

מדינת ישראל
רשות לפיתוח הנגב והמשרד לקליטת עלייה

דו"ח סופי

איפיין הידרומטרי מלא
של נפחי הגיאוויות
בנגב
לצרכי תכנון ובניה

איזבלה שנציס
יונתן לרון

גאוויות בנגב: כך זה נראה...



נחל פארן, גשר במורד צוואר הבקבוק, 2.05.01



נחל ערוגות - גשר, 2.05.01

רשימת הטבלאות

1. The hydrometric stations in the Negev (a source of the model data)
3. Parameters of the relationship $V=a*Q$ for runoff events in the Negev during the Winter season
4. Parameters of the relationship $V=a*Q$ for runoff events in the Negev during the Autumn and Spring seasons
5. Formulae for calculating the coefficient a and the mean square error S
8. Regional estimations of runoff event volume and 75% confidence interval (MCM) as a function of peak discharge in the Winter season
9. Regional estimations of runoff event volume and 75% confidence interval (MCM) as a function of peak discharge in the Autumn – Spring season
10. Estimated runoff event volume and 75% confidence interval (MCM) as a function of peak discharge in the Winter season at the hydrometric stations
11. Estimated runoff event volume and 75% confidence interval (MCM) as a function of peak discharge in the Autumn – Spring season at the hydrometric stations
12. Reconstructed runoff event volume and 75% confidence interval (MCM) as a function of peak discharge measured at the hydrometric stations in the Negev
13. Regional reconstruction of runoff event volume and 75% confidence interval (MCM) as a function of peak discharge measured at the hydrometric stations in the Negev
14. List of the reconstructed events in the Negev

טבלה 2: העונות באזורי הנגב

טבלה 6: נתוני הגאוויות שנמדדו בסיני

טבלה 7: החלק היחסי של הגשם רב העוצמה (מעל 20 מ"מ לשעה) מכל הגשם בתחנות מטאורולוגיות הנבחרות בישראל (לפי Sharon and Kutiel, 1986)

טבלה 15: תוצאות השחזור של נפחי המים באירועי הזרימה הנבחרים בנגב בהשוואה לנתוני המדידות ההידרומטריות

רשימת התרשימים

- תרשים 1 : התחנות ההידרומטריות בנגב
- תרשים 2 : הידרוגרפים של גאוויות נבחרות בתחנות הידרומטריות בנגב
- תרשים 3 : סקיצה סכמאטית של גאות
- תרשים 4 : קשר בין מקדם a לשטח תחום ההתנקזות באזורי הנגב בעונת החורף
- תרשים 5 : קשר בין מקדם a לשטח תחום ההתנקזות באזורי הנגב בעונות המעבר
- תרשים 6 : מקדם a בהקשר לשטח תחומי ההתנקזות באזורי הנגב
- תרשים 7 : קשרים $V = f(Q)$ לפי המודל האזורי בנגב בחורף
- תרשים 8 : קשרים $V = f(Q)$ לפי המודל האזורי בנגב בסתיו ובאביב
- תרשים 9 : קשר בין מקדם a לביו שגיאת חישובו $s(a)$
- תרשים 10 : קשר בין S לשטח תחומי ההתנקזות בנגב בחורף (כאשר S – שגיאה ממוצעת ריבועית של קשר $(V = f(Q))$)
- תרשים 11 : קשר בין S לשטח תחומי ההתנקזות בנגב בעונות המעבר (כאשר S – שגיאה ממוצעת ריבועית של קשר $(V = f(Q))$)
- תרשים 12 : השוואת קווי המודל האזורי בנגב עם קווי הרגרסיה $V = a \cdot Q$ לפי מדידות בתחנות ההידרומטריות

תוכן עניינים

עמוד

6	מבוא
6	בסיס הנתונים
10	מודל הידרולוגי אזורי
10	קשרים בין ספיקות השיא לנפחי הגאוויות
15	מקדם הקשר
18	מבנה המודל האזורי
25	הערכת נפח הגאות בטווח הסביר
37	הדרכה ליישום המודל
42	שיחזור "כתמים לבנים" במידע הידרומטרי
51	סיכום
51	מראי מקומות
54	נספח א' <u>בסיס נתוני הגאוויות בנגב</u>
55	טבלה 1א: רשימת תחנות הידרומטריון בנגב
57	טבלה 2א: נתוני הגאוויות בנגב
149	נספח ב' <u>הידרוגרפים של הגאוויות בנגב</u>
150	טבלה 1ב: רשימת ההידרוגרפים שהוכנו בדו"ח
155	2ב: הידרוגרפים של הגאוויות הנבחרות בנגב
235	נספח ג' <u>קשרים בין נפחי הגאוויות לבין ספיקות השיא בנגב</u>

מבוא

המחסור במידע הידרומטרי בנגב גרם כתוצאה מקיומה של רשת התחנות במדבר, שאיננה מספקת את צרכי התכנון של מקורות מים עליים, בהשוואה לחלקי הארץ האחרים. המחסור מתייחס בעיקר לנפחי הגאוויות שנמדדים רק בתחנות הידרומטריות. מידע על ספיקות שיא רב יותר וזמין הודות לאפשרות הערכתן בכל קטע אפיק מתאים הידראולית, שנשארו בו סימני שיא לאחר גאות. תכנון הידרולוגי, בניה של מאגרי מים ומשימות פיתוח נגב אחרות לשימוש אופטימאלי במים דורשים מידע רב ומדויק יותר על כמות המים באירועי זרימה, כולל (ובמיוחד) בגאוויות גדולות. מלבד פיתוח יקר של רשת הידרומטרית, הצורך הוביל לחיפוש שיטה אלטרנטיבית.

לצורך זה כאן מוצעת שיטה להערכת נפחי גאוויות בנגב לפי ספיקות שיא (שנתונין שכיחים יותר) על סמך קשרים ביניהם (שנציס, 2002). הקשרים נכללים במסגרת מודל אזורי לנגב תוך התחשבות באזוריות ועונתיות של תהליכי היווצרות הגשם והנגר, מידת צחיחות האזורים, שטח תחומי התנקזות, אבודי המים באפיק וכו'. הניסיונות הראשונים תוך הכנת המודל ויישומו הנוכחי הראו אפקטיביות של המודל לשם הערכת נפח הגאות לפי ספיקת השיא בכל אתר מדוד או בלתי מדוד בנגב בדיוק המספק (מקדמי מתאם 0.8-0.9 ומעלה).

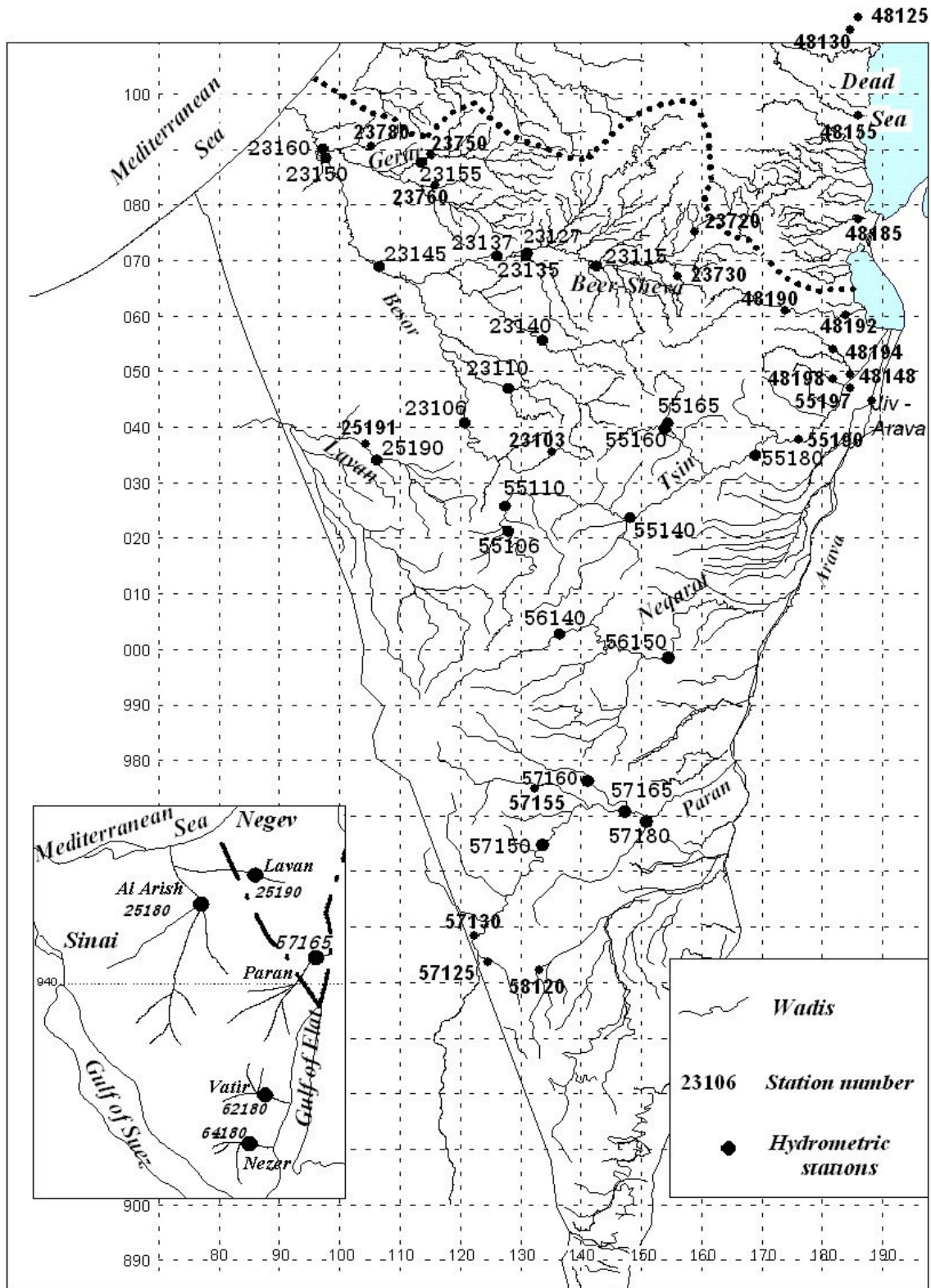
המטרה של המחקר הנה לספק לצרכי תכנון ובנייה את המידע המלא על כמות המים באירועי זרימה בנגב כדלהלן:

- א. הכנת בסיס הנתונים של גאוויות בנגב כתוצאה מאיסוף והערכה בשיטה של כל המידע ההידרומטרי באזור זה.
 - ב. הרחבה, דיוק והשלמה של מידע על נפחי הגאוויות בנגב תוך שימוש ככלי במודל הידרולוגי אזורי (שנציס, 2002) וכרקע המידע בנתוני ספיקות שיא ששכיחים יותר.
 - ג. הדרכה ליישום המודל ההידרולוגי לשם הערכת נפחי הגאוויות לכל אתר מדוד (שיחזור "כתמים לבנים" במדידות בתחנה ההידרומטרית) ובלתי מדוד בנחלי הנגב.
- הפרויקט הוזמן ע"י רשות לפיתוח הנגב והמשרד קליטת עלייה.

בסיס הנתונים

כתוצאה מאיסוף והערכה בשיטה של כל המידע ההידרומטרי בנגב הוכן בשרות ההידרולוגי (שנציס וכו', 1997) בסיס הנתונים הכולל נתוני הגאוויות שנמדדו בתחנות השרות ההידרולוגי, התחנה לחקר הסחף ומפעלי ים המלח אשר פעלו באזור בתקופה היסטורית עד לשנת 1995. לעניין זה כולל הנגב (מצפון לדרום) את תחומי ההתנקזות מהבשור עד אל עריש במערב ומדרגה עד דהב במזרח. יש לציין כגורם חיובי את הרחבת אזור הנגב ע"י תוספת תחנות ביובלי ים המלח. רשימת התחנות ומאפייניהן העיקריים מפורטת בטבלה 1 (נספח א'). מיקום התחנות מתואר במפה (תרשים 1).

תחנות הידרומטריות בנגב



תרשים 1

תוך העבודה הנוכחית :

- נעשה עדכון בסיס הנתונים של גאוויות בנגב עד שנת 2002/03 עד ספטמבר 2003 (על ידי אור גוילי).
- הנתונים מאורגנים כקובץ ב- Excel (במקום Quatro Pro כמו היה בגרסה הקודמת של השרות ההידרולוגי).
- נשאר בלי שינוי מבנה בסיס הנתונים כאשר כל גאות נרשמת כשורה שבה כלולים: מועדי ההתחלה והסיום של הגאות, מועד שיא, ספיקת שיא, נפח הגאות, משך הגאות והערות.
- בסיס הנתונים של גאוויות בנגב מצורף לדו"ח זה כטבלה 2א (נספח א') וכקובץ Excel בדיסק. שליפת נתונים מהבסיס בערך ממוכן להיעשות בעזרת סינון לפי שם או זיהוי תחנה, לפי כל סוג התאריכים, לפי גודל נפח, ספיקת שיא או משך הגאות, וגם לפי צרופים של מאפיינים אלה.
- נעשתה בדיקת בסיס הנתונים, תוקנו או הוצאו ערכים שגועים כאשר בגרסה הקודמת של השרות ההידרולוגי "העתקו הנתונים מהמקורות השונים כפי שהם ללא בקורות לוגיות ואחרות" (שנציס וכו', 1997).
- יש לציין כי נתונים של התחנה לחקר הסחף שנשארו בבסיס הנתונים לא עודכנו ולא תוקנו ולכן הם מתאמים לשימוש רק לפי יעוץ אנשי תחל"ס.
- לבסיס הנתונים נכללו הידרוגרפים ל- 144 גאוויות בנגב (נספח ב', עבודה של אור גוילי) שמהווים חלקו החשוב וזמין לשימוש.
- כתוצאת המאמצים של אנשי השרות ההידרולוגי (שנציס וכו', 1997) ומחברי העבודה הנוכחית הוכן בסיס הנתונים של גאוויות בנגב שמספק לצרכי תכנון ובנייה את המידע ההידרומטרי המלא על אירועי הזרימה שנמדדו בתחנות הידרומטריות. כדי להתגבר את הגבלות של מידע הידרומטרי זה – דהינו (1) לשחזר את "הכתמים הלבנים" בסדרות הנפח המדוד (במיוחד לגאוויות הגדולות שלא נמדדו במקרים הרבים בגלל סיבות טכניות ואחרות) ו(2) לשחזר את נפח הגאות בכל מקום בלתי מדוד (ללא תחנה הידרומטרית), - מוצע כאן לשימוש מודל הידרולוגי אזורי (שנציס, 2002). להלן מודל זה מתואר באופן מפורט עם פירושו הפיזיקאלי, הערכת דיוקו והדרכה ליישומו, כי עבודה זאת היא הניסוי הראשון של שימוש במודל הרציני ומהווה הזדמנות לברר את שיטה זאת לצרכנים הבאים.

Table 1: The hydrometric stations in the Negev
(a source of the model data)

Region/ Watershed	Station number	Station name	Watershed area, km ²	Observation period	Runoff events number
Shiqma	21130	Shiqma - Beror Hayil	378	1979/0-2000/1	128
Gerar	23160	Gerar - Re'im	658	1964/5-2000/1	199
Besor,	23106	Besor - Nizzana Road	133	1950/1-2000/1	98
Beer	23115	Beer Sheva - Zarnuq	405	1963/4-1987/6	93
Sheva,	23127	Beer Sheva - Beer Sheva	1090	1943/4-1963/4	81
Lavan	23137	Beer Sheva - Hatserim	1220	1972/3-2000/1	142
	23150	Besor - Re'im	2630	1966/7-2000/1	106
	25191	Lavan - Nizzana Road	217	1950/1-2000/1	120
Dead Sea	48130	Teqoa	142	1990/1-2000/1	17
tributaries	48155	'Arugot	235	1984/5-2000/1	31
	48192	Hemar	360	1966/7-1975/6 1990/1-2000/1	41
Tsin	55106	Zin Upper - 'Avedat	135	1956/7-1997/8	63
	55110	Zin - Waterfall	233	1954/5-1998/9	56
	55140	Zin - Masos	660	1955/6-1998/9	85
	55160	Hatira	66	1955/6-1968/9	46
	55165	Mamshit	64	1955/6-1997/8	113
	55180	Zin - Aqrabbim	1130	1951/2-1980/1	52
Ramon,	56140	Ramon	108	1982/3-1997/7	35
Neqarot	56150	Neqarot Upper	697	1959/0-1997/8	69
Paran,	57150	Paran - Halamish	2799	1962/3-1974/5	32
Znifim	57160	Arod	161	1959/0-1974/5	30
	57165	Paran - The Bottleneck	3350	1951/2-1997/8	85
	57180	Zihor	171	1961/2-1993/4	12
	58120	Znifim	95	1961/2-1974/5	12

מודל ההידרולוגי אזורי

קשרים בין נפחי הגאוויות לספיקות השיא

לשם הכנת המודל ההידרולוגי האזורי (שנציס, 2002) כרקע המידע שימשו בנתוני הגאוויות בנגב (שנציס וכו', 1997) שנמדדו ברשת תחנות הידרומטריות של השרות ההידרולוגי. רשימת תחנות הידרומטריות שבשימוש עם פירוט שטח תחומי ההתנקזות ותקופות התצפית רוכזה בטבלה 1. כנראה בטבלה זו שטח תחומי ההתנקזות שבניתוח משתנה מ- 64 עד 3350 קמ"ר ומספר הגאוויות בתחנה שנלקחו בחישוב (כאשר נמדדו נפח וספיקת השיא של אירוע) משתנה מ- 12 עד 199. מלבד המידע שבטבלה 1 שימשו גם נתוני הגאוויות הבודדות שנמדדו על ידי השרות ההידרולוגי בתחנות אל עריש, ותיר ונצב בסיני וגם מידע הידרומטרי בכמה תחנות של תחל"ס בנגב (ראה מפה בתרשים 1).

המודל מבוסס על קשרים בין נפחי הגאוויות לספיקות השיא שנמדדו בתחנות הנגב (ראה גרפים בנספח ג'). קשרים אלה מעידים על חלוקת הנקודות לפי העונות (כאשר כל נקודה מתאימה לגאות מסוימת). אפקט החלוקה העונתית נראית בכל התחנות, בכל אזורי הנגב ובכל מגוון תחומי ההתנקזות וגודל הגאוויות. לדוגמה, בין התחנות המייצגות אפשר לראות את תחנת בשור – רעים, בעלת שטח תחום ההתנקזות של 2630 קמ"ר, עם נפחי הגאוויות שמגיעים עד ל- 30 מלמ"ק וספיקות השיא עד כ- 800 מ"ק לשנייה, ולעומתה את תחנת קריות של תחל"ס, בעלת שטח תחום ההתנקזות של 36 קמ"ר, עם נפחי גאוויות רק עד 1 מלמ"ק וספיקות שיא עד ל- 60 מ"ק לשנייה.

הסיבה היחידה המשוערת להבדלים העונתיים בקשרים בין נפחי הגאוויות לבין ספיקות השיא היא ההבדלים הניכרים באפיוני התהליכים הסינופטיים בחורף ובעונות המעבר (סתיו ואביב). ההבדלים הסינופטיים גורמים לאפיונים עונתיים שונים של סופות הגשם והגאוויות הנוצרות על ידיהן. תופעות אלה נחקרו באופן נרחב לאזורים המדברים בעולם וגם בנגב. מחקרים רבים הוקדשו לניתוח אירועי הזרימה הנקרים, סופות הגשם והמערכות הסינופטיות שהתייחסו להם (Sharon, 1974; Maddox *et al.*, 1979, 1980; Dayan and Sharon, 1980; Dayan and Abramski, 1983; Sharon and Kutiel, 1986; Inbar, 1987; Schick and Lekach, 1987; Hirschboeck, 1987, 1988; Enzel *et al.*, 1989; Webb and Betancourt, 1992; Ely *et al.*, 1994; Zangvil and Isakson, 1995; Jarnal and Frakes, 1997; Greenbaum *et al.*, 1998; Krichak and Alpert, 1998; שרון, 1979 ועוד).

ניתוח וסיכום של הגורמים הסינופטיים לשיטפונות הגדולים ושל טיפוסים הסופות האופייניים שגורמים לגאוויות הגדולות בנגב הבהירו דגם עונתי ברור (כהנא, 1999, Kahana *et al.*, 2002):

- ♦ בעונות מעבר (סתיו ואביב) רוב סופות הגשם המשמעותיות בנגב (1965-1994) נגרמו ע"י אפיקים סוף שמשתרע מכוון ים סוף אל עבר מזרח הים התיכון. רק אירועים אחדים קשורים במעבר שקע שרבי שנוצר ע"י שקעים חזיתיים (חזיתות חמות לאורך חופי צפון אפריקה). גשם ירד בעיקר מעננים קונבקטיביים בעצמה גבוהה שקשורה לתאים קטנים (המכונה "כתמות" הגשם) ובעלי אורך חיים קצר (Sharon and Kutiel, 1986; שרון, 1979). חלק גדול של עוצמות הגשם הגבוהות הופיע בסתיו ובאביב (חלק זה גדול יותר בהשוואה לשאר רחבי הארץ). בהתאם, סופות אלה גורמות שיטפונות מוגבלים בזמן ובמרחב (Sharon and Kutiel, 1986).

♦ בעונת החורף רוב סופות הגשם המשמעותיות נוצרו ע"י שקע סורי שהוא שקע עמוק, מקורו בים התיכון והוא ממוקם מעל סוריה. אירועים מועטים אחרים נגרמו על ידי זרם סילון (רצועה של רוחות רום חזקים יותר מהרוח בסביבתם). גשם ירד בעיקר מעננים סטרטיגרפים נרחבים, אחידים מבחינה מרחבית, בעוצמות נמוכות במשך זמן ארוך יחסית (Sharon and Kutiel, 1986; Sharon, 1974; Sharon, 1979). כתוצאה מכך, סופות אלה גורמות לשיטפונות נרחבים בזמן ובמרחב.

כאישור לנאמר הנ"ל, בתרשים 2 מתוארים כמה הידרוגרפים אופייניים של גאוויות בתחנות הנגב. לסתיו הגרפים מייצגים את הגאוויות שמאופיינות על ידי משך זמן קצר, נפח קטן, ספיקת שיא הגבוהה יחסית, ועקום דעיכה תלול. לעומתן, בחורף הגאוויות מאופיינות על ידי משך זמן ארוך (כרגיל, הגאות עוברת בכמה גלים), נפח גדול, ספיקת שיא נמוכה יחסית, ועקום דעיכה מתון. ההידרוגרפים הרבים שמתוארים בנספח ב' רב-גוניים יותר אך המגמות העונתיות הנ"ל נשארות.

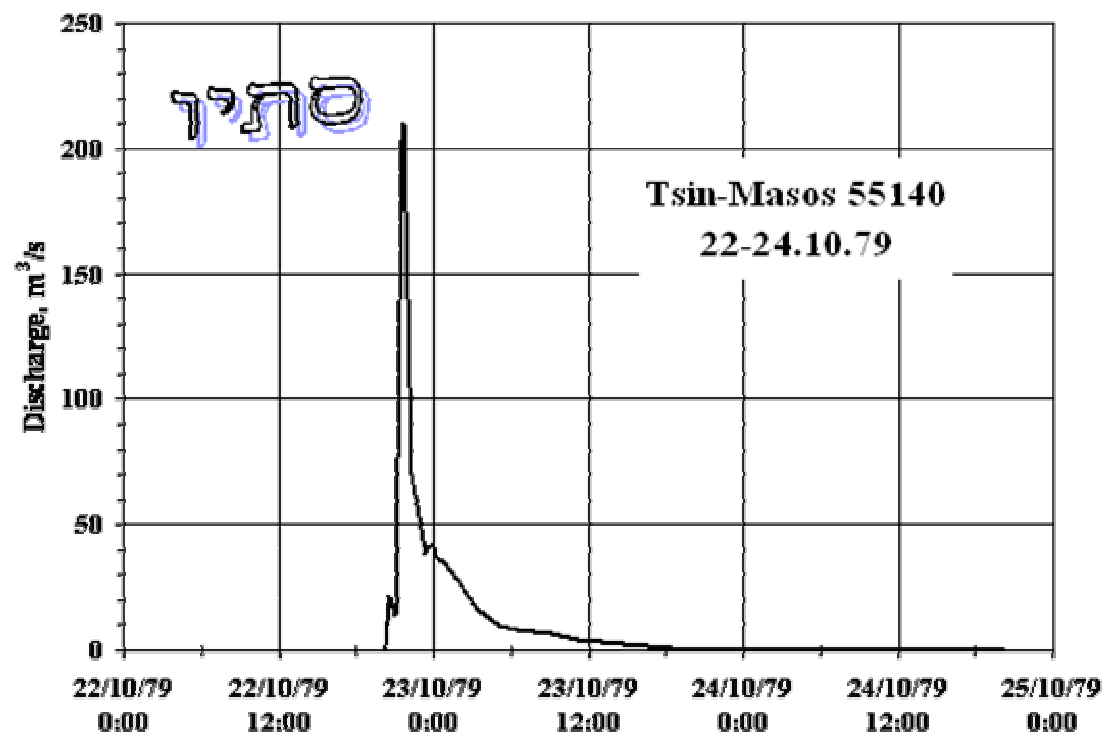
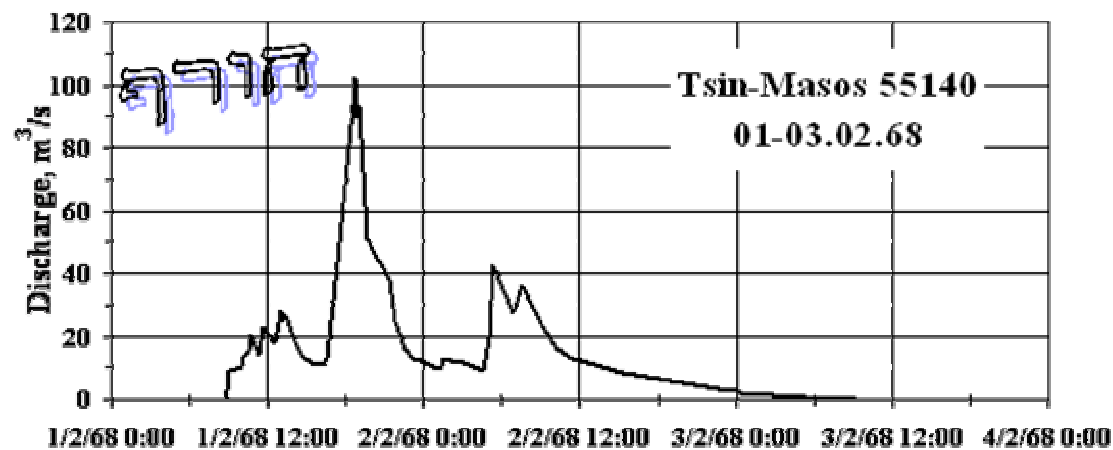
יחסים שונים בין ספיקות השיא לנפחי הגאוויות בעונות שונות מסבירים את ההבדל בין קווי הקשר העונתיים בתרשימים שבנספח ג': לאותה ספיקת השיא מתייחס נפח יותר גדול בחורף (הקו העליון) ונפח יותר קטן בעונות המעבר (הקו התחתון).

טבלה 2 : גבולות העונות באזורי הנגב

אזור (אגני הנחלים)	עונות		
	סתיו	חורף	אביב
שקמה	15.11 – 1.09	15.03 – 16.11	30.05 – 16.03
יובלי ים המלח, באר שבע, בשור	30.11 – 1.09	15.03 – 1.12	30.05 – 16.03
צין (אפיק ראשי ויובלים)	15.12 – 1.09	15.03 – 16.12	30.05 – 16.03
נקרות, פארן, צניפים	31.12 – 1.09	28.02 – 1.01	30.05 – 01.03

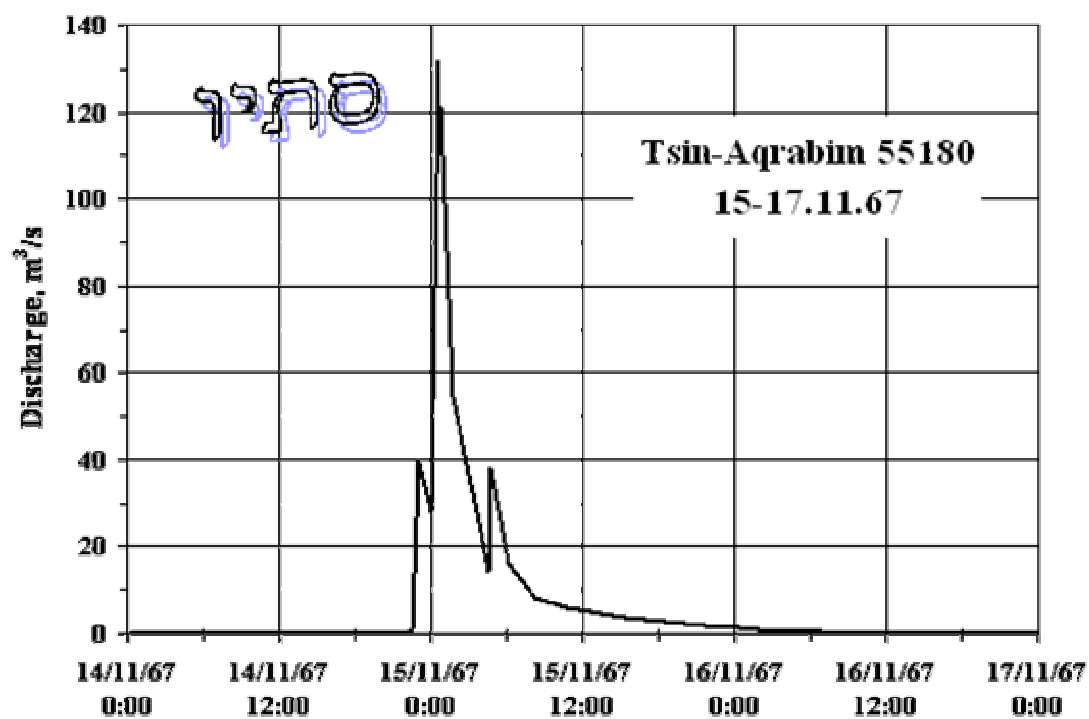
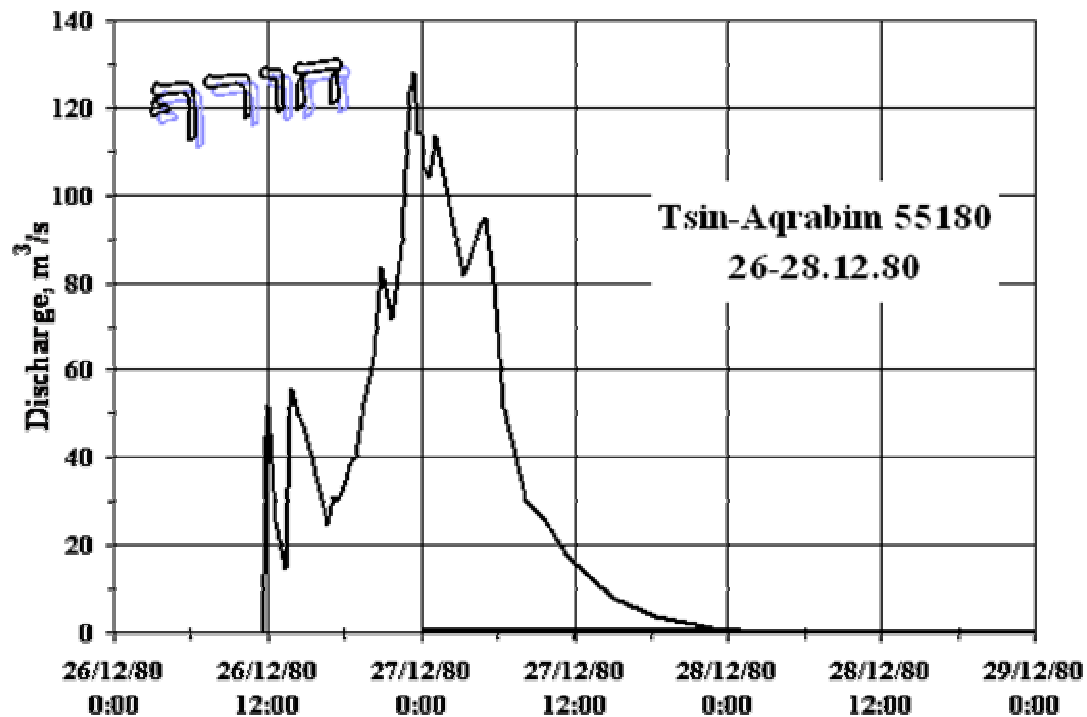
תוך המודל נקבעו גבולות העונות בהתאם להתפלגות נקודות בקשרי ספיקת השיא-נפח הגאות בתחנות הנגב (טבלה 2). הגבולות משתנים כתלות בצחיחות האזור : בתחומים צחיחים יותר (נקרות, פארן) החורף מתחיל מאוחר יותר ומסתיים מוקדם יותר בהשוואה לתחומים פחות צחיחים (שיקמה, באר שבע).

הידרוגרפים של הגאוויות הנבחרות בתחנות הידרומטריות בנגב

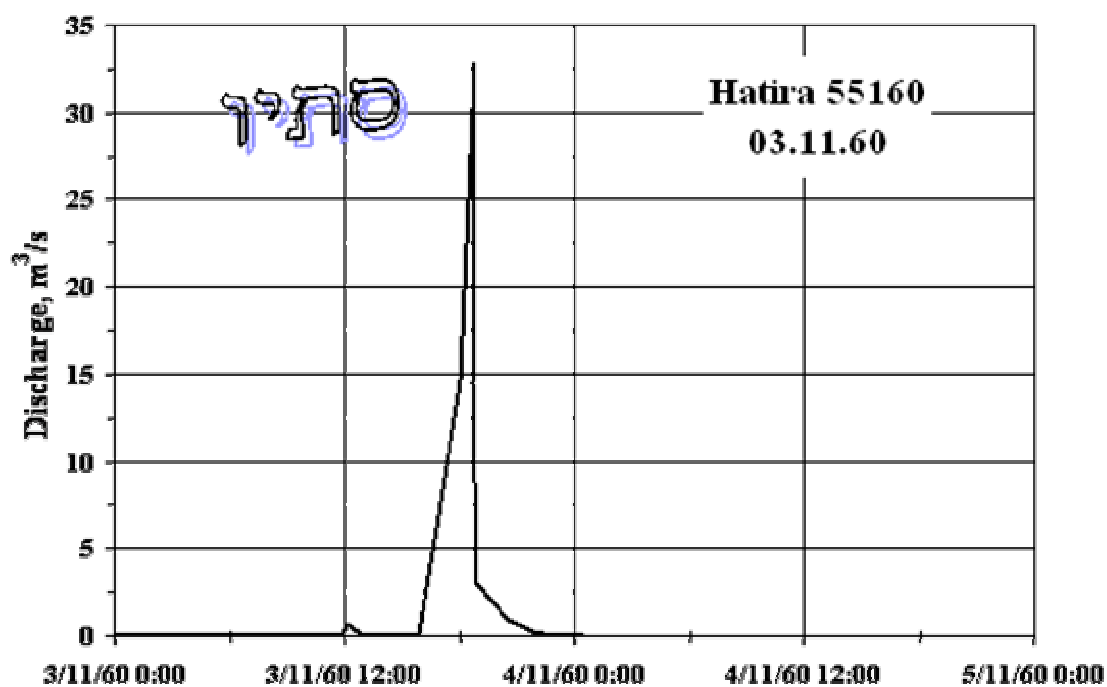
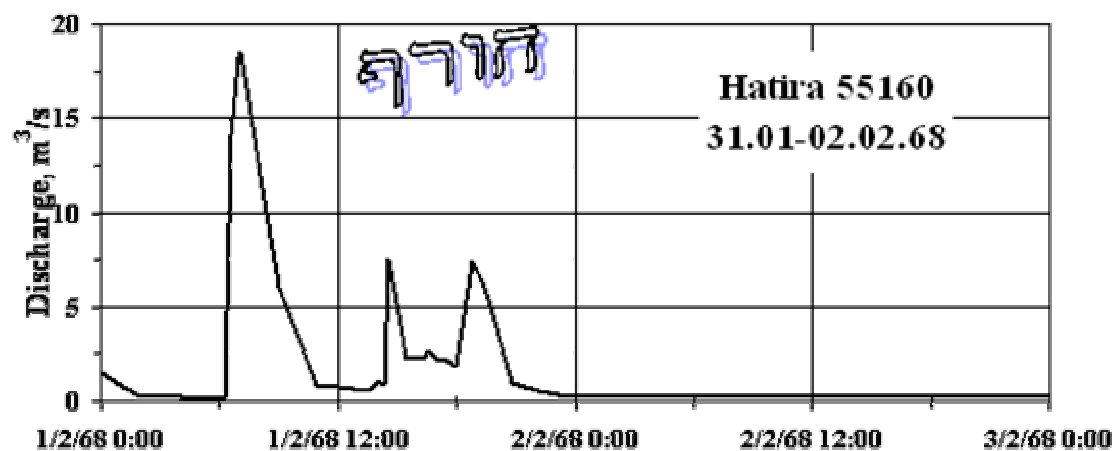


תרשים 2א

הידרוגרפים של גאוויות נבחרות בתחנות הידרומטריות בנגב



הידרוגרפים של גאוויות נבחרות בתחנות הידרומטריות בנגב



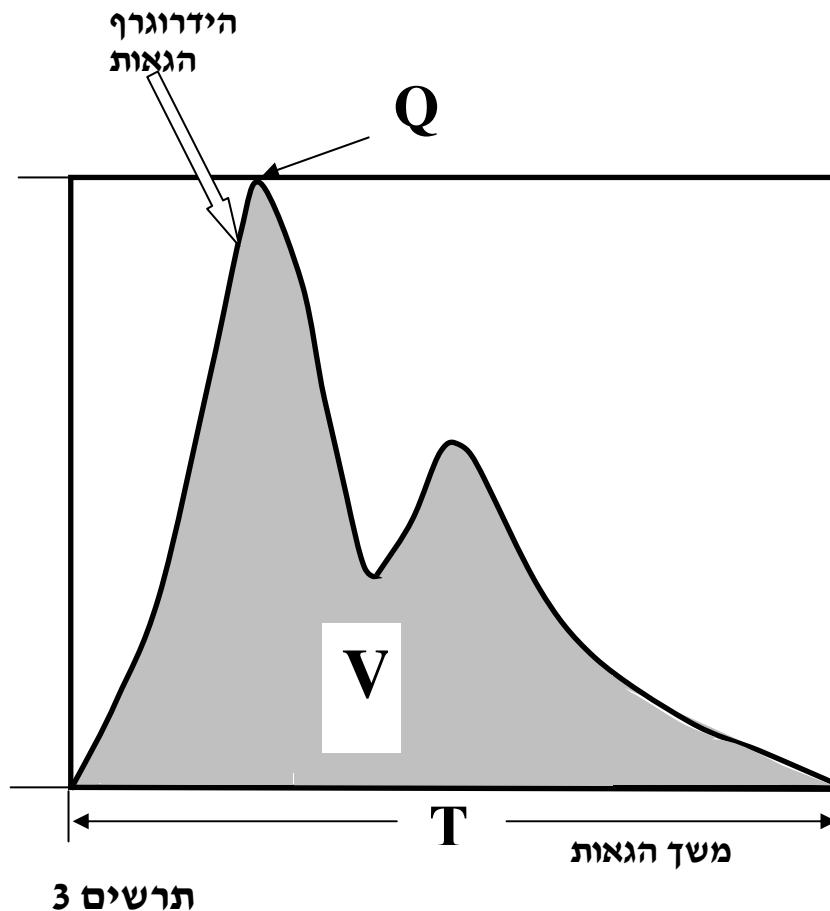
מקדם הקשר

קשר בין נפחי הגאוויות לבין ספיקות השיא בתחנה ההידרומטרית הוצג כפונקציה ליניארית (ראה גרפים בנספח ג'):

$$V = a Q \quad (1)$$

כאשר V - נפח הגאות, Q - ספיקת השיא, a - מקדם הקשר.

סקיצה סכמאטית של גאות



לשם פירוש פיזיקאלי של מקדם a בתרשים 3 מתוארת סקיצה סכמאטית של ההידרוגרף הגאות כמהלך ספיקות במשך הגאות T . השטח בתוך ההידרוגרף וציר הזמן מהווה את נפח הגאות V ושווה ל-

$$V = \alpha Q T \quad (2)$$

כאשר α - מקדם צורת ההידרוגרף ששווה להיחס בין V לשטח המלבן $Q \cdot T$.

Table 3: Parameters of the relationship $V=a \cdot Q$ for runoff events
in the Negev during the Winter season

Region/ Watershed	Station number	Area, km^2	Number of events	Runoff event		Regression		Regression parameter		
				volume V *		statistics **		***		
				AVG MCM	STD MCM	S MCM	R	a 10^6 sec	s(a) 10^6 sec	a _{model} 10^6 sec
Shiqma	21130	378	114	0.635	1.532	0.699	0.890	0.0986	0.0043	0.0987
Gerar Besor, Beer Sheva, Lavan	23160	658	140	0.701	1.707	1.064	0.782	0.0401	0.0024	0.0400
	23106	133	65	0.188	0.25	0.115	0.889	0.0158	0.0008	0.0156
	23115	405	62	1.064	1.871	0.834	0.895	0.0252	0.0014	0.0243
	23127	1090	53	2.762	4.481	1.477	0.944	0.0393	0.0016	0.0361
	23137	1220	96	1.62	3.088	1.741	0.826	0.0383	0.0023	0.0378
	23150	2630	70	3.504	4.638	2.56	0.834	0.0525	0.0031	0.0513
	25191	217	80	0.338	0.534	0.351	0.754	0.0191	0.0014	0.0189
Dead Sea tributaries	48130	142	10	0.129	0.121	0.086	0.702	0.0116	0.0021	0.0224
	48155	235	17	0.652	0.731	0.398	0.839	0.0305	0.0033	0.0271
	48192	360	21	0.339	0.444	0.348	0.619	0.0259	0.0046	0.0318
Tsin	55106	135	47	0.101	0.193	0.0844	0.900	0.032	0.0020	-
	55110	233	39	0.347	0.702	0.32	0.890	0.0151	0.0011	0.0148
	55140	660	36	0.695	0.996	0.528	0.847	0.0241	0.0019	0.0246
	55160	66	32	0.062	0.075	0.047	0.785	0.0096	0.0009	0.0118
	55165	64	68	0.07	0.106	0.049	0.884	0.0138	0.0007	0.0116
	55180	1130	22	0.743	1.29	0.481	0.928	0.0358	0.0026	0.0355
Ramon, Neqarot	56140	108	21	0.154	0.176	0.098	0.830	0.0234	0.0024	
	56150	697	18	0.189	0.401	0.14	0.937	0.0079	0.0006	0.0079
Paran, Znifim	57150	2799	7	5.199	11.09	0.533	0.999	0.062	0.0011	0.0444
	57160	161	7	0.132	0.221	0.019	0.996	0.0096	0.0003	0.0126
	57165	3350	16	2.531	7.186	2.332	0.946	0.047	0.0038	0.0480
	57180	171	3	0.336	0.521	0.01		0.0138	0.0001	-
	58120	95	5	0.243	0.308	0.098	0.948	0.0109	0.0013	0.0100

Notes: * AVG and STD are mean and standard deviation of runoff event volumes, respectively;
 ** Regression statistics include mean square error **S** and correlation coefficient **R** for relationship $V=a \cdot Q$;
 *** a - regression coefficient, s(a) - mean square error of its calculation based on the hydrometric data, a_{model} - parameter computed by the present model.

Table 4: Parameters of the relationship $V=aQ$ for runoff events
in the Negev during the Autumn and Spring seasons

Region/ Watershed	Station number	Area, km^2	Number of events	Runoff event		Regression		Regression parameter		
				volume V *		statistics		***		
				AVG MCM	STD MCM	S MCM	R	a 10^6 sec	s(a) 10^6 sec	a _{model} 10^6 sec
Shiqma	21130	378	14	0.698	1.194	0.777	0.759	0.0224	0.0042	0.0219
Gerar Besor, Beer Sheva, Lavan	23160	658	59	0.541	1.114	0.724	0.760	0.0262	0.0025	0.0244
	23106	133	33	0.246	0.262	0.131	0.866	0.0077	0.0005	0.0084
	23115	405	31	0.467	0.672	0.421	0.779	0.0128	0.0014	0.0132
	23127	1090	28	1.429	2.143	1.282	0.801	0.0113	0.0012	0.0120
	23137	1220	46	1.525	2.973	1.162	0.920	0.0135	0.0007	0.0130
	23150	2630	36	2.376	3.885	1.36	0.937	0.0282	0.0015	0.0280
	25191	217	40	0.426	0.709	0.264	0.928	0.0110	0.0006	0.0102
Dead Sea tributaries	48130	142	7	0.089	0.108	0.035	0.946	0.0040	0.0004	-
	48155	235	14	0.455	0.538	0.384	0.460	0.0129	0.0042	-
	48192	360	20	0.114	0.158	0.051	0.946	0.0114	0.0007	0.0160
Tsin	55106	135	16	0.204	0.426	0.082	0.981	0.0030	0.0001	-
	55110	233	17	0.909	1.41	0.569	0.915	0.0095	0.0008	0.0094
	55140	660	49	0.596	0.915	0.331	0.932	0.0100	0.0005	0.0118
	55160	66	14	0.056	0.06	0.014	0.971	0.0047	0.0002	0.0063
	55165	64	45	0.091	0.15	0.053	0.935	0.0065	0.0003	0.0063
	55180	1130	30	0.724	1.001	0.332	0.943	0.0163	0.0008	0.0146
Ramon, Neqarot	56140	108	14	0.252	0.433	0.384	0.460	0.0129	0.0042	-
	56150	697	51	0.261	0.665	0.219	0.944	0.0047	0.0002	0.0047
Paran, Znifim	57150	2799	25	1.364	3.188	1.342	0.907	0.0141	0.0012	0.0138
	57160	161	23	0.169	0.207	0.105	0.862	0.0063	0.0006	0.0068
	57165	3350	69	1.39	2.868	1.605	0.829	0.0136	0.0010	0.0145
	57180	171	9	0.219	0.332	0.109	0.944	0.0038	0.0004	0.0069
	58120	95	7	0.231	0.162	0.134	0.562	0.0075	0.0015	0.0059

Notes: * AVG and STD are mean and standard deviation of runoff event volumes, respectively;
 ** Regression statistics include mean square error **S** and correlation coefficient **R** for relationship $V=aQ$;
 *** **a** - regression coefficient, **s(a)** - mean square error of its calculation based on the hydrometric data, **a_{model}** - parameter computed by the present model.

בהשוואת האגפים הימנים של משוואות 1 ו- 2 מתקבל

$$a = \alpha T \quad (3)$$

משוואה 3 מציגה מקדם a כמשך הגאות כפול במקדם צורת הגאות (עם ממד של זמן). תוך התחשבות ביחידות של נפח וספיקת שיא (מלמ"ק ומ"ק לשנייה, בהתאמה), יחידה של מקדם a היא 10^6 שנייה (ראה משוואה 1).

פירוש מקדם a כפרמטר שתלוי במשך הגאות וצורתה (שהם גורמים עונתיים בהתאם לסיכום הסינופטי לעיל) מאשר עונתיות של מקדם זה ושל קשרים $V \sim Q$.

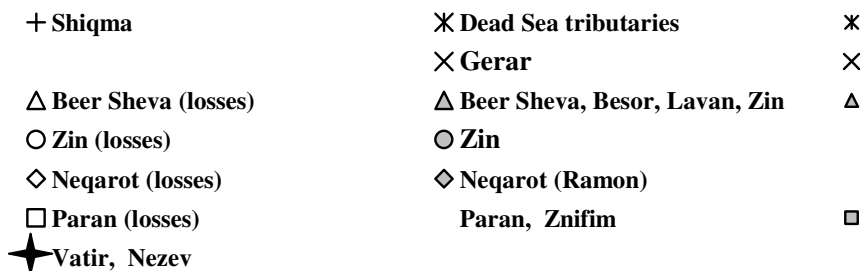
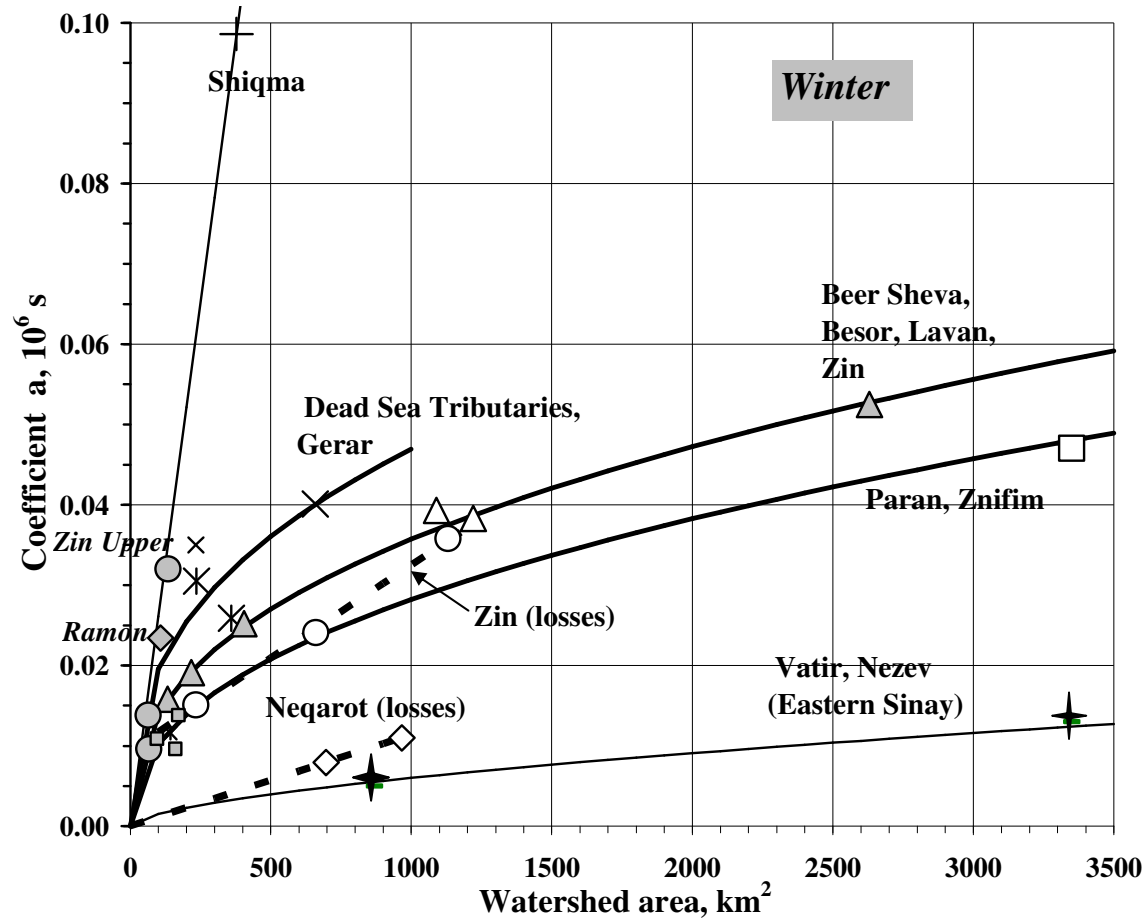
מבנה המודל האזורי

המודל ההידרולוגי מהווה הכללת מקדם a העונתית והאזורית כאשר בסיס המידע הוא הערכות קשר $V \sim Q$ (1) ומקדם a לכל התחנות ההידרומטריות בנגב. בטבלאות 3-4 סוכמו הערכות אלה: לכל תחנה תוך חלוקת האירועים לפי העונות הנ"ל (חורף וסתיו-אביב כעונות המעבר) הוצגו מספר זיהויה (את שם התחנה ראה בטבלה 1), שטח תחום התנקזותה, מספר הגאוויות בסדרה העונתית, ממוצע וסטיית התקן של נפחי הגאוויות, סטטיסטיקות של קשר (1) בין נפחי הגאוויות לבין ספיקות השיא (רגרסיה ליניארית), כאשר R - מקדם המתאם, S - השגיאה הממוצעת הריבועית, a - מקדם הקשר (מקדם הרגרסיה), $s(a)$ - שגיאת החישוב של מקדם הרגרסיה. יש לשים לב לערכים גבוהים למדי של מקדם המתאם שעולים על 0.8-0.9 (גבוהים הרבה יותר מאלה שהיו לפני החלוקה העונתית של סדרת הגאוויות). יוצאים מן הכלל כמה ערכי מקדם המתאם הנמוכים בעונות המעבר שמתייחסים למקרים יחידים של סדרות קצרות מאד (58120, צניפים), של תחנה 56140, רמון, עם תנאים המיוחדים של היוצרות הנגר במכתש רמון, או של תחנה 48155, ערוגות, עם מחסור מידע חמור. בתחנה זאת נמדד נפח הגאות הגדול בעיקר כ- 2.4 מלמ"ק כאשר ספיקת השיא היתה 66 מ"ק לשנייה, שמהווה רק 11% מכל משרעת ספיקות השיא המדודות (ב- 21.02.80 עבר שיטפון לא מדוד בתחנה עם ספיקת השיא 528 מ"ק לשנייה).

המודל מוצג כמערכת הקווים של מקדם a בהקשר לשטח תחום ההתנקזות של התחנה ובהתאם לאזורים השונים. החלוקה האזורית של הנגב נעשתה בהתאם למידת הצחיחות. הקווים המסוימים נבדלו גם לנחלים (קטעים) עם שיעור גדול של אבודי מי גאוויות באפיקים. המודל נבנה לכל העונה: חורף וסתיו-אביב (עונות המעבר) (ראה תרשימים 4-5 ונוסחאות בטבלה 5).

הגידול במקדם a ככל ששטח תחום ההתנקזות גדל נראה הגיוני לאור תהליכי הלוך הגאות שגורמים להקטנת ספיקת השיא לאורך מסלולי הזרימה, כאשר נפח הגאות אינו משתנה או קטן פחות יחסית. אי-תזמון תרומות היובלים גם מקטין את ספיקות השיא יחסית ומגדיל את מקדם a באתר שמנקז תחום גדול.

קשר בין מקדם a לשטח תחום ההתנקזות
באזורי הנגב בעונת החורף



הערה: הסימנים המוקטנים מציינים
הערכות משוערות של מקדם a

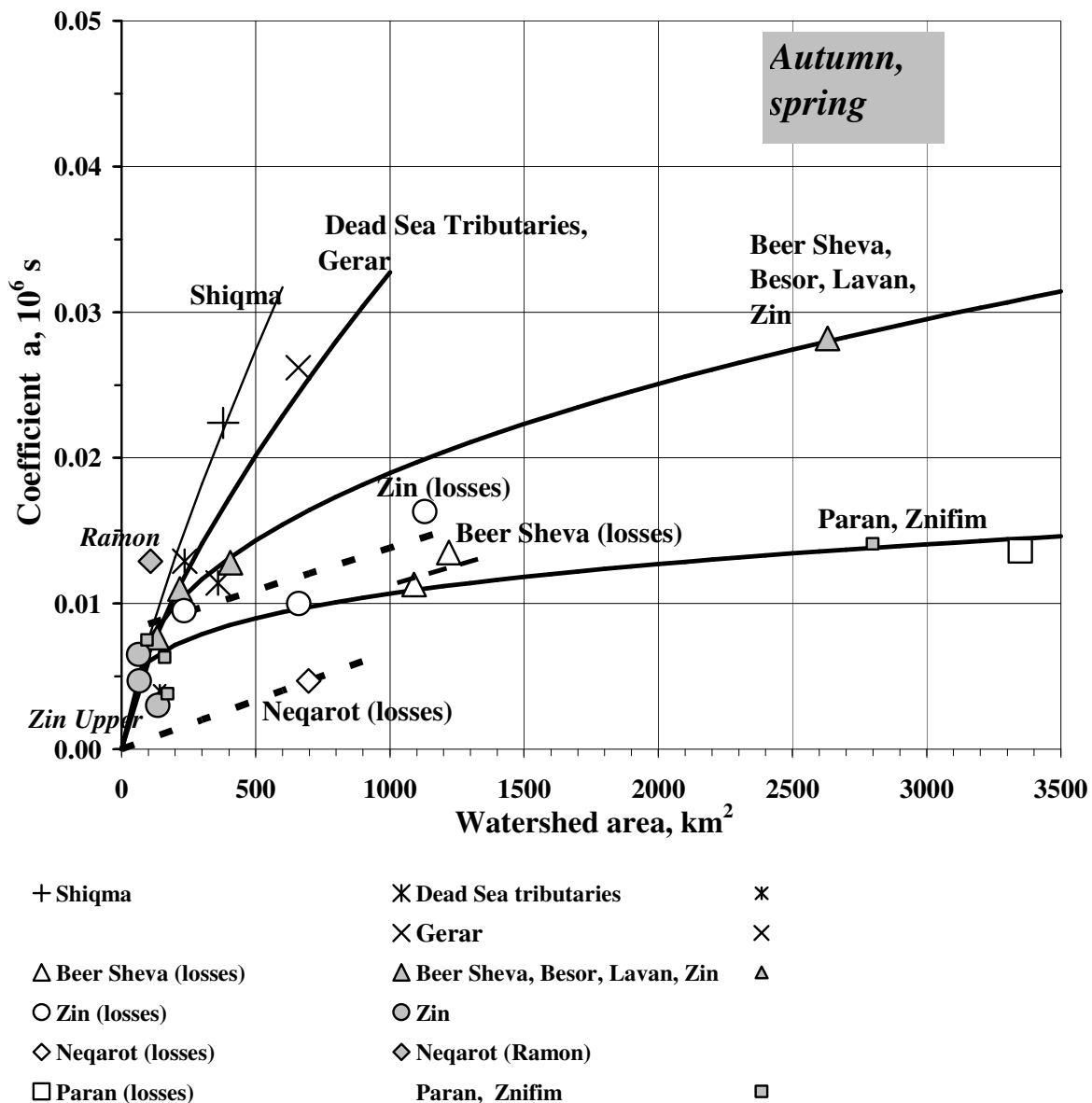
תרשים 4

הנגב מחולק לאזורים שכללים תחומי ההתנקזות של הנחלים הבאים:

- גרר ויובלי ים המלח,
- באר שבע, בשור, לבן וצין (מעלה האפיק ויובלים),
- פארן וצניפים,

- צין (קטעי האפיק הראשי בין תחנות מפל, משוש ועקרבם שבהם התגלו אבודים משמעותיים של מי הגיאוויות (שנציס וכו', 1997; Shentsis et. al., 1999),
- נקרות (לא כולל מכתש רמון), שבו אפיק ראשי ואפיקי מרבית היובלים מאופיינים ע"י שיעור גדול של אבודים (שנציס וכו', 1998; Shentsis et. al., 2002b).

קשר בין מקדם a לשטח תחום ההתנקזות באזורי הנגב בעונות המעבר



הערה: הסימנים המוקטנים מציינים
הערכות משוערות של מקדם a

לשם הבנת המודל ויישומו האפקטיבי להלן נעמוד על פירוש מבנה המודל באופן מפורט (שנציס, 2002).

חלוקה לשלושה האזורים הראשוניים משקפת את השפעת מידת הצחיחות שמתגלה בשינוי צורת ההידרוגרף, משך הגאות וכתוצאה מכך בגודל מקדם a (יחס נפח-ספיקת שיא). מקדם a קטן ככל שגדלה מידת הצחיחות מפני שקטן נפח הגאות ביחס לספיקת השיא הגבוהה, עקום דעיכה של הדרוגרף תלול יותר ומשך הגאויות קטן. בהתאמה, קווי הקשר בתרשימים 4-5 יורדים (לאותו שטח מתייחס מקדם a קטן יותר) בהקשר לגידול מידת צחיחות האזור.

Table 5: Formulae for calculation of coefficient a and mean square error S

Watersheds	Season	Coefficient a (10^6 sec)	Mean square error, S (MCM)
Shiqma	Winter	$a = 2.61 \cdot 10^{-4} F$	$S = 1.05 \cdot 10^{-2} F^{0.7}$
Gerar, Dead Sea Tributaries		$a = 3.40 \cdot 10^{-3} F^{0.38}$	
Beer Sheva, Besor, Lavan, Zin		$a = 2.20 \cdot 10^{-3} F^{0.40}$	
Paran, Znifim		$a = 1.35 \cdot 10^{-3} F^{0.44}$	$S = 1.60 \cdot 10^{-3} F^{0.9}$
Nezev, Vatir (Eastern Sinay)		$a = 0.95 \cdot 10^{-3} F^{0.60}$	-
Zin (losses)		$a = 2.31 \cdot 10^{-5} F + 0.0094$	$S = 2.50 \cdot 10^{-2} F^{0.45}$
Neqarot (losses)		$a = 1.14 \cdot 10^{-5} F$	$S = 0.20 \cdot 10^{-3} F$
Shiqma	Autumn, spring	$a = 1.90 \cdot 10^{-4} F^{0.80}$	$S = 2.90 \cdot 10^{-2} F^{0.5}$
Gerar, Dead Sea Tributaries		$a = 2.60 \cdot 10^{-3} F^{0.70}$	
Beer Sheva, Besor, Lavan, Zin		$a = 1.17 \cdot 10^{-3} F^{0.40}$	
Paran, Znifim		$a = 1.90 \cdot 10^{-3} F^{0.25}$	
Nezev, Vatir (Eastern Sinay)		-	-
Zin (losses)		$a = 0.58 \cdot 10^{-5} F + 0.0080$	$S = 1.10 \cdot 10^{-2} F^{0.5}$
Neqarot (losses)		$a = 0.67 \cdot 10^{-5} F$	-
Beer Sheva (losses)		-	$a = 0.76 \cdot 10^{-5} F + 0.0037$

Note: F is a watershed area, km^2 .

המעטפת העליונה של הקווים נקבעת בערך לפי תחנת נחל שקמה ליד ברור חיל (21130), שתחום התנקזותה משתרע באזור צחיח למחצה, ומאשרת את החוקיות המדוברת לעיל. על זאת מצביע גם את מיקום הקו התחתון ביותר שמשורטט בערך על סמך ערכי מקדם a (כיס נפח-ספיקת שיא) לגאויות הגדולות הבודדות שהופיעו בחורף 1975 בנחלים ותיר ונצב (טבלה 6). תחומי התנקזותם האלה משתרעים במזרח סיני עם אקלים מדברי קיצוני.

חיבור רגיונאלי של תחנות גרר ויובלי ים המלח והתייחסותן לקו הקשר האחיד נגרם ע"י מיקום קרוב יחסי בגרף של נקודות אלה (דלות מאוד במספרן בגלל מחסור המידע החמור) בניגוד להבדל מובהק בתנאים הידרולוגיים, אקלימיים וגיאולוגיים של היווצרות הגאוויות בשניהם האזורים. תוך פתרון זה ראשוני (ופשרני למדי) יש צורך להפרידם של אזורים אלה באנליזה יותר מפורטת על בסיס הנתונים שיושלים.

בקטעי אפיק נחל צין בין תחנות מפל, משוש ועקרבים מתקיים שיעור גדול של אבודי מי גאוויות (שנציס וכו', 1997א; Shentsis et. al., 1999). מאחר שאבודים מקטינים את נפח הגאות במידה רבה יותר מאשר את ספיקת השיא, קטן ערכו של מקדם a בתחנות אלה וקו הקשר המתאים יורד יחסית (תרשימים 4-5).

טבלה 6 : נתוני הגאוויות שנמדדו בסיני

מקדם a	מאפייני הגאות			שטח תחום ההתנקזות, קמ"ר	תחנה	
	נפח, מלמ"ק	ספיקת השיא, מ"ק לשנייה	תאריך		שם	זיהוי
0.013	15.6	1170	20.02.75	3350	ותיר	62180
0.005	0.6	126	20.02.75	869	נצב	64180
0.075	124	1650	20-26.02.75	18150	אל עריש	25180

מיקום עוד יותר נמוך של הקו הקשר לנחל נקרות נגרם ע"י שיעור האבודים הגבוה הן באפיק הראשי והן במרבית היובלים. האבודים המשמעותיים נגרמים כנראה גם ע"י הימצאות העתק ראשי (ראה מפה גיאולוגית של האזור) לאורכו זורם נחל רמון בקרבת יציאתו ממכתש רמון. כתוצאה מכך רק בודדות מגאוויות נחל רמון מגיעות לנחל נקרות ורובן אובדות (שנציס וכו', 1998א; שנציס, 2002, Shentsis et. al., 2002b). הקו המשוער עבור נחל נקרות שהוערך רק לפי תחנה נקרות עליון (שטח תחום התנקזותה 697 קמ"ר) מעודכן בחורף ע"י תוספת נתון בודד של גאות נדירה שהגיעה למאגר נקרות ליד עין יהב ביום 22.12.93. נפח הגאות הוערך כ- 3.0-3.5 מלמ"ק וספיקת השיא באתר הנמצא 1.6 ק"מ במעלה הוערכה כ- 300 מ"ק לשנייה (מ. וולפצון, י. גרינבוים, בע"פ). אומדן מקדם a הוא 0.011 ובהתאם לשטח תחום התנקזות של נקרות - מאגר עין יהב (976 קמ"ר) הוא יוצר את הנקודה המשוערת הנוספת שמתאימה לתחנה נקרות עליון במידה מספקת (ראה תרשים 4).

חריג מעניין מהמהלך הכללי של הקווים האזוריים בתרשים 4, שעוקב אחר מידת הצחיחות או שיעור האבודים, נמצא לתחנות צין עליון (55106) ורמון (56140): בחורף מקדם a לתחנות אלה גבוה יחסית והנקודות המתאימות עלות מעל הקווים של צין ונקרות. תחומי ההתנקזות של שתי תחנות אלה שכנים וגובלים זה לזה, וראשיהם מגיעים להר רמון שהוא הגבוה ביותר בהרי הנגב. נוכח העובדות (1) שתנאי היווצרות הנגר בתחום צין עליון אינם שונים משמעותית מאלה בתחומי צין תחתונים יותר (למשל, בצין – מפל או בצין – משוש) ו(2) שמכתש רמון ותחום ההתנקזות של צין עליון שונים לגמרי בגיאולוגיה ובליטולוגיה, סביר לחפש את הסבר אחר לתופעה זו. דר' אריה בן-צבי העלה את ההיפותזה כי הגורם לחריגה הנ"ל, לפיה נפח הגאות

גדול ביחס לספיקת השיא, צריך להיות מטאורולוגי והגיוני להסביר תופעה זו על ידי הבדלים בשכיכות יחסי של עוצמות הגשם: החלק היחסי של הגשם רב העוצמה בישראל קטן עם עלית הרום הטופוגרפי (Sharon and Kutiel, 1986). הנתונים בטבלה 7 מאשרים את אפקט זה ומעידים כי בחורף הוא יותר מובהק. ירידת הגשמים בעלי עוצמות הגשם הנמוכות יחסית בחורף גורמת להקטנת ספיקות השיא מתחומי ההתנקזות הגבוהים של צין עליון ורמון ומסבירה את הגידול היחסי של מקדם a ואת מיקום הנקודות לתחנות אלה מעל לקווים האזוריים המתאימים. יש לציין כי רק בשתי התחנות הגבוהות האלה ערכי מקדם a באביב קרובים לאלה בחורף ורק בשתי התחנות הגבוהות האלה נקודות אביב וחורף בגרף הקשר $V = f(Q)$ מתייחסים לאותו קו, בכך שבכל התחנות האחרות בנגב לעונות המעבר (סתיו ואביב) קו אחיד ונפרד מקו החורף (נספח ג'). כנראה בתחומי ההתנקזות הגבוהים של צין עליון ורמון הגשמים בעלי עוצמות נמוכות נמשכים לרדת גם באביב. בסתיו האפקט הני"ל פוחת ונצפה רק עבור תחנת רמון, בגלל שאולי בצין עליון בסתיו השפעת השיעור הגדול של אבודים גוברת על כל אפקט אחר.

טבלה 7: החלק היחסי של הגשם רב העוצמה (מעל 20 מ"מ לשעה) מכל הגשם

בתחנות מטאורולוגיות הנבחרות בישראל (לפי Sharon and Kutiel, 1986)

תחנה	נ.צ.	רום הגובה, מ'	החלק היחסי של הגשם רב העוצמה (מ- 20 מ"מ לשעה ומעלה)	
			בחורף	בסתיו
מצפה רמון	181/502	860	6%	33%
להב	187/587	445	9-10%	30%
באר שבע	180/573	280		
דורות	166/602	110	16-17%	37%
בארי	151/592	65		
אילת	196/386	35	19%	67%

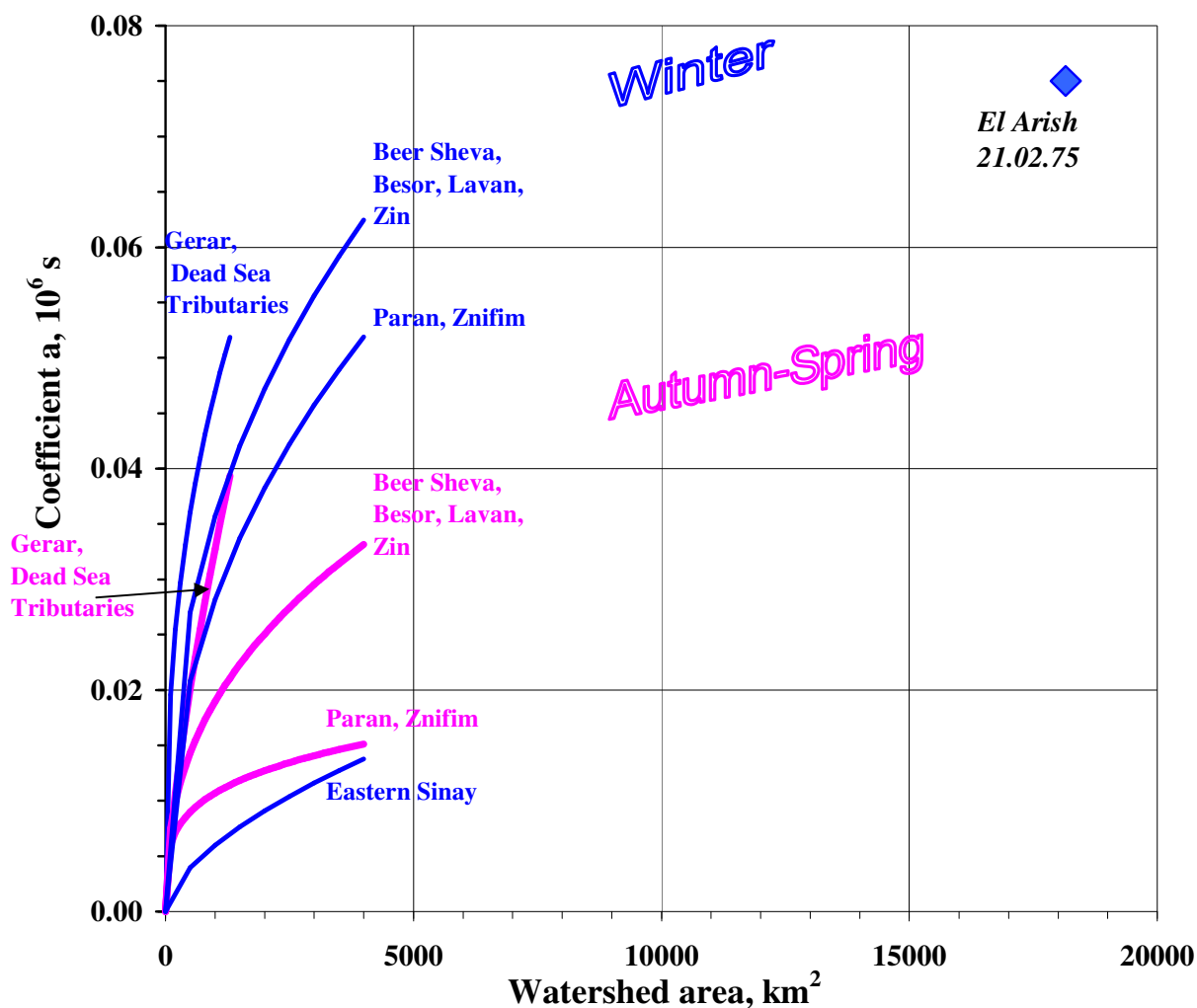
באופן כזה נבנה מודל אזורי שמתאר את היחס בין נפח הגאות לספיקת השיא (מקדם a) כמעט בכל אתר בנגב. מקדם a גדל בדרך כלל עם הגדלת שטח תחום ההתנקזות, קטן עם עלית מידת הצחיחות וקטן בקטעי נחל בהם שיעור אבודים גדול. השוואת מערכות קווי הקשר בעונות השונות (תרשים 6) מראה שהקווים החורפיים גבוהים מהקווי סתיו-אביב, כלומר בחורף מופיעים נפחים גדולים יותר ביחס לאותם ספיקות השיא.

הסיבה העיקרית לכך היא הבדלים עונתיים של המערכות הסינופטיות וסופות הגשם וכתוצאה מכך אפיונים עונתיים של הגאוויות בנגב.

למערכת קווי הקשר החורפיים (תרשים 6) הוספה הגאות הגדולה ביותר שנמדדה ע"י השרות ההידרולוגי. בגאות זאת, שהופיעה בתחנה אל-עריש (צפון-מערב סיני, ראה מפה בתרשים 1) בפברואר 1975 (20-26.02.75), עבר נפח נגר של 124 מלמ"ק עם ספיקת שיא של 1650 מ"ק לשנייה (טבלה 6). מקדם a לגאות זו (יחס בין הנפח לספיקת השיא) הוערך כ- 0.075 וכנגד שטח ההתנקזות של התחנה 18,150 קמ"ר יוצר את הנקודה החריגה בגרף. טווח אקסטרפולציה משמעותי (מ- 3,500 קמ"ר עד ל- 18,000 קמ"ר) מכביד את פירוש הנקודה הזאת במסגרת המודל, אך אפשר לקבל את דעתו של דר' אריה בן-צבי ולייחס נקודה זאת להמשך קו פארן בחורף. הנחה זו מאושרת ע"י העובדה שתחומי ההתנקזות של פארן ואל-עריש משתרעים בסיני וגובלים זה בזה ולא סותרת את המודל האזורי שנבנה.

מקדם a בהקשר לשטח תחומי ההתנקזות

באזורי הנגב



תרשים 6

בדיקת יעילות המודל ע"י השוואת נפחי גאויות צפויות מצביעה על הבדלים ניכרים בין התוצאות לאזורים שונים, לשטחי תחום התנקזות רב-גוניים ולעונות שונות. כנראה

בתרשימים 7-8 שמתארים כמה דוגמאות מייצגות של החישוב, באזור גרר ויובלי ים המלח (גרפים a) לספיקת שיא של 200 מ"ק לשנייה מתאים בסתיו-אביב נפח גאות של 2.1 מלמ"ק משטח 200 קמ"ר או 6.6 מלמ"ק משטח 1000 קמ"ר ובחורף נפחים אלה מוערכים כ- 5.1 או 9.4 מלמ"ק, בהתאמה. באזור בשור, באר שבע, לבן וצין (במעלה ויובלים) (גרפים b) לספיקת שיא של 200 מ"ק לשנייה מתאים בסתיו-אביב נפח גאות של 2.0 מלמ"ק משטח 200 קמ"ר או 5.0 מלמ"ק משטח 2000 קמ"ר ובחורף נפחים אלה מוערכים כ- 3.7 או 9.4 מלמ"ק, בהתאמה. באפיק ראשי של נחל צין (אזור עם שיעור גדול של אבודים) (גרפים c) לספיקת שיא של 400 מ"ק לשנייה מתאים בסתיו-אביב נפח גאות של 3.7 מלמ"ק משטח 200 קמ"ר או 5.5 מלמ"ק משטח 1000 קמ"ר ובחורף נפחים אלה מוערכים כ- 5.6 או 13.0 מלמ"ק, בהתאמה.

השוואת האזורים השונים (גרפים e-f) מציגה גם את ההבדלים הניכרים בתוצאות החישוב. כך ספיקת שיא של 400 מ"ק לשנייה של הגאות שנוצרה משטח 1000 קמ"ר מתאימה בסתיו-אביב לנפח של 13.1 מלמ"ק באזור גרר ויובלי ים המלח או 5.5 מלמ"ק בתחום האבודים הגדולים של נחל צין, ובחורף נפחים אלה מוערכים כ- 18.8 או 13.0 מלמ"ק, בהתאמה. תוצאות אלה מעידות על יעילות ורגישות של המודל האזורי שמשמש כאן.

הערכת נפח הגאות בטווח הסביר

המודל נועד להעריך נפח הגאות בכל אתר מדוד (תחנה הידרומטרית) או בלתי-מדוד בנגב כספיקת השיא כפול מקדם a (משוואה 1). הערכת נפח הגאות ניתנת לא רק כערך מסוים אלא בטווח סביר תוך שימוש בשתי השגיאות הבאות:

1. שגיאה סטטיסטית של הערכת מקדם a באתר,
2. שגיאה סטטיסטית של קשר (רגרסיה ליניארית) בין נפחי הגאות לבין ספיקות השיא באתר.

באתר מדוד (תחנה הידרומטרית עם סדרת הנתונים ההיסטורית) השגיאה של הערכת מקדם a כמקדם רגרסיה ליניארית תלויה במספר הגאותות שבחישוב ובמקדם המתאם של הקשר בין ספיקות השיא לנפחי הגאותות. שגיאה זו הוערכה בעת חישוב הרגרסיה וההערכות לכל התחנות (ראה $s(a)$ בטבלאות 3-4). לשם הערכת השגיאה של מקדם a באתר בלתי-מדוד מוצעת הנוסחה

$$s(a) = 0.0657 a \quad (4)$$

כאשר a – מקדם הקשר שהוערך לפי המודל. הקשר מוצג בצורה גראפית בתרשים 9 (מקדם המתאם 0.91).

יש להדגיש כי באתר בלתי-מדוד מופיע עוד רכיב נוסף של שגיאת מקדם a בגלל הכללתו האזורית והעונתית במסגרת המודל. לפי שנציס (2002) השגיאה הריבועית הממוצעת S_{model} של הערכת מקדם a ע"י המודל שווה ל- 0.0020 לעונת החורף ו- 0.0018 לעונות המעבר (סתיו-אביב). השגיאה חושבה כשורש מסטייה ממוצעת ריבועית של הנקודות (ערכי מקדם a לתחנות השונות) מקווי המודל.

באופן כזה, אם באתר מדוד (תחנה הידרומטרית) השגיאה הראשונה המדוברת (שגיאת חישוב a) מוערכת כשגיאת מקדם הרגרסיה הליניארית $s(a)$, אז באתר בלתי-מדוד שגיאה זאת מסומנת כ- $s^*(a)$ ומחושבת כחיבור של שני רכיבים:

$$s^*(a) = (s(a)^2 + s_{\text{model}}^2)^{0.5} \quad (5)$$

במשוואה האחרונה שגיאה $s(a)$ הוערכה לפי נוסחה (4) והערכות s_{model} ניתנו לעיל.

השגיאה השנייה המדוברת לעיל שמשפיעה על טווח של ערך V המחושב (לא חד-ערכי) במודל הוא שגיאה ממוצעת ריבועית של הקשר בין ספיקות השיא לבין נפחי הגאוויות.

שגיאה זו מעריכה את פיזור (deviation) הנקודות סביב קו הקשר (נספח ג') והוערכה בעת חישוב הקשרים כרגרסיה ליניארית לכל התחנה (ראה S בטבלאות 3-4). פיזור הנקודות סביב קו הקשר נגרם ע"י השפעת הגורמים האחרים (מלבד ספיקת השיא והעונה) על נפח הגאות. לכן שגיאת הקשר S מתאימה לפירוש פיזיקאלי תוך התחשבות בעונתיות, אזוריות, שטח תחום ההתנקזות ושיעור גדול של אבודי מים באפיק (כפי שנמצאה קודם עבור מקדם a). מערכת קווי הקשר (תרשימים 10-11) והנוסחאות המתאימות (טבלה 5) מאפשרים להעריך שגיאה S בכל אתר בלתי-מדוד בנגב.

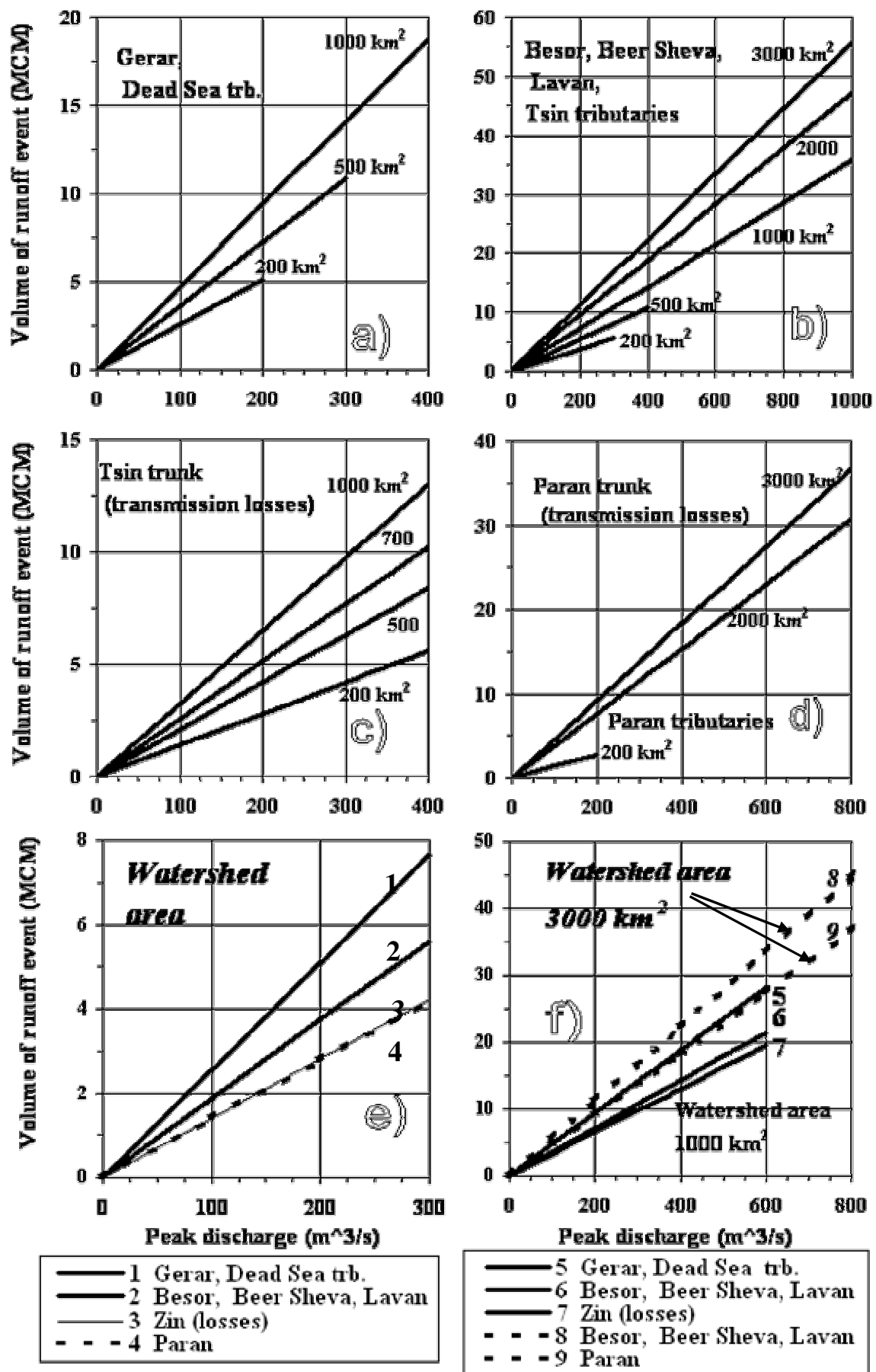
כתוצאת הדיווח לעיל, אפשר להרחיב את משוואה 1 ולהציג את נפח הגאות המחושב במרווח הסביר בצורה הבאה:

עבור אתר מדוד (תחנה הידרומטרית)

$$V = [a \pm k_p\% s(a)] Q \pm k_p\% S \quad (6)$$

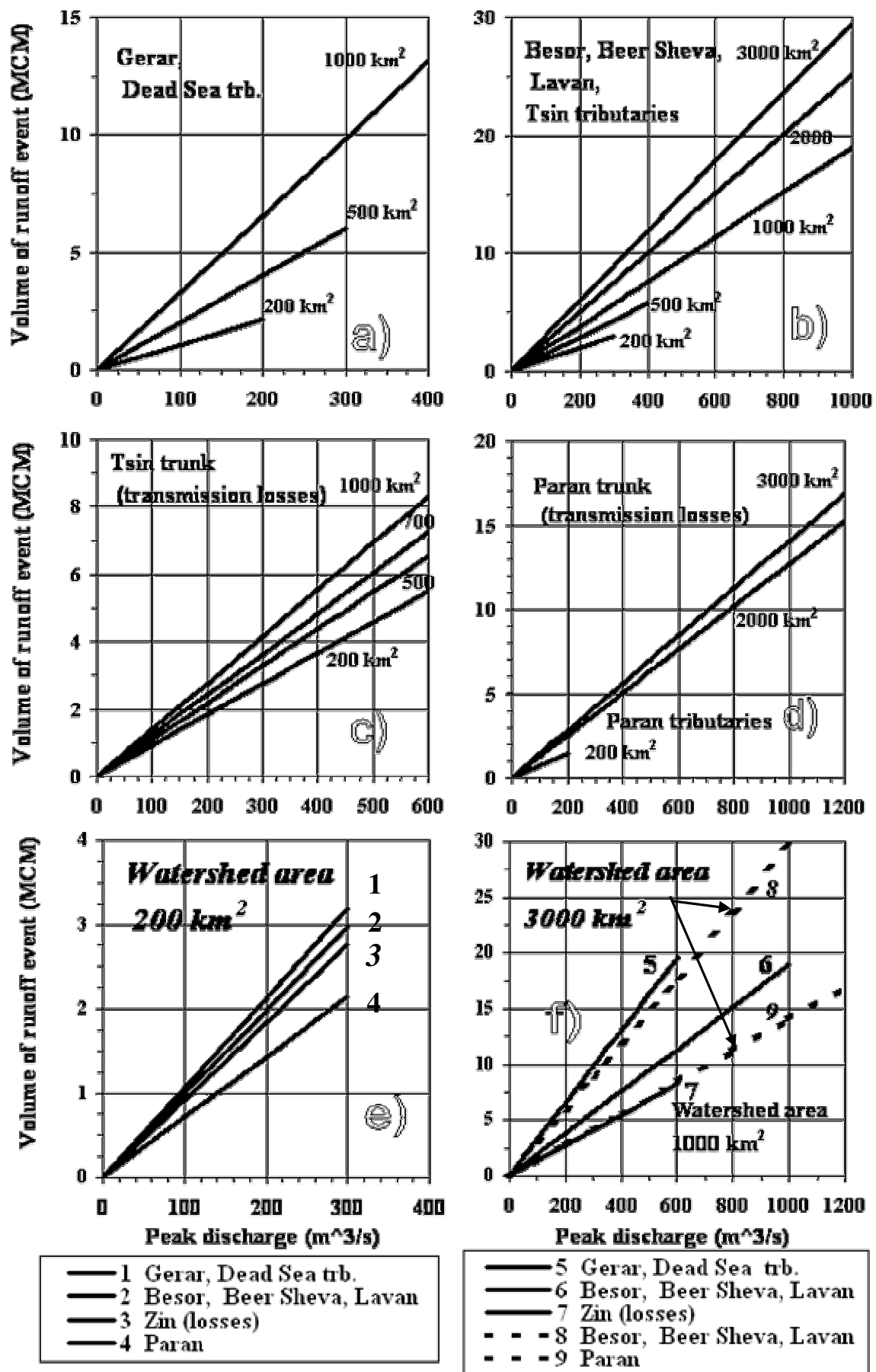
כאשר ערכי מקדם a , שגיאתו $s(a)$ ושגיאת הקשר S מוערכים לפי נתוני המדידות בתחנה ההידרומטרית וניתנים לחישוב בטבלאות 3-4

קשר $V=f(Q)$ לפי המודל האזורי בנגב בחורף



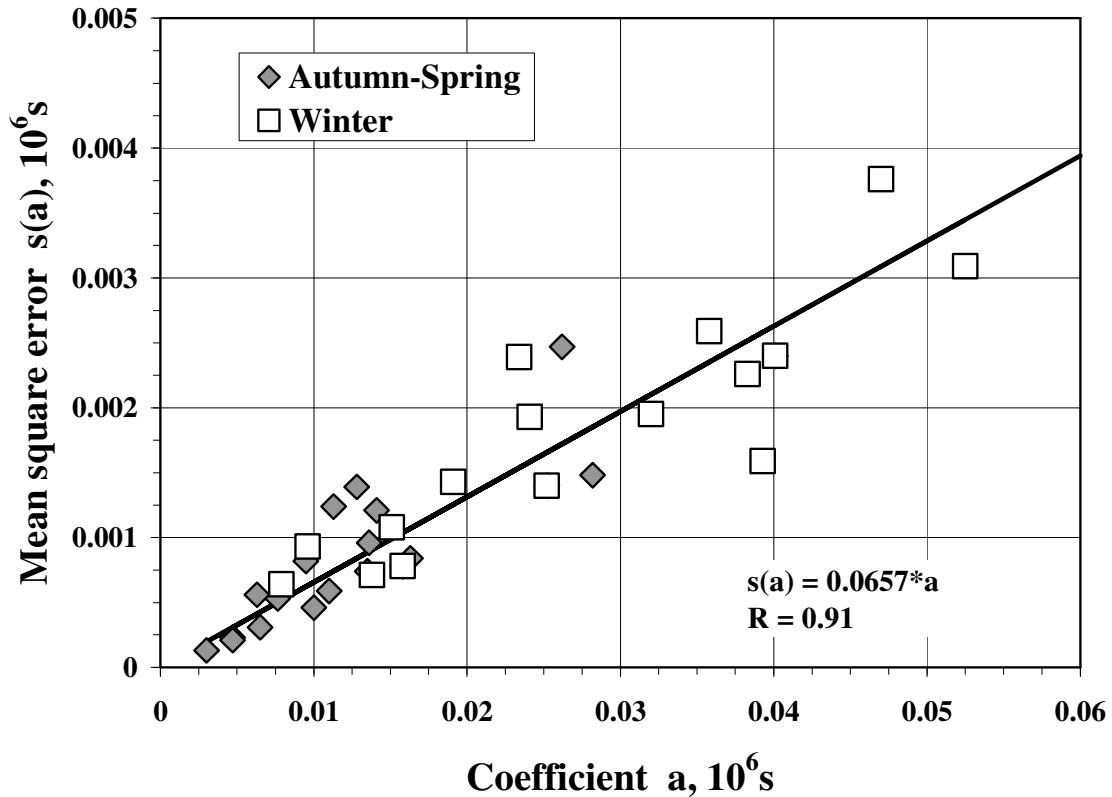
תרשים 7

קשר $V=f(Q)$ לפי המודל האזורי בנגב בסתיו ואביב



תרשים 8

קשר בין מקדם a לבין שגיאת חישובו $s(a)$



תרשים 9

עבור אתר בלתי-מדוד

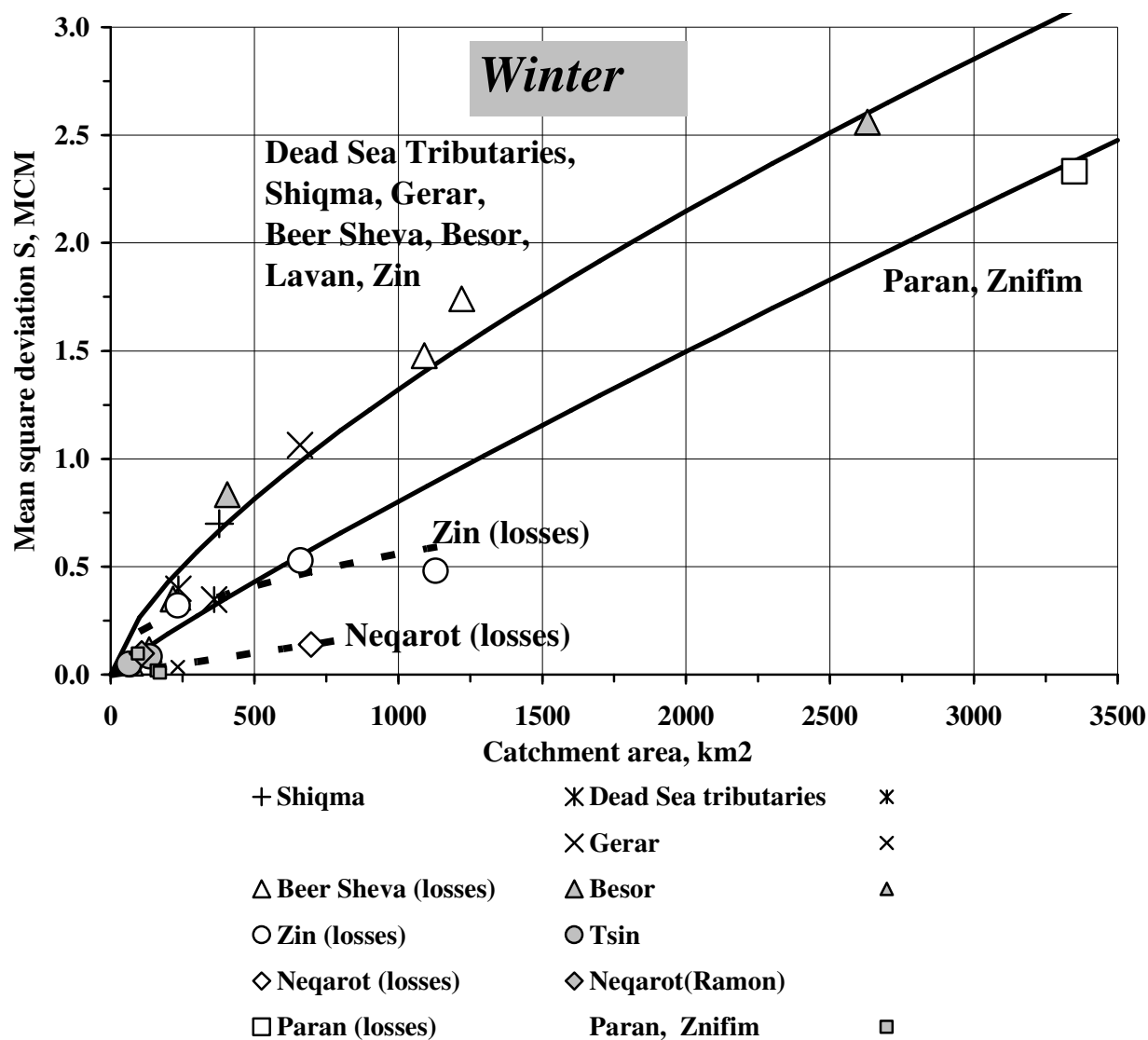
$$V = [a \pm k_{p\%} s^*(a)] Q \pm k_{p\%} S \quad (7)$$

כאשר המקדם a ושגיאת הקשר S מוערכים לפי המודל האזורי העונתי (תרשימים 4-5, 10-11, או טבלה 5) ושגיאה $s^*(a)$ מחושבת לפי משוואות 5-6.

כאן $k_{p\%}$ - quintile of $p\%$ probable interval (תוך התחשבות בפונקציה ההסתברותית הנורמאלית).

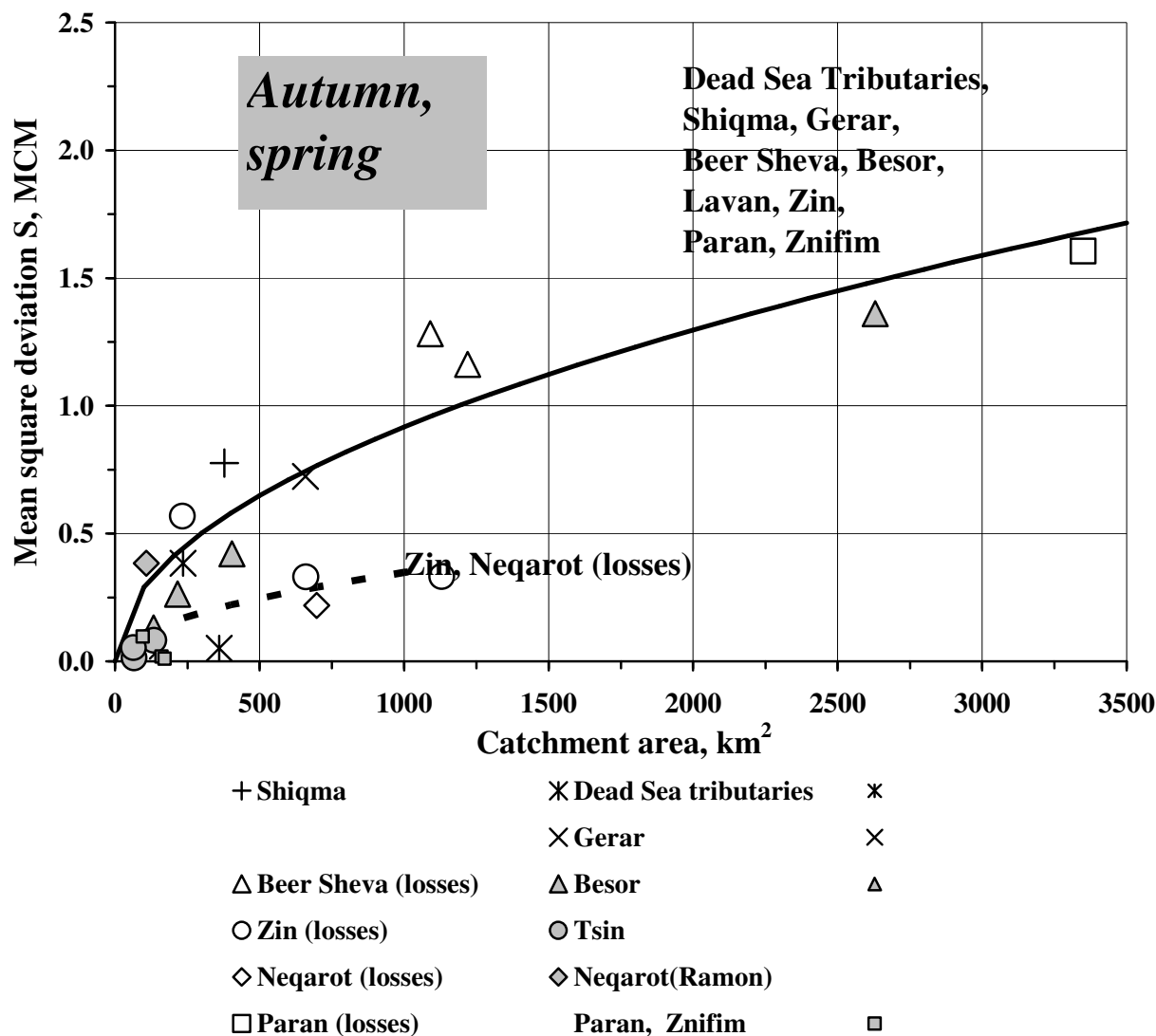
כאיור השיטה, בתרשים 12 הוצגו תוצאות יישום המודל לכמה תחנות הידרומטרית מייצגות. כנראה בתרשים, לכל אחת מהתחנות קו הרגרסיה שהוערך לפי נתוני המדידות קרוב לקו הקשר המחושב לפי המודל או לפחות נמצא בתחום הסביר שהוערך כבאתר בלתי-מדוד.

קשר בין S לשטח תחומי ההתנקזות בנגב בחורף
(כאשר S - שגיאה ממוצעת ריבועית של קשר $V=f(Q)$)



הערה: הסימנים המוקטנים מציינים
הערכות משוערות של מקדם a

קשר בין S לשטח תחומי ההתנקזות בנגב בעונות המעבר
(כאשר S - שגיאה ממוצעת ריבועית של קשר $V=f(Q)$)



הערה: הסימנים המוטקנים מייצגים
הערכות משוערות של מקדם a

השוואת קווי המודל האזורי בנגב

עם קווי רגרסיה $V=a \cdot Q$ לפי המדידות בתחנות נבחרות

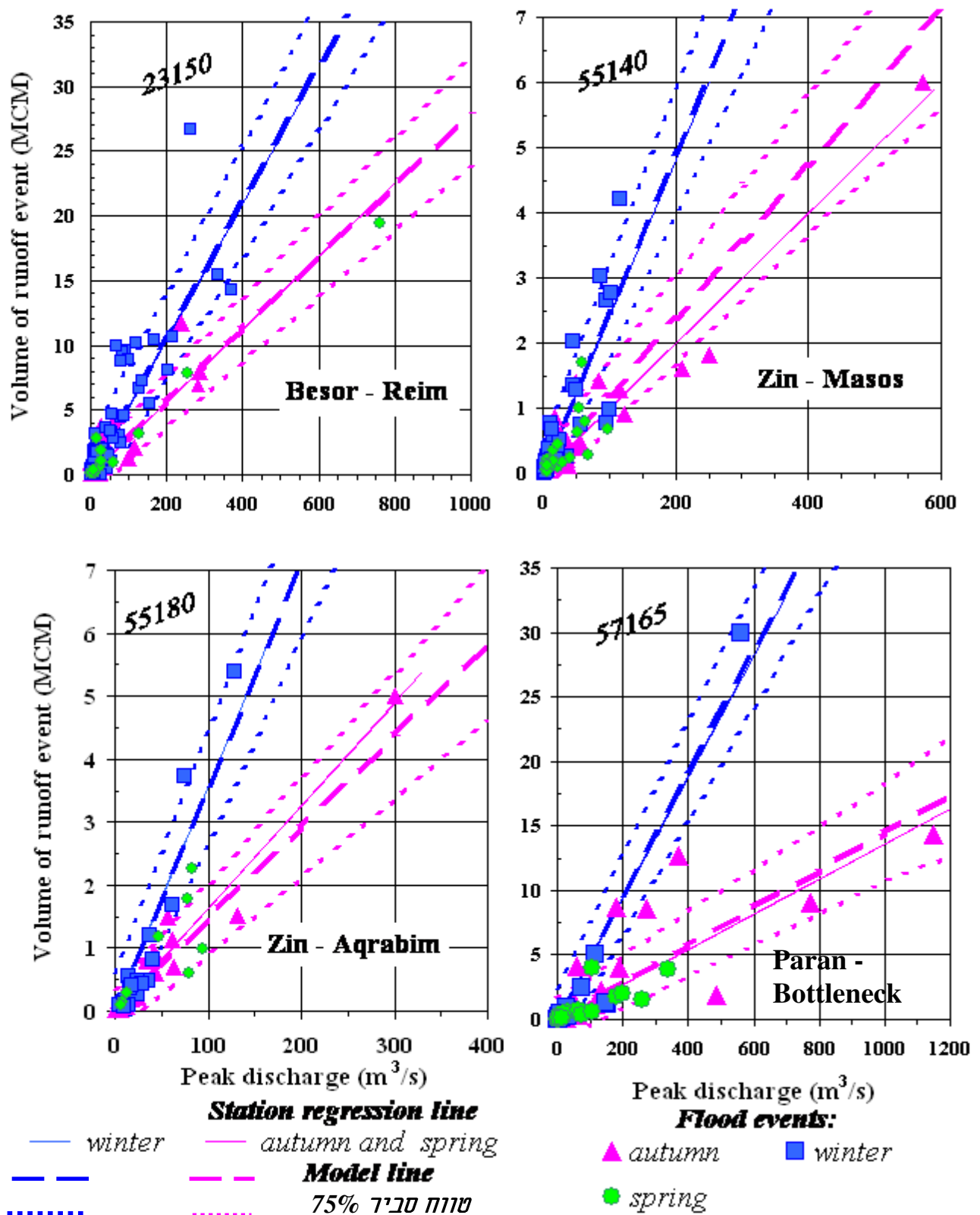


Table 8 Regional estimations of runoff event volume and 75% confidence interval as a function of peak discharge in the Winter season (MCM)

Region/ Watershed	Area, km ²	a _{model} , 10 ⁶ sec	Volume	Discharge (m ³ /sec)								
				50	100	200	300	400	600	800	1000	1200
Gerar, Dead Sea trb.	200	0.0255	Calc	1.27	2.55	5.09	7.64	10.18	15.28	20.37	25.46	
			Min	0.71	1.85	4.14	6.42	8.70	13.27	17.83	22.39	
			Max	1.83	3.24	6.05	8.86	11.67	17.29	22.91	28.53	
	500	0.0361	Calc	1.80	3.61	7.21	10.82	14.43	21.64	28.85	36.07	
			Min	0.83	2.48	5.77	9.07	12.36	18.95	25.54	32.13	
			Max	2.77	4.73	8.65	12.57	16.49	24.33	32.17	40.01	
	1000	0.0469	Calc	2.35	4.69	9.39	14.08	18.77	28.16	37.55	46.93	
			Min	0.84	3.00	7.33	11.65	15.97	24.62	33.27	41.91	
			Max	3.85	6.38	11.45	16.51	21.57	31.70	41.83	51.95	
Besor, Beer Sheva, Lavan, Upper Zin and trb.	200	0.0187	Calc	0.93	1.87	3.73	5.60	7.47	11.20	14.93	18.66	
			Min	0.39	1.20	2.83	4.46	6.08	9.34	12.60	15.85	
			Max	1.48	2.53	4.64	6.74	8.85	13.05	17.26	21.47	
	500	0.0270	Calc	1.35	2.70	5.40	8.10	10.80	16.20	21.60	27.00	
			Min	0.40	1.62	4.05	6.48	8.91	13.77	18.63	23.49	
			Max	2.30	3.78	6.76	9.73	12.70	18.64	24.58	30.52	
	1000	0.0357	Calc	1.79	3.57	7.14	10.71	14.28	21.43	28.57	35.71	
			Min	0.31	1.94	5.20	8.46	11.72	18.24	24.76	31.28	
			Max	3.26	5.20	9.09	12.97	16.85	24.61	32.38	40.14	
	2000	0.0472	Calc	2.36	4.72	9.45	14.17	18.89	28.34	37.78	47.23	
			Min	0.03	2.90	6.56	10.91	15.26	23.96	32.66	41.37	
			Max	4.69	7.24	12.34	17.43	22.52	32.71	42.90	53.09	
	3000	0.0556	Calc	2.78	5.56	11.12	16.68	22.25	33.37	44.49	55.61	66.74
			Min	0.00	2.29	7.43	12.58	17.72	28.01	38.29	48.58	58.86
			Max	5.84	8.83	14.81	20.79	26.77	38.73	50.69	62.65	74.61
Zin (losses)	200	0.0140	Calc	0.70	1.40	2.80	4.21	5.61	8.41	11.22	14.02	
			Min	0.32	0.91	2.09	3.26	4.44	6.80	9.15	11.51	
			Max	1.08	1.90	3.52	5.15	6.77	10.03	13.28	16.53	
	500	0.0210	Calc	1.05	2.10	4.19	6.29	8.38	12.57	16.76	20.95	
			Min	0.51	1.44	3.29	5.14	6.99	10.68	14.38	18.08	
			Max	1.58	2.75	5.09	7.43	9.77	14.46	19.14	23.82	
	700	0.0256	Calc	1.28	2.56	5.11	7.67	10.23	15.34	20.46	25.57	
			Min	0.67	1.82	4.11	6.40	8.69	13.28	17.87	22.45	
			Max	1.89	3.30	6.12	8.94	11.76	17.40	23.05	28.69	
	1000	0.0325	Calc	1.63	3.25	6.50	9.75	13.00	19.50	26.00	32.50	
			Min	0.92	2.40	5.35	8.30	11.26	17.17	16.36	28.99	
			Max	2.33	4.10	7.65	11.20	14.74	21.83	35.64	36.01	
	1200	0.0371	Calc	1.86	3.71	7.42	11.14	14.85	22.27	29.70	37.12	
			Min	1.09	2.79	6.18	9.57	12.97	19.76	26.55	33.33	
			Max	2.62	4.64	8.67	12.70	16.73	24.79	32.85	40.91	

Table 8 Regional estimations of runoff event volume and 75% confidence interval as a function of peak discharge in the Winter season (MCM)

(Continued)

Region/ Watershed	Area, km ²	a _{model} , 10 ⁶ sec	Volume	Discharge (m ³ /sec)								
				50	100	200	300	400	600	800	1000	1200
Negarot (losses)	500	0.0057	Calc	0.29	0.57	1.14	1.71	2.28	3.42	4.56	5.70	
			Min	0.08	0.26	0.63	0.99	1.35	2.17	2.90	3.53	
			Max	0.49	0.88	1.65	2.43	3.21	4.67	6.22	7.87	
	700	0.0080	Calc	0.40	0.798	1.596	2.394	3.192	4.788	6.384	7.98	
			Min	0.15	0.45	1.03	1.62	2.21	3.52	4.70	5.73	
			Max	0.64	1.15	2.16	3.17	4.17	6.06	8.07	10.23	
	1000	0.0114	Calc	0.57	1.14	2.28	3.42	4.56	6.84	9.12	11.4	
			Min	0.26	0.72	1.65	2.57	3.49	5.53	7.38	9.03	
			Max	0.88	1.56	2.91	4.27	5.63	8.15	10.86	13.77	
	1600	0.0182	Calc	0.91	1.824	3.648	5.472	7.296	10.94	14.59	18.24	
			Min	0.47	1.27	2.85	4.44	6.03	9.52	12.69	15.55	
			Max	1.35	2.38	4.44	6.50	8.56	12.37	16.49	20.93	
Paran	200	0.0139	Calc	0.69	1.39	2.78	4.17	5.56	8.34	11.11	13.89	
			Min	0.39	0.98	2.14	3.31	4.47	6.81	9.14	11.47	
			Max	0.99	1.80	3.41	5.03	6.64	9.86	13.09	16.32	
	500	0.0208	Calc	1.04	2.08	4.16	6.24	8.32	12.47	16.63	20.79	
			Min	0.49	1.40	3.24	5.07	6.90	10.57	14.24	17.91	
			Max	1.59	2.75	5.08	7.40	9.73	14.38	19.03	23.68	
	1000	0.0282	Calc	1.41	2.82	5.64	8.46	11.28	16.92	22.56	28.21	
			Min	0.47	1.74	4.29	6.83	9.38	14.47	19.56	25.03	
			Max	2.35	3.90	6.99	10.09	13.19	19.38	25.57	41.39	
	2000	0.0383	Calc	1.91	3.83	7.65	11.48	15.31	22.96	30.61	38.26	45.92
			Min	0.25	2.01	5.51	9.01	12.51	19.52	26.52	33.53	40.54
			Max	3.57	5.65	9.80	13.95	18.10	26.40	34.70	43.00	51.30
	3000	0.0457	Calc	2.29	4.57	9.15	13.72	18.29	27.44	36.59	45.74	54.88
			Min	0.00	2.06	6.27	10.48	14.69	23.11	31.53	39.95	48.37
			Max	4.62	7.09	12.03	16.97	21.90	31.78	41.65	51.52	61.40
	4000		Calc	2.60	5.19	10.38	15.57	20.76	31.15	41.53	51.91	62.29
			Min	0.00	2.00	6.79	11.59	16.38	25.97	35.56	45.14	54.73
			Max	5.59	8.38	13.97	19.56	25.15	36.32	47.50	58.67	69.85

Table 9 Regional estimations of runoff event volume and 75% confidence interval as a function of peak discharge in the Autumn and Spring seasons (MCM)

Region/ Watershed	Area, km ²	a _{model} , 10 ⁶ sec	Volume	Discharge (m ³ /sec)								
				50	100	200	300	400	600	800	1000	1200
Gerar, Dead Sea trb.	200	0.0106	Calc	0.53	1.06	2.12	3.18	4.24	6.37	8.49	10.61	
			Min	0.02	0.45	1.32	2.18	3.05	4.78	6.50	8.23	
			Max	1.04	1.67	2.93	4.18	5.44	7.96	10.47	12.99	
	500	0.0201	Calc	1.01	2.01	4.03	6.04	8.06	12.09	16.12	20.15	
			Min	0.25	1.14	2.93	4.72	6.50	10.08	13.66	17.24	
			Max	1.77	2.89	5.13	7.37	9.61	14.10	18.58	23.06	
	1000	0.0327	Calc	1.64	3.27	6.55	9.82	13.09	19.64	26.19	32.73	
			Min	0.58	2.07	5.06	8.05	11.04	17.02	23.01	28.99	
			Max	2.70	4.47	8.03	11.59	15.14	22.25	29.37	36.48	
Besor, Beer Sheva, Lavan, Upper Zin and trb.	200	0.0099	Calc	0.50	0.99	1.98	2.97	3.96	5.94	7.93	9.91	
			Min	0.00	0.39	1.18	1.98	2.77	4.36	5.96	7.55	
			Max	1.00	1.60	2.78	3.97	5.15	7.52	9.90	12.27	
	500	0.0143	Calc	0.72	1.43	2.87	4.30	5.73	8.60	11.47	14.34	
			Min	0.00	0.58	1.81	3.03	4.26	6.71	9.17	11.62	
			Max	1.47	2.29	3.93	5.57	7.21	10.49	13.77	17.05	
	1000	0.0190	Calc	0.95	1.90	3.79	5.69	7.58	11.37	15.17	18.96	
			Min	0.00	0.76	2.43	4.10	5.78	9.13	12.47	15.82	
			Max	1.98	3.03	5.15	7.27	9.39	13.62	17.86	22.10	
	2000	0.0251	Calc	1.25	2.51	5.01	7.52	10.03	15.04	20.06	25.07	
			Min	0.00	0.96	3.22	5.48	7.74	12.26	16.78	21.31	
			Max	2.67	4.05	6.80	9.56	12.31	17.82	23.33	28.84	
	3000	0.0295	Calc	1.48	2.95	5.90	8.86	11.81	17.71	23.62	29.52	35.43
			Min	0.00	1.10	3.78	6.47	9.15	14.52	19.89	25.26	30.63
			Max	3.20	4.81	8.03	11.25	14.47	20.91	27.34	33.78	40.22
Zin (losses)	200	0.0092	Calc	0.46	0.92	1.83	2.75	3.66	5.50	7.33	9.16	
			Min	0.21	0.57	1.29	2.01	2.73	4.18	5.62	7.07	
			Max	0.71	1.27	2.37	3.48	4.59	6.81	9.03	11.25	
	500	0.0109	Calc	0.55	1.09	2.18	3.27	4.36	6.54	8.72	10.90	
			Min	0.20	0.65	1.54	2.43	3.32	5.11	6.90	8.68	
			Max	0.89	1.53	2.82	4.11	5.40	7.97	10.54	13.12	
	700	0.0121	Calc	0.60	1.21	2.41	3.62	4.82	7.24	9.65	12.06	
			Min	0.21	0.71	1.72	2.73	3.73	5.74	7.76	9.77	
			Max	0.99	1.70	3.10	4.51	5.92	8.73	11.54	14.35	
	1000	0.0138	Calc	0.69	1.38	2.76	4.14	5.52	8.28	11.04	13.80	
			Min	0.24	0.83	2.00	3.18	4.35	6.70	9.05	11.40	
			Max	1.14	1.93	3.52	5.10	6.69	9.86	13.03	16.20	
	1200	0.0150	Calc	0.75	1.50	2.99	4.49	5.98	8.98	11.97	14.96	
			Min	0.26	0.91	2.19	3.48	4.77	7.34	9.92	12.49	
			Max	1.23	2.09	3.79	5.49	7.20	10.61	14.02	17.43	

Table 9 Regional estimations of runoff event volume and 75% confidence interval as a function of peak discharge in the Autumn and Spring seasons (MCM)
(Continued)

Region/ Watershed	Area, km ²	a _{model} , 10 ⁶ sec	Volume	Discharge (m ³ /sec)								
				50	100	200	300	400	600	800	1000	1200
Negarot (losses)	500	0.0034	Calc	0.17	0.34	0.67	1.01	1.34	2.01	2.68	3.35	
			Min	0.00	0.00	0.03	0.17	0.30	0.58	0.86	1.13	
			Max	0.51	0.78	1.31	1.84	2.38	3.44	4.50	5.57	
	700	0.0047	Calc	0.23	0.47	0.94	1.41	1.88	2.81	3.75	4.69	
			Min	0.00	0.00	0.27	0.56	0.84	1.40	1.97	2.53	
			Max	0.62	0.95	1.60	2.26	2.91	4.22	5.53	6.85	
	1000	0.0067	Calc	0.34	0.67	1.34	2.01	2.68	4.02	5.36	6.70	
			Min	0.00	0.13	0.61	1.10	1.58	2.54	3.50	4.46	
			Max	0.78	1.21	2.07	2.92	3.78	5.50	7.22	8.94	
	1600	0.0107	Calc	0.54	1.07	2.14	3.22	4.29	6.43	8.58	10.72	
			Min	0.00	0.44	1.31	2.19	3.06	4.81	6.56	8.31	
			Max	1.07	1.71	2.98	4.25	5.52	8.05	10.59	13.13	
Paran	200	0.0071	Calc	0.36	0.71	1.43	2.14	2.86	4.29	5.72	7.15	
			Min	0.00	0.00	0.64	1.16	1.69	2.74	3.79	4.84	
			Max	0.86	1.31	2.22	3.12	4.03	5.84	7.64	9.45	
	500	0.0090	Calc	0.45	0.90	1.80	2.70	3.59	5.39	7.19	8.98	
			Min	0.00	0.00	0.76	1.47	2.17	3.58	4.99	6.41	
			Max	1.19	1.74	2.83	3.92	5.01	7.20	9.38	11.56	
	1000	0.0107	Calc	0.53	1.07	2.14	3.21	4.27	6.41	8.55	10.68	
			Min	0.00	0.00	0.83	1.70	2.57	4.31	6.06	7.80	
			Max	1.55	2.18	3.45	4.71	5.98	8.51	11.04	13.57	
	2000	0.0127	Calc	0.64	1.27	2.54	3.81	5.08	7.62	10.16	12.71	15.25
			Min	0.00	0.00	0.84	1.91	2.98	5.12	7.25	9.39	11.53
			Max	2.03	2.77	4.24	5.71	7.19	10.13	13.08	16.02	18.97
	3000	0.0141	Calc	0.70	1.41	2.81	4.22	5.62	8.44	11.25	14.06	16.87
			Min	0.00	0.00	0.81	2.01	3.21	5.61	8.01	10.42	12.82
			Max	2.39	3.20	4.81	6.42	8.04	11.26	14.48	17.71	20.93
	4000		Calc	0.76	1.51	3.02	4.53	6.04	9.07	12.09	15.11	18.13
			Min	0.00	0.00	0.77	2.07	3.37	5.98	8.58	11.19	13.79
			Max	2.69	3.6	5.3	7.0	8.7	12.2	15.6	19.0	22.47

הדרכה ליישום המודל

להלן סדר הפעולות הנדרש ליישום המודל עבור אתר בלתי-מדוד לשם הערכת נפח הגאות בהקשר לספיקת השיא שהוערכה לפי סימני השיא באפיק אחרי העברת הגאות:

- לקבוע ע"פ מפה טופוגרפית את מיקום האתר, שטח התחום שהוא מנקז והאזור אליו האתר משתייך.
- לברר את תאריך הגאות ולקבוע את העונה המתאימה.
- לחשב את נפח הגאות המתאים לעונה, לאזור, לשטח תחום התנקזות ולספיקת השיא לפי נוסחה (7), כאשר המקדם a והשגיאה S מוערכים לפי המודל האזורי העונתי (תרשימים 4-5, 10-11, או טבלה 5) ושגיאה $s^*(a)$ מחושבת לפי משוואות 5-6.
- או למצוא את נפח הגאות המתאים לעונה, לאזור, לשטח תחום התנקזות ולספיקת השיא תוך הערכות אזוריות בטבלאות 8-9 (תוך שימוש באינטרפולציה). בטבלאות אלה לנוחות צרכני המודל סוכמו תוצאות ההערכה של נפחי הגאות לפי ספיקות השיא הצפויות באתרים בלתי-מדודים באזורים השונים בנגב, בעונות השונות ולשטחי תחום התנקזות רב-גוניים. החישובים נעשו לפי משוואה 7 תוך התחשבות ב- $75\% \text{ probable interval}$. זאת אומרת כי המרווח הסביר המחושב כולל שלושה רבעים מכל הטווח האפשרי של נפח הגאות שמתאים לספיקת השיא הנתונה (הטווח נגרם ע"י השפעת גורמי המודל האחרים השווים). הנפח המחושב הוצג כערך מרכזי וערכי מינימום ומקסימום (גבול תחתון וגבול עליון של הרווח הסביר, בהתאמה).

**Table 10 Estimated runoff event volume and 75% confidence interval (MCM)
as a function of peak discharge in the Winter season
at the hydrometric stations**

Region/ Watershed	Station number	Area, km ²	Volume	Discharge (m ³ /sec)								
				50	100	200	300	400	600	800	1000	1200
Shiqma	21130	378	Calc	4.93	9.86	19.72	29.58	39.44	59.16			
			Min	4.02	8.73	18.16	27.59	37.02	55.88			
			Max	5.84	10.99	21.28	31.57	41.86	62.45			
Gerar, Besor, Beer Sheva, Lavan	23160	658	Calc	2.01	4.01	8.02	12.03	16.04	24.06			
			Min	0.82	2.71	6.48	10.25	14.02	21.56			
			Max	3.19	5.31	9.56	13.81	18.06	26.56			
	23106	133	Calc	0.79	1.58	3.16	4.74					
			Min	0.64	1.39	2.89	4.39					
			Max	0.94	1.77	3.43	5.09					
	23115	405	Calc	1.26	2.52	5.04	7.56	10.08	15.12	20.16	25.20	
			Min	0.36	1.55	3.93	6.31	8.69	13.45	18.21	22.97	
			Max	2.16	3.49	6.15	8.81	11.47	16.79	22.11	27.43	
	23127	1090	Calc	1.97	3.93	7.86	11.79	15.72	23.58	31.44	39.30	47.16
			Min	0.41	2.29	6.07	9.84	13.61	21.15	28.69	36.23	43.78
			Max	3.52	5.57	9.66	13.74	17.83	26.01	34.19	42.37	50.55
	23137	1220	Calc	1.92	3.83	7.66	11.49	15.32	22.98	30.64	38.30	45.96
			Min	0.06	1.86	5.47	9.07	12.68	19.88	27.09	34.30	41.51
			Max	3.77	5.80	9.85	13.91	17.97	26.08	34.19	42.30	50.41
	23150	2630	Calc	2.63	5.25	10.50	15.75	21.00	31.50	42.00	52.50	63.00
			Min	0.00	2.38	7.32	12.26	17.20	27.09	36.97	46.85	56.73
			Max	5.34	8.12	13.68	19.24	24.80	35.91	47.03	58.15	69.27
	25191	217	Calc	0.96	1.91	3.82	5.73	7.64	11.46			
			Min	0.53	1.42	3.18	4.95	6.72	10.25			
			Max	1.38	2.40	4.46	6.51	8.56	12.67			
Dead Sea trb.	48130	142	Calc	0.58	1.16	2.32	3.48	4.64	6.96			
			Min	0.39	0.87	1.82	2.77	3.72	5.63			
			Max	0.77	1.45	2.82	4.19	5.56	8.29			
	48155	235	Calc	1.53	3.05	6.10	9.15	12.20	18.30	24.40		
			Min	0.96	2.32	5.03	7.75	10.47	15.90	21.33		
			Max	2.09	3.78	7.17	10.55	13.93	20.70	27.47		
	48192	360	Calc	1.30	2.59	5.18	7.77	10.36	15.54	20.72	25.90	
			Min	0.72	1.79	3.92	6.06	8.19	12.46	16.73	21.00	
			Max	1.87	3.39	6.44	9.48	12.53	18.62	24.71	30.80	
Zin	55106	135	Calc	1.60	3.20	6.40	9.60	12.80	19.20			
			Min	1.42	2.92	5.93	8.93	11.94	17.95			
			Max	1.78	3.48	6.87	10.27	13.66	20.45			
	55110	233	Calc	0.76	1.51	3.02	4.53	6.04	9.06	12.08		
			Min	0.38	1.08	2.48	3.89	5.29	8.09	10.90		
			Max	1.13	1.94	3.56	5.17	6.79	10.03	13.26		

**Table 10 Estimated runoff event volume and 75% confidence interval (MCM)
as a function of peak discharge in the Winter season
at the hydrometric stations**

(Continued)

Region/ Watershed	Station number	Area, km ²	Volume	Discharge (m ³ /sec)								
				50	100	200	300	400	600	800	1000	1200
Zin (continued)	55140	660	Calc	1.21	2.41	4.82	7.23	9.64	14.46	19.28		
			Min	0.58	1.69	3.91	6.12	8.34	12.77	17.21		
			Max	1.83	3.13	5.73	8.34	10.94	16.15	21.35		
	55160	66	Calc	0.48	0.96	1.92						
			Min	0.39	0.82	1.69						
			Max	0.57	1.10	2.15						
	55165	64	Calc	0.69	1.38	2.76						
			Min	0.61	1.26	2.57						
			Max	0.77	1.50	2.95						
	55180	1130	Calc	1.79	3.58	7.16	10.74	14.32	21.48			
			Min	1.18	2.84	6.16	9.48	12.80	19.45			
			Max	2.40	4.32	8.16	12.00	15.84	23.52			
Neqarot	56140	108	Calc	1.17	2.34	4.68	7.02					
			Min	0.95	2.00	4.10	6.21					
			Max	1.39	2.68	5.26	7.84					
	56150	697	Calc	0.40	0.79	1.58	2.37	3.16	4.74	6.32		
			Min	0.22	0.59	1.31	2.04	2.76	4.22	5.67		
			Max	0.57	0.99	1.85	2.70	3.56	5.26	6.97		
Paran	57150	2799	Calc	3.10	6.20	12.40	18.60	24.80	37.20	49.60	62.00	74.40
			Min	2.51	5.56	11.65	17.74	23.84	36.02	48.20	60.39	72.57
			Max	3.69	6.84	13.15	19.46	25.77	38.38	51.00	63.61	76.23
	57160	161	Calc	0.48	0.96	1.92	2.88					
			Min	0.45	0.91	1.85	2.78					
			Max	0.51	1.01	2.00	2.98					
	57165	3350	Calc	2.35	4.70	9.40	14.10	18.80	28.20	37.60	47.00	56.40
			Min	0.00	1.99	6.32	10.64	14.96	23.61	32.26	40.91	49.56
			Max	4.87	7.41	12.48	17.56	22.64	32.79	42.94	53.09	63.24
	57180	171	Calc	0.69	1.38	2.76	4.14					
			Min	0.67	1.36	2.72	4.09					
			Max	0.71	1.40	2.80	4.19					
Znifim	58120	95	Calc	0.55	1.09	2.18	3.27					
			Min	0.38	0.86	1.82	2.77					
			Max	0.71	1.32	2.54	3.77					

**Table 11 Estimated runoff event volume and 75% confidence interval (MCM)
as a function of peak discharge in the Autumn and Spring seasons
at the hydrometric stations**

Region/ Watershed	Station number	Area, km ²	Volume	Discharge (m ³ /sec)								
				50	100	200	300	400	600	800	1000	1200
Shiqma	21130	378	Calc	1.12	2.24	4.48	6.72	8.96	13.44			
			Min	0.14	1.05	2.87	4.70	6.52	10.17			
			Max	2.11	3.43	6.09	8.75	11.40	16.71			
Gerar, Besor, Beer Sheva, Lavan	23160	658	Calc	1.31	2.62	5.24	7.86	10.48	15.72			
			Min	0.46	1.65	4.02	6.40	8.77	13.51			
			Max	2.16	3.59	6.46	9.33	12.19	17.93			
	23106	133	Calc	0.38	0.77	1.53	2.30					
			Min	0.23	0.58	1.30	2.01					
			Max	0.54	0.95	1.77	2.59					
	23115	405	Calc	0.64	1.28	2.56	3.84	5.12	7.68	10.24	12.80	
			Min	0.15	0.72	1.86	3.00	4.14	6.43	8.71	10.99	
			Max	1.13	1.84	3.26	4.68	6.10	8.94	11.77	14.61	
	23127	1090	Calc	0.57	1.13	2.26	3.39	4.52	6.78	9.04	11.30	13.56
			Min	0.00	0.00	0.73	1.74	2.74	4.75	6.77	8.78	10.79
			Max	1.91	2.54	3.79	5.04	6.30	8.81	11.31	13.82	16.33
	23137	1220	Calc	0.68	1.35	2.70	4.05	5.40	8.10	10.80	13.50	16.20
			Min	0.00	0.11	1.39	2.67	3.94	6.49	9.05	11.60	14.15
			Max	1.87	2.59	4.01	5.43	6.86	9.71	12.55	15.40	18.25
	23150	2630	Calc	1.41	2.82	5.64	8.46	11.28	16.92	22.56	28.20	33.84
			Min	0.00	1.31	3.98	6.66	9.33	14.67	20.02	25.36	30.70
			Max	2.84	4.33	7.30	10.26	13.23	19.17	25.10	31.04	36.98
	25191	217	Calc	0.55	1.10	2.20	3.30	4.40	6.60			
			Min	0.26	0.78	1.82	2.86	3.90	5.98			
			Max	0.84	1.42	2.58	3.74	4.90	7.22			
Dead Sea trb.	48130	142	Calc	0.20	0.40	0.80	1.20	1.60	2.40			
			Min	0.14	0.32	0.68	1.04	1.40	2.12			
			Max	0.26	0.48	0.92	1.36	1.80	2.68			
	48155	235	Calc	0.65	1.29	2.58	3.87	5.16	7.74	10.32		
			Min	0.05	0.49	1.36	2.23	3.10	4.84	6.58		
			Max	1.24	2.09	3.80	5.51	7.22	10.64	14.06		
	48192	360	Calc	0.57	1.14	2.28	3.42	4.56	6.84	9.12	11.40	
			Min	0.48	1.02	2.09	3.16	4.23	6.36	8.50	10.64	
			Max	0.66	1.26	2.47	3.68	4.90	7.32	9.74	12.16	
Zin	55106	135	Calc	0.15	0.30	0.60	0.90	1.20	1.80			
			Min	0.06	0.21	0.49	0.78	1.07	1.64			
			Max	0.24	0.40	0.71	1.02	1.33	1.96			
	55110	233	Calc	0.48	0.95	1.90	2.85	3.80	5.70	7.60		
			Min	0.00	0.30	1.17	2.04	2.90	4.64	6.38		
			Max	1.09	1.60	2.63	3.67	4.70	6.76	8.83		

**Table 11 Estimated runoff event volume and 75% confidence interval (MCM)
as a function of peak discharge in the Autumn and Spring seasons
at the hydrometric stations**

(Continued)

Region/ Watershed	Station number	Area, km ²	Volume	Discharge (m ³ /sec)								
				50	100	200	300	400	600	800	1000	1200
Zin (continued)	55140	660	Calc	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	8.00		
			Min	0.15	0.62	1.58	2.53	3.49	5.39	7.30		
			Max	0.85	1.38	2.42	3.47	4.52	6.61	8.70		
	55160	66	Calc	0.24	0.47	0.94						
			Min	0.21	0.43	0.88						
			Max	0.26	0.51	1.00						
	55165	64	Calc	0.33	0.65	1.30						
			Min	0.26	0.57	1.19						
			Max	0.39	0.73	1.42						
	55180	1130	Calc	0.82	1.63	3.26	4.89	6.52	9.78			
			Min	0.44	1.21	2.76	4.31	5.85	8.94			
			Max	1.19	2.05	3.76	5.47	7.19	10.62			
Neqarot	56140	108	Calc	0.65	1.29	2.58	3.87					
			Min	0.05	0.49	1.36	2.23					
			Max	1.24	2.09	3.80	5.51					
	56150	697	Calc	0.24	0.47	0.94	1.41	1.88	2.82	3.76		
			Min	0.01	0.23	0.68	1.13	1.58	2.48	3.37		
			Max	0.46	0.71	1.20	1.69	2.18	3.17	4.15		
Paran	57150	2799	Calc	0.71	1.41	2.82	4.23	5.64	8.46	11.28	14.10	16.92
			Min	0.00	0.00	1.24	2.53	3.81	6.39	8.97	11.55	14.13
			Max	2.11	2.87	4.40	5.94	7.47	10.53	13.59	16.65	19.71
	57160	161	Calc	0.32	0.63	1.26	1.89					
			Min	0.18	0.47	1.04	1.62					
			Max	0.45	0.79	1.48	2.16					
	57165	3350	Calc	0.68	1.36	2.72	4.08	5.44	8.16	10.88	13.60	16.32
			Min	0.00	0.00	0.92	2.19	3.45	5.98	8.51	11.04	13.56
			Max	2.33	3.06	4.52	5.97	7.43	10.34	13.25	16.17	19.08
	57180	171	Calc	0.19	0.38	0.76	1.14					
			Min	0.06	0.23	0.58	0.92					
			Max	0.32	0.53	0.94	1.36					
Znifim	58120	95	Calc	0.38	0.75	1.50	2.25					
			Min	0.16	0.46	1.06	1.65					
			Max	0.59	1.04	1.94	2.85					

שיחזור "כתמים לבנים" במידע ההידרומטרי

■ לשם יישום המודל עבור אתר מדוד (למשל, לקביעת נפח הגאות החסר בתחנה ההידרומטרית בתנאי מדידת רק ספיקת השיא), סדר הפעולות באופן כללי לא נבדל מזה הנ"ל (עבור אתר בלתי-מדוד) אלא רק חישוב הנפח נעשה לפי נוסחה (6) בהקשר לספיקת השיא הידועה. יש להזכיר כי באתר מדוד ערכי מקדם a , שגיאיתו $s(a)$ ושגיאת הקשר S מוערכים לפי נתוני המדידות בתחנה ההידרומטרית וניתנים לחישוב בטבלאות 3-4. לכן במקרה זה הטווח הסביר של הנפח המחושב צומצם הודות לסילוק שגיאת המודל שנמצאה באתר בלתי-מדוד. אבל אם סדרת הנתונים ההידרומטריים בתחנה אינה ארוכה וכתוצאה מכך ההערכות הסטטיסטיות אינן מדויקות, כדאי להעדיף (או לפחות להוסיף לשם הבדיקה) את הערכת נפח הגאות לפי המודל כעבור אתר בלתי-מדוד.

■ אפשר גם למצוא את נפח הגאות המתאים לספיקת השיא, לעונה ולשטח תחום התנקזות התחנה בטבלאות 10-11 (תוך שימוש באינטרפולציה). בטבלאות אלה לנוחות צרכני המודל סוכמו תוצאות ההערכה של נפחי הגאוויות לפי ספיקות השיא הצפויות, בעונות השונות ולשטחי תחומי ההתנקזות של התחנות ההידרומטריות בנגב. החישובים נעשו לפי משוואה 6 תוך התחשבות ב- 75% probable interval.

כתוצאה מכל הנאמר לעיל נובע כי המודל האזורי העונתי הוא כלי לשחזור "כתמים לבנים" בסדרת נפחי הגאוויות המדודות בתחנה ההידרומטרית בנגב. זה חשוב בעיקר בשביל אירועי הזרימה הגדולים שברובם גורמים לפגיעת או אפילו להריסת התחנה ההידרומטרית.

בעבודה הנוכחית נעשה שיחזור הנפחים (שלא נמדדו) ל- 35 גאוויות גדולות בתחנות הנגב. תוצאות השחזור רוכזו בטבלאות 12-13 תוך חלוקה בין התחנות עם סדרות נתוני המדידה ארוכות למדי לבין אלה עם המידע ההידרומטרי המוגבל ולא מספק. לקבוצת התחנות הראשונה הוערכו סטטיסטיקות ספיקות שיא ונפחי גאוויות כולל מקדם a של הקשר ביניהם. לכן שחזור "כתמים לבנים" בסדרות נפחי הגאוויות מהווה יישום המודל הנ"ל לאתר המדוד (ראה את תוצאות שחזור נפחי הגאוויות בטבלה 12). לקבוצת התחנות השנייה הופעל המודל לאתר בלתי מדוד תוך התחשבות בהערכה אזורית-עונתית של מקדם a (ראה את תוצאות שחזור נפחי הגאוויות בטבלה 13). לשם המטרות המסוימות (בתכנון, מחקר וכו') נתנו לצרכנים הערכות נפח הגאות המשוחזר בטווח סביר (75% confidence interval) כתלות בדיוק המודל.

לנוחות הצרכנים בטבלה 14 מתוארת הרשימה הכרונולוגית (מ- 1937 עד 1994) של כל הגאוויות המשוחזרות. לכל גאות נתנו זיהוי התחנה, שטח תחום התנקזותה, תאריך שיא, ספיקת השיא המדודה עם הערכת תקופת חזרתה (בשנים) ונפח הגאות המשוחזר (עם ציון שחזור אזורי שפחות מדויק יחסית בהשוואה לשחזור בתחנה וכתוצאה מכך מלווה בטווח סביר רחב יותר).

להלן ניתן דיון תוצאות השחזור הנ"ל תוך ניתוח אירועי הזרימה הגדולים הנבחרים שהתרחשו בנגב. בטבלה 15 לכל אירוע המנותח מוצגים מאפייני הגאוויות כולל זיהוי ושם התחנה, תאריכי תחילה, סוף ושיא, משך הגאות, ספיקת השיא המדודה עם הערכת תקופת חזרתה (בשנים) ושיא היסטורית, וגם נפח הגאות בלוי הערכת תקופת חזרתו (בשנים) וציון שיחזור הנפח (בניגוד למדידות). לשם התיאור המרחבי הצטרפה גם רשימת הגאוויות הקטנות (עם תקופת חזרה של שנתיים ופחות) שנצפו במשך האירוע.

**Table 12 Reconstructed runoff event volume and 75% confidence interval (MCM)
as a function of peak discharge measured at the hydrometric stations
in the Negev**

Region/ Watershed	Station number	Area, km ²	a 10 ⁶ s	Date of peak discharge	Peak discharge, m ³ /s	Volume, MCM		
						Calc	Min	Max
Winter season								
Gerar, Besor, Beer Sheva, Lavan	23160	658	0.0401	2.12.63	400	16.0	14.0	18.1
	23127	1090	0.0393	19.01.65	1000	39.3	36.2	42.4
	23137	1220	0.0383	2.12.63	590	22.6	19.5	25.7
				28.12.71	370	14.2	11.6	16.4
	23150	2630	0.0525	19.01.65	1000	52.5	46.9	58.2
Dead Sea trb.	48155	235	0.0305	21.02.80	528	16.1	13.9	18.3
Zin	55160	66	0.0096	29.01.55	30.0	0.29	0.21	0.36
Paran	57150	2799	0.062	21.02.75	480	29.8	28.7	30.8
Autumn-Spring season								
Gerar, Besor, Beer Sheva, Lavan	23106	133	0.0077	22.10.79	332	2.54	2.24	2.85
	23115	405	0.0128	17.10.87	875	11.2	9.60	12.8
	23127	1090	0.0113	18.10.87	973	11.0	8.50	13.5
	23137	1220	0.0135	8.11.82	115	1.55	0.30	2.80
Dead Sea trb.	48192	360	0.0114	17.10.87	538	6.13	5.70	6.57
Zin	55106	135	0.003	13.10.91	552	1.66	1.50	1.81
	55110	233	0.0095	14.10.91	551	5.23	4.21	6.26
	55140	660	0.01	14.10.91	572	5.72	5.13	6.31
	55180	1130	0.0163	3.12.63	95	1.55	1.14	1.96
				6.10.65	300	4.89	4.31	5.47
Paran, Znifim	57165	3350	0.0136	13.10.91	246	3.35	1.50	5.19
	57180	171	0.0038	6.11.70	100	0.38	0.23	0.53
	58120	95	0.0075	23.11.68	51.1	0.38	0.17	0.60
				1.09.69	60.7	0.46	0.23	0.68

Table 13 Regional reconstruction of runoff event volume and 75% confidence interval as a function of peak discharge measured at the hydrometric stations in the Negev

Region/ Watershed	Station number	Area, km ²	a _{model} 10 ⁶ s	Date of peak discharge	Peak discharge, m ³ /s	Volume, MCM		
						Calc	Min	Max
Winter season								
Besor, Beer	23135	96	0.0139	19.12.51	240	3.3	2.5	4.1
Sheva, Lavan	23145	2378	0.0506	19.01.65	1050	53.2	46.7	59.7
Dead Sea trb.	48199	66	0.0167	22.12.93	40	0.7	0.4	1.0
Paran	57155	209	0.0142	18.01.65	30	0.4	0.2	0.7
East Sinay	64000	2190	0.0096	20.02.75	300	2.9	-	-
Autumn-Spring season								
Besor, Beer	23110	118	0.008	5.11.94	700	5.6	4.0	7.3
Sheva, Lavan								
Dead Sea trb.	48190	325	0.0149	4.04.69	163	2.4	1.6	3.3
				17.04.71	119	1.8	1.0	2.5
Zin	55190	1200	0.015	14.10.91	530	7.9	6.4	9.4
	55197	1400	0.0161	27.10.37	335	5.4	4.3	6.5
				2.04.40	450	7.2	5.9	8.6
				13.05.45	600	9.7	8.0	11.4
				18.03.47	200	3.2	2.4	4.1

מניתוח המידע שבטבלה 15 נובע כי :

■ הערכות נפחי הגאוויות המשוחזרים לא סותרות לנפחים המדודים בתחנות אחרות באותו אירוע תוך התחשבות בהשתנות המרחבית הגדולה של עצמות ועובי הגשם ("כתמות הגשם") במדבר. כך ב- 18-21.12.51 נמדדו ספיקות השיא בשיעור של : 144 מ"ק לשנייה (כ- 14% משיא היסטורי ותקופת החזרה של 3 שנים) בתחנת באר שבע-באר שבע ו- 240 מ"ק לשנייה (שיא היסטורי ויותר מ- 100 שנה של תקופת החזרה) בבקע-באר שבע. בין נפחי הגאוויות נמצא אותו יחס אף כי שבתחנה הראשונה הנפח מדוד ובשנייה הוא שוחזר.

■ באירוע 1-5.12.63 שוחזרו נפחי הגאוויות בתחנות באר שבע-חצרים וגרר-רעים כאשר נמדדו ספיקות השיא בתחנה הראשונה כמחצית מקסימום היסטורי ובשנייה מקסימום עצמו. תקופות החזרה של נפחי הגאוויות המשוחזרים (50 שנה ויותר מ- 100 שנה בהתאמה) עלו על אלה לספיקות השיא. מצב זה נצפה (לפי המדידות) בכל התחנות באגני באר שבע, בשור, לבן ובמעלה צין (צין-מפל) ונגרם ע"י מבנה הגאוויות המורכב (3-4 גלים). בשאר אגן צין עברו גאוויות יותר

קטנות עם אותו הגודל היחסי של ספיקות השיא ונפחים (נפח הגאות השוזר בצין-עקרבים מתאים לאלה המדודים).

■ אותה התמונה שאופיינית לעונת החורף (לגאוויות ארוכות בזמן ומורכבות ברובן) נצפתה גם באירוע גדול ב- 18-20.01.65 שהתרחש בכל הנגב (גאוויות נצפו באגני באר שבע, בשור, לבן, צין, נקרות, פארן וצניפים). שוזרו נפחי הגאוויות בתחנות באר שבע-באר שבע, בשור-צאלים ובשור-רעים לפי ספיקות השיא הגבוהות ביותר בתקופות המדידות, וגם נפח הגאות הקטנה יחסית בתחנת צניפים.

■ בשלושה אירועי הסתיו הבאים נפחי הגאוויות היו קטנים יחסית בהשוואה לספיקות השיא שמאשר את כל הנאמר ליעל בנושא עונתיות הגאוויות בנגב. מעניין ביותר שיחזור נפחי הגאוויות לפי ספיקות השיא שמהוות מקסימום היסטורי או קרובות לו : צין-עקרבים ב- 5-6.10.65, באר שבע-זרנוק ובאר שבע-באר שבע ב- 17-19.10.87, צין-עליון, צין-מפל, צין-משוש ב- 13-15.10.91. תקופות חזרה של הנפחים המשוזרים הוערכו ברובן כ- 100 שנה ויותר.

■ קשה להפריז את חשיבות המידע הנוסף על כמות המים באירועי הזרימה הגדולים בנגב שנקבל הודות שחזור נומרי של נפחי הגאוויות כאשר לגאוויות אלה נמדדו רק ספיקות השיא בגלל הסיבות השונות. בעבודה הנוכחית מידע זה מוכן ומסודר להספקת הצרכנים כחלק נוסף לבסיס הנתונים של גאוויות בנגב שנבנה על מדידות ברשת התחנות ההידרומטריות (ראה נספח א').

Table 14 List of the reconstructed flood events in the Negev

Station number	Area, km ²	Date of peak discharge	Measured peak discharge		Calculated volume V, 10 ⁶ m ³
			Q, m ³ /s	T, years	
55197	1400	27/10/1937	335	-	5.4
55197	1400	02/04/1940	450	-	7.2
55197	1400	13/05/1945	600	-	9.7
55197	1400	18/03/1947	200	-	3.2
23135	96	19/12/1951	240	>100	3.3
55160	66	29/01/1955	30.0	10	0.3
23160	658	02/12/1963	400	100	16.0
23137	1220	02/12/1963	590	10	22.6
55180	1130	03/12/1963	95	7	1.6
57155	209	18/01/1965	30	-	0.4
23127	1090	19/01/1965	1000	25	39.3
23150	2630	19/01/1965	1000	100	52.5
23145	2378	19/01/1965	1050	75	53.2
55180	1130	06/10/1965	300	100	4.9
58120	95	23/11/1968	51.1	-	0.4
48190	325	04/04/1969	163	-	2.4

58120	95	01/09/1969	60.7	-	0.5
57180	171	06/11/1970	100	10	0.4
48190	325	17/04/1971	119	-	<i>1.8</i>
23137	1220	28/12/1971	370	5	14.2
64000	2190	20/02/1975	300	-	2.9
57150	2799	21/02/1975	480	25	29.8
23106	133	22/10/1979	332	>>100	2.5
48155	235	21/02/1980	528	-	16.1
23137	1220	08/11/1982	115	3	1.6
23115	405	17/10/1987	875	>100	11.2
48192	360	17/10/1987	538	-	6.1
23127	1090	18/10/1987	973	25	11.0
55106	135	13/10/1991	552	>>100	1.7
57165	3350	13/10/1991	246	7	3.4
55110	233	14/10/1991	551	>100	5.2
55140	660	14/10/1991	572	>100	5.7
55190	1200	14/10/1991	530	-	7.9
48199	66	22/12/1993	40	-	<i>0.7</i>
23110	118	05/11/1994	700	75	5.6

Notes to Table 14:

T is recurrence interval.

The regional reconstruction is marked by *Italic type*.

טבלה 15: תוצאות השחזור של נפחי המים באירועי הזרימה הנבחרים בנגב

בהשוואה לנתוני המדידות ההידרומטריות

נפח הגאות		ספיקת השיא			משך הגאות, שעה	תאריכי הגאות			תחנה	
T שנה	מלמ"ק	היסט'	T שנה	מ"ק לשנייה		שיא	סוף	תחילה	שם	זיהוי
<u>18-21/12/51</u>										
3	8.0	1000	3	144	77	19/12/51	21/12/51	18/12/51	באר שבע - באר שבע	23127
>100	3.3	240	>100	240		19/12/51			בקע - באר שבע	23135
גאויות קטנות									בשור - כביש נצנה	23106
									סכר	23140
									גרר - כביש עזה	23155
									לבן	25190
									לבן	25190
									צין - עקרבים	55180
<u>1-5/12/63</u>										
25	7.2	875	5	218	110	2/12/63	5/12/63	1/12/63	באר שבע - זרנוק	23115
50	24.1	1000	7	560	110	2/12/63	5/12/63	1/12/63	באר שבע - באר שבע	23127
5	0.36	240	5	35.0	56	3/12/63	5/12/63	2/12/63	בקע - באר שבע	23135
50	22.6	1090	10	590		2/12/63			באר שבע - חצרים	23137
100	23.2	1050	25	645	99	3/12/63	5/12/63	1/12/63	בשור - צאלים	23145
>100	16.0	400	100	400		2/12/63			גרר - רעים	23160
25	2.3	439	5	54.0	46	3/12/63	4/12/63	3/12/63	לבן	25190
7	0.95	551	20	200		2/12/63			צין - מפל	55110
7	0.90	572	7	124		3/12/63			צין - משוש	55140

5	0.20	33	5	9.2	62	3/12/63	4/12/63	2/12/63	חתירה	55160
5	0.28	99	5	12.6	42	4/12/63	5/12/63	3/12/63	ממשית	55165
7	1.6	300	7	95.0		3/12/63			צין - עקרבים	55180
גאויות קטנות									לבן	25190
									צין - עליון	55106
									בשור - כביש נצנה	23106
<u>18-20/01/65</u>										
7	3.8	875	5	271	21	19/1/65	20/1/65	19/1/65	באר שבע - זרנוק	23115
100	39.3	1000	25	1000	28	19/1/65	20/1/65	19/1/65	באר שבע - באר שבע	23127
25	0.9	240	10	47.1	29	19/1/65	20/1/65	19/1/65	בקע - באר שבע	23135
>100	53.2	1050	75	1050		19/1/65			בשור - צאלים	23145
>100	52.5	1000	100	1000		19/1/65			בשור - רעים	23150
7	5.1	1080	5	101	53	19/1/65	20/1/65	18/1/65	פארן - חלמיש	57150
-	0.4	71	-	29.9	19	18/1/65	19/1/65	18/1/65	כרכום	57155
-	0.2	89	-	27.2		18/1/65			ערוד	57160
7	5.0	1150	5	118	52	19/1/65	20/1/65	18/1/65	פארן - צוואר הבקבוק	57165
-	0.4	74	-	22.4	22	18/1/65	19/1/65	18/1/65	צניפים	58120
גאויות קטנות									נקרות - עליון	56150
									ציחור	57180
									בשור - כביש נצנה	23106
									צין - משוש	55140
									חתירה	55160
									ממשית	55165
									לבן	25190

<u>5-6/10/65</u>										
10	0.8	116	50	116	18	5/10/65	6/10/65	5/10/65	בשור - כביש נצנה	23106
7	1.8	572	25	250	33	5/10/65	6/10/65	5/10/65	צין - משוש	55140
5	0.2	33	7	27.6	14	5/10/65	6/10/65	5/10/65	חתירה	55160
50	4.9	300	100	300	24	5/10/65	6/10/65	5/10/65	צין - עקרבים	55180
50	3.7	640	50	570	7	5/10/65	5/10/65	5/10/65	נקרות - עליון	56150
גאויות קטנות										
										57160
										58120
										57150
										57165
										23160
										55110
<u>17-19/10/87</u>										
100	11.2	875	>100	875		17/10/87			באר שבע - זרנוק	23115
7	11.0	1000	25	973		18/10/87			באר שבע - באר שבע	23127
7	9.7	1090	25	872	35	18/10/87	19/10/87	18/10/87	באר שבע - חצרים	23137
-		775	-	775		17/10/87			רחף	48185
-	6.1	538	-	538		17/10/87			חימר במורד המצוק	48192
25	1.9	640	40	438	18	17/10/87	18/10/87	17/10/87	נקרות - עליון	56150
גאויות קטנות										
										55106
										55110
										55140
										23135

									ערוגות	48155
									ממשית	55165
									פארן - צוואר הבקב'	57165
									13-15/10/91	
5	3.0	1090	7	247	20	14/10/91	15/10/91	14/10/91	באר שבע - חצרים	23137
>100	1.7	552	>>100	552		14/10/91			צין - עליון	55106
>100	5.2	551	>100	551	28	14/10/91	14/10/91	13/10/91	צין - מפל	55110
>100	5.7	572	>100	572		14/10/91			צין - משוש	55140
50	0.7	99.0	50	74.5	28	13/10/91	14/10/91	13/10/91	ממשית	55165
-	7.9	530	-	530		14/10/91	15/10/91	14/10/91	צין - כביש הערבה	55190
7	0.4	72.6	25	67.6	32	13/10/91	14/10/91	12/10/91	רמון	56140
5	0.3	640	7	104	14	13/10/91	14/10/91	13/10/91	נקרות - עליון	56150
5	3.4	1150	7	246		13/10/91	14/10/91	13/10/91	פארן - צוואר הבקב'	57165
גאווית קטנות									הר הנגב 6	23103
									בשור - כביש נצנה	23106
									בקע - באר-שבע	23135
									בקע - באר-שבע	23135

הספרות השמנות Bold Italic הן תוצאות השחזור.

T – תקופת חזרה (בשנים).

סיכום

תוצאות העבודה הן :

- א. הוכן בסיס הנתונים שכולל (1) קובץ אפיוני הגאוויות בכל התחנות בנגב בתקופה היסטורית (עד ל- 2003) ו(2) אוסף ההידרוגרפים לגאוויות בנגב.
 - ב. פותח המודל ההידרולוגי האזורי (שנציס, 2002) ונרשמה הדרכה מפורטת ליישומו לשם הערכת (שיחזור) נפח הגאות לפי ספיקת השיא בכל אתר מדוד או בלתי מדוד בנגב.
 - ג. נעשו הערכות אזוריות לנפחי גאוויות בנחלי הנגב בהתחשב בספיקות השיא הצפויות לעונות מעבר וחורף – לשם נוחות השימוש ע"י הצרכנים בשיטה המוצעת לאתרים בלתי-מדודים.
 - ד. נעשו הערכות הדומות לכל התחנות ההידרומטריות בנגב - לשם נוחות השימוש ע"י הצרכנים בשיטה המוצעת לאתרים מדודים .
 - ה. נעשה שיחזור "הכתמים הלבנים" בסדרות הנפח המדודות: הוערכו את נפחי של 35 הגאוויות הגדולות שלהן נמדדו רק ספיקות השיא.
- כתוצאת העבודה הנוכחית רוכז, התמלא והתרחב מידע הידרומטרי בנגב לשם תכנון הידרולוגי, בנית מאגרי מים ומשימות אחרות של שימוש אופטימאלי במים ופיתוח הנגב. תוך זה חשוב בעיקר שהוקטן מחסור המידע על כמות המים באירועי זרימה, כולל (ובמיוחד!) נפחי הגאוויות הגדולות בנגב.

מראי מקומות

- בן-צבי, א. (1982). הגיאוויות בנגב – גודלן ושכיחותן. דו"ח הידרו / 2 / 82, השרות ההידרולוגי, ירושלים.
- גרתי, ר., ארבל, ש., גטקר, מ. וגנני, א. (1992). ספיקות שיא ונפחי נגר בתחומי התנקזות משניים בחורף 1991/92, רכוז רב שנתי של נתוני ספיקות השיא ונפחי נגר שנתיים. דוח מיוחד M-41, התחנה לחקר הסחף, עמק חפר.
- שנציס, א., מאירוביץ, ל., בן-צבי, א., רוזנטל, א. (1997א). הערכה של אבודי מים באפיק נחל צין ותרומתם לאקופר האזורי. דו"ח הידרו / 1 / 97, השרות ההידרולוגי, ירושלים.
- שנציס, א., מאירוביץ, ל., ינוביץ, י., חביץ, ו., בן-צבי, א. (1997ב). מערכת נתוני הגיאוויות בנגב. דו"ח הידרו / 2 / 97, השרות ההידרולוגי, ירושלים.
- שנציס, א., מאירוביץ, ל., בן-צבי, א., רוזנטל, א. (1998א). הערכת אבודי מים באפיקי נחל נקרות ויובליו ותרומתם לאקופר האזורי. דו"ח הידרו / 7 / 98, השרות ההידרולוגי, ירושלים.
- שנציס, א., מאירוביץ, ל., בן-צבי, א., רוזנטל, א. (1998ב). הערכת אבודי מים באפיק נחל פארן (קטע חלמיש – צווער הבקבוק) ובקרת תרומתם לאקופרים האזוריים. דו"ח הידרו / 10 / 98, השרות ההידרולוגי, ירושלים.

שרון, ד. (1979). גשמים מקומיים בערבה. מתוך: שמואלי, א., וגרדוס, י., (עורכים), ארץ הנגב, משרד הבטחון, עמ' 119-124.

כהנא, ר. (1999). הידרוקלימטולוגיה סינופטית של השיטפונות הגדולים בנגב ובערבה. חבור לשם קבלת תואר "מוסמך במדעי הטבע", המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 87 עמ'.

Ben-Zvi, A. (1982). Flow events in the Negev – a regional quantitative model. *Water International* **7**: 127-133.

Dayan, U. and Sharon, D. (1980). Meteorological parameters for discriminating between widespread and spotty storms in the Negev. *Isr. J. Earth Sci.* **29**: 253-256.

Dayan, U. and Abramski, R. (1983). Heavy rain in the Middle East related to unusual Jet Stream properties. *Bull. of the American Met. Soc.* **64**: 1138-1140.

Ely, L. L., Enzel, Y. and Cayan, D.R. (1994). Anomalous North Pacific atmospheric circulation and large winter floods in the southwestern United States. *Journal of Climatology* **7**:977-987.

Enzel, Y., Cayan, D. R., Anderson R.Y. and Wells, S.G. (1989). Atmospheric circulation during Holocene lake stands in the Mojave Desert: Evidence of regional climate change. *Nature* **341(6237)**: 44-47.

Farquharson, F. A. K., Meigh, J. R. and Sutcliffe, J. V. (1992) Regional flood frequency analysis in arid and semiarid areas. *J. Hydrology* **138**, 487-501.

Greenbaum, N., Margalit, A., Sharon, D., Schick, P.A. and Baker, V.R. (1998). A high magnitude storm and flood in a hyperarid catchment, Nahal Zin, Negev Desert, Israel. *Hydrol. Processes* **12**: 1-23.

Hjalmarson, H. W. and Thomas, B. E. (1992) New look at regional flood frequency relation for arid lands. *J. Hydraul. Engng. Div. ASCE* **118**, 868-886.

Hitschboeck, K.K. (1987). Catastrophic flooding and atmospheric circulation anomalies. In: Mayer, L. and Nash, D., (eds.), *Catastrophic Flooding*. Allen and Unwin, Massachusetts, USA, pp. 25-56.

Hitschboeck, K.K. (1988). Flood hydroclimatology. In: Baker, V.R., Kochel, R.C. and Patton, P.C., (eds.), *Flood Geomorphology*, John Wiley & Sons, New York, USA, pp. 27-49.

Inbar, M. (1987). Effects of a high magnitude flood in a Mediterranean climate: a case study in the Jordan River basin. In *Catastrophic Flooding*, Mayer, L., Nash D.(eds). Allen and Unwin, London: 333-353.

Jarnal, B. and Frakes, B. (1997). Using Synoptic Climatology to define representative discharge events. *Journal of Climatology* **17**: 323-341.

Kahana, R., Ziv, B., Enzel, J. and Dayan, U. (2002). Synoptic climatology of major floods in the Negev, Israel. *Journal of Climatology* **22**: 867-882.

- Krichak, S.O. and Alpert, P. (1998). Role of large scale moist dynamics in November 1-5, 1994, hazardous Mediterranean weather. *J. of Geophysical Res.* **103(D16)**: 19453-19468.
- Laronne, J.B., Alexandrov, Y., Reid, I. and Cohen, H., 2003. Characteristics of floods in the Northern Negev exemplified by Nahal Eshtemoa (in Hebrew). pp 41-47 in *Proc. Israel Water Resources Association*. Ashqelon. 83pp.
- Maddox, R.A., Chappell C.F. and Hoxit L.R. (1979). Synoptic and meso-scale aspects of flash flood events. *Bull. of the American Met. Soc.* **60(2)**:115-123.
- Maddox, R.A., Canova, F. and Hoxit L.R. (1980). Meteorological characteristics of flash flood events over the Western United States. *Monthly Weather Review* **108**: 1866-1877.
- Meirovich, L., Ben-Zvi, A., Shentsis, L., Yanovich, E. (1998). Frequency and magnitude of runoff events in the arid Negev of Israel. *J. Hydrol.* **207**:204-219.
- Sharon, D. (1974). Spottiness of rainfall in a desert area. In: Gerson, R. and Inbar, M., (eds.), *Field study program, Intl. symposium on geomorphic processes in arid environments*, pp. 55-57.
- Sharon, D. and Kutiel, H. (1986). The distribution of rainfall intensity in Israel, its regional and seasonal variations and its climatological evaluation. *Journal of climatology* **6**: 277-291.
- Schick, A.P. and Lekach, J. (1987). A high magnitude flood in the Sinai desert. In *Catastrophic Flooding*, Mayer, L., Nash D.(eds). Allen and Unwin, London: 381-410.
- Shentsis, I., Meirovich, L., Ben-Zvi, A. and Rosenthal, E. (1999). Assessment of transmission losses and groundwater replenishment from runoff events in a wadi under shortage of a data of lateral inflow, Negev, Israel. *Hydrol. Processes* **13**: 1649-1663.
- Shentsis, I., Meirovich, L., Ben-Zvi, A. and Rosenthal, E. (2002a). Assessment of transmission losses and groundwater recharge from runoff events in a reach of Nahal Paran, Israel. *Isr. J. Earth Sci.* **50**: 187-199.
- Shentsis, I., Meirovich, L., Ben-Zvi, A. and Rosenthal, E. (2002b). Assessment of transmission losses and groundwater recharge from runoff events in watercourses of Neqarot watershed, Israel. *Isr. J. Earth Sci.* **50**: 201-215.
- Webb, R.H. and Betancourt, J.L. (1992). Climatic variability and flood frequency of the Santa Cruz river, Pima County, Arizona, U.S.G.S. *Water-Supply paper* **2379**, 40 p.
- Zangvil, A. and Isakson, A. (1995). Structures of water vapor field associated with an early spring rainstorm over the eastern Mediterranean. *Isr. J. Earth Sci.* **44**: 159-168.