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

מאיר טייטל[1], אמוץ חצרוני[1], יוסף טנאי[2], רפי לינקר[3] , אהרון אנטלר[1], חנה יחזקאל[4]

[1] המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, [2] המכון לקרקע מים וסביבה, מינהל המחקר החקלאי, [3]הפקולטה להנדסה אזרחית, הטכניון, [4] מו"פ דרום, חוות הבשור

Teitel[1], M., Hetzroni[1] A., Tanny[2] J., Linker[3] R., Antler[1], A., Yechezkel[4] H.

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

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

[3]Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion, Haifa, 32000

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

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

תקציר

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 ולצמצם מאוד את הפגיעה בסביבה. 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. הנחת היסוד בעבודה זו היא שניטור אזורי מושכל, אצל חקלאים רבים המגדלים את אותו הגידול, המשלב העברת אינפורמציה באינטרנט, עשוי לשפר את ביצועיהם של החקלאים ולהעניק להם יתרון יחסי על פני מתחרים מחו״ל. מטרות המחקר לשנה השנייה היו: קביעת פרוטוקולי תקשורת ואפיון מידע להעברה באינטרנט, פיתוח ממשק הצגת הנתונים ברמה של ניטור בזמן אמת, ניטור טמפרטורת אוויר, לחות, קרינה, פיתוח אלגוריתמים לזיהוי חריגים ברמת חממה וברמה אזורית. מטרה נוספת הייתה פיתוח והתאמת מודל צמחי מותאם לתנאי הארץ, לחיזוי יבול בצמח עגבנייה. נרכשה תחנה מטאורולוגית, נוספת לזו הקיימת, עם שלוש תחנות משנה הדוגמות פרמטרים אקלימיים. נערכו ניסויים, בחוות הבשור ובמושב תלמי אליהו. בכל אתר הוצבה תחנה מטאורולוגית עם יחידות המשנה. בחוות הבשור הניטור נעשה על שלוש חממות בשטח כדונם וחצי כל אחת ובתלמי אליהו על שתי חממות מסחריות גדולות בשטח כ 10 דונם כל אחת. הנתונים מכל החממות מועברים לאתר אינטרנט מרכזי ומשם לתחנת עבודה במינהל המחקר החקלאי לעיבוד ולזיהוי חריגים. פותח מודל סימולציה המתאר יבול של צמח עגבנייה במהלך העונה. כיול המודל נעשה ע״י נתונים שנאספו במשך השנה מחממת עגבניות בחוות הבשור.

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 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 והתפתחות הצמח ובדיקה באם יש חריגה משמעותית בין הערכים החזויים לאלה הנמדדים במבנה. יתרה מזאת, בכל חממה מותקן בקר השולט על המערכות בחממה עצמה בלבד אך אין התייחסות אזורית לגידול מסוים בכל החממות באזור מסוים בארץ. כתוצאה מכך,

עשויות להתרחש תקלות כמו זו שהתרחשה בעשור האחרון בקדש ברנע בה השקו 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. מידע על הופעה ראשונית של מזיקים ועל התפרצות מגפות אינו מועבר באופן מאורגן בין המגדלים באזור. הנחת היסוד בעבודה זו היא שניטור אזורי מושכל המשלב העברת אינפורמציה באינטרנט, אצל חקלאים רבים המגדלים את אותו הגידול, עשוי לשפר את ביצועיהם ולהעניק להם יתרון יחסי על פני מתחרים.

<u>מטרות המחקר לתקופת הדו"ח:</u>

מטרות המחקר לשנה השנייה היו: הצבת מערכות מדידה בחמש חממות, אפיון מידע להעברה באינטרנט, פיתוח ממשק הצגת הנתונים ברמה של ניטור בזמן אמת, ניטור טמפרטורת אוויר, לחות, קרינה, יבול ואיכות. פיתוח והתאמת מודל לצמחי עגבנייה בתנאי הארץ, פיתוח ובחינה של מערכת הקריטריונים לזיהוי מצבים חריגים בחממות בהתבסס על ניתוח סטטיסטי של ערכים מדודים.

<u>עיקר הפעילות בתקופת הדו"ח</u>

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) הנתונים מהתחנה המטאורולוגית ומתחנות המשנה עוברים אוטומטית לאתר אינטרנט של חברת Pessel שם הם זמינים לצרכני המידע. המדידות נערכות אחת ל10 דקות ואחת לשעה כל הנתונים מועברים לאתר דרך מודם סלולרי.

4) קיימת אפשרות להתראות SMS למדידות החורגות מטווח נתון מראש.

5) קיימת אפשרות הורדת נתונים אוטומטית מהאתר לקובץ בכל מחשב המחובר לאינטרנט על פי הצורך וללא הגבלה. הכניסה לאתר עפ"י הרשאה של שם משתמש וסיסמא. קיימת הרשאה

ברמה של צפייה בנתונים בלבד והרשאה נפרדת לאדמיניסטראטור המאפשרת שינוי הגדרות המערכת.

6) המערכת כולה יכולה לעבוד עצמאית בשטח ע"י קבלת מתח מפאנל סולארי.

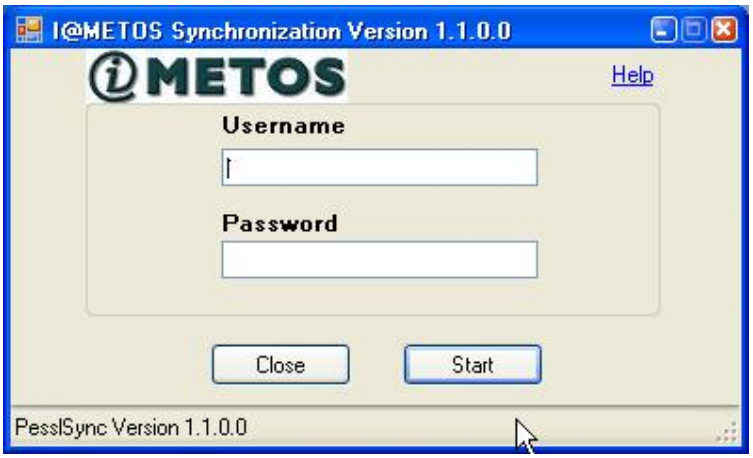
ניטור התחנה המטאורולוגית ותחנות המשנה

קליטת נתונים מהתחנה המטאורולוגית:

התחנה המטארולוגית שולחת את הנתונים לאתר של חברת Pessel באוסטריה

www.imetos.com ניתן להיכנס לתחנה ולצפות בנתונים ע"י שימוש בשם משתמש וסיסמא.

הנתונים מהאתר נאספים במחשב שולחני ייעודי לפרויקט זה, ע"י תוכנה לעדכון והורדת נתונים למחשב, המסופקת ע"י היצרן : iMetos DB Sync For Windows -

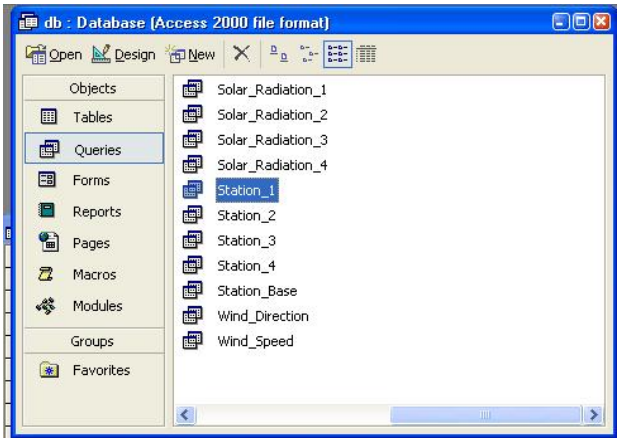


הנתונים נשמרים במחשב בפורמט בסיס נתונים של MS Access.

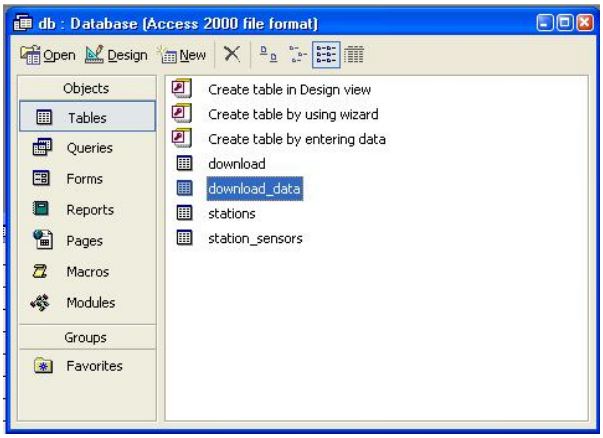
נכתבה תוכנה להרצת התוכנה לעדכון נתונים – DB Sync, המאפשרת שליפת הנתונים מהאתר אוטומטית פעם בשעה והעברתם למחשב –

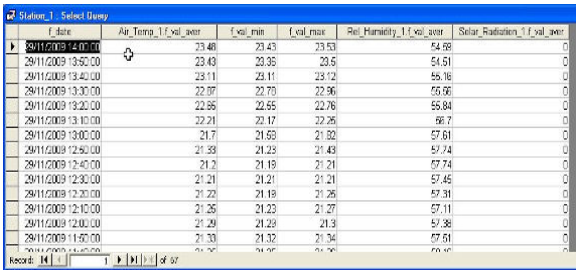
בבסיס הנתונים נכתבו שאילתות לארגון ושליפה מהירה ונוחה של הנתונים.

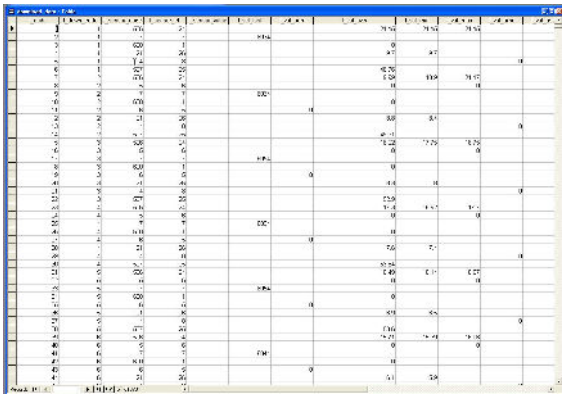
שאילתות



טבלאות בסיס הנתונים







עיבוד הנתונים למציאת פרמטרים חורגים

מטרת עיבוד הנתונים למצוא את הפרמטרים החורגים בכל אחת מתחנת המשנה ולהתריע בפני המגדל.

1. אלגוריתמים לזיהוי חריגות

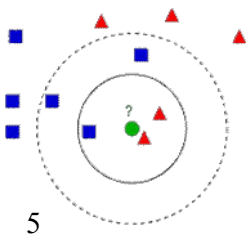
4.1 מבוא לזיהוי חריגים

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:

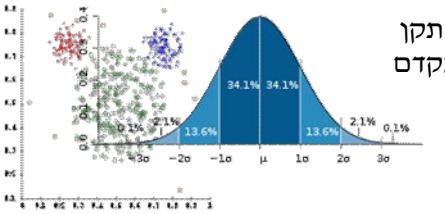
- שיטות סטטיסטיות ללא הכנת מידע מוקדם.
- שיטות למידת מכונה בהן קיים שיפור אוטומאטי ומתמיד של האלגוריתמים לזיהוי חריגים ע"י למידה עצמית.
- שיטות מונחות מידע מוקדם בהן נדרש הכנה של הקריטריונים והאלגוריתמים מראש, זאת ע"י מעקב ובקרה של נתונים מייצגים.

אנו נתמקד בשיטות מונחות מידע מוקדם, אשר אותן ניתן גם לחלק לקבוצות עיקריות הרלוונטיות לפרויקט:

- שיטות מונחות מרחק – מציאת חריגה ע"י בדיקת מרחק בין מדידה אחת למדידות אחרות, דבר זה יכול להתבצע ע"י חישוב מרכז משוקלל של נקודות המדידה ובדיקת המרחקים של הנקודות השונות ממרכז זה.



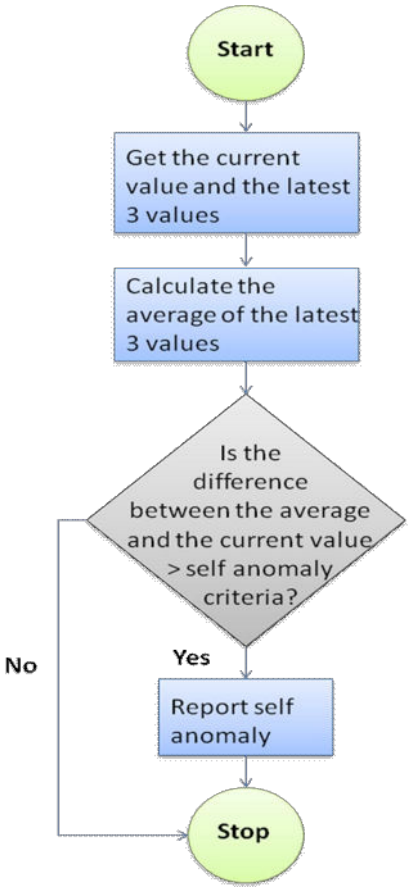
- שיטות מונחות צפיפות – סיווג וחלוקה לקבוצות של נקודות המדידה ע״י שקלול המרחק בין כל נקודה לשכנותיה.
- שיטות סטטיסטיות – ע״י מציאת מקדמי מתאם, שונות וסטיית תקן ומציאת נקודה המרוחקת באופן יחסי מסטיית התקן או בעלת מקדם מתאם חריג.
- שיטות מונחות מודל אשר משלבות בתוכן את השיטות הקודמות תוך מציאת תבניות ודפוסי התנהגות ברורים לחריגה.



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

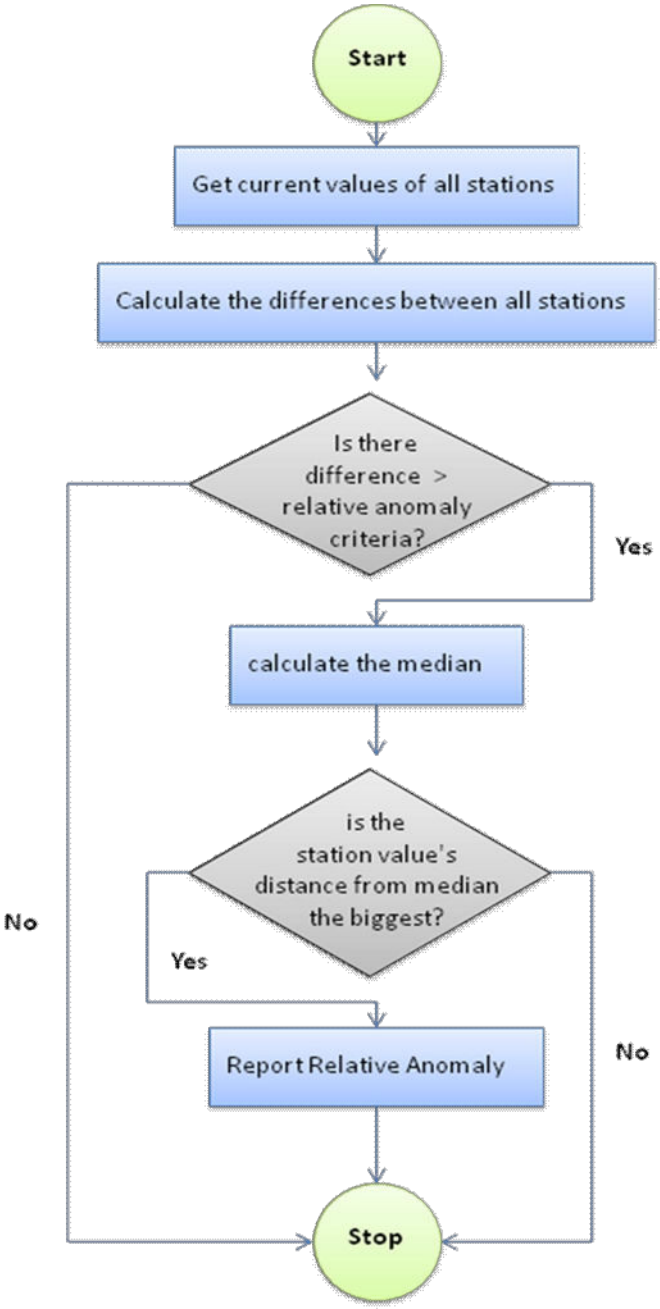
4.2 חריגה עצמית

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 :



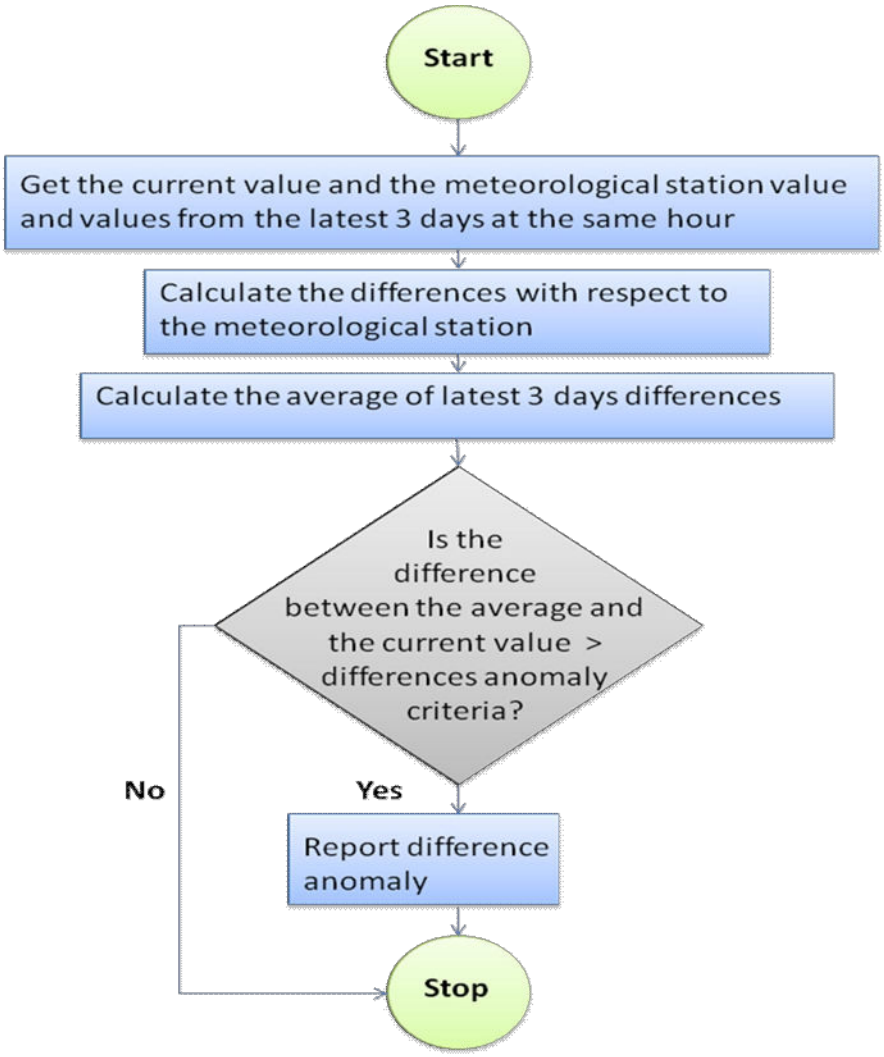
4.3 חריגה יחסית

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 :



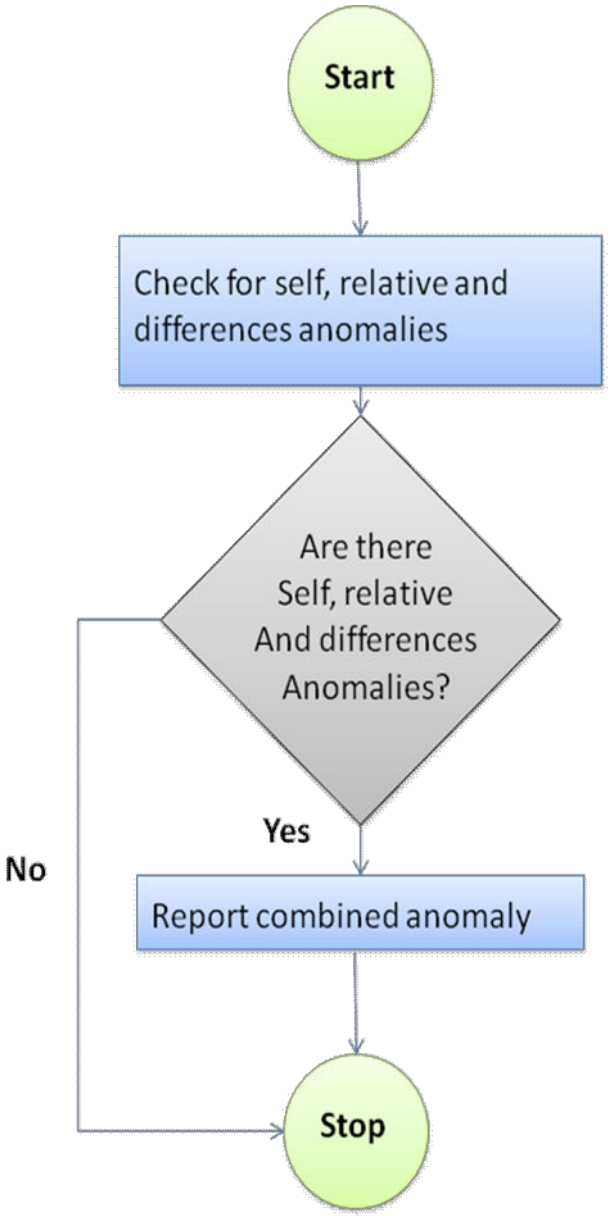
4.4 חריגת הפרשים

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 :



4.5 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 :



2. **<u>מציאת קריטריוני חריגה</u>**

- במהלך 5 חודשים (מאי עד ספטמבר 2010) נאספו נתונים ממערכת אשר הותקנה בחוות הבשור בדרום הארץ. נתונים אלו שימשו לבדיקת האלגוריתמים לזיהוי חריגות.
- הנתונים עובדו תוך כדי חישוב ממוצעים חודשיים ויומיים וסטיות תקן. כמו כן הנתונים הוצגו בצורה גרפית על מנת לאפשר בקרה ויזואלית מהירה.
- לאחר בדיקת הנתונים נקבעו קריטריונים לערכי סף ראשוניים עבורם מתקבלת חריגה במערכת.
- המערכת נבדקה בנוסף ע״י יצירת תקלות יזומות בשטח.

שילוב מודל TOMGRO במערכת תומכת החלטה באינטרנט

העבודה התחילה עם התמקדות על גידול פלפל אך לפני כשנה התברר כי לא ניתן לקבל נתוני על פלפל והוחלט לעבור לגידול עגבניות. המודל TOMGRO נבחר כבסיס לעבודה (Dayan et al, 1993; Dimokas et al, 2009, (Jones et al, 1991. המודל המקורי מומש ב Fortran ולכן נדרשה כתיבה מחדש של המודל בשפה מתאימה למימוש אינטרנטי בנוסף לכיולו.

מימוש המודל:

כל היכולות הבסיסיות של המודל TOMGRO ממומשות :

- חישוב יצירת חומר אורגני על ידי חישוב פוטוסינטזה ונשינה.
- העברה של החומר האורגני לאיברי הצמח, כלומר לשורשים, לעלים, לגבעול המרכזי ולפירות ממומש על פי עקרונות המודל (בור\מקור) .
- התפתחות האיברים לפי קבוצות גיל.
- קבלת נתוני אקלים בצורה של קבצי excel הבאים מאתר IMetos .

המודל ממומש מעל פלטפורמת net. בשפה #C.

תוצאות המודל נבדקו מול תוצאות של מימושיים קודמים של המודל בשפת Fortran .

כיול המודל:

המודל נמצא כרגע בהליך של כיול מול הסט הראשון של נתונים שהתקבלו (שהסתיים באוגוסט 2010) . נתונים אלה מהווים אינפורמציה רק על שטח עלים (LAI) .

גיזום העלים שהתבצע במהלך הגידול גם הוריד זמנית אפשרות להשתמש בחלק מהנתונים.

זוהו כמה פרמטרים חשובים המאפשרים להתקרב לנתונים שהתקבלו אבל מספר הנתונים הקטן לא מאפשר להבטיח תוצאות מדוייקות.

בעיות :

הבעיה המובילה כרגע היא אי יכולת TOMGRO להתמודד עם גיזום עלים. במהלך הגידול בוצעו כמה גיזומים של עלים בחלק התחתון של הצמח.

כדי להתמודד עם הגיזום, דרוש שינויים למודל והוספת יכולות :

- יכולת שינוי המצב של הצמח במלך התפתחותו
- באיזה אופן לשנות את המצב (איזה קבוצות גיל של עלים צריך להוריד).
- קבלה של אינפורמציה על ההיקף הגיזום (ממקור חיצוני למודל).

מתבצע סקר ספרות ע"מ לראות אם קיים מידע בנושא התמודדות של TOMGRO מול גיזום עלים.

בעיה נוספת בבדיקה כרגע היא הגדרה של עלה לפי המודל TOMGRO. ספירת עלים שהתקבלה מחשיבה כל גבעול היוצא מהגבעול המרכזי ושהוא לא תפרחת כעלה בודד. הנושא בבדיקה.

שילוב המודל:

תוכנית שילוב הקוד בשרת של משרד החקלאות והתממשקות עם האתר הוגדר בצורה בסיסית באופן לא פורמלי.

השילוב לא מותנה באיכות התוצאות של המודל ולכן יכול להתבצע במקביל לעבודות על המודל, כלומר החל מיום זה. ניתן להגדיר לוח זמנים לתהליך האינטגרציה.

רשימת ספרות:

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

Dimokas G; **Tchamitchian M**; **Kittas C** (2009).Calibration and validation of a biological model to simulate the development and production of tomatoes in Mediterranean greenhouses during winter period. Biosystems Engineering 103 , 217–227.

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.

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.

מטרות המחקר לשנה השנייה היו: הרחבת מספר החממות הנתונות למעקב, אפיון מידע להעברה באינטרנט, פיתוח ממשק הצגת הנתונים ברמה של ניטור בזמן אמת, ניטור טמפרטורת אוויר, לחות, קרינה ויבול. פיתוח והתאמת מודל צמחי של צמחי עגבנייה לתנאי הארץ, פיתוח ובחינה של מערכת הקריטריונים לזיהוי מצבים חריגים בחממות (טמפרטורה, לחות וקרינה) בהתבסס על ניתוח סטטיסטי של ערכים מדודים. מעקב אחר תקלות במערכת ואפיון דרישות ממערכת עתידית.

עיקרי הניסויים והתוצאות.

נרכשה תחנה מטאורולוגית נוספת לזו הקיימת עם שלוש תחנות משנה. כיום מוצבות שתי מערכות מדידה האחת בחוות הבשור והשנייה במושב תלמי אליהו. לכל מערכת תחנה מטאורולוגית ושלוש תחנות משנה כאשר כל אחת מודדת טמפרטורה לחות וקרינה בשלוש בחממה נפרדת באתר. במשך מספר חודשים נמדדו תנאי אקלים בחממות השונות ומחוצה להן 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, מודל סימולציה המתאר יבול של צמחי עגבנייה במהלך העונה הותאם לתנאי הארץ ונבחן לאור אגרוטכניקה מקובלת בארץ.

מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?

רוב מטרות המחקר לשנה ב' הושגו. מהעבודה השנה אנו למדים כי נתונים המתקבלים ממספר רב של חממות אכן מאפשרים לקבל תמונה רחבה של המתרחש באזור מסוים. אנחנו מצליחים להבחין בין חממות מחוממות לאלו שלא מחוממות, מבחינים ביישום מסך תרמי ומסך הצללה. רמת הדיוק באיתור חריגה עדיין מהווה אתגר, במיוחד כשמדובר בהפרשים קטנים יחסית. אנחנו מתכוונים לשלב מספר גישות כולל גישות סטטיסטיות נוספות שלא נבחנו עד כה על מנת לאפשר זיהוי אמין יותר מזה שפיתחנו עד כה.

בעיות שנותרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנותרה לביצוע תוכנית המחקר?

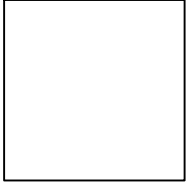
בחרנו להשתמש במוצר מדף של חברה קיימת בכל הקשור לאיסוף הנתונים והעלתם לאתר אינטרנט. כתוצאה מכך אנו חשופים לתקלות שלפעמים אינן קשורות אלינו. מתברר שחלק מהמדידים של החברה לא מספיק מדויקים/אמינים. ישנן לפעמים בעיות תקשורת בין המכשור בחממות לאתר האינטרנט והנתונים לא מעודכנים בזמן. ייתכן ובעתיד בפרויקט המשך יהיה צורך לבנות את כל מערכת איסוף הנתונים והעלתם לאתר באופן עצמאי. הדבר עשוי להוזיל עלויות ולאפשר שליטה מלאה ומדויקת יותר.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: **פרסומים בכתב** - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי;
פטנטים - יש לציין שם ומס' פטנט; **הרצאות וימי עיון** - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.

סמינר בנושא הקשור למודל של צמח העגבנייה הוצג בטכניון. המערכת תוצג ביום פתוח של חוות הבשור בפברואר 2011.

פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)

- רק בספריות
- ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
- חסוי – לא לפרסם

האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא -

לא רלוונטי כרגע, סביר להניח שבתום שלוש שנים נגיש תוכנית המשך.