

Hydrological Changes in the Winter of 1991/92

Arie Ben Zvi and Dror Gilad

Editors

Ministry of Agriculture  
Water Commission  
Hydrological Service

## Table of Contents

Chapter 1: Climatological Characteristics of the Rainy Season 1991/2

Chapter 2: Absorption and Volume in the Major Rivers and Reservoirs

Chapter 3: Absorption and Volume in Secondary and Small Rivers and Reservoirs

Chapter 4: The Flow of Springs

Chapter 5: 1991/2 Winter in the Kinnereth: A Interim Report

Chapter 6: The Evaluation of Changes in the Kinnereth

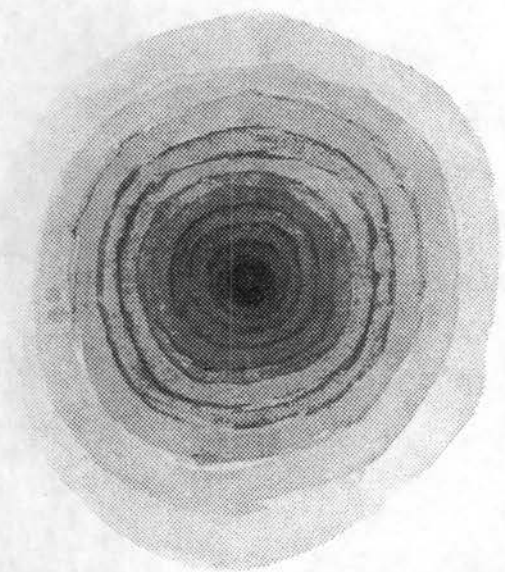
Chapter 7: The Replenishment of Aquifers in the 1991/2 Winter

Chapter 8: Protection Against Flooding: Problems of Criteria for Planning From the Perspective of Winter 1991/2

# האירועים ההידרולוגיים בחורף תשנ"ב (1991/92)

קובץ לזכרה של עפרה כהן

*Hydrological Events Winter 1991-92*  
A compilation in memory of Ofra Cohen



editors: Arqeh Ben Zvi and Dror Gilad

עורכים: אריה בן-צבי ודרור גלעד

זשרד החקלאות - נציבות המים, השירות ההידרולוגי

Ministry of Agriculture, - Water Commission, The Hydrological Service

## פתח דבר

חוברת זו יוצאת לאור במלאת שנותיים לפטירתה בטרם עת של חברתנו עפרה כהן, שעבדה אתנו קרוב לעשרים שנה.

עיקר עבודתה המקצועית בשירות ההידרולוגי יוחד לנושא הזרימות השיטפוניות. לזכותה נוקפת האפשרות להעריך ספיקות ונפחים של גאוויות בנגב. לימים יישמה שיטות להערכת ההסתברות של הופעת אירועים שיטפוניים נדירים בכל הארץ. למן שנת 1985 ייחדה עפרה זמן ומרץ לקידום הפעילות של האגודה ההידרולוגית הישראלית, תחילה בהתנדבות ואחר־כך בתפקיד מזכירת האגודה. בשנות השמונים הכינה את הסיכומים ההידרולוגיים השנתיים.

החוברת מתארת את התופעות ההידרולוגיות הנדירות שהתחוללו בחורף תשנ"ב (1991/92), את רקען המטאורולוגי ואת תוצאותיהן בכנרת. הפרק האחרון מוקדש ללקחים שיש להפיק בעניין ההתגוננות מפני שיטפונות. אירועי השנה הזו היו שונים שינוי ניכר מהאירועים שנצפו בעשרות השנים הקודמות, ועל כן ראינו לנכון לדווח עליהם במיוחד. בכמה מאמרים בחוברת נכלל חומר הדומה לחומר שבסיכום ההידרולוגי של חורף 1991/92, ואולם כאן הדיווח מקיף יותר.

כאמור, חלק ניכר מעיסוקה של עפרה בשירות היה נושא השיטפונות ותקופות חזרתם. חסרונה ניכר ביתר שאת בחורף האחרון, שהיה חריג בשיטפונותיו. חוברת זו, היוצאת לאור בסיוע המשפחה, מוקדשת לזכרה ולפועלה.

ד"ר אריה בן־צבי  
מנהל השירות ההידרולוגי  
ועורך החוברת

קיץ 1992

## תוכן העניינים

- 13 מאפיינים אקלימיים של עונת הגשמים תשנ"ב (1991/92)  
שרה רובין, צפורה גת, זהרה גלבע
- 25 ספיקות ונפחים בתחומי ההתנקזות הראשיים  
אריה בן-צבי
- 32 ספיקות שיא ונפחי נגר בתחומי התנקזות בינוניים וקטנים  
דמי גרתי
- 38 שפיעת מעיינות  
דרור גלעד
- 49 חורף 1991/92 בכנרת: סיכום ביניים  
שמואל אסולין, מיכאל שאו
- 56 הערכת שינויים בכנרת – חורף 1992  
יואל גייפמן
- 61 התמלאות האקוויפרים בחורף 1991/92  
שלום גולדברג
- 66 הגנה מפני שיטפונות – הבעייתיות בקביעת קריטריונים לתכנון  
בפרספקטיבה של חורף 1991/92 יוסף דלין

# מאפיינים אקלימיים של עונת הגשמים תשנ"ב (1991/92)

שרה רובין, צפורה גת, זהרה גלבוע (השירות המטאורולוגי, בית דגן)

מאמר זה נכתב בעקבות דוחות אגרומטאורולוגיים מס' 1, 2, 3, חטיבת שירותי האקלים, בית דגן, 1992, שהוכנו לדרישת משרדי האוצר והחקלאות בעניין הכרזת אסון טבע.

## א. סקירה כללית

בחורף 1991/92, בתקופה של כ־100 ימים מסוף נובמבר 1991 עד סוף פברואר 1992, היה מזג האוויר – שכל אחד ממרכיביו בנפרד, ועוד יותר מכך שילובם יחד – תופעה חריגה מאוד בישראל. בבסיס היומיומי היו ימי גשם רבים מאוד וירדו כמויות גשם רבות מאוד בתקופה כולה (למן יום אחד, דרך שבוע, שבועיים, חודש, וכו'), והעננות היתה רבה ובאה לידי ביטוי בגירעון קיצוני בזהירת השמש בתקופה כולה, ובמיוחד בפרקים הגשומים.

הטמפרטורה המקסימלית היתה, בממוצע, נמוכה הרבה יותר מהטמפרטורה הרב־שנתית בתקופה כולה. טמפרטורת הלילה הממוצעת היתה אף היא נמוכה מהטמפרטורה הרב־שנתית. באזורים רבים שררו טמפרטורות של צינה, עד לערכים שליליים, לילות רבים מאוד.

בחלק ניכר מהאזורים היה ערך טמפרטורת המינימום הנמוך ביותר שנרשם בעונה הערך הנמוך ביותר שנרשם בתקופת המדידות, או ערך שיש לצפות לו אחת לעשרות שנים. ברוב האזורים היה מספרם של הלילות הקרים ושל השעות הקרות יוצא דופן. הטמפרטורות הנמוכות ביותר נרשמו, כמובן, בפרקי השלג והקרה – ארבעה פרקים כאלה, שכל אחד מהם נמשך בין יום אחד לארבעה ימים, נרשמו במהלך ינואר ופברואר 1992. במהלך התקופה נרשמה בקביעות לחות יחסית גבוהה הרבה יותר מהרגיל שבאה לידי ביטוי בתקופה כולה, בתוספת של 5%-20% לנורמה. בפרקי זמן מסוימים היה הערך גדול יותר.

על בסיס מזג אוויר גשום, מעונן, קר ולח כל־כך נוספו גלים חריגים של שלג, שבלט בהיקפו הגיאוגרפי, בעוביו ובמשכו, ברד, שבאזורים מסוימים היה קיצוני בהיקפו, בעוביו ובמשך ירידתו, ואירועים רבים של רוחות סוערות, כולל אירוע בולט של רוח קדים (שרקיה) בחודש מרס.

## כמות שנתית

## ב. משקעים

משטר הגשמים בעונת תשנ"ב היה חריג, כאמור. ייחודה של העונה בא לידי ביטוי הן בכמות הגשם העונתית, ובפרקי זמן שונים, הן במספר ימי הגשם. במרכז הארץ עלו כמויות הגשם על הממוצע בעונה כולה כבר בסוף דצמבר – תחילת ינואר, ובצפון הארץ – בסוף ינואר. באזורים שונים במרכז הארץ עלתה הכמות עד סוף ינואר על 1,000 מ"מ, ועל 1,300 מ"מ בסוף פברואר – כמות נדירה באזור זה, שהממוצע בו עד סוף ינואר הוא 350-450 מ"מ, ועד סוף פברואר – 450-550 מ"מ. הכמות העונתית במרכז הארץ הגיעה לכ־200%-220 מהכמות הרב־שנתית (ראה תרשים מס' 1) ובאזורים אחדים ל־240% ויותר. בצפון הארץ ירדו 150%-180% ובהר הנגב – 120%-140% מהממוצע.

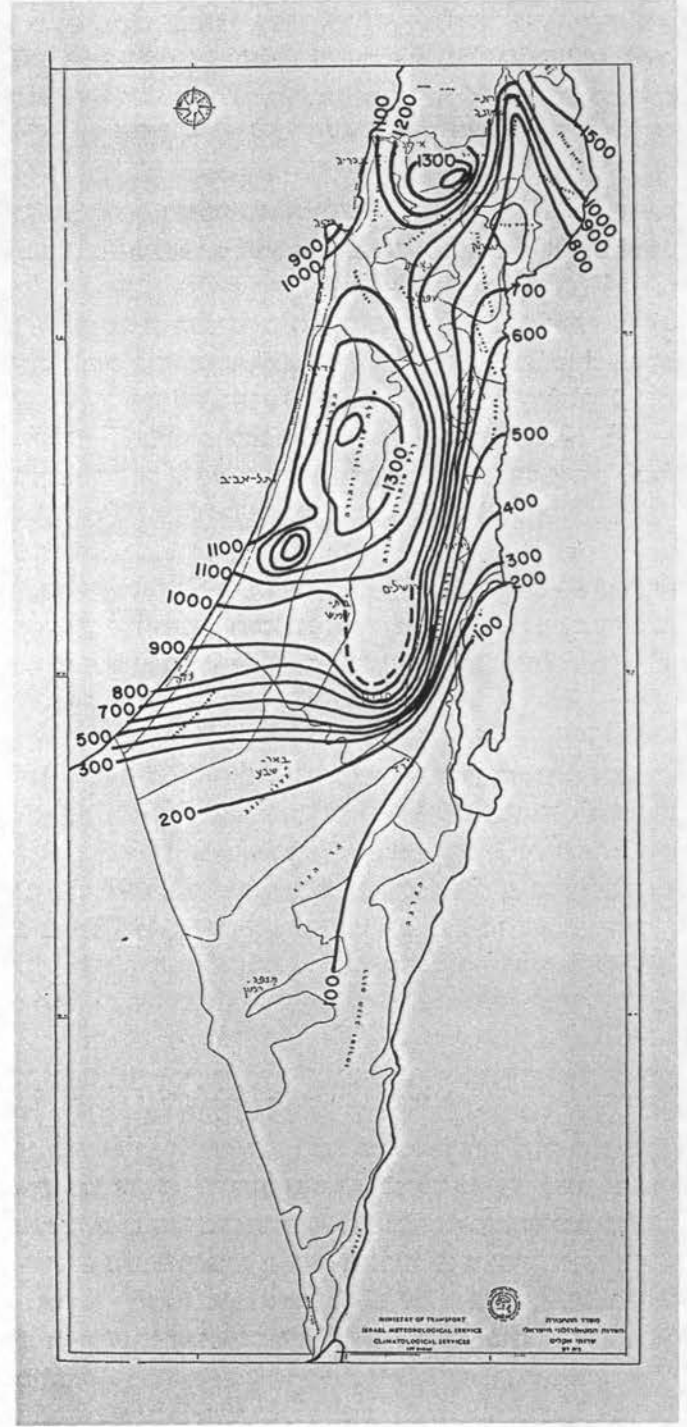
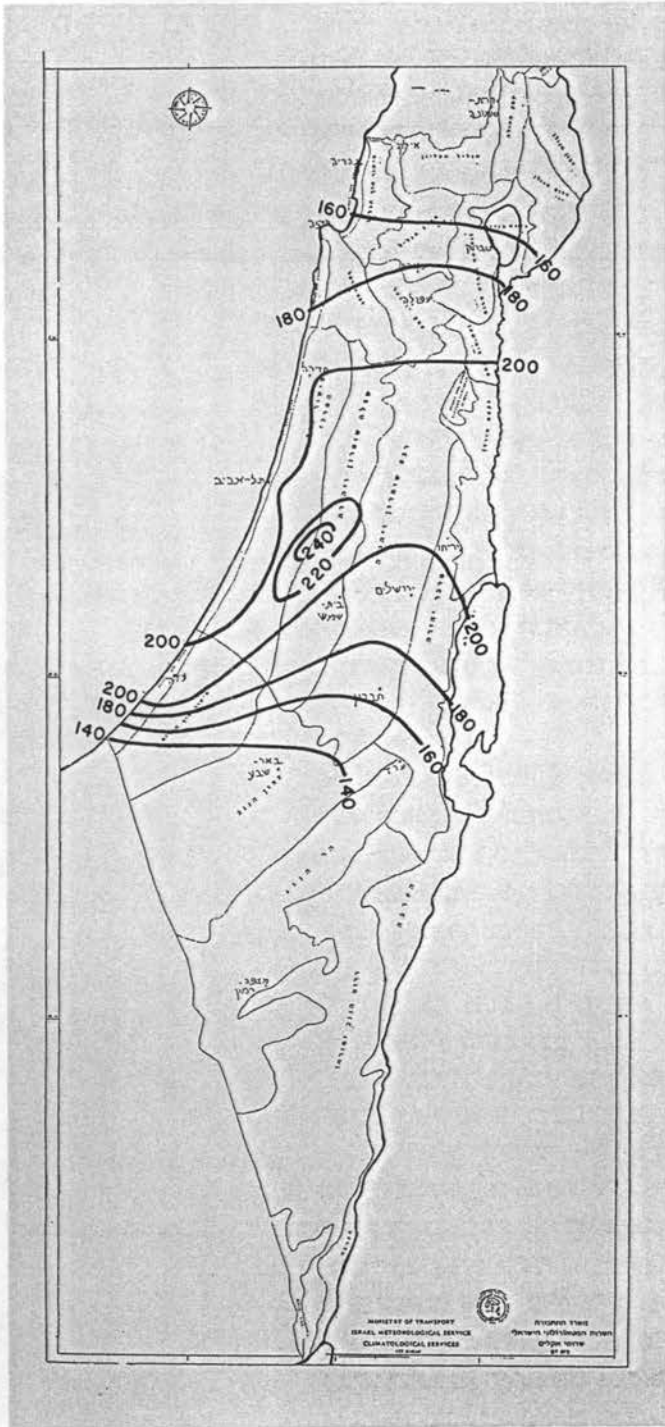
במרכז הארץ, מאזור חיפה – בקעת כנרת ועד איזור משמר הנגב, לא נמדדה מאז תחילת המדידות (כ־40-70 שנה) כמות שנתית גדולה יותר מן הכמות שנרשמה השנה (למשל, חפץ חיים – 1,212 מ"מ, חבצלת – 1,540 מ"מ). בירושלים, אזור בעל ותק של 140 שנה במדידות גשם, נמדדה כמות של 1,126 מ"מ – הכמות הגדולה ביותר מאז תחילת המדידות, 1850/51. בצפון הארץ היתה שנת 1991/92 בחלק מהאזורים השנה הגשומה ביותר, ובאזורים אחרים היתה רק בשנת 1968/69 כמות שנתית גדולה יותר ב־40-50 השנים האחרונות בהר כנען ירדו השנה 1,082 מ"מ, לעומת 1,168 מ"מ ב־1968/69; באילון – 1,262 מ"מ, לעומת 1,341 מ"מ ב־1968/69. בדרום הארץ היתה שנת 1991/92 שנת השיא במקומות מספר (שדה בוקר), ובמקומות אחרים (באר שבע, רביבים) היו שנים גשומות ממנה.

The amount of water in the 1991/92 season

תרשים מס' 1: כמות הגשם בעונת 1991/92 (מ"מ)

Amount of Water in 1991/92 Season - in % of the yearly average  
כמות הגשם בעונת 1991/92 ב-% מהממוצע הרב-שנתי

Amount of Water in 1991/92 season  
כמות הגשם בעונת 1991/92 (מ"מ)



## מהלך שנתי

כל חודשי העונה היו גשומים מהרגיל במידה רבה, חוץ מאוקטובר ומרס-אפריל. כמויות הגשם של חודש נובמבר 1991 עלו במידה רבה על הממוצע. ברוב האזורים ירדו כמויות של שניים ויותר מהממוצע (עין החורש - 222 מ"מ, שהם 271% מהממוצע; חפץ חיים - 181 מ"מ, 242%; טירת צבי - 71 מ"מ, 203%). רק באזור הנגב ירדו כמויות גשם קטנות מהרגיל בחודש זה. באזורים שונים של הארץ נמדדו כמויות יממתיות גדולות מאוד (112 מ"מ במצפה חרשים ב-3.11.91, 118 מ"מ בעזה ב-30.11.91). ב-3.11.91 לווה הגשם במקומות מספר בשרון בברד שקוטרו היה כ-4 ס"מ. חודש דצמבר 1991 היה אחד מחודשי דצמבר הגשומים ביותר שידעה הארץ בעשרות השנים האחרונות. בצפון הארץ ירדו כמויות של פי שניים מהממוצע בחודש זה (הר כנען - 346 מ"מ, 238%; כפר בלום - 231 מ"מ, 215%). במרכז מקו רעננה-שכם ועד עזה-חברון, ירדו כמויות של פי 3-4 מהממוצע (קריית אונו - 506 מ"מ, 342%; נגבה - 413 מ"מ, 376%). באזור הנגב היו הכמויות מעט גדולות מהממוצע (באר שבע - 50 מ"מ, 116%). באזורים מספר, הכמות שירדה בדצמבר השנה היא הגדולה ביותר מאז תחילת המדידות באזור. בחפץ חיים ירדו 493 מ"מ - הכמות הרבה ביותר מתחילת המדידות, ב-1946; בעזה 358 מ"מ - הכמות הרבה ביותר מתחילת המדידות, ב-1967; ובירושלים 393 מ"מ - הכמות הרבה ביותר מאז 1850. בתל אביב ירדו 408 מ"מ, הכמות השנייה בגודלה מאז 1949 (שאו ירדו 506 מ"מ); ובהר כנען 346 מ"מ - הכמות השנייה בגודלה מאז 1939.

גם חודש ינואר 1992 היה גשום מאוד. ברוב האזורים עלתה כמות הגשם על הכמות הממוצעת ב-30%-50%. באזורים אחדים בעמק הירדן ובמישור החוף המרכזי היתה כמות הגשם כפולה מהממוצע בחודש זה (טירת צבי - 143 מ"מ, 230%; קריית עקרון - 254 מ"מ, 191%). חודש פברואר, בדומה לחודשים הקודמים, היה גם הוא גשום מאוד. כמות הגשם היתה יותר מפי שלושה מהממוצע באזור שבין חיפה-דגניה בצפון ועד חברון-מגן בדרום (ירושלים, עטרות - 390 מ"מ, 345%). בגליל ובנגב היתה הכמות קרובה לפי שניים וחצי מהממוצע. המקום הגשום ביותר היה שקע הירדן - פי ארבעה מהממוצע (טירת צבי - 196 מ"מ, 436%). כמויות הגשם במרס היו קטנות מהממוצע בכל אזורי הארץ. ברוב האזורים נרשמה מחצית מהכמות הממוצעת ואף פחות. כמויות הגשם הגדולות ביותר נרשמו בהרי ירושלים, בחברון ובאזור באר שבע - 70%-80% מהממוצע. הגשם ירד בפרקי זמן קצרים - יום אחד עד 4 ימים. בחודש אפריל ירדו כמויות גשם זעירות בלבד ב-2-3 ימים, או שכלל לא ירד גשם. בחודש מאי היו 3-5 ימי גשם במחצית הראשונה. כמויות הגשם הגדולות ביותר, 15-30 מ"מ, ירדו באזור ההרים (מירון - 33 מ"מ; חברון - 15 מ"מ).

## פרקי גשם וכמויות גשם יממתיות

מסוף נובמבר עד פברואר ירד הגשם בפרקי זמן ממושכים ובין פרק זמן אחד למשנהו היו הפסקות קצרות. בלטו במיוחד ארבעה פרקי גשם (ראה תרשים מס' 2):

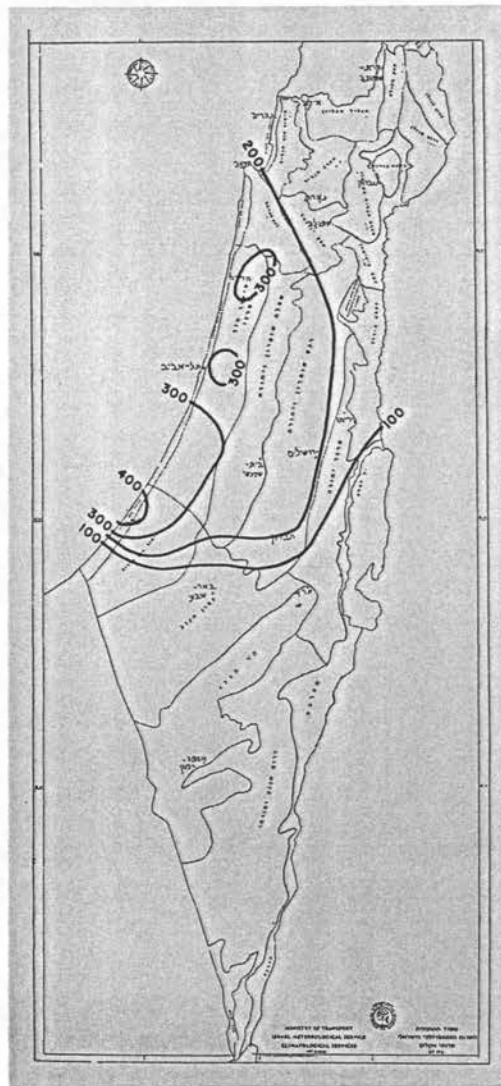
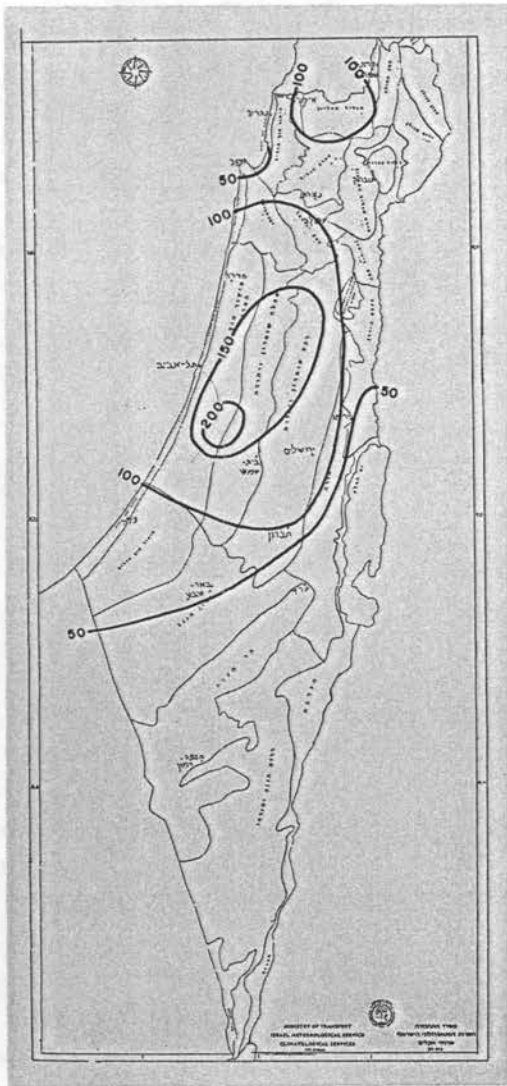
1. 27 בנובמבר - 3 בדצמבר, פרק זמן שבו נרשמו כמויות הגשם הגדולות ביותר לאורך מישור החוף. בתחנות רבות באזור נמדדו כמויות גשם נדירות בגודלן ב-7 יממות רצופות.
2. 30 בדצמבר - 2 בינואר, פרק זמן שבו שוב נרשמו כמויות הגשם הגדולות ביותר במרכז מישור החוף.
3. 30 בינואר - 13 בפברואר, פרק זמן ממושך שבו ירד גשם בצפון הארץ 15 ימים, מדי יום. כמויות הגשם הגדולות ביותר נרשמו באזור זה.
4. 27-23 בפברואר, פרק זמן שבו נרשמו כמויות הגשם הגדולות ביותר באזור המרכז.



The amount of water in the four main seasons (periods):  
**תרשים מס' 2: כמות הגשם בארבעת פרקיו המרכזיים (מ"מ)**

12/30/91 - 1/2/92 - The 2nd season  
 פרק הגשם 2: 2.1.92 - 30.12.91

1/27/91 - 12/3/91  
 The First season: 1/27/91 - 12/3/91  
 פרק הגשם 1: 3.12.91 - 27.1.91



חורף זה התאפיין גם בכמויות יממתיות גדולות. כמויות הגשם הגדולות ביותר ירדו במקומות שונים לאורך מישור החוף בדצמבר, בינואר ובפברואר. בעזה ירדו ב־1 בדצמבר 130 מ"מ; ברמת הכובש, ב־2 בדצמבר – 200 מ"מ; בגבעת ברנר, ב־1 בינואר – 125 מ"מ; ובגן שומרון, ב־24 בפברואר – 153 מ"מ. באזור הכרמל ומורדותיו, מאזור בית אורן ודרומה, עד אזור דליה, כולל חוף הכרמל באזור עין כרמל-פרדיס, ירדו ב־9 בדצמבר יותר מ־100 מ"מ (רמת השופט – 173 מ"מ; רמות מנשה – 135 מ"מ; כרם מהר"ל – 134 מ"מ). במרבית התחנות באזור זה היה אירוע הגשם חריג ובחלק מהתחנות לא נרשם אירוע דומה בכל תקופת המדידות – 40-50 שנה.

2/23/92 - 2/29/92

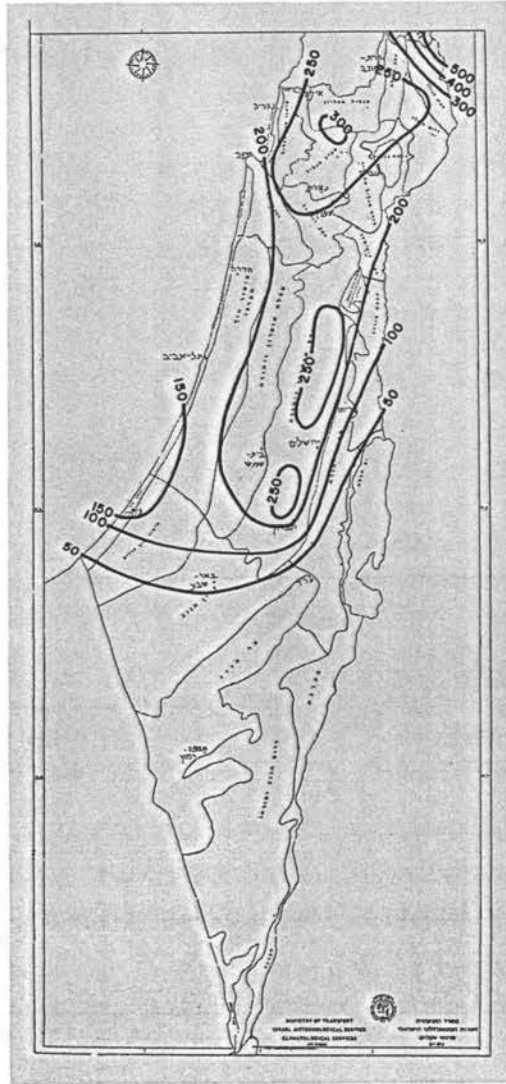
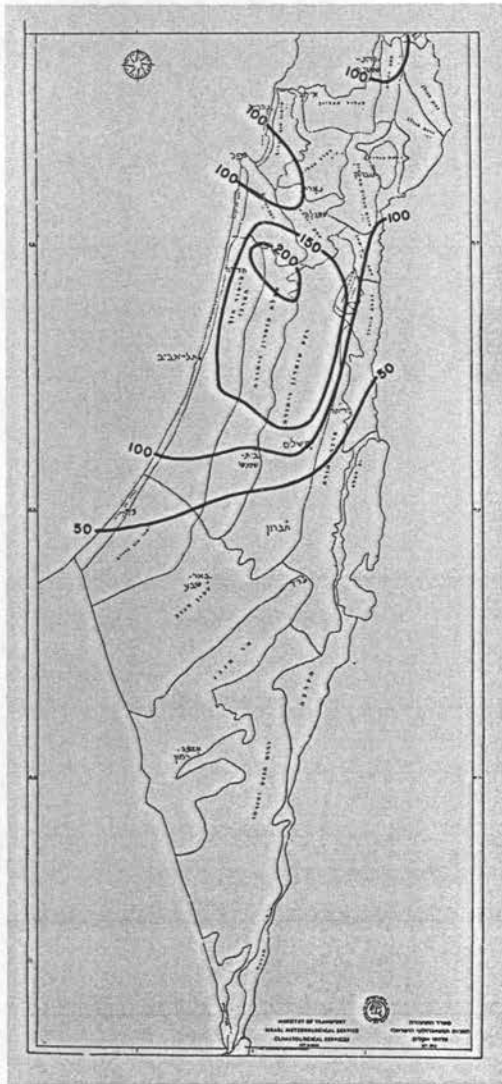
The 4<sup>th</sup> season

פרק הגשם 4: 29.2.92 - 23.2.92

1/20/92 - 2/13/92

The 3<sup>rd</sup> season

פרק הגשם 3: 13.2.92 - 30.1.92



### מספר ימי גשם

מספר ימי הגשם היה דומה לממוצע בחודשים אוקטובר ונובמבר וגדול מהממוצע במידה רבה מאוד בדצמבר, בינואר ובפברואר. בלט במיוחד מספרם הרב של ימי גשם שבהם ירדו מעל 10 מ"מ, 25 מ"מ ו-50 מ"מ (ראה טבלה מס' 1 ותרשים מס' 3). יש להדגיש כי מנובמבר 1991 עד פברואר 1992 נרשם ברוב אזורי הארץ שיא במספר ימי הגשם, להוציא האזור התחום בגבעת ברנר יריחו בצפון ובעזה-סדום בדרום, שבו היה מספרם של ימי הגשם גדול יותר בשנה אחת בלבד. לעומת זאת, מספר ימי הגשם במרס היה קטן מהממוצע. מספרם של ימי הגשם מעל סף של 0.1 מ"מ היה במרס 3-7 – 3-5 ימים פחות מהממוצע בחודש זה. נתון זה תורם כמובן להקטנת הסטייה של מספר ימי הגשם בנובמבר-פברואר מהממוצע בתקופה זו, כפי שעולה מטבלה מס' 1 ומתרשים מס' 3.

### שלג וברד

לאופי המיוחד של עונה זו יש להוסיף את האירועים החריגים של השלג, שבלט בהיקפו הגיאוגרפי, בעוביו ובמשכו. שלג ירד מספר רב של ימים: ב־130 שנות מדידת שלג בירושלים דווח רק על 3 שנים שבהם היה מספר הימים דומה; ב־50 שנות מדידה בהר כנען דווח רק על מקרה אחד דומה. וגם בהר הנגב היה אירוע זה נדיר. יש לציין כי בימים רבים התפשט השלג על פני אזורים נרחבים מאוד, גם באזורים שהשלג בהם נדיר למדי.

בחורף הנוכחי נרשמו שלושה פרקי שלג עיקריים: ב־1-3 בינואר 1992; ב־9-10 בפברואר 1992; ב־23-27 בפברואר 1992. בפרק הזמן הראשון והשלישי נרשמו עומקי שלג ניכרים בצפון ובמרכז, ואילו בפרק הזמן השני היו עומקי השלג ושטחי השתרעותו גדולים בעיקר בצפון הארץ. כיוון שגובה השלג מושפע במידה רבה מיחסי הגומלין שבין הרוח לבין הטופוגרפיה, העשויים לגרום לפרישה לא אחידה של השלג, ובגלל הקושי במדידת השלג, הנתונים המפורטים להלן הם הערכה כללית בלבד של גובה השלג הממוצע, ולא מדידה מדויקת.

בפרק הזמן הראשון החל השלג לרדת ב־1 בינואר 1992 בהרי הצפון והמרכז וב־2 בינואר התפשט לאזורים נרחבים בארץ, מהגולן עד הרי אילת. על ירידת שלג דווח גם מאזור הר הכרמל, מהגליל המערבי, מהשפלה הפנימית, מרגלי ההר, מצפון הנגב ומהר הנגב. בהר כנען (צפת), במערב הגליל העליון, בירושלים וסביבתה ובגוש עציון נערם השלג עד לגובה של כ־40 ס"מ. באזור בירנית וחרשים דווח על 25-20 ס"מ שלג, ובמרום הגליל – 75 ס"מ. בהר הנגב דווח על שלג בגובה 10-20 ס"מ. במורדות הרי הגליל והרי המרכז, בגליל התחתון, בשומרון, בעמק יזרעאל, באזור חיפה (הר הכרמל), בפנים מישור החוף ובשפלה דווח על שלג בגובה של סנטימטרים ספורים. בפרק הזמן השני היה, אירוע השלג השני היה כאמור, בעל עוצמה רבה בעיקר בצפון. השלג החל לרדת ב־9 בפברואר בצפון הארץ והמשיך לרדת גם ב־10 בפברואר והתפשט דרומה. שלג ירד לא רק באזורי ההרים (מהחרמון עד הרי אילת), אלא גם בצפון מישור החוף ומרכזו, במערב הגליל, בגליל התחתון, בעמק יזרעאל, בהר הכרמל, בשפלת החוף ובנגב. ברמת הגולן דווח על שלג בגובה 20-50 ס"מ במקומות הנמוכים (קצרין, אניעם), ועד לגובה 60-100 ס"מ במקומות הגבוהים. באל רום דווח אף על שלג בגובה 150 ס"מ. כאמור, יש לראות בנתונים אלה כאל הערכה גסה בלבד. בגליל דווח על שלג בגובה 15-30 ס"מ, בהר כנען (צפת) – עד 40 ס"מ, ובמרום הגליל – כ־80 ס"מ. דיווחים על שלג בגובה של סנטימטרים ספורים, עד 30, נמסרו גם בגליל התחתון, באצבע הגליל ובאזורים הגבוהים של הר הנגב. בהרי המרכז, במורדות הרי המרכז ובאזור חיפה-כרמל דווח על שלג בגובה של סנטימטרים ספורים. שלג בכמות מזערית ירד, כאמור, באזורים נוספים – צפון מישור החוף ומרכזו, הנגב ועוד.

The number of days of rain and their deviation from the average

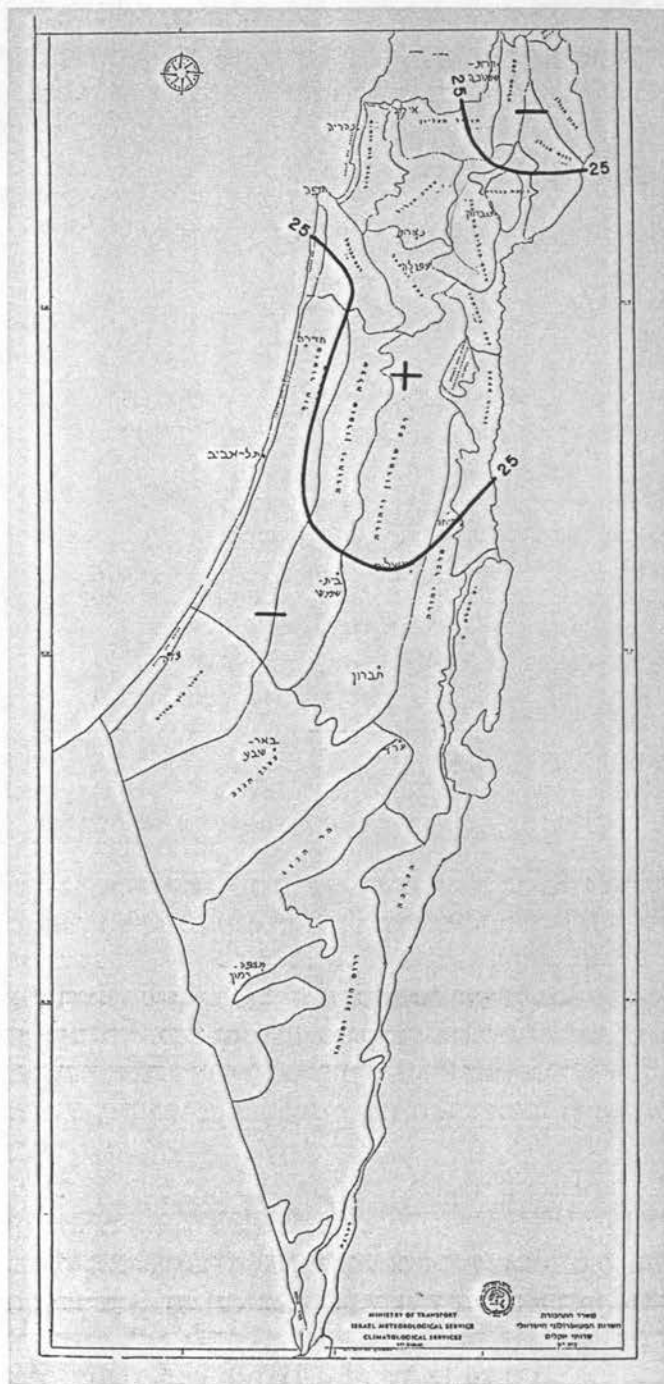
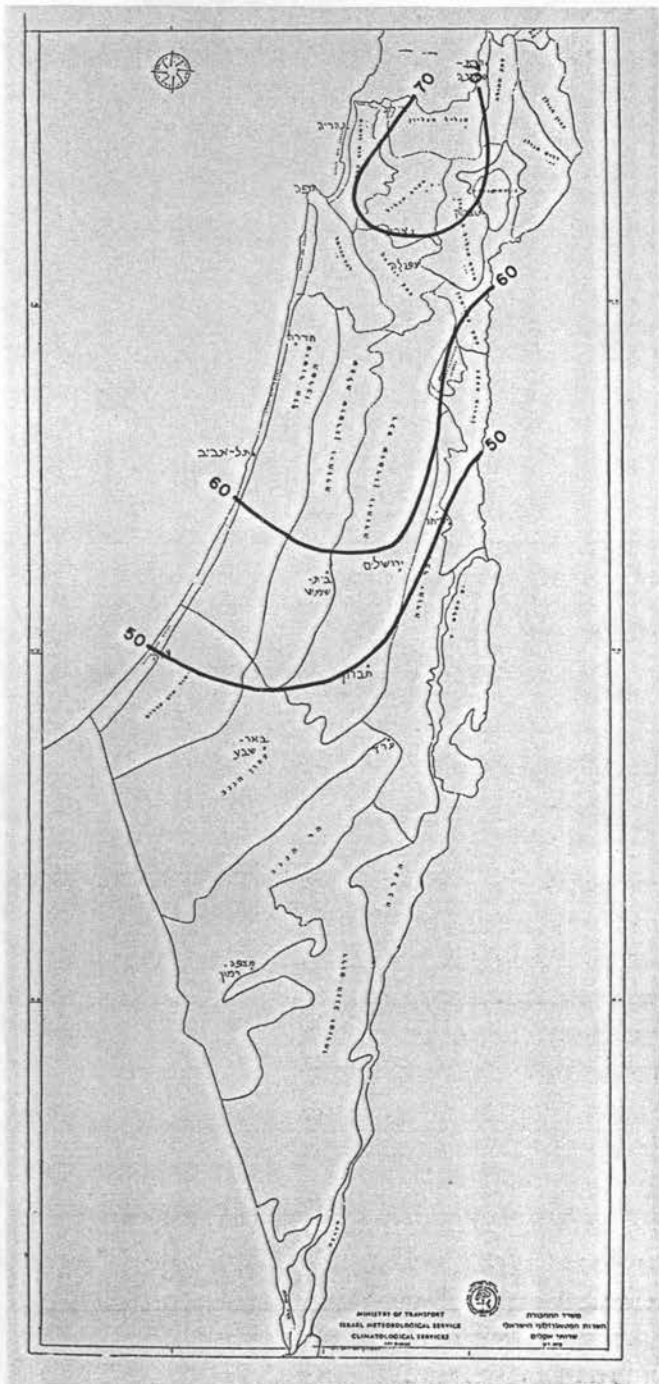
The # of days of rain (with an amount of .1 mm) or more in the period of Nov-Feb 1991/92

מספר ימי הגשם (עם כמות של 0.1 מ"מ או יותר) בתקופה נובמבר-פברואר 1991/92

תרשים מס' 3: מספר ימי הגשם וסטייתם מהממוצע

The deviation of the # of days of rain from the average (in # of days) in the period of Feb. 1991-1992

הסטייה של מספר ימי הגשם מהממוצע (במספר ימים) בתקופה נובמבר-פברואר 1991/92



טבלה 1: מספר ימי גשם בחודשים נובמבר 1991 עד פברואר 1992  
 The # of days of rain from the months of Nov-1991 - Feb. 1992

deviation from the average for this period

סה"כ - All together													
סט"ייה מהממוצע לחקופה זו						29.2.92-1.11.91							
100	50	25	10	1.0	0.1	100	75	50	25	10	1.0	0.1	
<b>מישור החוף - The coast</b>													
	2	9	15	18	29		1	2	13	30	57	68	חיפה
2	4	7	13	17	20	2	3	6	13	30	55	64	עין החורש
	2	8	15	21	22			2	14	29	55	61	מקוה ישראל
	7	12	17	24	26		2	8	16	30	55	65	לוד
1	11	13	14	20	15	1	5	12	19	39	52	52	גבעת ברנר
	6	9	10	22	23		1	7	16	24	50	57	באר יעקב
2	2	3	15	20	21	2	3	3	7	25	47	51	עזה
<b>אזור ההרים והעמקים - Area of mountains and valleys</b>													
	1	10	18	24	28		1	3	17	37	63	68	אילון
	0	10	18	22	24			1	18	35	62	72	הר כנען
	1	8	17	19	27	1	1	2	12	31	56	67	רמת דוד
	7	11	16	25	29		4	9	17	33	57	64	שכם
	6	13	14	19	26			7	18	28	49	60	י-ם מרכז
	5	11	13	15	16			6	16	25	46	51	בית ג'מל
	4	11	12	22	23			5	15	25	51	54	חברון
<b>שקע הירדן - Jordan Rift</b>													
	9	14	17	19				13	30	57	66	66	כפר בלום
1	6	15	23	27			1	9	26	54	66	66	דגניה א'
	4	5	19	24				2	20	44	56	56	טירה צבי
								4	9	38	46	46	יריחו

גם בפרק הזמן השלישי התפשט השלג באזורים נרחבים מאוד וגובהו היה רב בהרי המרכז ובהרי הצפון: במרום הגליל הגיע גובה השלג ל-60-70 ס"מ; בחלק הגבוה של הגולן - 100-150 ס"מ; ובהרי המרכז דווח על 40-50 ס"מ.

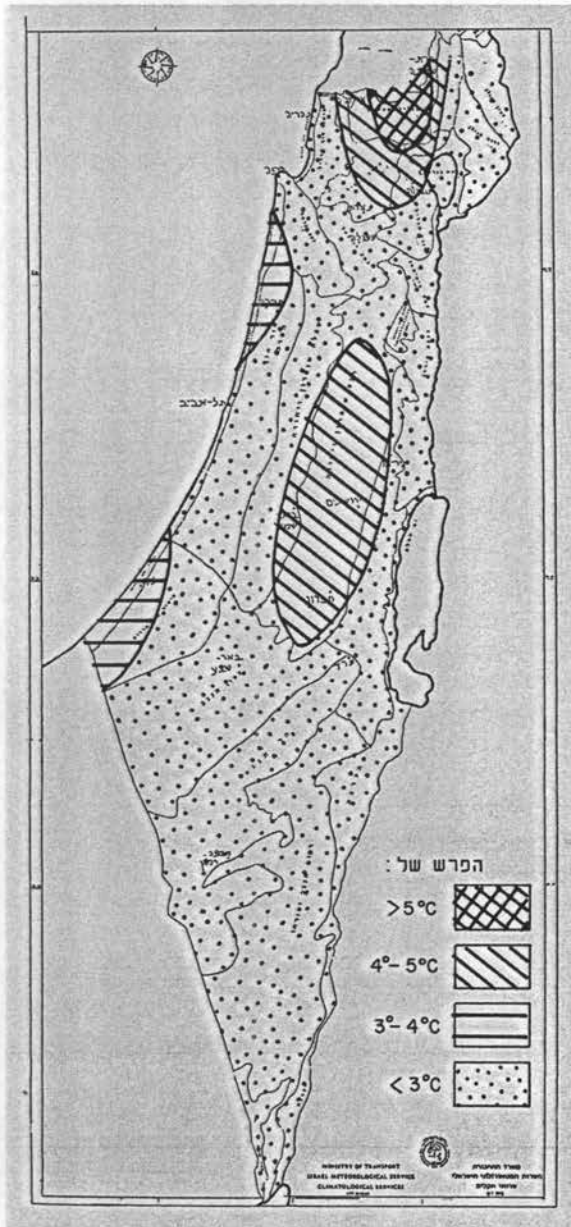
אף שירידת שלג בהרי ישראל אינה נדירה (בהרי הצפון והמרכז, מרום שמעל 500-600 מ', יורד שלג כמעט כל שנה; במקומות נמוכים יותר, 300-500 מ', יורד שלג אחת ל-2-4 שנים, לרוב בכמות קטנה, והוא נמס במהירות. במקומות נמוכים יותר השלג נדיר ונמס בדרך כלל מיד. יש להדגיש כי גובה השלג שנרשמו השנה היו קיצוניים, תכיפות ירידת השלג היתה נדירה וגם תפושתו הנרחבת היתה יוצאת דופן.

מאזור החרמון אין עדיין מידע מרוכז על גובה השלג, אך לפי מידע ראשוני היה גובה השלג בחרמון הגבוה (מאזור הרכבל העליון) יותר מ-5-6 מ' בסוף פברואר.

גם אירועי הברד היו מיוחדים בעונה זו. מספרם היה רב ואת חלקם אפיינו אפיונים חריגים מאוד, שבאו לידי ביטוי בגודל הגרגרים, בכיסוי נרחב ובעובי רב בכמה אזורים. עם אירועי הברד הבולטים בעונה זו יש למנות את הברד שירד ב-24 בפברואר 1992 במישור החוף המרכזי. הברד כיסה שטחים נרחבים, ובגוש דן, בשרון ובעמק חפר דווח על גובה של 15-20 ס"מ.

ג. טמפרטורה

משטר הטמפרטורות הכולל בחורף 1991/92 היה חריג מאוד. טמפרטורות המקסימום היומיות הממוצעות בחורף 1991/92 בחודשים דצמבר עד פברואר, ברוב אזורי הארץ, היו הנמוכות ביותר שנרשמו בשנות המדידה. הערכים הממוצעים נעו בין 14 ל-17 מ"צ ובהרים - בין 6.5 ל-10 מ"צ. תופעה זו נבעה מימי גשם רבים ורצופים ומימי עננות רבים. בכל שנות הסדרה לא נרשמו ערכים כה נמוכים. ההפרש בין טמפרטורת המקסימום בתקופה כולה לבין הממוצעים הרב-שנתיים המקבילים לה נע מינוס 3 למינוס 4 מ"צ, ברוב האזורים ובאזורי ההר - בין ממינוס 4 למינוס 5.5 מ"צ. במובלעות מוגבלות באזור החוף נע ההפרש בין 2 ל-3 מ"צ (ראה תרשים מס' 4).



Maximum temperatures of the period 12/91-2/92  
differences from other years

תרשים מס' 4:  
טמפרטורת המקסימום  
לתקופה 12/91 - 2/92  
הפרש מהרב-שנתיים

נראה כי ההפרש הגדול ביותר בין טמפרטורת המקסימום בעונה זו לבין הממוצעים הרב־שנתיים נרשם בחודש פברואר, ובמיוחד בעשרת הימים האחרונים שלו. לדוגמה, בהר כנען היה הממוצע בעשרת הימים האחרונים של פברואר פלוס 1.8, וההפרש בינו לבין הממוצע הרב־שנתי – מינוס 10.5 מ"צ. בכל האזורים היה הפרש גדול מאוד בין עשרת הימים הללו לבין הממוצע הרב־שנתי: באזור החוף – 4-6 מ"צ פחות מהממוצעים הרב־שנתיים; בהרים – 5-10.5 מ"צ פחות; ובגולן ובשקע הירדן – 5.2-8.2 מ"צ פחות. בעשרת הימים הראשונים של ינואר ופברואר היו ההפרשים גדולים מאוד גם הם.

מבדיקת חריגות התופעה ועלה כי כמעט בכל האזורים עומדת שנה זו במקום הראשון מבחינת טמפרטורות מקסימום יומיות ממוצעות נמוכות בסדרת שנים ארוכה בחודשים דצמבר-פברואר (בין 17 ל-38 שנים). בעונה זו נרשם מספר הימים הקרים הגדול ביותר בהשוואה לסדרת שנים ארוכה, בכל ספי טמפרטורות המקסימום ובמרבית האזורים. בשום עונת חורף לא היה בתקופת רישום המדידות מספר ימים גדול יותר מתחת לכל אחד מספי טמפרטורת המקסימום שבין 15 ל-4 מ"צ, חוץ ממקרים חריגים.

בחורף 1991/92 שהתאפיין בגשמים מרובים ובעננות מרובה טמפרטורת המינימום הממוצעות בעונה (לא הקיצוניות) היו חריגות פחות מטמפרטורות המקסימום. עם זאת, ברוב האזורים הן היו נמוכות מהממוצעים הרב־שנתיים – בין 0.1 ל-2.0 מ"צ. ההפרשים באזור ההר הגיעו עד למינוס 3.6 מ"צ. בפרקי הקרה היו ההפרשים גדולים עוד יותר.

בעשרת הימים הראשונים של ינואר, לדוגמה, היו הפרשים גדולים בגלל אירוע הקרה: הר כנען – מינוס 4.5 מ"צ מהממוצע הרב־שנתי; צומת השריון שברמת הגולן – 4.0 מ"צ נמוך מהממוצע הרב־שנתי. באזורי ההרים, בעמקים הפנימיים ובשקע הירדן היה ההפרש קיצוני.

בחורף האחרון פקדו אותנו ארבעה גלי קרה, בהם שלוש בעלי אופי אדבקטיבי (קרה הסעתית), וגל קרה אחד שנבע מהתקררות קרינתית. גלי הקרה האדבקטיביים נרשמו בתאריכים 2-6.1.92, 9-10.2.92, 25-29.2.92. הקרה הקרינתית נרשמה בתאריכים 25-26.1.92. אירועי הקרה האדבקטיביים אירעו ברצף, במקביל לאירועי השלג, או סמוך להם, ובמספר אזורים נרשמו בהם ערכים קיצוניים של טמפרטורות מינימום שניתן לצפות לשכמותם אחת לעשרות שנים. האזורים שבהם נרשמו ערכים נמוכים במיוחד הם: האזורים ההרריים ורגלי ההר בגליל העליון והתחתון וברמת הגולן, הרי הכרמל, הרי שומרון, יהודה וחברון עד לאזור שמדרום לבאר שבע. גם באזורים לא הרריים, כגון מסביב לכנרת, כולל בקעת כנרת, גאון הירדן בבית שאן ובבקעת הירדן, וכן באזור החוף הצפוני – ברצועה צרה בגליל המערבי ובחוף הכרמל – נרשמו ערכים חריגים.

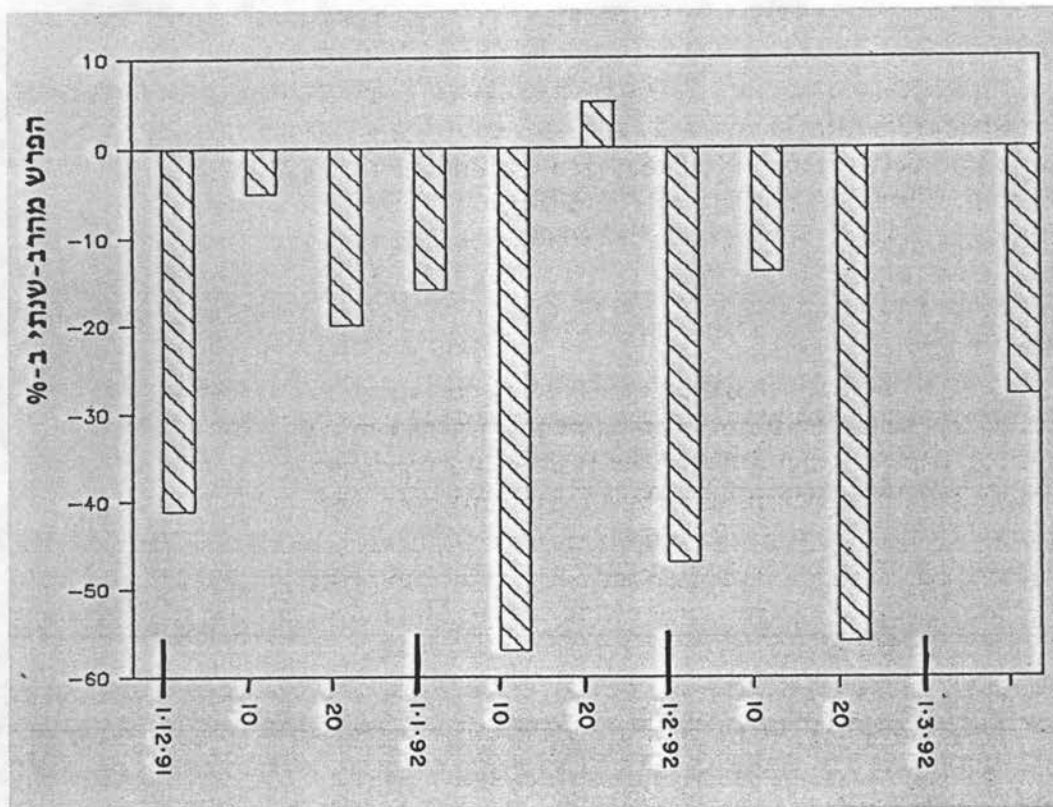
בעוד כמה אזורים נרשמו ערכים נמוכים מאוד של טמפרטורת מינימום, אך לא בסדר הגודל של האזורים הנ"ל. עם האזורים הללו נמנים חבל הבשור, רצועה במערב עמק יזרעאל, דרום עמק החולה והערבה. יש לציין שבאזור החוף, שבאירועי קרה קרינתית מפתח ערכים נמוכים מאוד של טמפרטורות מינימום בשל המבנה הטופוגרפי שלו, לא נרשמו השנה ערכים חריגים.

בעונה זו בולט מספר הלילות הרב שבהם ירדו טמפרטורות המינימום לערכים נמוכים בתחום הצינה ועל גבול הקרה. מספר המקרים של טמפרטורות מינימום נמוכות היה השנה גדול הרבה יותר מהרגיל. מבדיקת מספר הלילות מתחת לספים שונים עולה כי בכל הספים, החל ב-10 מ"צ ומטה וכלה ב-5 מ"צ, היתה עונה זו מהראשונות בסדרה ארוכה של שנים באזור החוף הדרומי, בנגב הצפוני ובבקעת כנרת. מספים שמתחת ל-5 מ"צ, מספרם הרב של הלילות הקרים מאפיין אזורים רבים ושנה זו היא במקום גבוה בסדרה גם בחבל הבשור, בבקעת יבנאל, בעמק בית שאן, בבקעת הירדן ובערבה. מתחת לסף של 3 ו-2 מ"צ מספר המקרים רב באופן יחסי גם באזור החוף המרכזי.

## ד. זהירות שמש וקרינה

זהירות השמש היא אינדיקציה לרמת העננות. ככל שהשמים בהירים יותר, כן גדלה רמת זהירות השמש (בשעות), וככל שהם מעוננים יותר, כן מצטמצמת רמת זהירות השמש. מנתוני זהירות השמש בתקופה דצמבר 1991, ינואר ופברואר 1992, עולה תמונה ברורה של גירעון בעשרות אחוזים בהשוואה לממוצע הרב-שנתי. התופעה בשיאה בפרקי הגשם עצמם ובימי העננות. בבדיקת זהירות השמש התבססו על נתונים מתחנות מספר המייצגות את הארץ: בית דגן מייצגת את אזור החוף, עטרות את אזור ההר, טירת-צבי את עמקי הצפון, ואילת את הערבה הדרומית. נראה כי הגירעון הממוצע בזהירות השמש באזורי החוף וההר הוא כ-30%, בשקע הירדן קרוב ל-25%, ובערבה הדרומית כ-10%. נראה כי בהרי הגליל העליון הגירעון אף עולה על 30%. בעשרות הגשומות היה אחוז זהירות השמש האחוז הנמוך ביותר, וממילא נרשם בהם הגירעון הגדול ביותר. לדוגמה, בטירת צבי היה שיעור הזהירה בעשרת הימים הראשונים של פברואר 35% מהממוצע הרב-שנתי, והגירעון - 65%; בדומה לכך, בין ה-11 ל-20 בינואר שיעור הזהירה היה 44% והגירעון - 65%. בעשרת הימים האחרונים של פברואר היה שיעור הזהירה 57%, והגירעון 43%. במרבית האזורים נרשם אחוז זהירות השמש הנמוך ביותר באותן העשרות, אם כי לפעמים בסדר שונה (ראה תרשים מס' 5).

### תרשים מס' 5: גירעון ממוצע בזהירות השמש לעשרות ימים בחורף 1991-1992 לאורך החוף המרכזי (עפ"י בית דגן)



A diminishing from the average in the radiance of the sun for less periods of days between In the winter of 1991-1992 along the main coastline



הגירעון בשעות זהירות השמש באחוזים כפי שנרשם השנה בהשוואה לסדרת שנים ארוכה, לא נרשם מ-1968/69 בתחנות המדגם (סדרות השנים נעות בין 13 ל-23 שנים). בערבה הדרומית בשנה אחת בלבד גירעון ממוצע גדול יותר בתקופה זו.

## ה. לחות יחסית והתאדות

הלחות היחסית הממוצעת בחודשי החורף דצמבר 1991 עד פברואר 1992 היתה גבוהה מהלחות הרב-שנתית באופן ניכר, ובמיוחד הלחות היחסית ששררה בצהריים. הערכים הממוצעים של הצהריים היו באזורים רבים מעל 60%, ולמעשה גבוהים מהערכים הרב-שנתיים ב-3%-16%. ההפרש היה גדול במיוחד בדרום ובאזורים הפנימיים. מבדיקת חריגות העונה עולה כי עונה זו היא ברוב האזורים ראשונה או שנייה בסדרה ארוכה של שנים בערכי הלחות היחסית בשעות הצהריים, ובעשירון או בחמישון העליון בערכי הלחות היחסית בשעות הבוקר.

הלחות היחסית היתה גבוהה במיוחד בשעות הצהריים בעשרת הימים הראשונים של דצמבר, בעשרת הימים האמצעיים של ינואר ובעשרת הימים האחרונים של פברואר. בימים אלה הגיע ההפרש ל-22%-30% מההפרש הרב-שנתי המקביל לו. מעיון בהפרש הממוצע בשלושת החודשים דצמבר עד פברואר עולה הפרש שמגיע לשיאו בעמק החולה - 16%. ברוב תחנות צפון הארץ וכן באזור החוף הדרומי היה ההפרש גדול מ-10%. החודש הלח ביותר היה חודש פברואר, ובו הגיע ההפרש ל-15% ומעלה באזורים רבים: בחוף הדרומי, בעמק יזרעאל, בבאר שבע, בעמק החולה ובעמק בית שאן. יש לקחת בחשבון שבימים בודדים ההפרש גדול בהרבה בהשוואה לרב-שנתי.

בשל משטר הגשם, העננות והלחות היחסית הגבוהה היתה ההתאדות בכל תקופה נובמבר 1991 - מרץ 1992, ובמרבית האזורים בכל חודש בנפרד, נמוכה ב-15%-27% מהממוצע.

מכל האמור לעיל עולה בבירור שהעונה היתה יוצאת דופן, ואפשר לסכמה באמצעות התופעות החריגות האלה:

## ו. סיכום

- סך כל כמות הגשם העונתית היתה חריגה ביחס לכמות העונתית שירדה מאז תחילת המדידות בתחנות השונות. השיא נרשם באזור המרכז, עד קו באר שבע. בחלק מהתחנות בצפון הארץ היתה רק עונת 1968/69 גשומה יותר.
- מספר ימי הגשם בכל הארץ היה גדול הרבה יותר מהממוצע, בעיקר בחודשי העונה המרכזיים.
- נרשמו כמויות גשם גדולות מאוד בפרקי זמן של 1-30 יום, כמויות שתקופת החזרה שלהן ארוכה מאוד. באזורים מספר לא נרשמו תופעות כאלה מאז תחילת המדידה.
- כמות השלג, תפירתו הגיאוגרפית ומספר ימי השלג בעונה זו היו חריגים ולא נודעו כמותם מאז שנת 1950.
- אירועי הברד היו רבים; הוא כיסה שטח נרחב, עוביו היה חריג באזורים מספר והגרורים היו גדולים מאוד.
- טמפרטורות היום היו נמוכות באופן קיצוני בהשוואה לשיעור הנורמלי.
- באזורים מספר היו ערכי טמפרטורת המינימום ערכים חריגים שיש לצפות להם אחת לעשרות שנים.
- בלילות רבים הרבה יותר מהרגיל נרשמו טמפרטורות צינה, על גבול הקרה.
- בכל אזורי הארץ בלט גירעון גדול בזהירות השמש, גירעון שנע בין 20% ל-35% בממוצע לעונה. בימים מסויימים, ובמיוחד בימים הגשומים, הגיע הגירעון גם ל-40%-60%.

# ספיקות ונפחים בתחומי ההתנקזות הראשיים

ד"ר אריה בן-צבי (השירות ההידרולוגי, ירושלים)

## א. אירועי הזרימה

חורף תשנ"ב היה עשיר באירועי זרימה, בספיקות שיא ובנפחים. בחורף זה התחוללו 4 או 5 גלי שיטפון בעלי השתרעות כלל ארצית ועוד כמה אירועים בעלי השתרעות מצומצמת באופן יחסי. בין הגאוויות הגדולות התחוללו גאוויות קטנות. כיוון שרווחי הזמן בין אירועי ירידת המשקעים היו קצרים וקרים, וההתאדות הריאלית היתה נמוכה, נעשו הנחלים רגישים מאוד לירידת משקעים כבר לאחר אירוע הגשם הנרחב של סוף נובמבר – ראשית דצמבר. רגישות זו נמשכה עד סוף חודש פברואר, עת חדלה ירידת הגשמים העיקריים. השיטפונות בעלי ההשתרעות הרחבה אירעו בימים 28.11.91-8.12.91, 27.12.91-6.1.92, 3.2.92-28.2.92. גאוויות חודש דצמבר לא היו שיטפוניות בגליל. בחודשים מרס-אפריל לא היו גאוויות בנחלי הארץ. לעומת זאת נמשכה עוד בסוף חודש מאי זרימת בסיס ביובלי הנחלים לכיש, שקמה וגרר, בהיקף שלא נצפה מאז תחילת תקופת המדידות. אירוע שיטפוני גבוה, בהיקף גיאוגרפי מצומצם, אירע בימים 13-14.10.91 בנחל צין וסביבתו.

## ב. נפחי הזרימה

בשלושת חודשי הזרימה העיקריים, דצמבר-פברואר, זרמו מים רבים בנחלי הארץ. נפחי הזרימה העונתיים שנמדדו בתחנות הראשיות מפורטים בטבלה מס' 1. הנפחים בתחנות תחום ההתנקזות של הים התיכון מסתכמים ב-1,100 מלמ"ק, ואילו הנפח הממוצע שנמדד בתחנות אלה הוא 150 מלמ"ק. היינו – הנפח שנמדד בשנה זו גבוה פי שמונה מהנפח הממוצע. נפח הזרימה שנמדד בנחלי לכיש ואיילון היה גבוה פי עשרים מהנפח הממוצע בנחלים אלה. הנפח בשאר הנחלים שבין חדרה לשקמה, וכמו כן בקישון, היה גבוה פי עשרה מהנפח הממוצע שם, הנפח בנחלי הגליל המערבי ובדליה היה גבוה פי חמישה מהנפח הממוצע, ואילו הנפח בנחל הבשור היה גבוה רק פי שניים וחצי מהנפח הממוצע שם. הקשר בין אחוז הנגר העל-קרקעי לבין עובי הגשם בתחום ההתנקזות של הים התיכון מתואר בתרשים מס' 1. נתוני שנה זו חריגים ביחס לנתוני כל השנים שעברו בשיעור הנגר, 12%, בעובי המשקעים הממוצע, 850 מ"מ, ובהימצאות הנקודה המתארת אותם מעל לקו הרגרסיה לשנים הקודמות. נוסחת קו הרגרסיה היא  $R/P=0.02$  ( $P=300$ ) (עם מקדם מתאם של 90%); R הוא עובי הנגר (במ"מ), P – עובי המשקעים (במ"מ). נפח הזרימה בתחום ההתנקזות של ים המלח היה גבוה השנה, אם כי, בדרך כלל, לא חריג כמו בתחום ההתנקזות של הים התיכון. נפחים גדולים במיוחד זרמו בנחלי מרכז הארץ, ממליח לערוגות, ואולם מיעוט הנתונים מקשה על השוואה בין השנה לשנים קודמות.

נפח הנגר הממוצע ב-30 השנים האחרונות היה 3% מנפח המשקעים. בשנים הגשומות הגיע נפח הנגר עד 7% מנפח המשקעים. הנפח בשנה זו הגיע, כאמור, ל-12% מנפח המשקעים. נפח הזרימה בירדן העליון בחודשים אוקטובר-מאי היה כ-650 מלמ"ק, והוא גדול בכ-100 מלמ"ק מנפח הזרימה השנתי הממוצע. בהוספת נפח הזרימה הצפויה בקיץ יתקבל נפח גבוה מן הממוצע. בהקשר לכך יש להזכיר כי עובי המשקעים בתחום ההתנקזות של הכנרת היה כ-160 מהעובי הממוצע שם, וכי חלק גדול מנפח הזרימה בירדן מקורו בשפיעת מעיינות בעלי זיכרון ארוך יותר משנה. עקב שלוש שנות הבצורת הרצופות באגן הכנרת לפני שנה זו, הידלדל אוגר מי התהום, וחלק ניכר ממי המשקעים נצרכו לשיקום אוגר זה.

נפח הזרימה בירדן התחתון, בנהריים, היה כ-600 מלמ"ק, בהם כ-250 מלמ"ק שהוגלשו מן הכנרת. מכאן שנפח הזרימה מן הירמוך היה כ-350 מלמ"ק. אם נתחשב בנפח הזרימה שתפסו הסורים והירדנים נוכל להקיש כי נפח הזרימה בירמוך בחורף זה היה גבוה במידת מה מהנפח השנתי הממוצע שם.

נפח הזרימה ביובלי הירדן התחתון היה גדול מאוד, ואולם עקב מחסור בתחנות מדידה מתאימות, הדיווח על הנפחים האלה מצומצם מאוד. שתי דוגמאות לנפחים אלה: נחל מליח ליד חמם מליח, שטח 58 קמ"ר, נפח זרימה בשנה זו 3 מלמ"ק, הנפח הממוצע ב-20 השנים הקודמות 0.2 מלמ"ק בשנה; נחל ערוגות ליד עין גדי, שטח 235 קמ"ר, נפח זרימה השנה 3.5 מלמ"ק, הנפח הממוצע ב-11 השנים הקודמות 0.3 מלמ"ק בשנה.

The Volume of precipitation and flow in the drainage areas from October-April

טבלה 1: נפחי משקעים וזרימה על פני תחומי התנקזות בתקופה מאוקטובר עד אפריל

(1) נקוז מערבי

שנת התחנה	שטח התחנה קמ"ר	1989-1990		1990-1991		1991/92		מוצע רב שנתי במלמ"ק		תקופת מדידות כולל 1989/90	שם התחנה ההידרומטרית	תחום התנקזות	שטח התחום (קמ"ר)
		זרימה	משקעים	זרימה	משקעים	זרימה	משקעים	זרימה	משקעים				
52/53	39	1.4	107	4.8	175	0.00	66	0.0	92	131	נ. כזיב ע"י גשר הזיו	נ. כזיב	131
68/69	23	2.8	30	5.2	47	0.03	21	0.3	29	41	נ. געתון ע"י בן עמי	נ. געתון	49
48/49	38	1.6	53	6.1	84	0.05	37	0.2	48	72	נ. בית העמק	נ. בית העמק	73
49/50	39	2.9	107	15.6	190	-	66	#	99	158	נ. חלזון ע"י יסעור	נ. נעמן	317
53/54	39	4.7	-	12.1	470	0.00	-	1.0	-	-	נ. מאגר כפר ברוך	נ. קישון	1075
53/54	38	14.9	370	15.3	758	3.40	313	7.0	402	694	נ. קישון ע"י המחצבה	נ. דליה	95
49/50	42	6.1	43	39.1	81	1.40	35	6.4	49	70	נ. דליה ע"י כביש ת"א חיפה	נ. תנינים	196
67/68	24	6.7	33	27.9	58	1.00	25	5.5	36	51	נ. תנינים ע"י עמיקם (במעלה ההטיה)	נ. תנינים	196
55/56	37	2.7	11	15.1	19	0.05	9	1.9	12	18	נ. עדה ע"י גבעת עדה (במעלה ההטיה)	נ. עדה ע"י גבעת עדה (במעלה ההטיה)	
66/67	25	4.9	18	19.5	32	1.90	13	5.1	19	29	נ. ברקן ע"י כפר גליקסון (במעלה ההטיה)	נ. משמרות	
67/68	24	0.4	3	4.7	5	0.20	2	0.2	3	5	נ. הטיה למפעל נחלי מנשה	נ. חדרה	547
66/67	25	10.8	-	31.8	-	2.8	-	11.2	-	-	נ. חדרה ע"י גן שמואל	נ. אלכסנדר	555
60/61	31	9.0	308	92	645	5.50	250	16.1	325	519	נ. אלכסנדר ע"י אלישיב	נ. הירקון	1804
48/49	43	8.5	306	86	645	4.80	244	10.2	322	492	נ. הירקון ע"י גשר הרצל	נ. הירקון	1804
60/61	31	14.9	572	153	1159	11.20	486	12.0	550	953	נ. מאגר משמר איילון	נ. הירקון	1804
55/56	35	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	נ. איילון ע"י בית דגון	נ. שורק	705
62/63	29	10.7	394	107	627	15.80	317	10.0	372	686	נ. מאגר עין כרם	נ. שורק	705
55/56	35	1.1	(48)	12.2	(98)	0.20	(34)	10.7	(41)	-	נ. שורק ע"י יבנה ונחל גמליאל	נ. לכיש	1006
60/61	27	10.1	342	95	729	3.90	280	10.6	352	613	נ. לכיש בכביש יבנה-אשקלון	נ. שקמה	751
55/65	36	11.4	454	224	956	5.00	408	7.4	502	992	נ. מאגר שקמה	נ. הבשור	3418
60/61	31	4.6	292	45	606	3.20	308	0.5	319	750	נ. גור בקרבת רעים	נ. הבשור בקרבת רעים	3418
64/65	27	3.7	186	6.9	316	3.80	227	0.0	186	658	נ. הבשור בקרבת רעים	שאר תחום	613
66/67	25	9.3	522	16	846	30.00	526	3.5	508	2632	נ. הניקוז המערבי	שאר תחום	613
		133	4151	1003	8448	91.40	3633	98.8	4226	9564	סה"כ		11335

(2) נקוז מזרחי

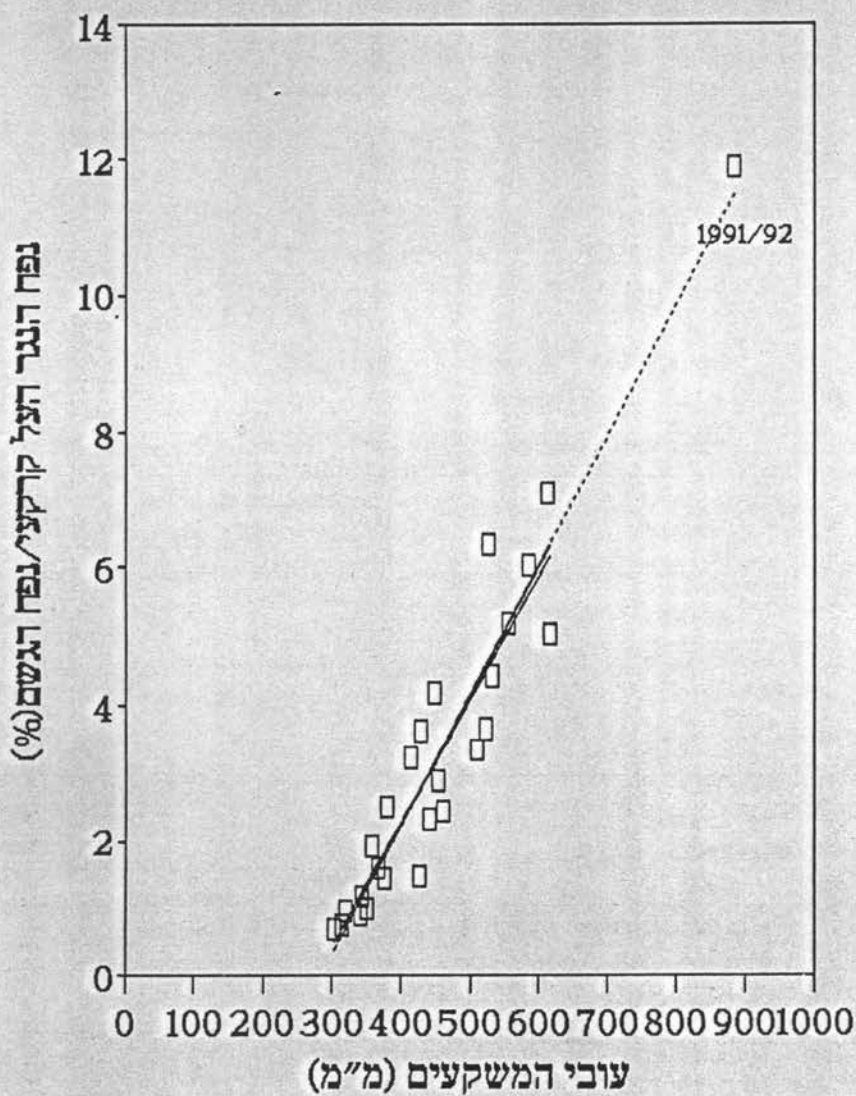
שנת התחנה	שטח התחנה קמ"ר	1989-1990	1990-1991	1991/92	מוצע רב שנתי במלמ"ק	תקופת מדידות כולל 1989/90	שם התחנה ההידרומטרית	תחום התנקזות	שטח התחום (קמ"ר)				
59/60	32	365	*783	597	*1345	167	*624	165	*684	1467	נ. ירדן עליון ע"י גשר הפקק	נ. ירדן עליון	
69/70	22	12.3	101	76	180	5	75	5.9	84	160	נ. משועים ע"י דרדורה	נ. ים כנרת	
78/79	13	154	-	620	-	15.6	-	20.7	-	9357	נ. ירדן ע"י נהר ים	נ. ירדן עליון	

\* תחומי משקעי הירדן העליון מיוצגים ע"י תחנת כפר גלעדי (מ"מ).  
( ) נפח משקעים שנכלל בנפח המחושב לתחנות הבאות.

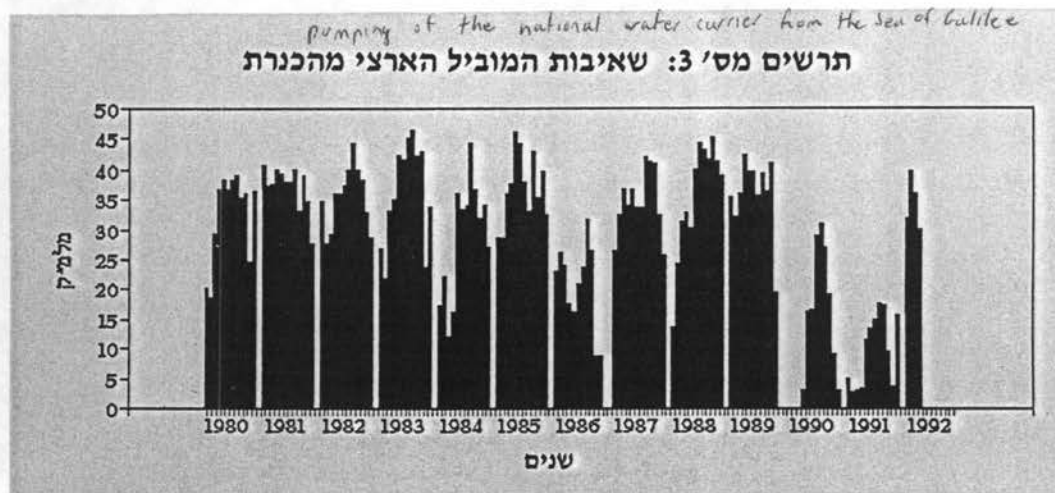
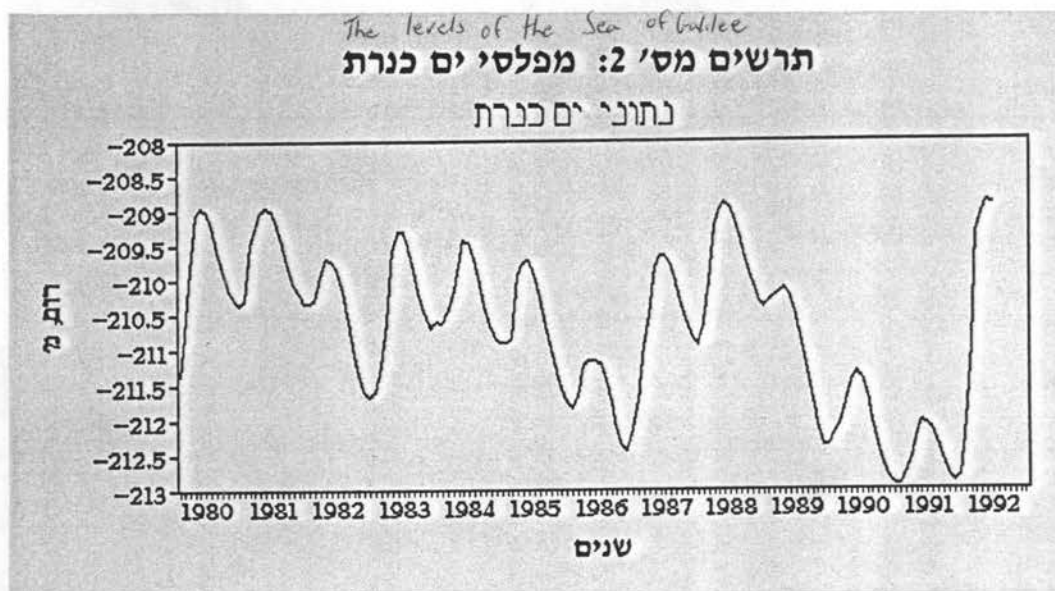
The above-ground thickness of the precipitation and flow in the western drainage area.

תרשים מס' 1

עובי המשקעים ונגר על קרקעי בתחום ההתנקזות המערבי



למן אוקטובר 1991 ועד מאי 1992 זרמו לכנרת יותר ממיליארד מ"ק של מים. נפח זה כולל את הגשם הישיר, את הזרימה מהנחלים והמעיינות שסביב הכנרת ואת הנחלים והמעיינות בתחתיתה, בניכוי ההתאדות מהאגם. מפלס הכנרת עלה מהרום המינימלי של מינוס 212.90 מ' עד לרום המקסימלי של מינוס 208.90 מ' בחודש מאי. בין שני רומים אלה נאגרו 640 מלמ"ק של מים. ב־9.2.92 נפתחו שערי סכר דגניה ומים החלו לזרום מהכנרת לירדן התחתון. נפח המים שזרמו עד סוף חודש מאי הוא כ־250 מלמ"ק. במשך החורף והאביב שאב המוביל הארצי 210 מלמ"ק. תיאור גרפי של מפלסי הכנרת ושיבות המוביל הארצי מופיע בתרשימים מס' 2, 3.

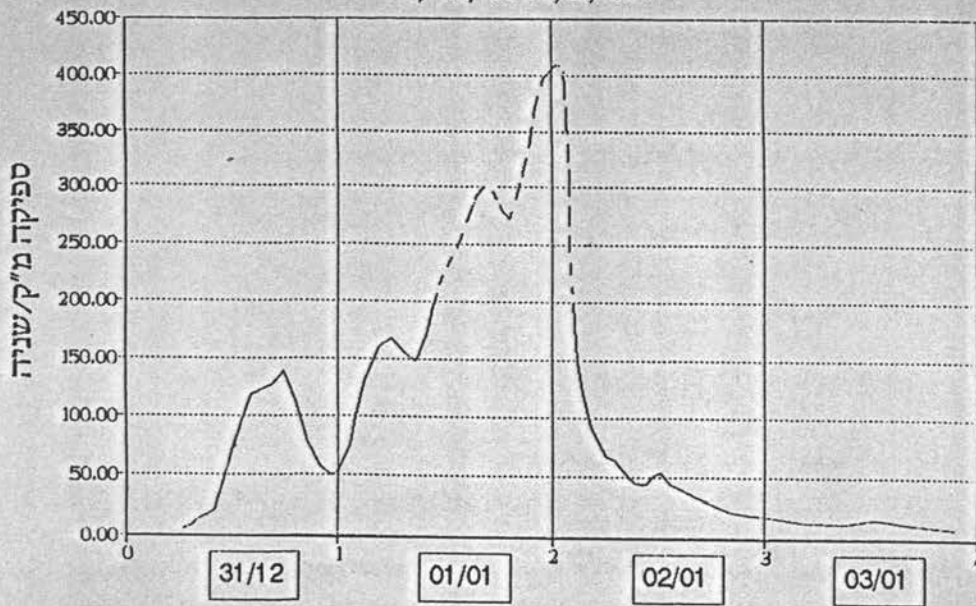


מפלס ים המלח בסתיו המשיך בשפילתו מהשנים הקודמות, וב־19.11.91 הגיע לרום של מינוס 408.37 מ'. מאז ועד 29.3.92 עלה המפלס עד כדי 1.90 מ'. כך גדל אוגר המים בו בשעור של כ־1.4 מיליארד מ"ק. להערכתנו, כ־600 מלמ"ק הגיעו מהירמוך ומהכנרת, והשאר מיובלי הירדן התחתון וים המלח. נפח הזרימה מנחל הערבה לא היה גדול.

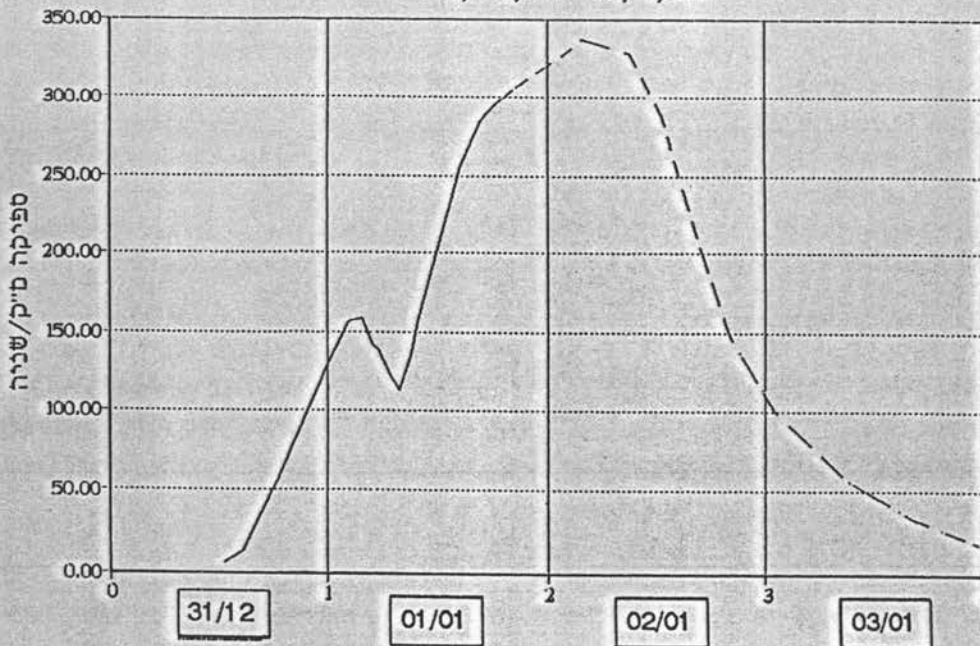
Hydrographs - Yarkon River, Ayalon River

תרשים מס' 4: הידרוגרפים - נ. ירקון, נ. איילון

איילון בית-דגון  
31/12/91-3/1/92



ירקון אל-חדר  
31/12/91-04/1/92



(infrequent)  
Rare Flows in 1991-1992

טבלה 2: ספיקות נדירות בשנת תשנ"ב

נחל	תחנה	שטח Km <sup>2</sup>	מקסימום קודם		1991/92		
			תאריך	ספיקה מ <sup>3</sup> /S	תאריך	ספיקה מ <sup>3</sup> /S	
חלזון	יסעור	158	43/44	70	18.12.51	60	20.1.92
	בית לחם	19	57/58	27	17.3.72	28	31.1.92
	קישון	694	44/45	200	29.1.62	180	25.2.92
	השופט	12	56/66	28	23.1.69	28	9.12.91
	דליה	70	49/50	60	23.1.69	70	9.12.91
	תנינים	65	55/56	46	23.1.69	50	1.1.92
עדה	גבעת עדה	18	44/45	30	13.12.61	35	12.2.92
עדה	כביש פרדס חנה	66	13/56	117	23.1.69	58	25.2.92
חדרה	גן שמואל	519	49/50	159	21.12.51	170	2.12.91
קנה	ירחיב	240	43/44	28	17.2.46	165	1.1.92
	שילה	357	43/44	142	16.4.71	180	1.1.92
ירקון	כביש הרצליה	953	40/41	508	9.11.55	390	2.1.92
	לוד	136	56/57	59	29.11.79	130	3.12.91
איילון	צמת אל-על	251	39/40	230	22.3.69	170	1.1.92
	כביש יהוד	526	55/56	263	22.3.69	300	3.12.91
שורק	יסודות	405	37/38	108	5.3.83	296	4.2.92
	גדרה	492	37/38	122	10.12.64	115	3.12.91
שורק	יבנה	53/54	53/54	61	29.11.79	115	4.2.92
	בית אלעזרי	62	51/52	80	20.12.86	69	4.2.92
עקרונ	שפיר	204	49/50	120	14.1.83	68	3.12.91
	כביש החוף	992	43/44	134	9.1.86	78	4.2.92
חרמון	שאר ישוב	140	39/40	107	2.2.82	138	4.2.92
	שדה נחמיה	800	42/43	280	18.12.51	127	1.1.92
עורבים	להבות הבשן	40	61/62	33	22.1.69	125	13.12.91
	הר מידד	125	56/57	300	22.10.79	111	5.2.92
צין	מפל עבדת	233	54/55	324	22.10.79	276	5.2.92
צין	משוש	660	55/56	250	5.10.65	27	5.2.92
צין	כביש אורון	64	55/56	99	6.11.89	540	13.10.91
ממשית						530	13.10.91
						530	13.10.91
						24	13.10.91

## ג. ספיקות שיא

בשנת תשנ"ב היו ספיקות נדירות בנחלים רבים, אך רק מעטות היו נדירות מאוד. ספיקות שלהן תקופת חזרה של 25 שנה ויותר היו במועדים ובנחלים שלהן (הגאוויות שלהן הספיקות הנדירות מאוד מודגשות):

צין	13-14.10.91
חדרה, ירקון-איילון, לכיש	2-3.12.91
קישון, השופט, דליה, שניר	9.12.91
ירקון, עקרון	13.12.91
איילון (לוד בלבד)	27.12.91
קישון, תנינים, דליה, חדרה, ירקון-איילון, שורק, עקרון, לכיש, שניר, ירדן עליון, משושים, ירדן תחתון	1-2.1.92
חלזון, קישון, משושים	31.1.92
קישון, איילון, לכיש, באר שבע, ירדן עליון, ירדן תחתון	4-9.2.92
עדה	12.2.92
קישון, עדה, חדרה, ירקון, עוגיה	25.2.92
ירדן תחתון	4.3.92

יש להזכיר במיוחד את אירועי השיטפון בנחלים דליה, ירקון-איילון, לכיש ועוגיה, שגרמו להצפות ולנזקים, ואובדן חיי אדם בשל השיטפון בנחלים נטוף ומהר"ל. מדי שנה-שנתיים גובים השיטפונות חיי אדם, לאו דווקא בשל ספיקות נדירות, אלא, כנראה, בשל העדר עירנות בציבור לסכנות השיטפון. השיטפונות מסוכנים עוד יותר כאשר הספיקות גבוהות וכאשר הם מתפשטים לרוחב ולעומק נדירים.

בתור דוגמה נציין את השיטפונות בנחלים ירקון ואיילון. בדרך כלל יש הבדל של שעות אחדות בין שיאי גאוויותיהם בנקודת מפגשם. השנה, בשל התארכות פרקי הגשם והזרימה, היו גאוויות גבוהות בשני הנחלים והשיאים נפגשו. כך נוצרה הצפה נדירה מאוד בקטע התחתון של הירקון. הידרוגרפים של הגאוויות הגבוהות ביותר בירקון ובאיילון, שאירעו ב-1.2.1.92, מופיעים בתרשים מס' 4, ורשימת הספיקות הנדירות של השנה מופיעה בטבלה מס' 2.

השיטפונות שהתחוללו השנה גרמו להצפות ולנזקים באזורים אחדים של הארץ. דוגמאות בולטות הן: סגירת נתיבי איילון לתחבורה בגאוויות של חודש דצמבר וינואר; הצפת שכונות בכפר פורידיס בשל הגאות בנחל דליה בחודש דצמבר; הצפת שכונה ו' באשדוד בשל הגאות של נחל לכיש בחודש דצמבר; טביעת שני חיילים בנחל נטוף בעת גאות בחודש דצמבר; טביעת מתנדב שחילץ ילדים מאוטובוס בנחל מהר"ל. בשל השיטפונות ניזוקו גשרים וכבישים רבים ושדות הוצפו. נזקים כבדים נגרמו לרשת התחנות ההידרומטריות, מה שפוגם בדיוק הערכותינו את גודל הספיקות והנפחים. ראוי להתכונן לאירועי שיטפונות באופן מסודר יותר ולתכנן דרכי פעולה להקטנת הנזקים כאשר הם מתחוללים.

## ד. נזקים



## בינוניים וקטנים

### רמי גרתי (התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור קרקע וניקוז)

א. כללי

ב-27 בנובמבר 1991 החלה סדרת גשמים אשר נמשכה עד סוף חודש פברואר 1992, היינו 95 ימים. בפרק זמן זה נרשמו כ-60 ימי גשם ו-5 סופות ארוכות זמן ועתירות משקעים. רוב הגשמים הנדירים האלה ירדו מצפון לבאר שבע, כלומר, הנגב "לא השתתף" באירוע ההידרולוגי הנדיר הזה. מאפייני הגשם העיקריים היו:

(א) עובי גשם שנתי כפול מהמוצע הרב-שנתי;

(ב) פרקי גשם ארוכי זמן, והפוגות קצרות ביניהם;

(ג) עוצמות הגשם בפרקי זמן קצרים היו שכיחות בדרך כלל.

בעקבות הגשם הנדיר אירעו גאוויות ברוב אגני הארץ, ובעטיין הוצפו שטחים ויישובים, נסחפו שדות חקלאיים ונגרמו נזקים חמורים לתשתית הניקוז הארצית ולתשתית התחבורה. את הגאוויות בחורף זה מייחדים:

(א) ספיקות שיא גבוהות, באגנים מכל הסדרים, החל באגנים קטנים וכלה באגנים הארציים;

(ב) סדרה של ספיקות שיא נדירות, שהתרחשו פעמים מספר בכל אגן;

(ג) משכים ונפחי נגר נדירים בכמותם ובחלקם היחסי בכמות המשקעים.

המאמר מתאר את אירועי הנגר באגנים קטנים ובינוניים ואת השפעתם על מערכות הניקוז הארציות.

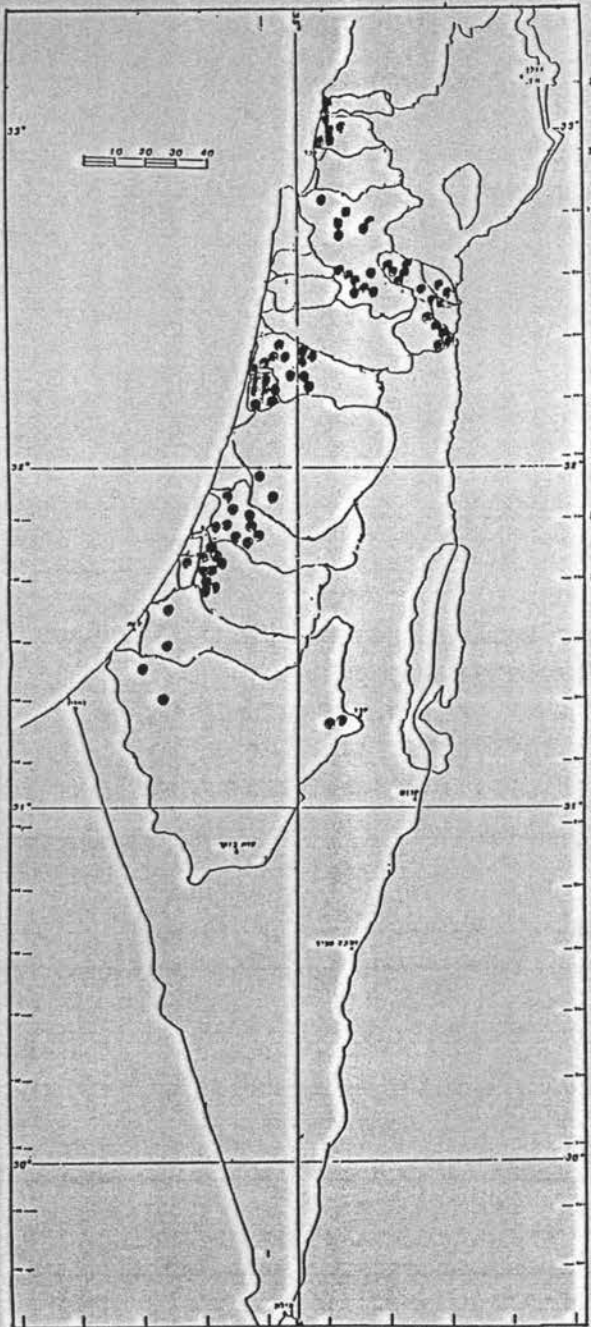
ב. מערכת תחנות המדידה של התחנה לחקר הסחף

התחנה לחקר הסחף משמשת יחידת המחקר של האגף לשימור קרקע וניקוז במשרד החקלאות. במסגרת מחקר שמטרתו עדכון קריטריונים לתכנון מערכות ניקוז על-קרקעיות וביצוען, הוקמה ברחבי הארץ רשת תחנות הידרומטריות כדי לאמוד את ספיקות השיא באירועי הזרימה השונים. המערכת הוצבה בעונת 1979/80 ובתוך שנתיים היו בה 80 תחנות, בהן כ-20 תחנות רושמות (ראה תרשים מס' 1). הנתונים שסיפקה הרשת במרוצת השנים היו תשתית לפיתוח מודל לאומדן ספיקות תכן באגנים קטנים ובינוניים (מודל תחל"ס). רשת התחנות המודדות אגנים קטנים ובינוניים משתבצת במערך הארצי של השירות ההידרולוגי ומסייעת בקבלת תמונה טובה יותר של האירועים ההידרולוגיים.

נוסף על תחנות הקבע שלנו נעשו השנה אומדנים של ספיקות שיא באגני חוף הכרמל, ביבנאל, בתבור ובגולן, כדי לתעד את האירועים הנדירים.

General map of the system of stations, of the Station to investigate erosion throughout the land of Israel

תרשים מס' 1: תפרוסת רשת התחנות של התחנה לחקר הסחף ברחבי הארץ



ג. אירועי השיטפונות באגנים הקטנים והבינוניים

כאמור, התחוללו חמש סופות בעלות עובי גשם גדול, שגרמו לאירועי שיטפונות גדולים ברוב חלקי הארץ, מבאר שבע צפונה. בתחנות המדידה נרשמו ספיקות שיא שטרם נמדדו עד כה. כיוון ששנות המדידה בתחנות אלה קצרות יחסית, הוערכו ההסתברויות של ספיקות השיא לפי מודל תחל"ס.

טבלה מס' 1 מציגה מספר אגנים שנמדדו בהם ספיקות שיא מעל ספיקות השיא עד שנה זאת, ואת מספר האגנים שהסתברות הספיקה בהם הוערכה ב-5% או פחות.

**טבלה מס' 1: שכיחות הספיקות הנדירות בתחנות תחל"ס**  
*Frequency of rare flows in the stations of the station to investigate emission*

אגן ראשי	תחנות מדידה	אגנים מעל שיא מרבי ידוע	אגנים בהסתברות של 5% או פחות
פולג	7	7	6
קישון	11	9	8
לכיש	7	7	6
אלכסנדר	9	8	8
שורק	7	5	2
חרוד	8	0	3
בזק	4	4	3
גליל מערבי	5	2	1

ספיקות השיא הנדירות ביותר אירעו באגן נחל פולג, ואנו מעריכים כי הסתברותן קרובה ל-1%. באגני הנחלים חרוד ויששכר אירעו גאוויות גבוהות, אך נמוכות מאירועי ינואר 1990, אשר תועדו על ידינו. בתחומי הגליל המערבי נרשמו גאוויות שכיחות למדי. בטבלה מס' 1 אין מוצגים נתוני התחנות הדרומיות שלנו, מכיוון שנרשמו בהן נתונים שכיחים. מן הטבלה עולה כי ברוב תחנות הרשת נרשמו גאוויות שוות לגאוויות הצפויות בהסתברות של 5% או גדולות מהן. באגנים מספר נרשמו ספיקות שיא "מדהימות" ביחס למדידות העבר, ובאחרים נמדדו ספיקות גבוהות, אך "סבירות".

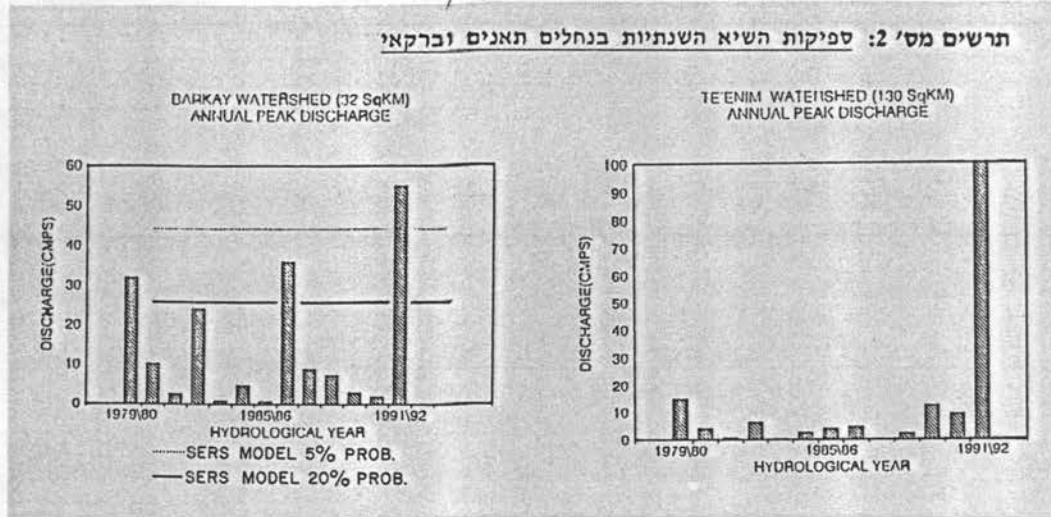
תרשים מס' 2 מציג את נתוני ספיקות השיא השנתיות בשני אגנים המאפיינים את הנאמר לעיל, תאנים וברקאי. בשני נחלים אלה אירעו ספיקות שיא גבוהות, ואולם קל להבחין כי ספיקות השיא בנחל תאנים היתה מדהימה ביחס למדידות בשנים הקודמות. ספיקות שהסתברותן נמוכה אירעו השנה פעמים מספר ובתפוצה רחבה בארץ. תופעה מעין זאת טרם נמדדה בארץ בתולדות הרישום של הגאוויות. תרשים מס' 3 מציג ספיקות גבוהות מהידוע עד כה, במהלך השנה.

הסתברות ספיקות השיא באגנים הקטנים והבינוניים ותפרושתן במרחב דומות מאוד לתמונה העולה בתחנות המדידה של האגנים הראשיים הנמדדים על-ידי השירות ההידרולוגי. אפשר לסכם כי ספיקות השיא השנה התאפיינו בפרישה רחבה, בהסתברות נמוכה, ובחזרת ספיקות בעלות הסתברות שנתית נמוכה פעמים מספר במהלך העונה. צירוף שלושת הגורמים הללו בא לידי ביטוי בספיקות שיא נדירות בעונת 1991/92.

אם עמדנו פעורי פה לנוכח ספיקות השיא הנדירות ועוצמת הנוזקים שגרמו, נוכחנו לדעת כי נפחי הנגר עלו בכמותם על כל הידוע לנו. בתרשים מס' 3 אפשר להבחין במהלך אופייני של הגאוויות בשנה זו: למן הגאות הראשונה החלה בנחלים זרימה אשר נמשכה בציפות כל העונה.

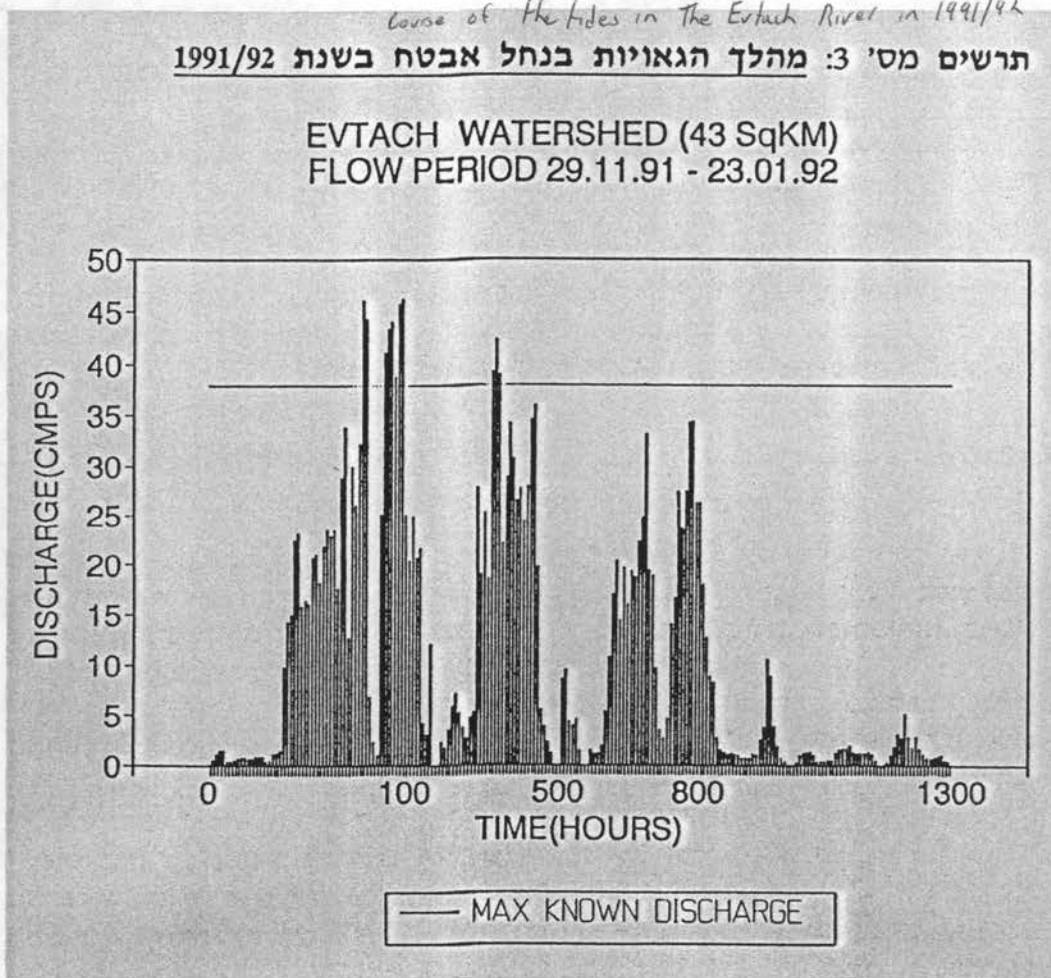
(discharges)  
 Yearly maximum flows in the Teknim and Barkai Rivers.

תרשים מס' 2: ספיקות השיא השנתיות בנחלים תאנים וברקאי



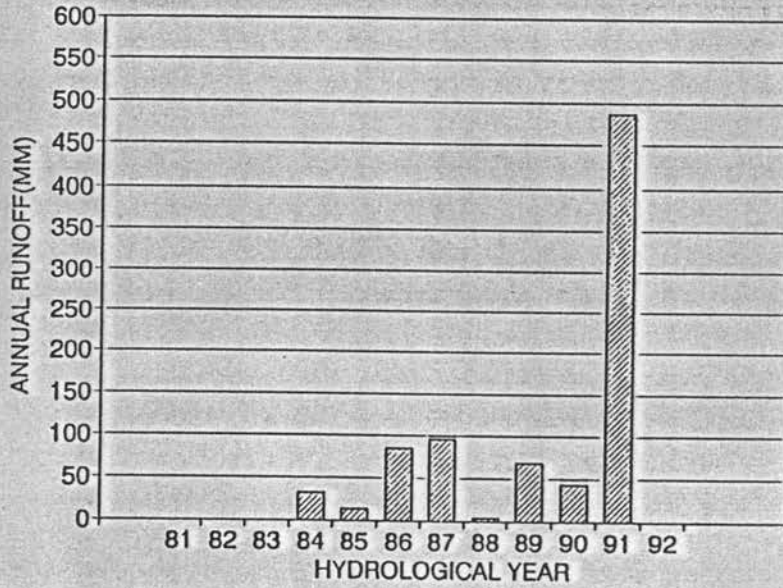
Course of the tides in The Evtach River in 1991/92  
 תרשים מס' 3: מהלך הגאות בנחל אבטה בשנת 1991/92

EVTACH WATERSHED (43 SqKM)  
 FLOW PERIOD 29.11.91 - 23.01.92



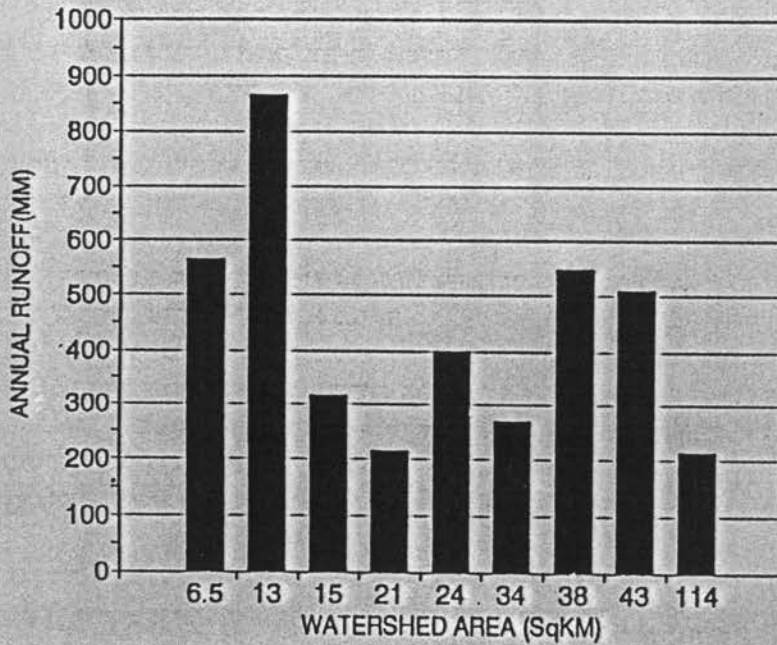
yearly volume of flow (runoff) that were measured in the Ertach River.

תרשים מס' 4: נפחי נגר שנתיים (ב-מ"מ) אשר נמדדו בנחל אבטח



yearly degree of flow (runoff) in different basins

תרשים מס' 5: ערכי נגר שנתיים (ב-מ"מ) באגנים השונים



## השפעת שיטפונות על ערכות הניקוז

תופעה זאת, אשר נצפתה ברוב הנחלים, לא נרשמה בתחנות שלנו עד כה. הגאוויות שנרשמו עד כה היו קצרות זמן, וההפוגות בין גאות לגאות היו ברורות. כמויות הנגר השנה היו גדולות באופן מוחלט ובאופן יחסי לגשם. תופעה של נגר סגולי נדיר נרשמה באגנים קטנים בשטח של 6 קמ"ר, ובאגנים גדולים ששטחם עד 110 קמ"ר. הערכים הסגוליים של הנגר מתאימים לערכים המתקבלים ביחידות שטח ובחלקות נגר קטנות (עד 500 מ"ר). תרשים מס' 4 מציג לדוגמה את עובי הנגר השנתי שזרם בנחל אבטח בשנה זאת ביחס לשנים הקודמות. נתוני נחל אבטח מייצגים את התופעה הארצית של יחסי נגר-גשם גבוהים ביותר. אם נניח כי באגן נחל אבטח היה עובי הגשם הממוצע כ-1,100 מ"מ, הרי כ-45% מהם זרמו לים התיכון. בתרשים מס' 5 מוצגים ערכי הנגר הסגוליים שנמדדו השנה, כנגד שטח תחומי ההתנקזות. ערכי הנגר גבוהים בכל האגנים, ובאגנים מספר הם נדירים למדי. הגאוויות הצטיינו אפוא במשכי זרימה ארוכים מאוד ובנפחי נגר ונגר סגולי גבוהים ונדירים.

השיטפונות הנדירים ומאפייניהם הייחודיים הסבו נזקים קשים לשטחים מיושבים, למבני משק, לשטחים חקלאיים ולמערכות ניקוז ותעבורה. האגף לשימור קרקע וניקוז נאלץ להתמודד עם בעיות כגון שדות רבים שהוצפו ונסחפו, מטעים שנקברו תחת כמויות סחף גדולות ומערכות תיעול שנהרסו.

הסדרת הנחלים ותעלות הניקוז באזורים החקלאיים מיועדת בדרך כלל לספיקה בהסתברות של 10%, ולכן התקשתה המערכת להתמודד עם אירועי השנה. שלושה גורמים חברו להרס הכבד של המערכת:

- ספיקות שיא גדולות, מעבר לספיקות התכן;
- מספר רב של ספיקות גדולות מספיקות התכן;
- משכי זרימה ארוכים מאוד.

עובדי רשויות הניקוז האמונים על תחזוקת מערכות הניקוז התמודדו בעבר עם אירוע נדיר שפקד חלק קטן מהמערכת אחת לכמה שנים. במקרה כזה היה אפשר לייחד כוחות ותקציב לטיפול מיידי בנוזק שנוצר, ולהחזיר את המצב לתקנו בזמן סביר. השנה לא היה אפשר לטפל בתעלות במשך החורף. הזרימות המתמשכות וספיקתן הרבה התמידו בהרס התעלות, והסבו נזקים בהיקף ובעוצמה שטרם ידענו בעבר. תעלות רבות נחתרו בעוצמה אדירה ומתקני ייצוב הידראוליים קרסו. במקרים רבים היו מהנדסי הניקוז אובדי עצות, ולא היה לאל ידם להושיע.

מדור"ח שהגיש מנהל האגף לשימור הקרקע והניקוז עולה כי השנה נפגעו כ-350 ק"מ מתוך כ-2,000 ק"מ תעלות שהוסדרו בכל רחבי הארץ במשך השנים. לפי אומדן ראשון של מנהל האגף, עלות שיקום המערכת מגיעה לכ-60 מיליון ש"ח. מערכות תיעול אלה הן תשתית הניקוז של מדינת ישראל, ושיקומה הוא בנפשו של היישוב כולו. אל תשתית זאת מתנקזים כל היישובים, השדות החקלאיים, מערכות התעבורה והתעופה ומפעלי התעשייה.

האירועים השנה מחייבים את מקבלי החלטות בישראל להקצות משאבים לא רק לשיקום המערכת, אלא גם להכשרתה לאירועים נדירים יותר בעתיד.

אירועי הגשמים והשיטפונות השנה נטלו אותנו לנקודת זמן רחוקה שממנה אפשר להשקיף אל ההווה ולבחון באופן יסודי את השיקולים המנחים אותנו בפתרון בעיות. כבר היום קיבלנו תימוכין להנחות שהיו בעבר בסיס לשקולינו, ואשר לנושאים מספר ברור לנו כי יש לבחנם מחדש. שנה נדירה זאת, על גשמיה ושיטפונותיה, תעסיק את חוקרי ההידרולוגיה עוד שנים רבות.

## שפיעת מעיינות

דרור גלעד (השירות ההידרולוגי, ירושלים)

א. רקע כללי

שפיעת המעיינות בישראל היא כ־800 מלמ"ק לשנה בממוצע. כ־3/4 מהם מים שפירים שמליחותם אינה עולה על 500 מג"ל כלורידים. מרבית המעיינות השפירים שופעים באגני הכנרת: במקורות הירדן הניזונים מהחרמון – כ־400 מלמ"ק; ברמת הגולן – כ־50 מלמ"ק. בגליל העליון, הניקוז המזרחי והמערבי, שופעים כ־50 מלמ"ק מים שפירים. בניקוז המזרחי, מעמק חרוד עד ים המלח, שופעים כ־200 מלמ"ק בשנה, מחציתם מים שפירים. מעיינות מליחים שופעים במוצאי הקליחה של אקוויפר ההר (ירקון-תנינים) – כ־30 מלמ"ק בשנה, ואקוויפר הגליל התחתון (נעמן) – כ־10 מלמ"ק בשנה. מליחותם היא תוצאת המגע עם מי הים.

נפח המשקעים במרכז ישראל הגיע השנה ל־200-220 מהממוצע, ואילו בצפונה הגיע ל־150%-180 מהנפח הממוצע, ונפחי אוגר מי התהום המזינים את המעיינות עלו בשיעור דומה. השנים הקודמות, שהיו דלות במשקעים, גרמו לדלדול נפחי האוגר המזינים את המעיינות, והשפיעה בהם הלכה ופחתה. במקורות הירדן (בדן ובבניאס) ובעינות התנינים ירדה השפיעה השנתית עד לכדי מחצית הספיקה הממוצעת בעשרות השנים האחרונות. בשלב זה עדיין אי אפשר לסכם את נפחי השפיעה לשנה זו, אך אפשר להתרשם מספיקות השיא באביב האחרון, ולהקיש מהן על השפיעה הצפויה. פרק זה מציג ומנתח ספיקת מעיינות נבחרים בלבד. מעקב מליחות מי המעיינות נעשה עפ"י מדידות ריכוז הכלורידים בסתיו ובאביב. על-פי תוצאות המדידות הקודמות אפשר לקבוע ששינויי המליחות בדרך כלל מזעריים: במועד כתיבת המאמר טרם התקבלו תוצאות הדיגום של אביב 1992, ולא היה אפשר להתייחס לנושא זה.

ב. שפיעת המעיינות הגדולים

בטבלה מס' 1 מוצגים נתוני ספיקת השפל והשיא בשנה לעומת הנפח השנתי במעיינות הגדולים הנמדדים (יותר מ־10 מלמ"ש), ל־5 שנים האחרונות. מתוך 10 המעיינות הללו 2 בלבד נמצאים באגן הניקוז המערבי: נחל התנינים והנעמן. 5 מהמעיינות שופעים מים שפירים בנפח שנתי של 400 מלמ"ק בממוצע, ואילו עינות דן בלבד שופעות יותר ממחצית כלל השפיעה. 5 המעיינות המליחים שופעים כ־110 מלמ"ק לשנה בממוצע. יש להזכיר כמה מעיינות גדולים שאינם נמדדים באופן סדיר, כגון: עינות צוקים, קנה וסמר, השופעות מים מליחים בחוף ים המלח בנפח הנאמד ב־80 מלמ"ש. עין וזאני בנחל שניר, השופעת מים שפירים בנפח הנאמד ב־40 מלמ"ש; עינות שיאון, השופעות בעונת הפשרת השלגים בחרמון בספיקה העולה על 1 מ"ק/שני (5/1992).

- אפשר למיין את המעיינות לשלוש קבוצות, על-פי תנודות ספיקתם בשנה:
1. מעיינות יציבים, בעלי אוגר גדול.
  2. מעיינות עונתיים, המאופיינים בעקום דעיכה תלול יותר.
  3. מעיינות המתייבשים בעונת היובש.

### 1. מעיינות יציבים

בקבוצה זו נכללו המעיינות הגדולים שבהם מקדם הדעיכה, הנקבע על-פי יחס ספיקת השיא לשפל, נמוך מ־2, ויחס השפיעה השנתית המרבית והמינימלית נמוך מ־2 גם הוא. שפיעתם השנתית הכוללת היתה 367 מלמ"ק ב־1987/88. בשנה האחרונה, 1991/92, היו יחסי ספיקת השיא לשפל גבוהים במיוחד, וספיקת השיא השנה היתה גבוהה מספיקת השיא ב־1988. כפי שמוצג בטבלה מס' 2:

minimum and maximum discharges (flows), and yearly volumes in specific water sources.

טבלה 1: ספיקות שפל ושיא, ונפחים שנתיים במעיינות נבחרים

כנור מג"ל 5	1991/2		1990/91			1989/90			1988/9			1987/8			שם המעין	
	מ"א 10 <sup>6</sup>	מ"קט. q ל"שנ'	מ"א 10 <sup>6</sup>	מ"קט. q ל"שנ'	מ"א 10 <sup>6</sup>	מ"קט. q ל"שנ'	מ"א 10 <sup>6</sup>	מ"קט. q ל"שנ'	מ"א 10 <sup>6</sup>	מ"קט. q ל"שנ'	מ"א 10 <sup>6</sup>	מ"קט. q ל"שנ'	מ"א 10 <sup>6</sup>	מ"קט. q ל"שנ'		
10		11.3	4.99	177	7.76	3.27	159	6.71	4.12	218	7.98	7.52	292	10.18	7.88	דן
10		6.09	0.53	46	3.53	0.44	37	2.62	0.45	46	3.36	0.75	85	6.83	0.87	בניאס
1400		2.60	0.48	20	0.83	0.51	24	1.21	0.54	28	1.25	0.71	38	1.99	0.62	תנינים (גשר רומי צפוני)
900		3.26	0	3.7	0.36	0	4.3	0.33	0	14.5	0.79	0.45	22.3	1.51	0	נעמן
2000		0.88	0.45	15.1	0.54	0.43	15.3	0.53	0.48	16.5	0.57	0.48	18.8	0.77	0.51	נור (טבחה)
1000		0.77	0.51	18.3	0.61	0.53	21.3	0.74	0.48	18.5	0.65	0.47	18.1	0.73	0.47	עמל
500		0.87	0.53	17.6	0.59	0.44	17.0	0.69	0.42	16.8	0.70	0.51	18.0	0.68	0.50	מגדל
160		0.42	0.26	9.0	0.33	0.27	9.3	0.34	0.28	10.0	0.37	0.26	10.2	0.37	0.31	מודע
20		0.56	0.24	7.1	0.30	0.22	8.3	0.32	0.23	10.4	0.41	0.29	10.0	0.41	0.26	נוטרה
30		0.71	0	2.8	0.27	0.01	7.9	0.52	0.05	10.1	0.52	0.14	10.9	0.54	0	עוג'ה

The relation of maximum discharges (flows) to low tides in stable sources (water source)

טבלה 2: יחסי ספיקת שיא לשפל במעיינות יציבים:

שם המעין	חודש השפל 1991	חודש השיא 1992	יחס ספיקת מינ./מקט 1991/92	יחס ספיקת שיא 1992/1988
דן	אוקטובר	מרס	2.26	1.11
נור	יולי	מרס	1.96	1.14
עמל	אוקטובר	פברואר	1.50	1.05
מגדל	יולי	אפריל	1.64	1.28
מודע	ינואר	אפריל	1.62	1.14
נוטרה	דצמבר	מרס	2.33	1.37



## 2. מעיינות עונתיים

**עינות הבניאס**, המרכיב הראשי בנחל חרמון, שפיעתן השנתית בשנים האחרונות נעה בין 85 מלמ"ק ב-1987/88 ל-37 מלמ"ק ב-1989/90. ספיקת השפל השנה נמדדה באוקטובר, והשיא במאי 1992 (מאוחר יותר מהממוצע, בגלל השלג הרב בחרמון); יחס הספיקות הוא 11.5.

**עינות נחל תנינים** ובעיקר עינות חנויה, הנמדדות במקובץ בגשר רומי צפוני במורד הזרימה, שופעות מים מליחים. בשנים האחרונות הלכה ודעכה השפיעה השנתית בהדרגה – בעקבות ירידת האוגר באקוויפר ירקון-תנינים – מ-38 ל-20 מלמ"ק/שנה ב-1990/91. ספיקת השפל השנה נמדדה באוקטובר והשיא בסוף מרס 1992 (בהתאמה לשיא המפלס באקוויפר); יחס הספיקות הוא 5.4.

## 3. מעיינות מתייבשים

**עינות נעמן (אפק)**, שהן נקז אזורי לאקוויפר הקנומן בגליל התחתון, שופעות מים מליחים. ב-5 השנים האחרונות, להוציא שנת 1988/89, יבשו המעיינות כליל בעונת הקיץ, בשל ניצול אינטנסיבי של האקוויפר בשדות שאיבה במעלה. עד נובמבר 1991 היה המעיין יבש. ספיקת השיא נמדדה במרס 1992, והיא כפולה מספיקת השיא שנמדדה ב-1987/88.

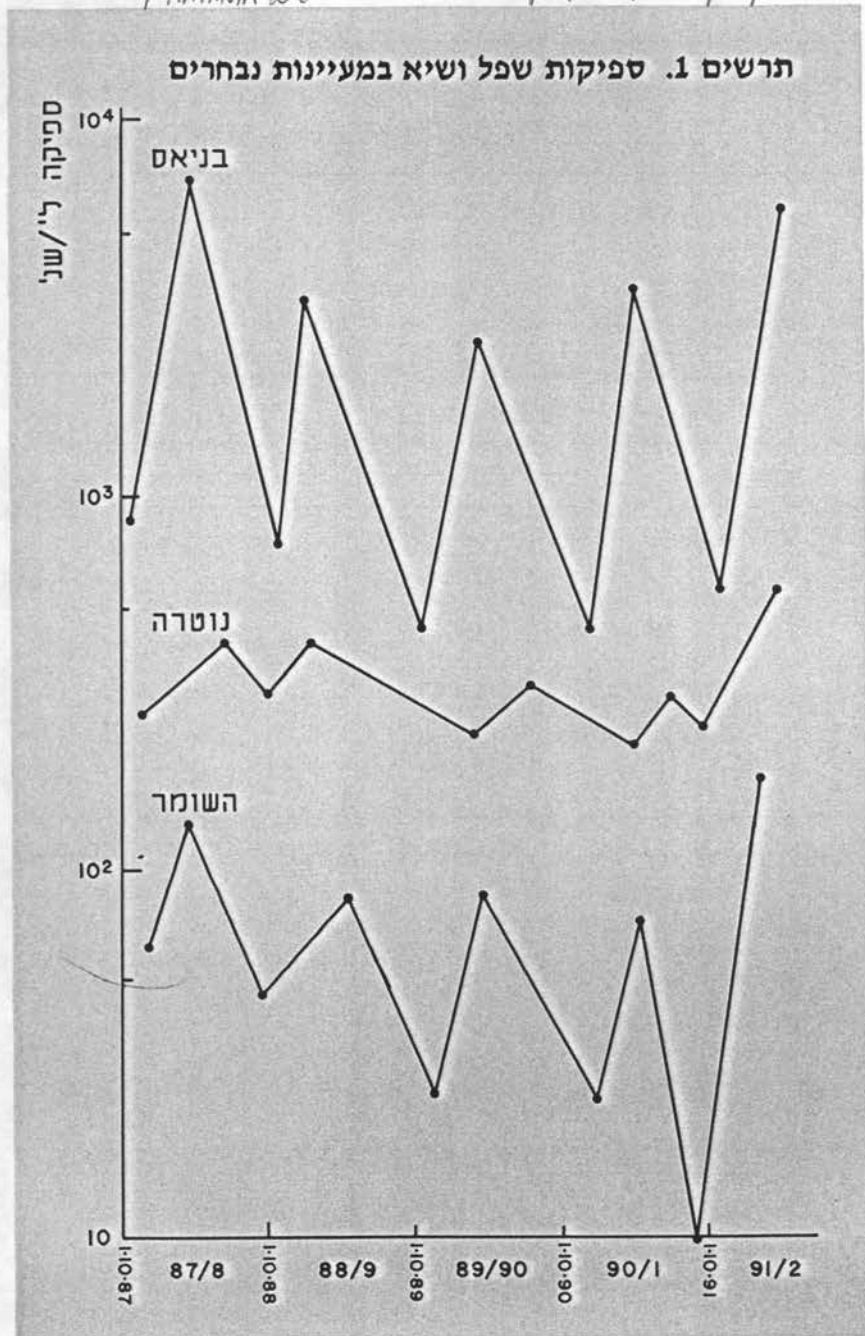
**עוג'ה**, מעיין המנקז את אקוויפר הקנומן שבשומרון. משטר שפיעתו תלוי בתלות הדוקה בגשם השנתי. ב-5 השנים האחרונות יבש כליל פעמיים. בנובמבר 1991 היה יבש. ספיקת השיא נמדדה בו בפברואר 1992, והיא הגבוהה ביותר בתקופה הנדונה.

תרשים מס' 1 מציג ספיקות שפל ושיא במעיינות טיפוסיים נבחרים ב-5 השנים האחרונות, כמפורט להלן:

- עין נוטרה – מעיין גדול ויציב בספיקתו. בשנים האחרונות נצפתה מגמת ירידה בספיקה עד השנה האחרונה, שבה חלה התעוררות בולטת בחורף.
- עין בניאס – מעיין עונתי, עתיר שפיעה. בתקופה הנדונה נצפתה מגמת ירידה בספיקה, עד שנת 1989/90. ספיקת ההתעוררות בחורף האחרון לא הגיעה לרמה הגבוהה שבשנת 1987/88, בשל דלדול האוגר במהלך השנים האחרונות.
- עין השומר – מעיין עונתי שספיקתו בינונית. בשנים האחרונות נצפתה מגמה של ירידת ספיקה הדרגתית. בחורף האחרון עלתה ספיקת השיא עד מעבר לרמת 1987/88.

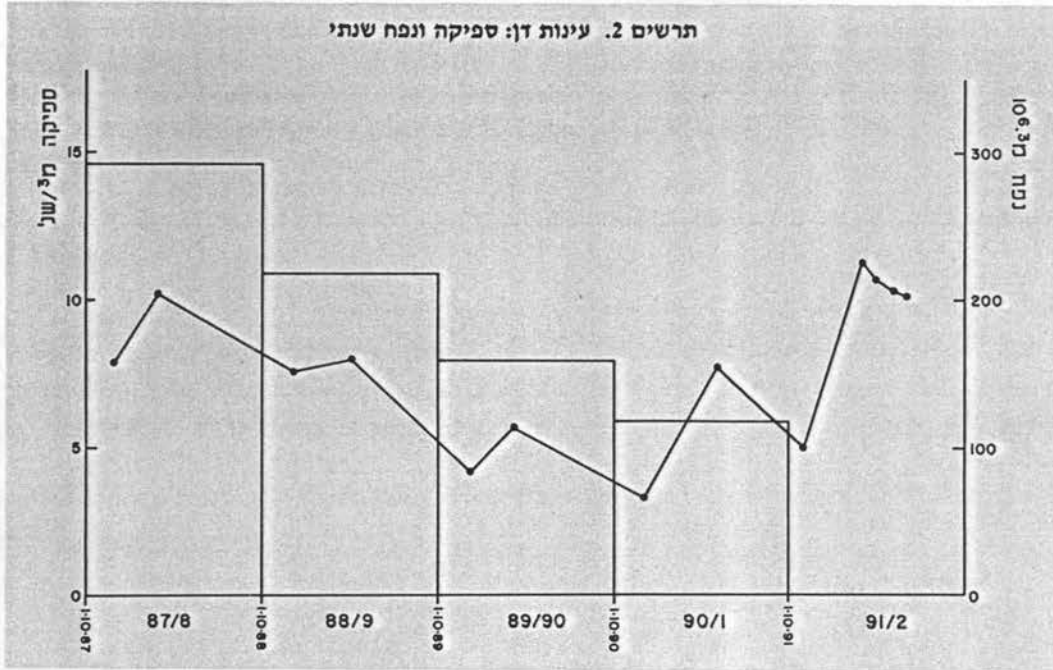
## ב. השוואות

Minimum and maximum discharges (flow) in specific watersources

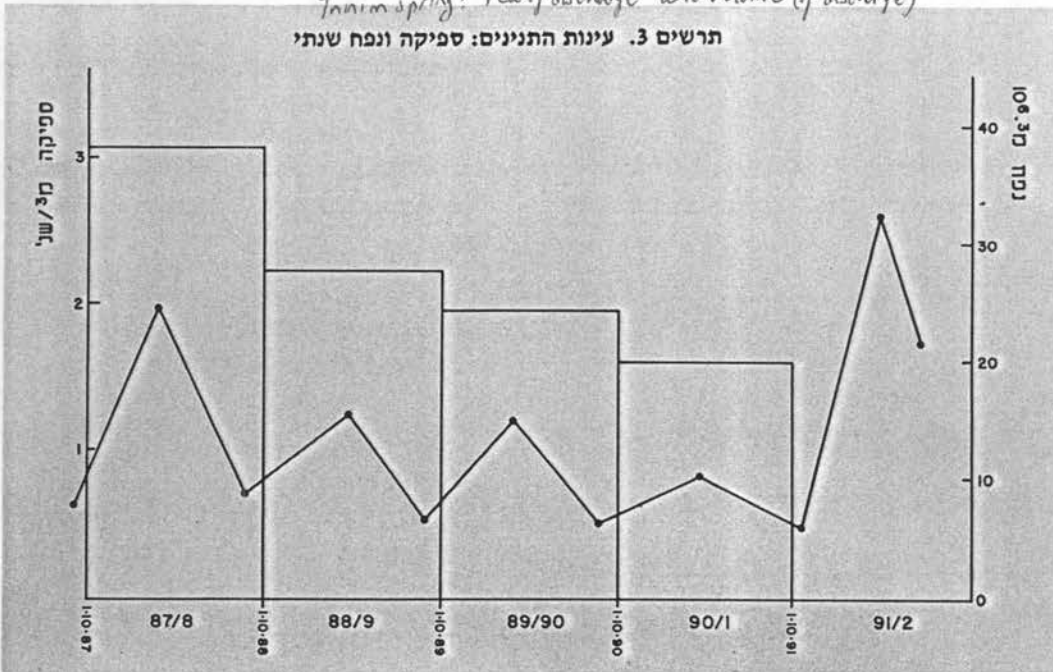


תרשימים 2 ו-3 מציגים נפחי שפיעה שנתית וספיקת שפל ושיא בעינות דן והתנינים. על-פי רמת ספיקת השיא האחרונה אפשר להניח שנפח השפיעה השנה עשוי לעלות על הנפח ב-1987/88.

*The Dan springs: Yearly discharge and volume (of discharge)*



*Tanin spring: Yearly discharge and volume (of discharge)*



התעוררות  
מעיינות בעונת  
1991/92

הגשמים הכבדים בתחילת העונה הכבדים גרמו לפריצת המעיינות העונתיים. חלק ניכר מהמעיינות בעלי האוגר המצומצם יבשו בקיץ האחרון, או אף קודם לכן. טבלה מס' 3 מציגה מעיינות נבחרים שהתעוררו:

The awakening of seasonal springs in 1991/1992  
טבלה 3: התעוררות מעיינות עונתיים נבחרים בשנת 1991/92

שפינה שנתית ממוצעת (מלמ"ק)	ספיקת השיא חודש ספיקה ל' / שנ'	ספיקת השפל חודש ספיקה ל' / שנ'	שם המעיין	אגן הידרולוגי
1.0	277 פברואר	7 דצמבר	כרכה (נ. בצת)	גליל מערבי
4.2	535 מרס	21 נובמבר	זיו (נ. כזיב)	גליל מערבי
1.4	774 פברואר	7 נובמבר	קיני	רמת מנשה
1.0	204 פברואר	5 נובמבר	צפורי	שפרעם-אושה
76.0	6086 מאי	530 נובמבר	בניאס	חרמון
2.5	321 מרס	2 נובמבר	חרמוניה	שולי הגולן
6.0	868 ינואר	87 ספטמבר	דופיילה	שולי הגולן
1.0	210 פברואר	1 נובמבר	מירון	גליל מערבי
0.5	81 מרס	1 נובמבר	יזרעאל	גלבוע

גורם העונתי (היחס בין ספיקת השיא לשפל) היה גבוה ביותר השנה, והוא מלמד על התמלאות האוגר המזין.

ספיקת השפל נמדדה במרבית המעיינות בנובמבר. ההתעוררות החלה בדרך כלל בדצמבר, ושיאה נמדד בדרך כלל בפברואר-מרס.

בטבלה מס' 4 מוצגים 28 מעיינות נבחרים (ששפיעתם השנתית עולה על 0.1 מלמ"ק) שהתעוררו בחורף הנוכחי. הבולטים שבהם:

אפק (נעמן) בספיקת שיא של 11,700 מק"ש  
 סער (חרמון) בספיקת שיא של 1,900 מק"ש  
 בריד (חרמון) בספיקת שיא של 1,800 מק"ש  
 דוליב (פריעה) בספיקת שיא של 2,650 מק"ש  
 סידרה (פריעה) בספיקת שיא של 2,000 מק"ש  
 עוגיה (שומרון) בספיקת שיא של 2,500 מק"ש  
 פואר (שומרון) בספיקת שיא של 8,800 מק"ש (נמדד יחד עם עין קלט)

The awakening of specific dry springs (wadis) in 1991/1992

טבלה 4: התעוררות מעיינות יבשים נבחרים בשנת 1991/92

שפיעה שנתית ממוצעת (מלמ"ק)	ספיקת השיא		ספיקת התעוררות		מועד התייבשות	שם המעיין	אגן הידרולוגי
	ספיקה 'ל'/שנ'	חודש	ספיקה 'ל'/שנ'	חודש			
3.5	300	מרס	236	דצמבר	4/91	געתון	גליל מערבי
1.5	447	מרס	317	דצמבר	4/91	מבוע (געתון)	גליל מערבי
13.0	3260	מרס	316	דצמבר	8/91	אפק (נעמן)	גליל תחתון
1.8	164	מרס	?	דצמבר	6/91	יפתחאל	שפרעם-אושה
0.6	285	פברואר	47	דצמבר	7/91	ארובות	רמת מנשה
5.0	524	מרס	34	נובמבר	6/91	סער	חרמון
1.7	211	ינואר	60	דצמבר	6/91	משרפה	חרמון
1.0	104	מרס	2	נובמבר	8/91	קוניה	חרמון
5.8	504	מרס	305	ינואר	11/91	בריד	חרמון
0.8	182	מאי	8	מרס	3/89	תנור	חרמון
0.1	35	מאי	18	מרס	11/89	תינה	חרמון
0.5	304	פברואר	19	דצמבר	7/88	השומר-חורפי	הרי נפתלי
2.8	318	מרס	222	דצמבר	3/91	אביב	קער מלכיה
1.5	63	מרס	48	דצמבר	9/91	שמיר	שולי הגולן
0.4	76	מרס	50	ינואר	7/88	חסיל	שולי הגולן
1.2	222	פברואר	13	דצמבר	3/90	פועם	גליל מערבי
0.1	46	פברואר	46	פברואר	5/88	בר יוחאי	גליל מערבי
0.1	50	פברואר	1	דצמבר	8/91	זיתים	גליל מערבי
1.6	308	מרס	266	ינואר	7/88	רמיאל	גליל מערבי
0.4	111	מרס	7	דצמבר	4/90	עמוד	ראש פינה
3.4	188	אפריל	32	ינואר	10/91	פחם	רמת הגולן
0.5	24	מרס	22	ינואר	5/91	בצת ג'וחדר	רמת הגולן
1.0	733	מרס	2	דצמבר	9/91	דוליב	פריעה (שכס)
1.0	557	מרס	250	ינואר	6/89	סידרה	פריעה (שכס)
1.3	130	פברואר	30	דצמבר	10/91	קודירה	פריעה (שכס)
10.0	708	פברואר	535	דצמבר	8/91	עוג'ה	שומרון מזרחי
(*4.5)	(*2446)	מרס	(*1006)	דצמבר	6/91	פואר	שומרון מזרחי

\* כולל גם את עין קלט.

## חורף 1991/92 בכנרת: סיכום ביניים

שמואל אסולין, מיכאל שאו (מקורות, יחידת אגן ההיקוות)

א. מבוא

חורף זה התאפיין בכמויות גשם גדולות הרבה יותר מהממוצע הרב-שנתי באזור. על רקע רצף השנים השחונות שקדמו לו בלטו עוד יותר השינויים האקלימיים וההידרולוגיים. בתקופת החורף, למן נובמבר 1991 ועד אפריל 1992, עלה מפלס המים בכנרת ב-4 מ'. למן חודש דצמבר 1991 נרשמו זרימות חזקות בירדן, ושיטפונות אירעו בנחלים שהיו יבשים בחורף הקודם. בעקבות הכניסות המוגברות של מים לאגם והעלייה המהירה במפלסו, הופסקה ההזרמה מהירמוך ונפתח סכר דגניה, ב-9 בפברואר 1992. משום כך לא עבר מפלס המים באגם, כל החורף, את הרום המרבי המותר של מינוס 208.90 מ'.

ב. מאזני מים ומלח ראשוניים לחורף 1991/92

סיכום מרכיבי מאזן המים בתקופה שבין 1.10.91 ל-31.5.92 מוצג בטבלה מס' 1. יש לציין כי הערכים אינם מדויקים. נתוני השירות ההידרולוגי שהטבלה מתבססת עליהם אינם סופיים. שיעורי ההתאדות מחושבים על סמך מאזן האנרגיה המצומצם. נתוני הצריכה הפרטית מהאגם אינם זמינים, והוערכו על סמך הנתונים מהשנה שעברה.

במהלך התקופה זרמו מהירדן לכנרת 665 מלמ"ק (לעומת 251 מלמ"ק בכל שנת 1990/91). נפח הגשם הישיר, שחושב על-פי ממוצע 7 התחנות, היה 123 מלמ"ק. כמות זו עולה על מכפלת הממוצע הרב-שנתי. ההבדל המרשים ביותר הוא תרומת הנגר מהאגן הישיר (פי עשרים יותר מים בהשוואה לכלל הזרימה בשנה שעברה). במהלך התקופה נשאבו 210 מלמ"ק מים למוביל הארצי (בהשוואה ל-120 מלמ"ק בכל השנה הקודמת). כדי למנוע את חציית הקו האדום העליון, הוזרמו 250 מלמ"ק דרך סכר דגניה אל הירדן התחתון וים המלח. ערכי ההתאדות מתאימים לערכים

טבלה 1: מאזן המים בכנרת לחורף 91/92 - ערכים מקורבים (מלמ"ק/חודש)

חודש	שינוי בנפח	ירדן	נגר ישיר	גשם ישיר	הסטייה	סכר דגניה	מוביל ארצי	צריכה התאדות	ק. כנרת	גלישה (ה.מ.מ.)
אוקטובר	-17.82	16.8	0.6	0.4	0.76	0.45	10	3.85	0.37	0
נובמבר	11.34	17.2	0.8	15.7	2.74	0.25	5	2.74	0.37	0
דצמבר	124.82	72.4	49	33.8	8.1	0.1	15.5	1.76	0.43	0
ינואר	196.84	114	83	28	15	0.08	31	0.97	0.48	0.27
פברואר	255.95	181	165	40.3	4	96	39.4	0.8	0.45	0.52
מרץ	43.49	115	40	3.94	0	96.5	35.7	1	0.51	0.76
אפריל	27.04	80.6	7	0.14	0	38.3	29.7	1.5	0.49	2.26
מאי	-0.84	67.7	3	0.3	0	20	44.5	2	0.55	2.08
סה"כ	640.82	664.7	348.4	122.58	30.6	251.68	210.8	14.62	3.65	5.89

Balance of the water in the Sea of Galilee in the Winter of 1991/1992 - Approximate assessments

המקובלים בחודשים המקבילים, וברמה זו של החישוב אין ניכרת השפעה של הטמפרטור הנמוכה יותר של מי האגם בחורף זה. במאזן האנרגיה המורחב, הנעשה במסגרת הפת הסימולטני של מאזני המים, המלח והחום (אסולין, 1989), יבוא לידי ביטוי השילוב של טמפרטורות המים הנמוכות באופן יחסי במרבית המקורות ושל הזרימות המוגברות. בחודשי האחרונים, הגלישה מה-ה.מ.מ. (המוביל המלוח) לאגם גבוהה בשל הפסקת ההטיה במסג פעולות אחזקה של התעלה. נתוני מליחות של מרכיבים עיקריים במערכת המים באגם מוצג בטבלה מס' 2. בשל כניסות המים המוגברות שמליחותם נמוכה, ירד ריכוז הכלורידים הממו באגם מ-252 מ"ג/ל' ל-210 מ"ג/ל'. ואולם, כמות הכלורידים באגם ירדה מ-921 אלפי טונות ל-4 אלפי טונות בלבד, למרות היציאות המוגברות של מי האגם דרך סכר דגניה למוביל האר בהשוואה לנתונים מקבילים מהחורף הקודם, נראה כי הזרימות הגבוהות בירדן לוו בעלי מסוימת של מליחות המים, ואילו השיטפונות בנחלים הזורמים ישירות לכנרת ובירמוך הורי את רמת המליחות בהם. נרשמה גם ירידה ניכרת במליחות מי קידוח כנרת 7 ובמליחות הכ הגולשים מה-ה.מ.מ. לאגם בעת זרימות השיא.

*Key components of the Balance of Salt in the Galilee in 1991/92*

טבלה 2: מרכיבים עיקריים במאזן המלח בכנרת 91/92 - ערכים מקורבים (מגכ"ל/ל')

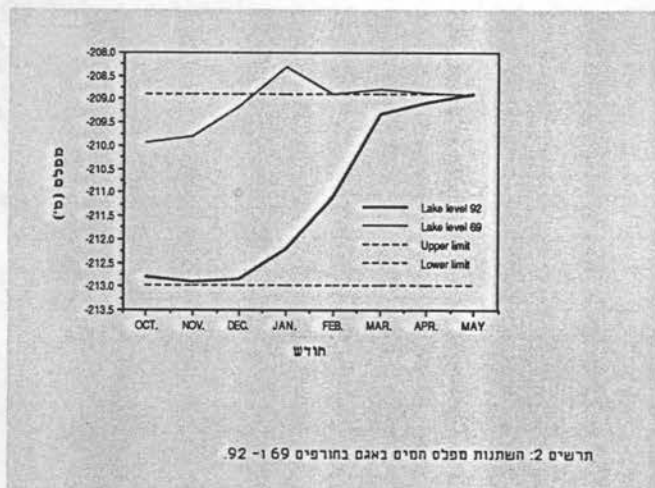
חודש	מליחות אגם	מליחות ירדן	מליחות נגר	מליחות מליחות ק. מליחות 7	מליחות גלישה (ה.מ.מ.)
אוקטובר	252	17.6	28.3	218.8	1238.2
נובמבר	251	15.9	43.4	172.3	1234.3
דצמבר	248.3	20.2	25.3	105	693.4
ינואר	236.8	28.6	16.3	60	268.3
פברואר	223.3	26.9	14.8	45	128.3
מרץ	211.6	27.2	21.8	62	129.5
אפריל	210	19.4	29.5	140	235
מאי	209.9	15.3	31.5	217	355.8

השנה האחרונה שבה היה החורף דומה בתכונותיו לתכונות השנה היתה שנת 1968/69. הנתון על חורף 1969 לקוחים מדו"ח מאזן מים (מירו וחובריו, 1976) ומדו"ח מאזן מלח (כהנוביץ וחובר 1972).

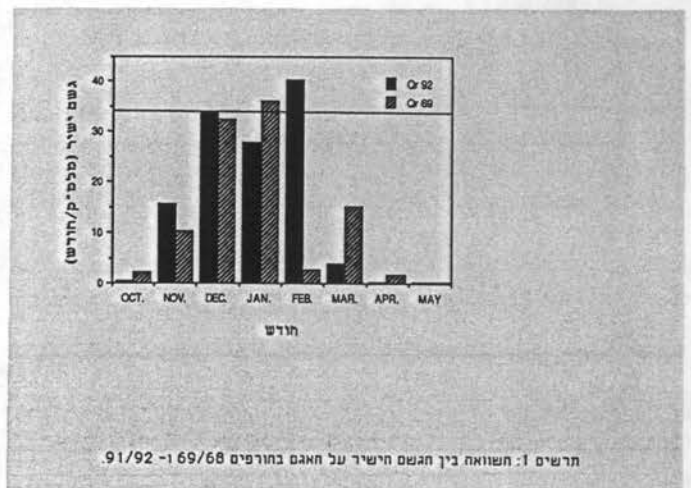
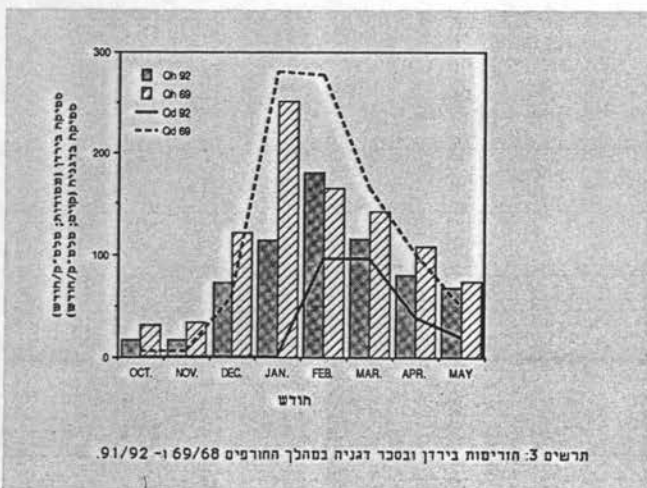
ההשוואה בין שני החורפים במונחים של גשם ישיר על האגם מוצגת בתרשים מס' 1. ההבדל הבולט ביותר במבנה העונה הוא כמות הגשם בחודש פברואר. בסך הכול ירדו יותר גשמים ישיר על האגם בהשוואה לחורף 1968/69 (122.6 לעומת 101.1 מ"מ/ק). הבדל ניכר בין שתי התקופות

ג. השוואה לחורף 1968/69

הוא המצב ההתחלתי של האגם (תרשים מס' 2); בתחילת 1968/69 היה מפלס המים גבוה יותר ב-2.6 מ'. מצב זה השפיע על היכולת לתפעל את האגם במסגרת הגבולות הנתונים, ובחורף עבר מפלס המים את הרום המרבי. נוסף על כך זרמו כמויות גדולות של מים דרך סכר דגניה. ההשוואה בין הזרימות בירדן ובסכר דגניה בשני החורפים מוצגת בתרשים מס' 3. למעשה, בחורף 1969 כל המים שנכנסו מהירדן יצאו דרך סכר דגניה. השנה, גם בשל רצף השנים השחונות, הזרימות בירדן חלשות יותר. מפלס המים הנמוך בתחילת עונת הגשמים אפשר ניצול מרבי של האוגר התפעולי, כך שרבע בלבד מהכמות שהוגלשה בחורף 1969 זרמה השנה דרך סכר דגניה. הבדל ניכר זה השפיע גם על מצב אוגר המלח ומליחות מי האגם. בחורף 1969, ירדה מליחות מי האגם מ-297 ל-243 מג"ל/ל. ואולם בשל הוצאת נפח מים גדול, ירדה גם כמות המלח ירידה ניכרת, מ-1,230 ל-1,050 אלפי טונות כלורידים. אמנם השנה גרמה כניסת המים הגדולה למיהול ניכר של מי האגם ומליחות המים, אבל כמות המלח באגם פחתה אך מעט. משמעות הדבר – במציאות מתאימה, שתגרום להורדת מפלסים ולצמצום השאיבה, ריכוז המלח עלול לחזור ולעלות ל-250 מג"ל/ל.



Lake in the winters of 1992 & 1969.  
- Changes in the level of water in the lake in the winter.



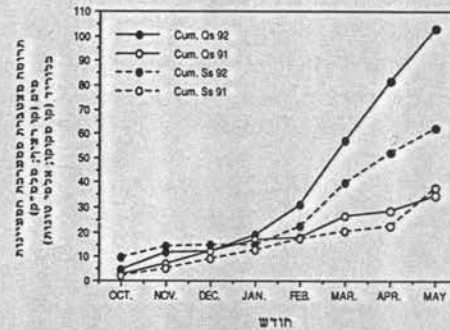
51 The flows in the Jordan and the Be'er Sheva Dam during the course of the winters of 1968/69 - 91/92

Comparison between the direct rains on the lake in the winters of 1968/69 and 91/92



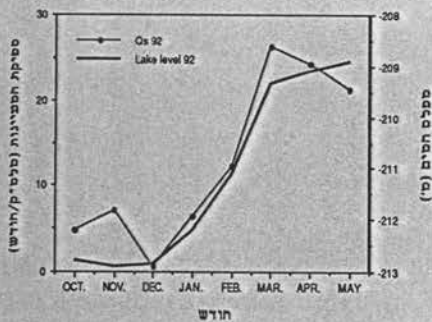
## ד. פעילות מערכת המעיינות המלוחים

יש עניין רב בזיהוי השינויים שחלו בפעילות מערכת המעיינות המלוחים בכנרת, לנוכח השינויים הקיצוניים בנתונים האקלימיים וההידרולוגיים, ובמפלס המים באגם בהשוואה לחורף השחון הקודם. מאזני מים ומלח מקורבים מאפשרים להעריך הערכה ראשונית את תרומת המים והמלח של מערכת המעיינות המלוחים באגם. מאפייני פעילותה של מערכת המעיינות מוצגים בטבלה מס' 3. ההשוואה לתוצאות מקבילות בחורף 1990/91 מוצגת בתרשים מס' 4, במונחים של כמויות מים ומלח מצטברות. בעקבות הגשמים הרבים ובמקביל לעלייה המהירה במפלס האגם, גדלה תרומת המים ממערכת המעיינות המלוחים גידול ניכר, קרוב לפי שלושה בהשוואה לתקופה המקבילה אשתקד. העלייה בספיקה מלווה בהכפלת עומס המלח מהמערכת. היחס הנמוך יותר בגידול בתרומת המלח בהשוואה ליחס בגידול בתרומת המים מורה על ירידה במליחות הממוצעת המאפיינת את שפיעת מערכת המעיינות. שיא השפיעה מתקבל בחודש מרס, כחודש לאחר שיא הגשם (תרשים מס' 5). בחורף שעבר התקבל שיא השפיעה חודשיים אחרי שיא הגשם. ממאזני המים בכנרת שנעשו בשנים האחרונות (אסולין ושאן, 1992) עולה כי תהליך הירידה של מפלס המים באגם לווה בתהליך של דעיכה בתרומת המים ממערכת המעיינות המלוחים,



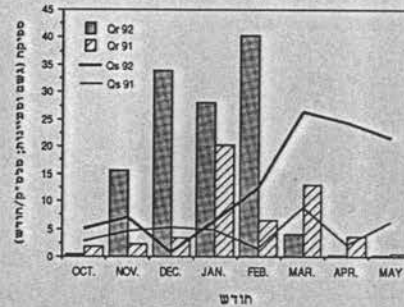
תרשים 4: תרומות מצטברות של מים ומלח ממערכת המעיינות המלוחים בחורפים 90/91 ו-91/92.

Accumulative contributions of water and salt from the system of salty springs in the Winters of 1990/1991 - 1991/1992



תרשים 6: אסון שפיעת המעיינות המלוחים על רקע העליה במפלס האגם בחורף 92.

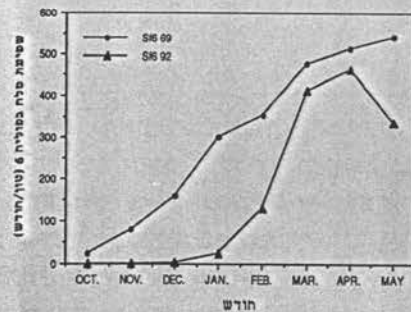
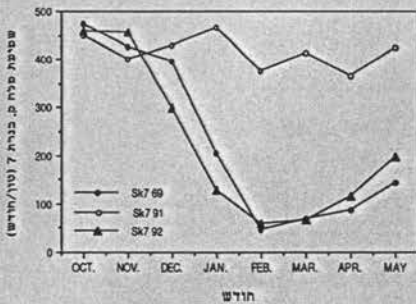
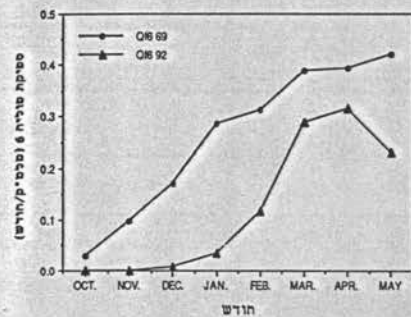
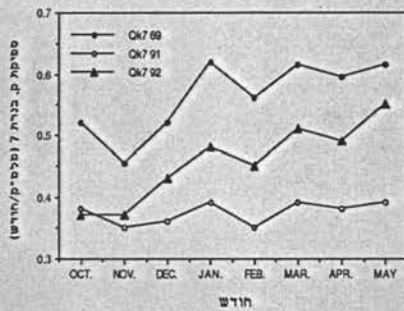
An assessment of the influence of the salty springs on the basis of the rising of the lakes water level in the course of the winter of 1992.



תרשים 5: אסון הספיקות החודשיות ממערכת המעיינות המלוחים בחורפים 91 ו-92 על רקע כמויות חודשיות של גשם ישיר על האגם.

An assessment of monthly discharges from the system of salty springs in the winters of 1991/1992 on the basis of the monthly amounts of direct rain on the lake.

בניגוד לדעה הכורכת ירידה במפלס בהתגברות שפיעת המעינות, כנראה בשל מיעוט הגשמים ודלדול המאגרים המזינים. נקודה זו הבליטה את חולשת הגישה המנסה לבחון ולחזות את פעילות המעינות המלוחים לנוכח תנודות במפלס האגם בלבד, שהיא תנאי גבול תחתון במערכת, בלא התייחסות למצב בתנאי הגבול העליון. בחורף 1992 עלה מפלס המים באגם עלייה מהירה, כדי 4 מ'. אומדן השפיעה ממערכת המעינות מורה על עלייה מקבילה של הספיקות (תרשים מס' 6). מכאן שמעקב אחרי מפלס המים באגם בלבד אין בו די לתיאור תאור נכון את מגמות המעינות המלוחים. מאפיינים מקבילים לפעילות מערכת המעינות המלוחים אינם זמינים לחורף 1969. בתור מקרים שאינם מייצגים את המגמות במערכת הכוללנית, נציג את הנתונים המאפיינים את שפיעת קידוח כנרת 7 (שופע ארטזית באתר טבחה; תרשים מס' 7) ואת שפיעת מעיין פוליה 6 (מעיין חוף ב"גן הרוסי"; תרשים מס' 8). בשני המקרים בולט ההבדל בעוצמת שפיעת המים ההתחלתית בין חורף 1969 לחורף 1992, המעיד על מצב המאגרים המזינים (נזכיר כי בתחילת חורף 1969 היה מפלס המים באגם גבוה ב-2.6 מ' מהמפלס שבתחילת חורף 1992). על בסיס מצב התחלתי זה מודגשת רגישות המערכת ההידרולוגית לכמויות הגשם הגדולות שאפיינו את שתי



תרשים 7: השתנות הספיקה ומליחות המים בקידוח כנרת 7 בחורפים 69, 91 ו-92.

תרשים 8: השתנות הספיקה ומליחות המים במעיין פוליה 6 בחורפים 69 ו-92.

Changes in the discharge and salt content of the water in the drilling of the well 7 in the winters of 1969, 1991 and 1992

Changes in the discharge and salt content of the water in the Paliach spring in the winters of 1969 and 1992

An assessment of the system of salty springs in the <sup>sea of</sup> Galilee in the Winter of 1991/1992

טבלה 3: אומדן פעילות מערכת המליחות בבנרת בחורף 91/92 - ערכים מקורבים

חודש	ספיקת מעיינות (מלמ"ק)	מליחות מעיינות (מגכ"ל/ל')	יבול מלח מהמעיינות (טונות)
אוקטובר	4.8	2002.2	9610.5
נובמבר	6.97	679.9	4738.6
דצמבר	0.6	349.4	209.6
ינואר	6.3	51.2	322.5
פברואר	8.16	870.8	7105.4
מרץ	26.3	665.6	17506.4
אפריל	24.28	504.2	12242.8
מאי	21.31	483.1	10295.2
סה"כ	102.72		62031

הערה: נתוני ספיקה ומליחות הם תוצאת חישוב מאוני מלח בבנרת. מרכיביה הם:

- מי נגר וניקוז שאינם נמדדים.
- נביעות לאורך החוף שאינן נמדדות.
- נביעות תתיימיות בקרקעית הכנרת שטרם אותרו.
- טעויות במשוואות המאזן.

התקופות (1969 ו-1992). בחורף 1991 כמעט לא השפיעו הגשמים המועטים על הספיקה בקידוח כנרת 7, ואילו מעיין פוליה 6 לא נבע כלל. בחורף הנוכחי חלה התגברות ניכרת של השפיעות בשני האתרים וקצב הגידול בספיקה היה גדול יותר מאשר בחורף 1969. תרשימי שפיעת המלח מציגים את רגישות המערכות המזינות את האתרים השונים במונחים של מנגנון המלחה והשפעת הגומלין עם גשמים שרמת מליחותם מזערית.

בקידוח כנרת 7 קטנה שפיעת המלח ב-1991 באופן מתון, על-פי השינויים בספיקה. בשני החורפים הגשומים, לעומת זאת, נמדדה ירידה כמעט זהה בשפיעת המלח. השילוב של עלייה בספיקה וירידה בשפיעת המלח משמעו ירידה במליחות המים השופעים, והריכוז אכן ירד מ-1,240 מגכ"ל/ל' באוקטובר ל-130 מגכ"ל/ל' במרס. לפני תחילת עונת הגשמים, כמויות המלח הזורמות ב-3 השנים השונות זהות, מצב המעיד על ההשפעה המידית וקצרת הטווח של הגשמים

על המערכת המזינה קידוח זה. כמו כן, כמויות גשם גדולות מונעות את שפיעת המלח, כך שהן משפיעות לא רק על תהליך מיהול בין תמלחת מרוכזת למים שפירים, אלא גם על מנגנון הזרימה עצמו. מכל מקום, על-פי הזהות בין נקודות ההתחלה לעקומי הדעיכה של שפיעת המלח מהקידוח בשני חורפים גשומים במיוחד, בטווח של 23 שנה, נראה שלא חל שינוי של ממש באיכות התמלחת ובמנגנון ההמלחה של המערכת המזינה קידוח זה.

במעייין פוליה 6 התהליך הפוך. התעצמות שפיעת המים מלווה בגידול שפיעת המלח. שיעור הגידול בשפיעת המלח רב משיעור גידול הספיקה. כלומר – חלה המלחה של המים השופעים ואכן ריכוזם עלה מ-530 מגב"ל/ל' באוקטובר ל-1,465 מגב"ל/ל' באפריל.

מן האומדן הכולל של שפיעת המים והמלח ממערכת המעיינות המלוחים שהוצג לעיל, עולה ששפיעת המלח גדלה עם התגברות שפיעת המים, אך בשיעור נמוך יותר, שיעור המעיד על ירידה בריכוז הממוצע של המים הנובעים. תוצאה זו היא התוצאה של קיום שני המנגנונים ההפוכים במגמותיהם כפי שהם מתקבלים בקידוח כנרת 7 ובמעייין פוליה 6.

# הערכת שינויים בכנרת – חורף 1992

יואל גייפמן (מקורות, יחידת אגן ההיקוות)

בנושאי איכות המים אי אפשר להעריך בזמן קצר (הנתונים האחרונים הוכנסו למחשב זה לא כבר) תהליכים חריגים שהיו באגם, ואת גורמיהם החיצוניים. בלא בסיס נתונים אין באפשרותנו לבדוק תחכים וקשרים תהליכיים מעבר לתצפית בהצגה גרפית של הנתונים. אך אפשר לבדוק את תרשים ההתנהגות של כמה רכיבי איכות בנייתוח נתונים.

הניטרט הראה את ההתנהגות התריגה ביותר בחורף 1991/92 (ראה תרשים מס' 1). הגאוויות הגדולות וניקוז ההצפות של שטחי הכבול והאגם (לשעבר) הסיעו לכנרת כמויות גדולות ביותר של ניטרט. הקשר בין ספיקות לניטרט באגם בולט בתרשים. כמויות אלו היו גדולות מכושר ההפיכה של ניטרט לחנקן גזי. משום מכך הגיע ריכוז הניטרט לשיא שלא נרשם במדידות בכנרת מאז 1967.

1. ניטרט (חנקת)

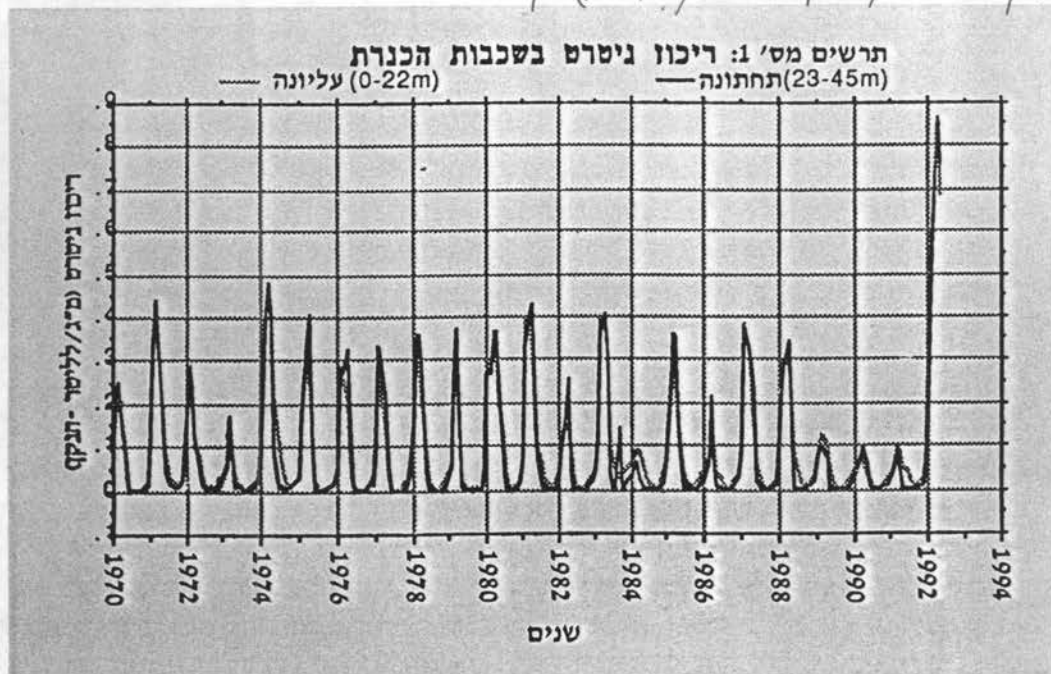
ריכוז האמון בכנרת ירד כרגיל לאחר ההיפוך, אבל הוסיף לרדת מעבר למה שנצפה בשנים האחרונות. הדבר נעוץ, בין השאר, בהקשרו לריכוז החריג של הניטרט בחורף האחרון (ראה תרשים מס' 2).

2. אמון

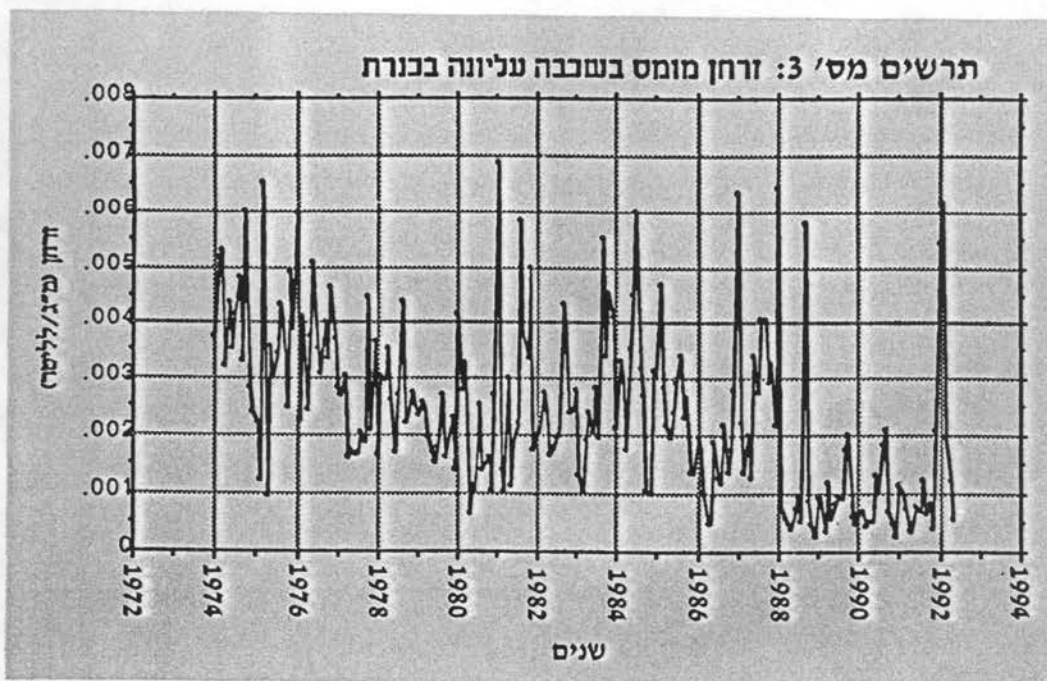
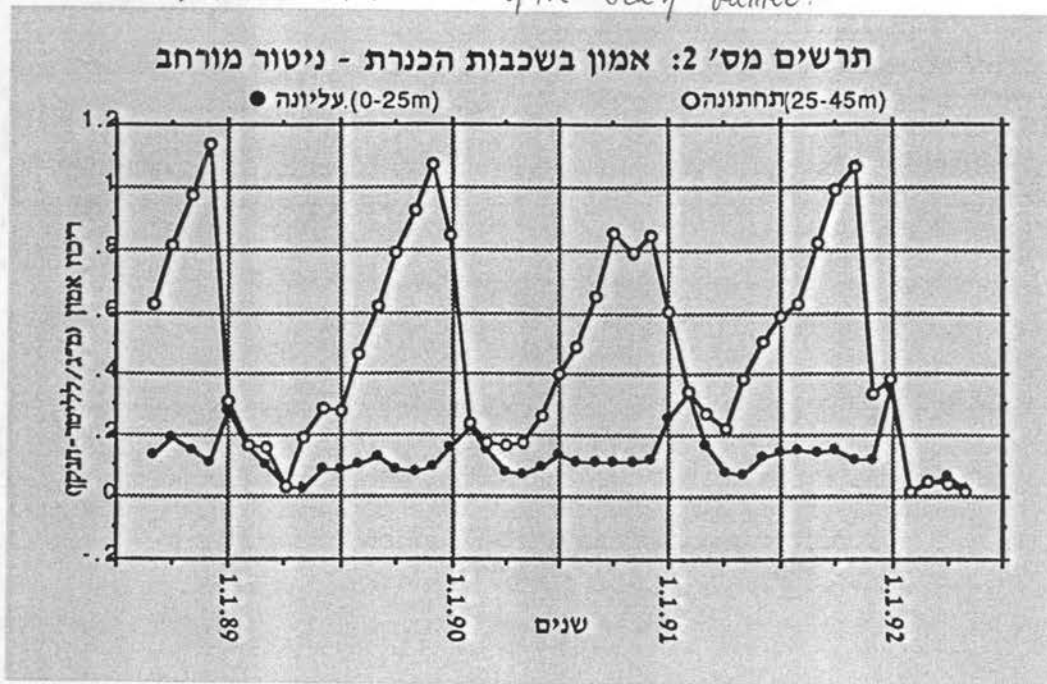
הזרחן המומס (SRP) הוא המשפיע השפעה ישירה על גידול האצות. אפשר להבחין כי היתה עלייה בריכוז בחודשי גאוויות החורף. אחת הסיבות לכך היא כניסתן של כמויות זרחן גדולות לכנרת מאגן ההיקוות. לאחר העלייה חזר הריכוז לרמה הנמוכה במיוחד שנרשמה מאז שנת 1988 (ראה תרשים מס' 3).

3. זרחן מומס (SRP)

Concentration of (Nitrate?) in the depths of the Sea of Galilee.



Ammonium in the Strata of the Sea of Galilee:



phosphorous in the upper strata of the Sea of Galilee

4. כלורופיל

בחורף 1992 לא התחילה התפתחות של פירידיניום בחודשי החורף הראשונים, ולא נמצא שיא של אצה זו בחודשי מרס-אפריל. ריכוזים גבוהים של אצות נרשמו רק בחודש מאי. זו היתה תופעה חריגה, לכל הדעות (ראה תרשים מס' 4).

5. רחופת ועכירות

גאוויות חודשי ינואר ופברואר 1992, שהיו גדולות במיוחד, הסיעו חומר מרחף רב לאגם מאגן ההיקוות. את השפעת תרומת האגן אפשר לראות בעליית ריכוזי הרחופת, ובעיקר בעליית העכירות באגם. התופעה בולטת בעיקר בשכבה העליונה (20-25 מטר). לכך היתה השפעה ישירה על איכות המים שנשאבו למוביל הארצי. ריכוזי החיידקים והעכירות היו גבוהים במיוחד בחודשים ינואר ופברואר 1992 באזור ראש היניקה למוביל (ראה תרשימים מס' 5,6).

6. טמפרטורה

בשל תנאי האקלים ששררו החורף היתה הטמפרטורה בכנרת נמוכה במיוחד. הטמפרטורה משפיעה על תהליכים רבים, וכמו כן על התפתחות הדגים באגם. סביר להניח כי הטמפרטורה הנמוכה במיוחד גרמה להאטה ניכרת בהתפתחותם של חלק מהדגים, ובעיקר דג האמנון.

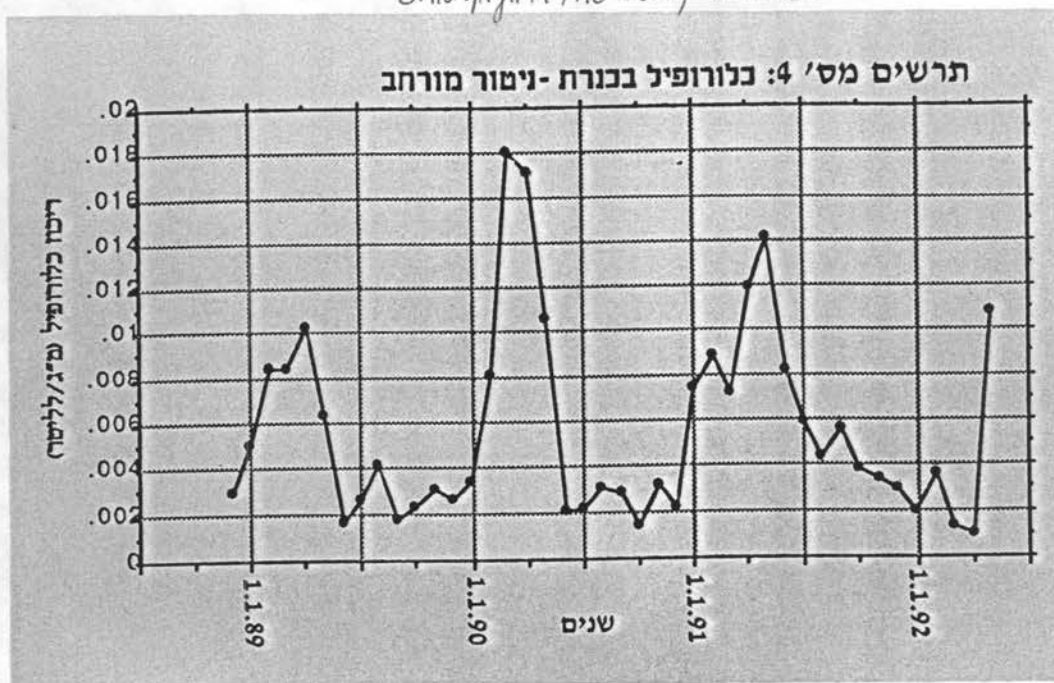
7. חמצן

ריכוז החמצן שנמדד באגם החורף היה גם הוא נמוך וחריג. בגלל ריכוז החמצן הנמוך בכנרת הגברנו את תדירות מדידות ריכוזו בשיתוף עם המעבדה לחקר הכנרת, כדי לעקוב אחרי השתנות הריכוז בזמן.

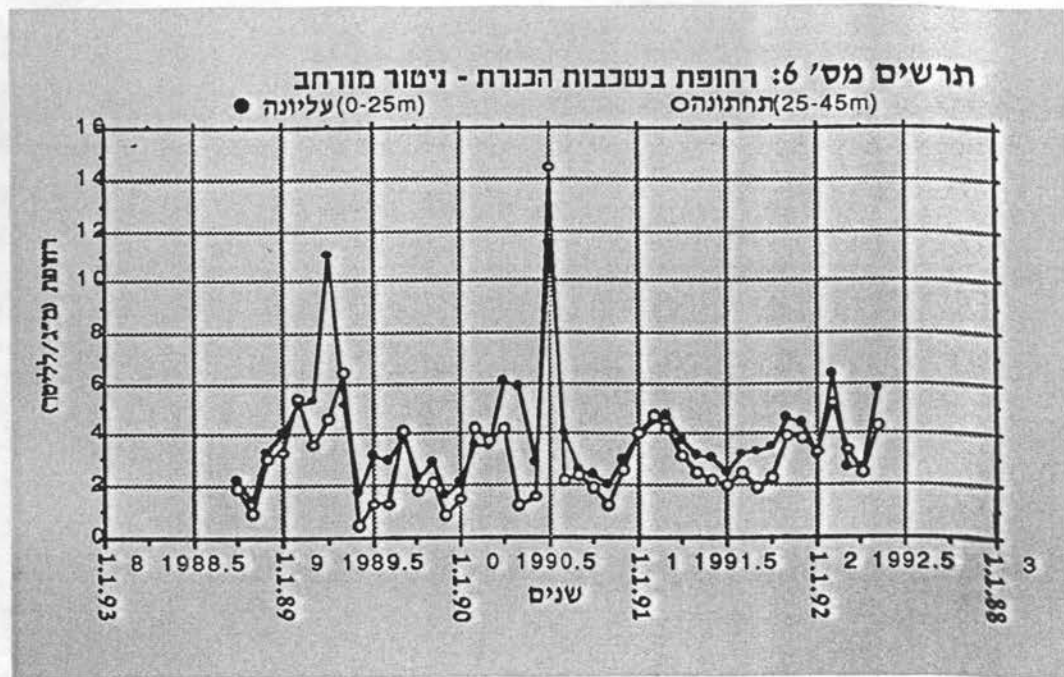
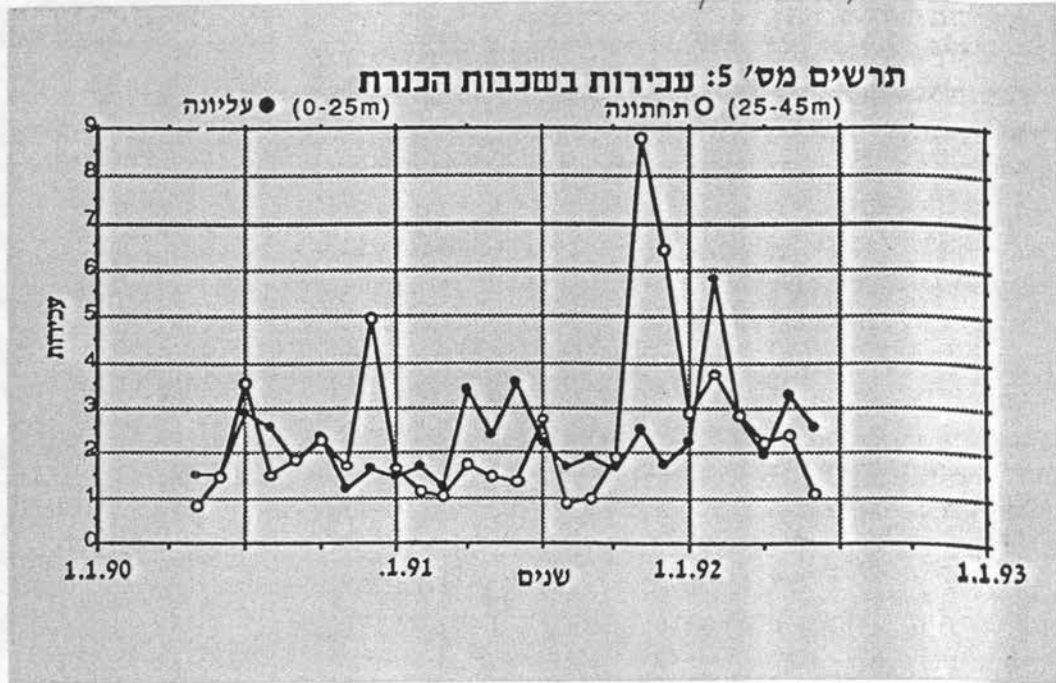
8. סיכום

לפחות שני גורמים חיצוניים השפיעו על איכות המים בכנרת בחורף 1991/92: הטמפרטורה הנמוכה והכמות הרבה של מים וחומרים שנכנסה לכנרת. גורם נוסף הוא המפלס הנמוך בסוף קיץ 1991, שגרם ליציאת כמויות מים וחומרים מהכנרת, קטנות יחסית לכניסות גדולות יותר. מכאן

Chlorophyll in the Sea of Galilee.



Muddiness ?? in the Strata of the Sea of Galilee



Rachophet ?? in the strata of the sea of Galilee



שיחס השטיפה (החוצה) של חומר היה נמוך מאשר בשנים אחרות, וחומרים הצטברו באגם. וכל זאת, בלי להביא בחשבון את תהליכי התרומה הפנימית השלילית הפועלים בכנרת. להלן נתאר באופן חלקי, באמצעות הנחות שלא אושרו, את התנהגות איכות המים והקשרים בין פרמטרים מסוימים באגם.

#### א. כניסות מים וחומר

בשל כניסות גדולות מאגן ההיקוות, היו ריכוזי הפרמטרים שנמדדו גבוהים, בעיקר בחודשים ינואר ופברואר. בחודשים אלו נמדדו עכירות גבוהה וריכוז חיידקים גבוה באזור ראש היניקה למוביל הארצי. עכירות זו נעלמה לאחר מכן.

#### ב. טמפרטורה

הטמפרטורה הנמוכה הפחיתה באופן ניכר את התפתחות האצות והפירידיניום, וכמו כן את קצב גידול הדגים. בשל עצירה בהתפתחות הפירידיניום נמדדה עכירות נמוכה בחודשים מרס-אפריל, שבהם ריכוז הביו-מאסה האצתית בשנים רגילות גבוה ביותר, והעכירות גבוהה בהתאם. טמפרטורות נמוכות גרמו לדחיית תהליך השיכוב, עד אמצע יוני כמעט. תופעה אחרת שלא נצפתה בעבר היא היווצרות תרמוקלינה בעמקים שבין 10-17 מטר, כאשר מפלס המים באגם נמצא ברום של מינוס 208.92. ראש היניקה למוביל נמצא בתוך התרמוקלינה. התוצאה הישירה היא ריכוז נמוך ביותר של חמצן (כ-1.5 מ"ג/לליטר) במים הנשאבים למוביל הארצי.

#### ג. זרחן מומס (SRP)

אפשר להניח כי בגלל ריכוז נמוך של פירידיניום, לא נקשר חלק ניכר מהזרחן המומס (SRP) לאצות וחלק ניכר ממנו נקשר לתרכובות קשות תמס, ושקע. כך יוצא הזרחן המומס ממעגלי הסחרור בנפח המים. מכאן סביר להניח שהמחסור הקיצי בזרחן יהיה השנה גדול יותר מאשר בשנים עברו.

#### ד. ניטרט

כמויות הניטרט הגדולות שנכנסו מאגן ההיקוות הצטברו תחילה בכנרת. אפשר להניח כי מגמת התרומה הפנימית היא סילוק כמויות אלו. אפשר שהשנה הניטרט מסולק גם באמצעות תהליכים שעוצמתם קטנה בשנים רגילות.

#### ה. לסיכום:

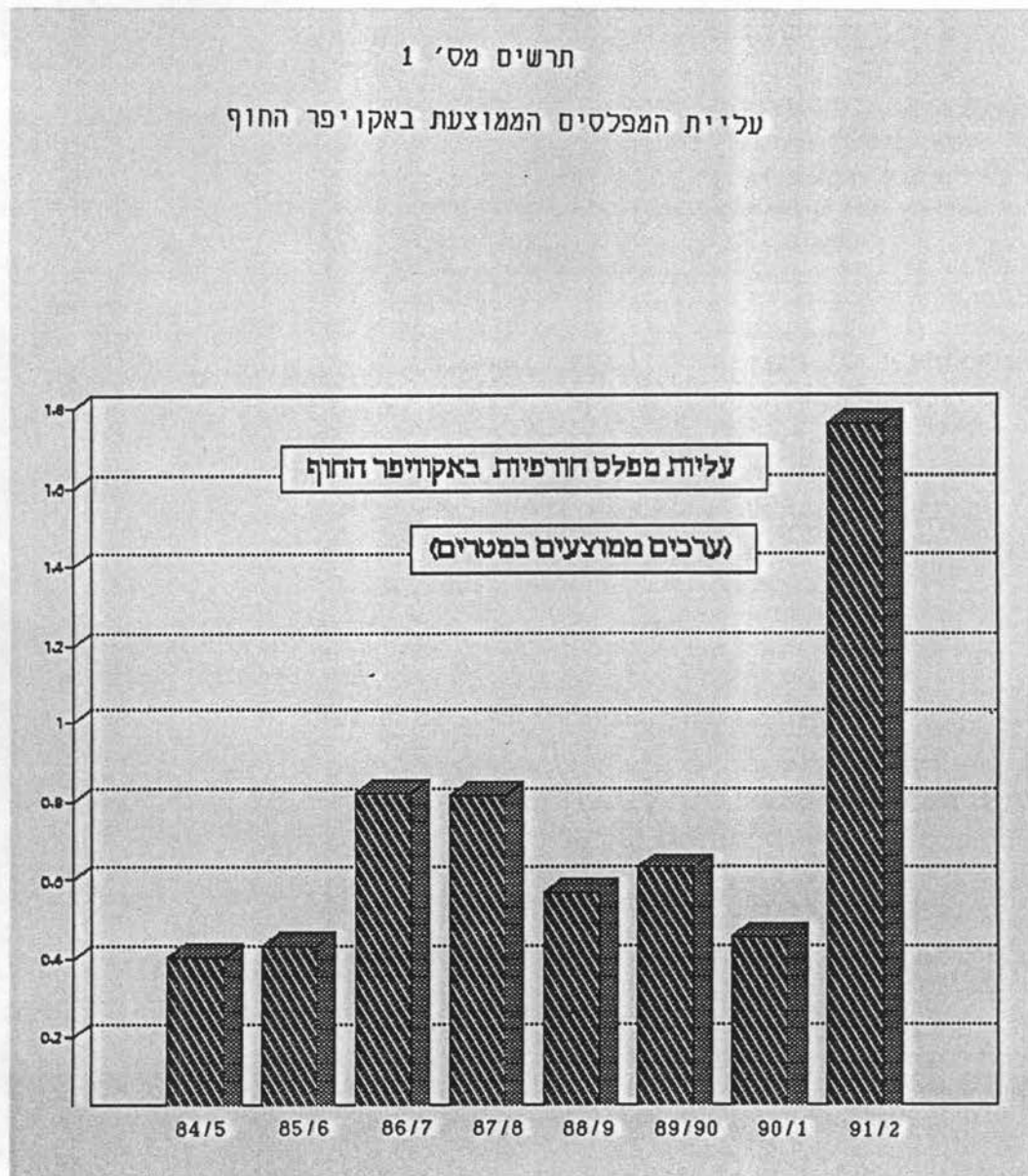
נראה כי תהליכי התרומה הפנימית פועלים לקיזוז ההשפעות של הגורמים החיצוניים, "כדי" לייצב את איכות המים באגם. חורף 1991/92 היה חורף חריג מכמה בחינות, והתגובה המיידית היתה הרעה באיכות המים הנשאבים למוביל בחודשי החורף הראשונים ושיפור ניכר בחודשי החורף האחרונים. ההנחה הסבירה ביותר היא שלא יחול שינוי ניכר באיכות המים בתקופת הקיץ, לאחר ייצוב התרמוקלינה בעומקים הרגילים.

## התמלאות האקוויפרים בחורף 1991/92 שלום גולדברגר (השירות ההידרולוגי, ירושלים)

### ז. אקוויפר החוף

בתרשים מס' 1 מוצגת עליית המפלסים הממוצעת בחורף 1991/92 וב־7 החורפים שקדמו לו. הנתונים מתבססים על אוכלוסייה יציבה על פני השנים של כ־280 קידוחים, והממוצע הוא אריתמטי. אין להתייחס לנתונים כאל מספרים המבטאים עלייה משוקללת "אמיתית" של המפלסים באקוויפר החוף, ואולם הנתונים מתארים היטב את עליית המפלסים היחסית מדי שנה. מן התרשים עולה שבחורף 1991/92 עלו המפלסים פי שלושה מן העלייה הממוצעת ב־7 השנים שקדמו לו.

מחישוב שנעשה באופן מפורט עולה שכמות המים שנוספה לאקוויפר היא כ־750 מלמ"ק. כדי לחשב את תרומת מי הגשם לאקוויפר החוף יש לעשות מאזן מים מלא: בנתוני הכניסות – מי



הגשם, החדרות מלאכותיות, תרומת אקוויפרים שכנים; ובנתוני היציאות – השאיבות, הזרימה לים, שינוי האוגר לאורך הפן הביני וכי. יש לציין שההחדרות מהמקורות השונים (כנרת, שיטפונות, אגן ירקון-תנינים ושפד"ן) הגיעו לכ-120 מלמ"ק בחורף זה; שאר רכיבי המאזן שנמנו קטנים מאוד לעומת מי גשמים.

למרות העלייה הגדולה במפלסים, בחלקים מהאקוויפר עדיין יש מפלסים שליליים (ראה תרשים מס' 2; מפת מפלסי אפריל 1992), והגירעון ביחס למפלס האמור לעצור חדירת מים מלוחים לאקוויפר ולשמור על איכות מימי על-ידי שטיפתו מסתכם ב-700-1,000 מלמ"ק.

## ב. אקוויפר ירקון-תנינים

התמלאות אקוויפר זה ועליית המפלסים בו בחורף 1991/92 היו גבוהות מכל מה שנמדד ונצפה מאז שנת 1958. המפלסים באזורי השאיבה העיקריים בין מענית לעג'ור עלו ב-10-9 מ', ואילו העלייה הממוצעת היא 3-3.5 מ' ובשנים גשומות עלה המפלס כדי 4.5-5 מ'.

המפלסים בהר הגבוה (אזור עין כרם, לדוגמה) עלו ב-13-30 מ'. בחלק הכלוא של אזור באר שבע עלו ב-4 מ' בלבד, ואולם עדיין לא הגיעו לשיאם, וצפויה המשך עלייתם בקיץ.

מפלס המינימום באזור מענית, בקידוח מנשה ת/1, היה פלוס 9.26 מ' באוקטובר 1991 (רק 26 ס"מ מעל "הקו האדום"), ופלוס 18.60 מ' באפריל 1992. מפלס המינימום באזור ראש העין, בקידוח פ"ת נפט, היה פלוס 11.39 מ' בנובמבר 1991, ופלוס 21.01 מ' ביוני 1992. מפלס זה גבוה מסף הגלישה של סכר "מקורות" בראש העין, כך שבאביב זה, לראשונה זה כ-30 שנה, גלשו מים לירקון.

מפלס המינימום באזור באר שבע, בקידוח ב"ש תצפית, היה פלוס 13.32 מ' בדצמבר 1991, ופלוס 17.11 מ' ביוני 1992; באזור זה המפלס עשוי לעלות עד להשתוותו למפלס שבאזור ראש העין.

תנודות המפלסים ב-3 קידוחי תצפית ב-30 השנים האחרונות מוצגות בתרשים מס' 3. את כמות המים שנוספה לאקוויפר אנו מעריכים בכ-800 מלמ"ק. מכמות זו, רק כ-25 מלמ"ק נטו הוחדרו לאקוויפר מהכנרת. המילוי השנתי הממוצע של מי גשמים לאקוויפר מסתכם בכ-350 מלמ"ק, כלומר, המילוי השנה הוא יותר מפי שניים.

## ג. אקוויפרים בגליל

בתרשימים 4-6 מתוארת השתנות מפלסי מי התהום בכמה אקוויפרים בגליל ובכרמל. העלייה במפלסים בחורף זה כמעט כפולה מעליית המפלסים בחורף ממוצע. שלא כמו באקוויפר החוף וירקון-תנינים, אין חורף זה חד-פעמי בעוצמתו; בשנת 1968/69 היו העליות במפלס גדולות יותר ומפלסי המים באקוויפרים היו גבוהים יותר. יש להניח שבגלל אופי האקוויפרים בצפון, שהם בעלי אוגר קטן יחסית, ובגלל כמויות המים הרבות שעברו בהם, תחול שטיפה של התווך המוליד ובעקבותיה תרד מליחות המים באקוויפרים.

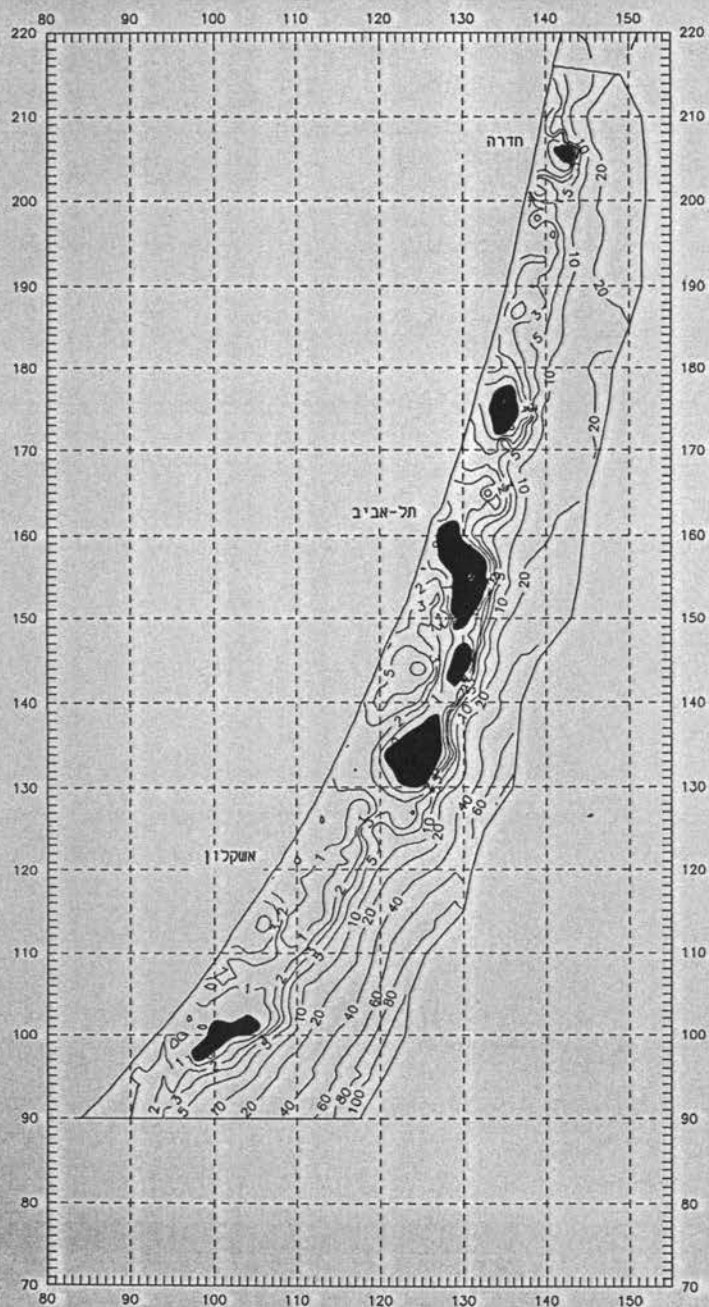
## ד. סיכום

עליית המפלסים והתמלאות האקוויפרים בחורף 1991/92 במרכז הארץ, ובעיקר באקוויפר החוף ובאקוויפר ירקון-תנינים, היו כמעט פי שלושה מהממוצע הרב שנתי. כמויות כאלה לא נצפו מאז תחילת המדידות, לפני כמה עשרות שנים. העלייה והתמלאות בצפון הארץ היו כפולות מן הממוצע, והן דומות לעליית המפלסים ולהתמלאות בחורף 1968/69, או נמוכות מהן מעט. אם נביא בחשבון שעובי המשקעים במרכז הארץ היה כפול מהעובי הממוצע הרב-שנתי והעובי בצפון הארץ היה גדול פי אחד וחצי מהעובי הממוצע, נוכל להסיק שיש קשר לא ליניארי בין נפח המשקעים לנפח התמלאות מאגרי מי התהום.

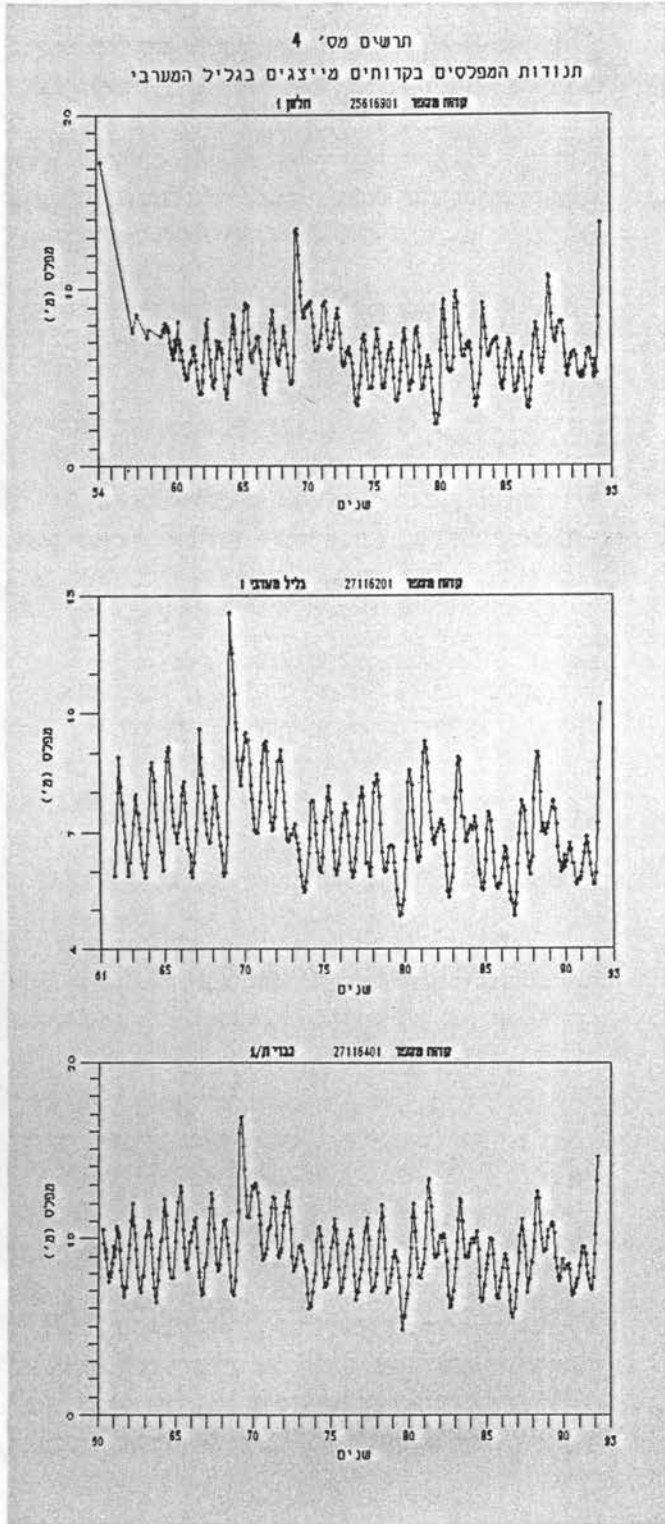
Map of the levels - the coastal Aquifer.

תרשים מ' 2:

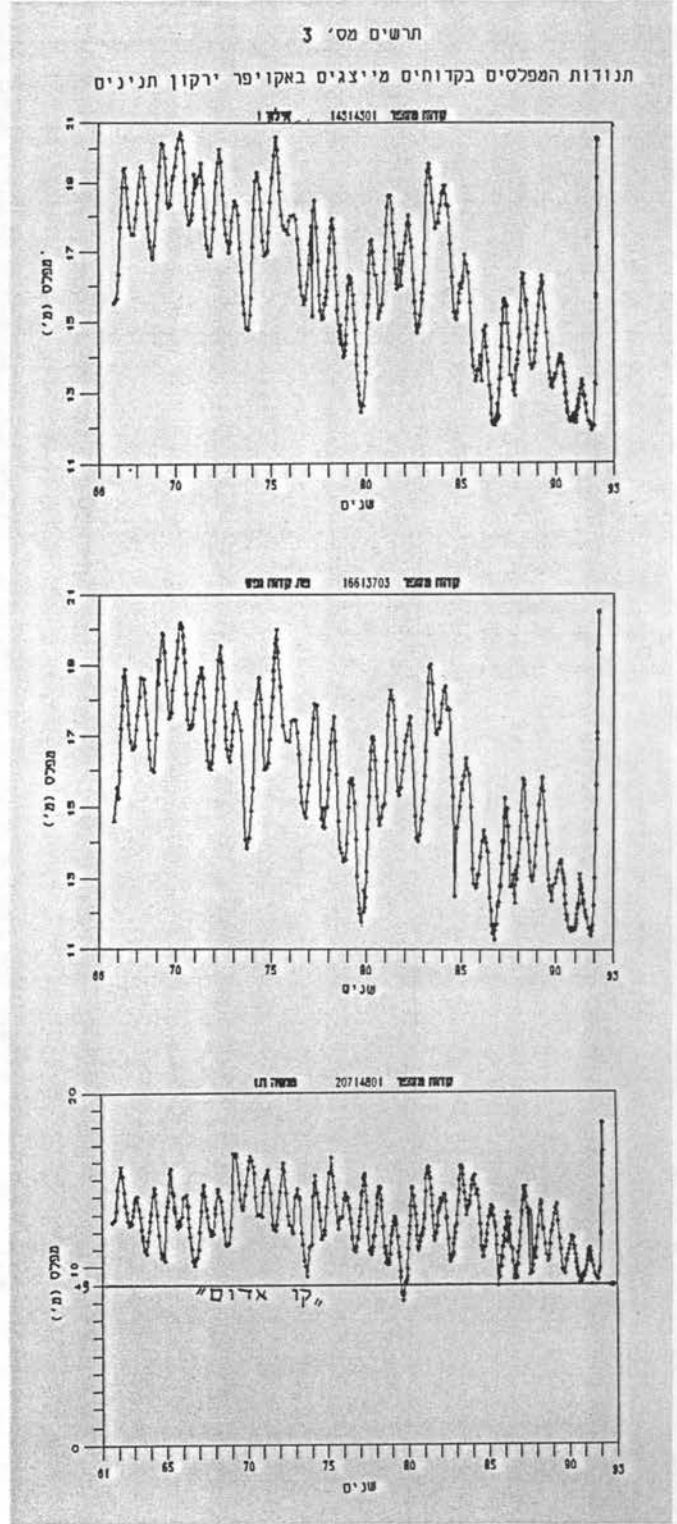
השירות ההידרולוגי - נציבות המים  
מפת מפלסים - אקוויפר החוף  
אפריל 1992



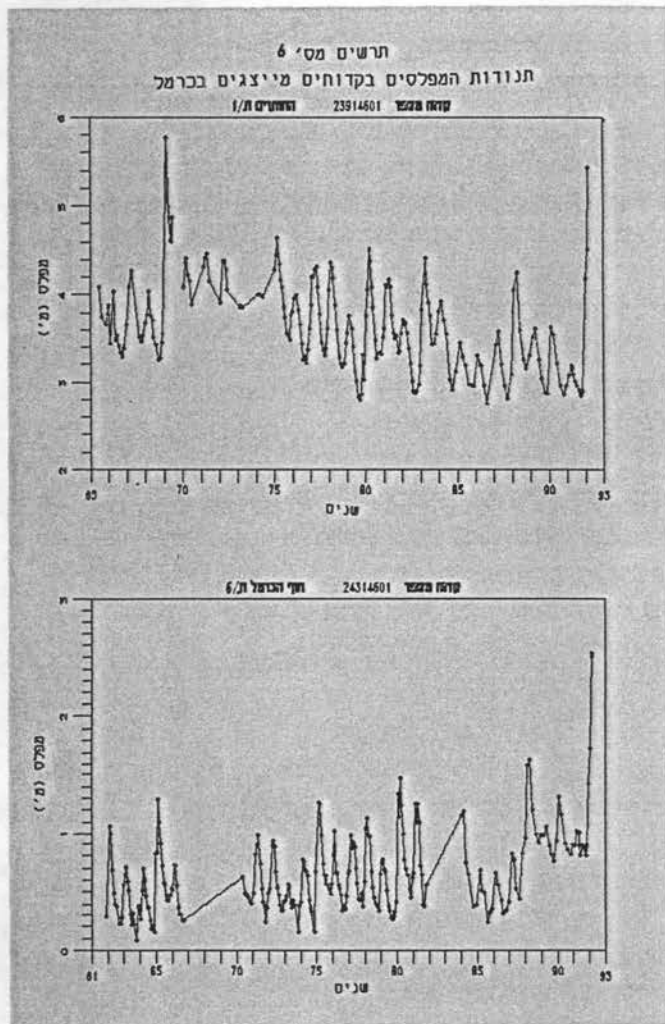
Fluctuation of water levels in representative drillings in the Western Galilee.



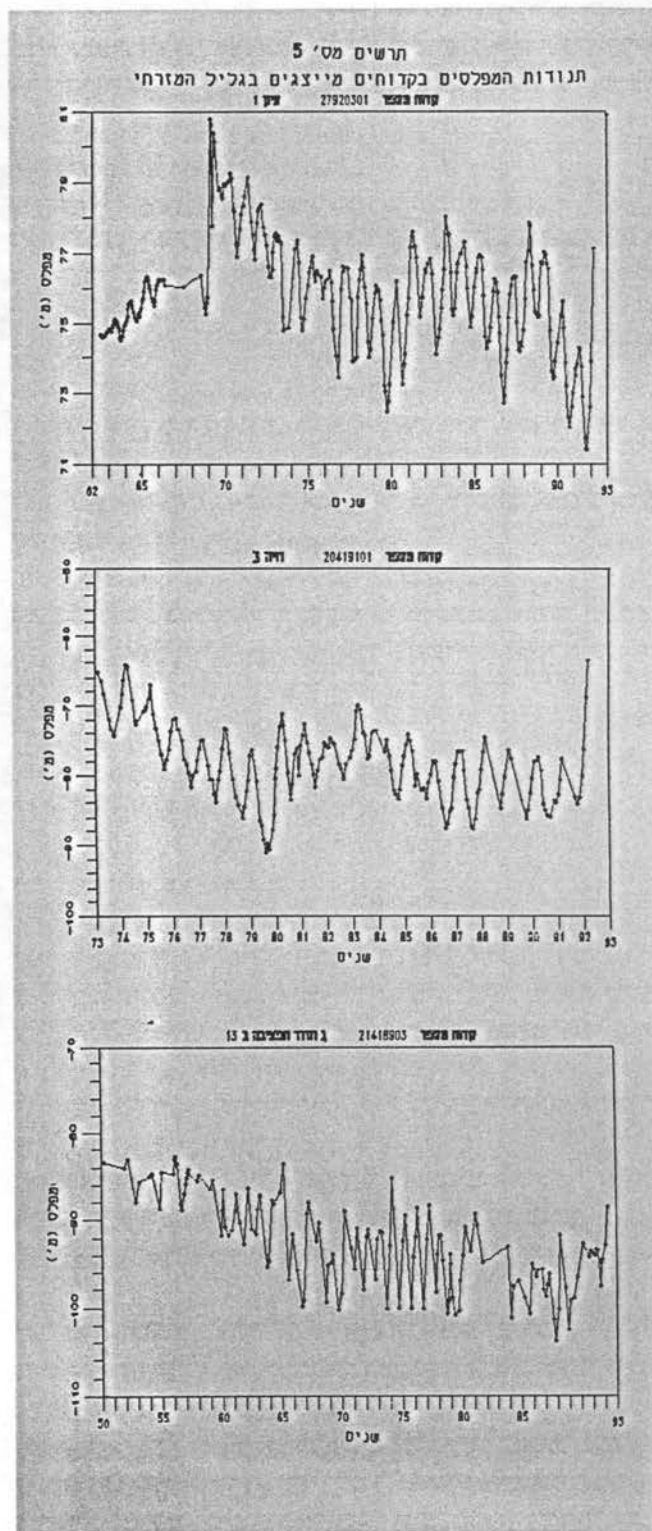
Fluctuation of water levels in representative drillings in the Karbon tannim Aquifer



Fluctuations of water levels in representative  
drillings in the Carmel



Fluctuations of water levels in representative drillings in  
the Eastern Galilee



# הגנה מפני שיטפונות – הבעייתיות בקביעת קריטריונים לתכנון בפרספקטיבה של חורף 1991/92 – ד"ר יוסף דלין (מהנדסים יועצים)

א. מבוא

מקובל לתכנן מבנים הידראוליים ומתקנים לחציית נחלים (מעבירי מים וגשרים) על-פי הספיקה המוגדרת **ספיקות תכן** (Flood Design). ספיקת התכן נקבעת להסתברות מסוימת, המיוצגת על-ידי תקופת חזרה. תקופת החזרה היא מונח מקובל בעולם (Period of Return), ונקבעת על-פי חשיבות המבנה שיש להגן עליו. מהי תקופת חזרה? מהי ספיקת תכן? על כך אנסה להשיב להלן.

ב. תקופת חזרה של ספיקת תכן

שאלות אלו עלו על סדר היום המקצועי והציבורי בעקבות אירועי השיטפונות שפקדו את ישראל בחורף 1991/92, בהם: נתיבי איילון – הנחלים איילון וירקון, נחל לכיש (באשדוד), נחל דליה (בפרדיס), הצפות בקריות ובמקומות אחרים. גורמים שונים בישראל התייחסו לאירועים אלו והציגו הערכות שונות בקשר לתקופת החזרה ולספיקת התכן, חלקם ללא בסיס מקצועי מוצק. במאמר זה יש ניסיון להתמודד עם סוגיה מורכבת זו, להסביר את המושגים ולהציג את מורכבות הבעיה הזו. תקופת חזרה של "ספיקת תכן" היא מספר השנים הממוצע אשר בו יתקיים אירוע זרימה בנחל, שספיקתו תהיה שווה לספיקת התכן או גדולה ממנה. לדוגמה: כאשר נקבע שספיקה בשיעור 1,000 מ"ק לשנייה תזרום בנחל באר שבע, ליד באר שבע, ב־20 שנה, הכוונה היא שבתקופת זמן של 100 שנה יתרחשו 5 אירועים שבהם הספיקה בנחל תהיה 1,000 מ"ק לשנייה או יותר. במלים אחרות, ההסתברות שתתרחש ספיקה בשיעור של 1,000 מ"ק לשנייה או יותר בנחל באר שבע בשנה כלשהי היא 5%, כלומר:

$$20 \text{ שנה} = \frac{1}{0.05} = \frac{1}{\frac{1}{20}} = \text{תקופת החזרה (בשנים)}$$

ג. אוכלוסייה מול מדגם

## 1. אוכלוסיית נתונים

קביעת ספיקת תכן לתקופת חזרה כלשהי נעשית על סמך ניתוח סטטיסטי של אירועי זרימה. אם היתה עומדת לרשותנו סדרת נתוני זרימה, שנמדדו במשך תקופה ארוכה (למשל: מאות שנים), היינו יכולים להניח שעומדת לרשותנו "אוכלוסייה" של נתונים, והניתוח הסטטיסטי של סדרה זו היה פשוט באופן יחסי.

באופן יחסי, משום שגם כאן היה עלינו לוודא שהסדרה אכן אחידה, וככזו – עשויה לייצג לא רק את העבר אלא גם את העתיד.

אם לא חלו שינויים בתחום ההתנקזות של הנחל עד למקום הנדון ואם לא צפוי שיחולו שינויים כאלה בעתיד – אפשר להניח שהסדרה עשויה אכן לייצג את הזרימות בנחל.

## 2. מדגם

במציאות, אין בישראל סדרת נתוני זרימה בתקופה ממושכת. בארצנו, במקרים רבים הנתונים נאספו ברציפות במשך 40 שנה או פחות. לעתים הרבה פחות. כלומר: במקרה הטוב אנחנו יכולים להשיג נתונים המייצגים מדגם ולא אוכלוסייה. בדרך כלל המדגם קטן יחסית.

כאשר רוצים להקיש ממנו על ספיקות השיא הצפויות לזרום בנחל אחת למספר שנים רב יותר ממשך המדגם, מבצעים למעשה **אקסטרפולציה** (חיוץ). ידוע לכול, שאקסטרפולציה מהימנה פחות ככל שמשתמשים בה לחיזוי העתיד לקרות בתקופות ממושכות יותר ממשך המדגם. היינו,

ככל שתקופת האקסטרופולציה ארוכה יותר, כן קטנה המהימנות, ובהתאם – השגיאה האפשרית באומדן גדולה יותר.

הטעויות נובעות בעיקר מ"טעויות מדגם". טעויות כאלה מקורן בדרך כלל בגורמים האלה:

(א) המדגם אינו מייצג את התופעה משום שפירוס הנתונים במדגם לקוי. למשל: ברשותנו מדגם לתקופה של 40 שנה, ואילו הספיקה המרבית מתאימה לתקופת חזרה של 10 או 20 שנה בלבד (כמובן, איננו יכולים לדעת זאת עד שלא יתווספו נתוני זרימה, ובהם אירועי שיא גדולים מהידוע כיום).

(ב) המדגם אינו מייצג את התופעה בשל טעויות במדידת אירועי שיא ו/או שינויים במתקני המדידה שהם גדולים מהידוע כיום.

(ג) המדגם אינו מייצג את התופעה כיוון שחלו שינויים בתחום ההתנקזות, בגלל ייעור (או כריתת יערות), עיור, עיבוד חקלאי אינטנסיבי, הקמת מאגר במעלה לנקודת ההתייחסות וכו'.

(ד) המדגם אינו מייצג את התופעות כאשר הנתונים אינם הומוגניים – הם יכולים לייצג תופעות שונות.

טעויות מדגם כגון אלה יכולות לגרום לטעויות באומדן ספיקת שיא, כפי שבא לידי ביטוי בתרשים מס' 1.

### 3. מדגם של מה?

גם אם המדגם "משוחרר" מן הטעויות הנ"ל, בעצם מהותו, נשאלת השאלה: אילו נתונים ייכללו במדגם? בהתייחס לתדירות ספיקות שיא מקובל לכלול במדגם את ספיקות השיא השנתיות, היינו: הסדרה המכילה את ספיקות השיא הגדולות ביותר שבכל שנה. לכן, אם ברשותנו נתונים רצופים על אודות הזרימות בנחל מסוים במשך 40 שנה (אלפי נתונים יומיים ועשרות אלפים, או מאות אלפים, נתונים רגועים), יכלול מדגם כנ"ל 40 נתונים בלבד!

אפשר לערער על שיטה מקובלת זו, וזרימות השיא בחורף האחרון, 1991/92, יכולות להיות דוגמה טובה לכך. למשל: מאז 1949 עד החורף האחרון נמדדה בנחל חדרה ספיקת שיא מרבית בשיעור של 160 מ"ק לשנייה פעם אחת בלבד. בחורף האחרון בלבד התרחשו 3 אירועי זרימה שבהם ספיקת השיא היתה גדולה יותר מ-180 מ"ק לשנייה. בהתחשב בכך אפשר לשאול: – האם ההסתברות להופעת ספיקת שיא בשיעור של 160 מ"ק בשנייה או יותר היא 5% במוצע אחת ל-20 שנה, או 10% במוצע אחת ל-10 שנים? או:

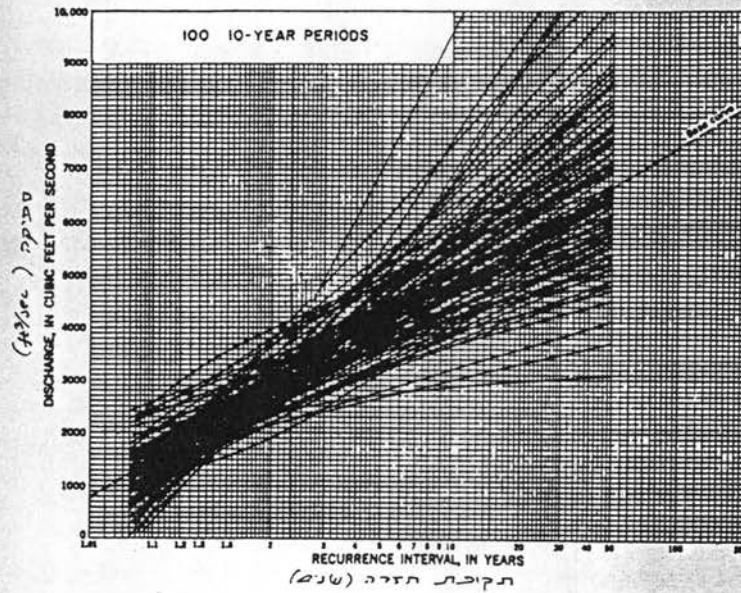
– האם ההסתברות להופעת ספיקת שיא בשיעור של 180 מ"ק לשנייה או יותר היא 2.5% במוצע אחת ל-40 שנה, או כ-8% במוצע אחת ל-13 שנה?

לפי השיטות ההידרולוגיות-הסטטיסטיות המקובלות, המתייחסות לסדרת נתוני שיא שנתיים, ההסתברות הממוצעת להופעת ספיקת שיא בשיעור של 180 מ"ק לשנייה או יותר היא 2.5%, היינו: במוצע אחת ל-40 שנה. האם זה נכון? התשובה לכך היא כן או לא. תלוי!

אם מדובר במבנה שהספיקה הנ"ל היתה גורמת לו נזק שאי אפשר לתקנו בעונת הגשמים – הרי שמבחינה מעשית, בהתייחס למבנה זה, אירוע כזה יתרחש במוצע אחת ל-40 שנה. לעומת זאת, אם מדובר בהצפת כביש, למשל, יוצף הכביש במוצע 3 פעמים ב-40 שנה. עד כה, סיווג מעין זה אינו מקובל. יתרה מזאת, השיטות הסטטיסטיות הקיימות אינן מתאימות לטיפול הולם במדגם המכיל את כל נתוני השיא הנ"ל.

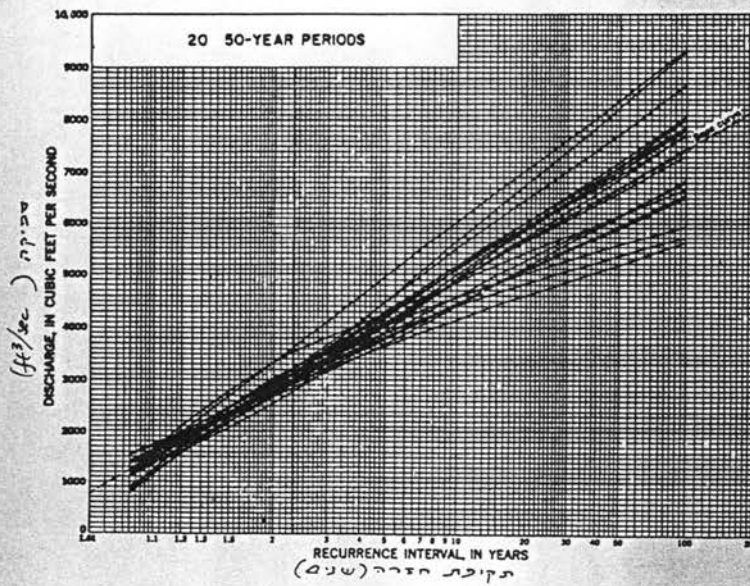


תרשים מס' 1: עקומי הסתברות לתקופות שונות



(a) Frequency curves for 100 ten-year periods

עקומי הסתברות של 100 מדגמים במשך 10 שנים כל אחד



(b) Frequency curves for 20 fifty-year periods

עקומי הסתברות של 20 מדגמים במשך 50 שנה כל אחד

## ד. כיצד קובעים ספיקת תכן לתקופת חזרה כלשהי?

כדי להתגבר על מכשלת "האקסטרפולציה הפשוטה" ולאפשר שימוש בשיטות סטטיסטיות, הונח:

(א) ייעשה שימוש בנתוני שיא שנתיים.

(ב) המדגם מייצג את האוכלוסייה של נתוני הזרימה.

(ג) את ההסתברות של תופעת הזרימה (במקרה זה – ספיקות השיא) אפשר לייצג על-ידי נוסחה מסוימת הנקראת פונקציית פילוג, או פירוס (Distribution Function).

(ד) השוני בין מדגם אחד למשנהו (נחל אחד למשנהו) אינו בפונקציית הפילוג הסטטיסטי אלא בפרמטרים של פונקציה זו, כגון הממוצע: סטיית התקן ומקדם העיוות של נתוני המדגם, או של ערכי הלוג של נתוני המדגם.

על סמך הנחות אלה אפשר להשתמש במדגם כדי למצוא את המקדמים הספציפיים לנחל הנתון, להציבם בפונקציית הפילוג, וזהו! כך אנו יודעים את הסתברות ספיקות השיא בנחל. כלומר: על סמך נוסחת הפילוג, אנו יכולים לחשב את ספיקות השיא הצפויות בהסתברויות שונות, לתקופות חזרה שונות.

**השאלה היא:** האם הנחות אלה נכונות?

ואמנם, בארצות-הברית הוקמה ועדה פדרלית בין-משרדית שחקרה את הנושא והמליצה על אימוץ נוסחת פילוג לוג-פירסון מסוג 3 (Log Pearson Type 3). כך הושגה אחידות בשיטה ובאופן החישובים. אך האם הושגו תוצאות מהימנות?

הוועדה עצמה הוסיפה הסתייגויות רבות לשיטה המומלצת, בעיקר בהתייחס לאזורים צחיחים וצחיחים למחצה, ששם יש שנים עם זרימות אפס (שהלוגריתמום שלהן הוא מינוס אין סוף). בהקשר לאימוץ סדרות שנתיות, ועוד.

אך הקהילה ההידרולוגית נשמה לרווחה. ניתן לה כיסוי לשימוש בשיטה מוגדרת מסוימת. אין צורך בהתלבטויות. עתה אפשר לחשב "באופן אוטומטי". משהו אחראי... משהו נותן, כביכול, גיבוי...

לכל מומחה בתחום ההידרולוגיה וההידרולוגיה הסטטיסטית ידוע שהשיטות הקיימות רחוקות מלהשיע רצון. ההפתעות (הלא נעימות) אינן מאחרות לבוא. הן טופחות על פני "המומחים" לעתים קרובות. אך, כרגיל, יש "כיסוי לחיקוי", יש כיסוי לאי ידיעה. יש כיסוי לאי הבנה. והתוצאה – הנושא נשאר רדום...

## ה. רווחים בני סמך

כדי להתגבר על טעויות המדגם אפשר להשתמש "ברוחים בני סמך" (Confidence Belts, או Confidence Limits) שמשמעותם: המרווח, או הסטייה, מפונקציית הפילוג, שבו ספיקת התכן תהיה בתקופת החזרה המתאימה בהסתברות של  $x\%$ . ברור, אם נזדובר ב-95% או-99% הרווחים גדולים מאוד, כלומר: יש צורך לאמץ ספיקות תכן גדולות הרבה יותר מן הספיקות המחושבות על-פי פונקציית הפילוג בלא רווחים בני סמך. במקרים אלה פונקציית הפילוג מוצגת במערומיה, כמשהו מאוד לא מדויק.

מה משמעות 95% או 99% המשמעות היא שב-95% נהמקרים הספיקות שתופענה כמתאימות לתקופת החזרה תהיינה בתחום המרווח המחושב, או, שיש סיכוי של 5% שהאומדן החזוי על-פי המרווח יהיה שגוי והספיקה בפועל בתקופת החזרה הנתונה תהיה גדולה יותר.

מקובל לבחור את תקופת החזרה על סמך שני סוגי היבטים:

א. היבטים כלכליים.

ב. היבטים בטיחותיים.

## ו. לאיזו תקופת חזרה לתכנן

גורמים לאשליה של דיוק. בכך הם תורמים לאשליה שהאומדנים ההידרולוגיים מדויקים, מה שרחוק מהמציאות.

הידרולוגים המשתמשים במודלים פשטניים בלי לבדוק את התאמתם או את נכונותם, כפתרון קל לעבודתם, משלים אף הם ש"הנושא סגור", "מובן" וידוע וש"התשובה ההידרולוגית" היא חד־משמעית.

הגיע הזמן להתחיל להשתמש במקדמי ביטחון, שייקבעו על־פי גודל המדגם ומהותו ועל־פי שיטות החישוב.

בכל זאת, כיצד אפשר להקטין את טעויות האומדנים ההידרולוגיים? אחד האמצעים היעילים הוא "מדריך הידרולוגי לישראל" ("Hydrology Manual").

מדריך הידרולוגי מעין זה צריך לסכם את כל המידע המטאורולוגי וההידרולוגי שנאסף בישראל בכ־50 שנה ויותר, לחקור אותו ולהביאו למכנה משותף לפי תכונות אזוריים ותופעות. המידע על נחל מסוים או בתחנה מטאורולוגית מסוימת אינו יכול להיות בסיס לחיזוי הידרולוגי. אין בו די. לעומת זאת, המידע הכולל יכול לשפוך אור על הנושא ולאפשר פיתוח קריטריונים, "עוטפות אזוריות" (Regional Envelope Curves) ושיטות חישוב שיאפשרו קבלת אומדנים הידרולוגיים, ספיקות תכן וגשמי תכן במידה רבה יותר של דיוק.

זאת ועוד, מדריך הידרולוגי ימליץ על שיטות אחידות לחישובים הידרולוגיים לאזורי הארץ השונים, וכך לא ישרור מצב של "איש הישר בעיניו יעשה". מדובר בכמה שיטות בלתי תלויות המאפשרות בקרה של החישובים וביצוע החישובים באופן מקצועי, תוך כדי שימוש בכלל הפרמטרים שאפשר להשיג.

נוסף על כך יהיה צורך בשימוש במקדמי הביטחון, שיותאמו לכל מקרה וישתלבו בשיטות החישוב המומלצות.