפוקת מלח משתנית
- תפוקת מלח קבועה 50,000 טון לשנה
- תפוקת מלח קבועה 100,000 טון לשנה

4. חיזוי מליחות מי הכנרת הנשאבים אל המפעל הארצי

תזכיר זה הוכן ע"י אלישע קלי, תה"ל, היחידה לתכנון לטווח ארוך. הנתונים המשמשים כאן התקבלו מ"צוות הכנרת" (תה"ל, הענף ההידרולוגי) ממעבדת "מקורות" בבית נטופה וממרכז פרויקטים כנרת בית שאן בתה"ל חיפה - כמפורט בגוף התזכיר.

חישובי הרגרסיות והסימולציה (לצורך חיזוי) רוכזו בידי מר שמואל גורדון מהיחידה לחקר ביצועים (תה"ל).

ה ת ו כ ן

ש ר ט ו ט י ם

נ ס פ ח י ם

חיזוי מליחות מי הכנרת הנשאבים אל המפעל הארצי

1. כ ל ל י

מליחות מי הכנרת הנשאבים אל המפעל הארצי הריהי מנתוני היסוד של הפעלת המערכת הארצית. גורמי מליחות הכנרת בכללה, הריהם נושאים למחקרים רבים שבוצעו ומתבצעים. הייחוד של נושא מליחות המים הנשאבים מהכנרת (לעומת מליחות מי הכנרת בכללה) הריהו בדברים הבאים:

א. מליחות המים הנשאבים מהכנרת היא למעשה הנושא המעניין את מתכנני משק המים בארץ (ולאו דווקא מליחות מי הכנרת כולה).

ב. מליחות המים הנשאבים מהכנרת, נתונה מאז הפעלת המפעל הארצי למדידה מדוייקת למדי (בכניסתם לבריכת בית נטופה). ואין צורך להביא בחשבון ביחס למשתנה זה את "שגיאות המדידה". מליחות הכנרת בכללה, לעומת זאת, הריהו משתנה המאפיין את הנתון האמיתי העומד מאחרי כינוי זה - רק באופן מקורב.

ג. מליחות המים הנשאבים מהכנרת הריהי משתנה הנתון לחוקיות עצמית ונבדלת מזו של כלל מי הכנרת בהיותה נתונה להשפעות והגבלות מיוחדות כגון: קרבה מסויימת למקורות מלוחים ולמקורות מתוקים.

להלן מוצג ניתוח המיועד לאתר את גורמי מליחות המים הנשאבים מהכנרת במגמה לחזות מליחות זאת לעתיד. הניתוח מתבסס על המדידות שנעשו ביחס למליחות זאת בכניסה לבריכת בית נטופה במשך 57 החודשים שעברו מהתחלת הפעלת המפעל הארצי.

2. ת מ צ י ת

לשם חיזוי מליחות המים שיישאבו מהכינרת בעתיד, יש צורך לקבוע את הגורמים המשפיעים על זרימת מלח לתוכה. חלק מהמלח הנכנס לכנרת הינו "גלוי" וניתן למדידה ישירה ולחיזוי פשוט ביחס לעתיד. חלק אחר של המלח הנכנס לכינרת הינו "סמוי" בכך שהוא נכנס עם זרימות תת ימיות. חלק זה אינו ניתן למדידה ישירה ולחיזוי פשוט.

נמצא כי כניסת המלח הסמוי ניתנת לאומדן כמותי מקורב ע"י שני גדלים פיזיקליים הניתנים למדידה: רום פני המים ויבולי המים ("הכניסות") - אולם לא ניתן להפריד בין השפעותיהם השונות של שני אלה (בהיותם מתואמים למדי ביניהם).

חיזוי כניסת המלח הסמוי דורש את הפרדתם של שני הנ"ל וזאת יכולה להעשות רק ע"י הנחה שרירותית לגבי השפעת אחד מהם. בהתאם לזאת הונחו כמה השפעות סבירות אלטרנטיביות של רום פני המים ונעשו בהתאם תחזיות אלטרנטיביות של מליחות מי הכינרת בעתיד. תחזיות אלה מוצגות בשרטוטים מס' 3 ו- 4.

3. <u>ההנחות לגבי המנגנון הפיזיקאלי הקשור להמלחת מי הכנרת</u>

לגבי המנגנון הפיזיקאלי של המלחת מי הכנרת, הונחו כאן ההנחות ונעשו המינוחים הבאים:

א. מליחות הכנרת משתנה בלי הרף בגלל מציאות ספיקות בלתי קבועות פנימה והחוצה של מים ושל מלח.

ב. ספיקות המלח הזורמות לכנרת מתחלקות ל"גלויות" - אלה הניתנות למדידה או להשערה מבוססת וסבירה ול"סמויות" - אלה הנכנסות לכנרת עם כניסות מים תת-ימיות ואינן ניתנות למדידה ישירה או להשערה.

ג. עם הכניסות "הגלויות" נמנות:

(1) המלח המלווה את יבולי המים הידועים של הכנרת. לגבי אלה הונח כי שעור המלח שבהן הוא קבוע.

(2) זרימות שונות אחרות כגון מי ניקוז, גלישות מעיינות מלוחים וכדומה. לגבי אלה הונח שעור ספיקת מלח אקראי המפולג נורמאלית שממוצעו וסטיית התקן שלו - ידועות (ראה פרטים ומקורות בסעיף 6 להלן).

ד. הנביעות המלוחות התת-ימיות, תלויות בכמויותיהן ברום פני הכנרת וברום פני מי התהום המזינים אותן.

ה. פני מי התהום המזינים את המעיינות המלוחים התת ימיים, תלויים ישירות בירידת הגשמים בהווה ובעבר.

ו. גורם העליה של פני מי התהום עשוי להגדיל את ספיקת המלח לכנרת בגלל השפעתו על הגדלת ספיקת הנביעות המלוחות אך עשוי כנגד זאת גם להקטין את ספיקת המלח בגלל גורם המהילה (בקרקע, לפני הכניסה) המתקיים כאן.

ז. לעומת זאת, ירידת רום פני הכנרת הריהי גורם הפועל רק בכוון אחד: הגברת זרימת המעיינות התת ימיים והגברת ספיקת המלח לכנרת.

ח. ספיקות המלח הנכנסות לכנרת נמהלות במי הכנרת. מהילה זאת הריהי תהליך הנמשך זמן ומשום כך - השפעת כניסתן של ספיקות המלח על מליחויות נקודות שונות בכנרת מגיעה באיחורי זמן שונים וכן ביחס לנקודת השאיבה.

4. <u>ספיקת מלח גלויה, ספיקת מלח סמויה ומליחות הכנרת</u>

החלוקה הנ"ל בין כניסת המלח הגלויה וכניסת המלח הסמוייה, קובעת את הקשרים הבאים בין ספיקות המלח והמליחויות:

$$\begin{pmatrix}\text{מליחות}\\ \text{הכנרת}\\ \text{בסוף}\\ \text{העונה}\end{pmatrix} = \frac{\begin{pmatrix}\text{כמות המלח}\\ \text{שיצאה}\\ \text{מהכנרת}\\ \text{בעונה}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{ספיקת}\\ \text{המלח}\\ \text{הגלוייה}\\ \text{בעונה}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{ספיקת}\\ \text{המלח}\\ \text{הסמוייה}\\ \text{בעונה}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{כמות המלח}\\ \text{שהיתה בכנרת}\\ \text{בתחילת}\\ \text{העונה}\end{pmatrix}}{\begin{pmatrix}\text{נפח הכנרת}\\ \text{בסוף}\\ \text{העונה}\end{pmatrix}}$$

או בסימנים מתמטיים:

$$S_1 = \frac{M_o + U + K - O}{Q_1} \qquad (1)$$

כמות המלח הסמויה הנכנסת בעונה מסויימת לכנרת (U) תהיה:

$$U = \begin{pmatrix}\text{כניסת}\\ \text{המלח}\\ \text{הגלוייה}\\ \text{בעונה}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{מליחות}\\ \text{המים}\\ \text{היוצאים}\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}\text{ספיקת}\\ \text{היציאות}\\ \text{מהכנרת}\\ \text{בעונה}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{המליחות}\\ \text{הממוצעת}\\ \text{בתחילת}\\ \text{העונה}\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}\text{נפח}\\ \text{הכנרת}\\ \text{בתחילת}\\ \text{העונה}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{המליחות}\\ \text{הממוצעת}\\ \text{בסוף}\\ \text{העונה}\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}\text{נפח}\\ \text{הכנרת}\\ \text{בסוף}\\ \text{העונה}\end{pmatrix}$$

<u>או</u>:

$$U = Q_1 \cdot S_1 - Q_0 \cdot S_0 + T \cdot S - K \qquad (2)$$

"המליחות הממוצעת" הנ"ל משמעה: סה"כ המלח הנמצא במים מחולק לסה"כ המים.

5. <u>המודל הסכמטי המתאר את מליחות המים הנשאבים</u>

לגבי המודל הסכמטי המתאר את מליחות המים הנשאבים מהכנרת (המליחות שנמדדה בבריכת בית נטופה), הונחה ההנחה הבאה:

מליחות המים הנשאבים, דומה למליחות הממוצעת האמיתית בכנרת (ראה שרטוט 1) במידה המאפשרת תאורה ע"י נוסחאות דומות לנוסחה (1), אולם בשנויים הבאים:

(א) במקום "מליחות הכנרת" (S) יוצב הערך "מליחות המים הנשאבים" S^* ואז:

(ב) במקום U (כניסת המלח הסמוייה) יוצב U^* שהוא התחליף של U המתבקש מהשנויים שנעשו ע"פ (1): (החלפת מליחות מי הכנרת במליחות המים הנשאבים).

ע"פ הגדרה זאת יתכן לקבל ערכי U^* שליליים (בעוד שלא יתכן לקבל ערכי U - דהיינו כניסת מלח סמוייה - שליליים). ערכי U^* שליליים יכולים, לדוגמה, להיות כאשר זרם מים מתוקים מגיעים מהירדן ישירות לתחנת השאיבה והתחנה שואבת אז מים שהם מתוקים ממי האגם כולו.

נקבל כעת - במקביל לנוסחה (2) :

$$U^* = Q_1 \cdot S_1^* - Q_0 \cdot S_0^* + T \cdot S^* - K \qquad (3)$$

יש לבסס כעת נוסחה שתאפשר חיזוי U^* . דבר זה ייעשה כלהלן:

א. נסמן את ערכי U^* שהתקיימו בשנים האחרונות ע"פ נוסחה (3).

ב. נתאר את U^* כתלוי במספר פרמטרים אשר השפעתם עליו סבירה: ולשם כך נציב במקום הנתון של "רום פני מי תהום" (המשפיע כאמור על ספיקת הנביעות המלוחות) את הנתון: "כניסות מים לכינרת". נתון זה של כניסות לכנרת עשוי לאפיין את פני מי התהום היות ושניהם כאחד תלויים בלעדית בגשמים שירדו בעבר ומכל מקום אין בידינו נתון אחר שסביר שיאפיין יותר טוב את פני מי התהום המשפיעים על הספיקות המלוחות.
נוסחת התלות של ספיקת המלח הסמוייה בפרמטרים השונים, תהיה:

$$U^*=X_0r_0+X_1r_1+X_2r_2+X_3R_1+X_4R_2+X_5R_3+X_6H_0+X_7H_1+X_8H_2 \qquad (4)$$

כאשר: X_0 עד X_8 הינם מקדמים בלתי ידועים;

הכניסות לכנרת (או "יבול המים") בעונה הנוכחית, בעונה הקודמת, ובעונה הקודמת לה: * r_0, r_1, r_2

סה"כ הכניסות בשנה הקודמת ובאלה שלפניה: R_1, R_2, R_3

רומי הכנרת בעונה הנוכחית בעונה הקודמת ובעונה הקודמת לה: H_0, H_1, H_2

"הכניסות" הריהן כאמור נתון המיועד לאפיין את פני מי התהום (בהעדר מידע עליהם) המזינים את המעיינות המלוחים.

ג. נמצא ע"י ניתוח של רגרסיה רבת משתנים את ערכי X_0 עד X_8 שיתנו את ערכי U^* הקרובים ככל האפשר לערכי U^* שהתקיימו למעשה כפי שחושבו ע"י נוסחה (3).

לאחר שנקבעה נוסחת כניסת המלח הסמויה המשפיעה על מליחות המים הנשאבים (U^*) יש לקבוע את נוסחת מליחות המים הנשאבים.

בעוד שכניסת המלח האמיתית לכנרת (IS) הינה: (ראה נוסחה(1))

$$IS = K + U$$

נגדיר

$$IS^* = K + U^* \qquad (5)$$

IS^* הוא איפוא "כניסת המלח המחושבת ע"פ מליחות בית נטופה"

ד. לאחר שנמצא את U^* בתלותו בכניסות וברומים בהווה ובעבר, נקבע את כניסת המלח לכנרת בכל עונה (IS^*) כלהלן:

---

* משמעות עונה והחלוקה לעונות: ראה סעיף 6

$$IS^* = \underbrace{\begin{pmatrix} \text{גודל} \\ \text{אקראי} \\ \text{שפילוגו} \\ \text{ידוע על} \\ \text{סמך} \\ \text{החצפיות} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{יבולי} \\ \text{מי} \\ \text{הכנרת} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 17 \\ \text{מגב"ל} \end{pmatrix}}_{\text{כניסת מלח גלוייה}} + \underbrace{U^*}_{\text{כניסת מלח סמוייה}}$$

מליחות המים הנשאבים בעתיד בכל פרק זמן תהיה: (ראה נוסחה(1))

$$S_1^* = \frac{M_o + IS^* - O}{Q_1} \qquad (6)$$

6. <u>נתונים, עריכתם ומקורותיהם</u>

הנתונים המצויים בידינו בקשר לנושא הנידון מקיפים 57 חודש (החל מהתחלת הפעלת המפעל הארצי ביוני 64). נשקל אם להתיחס לפרק זמן של חודש בניתוח הנידון או גדול ממנו. נראה בעדיף להתיחס לפרק זמן של רבע שנה וזאת בעיקר מפני שכמה מהנתונים הקובעים ובעיקר "כניסות המלח הידועות" (ראה עמודה 4 בטבלת הנתונים) חושבו (ע"י צוות הכנרת, הענף ההידר', תה"ל) לפרקי זמן של מספר חודשים (ראה שרטוט מס' 2) וחלוקתם השרירותית לחודשים בודדים עשוייה להיות מטעה.

נתוני הרוס, הצריכות והיבולים (עמודות 12,11,10,9,8,7,5,1) בטבלת הנתונים נלקחו מדו"ח צוות הכנרת (ענף ההידר' תה"ל) על נתוני הכנרת במשך 19 שנים (68 - 1949) שיצא בספטמבר 1968.

נתוני המליחות (עמודות 6,3) התקבלו ממעבדת "מקורות" בבית נטופה. נתוני הטיית המעינות המלוחים (עמודה 13 בטבלת הנתונים) התקבלו מתה"ל חיפה.

נתוני כניסות המלח הידועות לכנרת נלקחו מדו"ח צוות הכנרת "מאזן המלח של הכנרת" מספטמבר 1969 פ"מ 741 , ומנתונים מקבילים אחרים של צוות זה שעדיין לא פורסמו. הנתונים האלה הושלמו על ידינו בהתאם למוצג בשרטוט מס' 2.

ביחס לכניסות הידועות לכנרת, הוצאו מהמקור הנ"ל גם הנתונים הבאים:

א. שעור המלח בתוך יבולי המים של הכנרת (ללא ניכוי ההתאידות) הוא 17 מגכ"ל.

ב. בנוסף לנ"ל יש כניסה אקראית עם שינויים בלתי מוסברים שפילוגה הונח כנורמאלי, ממוצעה 7070 טון כלור לעונה וסטיית התקן שלה: 2350 טון כלור לעונה.
הנתון של "כניסות המלח הסמויות" (עמודה 14) הוכן ע"פ נוסחה (3) כמוסבר בסעיף 5.

7. ניתוח המולטירגרסיה וממצאיו

הבעיה המיועדת להענות ע"י נתוח המולטירגרסיה (סעיף 5) היא: אילו פרמטרים פיזיקליים ייטיבו לאפיין את כניסת המלח הסמוייה, המשפיעה על מליחות המים הנשאבים.
נמצא כי הפרמטרים המשפיעים הינם: הרום של העונה הנוכחית, והכניסה של העונה הקודמת וסה"כ ספיקת המלח הסמוייה נמצאה:

$$U^* = \begin{pmatrix} \text{משתנה אקראי שממוצעו} \\ \text{365,048 טון כלור} \\ \text{לעונה וסטיית התקן} \\ \text{שלו 24,672 טון} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{רום פני המים} \\ \text{במטרים } \underline{\text{מתחת}} \\ \text{לרום } -200.00 \\ H_0 \end{pmatrix} \cdot 37020 + \begin{pmatrix} \text{הכניסה} \\ \text{בעונה} \\ \text{הקודמת} \\ \text{(מלמ"ק)} \\ r_1 \end{pmatrix} \cdot 78.49$$

תוצאות אלה מתייחסות לשני פרמטרים בלבד: אלה שמובהקותם לגבי מדת השפעתם רבה. השפעתם של פרמטרים נוספים - נמצאה בלתי מובהקת.

תוצאות ניתוח המולטירגרסיה הראו ממצא מפתיע:

הרום <u>הנוכחי</u> ככל שיעלה, קשור לזרימה סמויה מוגברת של מלח - בניגוד למה שסביר מבחינה פיזיקלית. ממצא זה, עשוי להיות נובע מכך שהרום מתואם עם פרמטר אחר המשתנה באופן דומה <u>אך פועל באופן הפוך לרום</u>.
סביר להניח כי משתנה זה הוא פני מי התהום הדוחפים את הזרימות המלוחות. פני מי תהום אלה עולים עם ירידת הגשמים כנראה בתאום רב עם מי הכנרת (מקדם הקורלציה בין הרום והכניסה בעונה הקודמת: -0.47) ומשום כך קיימת באמת התופעה שכאשר פני מי הכנרת גבוהים - גדלה הזרימה הסמויה לתוכה אולם סיבתית נובע הדבר <u>לא</u> מפני שמי הכנרת גבהו (תופעה זאת כשלעצמה רק תנמיך את הזרימה הסמויה) אלא מפני <u>שיחד</u> עם עלית פני מי הכנרת-עולים (ובמדה רבה הרבה יותר) פני מי התהום הדוחפים את הזרימה הסמוייה.

גורם הרום הנוכחי בהיותו דומה לגורם הכניסות - "מסתיר" איפוא את גורם הכניסות ומפריע לו להסביר את תופעת כניסת המלח הסמוי. הממצאים שהתקבלו אינם מאפשרים איפוא להפריד בין שתי ההשפעות - השפעת הרום והשפעת הכניסות (דהיינו: יבולי המים). אם הרומים בעתיד והכניסות בעתיד יהיה כמו בעבר - בתקופת 57 החודשים שעברו - כי אז חוסר האפשרות להפריד בין השנים - לא יפריע לחיזוי המליחות בעתיד היות ובמקרה כזה, כניסת המלח בעתיד - תהיה כמו בעבר. אולם צפוי כי לא תהיה זהות בין ערכי העבר וערכי העתיד של שני משתנים אלה:

הרומים בעתיד יהיו נמוכים מאשר בעבר בגלל השאיבה הרבה יותר של מי הכינרת בעתיד. ואילו הכניסות בעתיד - אותן נאמוד ע"פ הכניסות במשך כל שנות העבר המדודות ולא רק ע"פ 57 החודשים הנידונים וע"כ שוב תהיינה אלה אחרות.

אומדן מליחות מי הכנרת בעתיד חייב איפוא להניח את האחת משתי ההשפעות: השפעת הרום או השפעת רום פני מי התהום המזינים את המעינות המלוחים כפי שרום זה מיוצג ע"י יבולי (המים). אם נניח אחת משתי הנ"ל - נקבל, חד משמעית, את גודל ההשפעה השניה. ככל שנניח השפעה גדולה יותר לרום-כן תפול בחלקן של הכניסות - השפעה קטנה יותר.

לשם החיזוי, הונחו מספר השפעות אלטרנטיביות לירידת הרום במטר אחד לשנה:

א. תוספת 20,000 טון כלור לשנה

ב. תוספת 60,000 טון כלור לשנה

ג. תוספת 100,000 טון כלור לשנה

האסמכתא לערכים 20,000, 60,000 - ראה "המלחת הכינרת - סקר לתקופה 1912 - 1968" מאת פרץ דלינסקי, תה"ל, אגף מחקר ופיתוח, ספטמבר 1969. האסמכתא לערך 100,000 הנה כמה השערות קודמות בנידון *

תכנית הרגרסיות המוצגת בנספח 2 שימשה לקביעת משקלי יבול המים בכל אחת משלוש ההנחות הנ"ל לגבי השפעת הרום.

---

* ראה השלמת המפעל הארצי והפעלתו, תה"ל, יוני 1964

מבין המשתנים הנזכרים בסעיף 5 (נוסחה 4), נמצאו כמשפיעים ביותר:

א. יבול המים ("הכניסה") בעונה הקודמת (r_1)

ב. יבול המים בשנה שלפני האחרונה (זאת שהסתיימה לפני 8 עונות: (R_2) לגבי מדת ההשפעה של שני הנ"ל, ראה ערכי B_2, B_3 בטבלה הבאה.

אם כעת נצרף את נוסחת כניסת המלח הסמוייה שהתקבלה בדרך זאת לנוסחת כניסת המלח הגלוייה (ראה נוסחה(5)), נקבל את הנוסחה הבאה:

$$\begin{pmatrix}\text{כניסת מלח}\\ \text{לכינרת בעונה}\\ \text{(טון)}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{משתנה אקראי}\\ \text{נורמאלי עם}\\ \text{ממוצע } A_v\\ \text{(טון) וסטיית}\\ \text{תקן: (טון) } S_v\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{יבולי המים}\\ \text{בעונה (ללא}\\ \text{ניכוי}\\ \text{התאידות)}\\ \text{(מלמ"ק)}\\ r\end{pmatrix} \cdot \begin{matrix}17+\\ \text{מגב"ל}\end{matrix} \begin{pmatrix}\text{הכניסה}\\ \text{בעונה}\\ \text{הקודמת}\\ \text{(לאחר}\\ \text{ניכוי}\\ \text{ההתאידות}\\ \text{(מלמ"ק)}\end{pmatrix} \cdot B_2 +$$

$$+ \begin{pmatrix}\text{הכניסה השנתית}\\ \text{שלפני האחרונה}\end{pmatrix} B_3 + \begin{pmatrix}\text{הרום בעונה}\\ \text{הנוכחית}\end{pmatrix} \cdot B_1$$

או: (7)

$$IS^* = N\,(A_v;\ S_v^{\,2}) + H_0 \cdot B_1 + r_1 \cdot B_2 + R_2 \cdot B_3 + r \cdot 17$$

ערכם של פרמטרים השונים שבנוסחה (7) הנ"ל הנם ע"פ הטבלה הבאה:

פרמטרים של נוסחה (7)

פרמטר		השפעת הרום (טון כלור לשנה) לשינוי 1 מטר			
		20,000	60,000	100,000	
ממוצע של משתנה נורמלי (טון לשנה)	A_v	-76,062	-174,051	-276,043	
סטייית התקן של הנ"ל	S_v	31,260	34,392	37,857	
מקדם הרום בעונה הנוכחית (H_0)	B_1	5,000	15,000	25,000	
מקדם הכניסות בעונה הקודמת (r_1)	B_2	166.4	185.0	203.7	
מקדם הכניסות השנתיות בשנה שלפני האחרונה (R_2)	B_3	47.1	51.8	56.6	
מקדם הקורלציה המרובה בין ערכי הנוסחה לערכים האמיתיים בתקופת הבדיקה		0,602	0,606	0,606	

חיזוי מליחות המים שישאבו מהכנרת בעתיד - ייעשה ע"פ נוסחה (7), ובהתאם לפרמטרים שבטבלה הנ"ל.

8. חיזוי מליחות הכנרת

חיזוי מליחות מי הכינרת שישאבו בעוד חמש שנים ובעוד 30 שנה, נעשה באמצעות מודל הסימולציה של המפעל הארצי *

בפעולות מודל זה נכלל המלוי הטבעי של הכנרת כגורם אקראי הכפוף לפילוג הסתברויות נתון וכן כלולות בו השאיבות והצריכות העיקריות שבמערכת המפעל הארצי.

הרצה במודל כוללת 30 סדרות בנות 30 שנה כל אחת ופילוג המליחויות הנדון הריהו איפוא פילוג אוכלוסיה של 30.

תוצאות הפילוג מובאות בשרטוטים 3, 4.

המליחויות הממוצעות של המים הנשאבים מהכנרת, תהיינה ע"פ תוצאות אלה כלהלן:

מליחות ממוצעת חזוייה (מגכ"ל)

השפעת הרום (טון כלור לשנה למסר) / מועד	20,000	60,000	100,000	כל שלוש האפשרויות במשקל זהה
שנה חמישית (חדש אפריל)	229	270	309	270
שנה שלושים (חדש אפריל)	234	338	355	309

9. ס י כ ו ם

מליחות המים שישאבו מהכנרה הריהי נתון יסודי ביחס להפעלת מפעל המים הארצי בעתיד וקיים ע"כ עניין מיוחד בחיזויו.

חיזוי המליחות נעשה על סמך נתוני כניסת המלח לכנרת במשך 57 חודשים בהם נעשתה שאיבת המים מהכנרת למפעל הארצי.

---

* ראה "מודל הסימולציה של מערכת כנרת - טורון" ספטמבר 1969 תה"ל, פ"מ 744.

כניסת המלח לכינרת כוללת "כניסה גלויה" הניתנת למדידה ובצידה: "כניסה סמויה" כלומר כניסת מלח מתחת לפני המים שאין אפשרות למודדה ישירות.

נעשה נסיון לקשור את הכניסה הסמוייה בשני גורמים פיזיקליים אשר השפעתם עליה סבירה; רום פני הכנרת וכניסות המים לכינרת (דהיינו יבולי המים). הובר כי אי אפשר להפריד בין אומדני ההשפעות הבודדות של כל אחד משני גורמים אלה על כניסת המלח ואפשר לראותן רק כשהן מאוחדות.

מאחר וחיזוי מליחות הכינרת בעתיד דורש את הפרדת שתי ההשפעות הנ"ל (הן תפעלנה בעתיד לא באותה פרופורציה כמו בעבר), נעשה הדבר על סמך הנחת כמה אפשרויות סבירות של השפעת הרום; הונח כי הגבהת מטר אחד במים למשך שנה מגדילה את ספיקת המלח לכינרת בערכים האלטרנטיביים 20,000, 60,000 ו-100,000 טון כלור לשנה.

תוחלת מליחות הכינרת בעוד 5 שנים כתוצאה מהנ"ל הינה: (מ"ג כלור לליטר) 229, 270, ו- 309 ובעוד 30 שנה: 234, 338 ו- 355.

רשימת משמעות הסימנים

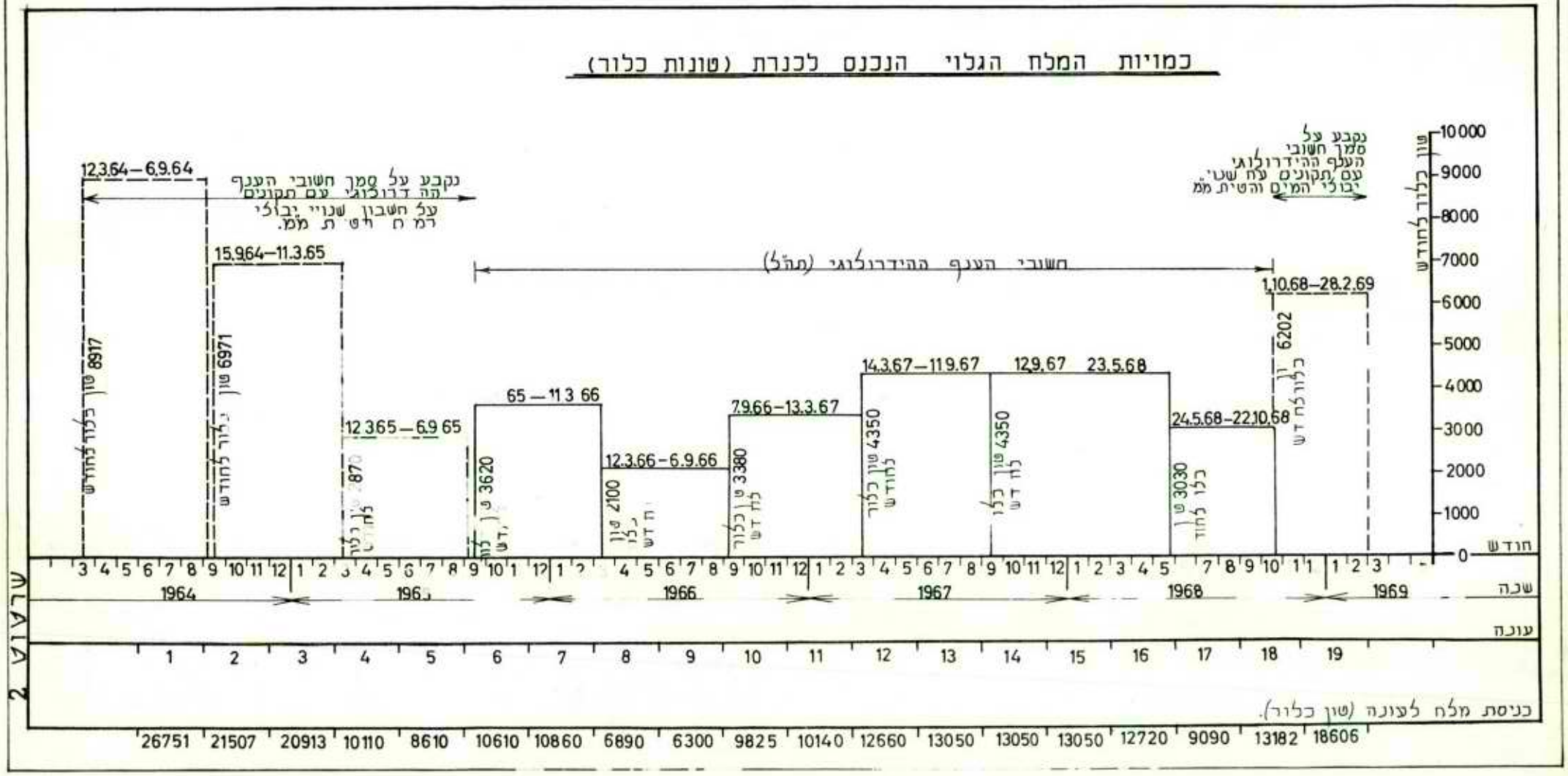
A_v	ממוצע כניסות המלח לכינרת בעונה (טון כלור)
B_1	מקדם ערך הרום של העונה הנוכחית H_0 בנוסחת חיזוי מליחות הכינרת
B_2	כנ"ל אולם ביחס לערך "הכניסות" בעונה הקודמת (r_1)
B_3	כנ"ל אולם ביחס לערך הכניסה השנתית בעונה שלפני האחרונה (R_2)
	כניסת מלח לכינרת (המשתנה התלוי בניתוח רגרסיה רבת ממדים) בניכוי
H	כניסת המלח בגלל הרום. מופיע בנספח בלבד. (טון כלור)
H_0	רום הכינרת בעונה הנוכחית במטרים.לפעמים נמדד בכוון למטה מ- 200- מטר)
H_1	כנ"ל אולם בעונה הקודמת
H_2	כנ"ל אולם בעונה שלפניהקודמת
IS	כמות המלח (טון כלור)הנכנסת לכינרת בפרק זמן
IS*	כנ"ל אולם מחושב כאילו "מליחות בית נטופה" מייצגת את מליחות כלל מי הכינרת
K	כמות המלח הגלוייה (טון כלור) הנכנסת לכינרת בפרק זמן
M_0	כמות המלח (טון) בכינרת בתחילת העונה
$N (A_v, S_v^2)$	משתנה נורמאלי עם ממוצע A_v וסטייית תקן S_v
O	כמות מלח (טון כלור) שיצאה מהכינרת בפרק זמן
Q_0	נפח הכינרת (מ"ק) בתחילת העונה
Q_1	כנ"ל בסוף העונה
r	"הכניסות" (יבולי המים) במלמ"ק (כולל מה שמתאדה במשך העונה) בעונה הנוכחית
r_0	כנ"ל אולם לא כולל מה שמתאדה במשך העונה
r_1	כנ"ל אולם ביחס לעונה הקודמת
r_2	כנ"ל אולם ביחס לעונה שלפני הקודמת
R_1	"הכניסות" (יבולי המים) במשך השנה שהסתיימה בעונה הקודמת (מלמ"ק)

R_2	כנ"ל אולם שנה לפני זאת
R_3	כנ"ל אולם שנה לפני הנ"ל
S	מליחות הכינרת הממוצעת במשך תקופת זמן (מג"כל)
S_0	כנ"ל אולם בתחילת העונה
S_1	כנ"ל אולם בסוף העונה
S^*, S_0^*, S_1^*	כמו S, S_0, S_1 אולם מתייחס למליחויות הנמדדות בבית נטופה
S_v	סטיית התקן של A_v
T	כמות המים (מלמ"ק) היוצאת מהכינרת ליחידת זמן
U	כמות המלח "הסמויה" (טון כלור) הנכנסת לכינרת ביחידת זמן
U^*	כנ"ל אולם נמדד כאילו מליחות בית נטופה מייצגת את מליחות הכינרת
$X_0, X_1 \ldots\ldots X_8$	מקדמי המשתנים $(H_0, H_1, H_2, R_1, R_2, R_3, r_0, r_1, r_2)$ בנוסחת רגרסיה רבת משתנים הנותנת את U^* כגודל התלוי במשתנים.

1964
1965
1966
1967
1968
1969
250
260
270
280
290
300
310
320
330
340
350
360
370

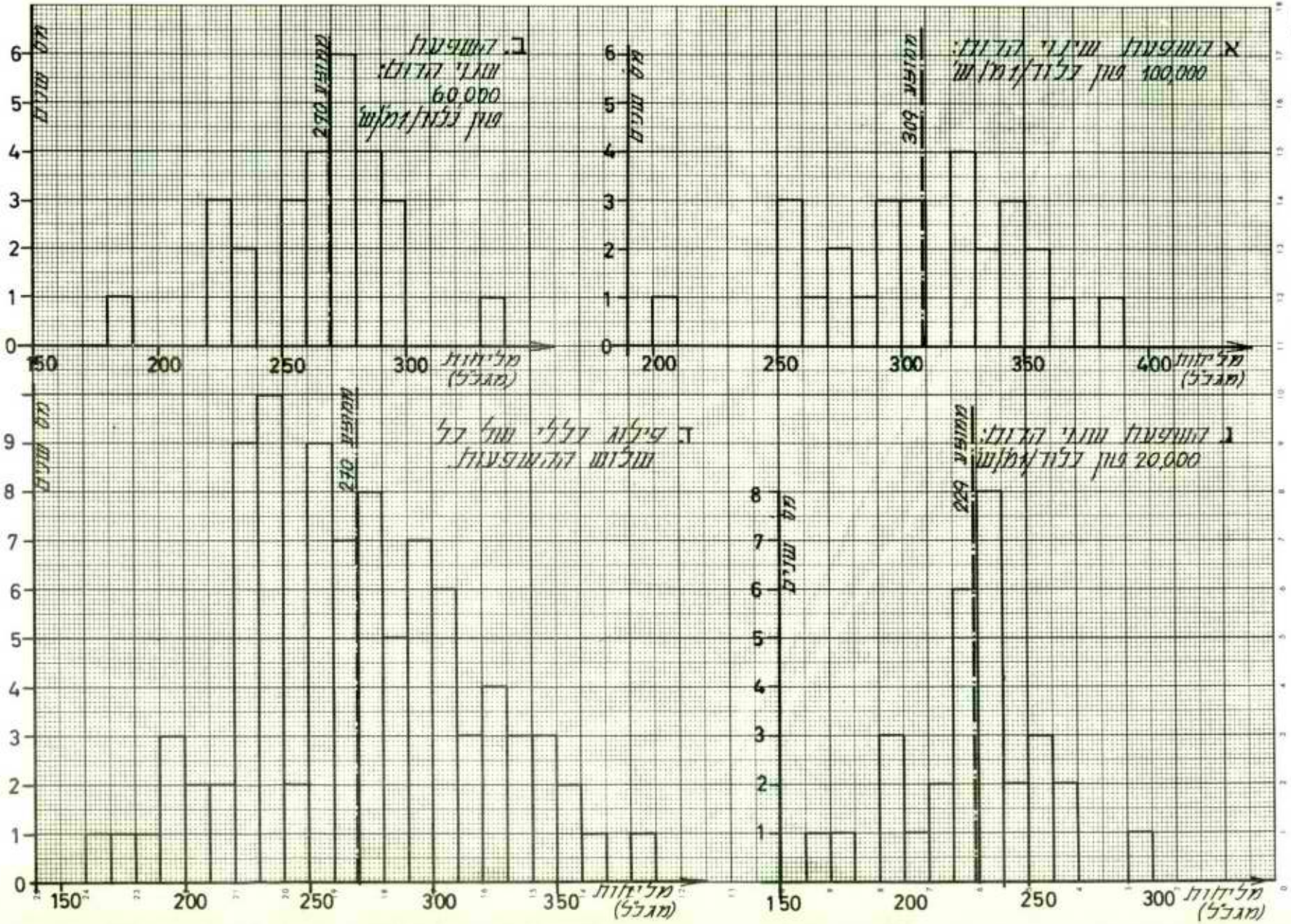
ملاحظة 1

כמויות המלח הגלוי הנכנס לכנרת (טונות כלור)



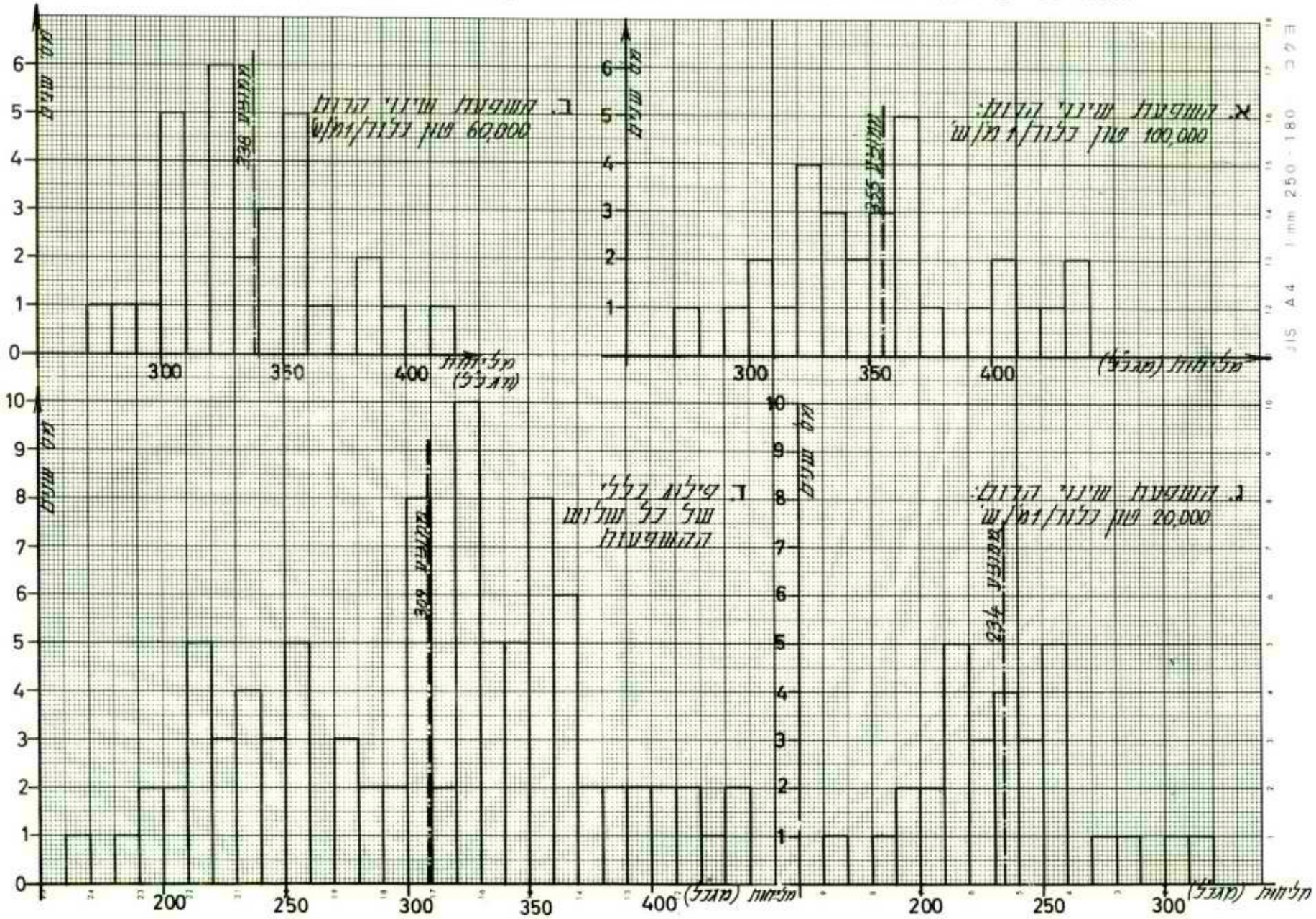
שרטוט 2

תחזית פילוג מליחויות בעוד 5 שנים (חודש אפריל)



שרטוט 3

תחזית פילוג מליחויות בעוד 30 שנה (חודש אפריל)



שרטוט 7

נספח 1

טבלת הנתונים

מס'	נתון / עונה	1 רום בקצה העונה (מתחת פני הים) מטרים	2 נפח מיליארד מ"ק	3 מליחות בקצה עונה מבכ"ל	4 כניסות מלח ירועות טון	5 יציאות מים מלמ"ק	6 מליחות ממוצעת בעונה מבכ"ל	7 רום ממוצע בעונה (מתחת פני הים) מטרים	8 יבולי מים בעונה לאחר ניכוי התאידות מלמ"ק	9 יבול בעונה ללא ניכוי התאידות מלמ"ק	10 יבולי מים שנתיים לאחר ניכוי התאידות (מלמ"ק) שנה קודמת (המסתיימת בעונה הקודמת)	12 שנה לפני לפני קודמת	11 שנה לפני קודמת	13 המיית מעינות מלוחים טון כלור	14 מסיקת המלח המסתיימת טון כלור
	דצמבר 63 ינואר 64 פברואר 64							209.681		284.491					
	מרץ 64 אפריל 64 מאי 64							209.137	288.272	343.171					
1	יוני 64 יולי 64 אוגוסט 64	209.030	4.3940	343	26751	91.48	356.9	209.240	13.039	113.535	578.315	362.560	466.056	0	67,891.21
2	ספטמבר 64 אוקטובר 64 נובמבר 64	209.495	4.2990	365	21507	130.25	367.0	209.721	72.901	157.847	577.821	379.993	501.756	0	-40,125.25
3	דצמבר 64 ינואר 65 פברואר 65	209.835	4.2330	355	20913	284.84	337.4	209.815	317.757	361.392	613.615	387.594	537.040	12150	11,466.99
4	מרץ 65 אפריל 65 מאי 65	209.640	4.2700	337	10110	81.96	335.7	209.336	153.681	210.854	691.969	343.625	507.177	14725	50,234.96
5	יוני 65 יולי 65 אוגוסט 65	209.215	4.3545	338	8610	115.74	341.7	209.548	0.202	103.710	557.378	466.056	578.315	19893	28,199.35
6	ספטמבר 65 אוקטובר 65 נובמבר 65	209.900	4.2215	348	10610	94.45	350.0	210.138	27.421	112.993	544.541	501.756	577.821	15811	41,929.50
7	דצמבר 65 ינואר 66 פברואר 66	210.300	4.1580	358	10860	71.49	340.6	210.707	200.136	244.969	499.061	537.040	613.615	18623	-29,007.51
8	מרץ 66 אפריל 66 מאי 66	209.535	4.2910	337	6890	83.12	337.8	209.324	108.776	168.184	381.440	507.177	691.969	21237	53,928.93
9	יוני 66 יולי 66 אוגוסט 66	209.363	4.3240	342	6300	98.17	346.4	209.061	-25.132	77.187	336.535	578.315	557.378	17790	34,750.58
10	ספטמבר 66 אוקטובר 66 נובמבר 66	210.115	4.1855	355	9825	96.70	352.0	210.417	11.418	103.699	311.201	577.821	544.541	16550	-1,701.60
11	דצמבר 66 ינואר 67 פברואר 67	210.625	4.1125	355	10140	66.14	336.5	210.835	286.593	332.627	295.198	613.615	499.061	13862	-47,939.39
12	מרץ 67 אפריל 67 מאי 67	209.313	4.3340	323	12660	315.32	311.1	209.067	368.992	420.283	381.655	691.969	381.440	14904	45,617.53
13	יוני 67 יולי 67 אוגוסט 67	208.995	4.4015	309	13050	107.92	314.3	209.778	43.813	143.701	641.871	557.378	336.535	15555	30,721.25
14	ספטמבר 67 אוקטובר 67 נובמבר 67	209.375	4.3215	317	13050	101.27	319.1	209.576	54.042	143.955	710.816	544.541	311.201	18164	-19,190.25
15	דצמבר 67 ינואר 68 פברואר 68	209.655	4.2675	312	13050	375.56	304.6	209.501	433.793	481.515	753.440	499.061	295.198	17604	40,040.57
16	מרץ 68 אפריל 68 מאי 68	209.310	4.3350	293	12720	135.46	289.9	209.745	191.019	243.072	900.640	381.440	381.655	17309	15,938.84
17	יוני 68 יולי 68 אוגוסט 68	208.981	4.4040	286	9090	118.38	288.4	209.286	5.519	91.152	722.667	336.535	641.871	14919	40,592.28
18	ספטמבר 68 אוקטובר 68 נובמבר 68	209.670	4.2645	299	13182	82.30	298.3	209.847	15.385	125.483	684.373	311.201	710.816	17981	33,369.42
19	דצמבר 68 ינואר 69 פברואר 69	209.865	4.2280	291	18606	672.35	266.4	209.397	829.957	872.327	645.227	295.198	753.440	14450	21,529.51
		208.915	4.4185	247											

נספח 2

א. השפעת הרוס: 20,000 סדן כלור לשנה למסר

תוצאות חישוב מולטירגרסיה תכנית CA MRG IBM

r_0 r_1 r_2 R_1 R_2 R_3 H

1 2 3 4 5 6 7

```
                    NET IN.   20000 +        NO. 2

NUMBER OF OBS.=   19

AVERAGES
VAR( 1)=    163.64, VAR( 2)=    135.13, VAR( 3)=    146.92, VAR( 4)=    569.90,
VAR( 5)=    520.36, VAR( 6)=    465.99, VAR( 7)= -32115.06

STANDARD DEVIATIONS
VAR( 1)=    212.33, VAR( 2)=    142.91, VAR( 3)=    141.72, VAR( 4)=    166.81,
VAR( 5)=    133.97, VAR( 6)=    114.95, VAR( 7)=  36814.89

SIMPLE CORRELATION COEFFICIENTS
VARS( 1, 1)=  1.000, VARS( 1, 2)= -0.130, VARS( 1, 3)= -0.637, VARS( 1, 4)=  0.112,
VARS( 1, 5)=  0.069, VARS( 1, 6)= -0.111, VARS( 1, 7)=  0.003
VARS( 2, 1)= -0.130, VARS( 2, 2)=  1.000, VARS( 2, 3)=  0.076, VARS( 2, 4)=  0.335,
VARS( 2, 5)= -0.380, VARS( 2, 6)= -0.060, VARS( 2, 7)=  0.581
VARS( 3, 1)= -0.637, VARS( 3, 2)=  0.076, VARS( 3, 3)=  1.000, VARS( 3, 4)=  0.276,
VARS( 3, 5)= -0.102, VARS( 3, 6)= -0.193, VARS( 3, 7)=  0.061
VARS( 4, 1)=  0.112, VARS( 4, 2)=  0.335, VARS( 4, 3)=  0.276, VARS( 4, 4)=  1.000,
VARS( 4, 5)= -0.242, VARS( 4, 6)= -0.656, VARS( 4, 7)=  0.111
VARS( 5, 1)=  0.069, VARS( 5, 2)= -0.380, VARS( 5, 3)= -0.102, VARS( 5, 4)= -0.242,
VARS( 5, 5)=  1.000, VARS( 5, 6)= -0.426, VARS( 5, 7)= -0.074
VARS( 6, 1)= -0.111, VARS( 6, 2)= -0.060, VARS( 6, 3)= -0.193, VARS( 6, 4)= -0.656,
VARS( 6, 5)= -0.426, VARS( 6, 6)=  1.000, VARS( 6, 7)= -0.079

STEP NUMBER  1          ENTER VARIABLE  2
STANDARD ERROR OF ESTIMATE=  30832.164
MULTIPLE CORRELATION COEFFICIENT = 0.581
GOODNESS OF FIT,F(   1,  17)=  8.6632
CONSTANT TERM= -52340.9219

VAR     COEFF       STD DEV     T VALUE    BETA COEFF
                     COEFF
  2 0.1496E 03       50.8494     2.9433       0.5810

STEP NUMBER  2          ENTER VARIABLE  5
STANDARD ERROR OF ESTIMATE=  31172.015
MULTIPLE CORRELATION COEFFICIENT = 0.602
GOODNESS OF FIT,F(   2,  16)=  4.5533
CONSTANT TERM= -79131.9689

VAR     COEFF       STD DEV     T VALUE    BETA COEFF
                     COEFF
  2 0.1664E 03       55.5937     2.9945       0.6462
  5 0.4711E 02       59.3021     0.7945       0.1714
```

נספח 2

ב. השפעת הרוס: 60,000 טון כלור לשנה למטר

CA MRG IBM תוצאות חישוב מולטירגרסיה תכנית

r_0	r_1	r_2	R_1	R_2	R_3	H
1	2	3	4	5	6	7

```
        NET IN.   60000 H  NO. 3

NUMBER OF OBS.=   19

AVERAGES
VAR( 1)=    163.64, VAR( 2)=    135.13, VAR( 3)=    146.92, VAR( 4)=    569.90,
VAR( 5)=    520.36, VAR( 6)=    466.99, VAR( 7)=-129135.45

STANDARD DEVIATIONS
VAR( 1)=    212.33, VAR( 2)=    142.91, VAR( 3)=    141.72, VAR( 4)=    166.81,
VAR( 5)=    133.97, VAR( 6)=    114.95, VAR( 7)=  40577.69

SIMPLE CORRELATION COEFFICIENTS
VARS( 1, 1)=  1.000, VARS( 1, 2)= -0.130, VARS( 1, 3)= -0.637, VARS( 1, 4)=  0.112,
VARS( 1, 5)=  0.069, VARS( 1, 6)= -0.111, VARS( 1, 7)=  0.007
VARS( 2, 1)= -0.130, VARS( 2, 2)=  1.000, VARS( 2, 3)=  0.076, VARS( 2, 4)=  0.335,
VARS( 2, 5)= -0.380, VARS( 2, 6)= -0.060, VARS( 2, 7)=  0.585
VARS( 3, 1)= -0.637, VARS( 3, 2)=  0.076, VARS( 3, 3)=  1.000, VARS( 3, 4)=  0.276,
VARS( 3, 5)= -0.102, VARS( 3, 6)= -0.193, VARS( 3, 7)=  0.093
VARS( 4, 1)=  0.112, VARS( 4, 2)=  0.335, VARS( 4, 3)=  0.276, VARS( 4, 4)=  1.000,
VARS( 4, 5)= -0.242, VARS( 4, 6)= -0.656, VARS( 4, 7)=  0.132
VARS( 5, 1)=  0.069, VARS( 5, 2)= -0.380, VARS( 5, 3)= -0.102, VARS( 5, 4)= -0.242,
VARS( 5, 5)=  1.000, VARS( 5, 6)= -0.426, VARS( 5, 7)= -0.076
VARS( 6, 1)= -0.111, VARS( 6, 2)= -0.060, VARS( 6, 3)= -0.193, VARS( 6, 4)= -0.656,
VARS( 6, 5)= -0.426, VARS( 6, 6)=  1.000, VARS( 6, 7)= -0.102

STEP NUMBER  1          ENTER VARIABLE  2
STANDARD ERROR OF ESTIMATE=  33937.421
MULTIPLE CORRELATION COEFFICIENT = 0.585
GOODNESS OF FIT,F(   1,  17)=  8.8599
CONSTANT TERM=-151649.6566

VAR     COEFF      STD DEV     T VALUE     BETA COEFF
                    COEFF
  2 0.1666E 03      55.9707     2.9765       0.5853

STEP NUMBER  2          ENTER VARIABLE  5
STANDARD ERROR OF ESTIMATE=  34312.312
MULTIPLE CORRELATION COEFFICIENT = 0.605
GOODNESS OF FIT,F(   2,  16)=  4.6489
CONSTANT TERM=-181121.3753

VAR     COEFF      STD DEV     T VALUE     BETA COEFF
                    COEFF
  2 0.1850E 03      61.1943     3.0247       0.5503
  5 0.5183E 02      65.2763     0.7940       0.1707
```

נספח 2

ג. השפעת הרום: 100,000 טון כלור לשנה למטר

תוצאות חישוב מולטירגרסיה תכנית CA MRG IBM

r_0	r_1	r_2	R_1	R_2	R_3	H
1	2	3	4	5	6	7

```
NO. 4

NUMBER OF OBS.=   19

AVERAGES
VAR( 1)=    163.64, VAR( 2)=    135.13, VAR( 3)=    146.92, VAR( 4)=    569.90,
VAR( 5)=    520.36, VAR( 6)=    466.99, VAR( 7)=-226155.90

STANDARD DEVIATIONS
VAR( 1)=    212.33, VAR( 2)=    142.91, VAR( 3)=    141.72, VAR( 4)=    166.81,
VAR( 5)=    133.97, VAR( 6)=    114.95, VAR( 7)=  44789.51

SIMPLE CORRELATION COEFFICIENTS
VARS( 1, 1)=  1.000, VARS( 1, 2)= -0.130, VARS( 1, 3)= -0.637, VARS( 1, 4)=  0.112,
VARS( 1, 5)=  0.069, VARS( 1, 6)= -0.111, VARS( 1, 7)=  0.011
VARS( 2, 1)= -0.130, VARS( 2, 2)=  1.000, VARS( 2, 3)=  0.076, VARS( 2, 4)=  0.335,
VARS( 2, 5)= -0.380, VARS( 2, 6)= -0.060, VARS( 2, 7)=  0.585
VARS( 3, 1)= -0.637, VARS( 3, 2)=  0.076, VARS( 3, 3)=  1.000, VARS( 3, 4)=  0.276,
VARS( 3, 5)= -0.102, VARS( 3, 6)= -0.193, VARS( 3, 7)=  0.119
VARS( 4, 1)=  0.112, VARS( 4, 2)=  0.335, VARS( 4, 3)=  0.276, VARS( 4, 4)=  1.000,
VARS( 4, 5)= -0.242, VARS( 4, 6)= -0.656, VARS( 4, 7)=  0.148
VARS( 5, 1)=  0.069, VARS( 5, 2)= -0.380, VARS( 5, 3)= -0.102, VARS( 5, 4)= -0.242,
VARS( 5, 5)=  1.000, VARS( 5, 6)= -0.426, VARS( 5, 7)= -0.078
VARS( 6, 1)= -0.111, VARS( 6, 2)= -0.060, VARS( 6, 3)= -0.193, VARS( 6, 4)= -0.656,
VARS( 6, 5)= -0.426, VARS( 6, 6)=  1.000, VARS( 6, 7)= -0.120

STEP NUMBER  1          ENTER VARIABLE  2
STANDARD ERROR OF ESTIMATE=  37358.039
MULTIPLE CORRELATION COEFFICIENT = 0.585
GOODNESS OF FIT,F(   1,  17)=  8.8735
CONSTANT TERM=-250958.4379

VAR     COEFF       STD DEV     T VALUE     BETA COEFF
                     COEFF
  2 0.1835E 03       61.6121     2.9788       0.5856

STEP NUMBER  2          ENTER VARIABLE  5
STANDARD ERROR OF ESTIMATE=  37783.867
MULTIPLE CORRELATION COEFFICIENT = 0.606
GOODNESS OF FIT,F(   2,  16)=  4.6468
CONSTANT TERM=-283112.7507

VAR     COEFF       STD DEV     T VALUE     BETA COEFF
                     COEFF
  2 0.2037E 03       67.3856     3.0230       0.6500
  5 0.5655E 02       71.8806     0.7867       0.1691
```

5. סקר גורמים המשפיעים על צריכת המים הביתית
ע"פ נתוני 28 ישובים עירוניים בשנת 69 / 1968

5.

תזכיר זה נערך ע"י פרץ דלינסקי (היחידה לתכנון לטווח ארוך תה"ל).

אסמכתאות שונות לתזכיר זה מובאות בגוף התזכיר וברשימה הביבליוגרפית בסוף התזכיר.

תודתנו נתונה בזה למחלקות המים של הרשויות השונות שספקו לנו את הנתונים הגולמיים בקשר לתעריפי המים.

ה ת ו כ ן

נ ס פ ח י ם

ש ר ט ו ט י ם

סקר גורמים המשפיעים על צריכת המים הביתית

ע"פ נתוני 28 ישובים עירוניים בשנת 1968/69

ת ק צ י ר

אחד מהמשפיעים האפשריים על רמת צריכת המים הביתי הוא מחיר המים. מחירי המים לצריכה ביתית בערי ישראל אינם אחידים. אי אחידות זו נובעת מתעריפי מים שונים מחד ומהעובדה שלצריכה הביתית נספחים, ברשויות מסוימות, היטלים נוספים בצורת היטלי ביוב והיטלי איזון. בכדי לוודא את מחירי המים כפי שמשתקף בחשבון המים של הצרכן הביתי נשלחו שאלונים ל-28 רשויות עירוניות שבהם נתבקשו לפרט את מרכיבי מחיר המים שהיו בתוקף בשנה התקציבית 1968/69. אוכלוסית 28 יישובים האמורים מנתה בסוף שנת 1968 כ-1.9 מליון נפש.

חושבו על בסיס הדווחים הנ"ל מחירי מים עבור צריכה ביתית של 15 ו-20 מ"ק לחודש לצרכן. (מחירים אלו משמשים כאמדן מחיר המים הכולל הממוצע). כ"כ חושבו מקדמי רגרסיה בין הצריכה הביתית לנפש ובין מחירי המים. על מנת להקיף את ההשפעה של מחירי מים מוזלים להשקאת גינות נוי חושבו נוסחאות כאשר המשתנים הבלתי תלויים היו מחיר (15 או 20 מ"ק) והמחיר המוזל לגינות נוי.

מקדם המתאם הגבוה ביותר בין הצריכה הביתית לנפש ובין מחיר המים הינו 0.300. מקדם זה, המתבסס על חתך ארצי של 28 יישובים עירוניים, מצביע על קשר רופף בלבד בין כמות המים הביתיים המבוקשת ובין מחיר המים.

גורם אחר העשוי להשפיע על צריכת המים הוא רמת החיים של הצרכנים. בשנת 1968/69 הצריכה הביתית לנפש עלתה ב-28 הישובים העירוניים הנידונים ב- 7%, מ- 77.9 ל- 83.6 מ"ק לנפש. עלייה זו מהווה תופעה חריגה בהתחשב ביציבות היחסית שאפיינה את תקופת 1968 - 1965. עיון בנתוני "רמת החיים" (ראה טבלה מס' 1) מורה על עלייה מקבילה ב"רמת החיים" כפי שהתבטאה בהוצאות הפרטיות לנפש. גמישות "רמת החיים" (מבוטאת בהוצאות פרטיות) שהתקבלה על ידי השוואת נתוני 1967/68 ו-1968/69 (0.88) - דומה לזו שנתקבלה במחקר שנעשה לגבי ירושלים לתקופה של 14 שנה 1967/68 - 1954/55.

א. הקדמה

הגורמים העיקריים המשפיעים, כפי שנמצא, על צריכת המים הביתית הנם: רמת החיים של צרכני המים ומחיר המים. בעיקר מבחינת הגורם הראשון היתה התקופה 1968/69 - 1965/66 בעלת אופי מיוחד מאחר והיא חופפת אירועים חברתיים, פוליטיים וכלכליים מיוחדים. התקופה בין אפריל 1966 ויוני 1967 מתאפיינת כתקופה של מיתון כלכלי על כל השלכותיה הידועות - צמצום הבניה, בלימת העלייה, גידול האבטלה וכיו"ב. "מלחמת 6 הימים" שמה קץ למתון הכלכלי האמור והחלה גאות שהביאה להגדלה ניכרת של רמת החיים. מעבר חד זה מתקופת שפל לתקופה של צמיחה כלכלית עשוי לאפשר לימוד- ביחס למשק המים העירוני, השפעת גורמים שונים בטווח קצר על הביקוש למים. בהמשך דברינו תיסקר השפעת 2 הרכיבים הנ"ל ביחס לביקוש הביתי למים בישראל:

א. רמת החיים

ב. המחיר הכולל לצריכה ביתית.

בכדי לקבוע את המחיר בפועל של מים ביחס לצרכן הביתי נשלחו ל- 28 יישובים עירוניים יהודיים שאלונים שבהם נתבקשו הרשויות לדווח על מרכיבי מחיר המים הכולל הטלי איזון והטלי ביוב.

ב. הביקוש למים ביתיים ורמת החיים

1. בתור מדד של רמת חיים, התייחסנו בעבודה זו ל"הוצאה לצריכה פרטית" כפי שהתפרסם בשנתון של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה מס' 20, דף 139 - "מקורות ושימושים במקורות". המונח "הוצאה לצריכה פרטית" הינו, לפי השנתון האמור, זרם המבטא את הערך של ההוצאה השוטפת של משקי בית ומוסדות פרטיים שלא למטרות רווח על מוצרים ושירותים, וכן את ערכן של מתנות בעין שנתקבלו על ידם מחוץ לארץ.

2. בטבלה מס' 1 להלן, מובאים נתוני הוצאה לצריכה פרטית וצריכת המים הביתית לנפש עבור 28 יישובים יהודיים. בסוף 1968 אוכלוסית ערים אלה מנתה 1.87 מליון נפש.

טבלה מס' 1 - צריכת מים ביחית והוצאות פרטיות לתקופה 1965/66 - 1968/69

ש נ ה	** צריכה ביחית מ"ק/נפש/שנה	* הוצאות פרטיות- ל"י לנפש/שנה במחירי 1964
1965/66	81.0	2,569
1966/67	80.3	2,573
1967/68	77.9	2,526
1968/69	83.6	2,760

3. השוואת שנת 1967/68 לשנת 1968/69 מעלה שהצריכה הביחית לנפש גדלה ב- 7%, לעומת גידול של 8% בהוצאות הפרטיות לנפש. הגידול בצריכה לנפש הינו תופעה החורגת מהנטייה שאפיינה את התקופה 1965/66 - 1967/68. לפי מחקרים קודמים שנעשו בארץ ובחוץ לארץ קיים יסוד מוצק להנחה שגידול זה בצריכה נובע בחלקו הגדול מעלייה החדה ברמת החיים שנרשמה באותה תקופה.

4. היחס בין הגידול ב-% בצריכה לנפש ובין העלייה בהוצאות פרטיות עבור התקופה 1967/68 - 1968/69 הינו 0.88. יש להדגיש שערך זה המבטא את גמישות הביקוש של מים ביחיים לרמת החיים מבוסס על שינוי שנה אחת בלבד, ואין כמובן להסיק מכך מסקנות לגבי העתיד. מאידך, נציין שהגמישות האמורה (0.88) היא דומה לזו שנתקבלה בעבודת מחקר שנעשתה לגבי ירושלים לתקופה של 14 שנה - הווה אומר, 0.83 (ראה פרסום מס' 2 בביבליוגרפיה).

5. בפרסום של המחלקה למחקר ולסטטיסטיקה של עיריית תל-אביב-יפו (3) שיצא לאור בנובמבר 1969 מדווח על סקר של צריכת מים למגורים לתקופה 1962/63 - 1966/67. המדגם כלל כ- 1200 צרכני מים. הסקר האמור הקיף תקופת המיתון ובקשר לכך נצטט מדף 22 את הנאמר ביחס להשפעת המיתון הכלכלי על צריכת המים הביחית. "אין כמעט נתון על צריכת מים בשנת 1966/67 (בכל אופנויות של החקירה בסקר זה) שאינו נמוך מאשר בשנת 1965/66 : בכמות הכוללת של צריכת מים למשפחה ולנפש, בצריכה לפי גודל המשפחה, לפי מספר החדרים, לפי חלקי העיר וכו'. כל הנתונים מצביעים בעליל, יותר מכל הסבר אחר, על הקשר הישיר שבין רמת החיים לבין צריכת המים".

---

* ההוצאות הפרטיות מתייחסות לשנה הקלנדרית.

** נתוני הצריכה מתייחסים לשנה התקציבית.

ג. <u>צריכת המים הביתית לנפש לעומת מחיר הכולל לצריכה ביתית</u>

1. בעבודת המחקר שנזכרה בקשר לעיריית ירושלים, נמצא קשר חלש בין המחיר וכמות המים המבוקשת. קשר זה התבטא בערך מקדם המתאם ("r") של 0.289, כשמדובר בצריכת המים הביתית (לנפש לשנה) לעומת המחיר ל- 1 מ"ק (במחירים קבועים). במשך התקופה הנסקרת תעריפי המים היו אחידים לכל סוג צריכה, הווה אומר שלא הונהגו מחירי מים מודרגים בהתאם לכמות הנצרכת.

2. הבעיה העקרית בקביעת גמישות הביקוש למים בהיקף ארצי נעוצה באי-האחידות בתעריפי המים של הרשויות השונות. בערים רבות תעריף המים הוסלם, כלומר מחיר המ"ק ליחידה אינו קבוע אלא נקבע בהתאם לכמות הנצרכת. מלבד זה מוטלים על המחיר הנומינלי הטלים נוספים בצורת הטלי ביוב והטלי איזון. נוסף לאמור ניתנות ברשויות מסויימות הנחות במחיר המים כשמדובר בצריכת מים למטרות גינון. יוצא, איפוא, שלגבי צרכן המים הביתי, הקשר בין הכמות הנצרכת ומחיר המים אינו תמיד ברור.

3. לאור הנאמר לעיל, נקבעה, לצרכי חישוב מחיר ממוצע, כמות מים חודשית הנצרכת על ידי משפחה עירונית בת 4 נפשות. כמות זו מבוססת על צריכה ביתית גרידא של 50 מ"ק לנפש/שנה, והיא אינה כוללת סוגי צריכה אחרים הכלולים בצריכה ביתית כגון צריכה ציבורית ומסחרית. כמות זו של 50 מ"ק לנפש/שנה משמעותה, ביחס למשפחה ממוצעת של 4 נפשות, צריכה חודשית של 16.6 מ"ק. בתור אמדן מחיר המים, חושבו מחירי מים עבור צריכה 15 ו- 20 מ"ק לחודש למשפחה לפי תעריפי המים המפורטים בנספח מס' 1. מחירים אלה המוצגים בנספח מס' 2, אינם כוללים את הרכיב של גינות נוי.

4. בכדי לאמוד את השפעת מחיר המיוחד לגינות נוי על צריכת המים הביתית, נבנתה נוסחא בצורת $Y = a + bX_1 + cX_2$ כאשר:

Y : צריכת המים הביתית לנפש/שנה

X_1 : מחיר עבור 15 (או 20) מ"ק לחודש בל"י

X_2 : מחיר המים להשקאת גינות בל"י/מ"ק

הנתונים הסטטיסטיים הרלוונטיים מובאים בטבלה מס' 2 להלן:

טבלה מס' 2 - נוסחאות רגרסיה של צריכה ביתית לנפש/שנה לעומת מחיר המים עבור 28 יישובים עירוניים (1968/69)

משתנה בלתי תלוי	משתנה תלוי Y	$\bar{X}$	$\bar{Y}$	r	נוסחת רגרסיה
מחיר 20 מ"ק מים לחדש X_1	צריכת מים לנפש לשנה	7.85	80.84	0.158	$Y = 95.94 - 1.92\ X_1$
מחיר 15 מ"ק מים לחדש X_1	צריכת מים לנפש לשנה	5.36	80.84	0.243	$Y = 101.86 - 3.92\ X_1$
מחיר 20 מ"ק מים לחדש X_1 מחיר 1 מ"ק מים לגינות נוי X_2	צריכת מים לנפש לשנה	7.85 0.18	80.84	0.293	$Y = 91.27 + 0.064\ X_1 - 59.81\ X_2$
מחיר 15 מ"ק מים לחדש X_1 מחיר 1 מ"ק מים לגינות נוי X_2	צריכת מים לנפש לשנה	5.36 0.18	80.84	0.300	$Y = 96.93 - 1.37\ X_1 - 47.75\ X_2$

5. הנתונים המובאים לעיל מבטאים כאמור את היחס בין הביקוש למים ומחירם על חתך ארצי של 28 יישובים עירוניים שנעשה בשנה החולפת. כאשר נבנתה נוסחה דו-משתנית, נתקבל ערך מקדם המתאם (r) הגדול ביותר בסדרה המוצגת בטבלה מס' 2, $r = 0.300$

רמת המובהקות של תוצאה זאת (הסיכוי שאין כל מיתאם והתוצאה $r = .300$ הינה מקרית) היא גדולה מ-5%. מקדם מיתאם זה דומה לזה שנתקבל בעבודת המחקר שנעשתה על ביקוש המים בירושלים. כאמור מקדם המיתאם בין הביקוש למים ובין המחיר כפי שנמצא בעבודה ההיא היה 0.289 כאשר מדובר בפרק זמן של 14 שנים (1954/55 - 1967/68). בכוחו של המקדם האמור (0.300) להסביר רק 9% של סה"כ השונות (וריאנס) של צריכת המים ב-28 היישובים האמורים.

ב י ב ל י ו ג ר פ י ה

1. שנתון סטטיסטי לישראל, 1969 מס' 20 - הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה.

2. גורמים המשפיעים על ביקוש המים בירושלים - א. קומיי פ. דלינסקי, עיריית ירושלים ותה"ל 1969.

3. צריכת מים למגורים (1962 - 1967) המחלקה למחקר ולסטטיסטיקה, עיריית תל-אביב-יפו, נובמבר 1969.

4. סקר חצרוכת המים בישראל לשנת 1968/69 משרד החקלאות נציבות המים.

תעריף מים וביוב עבור 28 יישובים יהודיים עירוניים 1968/69

מס' סד'	שם הישוב	אגרה מינימלית באגורות	מחיר למ"ק מים באגורות: 1-10 מ"ק מים	6 מ"ק מים נוספים	מעל 16-ל מ"ק מים	לגינות נוי	אגרת ביוב ל-1 מ"ק מים באגורות	ה ע ר ו ת
1	אופקים	90	30	40	50	25	-	
2	דימונה*	90	30	45	60	25	-	
3	נצרת עילית	126	42	42	42	30	-	
4	שדרות	90	30	40	50	20	-	החלוקה:
5	נהריה*	60	24.5			11.5	-	10 מ"ק: 24.5 אג'; 5 מ"ק נוספים: 29.5 אג'; מעל 15 מ"ק: 34.5 אג'
6	נס-ציונה*	66	20	30	40	10	לירה לחודש לחדר	
7	צפת	90				30	-	החלוקה: 12 מ"ק: 30 אג'; 6 מ"ק נוספים: 40 אג'; מעל 18 מ"ק: 50 אג'
8	אשדוד*	75	25	35	50	10	-	
9	חדרה	90	30	40	50	12	-	
10	טבריה	105	35	35	35	20	-	מעל 20 מ"ק מים המחיר הוא 25 אג' למ"ק
11	לוד	81	27	30	38	16	-	
12	רמלה	81	27	37	52	16	-	
13	אשקלון	-	25	30	40	12	6	
14	גבעתיים	135	25	40	65	15	10	
15	הרצליה*	84	28	38	45	13	-	
16	ע כ ו	105	35	40	45	20	-	
17	ראשל"צ*	72	24	34	34	13	10	אגרת ביוב חלה רק על 15 מ"ק מים לחודש
18	רחובות	180	30	36	60	12	-	
19	בת-ים*	60	20	35	50	10	10	
20	נתניה*	60	21.5	31.5	51.5	11.5	-	
21	באר-שבע*	180	30	45	60	30	-	
22	בני-ברק	60	20	40	60	10	10	
23	חולון*	60	20	30	50	8	10	
24	פתח-תקוה*	57	20.5	28.5	46.5	14.5	10	
25	חיפה*	75	40	40	40	30	10	מחיר של 3 מ"ק הראשונים מתוך ה-10 הוא 25 אג' למ"ק
26	ירושלים	157.5	52.5	52.5	52.5	45	10	
27	רמת-גן*	60	24.5	40.5	64.5	14.5	10	
28	תל-אביב*	70	27.5	47.5	77.5	27.5	10	

* המחיר כולל היטל אזון

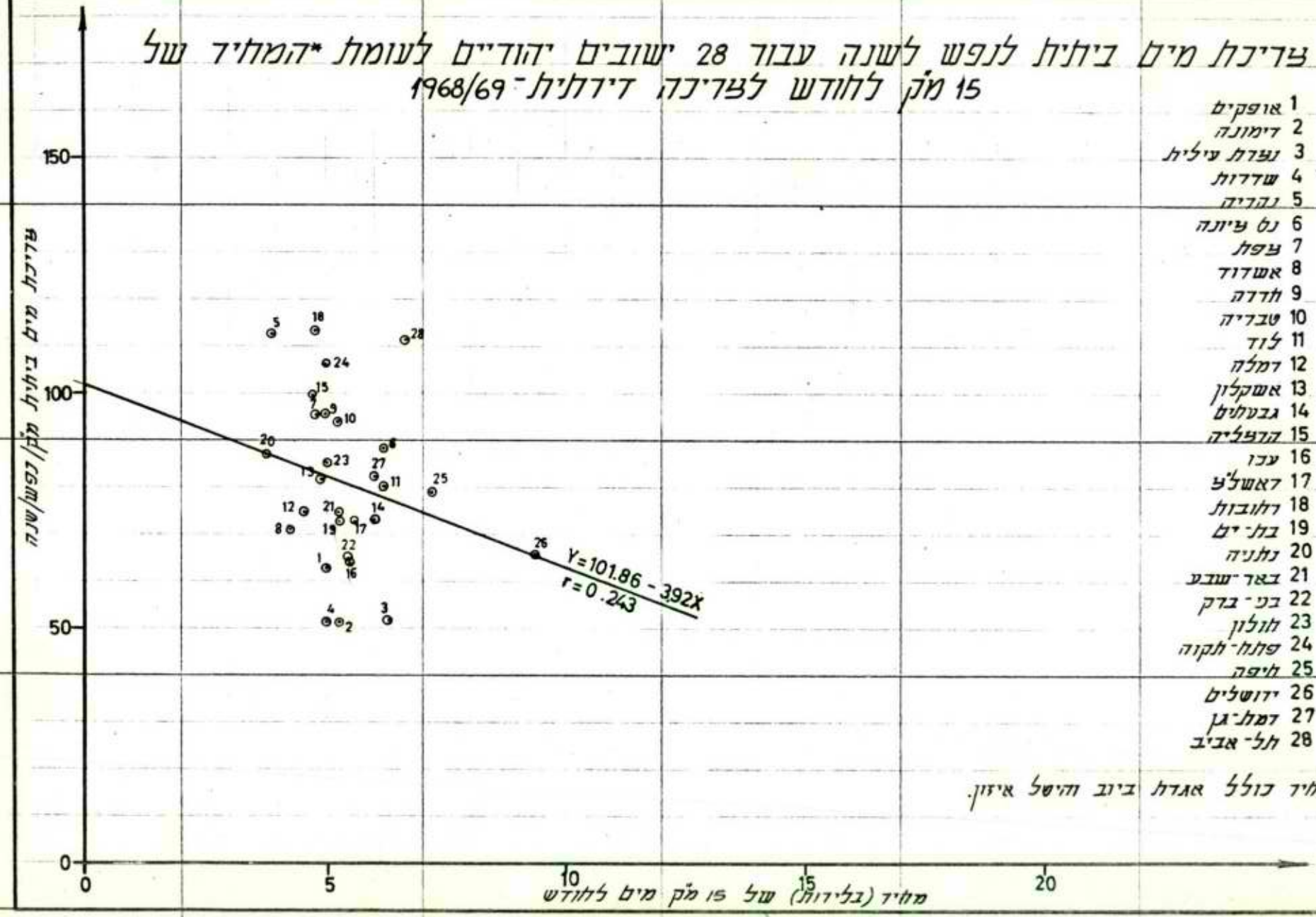
נספח 1

נספח 2

מחירי מים עבור 28 יישובים יהודיים עירוניים - 1968/69

מס' סד'	שם היישוב	מחיר 20 מ"ק מים לחודש ל"י	מחיר 15 מ"ק מים לחודש ל"י	מחיר 1 מ"ק מים לגינות נוי ל"י	צריכת מים לנפש לשנה מ"ק
1	אפקים	6.15	5.00	0.250	63.1
2	דימונה	8.10	5.25	0.250	51.4
3	נצרת עילית	8.40	6.30	0.300	51.9
4	שדרות	7.40	5.00	0.200	51.6
5	נהריה	5.65	3.92	0.115	112.4
6	נס ציונה	8.10	6.20	0.100	88.4
7	צפת	7.00	4.80	0.300	95.4
8	אשדוד	6.60	4.25	0.100	71.3
9	חדרה	7.40	5.00	0.120	95.8
10	טבריה	7.00	5.25	0.200	94.0
11	לוד	6.22	4.20	0.160	80.5
12	רמלה	7.00	4.55	0.160	74.8
13	אשקלון	7.10	4.90	0.120	82.0
14	גבעתיים	9.50	6.00	0.150	73.0
15	הרצליה	6.88	4.70	0.130	99.2
16	עכו	7.70	5.50	0.200	63.9
17	ראשל"צ	7.30	5.60	0.130	73.0
18	רחובות	7.56	4.80	0.120	113.3
19	בת - ים	8.10	5.25	0.100	72.6
20	נתניה	6.10	3.73	0.115	86.8
21	באר-שבע	8.10	5.25	0.300	74.1
22	בני-ברק	8.80	5.50	0.100	64.4
23	חולון	7.80	5.00	0.080	85.3
24	פתח-תקוה	7.62	4.97	0.145	106.8
25	חיפה	9.70	7.20	0.300	79.0
26	ירושלים	12.50	9.38	0.450	65.8
27	רמת-גן	9.46	5.97	0.145	82.6
28	תל-אביב	10.70	6.63	0.275	111.2

צריכת מים ביתית לנפש לשנה עבור 28 ישובים יהודיים לעומת *המחיר של 15 מ"ק לחודש לצריכה דירתית - 1968/69

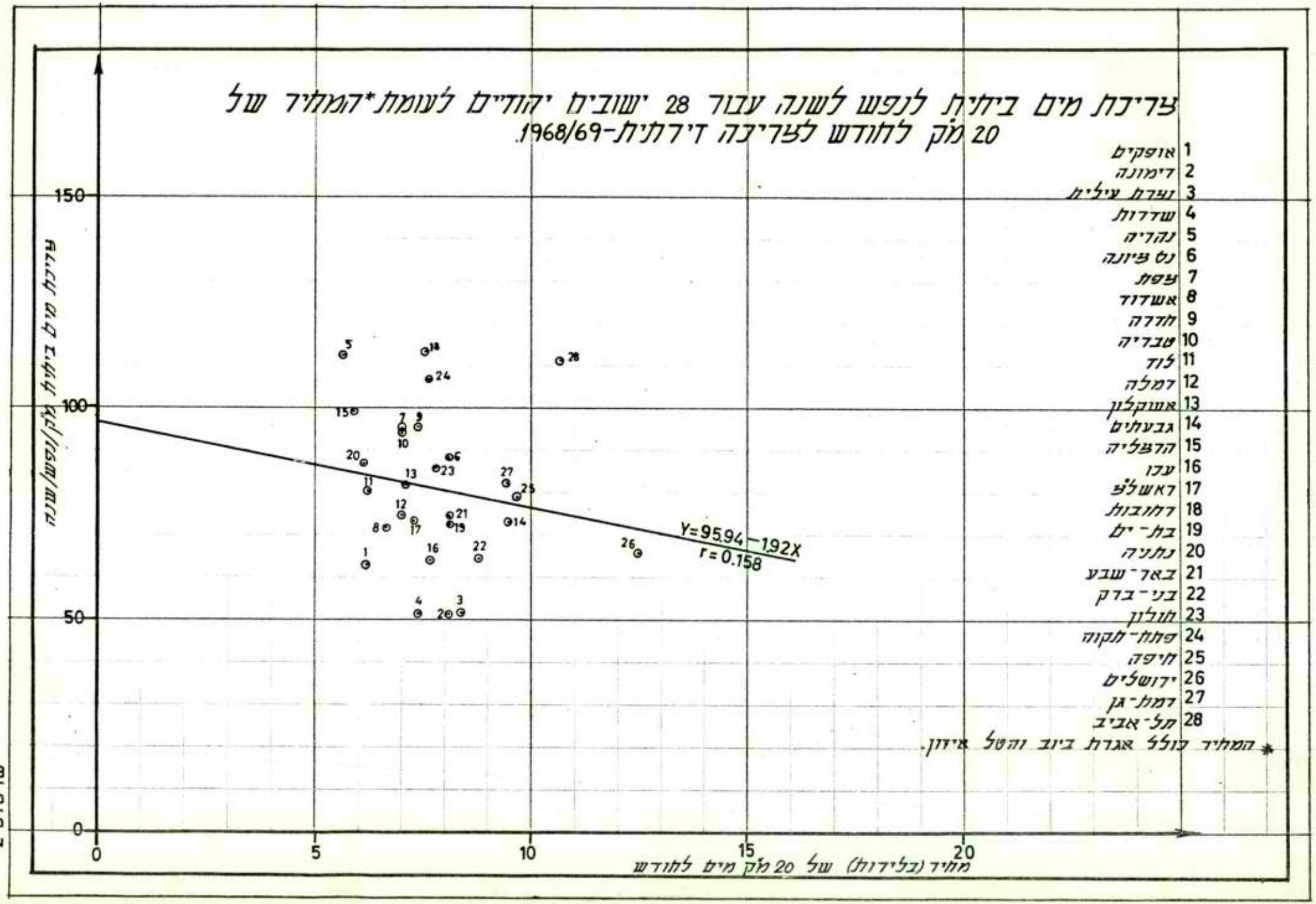


1 אופקים
2 דימונה
3 נצרת עילית
4 שדרות
5 נהריה
6 נס ציונה
7 עפולה
8 אשדוד
9 חדרה
10 טבריה
11 לוד
12 רמלה
13 אשקלון
14 גבעתיים
15 הרצליה
16 עכו
17 ראשל"צ
18 רחובות
19 בת-ים
20 נתניה
21 באר-שבע
22 בני-ברק
23 חולון
24 פתח-תקוה
25 חיפה
26 ירושלים
27 רמת-גן
28 תל-אביב

* המחיר כולל אגרת ביוב והיטל איזון.

טבלה 1

צריכת מים ביתית לנפש לשנה, עבור 28 ישובים יהודיים לעומת *המחיר של 20 מ"ק לחודש לצריכה דירתית-1968/69.



שרטוט 2

6. הגשם המלאכותי ומשמעותו לגבי משק המים הארצי

6.

תזכיר זה הוכן ע"י אלישע קלי, תה"ל, היחידה לתכנון לטווח ארוך. האסמכתא המרכזית של תזכיר זה ביחס לנתוני השפעת זריעת העננים היא בניתוח הסטטיסטי של פרופ' ראובן גבריאל (האוניברסיטה העברית בירושלים) - כמפורט בגוף התזכיר וברשימה הביבליאוגרפית שבסופו.

נתוני משק המים הישראלי המשמשים כאן נלקחו בעיקרם מפרסום תה"ל "קווי היסוד לפיתוח משק המים הישראלי בעשור השבעים" (יוני 1968) וכן ממצאי עבודתה השוטפת של היחידה לתכנון לטווח ארוך בתה"ל.

ה ת ו כ ן

ש ר ט ו ט י ם

נ ס פ ח י ם

הגשם המלאכותי ומשמעותו לגבי משק המים הארצי

1. כ ל ל י

בשנת 1968 סוכם ניסוי בן שש וחצי שנים לבחינת השפעת זריעת העננים (ביודיד הכסף) על הגברת המטר בישראל. ניסוי זה, שבוצע בהנחיות "וועדת המטר" שבראשות פרופ' א.ד. ברגמן, העלה כי קיימת לזריעת העננים השפעה חיובית על הגברת הגשם במערב הארץ במדת וודאות גבוהה וכי שעור ההשפעה הסביר הינו תוספת גשם של כ-15%.

לממצאים אלה עשויה להיות השפעה רבה על משק המים הארצי. מדת המובהקות הסטטיסטית של התוצאות (דהיינו: מדת הביטחון בכך שזריעת העננים אומנם מגבירה את המטר) והשעור הגבוה של ההשפעה - (כאמור: תוספת 15%) - אינם מניחים כיום להמשיך ולתכנן את משק המים הארצי מבלי להתייחס לגורם חדש זה של הגשם המלאכותי.

הנושאים האקטואליים שיש לבחנם לאור ממצאי הניסויים הינם:

א. מדיניות הפיתוח של משק המים הישראלי בעתיד.
ב. המשך פיתוח מערכת המים הארצית.
ג. המשך לימוד השפעות זריעת העננים על משאבי המים ופיתוחן.

2. ת מ צ י ת

בשנת 1968 סוכם ניסוי בן 6½ שנים לקביעת השפעת זריעת העננים על הגברת המטר. בהתאם לממצאי ניסוי זה ניתן להגביר את המטר במערב הארץ בכ-15%. *

הגדלה כזאת בכמות הגשמים - לו היתה חלה על כל אזורי הארץ ולו פילוגה בזמן (דהיינו עוצמת הגשם של התוספת) היה זהה לזה של הגשם הבסיסי (הגשם הטבעי לפני ההגדלה המלאכותית) - היתה עשוייה לתרום למאזן המים הארצי כ-300 מליוני מ"ק מים לשנה אולם בשלב זה אי אפשר לנקוט מספר כזה או קרוב לו היות והניסוי שנערך לא סיפק נתונים מספיקים ביחס לפילוג התוספת בזמן וביחס לקיומה באזורים הצפון מזרחיים - אזורי אגן ההיקוות של הכנרת.

כדי לספק את הידע הדרוש לתכנון משק המים הארצי בנושא הנדון, תוכנן והוחל בביצוע ניסוי חדש שמטרתו אומדן תוספת הגשם המלאכותי באגן ההיקוות של הכנרת. כ"כ נעשים נסיונות לאמוד את הפילוג בזמן של תוספת הגשם באזורים המערביים.

---

* הגדרת "מערב הארץ" ראה בשרטוט 1 (אזורי הניסוי).

בינתיים, נדרשים אומדנים ארעיים ביחס לתרומת הגשם המלאכותי באזורים המערביים בהם מציאותו הוכחה. כאשר נוקטים אומדן לגבי תרומת המים של הגשם המלאכותי, היות ואומדן זה עלול להיות מוטעה, יש להתחשב במידת הנזק שבנקיטת אומדן מוטעה ויש לנקוט אותו אומדן שבו תוחלת הנזק (כתוצאה מהטעות באומדן) - תהיה מינימלית. גישה כזאת ממליצה על המעטה בהערכת תוספת הגשם המלאכותי אולם לא עד כדי התעלמות גמורה מתוספת זאת.
בעוד שבאזורים המערביים, ניתנת תוספת הגשם המלאכותי לניצול ללא כלים נוספים (תוספת הגשם המלאכותי תמלא את האגנים התת קרקעיים הקיימים ותנוצל באמצעות הכלים הקיימים), תוספת הגשם המלאכותי באגן הכינרת - תצריך כלים חדשים לשם הולכת המים הנוספים דרומה. כלים אלה (תחנה נוספת על קו המפעל הארצי וקו נוסף לדרום הארץ), לא כדאי כמובן לבנות ללא בטחון גבוה ביחס לתוספת הנידונה. אם אמנם קיימת תוספת כזאת, יתברר קיומה לאחר מספר שנות ניסוי.

3. <u>ניסוי הגשם המלאכותי וממצאיו</u>

בשנים 1967 - 1961 נערך ניסוי בזריעת עננים ממטוסים ביודיד הכסף במטרה לבחון את השפעת הזריעה על הגברת המטר. הניסוי תוכנן וממצאיו נותחו ע"י פרופ' ב. גבריאל מהאוניברסיטה בירושלים.
פרטי ביצוע הניסוי, מהלך הניסויים, פרוט הממצאים וניתוחם ראה בפירסומים (1), (2), (3) *.
עקרון הניסוי היה כלהלן: נבדקו 2 אזורים: אזור "הצפון" ואזור "המרכז". בין שני האזורים נקבע "אזור חייץ" שלא נזרע כלל (ראה שרטוט 1). כל יממות החורף חולקו אקראית (ע"י הגרלה) ל-2 סוגים: יממות המיועדות לזריעה באזור הצפון (ולא באזור המרכז) (Sn) ויממות המיועדים לזריעה באזור המרכז(ולא באזור הצפון) (Sc). הגודל היסודי שנבדק בניסוי היה ממוצע הגשם (מ"מ) לתחנה באזור המיועד לזריעה (S) או ביום שאינו מיועד לזריעה (NS).

---

* ראה רשימה ביבליוגרפית בסוף התזכיר. להלן סימוני המספרים (1), (2) ו-(3) יתיחסו לרשימה זו.

קיימים אפוא 4 סוגי משתנים:

(1) הגשם באזור הצפון ביממה מיועדת לזריעה בו: Sn

(2) הגשם באזור הצפון ביממה שלא מיועדת לזריעה בו: NSn

(3) הגשם באזור המרכז ביממה מיועדת לזריעה בו: Sc

(4) הגשם באזור המרכז ביממה שלא מיועדת לזריעה בו: NSc

המשתנה היסודי של הניסוי (בקשר לנושא התזכיר הזה) היה:

(א) היחס $\frac{Sn}{NSn}$ או: $\frac{Sc}{NSc}$ לכל יממות העונה

במידה שזריעת העננים מגבירה את הגשם, צפוי כי משתנה זה יהיה גדול מ:1. תוצאות אלה עשויות להשתבש ע"י המקרים שבהם היום שלא נועד לזריעה הינו - יום משופע בגשם "טבעי" ודווקא יום שנועד לזריעה - הגשם הטבעי שלו מועט. (משקלה של מקריות כזאת הוא רב היות והשפעת הזריעה איננה חלה כנראה תמיד אלא מתרכזת בימים ספורים). התגברות (מסוימת) על השיבוש הנובע ממקריות כזאת, מושגת ע"י קביעת משתנה ניסוי אחר.

(ב) מכפלת היחסים: $\frac{Sn}{NSn} \cdot \frac{Sc}{NSc}$

אם $\frac{Sn}{NSn}$ הוא גדול במיוחד בגלל זה שבמקרה יממות הזריעה בצפון היו גדושות בגשם "טבעי", הרי יהיה הכופל שלו: $\frac{Sc}{NSc}$ קטן במיוחד היות ואותן היממות המופיעות בכופל אחד במונה - מופיעות בכופל שני במכנה וצפוי שיממה שבה יש הרבה גשם בצפון - יהיה בה גם הרבה גשם במרכז.

השימוש במשתנה ב' מבטל איפוא את המקריות בתוצאות הנובעות מכך שבמקרה ביום מסויים היה באופן מיוחד הרבה גשם "טבעי". הביטול קיים רק במידה שקיימת קורלציה בין גשמי הצפון והמרכז, דהיינו יממה עם הרבה גשם בצפון היא גם בד"כ יממה עם הרבה גשם במרכז. קורלציה כזאת אמנם קיימת וקיומה עושה אמנם את משתנה ב' למהיימן יותר מבחינת כושרו לאפיין את תרומת זריעת העננים.

בצורתו הנ"ל מבטא משתנה ב' ריבוע של תוספת גשם; כדי שיבטא את התוספת עצמה ניתנה לו הצורה:

(ג) שורש מכפלת היחסים. $\sqrt{\frac{Sn}{NSn} \cdot \frac{Sc}{NSc}}$

ערכו של משתנה ג' היה גדול מ-1 בכל אחת משנות הניסוי בהתאם לטבלה הבאה:

טבלה 1

תוצאות ניסויי זריעת העננים (מועתק מתוך דו"ח שח"מ 1968) (1)

שנה	היחס בין הגשם הממוצע לתחנה ביממות מיועדת לזריעה לגשם הממוצע בתחנה ביממות לא מיועדות לזריעה		ממוצע גאומטרי בין צפון למרכז
	צ פ ו ן Sn/NSn	מ ר כ ז Sc/NSc	$\sqrt{Sn/NSn \cdot Sc/NSc}$
חצי 1961	3.353	0.812	1.650
61/2	0.738	1.856	1.170
62/3	0.702	1.722	1.099
63/4	1.267	1.295	1.280
64/5	1.338	0.968	1.138
65/6	2.450	0.886	1.473
66/7	1.754	0.662	1.078
כל השנים	1.244	1.065	1.151

ערכו של המשתנה לכל שנות הניסוי היה: 1.15 דהיינו תוספת גשם של 15%. לולא היה נערך הניסוי של זריעת עננים בשנים הנדונות וכמויות הגשם של כל השנים יחד היו מצורפות באופן מקרי עוור לערכים NSn, Sn, NSc, Sc, הרי רק ב-1% מהצרופים המקריים היו מתקבלות תוצאות המאשרות את השפעת זריעת העננים כשם שהתקבלו בניסוי שנערך. מכאן: רמת "המובהקות" של תוצאות הניסוי היא 1% דהיינו: קיים סכוי של 1% בלבד שהתוצאות שהתקבלו הנן מקרה; קיים לעומתו סיכוי של 99% שהתוצאות נבעו מהעובדה כי זריעת עננים אמנם מגבירה את הגשם.

יש לציין שהתוצאות של הניסוי הישראלי בולטות בחיוביותן לעומת ניסויים אקראיים דומים שבוצעו בעולם. מתוך 23 ניסויים אקראיים שדווחם הגיע אלינו, רק ב-6 נרשמה העלאת כמויות הגשם בו בזמן שב-7 נרשמו העלאות בשטחים מסוימים וירידות באחרים. ב-10 ניסויים הממצאים הצביעו על ירידה בכמויות הגשם עקב הזריעה לעומת המצב ללא זריעה. ההצלחה הישראלית מוסברת בתנאים מטאורולוגיים מקומיים מיוחדים המאפשרים את קיומה.

הנתונים הנ"ל בצירוף אי-הבהירות המדעית המקיפה את הנושא כולו מזכירים את הצורך ביחס זהיר לנושא זה. לדוגמא: איך יפעל הענין כשתבוא סדרת שנים שחונות במיוחד? לגבי שנים מועטות גשם בסוות הניסוי (כשנת 65/6) - לא היו אכזבות מיוחדות (ראה טבלה 1) אולם אולי אין להסיק מכאן לשחינות קיצונית רצופה. מאידך יש לזכור כי קיימים סכויים לשכלול הזריעה והגברת תוצאותיה. שכלולים בזריעת העננים עשויים לנבוע הן מהטבת הביצוע,הציוד והארגון בהפעלת השיטות הקיימות והן מהגברת היידע ופיתוח שיטות ואמצעים חדשים.

4. <u>סדר הגודל של התרומה האפשרית של הגשם המלאכותי למאזן הארצי</u>

בסעיף זה ננסה להעריך את תרומת הגשם המלאכותי למאזן המים הארצי תוך שימוש בערכים הסבירים ביותר הקיימים בענין הנדון. נשתמש כאן בשעור של תוספת הגשם הסבירה ביותר מבלי להכניס עדיין את ההסתיגויות הנובעות מהאפשרויות של תוספת קטנה יותר. יוער כי הסתייגויות אלה, כשהן נשקלות ע"פ הידע הנוכחי, הנן כבדות ביותר ולפיכך יש לראות את האמור להלן בקשר ל"סדר הגודל של התרומה האפשרית" כדברים נוגעים לבחינת כדאיות הטיפול בניסוי הגשם המלאכותי ובחישובו לנוכח הפוטנציאל האפשרי הטמון בו - אך <u>לא</u> כנסיון לאמוד את התרומה הבטוחה של הגשם המלאכותי למאזן המים כהנחייה לתכנון.

עד כה היו יבולי המים השנתיים הארציים הטבעיים שניצולם סביר - מתוארים על ידינו כפילוג נורמלי שממוצעו כ-1450 מליוני מ"ק וסטיית התקן שלו:
550 מיליוני מ"ק:

N, (1450;550)

תאור זה בוסס על התאמת עקום נורמאלי ליבולי המים הארציים במשך 30 שנה. על סמך הנ"ל תוכננה, ההספקה בעתיד על בסיס של קרוב ל-1400 מיליוני מ"ק לשנה. התנודות הצפויות בכל שנה בודדת **ממוצע** זה (אם אמנם יתקיים בעתיד), ניתנות ע"פ ההנחה לוויסות ע"י אמצעי האגירה שברשותנו וכן ע"י קיצוצים בהספקה במקרים קצוניים נדירים.

למעשה אין בטחון שהממוצע של 30 השנים האחרונות יעמוד לרשותנו גם בעתיד. אף אם נכונה הנחתנו כי הפילוג הנורמלי הנ"ל מאפיין את יבולי המים העתידים שלנו, הרי צפוי כי הממוצע בכל פרק זמן של 30 שנה, ינוע סביב הממוצע האמיתי (1450 מלמ"ק ע"פ הנחתנו עפ"י סטיית תקן של: $100 \cong \sqrt{30}$ / 550 מליוני מ"ק/שנה).
הסיכויים כי הממוצע של 30 השנים הבאות לא יהיה נמוך מהכמות המוקצבת הינם:

טבלה 2

הכמות המוקצבת (מליוני מ"ק לשנה)	הקטנה מהממוצע (מליוני מ"ק לשנה)	הקטנה מהממוצע בסטיות תקן	הסכוי לספק את הכמות המוקצבת (%)
1375	75	0.75	77
1400	50	0.50	69
1425	25	0.25	59

התחייבותנו לספק בעתיד כמות מסוימת ממקורות טבעיים ניתנת איפוא לביצוע רק בסבירות מסויימת ולא בבטחון מלא. יש כעת מקום להציג את השאלה: מה תורם הגשם לפוטנציאל ההספקה אם נרצה להשאר באותה סבירות כמו קודם לגבי ממוצע יבולי המים בעתיד.

לשם הערכת השפעת זריעת העננים על יבולי המים, יש להסתמך על הבאים:

א. השפעת זריעת העננים על תוספת הגשם.
ב. השפעת תוספת הגשם על תוספת יבולי המים.

שעור ההגדלה הממוצע של הגשם הטבעי באמצעות זריעת העננים הינו - ע"פ נתוני השנים 62-67 (ראה טבלה 1) - 21% וסטיית התקן של ההגדלה השנתית: 14%.
אולם השפעת הזריעה בכל שנות הניסוי (כיחידה אחת) נמצאה ע"י פרופ' ר. גבריאל (ראה (1)) כ-15% (ולא 21% כמו לעיל) משום שתוספות גדולות יחסית חלו בשנים עם מעט גשם.

כדי להכליל עובדה זאת בחשבון, נתחשב בהגדלה שנתית של 15% ולא 21%.

סטיית התקן (לשנה בודדת) של ההגדלה הינה כ-0.19.
נתיחס אפוא לפילוג תוספת גשם מלאכותי של = N_2 (0.15 ;0.19)
תוספת הגשם - יוצרת תוספת יבולי מים. כל תוספת של 1% בגשם יוצרת (בתחומים הנידונים) תוספת של 1.5% * ביבולים אולם גם השפעה זאת אינה קבועה. גשם בעל עוצמה חזקה (לדוגמא) או גשם שבא לאחר תקופה יבשה - עשויים לתרום פחות ליבולי המים. תרומת הגשם ליבולי המים תתואר אף היא כמשתנה המופלג נורמאליית:
ההגדלה של של 1% בגשם מגדילה את יבולי המים ע"פ: N_3 (1½%;0.5%)
יבולי המים החדשים יהיו בהתאם לנ"ל, מכפלת שלושת הפילוגים:

$$N_1 \cdot N_2 \cdot N_3$$

נתייחס לפילוג תוצאתי זה כלפילוג המאפיין את יבולי המים שלנו - תוך הכללת הנתונים הנ"ל לגבי הגשם המלאכותי. ערכו של הפילוג חושב בדרך של סימולציה ונמצא כי ממוצעו: 1776 מלמ"ק/שנה וסטיית התקן שלו 829 מלמ"ק/שנה. אם ממוצע זה הינו הממוצע "האמיתי" של יבולי המים החדשים, יחפלג בפרקי זמן של 30 שנה ע"פ סטיית תקן של

$$\sigma = 829 / \sqrt{30} \cong 151$$

ואם נרצה כעת להשאר באותו הבטחון (לגבי הממוצע של 30 שנה בעתיד) כמו קודם תהיינה ההקצבות המתאימות כלהלן:

טבלה 3

ההקצבות הקודמות (מלמ"ק/שנה)	הסכוי שהממוצע ב-30 השנים הבאות לא יפחת מההקצבה (%)	ההקצבות החדשות (במיליוני מ"ק לשנה)
1375	77	1670
1400	69	1701
1425	59	1738

---

* עפ"י נתונים ארעיים של הענף ההידרולוגי, תה"ל מ-11.2.69- ראה נספח 1.

נראה איפוא כי אם נסתמך על ההנחות הנ"ל ביחס לכמות תוספת הגשם לפילוגה מסביב לממוצעה ולפילוג ההשפעה של תוספת הגשם על תוספת יבול המים, הרי למרות הגדלת הפיזור של יבולי המים (סביב ממוצעם)*, מותר לצפות להגדלה מסדר גודל של כ-300 מ"ק/שנה. יש בחשבון זה כמה אי דיוקים (כגון נורמליות הפילוג גם במקום שאינה מוכחת וכן חיוץ על העתיד של ממוצע וסטיית תקן של "מדגם" בן 30 שנה שבעבר) אולם נראה שאין בכך כדי לפגוע בעקרון התוצאה. יש גם לקחת בחשבון כי הגדלת הפיזור של יבולי המים סביב ממוצעם - תגדיל את אותם מקרים נדירים בהם תקוצץ ההספקה (בהיותנו מוגבלים באמצעי אגירה). הונח כאן כי קיצוץ נוסף זה אין בכוחו לשנות בצורה משמעית את עקרון התוצאה.

תוספת מים בכמות הנ"ל, משמעה לגבי פיתוח משק המים הארצי כי ניתן לפתח את הצריכה עד סוף עשור ה-70 (ברמה המובאת בחשבון ב"תכנית 11" של תה"ל) ** מבלי להיכנס לגרעונות גדולים ומבלי הצורך במפעלים גדולים להמתקת מי ים ולהשבת שפכים.

פרטים נוספים ביחס למשמעות התוספת הזאת לגבי משק המים הארצי - ראה בנספח 2. עד כאן הוצג חשבון היוצא מההנחה כי התוספת המירבית של 300 מלמ"ק/שנה אמנם מובטחת בממוצע; **כאמור**, בשלב זה אין עדיין אפשרות לקבוע זאת בוודאות המספיקה לתכנון בעיקר בשל המחסור בשני סוגי הנתונים:

א. תועלת הגשם המלאכותי באגן הכינרת.

ב. משמעות תוספת הגשם המלאכותי לגבי תוספת יבול המים.

נוסף למחסור בנתונים (אותו, אנו מקווים, ינתן למלא בשנים הקרובות) קיים בקשר לגשם המלאכותי גורם הוודאות המסוייגת בקשר לעצם קיומו. ביחס לגורם אחרון זה, מן הראוי להציג את הגשם המלאכותי על אותו קנה מדה של וודאות בה אנו משתמשים ביחס לגשם הבסיסי. שרטוט מס' 2 מציג השוואה כזאת. הרעיון המוצג כאן ינוסח כלהלן: הבטחון שלנו ביחס לגשם הבסיסי - אף הוא אינו מוחלט.

---

* הגדלה זאת איננה חייבת לחול אם אמנם אופייניות התוספות הגדולות יותר לשנים שחונות יותר - כפי שנאמר לעיל (סעיף 3).

** ראה קווי יסוד לפיתוח משק המים הישראלי בעשור השבעים תה"ל, יוני 1968.

ככל שאנו דנים בכמויות גבוהות יותר של גשם בסיסי (טבעי) - כן בטחוננו יורד. התכנון שלנו לעתיד מבוסס על מספר (1380 מלמ"ק/שנה) אשר סכוייו להתקיים ממש בעתיד הם כ-3/4. לו היינו דורשים שסכויים אלה יעלו עד ל-90%, היינו יכולים להתחייב לספק לא 1380 אלא רק 1320 מלמ"ק/שנה אם נתיחס לאותה מדת בטחון (3/4) בה אנו נוקטים ביחס לגשם בסיסי ונאמץ אותה גם ביחס לגשם המלאכותי, הרי נגיע למספר של תוספת 11.7% (במקום 15% שזוהי ההגדלה שהבטחון בה הוא 50%).

5. <u>בעיות ההתחשבות הנוכחית בגשם המלאכותי בקשר למאזן המים הארצי</u>

קיימת, כאמור, וודאות רבה בכך שפעולת זריעת העננים תורמת להגברת המטר. אך אם גם עצם ההשפעה החיובית של זריעת העננים על הגברת המטר אינה עוד בחזקת ספק לגבי מערב הארץ, הרי קיימות הבעיות של מידת ההשפעה של הגשם המלאכותי על מאזן המים הארצי - ושל צורת ומידת ההתחשבות שלנו בגורם זה.

הבעיות בנושאים אלה נובעות מהגורמים הבאים:

א. קיימת וודאות רבה כי ישנה לזריעת העננים השפעה כלשהי על הגברת המטר במערב הארץ אולם הוודאות כי שעור ההשפעה הינו שעור קונקרטי מסוים בעל חשיבות משקית רבה - אינה גבוהה. קיים סכוי של 99% שקיימת השפעה כלשהי, קיים סכוי של 50% שההשפעה מגיעה ל-15% (זוהי משמעות הקביעה כי הערך הממוצע של ההשפעה הינו 15%) וקיימים סיכויים של בין 99% ל-50% שההשפעה אינה נופלת מערך שבין 0 ל-15%.
אם נתחשב בתוספת של 15% - ואח"כ יתברר שההשפעה האמיתית הינה קטנה יותר - עשויים לנבוע מכאן נזקים (לדוגמא: לא יהיו לנו מים למלוי המכסות). אם נתחשב בכך שאין כלל תוספת ולמעשה כן תהייה קיימת - שוב יהיו נזקים (לדוגמא: נקים מפעל התפלה ללא צורך או נוותר על ניצול אפשרי של מים - ללא הצדקה). לכל מדת התחשבות צמודים תועלת עם סכוי מסוים ונזק עם סיכוי מסויים. סביר כי עלינו לנקוט אותה מידת התחשבות שעבורה תוחלת הנזק (בסימן מינוס) ותוחלת התועלת (בסימן פלוס) מצטרפים יחד לערך הגבוה ביותר. מידה זאת הנותנת את מירב תוחלת התועלת אינה זהה בהכרח עם אותו ערך ממוצע של ההשפעה (15%) ובעייה מסובכת היא קביעת ערך זה של מירב תוחלת התועלת.

ב. קיימים אזורים שלגביהם וודאות ההשפעה גבוהה יחסית - אלא הם כאמור האזורים המערביים של הארץ אולם לגבי אגן ההיקוות של הכנרת שתרומתו למאזן המים מתקרבת ל-40% מכלל היבולים - וודאות ההשפעה - קטנה בשלב זה. חסרון זה משמעותו רבה שכן דווקא לגבי אגן הכנרת - חשובה (ראה סעיף 6 להלן) אינפורמציה מהימנת על יבולי המים - לשם ניצולם היעיל.

ג. תוספת מסוימת של גשם עדיין אינה מבטיחה תוספת מסוימת של מים זמינים לניצול. תוספת המים הזמינים תלויה בעוצמת תוספת המשקעים, בפילוג התוספת בזמן ובעוד תכונות שלה. הידע שלנו הן ביחס לתכונות של תוספת הגשם והן ביחס להשפעת תכונות אלה על יבולי המים - הינו עדיין מצומצם.

ד. קיימים אזורים - כאגני החול שלאורך הים - בהם תוספת הגשם ניתנת לניצול ללא כלים חדשים אך קיימים כנגדם אזורים - כאגן הכנרת - בהם דרושה לניצול הנדון השקעות יקרות אשר ביצוען תלוי מצדו במדת הוודאות לגבי קיום התוספת. מצב דברים כזה שם בסימן שאלה חלק ניכר מהתוספת הגולמית הקיימת.

עניין ההתחשבות בגורם הגשם המלאכותי מסתבך איפוא כאשר צריך לגשת אליו מנקודת ראות של כמויות קונקרטיות. אך עם זאת יש צורך להתיחס כבר היום לשאלה מהי תוספת הגשם המלאכותי ואין שהות להמתין עד להשגת יחר וודאות בענין זה היות והמתנה כזאת משמעה נקיטת מספר של תוספת אפס ואין זה כלל ברור כי דווקא המספר אפס הוא האופטימלי במקרה הנדון. בעיות כגון: האם ובכמה יש לקצץ היום את הצריכה החקלאית לנוכח המחסור במים או האם ומתי יידרש מפעל להתפלת מי ים- לגבי בעיות כאלה, נקיטת מספר של תוספת אפס, אינה הפעולה הזהירה ביותר או נטילת הסיכון הקטן ביותר.

בכדי להגיע למספר האופטימלי ביחס לתוספת הנדונה יש להביא בחשבון שתי מערכות של נתונים:

א. נתוני תוחלת הנזק שיבוא כתוצאה מהחלטה מוטעית.
ב. נתוני מידת הבטחון (הסובייקטיבית) שמיחס המחליט לאפשרויות שונות של תוספת מים של הגשם המלאכותי.

נתיחס להלן לשתי מערכות של נתונים כאלה.

נדגים להלן את נתוני הנזק הנובע מהחלטה מוטעית. ביחס לנזק זה נתיחס למצב שבו, אם לא נתחשב בתוספת הגשם המלאכותי, נקיים הספקת מים ברמה נמוכה מהמותרת ואם, להיפך נייחס לגשם המלאכותי תוספת מים גדולה מהאמיתית, נקיים הספקת מים גבוהה מהמותרת.

במקרה הראשון (התעלמות מתוספת הגשם המלאכותי), יתבטא הנזק הצפוי בכך שנפסיד את ההכנסה העשויה להתקבל מניצול משאב כלכלי זמין.

במקרה השני (הגזמה בהערכת תוספת הגשם המלאכותי), יהיה הנזק - זה הנובע מניצול יתר של פוטנציאל המים הקיים.

נתייחס כאן לנזק העלול לקרות עם ניצול יתר ולהפסד הנובע מניצול חסר - כפי שהם מוצגים בתזכיר "בעית המחסור במשק המים הארצי" (ראה פרק 8 בתזכיר זה ושרטוט 9)*.

בהתאם לנתונים הנ"ל, התעלמות מתוספת הגשם המלאכותי יש בה הפסד של 14 אג'/מ"ק לכל מ"ק שאינו מנוצל אך יש גם רווח בכך שתוחלת המחסור (הצפוי בעתיד) - יורדת. מאידך: הגזמה בהערכת תוספת הגשם המלאכותי, גורמת לניצול מיידי גבוה יותר של מים (ניצול המביא תועלת מידית בסך 14 אג'/מ"ק) אך כמובן גם נזק בכך שתוחלת נזק המחסור (הצפוי בעתיד) - עולה. אם נתיחס לערכי הנזק והתועלת הנ"ל נקבל כי ערכי הנזק הנוצר עם חריגה מהצריכה המאוזנת (צריכה השווה ליבולי המים השנתיים הממוצעים) הינו כלהלן:

טבלה מס' 4

מידת החריגה: (מלמ"ק/שנה)	+200	+100	0	-100	-200
נזק (מיליוני ל"י	620	234	0	29	200

יוער כאן כי נזק זה מתיחס להצטברות (בערך נוכחי) למשך 30 שנה. אין לתאר כמובן כי חריגה מהצריכה המאוזנת תימשך זמן רב כזה היות ומוקדם הרבה יותר יתברר הנתון האמיתי (זה שאי ידיעתו גרמה לחריגה) ביחס לצריכה המותרת. יש אפוא לראות את המספרים כמשמעיים מבחינת היחס ביניהם ולא מבחינת ערכם המוחלט.

* ראה "בעית המחסור במשק המים הארצי", תה"ל, אגף מחקר ופיתוח, ינואר 1970.

יוער עוד כי עם כל ההסתיגויות מנכונותם המוחלטת של המספרים האלה (ראה פרק 8 בתזכיר הנ"ל "בעיית המחסור במשק המים הארצי"), נכונה כנראה המגמה הנובעת מהם כי בתחומים הנדונים, הנזק שבצריכה מוגזמת - רב יותר מהנזק שבצריכה **פחותה**. מספרים אלה מאפשרים לבנות את מטריצת הנזקים הכרוכים בהחלטה מוטעית: (ראה שרטוט 3) נתיחס לשלושה ערכים אלטרנטיביים של תוספת מים מגשם מלאכותי באזורים המערביים של הארץ 0, 100 ו-200 מליוני מ"ק לשנה.
התוספת הזאת היתה עשויה להיות כ-240 מלמ"ק לשנה (ראה נספח 1) אילו הייתה תוספת הגשם המלאכותי מפולגת בזמן כמו הגשם הבסיסי. הערכים הנמוכים יותר הנ"ל, קטנים מ-240 מלמ"ק מתוך **החשד שאכן** פילוג הגשם הנוסף בזמן <u>אינו</u> זהה עם פילוג הגשם הבסיסי.

שלושת הערכים האלטרנטיביים של ערכי ה"תוספת האמיתית" של גשם מלאכותי יהוו את הממד האפקי של מטריצה הנזקים ואילו שלושה ערכים של הבסיס למדיניות - אף הם 0, 100 ו-200 מלמ"ק לשנה, יהוו את הממד האנכי של המטריצה (ראה שרטוט 3: "תוחלת הנזקים כתוצאה מנקיטת מדיניות שונות לגבי תוספת גשם מלאכותי").
בתא המפגש שבין כל ערך של תוספת אמיתית ובין ערך של הנחה לגבי תוספו-רשום הנזק הנגרם בתנאים אלה. לדוגמה: אם התוספת האמיתית היא 100 ואילו מדיניות ההספקה מתבססת על ההנחה של 200, מלמ"ק/שנה -ייגרם נזק של 234 מליוני ל"י היות ואז תחרוג הספקת המים מעל המותר מ-100 מליוני מ"ק (100 - 200) ובהתאם לטבלה 4 שלעיל - זהו הנזק המתאים.

לאורך האלכסון של המטריצה - אין כל נזק (רשום המספר 0) היות ובתאי האלכסון אין הערכה מוטעית שכן נתון ההערכה זהה עם הנתון האמיתי.
מעל השורה של התוספת האמיתית, רשום מספר המבטא באחוזים את "הבטחון הסביקטיבי בתוספת האמיתית": 20%, 35% ו-45% (סה"כ 100%) לערכים של, 0, 100 ו-200 מלמ"ק.
אם אמנם זהו הבטחון הסוביקטיבי של מקבל ההחלטה לגבי כל אחת מהאפשרויות של תוספת אמתית, יש להכפיל כל מידת הנזק שבכל עמודה שבמטריצה - באחוז הבטחון הזה (ראה במטריצה במספרים בסוגרים), לסכם את המכפלות האלה במאוזן ולקבל את סה"כ תוחלת הנזק שבהחלטה כלשהי.

סיכום זה מראה כי למרות שמקבל ההחלטה מאמין יותר בתוספת של 200 מלמ"ק, ההחלטה המתבקשת היא לנקוט תוספת של 100 מלמ"ק היות ותוספת זאת נותנת תוחלת נזק נמוכה ביותר (60 מליון ל"י לעומת 100 מיליון ל"י או 156 מיליון ל"י עבור תוספת של 0 או 200 מלמ"ק).

חשבון זה, על אף היותו בנוי על יסודות רופפים למדי, מבליט שני דברים הנראים כמבוססים:

א. נקיטת מדיניות של "אין כלל תוספת גשם מלאכותי" - אינה דווקא החסכונית או הזהירה ביותר.

ב. היות והנזק הנובע מהגזמה בהערכת הגשם המלאכותי עשוי להיות גדול מהנזק הנובע מהמעטה בערכו - הרי המספר האופטימלי של המדיניות המומלצת - נוטה לרדת מהמספר המהיימן ביותר.

6 <u>בעיות הניצול המעשי של תוספת הגשם המלאכותי</u>

ישנם כאמור מקומות בהם תוספת הגשם תורמת למאזן המים מבלי להזדקק לביצועים מיוחדים. אלה הם בעיקר אגני החול אשר בהרבה מקרים יש בהם נפחים פנויים. אגן הטורון בהיותו כיום מלא - אינו אופיני ביותר לסוג זה וניצול הגשם המלאכותי בתחומו עשוי (אם ימשיך האגן להיות מלא) להתאפשר רק תוך העברת עודפי מים לאזורים אחרים. אזור שבו ניצול תוספת הגשם המלאכותי אפשרי בעיקר ע"י ביצועים מיוחדים - הוא אזור צפון מזרח - אזור אגן הכנרת.

למרות שהניסוי המתבצע כעת בקשר לאגן הכינרת (ראה נספח 3) עדין לא סיפק כל ממצאים המאשרים את קיום התוספת באזור זה - מן הראוי לבדוק את הבעיות העשויות לעלות במקרה של התבררות ממצאים חיוביים.

ניצול התוספות באזור צפון מזרח ביעילות יתכן במשך 15 השנים הבאות רק ע"י העברתם לדרום הארץ - לאזור הנגב (אם התכנית הקיימת ביחס לפילוג הגיאוגרפי של גידול החקלאות - לא תשתנה - ראה נספח 2) והעברה זו יכולה להעשות רק ע"י כלים נוספים ותוספת השקעות. תוספת המים העשויה להיות מועברת באורח זה הינה מסדר גודל של 70 עד 100 מלמ"ק והיא טעונה השקעות מסדר גודל של 75 מליוני ל"י לשם העברת מים עד ברכת "זמורות" (העברת המים דרומה מזמורות איננה נידונה כאן היות וההשקעות הכרוכות בה אינן צמודות לעובדת

הגשם המלאכותי. גם ללא ניצול הגשם המלאכותי, תעשינה השקעות אלה אם מקור המים הנוספים יהיה מפעל התפלה ו/או מי ביוב מושבים). השקעות אלה כוללות:

א.	תחנה נוספת על קו המוביל הארצי	15 מל"לי
ב.	קו נוסף ("60") בקטע ראש העין-זמורות	50 "
ג.	ש ו נ ו ת	10 "
	סה"כ	75 מל"לי

בעתיד הרחוק יותר ינתן לנצל את תוספת הגשם המלאכותי של אזור הכנרת גם ללא תחנה נוספת וללא קו נוסף. זה מותנה בכך שיהיה למים שימוש לאורך המוביל הארצי - תנאי שאינו קיים כיום - אך יתקיים בעתיד - בעשור ה-80.

הגדלת כושר ההולכה של המערכת הארצית מהכנרת לנגב הינו נושא הביצוע העיקרי שיש להעלותו בקשר לגשם המלאכותי אולם - איננו היחידי. כדאיות הביצוע של פרויקטים מקומיים שונים צריכה להשקל כעת שוב תוך הכללת ענין הגשם המלאכותי. בין הפרויקטים האלה נמנים:

א. הגבהת הכנרת. הגשם המלאכותי עושה את ההגבהה לכדאית יותר. הגדלת יבולי המים ב-20%, מכפילה את תועלת ההגבהה.

ב. מפעלי החדרה. מצד אחד, תפקידם עשוי כעת להתמלא במדה מסויימת ע"י הגשם. מצד שני, יוכלו לקלוט עודפי כנרת שיגדלו כעת אם לא יהיה להם ייעוד אחר.

ג. מפעלי ניצול שטפונות. אלא ייעשו כעת כדאיים יותר.

אך מכל מקום - נושא הביצוע העיקרי וגם הבעייתי ביותר בקשר לתוספת הגשם המלאכותי הוא ענין הגדלת כושר ההעברה מהכנרת לנגב (למקרה שאמנם יתברר כי קיימות תוספות המצדיקות העברה כזאת).

קיימים כמה גורמים העשויים לסבך את ההחלטה על ביצוע כושר ההעברה הנוסף הנ"ל:

א. החלטה כזאת צריכה לצאת מקיום בטחון רב בכך שאמנם קיימת תוספת מים כתוצאת זריעת עננים. ללא קיום אמיתי של תוספת כזאת הרי רובה של ההשקעה הינה השקעה אבודה או השקעה עם תועלת מעטה.

לעומת גורם זה העשוי לעכב את ההחלטה על ביצוע כושר העברה הנוסף הנ"ל קיימים גורמים הממריצים אותה:

ב. פרק הזמן בו ההשקעה הזאת תהיה מועילה הוא קצר למדי כ-15 עד 20 שנה מהיום. לאחר תקופה זאת, תדרשנה כבר התוספות הנדונות באזורי הצפון ואילו לדרום יהיו מקורות (מים מותפלים בעיקר) משל עצמו ואז ההעברה הנידונה לא תידרש כבר(ראה נספח 2).
מהסיבה של קוצר זמן השימוש הרי כל דחייה משמעה הקטנת התועלת וייקור המים.

ג. למרות שפרק הזמן של התועלת שבהעברת המים דרומה יהיה קצר - הרי אם קיימים המים הנדונים - כדאיות העברתם קיימת ובולטת אם קנה המידה הוא האפשרות לדחות ביצוע מפעל התפלה גדול להספקה לנגב.
עלות המים המועברים מהכנרת לזמורות בדרך הנ"ל תהיה כ-22 אג'/מ"ק. אם המפעל יתקיים 30 שנה וכ-26 אג'/מ"ק אם המפעל יתקיים רק 10 שנים. בכל מקרה עלות זאת קטנה במדה רבה מעלות מים מותפלים.

בשלבים שבהם יהיה קיים בטחון מסויים אך לא מלא במציאות תוספת הגשם המלאכותי באגן הכינרת, ינתן אולי להתגבר על העיכובים הנובעים מאי הוודאות ביחס לתוספת הגשם המלאכותי ע"י האמצעים הבאים:

א. ראיית תוספת הגשם המלאכותי כתוספת לא וודאית אשר אין התחייבות לספקה בשלמותה תמיד.

ב. סימון תחליפים אשר יוכלו לבוא במקום תוספת הגשם המלאכותי אם זאת תתבדה.

מכל מקום ברור כי חיונית מאד בשלב זה רכישת ידיעה מהירה ביחס לקיום (או אי קיום) תוספת הגשם המלאכותי באגן הכנרת.
הידע הדרוש בקשר לתוספת הגשם המלאכותי באזור הכנרת - חייב להתבסס על ניסוי חדש. ניסוי כזה, משמעו בד"כ הקטנה (עד לחצי) של השפעת הזריעה אולם אין בכך הפסד ממשי כי ממילא יהיו בתחילה עודפים בלתי מנוצלים באזור הנידון וביצוע הניסוי זוהי הדרך הטובה והיעילה ביותר לניצול (מחצית) עודפים אלה אם אמנם הם קיימים. הניסוי לקביעת אפשרויות הגדלת יבולי המים של הכנרת כתוצאה של זריעת עננים - נמצא כעת בראשית ביצועו *.

יש להביא כאן בחשבון כי במקרה הכינרת, יהיה תרגום תוספת הגשם לתוספת מים - קל יותר משבאזורים המערביים היות וריכוזיות תוספת הגשם משפיעה כאן פחות על תוספת המים הזמינים.

---

* ראה נספח מס' 3. בישה נוספת לניסוי באגן הכנרת ראה ב"הערכת פעולות הגברת המטר בצפון הארץ", תה"ל, היחידה לתכנון לטווח ארוך, פברואר 1970.

7. סיכום

ממצאי הניסוי שנערך בשנים 7-1961 בקשר להשפעת זריעת העננים של הגברת המטר, העלו כי בתקופת הניסוי היתה השפעה על הזריעה: הגברת המטר באזורי הארץ המערביים בכ-15%.

מובהקותו של ממצא זה הינה גבוהה במידה המצדיקה התחשבות בו בקשר לחישובי מאזני המים הארציים אולם תרגומו של הממצא הנידון (תוספת 15% גשם) לכמויות של מים - אינו יכול להעשות בדיוק הדרוש היות ולא ידועה בשלב זה מידת הריכוזיות של הגשם המלאכותי (בכמה ימים בשנה הוא מופיע ובאיזו עצמה) וללא ידיעת נתון זה אין אפשרות לקבוע בדיוק מספיק את תוספת המים הזמינים לניצול. נעשים כעת מאמצים להוסיף ידע בנושא החסר הנ"ל. עד להשגת ידע מספיק בנושא זה, יש הכרח להתייחס לכמה ערכים אלטרנטיביים אפשריים של תוספת מים. במידה ויידרש לברור אחד מבין ערכים אלטרנטיביים אלה, יהיה הכרח להסתייע בשיקולי הברירה בנתונים של הנזק שבהחלטה מוטעית. עדיפות הברירה של ערך מסוים תהיה תלויה אפוא לא רק במהיימנותו של ערך זה אלא גם במידה שבה יקטן הנזק שיגרם אם ערך זה היה מוטעה.

סוג אחר של ידע חסר הוא הידע ביחס לתרומה האפשרית של הגשם המלאכותי באגן הכנרת. הניסוי הנ"ל לא כיסה אזור זה במידה הדרושה ועם זאת נתוני אזור זה חשובים במיוחד לנוכח תוספת המים הגדולה העשוייה להתקבל כאן. כדי למלא מחסור זה, נערך כעת ניסוי חדש שמטרתו בירור תוספת המים העשוייה להתקבל מגשם מלאכותי בכינרת.

אם תוספת הגשם על אגן ההיקוות של הכינרת תהיה מאותו סדר גודל שהושג במערב הארץ, עשוייה הוספת המים כאן להיות מסדר גודל של עשרות מיליוני מ"ק לשנה. ניצולה היעיל של תוספת כזאת, תלוי בהתקנת כלים נוספים: תחנת שאיבה על קו המוביל הארצי וקו נוסף להובלת המים לדרום הארץ.

ב י ב ל י ו ג ר פ י ה

(1) שח"ם, חברת בת של "מקורות"
Rain Stimulation Experiment in Israel (Report on Operation, 1961-67).

(2) ד"ר ראובן גבריאל - ניתוח סטטיסטי של תוצאות ניסוי הגברת המטר בעונות 1966/61. האוניברסיטה העברית, ירושלים 1966.

(3) J. Neumann, K.R. Gabriel and A. Gagin, Cloud Seeding and Cloud Physics. A Review of Activities in Israel. International Conference on "Water for Peace", Wortington, D.C., USA, May 23-31, 1967 (Tahal, T 182)

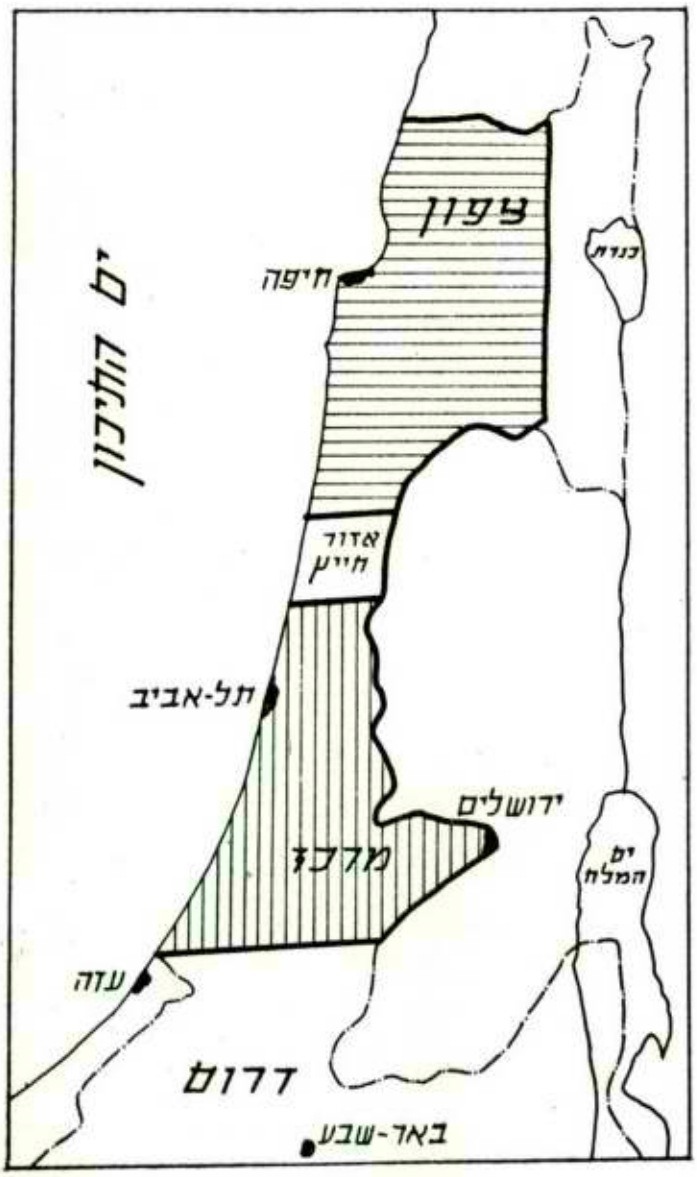
(4) תה"ל, "קווי יסוד לפיתוח משק המים הישראלי בעשור השבעים" יוני 1968.

(5) תה"ל, אגף מחקר ופתוח, "בעיות המחסור במשק המים הארצי" ינואר 1970.

(6) תה"ל, היח' לתכנון לטווח ארוך, "הערכת פעולות הגברת המטר בצפון הארץ", פברואר 1970.

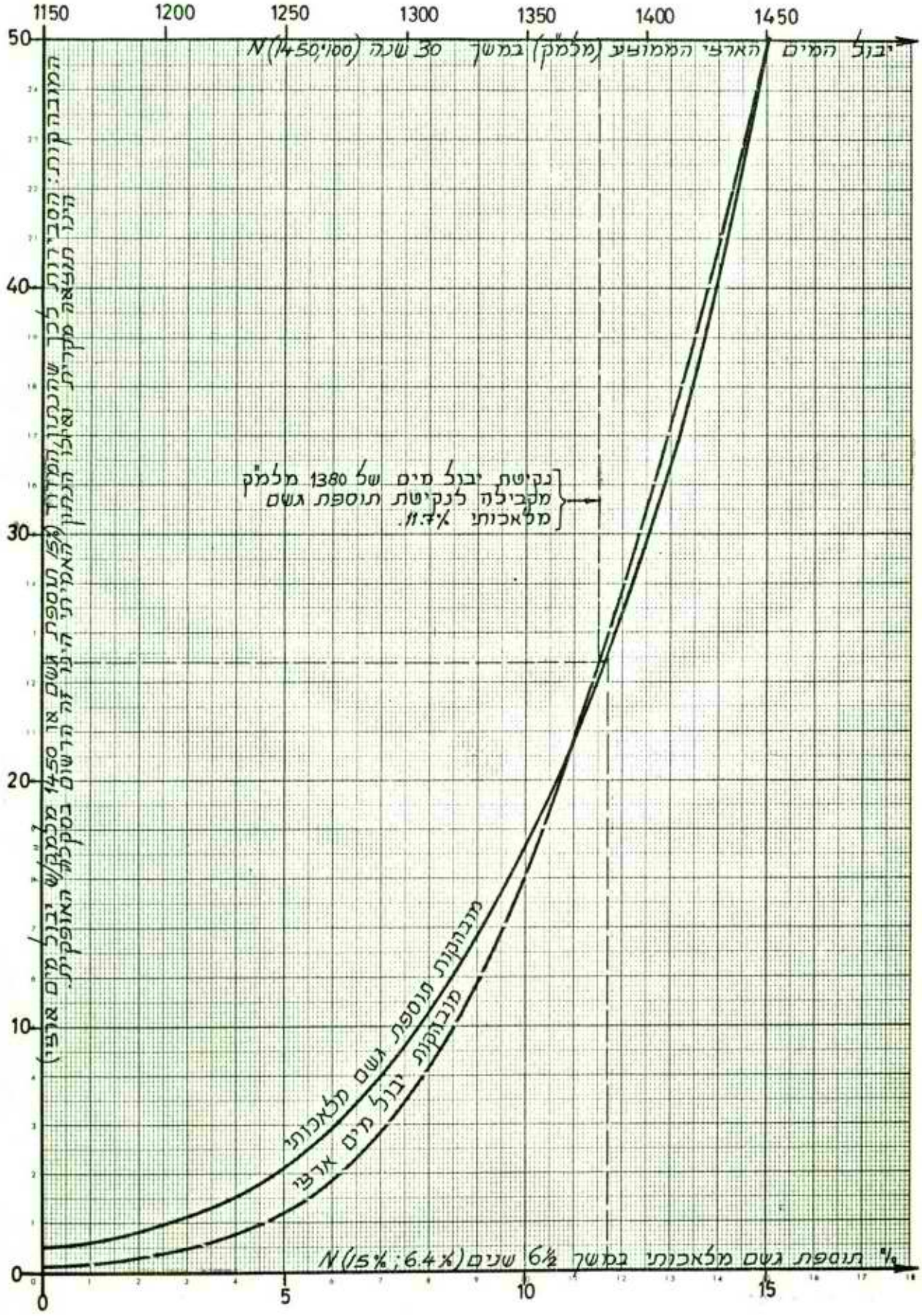
שרטוט 1

אזורי הניסוי של זריעת ענים בתקופה 1961 - 1966/7



שרטוט 2

מובהקות נתוני יבול המים הארצי ונתוני תוספת הגשם המלאכותי



שרטוט 3

תוחלת הנזקים (מלל"י) כתוצאה מנקיטת מדיניות שונות לגבי תוספת גשם מלאכותי באזורים המערביים.

בטחון סובייקטיבי בתוספת האמיתית	20 %	35 %	45 %	
תוספת אמיתית מגשם מלאכותי מלמ"ק לשנה / הערכת תוספת גשם מלאכותי כבסיס למדיניות (מלמק"ש)	0	100	200	סה"כ תוחלת הנזק (מלל"י)
0	0	29 (10)	200 (90)	100
100	234 (47)	0	29 (13)	60
200	620 (74)	234 (82)	0	156

נספח 1

נתונים (ארעיים) ביחס להשפעת תוספת גשם על תוספת יבולי המים.

11.2.69

מאת: י. הרפז, הענף ההידרולוגי, תה"ל,

אל : מר א. קלי.

הנדון: הערכות תוספות יבולי מים כתוצאה מתוספת גשם עקב זריעת עננים.

סמוכין: סכום שיחה בנידון מ-12.1.69.

א. על מנת לספק את האומדנים הנ"ל למתכנני משק המים לטווח ארוך רכזנו את תוצאות המאזנים והחישובים שנערכו עד כה עבור אגנים ואקויפרים שונים במגמה לקבל קשרים ויחסים בין הגשם מצד אחד לבין הנגר (הכללי, התת-קרקעי או העילי), מאידך. כידוע יחסים אלה מורכבים למדי, אך על מנת להגיע אפילו לאומדנים ממוצעים ניסינו לתארם תאור פונקציונלי פשוט (למשל יחסים קויים). דבר זה הביא, בהכרח, לתוצאות בעלות סטיות שנתיות גדולות מהקו המוצע ששימש בסיס לחישובי התוספת. חישוב על פי מאזנים תת-קרקעיים מצוי רק עבור 11 אזורים באקויפר שפלת החוף (ששטחם הכולל הוא רק שליש משטח כל השפלה שאיננה הומוגנית) וגם שם הנתונים מועטים מדי להערכה סטטיסטית כל שהיא.

באקויפר הירקון-תנינים (ט"ק) הושוו תוצאות המאזנים התת-קרקעיים עם חישובים הידרו מטאורולוגיים, שלא כללו עדיין את הנתונים המשופרים.

עבור יתר חלקי הארץ צורפו קטעי חישובים מסוגים שונים תוך כדי אקסטרפולציות בשטח ובזמן. כמובן שצפויות כאן שגיאות ניכרות.

ב. להלן התוצאות של האומדנים לגבי המלוי החוזר של מי התהום (או של סה"כ יבול המים), הממוצעים הרב שנתיים.

האזור או האקויפר	תוספת נגר תת-קרקעי (במלמ"ק לשנה) עקב תוספת בשם של			סטיה	הערות
	5%	15%	25%		
שפלת החוף הדרומית (רצ' 0-34, כולל ג.דן)	8	28	52	±55%	לא כולל רצועת עזה
שפלת החוף הצפונית (רצ' 35-59)	13	29	47	±50%	
אקויפר ירקון-תנינים	30	75	140	±30%	
הכרמל והרי אפרים	8	25	42	±80%	חלק ניכר לא ראוי לניצול
הגליל המערבי	(30)	(80)	(130)	±80%	נגר כולל ולא רק תת קרקעי
בית שאן-גליל תחתון	9	22	46	±75%	
אגן הירדן הצפוני והכנרת	(70)	(170)	(310)		נגר כולל ולא רק תת קרקעי

ג. על סמך התוצאות המובאות כאן ושאר הבדיקות, מובאות בינתיים ההערות הבאות:

1. עם שפור המודלים ההידרולוגיים ותוספת ידע ונתונים תגדל מהימנות התוצאות, הדבר מצריך חקירות נוספות וגם שנות נתונים נוספות.

2. בתחומים הנמוכים של הגברת הגשם (עד $\Delta P = 0.25 \bar{P}$), גדלה התוספת היחסית של הנגר התת-קרקעי ($\Delta R/\Delta P$) ככל שנעים לעבר אזורי הארץ הגשומים.

3. באזורי חורש וצמחיה צפויה תוספת יחסית יותר גבוהה. מסקנה זו תורמת כנראה למגמה (1).

4. תוספות גדולות לנגר התת-קרקעי תתקבלנה במיוחד בשטחי הדיונות שבשפלת החוף ובשטחי המחשופים הגיריים-דולומיטיים.

5. לפלוג תוספת הגשם במשך העונה - במיוחד לאפשרות של פילוג קיצוני - השפעה נכרת על הנגר העילי וגם על הנגר התת-קרקעי. דבר זה נבדק עתה בנפרד ולא נוכל להעריכו בשלב הנוכחי. נוסף להקטנה אפשרית בתוספת הנגר מקטן גם אחוז הגשם הניתן לניצול.

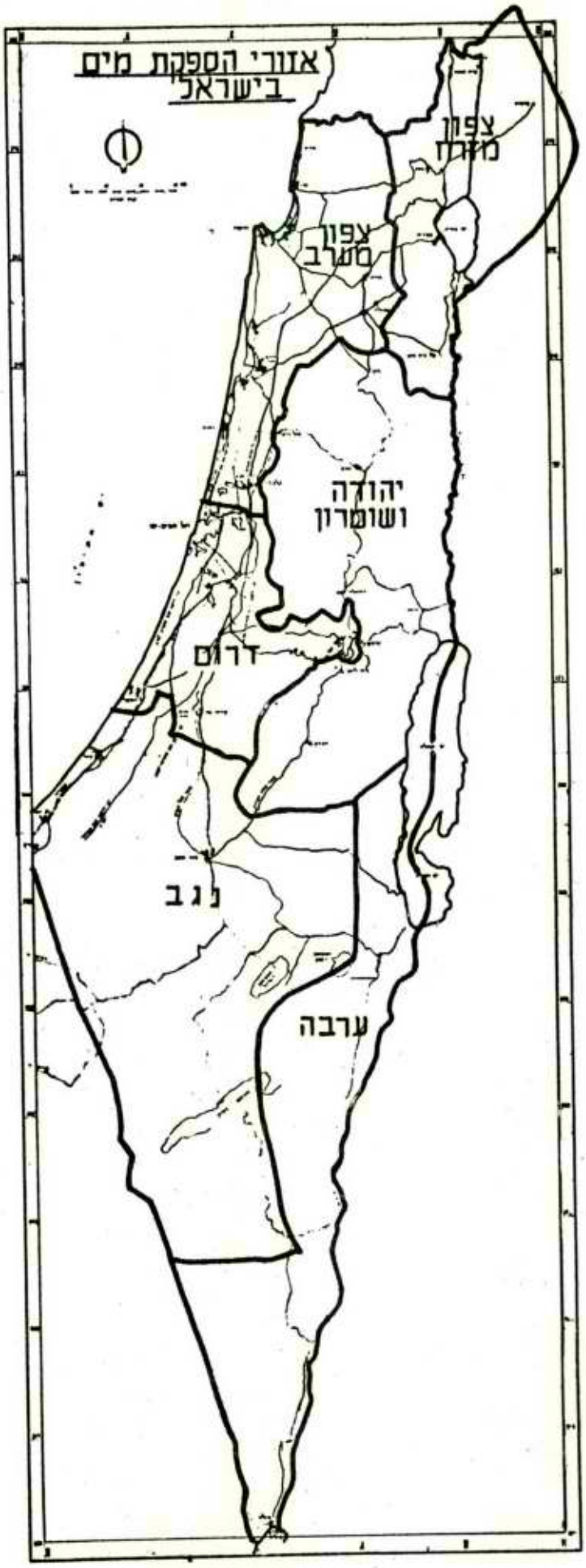
6. בגלל הגברת הזרימה אל מחוץ לאקויפרים או עקב מיהול במים מלוחים, אין להניח שכל תוספת הנגר תהיה ראויה לניצול.

7. על מנת לשפר את הערכת תוספת פוטנציאל המים, כתוצאה מגשם מלאכותי, יש הכרח לספק נתונים בדרך של מחקר (נסויים) על חלוקת הגשמים הנוספים בשטח ובזמן (במשך העונה).

ב ב ר כ ה,

י. הרפז

נספח 2


אזורי הספקת מים
בישראל
צפון
מזרח
צפון
מערב
יהודה
ושומרון
דרום
נגב
ערבה

מאזני מים איזוריים בשלבים שונים בעתיד
עם תוספת בשם מלאכותי בשעורים 15%,5%:
בהנחה שהבשם הנוסף ספולג בזמן
כמו הבשם הבסיסי

המאזנים אינם כוללים את אזור העדבה
הכזריות - מיליוני מ"ק לשנה

שלב	אזור	פוטנציאל שבעי בסיסי	תוספת בשם 5%						תוספת בשם 15%						הערות
			תוספת מבשם מלאכותי	תוספת מסקורות בלתי קונ. ו/או מהמאגר הארצי	פוטנציאל כולל	צריכה	העברה	תוספת מבשם מלאכותי	תוספת מסקורות בלתי קונ. ו/או מהמאגר הארצי	בלתי סנוצל (-)	פוטנציאל כולל	צריכה	העברה		
1970	צפון מזרח	558	31	-	589	275	314	89	-	161	486	275	211		תונח כי התוספות מסקורות בלתי קונב' תבואנה כולן באזור הדרום
	צפון מערב	436	41	-	477	481	310	108	-	-	544	481	274		
	דרום	262	22	22	306	494	122	63	15	-	340	494	120		
	נגב	31	3	-	34	156		5	-	-	36	156			
	סה"כ	1287	97	22	1406	1406		265	15	-161	1406	1406			
1975	צפון מזרח	568	35	-	603	285	318	100	-	-163	505	285	220		
	צפון מערב	495	47	-	542	527	333	123	-	-	618	527	311		
	דרום	276	24	28	328	552	109	69	-	-	345	552	104		
	נגב	48	4	-	52	161		9	-	-	57	161			
	סה"כ	1387	110	28	1525	1525		301		-163	1525	1525			
1975 נגב:60	צפון מזרח	568	35	-	603	285	318	100	-	-77	591	285	306		הצריכה כאן ברמת 1975 פרט לנגב בו הצריכה ברמת 1980
	צפון מערב	495	47	-	542	527	333	123	-	-	618	527	397		
	דרום	276	24	114	414	552	195	69	-	-	345	552	190		
	נגב	48	4	-	52	247		9	-	-	57	247			
	סה"כ	1387	110	114	1611	1611		301		-77	1611	1611			
1980	צפון מזרח	568	35	-	603	295	308	100	-	-	668	295	373		
	צפון מערב	495	47	-	542	574	276	123	-	-	616	574	417		
	דרום	276	24	227	527	608	195	69	36	-	381	608	190		
	נגב	48	4	-	52	247		9	-	-	57	247			
	סה"כ	1387	110	227	1724	1724		301	36	-	1724	1724			
2000	צפון מזרח	568	35	-	603	412	191	100	98	-	766	412	354		תונח כי כל המקורות הבלתי קונב' מטולבים באזורים בהנחת לאמיר העברה מינימלית.
	צפון מערב	495	47	270	812	1003	0	123	257	-	875	1003	226		
	דרום	276	24	512	812	812	0	69	241	-	586	812	0		
	נגב	48	4	324	376	376		9	319	-	376	376			
	סה"כ	1387	110	1106	2603	2603		301	915	-	2603	2603			

הערות: (1) ביחס להעברה הבין אזורית יש להכיא בחשבון כי כושר ההעברה הנוכחי בין האזורים צפון מזרח-צפון מערב, צפון מערב-דרום ודרום נגב הינו כ: 400 מלמ"ק/שנה, 350 מלמ"ק/שנה ו-110 מלמ"ק/שנה.

(2) הפוטנציאל אינו כולל את הנורם "טאיבת יחר מוחרת" (הקייסת ע"מ המקובל בשלבים 1970-1980) מאחר ותוספת הבשם המלאכותי עשויה לכסות נורם זה ולבוא במקומו.

(3) הצריכה כאן כוללת את מרעון הנרעון ההידרולוגי הדרוש בשלבים 1970-1980.

נספח 2

נספח 3

חידוש הניסוי בזריעת עננים

(מתוך המלצות הצוות לבדיקת חידוש הניסוי)

1. הצוות לבדיקת חידוש הניסוי

לישיבת וועדת המטר ב-14.2.69 הובאה ע"י תה"ל ההצעה לחידוש הניסוי בזריעת עננים. הצורך בניסוי נובע ע"פ הצעה זאת ממחסור בנתונים העשויים לאפשר ניצול תוספת הגשם לטובת משק המים הארצי (ראה סעיף 2 להלן) ובעיקר נתונים הנובעים לאגן הכנרת. בישיבה הזאת סוכם להקים צוות שיבדוק את ענין חידוש הניסוי הצוות כלל את: פרופ' י. נוימן - (יו"ר), פרופ' ר. גבריאל, מר א. גאנין ומר א. קלי.

2. הצורך בחידוש הניסוי

קיימים כמה נושאים בקשר לתועלת זריעת העננים שהעדר ידע בהם מונע את הניצול היעיל של תוספת הגשם המלאכותי. נושאים אלה הינם:

א. בעוד שידוע במובהקות רבה כי ישנה תוספת גשם של כ-15%, הרי זאת תוצאה ממוצעת לכל מערב הארץ (לבד מן הדרום) ולא ידוע כמה היא התוספת בכל אזור ואזור.

ב. לא ידוע בוודאות מספקת באיזה ריכוז באה התוספת (בכמה ימים בשנה היא באה). אם התוספת מרוכזת מאד הרי תרומת המים שלה (למאגרים התת-קרקעיים ולנחלים) קטנה. תרומת המים קטנה עוד יותר אם התוספת מכילה גם ימים רבים עם אפקטי השפעה שליליים וימים מעטים עם אפקטים חיוביים.

ג. אין נתונים מספיקים ביחס לתועלת הזריעה באגן הכנרת. חשיבות נתונים אלה נובעת מהבאים:

(1) יבול המים של הכנרת (כ-900 מלמ"ק לשנה עם התאידות מהכנרת) מהווה כמות גדולה (למעלה מחצי)מכלל יבולי המים הארציים. קיים, איפוא, מצב שבו לגבי כמות רבה של התוספת הארצית האפשרית (אולי למעלה ממחציתה של התוספת) - אין ידיעה מספקת ואין אישור למציאותה.

(2) תוספת יבול מים כאן ניתנת לניצול מרוכז ונוח יחסית.

(3) לריכוזיות התוספת (ראה 2 ב') - אין כאן חשיבות רבה.

ד. אין נתונים ביחס ל"גשם הצל" כלומר: לאפקטים במרחקים גדולים יותר ממקום הזריעה עצמו.

ה. מפני חוסר ידע מספיק ביחס לתהליך הפיזיקלי של הזריעה ותוצאותיה - אין אפשרות להגדיר באלו נסיבות, תנאים וזמנים קשורה ומותנת הצלחת הזריעה ואין, על כן, בטחון מלא בדבר מציאותה ופילוגיה בעתיד.

3. <u>מסקנות הצוות</u>

הצוות הגיע בדיוניו למסקנות הבאות:

א. ניתן לבדוק את תוספת הגשם באגן ההיקוות של הכנרת לגבי אותם מחלקי האגן המכוסים ע"י תחנות גשם (החלקים שבידינו ואלה שאינם בידינו אך ניתן לקבל מהם דיווחים מהימנים).

ב. בכדי להסיק על תוספת גשם שתאפיין זריעה ממוצעת באגן הכנרת יש לזרוע את צפון הארץ אקראית ובבת אחת גם ממטוסים (ראה מסלול הטיסה המוצע בשרטוט) וגם מתנורים שימוקמו במקומות מתאימים. מסלול הטיסה המוצע יאפשר קיום שטח בקרה מדרום וממערב לשטח הזרוע - שטח אשר יש מתאם גבוה בין גשמי האגן וגשמיו.

ג. לפי נתונים שסיפק פרופ' ר. גבריאל - אם רוצים להשיג מובהקות 5% ולקיים סכוי של 75% לגלוי השפעת הזריעה במקרה שהיא קיימת ("עצמת מבחן" 75%) - הרי יהיה משך הניסוי כלהלן:

תוספת הגשם	15%	30%
מקדם המתאם לשטח הבקרה: 0.8	13.1 שנים	3.3 שנים
" " " " 0.9	6.9 שנים	1.7 שנים

הקטנת "עצמת המבחן" ל-50% מקסינה לכחצי את משך הניסוי. כ"כ נמסר ע"י פרופ' גבריאל, כי המתאם המצופה עם אזורי הבקרה (בישראל ובדרום הלבנון) עשוי להיות קרוב ל:0.9.

ד. לא נראית אפשרות לענות ישירות על השאלה באילו ובכמה ימים הושגו תוספות הגשם, אך תשובה חלקית לשאלה זאת ניתן לקבל מהבאים:

(1) ניתן לבדוק סטטיסטית את עמידותה של ההנחה שהתוספת מרוכזת כולה במספר מסויים של ימים.

(2) ינתן אולי להגיע לתשובה חלקית ע"י זיהוי פרמטרים המשפיעים על הצלחת הזריעה.

ה. לימוד נוסף של הפיזיקה של התהליך, יוכל אולי להביא לייעול הזריעה וגם לידיעה מתי הזריעה משפיעה. אחת המגרעות של הניסוי הקודם היתה שלא הופנו די אמצעים לחקר התהליכים הפיזיקאליים והדבר מונע אפשרות להסביר את המשמעות הפיזיקלית של הממצאים הסטטיסטיים.

ו. ניתן לבדוק את מציאות "גשם הצל" במידה וימצאו נתונים מספיקים בתחנות במורד הרוח.

ז. יתכן ע"י הניסוי החדש להגדיל את מובהקות הממצאים הישנים ביחס לאזורים בודדים ובפרט את הניסוי החדש יהווה לגביהם המשך הניסוי הישן.

[illegible]

[illegible]

(b) [illegible]

[illegible]

[illegible]

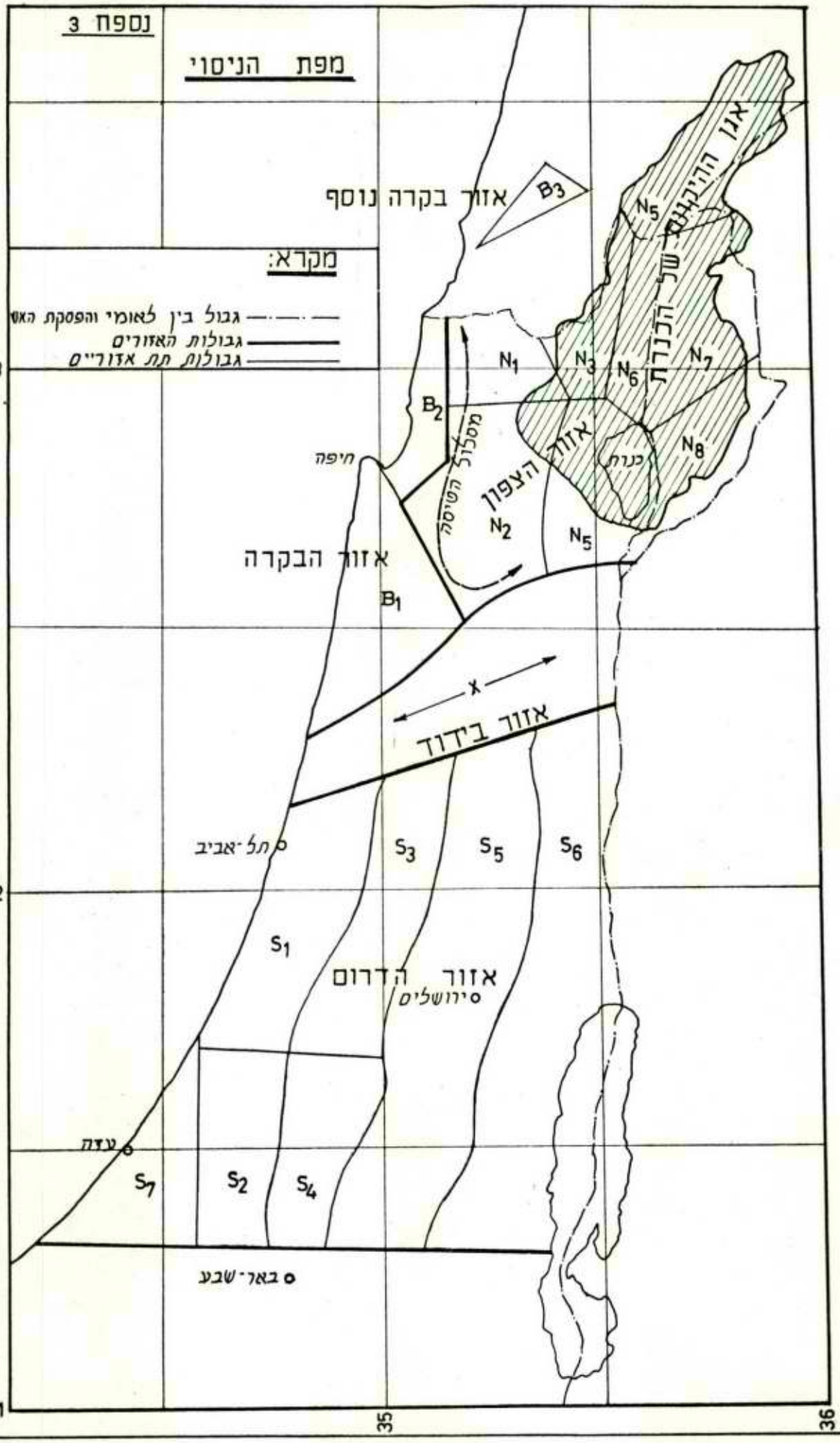
[illegible]

[illegible]

[illegible]

נספח 3

מפת הניסוי



7. הערכת פעולות הגברת המטר בצפון הארץ

7.

עבודה זו נכתבה על ידי פ. דלינסקי מהיחידה לתכנון
לטווח ארוך. המחבר נעזר על ידי הפרופסור ד. אשבל
מהאוניברסיטה העברית ועל ידי מר נ. רוזנן מהשרות המטאורולוגי.

ת ו כ ן

עמוד

רשימת לוחות

שרטוטים

נספחים

הערכת פעולות הגברת המטר בצפון הארץ

(בחינת השפעת זריעת העננים בשנים 1961-67 ע"פי
השוואת אזור מטרה לאזור בקרה)

א. השימוש בנתונים מטאורולוגיים היסטוריים בהערכת הפעולות להגברת הגשם

1. ההשתנות "הטבעית" (ללא כל התערבות של זריעת עננים) של כמות הגשם בפרקי זמן קצרים סמוכים היא אחד המכשולים הרציניים ביותר להערכה סטטיסטית של המאמצים להגברת הגשם - בין שצורתם היא נסיונית בין אופרטיבית מלאה. דבר זה ניתן להדגים (1) ע"י ערכי כמות הגשם השנתית הממוצעת (במ"מ), סטיית התקן (במ"מ) ומקדם ההשתנות (באחוזים) עבור ירושלים, שלגבי התקופה 1960 - 1931 היו 487, 165 ו-33.9 בהתאם. הניסוי הישראלי להגברת כמות הגשם שנמשך שש וחצי שנים, השתמש בשיטת הסירוגיות (2) שאומצה מניסויים שנערכו באוסטרליה. שיטת הסרוגיות אפשרה להתעלם במידה רבה מההשתנות הטבעית. ממצאי ניסוי זה (הממוצע הגיאומטרי הבלתי משוקלל של שני אזורי המטרה) הצביעו על הגברת הגשם ב-15 אחוז עקב פעולות הזריעה.

הניסוי הנ"ל בהגברת הגשם לא כלל את מרביתו של אגן הניקוז של אגם הכנרת משום שאחוז גבוה של האזור התורם נמצא בשנים 1961 עד 1967 מחוץ לגבולותיה של ישראל. במשך תקופת הניסוי הוחלט לזרוע עננים בצורה אופרטיבית ביודיד-כסף תוך שימוש בתנורי קרקע (ראה שרטוט 1) במטרה להגדיל את יבול המים של הכנרת ולמעשה, זריעת עננים באזור צפוני קיצוני זה של המדינה נמשכת כבר מאז תחילת 1961.

2. אחת הבעיות החשובות והדוחקות ביחס לזריעת עננים בישראל היא מידת ההשפעה של הגברת הגשם על הזרימות לכנרת. אגם הכנרת הוא המאגר הראשי של מערכת המים הארצית והזרימה הממוצעת הרב-שנתית בו מהווה כ-40 אחוז מפוטנציאל המים הכולל של ישראל - ולפיכך נראה כדרוש נסיון לאמוד השפעה זאת על יסוד החומר הקיים בנידון עוד לפני גמר הניסוי המיוחד הנערך כעת בנושא זה.*

3. בישראל קיימת אינפורמציה מטאורולוגית רבה יחסית המתייחסת לכמויות הגשם השנתיות. נתונים אלו ניתן למצוא בפרסומים שונים של השירות המטאורולוגי הישראלי וכן בלקט נתונים המתייחסים ל-117 שנים (1845-1962) שהוצא ע"י פרופ' ד. אשבל (3) (השנה המטאורולוגית נמשכת מה-1 באוגוסט עד ה-31 ביולי).

---

* ראה נספח 3 בתזכיר "הגשם המלאכותי ומשמעותו לגבי משק המים הארצי" בקובץ זה.

הערכת פעולות הגברת המטר בצפון הארץ

(בחינת השפעת זריעת העננים בשנים 1961-67 ע"פי
השוואת אזור מטרה לאזור בקרה)

א. השימוש בנתונים מטאורולוגיים היסטוריים בהערכת הפעולות להגברת הגשם

1. ההשתנות "הטבעית" (ללא כל התערבות של זריעת עננים) של כמות הגשם בפרקי זמן קצרים סמוכים היא אחד המכשולים הרציניים ביותר להערכה סטטיסטית של המאמצים להגברת הגשם - בין שצורתם היא נסיונית בין אופרטיבית מלאה. דבר זה ניתן להדגים (1) ע"י ערכי כמות הגשם השנתית הממוצעת (במ"מ), סטיית התקן (במ"מ) ומקדם ההשתנות (באחוזים) עבור ירושלים, שלגבי התקופה 1960 - 1931 היו 487, 165 ו-33.9 בהתאם. הניסוי הישראלי להגברת כמות הגשם שנמשך שש וחצי שנים, השתמש בשיטת הסירוגיות (2) שאומצה מניסויים שנערכו באוסטרליה. שיטת הסרוגיות אפשרה להתעלם במידה רבה מההשתנות הטבעית. ממצאי ניסוי זה (הממוצע הגיאומטרי הבלתי משוקלל של שני אזורי המטרה) הצביעו על הגברת הגשם ב-15 אחוז עקב פעולות הזריעה.

הניסוי הנ"ל בהגברת הגשם לא כלל את מרביתו של אגן הניקוז של אגם הכנרת משום שאחוז גבוה של האזור התורם נמצא בשנים 1961 עד 1967 מחוץ לגבולותיה של ישראל. במשך תקופת הניסוי הוחלט לזרוע עננים בצורה אופרטיבית ביודיד-כסף תוך שימוש בתנורי קרקע (ראה שרטוט 1) במטרה להגדיל את יבול המים של הכנרת ולמעשה, זריעת עננים באזור צפוני קיצוני זה של המדינה נמשכת כבר מאז תחילת 1961.

2. אחת הבעיות החשובות והדוחקות ביחס לזריעת עננים בישראל היא מידת ההשפעה של הגברת הגשם על הזרימות לכנרת. אגם הכנרת הוא המאגר הראשי של מערכת המים הארצית והזרימה הממוצעת הרב-שנתית בו מהווה כ-40 אחוז מפוטנציאל המים הכולל של ישראל - ולפיכך נראה כדרוש נסיון לאמוד השפעה זאת על יסוד החומר הקיים בנידון עוד לפני גמר הניסוי המיוחד הנערך כעת בנושא זה.*

3. בישראל קיימת אינפורמציה מטאורולוגית רבה יחסית המתייחסת לכמויות הגשם השנתיות. נתונים אלו ניתן למצוא בפרסומים שונים של השירות המטאורולוגי הישראלי וכן בלקט נתונים המתייחסים ל-117 שנים (1845-1962) שהוצא ע"י פרופ' ד. אשבל (3) (השנה המטאורולוגית נמשכת מה-1 באוגוסט עד ה-31 ביולי).

---

* ראה נספח 3 בתזכיר "הגשם המלאכותי ומשמעותו לגבי משק המים הארצי" בקובץ זה.

[illegible]

(חלק ראשון: מבוא לדיון בתקציב המדינה
תש"ן 1987-87 בהנחה שלא יבוצע שום שינוי
מהותי בחוק יסודות התקציב)

א. מגמות בהוצאות הממשלה בתקציב המדינה לפי מבנה ענפי

1. הוצאות "הפעלה" (כלומר, לא כולל הוצאות פיתוח) מן הסוג הנוכחי נוטות לגדול לפי קצב גדול יותר מן הצורך בהגדלת הכנסות המדינה כדי לאפשר לה לכסות את הוצאותיה. – לדוגמה, בין שנת 1971 ל-1981 גדלו הוצאות הממשלה (כולל הוצאות הביטחון) בכ-[illegible] אחוז, בעוד שהכנסות המדינה (בתקציב) גדלו רק בכ-[illegible] אחוז, בלבד. בשנים 1971 – 1980 היה הגירעון בין 3.5 ל-8.5 אחוז. בעקבות הגדלת הגירעון בשנה אחת עלו מחירי הדולר פי [illegible] (מ-[illegible] ל-[illegible] אגורות). בגלל הגדלת הגירעון בשנה אחת נגרם גידול בהוצאות הריבית.

מדיניות מתמדת בתקציב המדינה לא הגיע אל מדיניות של אין הגדלה בהוצאות הממשלה בשנה אחת בלבד. בשנת 1987 גדלו הוצאות הממשלה בכ-[illegible] אחוז בלבד, לעומת הגדלת הכנסות המדינה בכ-[illegible] אחוז. בשנת 1988 הוגדלו הוצאות הממשלה בכ-[illegible] אחוז בלבד, לעומת הגדלת הכנסות המדינה בכ-[illegible] אחוז. בשנת 1989 הוגדלו הוצאות הממשלה בכ-[illegible] אחוז בלבד, לעומת הגדלת הכנסות המדינה בכ-[illegible] אחוז. בשנת 1990 הוגדלו הוצאות הממשלה בכ-[illegible] אחוז בלבד, לעומת הגדלת הכנסות המדינה בכ-[illegible] אחוז.

2. אם נבדוק מגמות אחרות בתקציב המדינה נראה, לדוגמה, שבמשך שנים רבות הוגדלו הוצאות המדינה לפי קצב גדול יותר מן הצורך בהגדלת הכנסות. אם נסכם את הנתונים נגלה שהגירעון הממשלתי הגיע לכדי 8.5 אחוז בשנת 1980 ו-[illegible] אחוז בשנת 1981. – הגירעון הגדל גרם לגידול בחוב הפנימי ובחוב החיצוני. [illegible]

3. בשנים אלה הגיעו הוצאות הביטחון לכדי [illegible] מהוצאות המדינה. [illegible] בשנת 1982 הגיעו הוצאות הביטחון ל-[illegible] אחוז (1982-1985) [illegible] ל-[illegible] אחוז (3) [illegible] בשנת 1987 [illegible] ל-[illegible] אחוז).

---

* [illegible]

4. על ידי שימוש בנתונים מטאורולוגיים והידרולוגיים היסטוריים ועל-ידי שימוש במשוואות תסובה (רגרסיה) המושגות בשיטת הריבועים המזערית ניתן לקבל מיתאמים בין תופעות מטאורולוגיות והידרולוגיות שונות כפי שיוצג להלן ולהשתמש בכך לאומדן השפעת זריעת העננים באזור הכנרת.
ההשתנות הטבעית של הגשם ניתנת להקטנה באופן ממשי ע"י שימוש בערכים ממוצעים של כמויות הגשם וזרימות לכנרת עבור תקופות של שנים רצופות.

מטרות האמצעי המוצע הן אומדן ההשפעות האפשריות של הגברת הגשם על הזרימות לכנרת וכן אומדן הגברת הגשם עצמו באזור הנידון.

ב. <u>הערכת פעולות זריעת עננים באגן הניקוז של הכנרת</u>

1. פעולות הזריעה נעשו החל מהמחצית השנייה של עונת הגשמים 1961/62 בעזרת שישה תנורים הממוקמים במסולה, משגב-עם, מרגליות, מנרה, יפתח ומלכיה (4). תנורי יודיד-הכסף הופעלו בכל עת שהתנאים המטאורולוגיים נראו נוחים מבחינת הסיכויים לגשם. עצם ההחלטה לגבי הזריעה נתקבלה בהתייעצות עם מר ש. רוזנר, מטאורולוג הפרוייקט להגברת הגשם מטעם "שירותים חשמליים מכניים"(שח"מ).

2. כפי שאפשר להבחין בשרטוט 1, מיקום התנורים על הקרקע אינו מבטיח כיסוי מלא של אגן הניקוז הצפוני של הכנרת. עובדה זו יש לקחת בחשבון בעת הערכת היעילות של המאמצים להגברת הגשם באיזור האמור.

3. אחת הבחינות הבעייתיות של זריעת עננים היא הקושי שבחישוב כיצד כמות הגשם המוגדלת משפיעה על כמות המים הזמינים. ביחס לאגם הכנרת, נפתרת שאלה זו במידה רבה מאליה ע"י מדידת יבולי המים של הכנרת.

4. הודות לגורמים אקלימיים וגיאוגרפיים היה האזור הצפון-מערבי הקיצוני של ישראל - לפי דעתו של מר רוזנר - במידה רבה בלתי מושפע מפעולות הזריעה. שתי תחנות מטאורולוגיות מצויות באזור זה: ראש הנקרה ונהריה (ראה שרטוט 2).

5. נתוני כמות הגשמים השנתית של שתי תחנות אלה צורפו לנתונים הקיימים של האוניברסיטה האמריקאית בביירות, ונוצר אזור ביקורת המתמשך 100 ק"מ בקירוב לאורך חוף הים התיכון.

6. רישום מהימן של כניסות חודשיות ושנתיות לכנרת קיים עבור התקופה אוקטובר 1949 עד יוני 1968 (5). נקבעו מיתאמים קוויים בשביל זרימות חורפיות לאגם לעומת הכמות השנתית הממוצעת של משקעים, כפי שנרשמה במספר תחנות בקרה מייצגות. לוח 1 דלהלן מציג חלק של האינפורמציה הנוגעת למיתאמים אלה.

לוח 1: משוואות תסוגה קורית, כניסות לאגם הכנרת לעומת כמות המשקעים השנתית

משתנה בלתי תלוי X_1, X_2	משתנה תלוי Y	תקופת המיתאם	$\bar{X}$	$\bar{Y}$	מקדם מיתאם r	טעות תקן של האומדן	משוואת תסוגה קורית
גשם ממוצע: ראש הנקרה ונהריה - מ"מ לשנה	כניסה חורפית מלמ"ק לעונה	1949/50-1960/61	555	534	0.705	140	$Y = 0.278+0.962\ X$
גשם: ביירות - מ"מ לשנה	כניסה חורפית מלמ"ק לעונה	1949/50-1960/61	817	534	0.765	127	$Y = -195+0.893\ X$
גשם: ביירות (X_1) וממוצע ראש הנקרה (X_2) ונהריה - מ"מ לשנה	כניסה חורפית מלמ"ק לעונה	1949/50-1960/61	$817(X_1)$ $555(X_2)$	534	0.787	128	$Y = -203+0.633\ X_1 +0.397\ X_2$
גשם: ראש הנקרה (X_1) וביירות (X_2) - מ"מ לשנה	כניסה חורפית מלמ"ק לעונה	1949/50-1960/61	$542(X_1)$ $817(X_2)$	534	0.773	132	$Y = -218+0.202\ X_1 +0.786\ X_2$

7. כפי שניתן להבחין, משתנים ערכי מקדמי המיתאם בתוך תחום צר למדי והם משקפים את ההשפעה המכרעת של התנאים הסינופטיים החורפייב על התופעות המטאורולוגיות וההידרולוגיות העומדות לדיון. בתור המשתנה התלוי נבחרה הכניסה החורפית, המקיפה את החודשים נובמבר עד אפריל ועד בכלל במקום הכניסה השנתית; זאת בגלל העובדה שזרימות קיציות לתוך הכנרת מושפעות מצריכתם של צרכני הצפון המטים אחוז משתנה מסויים ובלתי ידוע של המים לפני שאלה זורמים לכנרת. הצריכה החורפית היא בדרך כלל קטנה ביחס לכניסה; לכן ניתן להמעיט את ערכו של מקור טעויות אפשרי זה.

8. כפי שהוזכר כבר לעיל, חלפו מאז 1961/62 שמונה שנות זריעת עננים מבצעית. מתוך תקופה זו של שמונה שנים ידועים רק שישה ערכי משקעים שנתיים עבור ביירות, בעוד עבור שתי התחנות הישראליות מצוי רישום מלא לגבי שמונה השנים.

9. לוח 2 דלהלן מציג כניסות חורפיות ממוצעות חזויות ומדודות לכנרת. הכניסות החזויות מחושבות על בסיס משוואות מיתאם שנקבעו לגבי התקופה 1949/50-1960/61. הלוח מראה שלא ניתן להבחין בהשפעה ממשית של זריעת עננים על הכניסות החורפיות בתקופה הנדונה.

לוח 2: כניסות חורפיות ממוצעות חזויות ומצויות לכנרת

משתנה בלתי תלוי גשם שנתי מ"מ לשנה	מספר שנים המובאות בחשבון	התקופה	כניסות חורפיות חזויות ממוצעות לכנרת מלמ"ק	כניסות חורפיות ממוצעות מדודות לכנרת מלמ"ק	ההפרש הממוצע של המדוד ביחס לערך החזוי %
ממוצע ראש הנקרה ונהריה	6	1961/62-1966/67	589	569	-3.5
ביירות	6	1961/62-1966/67	630	569	-10.7
ביירות (X_1)	6	1961/62-1966/67	624	569	-9.7
וממוצע ראש הנקרה	7	1961/62-1967/68	617	591	-4.4
ונהריה (X_2)	8*	1961/62-1968/69	685	677	-1.2
ראש הנקרה (X_1)	6	1961/62-1966/67	627	569	-10.2
וביירות (X_2)	7	1961/62-1967/68	591	591	-5.4
	8*	1961/62-1968/69	689	677	-1.8
ממוצע ראש הנקרה	7	1961/62-1967/68	574	591	+3.0
ונהריה	8*	1961/62-1968/69	639	677	+5.9

* בגלל אופיה הבלתי רגיל של השנה המטראולוגית 1968/69 הופסקו פעולות הזריעה בינואר 1969

10. גבולות סמך ביחס לכניסה חורפית מסויימת, המבוססת על משקעים בתחנות מתואמות, תלויים במספר הערכים הכלולים במשוואת התסובה הקווית המקורית ($\bar{x}$), בהשתנות המשתנה הבלתי תלוי S_x^2 ובשעות התקן של האומדן $S_{y.x}$. מכל מקום, אם אנו עוסקים בממוצעים של תקופה ארוכה במקום בערכים שנתיים של כניסות חורפיות, סטיית התקן ושעות התקן של האומדן* מוקטנות בהתאם לשורש של מספר השנים הכלולות בתקופה הארוכה. אם אנחנו מתייחסים, למשל, למשוואת התסובה של כניסות חורפיות לתוך הכנרת לעומת המשקעים בראש הנקרה ובביירות (ראה לוח 1) אפשר לצפות להקטנת שעות התקן של האומדן מ-132 ל-60 מלמ"ק לשנה בקירוב, כאשר מדובר בתקופה של חמש שנים. על בסיס חישוב של 10 שנים תגיע שעות התקן של האומדן ל-42 מלמ"ק בקירוב. אם מניחים שהכניסה החורפית הממוצעת לתקופה 1960/61 - 1949/50 מייצגת את הממוצע לתקופה ממושכת, הרי ברמות המובהקות 0.05 ו-0.15 אפשר יהיה לקבוע בקירוב את העלייה בכניסה החורפית הנובעת מזריעת עננים, כפי שמוצג להלן בלוח 3. יש לציין שעוצמת המבחן היא 0.50, כלומר אם למעשה הגברת הגשמים ע"י זריעת העננים היא בכמויות המוצגות למטה, הסתברות גילוי העלייה הנ"ל היא 0.50.

לוח 3: אחוז הגידול הניתן לקביעה בכניסה חורפית לכנרת לעומת מספר שנות זריעה ברמות מובהקות 0.15 ו-0.05

מספר השנים בהן ייעשו פעולות הזריעה	שעות התקן של האומדן מלמ"ק	אחוז הגידול בזרימה חורפית ברמת מובהקות 0.05	אחוז הגידול בזרימה חורפית ברמת מובהקות 0.15
5	60	18	16
10	42	13	11
15	34	10	9

11. המאמצים להגדיל את כמות המשקעים באגן הניקוז של הכנרת יוגברו במידה ניכרת החל מחורף 1969/70. כפי שמוצג בלוח 3, אפשר להבחין בפרק זמן של חמש שנים בקירוב בעלייה בכניסות בסדר גודל של 18 אחוז וברמת מובהקות גבוהה יחסית. עלייה בסדר גודל זה אינה בלתי סבירה, כפי שהוכיח הניסוי הישראלי. מבחינה הידרולוגית, רצועת החוף הנתחמת על-ידי חיפה בדרום וראש הנקרה בצפון חורמת אך במעט לרזרבת המים של ישראל ויכולה לשמש כאיזור בקרה לשווה ארוך - היות ואפשר לוותר על זריעתה.

---

* שעות התקן של האומדן היא שעות התקן "המתוקנת" $\hat{S}_{y.x} = \sqrt{\frac{N}{N-2}} \cdot S_{y.x}$

12. כפי שיצויין להלן, הצביעו נתוני התחנות הסמוכות לאגם על עלייה ברורה במשקעים במשך תקופת הניסוי. תחנות אלו הן במיתאם גבוה עם הזרימות לאגם, בסדר גודל של 0.9 או יותר - מיתאם שנקבע לפני ביצוע הזריעה בקנה מידה רחב. מאידך, לא ניכרת כל עלייה משמעותית בזרימות לאגם במשך אותה תקופת הניסוי, וכל נסיון להערכת הזרימות ע"י שימוש בנתוני משקעים של איזור המטרה היה מוביל למסקנות בלתי נכונות. לכן נראה כי הדרך היעילה ביותר להערכת פעולות הזריעה באגן הכנרת היא בקביעת הזרימות לאגם כמשתנה הבלתי תלוי, כמובן הנחה יסודית לניתוח המוצע היא שהמיתאם ההיסטורי בין משקעי אזור הבקרה ובין יבולי המים של הכנרת - ישאר בעינו גם בתקופת הניסוי.*

ג. <u>הערכת הניסוי הישראלי בזריעת עננים</u>

1. הניסוי הישראלי הראה, כי לגבי תקופת הניסוי 1966/67 - 1961/62 העלייה הגדולה ביותר במשקעים, עלייה של 22 אחוז, נרשמה בגזרות הפנימיות של אזורי הזריעה. לפי (4) "קרוב לוודאי שניתן לייחס עלייה זו לנתיבי הסיסה בעת הזריעה עצמה, שלא כיסו באופן אפקטיבי את איזור החוף או את הרצועה המזרחית של המדינה".

2. בתוך הגזרה הפנימית נבחרו עשר תחנות מטאורולוגיות (ראה נספח א') שבכל אחת מהן קיים רישום נתוני גשם שנתי מאז 1939/40. עשר תחנות אלו היו מתואמות עם ממוצע הגשם השנתי של ראש הנקרה וביירות מחד ועם ממוצע הגשם השנתי של ראש הנקרה ונהריה מאידך. משוואות מיתאם נקבעו בין כמות הגשם השנתית הממוצעת של עשר תחנות המטרה ובין כמות הגשם השנתית הממוצעת של תחנות הבקרה. חלק מהאינפורמציה הנוגעת לעניין מוצג להלן בלוח 4.

<u>לוח 4: משוואות תסובה קווית - כמות הגשם השנתית הממוצעת בגזרה הפנימית, איזור הצפון, לעומת כמות הגשם השנתית הממוצעת באיזור הבקרה</u>

משתנה בלתי תלוי (X) משקעים מ"מ לשנה	משתנה תלוי (Y) משקעים בגזרה הפנימית מ"מ לשנה	תקופת המיתאם	$\bar{X}$	$\bar{Y}$	מקדם המיתאם r	שעות התקן של האומדן	משוואת התסובה הקווית
ממוצע ביירות וראש הנקרה	ממוצע 10 תחנות	1939/40-1959/60	739	588	0.813	87.1	Y=24.4+0.76X
ממוצע ראש הנקרה ונהריה	ממוצע 10 תחנות	1939/40-1959/60	596	588	0.788	92.1	Y=115.5+0.79 X

* הניסוי שנערך כעת למעשה באגן הכנרת מאפשר להשתמש בשיטה זאת רק לגבי מחצית עצמת הזריעה (שכן הזריעה נערכת באזור זה לסרוגין, בכמחצית מספר הימים). שיטת הניסוי כפי שננקטה (ראה נספח 3 בתזכיר "הגשם המלאכותי ומשמעותו למשק המים הארצי" שבקובץ זה) איננה חייבת להניח יציבות המיתאם ההיסטורי בין גשמי אזור הבקרה ליבולי המים של אזור המטרה.

3. לוח 5 מציג את כמות הגשם השנתית הממוצעת החזויה ואת כמות הגשם שירדה בפועל בעשר התחנות המהוות יחד את איזור המטרה בגזרה הפנימית של איזור הצפון. תקופת שש השנים הנסקרת בלוח זה, (1961/62 - 1966/67) חופפת את התקופה בה נערך הניסוי, להוציא את המחצית הראשונה של שנת 1961. בשנת 1967/68 הנזכרת בנפרד נעשתה הזריעה על בסיס מבצעי מלא. ההשפעה השלילית לבאורה של הזריעה אינה עומדת בסתירה לתיאוריית המיתאם.

לוח 5: כמות הגשם השנתית הממוצעת החזויה והמצויה בעשר תחנות מטרה בגזרה פנימית, איזור הצפון

מטחנים בלחי תלויים משקעים מ"מ לשנה	התקופה הנסקרת	כמות הגשמים הממוצעת החזויה מ"מ לשנה	כמות הגשמים הממוצעת המדודה מ"מ לשנה	אחוז ההפרש ביחס לערכים חזויים
ממוצע ביירות	1961/62-1966/67	600	671	+ 11.8
וראש הנקרה	1967/68	563	504	- 12.8
ממוצע ראש הנקרה	1961/62-1966/67	605	671	+ 10.9
ונהריה	1967/68	512	504	- 1.6

4. היות והזריעה בוצעה במשך תקופת הניסוי 1961/62 - 1966/67 על בסיס הסירוגיות, מייצג אחוז ההפרש ביחס לערכים החזויים כמחצית מהשפעתה הכוללת של הזריעה, אילו בוצעה בקנה מידה מבצעי.

על בסיס תקופת שש שנים, כשראש הנקרה וביירות משמשות כתחנות בקרה, אחוז הגידול הכולל במשקעים ביחס לממוצע החזוי לשש שנים הוא כ-23 אחוז ברמת מובהקות שמעל ל-0.05.

ד. הערכת פעולות הזריעה הנוכחיות

1. טעות התקן של האומדן בנוגע למשקעים המותאמים למשקעים (ראה לוחות 1 ו-4) היא קטנה מזו שחושבה לגבי הזרימות החורפיות לכנרת כאשר הן מותאמות למשקעים. קל יותר לוודא השפעות של זריעת עננים - ברמת מובהקות מסויימת - על משקעים מאשר על זרימות.

אם למשל טעות התקן של האומדן בהשוואת התסוגה - בביירות וראש הנקרה לעומת עשר תחנות בגזרה הפנימית - היא 87.1 מ"מ לשנה, הרי ברמת המובהקות של 0.05 ניתן לקבוע שינוי ממוצע של חמישה אחוזים במשך תקופה של עשר שנים.

2. הערכת פעולות זריעת עננים באגן הניקוז של הכנרת היא בעלת עניין מיוחד. נקבעו מיתאמים עבור זרימות שנתיות וחורפיות לאגם לעומת כמות המשקעים השנתית הממוצעת ב-15 תחנות. נוסף לכך, נקבעו מיתאמים בין המשקעים באותן 15 התחנות ובין המשקעים בתחנות בקרה הממוקמות לאורך רצועת החוף הצפונית. סיכום מיתאמים אלו מוצג בנספח א'.

3. בלוח 6 דלהלן נמצא - ברמת מובהקות 0.05 - מספר השנים הדרוש כדי לוודא הפרש של עשרה אחוז במשקעים הממוצעים ב-15 תחנות איזור המטרה או הפרש ממוצע של עשרה אחוז בזרימה החורפית לכנרת.

לוח 6: מספר השנים הדרוש ברמת מובהקות של 0.05 כדי לוודא הפרש ממוצע של עשרה אחוז ומכמות הגשם השנתית או בכניסה חורפית לכנרת

משתנה תלוי גשם ממוצע - מ"מ לשנה	משתנה בלתי תלוי גשם ממוצע - מ"מ לשנה	מספר השנים הנדרשות כדי לוודא ברמה של 0.05 הפרש ממוצע של עשרה אחוז
15 תחנות	3 תחנות ישראליות לאורך החוף הצפוני	6
15 תחנות	3 תחנות ישראליות בתוספת ביירות	4
כניסה חורפית לתוך הכנרת - מלמ"ק לעונה	3 תחנות ישראליות בתוספת ביירות	11

ה. איכות היסטורי לשימוש בניתוח התסוגה לזקיפות ארוכות

1. כמוצג בפרק ג', נתקבלו אגב השימוש בניתוח תסוגה ממצאים דומים מאוד לאלה שנתקבלו לפי שיטת הניתוח הלא-פרמטרי. מעובדה זו ניתן להסיק, שלפחות לגבי תקופת שש השנים 1961/62 - 1966/67 לא סטה המשטר האקלימי החורפי במידה ניכרת מתקופת המיתאם 1939/40 - 1959/60.

2. יכולה להיות הצדקה להקצאת איזור בקרה קבוע ללא אקראיות, אם ניתן להראות שההשתנות הבין-אזורית (מטרה לעומת בקרה) היא בסדר גודל כזה, שלא תבטל שינויים ספציפיים מסויימים במשקעים שאפשר לייחסם לזריעת עננים. נראה שהערך המינימלי בעלייה בכמות הגשמים שניתן ליחסו לזריעה הוא בסדר גודל של 15+ אחוז.

3. כדי לאמת את השימוש האפשרי בניתוח לפי תסובה באיזור חיפה - ביירות ובאיזור אגן הכנרת, נעשה ניתוח היסטורי בו נקבע מיתאם בין שלוש תחנות בקרה לאורך חוף הים התיכון - חיפה, עכו וביירות - לבין חמש תחנות בפנים הארץ. בניתוח זה נעשה שימוש בנתוני משקעים משנת 1925 ואילך. על בסיס משוואות תסוגה לתקופה ארוכה נעשו תחזיות כמות הגשם באיזור המטרה - והושוו לכמות הגשם השנתית הממוצעת שהייתה נמדדת לו הייתה פעולת הזריעה אפקטיבית ב-15 אחוז. בכל המקרים הייתה רמת המובהקות של העלייה הממוצעת בכמות הגשמים 0.03 לפחות - ראה הצגת הנתונים המפורטת בנספח ב'.

ביבליוגרפיה

1. Israel Meteorological Service, 1967. Climatological Standard Normals of Rainfall, 1931-1960: p. III-4. Meteorological Notes No. 21

2. Gabriel, K.R., 1965. The Israeli Artificial Rainfall Stimulation Experiment, Statistical Evaluation for the Period 1961-1965, Hebrew University, Jerusalem

3. ד. אטבל: מאה ושבע-עטרה שנה של מדידות גשמים (1845-1962), האוניברסיטה העברית, ירושלים

4. Electrical and Mechanical Services. Rain Stimulation Experiment in Israel. Report on Operations (1961-1967), Holon

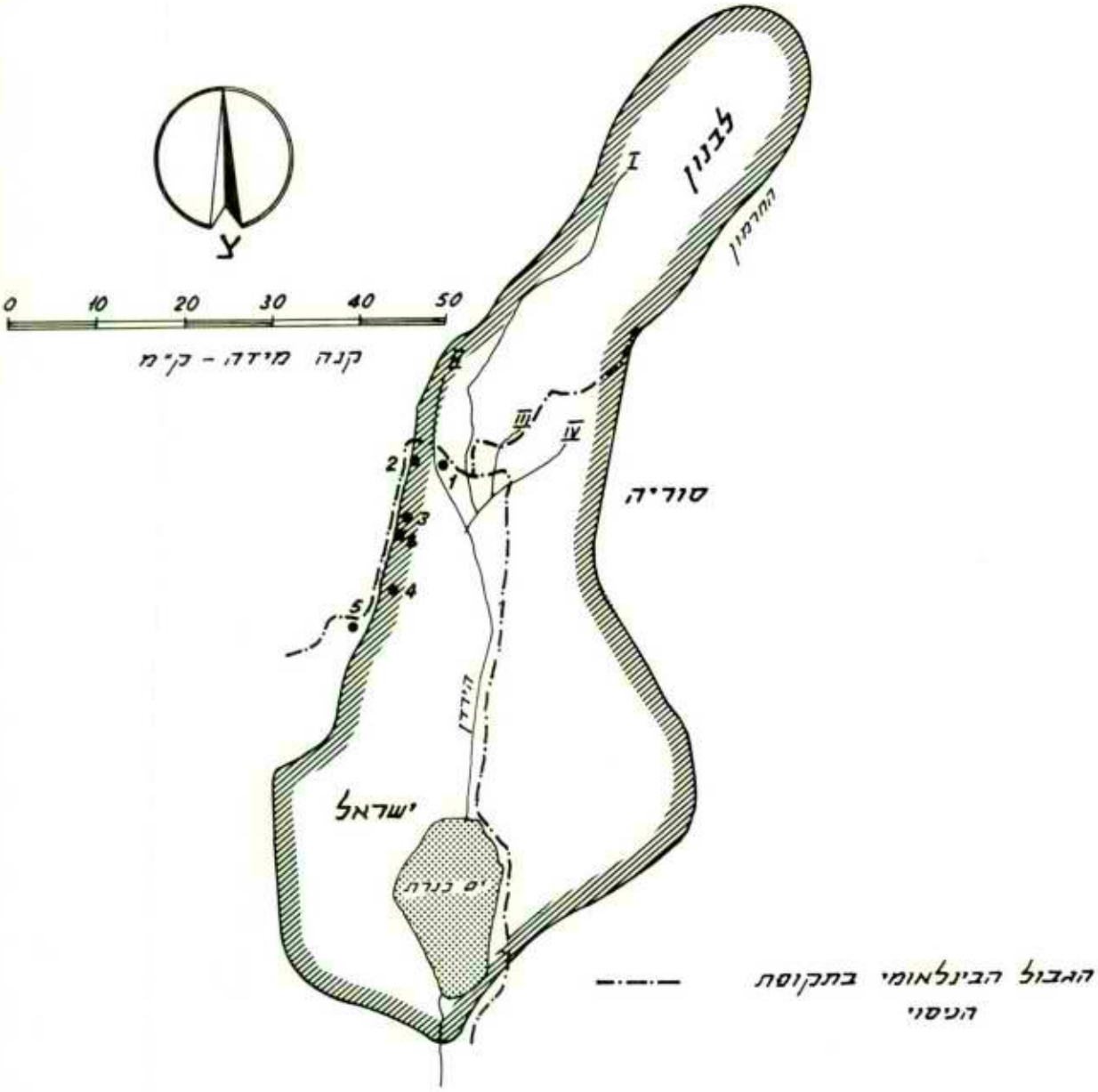
5. המחלקה להידרולוגיה, תה"ל: מאזן מים יומי של הכנרת 1949-1968, תל-אביב, 1968

6. Israel Meteorological Service. Meteorology in Israel, D. Albashan. Changes in Average Rainfall. Vol. 2, Feb. 1965

7. Neyman, J. and Scott, E.L., 1967. Rationale of Statistical Design of a Rain Stimulation Experiment. Statistical Laboratory, University of California, Berkeley

8. "הגשם המלאכותי ומשמעותו לגבי משק המים הארצי", תה"ל, היחידה לתכנון לשורות ארוך פברואר 1970.

אגן הניקוז של הכנרת



יובלי הירדן

I נחל חצבני

II נחל שיון

III נחל דן

IV נחל בניאס

מיקום התנורים

1 מטולה

2 משגב עם

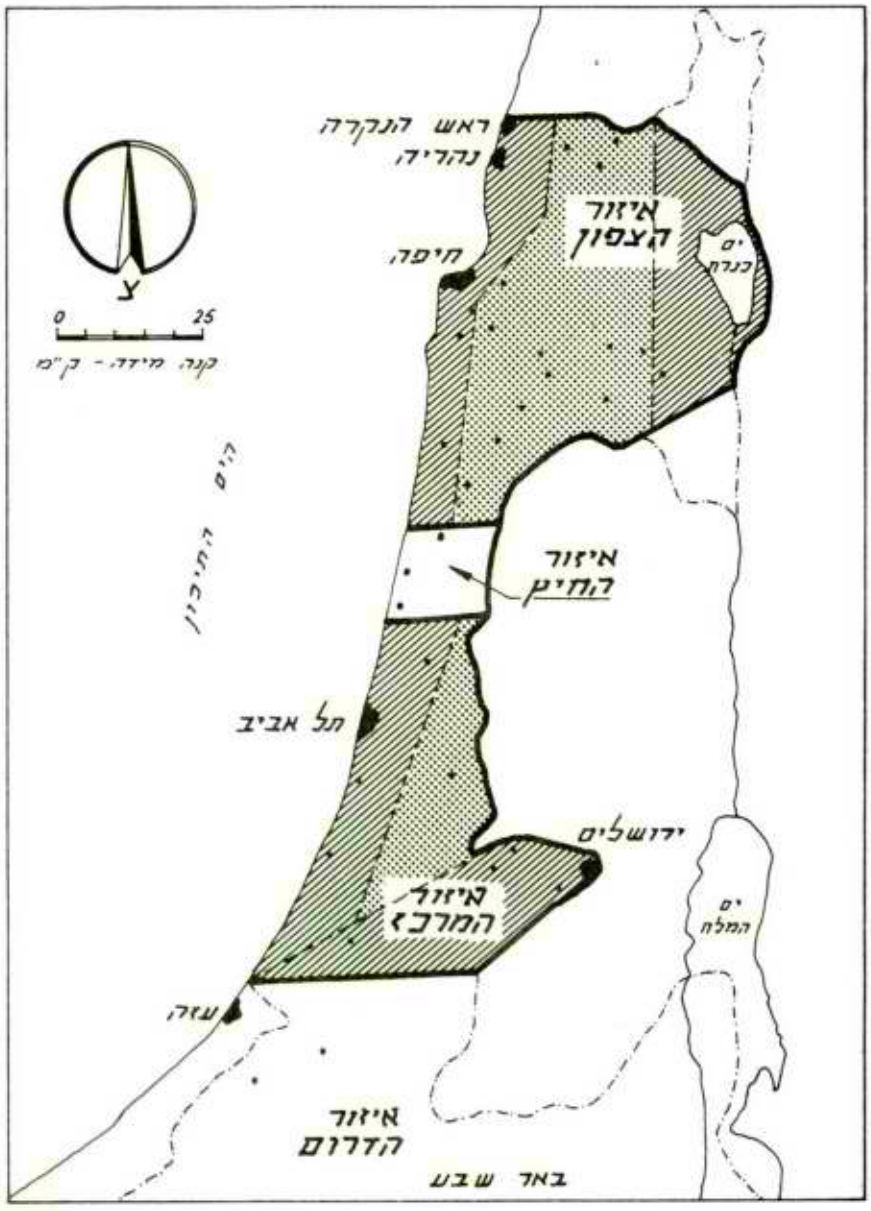
3 מרגליות

4 יפתח

5 מלכיה

6 מנרה

מפת שטחי הניסוי הישראלי
להגברת הגשם בשנים 1961 - 1966/67

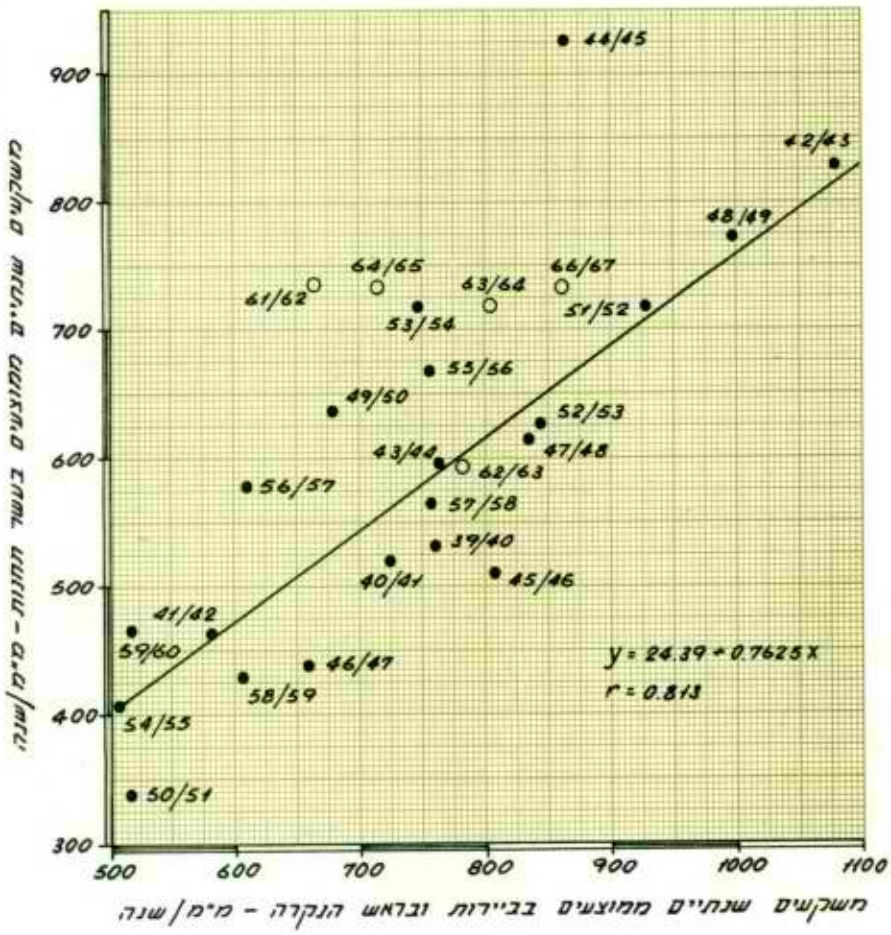


מקרא:

שטחי תוספת רבה של משקעים

שטחי תוספת מועטה של משקעים

משוואת תסוגה של משקעים שנתיים ממוצעים בעשר תחנות מטרה (שטח זריעת הענגים) לעומת המשקעים השנתיים הממוצעים בביירות ובראש הנקרה (תחנות בקרה)



מקרא:

- • משקעים במשך התקופה בין 1939/40 ל- 1959/60
- ○ משקעים במשך התקופה בין 1961/62 ל- 1966/67

נתונים סטטיסטיים של 12 מיתאמים

סדרה מספר	משתנה בלתי תלוי X	משתנה תלוי Y	תקופה	$\bar{X}$	$\bar{Y}$	סטיית התקן Sx	סטיית התקן Sy	מקדם התסובה r	טעות התקן של האומדן	משוואת תסובה
1	משקעים ממוצעים: ראש הנקרה ונהריה - מ"מ לשנה	כניסה חורפית *** מלמ"ק לעונה	1949/50-1960/61	555	534	138	188	0.705	140	$y = 0.278 + 0.962\ X$
2	משקעים: ביירות-מ"מ לשנה	כניסה חורפית *** מלמ"ק לעונה	1949/50-1960/61	817	534	161	188	0.765	127	$y = -195.87 + 0.893\ X$
3	משקעים: ביירות (X_1) וממוצע ראש הנקרה ונהריה (X_2) - מ"מ לשנה	כניסה חורפית *** מלמ"ק לעונה	1949/50-1960/61	817 (X_1) 555 (X_2)	534	161 (X_1) 138 (X_2)	188	0.787	128	$y = -203.70 + 0.633\ X_1 + 0.397\ X_2$
4	משקעים: ראש הנקרה (X_1) וביירות (X_2) - מ"מ לשנה	כניסה חורפית *** מלמ"ק לעונה	1949/50-1960/61	542 (X_1) 817 (X_2)	534	138 (X_1) 161 (X_2)	188	0.773	132	$y = -218.00 + 0.202\ X_1 + 0.786\ X_2$
5	משקעים ממוצעים: ביירות וראש הנקרה - מ"מ לשנה	משקעים ממוצעים: 10 תחנות בגזרה הפנימית* מ"מ לשנה	1939/40-1959/60	739	588	156	146	0.813	87	$y = 24.39 + 0.762\ X$
6	משקעים ממוצעים: ראש הנקרה ונהריה - מ"מ לשנה	משקעים ממוצעים: 10 תחנות בגזרה הפנימית* מ"מ לשנה	1939/40-1959/60	596	588	145	146	0.788	92	$y = 115.56 + 0.793\ X$
7	משקעים ממוצעים: ראש הנקרה נהריה ועכו - מ"מ לשנה	משקעים ממוצעים: 15 תחנות ** מ"מ לשנה	1939/40-1959/60	574	539	135	129	0.811	78	$y = 93.04 + 0.778\ X$
8	משקעים ממוצעים: ראש הנקרה נהריה עכו וביירות - מ"מ לשנה	משקעים ממוצעים: 15 תחנות ** מ"מ לשנה	1939/40-1959/60	655	539	137	129	0.869	66	$y = 1.26 + 0.822\ X$
9	משקעים ממוצעים: 15 תחנות** - מ"מ לשנה	כניסה חורפית *** מלמ"ק לעונה	1949/50-1959/60	507	552	129	186	0.921	76	$y = -122.69 + 1.331\ X$
10	משקעים ממוצעים: 15 תחנות ** - מ"מ לשנה	כניסה שנתית *** מלמ"ק	1949/50-1959/60	507	799	129	236	0.923	96	$y = -59.53 + 1.692\ X$
11	משקעים ממוצעים: ראש הנקרה נהריה עכו וביירות - מ"מ לשנה	כניסה חורפית *** מלמ"ק לעונה	1949/50-1959/60	620	552	130	186	0.820	112	$y = -176.73 + 1.176\ X$
12	משקעים ממוצעים: ראש הנקרה עכו וביירות - מ"מ לשנה	כניסה שנתית *** מלמ"ק	1949/50-1959/60	620	799	130	236	0.788	153	$y = -90.13 + 1.433\ X$

* 10 תחנות: יגור, עין-שמר, מירם יעל, אילניה, נצרת, כפר תבור, נוה יער, רמת דוד, משמר העמק, עפולה.

** 15 תחנות: כפר גלעדי, יסוד-המעלה, אילת השחר, עמיר, קריית שמונה, דפנה, דן, הר כנען, סבריה, כנרת, דגניה א', אילניה, נצרת, מצפה, כפר תבור.

*** הכניסות לכנרת אינן כוללות הפסדי ההאדות.

נספח ב'

אימות היסטורי לאפקטיביות של פעולות זריעה משוערות, תוך שימוש בניתוח תסובה
לתקופה ממושכת 1959 - 1925

משוואת תסובה לשם חיזוי	מקדם המיתאם r	שעות התקן של האומדן	השנים עליהן (1) מתבסס	התקופה שנחקרה	התקופה שנחקרה - המצועים המדודים					כמות משקעים ממוצעת שהייתה נמדדת אילו אפקטיביות הזריעה הייתה 15 אחוז	המובהקות של ההפרש שבין (8) לבין (10)
					$\bar{X}$*	$\bar{Y}$*	$\bar{Y}$ חזוי	ההפרש בין החזוי והמצוי			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)		(10)	(11)
X y = -52.53+0.846	0.866	77	1925/26-1945/46	1945/46-1954/55	684	497	526	29		572	0.03
X y = -52.53+0.846	0.866	77	1925/26-1945/46	1945/46-1959/60	666	479	511	32		551	0.02
X y = -25.85+0.759	0.872	55	1945/46-1959/60	1935/36-1944/45	711	542	514	-28		623	<0.02
X y = -50.41+0.841	0.857	84	1925/26-1939/40	1945/46-1959/60	666	479	510	31		551	0.03

* $\bar{X}$ - תחנות בקרה - הר הכרמל, עכו, ביירות

$\bar{Y}$ - תחנות מסרה - סבריה, מצפה, דגניה א', כפר גלעדי, אילת השחר.

8. תחזית דמות משק המים הישראלי
וצריכת מי ים מותפלים בסוף המאה

תזכיר זה נערך ע"י אליעזר קלי (היח' לתכנון לטווח ארוך, תה"ל).

אסמכתאות לנתונים המובאים בתזכיר, נמצאו בחומר פנימי של תה"ל שהוכן ביוזמת היח' לתכנון לטווח ארוך ודווח בבאים:

א. גורמים המשפיעים על ביקוש המים בירושלים מאת א. קומיי ופ. דלינסקי, עיריית ירושלים ותה"ל, 1969.

ב. טיוטת תזכיר (נמצא בעריכה) "צריכת מים ביתית" מאת ב. עומרי, אגף מחקר ופיתוח, 1970.

ג. "סקר גורמים המשפעים על צריכת המים הביתית" ע"י פרץ דלינסקי, אגף מחקר ופיתוח, פברואר 1970.

ד. תזכיר (טיוטה) "צריכת המים בתעשייה בעתיד" מאת י. מרוז, היח' הכלכליה, דצמבר 1969.

אסמכתאות נוספות - ראה ברשימה ביבליאוגרפית בסוף התזכיר.

ה ת ו כ ן

ש ר ט ו ט י ם

תחזית דמות משק המים הישראלי וצריכת מי ים מותפלים בסוף המאה

1. כ ל ל י

נושאי תכנון שונים בארץ מעלים את הצורך בתכנית ארוכת טווח של משק המים הישראלי. דוגמה אחת מרבות: התכנון הפיזי של גוש דן חייב להסתמך כל מיידע מהיימן בקשר למקור המים של אזור זה בסוף המאה. האם אוכלוסיית גוש דן תקבל אז את מימיה מעודפים שייובאו מצפון הארץ? או אולי - (שלא כמו היום) לא יהיו כל עודפים (שכן אלה יבלעו כולם ע"י הצריכה המקומית באיזוריהם) ואוכלוסיית גוש דן תזדקק אז למים מותפלים שייוצרו מדרום הארץ ויוזרמו לגוש דן צפונה?

אחד הגורמים המקשים על תכנון ארוך טווח של משק המים הישראלי הוא כי מערך משק המים בסוף המאה לא יהווה כנראה חיוץ והרחבה של משק המים הקיים וישנם סיכויים רבים שהוא יהיה שונה מהותית מהקיים בעיקר בגלל המקורות החדשים שיהיו בו ובעיקר: מקור מי הים המותפלים.

קרוב לוודאי כי משק המים בישראל יזדקק בעוד כמה עשרות שנים - ואולי עוד קודם לכן - למי-ים מותפלים. הגורם המעכב את השימוש במקור זה - עלותם של מים אלה, הגבוהה כיום מערך התפוקה השולי של המים בחקלאות הישראלית - ייעלם בעתיד הנראה לעין - לאחר שהמים הטבעיים לא יספיקו עוד לצריכה בעלת ערך תפוקה גבוה (עירונית, תעשייתית וחקלאית רווחית), וממילא יידרשו אז מים מלאכותיים לצריכה זאת. לשון אחרת: בעוד שכיום היו מנוצלים מים מלאכותיים לגידול כותנה לדוגמה (בה ערך התפוקה של המים נמוך למדי), הרי בעוד 15 שנה יהיה צורך במים מלאכותיים אף לגידול הדרים (שרווחיותם גבוהה), היות והמים הטבעיים ינוצלו אז כליל לצריכה עירונית, תעשייתית ולגידולי סל המזונות.

גורמים משניים נוספים שיסייעו לעשות את השימוש במי ים מותפלים כדאי בעתיד הינם:

א. ערך התפוקה השולי של המים עולה בכל ענף וענף וערך התפוקה שלהם אף בהדרים עצמם (לדוגמה) יהיה בעתיד גבוה משכיום.

ב. עלות המים המותפלים חרד עם הזמן בגלל שכלולים טכנולוגיים.

אנו עומדים איפוא כיום לפני תקופת מעבר מבחינת כדאיות השימוש במי ים מותפלים. קשה לשער את ההתפתחויות בתוך תקופת המעבר עצמה ואולי קל יותר לחזות את המצב לזמן שמעבר לה ולהעזר בתחזית ארוכת הטווח לשם התווית התחזית לעתיד הקרוב.

בכל אופן, תחזית דמות משק המים בישראל לטווח של עשרות שנים, קשה יותר ומהימנת פחות מתחזית נושאי פיתוח אחרים בישראל. אין ספק כי ניתן לחזות במהימנות גבוהה יותר את פיתוח משק החשמל או התחבורה לדוגמא וזאת מפני הסיבות הבאות:

א. הביקוש למים בישראל הריהו גורם שנתוניו לעתיד אינם ברורים עדיין דיים.

ב. הקשר שבין הביקוש למים בכוח והצריכה בפועל מסתבך אצלנו על-ידי גורמים שקשה לאומדם, גורמים מתחומים "בלתי כלכליים" כגון גורמים חברתיים, בטחוניים ועוד.

ג. הצע המים כתלות כמות בעלות, הריהו נושא אשר נתוניו לעתיד קשים לאומדן היות ויהיו מעורבים בו בעתיד מקורות "בלתי קונבנציונליים" (גשם מלאכותי, מי שפכים מושבים ומים מותפלים) שאין ביחס אליהם נסיון מספיק של תקדימים ונתוניהם מעורפלים כיום הן מצד הכמות והן מצד העלות.

נוסף לקשיים ספציפיים אלה הנוגעים למים, קיימים כמובן בקשר לנושא הנדון קשיים ספציפיים מיוחדים לישראל. בישראל, כידוע מהנסיון, צפויות תמיד התפתחויות מהפכניות בנושאים המשפיעים על משק המים - נושאי אוכלוסיה ושטחים - התפתחויות אשר חיזוין קשה לא רק בטווח של עשרות שנים, אלא גם - כפי שראינו - בטווח של שבועות.

על כן, כאשר נדון חיזוי לעתיד, בתחום המים חייב הוא להסתמך על הנחות העשויות להראות שרירותיות. חיזוי לעתיד תלוי, קודם כל, בתפישה הכללית של דמות העתיד. טווח של 30 שנה משאיר בענין זה הרבה מקום להתפרעות הדמיון. הקו שנינקט בעבודה זאת היה צנוע למדי מבחינה זאת. יש הסבורים כי עד שנת 2000 תחולנה התפתחויות כאלה עד שהעתיד יהיה שונה בתכלית מההווה. לדוגמא: ילדים ייעשו במבחנות, האנשים יאכלו גלולות בלבד ובאזורנו ישרור שלום נצחי. התחזית שלנו כאן אינה כה קיצונית ודמות העתיד, על פיה, צמודה למדי להווה וצומחת מתוכו.

אשר לחיזוי אומדנים כמותיים, שימשו בעבודה זאת שלושה עקרונות שלא תמיד השלימו ביניהם:

א. במידת האפשר הונח "אומדן נמוך" ו"אומדן גבוה" כדי לחבוק טווח נרחב של אפשרויות. אולם גישה כזאת של טווח נרחב בכל חיזוי היתה יוצרת מספר עצום של אלטרנטיבות והיתה מביאה לכך שמרוב עצים לא ייראה היער ולפיכך:

ב. לעתים הונח החיזוי הסביר ביותר בלבד.

ג. לעתים אחרות, כדי להקנות יתר וודאות למסקנות המתקבלות ביחס לכמויות מים חסרות, הונח האומדן הקיצוני בלבד (אומדן נמוך ביחס לביקוש ואומדן גבוה ביחס להיצע).

הנחה חשובה ומרכזית שנעשתה כאן היא כי עלות המים המלאכותיים השוליים (לא כולל תרומת הגשם המלאכותי) - לא תרד לסדר גודל של אגורות בודדות למ"ק ותהיה - כפי שידוע וצפוי היום - עשרות אגורות למ"ק.

2. <u>ת מ צ י ת</u>

אוכלוסיית ישראל בשנת 2000 תמנה כ-6 מליון נפש (בתחומי "הקו הירוק"), צריכת המים הביתית והתעשייתית של אוכלוסיה זאת תהיה כ-1,300 מיליוני מ"ק לשנה. כמות המים הדרושה למילוי צריכת ירקות, פירות וחלב לאוכלוסיה זאת תהיה למעלה מ-500 מיליוני מ"ק לשנה. נוסף לזאת תתקיים בשלב זה צריכת מים של כ-350 מיליוני מ"ק להשקאת ההדרים וצריכה של כמות דומה להשקאת גידולי ייצוא וגידולים משתלמים אחרים נוסף להדרים. כמויות מים אלה ועוד כמויות צריכה נוספות שוודאותן רבה תחייבנה המצאת מים ממקורות שאינם קיימים כיום בכמות של כמיליארד ורבע מ"ק לשנה. מקורות אלה עשויים להיות:

א. מים נוספים ממקורות קיימים כתוצאה מ"גשם מלאכותי" ואולי גם הקטנת התאידות.

ב. מי ביוב מושבים.

ג. מי ים מותפלים וכן מים מותפלים אחרים.

ד. מים ממקורות טבעיים שאינם כיום ברשותנו.

צירופים סבירים שונים של מקורות משלושת הסוגים הראשונים (הסוג הרביעי לא הובא כאן בחשבון), מעלים תמונות אלטרנטיביות שונות של ההספקה בשלב הנדון. המסקנות העיקריות המסתברות מתמונות אלה לגבי סוף המאה הן:

א. נפח המים המותפלים הדרושים להשלמת המאזן יגיע בסוף המאה לכחצי עד 3/4 מיליארד מ"ק לשנה.

ב. סביר כי יהיה צורך בשלב הנדון בשני מפעלי התפלת מי ים גדולים נפרדים בנגב ובדרום.

3. <u>נקודות אופיניות בהספקת המים של סוף המאה</u>

ע"פ הנתונים והידע של היום, נראה כי אפשר לחזות ולהניח לגבי הספקת סוף המאה את הבאות:

א. נפח ההספקה לצריכה הביתית יגדל בגלל גידול רמת ההספקה לנפש אך בעיקר בגלל גידול האוכלוסיה.

ב. קצב הגידול של הצריכה התעשייתית יעלה פי כמה על זה של הביתית היות והייצור התעשייתי מיועד לגדול במשך 30 השנה הבאות פי 15 עד פי 20.

ג. המים השוליים בכלל מי ההספקה יהיו יקרים יותר מאשר היום ודבר זה יטיל דרישות חמורות יותר מאשר היום - על הצרכנים השוליים לגבי ערך התפוקה של המים.

ד. עם זאת יהיה נפח הצריכה החקלאית גבוה מאשר כיום, אולם ברור כי גידול הצריכה החקלאית ברבע האחרון של המאה יהיה מתון מאוד בהשוואה לגידול של הרבע השלישי.

ה. הביקוש למים יעלה על פוטנציאל המים הטבעיים בעשרות אחוזים ולשם איזונו ידרשו מים ממקורות "בלתי קונבנציונליים"(מי גשם מלאכותי, מים מותפלים ומי ביוב מושבים*).

ו. סביר כי תהיה אפשרות (טכנית וכלכלית) להעמיד לרשות הספקת המים הארצית את המקורות "הבלתי קונבנציונליים" הנ"ל - אולם הן יוקר המים ממקורות אלה והן הקצב שבו ינתן להכניסם למעגל ההספקה - ישמשו מגבלה לכמותם.

ז. ישראל שבתוך תחום הקו הירוק תצרוך בתחום זה מים טבעיים בהתאם ל"תכנית ג'ונסטון". רצועת עזה תהיה צרכן ישראלי, שטחים אחרים שמחוץ לקו הירוק (בין אם יהיו בשליטה ישראלית ובין אם לא) יקבלו את הספקתם ממקורות שהוקצבו להם ע"פ "תכנית ג'ונסטון" פרט לכך שפוטנציאל אגני הטורון המיועד לניצול בתוך תחום הקו הירוק - ירד במידת מה בגלל ניצולו מעבר לקו הירוק.

בסעיפים הבאים יוצג נסיון לתת מימוש מספרי להנחות הנ"ל.

---

*מקורות בלתי קונבנציונליים נוספים: הקטנת ההתאידות מהכנרת וייבוא מים מחו"ל (במיכליות וכדומה) לא הובאו כאן בחשבון, בגלל היות עתידם מעורפל כרגע מהאחרים.

4. <u>אוכלוסיה</u>

נקודת מוצא לתחזיות הביקוש היא אומדן האוכלוסיה. ביחס לזה נעשו כאן ההנחות הבאות:

א. הריבוי הטבעי של האוכלוסיה היהודית בארץ ינוע בין הגבולות הבאים:

(1) אומדן נמוך: 1.6% לשנה עד 1980 ולאחר מכן 1% לשנה.

(2) אומדן גבוה: 1.6% לשנה עד סוף המאה.

האסמכתא לאומדן זה מובאת בשרטוט 1. על פיו, מגמתו ה"טבעית" של הגידול הטבעי השנתי היא לרדת מתחת ל-1.6% ולהתקרב ל-1%. שמירה על שעור ריבוי טבעי שנתי של 1.6% תהיה תלויה בקיום גורמים מיוחדים שיתגברו על המגמה ה"טבעית".

ב. הריבוי הטבעי השנתי של האוכלוסיה הבלתי יהודית (בתחום הקו הירוק) ירד מ-3½% (ראה שרטוט 1) בעשור ה-70 עד ל-2% בעשור ה-90.

ג. שעור העליה היהודית לארץ בניכוי הירידה ינוע בין:

(1) אומדן נמוך: 20,000 נפש לשנה.

(2) אומדן גבוה: 40,000 נפש לשנה.

הנחות אלה קובעות שני אומדנים לאוכלוסית ישראל בסוף המאה - (ראה שרטוט 2 -) אומדן נמוך של 5.28 מיליון ואומדן גבוה של 6.65 מיליון, כולל אוכלוסיה בלתי יהודית (בתחום הקו הירוק) של 0.95 מיליון (לשני האומדנים).

ד. פילוג האוכלוסיה באזורי הארץ (בתחומי הקו הירוק), יהווה המשך המגמות החזויות ע"י אגף התכנון במשרד הפנים לאוכלוסיה בת 4 מיליון*, פילוג האוכלוסיה באזורים ומגמותיו לעתיד מוצג בשרטוט 3 ומפורטים להלן:

---

* ראה "תכנית לחלוקה הגיאוגרפית של אוכלוסיה בת 4 מיליון" ע"י אגף התכנון. משרד הפנים בתיאום עם הרשות לתכנון כלכלי, אפריל 1967.

[illegible]

[illegible]

a. [illegible]

(1) [illegible]

(2) [illegible]

[illegible]

b. [illegible]

c. [illegible]

(1) [illegible]

(2) [illegible]

[illegible]

d. [illegible]

[illegible]

טבלה מס' 1

אוכלוסית אזורי הארץ בסוף המאה

(מיליוני נפש)

אזור	אוכלוסיה	
	אומדן גבוה	אומדן נמוך
צפון מזרח	0.445	0.280
צפון מערב	2.620	2.175
דרום	2.810	2.290
נגב (כולל ערבה)	0.770	0.535
סה"כ	6.645	5.280

תחומי האזורים השונים מוצגים בשרטוט 8.

5. הצריכה הביתית

מקובל ומוכח כי רמת הצריכה הביתית מושפעת במידה רבה מרמת החיים ובמידה פחותה יותר ממחיר המים. דוגמה להשפעת 2 גורמים אלה על צריכת מים ביתית בישראל - ראה בשרטוט 4* משרטוט זה נראית ההשפעה המובהקת של רמת החיים על צריכת המים בירושלים. (מקדם קורלציה $r_1 = 0.98$) ולעומתה, ההשפעה הפחות מובהקת של מחירי המים על הצריכה (מקדם קורלציה $r_2 = 0.29$).

שרטוט 5 מציג את נתוני צריכת המים בירושלים ובישראל בכלל במסגרת נתונים מקבילים בארצות שונות**. על רקע נתונים אלה - מוצעת המגמה המשוערת של התפתחות צריכת המים בישראל (שרטוט 5) ללא שינויי מחיר. מגמה משוערת זאת מניחה כי הצריכה הארצית תעבור עוד תהליך של הצטמצמות באמצעות מניעים אדמניסטרטיביים וטכנולוגיים ותתקרב לצריכה הירושלמית (שרטוט 5) הנמוכה ממנה. בהתאם למגמה משוערת זאת, עשוייה צריכת המים הישראלית להגיע ל-120 ול-170 מ"ק לנפש לשנה במקרה של עליית רמת החיים (מבוטאת ע"י רמת הצריכה הפרטית הכוללת) ב-3% וב-4% לשנה בהתאמה.

רמת צריכה זו עשויה לרדת עם עליית מחירי המים. אם מחיר המים לצרכן ביתי יהיה שווה לעלות השולית של הספקתם - דהיינו לעלות ההספקה של מי-ים מותפלים - יהיה מחיר זה גבוה פי 2 בערך מן המחיר הנוכחי, שהוא כ-40 אג'/מ"ק***

---

* מתוך: "גורמים המשפיעים על ביקוש המים בירושלים" מאת א. קומיי ופ. דלינסקי עיריית ירושלים ותה"ל 1969.

** מתוך: תזכיר בהכנה "צריכת מים ביתית" מאת ב. עומרי, תה"ל, אגף מחקר ופיתוח

*** ראה: "סקר גורמים המשפיעים על צריכת המים הביתית", ע"י פ. דלינסקי תה"ל, אגף מחקר ופיתוח, פברואר 1970.

בהנחה שהכפלת מחיר המים תביא להקטנת הצריכה בסדר גודל של 40%*, ניתן לאמוד את צריכת המים העירונית בסוף המאה בכ-100 מ"ק לנפש לשנה. מספר זה יונח לגבי התחזית להלן.

6. צריכת מים תעשייתית

בחיזוי צריכת המים התעשייתית, יש צורך להביא בחשבון שני תהליכים:

א. הקטנת צריכת המים הסיגולית לכל יחידת תפוקה תעשייתית

ב. גידול התפוקה התעשייתית.

נתוני צריכת המים לכל יחידת תפוקה תעשייתית בעבר היו כלהלן (נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה ונציבות המים).

טבלה מס' 2

צריכת מים ליחידת תפוקה תעשייתית

שנה	תפוקה תעשייתית במחירי 1967/8	צריכת מים בתעשיה (מתוקים ומליחים)	צריכת מים לכל יחידת תפוקה תעשייתית
	מיליארד ל"י	מיליוני מ"ק	מיליוני מ"ק למיליארד ל"י
1958/9	2.10	46	21.9
1959/60	2.42	51	21.1
1960/1	2.63	54	20.5
1961/2	3.27	56	17.1
1962/3	3.89	55	14.1
1963/4	4.67	57	12.2
1964/5	5.37	55	10.2
1965/6	6.07	59	9.7
1966/7	5.76	61	10.6
1967/8	6.08	66	10.9

חיזוי ההתפתחות של צריכת המים הסיגולית - מובא בשרטוט מס' 6. בהתאם לתחזית המובאת כאן (המסתמכת גם על תחזית הוועדה לחיזוי צריכת מים בעתיד) תרד הצריכה הסיגולית בסוף המאה עד ל-5 מלמ"ק למיליארד ל"י (במחירי 1967) של תפוקה תעשייתית.

---

* ראה: "סקר גורמים המשפיעים על צריכת המים הביתית", ע"י פ. דלינסקי תה"ל, אגף מחקר ופיתוח, פברואר 1970.

בידול התפוקה התעשייתית נחזה כלהלן:*

טבלה מס' 3

תחזית התפוקה התעשייתית

(מיליארדי ל"י במחיר 1967)

שנה	אומדן נמוך	אומדן גבוה
1970/1	9.0	9.5
1975	14.5	17.5
1980	23	29
1990	53	65
2000	130	170

צריכת המים התעשייתית תהיה בהתאם לנתוני טבלה זאת - כלהלן:
(ראה שרטוט 6)

טבלה מס' 4

תחזית צריכת המים בתעשייה

ש נ ה	צריכת מים ליחידת תפוקה תעשייתית	צריכת מים תעשייתית (מתוקים ומליחים)	
		אומדן נמוך	אומדן גבוה
	מיליוני מ"ק למיליארד ל"י	מיליוני מ"ק	
1970/1	9	81	85
1975	8	116	140
1980	7	161	** 203
1990	6	318	390
2000	5	650	850

---

* ע"פ תחזית של פרופ' מ. ברונו - Economic Development Problems of Israel האוניברסיטה העברית בירושלים, בתזכיר מתאריך 5.6.69

** להשוואה כמה תחזיות אחרות לשנת 1980 (מהן השתים הראשונות נבנו ע"ס ניתוח מפורט לפי ענפים):

(1) תחזית הוועדה לבחינת תחזיות הביקוש למים משנת 1966: בין 129 ל-214 מלמ"ק/שנה.

(2) תחזית המח' למים בתעשייה בנציבות המים ממאי 1969: 177 מלמ"ק בשנת 1979/80.

(3) תחזית מר י. מרוז מהיח' הכלכלית, תה"ל: בין 147 מלמ"ק ל-180 מלמ"ק לשנה (צריכת המים בתעשייה בעתיד, תזכיר פנימי, תה"ל, היח' הכלכלית דצמבר 1969).

התחזיות מצוטטות מתוך תזכיר (3).

בתחזית זאת נקבע אומדן השימוש במים מליחים ומתוקים יחד. פוטנציאל המים המליחים המצויים בארץ הינו כ-180 מיליוני מ"ק לשנה.

7. צריכת מים חקלאית

לגבי היקף הצריכה החקלאית בסוף המאה, נעשו ההנחות והשיקולים הבאים:

א. בגלל יוקר המים השוליים (שיהיו מים מלאכותיים) ולנוכח הקצב המוגבל שבו סביר שמים אלה יוכלו להכנס להספקה (מסיבות טכנולוגיות - אירגוניות) יתקיימו בחקלאות רק הענפים שיוכלו לשאת בעלויות גבוהות של מים מלאכותיים ומים יקרים אחרים. עלויות אלה תהיינה כמה עשרות אגורות למ"ק.

הענפים שיוכלו לעמוד בכך יהיו:

(1) גידולי כל הירקות והפירות המיועדים לצריכה מקומית וכן המספוא הדרוש לייצור חלב לצריכה מקומית (להלן: "גידולי צריכה מקומית").

(2) הדרים.

(3) גידולי "ייצוא משתלם" (נוסף להדרים) כולל גידולים מחליפי ייבוא כדאיים מיוחדים לשימוש מקומי (נוסף על (1)).

ב. שיעור צריכת המים לנפש לשנה לגידולי הצריכה המקומית, משתנה כתוצאה מתהליכים רבים כגון: גידול יעילות השימוש במים, גידול יעילות השימוש בתשומות אחרות, שינוי הרגלי הצריכה של האוכלוסיה, שינויי הפרופורציה בין מטעים נושאי פרי ושאינם נושאים ושינויי מרכיבי המספוא.

שיעור זה נמצא בירידה כל הזמן והוא ימשיך לרדת עד סוף המאה (בגלל הדומיננטיות של גורם ייעול השימוש במים) בהתאם למוצג בשרטוט מס' 7. נתוני המים הנדרשים למילוי הצריכה המקומית בירקות, פירות וחלב - מובאים בטבלה הבאה:

טבלה מס' 5

המים הדרושים לצריכה מקומית של ירקות, פירות וחלב

ש נ ה		59/60	67/68	תכנית "המרכז לתכנון" לשנת 70/71	תחזית לסוף המאה	
					אומדן נמוך	אומדן גבוה
מים נצרכים לגידולי הצריכה המקומית (להוציא הדרים)	(מיליוני מ"ק לשנה) (1)	407	378	347	475	599
תושבים	(מליונים)	2.09	2.78	3.06	5.28	6.65
צריכת מים לנפש למילוי צרכי ירקות פירות וחלב	(מ"ק לנפש לשנה)	195	136	113	90	

(1) כמה מהנתונים שעל פיהם הורכבה שורה זאת נאמדו על יסוד היקפי ויחסי השטחים המעובדים.

ג. השטח המתאים להדרים - כ-½ מיליון דונם - ישאר בהיקפו המוגדר היום, כולו יעובד וצריכתו הממוצעת תהיה 700 מ"ק מים לדונם לשנה.

ד. גידולי ה"ייצוא המשתלם" יצרכו מים בין 300 ל-450 מלמ"ק/שנה בקבוצה זאת נכללים הגידולים אשר סביר כי יוכלו לשלם מחיר מים מלאכותיים בשיעור של כמה עשרות אגורות למ"ק (בהנחה שלא יחול שינוי מהותי בין מה שידוע וצפוי היום לגבי מחיר מים אלה ובין מה שיהיה בסוף המאה). בשנת 67/68 צרכו גידולי הייצוא (להוציא הדרים) כ-100 מלמ"ק מים אולם אם ננכה מכך ייצוא של גידולים שלא סביר שיוכלו להשתייך לקטגוריה זאת בעתיד - ככותנה, בננות ותפוחי אדמה - ונשאיר רק את מה שעשוי להתפתח "לייצוא משתלם", הרי היתה צריכת המים של קבוצה זאת כ-40 מלמ"ק. בהתאם למגמות משרד החקלאות בקשר לייצוא, תוכפל כמות מים זאת תוך מספר שנים. המשכת מגמות אלה לסוף המאה, תוליך לכמות מים שבין 300 ל-450 מיליוני מ"ק לשנה, ושני שיעורים אלטרנטיביים אלה הובאו בחשבון.

ה. פילוגה הגיאוגרפי של הצריכה החקלאית יהיה פרופורציונלי לזה שהוצע ע"י "המרכז לתכנון חקלאי" לשלב 1980.

בהתאם להנחות הנ"ל, תסתכם כמות המים שתיצרך בסוף המאה ע"י החקלאות, בהשוואה לתכניות לשלבים קודמים, כלהלן:

טבלה מס' 6

צריכת מים חקלאית כיום ובעתיד (מיליוני מ"ק/שנה)

שנה / גידול	67/8 * (1)	תכ' "המרכז לתכנון" לשנת 70/71 כפי שהוכנה בשנת 1966 * (2)	תכ' "המרכז לתכנון" לשנת 80 "תכ' 15" (גידולים (3) "קשיחים" בלבד) *	תחזית לסוף המאה	
				אומדן נמוך	אומדן גבוה
1. גידולי ירקות, פירות ומספוא לצריכה מקומית	378	347	471	475	599
2. הדרים	330	366	388	350	
3. גידולי יצוא (נוסף להדרים)	38	62	(לא מופרד מצריכה מקומית)	300	450
4. גידולי תעשיה לשמוש מקומי	135	148	-	-	-
5. שונות (כולל: מדגה, פלחה וחצרות)	179	112	83	100	
6. רצועת עזה (לכל הסקטורים)	-	-	-	100	
סה"כ	1060	1035	942	1325	1599

הערות:

(1) נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (באמצעות מר י. צוקרמן, מנהל המדור לחקלאות) הנתונים מתייחסים לשנה המתחילה ב-1/10).

(2) ראה "תכנית החומש לפיתוח החקלאות", המרכז לתכנון ופיתוח חקלאי והתישבותי, אוגוסט 1966.

(3) ראה: "תכנית לפיתוח המים בישראל בשנים 1965-1980", תהל" דצמבר 64.

* מים מתוקים בלבד.

כמות זאת של הצריכה החקלאית החזויה לעתיד הינה גבוהה במקצת מהנוכחית ומבחינה זאת היא עונה על מגמת הגידול של צריכת המים החקלאית - מגמה שהיה לה בעבר ביסוס כלכלי חזק ובהווה עיקר ביסוסה הוא אידיאולוגי, חברתי וגם בטחוני. מגמה זאת של המשך פיתוח צריכת המים החקלאית היא עדין גורם בעל כוח רב וסביר כי כוחה יישמר גם בעתיד ואין להתעלם ממנה בבנית תחזית ריאלית.

פילוגה הגיאוגרפי של הצריכה החקלאית בסוף המאה יהיה (עפ"י הנחה ה' שלעיל ועם ההספקה לרצועת עזה) כלהלן:

טבלה מס' 7

פילוג הצריכה החקלאית בסוף המאה
(מיליוני מ"ק לשנה)

אזור	צ ר י כ ה	
	אומדן נמוך	אומדן גבוה
צפון מזרח	277	339
צפון מערב	423	517
ד ר ו ם	363	444
נ ג ב	252	287
ע ר ב ה	10	12
סה"כ	1325	1599

8. <u>צריכת המים הארצית ופילוגה ע"פ האזורים והסקטורים השונים</u>

התחזיות המובאות בסעיפים הקודמים, מסתכמות ומתפלגות כלהלן:

(בהנחה שהפילוג הגיאוגרפי של הצריכה התעשייתית יהיה זהה לזה של הביתית ושעור הצריכה הביתית: 100 מ"ק/נפש/שנה).

טבלה מס' 8

פילוג צריכת המים בסוף המאה

(מלמ"ק לשנה)

	אזור	צריכה ביתית	צריכה תעשייתית	צריכה חקלאית	פחת	סה"כ
אומדן א'	צפון מזרח	53	65	277	9	404
אוכלוסיה 5.28 מיליון נפש	צפון מערב	218	268	423	21	930
צריכה תעשייתית נמוכה	דרום	229	282	363	20	894
צריכה חקלאית נמוכה	נגב	19	23	252	9	303
	ערבה	9	12	10	1	32
	סה"כ	528	650	1325	60	2563
אומדן ב'	צפון מזרח	77	74	302	11	464
אוכלוסיה 6.65 מיליון נפש	צפון מערב	262	256	463	23	1004
צריכה תעשייתית נמוכה	דרום	281	276	398	20	975
צריכה חקלאית נמוכה	נגב	32	31	275	10	348
	ערבה	13	13	11	1	38
	סה"כ	665	650	1449	65	2829
אומדן ג'	צפון מזרח	53	85	312	11	461
אוכלוסיה 5.28 מיליון נפש	צפון מערב	218	352	477	26	1073
צריכה תעשייתית גבוהה	דרום	229	368	410	22	1029
צריכה חקלאית גבוהה	נגב	19	30	265	10	324
	ערבה	9	15	11	1	36
	סה"כ	528	850	1475	70	2923
אומדן ד'	צפון מזרח	77	99	339	13	528
אוכלוסיה 6.65 מיליון נפש	צפון מערב	262	335	517	29	1143
צריכה תעשייתית גבוהה	דרום	281	359	444	25	1109
צריכה חקלאית גבוהה	נגב	32	40	287	12	371
	ערבה	13	17	12	1	43
	סה"כ	665	850	1599	80	3194

9. <u>פוטנציאל המים הארצי בסוף המאה</u>

ביחס לפוטנציאל המים הארצי בסוף המאה תעשינה ההנחות הבאות:

א. הפוטנציאל הטבעי בסוף המאה יהיה זה המוכר כיום כפוטנציאל של שלב 1980 אולם הכמות המנוצלת מאגן הטורון תקטן ב-50 מלמ"ק/שנה על חשבון ניצולו מעבר לקו הירוק.

ב. המים המליחים המצויים בארץ - (180 מלמ"ק/שנה במליחות של 1000 עד 4000 מ"ג חנ"כ) ינוצלו במילואם ע"י התפלתם או ע"י התאמתם לשימושים מיוחדים.

הנחת שימושם של מים אלה מסתמכת על הביקוש הפוטנציאלי שיש להם בתעשיה, על האפשרויות המסתמנות להשתמש בהם בחקלאות בשיטות השקאה מיוחדות (טפטוף) ועל הסיכויים למציאת שיטות זולות להתפלתם.

ג. נוסף לנ"ל צפויים (אך לא בטוחים בכמותם) המקורות הבאים:

(1) גידול כללי של הפוטנציאל כתוצאה מפעולות של "גשם מלאכותי". כמות זאת בהיקף של 10% או (אלטרנטיבית) 25% מהפוטנציאל הקיים הונחה כפרופורציונלית בפילוגה האזורי לפוטנציאל הקיים.

(2) ניצול מי שפכים מושבים. היקף של 12% או (אלטרנטיבית) 50% מהמים שישמשו לצריכה ביתית ותעשייתית הובא בחשבון ופילוגן מקביל לפילוג הצריכה העירונית הנ"ל.

להלן יוסברו השיקולים שנעשו ביחס למקורות נוספים אלה:

א. <u>גשם מלאכותי</u>

הממצאים הנוכחיים נותנים מקום לאופטימיות. ע"פ תוצאות הניתוח הסטטיסטי* של הניסוי שנעשה בנושא זה קיימת ודאות גבוהה בכך שישנה השפעה חיובית ל"זריעת העננים" במערב הארץ והשיעור הסביר ביותר להשפעה זאת הוא: תוספת של כ-15% במשקעים.

גידול כזה, לו היה מפולג בזמן כמו הגשם הבסיסי ולו היה זהה בכל אזורי הארץ (דבר שעדין לא הוכח) היה עשוי להגדיל את פוטנציאל המים בכרבע.**

---

* ראה "ניתוח סטטיסטי של תוצאות ניסוי הגברת מטר בעונות 1961-1967", ד"ר ראובן גבריאל האוניברסיטה בירושלים ושח"מ, "מקורות".

** ראה "הגשם המלאכותי ומשמעותו לגבי משק המים הארצי" (בקובץ זה).

ב. מי שפכים מושבים

כיום מנוצלים* מעל 20 מיליוני מ"ק מי שפכים עירוניים (9% מהצריכה) להשקאה ולהחדרה. כיום אין מובאים מים אלה בחשבון הפוטנציאל היות ושימושם הוא מחוץ ל"מכסות". ע"פ נתונינו כאן, הגורם הקובע את הביקוש אינו קשור ל"מכסות" ולפיכך יש להתחשב כאן בכל מים הממלאים את הביקוש ובתוכם גם מי השפכים הנ"ל.

נוסף לכמות הנ"ל מנוצלים כיום* עוד כ-10 מלמ"ק לשנה מי שפכים חקלאיים. אפשרויות הגידול של כמות זאת מוגבלות יותר משל קודמתה.

האומדן הנמוך לניצול מי שפכים (12% מכלל הצריכה העירונית) הינו איפוא שמירה על האחוז הקיים בערך אולם הפנייתו כולו לגידולים העדיפים בלבד (מה שאין כך עתה).

הניצול הקיים הנ"ל אינו נעשה בד"כ באמצעות טיהור מלא והתאמתו מוגבלת על כן לריכוזים עירוניים קטנים המוקפים סביבה חקלאית וכ"כ מוגבלת התאמתו לגידולים מסוימים ולשטחים בודדים. ככל שהריכוזים העירוניים יגדלו ויהיו רצופים יותר - יועדף ויידרש טיהור מלא בדומה למוצע לשפכי גוש דן. בשיקולים לגבי מידת הניצול הצפויה למי שפכים בעתיד, יש להביא בחשבון את הגורמים הבאים: כמות השפכים העירוניים אשר סביר כי ינתן להשיב באמצעות החדרה לאגנים חוליים תת-קרקעיים, אינה עולה על סדר גודל של כ-150 מלמ"ק לשנה. מעל לזה תידרש השבה מסוג אחר העלול להיות יותר יקר מהתפלה. זאת ועוד: המים המושבים יהיו מלוחים יחסית וסילוק המלחים מהם עשוי שוב לעשותם יקרים מהתפלת מי ים. אולם מאידך: השפכים העירוניים ילכו ויהוו מיטרד קשה יותר ויותר בישראל וסילוקם ילך ויהווה בעתיד בעיה דחופה - דבר שישפיע על ניצולם.

בסיכום יהיה פוטנציאל המים הארצי בסוף המאה כלהלן:

---

* ראה: "סקר ניצול שפכים 1967", המח' למים בחקלאות ולביוב, נציבות המים, משרד החקלאות.

טבלה מס' 9

פוטנציאל המים הארצי ופילוגו באזורים בסוף המאה (מלמ"ק לשנה)

מקור / אזור	פוטנציאל טבעי בסיסי כולל מליחים						תוספות אפשריות							
							שפכים מצריכה ביתית				שפכים מצריכה העשייתית		גשם מלאכותי	
							לפי אוכלוסיה 5.28 מיליון 100 מ"ק/נ/שנה		לפי אוכלוסיה 6.65 מיליון 100 מ"ק/נ/שנה		צריכה נמוכה לפי אומדן צריכה א'		צריכה גבוהה לפי אומדן צריכה ב'			
	ירדן ירמוק	אגני אבן	אגני חול	שפלת נות	מלי-חים	סה"כ	12%	50%	12%	50%	12%	50%	10%	25%
צפון מזרח	481	71	-	9	85	646	6	27	9	39	8	32	12	50	65	162
צפון מערב	-	293	118	45	35	491	26	109	31	131	32	134	40	167	49	123
דרום	-	139	118	13	10	280	28	115	34	140	34	141	43	179	28	70
נ ג ב	-	25	11	15	20	71	2	9	4	16	3	12	5	20	7	18
ערבה	-	11	-	-	30	41	1	4	2	6	1	6	2	9	4	10
סה"כ	481	539	247	82	180	1529	63	264	80	332	78	325	102	425	153	383

נתייחס להלן לצירופים הבאים של תוספות לפוטנציאל הטבעי (ללא תוספת מי ים מותפלים)

טבלה מס' 10

צירופים של תוספות לפוטנציאל הטבעי

רמת הפוטנציאל	תוספת "גשם מלאכותי"	תוספת מי שפכים מושבים
א	מעטה	מעטה
ב	רבה	מעטה
ג	מעטה	רבה
ד	רבה	רבה

10. <u>צרכי מי ים מותפלים</u>

ארבע רמות הפוטנציאל (ראה פרק 8) מול ארבעה אומדני הצריכה (ראה פרק 7) קובעים בהצטלבויותיהם מטריצה של הכמויות החסרות דהיינו הכמויות שיש לספק ממפעלים להתפלת מי ים כמוצג להלן:

טבלה מס' 11

כמויות מי ים מותפלים הנדרשים למילוי ההפרש בין הפוטנציאל הזמין והביקוש (מלמ"ק לשנה)

אומדן הצריכה / רמת הפוטנציאל	אומדן א' צריכה 2563 אוכלוסיה 5.28 צריכה תעשיתית נמוכה	אומדן ב' צריכה 2829 אוכלוסיה 6.65 צריכה תעשיתית נמוכה	אומדן ג' צריכה 2923 אוכלוסיה 5.28 צריכה תעשיתית גבוהה	אומדן ד' צריכה 3194 אוכלוסיה 6.65 צריכה תעשיתית גבוהה
א' פוטנציאל טבעי בסיסי עם תוספת מעטה מגשם מלאכותי ותוספת מעטה משפכים מושבים	740	989	1076	1330
ב' פוטנציאל טבעי בסיסי עם תוספת רבה מגשם מלאכותי ותוספת מעטה משפכים מושבים	510	759	846	1100
ג' פוטנציאל טבעי בסיסי עם תוספת מעטה מגשם מלאכותי ותוספת רבה משפכים מושבים	292	490	552	755
ד' פוטנציאל טבעי בסיסי עם תוספת רבה מגשם מלאכותי ותוספת רבה משפכים מושבים	62	260	322	525

מתוך כל האלטרנטיבות הנ"ל של כמויות המים המותפלים הדרושות נראה כי ניתן ליחס סבירות גדולה יותר לאלה של האלכסון המודגש וליחס סבירות נמוכה יותר למקרים הרחוקים מאלכסון זה וזאת מפני שסביר כי ביקוש רב יעודד פוטנציאל בסיסי יותר גדול ולהיפך: מציאות פוטנציאל בסיסי גדול יותר: תאפשר פיתוח צריכה רב יותר. לדוגמא:

א. אם יצליחו פעולות הגשם המלאכותי והפוטנציאל הבסיסי יגדל מכך ותוזל עלות המים סביר כי יוביל הדבר לצריכה יותר גדולה או:

ב. אם האוכלוסיה תגדל עד לאומדן הגבוה וביקוש המים שלה יהיה אף הוא גבוה סביר כי יוביל הדבר לניצול מעמיק יותר של מי שפכים מושבים ומים מליחים.

נוסף על כך פועלים גם הגורמים הבאים כנגד האלטרנטיבות המרוחקות מהאלכסון הסביר:

א. ביחס לכמויות שמעל האלכסון מתעוררת בעית הקצב שבו ינתן להכניסן למעגל ההספקה מבחינת משך הזמן הדרוש ביחס לכל מפעל בודד להחלטה, תכנון, ביצוע, הפעלה, לימוד והסקה לגבי העתיד וחוזר חלילה.

ב. ביחס לכמויות שמתחת לאלכסון, מתעוררת השאלה אם יתרונות מי הים המותפלים לגבי מחיקותם ויציבותם (אי היותם מושפעים מהאקלים) לא ידחפו אותם קדימה יותר משהונח כאן.

להלן נתיחס, על כן, לארבעת נתוני האלכסון המודגש כאל הנתונים המרכזיים והסבירים ביחס לצרכי מי הים המותפלים.

11. <u>מאזנים אזוריים והעברות מים בין אזוריות</u>

שיעורי הצריכה והפוטנציאל המתוארים לעיל, קובעים את שיעורי ההעברה הבין אזורית. המאזנים האזוריים והעברות הבין אזוריות, מתוארים בשרטוטים 8א', 8ב', 8ג', 8ד'. בשרטוטים אלה ובטבלאות הנלוות אליהם הונח כי מקור מי הים המותפלים הנדרשים לאזור הנגב - יאותר בנגב (הצפוני) עצמו ואילו יתר המים המותפלים - מקורם יהיה באזור הדרום.

השרטוטים 8א' עד 8ד' מבליטים כי אזורי הדרום והנגב לא יקבלו עודפים מהצפון (כדרך שהם מקבלים היום) אלא - ע"פ ההנחות הקובעות כאן - ייצרו את המים החסרים להם בתחומיהם. ערי גוש דן שצריכתן (ביתית + תעשייתית) תתקרב לכחצי מיליארד מ"ק בסוף המאה יצטרכו איפוא לקבל את ספיקתם מתוך אזור הדרום ומקורן יהיה מי ים מותפלים שייוצרו מדרומן.

12. <u>סכום ומסקנות</u>

ההנחות ששימשו לגבי תחזית זאת מוליכות למסקנות הבאות:

א. אפילו אם תתקיים בישראל בסוף המאה צריכת מים רק בענפים שיוכלו לעמוד בעלות מים של כמה עשרות אגורות למ"ק - יהוו מי הים המותפלים כרבע מכלל ההספקה שתגיע אז לכשנים וחצי עד שלושה מיליארד מ"ק.

ב. אולם אין לראות כבלתי אפשרית כי תידרש כמות קטנה יותר של מי ים מותפלים. דבר זה תלוי בהצלחה להכניס למעגל ההספקה מים חדשים אחרים שהם מי "גשם מלאכותי" ומי שפכים מושבים העשויים להיות זולים ולפיכך קודמים לניצול מי הים.

ג. אי הוודאות הקיימת כיום ביחס להצלחה הצפויה בניצול המים החדשים האחרים הנ"ל והתלות הרבה שיש לענין מי הים המותפלים בהצלחה כזאת - מחייבת כי לפני שיקבעו דברים לגבי מי הים - יקבעו דברים לגבי המים האחרים הנ"ל. דבר זה נוגע הן לפעולות מחקר ותכנון והן לקביעת מדיניות.

ד. תחזיות ההספקה בסוף המאה הנראות כיום סבירות מאחרות, מצביעות על הפרטים הבאים ביחס למי ים מותפלים:

1. המים המותפלים יהיו דרושים בכמות הגדולה ביותר באזור הנגב (שרטוט 8) ולאחר זאת - באזור - הדרום. בשני אזורים אלה תדרש כמות של מאות מיליוני מ"ק.

2. ערי החוף באזור גוש דן יצרכו בסוף המאה כמות מים של למעלה מ-400 מיליוני מ"ק. רוב המים האלה ייובאו לאזור מחוצה לו. ייבוא זה יבוא לא רק מהצפון - כמו היום - אלא בעיקר מהדרום כשהמקור הדרומי יהיה מי ים מותפלים.

3. בהתאם לנ"ל יהיה צורך להקים שני מפעלים גדולים נפרדים למים מותפלים. האחד הגדול יותר, בנגב (רצועת עזה) והשני בדרום - סמוך ככל האפשר לגוש דן במגמה שיספק את כל או רוב מימיו לכיוון ערי גוש דן.

רשימה ביבליאוגרפית

1. "תכנית לחלוקה גיאוגרפית של אוכלוסיה בת 4 מיליון" ע"י אגף התכנון, משרד הפנים בתיאום עם הרשות לתכנון כלכלי, אפריל 1967.

2. "תכנית החומש לפיתוח החקלאות", המרכז לתכנון ופיתוח חקלאי והתיישבותי, אוגוסט 1966.

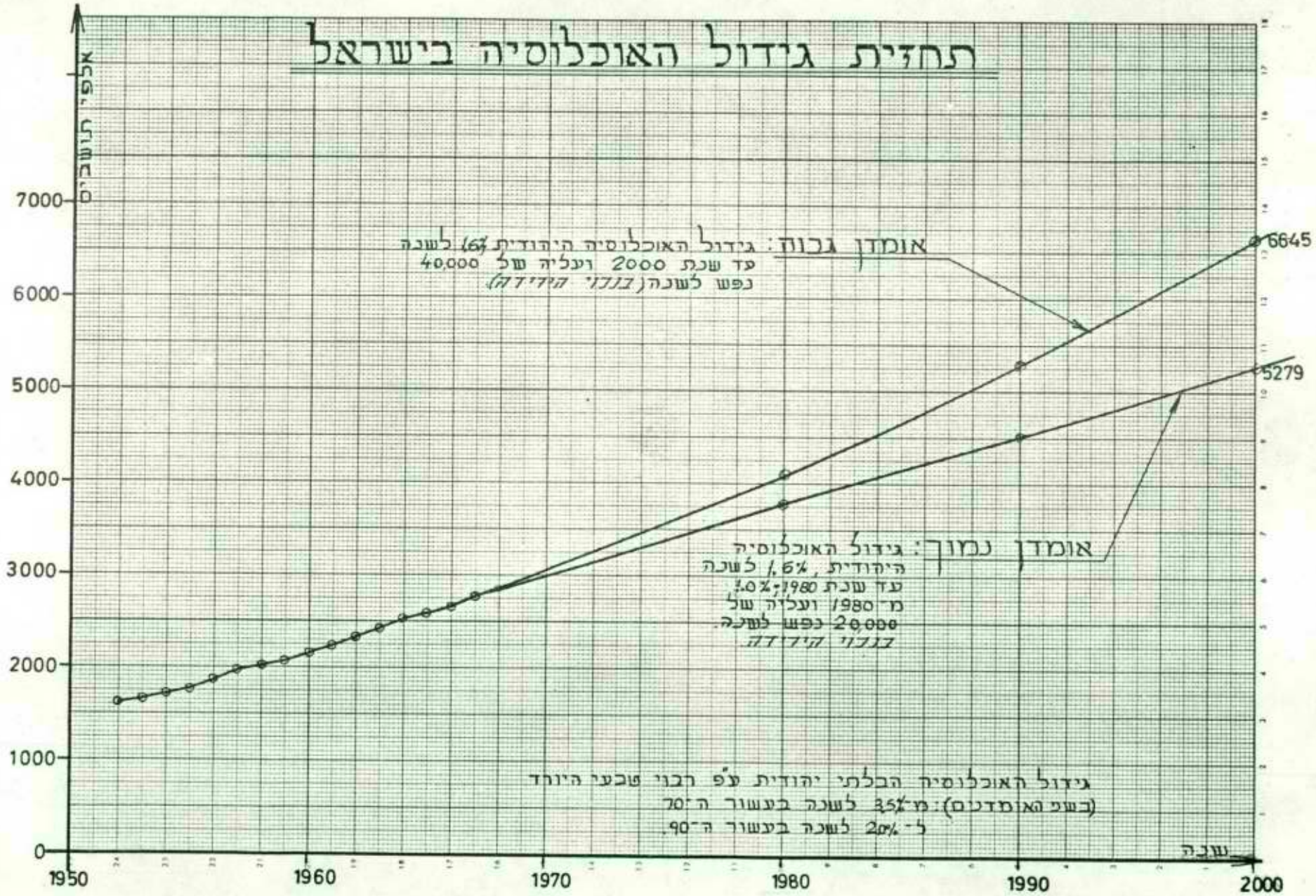
3. תכנית לפיתוח המים בישראל בשנים 1965 - 1980, תה"ל, דצמבר 1964.

4. "ניתוח סטטיסטי של תוצאות ניסוי הגברת המטר בעונות 1961 - 1967", פרופ' ראובן גבריאל, האוניברסיטה בירושלים ושח"ם, "מקורות".

5. "סקר ניצול שפכים 1967, המח' למים בחקלאות ולביוב, נציבות המים, משרד החקלאות.

שרטוט מס. 1


נתוני רבוי טבעי בישראל ובמדינות אחרות
לילדים לשנה
לא יהודים בישראל
יהודים בישראל
קנדה
ארה"ב
אוסטרליה
צרפת
אנגליה
שנה
5.0
4.8
4.6
4.4
4.2
4.0
3.8
3.6
3.4
3.2
3.0
2.8
2.6
2.4
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
1950 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68


תחזית גידול האוכלוסיה בישראל
אלפי תושבים
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
1950
1960
1970
1980
1990
2000
שנה
אומדן גבוה: גידול האוכלוסיה היהודית 1.6% לשנה
עד שנת 2000 ועליה של 40,000
נפש לשנה (בנכי הידידה)
אומדן נמוך: גידול האוכלוסיה
היהודית 1.6% לשנה
עד שנת 1980; 1.0%
מ־1980 ועליה של
20,000 נפש לשנה.
בנכי הידידה.
גידול האוכלוסיה הכלתי יהודית עפ"י רבוי טבעי היורד
(בשני האומדנים): מ־3.5% לשנה בעשור ה־70
ל־2.0% לשנה בעשור ה־90.
6645
5279

שרטוט מס. 2

שרטוט 3

פילוג האוכלוסיה באזורים

אוכלוסיה בישראל לפי מגזרים

3000
2500
2000
1500
1000
500
0

1950
1960
1970
1980
1990
2000

שנים

אומדן פילוג האוכלוסיה באזורים בסוף המאה

2810
2620
2290
2175

אומדן גבוה
אומדן נמוך

אומדנו משרד הפנים

1948
1948

נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה

1529
1541
1541
1024

דרום
עפון מערב

770
535
445
280

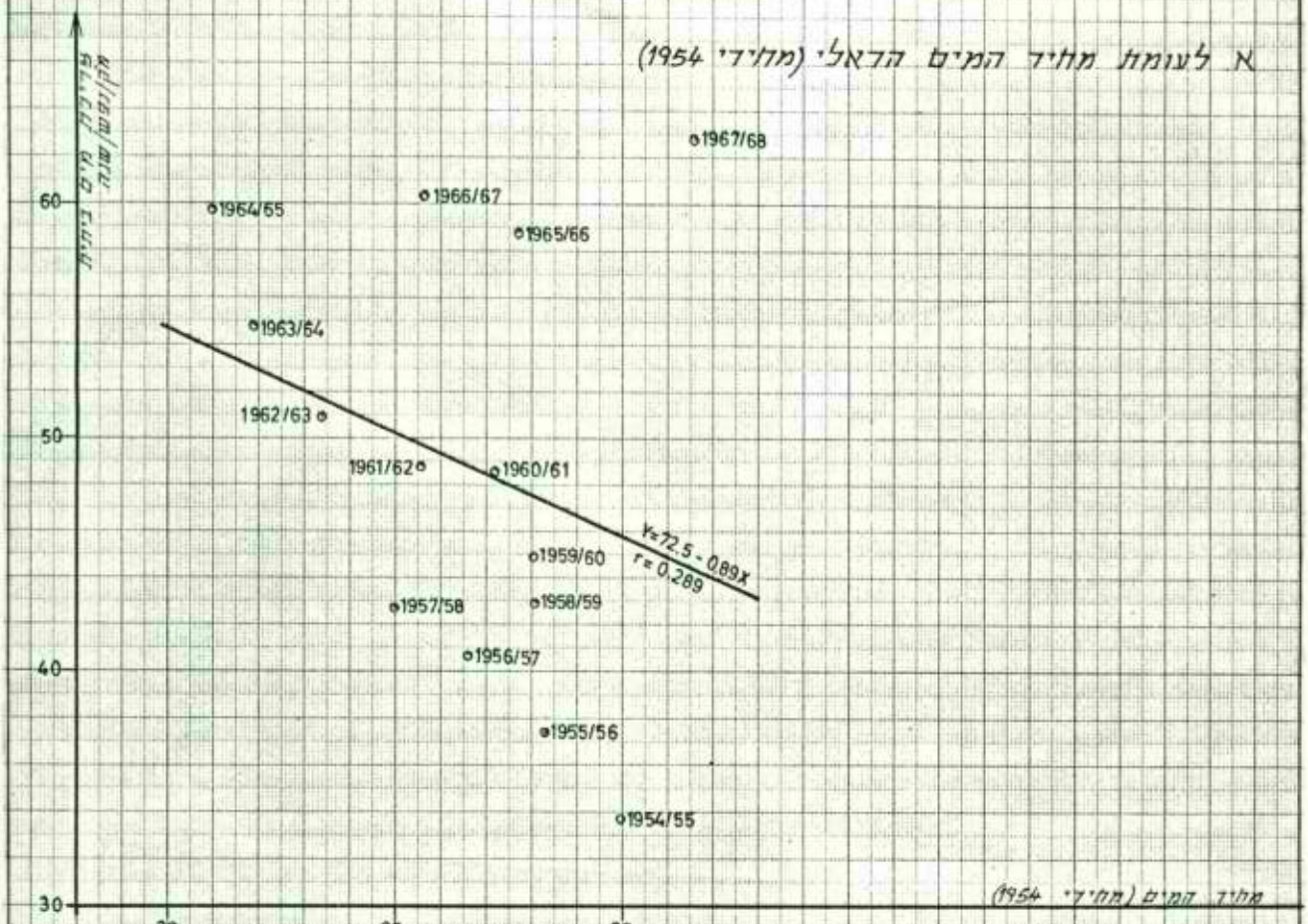
322
322
172
189
189
116

עפון מזרח
נגב (כולל עבדה)

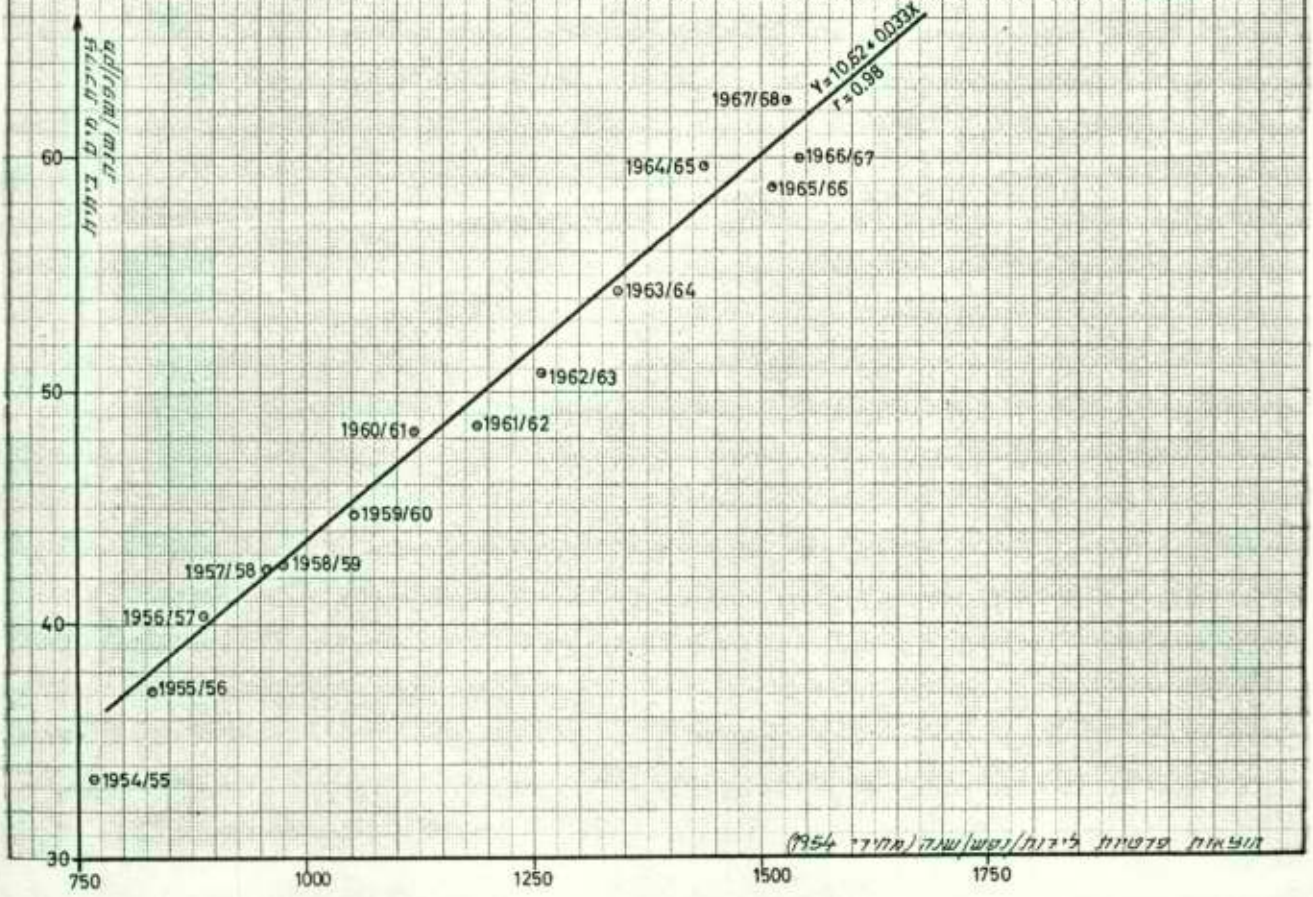
שרטוט 4

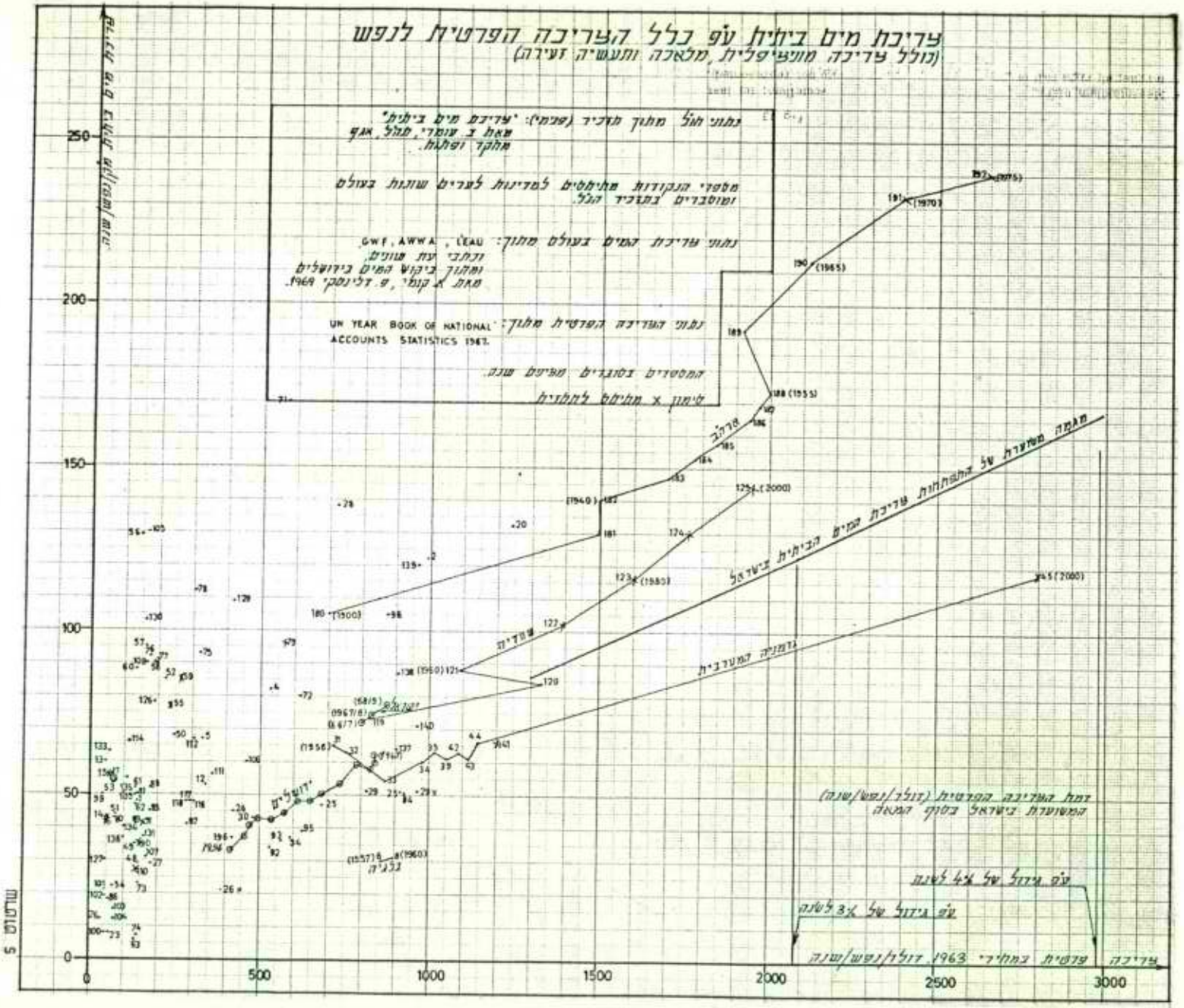
צריכת המים הביתית בירושלים

א. לעומת מחיר המים הראלי (מחירי 1954)

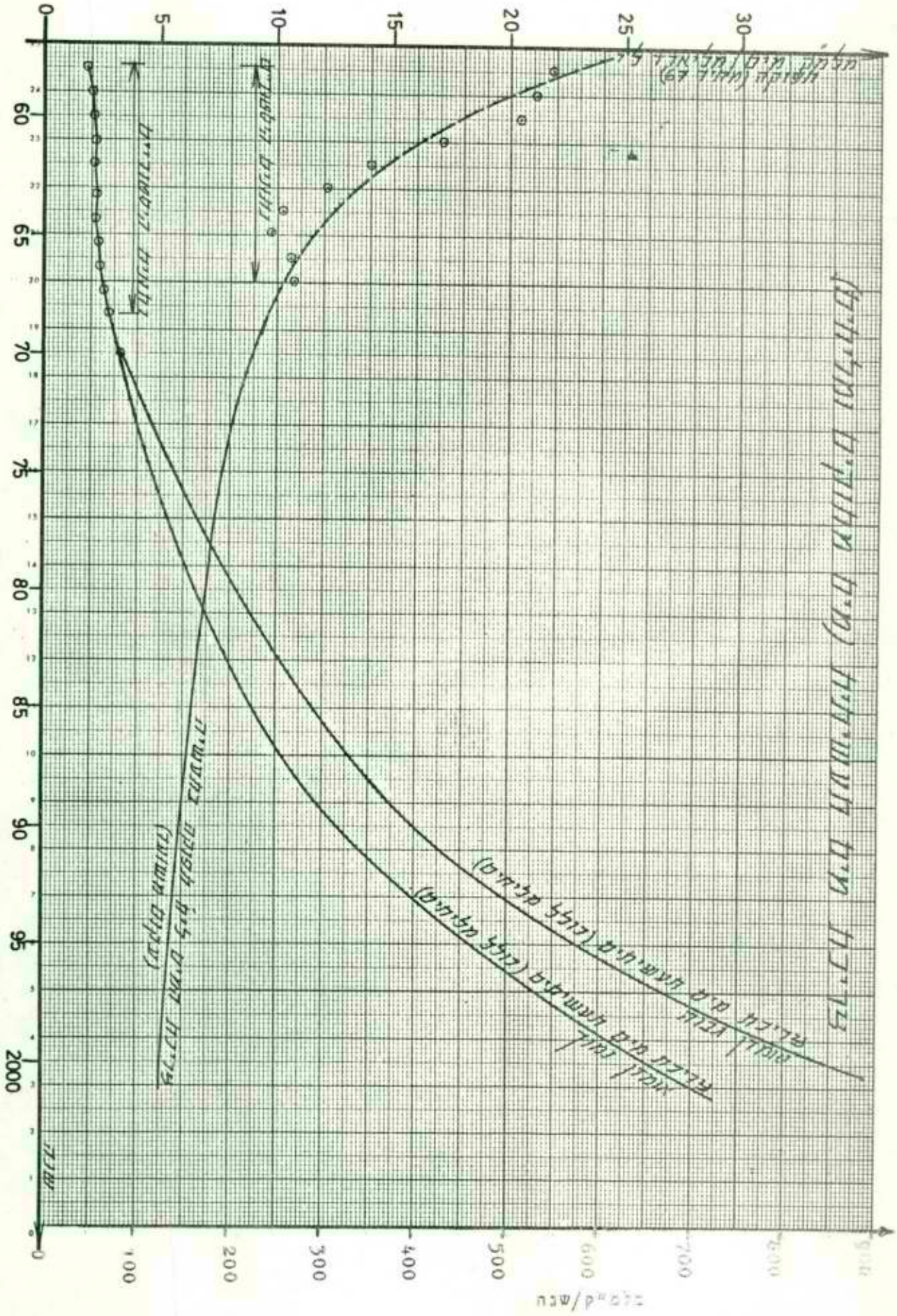


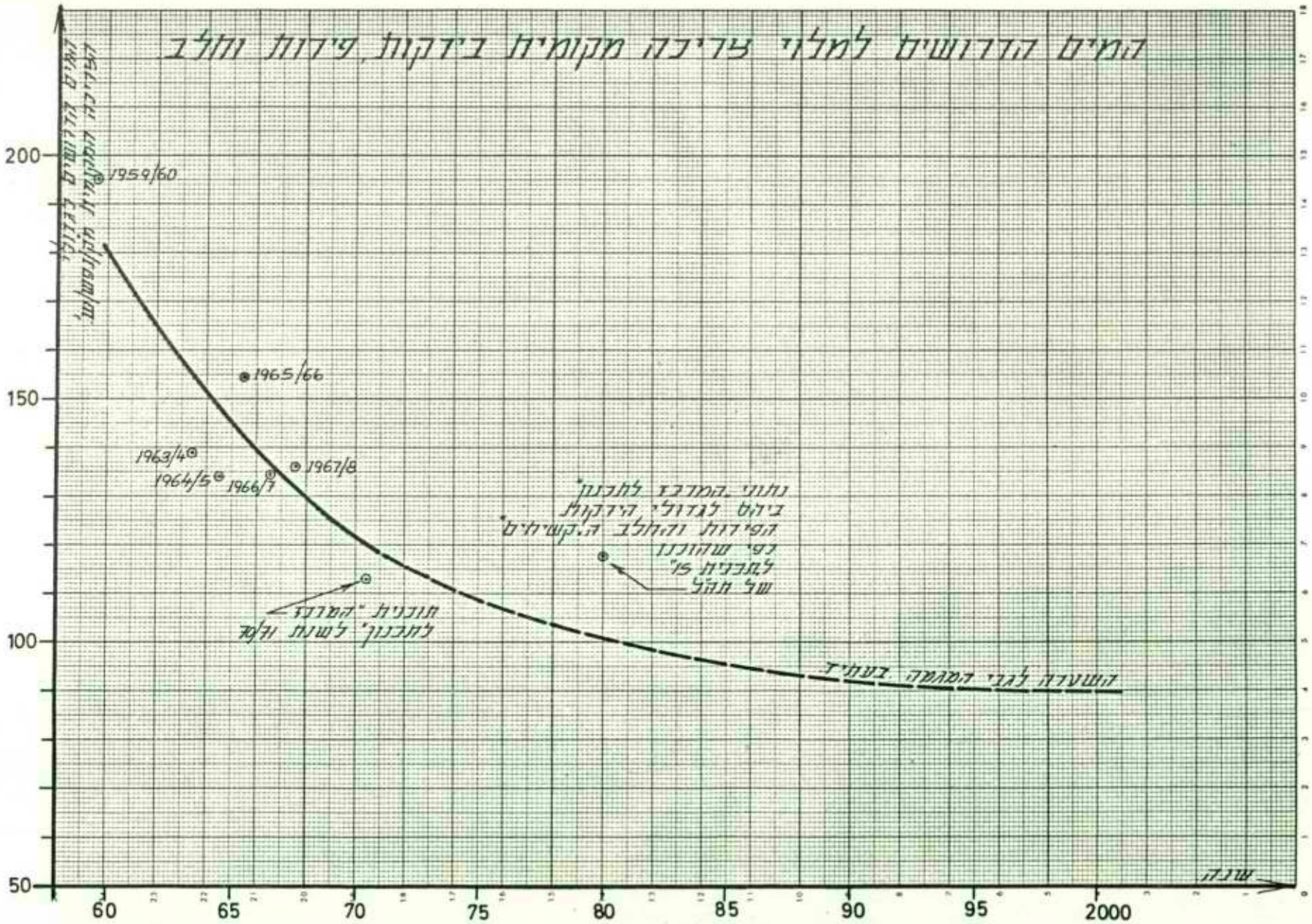
ב. לעומת ההוצאות הפרטיות לנפש לשנה




עריכת מים ביתית עפ כלל העריכה הפרטית לנפש
(כולל עריכה מוניציפלית, מלאכה ותעשיה זעירה)
נתוני מול מחוון מדיד (פרמי): "עריכת מים ביתית"
מאת ב. עומרי, מגל, אגף
מחקר ופתוח.
מספרי הנקודות מתיחסים למדינות לערים שונות בעולם
ומוסברים בתכיר הגל.
נתוני עריכת המים בעולם מתוך: GWF, AWWA, L'EAU
ומתבי עת שונים.
ומתוך ביקוש המים בירושלים
מאת א. קומי, ש. דלינסקי 1969.
נתוני העריכה הפרטית מתוך: UN YEAR BOOK OF NATIONAL ACCOUNTS STATISTICS 1963.
המספרים בסוגרים מציינים שנה.
לימון x מתיחס לתחזית
ערכי
שוודיה
ישראל
גרמניה המערבית
מגמה משערת של התפתחות עריכת המים הביתית בישראל
דמת העריכה הפרטית (דולר/נפש/שנה)
המשוערת בישראל בסוף המאה
עם גידול של 4% לשנה
עם גידול של 3% לשנה
פרטית בתחילת 1963. דולר/נפש/שנה
עריכה
שרטוט 5
0
50
100
150
200
250
500
1000
1500
2000
2500
3000

ภาพที่ 6


0
5
10
15
20
25
30
60
65
70
75
80
85
90
95
2000
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900


המים הדרושים למלוי צריכה מקומית בידקות, פירות וחלב
מאגרים גדולים מקומיים בגליל
הגדלת הכמות מקומית בגליל
1959/60
1965/66
1963/4
1964/5
1966/7
1967/8
נתוני המרכז לתכנון
ביחס לגדולי הידקות
הפירות והחלב הנקשרים
לפי שהוכנו
לתביעת צ"
של תהל
תוכנית "המרכז
לתכנון" לשנת 1970
השערה לגבי המגמה בעתיד
שנה
200
150
100
50
60
65
70
75
80
85
90
95
2000

שרטוט 7

שרטוט 8א

העברות מים בין האזורים

פוטנציאל המים

- פוטנציאל טבעי בסיסי כולל מליחים : 1529 מלמ"ק/ש'
- שפכים מושבים - ניצול מועט (12%) מהצריכה העירונית (ביתית ותעשיתית)
- גשם מלאכותי מועט (10%) מהפוטנציאל הבסיסי הטבעי)

צריכה

- צריכה כללית אומדן א : 2563 מלמ"ק/שנה
- צריכה ביתית : 100 מ"ק/נפש/שנה (אוכלוסיה 5.28 מליון).
- צריכה תעשיתית נמוכה.

אזור	צריכה (מלמ"ק/ש')	הספקה (מלמ"ק/ש')			העברה (מלמ"ק/ש')
		כל"א	התפלה	סה"כ	
עפון מזרח	404	725	0	725	
עפון מערב	930	598	11	609	321
דרום	894	370	524	894	0
נגב וערבה	335	130	205	335	0
סה"כ	2563	1823	740	2563	

העברות מים בין האזורים

פוטנציאל המים

פוטנציאל טבעי בסיסי (כולל מליחים): 1529 מלמ"ק/ש'

שפכים מושבים-ניצול מועט (12%) מהצריכה העירונית (ביתית ותעשיתית)

גשם מלאכותי רב (25% מהפוטנציאל הטבעי הבסיסי)

צריכה

צריכה כללית אומדן ב': 2829 מלמ"ק/שנה

צריכה ביתית: 100 מ"ק/נפש/שנה (אוכלוסיה 6.65 מליון)

צריכה תעשיתית נמוכה

אזור	צריכה (מלמ"ק/ש)	הספקה (מלמ"ק/ש)			העברה (מלמ"ק/ש)
		ללא התפלה	התפלה	סה"כ	
צפון מזרח	464	825	0	825	361
צפון מערב	1004	677	0	677	34
דרום	975	418	523	941	0
נגב וערבה	386	150	236	386	
סה"כ	2829	2070	759	2829	

העברות מים בין האזורים

פוטנציאל המים

—פוטנציאל טבעי בסיסי
נולל מליחים: 1529 מלמ"ק/ש'

—שפכים מושבים – ניצול רב (50%)
מהצריכה העירונית (ביתית ותעשיתית).

—גשם מלאכותי מועט (10%
מהפוטנציאל הטבעי הבסיסי).

צריכה:

—צריכה כללית אומדן ג: 2923 מלמ"ק/ש'

—צריכה ביתית: 100 מ"ק/נפש/ש' (אוכלוסיה 528 מליון).

—צריכה תעשיתית גבוהה.

אזור	צריכה (מלמ"ק/ש')	הספקה (מלמ"ק/ש')			העברה (מלמ"ק/ש')
		ללא התפלה	התפלה	סה"כ	
עפון מזרח	461	788	0	788	
עפון מערב	1073	816	0	816	327
דרום	1029	602	357	959	70
נגב וערבה	360	165	195	360	0
סה"כ	2923	2371	552	2923	

שרטוט 8ד

העברות מים בין האזורים

פוטנציאל המים:

- פוטנציאל טבעי בסיסי (כולל מליחים): 1529 מלמ"ק/ש'
- שפכים מושבים-ניצול רב (50%) מהצריכה העירונית (ביתית ותעשיתית)
- גשם מלאכותי רב (25% מהפוטנציאל הטבעי הבסיסי).

צריכה:

- צריכה כללית אומדן ל': 3194 מלמ"ק/שנה
- צריכה ביתית: 100 מ"ק/נפש/שנה (אוכלוסיה 665 מליון)
- צריכה תעשיתית גבוהה.

אזור	צריכה (מלמ"ק/ש')	הטפקה (מלמ"ק/ש')			העברה (מלמ"ק/ש')
		ללא התפלה	התפלה	סה"כ	
עפון מזרח	528	897	0	897	
עפון מערב	1143	912	0	912	369
דרום	1109	669	302	971	138
נגב וערבה	414	191	223	414	0
סה"כ	3194	2669	525	3194	

תה"ל - תכנון המים לישראל בע"מ
תל"אביב, רח' אבן גבירול 54 ת.ד. 11170 מל. 263263
מלקס מס. 033654