

שימוש באינטרנט לשיפור הבקרה והניהול בבתי צמיחה

Using Internet for Improvement of Control and Management of Protected Cultivation

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

מ. טייטל¹, א. ונגר¹, ר. לינקר², מ. לוסקי², א. חצרוני¹, י. טנאי³, א. אנטלר¹, חנה יחזקאל⁴

¹המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי; ²המכון לקרקע מים וסביבה, מינהל המחקר החקלאי; הפקולטה להנדסה אזרחית, הטכניון³; מו"פ דרום- חוות הבשור⁴

Teitel¹, M.; Wenger¹, E.; Linker² R., Lusky², M.; Hetzroni¹ A., Tanny³ J., Antler¹,
A., Yechezkel⁴ H.

¹ Institute of Agricultural Engineering, A.R.O., The Volcani Center, P.O.Box 6, Bet Dagan, Israel 50250, grteitel@agri.gov.il

²Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion, Haifa, 32000

³Institute of Soil Water and Environment, A.R.O., The Volcani Center, P.O.Box 6, Bet Dagan, Israel 50250

⁴MOP DAROM, Besor experimental station, Mobile post 4, 85400, Israel

הממצאים בדו"ח זה הנם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים

חתימת החוקר

תקציר

היקף הגידול של ירקות ופרחים במבנים מבוקרי אקלים מתרחב לאורך השנים בארץ ובעולם. כדי לעמוד בתחרות ולענות על צרכי הקניינים, הגידול במבנים חייב להיות יעיל ככל הניתן. הדו"ח מתאר פיתוח מערכת ניטור אקלים חממות אזורית. המערכת הינה ניסויית בשלב זה ומשמשת לניטור אקלים בחממות הנמצאות באזור משותף (לדוגמא חבל לכיש). המערכת באה לתת מענה למקרים בהם חממה מסוימת/(מספר חממות), באזור הנתון, חריגה/(חריגות) בהשוואה לשאר החממות באזור, מה שעלול להצביע על בעיות בתנאי ובשיטת הגידול של חקלאי מסוים. המערכת מאפשרת לעקוב אחר נתוני אקלים כמעט בזמן אמת ולבצע השוואה מול חממות של מגדלים שונים באזור בעלי אותו סוג גידול. במקרים של חריגה חמורה בה דרושה התערבות מיידיית המערכת שולחת התראה למגדל שאצלו התגלתה החריגה. בשלב זה המערכת שפותחה מסוגלת לגלות חריגות בשלושה פרמטרים בלבד בתוך המבנה: טמפרטורת אוויר, לחות וקרינה. בנוסף, יש ביכולת המערכת לחזות לאורך עונת הגידול, בעזרת מודל, את היבול, מספר העלים ושטח העלים של צמח עגבנייה ולבצע השוואה בין ערכים מדודים בחממה נתונה ובין תוצאות החיזוי של המודל. לחילופין המערכת יכולה לבצע השוואה בין המדידות בחממה מסוימת לערכים מדודים בחממות אחרות. במקרה של חריגה בפרמטרים הצמחיים בהשוואה למודל או לערכים מחממות אחרות תינתן התראה למגדל.

1. מבוא

הגידול של ירקות ופרחים במבנים מוגנים בישראל התפתח מאוד בעשור האחרון והוא עומד כיום על שטח של כ 100 - 120 אלף דונם. ערך התוצרת החקלאית מגידולי חממה עולה על 500 מיליון דולר בשנה וחלק נכבד ממנו מתקבל מייצוא. היתרון הגדול של גידול במבנים מוגנים בהשוואה לשדה הפתוח הוא בכך שניתן לבקר בהן את האקלים ואת רמת המזיקים והמחלות וכתוצאה מכך ליצור תנאי גידול קרובים לאופטימום. ע"י כך, ניתן לשלוט בצורה מיטבית על עיתוי הקטיף והאספקה לצרכן ולהתמודד בהצלחה עם המתחרים בעולם ועם דרישות הקניינים מחו"ל. עם השנים התקדמה מאוד הטכנולוגיה של בתי צמיחה ושימוש במחשבים לצרכי בקרה על המערכות השונות נעשה זול, זמין ונפוץ. בדרך כלל מבוססת בקרת האקלים בחממות על מדידת פרמטרים פיזיקאליים באוויר ופרמטרים כימיים במי ההשקיה (לדוגמא: טמפרטורה, לחות, רמת אור, EC, PH וכד') ובעזרתם מאפיינים את תנאי הגידול ושולטים על מערכות ניהול האקלים (מאווררים, מסחררים, מזרן לח, מסך תרמי, תנור חימום, ברזי השקיה ודישון וכד'). אף שהיינו עדים לפיתוח מואץ בטכנולוגיה המיושמת בחממות, עדיין נותרו בעיות רבות ללא פיתרון או שהפיתרון הקיים הינו חלקי. לדוגמא, יכולת הבקרה של המערכות המותקנות בחממה מוגבלות הן מבחינת החומרה והן מבחינת התוכנה, ולבקרים המותקנים אין יכולת הרצה של מודלים מסובכים לחיזוי האקלים במבנה ולחיזוי התפתחות הצמח ובדיקה באם יש חריגה משמעותית בין הערכים החזויים לאלה הנמדדים במבנה. יתרה מזאת, בכל חממה מותקן בקר השולט על המערכות בחממה עצמה בלבד ללא התייחסות כלל אזורית לגידול מסוים בכל החממות באזור מסוים בארץ. כתוצאה מכך, עשויות להתרחש תקלות כמו זו שהתרחשה בזמנו בקדש ברנע בה השקו בעבר חממות במים מותפלים והתברר שלפרחים הייתה בעיה של גובה, כמישה מהירה ויבול נמוך. באירוע זה, בגלל העדר בקרה ברמה אזורית לקח לחקלאים זמן רב להבין שמדובר בבעיה אזורית כתוצאה מהשקיה במים מותפלים (בעלי תכולת בורון גבוהה). נוסף על כך, למרות שהבעיה של הגנת הצומח הינה במקרים רבים כלל אזורית, אין היא אלא מטופלת באופן פרטני על ידי כל מגדל בנפרד. לדוגמא, מידע על הופעה ראשונית של מזיקים ועל התפרצות מגפות אינו

מועבר באופן מאורגן בין המגדלים באזור. לו היה מועבר מידע כזה מבעוד מועד היה אפשר לצמצם את יישום חומרי ההדברה ולהקטין נזקים.

1.1 מערכות מסחריות קיימות

בשוק העולמי קיימות מספר חברות המספקות שירותי מעקב אחר נתוני אקלים בחממות עם התראה למגדל. שתי חברות מסחריות הקיימות בשוק וכפי הידוע לנו הן פעילות בתחום זה הן ClimateMinder ו LetsGrow. ההבדלים העקרוניים בין המערכת המוצעת במחקר זה למערכות המשווקות ע"י חברות המסחריות הם: (1) האפשרות לזיהוי אוטומטי של חריגות בחממה מסוימת בהשוואה למגדלים אחרים (2) האפשרות לחזות יבול ע"י מודל ולזהות חריגות בין היבול בפועל לתוצאות המודל. נוסף על כך, לקבל התראה במקרה שהיבול בחממה ספציפית שונה משמעותית מהיבול בחממות אחרות עם גידול זהה באותו האזור.

1.2 רקע תיאורטי בזיהוי חריגות

מבוא לזיהוי חריגים

זיהוי חריגים הינו תחום רחב המכיל טכניקות ושיטות אנליטיות שונות, תחום זה נפוץ לצרכי אבטחת מידע, עיבוד אותות, גנטיקה, מדעי החיים ועוד.

ניתן לסווג את השיטות לזיהוי חריגים לפי הקבוצות העיקריות הבאות:

- שיטות סטטיסטיות ללא הכנת מידע מוקדם (Walfish, S., 2006).
 - שיטות למידת מכונה בהן קיים שיפור אוטומטי ומתמיד של האלגוריתמים לזיהוי חריגים ע"י למידה עצמית.
 - שיטות מונחות מידע מוקדם בהן נדרש הכנה של הקריטריונים והאלגוריתמים מראש, זאת ע"י מעקב ובקרה של נתונים מייצגים.
- אנו נתמקד בשיטות מונחות מידע מוקדם, אשר אותן ניתן גם לחלק לקבוצות עיקריות הרלוונטיות לפרויקט:



יישום שיטות אלו נעשה ע"י מעקב אחר נתוני בקרה ומציאת קריטריונים מתאימים.

1.2.1 שימוש במרחק מהלנוביס והתאמת פולינום לזיהוי חריגות

על מנת לחקור שיטות נוספות לזיהוי חריגות בנתוני אקלים, ייושמו ונבדקו שיטות לזיהוי חריגות ע"י מרחק מהלנוביס והתאמת פולינום. בשתי השיטות מתבצעת בדיקה של קבוצת נקודות כאשר ערכי

ציר ה- Y הם הנתונים האקלימיים (טמפרטורה, לחות או קרינה) וערכי ציר ה- X הם הסדר הכרונולוגי של הערכים.

עבור כל קבוצת נקודות נבדק המרחק היחסי של כל אחת מהנקודות בקבוצה, הנחת היסוד היא שנקודה במרחק יחסי גבוה תעיד על חריגה. לשתי השיטות שני פרמטרים זהים לבדיקה- מספר נקודות ומספר סטיית תקן.

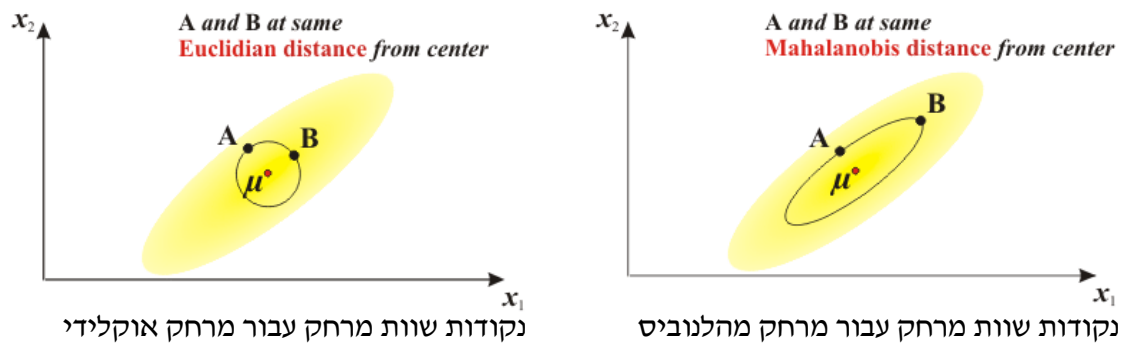
כל קבוצת נקודות נבנית לפי נתונים עוקבים ביום נתון, החישובים נערכים על מספר קבוצות המכילות את כל הערכים של היום הנתון. הפרמטר של מספר הנקודות מגדיר את מספר הנתונים העוקבים הנמצאים בכל קבוצה.

לאחר חישוב המרחקים היחסיים של הנקודות בכל אחת מהקבוצות, נערך עבור כל קבוצה חישוב של ממוצע וסטיית תקן, נקודה חריגה מוגדרת כנקודה בה ערך המרחק שונה לפחות בפי מספר סטיות תקן מהממוצע של הקבוצה.

החישובים והתוצאות הוצגו במערכת הקיימת של האתר לניטור בקרת אקלים איזורית.

מרחק מהלנוביס

בשיטת המרחק האוקלידי נקודות שוות מרחק מנקודת ייחוס ייצרו משטח בצורת ספירה בעוד בשיטת מרחק מהלנוביס נקודות שוות מרחק מנקודת ייחוס ייצרו משטח מסוג אליפסואיד.



מרחק מהלנוביס נותן לנו אינדיקציה טובה יותר למרחק היחסי של נקודה ממרכז הקבוצה עבור התפלגויות שונות.

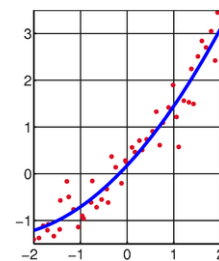
חישוב מרחק מהלנוביס מבוצע לפי הנוסחה הבאה :

$$d_{mahalanobis}(x) = \sqrt{(x - \mu)' \cdot S^{-1} \cdot (x - \mu)}$$

כאשר x הינה הערך אותו אנו רוצים לבדוק, μ הינו ערך מרכז הקבוצה ו S הינה מטריצת הקווריאנס של הקבוצה.

התאמת פולינום – Least Squares Method

התאמה פולינומיאלית היא מציאת פולינום המבטא את ערכי הקבוצה:



כל פולינום ניתן לייצוג בדרך הבאה:

$$P_n(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

מציאת מקדמי הפולינום נעשית לפי ההנחה שהפולינום המתאים ביותר לייצוג קבוצת הנקודות הוא פולינום בו המרחק בין ערכי הנקודות לערכים המתקבלים מהצבה בפולינום מזעריים. לשם כך נמצא את ריבוע ההפרשים:

$$R^2 = \sum_i [y_i - P(x_i)]^2$$

ע"י ביצוע נגזרות חלקיות לפי מקדמי הפולינום ניתן להגיע לערך המינימלי:

$$\frac{dR^2}{da_j} = 0$$

לבסוף נמצא את מקדמי הפולינום לפי פתרון מערכת המשוואות הבאה:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_i &= a_0 \sum_{i=1}^n 1 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^m \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i &= a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i &= a_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^{m+2} \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^n x_i^m y_i &= a_0 \sum_{i=1}^n x_i^m + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^{m+2} + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^{2m} \end{aligned}$$

שיטות נוספות שאפשר לנסותן לאיתור חריגות מבוססות על התמרת פורייה של הסיגנל הנמדד או שימוש בנגזרות.

2. חומרים ושיטות

נבנתה מערכת לניטור של מספר חממות בו זמנית, המאפשרת השוואה אוטומטית בין תנאי אקלים הנמדדים במבנים שונים באזור נתון. המערכת מבוססת על חומרה של יצרן מסחרי ותוכנה שחלקה של היצרן וחלקה פותח באופן עצמאי. במקביל לניטור האקלים בחממות נמדדים גם תנאי האקלים מחוץ לחממות ע"י תחנה מטאורולוגית.

2.1 רכיבי החומרה של המערכת

החומרה מתבססת על מערכת קיימת של חברת Pessel Instruments – תחנה מטאורולוגית מדגם Imetos (איור 1). התחנה המטאורולוגית הינה תחנה אוטונומית המורכבת מחיישנים שונים (כגון מד טמפרטורה, לחות יחסית, מהירות רוח, קרינת שמש ועוד). לתחנה המטאורולוגית חוברו שלוש יחידות משנה המאפשרות מדידה של טמפרטורה, לחות וקרינת שמש בתוך שלוש חממות סמוכות. התחנה המטאורולוגית ויחידות המשנה מקבלות את המתח הדרוש להפעלתן מפאנל סולארי הטוען מצבר. כל הנתונים הנאספים ע"י החיישנים נשלחים לשרת החברה ע"י מודם סלולארי. מדידת הנתונים מתבצעת אחת ל 10 דקות ושליחת הנתונים לשרת מתבצעת אחת לשעה. הנתונים הגולמיים של המערכת מוצגים באתר ייעודי של החברה (ראה דוגמא באיור 2). בנוסף קיימת אפשרות לקבלת מסרון SMS עבור נתונים חריגים גולמיים לפני ביצוע עיבוד כלשהו. הגדרת הסף בו ערך נמדד נעשה חריג ומסרון נשלח נעשית ע"י המגדל או מדריך חקלאי.

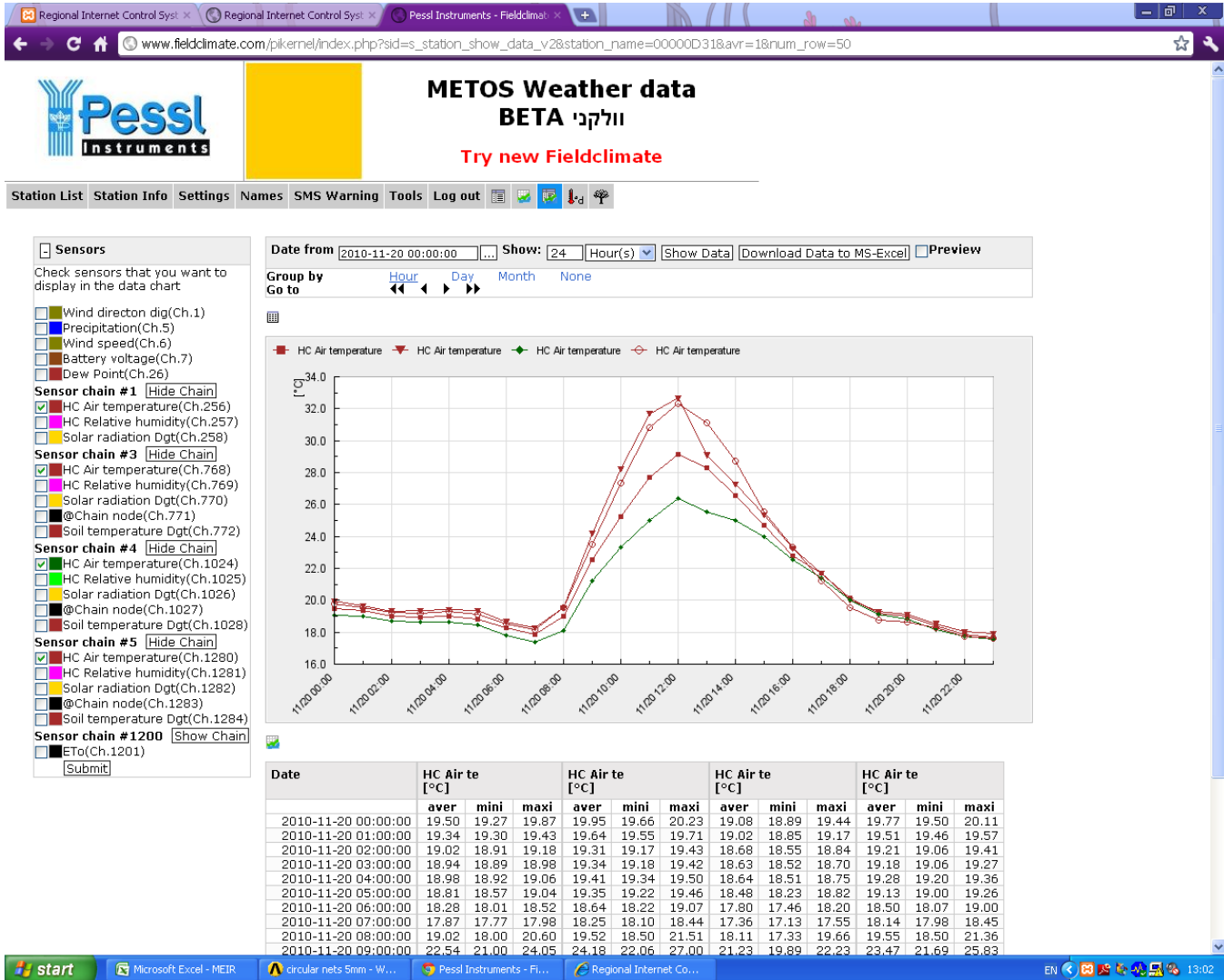


איור 1. תחנה מטאורולוגית Imetos

המערכת לניטור אקלים אזורי שפותחה מתבססת על הנתונים הגולמיים שמועברים אל השרת של חברת Pessel Instruments. אחת לשעה הנתונים מורדים לשרת של מכון וולקני בצורה אוטומטית ע"י פרוצדורה שפותחה במסגרת הפרויקט ובסיס הנתונים מתעדכן. הנתונים מעובדים ומוצגים באתר אינטרנט ייעודי הנמצא על השרת של מינהל המחקר החקלאי, אליו יכולים להיכנס משתמשים עם שם משתמש וסיסמא. איור 3 מציג תרשים סכמטי של תקשורת המערכת, תהליך העברת המידע בין שרת החברה Pessel Instruments לבין שרת מכון וולקני אינו הכרחי בעת בניית מוצר סופי ונובע מאילוצי המערכת הקיימת.

מימוש צד התוכנה של המערכת נעשה בשימוש השפות הבאות: הצגת צד המשתמש נעשה ע"י שימוש דינמי בשפות HTML, Javascript, CSS. תכנות צד שרת וחישובי המערכת נעשו ע"י שפת PHP. תקשורת ושאלות לבסיס הנתונים מסוג MySQL נעשה ע"י מימוש שפת SQL.

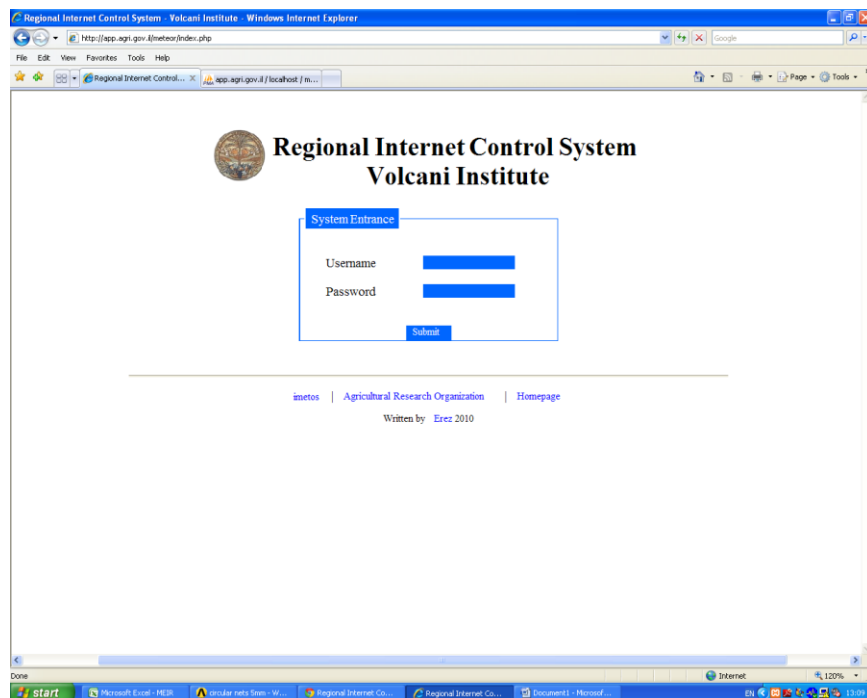
מסך הכניסה לאתר מערכת זיהוי חריגים (app.agri.gov.il/meteor) מוצג באיור 4. משתמש יכול להיכנס לאתר עם שם וסיסמא בלבד. מיד עם הכניסה לאתר המשתמש מופנה לדף המסביר את מטרות המערכת ובצורה כללית מסביר גם את עקרונות הפעלתה (איור 5).



איור 2. מסך תצוגת נתונים גולמיים מהאתר של חברת Pessl Instruments. טמפרטורת האוויר בשלוש חממות שונות מוצגת בצבע חום (■, ○, ▼), טמפרטורת סביבה מוצגת בירוק (◆).



איור 3. תרשים סכמטי של תקשורת המערכת.



איור 4. מסך הכניסה לאתר האינטרנט הייעודי לזיהוי חריגים (app.agri.gov.il/meteor).

Regional Internet Control System
Volcani Institute

Welcome To Station :
Desor Farm

Last Update	Date / Time	Temperature	Humidity	Precipitation	Wind Direction	Wind Speed
	2011-07-03 21:00:00	24.11	83.83	0	355	0.5

2011-10-25
System unavailable, go to last day of data

About
Indoor Stations
Outdoor Stations
Manual
Logout

Welcome to Regional Internet Control System (RICS)

RICS is an experimental system intended to locate greenhouses which are significantly different than other greenhouses in the area.

At current stage of the project the measured parameters are :
air temperature, relative humidity, solar radiation and crop.
The system can compare the crop data between measured and model based data (at this stage intended for tomatoes only).

Data from all greenhouses is measured every 10 minutes and broadcast automatically once an hour via mobile modem to the Pessal Company dedicated website (www.imetos.com), the data is available for the farmer as raw values, tables and graphs.

The meteorological system operates completely autonomous on the field and is being recharged by a solar panel.

There is an option to get warning via SMS in cases where the measured data exceeds pre-determined values, the service involves a fee.

Simulations and calculations are being made on Volcani Center's server which gathers the data from the Pessal server automatically.

The database located on Volcani Center is used for statistics calculations to locate an outlier greenhouse. The system shows the outlier data (temperature, humidity or radiation) and time by a user friendly graphical interface.

Targets of the system:

- To allow the farmer to keep track on the greenhouse climate from anywhere in the world.
- Alert the farmer in case of a data outlier.
- Alert the farmer in case of a greenhouse that differs from others in the same region.
- Alert the farmer in case of crop anomaly
- Get feedback from other farmers in the region
- Compare growth conditions of successful farmers

איור 5. מסך באתר האינטרנט הייעודי המסביר את מטרות המערכת ונותן למשתמש רקע כללי על אפשרויות ההפעלה.

2.2 שיטות סטטיסטיות

לתהליך זיהוי החריגות במערכת ניטור האקלים האזורי הוגדרו מספר סוגי חריגה ולכל סוג נקבע קריטריון חריגה:

- "חריגה עצמית" הינה חריגה של תחנה כלפי עצמה – כאשר ערך מסוים של התחנה חריג לעומת ערכים קודמים של אותה תחנה (כאשר ישנו שינוי חד ולא סביר בערכי התחנה, לדוגמה שינוי של 10 מ"צ בטווח של 10 דקות).
- "חריגת הפרשים" הינה חריגה בהפרש הערכים הנמדדים בין תחנת המשנה שבחממה לערכים הנמדדים בתחנה המטאורולוגית לעומת ערכי הפרשים קודמים – מחושבים הפרשי הערכים בין התחנה הפנימית לחיצונית ולאחר מכן מושווים לערכי הפרשים קודמים (דוגמה לחשיבות הקריטריון של "חריגת הפרשים" היא מדידת קרינה בעת שעננים חולפים מעל האזור. בזמן כזה תתכן חריגה עצמית בשל שינויים רגועים בקרינה בעוד חריגת ההפרשים לא תתקיים מאחר ואנו צופים שהקרינה מחוץ למבנה והתוך המבנה תשתנה פחות או יותר באותה המידה כתוצאה מהעננות).
- "חריגה יחסית" הינה חריגה של תחנה כלפי תחנות אחרות באזור – כאשר ערך מסוים של התחנה חריג לעומת ערכים של תחנות שונות עבור אותו זמן מדידה (לדוגמה כאשר הטמפרטורה הנמדדת בחממה A היא 40 מ"צ בעוד הטמפרטורות בשאר החממות באזור הן בטווח של 20 מ"צ).
- "חריגה אבסולוטית" הינה חריגה חמורה המבטאת ערכים בלתי סבירים (לדוגמה כאשר טמפרטורת האוויר בתחנה המטאורולוגית הינה 60 מ"צ או כאשר הקרינה בתוך המבנה גבוהה מ 1000 וואט/מ"ר).

בכל אחד מסוגי החריגה הנ"ל עצם קיום חריגה מקבל ערך 1 ובאי קיום חריגה הערך שווה לאפס. התראה על החריגה נעשית לאחר חישוב "חריגה משוכללת" – כל אחד מסוגי החריגה הנ"ל מוכפל במשקל יחסי ומשוכלל לערך סופי. רק כאשר הערך הסופי גבוה מערך סף נתון המערכת מתריעה על חריגה (משוואה 1). יתרון שיטה זאת היא בדינמיות המערכת – קיימת האפשרות לבחינת קריטריונים שונים לחריגה בעזרת שיטות סטטיסטיות שונות, זאת בהנחה כי חריגה בערכי התחנות השונות אינה תוצאה של קריטריון יחיד אלא שילוב של מספר גורמים שונים.

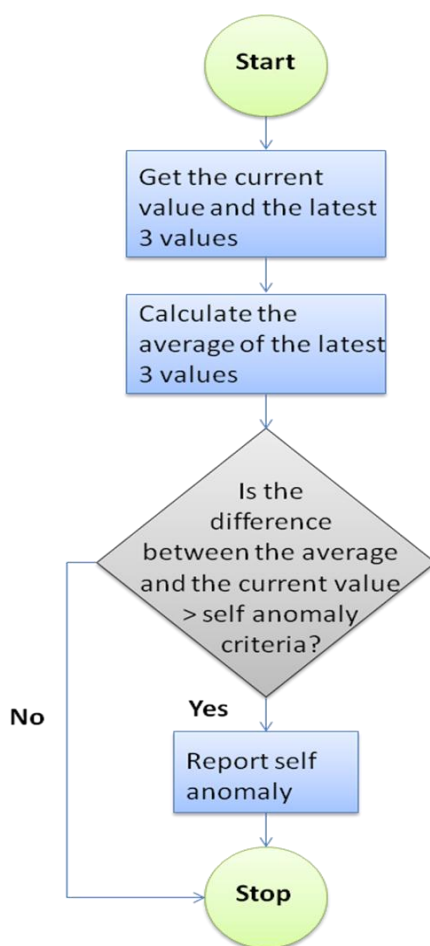
$$Cr_{Total} = \sum_i Cr_i \cdot W_i \quad (1)$$

במשוואה (1) Cr_i מייצג את אחד מארבעת סוגי החריגה הנ"ל וערכו שווה ל 1 או אפס. W_i מייצג את המשקל היחסי של אותה החריגה. מציאת הקריטריונים ומשקליהם נעשתה ע"י ניתוח סטטיסטי של מצבור גדול מספיק של נתונים שוטפים שנמדדו לאורך מספר חודשים באזור הבשור בחמש חממות ובשתי תחנות מטאורולוגיות. הקריטריונים שנקבעו נבדקו ע"י יצירת תקלות יזומות ובחינת מצבים חריגים ידועים. לדוגמא, בנתונים של יום מסוים נשתלו ערכים חריגים ונתונים אלו הוזנו למערכת. נערך מעקב אחר יכולת המערכת לזהות נתונים חריגים שנשתלו.

חריגה עצמית

בדיקת חריגה עצמית הינה בדיקת חריגה של תחנת משנה (מדיד מסוים בחממה מסוימת) ביחס לעצמה – השוואת מדידה בזמן מסוים עם 3 המדידות הקודמות לה ובדיקה אם יש שינוי שאינו הגיוני. לדוגמא עליית טמפרטורה קיצונית בטווח קצר מאוד.

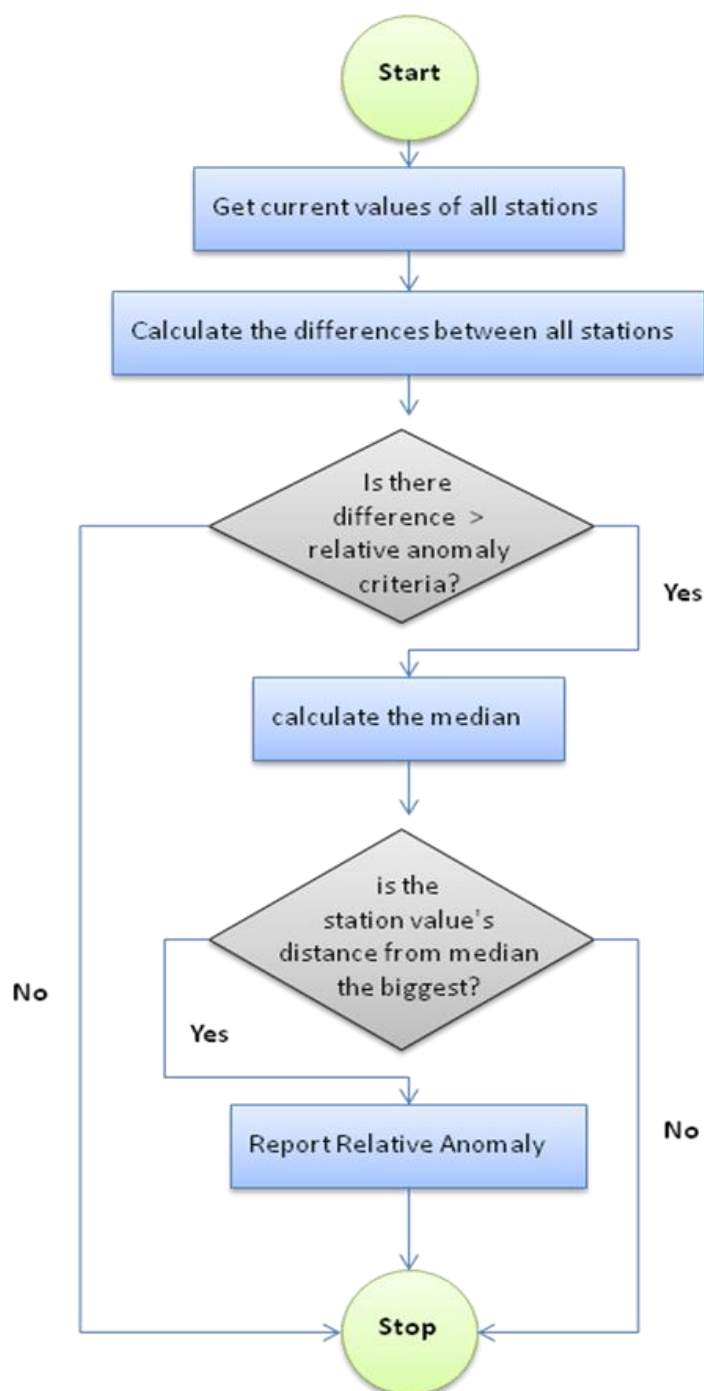
תרשים זרימה :



חריגה יחסית

בדיקת חריגה יחסית הינה בדיקת חריגה של תחנת משנה (מדיד מסוים בחממה מסוימת) ביחס לתחנות משנה אחרות (ביחס למדיד אחר בחממה אחרת אצל אותו מגדל) – השוואת מדידה בזמן מסוים עם שאר המדידות שהתקבלו בתחנות המשנה האחרות עבור אותו זמן מדידה.

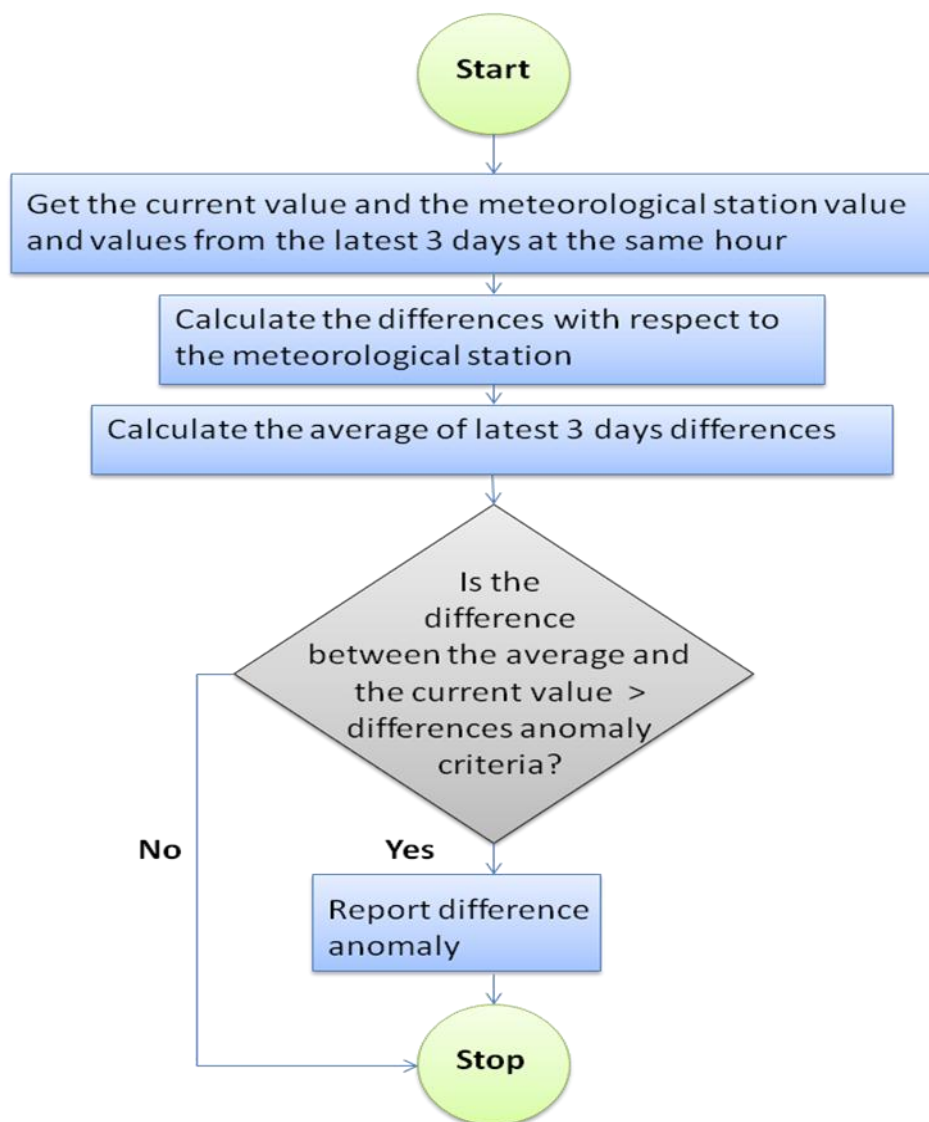
תרשים זרימה :



חריגת הפרשים

בדיקת חריגת הפרשים הינה בדיקת חריגה של תחנת משנה ביחס לתחנה ראשית – השוואת מדידה של תחנת משנה בזמן מסוים עם מדידה של תחנה ראשית באותו זמן (התחנה המטאורולוגית המודדת מחוץ לחממות באתר של מגדל מסוים). כל הפרש מדידות נבדק ביחס להפרשים של 3 ימים קודמים באותה שעה.

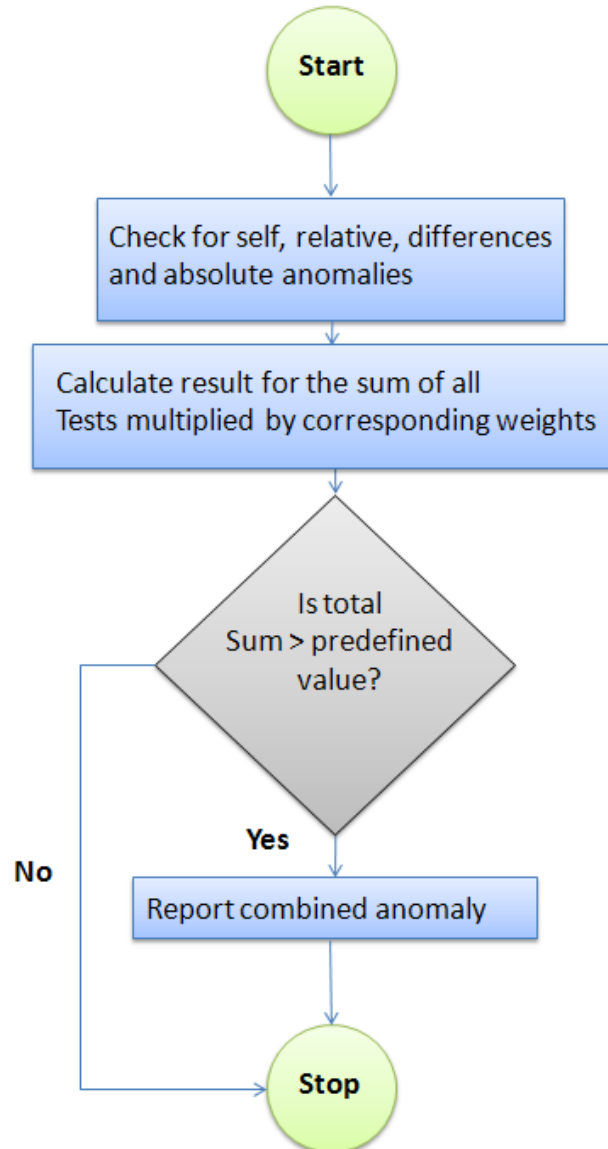
תרשים זרימה :



חריגה חמורה (משולבת)

בדיקת חריגה חמורה הינה בדיקה עבור מדידה בזמן מסוים הבאה לבדוק אם כל החריגות שצוינו לעיל מתקיימות. לכל חריגה שצוינה לעיל ניתן משקל שונה ויש אפשרות לשנותו.

תרשים זרימה :



קריטריון של חריגה משולבת ניתן למימוש גם ע"י למידה עצמית של המערכת לפי מודלים של Neural Networks. בעבודה זו לא נעשה שימוש בשיטה זו אך החל הלימוד של השיטה ובחינת היישום שלה.

2.3 ניסויים שנערכו עם המערכת

הוצבו שתי מערכות האחת בחוות הבשור והשנייה אצל מגדל מסחרי במושב תלמי אליהו. בחוות הבשור הניטור נעשה על שתי חממות בהן מגדלים עגבניות וחממה שלישית עם גידול פרחים. בתלמי אליהו הניטור מבוצע על שתי חממות עגבניות. כל מערכת מסוגלת למדוד את הפרמטרים הבאים :

(1) תחנה מטאורולוגית סטנדרטית הכוללת את הרכיבים הבאים :
- מד טמפרטורת אוויר

- מד לחות יחסית

- מד קרינת שמש גלובלית

- מד רוח

- מד כוון רוח

- מד גשם

(2) לתחנה המטאורולוגית מחוברות שלוש תחנות משנה. כל תחנת משנה יכולה להיות מוצבת במרחק של עד 75 מטר מהתחנה המטאורולוגית ולמדוד את הפרמטרים הבאים :
- מד טמפרטורת אוויר

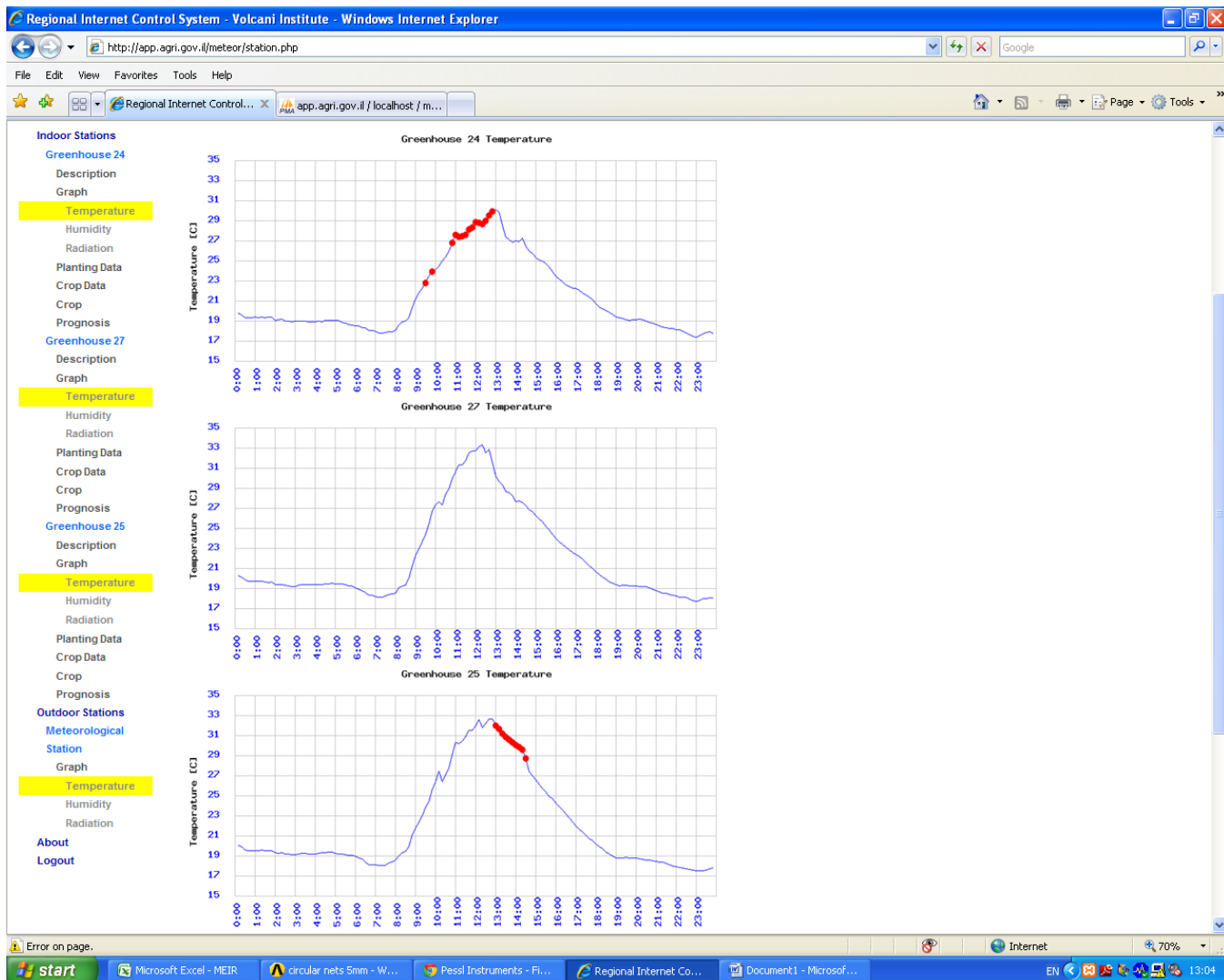
- מד לחות

- מד קרינת שמש

3. תוצאות ודיון

איור 6 מציג תוצאות אנליזה שבוצעה ע"י מערכת זיהוי חריגים ליום הספציפי המוצג באיור 2. האיור מציג מהלכי טמפרטורת אוויר בשלוש חממות סמוכות. מהלכים דומים אפשר להציג לגבי לחות וקרינה. בשל מגבלת אורך הדו"ח מוצגת כאן רק טמפרטורת האוויר כדוגמא. האיור מראה שלחממה מספר 24 (גרף עליון) הייתה חריגה בטמפרטורת האוויר ביחס לשתי החממות האחרות וביחס לטמפרטורה אבסולוטית שנקבעה כערך עליון בעיקר בשעות 11 – 13. לעומתה, חממה מספר 25 (גרף תחתון) חרגה בעיקר בין השעות 13 – 30: 14. לא נרשמו חריגות בחממה מספר 25 (גרף אמצעי). באתר עצמו, העמדת החץ של העכבר על אחת הנקודות האדומות בהן הייתה חריגה תיפתח מסך קטן ובו הודעה המפרטת את סיבת החריגה (עצמית, יחסית, הפרשים, אבסולוטית או משולבת).

למנהל אתר האינטרנט בשילוב עם מדריך או החקלאי אפשרות לשנות את הקריטריונים לקביעת חריגה כפי שמוצג באיורים 7 ו 8 .



איור 6. מסך המתאר חריגה בערכי טמפרטורת אוויר בחממה מסוימת ביחס לחממות אחרות.

app.agri.gov.il / localhost / meteor / critirias | phpMyAdmin 3.3.7 - Windows Internet Explorer

http://app.agri.gov.il/phpmyadmin/index.php?db=meteor&token=e43192b75e421bf54dc2b1f1cbf65c33

Database: meteor (8)

critirias

Showing rows 0 - 5 (6 total, Query took 0.0004 sec)

```
SELECT *
FROM `critirias`
LIMIT 0, 30
```

Profiling [Edit] [Explain SQL] [Create PHP Code] [Refresh]

Show: 30 row(s) starting from record # 0

in horizontal mode and repeat headers after 100 cells

+ Options

	critiria_name	critiria_temperature	critiria_humidity	critiria_radiation	strategy	strategy_description
☐	self_anomaly	1	2	25	1	3 previous values distance
☐	differences_anomaly	1	2	25	1	3 previous days values average
☐	sub_station_relative_anomaly	1	2	25	1	median distance
☐	station_relative_anomaly	2	4	50	1	median distance
☐	meterological_station_relative_anomaly	2	4	50	1	median distance
☐	sub_station_relative_anomaly	2	4	50	2	mahalobis distance

Check All / Uncheck All With selected

Show: 30 row(s) starting from record # 0

in horizontal mode and repeat headers after 100 cells

Query results operations

Print view Print view (with full texts) Export CREATE VIEW

איור 7. מסך לקביעת הקריטריונים לחריגות בפרמטרים השונים (טמפרטורה, לחות וקרינה).

app.agri.gov.il / localhost / meteor / weights | phpMyAdmin 3.3.7 - Windows Internet Explorer

http://app.agri.gov.il/phpmyadmin/index.php?db=meteor&token=e43192b75e421bf54dc2b1f1cbf65c33

File Edit View Favorites Tools Help

Regional Internet Control Sy... app.agri.gov.il / localhost...

phpMyAdmin

Database: meteor (8)

meteor (8)

critiria
crop_data
crop_start
description
stations
strategies
users
weights

localhost ▶ meteor ▶ weights

Browse Structure SQL Search Insert Export Import Operations Empty Drop

Showing rows 0 - 6 (7 total, Query took 0.0003 sec)

```
SELECT *
FROM 'weights'
LIMIT 0 , 30
```

Profiling [Edit] [Explain SQL] [Create PHP Code] [Refresh]

Show: 30 row(s) starting from record # 0

in horizontal mode and repeat headers after 100 cells

+ Options

	critiria	weight
☐	self_anomaly	0.4
☐	differences_anomaly	0.4
☐	sub_station_relative_anomaly	0.8
☐	station_relative_anomaly	0.5
☐	meterological_station_relative_anomaly	0.25
☐	combined_anomaly	1
☐	absolute_anomaly	1

Check All / Uncheck All With selected: ☐ ☐ ☐

Show: 30 row(s) starting from record # 0

in horizontal mode and repeat headers after 100 cells

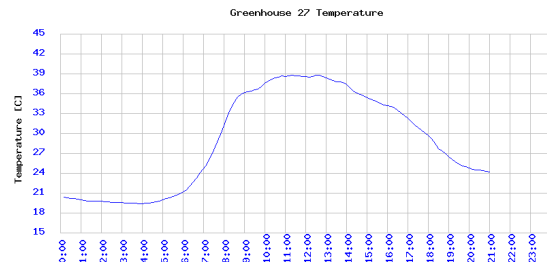
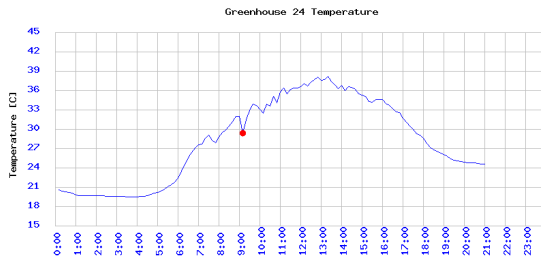
Query results operations

Print view Print view (with full texts) Export CREATE VIEW

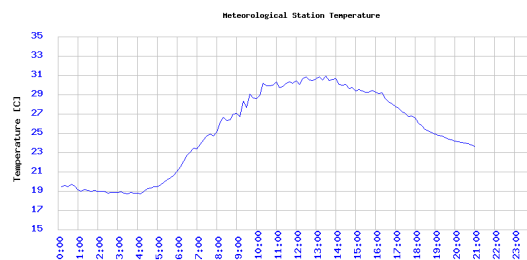
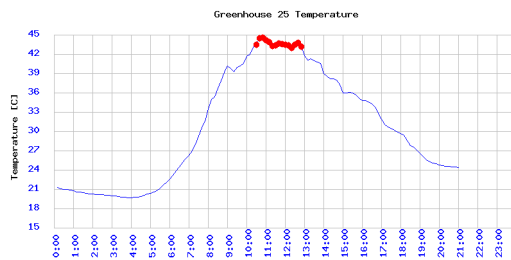
start Microsoft Excel - MEIR circular nets 5mm - W... Pessl Instruments - Fi... app.agri.gov.il / local... Document1 - Microsof... EN 13:06

איור 8. מסך למתן משקלים לסוגים השונים של החריגות.

תוצאות זיהוי חריגים של המערכת ליום אחר ניתן לראות באיורים הבאים : איורים 9-11 מציגים גרף טמפרטורה יומי של 3 תחנות משנה פנימיות (א' – ג') ואיור 12 מציג גרף טמפרטורה יומי של התחנה החיצונית שהוצבה בסמוך לשלושת החממות.



איור 9. גרף טמפרטורה יומי עבור תחנה פנימית א'
איור 10. גרף טמפרטורה יומי עבור תחנה פנימית ב'



איור 11. גרף טמפרטורה יומי עבור תחנה פנימית ג'
איור 12. גרף טמפרטורה יומי עבור תחנה חיצונית

ניתן לראות כי המערכת זיהתה חריגות בתחנה פנימית ג' במהלך צהרי היום, עקב טמפרטורות גבוהות לעומת שאר התחנות הפנימיות. בתחנה פנימית א' זוהתה שגיאה בה הייתה ירידה משמעותית בטמפרטורה והבדל לעומת שאר התחנות בשעה 9:10 לערך.

עקב חלוקת הקריטריונים לחריגה וקביעת משקלים שונים ניתן לראות כי המערכת מזהה חריגות עבור מקרים שונים רק כאשר התנאים מתאימים להתריע על חריגה "חמורה" בעוד המערכת מסננת מקרים "פשוטים" יותר, רגישות המערכת הינה תוצר ישיר של קביעת המשקלים לקריטריוני החריגה. כאמור, אלה נמצאים בשליטה וניתנים לכיול ולכוון.

שילוב מודל TOMGRO במערכת תומכת החלטה באינטרנט

פרק זה מתאר השילוב של מודל סימולציה המתאר את התפתחות הגידול במערכת שפותחה. השימוש במודל סימולציה מאפשר להציג למגדל השוואה בין מצב הגידול בפועל ובין הצפי על פי המודל כך שניתן לזהות התפתחות חריגה של הגידול. מאחר והמחקר התמקד בחמומות עגבניות נבחר המודל TOMGRO (Jones et al., 1991; Dayan et al., 1993, 1993b). כפי שמפורט בהמשך, המודל אשר פותח במקור בשפת Fortran תורגם לשפת C# וכויל על סמך נתונים שנאספו בחממה בבשור במסגרת המחקר.

מימוש המודל:

כל היכולות הבסיסיות של המודל TOMGRO ממומשות בגרסה החדשה:

- חישוב יצירת "חומר גלם" על ידי חישוב פוטוסינטזה ונשימה.
- העברה של חומר הגלם לאיברי הצמח, כלומר לשורשים, לעלים, לגבעול המרכזי ולפירות ממומש על פי עקרונות המודל (בורומקור).
- התפתחות האיברים לפי קבוצות גיל.

ע"מ לאפשר שילוב של המודל במערכת תומכת החלטה מקוונת, נתוני האקלים הדרושים לסימולציה נלקחים באופן אוטומטי מקבצי excel הבאים מאתר IMetos או ממסד הנתונים הנמצא בשרת במכון. כאמור המודל ממומש מעל פלטפורמת .net. בשפה C#, דבר המאפשר שילוב מלא במערכת אינטרנטית. תוצאות המודל נבדקו מול תוצאות של מימושיים קודמים של המודל בשפת Fortran.

כיול ואימות המודל:

לצורך כיול ואימות המודל בוצע מעקב לאחר גידול עגבניות בשתי חממות בחוות הבשור במהלך יולי-אוגוסט 2010. נתונים של אחת החממות שימשו לכיול המודל והנתונים של החממה השנייה שמשו לאימות המודל.

• זיהוי פרמטרים :

לאור המספר המואט של נתונים יחסית למספר הפרמטרים של המודל, ניתן היה לכייל רק חלק מהפרמטרים כאשר שאר הפרמטרים נלקחו מהספרות ללא שינוי. מספר הפרמטרים שניתן היה להעריך חושב על ידי הדרגה האפקטיבית של מטריצת פישור של הרגישויות של המודל כפי שמתואר ב- (2002) loslovich et al. חישוב זה הביא לבחירה של ארבעת הפרמטרים הבאים: טמפרטורה מקסימאלית ואופטימאלית, קצב יצירת צמחים חדשים (פיצול גבעול) והשפעת הטמפרטורה על יצירת הפירות.

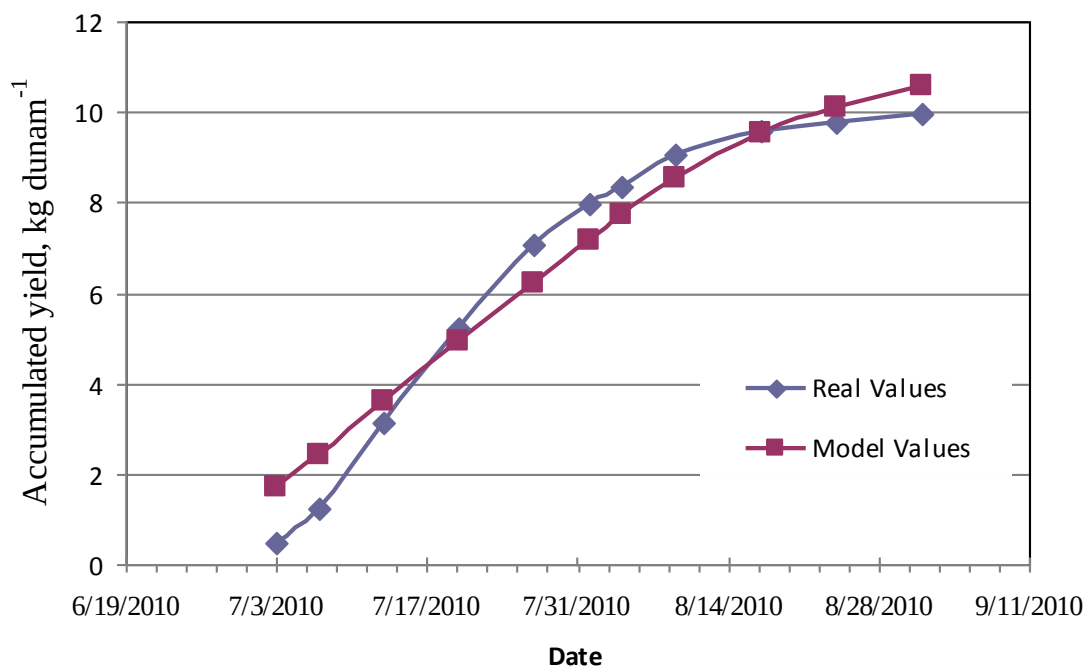
• שיערוך פרמטרים

התבצע שיערוך מחדש של הפרמטרים שזוהו בשלב הקודם. השערוך התבצע בשיטת אלגוריתמים גנטיים. אלגוריתמים גנטיים הינם כלי המבטיח פתרון קרוב לפתרון האופטימאלי להתאמת פרמטרים למודלים לא לינארים, כפי שמתואר ב- (2008) Ozturkler et al.

קביעת הפרמטרים נעשתה בעזרת מדידות LAI ומדידות היבול שהתקבלו מניסויים בבשור.

רק חצי מנתוני ה LAI היו שימושיים כיוון שהמודל אינו מכיל אופציה של גיזום מסיבי (ירידות דרסטיות של ה LAI) כפי שבוצע בפועל. ניתן בכל זאת לציין שעל פי בדיקה שנעשתה לאחר כיוול המודל, הגיזום לא משפיע הרבה על המשתנה מצב של משקל פירות, כנראה בגלל שרוב העלים הגוזמים הם עלים זקנים ומוצלים.

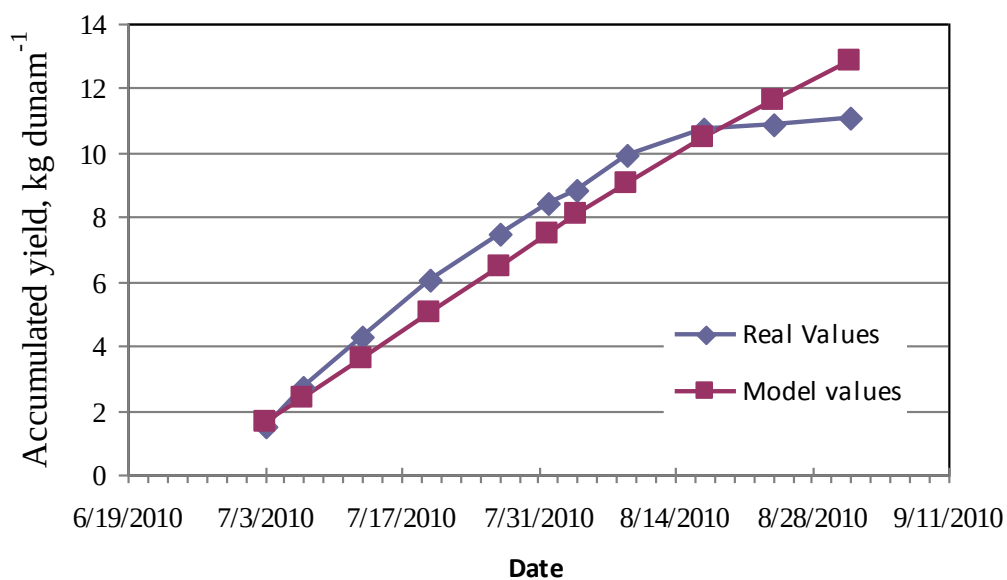
איור 13 מציג היבול בפועל והיבול הצפוי על פי המודל המכויל וניתן לראות התאמה טובה בניהם.



איור 13: נתוני יבול אמיתיים (כחול) מול נתוני יבול החזויים על ידי המודל (אדום). תוצאות כיול היבול בטון/דונם.

• אימות התוצאות

תקיפות המודל נבדק על סט הנתונים השני והתוצאות מובאות באיור 14. ניתן לראות שיש אכן התאמה טובה בין המדידות והמודל.



איור 14: נתוני יבול אמיתיים (כחול) מול נתוני יבול החזויים על ידי המודל (אדום). תוצאות אימות היבול בטון/דונם.

שילוב המודל במערכת תומכת החלטה:

קלטי המודל הם טמפרטורה וקרינת שמש בתוך החממה, תאריך תחילת הגידול, מספר ימים מתחילת הגידול ומצב התחלתי של הצמח. כל הנתונים האלה ניתן להכניס למודל על ידי שני קבצי XML. בתום הרצת המודל ע"פ הנתונים שהוזנו, כל הפלטים של המודל נשמרים בקובץ אקסל כך שניתן להציג למגדל המצב הצפוי של הגידול, כמו למשל משקל פירות, מספר עלים, שטח עלים וכו'. איורים 15 ו 16 מציגים את מסכי הקליטה של נתוני הצימוח בזמן השתילה ולאורך הגידול בהתאמה. הערכים מוזנים למודל ומשמשים בסיס נתונים.

Regional Internet Control System
Volcani Institute

Welcome To Station :
Besor Farm

	Date / Time	Temperature	Humidity	Precipitation	Wind Direction	Wind Speed
Last Update	2011-07-03 21:00:00	24.11	83.83	0	355	0.5

<< 2011-07-03 >>

[Go to Current Day](#)

About	Date	Area of leaves	# of leaves	weight of leaves	Density	Plastochron index
Indoor Stations	30/10/2010	0.0136	28.5	5.08	2.2	14.51
Greenhouse 24						
Description						
Graph						
Planting Data						
Crop Data						
Crop Prognosis						
Greenhouse 27						
Greenhouse 25						
Outdoor Stations						
Manual						
Logout						

imetos | Agricultural Research Organization | Homepage
Written by Erez 2010

איור 15 : מסך עדכון נתוני הצמחים בזמן שתילה כולל תאריך השתילה המדויק.

Regional Internet Control System
Volcani Institute

Welcome To Station :
Besor Farm

	Date / Time	Temperature	Humidity	Precipitation	Wind Direction	Wind Speed
Last Update	2011-07-03 21:00:00	24.11	83.83	0	355	0.5

2011-07-03

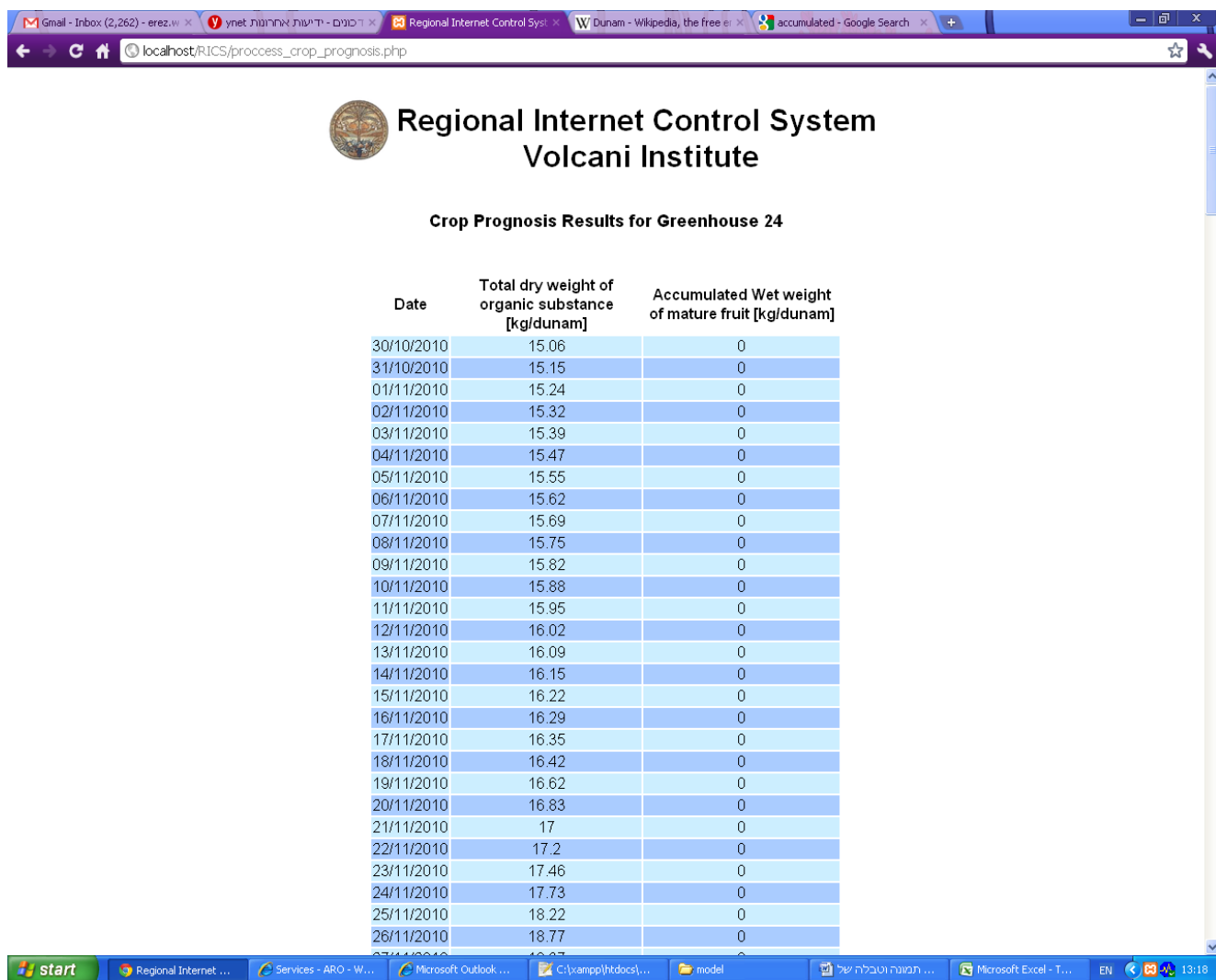
Go to Current Day

Date	# Leaves	# Fruits		
2010-12-19	60	35	Update	Delete
			Add	

imetos | Agricultural Research Organization | Homepage
Written by Erez 2010

איור 16: מסך לקליטת נתונים ולעדכון מספר עלים ומספר פירות על צמח בתאריך נתון לאורך הגידול.

איור 17 מראה את פלט המודל המופיע בשלב זה כערכים בטבלה. בעתיד יש כוונה להציג את הפלט בגרף.



Regional Internet Control System
Volcani Institute

Crop Prognosis Results for Greenhouse 24

Date	Total dry weight of organic substance [kg/dunam]	Accumulated Wet weight of mature fruit [kg/dunam]
30/10/2010	15.06	0
31/10/2010	15.15	0
01/11/2010	15.24	0
02/11/2010	15.32	0
03/11/2010	15.39	0
04/11/2010	15.47	0
05/11/2010	15.55	0
06/11/2010	15.62	0
07/11/2010	15.69	0
08/11/2010	15.75	0
09/11/2010	15.82	0
10/11/2010	15.88	0
11/11/2010	15.95	0
12/11/2010	16.02	0
13/11/2010	16.09	0
14/11/2010	16.15	0
15/11/2010	16.22	0
16/11/2010	16.29	0
17/11/2010	16.35	0
18/11/2010	16.42	0
19/11/2010	16.62	0
20/11/2010	16.83	0
21/11/2010	17	0
22/11/2010	17.2	0
23/11/2010	17.46	0
24/11/2010	17.73	0
25/11/2010	18.22	0
26/11/2010	18.77	0

איור 17 : פלט המודל הצמחי המציג את סה"כ המשקל היבש המצטבר והיבול הצפויים (ק"ג/דונם) לתאריך מסוים.

Animesh, P. and Jung-Min, P.(2007). An overview of anomaly detection techniques: Existing solutions and latest technological trends. Computer Networks 51 (2007) 3448–3470.

Dayan E; van Keulen H; Jones J; Ziropi I; Shmuel D; Challa H (1993a). Development, field calibration and validation of a tomato greenhouse model. I. Description of the model. Agriculture Systems, 43, 145–163.

Dayan E; van Keulen H; Jones J; Ziropi I; Shmuel D; Challa H (1993b). Development, field calibration and validation of a tomato greenhouse model. II. Field calibration and validation. Agriculture Systems, 43, 165–183.

Ioslovich I ; Seginer I (2002). Fitting the Nicolet Lettuce Growth Model to Plant-spacing Experimental data. Biosystems Engineering. 83 (3), pp. 361–371.

Jones J W; Dayan E; Allen L H; van Keulen H; Challa H (1991). A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO). Transaction of ASAE, 34(2), 663–672.

Otzurkler H ; Altan S.(2008). A genetic algorithm Approach to parameter estimation in Non Linear Econometric Models.

<http://climateminder.com/index.html>

http://www.fieldclimate.com/index_new.php

www.letsgrow.com

Walfish, S. A Review of Statistical Outlier Methods.

<http://www.pharmtech.com/pharmtech/content/printContentPopup.jsp?id=384716>

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרות המחקר היו: אפיון המידע הראשוני החשוב להעברה באינטרנט (טמפרטורת אוויר, לחות, קרינה ויבול), פיתוח ממשק הצגת המידע באתר אינטרנט ברמה של ניטור בזמן אמת. פיתוח והתאמת מודל צמחי של צמחי עגבנייה לתנאי הארץ, פיתוח ובחינה של מערכת הקריטריונים לזיהוי מצבים חריגים בחממות (ביחס לטמפרטורה, לחות, קרינה ויבול) בהתבסס על ניתוח סטטיסטי של ערכים מדודים. מעקב אחר תקלות במערכת ניסויית שהוצבה במספר חממות ואפיון דרישות ממערכת עתידית.
עיקרי הניסויים והתוצאות.
נרכשו שתי תחנות מטאורולוגית כל אחת בעלת שלוש תחנות משנה. אחת המערכות הוצבה בחוות הבשור והשנייה אצל מגדל עגבניות במושב תלמי אליהו. כל תחנת משנה מודדת טמפרטורה לחות וקרינה בחממה נפרדת באתר בו היא מוצבת (חוות הבשור או תלמי אליהו). סה"כ נמדדו במקביל חמש חממות. תנאי האקלים בחממות השונות ומחוצה להן נמדדו במשך מספר חודשים על מנת לקבל בסיס נתונים לעיבודים סטטיסטיים. נבנה אתר אינטרנט המקבל נתוני אקלים מהחממות השונות ומתעדכן אחת לשעה, פותח מודל לזיהוי חריגים בחממות הנמצאות באתרים שונים באותו מרחב. פותח מודל סימולציה המתאר יבול של צמחי עגבנייה במהלך העונה. המודל הותאם לתנאי הארץ ונבחן לאור אגרוטכניקה מקובלת בארץ.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
רוב מטרות המחקר הושגו. מהעבודה אנו למדים כי נתונים המתקבלים ממספר חממות אכן מאפשרים לקבל תמונה סטטיסטית של האקלים בתוך המבנים באזור מסוים. מהנתונים שנאספו מחממת החממות הצלחנו להבחין בין חממות מחוממות לאלו שלא מחוממות, הצלחנו להבחין בלילות בהן היה יישום מסך תרמי באחת החממות, המערכת שלחה התראה באחד המקרים בהם חממה מסוימת נשארה סגורה ללא אוורור במשך היום. רמת הדיוק באיתור חריגה עדיין מהווה אתגר, במיוחד כשמדובר בהפרשים קטנים יחסית. הנושא אינו פתור באופן משביע רצון. בעתיד אנחנו מתכוונים לשלב מספר גישות (אולי שימוש בהתמרת פורייה) כולל גישות סטטיסטיות נוספות שלא נבחנו עד כה, על מנת לאפשר זיהוי אמין יותר מזה שפותח עד כה.
בעיות שונות לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנותנה לביצוע תוכנית המחקר?
בחרנו להשתמש במוצר מדף של חברה קיימת בכל הקשור לאיסוף הנתונים, העלתם לאתר אינטרנט והצגת הנתונים הגולמיים. כתוצאה מכך אנו חשופים לתקלות שלפעמים אינן קשורות אלינו. מתברר שחלק מהמדידים של החברה לא מספיק מדויקים/אמינים. ישנן לעיתים רחוקות בעיות תקשורת בין המכשור בחממות לאתר האינטרנט והנתונים לא מעודכנים בזמן. ייתכן ובעתיד בפרויקט המשך יהיה צורך לבנות את כל מערכת איסוף הנתונים והעלתם לאתר באופן עצמאי. הדבר עשוי להזיל עלויות ולאפשר שליטה מלאה ומדויקת יותר.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - <u>ציטט</u> ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי;
סמינר בנושא הקשור למודל של צמח העגבנייה הוצג בטכניון בסוף 2010. המערכת הוצגה ביום פתוח של חוות הבשור בפברואר 2011.
פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)
כן ☐
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן*
הוגשה תוכנית המשך לקרן המדען של משרד החקלאות שלא זכתה לעדיפות מספקת ולכן לא אושרה למימון. חבל!!

