



1. מו"פ ערבה דרומית – דוח שנתי לקה"ל

מספר המחקר: 81104

נושא ההצעה: תצפית תלוליות בעצי תמר מזן מג'הול לשנת 2024

שם החוקרת הראשית: יעל רייך הופמן, מו"פ ערבה דרומית

שותפים למחקר: פרופ' נפתלי לזרוביץ, המכונים לחקר המדבר ע"ש בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב. אלעזר וולק¹, אלון אורון², עודד פרידמן³, דב ניר³, אלון מאור¹, האגף לשימור קרקע וניקוז¹, מחוז נגב², שה"ם³, משרד החקלאות.

סטטוס התוכנית: המשך.

מועד התחלה 1/1/2024 – מועד סיום 31/12/2026

2. רקע ותיאור הבעיה

בדרום הארץ התפתחה בשנים האחרונות אגרוטכניקה של הקמת תלוליות סביב עצי תמר בוגרים. באגף לשימור קרקע וניקוז עלתה השאלה האם לתמוך בפרקטיקה הזו במטרה לשפר את ההתמודדות עם בעיות עודפי מים ומאידך עם שיפור קליטת מים וחומרי הזנה לצמח. בוצעו שני סיורים בהם חקלאים הסבירו על בעיות ניקוז לקוי או ניקוז יתר שחוו והציגו את השימוש בתלוליות במטרה לשפר את תאחיזת המים בקרקע או כדי להנגיש לעץ אזור מאוורר עם תנאים מיטביים לגידול וקליטה של שורשים וכך להתמודד עם עודפי מים הפוגעים בגידול. בין המשקים אף התפתחו מתודות שונות בנושא התלוליות, שימוש בחומרים שונים – פרלייט קומפוסט, חול ועוד. סיכומים משני הסיורים נמצאים בסוף המסמך, הביקורים נערכו במטעים של 6 קיבוצים מתוך 10 באזור מתוך עניין של החקלאים להבין איך תלוליות יכולות לשפר יבולים ויעילות קליטת מים ויסודות הזנה. כיום אין מספיק מידע לגבי תנועת המים והמומסים בתלולית. מידע לגבי תנועת המים, הסעת מומסים, והתפתחות שורשים בתלולית. מידע זה יאפשר תכנון מושכל של תלוליות אשר יעזרו עם הבעיות הספציפיות של כל המטע. בנוסף, מידע זה יתמוך בהחלטת גורמי מדיניות באגף לשימור קרקע וניקוז לתמיכה בתלוליות.

מודלים נומריים דוגמת HYDRUS (2D/3D) מאפשרים חישוב של תנועת המים והסעת מומסים בקרקע ובנוסף את האינטראקציות בקליטת המים על ידי הצמח. מודלים אלה יכולים לעזור באופטימיזציה של הגיאומטריה של התלוליות ובחינת החומרים המרכיבים את התלולית. למודלים אלה נדרש כיוול באמצעות מדידות ברצף קרקע-צמח-אטמוספירה בתנאי שדה.

הבעיות שהתלוליות באות לפתור:

ניקוז לקוי הגורם לשלוליות בפני השטח ובית גידול ליתושים. כיום החקלאים מקבלים דו"חות על תברואה. קרקע בוצית בין העצים גורמת לבעיות עבירות כלי גובה הפועלים במטעים כל השנה. בקיץ יש מגבלות השקיה ולא ניתן להנגיש לעץ את כמויות המים הגדולות הנדרשות מאחר שהמים לא מחלחלים לקרקע ונוצר נגר עילי שמסיט חלק מכמות המים מאזור בית השורשים. לדברי המשקים התלוליות מייצרות נפח קרקע מאוורר בו השורשים יכולים לשגשג ולקלוט מים באופן מיטבי. עולה ההשערה כי התלוליות יגרמו לירידה בשלוליות בגלל הגדלת קליטת המים כאשר ספיקת ההשקיה גדולה. במקביל לאמור לעיל, תועלת נוספת המדווחת על ידי המשקים היא סיוע גם במקרה ההפוך של ניקוז יתר הגורם לחוסר יעילות קליטת מי ההשקיה. כרגע משקים עם אביזרי השקיה בספיקה גבוהה מאוד, 25-50 ליטר/שעה, המים מחלחלים במהירות במטעים בהם הקרקע חולית/אבנית. עולה ההשערה כי תלוליות המורכבות מערבוב של קומפוסט וחול ישפרו את תאחיזת מי ההשקיה ויהיו יותר מים וחומרי הזנה זמינים לצמח. בנוסף ניתן לשקול שימוש בחומר וואדי או חומר מחצבה מקומי שנגיש יותר.

3. מטרת המחקר וחשיבותו

אופטימיזציה לאגרוטכניקה של תלוליות מבחינת גיאומטריה והרכב התלולית. כמו כן, לבחון את השפעת התלולית בסביבת מי תהום גבוהים או קרקעות בעלות מוליכות הידראולית גבוהה יותר או פחות מתחת לתלולית.

המחקר יתבצע על ידי תצפית בשטח וכיוול ואימות מודל נומרי עם יכולת לבצע אופטימיזציה של המערכת.

4. מהלך המחקר ושיטות העבודה

תכנון לעומת ביצוע לפי פירוט המשימות ב2024:

משימה	ביצוע
תצפית תלוליות בעצי תמר מזן מג'הול במו"פ ערבה דרומית. תצפית זו כוללת 5 עצים עם תלוליות עשויות ממצע גידול שונים. העצים בני 6 והתלוליות יוקמו באוקטובר 2023 כולל רשת של חיישנים: TDR, טנסיומטרים, משאבים, מצלמות שורשים ומדי זרימה מוהל העץ. גם בעצים	בניית התלוליות סביב 5 עצים במו"פ ערבה דרומית בוצע בנובמבר 2023. לכל תלולית חושבו כמויות קרקע בקילוגרם לפי הנפח הרצוי והצפיפות הגושית שנמדדה במדידות מקדימות. באביב 2024 נצפתה בלייה של התלוליות ובאוגוסט 2024 נוספו עוד 500 ליטר קרקע לכל תלולית לפי הרכבה.

	אלו יימדדו פרמטרים של גדילת העץ ויבול לכל עץ. משימות ב, ג, ד הן המדידות שנוסיף במחקר המוצע כדי לבנות מאגר נתונים לכיול ואימות המודל.
במרץ 2024 הותקנו מדי מים, TDR, טנסיומטרים ומשאבי קרקע לפי התוכנית. תמיסת הקרקע נדגמה עם משאבי הקרקע לפי התוכנית. תמיסת ההשקיה נדגמה פעם בשבוע בצורה ידנית ונמדדו בה מוליכות חשמלית, ריכוז כלוריד וחנקן צרוף.	ניסוי תלוליות יתבצע ב-5 עצים עם תלוליות עשויות מחול, קומפוסט או ערבוב של שניהם. העצים יושקו במים מליחים עם מליחות קבועה של 3 דצ"ס/מ', לכל עץ יחובר מד מים קטן אשר מנטר את כמויות ההשקיה לכל עץ בנפרד. בכל עץ יותקנו 4 משאבים, 4 טנסיומטרים, TDR 6, 6 צינורות שקופים לצילום שורשים, בעומקים שונים בתלולית ובקרקע המקומית מתחת לתלולית. נדגום את המשאבים פעם בשבועיים במהלך כל השנה ונבדוק את תמיסת הקרקע לEC וכלוריד. בנוסף, דוגמאות מתמיסת הקרקע בעץ עם התלולית 100% חול ו-100% קומפוסט ייבדקו גם לחנקן צרוף כתרכובות NH_4 ו-NO_3. איכות וכמות ההשקיה תנוטר בכל העצים בניסוי.
בשנת 2024 פותח מודל ראשוני והגדרות ראשוניות של הפרמטרים לכיול.	פיתוח מודל ראשוני והגדרת הפרמטרים לכיול. תוכנת HYDRUS מורכבת ממודלים שונים, וניתן לכייל כל אחד בנפרד. בשלב זה של המחקר נגדיר את הפרמטרים לכיול ובבנה תכנית כיול לכל מודל ותכנית אימות של כל המודלים ביחד. הכיול לכל מודל יעשה בעזרת האלגוריתם של Levenberg-Marquardt המוטמע במודל. הפרמטרים ומודלים לכיול יהיו: מודל הידראולי לכל מצע גידול, מודל הסעה, מודל הפחתת קליטת מים כתוצאה ממליחות גבוהה או מחסור במים בבית השורשים כולל תהליכי פיצוי, מודל קליטה של מומסים.

אבני דרך

שנה א'

1- בניית מאגר נתונים מדודים לכויל המודל - בוצע

2- מודל ראשוני - בוצע

5. תוצאות ביניים

בניית התלוליות סביב 5 עצים במו"פ ערבה דרומית בוצע בנובמבר 2023 (איור 1). לכל תלולית חושבו כמויות קרקע בקילוגרם לפי הנפח הרצוי והצפיפות הגושית שנמדדה במדידות מקדימות. באביב 2024 נצפתה בלייה של התלוליות (איור 2) ובאוגוסט 2024 נוספו עוד 500 ליטר קרקע לכל תלולית לפי הרכבה (איור 3).



איור 1 - תלוליות יומיים אחרי בנייתם 18/11/2023. מספר 1 היא 100% קומפוסט ומספר 5 היא 100% חול.



איור 2 - תלוליות שונות במאי 2024 - מצב של בליה בכל התלוליות.

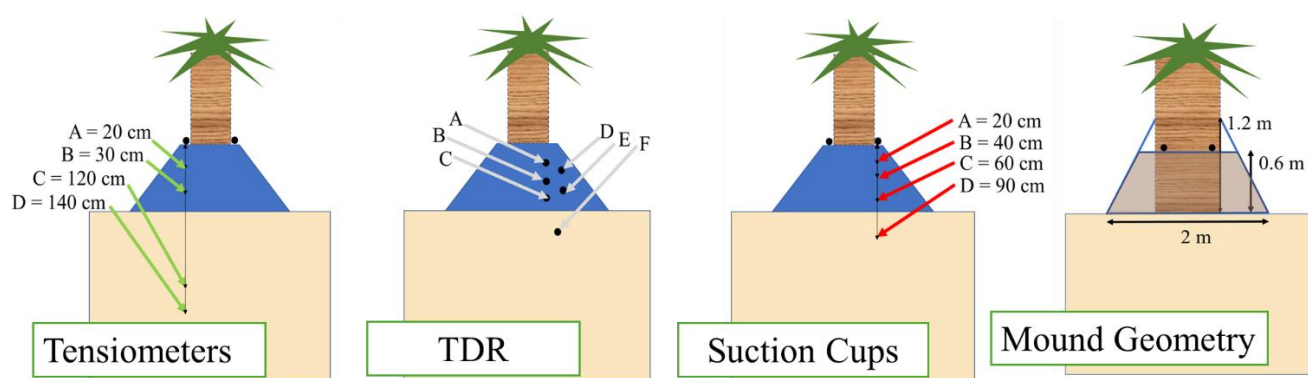


איור 3 - דוגמה של מצב התלולית בהרכב 100% קומפוסט לפני הוספת החומר באוגוסט 2028 (A) ואחרי הוספת החומר (B).

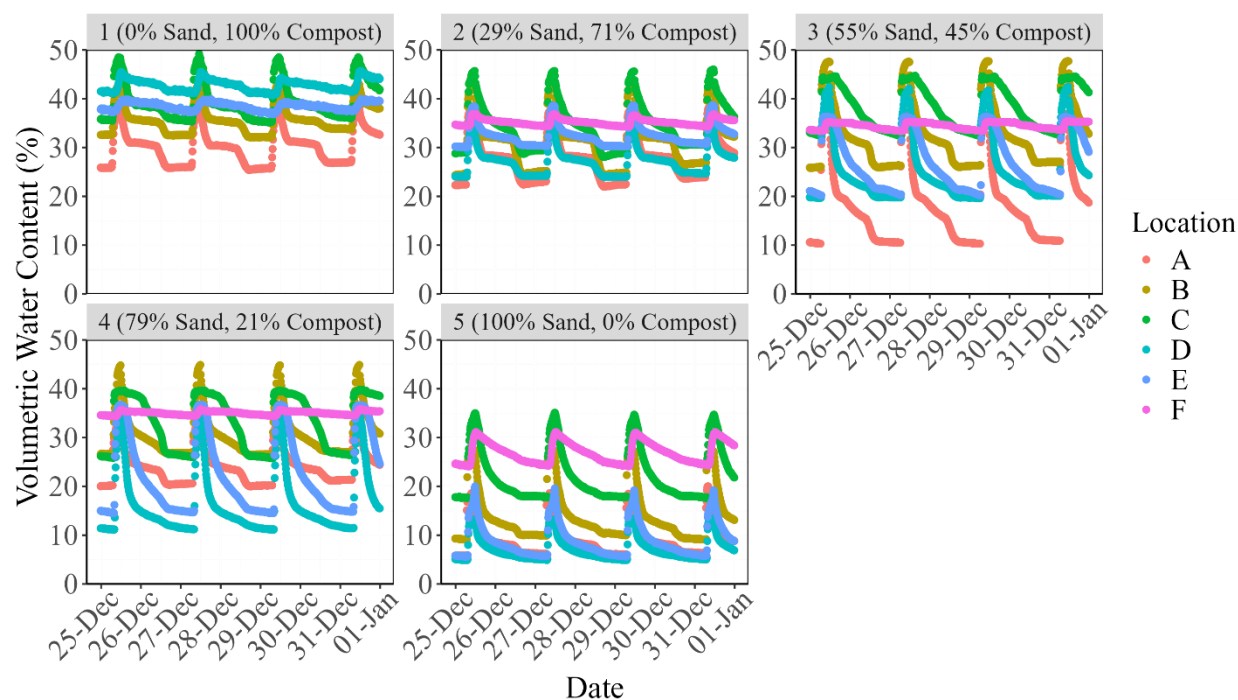
במרץ 2024 הותקנו כל החיישנים וכלי דיגום בעצים לפי התוכנית (איור 4). הנתונים נשמרים באוגר נתונים של חברת Campbell ואנו מורידים אותם לענן במחשב פעם בשבוע. הנתונים הם רבים ובתדירות של 15 דקות, אשר יאפשרו למדל תהליכים בזמן אמת. לכן, הצגת כל הנתונים באיור אחד לא ברור מספיק והוחלט להציג שבוע של נתונים להמחשה.

תכולת הרטיבות הנפחית, שנמדדה באמצעות 6 חיישני TDR בכל אחד מחמשת עצי הניסוי, עולה לאחר כל אירוע השקיה, המתקיים אחת ליומיים (איור 5). מיקום החיישן והרכב תלולית הקרקע משפיעים על מידת השינוי בתכולת הרטיבות. מיקומי החיישני TDR מתוארים באיור 4.

בכל העצים, החיישן הממוקם בקרקע המקומית, מתחת לתלולית (F), מציג את השינוי הקטן ביותר בתכולת הרטיבות. לאחר אירוע ההשקיה, תכולת הרטיבות עולה, ולאחר מכן מתרחש תהליך של חלחול וירידה נוספת בתכולת הרטיבות. עם זאת, ביום ללא השקיה, לא נצפתה קליטת מים על ידי השורשים—מאפיין שמתבטא בדרך כלל בירידה נוספת בתכולת הרטיבות במהלך שעות היום. תופעה זו אכן נראית במדידות של חיישנים אחרים הממוקמים בתלוליות קרקע שונות.

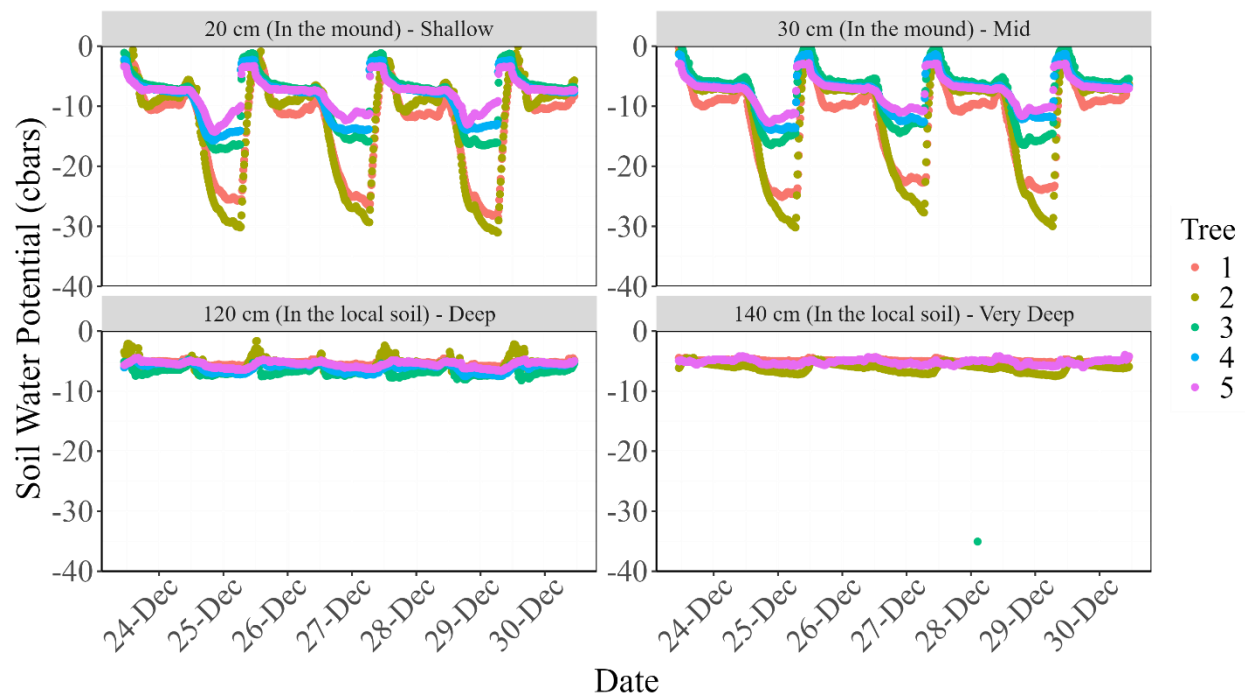


איור 4 - גיאומטריה כללית של התלוליות. מיקומים של הטנסיומטרים, TDR ומשאבי הקרקע בכל העצים - בתלולית ובקרקע המקומית.



איור 5 - תכולת רטיבות נפחית הנמדדת עם TDR במיקומים שונים בתוך תלולית ובקרקע המקומית לכל חמשת העצים בשבוע אחרון של 2024.

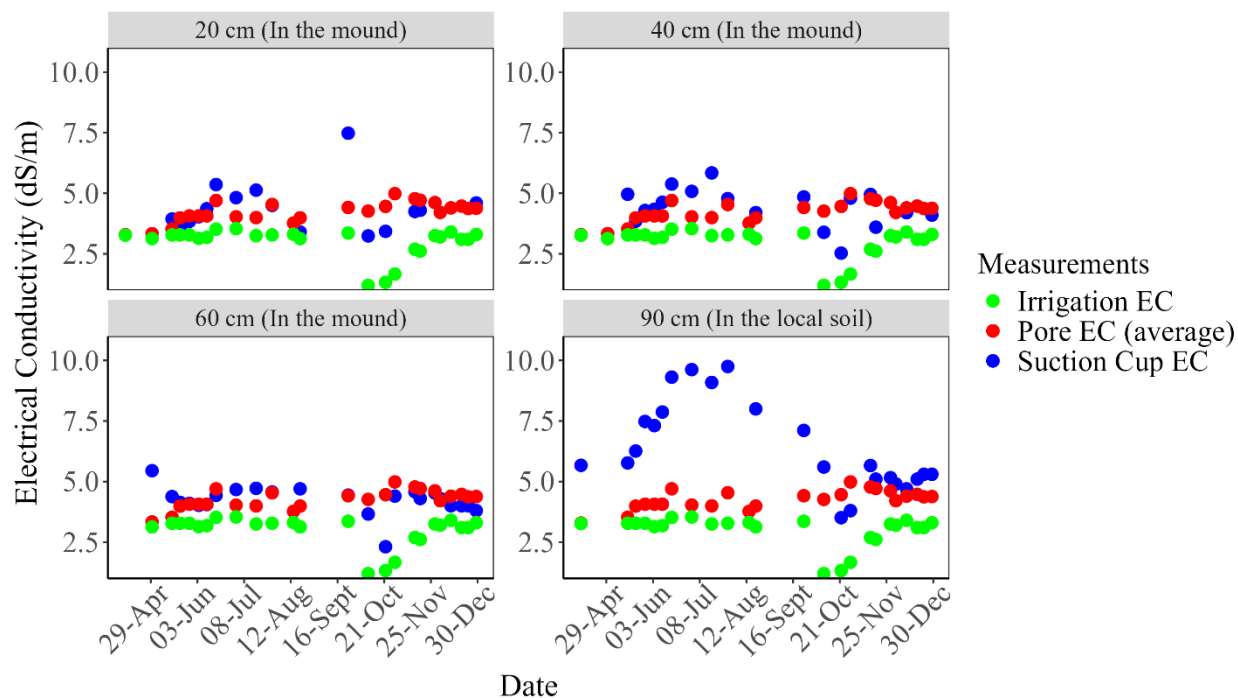
נתוני הטנסיומטרים מציגים מגמות דומות, עם עלייה בפוטנציאל המים בקרקע לאחר כל אירוע השקיה, ולאחר מכן ירידה בערכים (ערכים שליליים יותר) המעידה על חלחול וקליטת מים על ידי השורשים. קליטת המים בולטת בעיקר בעומקים הרדודים, בעומק של 20 ו-40 ס"מ בתוך תלוליות הקרקע (איור 6).



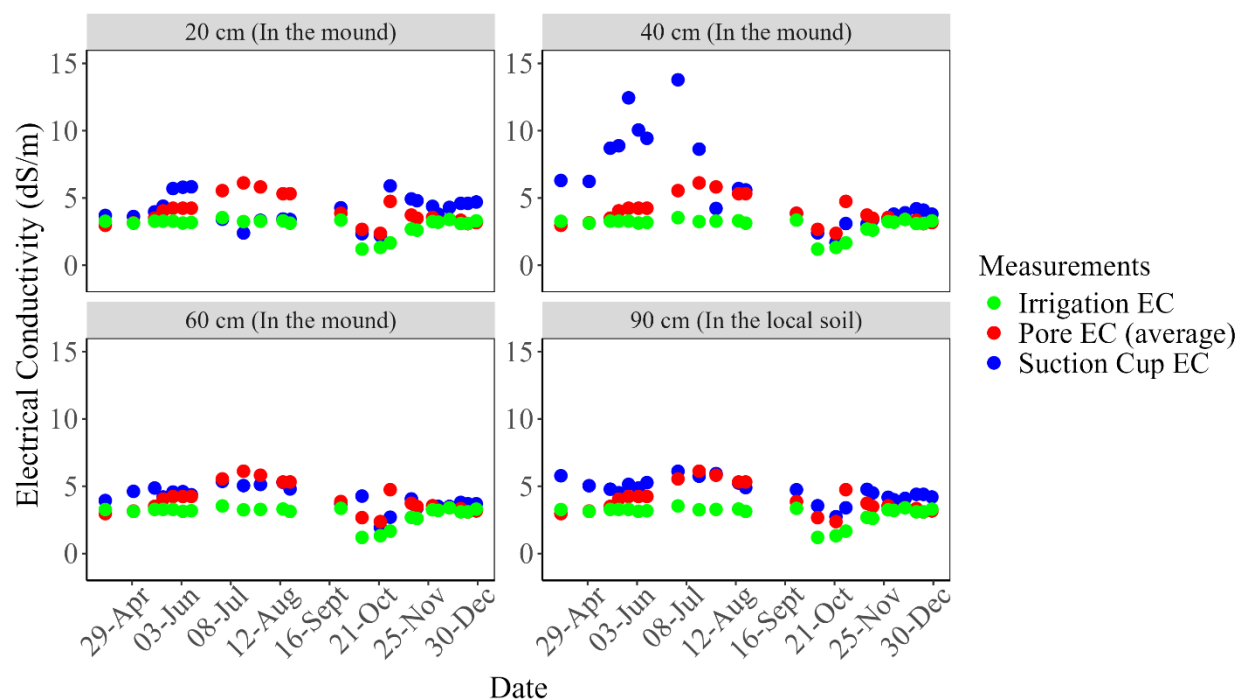
איור 6 – פוטנציאל מים בקרקע הנמדד עם טנסיומטרים בכל עצי הניסוי, 20 ס"מ ו 30 ס"מ עומק מגובה התלולית וב 120 ו 140 ס"מ עומק מגובה התלולית, אשר ממקם את החיישנים מתחת לתלולית ובתוך הקרקע המקומית.

מוליכות החשמלית בתמיסת הקרקע ובהשקיה נמדדה פעם בשבוע על ידי דיגום משאבים (איור 4) ובדיגום ידני בהתאמה (אדום וירוק ואיורים 7 עד 11). בנוסף, איורים אלו מראים גם השווה למוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע הממוצעת לכמה חיישני TDR בסביבת המשאב. מוליכות החשמלית הייתה סביב 3 דצ"ס/מ' כמתוכנן כל

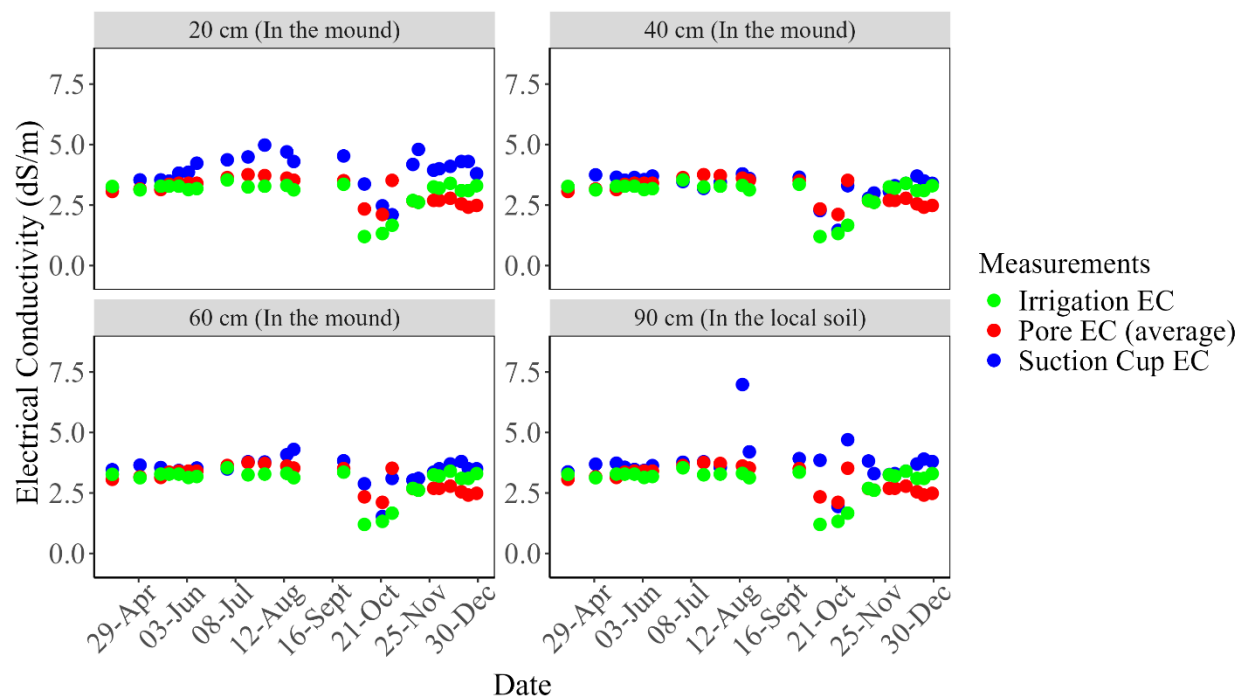
השנה חוץ מתקופה קצרה סביב אוקטובר בה חלה תקלה טכנית. ירידה במוליכות החשמלית של ההשקיה גרמה לירידה זמנית במוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע אשר נמדדה בדוגמאות של המשאבים ועל ידי TDR.



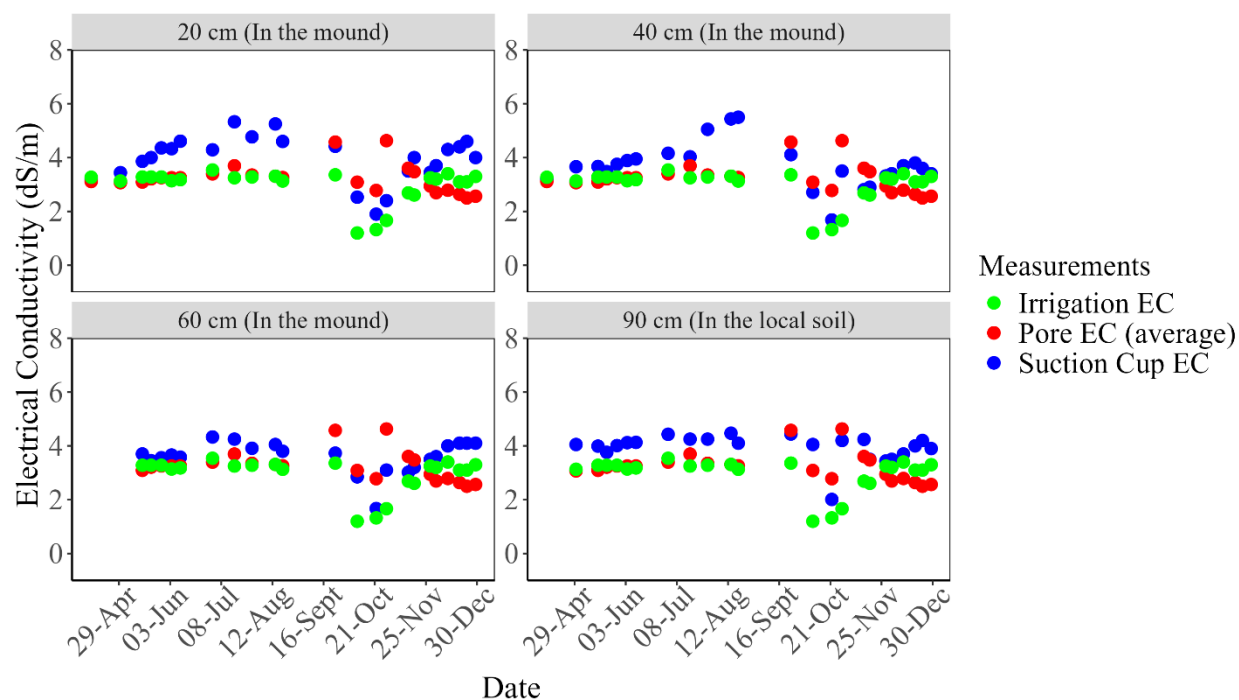
איור 7 – עץ 1 – 100% קומפוסט: מוליכות חשמלית בתמיסת ההשקיה (ירוק), אשר נמדדת בתדירות שבועית בדגימות מים על ידי משרבי קרקע (כחול) ומחושב לפי מיקום עם חיישני ה-TDR (אדום).



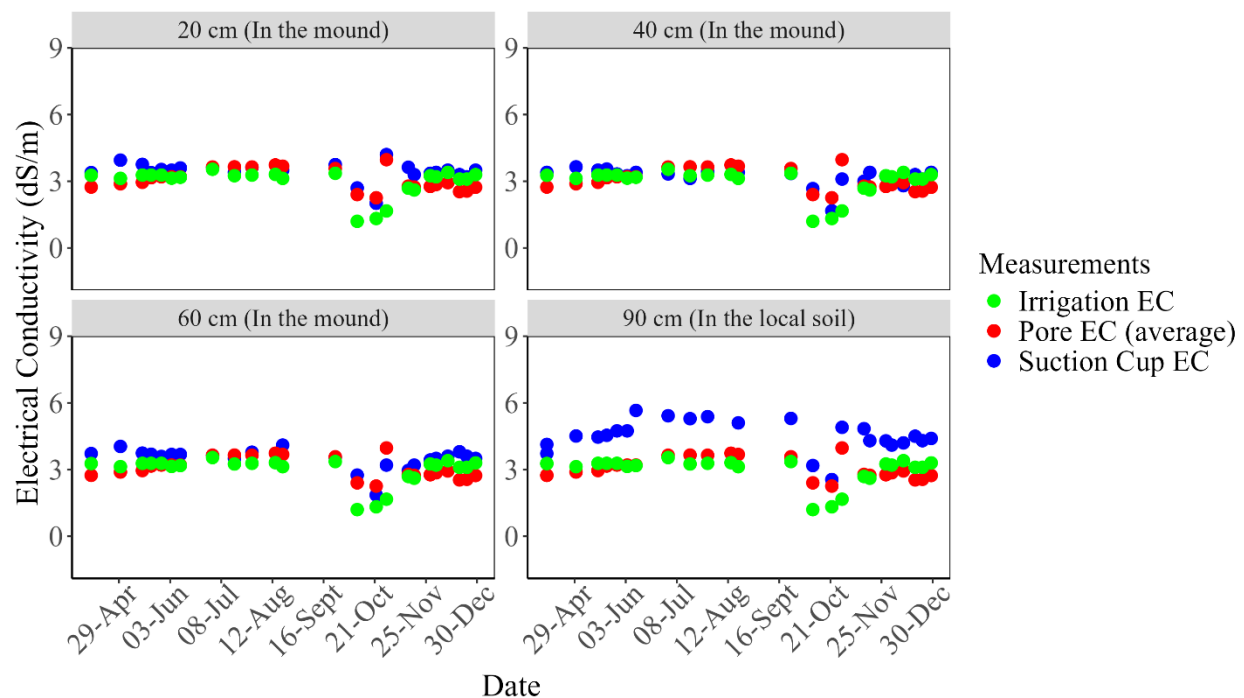
איור 8 – עץ 2 – 71% קומפוסט: מוליכות חשמלית בתמיסת ההשקיה (ירוק), אשר נמדדת בתדירות שבועית בדגימות מים על ידי משרבי קרקע (כחול) ומחושב לפי מיקום עם חיישני ה-TDR (אדום).



איור 9 – עץ 3 – 45% קומפוסט: מוליכות חשמלית בתמיסת ההשקיה (ירוק), אשר נמדדת בתדירות שבועית בדגימות מים על ידי משרבי קרקע (כחול) ומחושב לפי מיקום עם חיישני ה-TDR (אדום).

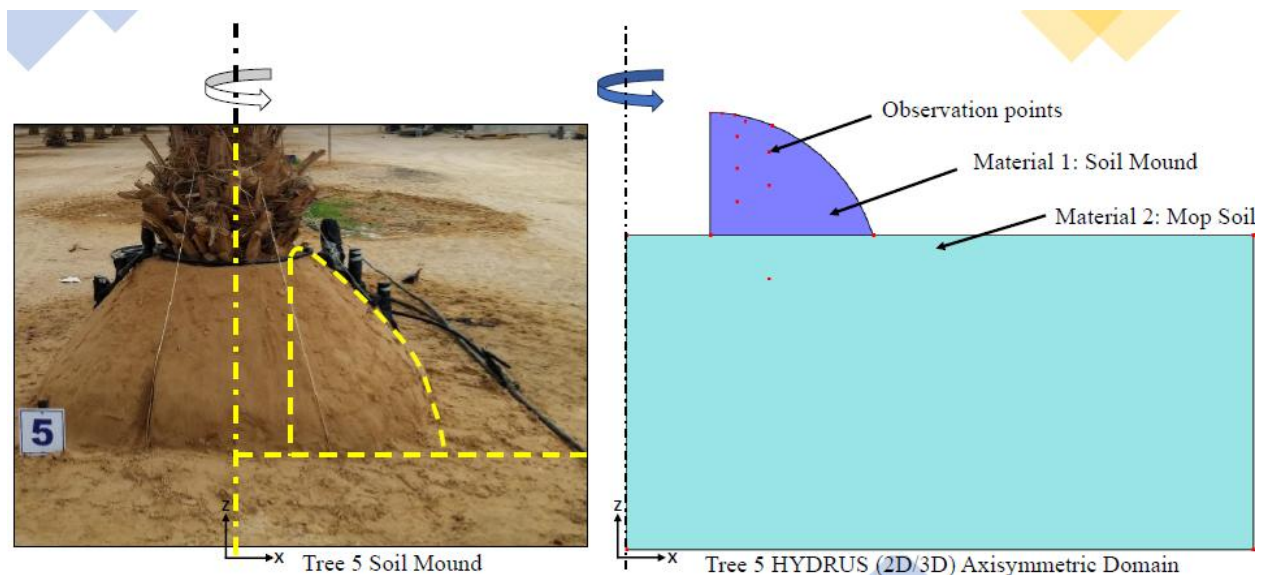


איור 10 - עץ 4 – 21% קומפוסט: מוליכות חשמלית בתמיסת ההשקיה (ירוק), אשר נמדדת בתדירות שבועית בדגימות מים על ידי משרבי קרקע (כחול) ומחושב לפי מיקום עם חיישני ה-TDR (אדום).

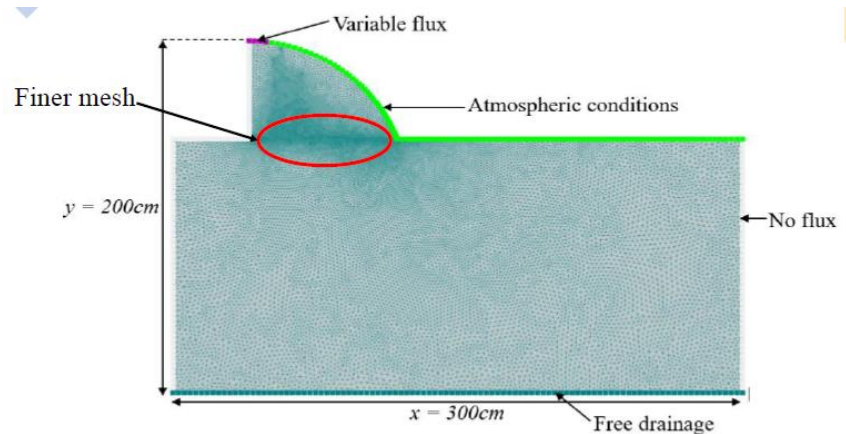


איור 11 - עץ 5 - 100% חול: מוליכות חשמלית בתמיסת ההשקיה (ירוק), אשר נמדדת בתדירות שבועית בדגימות מים על ידי משרבי קרקע (כחול) ומחושב לפי מיקום עם חיישני ה-TDR (אדום).

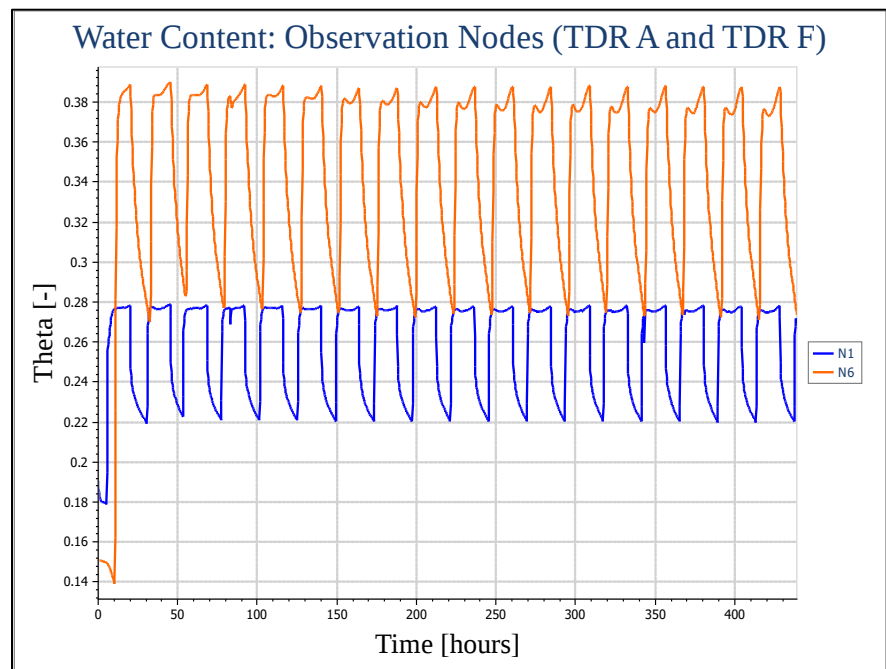
מודל HYDRUS 2D/3D לתוליות אשר מתאר את הגיאומטריה הספציפית לכל עץ הוגדר בשלב הראשוני (איור 12). התוליות הוגדרה כחומר אחד והקרקע המקומית כחומר שני. ההשקיה הוגדרה כשטף משתנה ברום התולית ושאר פני הקרקע הוגדר כתנאי אטמוספרי משתנה (איור 13). תוצאות מקדימות מהמודל הראשוני (איור 14) מראות את התנודות בתכולת הרטיבות בקרקע ובתוליות עם כל השקיה.



איור 12 - הסבר סכמתי של הגיאומטריה של המודל (שמאל) ואיור של המודל בפועל.



איור 13 - תנאי גבול כפי שמוגדרים במודל הרב ממדי.



איור 14 - תוצאות ממודל היידורס בעץ עם תלולית 100% קומפוסט

6. דיון הכולל מסקנות והשלכותיהן על המשך ביצוע המחקר או סיומו, תוך השוואה לסקר ספרות

פרויקט " תצפית תלוליות בעצי תמר מזן מג'הול לשנת 2024" הוא המשך של תצפית אשר החלה ב-2023. ב-2024 הושלמו התקנת כל החיישנים ובניית בסיס נתונים לכיול ואימות המודל. כבר ב-2023 מצאנו כי התלוליות לא יציבות ויש בליה, לכן ב-2024 הוספנו חומר לשיפור היציבות והחזרת התלוליות לממדים הרצויים.

אנו ממשיכים עם הפרויקט לשנת 2025, שנה בה נכיל את המודל הראשוני שפותח ב-2024.

7. ביבליוגרפיה

- Ben-Gal, A., Lazarovitch, N., Shani, U., 2004, *Subsurface Drip Irrigation in Gravel-Filled Cavities*, Vadose Zone Journal, 3, 1407-1413. doi: 10.2136/vzj2004.1407
- Ben-Gal, L. Karlberg, P.-E. Jansson, 2003, *Temporal robustness of linear relationships between production and transpiration*, Plant Soil, 251, 211-218.
- Brunetti, G., Kodešová, R., Šimůnek, J. (2019). *Modeling the translocation and transformation of chemicals in the soil-plant continuum: A dynamic plant uptake module for the HYDRUS model*, Water Resources Research, 55, 8967–8989. <https://doi.org/10.1029/2019WR025432>
- Dabach, S., Lazarovitch, N., Simunek, J., Shani, U., 2013, *Numerical investigation of irrigation scheduling based on soil water status*, Irrigation Science, 31, 27-26. DOI 10.1007/s00271-011-0289-x
- Hartmann, A., Šimůnek, J., Aidoo, M.K., Seidel, S. and Lazarovitch, N., 2018, *Implementation and application of a root growth module in HYDRUS*. Vadose Zone Journal 17:170040. doi:10.2136/vzj2017.02.0040
- Hinnell, A., Lazarovitch, N., Pollton, M., Furman, A. and Warrick, A.W., 2010, *Neuro-Drip: Estimation of subsurface wetting patterns for drip irrigation using neural networks*, Irrigation Sci., DOI 10.1007/s00271-010-0214-8
- Lazarovitch, N., I. Kisekka, T. E. Oker, G. Brunetti, T. Wöhling, X. Li, Y. Li, T. H. Skaggs, A. Furman, S. Sasidharan, I. Rajj-Hoffman, and J. Šimůnek, 2023, *Modeling of irrigation and related processes with HYDRUS*, Advances in Agronomy, 181, 106 p., ISBN 0065-2113, doi: 10.1016/bs.agron.2023.05.002
- Morianou, G., Kourgialas, N.N., Karatzas, G.P. A., 2023, *Review of HYDRUS 2D/3D Applications for Simulations of Water Dynamics, Root Uptake and Solute Transport in Tree Crops under Drip Irrigation*, Water, 15, 741. <https://doi.org/10.3390/w15040741>

- Raij, I., Ben-Gal, A., Lazarovitch, N., 2018, *Soil and irrigation heterogeneity effects on drainage amount and concentration in lysimeters: A numerical study*. Agricultural Water Management, 195, 1–10. doi:10.1016/j.agwat.2017.09.012
- Rezaei, M., De Pue, J., Seuntjens, P., Joris, I., Cornelis, W., 2017, *Quasi 3D modelling of vadose zone soil-water flow for optimizing irrigation strategies: Challenges, uncertainties and efficiencies*, Environmental Modelling and Software, 93, 59-77, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.008>
- Shani, U., A. Ben-Gal, E. Tripler, and L. M. Dudley, 2007, *Plant response to the soil environment: An analytical model integrating yield, water, soil type, and salinity*, Water Resources Research, 43, W08418, doi:10.1029/2006WR005313
- Simunek, J., Hopmans, J. W., 2009, *Modeling compensated root water and nutrient uptake*, Ecological Modelling, 220, 505-521, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2008.11.004
- Tripler, E., Shani, U., Mualem, Y., Ben-Gal, A., 2011, *Long-term growth, water consumption and yield of date palm as a function of salinity*, Agricultural Water Management, 99, 128-134, doi:10.1016/j.agwat.2011.06.010

8. סיכום עם שאלות מנחות (ענה בקצרה, שלוש עד חמש שורות)

- א. מהם עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדוח**
 על פי תכנית העבודה הותקנו חיישנים בכל התלוליות ובבנה מאגר נתונים הכולל תכולת רטיבות, פוטנציאל מטריצי, מוליכות חשמלית וריכוזי כלוריד בתמיסת הקרקע וכל מרכיבי ניהול העץ. במקביל, פותח מודל היידרוס ראשוני תלת ממדי לכל עץ בתצפית. עיקר הפעילות הייתה התקנת החיישנים וניתוח תוצאותיהם, פיתוח מודל היידרוס ראשוני לכל עץ ובנייה מחודשת של התלוליות אשר עברו תהליך של בליה.
- ב. אנא פרט והסבר כיצד הושגו מטרות המחקר בתקופת הדו"ח או חלק מהן**
 מטרת האופטימיזציה טרם הושגה. מטרת פיתוח מודל מכויל הושגה באופן חלקי על ידי בניית מאגר נתונים ופיתוח מודל ראשוני.
- ג. בהתאם להצעה המקיפה, ציין מה התבצע מתוך טבלת המשימות ואבני דרך, כולל אבני דרך כמותיות**
 בוצעו כל המשימות ואבני הדרך לשנה הראשונה.
- ד. מהן המסקנות המדעיות ומהן ההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו**
 טרם הושגו מסקנות מדעיות.
- ה. מהן הבעיות שנותרו לפתרון ואי שיוקיים טכנולוגיים ואחרים שחלו במהלך העבודה ומה אמורה להיות התייחסותך להמשך**

התצפית מוגבלת וחסרת חזרות אך עונה על צרכי תכולת העבודה מאחר שנותנת בסיס נתונים מלא בכדי לכייל מודל נומרי הידרולוגי.

ו. פעילויות שנעשו במו"פ במהלך תקופה (סיורים, ביקורים, הרצאות, כינוסים, פיתוחים חדשים וכו')
בנובמבר 2024 ערכנו יום עיון במו"פ ערבה דרומית. משתתפים: אגף שימור קרקע וחקלאות בת קיימא: אלון מאור, מרב קניגסוולד. אוניברסיטת בן גוריון: נפתלי לזרוביץ', דניס בוור, אונן אגבה. מחוז הנגב: אלון אורון, אבי קווין. מו"פ ערבה דרומית: יעל רייך, עמית בהלול, מנהל המו"פ: אורן בר לבן, אמנון גרינברג. שה"מ: עודד פרידמן, דב ניר. תחנה לחקר הסחף: ניצן סווט, אלון רונן, אלעזר וולק. בתוכנית של היום עיון היו ארבעה מצגות בנושאים אשר נוגעים לבניית התלוליות, תהליכי בליה, איסוף, ניתוח והצגת הנתונים מהחיישנים ומודל היידרוס ראשוני. בנוסף, ביקרנו בתצפית התלוליות ובתלוליות במטע של קיבוץ אילות אשר סובלת מבעיות ניקוז.

ז. פרסומים בעיתונות מבוקרת או בעיתונות בעברית שנבעו מהמחקר

אין

ח. המלצות להמשך המחקר או שינוי במחקר

ממליצים להמשיך עם תוכנית המחקר

ט. פטנטים שנבעו מהמחקר

טרם