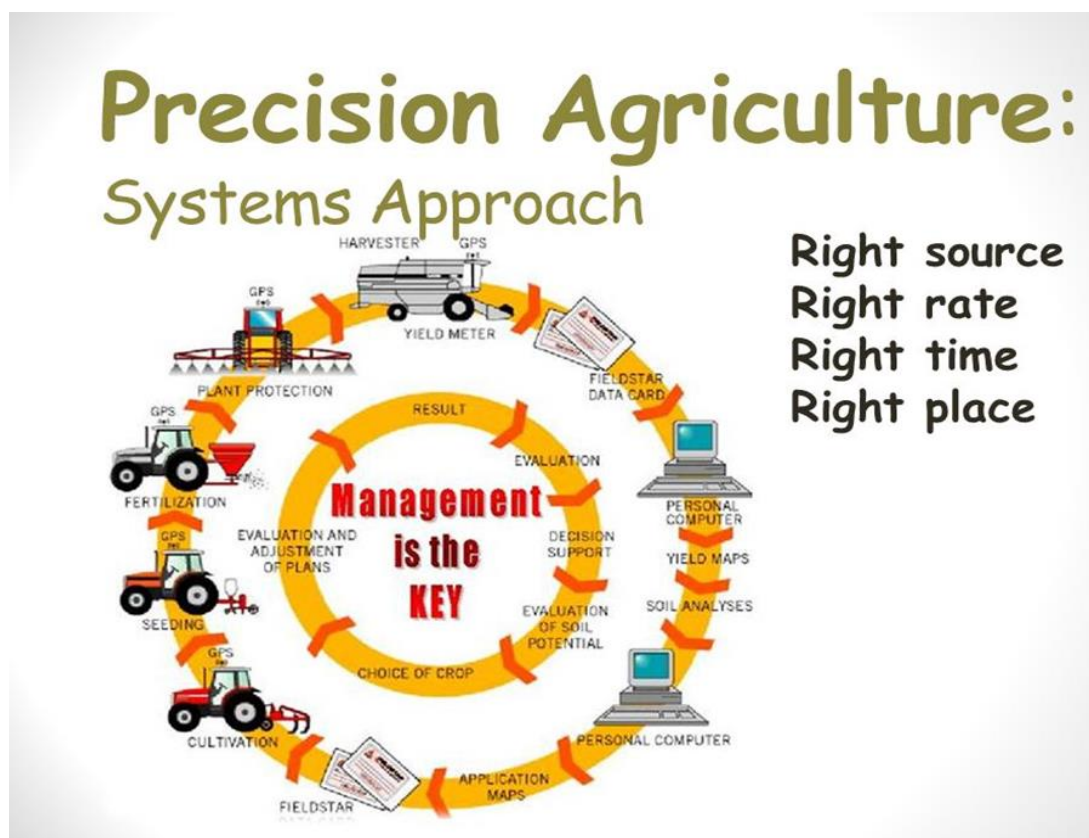


חקלאות מדויקת



השתלמות : לקראת תכנית הלימודים החדשה בחקלאות

שם המרצה : פרופ' חיים רבינוביץ

מגיש : ספיר ליאור

ת"ז : 033361262

תאריך הגשה : 30/3/2019

תוכן עניינים

תוכן עניינים	2
חקלאות מדייקת	3
הקדמה.....	3
מהי חקלאות מדייקת.....	3
חישה מרחוק.....	4
הרכיב החללי של חקלאות מדייקת.....	5
מעקב חללי אחר גידולי שדה.....	6
הנקודה הישראלית: הלוויין ונוס.....	8
'מטרתה של 'החקלאות המדייקת.....	9
היתרון הסביבתי	9
השקיה מדייקת במטעים.....	9
סיכום.....	13
ביבליוגרפיה	14
נספחים	15
סרטונים על חקלאות מדייקת	15

חקלאות מדייקת

הקדמה

החלטתי לעסוק בנושא של חקלאות מדייקת. ראשית כי נושא זה בעיני הוא העתיד האמיתי לחקלאות העולמית. אני מגיע לנושא מתוך עניין וסקרנות רבה אך עם ידע מועט ביותר. כמורה לחקלאות אני מרגיש מחויב להיות מעודכן בהתפתחות החקלאות על מנת לחשוף את התלמידים לפיתוחים ולמחקרים החדשים בחקלאות. ובדרך זאת להקנות מיומנויות חקר, שימוש באמצעי מדידה טכנולוגיים, ניתוח נתונים ועיבודם. במסגרת לימודי חקלאות אנו עוסקים בנושא ההשקיה במטעים, שיטות לייעול, לחיסכון ע"י חיפויים, רשתות, שימוש בטנסיומטרים ועוד. אני מעוניין להכניס חיישנים למטע עם חישה מרחוק ובעזרת ניתוח ועיבוד הנתונים נוכל לדייק בהשקיה ובדרך זאת להעמיק את הידע בתחום.

מהי חקלאות מדייקת

חקלאות מדויקת מוגדרת בהכללה כיכולת לאסוף ולעבד מידע מהשטח החקלאי, במטרה ליישם תשומות ביעילות מקסימאלית, תוך התחשבות בשונות הקיימת בשדה. תהליך זה מחזורי, וניתן להגדיר בו 4 שלבים עיקריים:

1. איסוף מידע מהשדה באמצעות GPS. איסוף המידע מתבצע לפני גידול, במהלך גידול, ובעת איסוף היבול.
2. מיפוי המידע בעזרת תוכנות מיפוי.
3. איסוף, שמירה, ניתוח, ותכנון יישומים חקלאיים.
4. יישום חקלאי, ובקרה מתאימה.

חקלאות לוויין או ניהול יבולים ספציפיים באתר הוא מושג ניהול משק חקלאי המבוסס על תצפית, מדידה והיענות לשונות בין-תחומית בגידולים. מטרת המחקר המדעי המדויק היא להגדיר מערכת תומכת החלטה (DSS) לניהול משק שלם במטרה למטב תשואות על תשומות תוך שמירה על משאבים (McBratney, Whelan, B), (Ancev, T, 2005 &).

הנוהג של חקלאות מדויקת הופעל על ידי הופעת GPS ו-GNSS. יכולתו של החקלאי / או החוקר לאתר את מיקומם המדויק בשדה מאפשרת ליצור מפות של השונות המרחבית של משתנים רבים ככל שניתן למדוד (למשל, תפוקת יבולים, תכונות פני השטח / טופוגרפיה, תוכן חומר אורגני, רמות לחות, רמות חנקן, pH, EC, Mg, K, ואחרים). נתונים דומים נאספים על ידי מערכים חיישן רכוב על קומביין GPS מצויד מאובזר. מערכים אלה מורכבים מחיישנים בזמן אמת, אשר מודדים כל דבר, החל מרמות הכלורופיל ועד למצב המים הצומח, יחד עם דימויים רב-תכליתיים (Ramon, H, 2002 & ,Reyns, Missotten, B). נתונים אלה משמשים בשילוב עם תמונות לוויין על ידי טכנולוגיית קצב משתנה (VRT) כולל מזרעות, מרססים, כדי להפיץ באופן אופטימלי את המשאבים.

דמיינו לעצמכם חקלאי: קם השכם בבוקר, יוצא אל שדותיו רכוב על טרקטור, עמל במשך שעות ארוכות תחת השמש היוקדת בקיץ והגשם בחורף, ובעמל רב מוציא את פרנסתו מהקרקע, לאחר חריש, זריעה, דישון, הנחת קווי מים, הדברת מזיקים – שעות על גבי שעות במשך השנה כולה.

רגע, הרי אנו במאה ה-21. נשוב ונדמיין את החקלאי שלנו: קם בשעת בוקר מאוחרת, קורא עיתון, שותה קפה, ומציץ בצג המחשב שלו. לאחר עיון באתרי חדשות, הוא קורא את העדכונים האחרונים מהשטחים החקלאיים שאותם הוא מעבד: מה מצב הלחות בקרקע, מה מצב הצמחים, האם יש אזורים המגלים סימני מחלה? הוא מקבל גם עדכון על מערכת ההשקיה הממוחשבת, מצב הדשן במכלים ותחזית מזג אוויר מעודכנת ליממה הקרובה.

חישה מרחוק

חישה מרחוק היא היכולת ליצור מידע על סמך דימויים (Imaging) של האטמוספירה, המים, הקרקע, המסלע, החי, הצומח והסביבה הבנויה. תמונות הדימויים מיוצרות לפי קרינה אלקטרומגנטית (בתצלומי לוויין של

כדור-הארץ בדרך-כלל בתחום האור הנראה, האינפרא-אדום והרדיו) המגיעה לחיישנים לאחר שהוחזרה מפני השטח או פוזרה מחלקיקים המצויים באטמוספירה. הרגישות של החיישנים לקרינה באורכי גל שונים מאפשרת יצירת תמונות מורכבות ולימוד התנאים השונים באזור הנסקר.

פענוח המידע הדרוש למשתמש נעשה תוך שימוש במודלים פיזיקליים וסטטיסטיים המקשרים בין תכונות פני השטח ותכונות הקרינה המופצת מהם, ועל בסיס המאפיינים המרחביים (צורה, דגם) של התופעות והעצמים בפני השטח. החישה מרחוק מיושמת בתחומים רבים, ובהם מעקב אקלימי וסביבתי, ביטחון ומודיעין, מיפוי, מעקב אחר איכות הסביבה, פיתוח תשתיות מלאכותיות ועוד.

לאחר סיום ארוחת הבוקר נוסע החקלאי אל השדה, ומגיע ישירות לאזורים שבהם נוכחותו נדרשת. ליד שיח אחד הוא מתקן את זווית הטפטפת, ליד אחר הוא נוטל דגימת קרקע לבדיקת מעבדה. בחלקה סמוכה הוא מוסיף דשן למכל, וכן הלאה.

נשמע דמיוני? לא ממש. זוהי, בתמצית, משמעותה של מהפכת ה"חקלאות המדויקת" (Precision Farming) " חקלאות מדויקת עושה שימוש במגוון חיישנים – קרקעיים, אוויריים וחלליים. בטור זה נפנה את תשומת הלב אל המרכיב החללי בחקלאות המדויקת ואל הפוטנציאל הטמון בו.

בחקלאות המסורתית, המוכרת לכולנו, הצמחים במטע או בשדה זוכים לטיפול – השקיה, הדברה או דישון – על פי הערכה של הצורך הממוצע: הרי בהכרח ישנם עצים הזקוקים ליותר מים ואחרים הזקוקים לפחות, צמחים נוגעים יותר במזיקים ואחרים שנוגעו פחות, וכן הלאה, אך הטיפול ניתן בצורה אחידה למדי לשדה או למטע כולו. החקלאות המדויקת משלבת חיישנים שונים ומערכת מחשוב, המסייעת בקבלת ההחלטות ובביצוען, לשם טיוב מרבי של התוצרת החקלאית, חיסכון במשאבים ושמירה על איכות הסביבה.

הרכיב החללי של חקלאות מדויקת



ניתוח של שטחי חקלאות לפי סוגים באזור רג'סטון בהודו. צולם מהלוויין האירופי IRS-1

חקלאות מדויקת עושה, כאמור, שימוש במגוון אמצעי חישה, מתחת לקרקע ועליה, בכלי טיס ובלוויינים.

המרכיב החללי של החקלאות המדויקת כולל היבטים אחדים:

GPS/DGPS * מערכת האיכון הגלובלית (GPS) היא מערכת לוויינים אמריקנית, המאפשרת זיהוי מיקום עצמי.

מסלול הלוויינים הוא כזה שבכל מקום על פני כדור-הארץ אפשר לקלוט לפחות 3 לוויינים, המאפשרים למקלט, ומכאן – למשתמש, למצוא את נקודת הציון שלו ברמת קו רוחב וקו אורך. לרוב אפשר לקבל מידע מ-4 לוויינים (ויותר), וכך למצוא גם את הגובה מעל פני הים. דיוק המערכת (בשימוש האזרחי שלה) הוא 5-15 מ'. על רקע הצורך בדיוק גבוה יותר בתחומים רבים (ובהם חקלאות), פותח ה- DGPS- הרעיון הוא למדוד את חוסר הדיוק (להלן: השגיאה) בנתוני ה-GPS על-ידי קבלת קריאה בנקודה ידועה ומדודה. השגיאה משודרת למקלט נוסף ב-GPS- ונגרעת מהמדדה הסטנדרטית המתקבלת בו. בחקלאות מדויקת נפוץ תיקון דיפרנציאלי לרמת דיוק של מטר אחד. יחד עם זאת, אפשר להגיע לדיוק גבוה יותר (של סנטימטרים), וזאת לצרכים כגון ניהוג אוטומטי של כלים חקלאיים ומערכות טפטוף.

* חישה מרחוק: איסוף מידע על הגידול וסביבתו באמצעות חיישנים המורכבים על כלי טיס ולוויינים. ברמה הבסיסית אפשר להיעזר בתצלומי אוויר באור נראה לשם איתור הבדלים בין הצמחים על בסיס זיהוי הבדלים בצבע. ברמה גבוהה יותר, אפשר לפתח מודלים על בסיס הבדלים ספקטרליים בין תופעות שונות בשדה. * מערכות מידע גאוגרפי (GIS) מיפוי הנתונים מבוסס על הנחות גאוסטטיסטיות, שעל בסיסן מתבצעת אינטרפולציה בין הנתונים הבדידים הנאספים בשדה. פעולה זו אפשרית בתוכנות זולות יחסית (מאות דולרים), הנמכרות, בדרך-כלל, יחד עם אמצעי איסוף המידע. תוכנות אלו מאפשרות בנייה וניתוח של מסד נתונים גיאוגרפי. הבסיס למסד הנתונים הוא הממד הגיאוגרפי, המשותף לכל הנתונים הנאספים מאותו השטח.

מעקב חללי אחר גידולי שדה

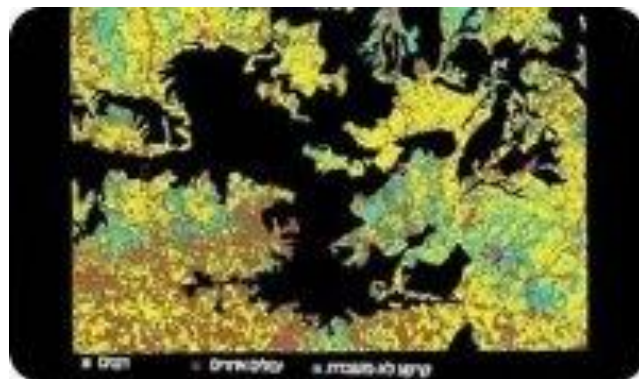


תצלום לווייני של ארצות-הברית המורכב מתמונות דימויות רבות - מאפשר להבחין בסוגים שונים של צמחייה, טבעית וחקלאית

המפתח לחישה מרחוק (Remote Sensing) באמצעות לוויינים, שתיושם בחקלאות, הוא אמצעי חישה מולטי-ספקטרלי – כלומר תצפית במגוון אורכי גל (בעתיד נראה לוויינים היפר-ספקטראליים, שיסקרו באלפי אורכי גל שונים). חישה-מרחוק זו תאפשר מגוון גדול של יישומים לחקלאות, עד רמת זיהוי בעיות בעץ בודד או בשורה יחידה בשדה ענקי. חישה מרחוק באמצעות לוויין תאפשר לחקלאי לקבל מידע על היבטים רבים של הגידולים, כגון תכולת כלורופיל (היכולה להצביע על עקת חנקן), תכולת חומר אורגני בקרקע, רמת זרחן בקרקע ומיפוי יבולים.

תצלום הלוויין Landsat של אזור חקלאי בטורקיה. תמונת הלוויין מאפשרת להבחין בין דגנים לגידולים

אחרים



השימוש הראשון בלווייני חישה מרחוק לצורכי חקלאות הסתמך על סדרת לווייני Landsat ששיגרה סוכנות החלל האמריקנית, נאס"א, ואשר הגישה למידע מהם היתה פתוחה לכל מי שחפץ בכך. יישום חלקי של יכולות הלוויינים לחקלאות נעשה במדינות רבות, באירופה, בארצות-הברית וגם בישראל; עם זאת, יש להדגיש שהלוויינים מהדור הראשון היו מוגבלים ביכולותיהם, וכן לא שוגרו במיוחד למטרות חקלאיות.

הנקודה הישראלית : הלוויין ונוס

"ונוס" הוא מיזם משותף לישראל ולצרפת, ומהותו – פיתוח והפעלה של לוויין בעל מצלמה מולטי-ספקטרלית למטרות מחקריות שונות. השותפות הראשיות למיזם הן סוכנות החלל הישראלית וסוכנות החלל הצרפתית (CNES). הלוויין אמור להיות משוגר לחלל במהלך 2010-11. למימון הפרויקט בישראל אחראית ממשלת ישראל באמצעות משרד המדע והטכנולוגיה והמדען הראשי במשרד המסחר והתעשייה, בהשתתפות תעשיות חלל מובילות בישראל (ובהן התעשייה האווירית, רפאל ואל-אופ, מפתחת המצלמה של הלוויין). צרפת מממנת חלק ניכר של המיזם באמצעות סוכנות החלל השלה.

הלוויין ונוס יהיה מסוגל להתמקד מהחלל בשטח אדמה שגודלו חמישה מ"ר בלבד, ב-12 ערוצים שונים, שיבחנו פרמטרים שונים בגידולים. הוא אמור לחלוף מעל החלקה פעם ביומיים, קצב חליפות שיאפשר מעקב צמוד אחר שינויים בקרקע ותגובה מיידית. הלוויין יותאם במיוחד לענפים כגידולי שדה (כותנה, תבואה, מספוא) וישמש כלי עזר לכיוון טרקטורים בשדה הפתוח, מעקב אחר בעלי-חיים וזיהויים, גידול פרטני ברפת החלב, ובכלל זה חליבה רובוטית, ומטעים. את המיזם מרכזת סוכנות החלל הישראלית. הלוויין ונוס יוכל להשתלב ביוזמה האירופית לבניית מערך לווייני חישה מרחוק ליישומי איכות סביבה וביטחון, המכונה GMES. הצד המדעי של הלוויין ונוס נסמך על עבודתם של חוקרים ממגוון מכונים ומרכזי מחקר, ובהם המעבדה לחישה מרחוק של אוניברסיטת בן-גוריון, המרכז למחקר חקלאי בישראל (מכון וולקני) ומכוני מחקר צרפתיים אחדים. כמו כן, במסגרת מיזם ונוס יצא קול קורא למדענים מרחבי תבל להגיש הצעות למחקרים שיעשו שימוש בלוויין, ועשרות פניות התקבלו עד כה, ממדינות רבות.

חיישני הלוויין ונוס יוכלו לשמש לא רק למטרת חקלאות מדויקת, אלא גם למעקב אחר זיהומים של גופי מים (נחלים, אגמים וימים) וזיהום אוויר. כך למשל, על-ידי מדידת כמות הכלורופיל באזורים הסמוכים לחוף אפשר לעמוד על כמות האצות מסוגים שונים, המהווה אינדיקציה לרמת זיהום מי הים בשפכים. החיישנים יוכלו לעקוב גם אחר זיהום אוויר הנגרם מפליטות של ארובות מפעלים כימיים שונים, ולסייע במקרי חירום בניטור עננים של כימיקלים רעילים (ענבר, 2008).

מטרתה של 'החקלאות המדייקת'

מטרתה של החקלאות המדייקת הינה לייעל את יישום המשאבים בשדה באמצעות התאמה של כמות המשאבים ועיתוי היישום שלהם לשונות במרחב ובזמן,

חקלאות מדייקת הינו תחום פעילות מקצועית בחקלאות המשלב טכנולוגיות איסוף ועיבוד מידע לידע המאפשר לחקלאי לטפל בצורה אפקטיבית בשטח החקלאי. תחום החקלאות המדייקת התפתח מאד בשנים האחרונות כתוצאה מההתקדמות הגדולה ביכולת לאסוף נתונים מהשטח – צילום, חיישני טמפרטורה, רטיבות, כימיה ומדדים פיזיולוגיים של הצומח. התקדמות זו בצורה היכולת למפות את הנתונים על ידי מערכות מידע גאוגרפיות ועיבוד נתונים ממוחשב מביאה להפקת "מרשם" לטיפול יעיל במשק – הזנה והגנת הצומח.

היתרון הסביבתי

חקלאות מדייקת יש גם יתרון סביבתי בשיפור הקיימות של האדם על כדור הארץ. התחממות גלובלית והתמעטות שטחים חקלאיים כתוצאה מעיבוד קרקע לקוי מדגישים את הצורך בהתמקצעות בשיטות גידול מתקדמות. טיפול לא מתאים, כגון דישון יתר או הדברה מאסיבית של מזיקים, גורם לפגיעה סביבתית

השקיה מדייקת במטעים.

קיימים אמצעים רבים למדידה ומיפוי של השונות במטע: קרקע, גודל נוף, מצב מים, פריחה, יכול. העץ מהווה את יחידת הממשק הבסיסית.

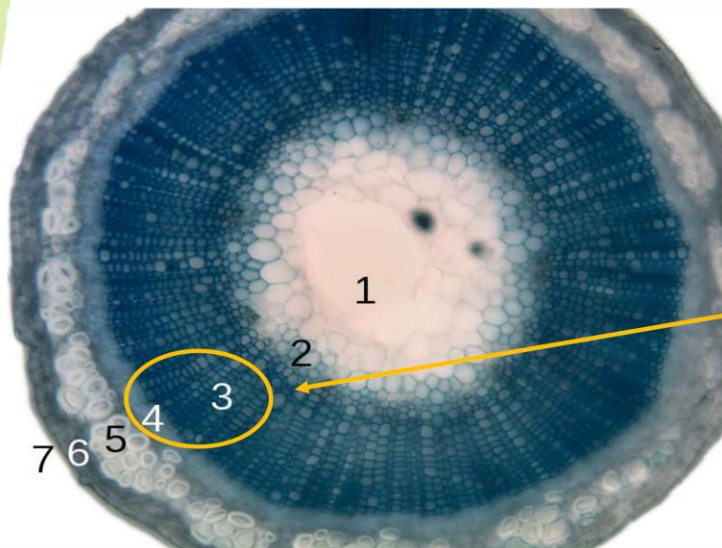
אבזרים שונים משמשים את החקלאים בקביעת רטיבות הקרקע וכאמצעי עזר לקביעת ההשקיה. טנסיומטרים מודדים את מתח המים בקרקע ביחידות לחץ, סנטיבר או מיליבר, וככל שתכולת המים בקרקע יורדת כך מתח המים בקרקע עולה. ניתן גם למדוד את תכולת המים בקרקע במונחים של אחוז מנפח הקרקע, ולצורך זה קיימים רגשים שונים. ניתן למדוד את מתח המים והתכולה הנפחית שלהם בקרקע בצורה רציפה באמצעות רגשים מתאימים. הידע הקיים לגבי תכולת רטיבות או ערכי סף של מתח המתאימים להשקיית גידולים שונים מוגבל, ולכן השימוש באבזרי עזר אלה לקביעת ההשקיה הינו בעייתי. השתנות ערכי הסף בסוגי

קרקע שונים מסבכת עוד יותר את השימוש בפרמטרים אלה לקביעת ההשקיה. בשנים האחרונות פותחו אמצעי בקרה המבוססים על שינויים מחזוריים יומיים החלים ברקמות הצמח השונות ומסייעים לקבל החלטות הנוגעות להשקיה מיטבית. השקיה מיטבית הינה בסיס חשוב לקבלת תוצאות מיטביות בגידולים רבים (ויינר & איגור זקס, 2009).

השקייה על פי על צרכי הצמח



Phytech



התכווצות גזע יומית (mds) -
מדד לרמת העקה שעובר הצמח.
mds גבוה לאורך זמן יכול לגרום
לנזק ברקמות הולכת המים בצמח
(שיפה ועצה) ולהביא לפחיתה
ביבול. mds מושפע בו זמנית
מלחות הקרקע ומתנאי האקלים
(ET).

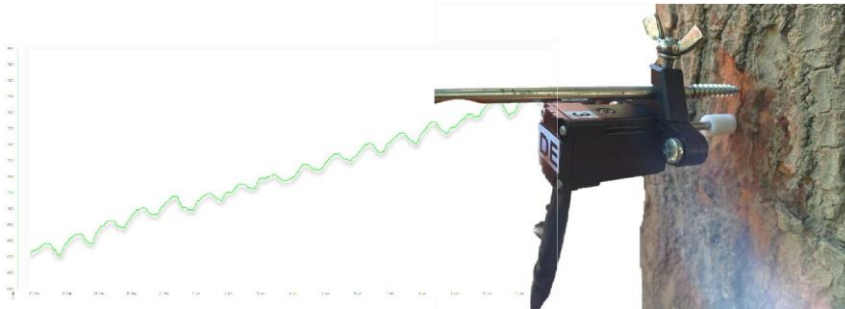
Pith
Protoxylem
Xylem
Phloem
Sclerenchyma bast fibre
Cortex
Epidermis

בסיס הטכנולוגיה

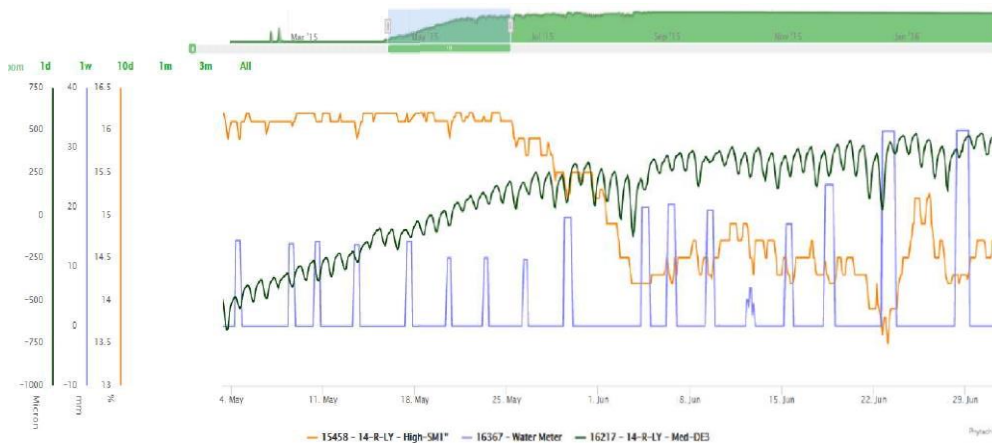
חיישני עץ מודדים באופן רציף שינוי בקוטר הגזע (5 מיקרון), ואוספים נתוני גדילה (growth) והתכווצות (mds) יומיים.

מידע תומך: לחות קרקע, השקייה, אקלים

איסוף המידע ברשת הסלולרית, עיבוד וניתוח בשרת, החזרתו למגדל בפלטפורמת רשת או מובייל הכוללת התראות עקה עדכניות.



דוגמא



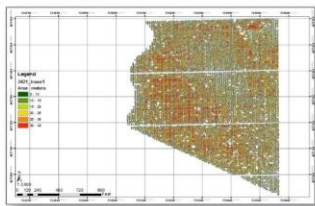
קבלת החלטות השקייה

הצמח עומד במרכז מערכת קבלת ההחלטות, אך מידע נוסף נדרש לשם קבלת החלטה מושכלת. הרכב עמדה אופייני: 3 חיישני צמח, 2 חיישני קרקע, מד השקייה, מידע אקלים (מדוד או וירטואלי)

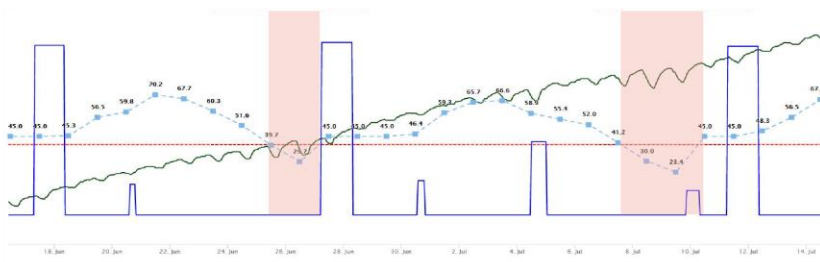


2 רכיבים:

ניתוח תמונה לוויין לבחירת מיקום אופטימלי - שאלת ייצוג החלקה ע"י פרטים בודדים



ניתוח מידע - אינדקס ה plant status



סיכום

ביחידה זו התלמידים יכירו את המהות והתרומה של החקלאות המדייקת על כל גווניה ויתנסו בעבודה עם חיישני קרקע וחיישני צמח ומידע אקלימי. יתנסו באיסוף מידע וכלים לניתוח ולעיבוד על מנת לחשב את מנות ההשקיה האולטימטביות לכל גידול וגידול.

ביבליוגרפיה

- Ancev, T & ,McBratney, A', Whelan, B (2005). *Precision Agriculture*. Future Directions of Precision Agriculture .
- Agriculture 6*, עמ' 7-23.
- Ramon, H & ,Reyns, P', Missotten, B (2002). *Precision Agriculture*. *Precision Agriculture* . עמ' ,Reyns, P.,
- Missotten, B., Ramon, H. et al. *Precision Agriculture* (2002).
- ויינר, ל', & איגור זקס. (יולי 2009). עלון הנוטע.
- ענבר, ט'. (יוני 2008). גלילאו. עמ' טל ענבר. המאמר פורסם בגליון יוני 2008 של כתב העת גלילאו.

נספחים

סרטונים על חקלאות מדייקת

[What is the precision agriculture?](#)

[The Future of Farming & Agriculture](#)

[Precision Agriculture](#)

[FIGARO - Smart Precision Irrigation System](#)

Cultivate Smart Irrigation

