

איסוף נתונים הידרומטאורולוגיים

ברשות ניקוז ים המלח

דו"ח מסכם לשנת 2007

ד"ר משה גטקר, ד"ר עדית ארזי, יוסי בר

מוגש לרשות ניקוז ים המלח

עבודה זו התאפשרה ע"י מענק של רשות ניקוז ים המלח

תוכן העניינים

3	1. הקדמה
3	2. קביעת ספיקות שיא והידרוגרפי תכן בנחלים ראשיים של רשות הניקוז
6	3. קביעת ספיקות שיא באגנים קטנים (עד 6 קמ"ר)
7	4. סחף
8	נספח 1: דו"ח גל גאות

1. הקדמה

עבודה זו מהווה עדכון של אומדני ספיקות השיא בהסתברויות שונות אשר נקבעו בעבודת משרד לביא-נטיף בשנת 2003, "סקר אפיקים ברשות ניקוז ים המלח". הנתונים המובאים בעבודה זו מיועדים לתכנון כללי בלבד ומהווים כלי המאפשר אומדן של ספיקות התכן. בכל תכנון פרטני, על המתכנן לבצע סקר הידרולוגי מפורט עבור אגן ההיקוות הרלוונטי.

2. קביעת ספיקות שיא והידרוגרפי תכן בנחלים ראשיים של רשות הניקוז

בטבלה מס' 1 ניתן לראות את:

- א. ספיקות השיא המומלצות בהסתברויות שונות. ספיקות אלו נקבעו בהסתמך על מודל סטטיסטי-אזורי של משרד הידרומודול, אשר עודכן לאחר קבלת תוצאות חקירת אירוע הקיצון באוקטובר 2004 ברשות ניקוז ים המלח. המודל המעודכן מתחשב במעטפת ספיקות השיא האזורית אשר הוגשה לרשות הניקוז ים המלח בשנה הקודמת. עקב השונות המרחבית והבין-שנתית הגבוהה של הזרימות באזור ותקופת המדידות הקצרה, יש קושי רב בקביעת הספיקות בהסתברויות נמוכות. במודל המעודכן נעשה שימוש במעטפת ספיקות השיא האזורית אשר נמסרה לרשות הניקוז בשנה הקודמת ונקבע כי לאומדן ספיקות השיא להסתברות 1% ישמשו ספיקות המעטפת. חקירת אירועי קיצון במרחב באופן סדיר נעשית במשך תקופה קצרה בלבד ובעתיד עם תוספת מידע ייתכן ויהיה צורך לשנות קביעה זו. אומדן הספיקות להסתברויות השונות נעשה בהתאם ליחסים בין ההסתברויות השונות כפי שנקבעו במודל הסטטיסטי.
- ב. לצורך אומדן הידרוגרף תכן ונפחי גאות, ניתן להשתמש במודל גל הגאות שפותח בתחנה לחקר הסחף (נספח מס' 1). הפרמטר הנוסף לספיקת שיא בו יש צורך הוא זמן ריכוז מחושב לפי נוסחת קירפיץ, אותו ניתן למצוא בטבלה.

ג. טבלה מס' 1: ספיקות השיא המומלצות בהסתברויות שונות בנחלים

הראשיים ברשות הניקוז ים המלח

ספיקה מרבית ידועה (מקש"נ)	ספיקת מעטפת (מקש"נ)	ספיקות השיא בהסתברויות (מקש"נ)				זמן ריכוז לפי קירפיץ (שעות)	שטח האגן (קמ"ר)	נ.צ.		תיאור נקודת הריכוז	שם הנחל	
		1%	2%	5%	10%			X	Y			
83		260	160	78	40	1.1	12	237768	602050	כביש 90	קדם	1
380		320	200	100	52	1.7	17	237763	597044	כביש 90	דוד	2
528		1130	740	365	185	7.4	234	237703	596482	כביש 90	ערוגות	3
		940	610	310	150	5.7	173	236788	589970	כביש 90	חבר	4
		160	97	45	23	1	6	236516	588356	כביש 90	עשהאל	5
	400	350	225	110	57	2	19	236480	587670	כביש 90	משמר*	6
		200	125	60	30	0.9	8	236557	586673	כביש 90	מפלט	7
680		1230	800	400	200	6.3	248	236909	583245	כביש 90	צאלים	8
		266	165	79	41	1.3	12	236677	580916	כביש 90	מצדה	9
775		831	556	291	156	3	76	236553	577944	כביש 90	רחף 1	10
527		810	528	269	142	2.9	68	235430	578270	מעלה נחל קנאים	רחף 2	11
200		220	137	66	34	1.2	9	235038	573689	כביש 90	מור	12
267		655	428	217	115	3.3	51	234460	571610	כביש 90	יעלים	13
		188	117	56	29	1.2	8	234460	569140	כביש 90	פרסה	14
140	400	362	230	114	59	2.8	20	234280	567660	כביש 90	בוקק*	15
100		488	318	162	85	2.4	33	234490	561920	כביש 90	זהר	16
		955	610	305	151	7.4	406	236540	560670	כביש 90	חימר 1	17
538		910	579	288	142	7	357	233500	560500	תחנה הידרו'	חימר 2	18
		981	656	344	184	4.3	96	233850	547450	כביש 90	אשלים 1	19
400		789	515	262	138	3.5	66	234081	551053	מתקן ראש תעלת ההטייה	אשלים 2	20
340		490	320	163	86	2.5	33	233400	552900	תחנה הידרו'	עמיעז	21
140		252	157	75	39	1.6	11	232670	547905	תחנה הידרו'	אדמון	22
310		482	307	151	79	2.8	31	230836	544125	כביש 90	פרס	23

160		250	150	75	38	1.6	10.6	229250	543400	כביש 90	תמר	24
600		1535	1018	546	291	20.7	1358	233016	544693	כביש נאות הכיכר	צין 1	25
550		1489	985	526	280	19.7	1251	228509	539671	כביש 90	צין 2	26
552		552	375	208	115	9	125	177900	521150	תחנה הידרו' עבדת	צין 3	27
551		776	489	238	116	10	234	177350	525750	תחנה הידרו' מפל	צין 4	28
572		1184	770	401	208	13.4	679	198100	523650	תחנה הידרו' משוש	צין 5	29
550		1440	950	506	268	17.4	1144	218900	534900	תחנה הידרו' עקרבים	צין 6	30
170	900	623	386	184	87	6.9	130	235096	539086	כביש נאות הכיכר	אמציהו*	31

*** הערה:** בנחלים משמר, בוקק ואמציהו, ספיקות השיא המחושבות בהסתברות 1% נמוכות מאלו המתקבלות לפי עקום המעטפת האזורי. ספיקות השיא המחושבות לפי המודל הסטטיסטי מתבססות על הספיקות מעקום המעטפת האזורי וכן גם על מעט ספיקות מדודות בתחנות הידרומטריות. ברוב הנחלים ההבדלים קטנים ואינם משמעותיים. מצאנו לנכון לציין את ספיקות המעטפת בנחלים משמר, בוקק ואמציהו בהם ספיקות המעטפת גבוהות יותר מאלו המחושבות. עקב רמת אי-הוודאות הגבוהה, על המתכנן להחליט מה להעדיף.

דוגמא לקביעת גל גאות

זמן הריכוז לנחל קדם, 71 דקות (טבלה מס' 1), שווה 1.2 שעות. לפי הקשר בין זמן הריכוז למשך עליית גל הגאות באזור גשם 50-100 מ"מ (איור מס' 5 בנספח), נקבע משך העלייה כ- 0.3 שעות. משך הדעיכה לפי מודל גל הגאות הנו כפליים, דהיינו כ- 0.7 שעות. אומדן גס של גאות התכן במקרה זה יהיה משולש בעל ספיקת שיא של 260 מקש"נ בהסתברות 1% (טבלה מס' 1) ובסיס ברוחב של שעה אחת, דהיינו נפח גאות של 468,000 קוב המהווים כ- 40 מ"מ עובי נגר.

הערות

א. קווי הקשר - זמן ריכוז למשך עליית גל הגאות, הרלוונטיים לרשות הניקוז ים המלח הם בטווח 100 עד 150, ו-30 עד 50 מ"מ עובי גשם ממוצע רב שנתי. באגנים קטנים בהם זמן הריכוז המחושב קטן, כמעט ואין הבדל בזמן

עליית גל הגאות בין שני האזורים. באגנים גדולים יש הבדל וניתן במקרה זה להשתמש במוצע כלשהו בין שני האזורים.

ב. במקרה ויש צורך בבדיקה מחמירה יותר הכוללת מספר גלי גאות, ניתן להשתמש בהמלצות הניתנות בדו"ח גל הגאות.

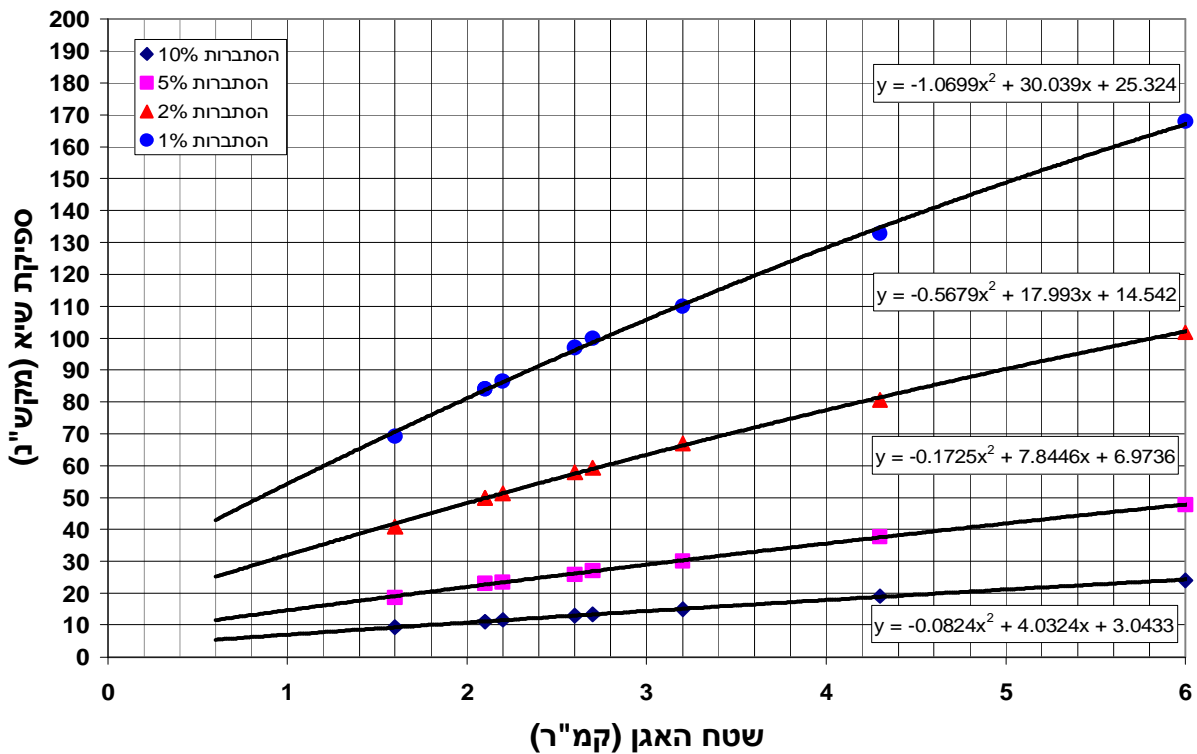
ג. זמן הריכוז המחושב לפי נוסחת קירפיץ נותן מדד המבטא את גודל וצורת גל הגאות. באזור המדברי זמן הריכוז האמיתי קצר בהרבה עקב זמן הגשם הקצר אשר יוצר את גאויות התכן.

ד. זמן הריכוז המומלץ בטבלה מס' 1 שווה לכל ספיקות השיא בהסתברויות 1% עד 10%. אנו מניחים כי זמן עליית גל הגאות משתנה לעונות שונות ולספיקות שיא בהסתברויות שונות. אנו מניחים גם כי נוסחת קירפיץ לחישוב זמן ריכוז אינה בהכרח המתאימה ביותר לאזור רשות ניקוז ים המלח. לדעתנו אומדן גל הגאות המתקבל בשיטה המומלצת מהווה אומדן לא רע להסתברויות נמוכות.

3. קביעת ספיקות שיא באגנים קטנים (עד 6 קמ"ר)

באיור מס' 1 ניתן לראות נמוגרמה לקביעת ספיקות שיא בהסתברויות 1% עד 10% לאגנים קטנים ברשות ניקוז ים המלח.

איור מס' 1: ספיקות שיא בהסתברויות שונות באגנים קטנים באזור ים המלח



סחף .4

בקביעת ספיקות שיא ונפחי זרימה יש לקחת בחשבון כמויות סחף גדולות מאוד הכוללות סחופת וגרופת אשר מגיעות עם מי השיטפון באירועים קיצוניים. בתכנון מערכות ניקוז והגנה בפני שיטפונות יש לקחת בלט ומקדמי בטחון מספיקים. פירוט על נושא הסחף ניתן למצוא בדו"ח חקירת האירוע שהוגש לרשות הניקוז בשנה קודמת.



נספח 1: דו"ח גל גאות

משרד החקלאות ופיתוח הכפר
אגף בכיר לשימור קרקע וניקוז
התחנה לחקר הסחף

דואר מדרשת רופין עמק חפר 40250 טל. 09-8988294 פקס: 09-9885563

דו"ח מסכם מס' 90-9-533-00

בנושא:

מודל גל גאות בנחלים קטנים עד בינוניים לשנים 1999-2001.

מחקר זה התאפשר ע"י מענק מיוחד של קרן קיימת לישראל
ועל ידי הנהלת ענף הקרקע, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

מגיש: ד"ר משה גטקר

א'/שבט/תשס"ב

14/01/02

תוכן העניינים

3.....	תקציר
4.....	רקע
5.....	ניתוח הנתונים ושיטות העבודה
6.....	תוצאות ודין
11.....	סיכום
12.....	ספרות
18.....	נספח לדו"ח גל גאות

תקציר

עבודה זו באה לתת כלי עזר לתכנון מערכות ניקוז, כלי זה הינו כלי משלים למודלים הידרולוגיים קיימים ובמיוחד למודל תחל"ס, המספקים הערכות לספיקות שיא בהסתברויות השונות. הצורך בהערכת מספר גלי גאות, משכם, זמן עלייתם ודעיכתם, הוא הכרחי בעת תכנון מערכת ניקוז, בעיקר לצורך תכנון מאגרי וויסות. עבודה זו מיועדת בעיקרה לחישוב פרמטרי גאויות בנחלים אשר אין עליהם נתוני זרימה, אך יש צורך לתכנן מערכת ניקוזית המתבססת על זרימות אלו. אם כן, בסדרת פעולות פשוטה יחסית ניתן לקבל הערכה די טובה לזמן עליית גל גאות, זמן דעיכתו, מס' גלי הגאות ומרווח הזמן ביניהם. להלן סדר הפעולות שיש לבצע על מנת לבנות הידרוגרף סינתטי לתכנון מפעל ניקוז בנחל שאינו מדוד.

א. קביעת ספיקת שיא בהסתברויות שונות ע"פ השיטות המקובלות: מודל תחל"ס, השיטה האנלוגית (עם נחל מדוד), נוסחה רציונאלית ועוד.

ב. חישוב זמן ריכוז ע"פ נוסחת קירפיץ.

ג. קביעת עובי גשם רב שנתי לאזור, ע"פ מפות גשם מעודכנות.

ד. חישוב משך עליית גל הגאות ע"פ זמן ריכוז, עובי גשם וגרף הקשר ביניהם בציור מס' 5

ה. קביעת מספר גלי גאות (ציור מס' 4), החלטה על גודל ספיקות השיא (הסתברותן), קביעת סדר הופעת הגלים וחישוב מרווח הזמן בין השיאים ע"פ ציור מס' 3.

יצוין כי באזור ים המלח והערבה מודל זה מבוסס על ניתוח של מעט מאוד נתונים הידרוגרפים, ויש להיות זהירים בעת השימוש בהערכות המתקבלות ממודל זה. עבודה זו מבוססת על למיניגרמות המבוססות על רישום מכני. בשנים האחרונות התחלנו להשתמש בחישנים ובמכשירים דיגיטליים הקוראים נתוני זרימות באופן מדויק יותר ומפורט יותר, לפיכך נצפה לשינויים גם בפרמטרים של ההידרוגרפים.

רקע

תכנון מערכות הניקוז (תעלות ניקוז, מעבירי מים, גשרים) היום מבוסס על קביעת ספיקת שיא בהסתברות תכן בלבד.

קיימים מיקרים מסוימים, בהם ספיקת תכן אינה מספקת לצורך תכנון אמין. במקרים אלה יש להשתמש במידע נוסף על צורת גלי גאות ומאפיינם.

לדוגמה מספר בעיות תכנון כנ"ל:

1. הערכת ויסות טבעי של גל גאות ע"י אפיק ושטח הסמוך למבנה ניקוז.
2. תכנון מערכות ניקוז במטרה לווסת את ספיקת השיא.
3. הערכת שטחי הצפה, עומק ומשך הזמן בהצפות של שטחים מאוכלסים וכבישים בעת העברת ספיקת השיא הגדולה מספיקת התכן. הערכת שטחי הצפה בהסתברויות שונות.

בעיות מסוג 1 ו-2 אקטואליות בתנאים הרריים ובתנאים של דרום הארץ.

בעיות מסוג 3 אקטואליות בתנאים של צפיפות אוכלוסייה גבוהה באזורים רבים של המדינה ובמיוחד במרכז הארץ.

כולם זוכרים את ההצפות הנדירות והנזקים הכבדים בחורף 1991/92 באגן ההיקוות של נחל הקישון. ספיקות השיא, אשר עברו אז לא חרגו במיוחד מספיקות השיא שנמדדו שם בעבר. אבל, משכי ונפחי הזרימה (מעל ספיקות התכן בתעלות הניקוז) כן היו חריגים וגרמו לתופעות ידועות. דווקא משכי זרימה נדירים (מעל סף מסוים של ספיקה) הם שגרמו להצפות גדולות. שימוש בשיטה הידועה כהידרוגרמת היחידה בתנאי הארץ מאוד בעייתי מבחינות מסוימות, ונצביע על כמה מהן:

- ההנחה לגבי אחידות עוצמת הגשם בהסתברויות נמוכות על כל פני שטח אגן ההיקוות לא עומדת במבחן המציאות.
- חוסר של מקדמי נגר מדודים מאגנים קטנים עד בינוניים.
- אי וודאות לגבי מהירויות זרימה על מדרונות ובאפיקים בגאוויות נדירות. מהסיבות הנ"ל, שימוש בשיטת הידרוגרמת יחידה אינו מוצדק גם לאגנים גדולים.

על פי דעתי, פתרון לקביעת גלי גאות אופייניים, יש לבסס על ניתוח והכללה של גלי גאות והידרוגרפים, אשר כבר נמדדו בתחנות רושמות של השירות ההידרולוגי והתחנה לחקר הסחף. בתחום זה, עד היום, קיים מחקר אחד בלבד, אשר בוצע ע"י אריה בן-צבי (1994). השיטה של אריה בן-צבי מאפשרת חישוב נפחי זרימה (מעל סף מסוים של ספיקה) בהסתברויות שונות. הגישה יעילה לתחנות עם תקופת תצפיות ארוכה בלבד. בתחנות בעלות תקופת תצפיות קצרה יש לפתח גישה אחרת ולמצוא פתרון כללי שיאפשר הערכת פרמטרים של גלי גאות גם לאגנים ללא תצפיות.

בשנים האחרונות פותח בתחנה לחקר הסחף מודל תחל"ס לחישוב ספיקות שיא בהסתברויות שונות באגנים קטנים עד בינוניים ללא תצפיות. המחקר המוגש ייתן בנוסף לספיקת השיא פתרון לגל גאות באגנים ללא תצפיות.

בשירות ההידרולוגי ובתחנה לחקר הסחף הצטברו נתונים רבים על מהלכי גאוויות בכ- 50 תחנות הידרומטריות רושמות בנחלים קטנים עד בינוניים אבל טרם בוצע ניתוח ביקורתי ושיטתי של נתונים אלה.

פיתוח מודל גל גאות מתבסס רק על גאויות עם הסתברות לספיקת שיא הקטנה מ-10%. יש גם לבדוק צורת גלי גאות ומשכם באירועים של נפחי זרימה נדירים.

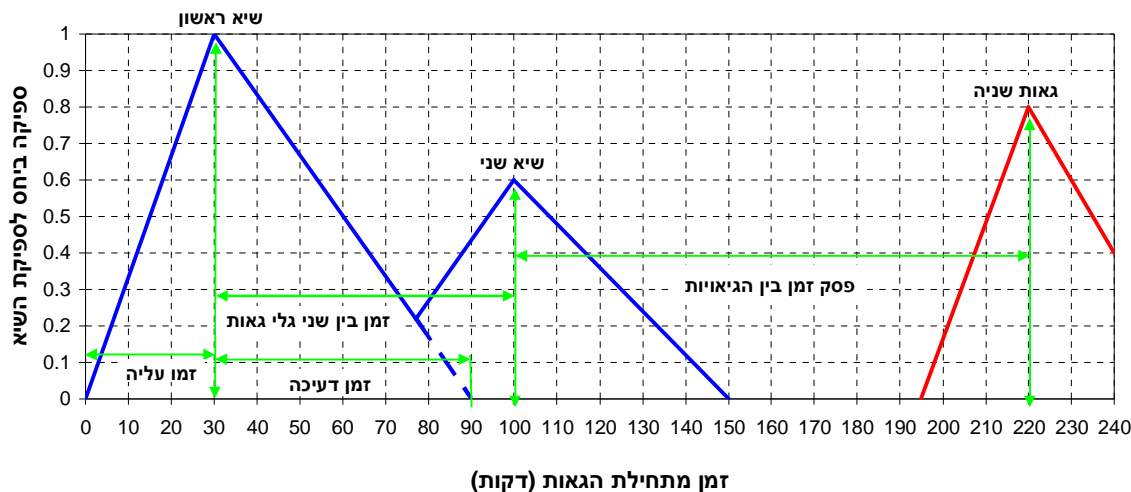
ניתוח הנתונים ואופן העבודה

בהתאם לתוכנית העבודה נותחו נתונים של 3-6 הגאויות החזקות ביותר בכל אחת מ-41 התחנות ההידרומטריות הנבחרות. תחנות אלה מייצגות בעיקר אגנים קטנים ובינוניים. רק בנגב ובערבה נאלצנו להשתמש בנתונים מאגנים גדולים. הנתונים הנ"ל מוצגים בטבלה מס' 1. דוגמאות של לימניגרמות מגאויות שנרשמו ניתן לראות בציורים 1 ו-2 בנספח.

בשלב הראשון של עיבוד הנתונים שנאספו הוגדרו המאפיינים של ההידרוגרפים:

- (1) זמן עליה (הגעה לספיקת השיא) של גל הגאות.
- (2) מספר גלים בגאות אחת.
- (3) זמן דעיכה של גל הגאות וצורת ענף הדעיכה.
- (4) פרקי זמן בין גלים בגאות אחת. (סכמת הסבר בציור מס' 1).

ציור מס' 1: הפרמטרים של גל הגאות



מכל המאפיינים הנ"ל, הבעייתי ביותר הוא קביעת זמן סיום גל הגאות. הבעייתיות נובעת עקב שינויים באפיק, אשר מתרחשים תוך כדי מעבר זרימות חזקות והצטברות סחף רב בצינור של המכשיר הרושם. קושי נוסף מהוות הגאויות הרב גליות. כאשר גל נוסף מתחיל בזמן שהקודם עוד לא נגמר. לפעמים קשה לאתר את זמן הסיום של גל הגאות כי לא ברור, האם המים ממשיכים לזרום או שהם פשוט עומדים בשקע מקומי ומתאדים.

בשלב זה החילונו באיסוף החומר לניתוח, הן של הגאויות הנדירות והן של הגאויות הרגילות (עם ספיקת שיא קטנה יותר) אבל עם לימניגרמה ברורה וקלה לניתוח. במקרים כאלה ניתן לאתר את צורת ענף הדעיכה של גל הגאות והיחס בין זמן עליה לזמן הדעיכה, אשר אופייניים לנחל מסוים. (באופן עקרוני ניתן

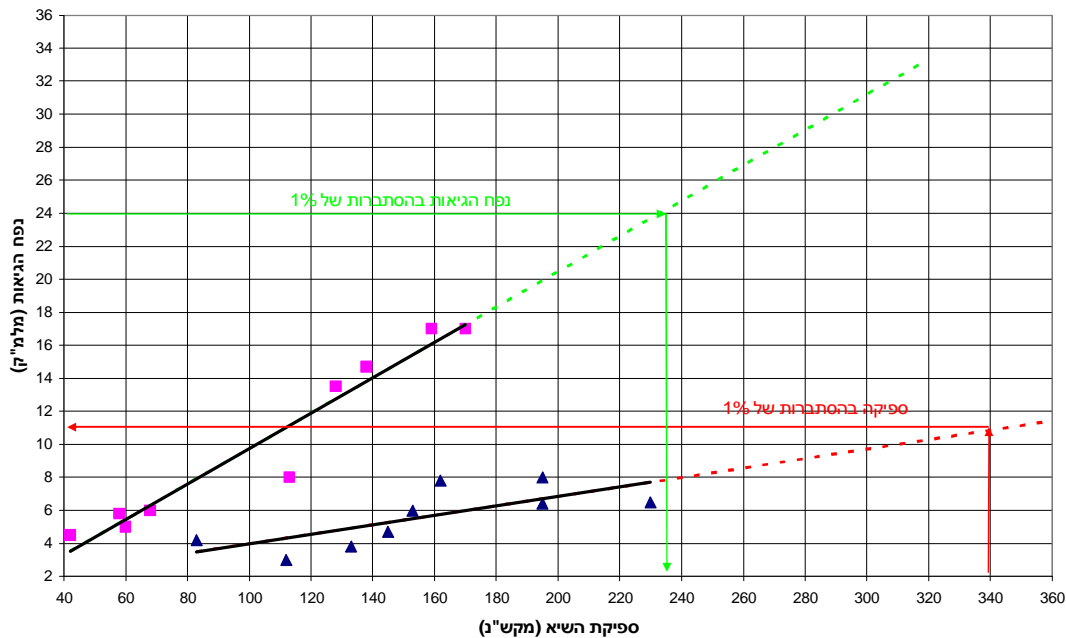
לומר כי דעיכת גל הגאות מתוארת מתמטית באופן אקספוננציאלי, אך משיקולים הנדסיים מעשיים השתמשנו בתיאור ליניארי של קו הדעיכה).

נקשר היחס בין זמן עליית הגלים לדעיכתם בין אגנים בגדלים שונים אך בעלי אופי מורפומטרי דומה (טבלאות 1-3).

במהלך בחינת הידרוגרפי זרימה רבים אשר נאספו לצורך המחקר, הבחנו כי לאותה ספיקת שיא קיים טווח נפחי זרימה, בדוח זה מוצג לשם דוגמא הקשר בין ספיקת השיא לנפח הגאות בנחל נטוף (בנחל זה יש נתוני זרימה מתקופת תצפיות של כ 50 שנה). כן נבחנה השפעת עונתיות הגשמים על אופי הזרימות. (ציור מס' 2). שלושת הזרימות בעלות ספיקות השיא הגבוהות ביותר של מעל 190 מקש"נ אירעו החודשים אוקטובר, נובמבר ומרץ.

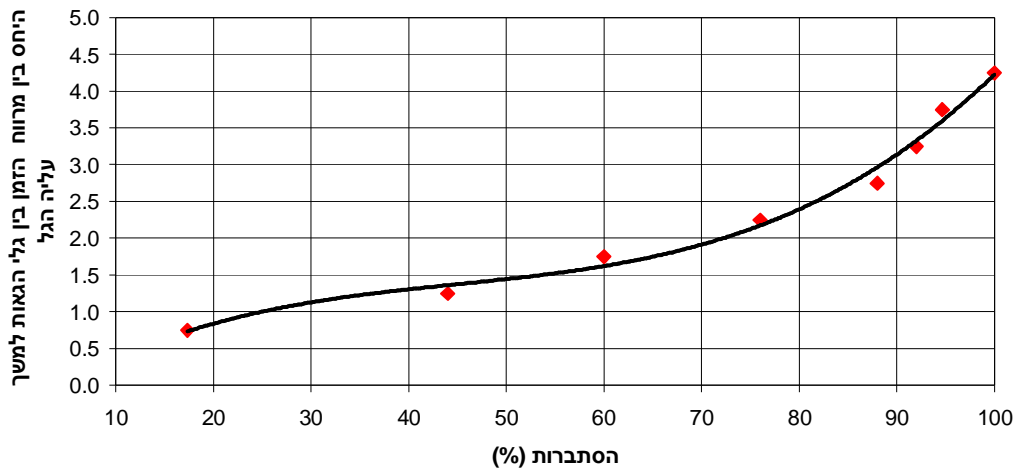
ציור מס' 2: הקשר בין ספיקת השיא לנפח הגאות בנחל נטוף בהסתברות של 1%

(כאשר ספיקת השיא מעל 40 מקש"נ או נפח של מעל 2 מלמ"ק)



מציור מס' 3 ניתן לחשב את פסק הזמן בין גלי הגאות של גאות רב גלית. נתוני ציור זה התקבלו על בסיס הכללת נתוני רישומי זרימות מכל התחנות הרושמות (אגנים גדולים, בינוניים וקטנים) אשר נתוניהן הופיעו בטבלאות 1-3. פסק הזמן נורמל למשך עליית גל הגאות, ממנו התקבל פתרון אחיד לכלל הנחלים.

ציור מס' 3: ההסתברות ליחס בין מרווח הזמן בין גלי הגאות למשך עלית הגל

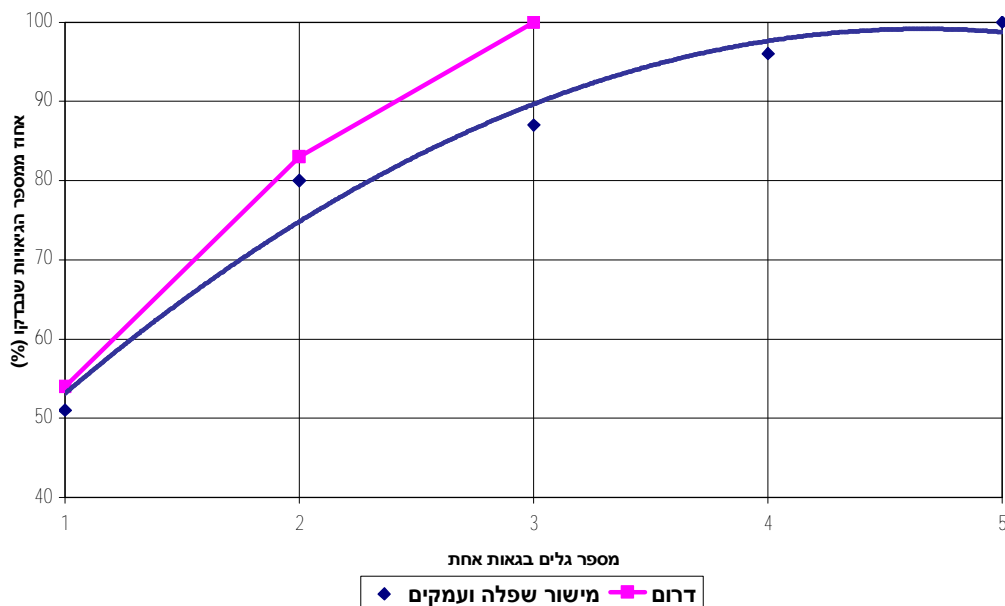


*הערה: משך עליית גל הגאות נקבע לפי ציור מס' 5. הכוונה ליחס של מרווח הזמן בין השיא הראשון לשיא השני. לא מדובר כאן בשעות.

תוצאות ודיון

בכל אחת מהתחנות הנבחרות נבדק הקשר בין משך עלית גל הגאות וספיקת השיא בלימנגרמות המנותחות. בציורים מס' 3-6 בנספח הוצגו מספר דוגמאות של קשרים כאלה. כדוגמא בחרנו ב- 4 אגנים דרומיים. הקטן ביותר אגן ערד- 19 (0.2 קמ"ר) והגדול ביותר – נחל נקרות (כ700 קמ"ר). מצוירים אלו ניתן ללמוד שבאגנים קטנים ובינוניים, הקשר בין המאפיינים הנבדקים חלש. תוצאה זאת מאפשרת לנו להשתמש במיצוע משכי עליה של גל גאות, לצורך פיתוח המודל. נבחנה ההסתברות להופעת מס' גלי גאות (ציור מס' 4) וכן הזמן לדעיכת גל הגאות. בטבלאות מס' 1-3 ניתן לראות את המאפיינים המורפומטרים של האגנים הנבחרים ומשכי עליה ודעיכה ממוצעים של גלי הגאות.

ציור מס' 4: התפלגות מספר הגלים בגאוויות החזקות שנבדקו במחקר



ניתן לראות את היחס בין זמן עלית גל הגאות לזמן דעיכתו. בממוצע, נתקבל הערך 2 כמבטא נאמנה יחס זה באגנים ההרריים ובאגנים הדרומיים, ואילו באגני השפלה מישור החוף והעמקים, יחס זה עלה לכדי כ- 2.5 בממוצע.

נושא נוסף שנבדק היה הקשר בין ספיקת השיא לנפח הגאות. הוחלט לבחון את נתוני נחל נטוף בשל תקופת מדידת הזרימות הארוכה יחסית.

בציור מס' 2 ניתן לראות כי נמצאו שתי קווים המייצגים את יחסי ספיקת שיא לנפח הגאות בנחל, האחד מבטא את הזרימות האופייניות לגשם "סתווי" או "אביבי", זרימות בעלות ספיקה גבוהה ומשך קצר שבד"כ נותנת נפח יחסית קטן. הקו השני מייצג את הזרימות שנובעות מגשמים ממושכים עם עוצמות לא קיצוניות, אשר מתרחשים בעיקר בחורף ושבד"כ הן בעלות יחס נפח ספיקה יותר גבוה. הגישה המתבססת על קביעת ספיקות שיא בהסתברות תכן כמדד יחיד לתכנון מערכות ניקוז, חסרה לדעתנו מודל המתחשב גם בנפחי הזרימה באגנים לא מדודים או באגנים בעלי תקופת תצפיות נמוכה. בתכנון מאגרי וויסות יש להתחשב בנפחי הזרימה וכן במספר גלי הגאות המגיעים ברציפות.

טבלה מס' 1: נתונים של אגנים וגלי גאות באגנים הרריים

גשם שנתי 400-800 מ"מ

שם הנחל	שטח אגן (קמ"ר)	שיפוע	זמן עליה (שעות)	זמן דעיכה (שעות)	יחס בין זמן עליה לזמן דעיכה	זמן ריכוז* (שעות)
דליה	41	0.016	5.5	15	2.7	2.5
בית-עריף	46.2	0.0215	5	9.5	1.9	2.9
השופט	12.5	0.0357	3.7	8.5	2.3	1
עדה	17.7	0.0169	4.1	10	2.4	2.4
עירון	58	0.016	6.8	12	1.8	3.85
עדה	66	0.0167	4.6	15	3.3	3.7
הראל	13	0.033	4.4	19.8	4.5	1.3
געתון	34	0.034	4.92	8	1.6	2.5
צלמון	103	0.02	6.6	12.5	1.9	4.8
עמוד	124	0.05	5.5	13	2.4	2.6

טבלה מס' 2: נתונים של אגנים וגלי גאות באזורים: שפלה, מישור

החוף ועמקים. גשם שנתי 400-600 מ"מ

שם הנחל	שטח אגן (קמ"ר)	שיפוע	זמן עליה (שעות)	זמן דעיכה (שעות)	יחס בין זמן עליה לזמן דעיכה	זמן ריכוז* (שעות)
חבל	23	0.007	3	6.6	2.2	2.3
יד חנה	6.4	0.009	1.3	2.5	1.9	1.25
גזר	19	0.008	3	5	1.7	3
שפיר	33.9	0.008	5.4	8.7	1.6	2.7
מרחביה	27.2	0.009	2.4	3.9	1.6	2.1
אבטח	43.4	0.004	5.7	13	2.3	4.2
גיאה	38.7	0.01	4.4	10.5	2.4	3.5
יבנה	13	0.004	3.4	9	2.6	2.9
קישון	149	0.010	6.1	11.6	1.9	5.2

3.5	1.7	6	3.5	0.005	28	יואב
6.3	3.4	21	6.2	0.0129	107	ירקון (רבה)
2.1	2.2	6.5	3	0.0132	42	נהלל
4.5	1.9	15.9	8.2	0.005	114	פולג (שער)
1.3	2.1	1.5	0.7	0.009	10	רעננה**

** 70% משטח אגן ההיקוות של נחל רעננה הינו שטח עירוני

טבלה מס' 3. נתונים של אגנים וגלי גאות באגנים הרריים.

שם הנחל	שטח אגן (קמ"ר)	שיפוע	זמן עליה (שעות)	זמן דעיכה (שעות)	יחס בין זמן עליה לזמן דעיכה	זמן ריכוז* (שעות)
אזור בתחום גשם שנתי 150-350 מ"מ						
קריות	36	0.019	1.2	1.9	1.6	2.65
ערד 19	0.2	0.03	0.17	0.5	2.9	0.3
הגדי	11.7	0.0085	0.7	1.3	1.9	1.7
קוטמית	21.2	0.015	1	1.7	1.7	2.6
שמריה	27.4	0.008	1.3	3.2	2.5	3.1
חנון	48.5	0.008	1.8	3.5	1.9	3.9
שיקמה	38	0.012	1.2	3.5	2.9	3.6
אזור בתחום גשם שנתי 100-150 מ"מ						
לבן	192	0.0103	1.62	4	2.5	6.4
ממשית	64	0.0148	0.8	2.1	2.6	3.5
צין	233	0.008	1.8	2.7	1.5	8.6
הר הנגב	0.25	0.06	0.28	0.45	1.6	0.6
אזור בתחום גשם שנתי 30-50 מ"מ						
ציחור	171	0.018	0.75	1.9	2.5	8
ערוד	161	0.015	0.72	2.8	3.9	6.5
נקרות	697	0.019	1.14	3.5	3.1	6.3
יעל	0.5	0.051	0.2	0.4	2	0.4

* - זמן ריכוז מחושב לפי נוסחת Kirpich

מיון הנתונים המוצגים בטבלה מס' 1 נעשה בהתאם לעובי גשם ממוצע רב שנתי אשר מאפיין אזורים אקלימיים שונים, מבחינת היווצרות גאויות נדירות. בכל קבוצת אגנים ניסינו לקבוע התאמה בין משך עלית גל גאות ממוצע ומאפיינים שונים של אגני ההיקוות. התברר לנו שההתאמה הטובה ביותר קיימת בין

משך עליה של גל גאות לבין זמן ריכוז המחושב לפי נוסחת Kirpich הידועה: $T_c = 5.6L^{0.75}/S^{0.375}$.

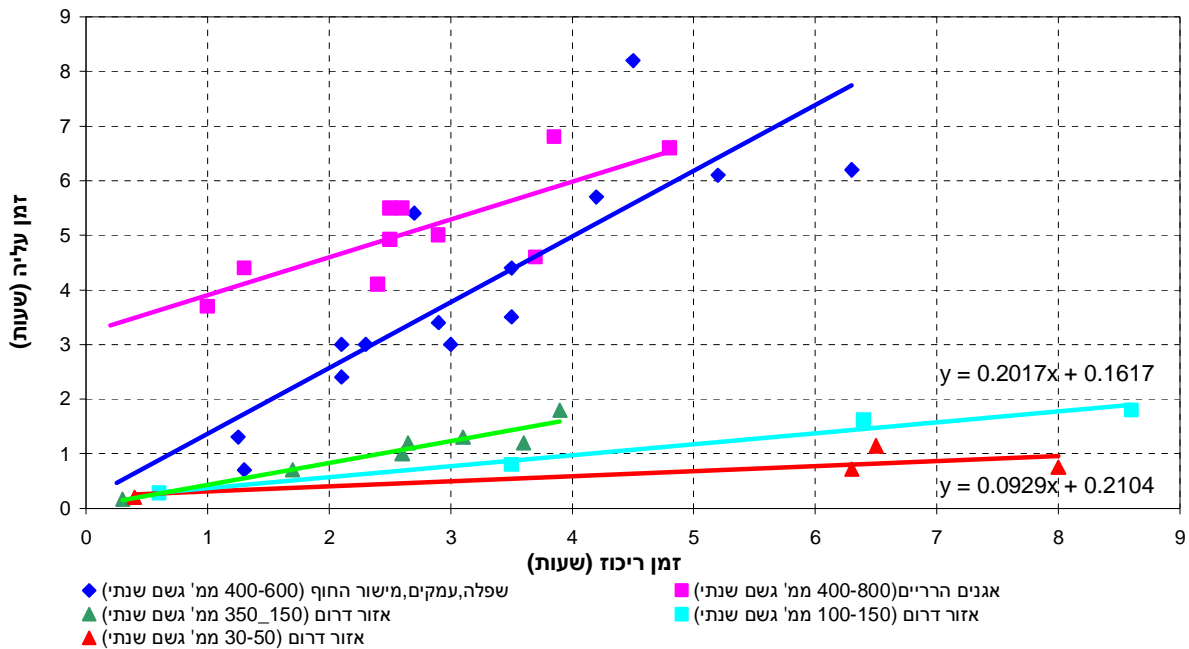
כאשר T_c – זמן ריכוז (שעות).

L – אורך אגן היקוות (ק"מ).

S – שיפוע אפיק משוכלל.

זמן הריכוז מתקבל אוטומטית במהלך חישוב ספיקות השיא לפי מודל תחל"ס.

ציור מס' 5: הקשר בין זמן ריכוז מחושב ובין זמן העלייה של גל גאות באזורים שונים



* הערה: המשוואות רלוונטיות לאזורי הגשם של רשות ניקוז ים המלח.

בציור מס' 5 ניתן לראות את הקשר בין משך העלייה של גל הגאות הממוצע לבין זמן הריכוז המחושב באזורי גשם שונים. למרות פיזור משמעותי של נקודות אמפיריות (עקב מיצוע של מספר נתונים שונה) ניתן להשתכנע שמוצדקת החלוקה לאזורים שונים. לפי דעתנו השוני במשכי עלית גלי הגאות בין האזורים השונים (בזמן הריכוז הנתון) נובע משלוש סיבות עיקריות:

1. שוני בתנאי זרימה על-מדרונית. למשל: מדרון מיוער באגנים הרריים ומדרונות פתוחים במדבר עם רשת ערוצים צפופה מאוד.
2. שוני במשך הגשמים אשר גורמים לגאויות חזקות וקצרות. בדרום, גשמים אלה מאופיינים במשך קצר מאוד ועוצמה גדולה מאוד לפרקי זמן קצרים ובמרכז הארץ גשמים הרבה יותר ממושכים עם עוצמות גדולות לפרקי זמן גדולים.
3. אחוז משטח האגן, המכוסה בגשם חזק, בדרום הארץ, הרבה יותר קטן מאשר במרכז ובצפון הארץ (ע"פ נתוני מכ"ס מטאורולוגי).

נציין את נתוני נחל רעננה המהווים דגם למערכת ניקוז מלאכותית מעשה ידי אדם, לפיהם מתקבלים זמני עלית גל גאות מהירים פי 2. נתוני זמני עליית גל הגאות של הניקוז העירוני מתיישבים על הקו המייצג אופי נחלים חצי מדבריים. למעשה, הרגישות האגנית לעוצמות גשם גבוהות יותר לפרקי זמן קצרים, עלתה. להערכתנו מצב זה צפוי גם בנחלים נוספים המנקזים אגנים עירוניים וכן נחלים אשר עברו הסדרה, המקצרת את הזרימה באפיק בעת אירוע שיטפוני.

הגרף, אשר מוצג בציור מס' 5, מאפשר את חישוב משך העלייה של גל הגאות לפי הפרמטרים המורפומטריים של אגן ההיקוות (שיפוע אפיק, שטח אגן ההיקוות, אורך אפיק) וכמות הגשם הרב שנתית. מציורים מס' 3 ו-4 ניתן ללמוד שקיימות גאויות חד-גליות ורב-גליות. בדיקת מספר גלים בגאות אחת נעשתה במספר אגנים בצפון ובדרום הארץ. תוצאות הבדיקה מוצגות בציור מס' 4 הגרף מאפשר קביעת מספר גלי גאות לצורך בניית הידרוגרף תכן בתכנון מערכות ניקוז.

סיכום

נאספו ונותחו נתוני הגאוויות החזקות ביותר אשר נרשמו ב- 41 התחנות ההידרומטריות של השירות ההידרולוגי והתחנה לחקר הסחף. נמצא הפתרון לחישוב של ארבעת המאפיינים של גלי גאות.

- א. משך עליית גל הגאות.
- ב. משך דעיכת גל הגאות.
- ג. מס' גלים בגאות אחת.
- ד. פסקי הזמן בין השיאים השונים.

להלן סדר הפעולות שיש לבצע על מנת לבנות הידרוגרף סינתטי לתכנון מפעל ניקוז בנחל שאינו מדוד:

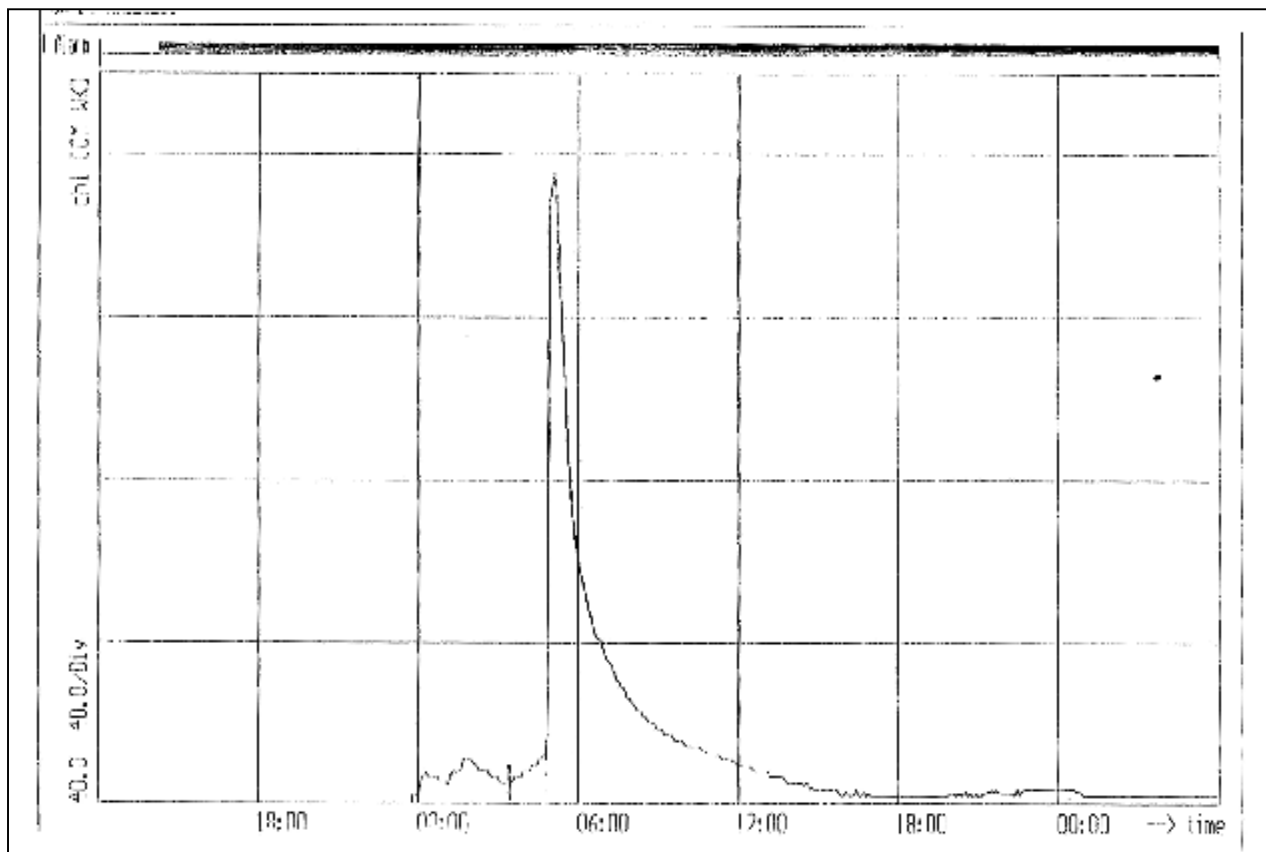
- א. קביעת ספיקת שיא בהסתברויות שונות ע"פ השיטות המקובלות: מודל תחל"ס, השיטה האנלוגית (עם נחל מדוד), נוסחה רציונאלית ועוד.
- ב. חישוב זמן ריכוז ע"פ נוסחת קירפיץ.
- ג. קביעת עובי גשם רב שנתי לאזור, ע"פ מפות גשם מעודכנות.
- ד. חישוב משך עליית גל הגאות ע"פ זמן ריכוז, עובי גשם וגרף הקשר ביניהם בציור מס' 5.
- ה. קביעת מספר גלי גאות (ציור מס' 4), החלטה על גודל ספיקות השיא (הסתברותן), קביעת סדר הופעת הגלים וחישוב מרווח הזמן בין השיאים ע"פ ציור מס' 3.

ספרות

1. ראבוחין אליעזר. חשיבות השפעת ויסות הנגר העילי. "מים- הנדסת מים".
2. דן רוזנצביג. הצעת קווים לאימוץ הוועדות לבנין ערים כהנחיות לאישור תכניות בניין עיר מההיבט הניקוזי. "מים- הנדסת מים". גיליון 27. 1996.
3. שנתוני השירות ההידרולוגי.
4. שנתוני התחנה לחקר הסחף.

נספח לדו"ח גל גאות

ציור מס' 1: רישום מהלך הגאות בנחל קריות 02.02.1998.



ציור מס' 2: רישום מהלך הגאות בנחל שפירי 15-17.12.1992

