

(18)

BD

3350 ד

המכון הלאומי והאוניברסיטאי לחקלאות

האוניברסיטה העברית בירושלים

הפקולטה לחקלאות  
המחלקה לכלכלה חקלאית

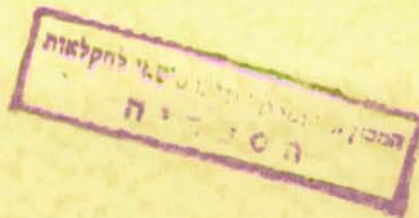
מכון וולקני לחקר החקלאות

האגף לקרקע ומים  
המחלקה להשקיה

אומדני פונקציות-תגובה למים  
של גידולי הקיץ שורגום ואגוזי-אדמה

מאת

א' סובוטניק, ח' בילור, ד' ירון



05  
101

# תיקון טעות

בעבודה זו נפלו לצערנו מספר טעויות דפוס העלולות לפגום בהבנת החומר.

| <u>התיקונים הם:</u>                               |   | <u>כתוב</u>              | <u>צ"ל</u>           |
|---------------------------------------------------|---|--------------------------|----------------------|
| 1. בעמ' 2 שורה ראשונה                             | " | הנתונים                  | הניתוחים             |
| 2. בעמ' 2 " שלישית                                | " | המגלמר                   | המגלמח               |
| 3. בעמ' 3 " חשיעית                                | " | האמפיריים                | האמפיריים            |
| 4. בעמ' 8 " רביעית מלמטה                          | " | Zjikt                    | Zjik                 |
| 5. בעמ' 27 " שלישית                               | " | המילה "למים" אחרי        | אגוזי-אדמה - מיוחדת. |
| 6. בעמ' ראשון של החקציר האנגלי, שורה שביעית מהסוף | " | estimated צ"ל estimates. |                      |

631.584  
 $\frac{05}{82}$  : 333.91 : 631.7 : 633

3 כ"ט

## אומדנים של פונקציות תגובה למים של גידולי הקיץ סורגום ואגוזי-אדמה

מאה

א' סובוטניק, ח' בילורי, ד' ירון

### ת ק צ י ר

בעבודה זו הוצגו אומדנים אמפיריים של פונקציות תגובה למים של סורגום ואגוזי-אדמה; במטרה לספק אינפורמאציה להחלטות בדבר אינטנסיביות ההשקיה של גידולים אלה, בתנאי משק שונים באזור הנגב הצפוני (גילת).

האומדנים נתקבלו תוך ניתוחי רגרסיה בשיטת הריבועים הפחותים של ניסויי השקיה שנערכו בסורגום בשנים 1958, 1959 ו-1961, במירווחי זריעה של 75 ס"מ ו-105 ס"מ, ושל ניסויי השקיה באגוזי-אדמה - בשנים 1955, 1956 ו-1960. הניסויים נערכו בחוות הניסיונות גילת.

בניתוח בוטא יבול גרעיני הסורגום ויבול התרמילים של אגוזי-אדמה כתלות של כמות המים העונתית נטו. מישתנה זה משקף גם את רמתם של מישתני השקיה אחרים (כגון: מספר ההשקיות, משך תקופת ההשקיה) אשר היה מיתאם גבוה ביניהם לבין כמות המים נטו. הותאמו נוסחאות אלגבראיות אלטרנאטיביות לתוצאות הניסויים השונים, ונבחנה מידת התאמתם לנתונים.

האומדנים אשר נתקבלו מורים, כי התוספת השולית של יבול גרגרי הסורגום, במירווחי זריעה של 75 ס"מ בין השורות, הוא כ-1.6-1.7 ק"ג למ<sup>3</sup> כאשר כמות המים היא 200 מ<sup>3</sup>/ד', ו-1.2-1.3 ק"ג למ<sup>3</sup>, כאשר כמות המים - 300 מ<sup>3</sup>/ד', נוסף על השקיית הרווייה. במירווחי זריעה של 105 ס"מ מגיעה התוספת השולית של יבול גרגרי הסורגום ל-1.5-1.7 ק"ג למ<sup>3</sup> בכמות מים של 200 מ<sup>3</sup>/ד' ו-1.0-1.1 ק"ג/מ<sup>3</sup> - בכמות מים של 300 מ<sup>3</sup>/ד', נוסף על השקיית הרווייה.

אומדני התוספת השולית של יבול התרמילים של אגוזי-אדמה הם: 0.9, 0.6 ו-0.3 ק"ג למ<sup>3</sup>, כאשר כמויות המים העונתיות נטו הן: 300, 400 ו-500 מ<sup>3</sup>/ד', בהתאמה, נוסף על השקיית הרווייה.

על סמך הנחונים אשר נערכו בעבודה זו מוצגת ההיפותזה, כי ההבדלים בפוריות הקרקע ושינויים  
בחנאי האקלים הספציפיים לשנים השונות משפיעים על תזוזה אנכית של עקומות התפוקה, אך לא  
על שיפועיהן. כלומר: "השפעת השנה" המגלמה בחוכה את מכלול גורמי הגידול השונים משנה אחת  
לשנייה, ניתנת לביטוי כגורם אדיטיבי וללא פעילות-גומלין בינה לבין מקדמי השיפוע של עקומות  
התגובה.

באזורים ארידיים וסמי-ארידיים להם שייכת ישראל מהווים המים את הגורם המגביל בייצור החקלאי. בחיכנון גידולי השלחין במשק החקלאי בישראל, עולה השאלה כיצד לחלק את מי ההשקיה המוגבלים בין גידולי הקיץ השונים? הגידולים העיקריים הם הסורגום, הכותנה ואגוזי האדמה, המהווים כשליש משטחי השלחין בארץ. בעשר השנים האחרונות נערכו ניסויי השקיה בהם נבחנה תגובת גידולים אלה למשטרי השקיה שונים ונקבעה תיצרובת המים שלהם (1, 2, 3, 4).

תוצאות הניסויים האלה וכן הניסיון המעשי שהצטבר משמשים בסיס לשיקולים בקביעת חלוקת המים במשק החקלאי.

כמכשיר עזר נוסף יכולות לשמש פונקציות של תגובת היבול לכמויות מים משתנות.

האומדנים האמפיריים של פונקציות של תגובת יבול, הותאמו לתוצאות ניסויי ההשקיה שנערכו: א. בסורגום, בשנים 1958, 1959 ו-1961 ב. באגוזי-אדמה, בשנים 1955, 1956 ו-1960, בחוות הניסיונות גילת אשר בנגב הצפוני.

ביסוד הניתוח מונחת התפיסה, כי צמחים מגיבים באופן דיפרנציאלי לתכולת הרטיבות בקרקע וכי על-ידי שינויים מכוונים במשטר הרטיבות, במשך תקופת הגידול, ניתן להשפיע על רמת היבול. שינויים אלה במשטר הרטיבות כוללים שינויים בעיתוי ההשקיות, בהתחשב בתקופות הקריטיות שבהתפתחות הצמח, ובמנות המים להשקיות הבודדות הקובעות את סך מנות המים העונתיות. הביסוס העיוני של תפיסה זו של יחסי מים-קרקע-צמח, וכל המשתמע ממנה לגבי אינטרפטאציה כלכלית של ניסויי השקיה, נדונו במפורט על-ידי ירון, בילורי וחבריהם (5). עבודות אחרות העוסקות בנושא זה פורסמו בשנות השלושים על-ידי איסרלסן (8) ולאחרונה - על-ידי ברינגר (7) ומור (9).

החשיבות הכלכלית של אומדני פונקציות התגובה למים של יבולי גידולים שונים היא בכך, שפונקציות אלה משמשות בסיס לאומדן תוספת ההכנסות לעומת תוספת ההוצאות, עם הגברתה של אינטנסיביות ההשקיה ומסייעות בקבלת החלטות בעת תכנון חלוקת המים במשק.

מטרת עבודה זו הייתה, להציג אומדנים אמפיריים של פונקציות של תגובת יבול סורגום-לגרגרים ואגוזי-אדמה לכמויות מים; אומדנים של תגובת כותנה למים תוארו בעבודה קודמת (5).

1. סורגום

תיאור הניסויים והחוצאות

הניסויים נערכו בחוות גילת אשר בנגב הצפוני, בשנים 1958, 1959, ו-1961. הקרקע בחלקות הניסויים היא לס רגוסולי הטיפוסי לאזור. מירקם הקרקע הוא חמרת-חול והחתך אחיד יחסית, לפחות עד עומק של 1.80 מ'.

קיבול השדה הוא 18.5% ונקודת הכמיסה - 7.5% (על בסיס של קרקע יבשה); ערכים אלה הם ממוצעים לשיכבה בעומק של 0-180 ס"מ. המישקל הניפחי הממוצע של הקרקע הוא 1.35 ס"מ<sup>3</sup>, ושיעור החילחול (האינפילטראציה) - 12 מ"מ/שעה.

הניסויים נערכו בכל השנים בשיטת החלקות המפוצלות (Split plots) כאשר בחלקות הראשיות נבדקו מירווחי זריעה בין השורות ובחלקות המישנה - טיפולי השקיה. מספר החזרות היה: 6 בשנת 1958, ו-4 בשנים 1959 ו-1961.

לפני הזריעה הובאה הקרקע לקיבול-שדה, עד לעומק של 1.80 מ'. לשם כך היו דרושות מנות מים של 168 מ"מ לדונאם ב-1958, 85 ב-1959, ו-124 מ"מ ב-1961. מועדי ההשקיה בניסויים אלה נקבעו מראש ואילו מנות המים בכל ההשקיה נקבעו בהתאם לגרעון מי הקרקע באזור ביח-השורשים, עד לקיבול-שדה. קביעת מועדי ההשקיה נעשתה גם בהתחשב בתקופות הקריטיות שבהתפתחות הסורגום: 1. הפצלה (עד 40 יום אחרי הזריעה). 2. התכבדות עד לפריחה (עד 60 יום אחרי הזריעה). 3. הבשלת חלב (כ-75-80 יום אחרי הזריעה).

התנודות של רטיבות הקרקע נקבעו לפי מידגמי-קרקע שהוצאו מכל שיכבה בת 30 ס"מ, עד לעומק של 210 ס"מ. דגימות הרטיבות שימשו לחישוב מנות המים נטו. מנות המים שניתנו נמדדו בעזרת שעוני-מים המחוברים לקווי ההשקיה. ההשקיה בוצעה באמצעות ממטירים, בהצבה של 12x12 מ', לפי יעילות השקיה של 75%.

מועד הזריעה חל באמצע אפריל והאסיף בוצע בשבוע השלישי של חודש אוגוסט, בכל שנות הניסויים. יבול הגרגרים חושב על בסיס של 12% רטיבות. הגידולים הקודמים היו: חיטה ב-1958, תפוחי-אדמה סחויים ב-1959 וסייפנים ב-1961.

יתר הטיפולים האגרנטכניים היו כמקובל באזור. פירוש טיפולי ההשקיה, מנות המים והיבולים שנתקבלו במירווח הזריעה של 75 ס"מ ניתן בטבלה 1, ואילו אלה במירווח 105 ניתנים בטבלה 2.

טבלה 1

טיפול ההשקיה והיבולים בסורגום לגרגרים במירווח הזריעה של 75 ס"מ  
בשנים 1958, 1959 ו-1961.

| מספר הטיפול     | מספר השקיות | מועד מתן המים, בימים מהזריעה  | מנה מים נטו במ <sup>3</sup> | יבול גרגרים בק"ג/ד' |
|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| <u>שנה 1958</u> |             |                               |                             |                     |
| 11              | 0           | 0                             | 0                           | 34.8                |
| 21              | 1           | 38, 0                         | 68                          | 126.8               |
| 31              | 1           | 56, 0                         | 94                          | 232.0               |
| 41              | 2           | 59, 38, 0                     | 163                         | 311.2               |
| 51              | 3           | 80, 59, 38, 0                 | 292                         | 585.5               |
| 61              | 7           | 99, 87, 77, 67, 57, 48, 38, 0 | 582                         | 726.0               |
| <u>שנה 1959</u> |             |                               |                             |                     |
| 12              | 0           | 0                             | 0                           | 250.2               |
| 22              | 1           | 27, 0                         | 53                          | 325.5               |
| 32              | 1           | 56, 0                         | 163                         | 589.2               |
| 42              | 2           | 57, 34, 0                     | 280                         | 791.2               |
| 52              | 2           | 68, 42, 0                     | 303                         | 825.2               |
| 62              | 3           | 80, 59, 36, 0                 | 417                         | 847.2               |
| 72              | 4           | 87, 72, 56, 37, 0             | 394                         | 871.5               |
| 82              | 6           | 89, 75, 65, 55, 45, 35, 0     | 584                         | 932.2               |
| <u>שנה 1961</u> |             |                               |                             |                     |
| 13              | 0           | 0                             | 0                           | 152.7               |
| 23              | 1           | 55, 0                         | 111                         | 377.5               |
| 33              | 2           | 57, 38, 0                     | 178                         | 483.0               |
| 43              | 3           | 74, 58, 39, 0                 | 364                         | 749.7               |
| 53              | 4           | 89, 75, 59, 40, 0             | 488                         | 740.0               |

טבלה 2

טיפול ההשקיה, והיבולים שנחקבלו בסורגום לגרגרים במירווח הזריעה

של 105 ס"מ, בשנים 1958 ו-1959.

| מספר<br>הטיפול | מס' ההשקיות | מועד מתן המים, בימים מהזריעה  | מנח מים<br>נשו במ <sup>3</sup> | יבול גרגרים,<br>בק"ג/ד' |
|----------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 11             | 0           | 0                             | 0                              | 81.8                    |
| 21             | 1           | 38, 0                         | 68                             | 193.0                   |
| 31             | 1           | 56, 0                         | 94                             | 264.7                   |
| 41             | 2           | 59, 38, 0                     | 163                            | 333.5                   |
| 51             | 3           | 80, 59, 38, 0                 | 238                            | 533.5                   |
| 61             | 7           | 94, 87, 77, 67, 57, 48, 38, 0 | 485                            | 748.2                   |
| 12             | 0           | 0                             | 0                              | 233.5                   |
| 22             | 1           | 27, 0                         | 67                             | 317.5                   |
| 32             | 1           | 56, 0                         | 164                            | 572.0                   |
| 42             | 2           | 54, 34, 0                     | 287                            | 712.7                   |
| 52             | 2           | 68, 42, 0                     | 247                            | 794.0                   |
| 62             | 3           | 80, 59, 36, 0                 | 370                            | 771.7                   |
| 72             | 4           | 87, 70, 54, 35, 0             | 332                            | 768.2                   |
| 82             | 6           | 89, 75, 65, 55, 45, 35, 0     | 496                            | 740.5                   |

חחילה ידונו בנפרד אומדני פונקציות התגובה המתייחסות למירווחי הזריעה של 75 ס"מ ו-105 ס"מ; לאחר מכן יושו תגובות הסורגום לשינויים במשטר ההשקיה, בשני מירווחי זריעה אלה.

פונקציות התגובה למים של סורגום, במירווחי זריעה של 75 ס"מ

את משטרי ההשקיה בטיפולים השונים ניתן לבטא בקירוב על-ידי המישתנים הבאים:

$x_1$  - כמות המים נטו במ<sup>3</sup>/ד' במשך העונה (מבלי לכלול השקיה מוקדמת לפני הזריעה - השקית הרוויה);

$x_2$  - מספר השקיות;

$x_3$  - משך תקופת ההשקיה (מס' הימים שבין הזריעה ועד להשקיה האחרונה).

בחינת היחסים בין  $x_1, x_2, x_3$  בניסויים מעלה, כי מבין שלושה מישתנים ההשקיה דלעיל, רק אחד הוא בחינת מישתנה "בלתי-תלוי" והשניים האחרים הינם בחינת מישתנים ה"נלווים", אל המישתנה הבלתי-תלוי. דבר זה מסתבר ממקדמי-המיתאם הליניארי בין המשתנים  $x_1, x_2, x_3$  המוצגים בטבלה 3.

### טבלה 3

מקדמי-מיתאם ליניארי בין  $x_1$  (כמות המים) לבין  $x_2$  (מס' ההשקיות) ו- $x_3$  (משך תקופת ההשקיה), במירווחי זריעה של 75 ס"מ.

| השנה     | 1 9 5 8 | 1 9 5 9 | 1 9 6 1 |       |       |       |
|----------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| המישתנים | $x_1$   | $x_2$   | $x_3$   | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ |
| $x_1$    | 1       |         |         | 1     |       |       |
| $x_2$    | .99     | 1       |         | .98   | 1     |       |
| $x_3$    | .88     | .86     | 1       | .89   | .91   | 1     |

כפי שנראה מטבלה 3 הרי המיתאם בין כמות המים לבין מספר ההשקיות היה בכל אחת משלוש

שנות הניסויים 0.95 ומעלה, ואילו זה שבין כמות המים לבין משך תקופת ההשקיה נע בין 0.84 לבין 0.89. מיתאמים אלה נובעים מתיכנון הניסויים, ויחסי-הגומלין הקיימים בין מישתני ההשקיה. גם מקדמי-המיתאם בין  $x_2$  ו- $x_3$  היו גבוהים בכל שנות הניסויים. לאור החלות הקיימת בין המישתנים  $x_1, x_2$  ו- $x_3$  ניתן לבטא את היבול כפונקציה של אחד מהם בלבד. בחרנו לבטא את יבול הסורגום כפונקציה של כמות המים לדונאם -  $x_1$  (\*).

(\*) בניסוח זה מייצג המישתנה  $x_1$  לא רק את כמות המים, אלא גם את המישתנים  $x_2$  ו- $x_3$  הנלווים אליו, ברמה המתאימה.

לנחוני הניסויים הותאמו (בשיטת הריבועים הפחותים) שלוש נוסחות אלטרנטיביות והן:

$$1. y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^2$$

$$2. y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^3$$

$$3. y = b_0 + b_1 x_1^2 + b_2 x_1^3$$

כאשר:  $y$  = יבול הגרגרים של סורגוס, על בסיס של 12% רטיבות בעת האסיף, בק"ג/ד'.  
 $x_1$  = כמות מים נטו במ"ד'.

שלוש הנוסחות הנ"ל הותאמו תחילה בנפרד לכל שנה, ולאחר שנמצא כי העקומות לשנים השונות מקבילות זו לזו, הותאם לכל נוסחה אומדן משולב בשיטת השונות המשותפת (\*). להלן מכוונים האומדנים האמפיריים: (1.S.75) (2.S.75) (3.S.75), בהתאמה.

האומדנים מוצגים בטבלה 4, ואילו העקומות שנאמדו - בציורים 1, 2, ו-3.

כפי שניתן לראות מטבלה 4, היו כל המקדמים בכל האומדנים מובהקים ברמת מובהקות של 1%, ומקדם-ההסבר (המראה איזה אחוז מן השונות הכללית מוסבר על-ידי הרגרסיה) נע באומדנים השונים בין 0.90 לבין 0.96.

\* במונחים סטטיסטיים, הוחאם (לפי שיטת הריבועים הפחותים) מישטח רגרסיה, בהחאם לדגם:

$$Y_{ikt} = a_i + b_0 + b_1 z_{lik} + b_2 z_{2ik} + b_3 z_{3ik} + e_{ikt}$$
  
 כאשר  $Y_{ikt}$  הוא היבול שהתקבל בשנה  $i$  מן החזרה  $t$  של הטיפול  $k$ ;  $a_i$  הוא השפעת השנה  $i$ ;  $z_{jikt}$  הוא הרמה, בשנה  $i$  ובטיפול  $k$  של הגורם המתאים למקדם-הרגרסיה  $b_j$ ;  $e_{ikt}$  הוא "שגיאה ניסויית" מקרית, המכילה את השפעת הבלוק (החזרה). "סכום הריבועים" המבטא את ההבדלים בין שלוש השנים היה בלתי מובהק, ברמת מובהקות של 5%, בכל שלוש הנוסחות.

טבלה 4

אומדני פונקציות הייצור של מים בסורגום, במירווח זריעה של 75 ס"מ.

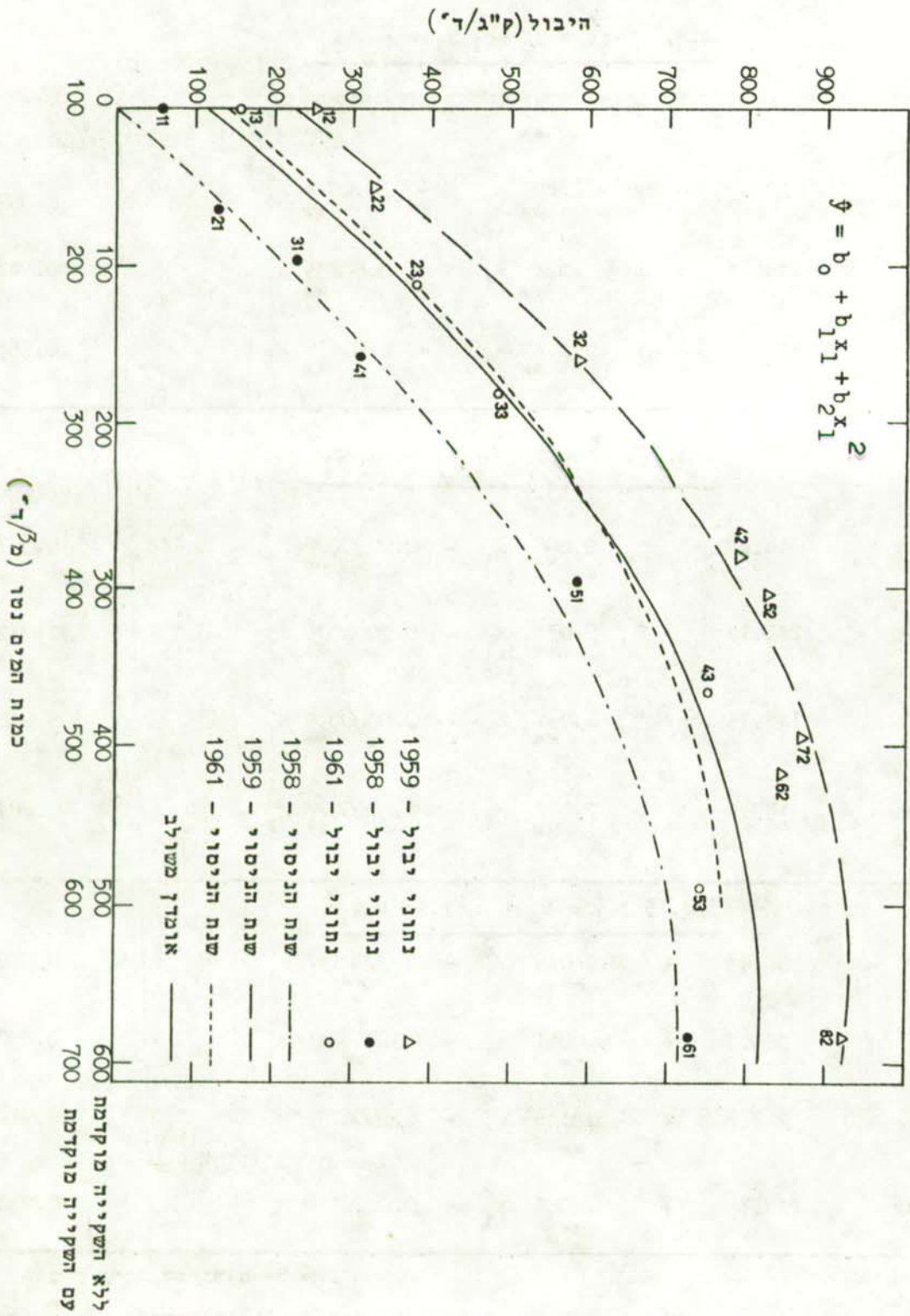
| ה ש נ ה                                                            | ה נ ו ס ח ה |   |                          |                              | R <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|---|--------------------------|------------------------------|----------------|
| <u>1.S. 75 : <math>\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^2</math></u>  |             |   |                          |                              |                |
| 1958                                                               | 5.56        | + | $2.45 \times_1^{**}$     | $- 0.00207 \times_1^{**2}$   | 0.952          |
| 1959                                                               | 229.9       | + | $2.602 \times_1^{**}$    | $- 0.0024 \times_1^{**2}$    | 0.957          |
| 1961                                                               | 142.1       | + | $2.45 \times_1^{**}$     | $- 0.00239 \times_1^{**2}$   | 0.942          |
| אומדן משולב                                                        | 124.76      | + | $2.47 \times_1^{**}$     | $- 0.00217 \times_1^{**2}$   | 0.963          |
| <u>2.S. 75 : <math>\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^3</math></u>  |             |   |                          |                              |                |
| 1958                                                               | 14.67       | + | $2.095 \times_1^{**}$    | $- 0.0000025 \times_1^{**3}$ | 0.957          |
| 1959                                                               | 248.12      | + | $2.033 \times_1^{**}$    | $- 0.0000026 \times_1^{**3}$ | 0.952          |
| 1961                                                               | 147.75      | + | $2.091 \times_1^{**}$    | $- 0.0000035 \times_1^{**3}$ | 0.948          |
| אומדן משולב                                                        | 137.9       | + | $2.011 \times_1^{**}$    | $- 0.0000025 \times_1^{**3}$ | 0.964          |
| <u>3.S.75 : <math>\hat{y} = b_0 + b_1 x_1^2 + b_2 x_1^3</math></u> |             |   |                          |                              |                |
| 1958                                                               | 90.43       | + | $0.01015 \times_1^{**2}$ | $- 0.0000142 \times_1^{**3}$ | 0.946          |
| 1959                                                               | 330.7       | + | $0.0081 \times_1^{**2}$  | $- 0.000011 \times_1^{**3}$  | 0.897          |
| 1961                                                               | 215.2       | + | $0.0106 \times_1^{**2}$  | $- 0.0000175 \times_1^{**3}$ | 0.912          |
| אומדן משולב                                                        | 217.38      | + | $0.0084 \times_1^{**2}$  | $- 0.0000116 \times_1^{**3}$ | 0.930          |

\*\*\* מובהק ברמת הסתברות של 1%.

כאשר:  $\hat{y}$  = אומדן יבולי הגרגרים של הסורגום על בסיס של 12% רטיבות בעת האסיף, בק"ג/ד".  
 $x_1$  = כמויות מים נסו במ"ג/ד".

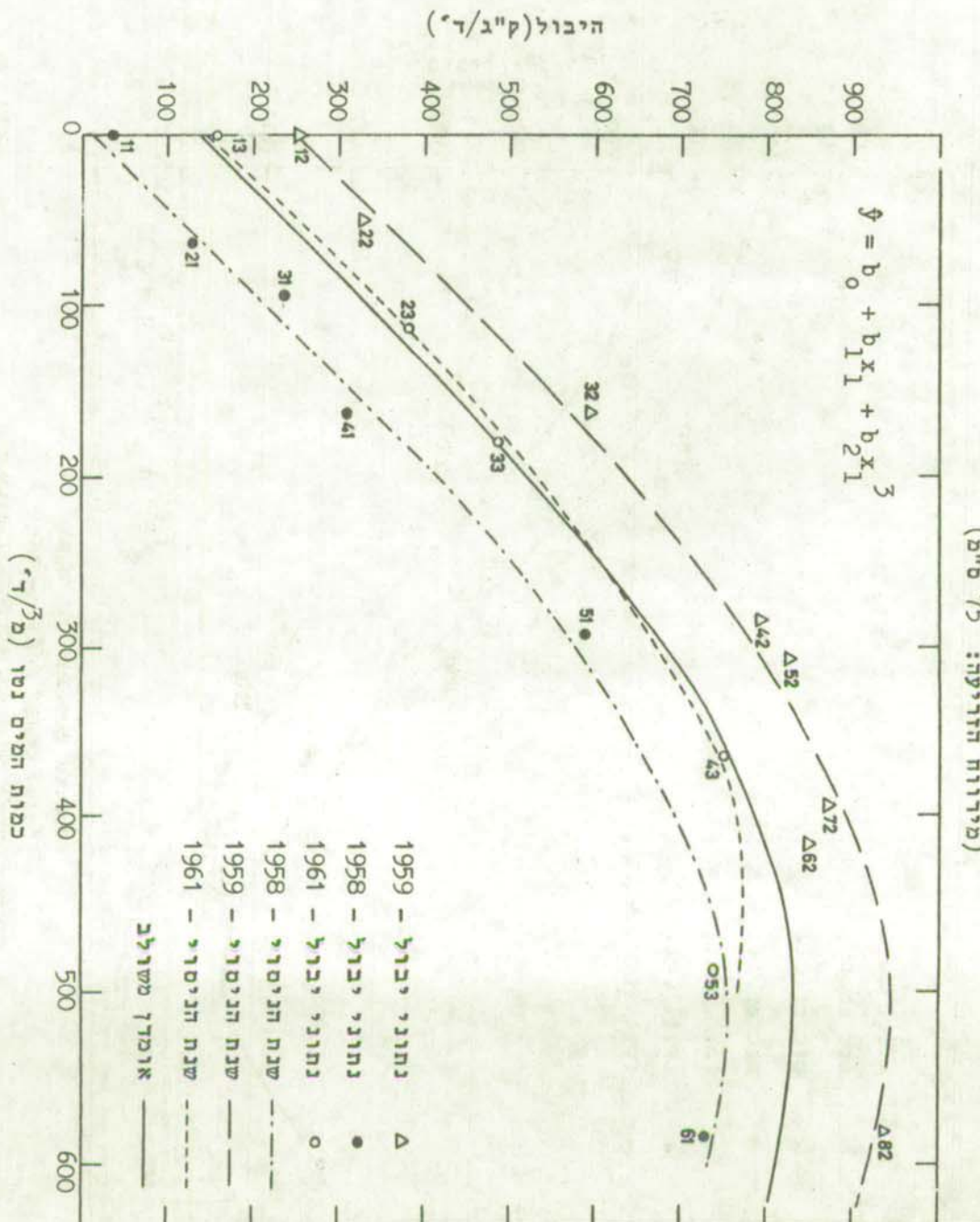
# ציור 1

עקומות תגובה למים של יבול גרגרי סורגוס  
(גילה: 1958, 1959 ו-1961)  
(מירווח הזריעה: 75 ס"מ)



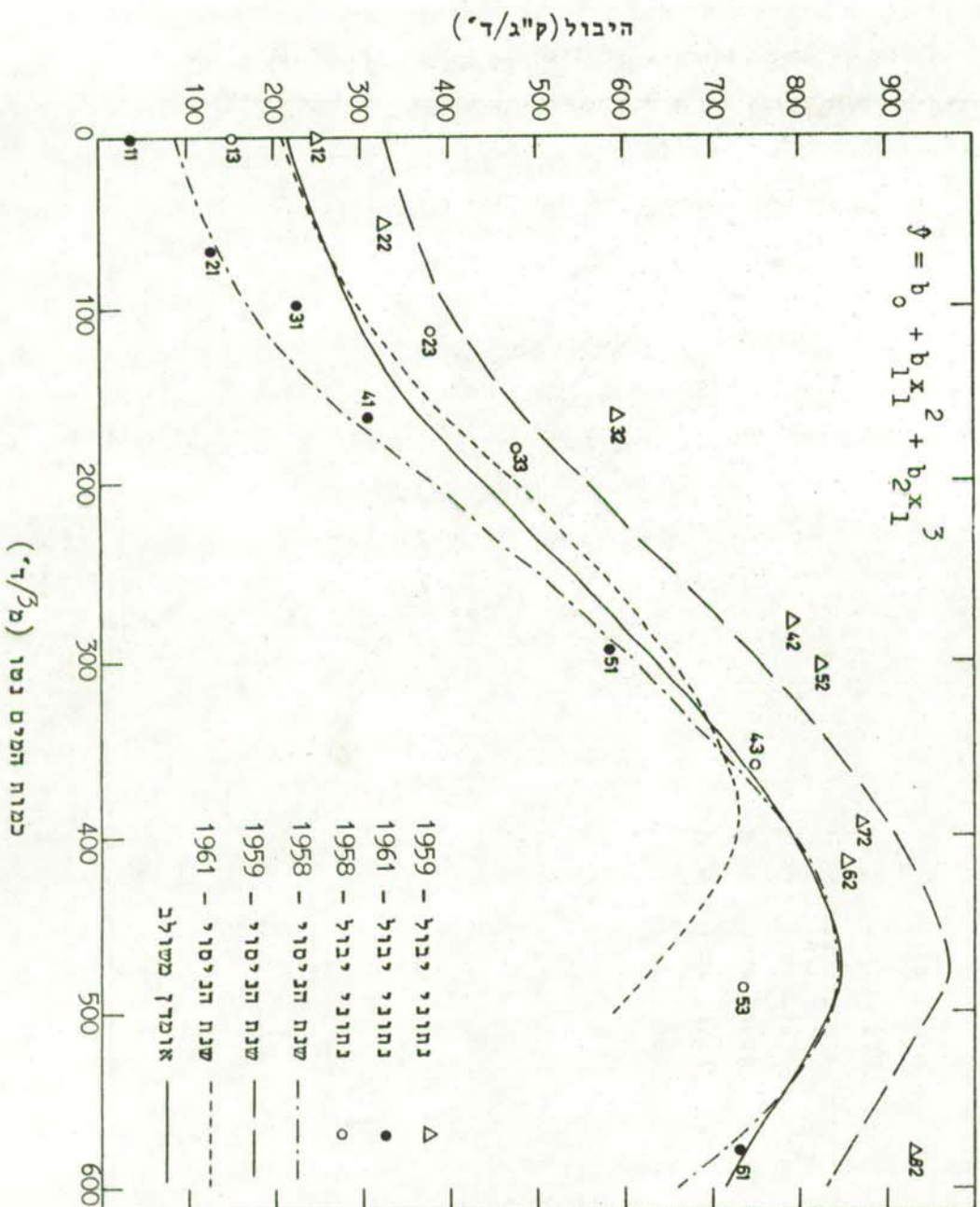
## צור 2

עקומות תגובה למים של יבול גרגרי סורגום  
(גילת: 1959, 1958 ו-1961)  
(מידות הזריעה: 75 ס"מ)



# ציר 2

עקומות תגובה למים של יבול גרגרי סורגום  
(גילת: 1958, 1959 ו-1961)  
(מירווח הזריעה: 75 ס"מ)



אף כי השונות המוסברה ( $R^2$ ) על-ידי הנוסחות (1.S.75) ו-(2.S.75) גדולה במקצת מזו שבנוסחה (3.S.75), הרי קשה על סמך אמת-מידה זו בלבד לבכר נוסחה אחת על פני חברתה מבין שלוש הנוסחות שהותאמו. אולם, בחינת הציורים 1, 2, ו-3 (ובמיוחד האחרון) מעלה, כי הנוסחה (3.S.75) אינה נראית כמתאימה לבטא את יחסי מים/יבול בניסויים הנדונים. העקומות אשר הותאמו לפי (3.S.75) מבליטות, בכל השנים, יבול-שיא ברור בכמות מים מסוימת. בחינה של ממוצעי היבולים בטיפולים השונים אינה מאשרת את התמונה המחקבלת מן העקומות בדבר יבול-שיא כזה. מבחינה זו, העקומות המחקבלות לפי נוסחות (1.S.75) ו-(2.S.75) תואמות יותר את תוצאות הניסויים; העקומות לפי (1.S.75) אינן מראות מאכסימום יבול בתחום הטיפולים, ואילו בעקומות לפי (2.S.75) אין המאכסימום מובלט.

בהקשר זה כדאי לציין, כי בניחוח של פונקציות תגובה על-פי נחונים ניסויים קשה, בדרך-כלל, לתת תשובה חד-משמעית לשאלה אם יש מאכסימום ברור ליבול בתחום הטיפולים. כפי שנוכחנו לראות במספר ניתוחים של פונקציות של תגובה למים, המבוססות על התאמת נוסחות-פולינום לנתוני הניסויים, עלולות העקומות לקבל מאכסימום, מבלי שהתוצאות של הטיפולים אשר בקרבת המאכסימום (יבולים ממוצעים של הטיפולים עם כמויות מים סביב נקודת המאכסימום) לכשעצמם יאשרו כי אמנם מאכסימום כזה קיים.

מבחינה זו ניתן להבחין בין שני מצבים. המצב הראשון הוא כאשר מאכסימום ברור אינו קיים במציאות, (כגון היבול מחקר אסימפטוטית לרמה נתונה והמאכסימום הוא באין סוף), אולם האומדנים של הפאראמטרים של הפונקציות נקבעים במשוקלל על-ידי היבולים המחקבלים בכל הטיפולים. כאשר אומדים פולינום עם מספר אברים מוגבל, חסרה העקומה את הגמישות הדרושה להתאמה לתצפיות בכל התחום של המישתנה-הבלתי-חלוי. כך, למשל, בנוסחה  $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^2$  נקבעים האומדנים של הפאראמטרים  $b_0, b_1, b_2$  בהתחשב בתצפיות היבול של כל הטיפולים, ומהלך העקומה שבקרבת היבולים הגבוהים אינו נקבע רק על-ידי התצפיות שבתחום זה אלא גם על-ידי התצפיות אחרות. לעומת זאת עלול להיות מצב שני בו מאכסימום יבול ברור קיים במציאות, אולם אין מספיק תצפיות באזור המאכסימום כדי לאחרו. כך למשל, בניסויי השקיה של סורגוס, במירווחים של 75 ס"מ, קטן היה מספר התצפיות ברמות המים הגבוהות. בשנת 1958 היו רק שני טיפולים בתחום כמויות המים שבין 292 ל-582 מ"ד<sup>3</sup>; בשנת 1959 - שני טיפולים בתחום שבין 417 ל-584 מ"ד<sup>3</sup>; ובשנת 1961 - שני טיפולים בתחום שבין 364 ל-488 מ"ד<sup>3</sup>. במצב כזה קשה לאמוד את המהלך האמיתי של הפונקציה בתחומי הטיפולים הרטובים. עם זאת, הואיל והטיפולים הרטובים אינם רלוואנטיים, בדרך-כלל, מבחינה כלכלית בתנאי החקלאות שבאזור גילת, אשר אספקת המים בו מצומצמת, הרי אין לראות מיגבלה חשובה במיעוט האינפורמאציה על הטיפולים הרטובים.

אם נחזור, לאור הדיון דלעיל, אל האומדנים האמפיריים של פונקציה התגובה של הסורגום בשנים 1958, 1959 ו-1961, במירווחי זריעה של 75 ס"מ, הרי באף אחת משנות הניסוי אין התצפיות מורות על קיום יכול מאכסימאלי ברור; על כן מצאנו לנכון לפסול את הפונקציה (3.S.75) בעוד שלגבי הפונקציות (1.S.75) ו-(2.S.75) אין בידינו בסיס מספיק להעדפת נוסחה אחת על פני חברתה. כפי שנראה להלן, בטבלה 7, חישובים של תוספת יכול הסורגום בתגובה לתוספת מים - נוחנים תוצאות דומות בהסתמך על שתי הנוסחות דלעיל.

פונקציות התגובה למים של סורגום, במירווחי זריעה של 105 ס"מ

בעיות האומדן של פונקציות התגובה למים של סורגום במירווחי זריעה של 105 ס"מ, הינן דומות לאלה של הפונקציות במירווחי זריעה של 75 ס"מ. גם כאן היה מיתאם גבוה בין כמות המים ( $x_1$ ), ומשך תקופת ההשקיה ( $x_3$ ). מקדמי-המיתאם מפורטים בטבלה 5.

טבלה 5

מקדמי-מיתאם ליניארי בין  $x_1$  (כמות המים),  $x_2$  (מס' ההשקיות) ו- $x_3$  (משך תקופת ההשקיה), במירווח זריעה של 105 ס"מ.

| 1 9 5 9 |       |       | 1 9 5 8 |       |       | ה ש נ ה  |
|---------|-------|-------|---------|-------|-------|----------|
| $x_3$   | $x_2$ | $x_1$ | $x_3$   | $x_2$ | $x_1$ | המישחנים |
|         |       | 1     |         |       | 1     | $x_1$    |
|         | 1     | 0.93  |         | 1     | 0.99  | $x_2$    |
| 1       | 0.73  | 0.84  | 1       | 0.86  | 0.89  | $x_3$    |

גם כאן בוטאה התלות של היבול כפונקציה של המים ( $x_1$ ) בלבד, כאשר מישחנה זה מבטא בצורה סמוייה גם את הרמה של המישחנים  $x_2$  ו- $x_3$  הנלווים אליו. אל התצפיות של הניסויים הותאמו (בשיטת הריבועים הפחותים) הנוסחות 1, 2 ו-3, כבמירווחי הזריעה של 75 ס"מ, וכמו דנן, גם כאן נמצאה הנוסחה 3 בלתי מתאימה לשקף את יחסי מים/יבול במירווחי זריעה של 105 ס"מ. האומדנים של הנוסחות 1 ו-2 מוצגים בטבלה 6. עקומות היבול המתאימות מוצגות בציורים 4 ו-5.

טבלה 6

אומדני פונקציות הייצור של מים בסורגום-לגרגרים, במירווח זריעה של 105 ס"מ

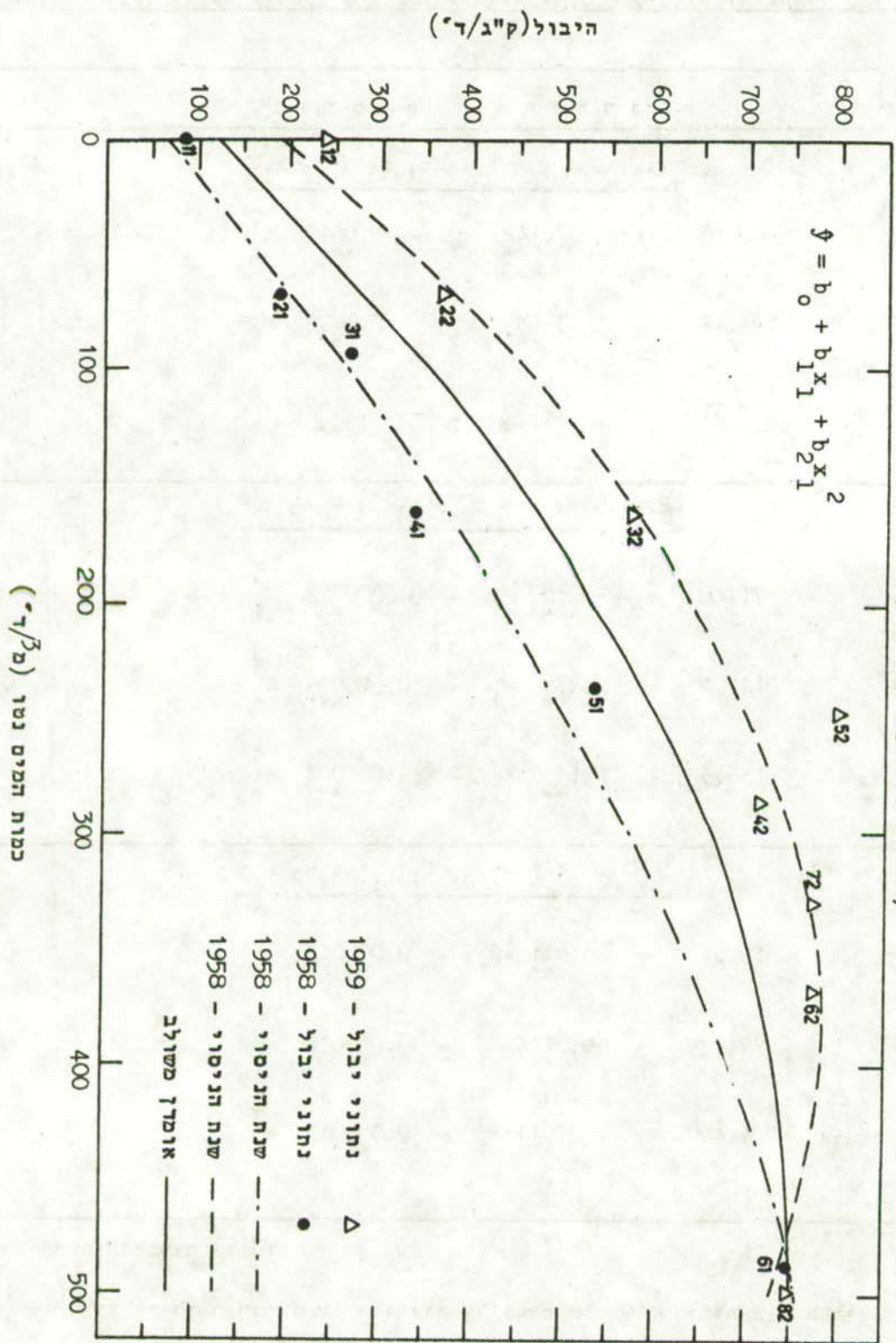
| שנה                                                           | הנוסחה והאומדנים                                   | $R^2$ |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------|
| <u>1.S.105: <math>y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^2</math></u>    |                                                    |       |
| 1958                                                          | 68.18 + $2.142_{**} x_1 - 0.0015_{**} x_1^2$       | 0.937 |
| 1959                                                          | 194.42 + $3.039_{**} x_1 - 0.0039_{**} x_1^2$      | 0.883 |
| אומדן משולב                                                   | 127.51 + $2.57_{**} x_1 - 0.0026_{**} x_1^2$       | 0.978 |
| <u>2.S.105 : <math>y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^3</math></u>   |                                                    |       |
| 1958                                                          | 71.48 + $1.936_{**} x_1 - 0.0000022_{**} x_1^3$    | 0.94  |
| 1959                                                          | 214.21 + $2.279_{**} x_1 - 0.000005_{**} x_1^3$    | 0.884 |
| אומדן משולב                                                   | 136.3 + $2.135_{**} x_1 - 0.000004_{**} x_1^3$     | 0.979 |
| <u>3.S.105 : <math>y = b_0 + b_1 x_1^2 + b_2 x_1^3</math></u> |                                                    |       |
| 1958                                                          | 127.27 + $0.0115_{**} x_1^2 - 0.000018_{**} x_1^3$ | 0.936 |
| 1959                                                          | 294.79 + $0.0106_{**} x_1^2 - 0.000018_{**} x_1^3$ | 0.836 |
| אומדן משולב                                                   | 204.407 + $0.011_{**} x_1^2 - 0.000018_{**} x_1^3$ | 0.975 |

\*\* מובהק ברמת הסתברות של 1%.

כאשר:  $\hat{y}$  = אומדן יבולי הגרגרים של הסורגום על בסיס של 12% רסיבות בעת האסיף, בק"ג/ד".  
 $x_1$  = כמויות מים נסו במ"ד".

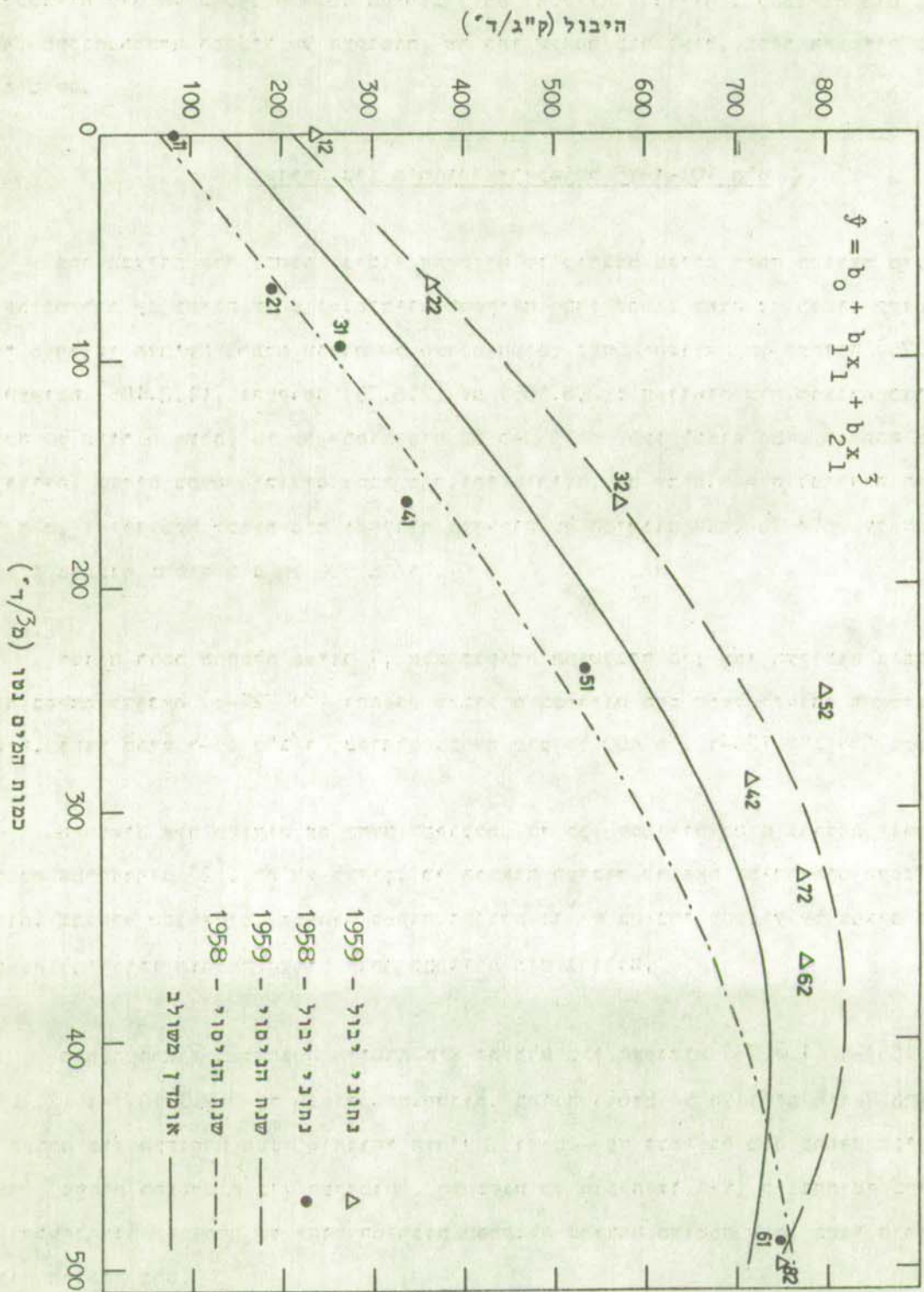
#### ציר 4

עקומות תגובה למים של יבול גרגרי סורגוס  
(ג'ילה: 1958 ו-1959)  
(מירווח חזירעה: 105 ס"מ)



## ציור 5

עקומות תגובה למים של יבול גרגרי סורגום  
(גילית: 1958 ו-1959)  
(מירווח הזריעה: 105 ס"מ)



בחינה של הציורים 4 ו-5 מעלה, כי העקומות הנפרדות לשנים 1958 ו-1959 מקבילות עד לכמויות מים של כ-350 מ<sup>3</sup> נטו בקירוב (פרט להשקיית הרווייה). בכמויות מים גדולות יותר, משתבש המהלך המקביל של העקומות, אך כפי שנאמר כבר לעיל, מספר התצפיות ברמות אלו הינו מועט.

#### השוואה בין מירווחי זריעה של 75 ו-105 ס"מ

אחת הבעיות אשר נבחנה בניסוי ההשקייה של סורגום בגילת היתה השוואת מירווחי זריעה בשילוב עם בחינה של אינטנסיביות ההשקייה. כדי לבחון שאלה זו הושו עקומות היבול בשני מירווחי הזריעה ברמות שונות של תשומת-מים; נעשתה השוואה של העקומה (1.S.75), עם העקומה (1.S.105), והעקומה (2.S.75) עם (2.S.105); השוואות אלה מוצגות בציורים 6 ו-7. בחינה של ציור 6 מעלה, כי עד לכמות מים של כ-350 מ<sup>3</sup> (מעל לכמות המים שניתנה בהשקיית ההרווייה) שווים כמעט היבולים בשני מירווחי הזריעה, עם עדיפות קלה למירווח הרחב יותר - 105 ס"מ, ואילו מעל לכמות מים זו עולה העדיפות של המירווח הצר, 75 ס"מ, עד להפרש של כ-55 ק"ג סורגום ברמות מים של 500 מ<sup>3</sup>/ד'.

תמונה דומה מתקבלת מציור 7, אלא שנקודת ההצטלבות בין שתי העקומות נופלת בכמות מים קטנה במקצת לדונאם (כ-325 מ<sup>3</sup>) וההפרש ביבולים בכמויות מים שמעל לנקודת ההצטלבות גדול, יחסית, והוא מגיע ל-45 ק"ג/ד' בקירוב בכמות מים של 400 מ<sup>3</sup>, ו-125 ק"ג לד' בכמות של 500 מ<sup>3</sup>.

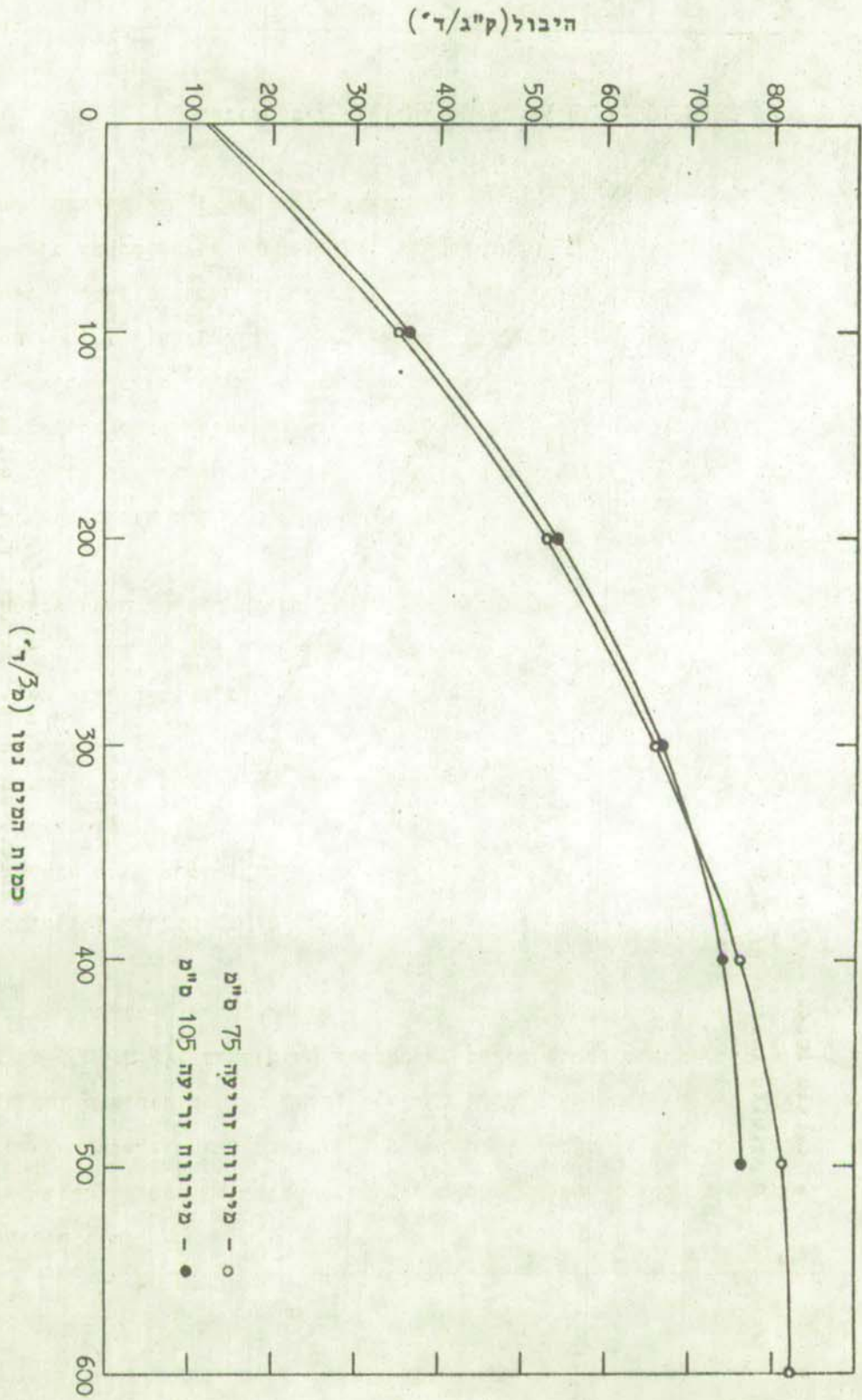
מימצאים אלה מחזקים את הדעה המקובלת, כי ככל שכמויות המים גדולות יותר גדלה ההצדקה להקטנת המירווחים (2). יש רק לציין, כי הוצאות העיבוד לדונאם במירווחים הקטנים עלולות להיות, בתנאים מסויימים, גבוהות במקצת ועובדה זו יש בה כדי להשפיע על צמצום העדיפות היחסית הניתנת למירווחי הזריעה הצרים יותר, בכמויות מים גדולות.

תופעה הראוייה להדגשה מיוחדת היא ההקבלה בין העקומות (1.S.75) ו-(1.S.105) ובין (2.S.75) ו-(2.S.105), עד לנקודת ההצטלבות. בחינה נוספת של הציורים 6 ו-7 מראה, כי ישנה גם הקבלה בין העקומות משני מירווחי הזריעה, ושוב - עד לכמויות מים בתחום שבין 300-350 מ<sup>3</sup>/ד' (נקודת ההצטלבות בין העקומות). המשמעות של תופעה זו היא, כי בתחומי כמויות המים לד' דלעיל, דומה התוספת של יבול הסורגום המתקבלת כהוצאה מתוספת מים, בשני מירווחי הזריעה, ואינה תלויה בהם.

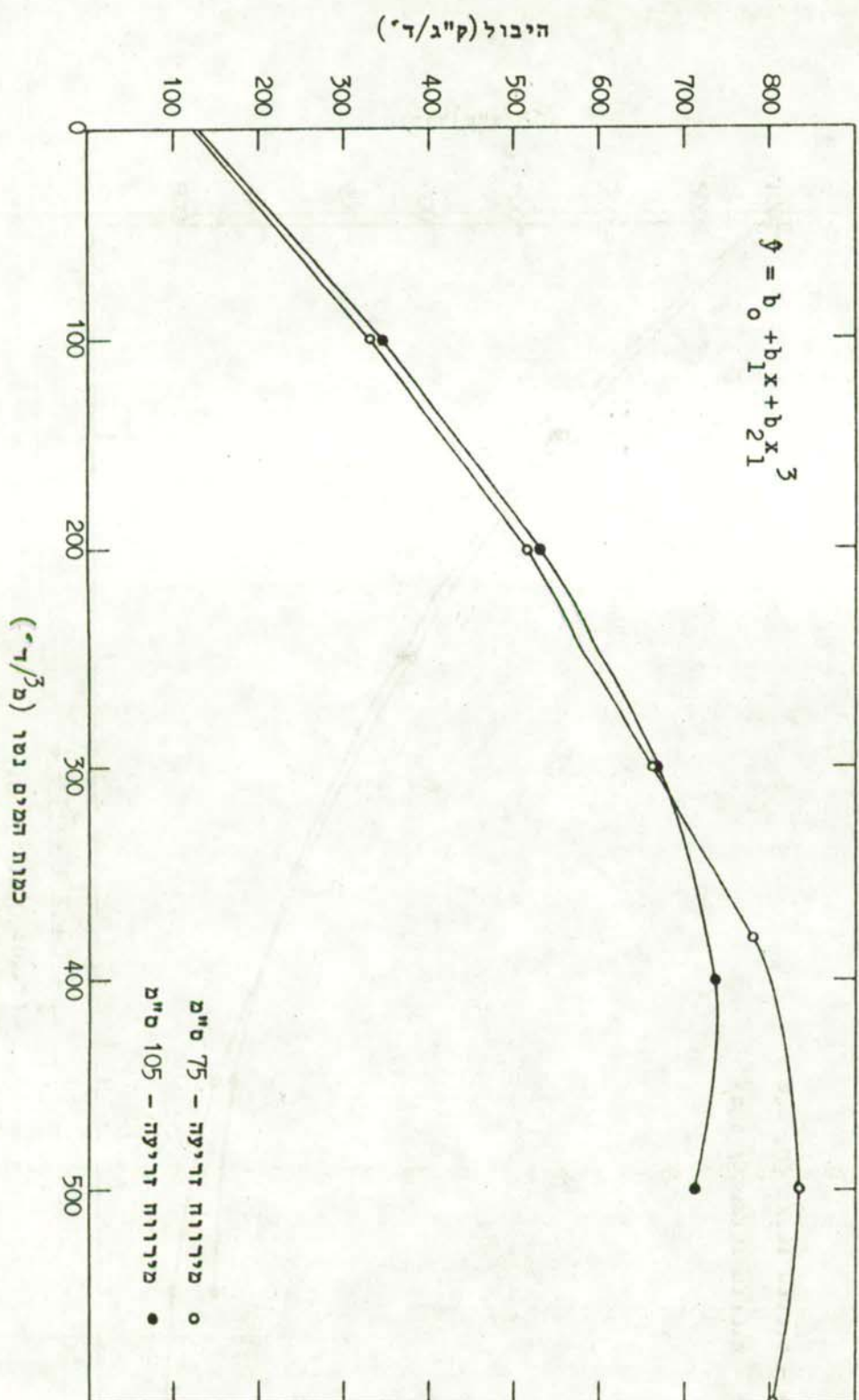
# ציור 6

עקומות חגובה למים של יבול גרגרי סורגוס  
(גילוח: 1958 ו-1959)

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x + b_2 x^2$$



ציר 7  
עקומות חגובה למים של יבול גרגרי סורגום  
(גילוח: 1958 ו-1959)



אומדני החוספת של יבול הסורגוס, - המתקבלת בחגובה לחוספת 1 מ<sup>3</sup> מים בחשומות-מים שונות - מוצגים בטבלה 7. בשני מירווחי הזריעה מבוססים האומדנים על "הניתוח המשולב" של התוצאות בשנות הניסויים.

### טבלה 7

אומדני החוספת של יבול הסורגוס (בק"ג לד" בחגובה לחוספת מים של 1 מ<sup>3</sup>/ד" .

| 105 ס"מ |         | 75 ס"מ |        | כמות מים / מירווח הזריעה<br>(מ <sup>3</sup> /ד" ) |
|---------|---------|--------|--------|---------------------------------------------------|
| 2.S.105 | 1.S.105 | 2.S.75 | 1.S.75 |                                                   |
| 2.0     | 2.1     | 1.9    | 2.0    | 100                                               |
| 1.7     | 1.5     | 1.7    | 1.6    | 200                                               |
| 1.1     | 1.0     | 1.3    | 1.2    | 300                                               |
| 0.2     | 0.5     | 0.8    | 0.7    | 400                                               |

בטור הראשון שבטבלה רשומה כמות המים אליה מתייחס האומדן. בטור השני והרביעי רשומים האומדנים המתייחסים לארבע העקומות (1.S.75), (2.S.75), (1.S.105) ו-(2.S.105). אם נבחון את חוספת יבול הסורגוס בחגובה למ<sup>3</sup> מים, ברמה השקיייה של 200 מ<sup>3</sup>/ד" (נוסף להשקיייה הרווייה), הרי כל ארבעה האומדנים מורים על 1.5-1.7 ק"ג למ<sup>3</sup> מים, ובחשומת-מים של 300 מ<sup>3</sup>/ד" . החוספת היא בסדר גודל של 1.0-1.3 ק"ג. אומדנים אלה עשויים לשמש יסוד להחלטות כלכליות בדבר רמת ההשקיייה האופטימאלית בתנאי משק נתונים.

### 2. אגוזי-אדמה

#### תיאור הניסויים והתוצאות

ניסויי השקיייה באגוזי-אדמה נערכו בשנים 1955 ו-1956 (\*). מטרת הניסויים בשנים 1955 ו-1956 היתה לבחון את תיצרוכת המים ומועדי ההשקיייה של אגוזי-אדמה בנגב הצפוני. שני הניסויים הראשונים בוצעו בשיטת הבלוקים באקראי. בשנת 1960 נבחנה השפעתם של טיפולי ההשקיייה בשני שיעורי ספיקה: 6 מ"מ לשעה ו-12 מ"מ לשעה, על היבול ועל האיכות של אגוזי-האדמה.

(\*) בשנת 1957 נערך ניסוי נוסף באגוזי-אדמה, אולם בטיפולי ההשקיייה שנבחנו, לא התקבלו הבדלים ברמות היבולים, ולכן הוא לא נכלל בניתוח פונקציות החגובה למים.

הניסוי בשנת 1960 בוצע בשיטת החלקות המפוצלות (Split plots), בחלקות הראשיות נבחנו שיעורי הספיקה ובחלקות המשניות - טיפולי ההשקיה. לניתוח פונקציות ההגובה שימשו הנתונים של שיעור ההמטרה הגבוה בלבד, שהוא שיעור הספיקה המקובל, בדרך-כלל, במשקים החקלאיים. תיאור הניסויים, מנות המים נסו והיבולים שנחקבלו מובאים בטבלה 8.

טבלה 8

טיפולי ההשקיה והיבולים באגוזי-אדמה

| מספר<br>הטיפול          | מס' השקיות | מועד מחן המים, בימים מהזריעה                             | מים נסו<br>במ"ג/ד" | יבול<br>תרמילים<br>בק"ג/ד" |
|-------------------------|------------|----------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------|
| <u>אגוזי-אדמה, 1955</u> |            |                                                          |                    |                            |
| 11                      | 3          | 0, 35, 58, 98                                            | 360                | 364                        |
| 21                      | 3          | 0, 35, 68, 98                                            | 367                | 363                        |
| 31                      | 4          | 0, 35, 58, 81, 105                                       | 394                | 382                        |
| 41                      | 6          | 0, 35, 58, 70, 82, 94, 106                               | 522                | 454                        |
| 51                      | 8          | 0, 35, 47, 60, 71, 83, 95, 106, 119                      | 598                | 483                        |
| 61                      | 13         | 0, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77, 84, 91, 122, 112, 105, 98 | 643                | 404                        |
| <u>אגוזי-אדמה, 1956</u> |            |                                                          |                    |                            |
| 12                      | 3          | 0, 35, 69, 103                                           | 232                | 164                        |
| 22                      | 4          | 0, 35, 68, 95, 125                                       | 437                | 323                        |
| 32                      | 5          | 0, 35, 60, 82, 103, 131                                  | 624                | 360                        |
| 42                      | 6          | 0, 35, 61, 73, 85, 96, 124                               | 531                | 304                        |
| 52                      | 9          | 0, 35, 53, 64, 75, 87, 98, 108, 118, 129                 | 524                | 427                        |
| 62                      | 13         | 0, 35, 51, 58, כל שבוע 128 .....                         | 528                | 341                        |
| <u>אגוזי-אדמה, 1960</u> |            |                                                          |                    |                            |
| 14                      | 3          | 0, 35, 65, 95                                            | 378                | 290                        |
| 24                      | 5          | 0, 35, 57, 78, 99, 123                                   | 615                | 358                        |
| 34                      | 7          | 0, 35, 64, 78, 94, 108, 122                              | 570                | 410                        |
| 44                      | 7          | 0, 35, 49, 63, 77, 93, 107, 121                          | 682                | 387                        |
| 54                      | 7          | 0, 35, 45, 59, 73, 87, 101, 116                          | 732                | 401                        |
| 64                      | 10         | 0, 35, 42, 62, 72, 82, 92, 102, 112, 122                 | 760                | 389                        |

עומק  
הרטבה,  
בס"מ

אגוזי-אדמה נזרעו בכל השנים באפריל והאסיף נעשה בסוף ספטמבר עד תחילת אוקטובר, פרט לשנת 1955 בה בוצעה הזריעה בתחילת מאי. דגימות הרטיבות, שיטות מתן המים וחישוב מנות המים היו דומים לאלה שננקטו בניסויי ההשקיה בסורגום.

#### פונקציית התגובה של אגוזי-אדמה

המישחנים אשר באמצעותם אפשר לבטא את משטרי ההשקיה בניסויים שנערכו באגוזי-אדמה בגילת, הם, בדומה לסורגום: כמות מים נטו לדונאם  $(x_1)$ , מספר ההשקיות  $(x_2)$  ומשך תקופת ההשקיה  $(x_3)$ .

מקדמי-המיחאס בין שלושת המישחנים הבלתי חלויים מוצגים בטבלה 9.

טבלה 9

מקדמי-המיחאס בין מישחני ההשקיה באגוזי-אדמה, בשנים 1955 ו-1956

| השנה    | 1     | 9     | 5     | 5     | 1     | 9     | 5     | 6     | 1955-56 משולב* |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| המישחנה | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$          |
| $x_1$   | 1     |       |       | 1     |       |       | 1     |       |                |
| $x_2$   | .95   | 1     |       | .52   | 1     |       | .73   | 1     |                |
| $x_3$   | .95   | .95   | 1     | .95   | .52   | 1     | .95   |       | 1              |

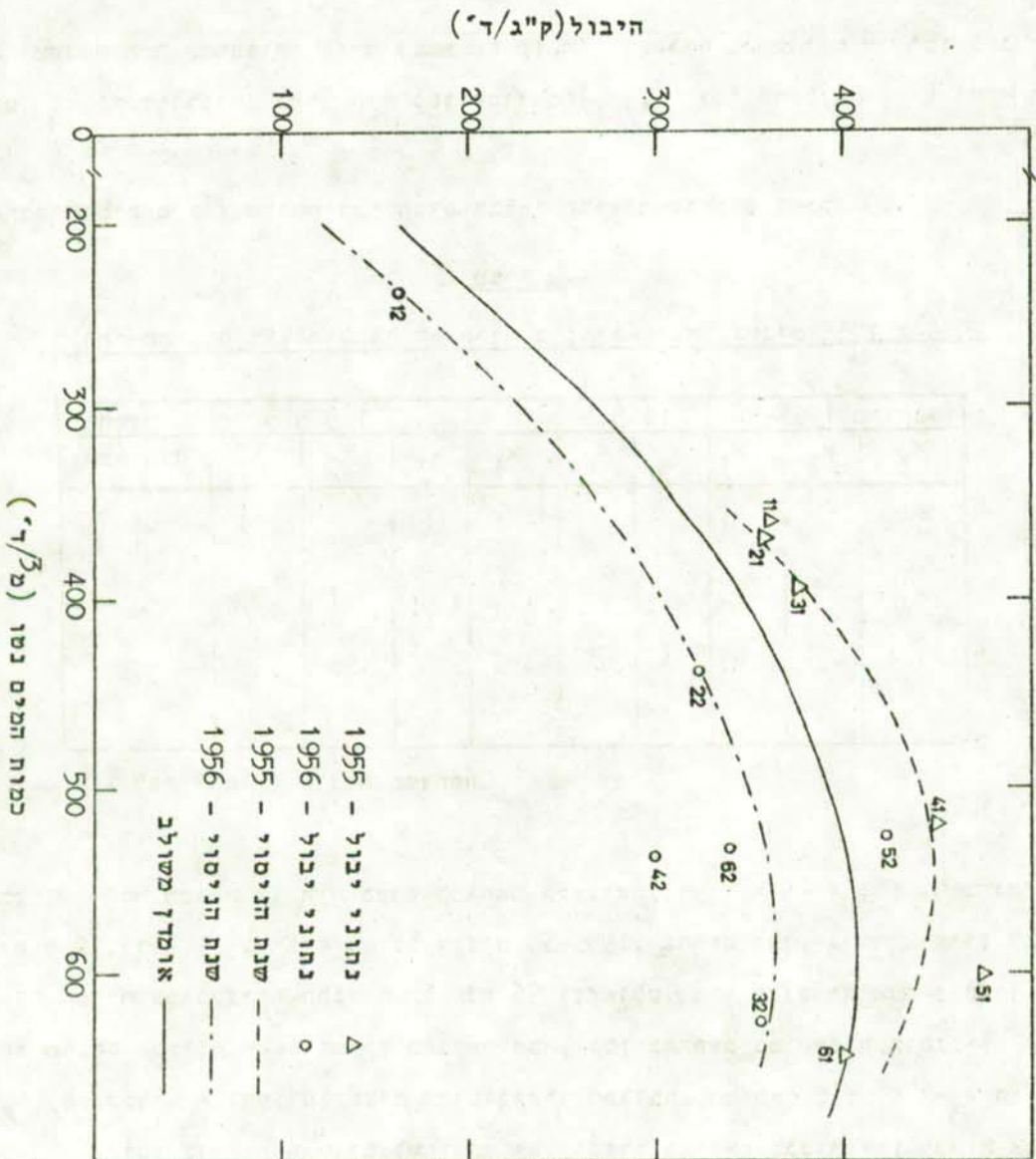
(\*) לפי דגם של שונות משותפת.

כפי שמסתבר מטבלה זו היה מקדם-המיחאס הליניארי בין  $x_1$  ו- $x_2$  : 0.95 בשנת 1955, 0.52 בשנת 1956, ו-0.73 בניתוח משולב לשנים 1955-56. בהתאם לכך, נעשה ניסיון לכלול את  $x_2$  כמישחנה מסביר בפונקציית-התגובה של שנת 1956; אולם, בכל הנוסחות אשר ניסינו לאמור נתקבל מקדם בלתי מובהק מבחינה סטטיסטית; כתוצאה מכך, וכן בהתחשב במיחאס הגבוה בין  $x_1$  ל- $x_2$  בשנת 1955, לא נכלל  $x_2$  בספציפיקציה של פונקציית התגובה. המיחאס בין  $x_1$  ל- $x_3$  היה 0.95 בשתי השנים 1955-56, וכן בניתוח המשולב לשתי השנים, ובגלל המיחאס הגבוה אין לראות את  $x_3$  כמישחנה בלתי-חלוי. כמישחנה תלוי נקבע יבול התרמילים לדונאם.

בסיכום, התייחסנו לפונקציה  $y = f(x_1)$ , כאשר  $y$  הוא יבול התרמילים בק"ג/ד", ו- $x_1$  הוא כמות המים נטו לד" מעל להשקיה ההרווייה. אל התצפיות של הניסויים הותאמו (בשיטת הריבועים הפחותים) שלוש נוסחות אלטרנאטיביות, 1, 2 ו-3 בדומה לאלו אשר הותאמו לסורגום.

# ציור 8

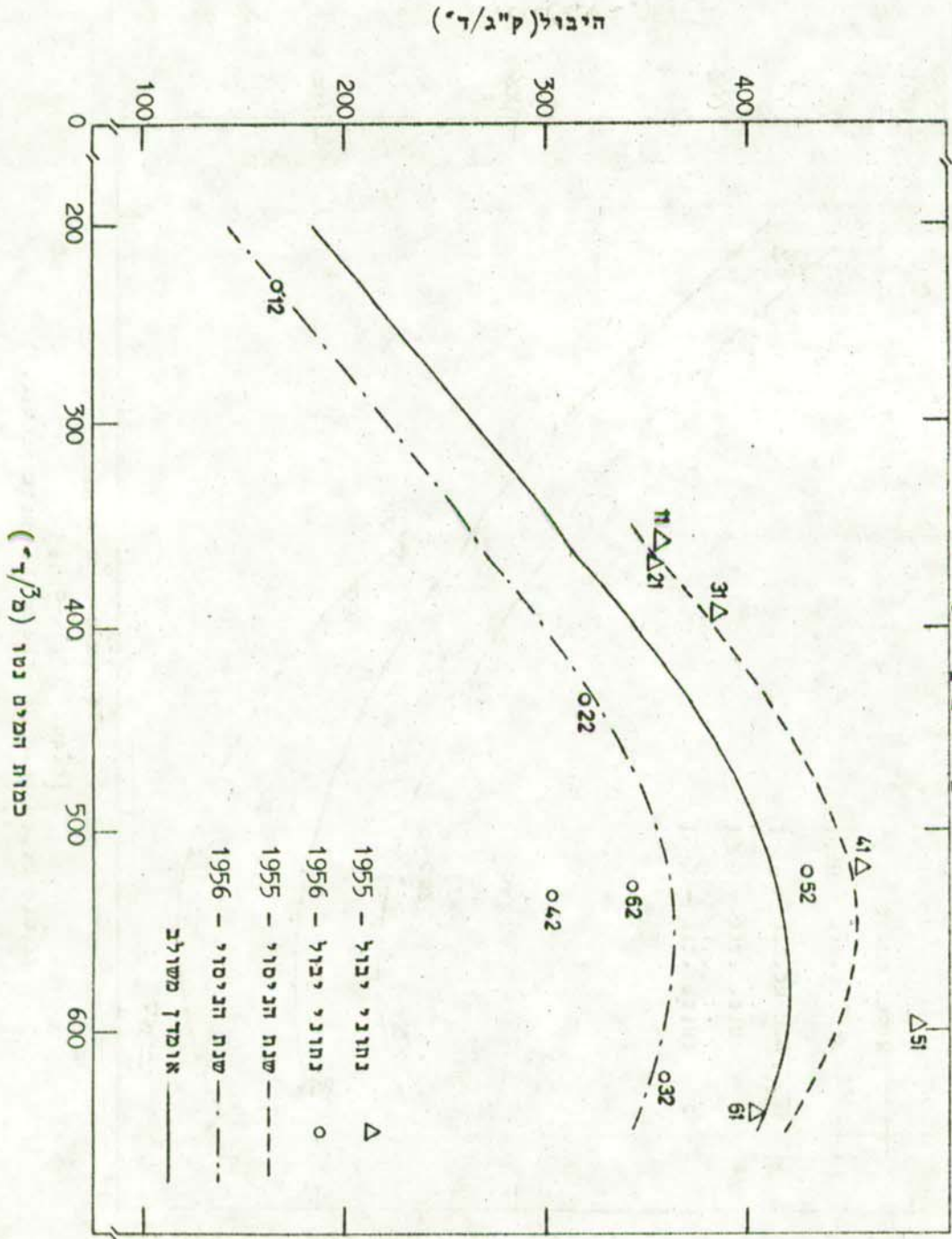
עקומות הגובה למים של יבול אגוזי-אדמה (חומיליים)  
(גילוח: 1955 ו-1956)  
 $\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^2$





# ציור 10

עקומות תגובה למים של יבול אגוזי-אדמה (חרטילים)  
(גילוח: 1955 ו-1956)  
 $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$



להלן מכונים האומדנים האמפיריים (1P) (2.P) ו-(3.P), בהתאמה. האומדנים עבור תוצאות הניסויים בשנים 1955-1956 מוצגים בטבלה 9 ואילו העקומות המתאימות - בצירים 8, 9 ו-10.

בטבלה 10 מובאים אומדני פונקציות התגובה למים של אגוזי-אדמה למים בשנים 1955 ו-1956.

### טבלה 10

#### אומדני פונקציות התגובה למים של אגוזי-אדמה

| ה ש נ ה                                                           | ה נ ו ס ח ה |                           |                              |                              | R <sup>2</sup> |
|-------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|
| <u>(1.P) : <math>\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^2</math></u>   |             |                           |                              |                              |                |
| 1955                                                              | -           | 397.003                   | + 3.085 $\times_1$ ל"מ       | - 0.00276 $\times_1^2$ ל"מ   | 0.424          |
| 1956                                                              | -           | 186.52                    | + 1.878 $\times_1$ **        | - 0.0016 $\times_1^2$ *      | 0.655          |
| אומדן משולב                                                       | -           | 147.23                    | + 1.866 $\times_1$ **        | - 0.00156 $\times_1^2$ *     | 0.676          |
| <u>(2.P) : <math>\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^3</math></u>   |             |                           |                              |                              |                |
| 1955                                                              | -           | 184.6                     | + 1.74 $\times_1$ *          | - 0.0000018 $\times_1^3$ ל"מ | 0.427          |
| 1956                                                              | -           | 102.45                    | + 1.211 $\times_1$ **        | - 0.0000012 $\times_1^3$ *   | 0.655          |
| אומדן משולב                                                       | -           | 66.36                     | + 1.228 $\times_1$ **        | - 0.0000012 $\times_1^3$ **  | 0.678          |
| <u>(3.P) : <math>\hat{y} = b_0 + b_1 x_1^2 + b_2 x_1^3</math></u> |             |                           |                              |                              |                |
| 1955                                                              | 93.368      | + 0.00355 $\times_1^2$ *  | - 0.0000042 $\times_1^3$ ל"מ |                              | 0.43           |
| 1956                                                              | 50.92       | + 0.00288 $\times_1^2$ ** | - 0.0000033 $\times_1^3$ **  |                              | 0.654          |
| אומדן משולב                                                       | 92.69       | + 0.00295 $\times_1^2$ ** | - 0.0000034 $\times_1^3$ **  |                              | 0.681          |

$\hat{y}$  = אומדן יבול התרמילים, בק"ג/ד.  
 $\times_1$  = מים אפקטיביים (לא כולל השקאה מוקדמת), במ"ד.  
 ל"מ = לא מובהק ברמת הסתברות של 5%.

\* = מובהק ברמת הסתברות של 5%.  
 \*\* = מובהק ברמת הסתברות של 1%.

בחינה של טבלה 10 מעלה כי מקדם-ההסבר,  $R^2$  (המודד איזה חלק מן השונות הכללית מוסבר על-ידי הרגרסיה) הינו נמוך, יחסית לשנת 1955 (0.42-0.43), אך הוא עולה לכדי 0.65-0.68 באומדנים לשנת 1956 ובאומדן המותאם לשתי השנים במשולב (\*). בחינת הציורים 8, 9 ו-10 מורה, כי העקומות אשר הותאמו לשנים 1955 ו-1956 בנפרד הן כמעט מקבילות. מן הציורים בולט גם ההבדל ברמות היבול של הטיפולים מס' 42, 52 ו-62 בשנת 1956. בטיפולים אלה ניתנו כמויות מים דומות לדונאס; משך תקופת ההשקיה היה דומה, והטיפולים נבדלו זה מזה במספר ההשקיות בלבד. כפי שנראה מן הציורים היתה למספר ההשקיות השפעה על גובה היבול, אולם מכיוון שלא נוסו בניסוי זה צירופים אחרים של מספר השקיות וכמויות מים, לא באה השפעה זו לידי ביטוי בניחוח הרגרסיה לשנת 1956. הסטיות של יבולי הטיפולים מס' 42 ו-52 (בציור מצויינים היבולים הממוצעים לארבע החזרות) ממשטח הרגרסיה מגדילים את השונות השאריתית אשר אינה מוסברת על-ידי הרגרסיה אשר הותאמה.

#### השוואה של התגובה למים של אגוזי-אדמה בשנים 1955-1956 ו-1960

ניסיון לשלב את חוצאות הניסויים של שנת 1960 באלו של השנים 55-1955 נתקל בקושי הנובע משוני בתוכנית של הניסויים הנדונים. בעוד שבניסויים של השנים 55-1955 היה עומק ההרסבה 90 ס"מ בכל הטיפולים, הרי בשנת 1960 נוסו עומקי הרסבה שונים. ההשוואה בין שתי קבוצות הניסויים הוגבלה על כן רק לאותם הטיפולים של שנת 1960 בהם עומק ההרסבה היה 90 ס"מ (ושיעור ההמסרה - 12 מ"מ לשעה), וכאלה היו ארבעה בלבד. נוסף לכך, ניסיון לאמוד פונקציות תגובה של אגוזי-אדמה למים על-פי תצפיות של שנת 1960 העלה מקדם-הסבר נמוך -  $R^2 = 0.44$ , ומקדמי-רגרסיה ברמה מובהקת נמוכה (\*).

למרות הסתייגויות אלה נעשה ניסיון לבחון באיזו מידה חואמות תצפיות של שנת 1960 את האומדן של פונקצית התגובה המבוסס על תצפיות של השנים 55-1955.

(\*) הותאם ממשטח רגרסיה לנחוני שתי השנים במסגרת הדגם של שונות משותפת, בדומה לסורגוס.

$$\hat{y} = 106.65 + 0.596x_1 - 0.00029x_1^2 \quad R^2 = 0.44 \quad (**) \quad \text{שני האומדנים אשר הותאמו הם:}$$

$$\hat{y} = 134.90 + 0.435x_1 - 0.00000016x_1^3 \quad R^2 = 0.44$$

כאשר:  $\hat{y}$  = יבול התרמילים, בק"ג/ד';  
 $x_1$  = כמות המים נטו לדונאס (מעל להשקיית הרוויה);  
 $*$  = מובהק ברמת הסתברות של 5%;  
 $ל"מ$  = מובהק ברמת הסתברות סבירה.

ראשית, ניסינו "לכפות" על התצפיות של שנת 1960 את הפאראמטרים של פונקצית התגובה אשר נאמדה על יסוד השנים 1955-56, תוך השארת דרגת חופש אחת בלבד עבור ה"חותך"; נמצא כי הרדוקציה בסכום ריבועי הסטיות ממשטח הרגרסיה ללא-כפייה, ובהשוואה לדגם עם הפאראמטרים הכפויים, אינה מובהקת ברמת הסתברות של 1%, אם כי היא מובהקת ברמת הסתברות של 5%, דבר המרמז על כך שהצורה של עקומת השנים 1955-56 - להוציא את גובה העקומה - אינה נוגדת באופן ברור את התצפיות של שנת 1960.

כמו-כן נעשה ניסיון לשלב את התצפיות של שנת 1960, במסגרת ניחוח שונות משותפת, עם התצפיות של השנים 1955-56, תוך התאמה של שתי נוסחות אלטרנאטיביות (1 ו-2). אף כי שילוב זה הוא על "גבול המותר" מבחינה סטטיסטית\*, הרי העקומות המתאימות מורות כי מהלכן דומה כמעט זה לזה, ובמיוחד בכמויות מים הנמוכות מ-500 מ<sup>3</sup>/ד'.

מן האמור לעיל מסתבר, כי אף שבניסויי השקיה של שנת 1960 (עומקי הרטבה של 90 ס"מ בלבד) הייתה התגובה פחות ברורה מאשר בשנים 1955-56, אין בתוצאות הניסוי של שנת 1960 כדי לערער את אומדני פונקצית התגובה למים של אגוזי-אדמה, כפי שנאמדה על-פי ניסויי 1955-56. עם זאת, חוסר התאמה מלאה בין התוצאות של שלוש השנים דלעיל מורה על הצורך בניסויי השקיה נוספים לשם שיפור האומדנים.

#### תוספת שולית של יבול אגוזי-אדמה בתגובה למים

טבלה 11 משקפת את החוספת השולית ביבול אגוזי-אדמה, בתגובה לתוספת מים, לפי הנוסחות 1.P ו-2.P, ובאומדן משולב לשנים 1955-56.

#### טבלה 11

אומדנים של תוספת היבול של אגוזי-אדמה בתגובה לתוספת של 1 מ<sup>3</sup>/ד'

| כמות המים<br>מ <sup>3</sup> / ד' | לפי הנוסחה<br>1.P. | לפי הנוסחה<br>2.P. |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|
| 200                              | 1.24               | 1.07               |
| 300                              | 0.93               | 0.91               |
| 400                              | 0.62               | 0.65               |
| 500                              | 0.31               | 0.33               |

(\*) בחינת הרדוקציה בסכום ריבועי הסטיות השאריות, בהתאמת שלושה מישטחי רגרסיה נפרדים לשנים 1955, 1956 ו-1960, וביחס לסכום ריבועי הסטיות המשולב, מורה על רדוקציה מובהקת ברמת הסתברות של 5%, אך בלחי מובהקת ברמת הסתברות של 1%.

הנוסחה  $3.P.$  לא נכלל בטבלה מפני שהיא מורה על יבול שולי עולה בכמויות מים קטנות, דבר אשר קשה לקבלו, אף כהשערה, לאור מיעוט האינפורמציה על התחום של הטיפולים היבשים. מאידך גיסא, ההבדלים בין האומדנים של תוספת היבול, המבוססים על שתי הנוסחות  $1.P.$  ו- $2.P.$  הם קטנים ביותר, ביחוד בכמויות המים שמעל  $300 \text{ מ}^3$ . ההפרשים באומדן של תוספת היבול למ<sup>3</sup> מים, בכמויות השקיה שבין  $300$  ל- $500 \text{ מ}^3$ , הם בסדר גודל של  $0.03 \text{ ק"ג תרמילים}$ .

### סיכום ודיון

בעבודה זו הוצגו אומדנים של פונקציות תגובה למים של סורגום ואגוזי-אדמה, בתנאי אזור גילת. אומדני פונקציות התגובה של סורגום מבוססים על תוצאות הניסויים שבוצעו במשך שלוש שנים במירווחי זריעה של  $75 \text{ ס"מ}$ , ובמשך שנתיים - במירווחי זריעה של  $105 \text{ ס"מ}$ .

אומדני פונקציות התגובה של אגוזי-אדמה מבוססים על תוצאות ניסויים של שנתיים, כאשר התוצאות של השנה השלישית, אף שאינן מערערות את האומדן, מצביעות על כך שניסויי השקיה נוספים, ובאופן מיוחד באגוזי-אדמה יתרמו לשיפור האומדנים.

בכל האומדנים בוטא היבול כפונקציה של כמות המים נטו לד', נוסף על השקיית הרווייה, כאשר מישתני השקיה אחרים הניתנים למדידה (אשר היה מיתאם גבוה ביניהם לבין כמות המים), "נלווים" למים, תוך התאמה בין רמתם וכמות המים. לפיכך, אין לראות בכמות מים מישחנה בעל מימד אחד, אלא מישחנה המשקף בד בבד גם את מספר ההשקיות וגם משך תקופת ההשקיה.

חופעה הניכרת בשני הגידולים היא ההקבלה בין עקומות התגובה של השנים הנפרדות, כאשר ההבדלים בפוריות הקרקע ושינויים בתנאי האקלים הספציפיים בין השנים השונות, משפיעים על תזוזה אנכית של העקומות אך לא על שיפועיהן. הווה אומר: השפעת השנה מתבטאת בגורם אדיטיבי, שאין בו כדי לשנות את השיפוע של העקומות. ספק מסוים ביחס לתופעה זו נחשור באגוזי-אדמה (השוואת 1960 עם 55-56), אולם תוצאות ניתוחים אחרים של פונקציות התגובה למים בגידולים אחרים, מחזקים התרשמות זו, אשר לביסוסה נודעת חשיבות מרובה. משמעותה היא, כי החוספת השולית של יבול בגידול נחון היא פונקציה של תוספת המים בלבד (כאשר גורמים אחרים אינם מהווים מגבלה), ושעל סמך הערכת של היבול המתקבל בכמות מים נחונה ובתנאי משק נתון, אפשר להעריך גם את השינוי ביבול, בהתאמה לשינויים בכמות המים והמישתנים הנלווים אליה, כגון - מספר השקיות ומשך תקופת ההשקיה.

ניהוחים של ניסויי השקיה שנערכו בכוחנה (5) ובסלק-סוכר (6), על-פי ניסויי השקיה בגילת, מובילים אף הם בכיוון לקבלת ההשערה. עם זאת, יש צורך בניסויי השקיה נוספים המכוונים במיוחד לאומדני פונקציות חגובה למים, כדי לבסס השערה זו. כמו-כן מתעוררות מספר שאלות: האם התוספת השולית של היבול בחגובה למים דומה באזורים האגרו-אקלימיים השונים של הארץ, או שבכל אזור שונים שיפועי העקומות בכמויות מים שונות? ובאיזו מידה העמוד במבחן הניסויים הנוספים ההשערה, כי אין פעילות-גומלין בין "השפעת השנה" לבין השיפוע של עקומת התגובה למים?

### ה ב ע ת ת ו ד ה

תודת המחברים נחונה למשרד החקלאות של ארצות-הברית, U.S.D.A., אשר השתתף במימון עבודה זו במסגרת מענק למחקר: "ניהוח כלכלי של פיתוח מקורות מים והשימוש בהם".

ניסויי ההשקיה בוצעו בחוות גילת במסגרת תקציבי המחלקה להשקיה באגף לקרקע ומים. המחברים מודים בזאת לכל עובדי המחלקה שעזרו בביצוע הניסויים.

ס פ ר ו ת

1. בילורי, ח', שמשי, ד' (1963) השפעתם של משטרי השקיה שונים על צריכת המים ויבול הכותנה "כתבים", י"ג (ד'): 223-231.
2. בילורי, ח', ארנון, י', בלוס, א', אלקנה, י', רייס, א', השפעת היבול והעומד על יבול סורגום לגרגרים (נחקבל לפרסום ב"כתבים").
3. בילורי, ח', גולדין, א', (1956) ניסויי השקיה באגוזי אדמה - גילת 1955. מכון וולקני לחקר החקלאות. סקירה מקדימה מס' 125.
4. בילורי, ח', מנטל, א', רביץ, א', רייס, א', גולדין, א' (1962) השקיית אגוזי-אדמה. מינהל ההדרכה, (45): 47-45.
5. ירון, ד', בילורי, ח', רגב, א', פוטר, י' (1963) ניחוח כלכלי של יחסי חשומה ותפוקה בהשקיה. "כתבים", י"ג (ב'): 91-107.
6. סובוטניק, א', (1964) אומדנים של פונקציות ייצור של מים ושילובה בתכנון משק מושבי בנגב הצפון מערבי. עבודת גמר מוגשת לפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית.
7. Beringer, C. (1961) An Economic Model for Determining the Production Function for Water in Agriculture. Mimeo. Rep. 240. Giannini Foundation of Agricultural Economics, Calif. Agric. Exp. Sta. Berkeley, Calif.
8. Israelsen, O.W. (1932) Irrigation Principles and Practices. John Wiley and Sons, New York.
9. Moore, C.V. (1961) A general analytical framework for estimating the production function for crops using irrigation water. J. Farm Econ. 43: 876-888.

when the seasonal net water application is 300, 400 and 500 m<sup>3</sup>/du respectively in addition to pre sowing irrigation.

The analysis performed in this study leads to the formulation of a hypothesis that year-to-year variations in soil fertility, weather and other growth factors specific to particular years, induce only a vertical shift in the response functions without modifying the slopes (i.e., the marginal yields) of these functions.

EMPIRICAL ESTIMATES OF RESPONSE FUNCTIONS OF SOME SUMMER-CROPS  
(SORGHUM AND PEANUTS) TO IRRIGATION INTENSITIES

---

By

A. Sobotnik, H. Bielorai and D. Yaron

S U M M A R Y

Empirical estimates of response functions of sorghum and peanuts to irrigation water are presented in order to provide information essential for making decisions with respect to the intensity of irrigation of these crops under various farm conditions in the northern Negev.

The response functions were fitted through least squares regression analysis, applied to experimental data of sorghum for the years 1958, 1959 and 1961 for row spacings of 75 and 105 cm, and experimental data of peanuts for the years 1955, 1956 and 1960. The experiments were performed at the Gilat experiment station.

In the analysis, the yields of sorghum grain and peanut pods were expressed as functions of the total amount per season of net water application, with this variable indirectly representing the other "irrigation variables" (the number of water applications, the length of the irrigation period) found to be highly correlated with the seasonal net water application.

The estimated derived show that the marginal yield of sorghum grain in row spacing of 75 cm is 1.6 - 1.7 kg/m<sup>3</sup> when the seasonal net water application is 200 m<sup>3</sup>/du, and 1.2-1.3 kg/m<sup>3</sup> when the seasonal net water application is 300 m<sup>3</sup>/du, in addition to the pre sowing irrigation. For row spacing of 105 cm the marginal yield of sorghum grain is 1.5-1.7 kg/m<sup>3</sup> when the seasonal net water application is 200 m<sup>3</sup>/du, and 1.0-1.1 kg/m<sup>3</sup> when the seasonal net water application is 300 m<sup>3</sup>/du is addition to the pre sowing irrigation. The estimates of the marginal yield of peanut shells are 0.9, 0.6 and 0.3 kg/m<sup>3</sup>

The National and University Institute of Agriculture

THE VOLCANI INSTITUTE OF AGRICULTURAL RESEARCH

DEPARTMENT OF SOILS AND WATER

Division of Irrigation

THE HEBREW UNIVERSITY OF JERUSALEM

THE FACULTY OF AGRICULTURE

Department of Agricultural Economics



EMPIRICAL ESTIMATES OF RESPONSE FUNCTIONS  
OF SOME SUMMER CROPS  
(SORGHUM AND PEANUTS) TO IRRIGATION INTENSITIES

by

A. Sobotnik, H. Bielorai and D. Yaron