

# ההשקיה

## מפזר ניטרונים – לבקרת משטר ההשקיה

מאת מ. מירון, שירות-השדה גליל עליון, שה"מ, משרד החקלאות  
י. לוין, המכון לקרקע ומים, מינהל המחקר החקלאי\*

בחווה האזורית לגידולי-שדה בגליל העליון נערכו בסתיו 1980, בקרקע יבשה של שלף כותנה ובקרקע שהורטבה עד קיבול-שדה, בדיקות צפיפות במד-צפיפות קרינתי ובדיקות רטיבות במפזר ניטרונים ובשיטה גראוימטרית. בניתוח ההדירות של הבדיקות נתקבל תחום שגיאה של  $\pm 0.015$  גרם/סמ"ק בבדיקות של הצפיפות,  $\pm 5\%$  בבדיקות הרטיבות במפזר ניטרונים,  $\pm 4\%$  בבדיקות בשיטה הגראוימטרית, בהסתברות של 95% לקו כיוול, שנקבע לתלות הקריאות במפזר לרטיבות הנפחית – היה רווח בר-סמך של 2.6% קו כיוול זה, בגבולות אלה, התאים לעשרות בדיקות ההשוואה והכיוול שנעשו בחווה האזורית בשנים 1979 ו-1980.

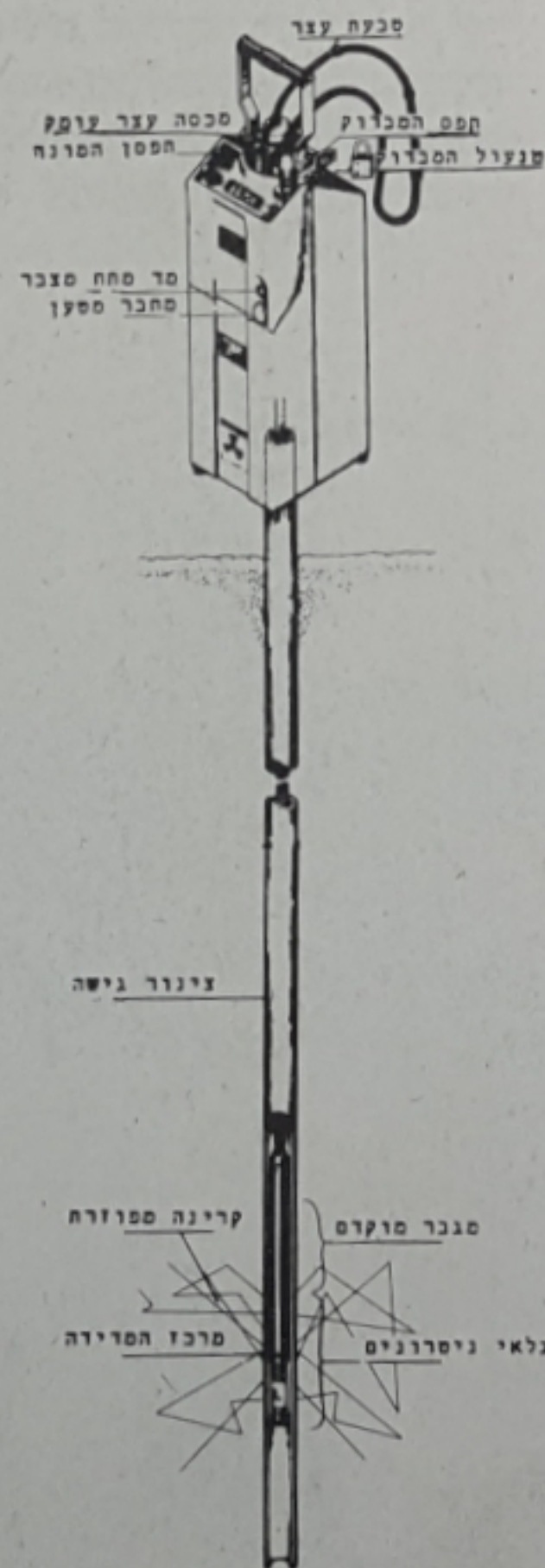
### הצגת הבעיה

מטרת ההשקיה בגידולי-שדה ובמטעים היא לשמור על רטיבות הקרקע בתחום הרצוי לצמח בשלבי גדילתו השונים. מניתוח ניסויים רבים, יש בידינו נתונים טובים להגדרת מצבי רטיבות רצויים לגדילת הצמחים ולניבתם, ואף לחיזוי תגובות הצמחים לסטיות מהם. השאלה היא, מדוע בכל זאת אנו משתמשים, להכוונת ההשקיה, באמצעים עקיפים, כגון לוחות מים מוכנים עוד מהחורף, המלצות כלליות, מדדים חזותיים, מקדמי-גייגית ועוד; וכל זה – במקום לבדוק את מצב הרטיבות בקרקע ולהשקות בהתאם? התשובה היא, כי חסרו לנו עד עתה אמצעים אמינים ונוחים לבדיקת מצב הרטיבות בקרקע בקנה-מידה משקי.

במאמר זה ננסה להצביע על מפזר הניטרונים כמכשיר שבעזרתו, בתנאי הפעלה מתאימים, אפשר לקבל תמונה אמינה של מהלך רטיבות הקרקע בשטחי גידול מסחריים.



מד רטיבות הקרקע בעומק (מפזר ניטרונים) – דגם קומפקטי DMG-33. פיתוח וייצור – רונלי אלקטרוניקה בע"מ, ת"ד 168 ראשון-לציון, טל' 242475, 03-942015.



חתך המדידה של בדיקת רטיבות הקרקע בעומק. בחתך מוצג צינור גישה (אלומיניום) המוחדר לקרקע ובולט מעט מעל פניה. המכשיר מוצב על בליטת הצינור. באמצעות תפס – משוחרר המכודק וחודר לעומק קים מוגדרים אל תוך הצינור. רטיבות הקרקע מוצגת על תצוגה ספרתית הקבועה במכשיר.

### האם המכשיר אמין?

אמינות מכשיר מדידה כלשהו נבחנת בכך, שתוצאות מדידה רצופות חוזרות על עצמן; בחינה זו מכונה "מידת הדירות המדידה".

כדי לבדוק את הדירות הקריאות של מפזר הניטרונים – נערך ניסוי בחווה האזורית לגידולי שדה בגליל-העליון: ארבעה צינורות גישה הוחדרו ברווחים של שני מטרים זה מזה בקרקע יבשה של שלף כותנה. בזמן החדרת הצינורות נלקחו מכל קידוח מדגמי קרקע בכל 15 ס"מ, לעומק חתך הקידוח. בצינורות הגישה נעשו מדידות רבות וחוזרות של צפיפות הקרקע – במד-הצפיפות הקרינתי, וקריאות רטיבות – במפזר הניטרונים באותם עומקים. כמו כן נלקחו מדגמים רבים נוספים של הקרקע היבשה סמוך לצינורות. במדגמי הקרקע נבדקה תכולת המים לפי משקל, בשיטה הגראוימטרית הרגילה. לאחר הקריאות והדגימה הורטב שטח הדגימה במים עד לקיבול-שדה לעומק של 70 ס"מ לפחות – ושוב נעשו אותן מדידות, הפעם בקרקע הרטובה.

(המשך בעמוד הבא)

\* פירסום של מינהל המחקר החקלאי, סידרה ה' 1981, מס' 1088.



**מפזר ניטרונים – לבקרת משטר ההשקיה (המשך מעמוד קודם)**

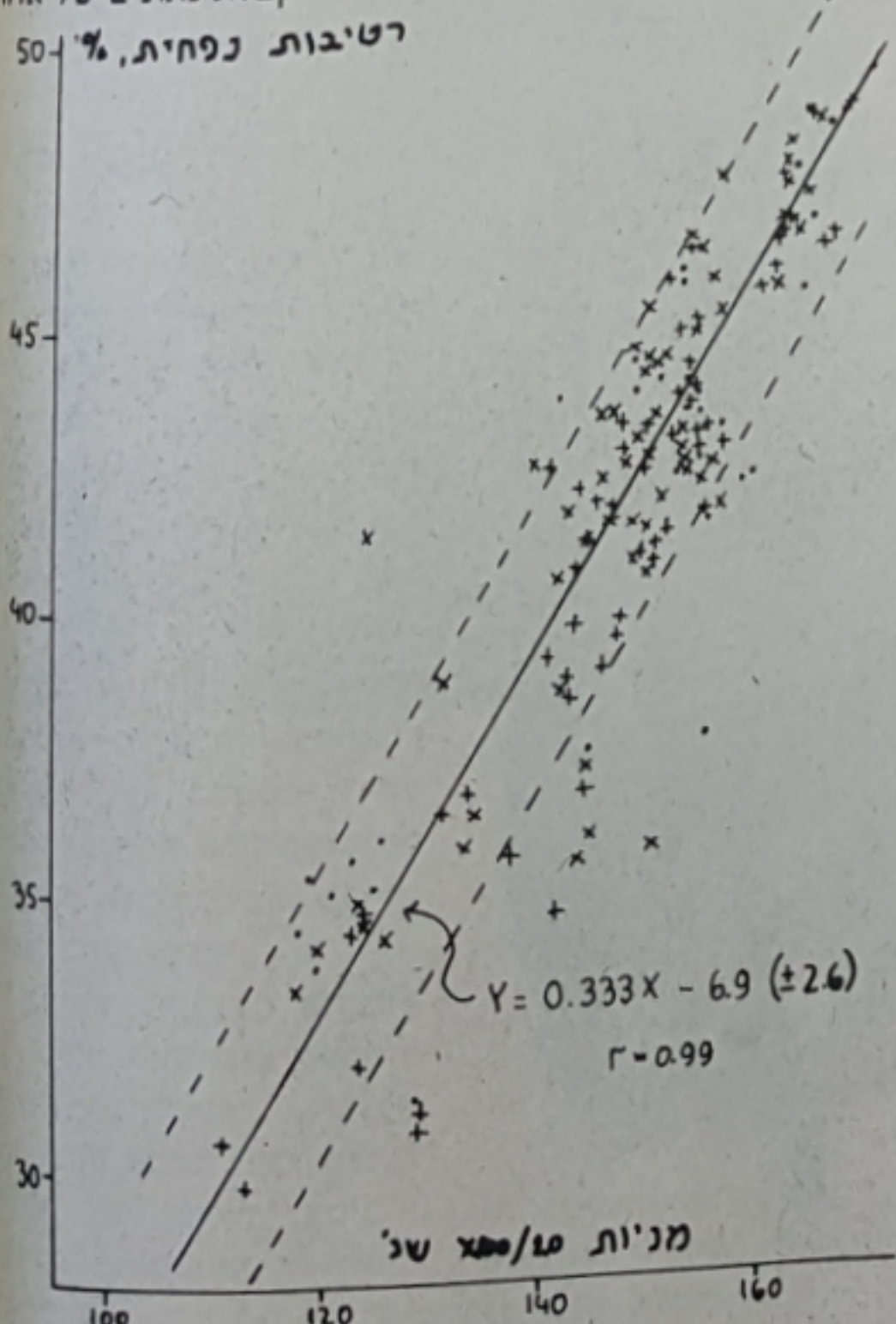
טבלה 1. הדירות הקריאה של מכשירים לבדיקת רטיבות הקרקע, חוות גידולי-שדה גליל-עליון, 1980.					
תאריך	29/10	31/10	31/10	29/10	31/10
מכשיר <sup>1</sup>	מפזר דגם א'	מפזר דגם א'	מפזר דגם ב'	מד-צפיפות	מקדח קרקע
מספר חזרות לנקודה	10	5	5	5	4
מספר נקודות	12	16	16	4	8
מקדמי שונות לנקודות					
ממוצע לנקודה, %	0.77	0.65	0.83	0.77	5.3
תחום מינימום – מקסימום, %	1.23 – 0.46	1.2 – 0.4	1.5 – 0.3	1.41 – 0.37	10.0 – 2.1
רווח בר-סמך לקריאה					
ממוצעת (0.95 הסתברות), %	21.0	21.0	21.2	21.0	18.5
טווח הדיוק	0.4%	0.4%	0.5%	0.015 גר"/ס"	2.13%
(בהסתברות 0.95) <sup>4</sup>	ר/נ	ר/נ	ר/נ	צפיפות	ר/מ

<sup>1</sup> שני דגמי מפזר ניטרונים – תוצרת "רונלי" בישראל.  
<sup>2</sup> לפי 4 ד"ח, התפלגות סטודנט.  
<sup>3</sup> לפי 3 ד"ח.  
<sup>4</sup> ר/נ – רטיבות ביחס לנפח; ר/מ – רטיבות ביחס למשקל.

**האם אפשר לקבל כיוול טוב של קריאות מפזר לרטיבות הקרקע בתנאי שדה?**

מקובל לכייל מכשיר מדידה חדש כלשהו באמצעות מדידת כמויות ידועות שנקבעו כסטנדרט מדויק שנקבע במכשירי מדידה ישנים.

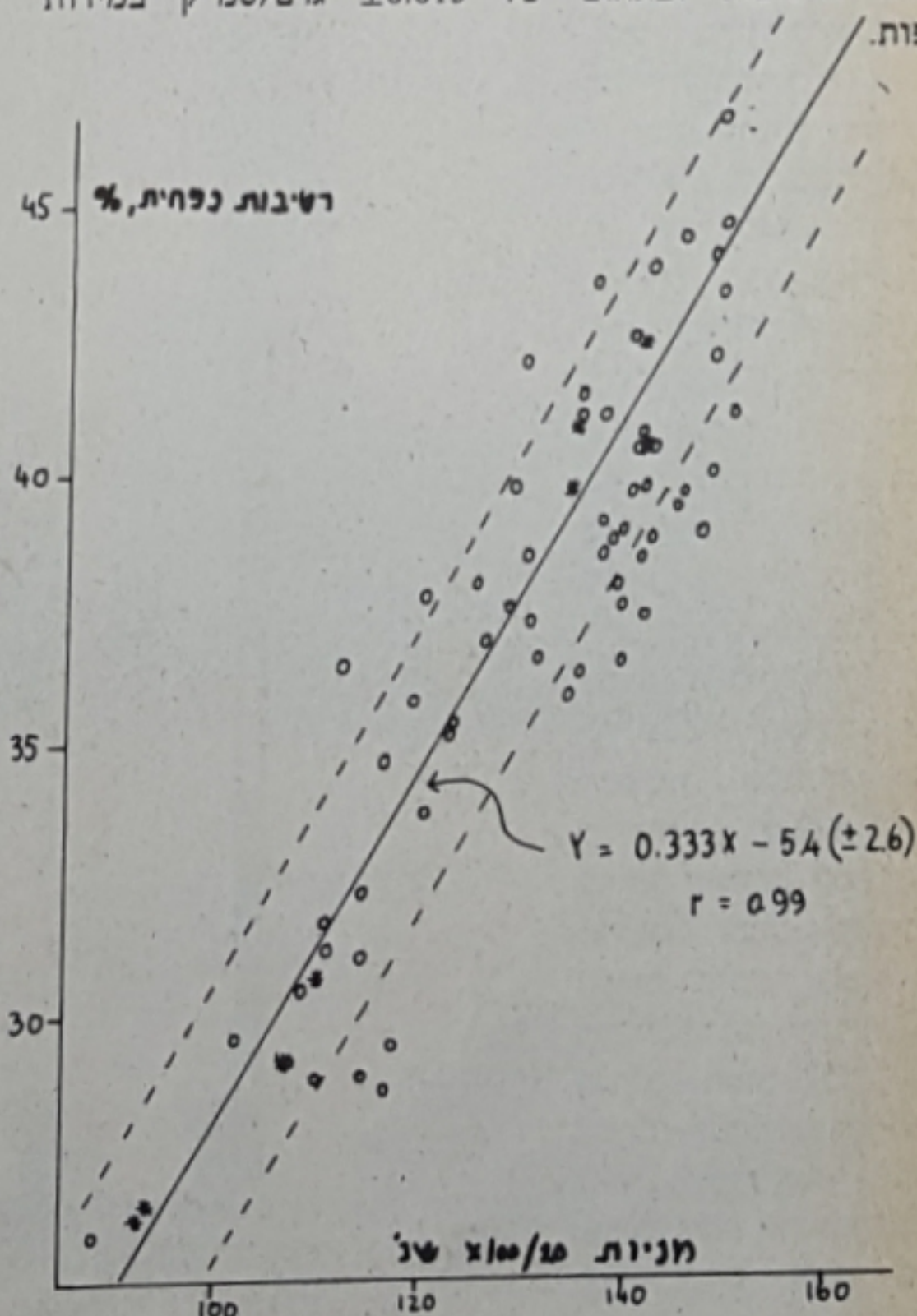
מנתוני טבלה 1, וכן מבדיקות שדה רבות (מירון, לוי, "השדה" 1979), מתברר כי בעית דיוק הכיול היא – קבלת נתונים של אחוזי



**דיאגרמה 2.** הקשר בין הרטיבות הנפחית לבין קריאת מפזר הניטרונים בחוות גידולי-שדה גליל עליון, בשכבה 30–120 ס"מ.  
 קו רצוף – קו רגרסיה של הכיול.  
 קו מרוסק – 2.5 סטיות תקן של % הרטיבות מקו הרגרסיה.  
 + קריאות ומדידות בשכבה 30–60 ס"מ.  
 x קריאות ומדידות בשכבה 60–90 ס"מ.  
 • קריאות ומדידות בשכבה 90–120 ס"מ.

הנתונים של המדידות ותוצאות הבדיקות, עם הניתוח הסטטיסטי של הפיזור וההתאמה ביניהם – ניתנים בטבלה 1.

מהטבלה נראה בבירור, שהמכשירים הקרינתיים חוזרים על קריאותיהם במצב רטיבות קרקע וצפיפות קבועים – בצורה מדויקת מאוד. נראה, שתחום השגיאה בהסתברות של 95% הוא  $\pm 0.5\%$  בקריאות הרטיבות ובתחום של  $\pm 0.015$  גרם/סמ"ק במידות הצפיפות.



**דיאגרמה 1.** הקשר בין הרטיבות הנפחית לבין קריאת מפזר הניטרונים בחוות גידולי-שדה גליל עליון, בשכבה 0–30 ס"מ.  
 קו רצוף – קו רגרסיה של הכיול.  
 קו מרוסק – 2.5 סטיות תקן של % הרטיבות מקו הרגרסיה.  
 o – בדיקות כיול סתיו 1979/80.  
 x – בדיקות כיול סתיו 1980, שלפיהן חושב הקו.



רטיבות קרקע אמינים, שנתקבלו בדגימה באמצעות מקדח.

בניסוי שנערך בסתיו 1980, המתואר פה, נעשו דגימות הקרקע במקדח באופן דקדקני מאוד, ובכל זאת נתקבל תחום ודאות של  $\pm 4\%$  יותר לשכבה של 30 ס"מ.

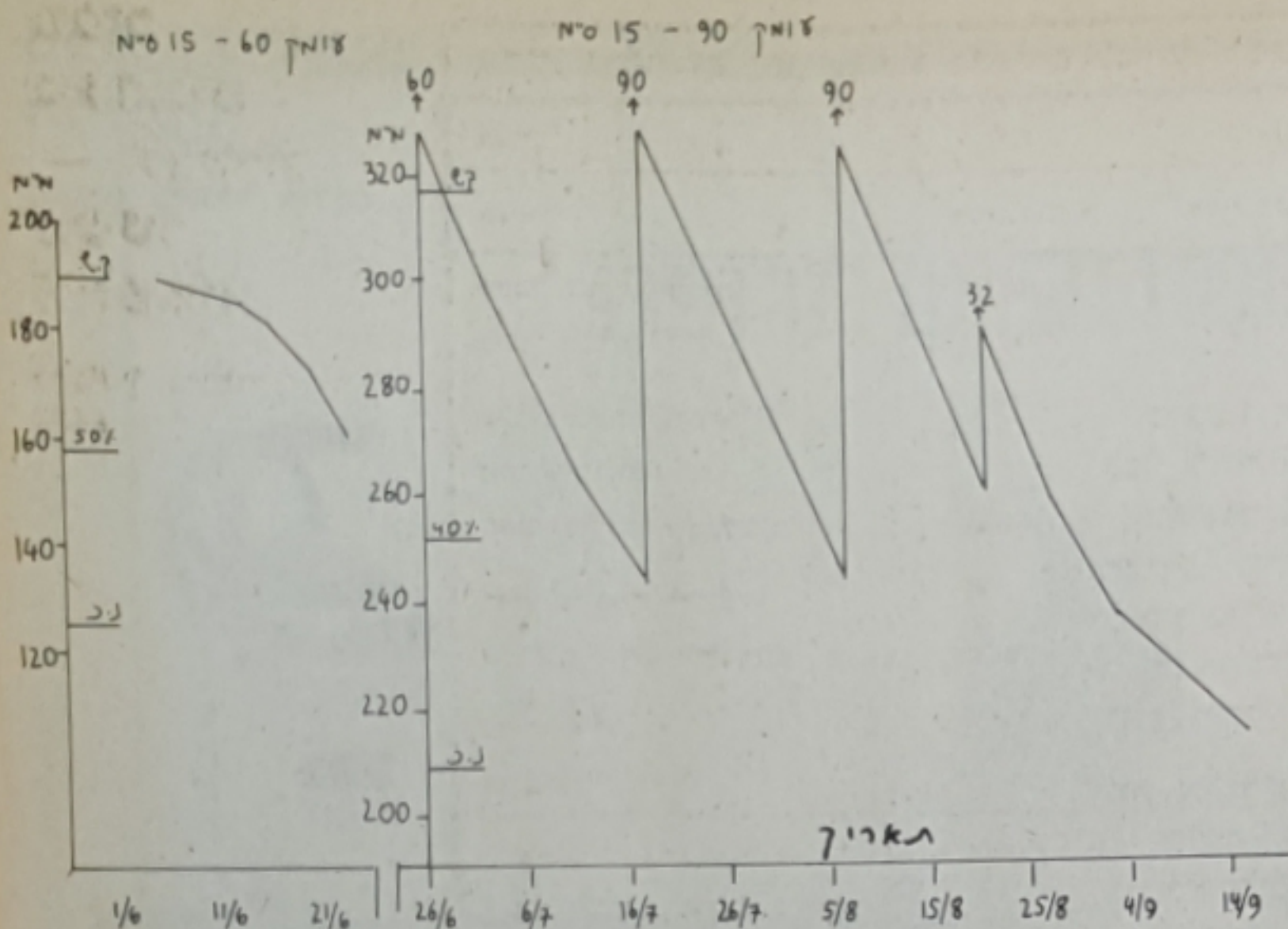
בדיאגרמה 1 אפשר לראות את עקום הכיול שנתקבל על סמך הקריאות שהתקבלו בשנים 1978-1980 בחווה לגידולי שדה בגליל-העליון, ואת תחום הרווח בר-הסמך בהסתברות של 95% (קווים מרוסקים) לשכבה 0-30 ס"מ. בין כל הנקודות מצוינות 8 הנקודות של ניסוי סתיו 1980, המצביעות על קו כיול זהה בתחום רווח בר-סמך של  $\pm 2.6\%$ .

בדיאגרמה 2 אפשר לראות קו כיול לשכבות 30-120 ס"מ, שגם לו יש אותו שיפוע (0.333) עם תחום רווח בר-סמך זהה.

התוצאות מראות אפוא, שעל-ידי בדיקה בסתיו, כאשר הקרקע יבשה — אפשר לקבל כיול אמין של קריאות המפזר לאחזו הרטיבות.

### איך להשתמש במפזר ניטרונים למעקב אחר רטיבות הקרקע ולקביעת עיתוי ההשקיה וגודל מנת המים?

בדיאגרמה 3 (לקוחה מניסוי השקיה בהמטרה בחוות גידולי שדה בגליל-העליון 1980) אפשר לראות תוצאות מעקב אחר מהלך הרטיבות בשכבת הקרקע של 15-90 ס"מ, שנערך בשטח חוות הניסויים בהשקית כותנה בהמטרה. בצירור על נייר מילימטרי נרשמו מועד כל



**דיאגרמה 3.** מהלך הרטיבות בשכבה 15-90 ס"מ וכמויות המים בכל השקיה (מעל קו ההשקיה).  
תוצאות ניסוי בהשקית כותנה בהמטרה. חוות גידולי-שדה גליל-עליון (מירון, ליון 1980).

השקיה (בצורת קו ניצב לאבציסה), מנת המים שניתנה כל פעם למעשה במ"מ (פחות הכמות של 15-20 מ"מ המיועדת לשכבה 0-15 ס"מ), ונקודות הבקרה לפי האורדינטה של מ"מ בשכבה הרצויה בתלות בזמן.

חיבור הנקודות לקווים מאפשר לענות על השאלות:

1. האם כמות המים שניתנה בהשקיה היתה גדולה או קטנה מדי? (המשך בעמוד הבא)



מדדת שדה מעשית של רטיבות הקרקע במטע הדורים צעיר במרכז וולקני בבית-דגן.



במכשיר אחד אפשר לקרוא 80 צינורות ליום ויותר, ל-4 עומקים בכל צינור — כשכל קריאה לשכבה נמשכת 20 שניות. השימוש במכשיר יכול להיות מאורגן באופן אזורי למספר משקים, בידי מפעיל עם רכב העובר ממקום למקום. האפשרות לחסוך במים או להגדיל את היכול על-ידי בקרת ההשקיה — עשויה לשלם את הוצאות ההפעלה עשרות מונים, גם אם על כל 100–300 דונם גידולי שדה ייבדקו 4 צינורות גישה.

#### מה אומרים המגדלים בשדה?

הפעלה אזורית של מפזר ניטרונים בשדות כותנה מסחריים בגליל-העליון הונהגה בהדרכת שירות-השדה בגליל-העליון בשנים 1979 ו-1980.

בפגישות של משתמשי המפזר התבטאו המגדלים, שבתנאי הפעלה נאותים — אפשר היה לחסוך מים ולשפר את תנאי האוויר בקרקע במשטר השקיה מבוקר, שהביא לידי קבלת צמחים בריאים ומניבים יכולים גדולים.

בשנת 1981 נוספו בגליל מגדלים הנעזרים במפזר הניטרונים, ומספר המשקים המשתמשים בו הוא כיום 15.



מד צפיפות הקרקע בעומק — דגם קומפקטי DUC-37. המכשיר מוצב על אותו צינור גישה של מפזר הניטרונים. יחידת המנייה הספרותית זהה וחליפית.

#### CAN NEUTRON PROBES BE USED TO CONTROL IRRIGATION REGIMES IN COTTON FIELDS?

M. Meron\* and I. Levin\*\*

Reproducibility tests with a gamma ray density meter and neutron scattering device, and gravimetrical soil moisture content determinations were performed at the Field Crops Experiment Station in Upper Galilee. The results of the measurements carried out in dry soil after the cotton harvest and in soil wetted to field capacity showed a variability in confidence limits of  $\pm 0.015 \text{ g/cm}^3$ ,  $\pm 0.5\%$  and  $\pm 4\%$  at  $P = 95\%$  in the density tests, soil moisture content as measured by the neutron probe, and the gravimetrically tested soil moisture content, respectively.

The calibration line for neutron probe readings vs. moisture percent per volume, showed confidence limits of  $\pm 2.6\%$ . This line within these limits fitted well the numerous measurements carried out in the irrigated cotton fields at the Experiment Station during the 1979 and 1980 seasons.

Soil moisture content data obtained with the neutron probe were very reliable for determining water regimes in irrigation experiments performed at the Experiment Station, and were used successfully to increase the water use efficiency of the irrigation water. As a result of these achievements, the neutron probe is now used in many commercial cotton fields on the farms in Upper Galilee.

\* Extension Service, Upper Galilee.

\*\* Inst. of Soils and Water, Agricultural Research Organization, Bet Dagan.

- היינו, האם הקו הנמשך מגיע לרמת קיבול-השדה, או לא?
  - באיזה קצב נעלמו המים בקרקע בין השקיה להשקיה; היינו, מהו שיפוע הקו?
  - מתי יהיה צורך בהשקיה העוקבת, כשהתכנון הוא להגיע לסף השקיה של הישוארות כמות מים מסוימת שנקבעה מראש — בהתאם לשיפוע הקו?
  - מה היתה המת הרכיבות בקרקע למעשה לפני ההשקיה, והאם היתה לפי התכנון המקורי?
- דיוק התשובות ילך וישתפר עם הזמן ועם הניסיון שנרכש. כל חקלאי יכול לעקוב בעצמו אחר תוצאות הבדיקות ללא הכשרה מיוחדת — כאשר יקבע ארבעה צינורות גישה באחת החלקות ויעשה ממוצע מהתוצאות של הקריאות לכל שכבה ושכבה. ברור, שכל שהקרקע הטרוגנית יותר — יידרשו יותר נקודות בדיקה; אולם במציאות, כל מגדל קובע את משטר ההשקיה שלו לפי הצורך שברשותו ולפי מצב הגידול או רטיבות הקרקע בחלק הרפרזנטטיבי ביותר בחלקה שלו — ושם יחדיר את צינורות הגישה האמורים.

#### האם הפעלת מפזר הניטרונים מסוכנת, יקרה, מסובכת או קשה?

המכשיר אינו מסוכן אם נוקטים אמצעי זהירות מינימליים. כי הקרינה שלו מזערית ויש הוראות פשוטות של המחלקה לבקרת הקרינה של הוועדה לאנרגיה גרעינית; על כן לא נשקפת שום סכנה למפעיל המכשיר המצוי כיום בשוק.

המכשיר עצמו מופעל בקלות. משקלו כיום 7 ק"ג, הוא עמיד בפני מים ואינו מחייב שום כוונן אלקטרוני. קיים שירות מהיר למקרה של תקלה.