



דו"ח אירוע גשם חריג באזור ים המלח

מתאריך 29/10/2004

מוגש לרשות ניקוז ים המלח

ד"ר משה גטקר

ד"ר עדית ארזי

## תוכן עניינים

2	1.	הקדמה
3	2.	הבעת תודה
3	3.	השיטות לאיסוף נתונים
	3.1	תפרושת הגשם במרחב על בסיס הדמיות מכ"ס
	4	
6	4.	תאור סופת 29/10/04
6	4.1	סופת 29/10/04
6	4.1.1	תאור סינופטי
7	4.1.2	כמויות הגשם
11	4.1.3	עוצמות הגשם
14	4.1.4	הגאויות
20	4.1.5	דיון
34	5.	נספחים

מזה מספר שנים בנוסף למדידות בתחנות הידרומטריות קבועות של השירות ההידרולוגי ושל התחנה לחקר הסחף מתבצעות ע"י התחנה לחקר הסחף חקירות הידרולוגיות מיוחדות בכל רחבי הארץ. אנו רואים חשיבות רבה בהפצת דוחות אירועי שיטפונות בסמוך ככל הניתן למועד התרחשותם ונעשה כל מאמץ על מנת להשלים פערים ולעמוד במשימה זו. דו"ח זה וכן דוחות רבים אחרים יתפרסמו בקרוב גם באתר האינטרנט של משרד החקלאות

[www.moag.gov.il](http://www.moag.gov.il)

ההשתנות במרחב ובזמן של הגשם בישראל גבוהה ביותר וגורמת להשתנות חזקה של ספיקות השיא במרחב. עקב שונות גבוהה זו, רשת התחנות ההידרומטריות הקבועה של השרות ההידרולוגי (הפרושה בעיקר באגנים גדולים) ושל התחנה לחקר הסחף (פרושה בעיקר באגנים בינוניים וקטנים), אינה יכולה לספק את כל המידע על זרימות קיצוניות. בנוסף למדידות הידרומטריות בתחנות הקבע, מודדת התחנה לחקר הסחף ספיקות שיא במוקדי גשם בכל רחבי הארץ, המזוהים לפי מכ"ם מטאורולוגי ובאמצעות מידע המתקבל מהשטח. נתוני ספיקות השיא אשר נאספים מאגנים בהם אין תחנות קבע הידרומטריות, משמשים לעדכון מודלים ומעטפות של ספיקות השיא בישראל. מידע על גלישות מערוצי הנחלים, הצפות ובעיות במערכות הניקוז מועבר אל הגורמים האחראים: רשויות ניקוז, מע"צ, רכבת ישראל, קק"ל ועוד. איסוף מידע זה, מהווה לדעתנו, השלמת נתונים הכרחית לנתוני תחנות הקבע לצורך הבנה הידרולוגית מרחבית בארץ. באמצעות מכ"ם העננים נמדדות גם עוצמות גשם גבוהות במוקדי הגשם בהם אין תחנות רושמות גשם קבועות. מידע זה מהווה תוספת חשובה לקביעת עוצמות גשם לתכנון מערכות ניקוז. הסבר מפורט על השימוש במכ"ם העננים ניתן לראות בפרק "השיטות לאיסוף נתונים". אנו מציינים בסיפוק רב את שיתוף הפעולה הפורה עם השירות ההידרולוגי, השרות המטאורולוגי, מהנדסי ניקוז פרטיים ועם צופי גשם ונגר משמורות הטבע וקק"ל. בעבודה זו ניתנים מאפייני גשם המתייחסים לסופות בהם נצפו שיטפונות והצפות חריגות. במקרים של אירועי גשם חריגים, ניתנים מאפיינים כגון: מעטפות עוצמת גשם שטח, עובי ועוצמות גשם, משך וניתוח הסתברותי לכמויות ועוצמות הגשם. בדוחות השירותים ההידרולוגי והמטאורולוגי ניתן למצוא מאפיינים של כמויות גשם חודשי ושנתי ותיאורים סינופטיים. נתוני ספיקות השיא המתפרסמים בדו"ח זה אינם כוללים בדרך כלל, את נתוני ספיקות השיא מהתחנות הקבועות של התחנה לחקר הסחף והשרות ההידרולוגי ומהווים השלמה לנתוני תחנות הקבע. דו"ח נתוני השיטפונות מתפרסם מידי שנה בנוסף לנתוני ספיקות שיא ונפחי זרימה מתחנות הקבע של התחנה לחקר הסחף. את נתוני המדידות, כגון: חתכים, שיפועים ונתונים הידראוליים המלווים את קביעת ספיקות השיא, ניתן למצוא בתחנה לחקר הסחף.

הערה: המידע בדו"ח זה מובא על פי מיטב הידע המקצועי המצוי בתחנה לחקר הסחף נכון ליום פרסום הדוחות. יש לזכור כי שיטות המדידה והחישוב של עובי ועוצמות הגשם, מהירות הזרימה וספיקות השיא מוגבלות בדיוקן, עקב גורמים כגון: מגבלות טכניות של מכשירי המדידה, שינוי תכוף בגובה פני המים, תנאי מדידה קשים, השתנות גבוהה מאד של מאפייני הגשם והזרימות בזמן ובמרחב ועוד. שיטות החישוב השונות מתבססות על הנחות, שלא תמיד

מתקיימות במלואן. קביעת ההסתברות של עובי ועוצמות הגשם ושל ספיקות השיא, מבוססת על שיטות סטטיסטיות מקובלות. יש לזכור כי קיימת אי יציבות סטטיסטית הנובעת מתקופת תצפיות קצרה, הופעה מקרית של אירועי קיצון סדרת תצפיות, מדגם שאינו מייצג דיו את האוכלוסייה הסטטיסטית, שינויים בתנאי היווצרות הזרימות באגן ההיקוות ובאפיקים ועוד.

## 2. הבעת תודה

תודה מקרב לב לכל העוסקים במלאכת איסוף נתוני הגשם וספיקות השיא בכל רחבי הארץ. לאנשי השרות ההידרולוגי, התחנה לחקר הסחף, עובדי ערדום, ק.ק.ל, שמורות הטבע, מע"צ ואחרים. ברצוננו להודות לחברת שח"ם-מקורות על נתוני המכ"ם המטאורולוגי המשודרים אלינו בזמן אמת, ומאפשרים לנו לחקור אירועים הידרולוגיים בעת התרחשותם. תמיכתם המקצועית והנכונות לעזור תמיד מאפשרים לנו לקדם את המחקר ההידרולוגי לדרגה גבוהה ולהקים בסיס נתונים שישרת את המחקר גם בעתיד. תודה מיוחדת לאנשי מחלקת האקלים והחיזוי של השרות המטאורולוגי, אשר ללא עזרתם לא ניתן היה לכייל את מכ"ם העננים ולזהות את מוקדי הגשם. תודה לנציבות המים אשר מממנת עבודה זו ובמיוחד לשמוליק קליין אשר הכיר בחשיבות עבודתנו, ופעל להוצאתה לפועל.

## 3. השיטות לאיסוף נתונים

שיטות העבודה של התחנה לחקר הסחף בחקירת אירועים מיוחדים כוללת: בדיקת כמויות ועוצמות הגשם באמצעות מכ"ם מטאורולוגי בעת התרחשות סופת גשם או בסמוך למועד התרחשותה. התמונות המתקבלות ע"י מכ"ם העננים ברציפות ובזמן אמת, וצוותי העבודה המאיישים לעיתים חדר מצב 24 שעות ביממה בזמן סופות גשם, מאפשרים הגעה למקום האירוע בסמוך ככל האפשר לזמן שיא הגאות כך, שתתאפשר מדידת מהירות הזרימה ע"י מצופים בשיא הזרימה. דיווחים מאנשי משרד החקלאות, מנהלי ומפקחי רשויות הניקוז, שמורות הטבע ואחרים מסייעים גם הם בהכוננת הצוות ההידרולוגי אל מוקדי השיטפונות. איסוף הנתונים מתבצע ע"י צוותי עבודה אשר מודדים מהירויות זרימה, דגימות סחף וסימני שיא הזרימות בערוצי הנחלים, ומתעדים את מהלך הגאות והגלישות מהנחלים. החקירה ההידרולוגית מתבצעת בפרישה אגנית:

א. בנקודות קבועות

ב. בנקודות בקרבת מוקדי הגשם

ג. בקרבת אזורים בהם נצפו נזקים והצפות.

קביעת ספיקות השיא בנחלים, נעשית ברוב התחנות בשיטת העבר שיפוע. עקרונות המדידה, החישוב והשיטה לקביעת איכות אומדני הספיקות, פורסמו לאחרונה (גרתי וחובריו 1998).

במספר מיקרים השימוש בשיטת העבר השיפוע נמצא בעייתי:

1. במקרים בהם שיפוע האפיק עולה על 2%.

2. כאשר יש הפרעות לזרימה כתוצאה של צומח סבך וסלעים גדולים.
3. כאשר יש שינויי חתך גדולים כתוצאה של התחתרות האפיק בזמן הזרימה או שקיעת

סחף.

4. כאשר יש קושי במציאת סימני שיא אמינים בעיקר במקרים של שיפועי אפיק

קטנים.

במקרים מעין אלו אנו משתמשים בשיטות אחרות כגון:

1. שימוש במקדם חספוס (מנינג) לחתך ממוצע לפי המקובל בספרות.
2. נוסחאות מקובלות אחרות לתנאים הרריים.

אנו משתמשים ככל הניתן במהירויות מדודות ע"י מצופים לצורך כיוול ובחירת הנוסחה המתאימה לחישוב ספיקות השיא באותם מיקרים בהם לא רצוי להשתמש בשיטת העבר שיפוע.

נתוני ספיקות השיא המרביות מצורפים לצורך עדכון מעטפות הספיקות המרביות באזור הנחקר. נבדקת ההסתברות לספיקות שיא בתחנות המדידה לפי ניתוח סטטיסטי ולפי מודלים שונים. נבדקים מאפייני גשם כגון כמויות ועוצמות, פרישה מרחבית, עובי גשם מצטבר, עובי גשם קודם לאירוע ועוד, או שילוב של מס' מאפיינים שגרמו לספיקת השיא. מידע זה משמש כבסיס לבדיקה, עדכון ופיתוח מודלים לקביעת ספיקות שיא, להבנת תהליכים הידרולוגיים ומגמות לשינויים בספיקות השיא בכל רחבי הארץ.

אומדני הסתברותם של מאפייני הגשם נקבעים על סמך ניתוחים סטטיסטיים של סדרות תצפיות בתחנות המטאורולוגיות לפי פילוג פירסון 3 לפרקי הזמן הגדולים (סופתי וחודשי) ולפי הפילוגים לוג נורמל ולוג פירסון לפרקי הזמן הקצרים.

אומדני ההסתברות לספיקות השיא מתבססים, בדרך כלל, על ניתוחים סטטיסטיים של סדרות תצפיות או לפי מודלים הידרולוגיים תחל"ס (מעודכן לשנת 1997) והידרולוגי סטטיסטי (מעודכן לשנת 2003).

המספרים הניתנים בטבלאות מעוגלים בהתאם לפירוט הבא:

- **עובי ועוצמות הגשם:** מעוגל למספרים שלמים
- **ספיקת השיא:** מעוגל למספרים שלמים
- **ספיקה סגולית:** עד 1 מעוגל לעשיריות  
מעל 1 מעוגל למספרים שלמים
- **נפח:** עד 100 מעוגל ל-1 קוב  
בין 100-1,000 מעוגל לעשרות קוב  
1,000-10,000 מעוגל למאות קוב  
10,000-100,000 מעוגל לאלפי קוב  
100,000-1,000,000 מעוגל לעשרות אלפים קוב  
מעל 1 מיליון מעוגל למאות אלפי קוב
- **מהירות זרימה:** מעוגל לעשיריות
- **שטח אגן:** עד 0.5 קמ"ר מעוגל למאיות  
0.5-10 קמ"ר מעוגל לעשיריות  
מעל 10 קמ"ר מספרים שלמים

### 3.1. תפרושת הגשם במרחב על בסיס הדמיות מכ"ם

הדמיות הגשם של המכ"ם המטאורולוגי מאפשרות מעקב אחרי מסלולם של תאי-הגשם והצגת תפרושת כמויות ועוצמות הגשם במרחב ובזמן. המכ"ם מהווה כלי חשוב למדידת גשם ויתרונו העצום הוא ביכולתו לתאר את הפרישה המרחבית של הגשם לשטח של מאות קמ"ר ברזולוציה של קמ"ר בודד ולכן משמש ככלי חיוני ורב עוצמה לצרכים הידרולוגיים.

לרב תפרושת מדי הגשם הקרקעיים מצומצמת למדי ובודאי בהשוואה לרזולוציה של תאי הגשם במרחב, אך בהעדר אמצעי מדידה אחרים, מהווה אמצעי עדיף להערכת תפרושת הגשם המרחבית על פני שימוש בשיטות אינטר/אקסטרפולציה של מדידות גשם קבועות במרחב. בשיטה זו לא ניתן לאבחן מוקדים של גשם אלא אם חפפו את אזור תחנת המדידה וכתוצאה מכך תאור תפרושת הגשם המרחבית יכול להשתנות באופן ניכר. למעשה המכ"ם המטאורולוגי לא מודד ישירות כמויות גשם אלא מודד עוצמה של החזרי פולסים (רפלקטיביות) וזו מתורגמת אחר כך לעוצמת גשם תוך הנחת התפלגות גדלי טיפה. הקשר שבין הרפלקטיביות - Z ובין עוצמת הגשם - R מכונה קשר Z-R. מאחר ומניחים התפלגות גדלי טיפה מסוימת וזו למעשה משתנה הן בזמן ולעיתים במרחב, יש צורך לכייל את מדידת הגשם מהמכ"ם באמצעות תצפיות הגשם הקרקעיות. התיקון הפשוט ביותר ניתן על-ידי פקטור תיקון P:

$$P = \frac{\sum_i GAGE_i}{\sum_i RAD_i}$$

RAD<sub>i</sub> הינה כמות הגשם המחושבת מנתוני המכ"ם במיקום של מד-הגשם i ו-GAGE<sub>i</sub> הינה כמות הגשם המדודה במד הגשם הקרקעי.

היחידה להגברת המטר של חברת שח"ם, מפעילה מכ"ם מטאורולוגי ושולחת את נתוני בזמן אמת לתחנה לחקר הסחף, שם מעובדים הנתונים ומתורגמים לעוצמות גשם לפרקי זמן סריקה של חמש דקות ליחידות מרחב של כ- קמ"ר. בנוסף מתקבלים נתוני מכ"ם מהשרות המטאורולוגי ברזולוציה מרחבית בעלת דיוק כפול. לאחר כיוול הסופה ניתן להתייחס לנתוני המכ"ם כמייצגים נתונים ריאליים של עוצמות גשם וכמויות מצטברות.

קיימות בעיות לא מעטות במדידת הגשם באמצעות המכ"ם חלקם נובע מהסתרות טופוגרפיות המונעות מעבר הפולס (כגון ים המלח), או מחסום של מבנה גבוה בסמוך למשדר המכ"ם. הפתרון לבעיות מסוג זה הוא שימוש בסריקה בזוית גבוהה יותר, תוך הנחה שתפרושת עוצמות הגשם במרחב אינה משתנה עם הגובה, לפחות בתחום הזוויות הסמוכות לקרקע.

סוג אחר של בעיות מקורו בטיפוס המשקעים (ברד לדוגמה גורם להחזרים חזקים המתורגמים לעוצמות גשם גבוהות מאוד), מעברי פאזה בעננים ועוד, בכל מקרה כזה יש לטפל בנתונים בצורה מבוקרת.

הגשם בארץ, מחולק בצורה גסה לשני טיפוסים: גשמים חזיתיים עם תפרושת מרחבית נרחבת, משך-זמן ארוך (כמה שעות עד מספר ימים) ובדרך-כלל בעוצמות גשם לא גבוהות.

הטיפול השני מאופיין בגשמים קונבקטיביים, האופייניים בעיקר לתקופות עונות המעבר. גשמים אילו מאופיינים במבנה תאי (שטח של כאחד קמ"ר עד מספר בודד של קמ"ר), במשכי זמן קצרים ובעוצמות גשם גבוהות. בשל המבנה התאי תפרושת הגשם במרחב היא בעלת שונות גבוהה ביותר. ללא המכ"ם לא ניתן היה לתאר נאמנה את המרחב וללמוד בצורה אמינה על יחסי גשם-נגר באגני-היקוות קטנים. יש לציין כי לעיתים אירועים קונבקטיביים אילו מניבים זרימות ושיטפונות חזקים ביותר. חשוב לציין כי גם בגשמים חזיתיים, חשיבות המכ"ם לא מבוטלת שכן באמצעותו ניתן לתאר בצורה אמינה את מהלך הגשם ועוצמתו הממוצעת לאגן היקוות (ובמיוחד לאגנים הבינוניים והגדולים) העולה בהרבה על תיאור תפרושת הגשם שניתנת באמצעות מספר בודד של מדי גשם במרחב. פירוט שיטת הכיול ניתן למצוא בדו"ח מיוחד מס' M-70 של התחנה לחקר הסחף.

4. תאור הסופה והשיטפון בתאריך 29.10.04

בפרק זה יינתן תאור של סופת הגשם, בה נצפו אירועים שטפוניים מיוחדים, ספיקות שיא גבוהות, הצפות ונזקים.

4.1. סופת 29/10/2004

4.1.1. תאור סינופטי:

במהלך יום חמישי ה- 28 באוקטובר החל לחדור ממערב לאזורנו אפיק רום אשר אופיין בטמפרטורות נמוכות בשכבות הגבוהות ובלחות רבה בשכבות הגבוהות והבינוניות. בקרקע, האזור היה מושפע מאפיק ים סוף בעל ציר מערבי עם זרימות מזרחיות שגרמו לטמפרטורות גבוהות בשכבות הנמוכות. השילוב שנוצר, היינו חום בקרקע וקור ברום, עורר חוסר יציבות אטמוספרית חריפה. שילוב זה עם חדירת לחות ניכרת בשכבות הבינוניות (הגיעה לשיאה בבוקר יום שישי ה- 29 באוקטובר), הניב ממטרים עזים וברד שירדו במיוחד בדרום הארץ ובמזרחה.

4.1.2. עובי הגשם בתחנות הקרקע:

בטבלה מס' 1 ניתן לראות את כמויות הגשם הסופתי הגדולות ביותר אשר נמדדו ברשת התחנות של השירות המטאורולוגי וברשת התחנות של התחנה לחקר הסחף באזור הדרומי.

טבלה מס' 1: עובי הגשם היומי בתאריך 29/10/2004

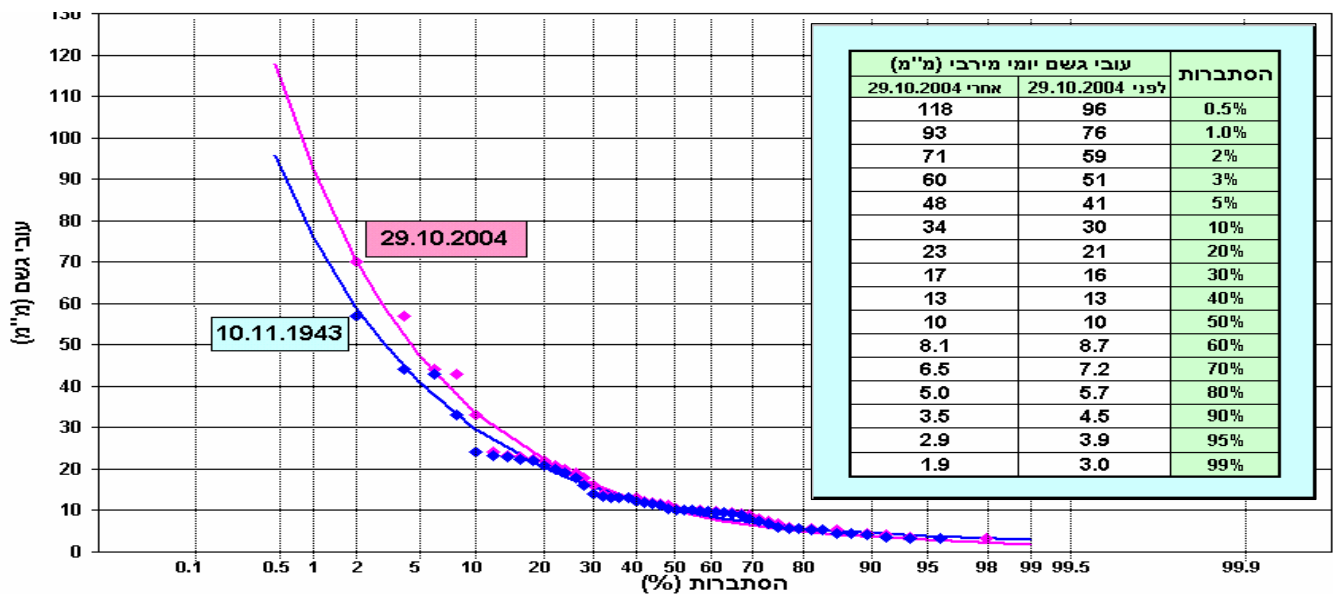
תחנות מדידת הגשם של התחנה לחקר הסחף			
מיקום התחנות			
מס' כביש	מס' ק"מ	עובי גשם יומי (מ"מ)	הסתברות לעובי יומי (%)
25	124	66	2-1
25	133	35	7
225	7	51	3
90	144	42	5
227	7	33	8
90	170	47	4
90	180	45	4
באר - שבע (שכונת רמות)			
		36	7
תחנות מדידת הגשם של השירות המטאורולוגי			
מיקום התחנות			
מיקום התחנות	עובי גשם יומי (מ"מ)	הסתברות לעובי יומי (%)	
באר - שבע	20	80	
ערד	41	7	
רותם	46	4	
סדום	70	2-1	
צומת דימונה	54	3	
מכתש קטן	65	2	
מעוז חיים	1		
כפר רופין	32	50	
מחולה	25	50	
גילגל	22	30*	
קלי"ה	6	90	



\*ההסתברות לעובי הגשם היומי חושבה לפי תחנת הגשם בקלי"ה.

כמויות הגשם המרביות שהסתברותן בין 1%-2%, נמדדו באזור ים המלח ובכביש מס' 25 (דימונה צומת הערבה). בתחנת סדום של השירות המטאורולוגי נמדד עובי הגשם המרבי הידוע מאז שנת 1938 (70 מ"מ). הממוצע הרב שנתי של עובי הגשם השנתי בתחנה זו הוא 47 מ"מ בלבד. הסתברות לעובי הגשם חושבה לפי נתונים של תחנת סדום בלבד. באיור מס' 1 ניתן לראות את עקומי ההסתברות של עובי הגשם היומי לפני ואחרי אירוע הגשם מתאריך 29/10/2004.

**איור מס' 1: עקומי ההסתברות של עובי גשם יומי מרבי בתחנת סדום לפני ואחרי האירוע מתאריך 29/10/2004 (\* תקופת תצפיות 1938 - 2004)**



◆ Plotting position — 29.10.2004 אחרי — 29.10.2004 לפני ◆ Plotting position

\* תקופת התצפיות אינה רצופה וכוללת סה"כ 48 שנות מדידה

ניתן לראות מאיור מס' 1 שינוי משמעותי בעקום ההסתברות כתוצאה מתוספת הנתון של עובי הגשם באירוע הנדון. עובי הגשם היומי המרבי החזוי בהסתברות 1% עלה מ-75 מ"מ לפני האירוע עד 93 מ"מ לאחריו.

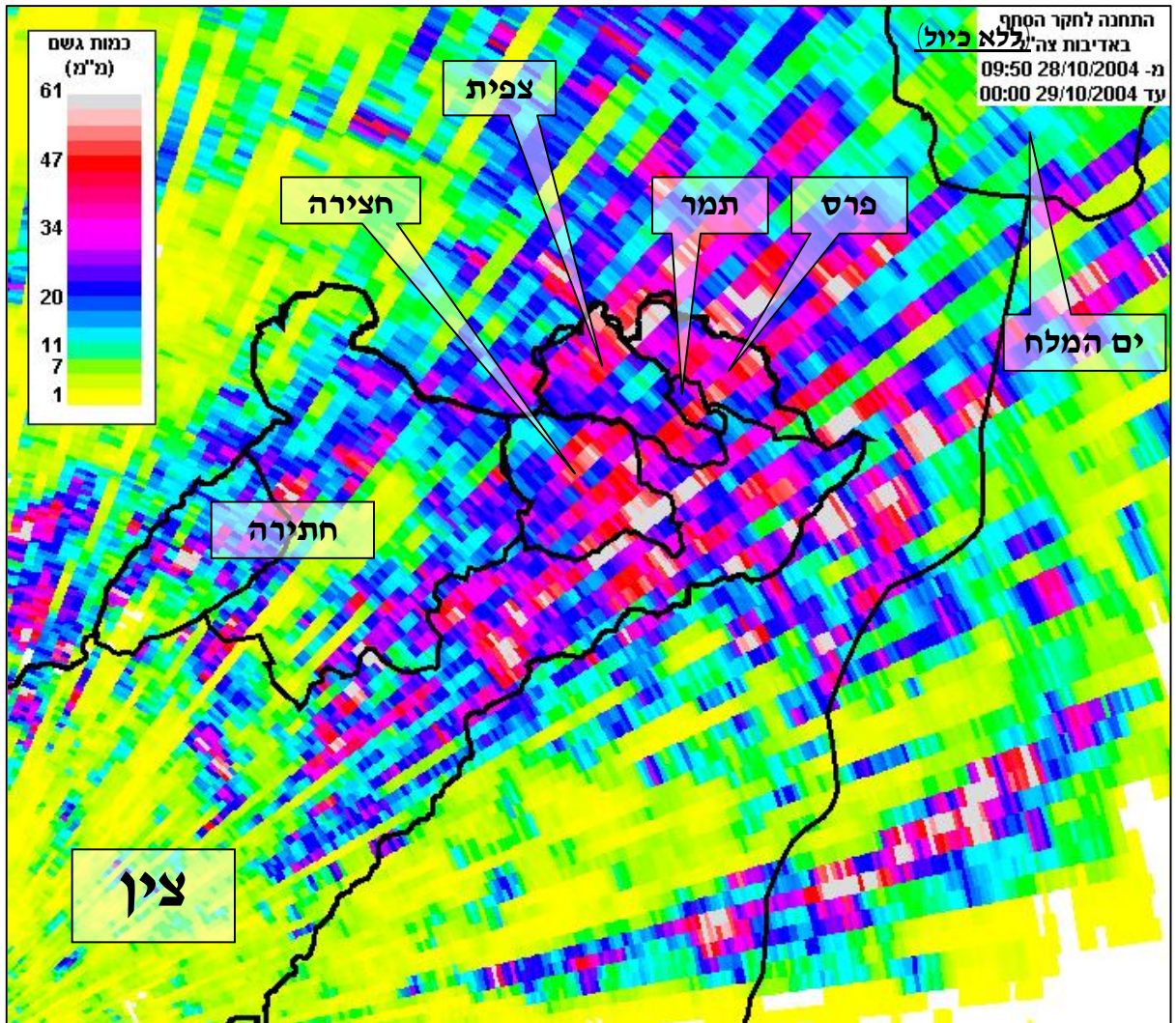
פירושו של דבר הוא כי עובי הגשם היומי הצפוי בהסתברות של 1% באזור המדברי, הוא גדול פי 2 ויותר מעובי הגשם הממוצע הרב שנתי.

### 4.1.3 עובי ומהלך הגשם לפי מכ"ם העננים:

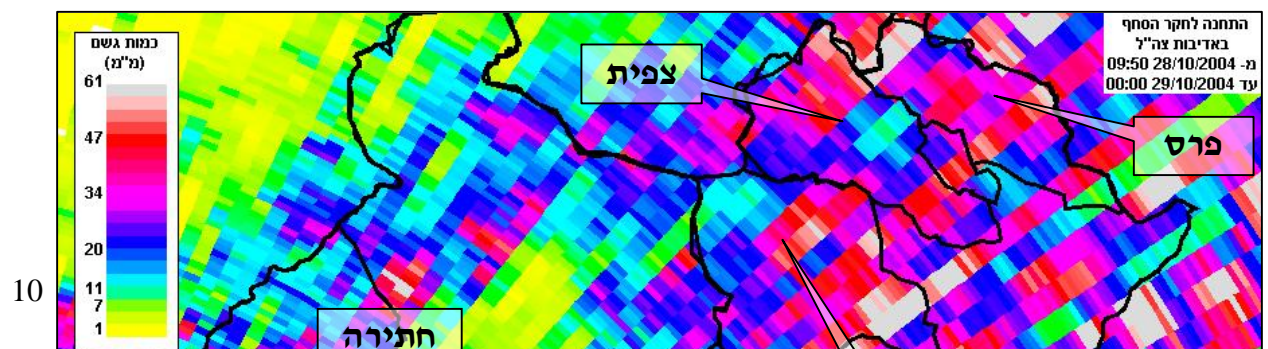
לצערנו מכ"ם העננים הממוקם דרומה לבאר שבע, עבד כך שאופן רישום הנתונים היה חלקי. כתוצאה מכך יש חוסר בנתונים במרחב הסריקה. בשל סיבה זו אין באפשרותנו לכייל את נתוני המכ"ם לסופה זו, אולם ניתן לאפיין את הסופה בצורה איכותית. בין היתר, ניתן לאתר מוקדי גשם במרחב, תפרוסת חלקית של הגשם על-פני האגנים וכן תזמון הגשם במרחב. כל הניתוחים שיוצגו להלן מבוססים על הנתונים הגולמיים ללא כל כיוול, על סמך ניסיון העבר, יש סיכוי גדול שבמציאות הערכים היו יותר גבוהים שכן ערכי-פקטור התיקון בדרך כלל בסביבות 2-3 או יותר (כאשר הכיוול נעשה עפ"י מרחב גדול של מאות קמ"ר).

באיורים מספר 2 ו-3 מוצגת תפרוסת הגשם באזור חלקו התחתון של אגן נחל צין על סמך הדמיית המכ"ם.

איור מס' 2: מפת תפרוסת כמויות הגשם לסופה מתאריך 29/10/2004 כפי שהדמתה במכ"ם



איור מס' 3: מפת תפרוסת כמויות הגשם לסופה מתאריך 29/10/2004 כפי שהדמתה במכ"ם



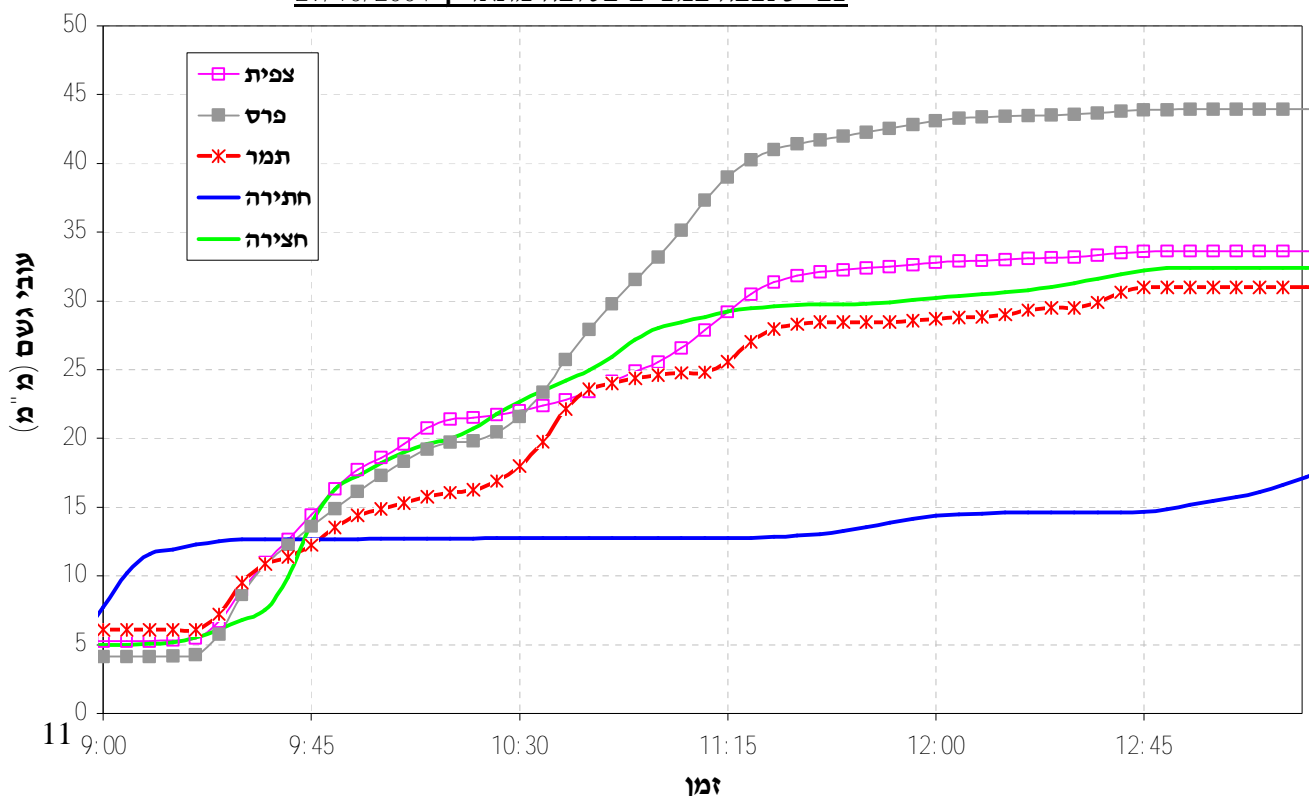
לפי איורים מס' 2 ו-3 ניתן להבחין בברור באי הרציפות בנתונים, שהיא תוצאה של הבעיה הטכנית, אך מעבר לזה ניתן להבחין כי הגשם התרכז במורד אגן נחל צין, כך שהאגנים הקטנים יחסית של: פרס, צפית, תמר וחצירה הם אלה שקיבלו את כמויות הגשם הגדולות ביחד עם האגנים הקטנים אדמון ואשלים המתנקזים למפעלי ים המלח. נחל חתירה קיבל משמעותית פחות גשם מיתר האגנים הקטנים במורד נחל צין.

התופעה בה ניתן לזהות לפי מכ"ם העננים, מוקדים רבים של עובי גשם גדול יותר מזה, אשר נמדד בנקודה בודדת בה מוצב מכשיר גשם, חוזרת על עצמה כמעט בכל אירוע גשם קיצון, ועל כך דיווחנו בהרחבה בדיווחים על אירועי הגשם והשיטפונות. יש לזכור כי הניתוחים הסטטיסטיים מתבססים בשלב זה על תחנות הקבע, בהן יש תקופת תצפיות ארוכה יחסית ואינם מייצגים באופן המיטבי את הגשם במרחב בהסתברויות נמוכות.

למהלך ותזמון הגשם יש חשיבות רבה לא פחות מאשר לכמויות הגשם. את נתוני מהלך ותזמון הגשם ניתן לקבל באמצעות מכ"ם העננים. למשל, באיור מס' 4 מוצג מהלך עובי הגשם המצטבר במספר תתי-אגנים בחלקו התחתון של נחל צין, אפשר ללמוד כי נחל חתירה, קיבל גשם חזק יחסית, הרבה לפני יתר האגנים. נתון זה חשוב להבנת היווצרות ספיקת השיא הכוללת באפיק נחל צין.

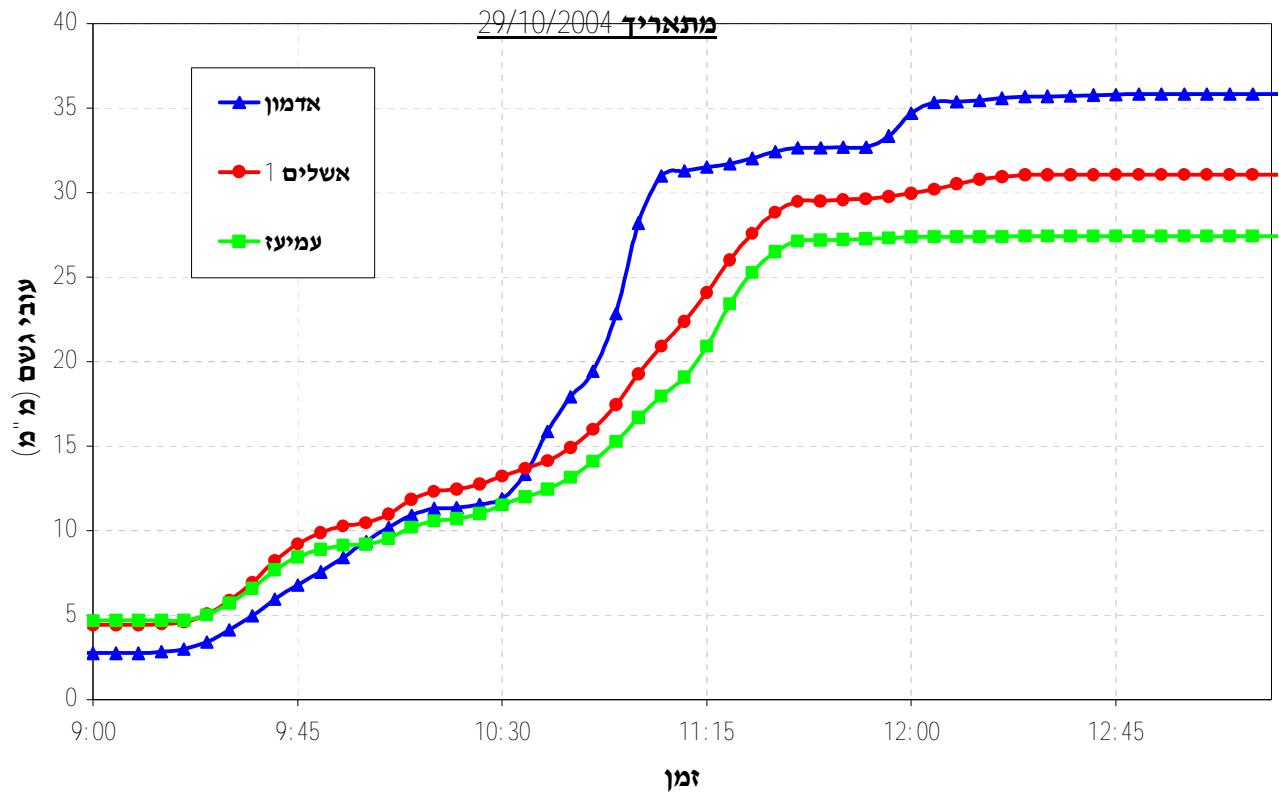
**איור מס' 4: מהלך הגשם הממוצע לאגני ההיקוות בחלקו התחתון של הצין.**

**כפי שנצפה במכ"ם בסופה מתאריך 29/10/2004**

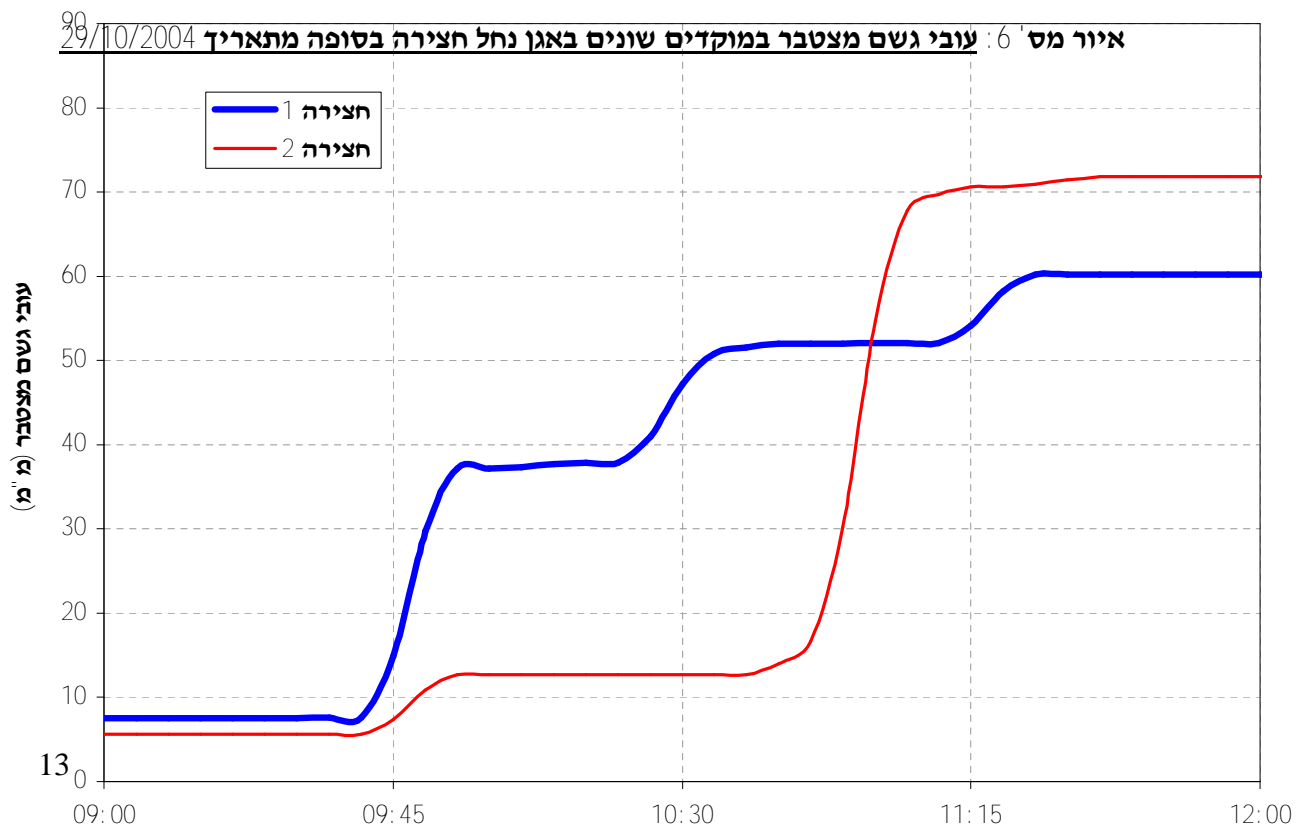


לעומת זאת באיור מספר 5 בו מתואר מהלך הגשם הממוצע לאגנים המתנקזים למאגר אשלים  
אנו רואים כמעט בו-זמניות מוחלטת בגשמים שירדו באגנים אדמון, אשלים ועמיעז.

**איור מס' 5: מהלך הגשם הממוצע לאגני היקוות באשלים, כפי שנצפה במכ"ם בסופה מתאריך 29/10/2004**



איורים מס' 4 ו-5 מתארים מהלך עובי גשם ממוצע בשטחי אגני היקוות יחסית קטנים ובינוניים (10-60 קמ"ר). מאפיין הממוצע לא מייצג בצורה מספקת את תנאי היווצרות ספיקות השיא באגנים מדבריים. אנו נתקלים לעיתים קרובות בהשתנות חזקה של עוצמות הגשם החריגות אפילו בתוך גבולות שטח אגן לא גדול. לדוגמא, באיור מס' 6, ניתן לראות מהלך גשם ב-2 מוקדים שונים בתוך אגן נחל חצירה (שטחו 52 קמ"ר).



מאיוור זה ניתן ללמוד כי במוקדים שונים היו עוצמות שונות וזמני הופעתם של מכות הגשם שונים מאד. לדוגמא: במוקד אחד הייתה עוצמת גשם מרבית של כ- 90 מ"מ/שעה בפרק זמן של 20 דקות בין 9:40 ל-10:00 ובמוקד השני באותו אגן היקוות הייתה עוצמת גשם מרבית של כ- 165 מ"מ/שעה בפרק זמן של 20 דקות בין 10:50-11:10. כשמופיעה עוצמת הגשם הגבוהה במוקד השני, במוקד הראשון לא ירד כלל גשם. מיצוע עוצמות הגשם במרחב אגני מצביע על עוצמות גשם נמוכות מהמרביות ועלול להטעות אם נייחסו לעוצמות מרביות ידועות בנקודה.

### עוצמות הגשם

מהלך הגשם נרשם במספר תחנות מדידה של השירות המטאורולוגי באזור. עוצמות הגשם המרביות נרשמו בתחנת סדום. בטבלה מס' 2 ניתן לראות עוצמות גשם מרביות לפרקי זמן של 10, 30 ו-60 דקות, שנמדדו בתחנת סדום באירוע זה.

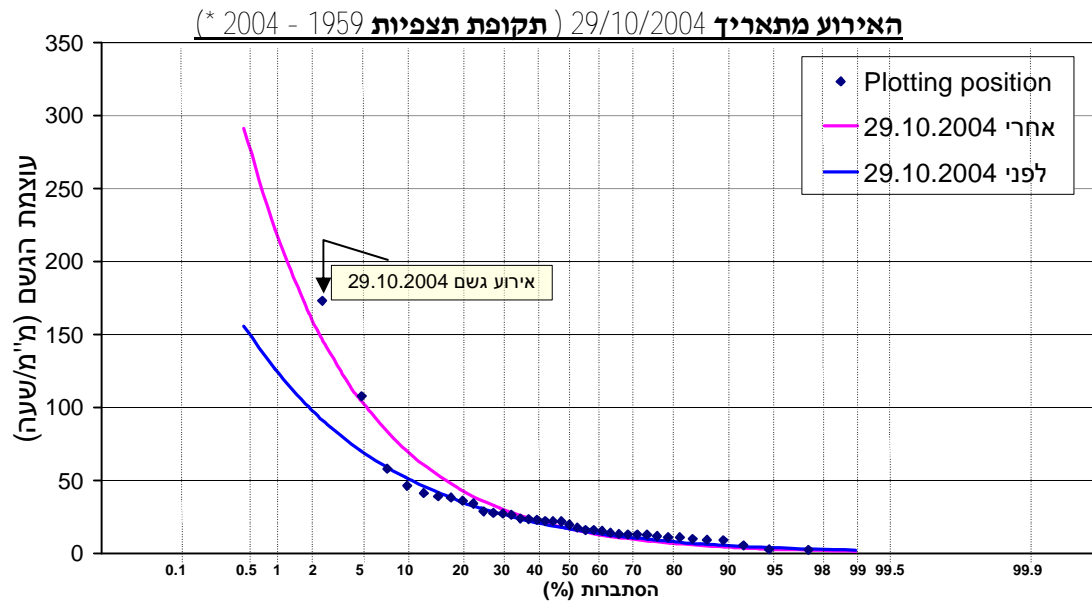
טבלה מס' 2: עוצמות גשם לפרקי זמן שונים בתחנת סדום בסופה מתאריך 29/10/2004

פרק זמן (דקות)	עוצמה (מ"מ/שעה)
10	173
30	90
60	50

עוצמת הגשם לפרק זמן של 10 דקות חושבה מתוך ניתוח סרט הגשם. יש בעייתיות מסוימת בחישוב הערכים לפרקי זמן קצרים הנובעת בשל רזולוציית סרטוט הקו של המכשיר הרושם. בעייתיות שאינה קיימת בחישוב הערכים לפרקי זמן ארוכים יותר, של 30 ו-60 דקות. באיוורים מספר 7 ו-8 ניתן לראות את עקומי ההסתברות של עוצמת הגשם המרבית ל-10, 30 ו-60 דקות בהתאמה, בתחנת סדום לתקופת תצפיות 1959-2004. יש לציין כי לא ניתן לבצע ניתוח סטטיסטי לפרקי זמן ארוכים יותר בשל מיעוט ערכים הנופלים בטווח הזמן הגדול משעה.

באיור מס' 7 ניתן לראות את עקומי ההסתברות של עוצמת הגשם המרבית לפרק זמן של 10 דקות בתחנת סדום, לפני ואחרי האירוע.

**איור מס' 7: עקומי ההסתברות של עוצמת הגשם המרבית ל-10 דקות בתחנת סדום לפני ואחרי**

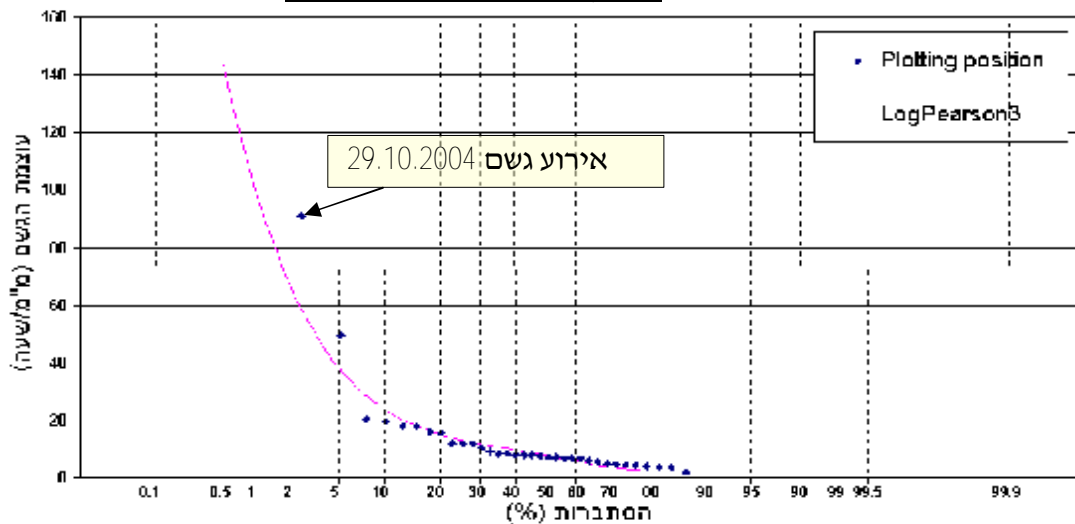


\* תקופת התצפיות אינה רצופה וכוללת סה"כ 38 שנות מדידה.

ניתן לראות מאיור מס' 7 שינוי גבוה ביותר בעוצמות הגשם המרביות הצפויות בהסתברות 1% לפני ואחרי האירוע: 126 מ"מ/שעה לפרק זמן של 10 דקות לפני האירוע ו-223 מ"מ/שעה לאותו פרק זמן לאחר האירוע.

**איור מס' 8: עקום ההסתברות של עוצמת הגשם המרבית ל-30 דקות בתחנת סדום**

**(\* תקופת תצפיות 1959 - 2004)**

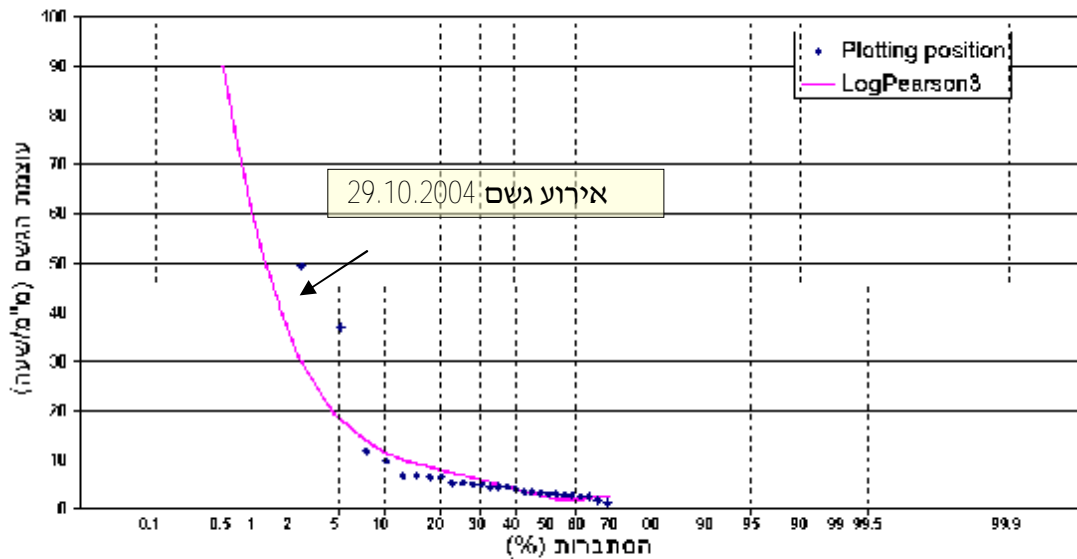


\* תקופת התצפיות אינה רצופה וכוללת סה"כ 38 שנות מדידה.

באיור 8 הנקודה הקיצונית ביותר של 90 ממ"ש היא מאירוע של 29.10.2004, ההסתברותה האמפירית כ-2% ואילו ההסתברותה בהנחת פילוג לוג פירסון 3 היא של כ-1.5%.

**איור מס' 9: עקום הסתברות של עוצמת הגשם המרבית ל-60 דקות בתחנת סדום**

(\* תקופת תצפיות 1959 - 2004)



\* תקופת התצפיות אינה רצופה וכוללת סה"כ 38 שנות מדידה.

באיור 9 הנקודה הקיצונית ביותר של 50 מ"מ ש"ש היא מאירוע בתאריך 29/10/2004, הסתברותה האמפירית כ-2% ואילו הסתברותה בהנחת פילוג לוג פירסון 3 היא של כ-1%. מהניתוח הסטטיסטי של עוצמות הגשם בסופה לפרקי זמן של 10, 30 ו-60 דקות, עולה כי עבור כל פרקי זמן אלה עוצמת הגשם הייתה נדירה וככל שפרק הזמן גדל הסתברותה יורדת. מכאן כי סופה זו התאפיינה בעוצמות גבוהות, אך גם במשך זמן ארוך יחסית לסופות האופייניות לאזור. יש לציין כי על סמך נתוני החלקיים של המכ"ם, קיימים מוקדי גשם נוספים ורבים עם כמויות ועוצמות גשם גבוהות, אולם בשל הסיבות שצוינו לעיל אין אנו מסוגלים לנקוב בערכים מדויקים. אם ניקח ערך פקטור 2, אזי מתקבלת תמונה במספר מוקדים של עוצמות גשם דומות ואף גבוהות מאלה שנרשמו בתחנת סדום.

**4.1.4 סיכום פרק הגשם:**

שטח אגן נחל צין הוא כ-1300 קמ"ר. בשונה מסופות קיצון אחרות שהתרחשו ב-40 שנות המדידה הקודמות בנחל צין, התרחשה הסופה הנדונה ברובה בחלקו התחתון של נחל צין ואזור ים המלח הצמוד אליו, באזור ששטחו כ-500 קמ"ר.

מהלך הגשם באגני הצין התחתון מוצג באיורים מספר 4, 5 ו-6, ומתוכו עולות הנקודות הבאות:

- השונות של עובי ועוצמות הגשם בסופה זו הייתה גבוהה ביותר, מצב זה אופייני לעונות מעבר.
- רוב הגשם ירד בפרק זמן של כשעתיים שהוא פרק זמן ארוך יחסית לסופה בעלת אופי קונבקטיבי ונדיר. יחד עם זאת הגשם לא אופיין בעוצמה גשם אחידה במשך



כשעתיים, אלא במטחי גשם בעוצמות נדירות לפרקי זמן קצרים יותר ומהן התפתחו כנראה ספיקות השיא הגבוהות.

- עוצמות הגשם לפרקי זמן עד 60 דקות היו מהגבוהות ביותר שנמדדו בתחנות רושמות בנגב, בערבה ובאזור ים המלח. אומדן גס מאוד של עוצמות הגשם במרחב על סמך נתונים חלקיים של המכ"ם מצביע על עוצמות גבוהות יותר במוקדים שונים.
- הגשם באגנים צפית, פרס, תמר, חצירה, אשלים ואדמון ירד כמעט בו זמנית. רק הגשם באגן חתירה הקדים בכשעה את האחרים ולכן תרומת הזרימה ממנו לספיקת השיא באפיק נחל צין הייתה כנראה קטנה.
- מהסתכלות על נתוני הגשם, ממדי הגשם הקרקעיים ועל תמונת המכ"ם החלקית, אנו משערים כי ממוצע כמויות הגשם בחלק מאגני ההיקוות בגודל 60-10 קמ"ר היה כ- 55 מ"מ. כמות זו קרובה לממוצע הרב שנתי באזור ונדירה לגודלי שטח כאלה. אנו משערים כי עובי הגשם במוקדים היה גדול בהרבה והסתברותו נמוכה.

## 4.2 גאוויות

### 4.2.1 ספיקות השיא:

שטח הכיסוי של הגשם באירוע הנדון היה גדול מאוד, תוך השתנות גבוהה של הגשם והספיקות בזמן ובמרחב. הפריסה הרחבה של הגשם, גררה בעקבותיה זרימות בכל הנחלים היורדים לים המלח. נזקים רבים נגרמו לתשתיות: קווי תחבורה, טלפון ומים ונזקים חמורים לענפי חקלאות בעקבות הגשם וההצפות. את נתוני ספיקות השיא אשר נאמדו על סמך מדידת סימני השיא ע"י צוותי העבודה של התחנה לחקר הסחף ניתן לראות בטבלה מס' 4. בטבלה מס' 4 א' ניתן לראות אומדנים של ספיקות שיא באתרים רבים נוספים. אומדני ספיקות השיא נעשו בקטעי מדידה בהם לא ניתן היה למדוד מספר חתכים. האומדן מבוסס על מדידת חתך אחד בלבד, שיפוע סימני שיא לפי קרקעית הנחל או לפי סימני שיא שאינם רצופים או מצידו האחד בלבד של הערוץ. ניתן גם לראות את אומדני ההסתברויות לספיקות השיא אשר נמדדו. אומדנים אלו חושבו לפי מודל הידרולוגי תחל"ס דגם 2 ומודל הידרולוגי סטטיסטי של שמואליק פולק. קביעת הספיקות נעשתה על בסיס שיטת העבר שיפוע ובעזרת תכנת hec-ras, כאשר מקדם מנינג נע בתחום 0.03-0.06.

טבלה מס' 4: ספיקות השיא אשר נמדדו בעקבות אירוע הגשם מתאריך 29/10/2004

מס'	שם האגן	X	Y	שטח האגן קמ"ר	ספיקת שיא מקש"נ	ספיקה סגולית מקש"נ / קמ"ר	הסתברות ב-%
<b>אגן נחל צין</b>							
1	יובל קטן צין	228215	540523	0.5	20	42	5
2	צין לפני שפך חתירה	210414	530925	808	20	>80	
3	צין כביש 227	213309	533046	1110	240	10	
4	צין לפני שפך חצירה	222900	537204	1160	250	10	
5	צין עקרבים	224789	537279	1220	500	4	
6	צין כביש 90	228482	539177	1230	550	4	
7	צין נאות הכיכר	233286	544723	0513	1280	1*	<1
8	יובל חצירה 1	222268	540390	3	30	11	10
9	יובל חצירה 2	219626	541539	4	110	28	2
10	יובל חצירה 3	219747	541580	8	120	15	3
11	יובל חצירה 4	219867	541076	14	270	20	1
12	יובל חצירה 5	219428	540190	29	380	13	1-2
13	יובל חצירה 5א	219739	540214	29	360	12	1-2

מס'	שם האגן	X	Y	שטח האגן קמ"ר	ספיקת שיא מקש"נ	ספיקה סגולית מקש"נ / קמ"ר	הסתברות ב-%
14	חצירה	223094	538296	52	580	11	1
15	צפית 1	218295	549154	8	120	15	4
16	צפית 2	219690	549230	19	150	8	5
17	צפית 3	225841	543345	37	440	12	1-2
18	יובל תמר	227813	543974	3.2	60	19	4
19	תמר	225673	545170	4.7	100	21	3
20	תמר מורד כ. 90	230798	543573	14	160	12	3
21	פרס מעלה 1	223019	550133	7	70	9	8
22	פרס מעלה 2	227748	546962	18	220	12	3
23	פרס	230745	544312	30	310	10	2
24	ממשית 1	204274	541867	63	200	3	8
25	ממשית	204310	541592	64	200	3	8
26	נאות הכיכר 1	235750	538286	1.6	4	3	>20
27	נאות הכיכר 2	234759	539553	1.8	10	6	20
28	נאות הכיכר 3	234712	539823	2.5	25	10	10
29	נאות הכיכר 4	234525	540676	4	50	13	7
30	נאות הכיכר 5	234085	542095	5.5	50	9	10
31	נאות הכיכר 6	234405	540798	7	40	6	10
32	נחל ימין	207643	540158	30	200	7	5
33	יובל חתירה	201698	540179	7.7	40	5	15
34	חתירה 1	202219	540100	56	60	1	>20
35	חתירה	210185	532395	270	250	0.92	10
36	כמוס	206414	540688	2.5	30	10	10
37	תחמס 1	226960	546390	4.8	240	50	<1
38	תחמס 2	227197	545868	6.6	240	36	<1
<b>אזור באר שבע</b>							
1	באר שבע	183859	572440	1200	150	-	>20
2	קריות	208823	573930	36	90	3	10
3	יובל בתרים	184651	576109	1.4	10	5	
4	בתרים 1	184863	581147	3	10	3	
5	בתרים 2	184502	578289	8.8	40	5	
6	בתרים 3	184590	578175	9	40	5	
7	בתרים 4	184926	576414	13	90	7	
8	בתרים	184710	575665	15	60	4	10
9	ערדון	213300	573950	6	20	3	
10	ערד 19	212517	573883	0.16	10	46	
<b>אגני ים המלח</b>							
1	אמציהו	234207	538272	125	170	1	15
2	אפעה	219368	560376	107	60	0.6	>20
3	צאלים	233443	583950	246	100	0.4	>20
4	נימיה	219116	507842	18.5	30	1	15

מס'	שם האגן	X	Y	שטח האגן קמ"ר	ספיקת שיא מקש"נ	ספיקה סגולית מקש"נ / קמ"ר	הסתברות ב-%
5	מור 1	234966	573895	9.8	200	20	1-2
6	יעלים 1	234275	571745	50	40	0.9	15
7	עמיעז 1	232279	553800	29	260	9	3
8	עמיעז 2	232513	553601	30	340	11	2
9	לוט	234390	559208	18	240	14	2
10	מעלה אדמון	228118	549952	6	80	13	5
11	אדמון	232670	547905	10	140	14	3
12	פרצים	235630	558850	29	60	2	17
13	עזגד	232121	552868	3.4	40	10	10
14	יובל מפעלי ים המלח 1	235534	550873	0.5	30	60**	1
15	יובל מפעלי ים המלח 2	234526	551156	0.7	40	53**	2
16	יובל מפעלי ים המלח 3	235677	550959	1.1	60	54**	1-2
17	יובל מפעלי ים המלח 4	234606	550790	1.3	60	46**	1-2
18	רחף תחנה הידרומטרית	235700	578270	77	90	1	20
19	חימר מעלה	221057	561652	270	300	1	15
20	חימר 1	233062	560050	340	200	0.6	20
21	חמרית	231216	549550	3.3	50	15	5
22	חמרית מורד	233078	549173	8	80	10	7
32	יובל אשלים 1	231548	550103	2.6	30	10	10
42	יובל אשלים 2	233380	550233	3.8	50	13	7
52	אשלים	231962	552218	31	140	4	10
62	תעלת אשלים	233740	550250	68	040	5	5
27	***			130	(730)	(5.6)	(2)
<b>אגני בקעת הירדן</b>							
	נערן	244092	653506	7.7	90	12	5
	גילגל	242092	655810	5.8	60	10	8
	ואדי אבו עובידה	245381	648502	17.3	50	3	18
	ייטב (עוג'ה)	248760	648395	135	390	3	2

הערה: ערכי הספיקות עוגלו לעשרות

\* ראה הסבר בפרק 3.3

\*\* אגנים בהם יש כיסוי מלא של קרקע חווארית.

\*\*\* שטח משותף של הנחלים צפית, תמר ופרס. הספיקה הוגדרה כהפרש ספיקות מדודות בין צין

כביש 90 לצין נאות הכיכר.

בטבלה 4 א' ניתן לראות את אומדני ספיקות השיא שנקבעו על סמך מדידת סימני שיא הזרימה בקטעים בעייתיים ו/או בנקודות בהן סימני הזרימה לא היו ברורים ורציפים.

**טבלה 4 א' : אומדני ספיקות השיא**

מס'	שם הערוץ	X	Y	שטח (קמ"ר)	ספיקה (מקש"נ)	ספיקה סגולית (מקש"נ/קמ"ר)
אגן נחל צין						
1	תחמס	226840	546125	1.4	60	43
2	תחמס	226700	546259	1.5	50	33
3	יובל נחל ימין	210040	541010	1.6	8	5
4	מעלה נחל עקרבים	214636	538128	0.92	8	9
5	יובל אדמון	228400	548900	0.3	10	33
אגני ים המלח						
1	יובל אשלים	232082	551424	2.8	40.5	14
2	יובל צפית	218390	549060	7.8	7.5	1
3	חמרית	231216	549550	3.3	52	16
4	יובל נחל אשלים	233380	550233	3.8	50	13
5	יעלים	234000	570800	50	150	3
6	צאלים	233295	584532	246	110	קטן מ-1
7	אדמון	228118	549952	5.9	80	14
8	אוג	243242	632473	120	40	קטן מ-1
9	נחל סדום מעלה	235772	556534	0.9	1-2	2
10	מפעלי ים המלח	233938	547679	1.1	50	45
11	זהר	235350	562250	35	100	3
12	ערוץ כביש 25	212965	549685	7	40	6
13	ערוץ ללא שם	231548	550103	2.6	25	10
14	מטמור	198921	538359	3	10	3
15	ללא שם	212886	538227	0.5	17	34
16	יובל אפעה	212965	549685	7	40	6
אגן נחל הערבה						
1	חצבה	226849	524199	83	30	קטן מ-1
2	חצבה כביש 90	223761	524148	46	32	1
3	עשוש תחנה	213880	490820	120	50	קטן מ-1
4	שלהב	218033	500213	4.5	50	11
5	נקרות	220269	507073	950	70	קטן מ-1
6	פארן כביש 90	214745	478142	3570	10	קטן מ-1
אגן נחל בשור						
1	עומר	218044	495567	43.5	15	קטן מ-1
2	מלחתה	210228	571309	39	60	2
3	נחל מזר	228214	539482	15	15	1
4	אדוריים	177768	605131	212	20	קטן מ-1
5	שיקמה מעלה	178586	597573	39	13	קטן מ-1
6	סנסנה	190319	580036	8.7	5	קטן מ-1
7	רימון	190177	580164	29	10	קטן מ-1
8	שוקת	192178	578465	1.8	3	2
9	חורה יובל יתיר	194195	576330	3.2	5	2

בנספח מס' 1 ניתן לראות את הפרמטרים ההידראוליים של ספיקות השיא אותן הצגנו בטבלה מס' 4.

בטבלה מס' 4 ניתן לראות אגנים בהם נוצרו ספיקות שיא שהסתברותן נמוכה, בצד אגנים בהם נוצרו ספיקות שיא שהסתברותן גבוהה יחסית. מצב זה אופייני לסופת גשם קונבקטיבית. יוצר ספיקות סגוליות הנעות בין פחות מ-1 מקש"נ לקמ"ר ועד עשרות מקש"נ לקמ"ר. הספיקות הסגוליות המוצגות בטבלה מס' 4, אינן מייצגות היטב את אשר מתרחש באגן נתון ועל כן נרחיב בפרק הדיון.

#### 4.2.2 נגר וסחף:

קיים קושי רב במדידת נפחי זרימה בתחנות הידרומטריות באירועים קיצוניים ממספר סיבות:

1. לא ניתן למדוד מהירות זרימה במכשירי מדידה באירועים קיצוניים.
2. ישנם שינויים גדולים בקרקעית כתוצאה מחתירה ושקיעת סחף.
3. תחנות הידרומטריות בדרך כלל לא מתוכננות למדידות גובה מים באירועים קיצוניים, והם מוצפות או נהרסות.

בנספח מס' 2 ניתן לראות את ההידרוגרפים של נחל רחף ונחל קריות. לצורך קבלת מידע אמין על כמויות מים וסחף באירועים קיצוניים, נעשה ניסיון למדוד נפח מים וסחף בשקעים סגורים שאוצרים את כל המים שמגיעים אליהם מאגן ההיקוות. המדידה נעשתה על סמך סימני שיא על דפנות השקע ובניית עקום רום נפח בשני אגנים:

1. אגן קטן חווארי מול מפעלי ים המלח. אגן זה נמצא באחד ממוקדי הסופה ליד תחנת סדום.
2. אגן גדול בהרבה, של נחל רחף בצפון ים המלח. אגן זה היה בשולי הסופה.

#### איור מס' 10: האגן החווארי מול מפעלי ים המלח.



בטבלה מס' 5 ניתן לראות את נתוני אגני ההיקוות, ספיקות שיא, נפחי מים וסחף שהגיעו לשקעים משני האגנים שנמדדו.

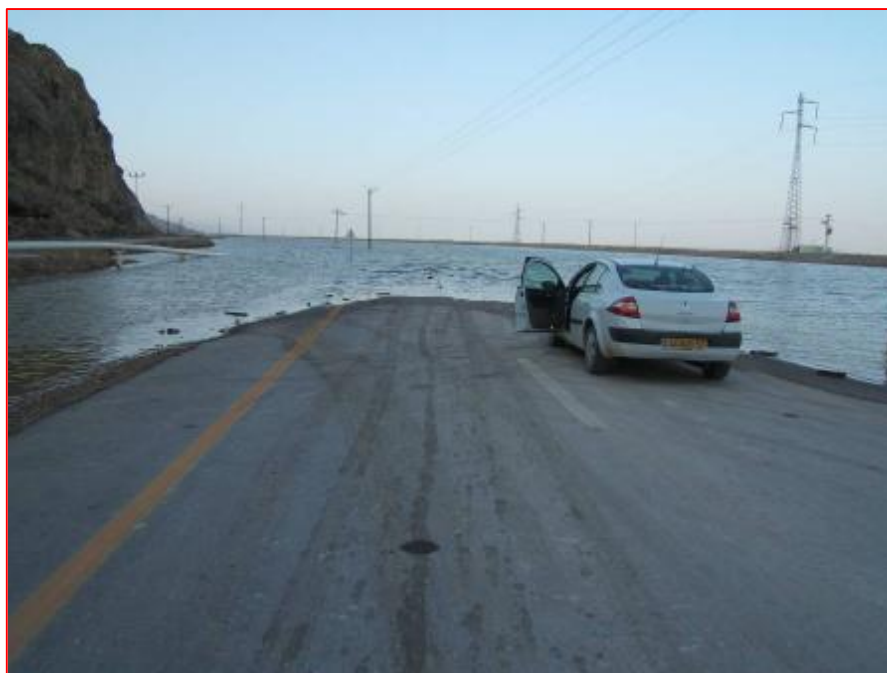
**טבלה מס' 5: נפחי זרימה וכמויות סחף מאגני ההיקוות**

נ"צ	שם האגן	שטח האגן (קמ"ר)	ספיקת שיא (מקש"נ)	נפח הזרימה (מ"ק)	עובי הנגר (מ"מ)	נפח סחף יבש (מ"ק)	% סחף
550959/235677	יובל מפעלי ים המלח 3	1.13	60.5	72,000	63.7	14,800	20

מהנתונים שהוצגו בטבלה זו אפשר לקבל מידע נוסף וחשוב מאוד:

1. אם ניקח בחשבון שבתחנת סדום נמדדה כמות גשם של 70 מ"מ ועובי הנגר מהאגן הקטן היה כ-64 מ"מ, אזי נקבל **מקדם נגר של 91%**, אחוז הסחף במים מהאגן החוררי היה כ-20%.
2. אחוז הסחף שנמדד באגן הגדול, שהיה בשולי הסופה (5%) היה נמוך בהרבה אך גבוה יחסית לגאות שכיחה כל כך בעובי הנגר ובספיקת השיא.
3. כביש 90 באזור צפון ים המלח הוצף לאורך מאות מטרים למשך זמן רב וכל זאת מנגר וסחף שהגיעו מאגנים חוואריים קטנים מאוד (פחות מ-1 קמ"ר) לאורך הכביש. באגנים קטנים מסוג זה לא ניתן למדוד ספיקה ונגר והשיטה היחידה המאפשרת קבלת מידע על הנגר היא מדידת נפחי המים באגמים מקומיים. באיור מס' 11 ניתן לראות את ההצפה בכביש 90 מצפון למפעלי ים המלח.

**איור מס' 11: איגום כביש מס' 90 צפונית למפעלי ים המלח**



### 4.3 דיון

#### 4.3.1 ספיקות השיא הנדירות במורד נחל צין ובנחל אשלים

##### 4.3.1.1 מורד נחל צין

בטבלה מס' 6 ריכזנו את הספיקות שנמדדו באגן נחל צין.

טבלה מס' 6: הספיקות שנמדדו באגן נחל צין באירוע של ה-29/10/2004

נקודת מדידה	גודל אגן (קמ"ר)	ספיקה (מ"ק/שנייה)
נחל צין - מעלה	808	20
נחל חתירה	260	250
נחל צין - כביש 227	1110	240
נחל צין	1160	253
נחל חצירה	52	580
נחל צין - כביש 90	1200	550
נחל צפית	37	440
נחל תמר	14	161
נחל פרס	30	310
נחל צין - נאות הכיכר	1300	1280

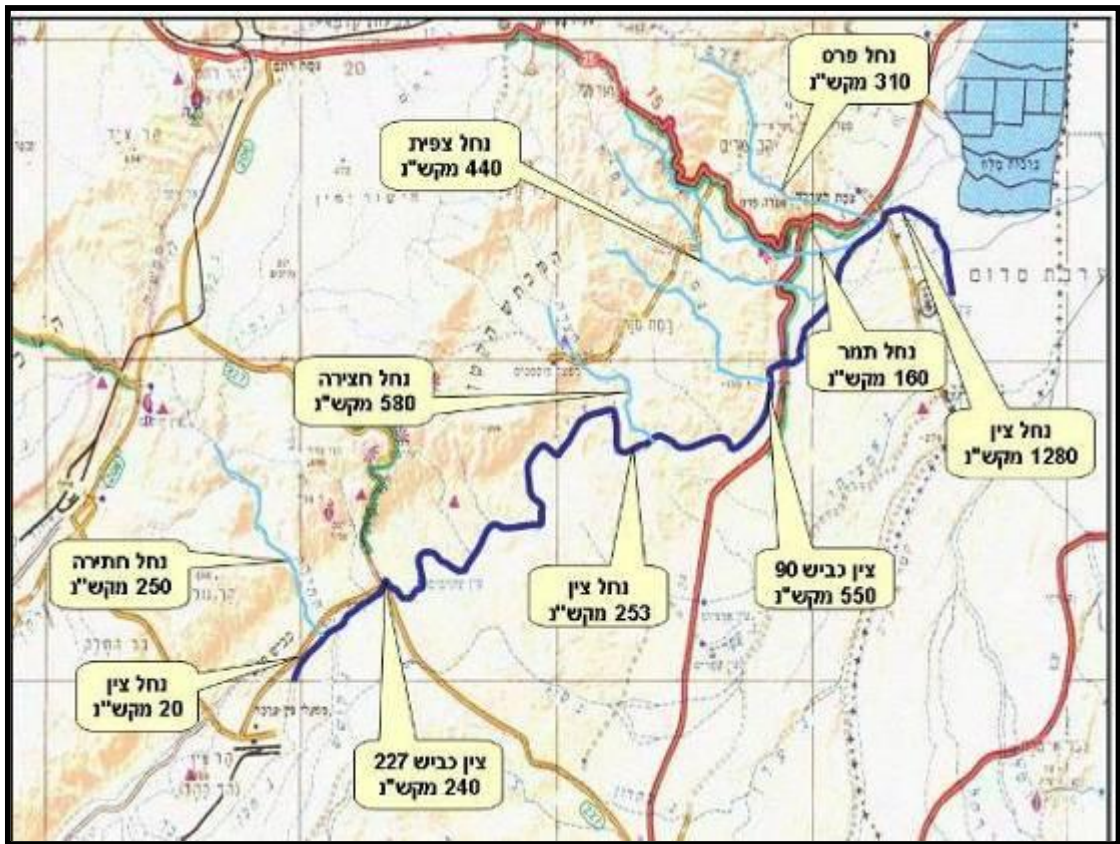
מהתבוננות בטבלה מס' 6 ניתן לראות כי הספיקה הגבוהה במורד נחל צין, נוצרה בעיקר מזרימות באגני הנחלים תמר, צפית, פרס, חתירה וחצירה בעוד מעלה אגן נחל צין כמעט לא זרם כלל. ניתן לראות זאת גם באיורים מס' 12 ו-13.

באיור מס' 12 ניתן לראות את תפרוסת הספיקות שנמדדו באזור מורד נחל צין. באיור מס' 13 ניתן לראות את השינוי בספיקות השיא עם עליית שטח אגן נחל צין בעת אירועים חריגים לאורך תקופת התצפיות.

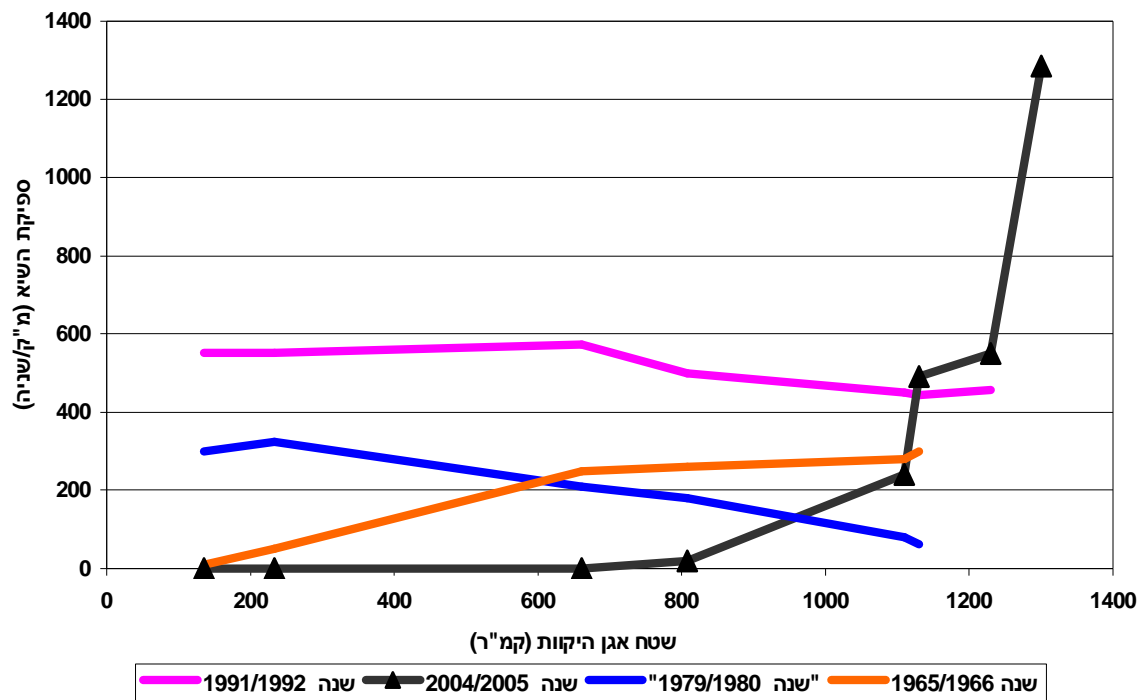


איור מס' 12: תפרוסת ספיקות השיא (מ"ק/שנייה) באירוע הגשם באגני ים-המלח מתאריך

29.10.2004



איור מס' 13: השתנות ספיקת השיא בשיטפונות חזקים לאורך שטח אגן היקוות נחל צין



מניתוח הנתונים המוצגים עלולות הנקודות הבאות:

- א. ספיקות השיא נחל צין נמדדות בנקודות שונות מזה כ-60 שנה. לפני שנות ה-50 הוקמה ע"י מפעלי ים המלח תחנה הידרומטרית במורד נחל צין, באגן של כ-1300 קמ"ר. החל משנות ה-50 הוקמו מספר תחנות לאורך נחל צין בגודלי אגן 135, 233, 660 ו-1200 קמ"ר. לפי מדידות בתחנות אלה, הספיקה המרבית שנרשמה באגן נחל צין עד לאירוע מתאריך 29/10/2004 הייתה 600 מקש"נ. בשיטפון הגדול הקודם של שנת 1991 מוקד הגשם היה בחלקו העליון של אגן נחל צין (גרינבאום וחובריו, 1998). ספיקת השיא במורד נחל צין באירוע הנוכחי (1280 מקש"נ) היא הספיקה המרבית שנמדדה בכל תקופת התצפיות. ספיקה זו קרובה בגודלה לספיקת Paleofloods שנמדדה ע"י נעם גרינבאום ותוארכה לגיל 2000 שנה.
- ב. המודל האזורי של השירות ההידרולוגי (שנציס וחובריה, 1994) חזה לנחל צין מורד כ-500 מקש"נ, בעבודה מעודכנת יותר של השירות ההידרולוגי (שנציס וחובריה, 1997) ניתן חיזוי של כ-1000 מקש"נ ל-1000 קמ"ר בערבה. מודל זה חוזה גם ל-100 קמ"ר בהסתברות 1% ספיקה של 146 מקש"נ בלבד. מהתבוננות בטבלה מס' 10 בדיון (פרק 3.5) ניתן לראות עד כמה הספיקות שכבר נמדדו בכל רחבי הנגב גבוהות הרבה יותר. בעבודות ההידרולוגיות הישנות אנו גורסים כי אין זה נכון להסתמך על ניתוחים סטטיסטיים בלבד כאשר חוזים ספיקות להסתברויות נמוכות באזורים מדבריים לאגנים קטנים ובינוניים. הסיבה להבדל העצום בחיזוי של המודל ההידרולוגי לעומת הספיקות שכבר נמדדו נעוץ בכך שאין כלל התייחסות למדידות אקראיות של ספיקות שיא מאירועי קיצון. המודל המעודכן ביותר כיום בארץ של משרד הידרומודול (פולק, 2005), חוזה כ-1200 מקש"נ, ניתוח סטטיסטי של נתוני תחנה הידרומטרית בכביש 90 נותנים כ-800 מקש"נ. תופעה כזו של עלייה כה גדולה של הספיקה באגן גדול מתוספת שטח קטנה יחסית אופיינית כנראה לאגנים מדבריים. הגורם החשוב ביותר להיווצרות ספיקות שיא גבוהות באגנים גדולים במדבר הוא בו-זמניות של זרימות ממספר יובלים (Greenbaum et al, 1988). על שאלתו של אשר שיק האם היווצרות הזרימות והתפתחות באזורים מדבריים שונות באופן בסיסי מאלו אשר באזורים הלחים יותר, שאלה עליה לא יכול היה לענות ב-1988, בין היתר מחוסר מספק של נתוני גשם וזרימות נוכל היום לענות שלדעתנו אכן יש הבדל בסיסי ומהותי (Schick, 1988).
- איננו חושבים שתופעה זו אשר תיארונו יכולה להתרחש באגני הנחלים הגדולים במרכז וצפון הארץ. שימוש בנתוני תחנה הידרומטרית אחת ומעט נתוני גשם לאומדן זרימות מדבריות בעיקר באגנים הגדולים יוביל בדרך כלל למסקנות שגויות (Grenbaum et al, 1998, Pilgrim et al, 1988). עדיין לא מוכר לנו אירוע שיטפוני גדול בנחלים בשור, שורק, ירקון, אלכסנדר, חדרה וקישון בו אגן קטן תרם את החלק המרבי של הספיקה. אנו סבורים שאופי הגשמים והיווצרות הזרימות באזורים הלחים שונה מזה אשר באזורים המדבריים ולא מאפשר קיום תופעה כפי זו שנצפתה באגן נחל צין.
- ג. מאיור מס' 13 ניתן לראות כי 800 קמ"ר מתוך אגן נחל צין כמעט ולא השתתפו ביצירת ספיקת השיא. ניתן לראות גם את העלייה התלולה בערך הספיקה לעומת שינוי קטן יחסית בשטח האגן (כ-500 מקש"נ בלבד באגן בגודל של כ-1150 קמ"ר עד כ-1300 מקש"נ באגן בגודל כ-1300 מקש"נ).

הכפלת הספיקה עם עלייה של כ-10% בלבד בגודל שטח האגן לא נצפתה עד לאירוע זה באגנים גדולים בנגב ובערבה. **אנו מצטרפים לדעתם של חוקרים אלו וגורסים כי שימוש בכלים הסטטיסטיים המקובלים לחיזוי הספיקות הצפויות בהסתברויות נמוכות בנחלי המרכז וצפון הארץ בעייתי ביותר לדעתנו לשימוש באזור המדברי.**

מניתוח מהלך הגשם על פי מכ"ם העננים, עולה כי הגשם באגן נחל חתירה ירד כשעה לפני ירידתו באגנים האחרים, בהם הגשם ירד כמעט בו זמנית (איור מס' 4).

מהתבוננות באיורים 12 ו-4 ניתן לראות כי **הספיקה בנחל צין שעלתה חדות מ-550 מקש"נ בכביש 90 ל-1280 מקש"נ במורד נחל צין, נתרמה במיוחד מנחלי פרס, תמר וצפית.** הערך של 550 מקש"נ כנראה נתרם ברובו מאגן נחל חצירה, אשר תזמון הגשם שם ואופי האגן הכתיבו, כנראה, תגובה בו זמנית עם הנחלים במורד. אגן נחל חתירה לא זרם בו זמנית עם יתר האגנים וכנראה לא תרם משמעותית לספיקה במורד נחל צין.

על מנת לבדוק זאת, ביצענו אומדן גס של זמני הגעת גלי הגאות מנקודות המדידה במורדות הנחלים תמר, פרס, צפית, חצירה וחתירה עד לנקודת המדידה של צין מורד, בה נמדדה ספיקה של 1280 מקש"נ. קצב התקדמות גלי הגאות מושפע ממספר רב של גורמים וביניהם שיפוע האפיק וצורתו. אומדן מהירות התקדמות הגל נעשה בהתבסס על המהירויות שחושבו בקטעי המדידה השונים ועל שיפוע האפיק (נספח מס' 1).

בטבלה מס' 7 ניתן לראות את אומדן המהירות להתקדמות גל הגאות, את המרחק המדוד מקטעי המדידה השונים עד לקטע המדידה של נחל צין מורד ואת זמן ההגעה המחושב של הגל.

**טבלה מס' 7: אומדן גס של זמני הגעת גל הגאות אל מורד נחל צין**

שם הנחל	אומדן המהירות הממוצעת של התקדמות גל הגאות (מ'/שנייה)	המרחק מקטע המדידה עד לקטע המדידה של נ. צין מורד (ק"מ)	זמן ההגעה המשוער מקטע המדידה עד לקטע המדידה בנ. צין מורד (שעות)
תמר	3	3.1	0.3
פרס	3.5	3.3	0.3
צפית	3	10	0.9
חצירה	3	17	1.6
חתירה	2	37.8	5.3

על אף האומדן הגס ניתן לראות בבירור מטבלה מס' 7 כי הזרימה מנחל חתירה לא השתתפה ביצירת ספיקת השיא הקיצונית במורד נחל צין אף על פי שהגשם באגן זה התחיל כשעה לפני תחילתו באגנים האחרים. ניתן לראות בבירור זמנים חופפים של הגעת גל הגאות באגנים תמר ופרס.

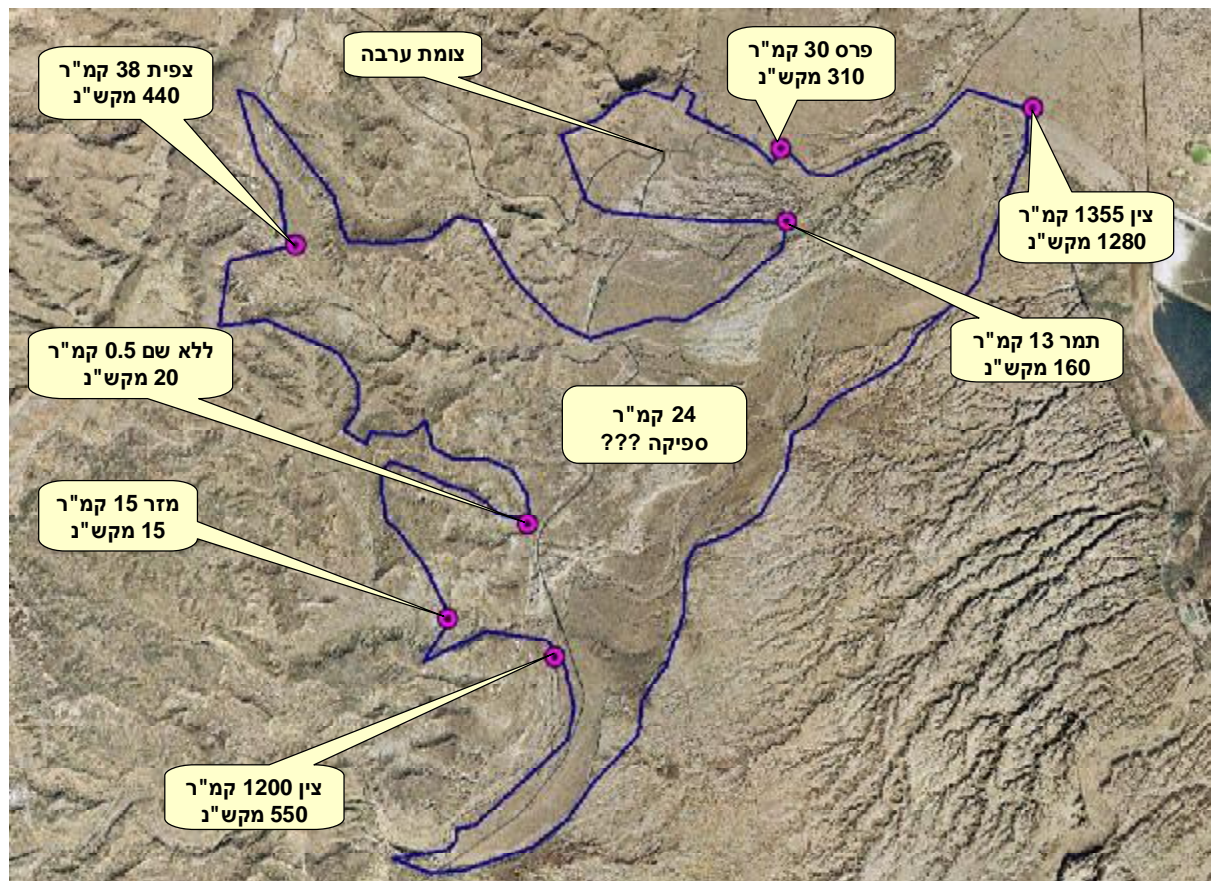
ד. מדידת ספיקות השיא באזורים המדבריים ובעיקר באזורים בהם שיפועי הנחל גבוהים בעייתית מאוד ממספר רב של סיבות ונפרט רק חלק מהן:

1. אי-יציבות חתך הנחל המשתנה בעקבות הזרימה.
2. הקושי בקביעת שיפוע האנרגיה עקב תנאי זרימה שאינה קצובה ותמידית.
3. הסובייקטיביות בקביעת מקדם החספוס.

מסיבות אלו ונוספות יש חשיבות גבוהה לבדיקת הספיקות באתרי מדידה רבים ככל הניתן במספר קטעים באותו ערוץ ובפריסה רחבה בכל היובלים. אומדן הספיקה בנחל צין מורד (1280 מקש"נ) מהווה ציון דרך למתכנני הניקוז וההגנה בפני שיטפונות לכל אזור ים המלח והערבה. עקב כך יש חשיבות רבה בבדיקת הנתונים ובהסתכלות מרחבית על ספיקות השיא בכל היובלים שזרמו אל קטע המדידה במורד נחל צין. באיור מס' 14 ניתן לראות תקריב של אזור מורד נחל צין.

**איור מס' 14: שטח אגני הניקוז בנקודות מדידת הספיקה וספיקות השיא שנמדדו במורד נחל**

### צין



בניתוח אירועים באזורים מדבריים לוקחים בחשבון אפשרות של הפסדי תמסורת והילוכי גאות ומכאן הקטנת הספיקות כלפי מורד הזרימה. באירוע הנוכחי נראה לנו שנושאים אלו בטלים כאן בשישים ונכון להניח גידול בספיקה כלפי מורד הזרימה. מאיור מס' 14 ניתן לראות כי בין צין כביש 90 לצין מורד יש עדיין 24 קמ"ר שאת תרומת הספיקה שלהם אין אנו יודעים. מניתוח נתוני מכ"ם העננים שמראה בו-זמנית של הגשם באגני פרס וצפית ומניתוח הספיקות בכל המרחב אנו מניחים שחלק גדול משטח זה תרם גם הוא ספיקה מכובדת אל מורד נחל צין.

מכל האמור לעיל ניתן להניח כי ספיקת השטח המשותף של אגני הנחלים פרס, תמר וצפית אותה  
חישבנו כהפרש בין ספיקת נחל צין (550 מקש"נ מ-1230 קמ"ר) בכביש 90 לבין ספיקת נחל צין  
מורד (1280 מקש"נ מ-1350 קמ"ר) היא לפחות 730 מקש"נ משטח של 81 קמ"ר.

### 4.3.2 נחל אשלים

בטבלה מס' 8 ניתן לראות את ריכוז ספיקות השיא באזור מפעלי ים המלח באירוע הנדון ואת ספיקות השיא המרביות שנמדדו באגנים שונים באותה סופה בגדלי שטח דומים.

**טבלה מס' 8: ספיקות השיא באזור מפעלי ים המלח ואגן נחל אשלים והספיקות המרביות**

שנמדדו בגדלי שטח דומים באירוע מתאריך 29.10.04

שם האגן	X	Y	שטח האגן (קמ"ר)	ספיקת השיא (מקש"נ)	ספיקה צפויה לפי עקום מעטפת (מקש"נ)
עמיעז	232513	553601	30	340	480
עזגד	232121	552868	3.4	40	140
אשלים	231962	552218	31	140	480
יובל אשלים 1	231548	550103	2.6	30	120
יובל אשלים 2	233380	550233	3.8	50	150
חמרית מורד	233078	549173	8	80	240
אדמון	232670	547905	10	140	280
תעלת אשלים	233740	550250	68	400	850

באיור מס' 15 ניתן לראות את גדלי אגני הניקוז בנקודות מדידת ספיקות השיא ואת הספיקות שנמדדו באירוע מתאריך 29.10.04 באזור מפעלי ים המלח ואגן נחל אשלים.

**איור מס' 15: ספיקות השיא באזור מפעלי ים המלח באירוע מתאריך 29.10.04**



מאיור 15 ומטבלה 8 ניתן לראות כי באגנים קטנים הזורמים אל מפעלי ים המלח נמדדו ספיקות השיא המרביות באירוע הנוכחי (60 מקש"נ מאגן של 1.1 קמ"ר). באגן נחל אשלים, לעומת זאת, לא הייתה ספיקת השיא גבוהה במיוחד בהתייחס לספיקות באגנים דומים באירוע הנוכחי. בנחל אשלים, מאגן בגודל 68 קמ"ר נמדדו רק 400 מקש"נ ואילו באגני פרס, תמר וצפית נמדדו ספיקות סגוליות גבוהות בהרבה. מאגן נחל צפית, בגודל 37 קמ"ר בלבד, נמדדה ספיקה דומה (440 מקש"נ), מאגן נחל חצירה בגודל 52 קמ"ר מדדנו ספיקה של 580 מקש"נ, ומאגני פרס, תמר וצפית נמדדה ספיקה של לפחות 730 מקש"נ מאגן בגודל 81 קמ"ר.

לאומדני הספיקות באירוע זה יש חשיבות גבוהה לתכנון הניקוז וההגנה בפני שיטפונות בכל האזורים המדבריים ובמיוחד במעלי ישובים, מתקנים ותשתיות כגון מפעלי ים המלח. בפרק 3.5 מוצג דיון מיוחד בנושא תעלת ההטיה של נחל אשלים וההשלכות אותן יש לייחס לדעתנו לאומדני ספיקות השיא באירועי קיצון.

#### 4.4 פריסה מרחבית של הסתברויות לספיקות השיא במורד נחל צין ובאזור ים המלח:

בתכנון הגנה בפני שיטפונות בקנה מידה אגני, חשוב לקבוע לא רק את הסתברות ספיקת השיא בנקודת החישוב, אלא גם את פריסת ההסתברויות בכל יובלי אותו אגן, בסופת גשם חריגה (סופת תכן). נושא זה חשוב לתכנון הגנה בפני שיטפונות באגנים מדבריים גדולים. ספיקות השיא באגנים אלו הן תוצאה של עובי ועוצמות גשם משתנות באופן קיצוני על פני גדלי שטח שונים, בפריסה מרחבית משתנה ובעיתוי משתנה. יש אין ספור שילובים אפשריים לקבלת ספיקות השיא באגנים מדבריים גדולים. המידע המובא בפרק זה מצביע על גודל השטח (באירוע זה) אשר בו התרחשו זרימות בהסתברויות שונות משילובים שונים לקבלת ספיקות. בטבלה מס' 9 אנו רואים את הפריסה המרחבית של הסתברות ספיקת השיא ביובלים הגדולים של נחל צין ואזור ים המלח.

#### טבלה מס' 9: התפלגות הסתברותן של ספיקות השיא על שטח אגני ההיקוות במורד נחל צין

##### ואזור ים המלח

שם האגן	שטח האגן (קמ"ר)	שטח מצטבר (קמ"ר)	שטח מצטבר (%)	הסתברות ב-%
חצירה	52	52	4	1
צפית 3	37	89	7	1.5
מור 1	9.8	99	8	1.8
פרס	30	129	10	2
תמר מורד כ. 90	14	143	11	3
אדמון	10	153	12	3.5
נחל ימין	30	183	15	5
תעלת אשלים	68	251	20	5.5
ממשית	64	315	25	8
אמציהו	125	440	35	15
נימיה	18.5	459	36	15.5
יעלים 1	50	508	40	16

20	49	615	107	אפעה
25	69	861	246	צאליים
30	73	917	56	חתירה 1
35	100	1257	340	חימר 1

מטבלה מס' 9 ניתן לראות שבאירוע הנדון ספיקות השיא בהסתברויות נמוכות מאד (קטנות מ-2%), נצפו רק בשטח של פחות מ-130 קמ"ר מתוך סך של כ-1300 קמ"ר, שהם כ-10% מכלל השטח הנדון.

#### 4.5 ספיקות השיא בבקעת הירדן

באגני הבקעה נמדדו ספיקות שיא גבוהות זו הפעם השנייה בתוך 10 שנים. באזור זה אין כיום תחנות הידרומטריות פעילות ולנתונים מחקירת אירועים מיוחדים חשיבות גבוהה במיוחד. בטבלה מס' 10 ניתן לראות את ספיקות השיא אשר נמדדו לאחר הסופה מתאריך 18.10.1997 (התחנה ההידרומטרית של השירות ההידרולוגי בוואדי מליח הפסיקה לפעול לפני כ-10 שנים).

**טבלה מס' 10: ספיקות השיא אשר נמדדו לאחר סופת 18.10.1997 ובסופה מתאריך 29.10.2004**

שם האגן	Y	X	שטח האגן (קמ"ר)	ספיקת השיא (מקש"נ)	ספיקה סגולית	הסתברות (%)
<b>סופת ה- 18.10.1997</b>						
נערן	653500	243800	6	65	11	7
נערן	653400	243900	8	80	10	7
מוברה	649400	240400	4	100	25	2
ייטב	651000	237600	57	15	0.3	40
עוג'ה	650100	242800	130	220	2	7
עוג'ה	649700	244600	150	270	2	7
נועימה	642700	247000	90	130	1	
קלט	638900	248600	164	50	0.3	
<b>סופת ה- 29.10.2004</b>						
נערן	653506	244092	7.7	90	12	5
גילגל	655810	242092	5.8	60	10	8
ואדי אבו עובידה	648502	245381	17.3	50	3	18
ייטב (עוג'ה)	648395	248760	135	390	3	2

מטבלה מס' 10 ניתן לראות כי ספיקות שיא שהסתברותן נמוכה נמדדו באותו אזור ב-1997 וב-2004. הסתברותה של ספיקת השיא מחושבת כאן לפי מודל חברת הידרומודול ולא על בסיס ניתוח סטטיסטי. שני אירועי זרימה חזקים כל כך בתוך פחות מעשור מצביעים על האפשרות שנדירותן של הזרימות גבוהה מזו אשר נאמדת ע"י המודל.

מקורן של הזרימות החזקות באגני הבקעה הוא



מרעיית-יתר בשילוב עם קרקעות מדבריות המגיבות במהירות וביעילות במקרים של עוצמות גשם גבוהות. המידע על התפתחות ספיקות שיא מקרקעות החלק ההררי באזור הזה לוקה מאוד בחסר עקב הקושי הרב במדידות בסביבה עוינת למדי בשנים האחרונות.

#### 4.6 בעייתיות השימוש במושג ספיקה סגולית:

שימוש במושג ספיקה סגולית (ספיקה לגודל שטח) בתנאים של סופות גשם קונבקטיביות ושונות מרחבית קיצונית, עלול להטעות. הספיקה הסגולית של נחל צין באירוע זה 1 מקש "נ/קמ"ר (1300 מקש "נ מגודל שטח 1300 קמ"ר), אינה מייצגת נאמנה את הזרימה בנחל צין. השימוש בשיטת החקירה האגנית של ספיקות השיא בשילוב עם מהלכי הגשם על פי ניתוח ממכ"ס העננים, מאפשר בחינה מרחבית ומידע על היובלים השונים שתרמו נגר ויצרו את הספיקה.

**מניתוח האירוע בנחל צין, אנו למדים כי רק כ-140 קמ"ר יצרו את הספיקה הגבוהה במורד נחל צין והספיקה הסגולית האמיתית במקרה זה עומדת על כ-10 מקש "נ/קמ"ר.** בשימוש במונח ספיקה סגולית לצרכי תכנון והגנה בפני שיטפונות בהסתברויות נמוכות, יש לקחת בחשבון, שערכי הספיקה הסגולית המופיעים בטבלאות אינם מייצגים בדרך כלל בצורה ריאלית את הספיקה הסגולית האמיתית. בדרך כלל, השטח שתרם את הספיקה קטן יותר משטח אגן ההיקוות כולו. במקרה זה, ייחוס ספיקת השיא שנמדדה בתחנה לכל שטח אגן ההיקוות נותן ספיקה סגולית קטנה, לפעמים בהרבה, מהספיקה הסגולית הריאלית. לכן, חשוב מאוד להפריד בין שני המושגים: שטח אגן ההיקוות והשטח הפעיל שתרם זרימה בסופה מסוימת.

#### 4.7 עדכון עוצמות הגשם וספיקות השיא לתכנון הגנה מפני שיטפונות:

##### 4.7.1 מעטפת ספיקות השיא:

בתנאים של שונות מרחבית קיצונית ותקופת מדידות קצרה, הסתמכות על ניתוחים סטטיסטיים מתחנות הידרומטריות קבועות בלבד, לצורך קביעת ספיקות בהסתברויות נמוכות, הינה שגויה לדעתנו.

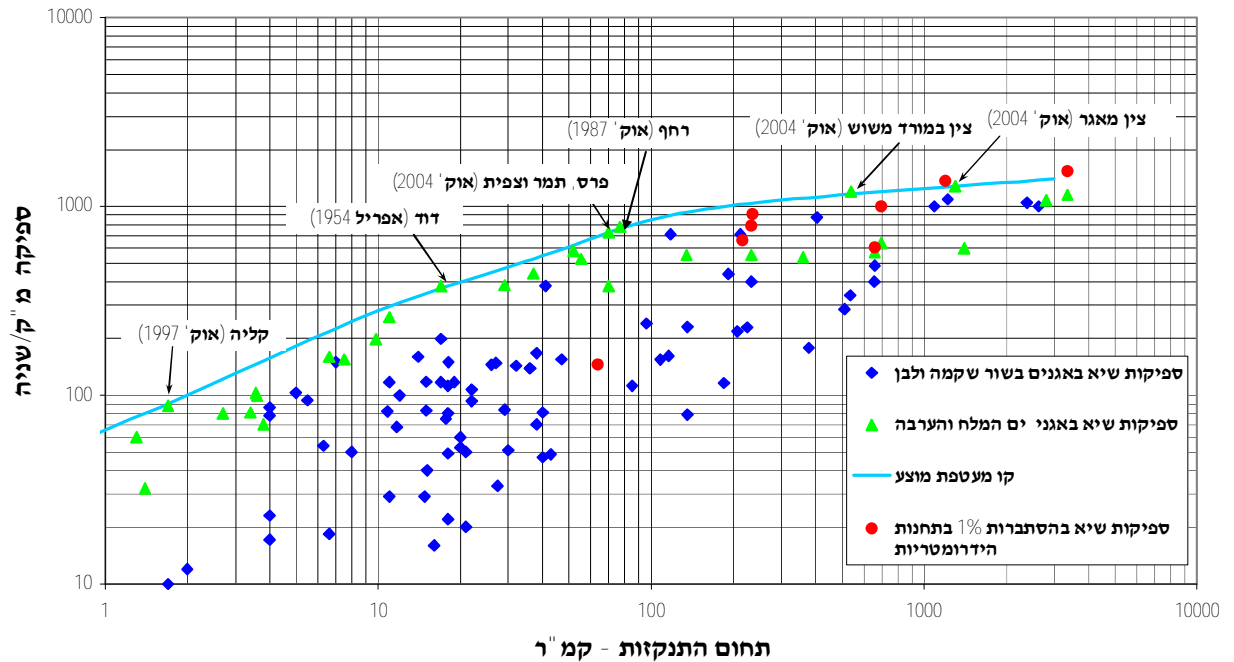
שיטת חקירת אירועים מיוחדים כוללת מדידת ספיקות שיא בנקודות רבות לאורך האפיק הראשי וביובליו, מאפשרת קבלת ערכים בכל המרחב בו התרחש אירוע הקיצון. הסיכוי לקבל ערכי-ספיקות שיא גבוהים בתחנות הקבע בדומה למתקבל בחקירת אירועים מיוחדים, הוא נמוך מאד מאחר וצפיפות תחנות הקבע נמוכה ביותר.

בתחנת צין עליון הפועלת כ-50 שנה (שטח אגן היקוות של כ-150 קמ"ר) נמדדה ספיקת שיא מרבית של כ-550 מקש"נ. באירוע הנוכחי בתחנה זו לא נצפתה זרימה, בזמן שבמורד נחל צין נמדדה משטח של כ-140 קמ"ר ספיקת שיא של כ-1300 מקש"נ. נתון זה התקבל בזכות שימוש בשיטת חקירת אירועים מיוחדים בכל המרחב. הסתמכות על חישובים סטטיסטיים מתחנות הידרומטריות בלבד לא מאפשרת לדעתנו הבנה נכונה והסקת מסקנות יעילה לצורכי תכנון להגנה בפני שיטפונות. ראוי לציין כי נתון זה של ספיקת השיא במורד נחל צין חשוב ביותר לתכנון הגנה בפני שיטפונות, לא רק בנחל צין, אלא בכל הנחלים שבמרחב הנגב, הערבה וים המלח. בתנאים אלה של שונות מרחבית קיצונית כל כך אנו מציעים שימוש במעטפת ספיקות השיא לגודלי שטח לצורכי תכנון הגנה בפני שיטפונות להסתברויות נמוכות.

באיור מס' 16 ניתן לראות את מעטפת ספיקות השיא הידועות באזור הנגב, הערבה, ים-המלח ובקעת הירדן כולל הספיקות שנמדדו באירוע זה. בבקעת הירדן המחסור בנתונים גדול מאוד ואינו מאפשר אומדני ספיקות שיא אמינים בהסתברויות נמוכות. בשלב זה אנו ממליצים לחשב את הספיקות בהתאם לגודל השטח של הקרקעות המדבריות שאינן כוללות את קרקעות הטרסה-רוסה והרנדזינה ממעלי האגנים.

**איור מס' 16: מעטפת ספיקות השיא הידועות באזור הנגב, הערבה, ים-המלח ובקעת הירדן**

(מעודכן ל-2007)



**4.7.2 מעטפת עוצמות הגשם במדבר יהודה והערבה:**

לקביעת ספיקות שיא מאגנים קטנים מאוד ניתן להשתמש בנוסחא הרציונאלית (CIA), כאשר הנתונים המוזנים אליה כוללים את עוצמת הגשם (I) המרבית למשך זמן הריכוז. כפי שכבר הזכרנו בפרק הקודם, בתנאים של שונות מרחבית קיצונית ותקופת תצפיות קצרה מאוד ביחס לשונות כה גבוהה, ניתוחים סטטיסטיים מתחנות קבע במדבר אינם יציבים, וכך גם לגבי עוצמות הגשם. דוגמא לכך ניתן לראות באירוע זה, בו לאחר סופה אחת, כמעט מוכפלת הערכת עוצמת הגשם בהסתברות 1% מערך של 126 מ"מ/שעה לערך של 223 מ"מ/שעה לפרק זמן של 10 דקות (איור מס' 7). בתנאים אלו אנו ממליצים להשתמש במעטפת עוצמות הגשם (איור מס' 17) לצורך חישוב הספיקות להסתברויות נמוכות ולהגנה בפני שיטפונות.

מעטפת העוצמות מבוססת על:

א. נתוני עוצמות גשם מרביות המדודות בתחנות רושמות גשם של השרות המטאורולוגי: יריחו, סדום ומצפה רמון.

ב. אומדן עוצמות הגשם ממכ"ם העננים במוקדי גשם שונים בסופות חריגות.

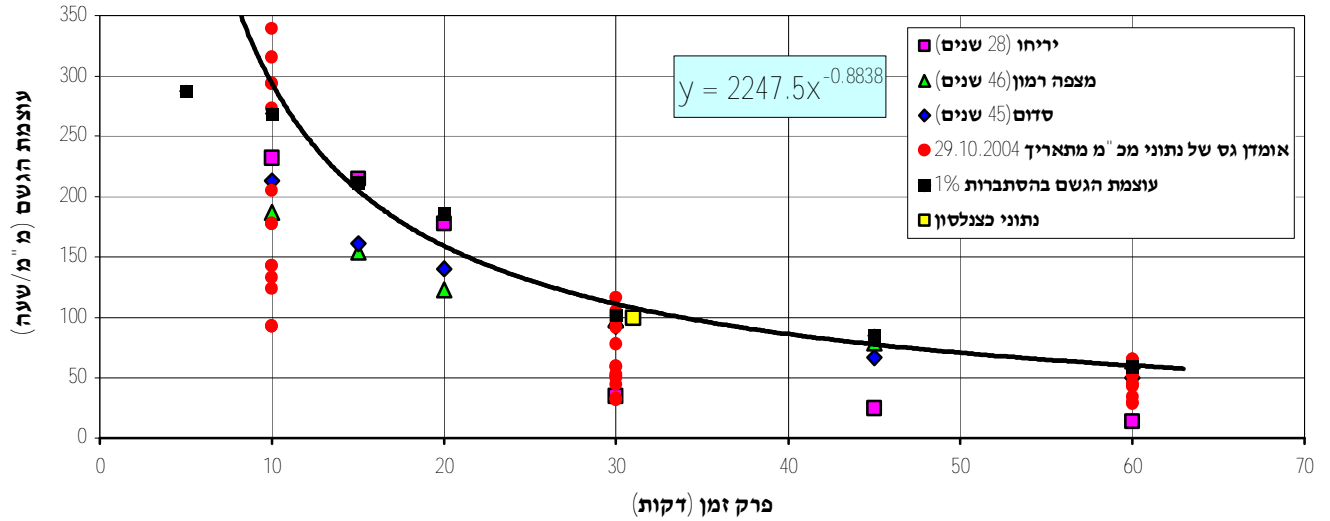
ג. עוצמות גשם בהסתברות 1% בתחנות רושמות.

ד. נתונים שפורסמו ע"י כצנלסון (כצנלסון, 1968).



לדעתנו, עקום זה מייצג עוצמות קיצוניות במרחב הנגב, הערבה וים המלח, שהסתברותן כנראה קרובה ל-1%.

**איור מס' 17: מעטפת עוצמות הגשם באזור הנגב, ערבה צפונית וים המלח (עד 60 דקות)**



**4.8 החשיבות לאומדן ספיקות השיא בתכנון הגנה בפני שיטפונות**

באיור מס' 18 ניתן לראות את סימן השיא בקטע תעלת ההטיה של נחל אשלים. ניתן לראות שלא חסר היה הרבה עד לגלישה והרס של סוללת ההגנה תוך פריצת המים והצפת מפעלי ים המלח. אין ספק שפריצת הסוללה, לו הייתה מתרחשת, הייתה גורמת להרס רב ולא מן הנמנע גם לפגיעה בנפש.

**איור מס' 18: סימן השיא בקטע תעלת ההטיה של נחל אשלים**



סביר להניח כי מנהלי המפעל ומהנדסיו היו מודעים לחשיבות הרבה בהגנה על המפעל. תעלת ההגנה שתוכננה לספיקה של כ-400 מקש"נ אמורה הייתה לספק הגנה להסתברות של פחות מ-1%. תעלת ההטיה תוכננה ונבנתה לאחר קריסת סוללת מאגר הגנה על המפעל בשנת 1993. ספיקות השיא הגבוהות שנמדדו ע"י השרות ההידרולוגי בשנת 1987 היו ידועות למתכנני הניקוז כאשר תוכננה תעלת ההטיה של נחל אשלים.

בטבלה מס' 11 ניתן לראות מידע על ספיקות השיא הקיצוניות שנמדדו באזור מדבר יהודה, הר הנגב והערבה בעשרים השנים האחרונות.

**טבלה מס' 11: ספיקות שיא קיצוניות באזור מדבר יהודה, הר הנגב והערבה**

שם הנחל	תאריך המדידה	שטח אגן (קמ"ר)	ספיקה (מקש"נ)
רחף	אוקטובר 1987	55	527
רחף	אוקטובר 1987	77	785
ברוקה	נובמבר 1994	51	510
עשוש	דצמבר 1993	120	440
רביבים	נובמבר 1994	118	712
רביבים	נובמבר 1994	41	389
חצירה	אוקטובר 2004	52	580
פרס, תמר וצפית	אוקטובר 2004	100	730>

הכנסנו לטבלה ערכי ספיקות שיא מאגנים דומים באופיים ובגודלם לאגן נחל אשלים בגודל של כ-90 קמ"ר. מדידות רבות בעשרים השנים האחרונות מראות על ספיקות סגוליות גבוהות אף יותר מאגנים קטנים יותר כגון נחל יזיז 11 קמ"ר – 260 מקש"נ או נחל עדינה 20 קמ"ר – 300 מקש"נ. נשאלת השאלה האם צריכים היו מתכנני הניקוז להתייחס לנתוני נחל רחף כאשר תכננו את תעלת ההטיה. נשאלת השאלה האם כיום לאחר תוספת המידע ממדידות וחקירות אירועים מיוחדים נוספים, צריך להתייחס באופן שונה לתכנון הניקוז וההגנה בפני שיטפונות באזור הנדון. בהיעדר אפשרות לניתוחים סטטיסטיים, יש לשים לב למעטפת ספיקות השיא אותה הצענו, אשר מצביעה על כ-800 מקש"נ עבור שטח ההיקוות של תעלת אשלים. מהתבוננות מרחבית על נושא ספיקות השיא וביודענו את החשיבות העצומה בנושא תכנון ההגנה בפני שיטפונות והצורך במקדמי בטחון עקב המחסור העצום במידע, אנו סבורים שאין להיבהל גם מערכים של 1000 מקש"נ לתעלת אשלים להסתברות 1%. חשוב להדגיש מספר נקודות:

- א. שטח ההתנקזות של תעלת אשלים מאופיין בקרקעות מן החזקות ביותר בהיווצרות נגר ובשיפוע אורכי גדול. כמו כן, אין מניפות סחף מיוחדות או תנאים אחרים כלשהם המונעים התפתחות זרימות חזקות.
- ב. כאמור, קביעת ההסתברות לזרימות בלתי אפשרית על סמך מדידות אקראיות, אך כאשר רואים כמה פעמים מדדנו אירועים חריגים במשך 20 שנה, ברור לנו כי אין אנו רחוקים מהסתברות 1%

לערכי הספיקות הקיצוניות, ואולי אף גבוהה יותר.

ג. אירועים חריגים פזורים באופן אקראי על פני כל המרחב אך כבר נמדדו ספיקות גדולות פעמיים בתוך 20 שנה בנחל עשור, בנחל מור וגם בתעלת אשלים עצמה כבר היו שני אירועים חזקים בשנת 1993 ובשנת 2004.

ד. יש להדגיש כי אין להסתפק בתכנון הגנה בפני שיטפונות בספיקות השיא בלבד וחייבים להתבסס גם על אומדני הידרוגרפים וכמויות סחף. פתרון אפשרי לקביעת גלי גאות תכן ניתן למצוא במחקר שבוצע בתחנה לחקר הסחף (גטקר, 2002).

#### 4.9 הנגר והסחף:

##### 4.9.1 אומדן נפחי הזרימה:

מהשוואה בין חישוב הנפח לפי מודל גל הגאות (גטקר, 2001), בו מניחים הידרוגרף בצורת משולש כך שמשך עליית הגל קטן פי 2 ממשך ירידתו, ובין הנפח המדוד מאגן קטן ליד מפעלי ים המלח עולה כי הנפח המחושב שהתקבל לפי המודל הוא כ- 54,000 מ"ק לעומת נפח מדוד של 72,000 מ"ק (ראה טבלה מס' 5). כלומר הפער בין המדידה לחישוב הוא של כ-25%. לצורכי אומדנים גסים של נפחי זרימה בשיטפונות קיצון באזור המדברי של ים המלח נראה לנו הבדל זה סביר, ומאפשר לנו להשתמש במודל גל הגאות לצורכי אומדני נפח.

##### 4.9.2 עובי הנגר:

בשל קשיים במדידת זרימות מים קיצוניות מלוות בסחף, קיימות מעט מאוד תצפיות על נפחי זרימה ואחוזי הסחף בשיטפונות חריגים. מדידות מקבילות של נתוני נגר וסחף באזור ים המלח נמדדות כמעט בלעדית ע"י אוניברסיטת בן גוריון בנגב, המחלקה לגיאוגרפיה (כהן, 2005). האירוע הגדול ביותר הידוע בנפחו אירע בינואר 1945 בתחנת צין ואדי פוקרה (במיקום הקרוב מאוד לנקודת המדידה הנוכחית בנאות הכיכר). אז נמדדה ספיקה של 555 מקש"נ ונפח של 24 מלמ"ק מאגן בגודל 1400 קמ"ר (שנציס וחובריה, 1977). כלומר כ-17 מ"מ נגר בממוצע משטחו של כל אגן ההיקוות (אין בידינו נתונים לגבי גודל השטח האמיתי בו ירד הגשם ואשר תרם לנפח המים הגבוה).

אומדן גס של נפח הנגר באירוע מתאריך 29/10/04 נעשה בהסתמך על מספר רב של מדידות ספיקת שיא, על מודל גל גאות ועל רישומי מהלך הזרימה בתחנות ממשית וקריות. החישוב נעשה בהנחה שבנחלים עבר רק גל גאות אחד בלבד (לפי סימני הזרימה היה יותר מגל אחד). כתוצאה מהחישוב הגס, קיבלנו משטח של כ-450 קמ"ר בלבד במורד נחל צין אומדן של כ-6-8 מלמ"ק, כלומר כ-16 מ"מ נגר על פני האגן, אך אם נחשב רק את חלקו התחתון בלבד של נחל צין ללא אגן חתירה, הרי נקבל עובי נגר של כ-45 מ"מ.

מאחר ואומדן גס של עובי הגשם באירוע זה על פני השטח של 450 קמ"ר היה במוצע כ-50 מ"מ, הרי מקדם הנגר בחלקו התחתון של נחל צין באירוע זה עמד על כ-30%. נתונים אילו נתמכים בחישובים של נפחי גאות חזויים בעבודתה של איזבלה שנציס (שנציס, 2002), בעבודה זו המסתמכת על נתוני תחנות הידרומטריות, אומדן הנפח לאגן בגודל 200 קמ"ר ובספיקה של 1000 מקש"נ הוא 9 מלמ"ק.

##### 4.9.3 אחוז הסחף:

כאמור, מדידות סחף נעשו בצמצום רב ובנוסף למדידות סדירות הנעשות ע"י פרופ' יונתן לרון ותלמידיו מאוניברסיטת בן גוריון בנגב פורסמו בעבר מספר נתונים נוספים:

- מדידות נפחי מים במאגרי הערבה ונחל רחף בשנת 2004/2005 וחישוב כמויות הסחף בהתאם לשינוי נפח המאגר לאחר עונת הגשם נמצא כי אחוז הסחף הממוצע השנתי במאגר חצבה עמד על 20%.
- נתונים דומים של כ-20% קיבלנו, הן באומדן כמות הסחף באגן של 1.13 קמ"ר באזור מפעלי ים המלח באירוע הנוכחי והן במדידה בזרימה של נחל הערבה באגן בגודל 6000 קמ"ר. צריך לקחת בחשבון כי הנתון באגן הקטן נלקח בזמן אירוע נדיר שהסתברותו נמוכה, לעומת הנתון בנחל הערבה, בה עברו זרימות שכיחות לחלוטין.
- פרופ' אשר שיק מציין ערכים דומים של ריכוז סחף בשיטפונות קיצוניים בנגב הדרומי (שיק, 1966).
- החוסר במדידות הסחף והקושי במדידת נפחי נגר בתנאי המדבר מחייב לדעתנו הקמת מערך מדידה מיוחד המסתמך על נפחי המים והסחף במאגרים. באיור מס' 17 ניתן לראות איגום מים מקומי ליד המכתש הקטן, שנוצר בשיטפון האחרון.

#### איור 17: איגום מים מקומי ליד המכתש הקטן



- לצורך אומדן גס של נפחי נגר וכמויות הסחף באגנים שאינם מדודים, אנו מציעים בשלב זה:
- שימוש במודל גל הגאות ובעבודתה של ד"ר איזבלה שנציס להערכת נפחי- נגר בהסתמך על ספיקות השיא;
  - אומדן של 20% סחף מנפח המים לצורך תכנון מערכות ניקוז והגנה בפני שיטפונות לאירועי קיצון.



5. נספחים

נספח מס' 1: פרמטרים הידראוליים בתחנות נבחרות בהן נמדדה ספיקה

באירוע מתאריך 29/10/2004

רדיוס הידראולי (מ')	שיפוע	מס' פרוד	מנינג	מהירות ממוצעת (מ'/שנייה)	שטח חתך (מ"ר)	שטח האגן (קמ"ר)	שם האגן	מס'
<b>אגני נחל צין</b>								
1.4	0.006	0.94	0.042	3	40	8	צפית 1	15
1.6	0.009	1.09	0.045	3	49	19	צפית 2	16
2.5	0.02	1.1	0.04	4	110	37	צפית 3	17
1	0.037	0.19	0.04	3.9	40	14	תמר מורד כביש 90	20
1	0.022	0.94	0.05	4.2	78	30	פרס	23
1.04	0.008	0.67	0.04	2.3	28	7	פרס מעלה	21
1.57	0.015	1.12	0.04	4.1	49	64	ממשית	25
1.62	0.014	0.7	0.045	3.6	50	63	ממשית 2	24
1.47	0.015	1.2	0.035	4.4	293	1350	צין נאות הכיכר	7
1.12	0.007	0.79	0.04	2.3	107	1110	צין כביש 227	3
1.72	0.007	0.97	0.035	3.4	74	1160	צין מעלה חצירה	4
1.95	0.009	1.0	0.04	3.7	134	1220	צין עקרבים	5
0.58	0.036	0.45	0.04	3.5	6	0.5	יובל קטן צין	1
1.92	0.016	0.9	0.04	4.9	119	52	חצירה	14
1.1	0.07	0.93	0.035	3.1	71	30	נחל ימין	32
1.4	0.004	0.77	0.035	2.2	111	270	חתירה מורד	35
<b>אגני ים המלח</b>								
1.2	0.011	0.86	0.03	3	55	125	אמציהו	1
1.35	0.023	1.23	0.04	5	33	10	אדמון	11
0.63	0.012	0.93	0.025	2.4	23	29	פרצים	12
1.3	0.026	0.27	0.03	3.5	18	1.1	מפעלי ים המלח 3	16
0.8	0.02	1.11	0.03	3.3	9	0.5	מפעלי ים המלח 2	14
0.85	0.015	0.82	0.03	3.5	18	1.3	מפעלי ים המלח 4	17
0.9	0.018	1.123	0.033	3.3	26	77	רחף תחנה הידרומטרית	18
1.62	0.008	1.37	0.04	3.08	63	340	חימר 1	20
1.86	0.014	0.83	0.06	2.98	92	270	חימר 2	19

הערות:

1. המספרים הסידוריים מתייחסים למספרים בטבלה מס' 4 בפרק 2.1
2. הפרמטרים ההידראוליים המופיעים בטבלה מהווים את ממוצעי ערכי הערכים של חתכי המדידה.
3. ערכי הספיקה בטבלה מס' 4 מעוגלים ולכן ממכפלת שטח החתך במהירות לא יתקבלו אותן התוצאות.

