

מסמך מסכם

שם הפרויקט: ניתוח ובניית מודלים לחיזוי מגמות יבולים במטעי עצי תפוח
בצפון ישראל על רקע שינויי אקלים

שם המנחה: ד"ר זהר ברנט-יצחקי

שם החוקרת: ד"ר יעל גרינוולד

שחר בן ליש - 318474277

טל קריספין - 313133613

דן גוטמן – 208741512

פרויקט זה נוצר בשיתוף המכון הוולקני והחוקרת ד"ר יעל גרינוולד.

תקציר

שינויי האקלים, הכוללים עלייה בטמפרטורות וירידה בכמות מנות הקור, משפיעים על גידול עצי התפוח בישראל. עצי התפוח דורשים מנות קור מספקות במהלך החורף להתעוררות ופריחה תקינה. מחסור במנות קור עלול לגרום לירידה בכמות ובאיכות היבול.

המחקר בוחן את הקשר בין שינויי האקלים ליבול התפוחים, תוך ניתוח נתוני אקלים מאזורים שונים בישראל. נבחנו מגמות של גלי חום, לחות יחסית, מנות קור, ולחץ גירעון אדים לצד נתוני יבול. התוצאות הראשוניות לא הראו קשר ישיר בין מזג האוויר ליבול, אך הדגישו את העלייה בתנודות הקיצוניות ואת הצורך בהתאמות חקלאיות.

שאלה מחקרית

כיצד שינויי האקלים, בדגש על ירידה בכמות מנות הקור, משפיעים על יבול התפוחים בישראל, והאם ישנם זנים רגישים או עמידים יותר להשפעות אלו?

מבוא וסקירה ספרותית: השפעת שינויי האקלים על יבול התפוחים בישראל

תפוח העץ הינו הפרי השלישי הכי מגודל בעולם והיקף הגידול כיום עומד על קרוב ל 100 מיליון טון בשנה. שינויי האקלים, הכולל עלייה בטמפרטורות הגלובליות, ירידה במנות הקור ועוד, משפיעים באופן משמעותי על המערכות האקולוגיות והחקלאיות ברחבי העולם, ובפרט על היבול בעצי פרי נשירים כמו התפוח. אחד ההיבטים המרכזיים המושפעים משינויי האקלים הינו תהליך ההתעוררות מתרדמת החורף של התרדמה של עצי התפוח הכוללים פריחה ולבלוב.

תרדמת ושינויי האקלים

מנגנון תרדמת החורף שבמהלכה נושרת עלוות העץ, הינה נועד להגן רקמות רגישות מפני תנאים החורף הקשים שבאזורים רבים הינם מתחת לנקודת הקיפאון. במחקרם של (Campoy & Egea, 2011) סקרו את התהליך של תרדמה בעצי פרי נשירים באזורים ממוזגים, תוך דגש על האתגרים שמציב שינויי האקלים, העלול לסכן את התאמתם של גידולים אלה בשל שינויים באותות טמפרטורה.

המחקר מציין כי שינויי אקלים מהירים עלולים להוביל לירידות חמורות בייצור ובפריון של פירות הגדלים או שמקורם הגאוגרפי באזורים ממוזגים. עם זאת, מחקר המבוסס על כלים גנטיים, חקלאיים, פיזיולוגיים ומודלים אקלימיים עשוי להפחית או לבטל את הפגיעה הצפויה בענפי גידול הנשירים. עוד מוסיפים המחקרים, כי נדרשת הבנה מעמיקה של מנגנוני התרדמה והאותות המפעילים אותם, יחד עם פיתוח זנים חדשים, שיטות גידול והתאמה של אזורי גידול, כדי להתמודד עם האתגרים. החוקרים מציעים אסטרטגיות במספר מישורים להתאמת עצי פרי נשירים לאתגרים העתידיים, הכוללים שימוש בחומרים לשבירת תרדמה, פיתוח סמנים גנטיים המעידים על עומק התרדמה, כיוונים לטיפול, שיפור האבקה עצמית והתמודדות עם מזיקים. החוקרים מדגישים את החשיבות של שיתוף פעולה בין מדענים, חקלאים ומחוקקים לפיתוח מערכות חקלאיות שיכולות להסתגל לשינויים הצפויים. המחקר קורא להגברת המודעות ולהשקעה באסטרטגיות הסתגלות שיקטינו את הפגיעות של ייצור הפירות באקלים משתנה. היבט מרכזי נוסף של שינויי האקלים הוא שינויי בטמפרטורה בדגש על הירידה בכמות מנות הקור, אשר חיונית להתפתחות תקינה של עצי פרי, ובפרט עצי תפוח.

טמפרטורה ומנות קור

מנות קור (Chill Hours) הן פרק הזמן שבו הטמפרטורה נמוכה מ-7.2 מעלות צלזיוס, הנדרש להתפתחות פיזיולוגית תקינה של עצי פרי לאחר תרדמת החורף. צבירה מספקת של שעות קור מוביל לתהליך המכונה שבירת תרדמה, שהינו שלב הכרחי לפריחה אחידה וליבול תקין. פריצה של ניצני הפרחים ובהמשך חנטת הפירות תלויה בעיקר בטמפרטורת האוויר ובשינויים שלה במהלך החורף. עצים זקוקים לחשיפה ממושכת לטמפרטורות קרות כדי לצאת ממצב תרדמת ולעמוד בדרישות הקור, תהליך שלאחריו מתחילה הצמיחה האביבית. עם זאת, שילובי הזמן והטמפרטורה הנדרשים לשבירת התרדמה משתנים בין מיני העצים. לכל סוג עץ דרישות מנות קור ייחודיות, המבוססות על שעות מצטברות מתחת לסף טמפרטורה מסוים. מחקרים מראים כי מחסור במנות קור עלול לגרום לפריחה לא אחידה ולירידה משמעותית בכמות ובאיכות היבול, דבר

המדגיש את חשיבותן הרבה של מנות הקור בגידול עצי פרי (Cesaraccio et al, 2004 & Albuquerque et al, 2008).

מאמרו של (Cesaraccio et al, 2004), מציג מודל "ימי קור" לחיזוי התפרצות ניצנים בעצים, המבוסס על הצטברות טמפרטורות קרות ושינוי בטמפרטורות חמות, תוך התאמה אזורית ומינית. המודל נמצא מדויק ואמין יותר ממודלים קלאסיים בכך שהוא מתחיל את החישוב מסיום העונה הקודמת ומפריד בין שלבי התרדמה הפיזיולוגיים והסביבתיים. יישום המודל עשוי לשפר תחזיות חקלאיות ואקלימיות ולהתאים למגוון רחב של מינים וסביבות. היבט מרכזי נוסף אשר משפיע על שינוי האקלים ומכך על שינוי ביבול עצי פרי שונים, הינו גובה השטח בו גדלים העצים.

השפעת גובה השטח

ידוע כי אזורים גבוהים נוטים להיות קרים יותר מאשר אזורים נמוכים, ועל כן באופן טבעי, גובה שטחי הגידול ישפיע על הסבירות לצבירה של מנות קור מספיקות. באזורים רבים בעולם, ישנם זנים שניתן לגדל רק מעל קו

גובה מסוים על מנת להבטיח את צבירת מנות הקור הדרושות עבור אותם עצים לצורך לשבירת התרדמה. מחקרו של (Albuquerque et al, 2008), חקר את פריחת הדובדבנים כתלות בסוגי אקלים וגובה. נמצא כי לזנים שונים של דובדבנים מתוקים דרישות שונות למנות קור, ולכן יש לבחור את הזנים המתאימים ביותר לכל גובה. או במילים אחרות, זנים בעלי דרישות מנות קור נמוכות יתאימו לאזורים נמוכים יותר, בעוד זנים בעלי דרישות גבוהות, יוכלו לשגשג רק באזורים גבוהים מאוד. במסגרת המחקר שנערך בספרד נמצא כי זנים מסוימים דורשים גובה מינימלי של 650 מטר כדי לעמוד בדרישות האקלימיות לשבירת תרדמה ולהבטיח צמיחה ופריחה מיטביים. היבט נוסף אשר משפיע על יכולת עצי התפוחים בהקשר לאקלים הינו התאמת הדרישות הפיזיולוגיות והגנטיות של זני התפוחים לשינוי האקלים.

התאמת הדרישות הפיזיולוגיות והגנטיות של זני התפוחים לשינוי האקלים

כמו בעצי דובדבן, גם עצי תפוח דרושה צבירה של מנות קור במהלך החורף על מנת לשבור את תרדמה ולהתחיל תהליך פריחה תקין. זנים שונים של תפוחים נבדלים בדרישותיהם למנות קור. מחקרו של (Allard et al, 2016) בחן כיצד דרישות למנות קור ולחום משפיעות על שבירת תרדמה ופריחת תפוחים, תכונה שחשוב במיוחד להבין אותה בתנאי התחממות גלובלית. החוקרים בדקו חמש משפחות תפוחים קרובות גנטית במשך שלוש שנים בשני אתרים, תוך שימוש במודלים סטטיסטיים מתקדמים למיפוי גנים (QTL) במפה גנטית שכללה 6849 סמנים גנטיים. התגלו ארבעה אזורים מרכזיים בגנום התפוח כאשר נמצא

קשר בין אזורים גנטיים האחראים לדרישות הקור והחום, וזוהו גנים חשובים כמו **AGL24** ו-**FT** הקשורים לפריחה, וגנים ממשפחת **DAM** הקשורים לתרדמה. הממצא העיקרי הוא שדרישות למנות קור ולחום משפיעות על שבירת תרדמה ופריחת עצי תפוח, כאשר זיהוי גנים מרכזיים הקשורים לתהליך מאפשר פיתוח זנים מותאמים לשינוי אקלים. ממצאים אלה יכולים לתרום לפיתוח זני תפוחים מותאמים לשינויים אקלימיים באמצעות טיפוח גנטי.

במחקרנו

שינוי האקלים מהווה אתגר משמעותי עבור מגדלי התפוחים בעולם ובישראל. בשל מיקומה הגאוגרפי, במזרח הים התיכון, ישראל חווה בשנים האחרונות שינויים מואצים בדפוסי האקלים ביחס לאזורים אחרים בעולם, שינויים המשפיעים על מגוון גידולים חקלאיים, כולל על ענף התפוח. מתצפיות שנערכו במהלך העשורים האחרונים בישראל על ידי העוסקים בגידול תפוחים (חוקרים, מדריכי גידול, חקלאים) ניכר כי צמצום במנות

הקור, עלייה בתדירות גלי החום, וגידול בערכי גירעון לחץ האדים (VPD) המקסימליים משפיעים באופן שונה על זני תפוחים שונים. אך עד היום לא נעשה עיבוד כולל של הנתונים והבנת ההשפעות הללו, בשילוב התאמות גנטיות ופיתוחים טכנולוגיים, היא מפתח לשמירה על ייצור תפוחים איכותי ויציב גם בתנאי האקלים המשתנים.

על אף החשיבות של נושא זה, לא נערכו מחקרים רבים שבחנו לעומק את השפעת שינויי האקלים על יבול זני התפוחים השונים בישראל. במסגרת מחקרנו, אנו שואפים בעזרת הנתונים הרבים שנאגרו אך לא עובדו, למלא פער זה ולבחון לעומק את ההשפעות של גורמי שינוי האקלים על יבול התפוחים ועל זני התפוחים השונים, עם דגש מיוחד על התנאים הייחודיים בישראל.

שיטות

מטרה:

על מנת להבין כיצד ירידה במנות הקור משפיעה על יבול התפוחים בישראל ולאחר זנים רגישים או עמידים יותר לשינויים אקלימיים, השתמשנו באיסוף וניתוח נתונים ממקורות שונים על תקופה של כ-20 שנה:

איסוף נתונים

מקורות נתונים:

- השירות המטאורולוגי בישראל - נתונים מטאורולוגיים היסטוריים (טמפרטורות, לחות יחסית, גירעון לחץ אדים (VPD) שנאספו באמצעות API מחסור בחלק מהמידע, חיפשנו מקורות נוספים.
- מו"פ צפון - נתוני מחקר חקלאיים מתחנות מקומיות, שסייעו בהשלמת החוסרים ובביצוע הצלבות לאימות הנתונים.

פרטי הנתונים:

- תקופת הנתונים: 2001-2021
- סך הרשומות: 34,631
- לאחר סינון וניקוי הנתונים נשארו: 16068 רשומות.
- כל רשומה כוללת: שנה, יישוב, מספר חלקה, זן, סוג כנה, ויבול (טון לדונם).

עיבוד נתונים

ניקוי וסינון:

- הסרת ערכים שגויים או חריגים (למשל טמפרטורות לא סבירות כמו -8190°C)
- הסרת שנים עם מחסור בנתונים.
- קביעת ספים עליונים ותחתונים באמצעות IQR

השלמת נתונים חסרים:

שימוש במידע מתחנות קרובות ובאינטרפולציה ליניארית להשלמת ערכים חסרים.

שילוב מידע גיאוגרפי:

- שילוב נתונים על גובה השטח ומיקום התחנות המטאורולוגיות.
- בניית מפה המציגה את תחנות המדידה והאזורים בהם קיימים מטעי תפוחים.

בניית פיצ'רים חדשים:

- פיצ'רים אקלימיים, לדוגמה: מספר מנות קור (לפי מודל שעתי בתקופה מוגדרת), מספר הימים תחת גלי חום ביום ובלילה, כמות גלי החום לפי VPD, לחות יחסית וטמפרטורה.

ניתוח תנודתיות של גלי חום:

- זיהוי מגמות של עלייה בתדירות ובעוצמה של גלי חום.
- המגמה אינה ליניארית אלא מתאפיינת בתנודות משמעותיות לאורך השנים.
- נותחו מגמות השינויים לאורך השנים במספר גלי החום באמצעות ניתוח מגמות (Trend Analysis), כולל הצגת גרפים תומכים.

בדיקת קשרים אפשריים בין שינויי האקלים לכמות היבול

- בוצעו בדיקות סטטיסטיות ואנליטיות לבחינת השפעה ישירה של טמפרטורה קיצונית, ירידה במנות קור או עלייה במספר ימי חום על כמות היבול.

שיטות ניתוח:

- אנליזת מתאם - (Correlation Analysis) לבדיקת קשרים בין המשתנים.
- בחינת מגמות - (Trend Analysis) להשוואת שינויים אקלימיים לאורך השנים.

חלוקת הנתונים לפי קטגוריות שונות:

- חלוקת עצי התפוחים לפי זנים: יונתן, סטארקינג, פינק לידי, גולדן, גאלה, סמית'.
- חלוקה לפי סוגי כנות: חזקה במיוחד, חצי חזקה, מגבילה בגובה, לא מזוהה, תערובת כללית.
- התייחסות לחלקות שונות בתוך יישובים, לדוגמה: בתוך אזור א' יש כמה חלקות שונות של עצי תפוח.

סטטיסטיקה תיאורית והסקה סטטיסטית

בוצעה סטטיסטיקה תיאורית (ממוצע, חציון, סטיית תקן) להבנת התפלגות ערכי היבול והמשתנים האקלימיים. תוצאה:

ממוצע: 4.36

סטיית תקן: 1.93

חציון: 4.3

בדיקת התפלגות הנתונים:

- היסטוגרמה, Q-Q Plot, מבחני Shapiro-Wilk, מבחני Pearson.
- דחינו את ההשערה שהנתונים מתפלגים נורמלית בעקבות ערך P נמוך מאוד.

השוואת קבוצות:

- מבחן Mann-Whitney U להשוואה בין שתי קבוצות שונות.
- חלוקת הנתונים לשתי קבוצות לפי סף ערך שנקבע (קבוצה עם ערך נמוך מהסף וקבוצה עם ערך גבוה מהסף) לבדיקת הבדלים בהתפלגות.

מודלים לחיזוי

מודלים שנבדקו:

- רגרסיה לינארית
- רגרסיה פולינומאלית
- יערות רנדומים
- רשת נוירונים
- LSTMRegressor
- XGBOOST

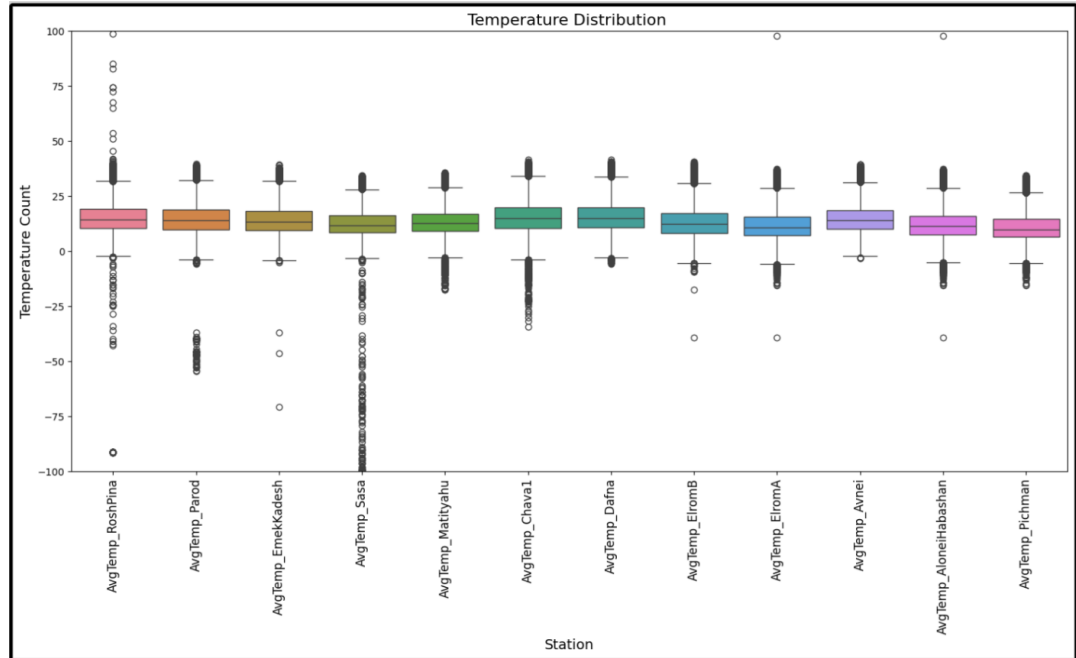
תרחישים בהם המודלים נבדקו:

- לפי זנים שונים
- לפי זן + סוג כנה
- לפי זן + יישוב
- לפי יישוב
- מודל כללי שבודק חיזוי בכל צורות הבדיקה

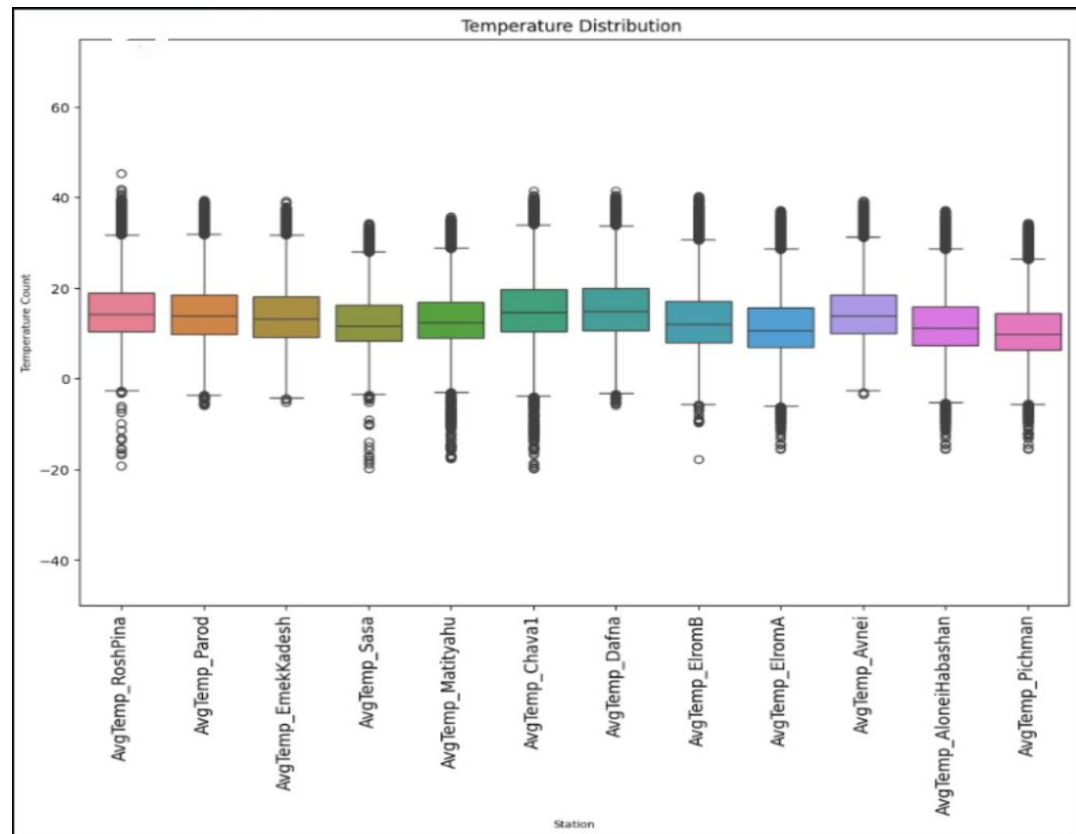
דוגמאות לניקוי והשלמת נתונים חסרים:

חישוב טמפרטורה לפי סף טמפרטורה שהצבנו (בין 50- עד 20- מעלות צלסיוס)

לפני



אחרי



תיקון נתונים

נתוני טמפרטורה שגויים ולא הגיוניים לפני קביעת סף -

AvgTemp_Sasa	
DateTime	
2016-02-04 15:00:00	-24.10
2016-02-18 02:00:00	-77.20
2016-02-18 03:00:00	-85.40
2016-02-19 01:00:00	-30.50
2016-02-19 02:00:00	-47.90
...	...
2016-03-21 21:00:00	-8190.00
2016-03-21 22:00:00	-8190.00
2016-03-21 23:00:00	-8190.00
2016-03-21 00:00:00	-8190.00
2016-03-22 01:00:00	-8190.00
674 rows × 1 columns	

נתונים לאחר השלמה

נתונים חסרים

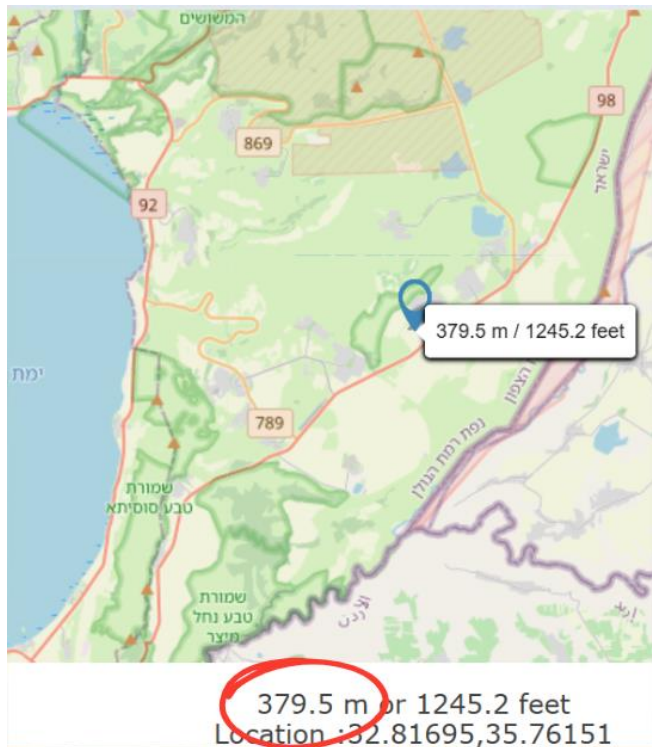
	AvgTemp_RoshPina	AvgTemp_Parod	AvgTemp_EmekKadesh	AvgTemp_Sasa
DateTime				
2001-01-01 01:00:00	6.40	3.90	7.50	8.10
2001-01-01 02:00:00	5.80	3.90	7.30	8.20
2001-01-01 03:00:00	5.40	6.20	7.20	8.30
2001-01-01 04:00:00	4.50	10.70	6.70	9.00
2001-01-01 05:00:00	4.20	9.80	6.90	9.20
2001-01-01 06:00:00	4.10	11.40	7.70	9.70
2001-01-01 07:00:00	3.60	13.30	9.70	9.30

	AvgTemp_RoshPina	AvgTemp_Parod	AvgTemp_EmekKadesh	AvgTemp_Sasa
DateTime				
2001-01-01 01:00:00	NaN	3.90	7.50	NaN
2001-01-01 02:00:00	NaN	3.90	7.30	NaN
2001-01-01 03:00:00	NaN	6.20	7.20	NaN
2001-01-01 04:00:00	NaN	10.70	6.70	NaN
2001-01-01 05:00:00	NaN	9.80	6.90	NaN
2001-01-01 06:00:00	NaN	11.40	7.70	NaN
2001-01-01 07:00:00	NaN	13.30	9.70	NaN

תיקון גובה תחנות שגיי -

גובה אמיתי לאחר בדיקת קואורדינטות

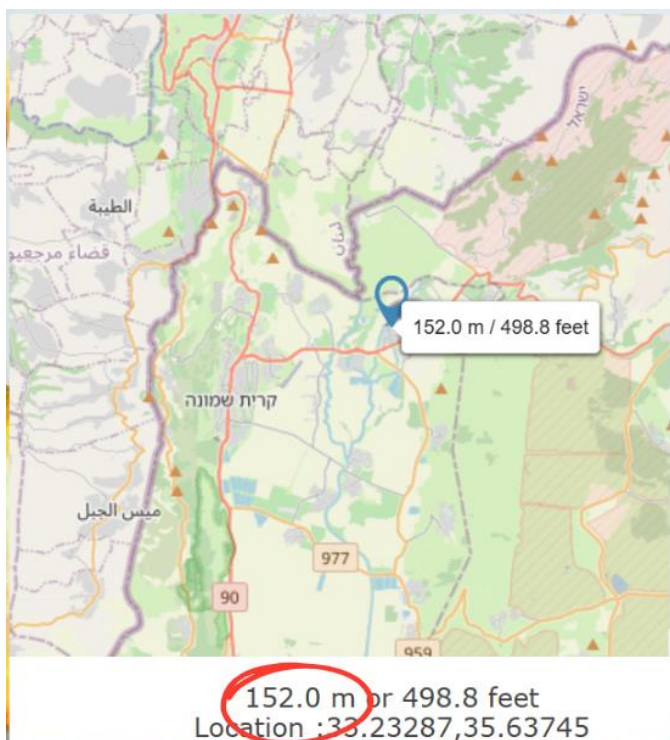
גובה נתון באתר מו"פ צפון



מידע על התחנה	
שם תחנה	אבני איתן
מיקום	
אזור	CENTRAL
בעלים	MIGAL
מטרה	METEROLOGICAL
קאו' אורך	35.761506
קאו' רוחב	32.816952
גובה תחנה	0

גובה אמיתי לאחר בדיקת קואורדינטות

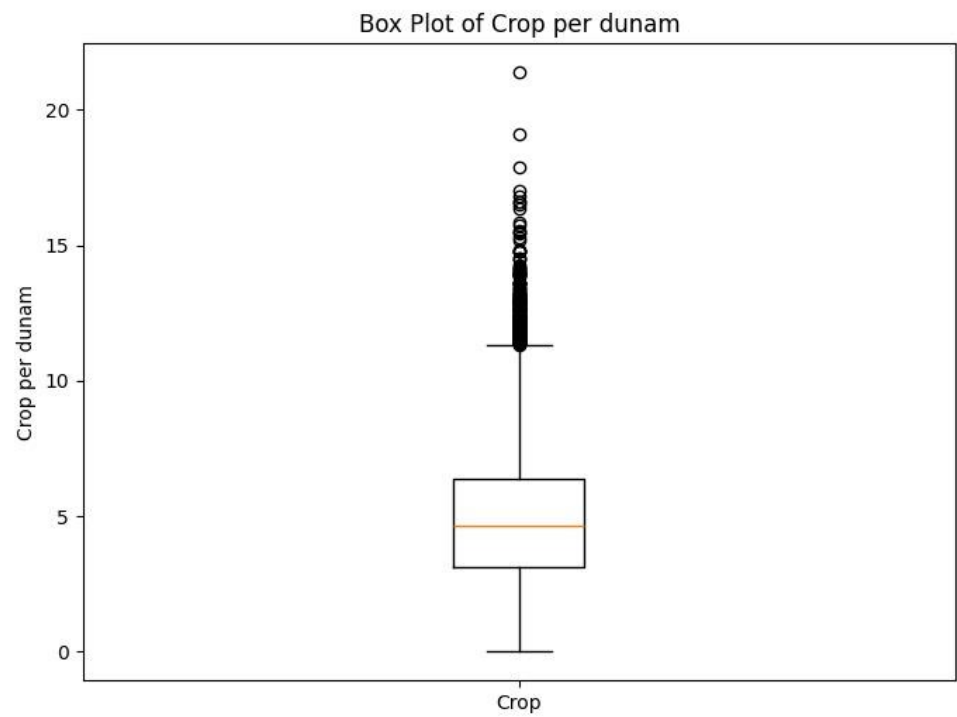
גובה נתון באתר מו"פ צפון



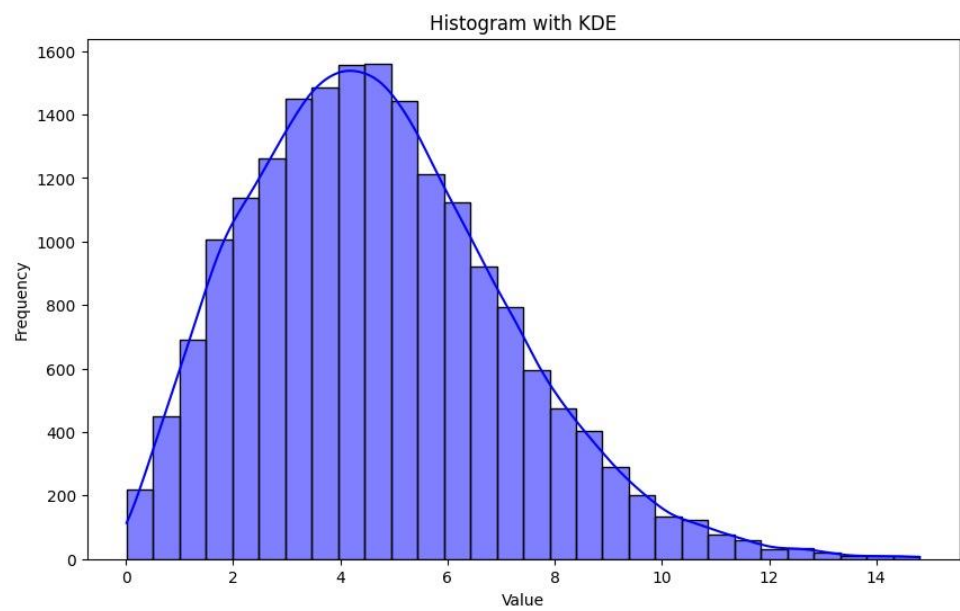
מידע על התחנה	
שם תחנה	דפנה
מיקום	kibutz Dafna
אזור	NORTH
בעלים	MIGAL
מטרה	METEROLOGICAL
קאו' אורך	35.637446
קאו' רוחב	33.232875
גובה תחנה	50

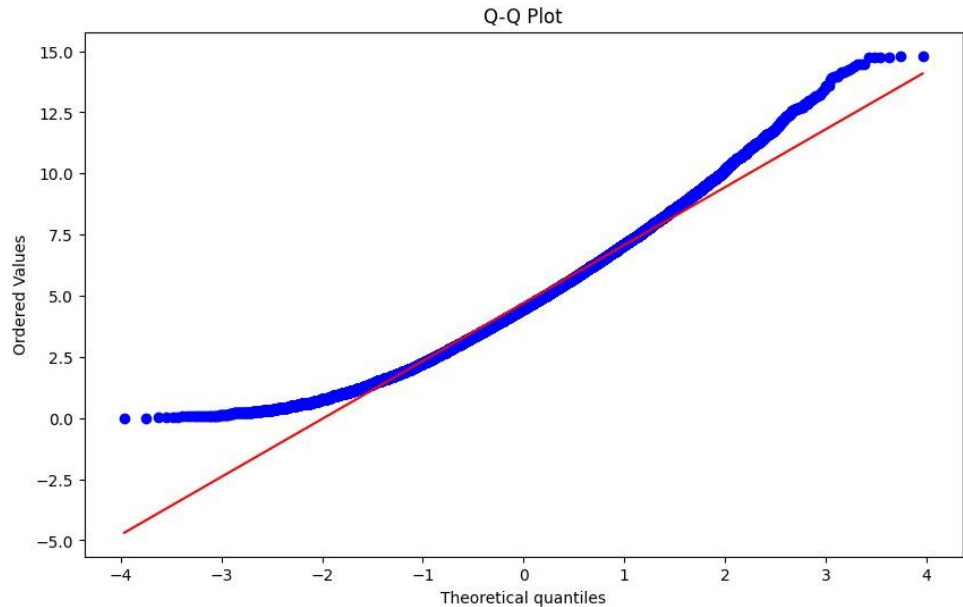
נתוני יבול

כמות יבול ביחס לדונם



התפלגות נורמלית על היסטוגרמה ו Q-Q plot





מבחני Shapiro-Wilk, Pearson

```
Shapiro-Wilk Test: Statistics=0.978, p=2.853515977171191e-46
The data does not appear to be normally distributed (p <= 0.05).
D'Agostino and Pearson's Test: Statistics=956.590, p=1.9012957137480209e-208
The data does not appear to be normally distributed (p <= 0.05).
```

בבוקס פלוט ראינו ערכים שלא הגיוניים ביבול פר דונם, החלטנו להשתמש במבחנים לבדיקת נורמליות על מנת לפסול את ערכי הקצה. בנינו היסטוגרמה, Q-Q Plot, וביצענו מבחני Shapiro-Wilk לבדיקת התפלגות נורמלית. דחינו את ההשערה שהנתונים אינם מתפלגים נורמלית בעקבות P Value מאוד נמוך.

מבחן Mann-Whitney U

חילקנו את הנתונים ל-2 קבוצות. קבוצה אחת שבה ערך שעות הקור היה קטן מ-1000 לעומת הקבוצה השניה שבה הערך היה גדול מ-1000. כדי לבדוק האם ההתפלגות של 2 הקבוצות:

- (1) שונה
- (2) קבוצה 1 גדולה מקבוצה 2
- (3) קבוצה 1 קטנה מקבוצה 2

תוצאה:

- (1) מצאנו שיש הבדל בזהב בין 2 הקבוצות והן לא שוות.
 - (2) לא ניתן לדחות את השערת האפס, אין עדות שקבוצה 1 גדולה מקבוצה 2.
 - (3) דוחים את השערת האפס – הערכים של קבוצה 1 קטנים מאלו של קבוצה 2.
- ככל ששעות הקור גדולות יותר, הערכים של המשתנה הנבדק נוטים להיות גבוהים יותר.

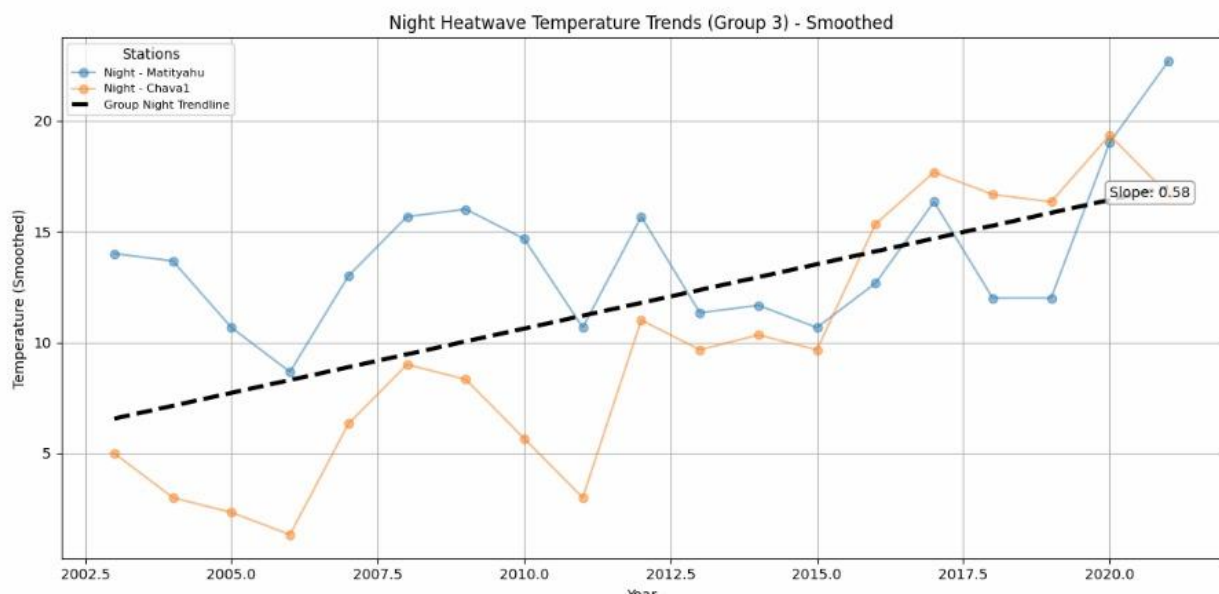
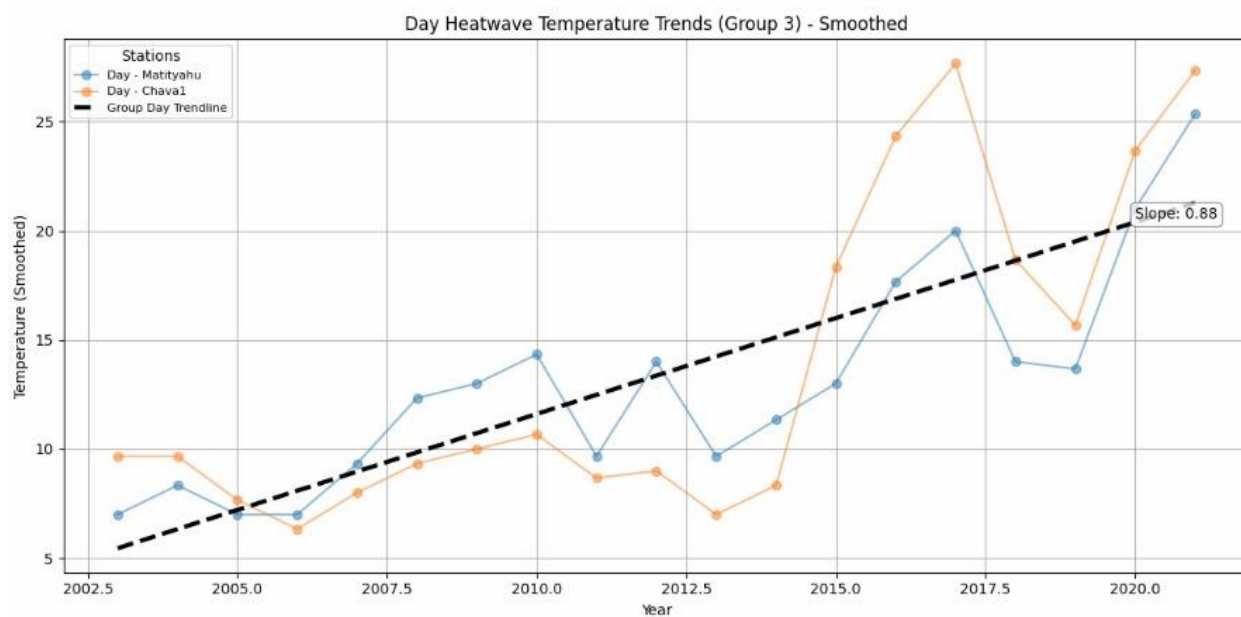
```
group1: chill hours < 1000
group2: chill hours >= 1000

checking H1: group1!=group2
Statistic: 39409115.5
P-value: 0.04587611406293504
There is a statistically significant difference between the two groups.

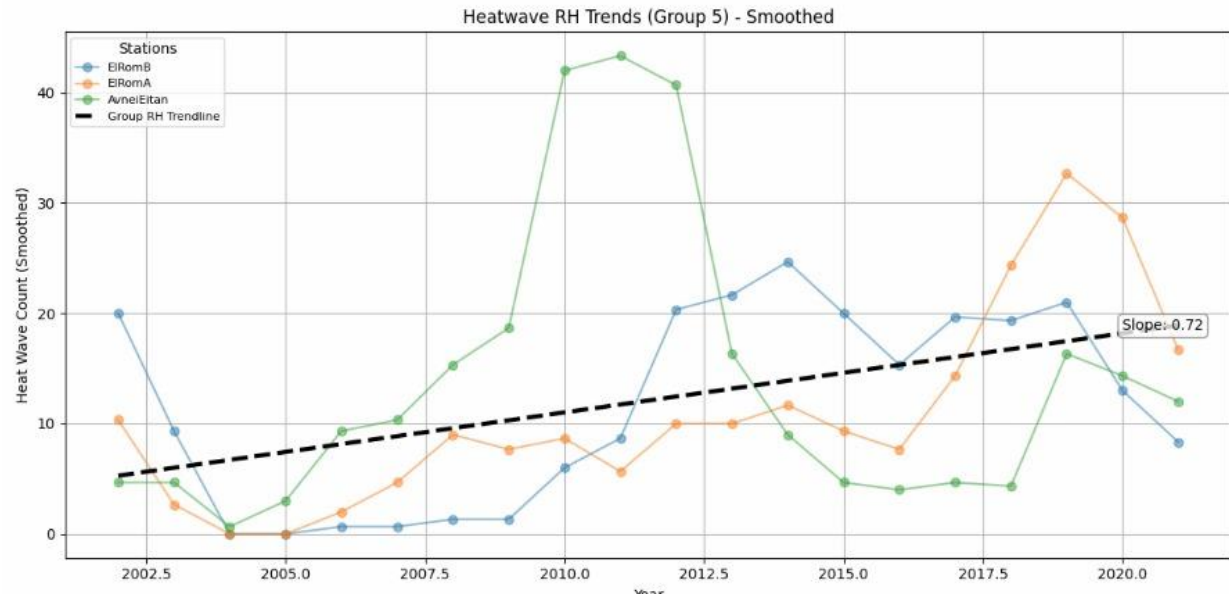
checking H1: group1 < group2
U-statistic: 39409115.5
P-value: 0.02293805703146752
Reject the null hypothesis: Group 1 has smaller values than Group 2.

checking H1: group1 > group2
U-statistic: 39409115.5
P-value: 0.977062098415144
Fail to reject the null hypothesis: No significant difference.
```

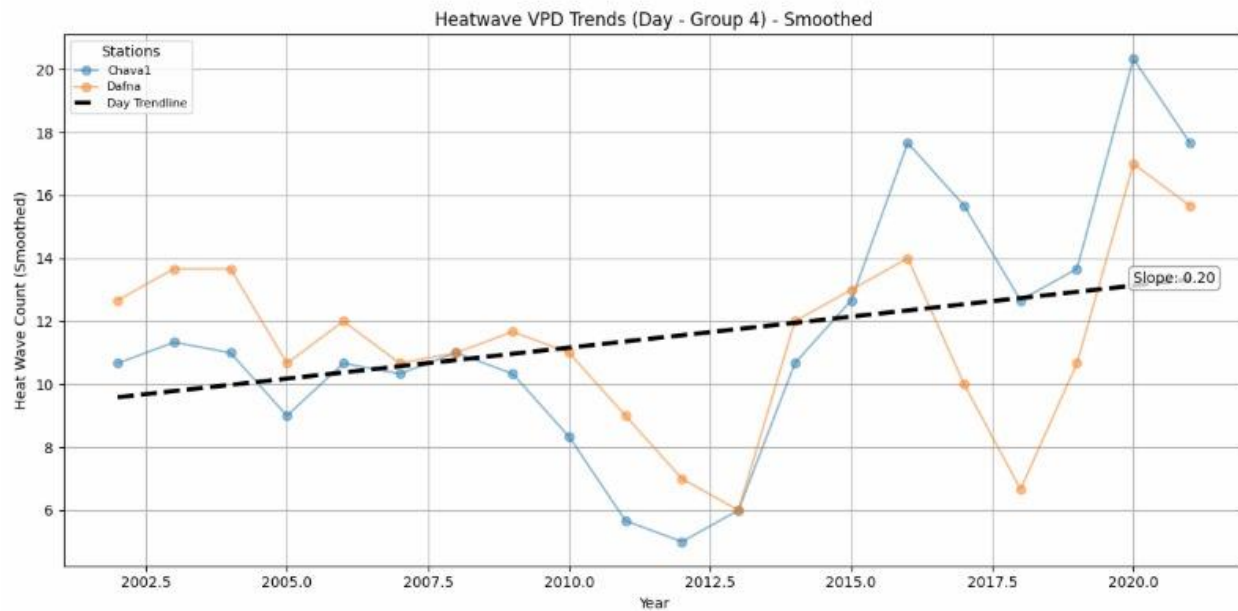
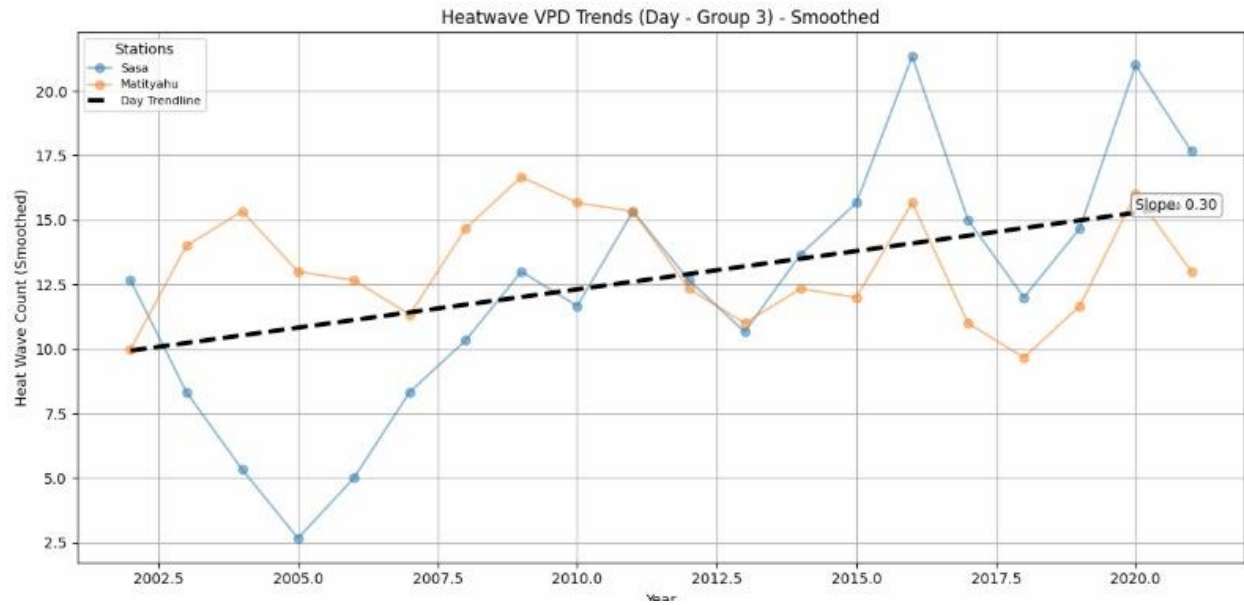
כמות ימים תחת גלי חום בהתחשבות בטמפרטורה יום/לילה

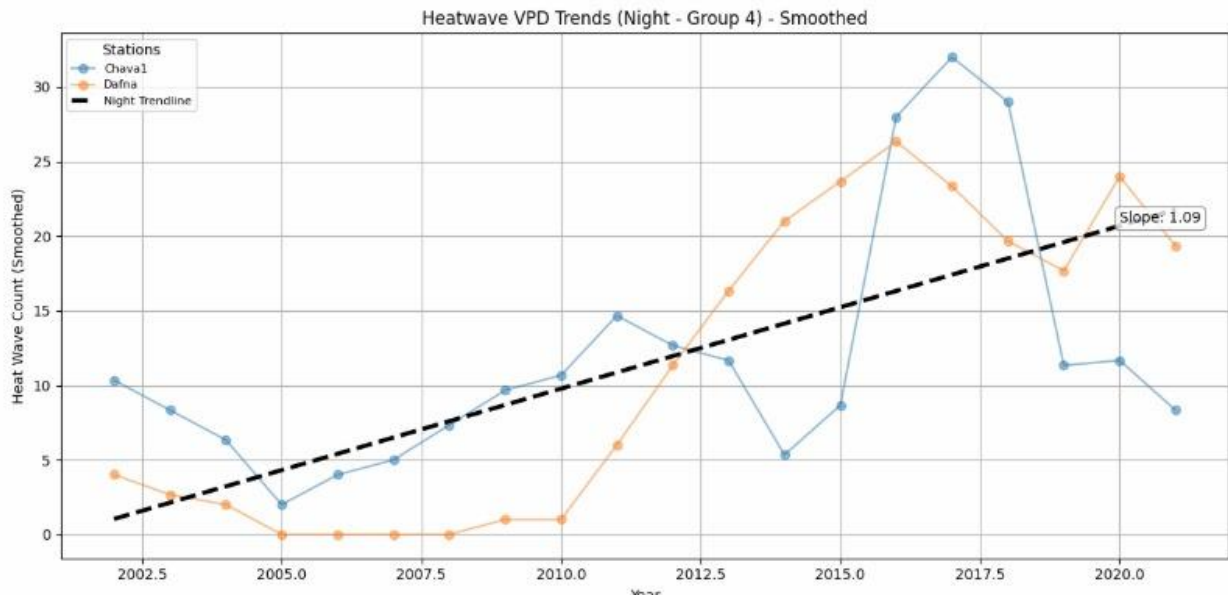
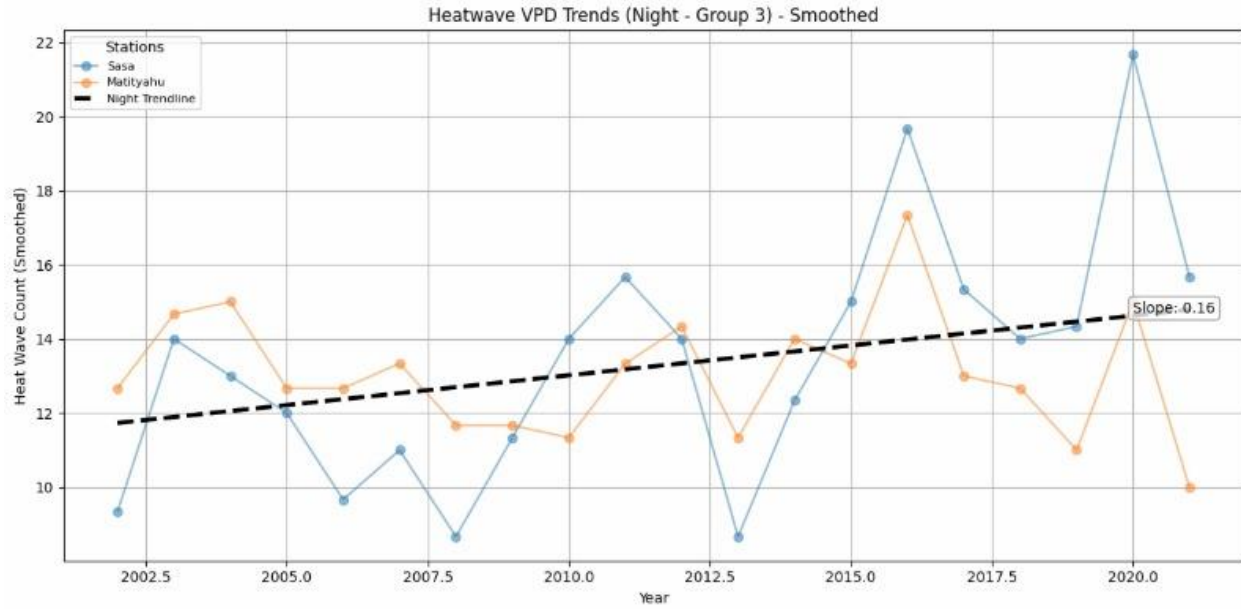


כמות ימים תחת גלי חום בהתחשבות בטמפרטורה ובלחות יחסית

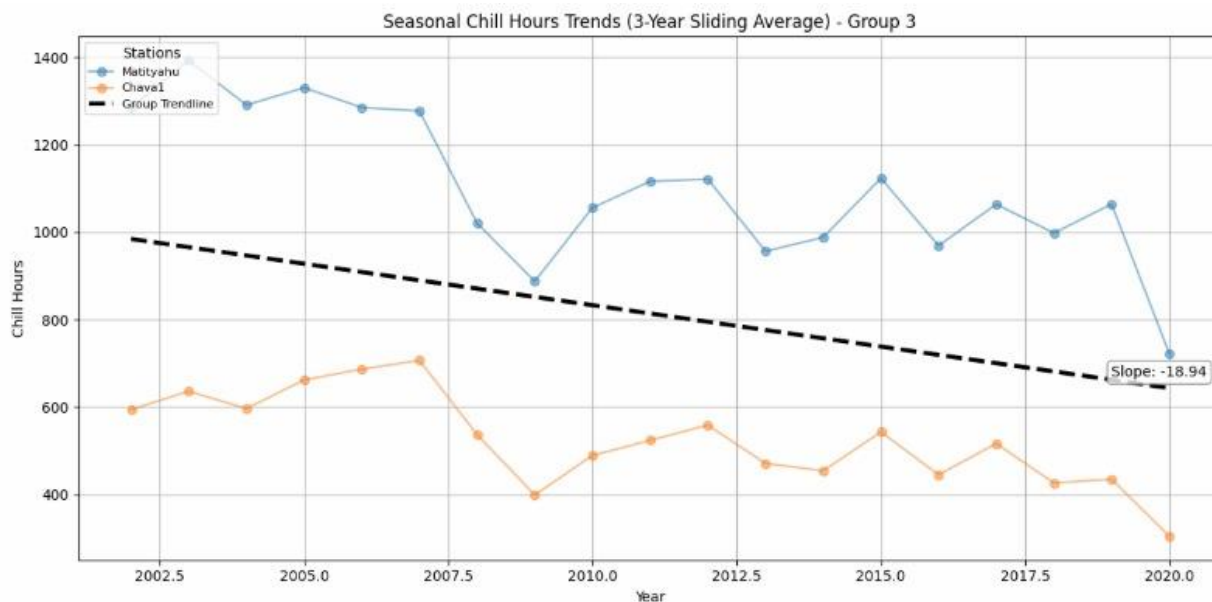


כמות ימים תחת גלי חום בהתחשבות בטמפרטורה ובגירעון לחץ אדים (VPD) יום/לילה

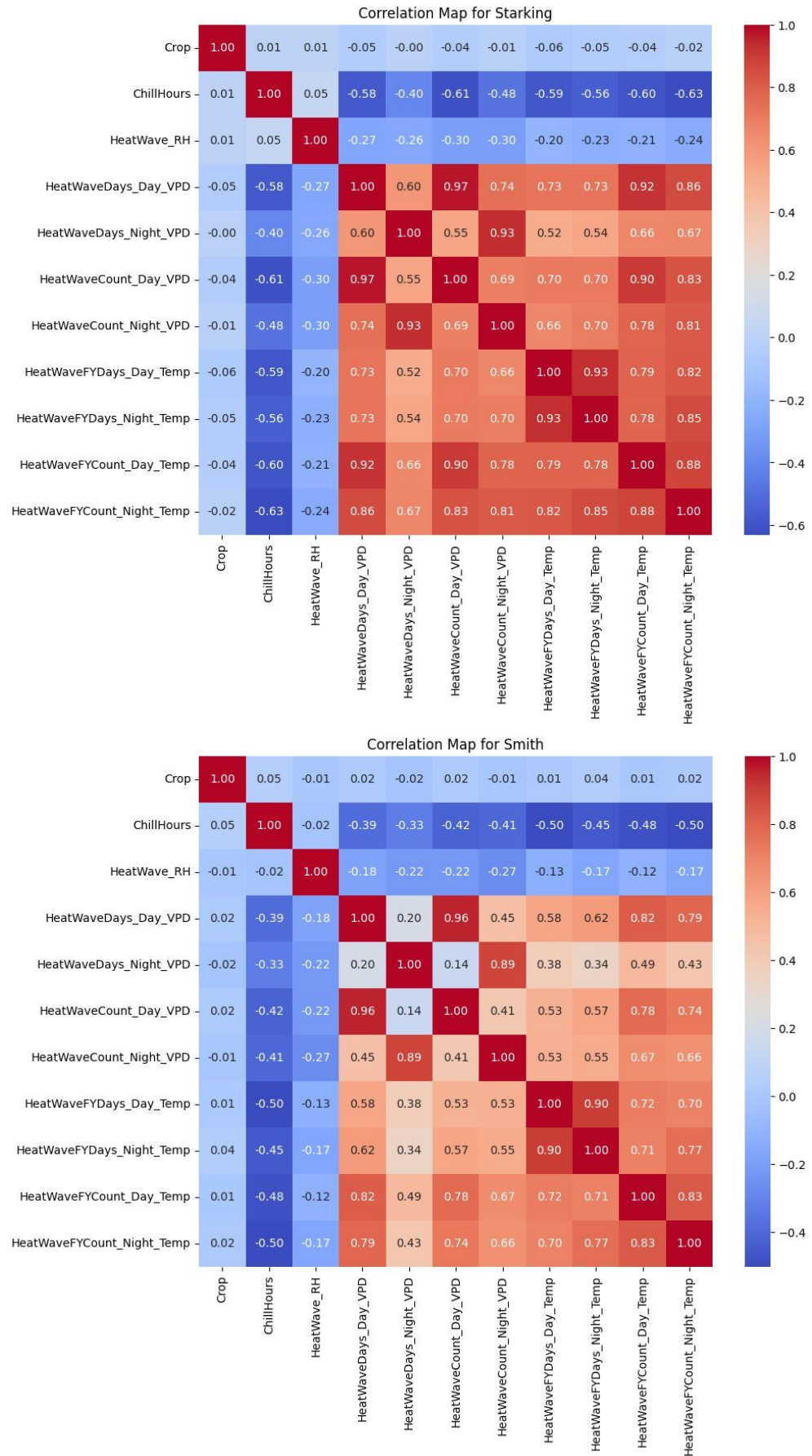


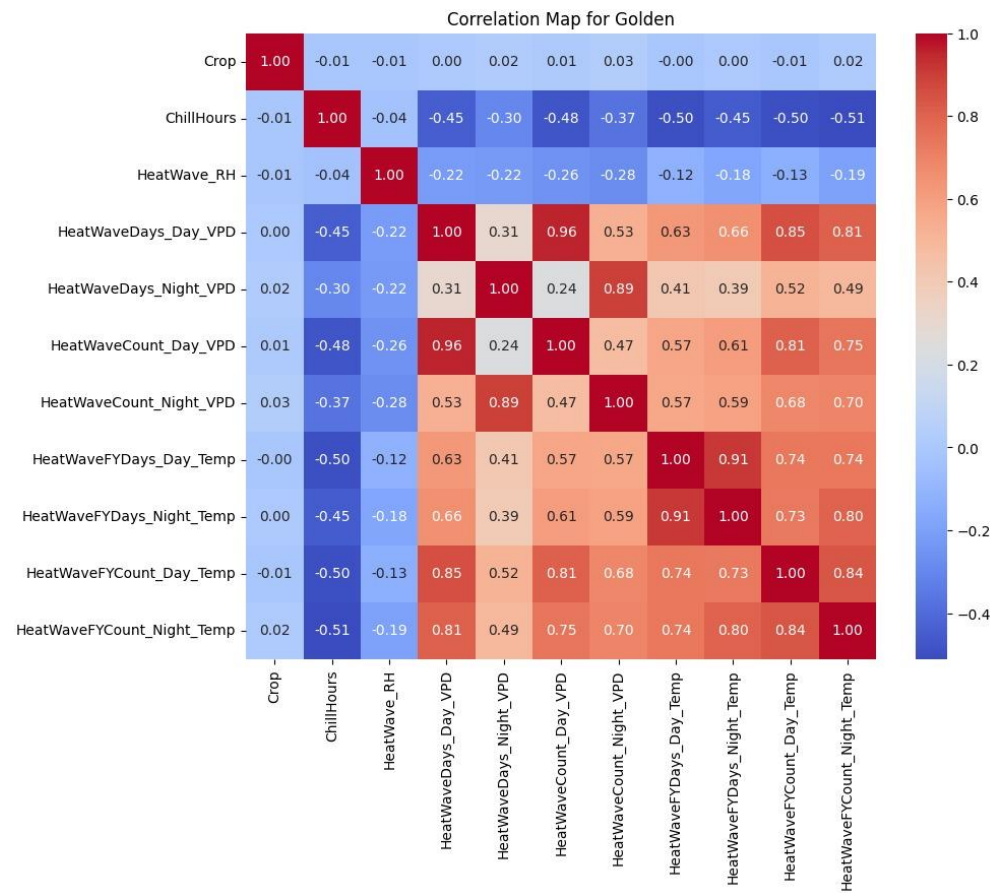
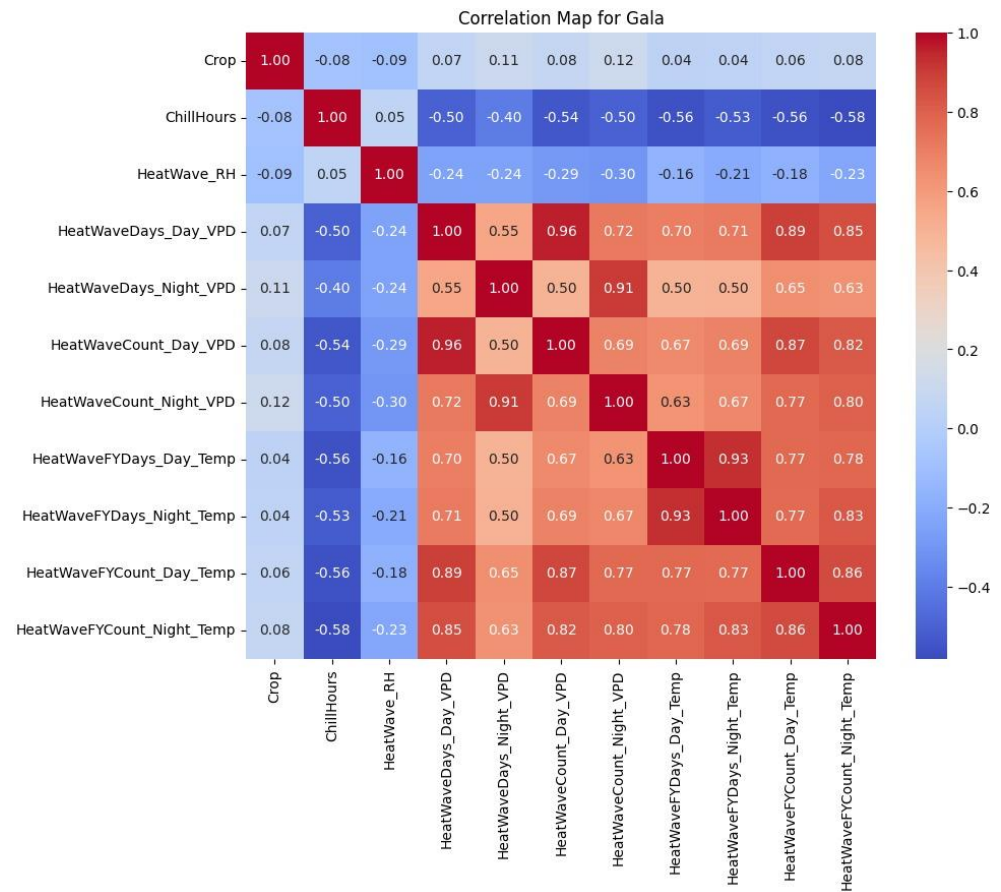


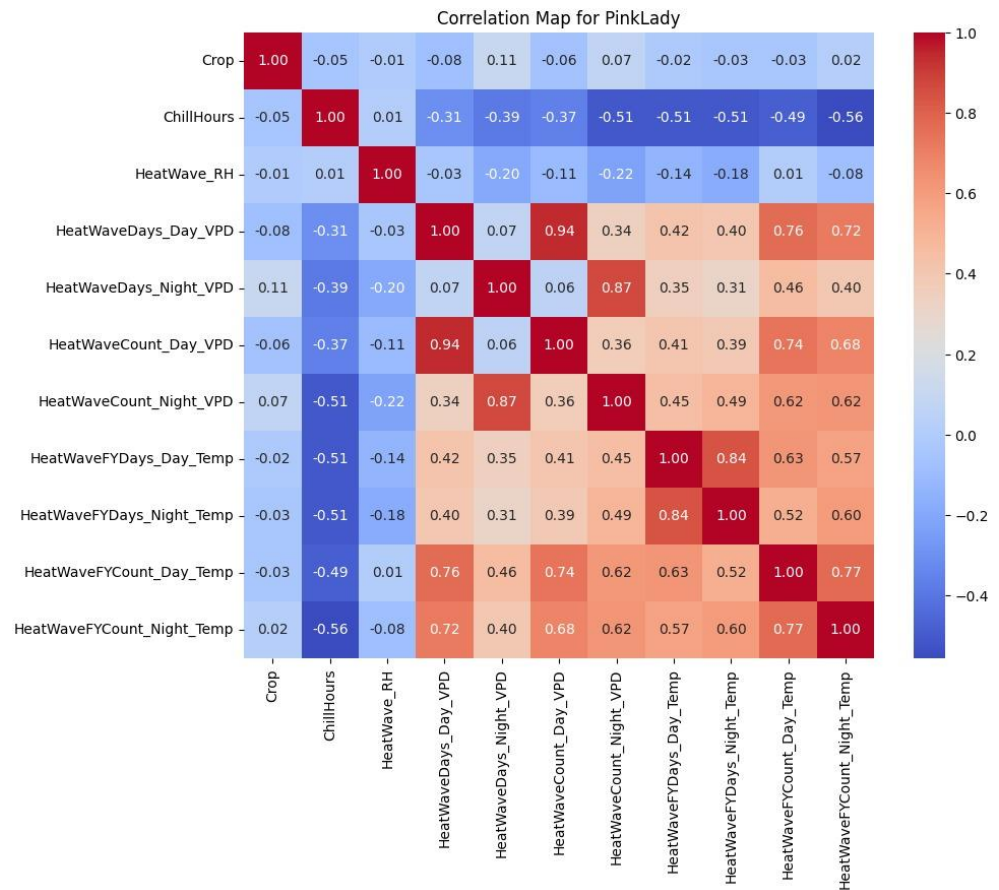
כמות שעות קור



מפות קורלציה בין זנים שונים



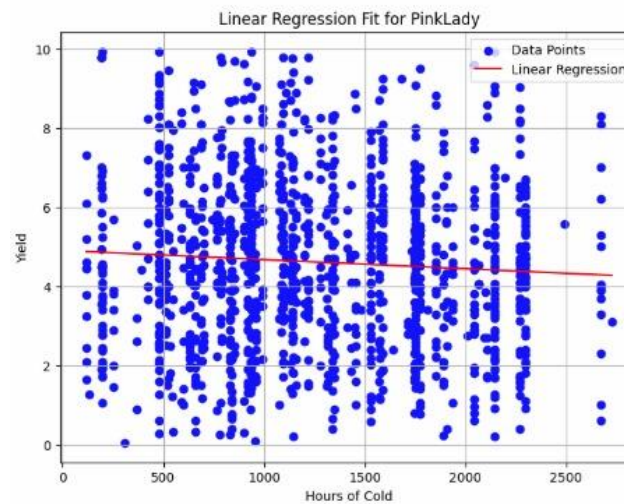
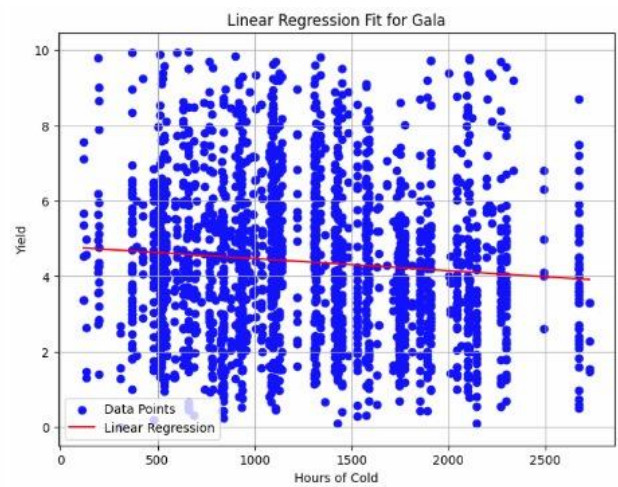
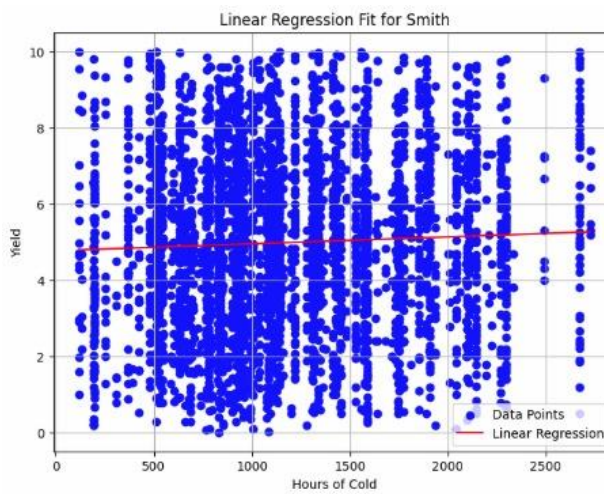
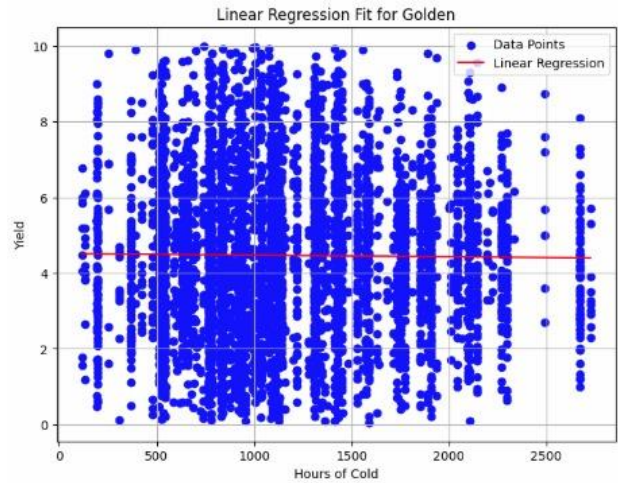
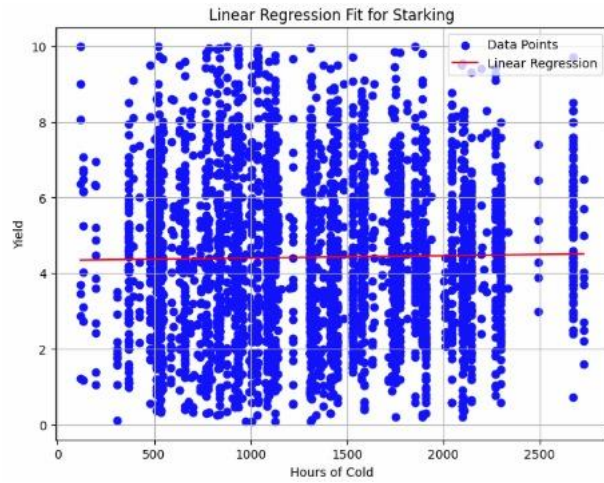




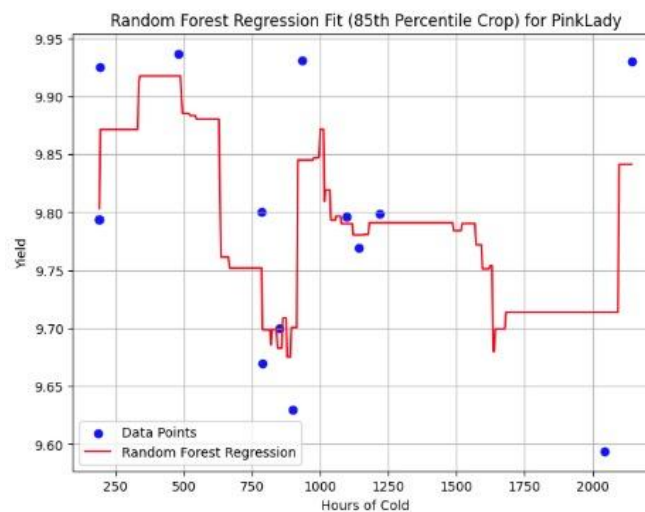
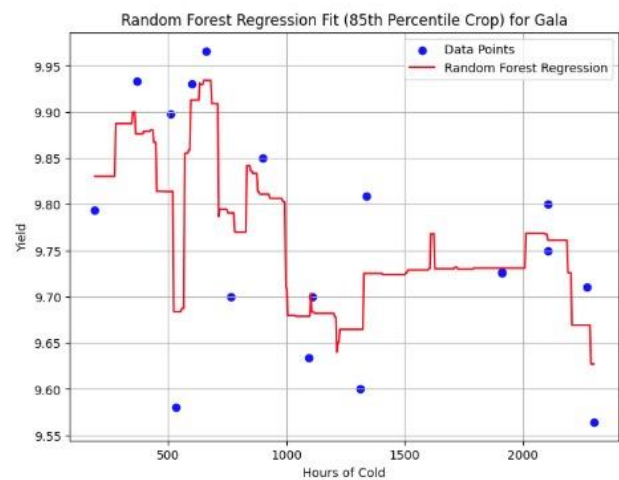
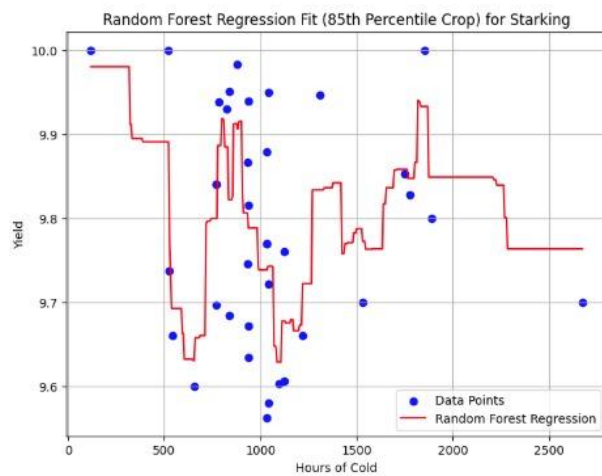
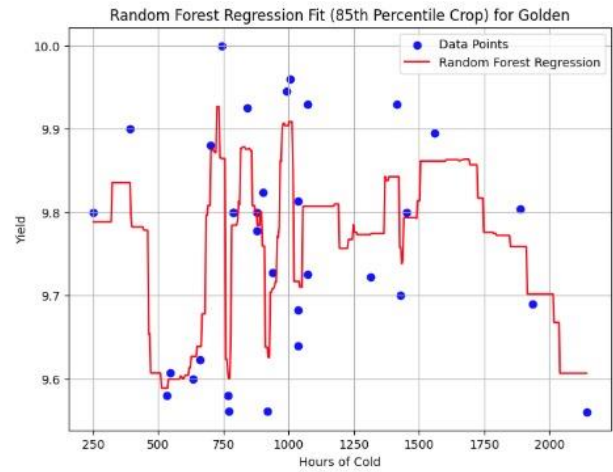
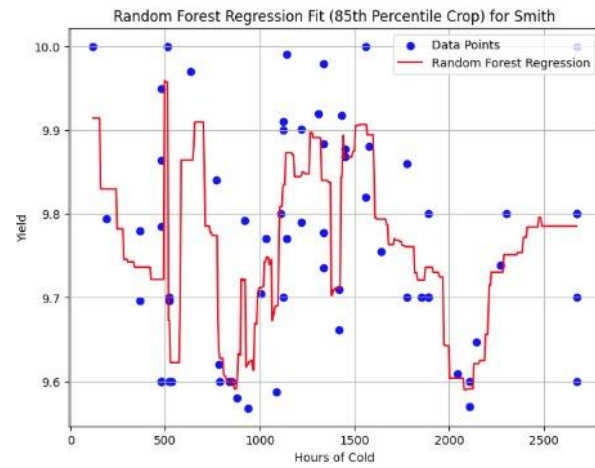
• לאחר ביצוע מבחן IQR קיבלנו - סף עליון 11.185 + סף תחתון שלילי, IQR 3.27.

בהתייעצות עם ד"ר יעל גרינדוולד הוחלט לקבוע את הסף התחתון לערך 0.

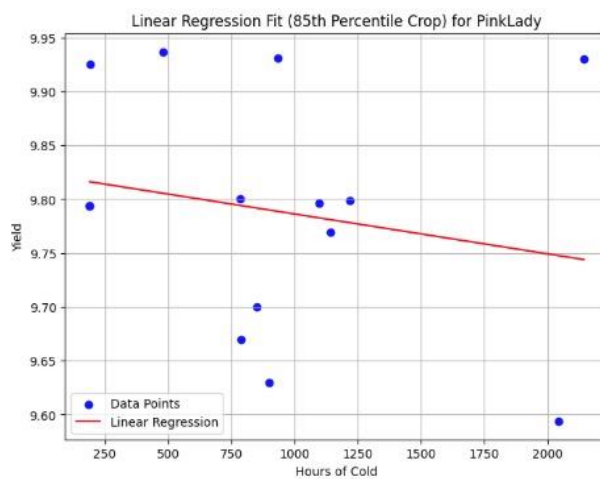
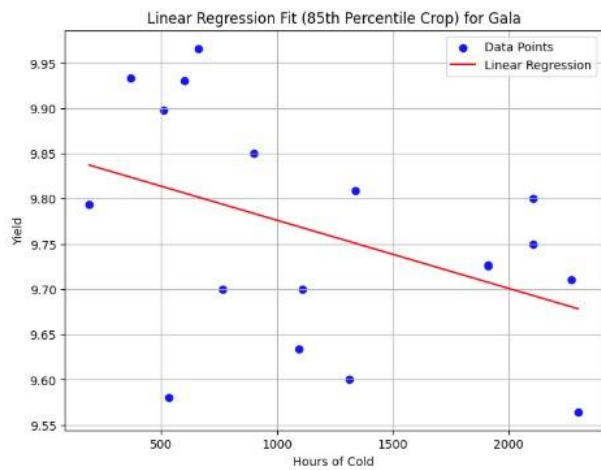
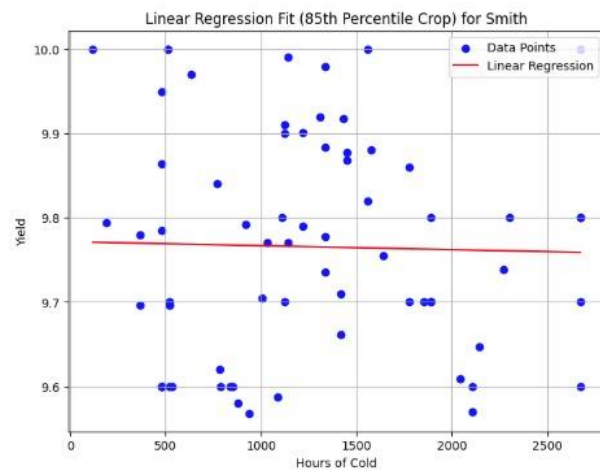
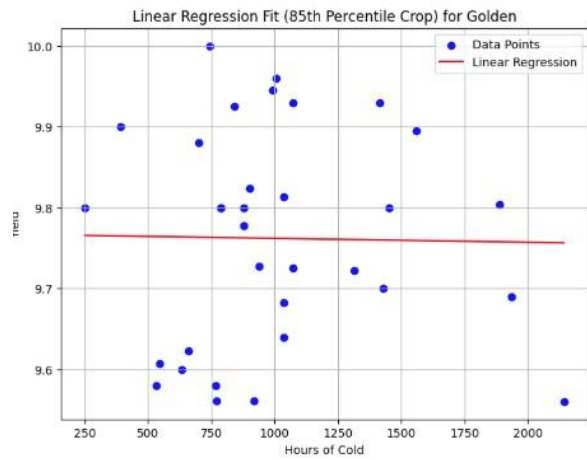
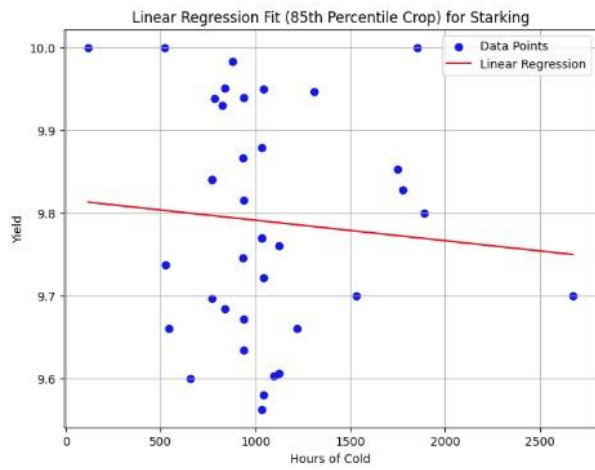
רגרסיה לינארית מותאמת ל 5 זנים: כמות יבול לפי טון לדונם, כמות שעות קור לפי שעה



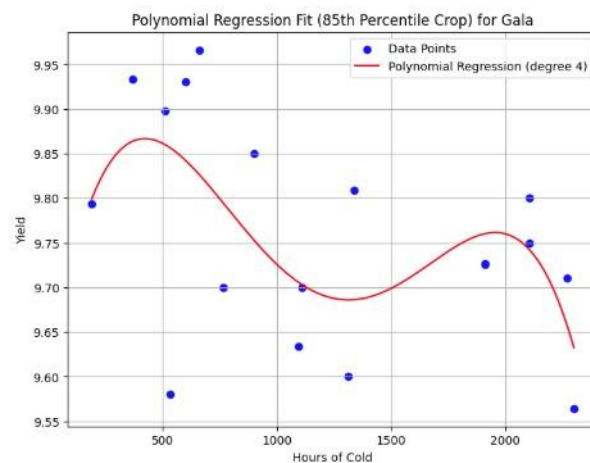
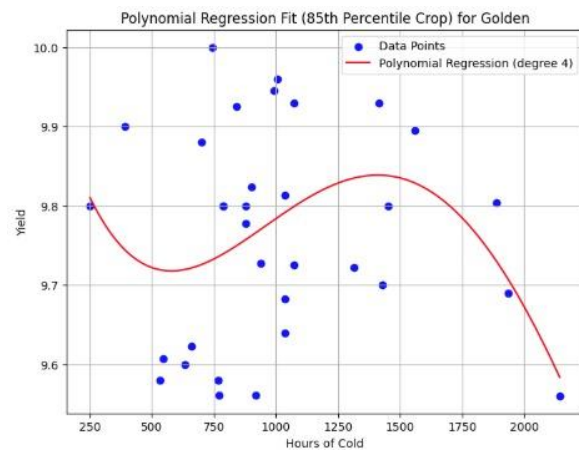
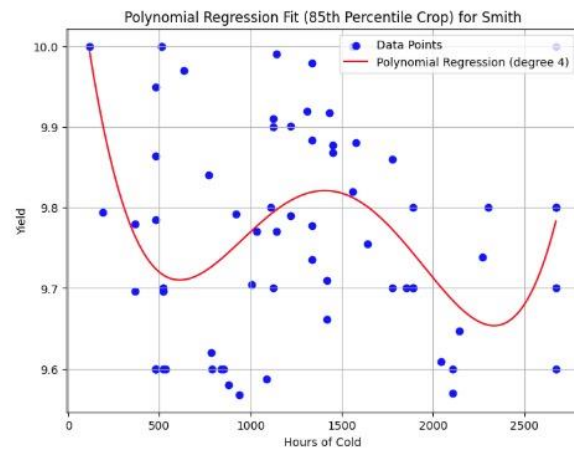
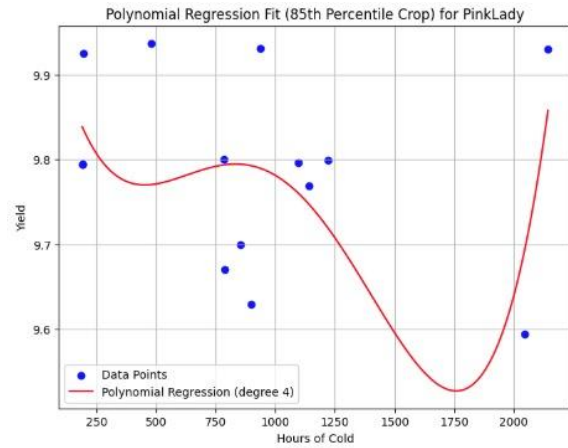
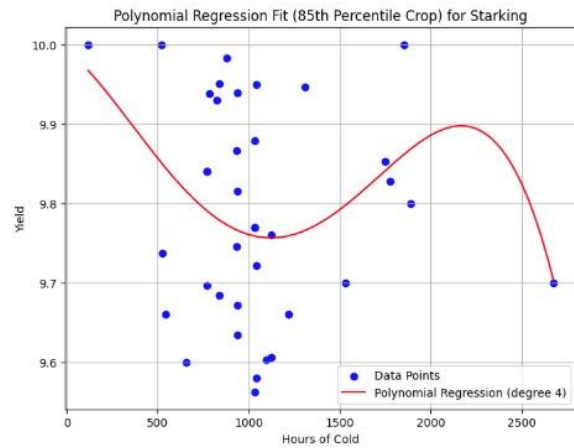
יער רנדומי מותאם ל 50 זנים: כמות יבול לפי טון לדונם, לפי אחוזון ה 85



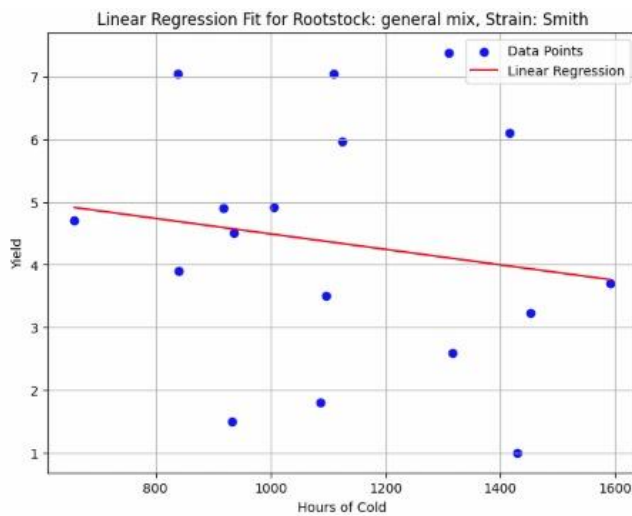
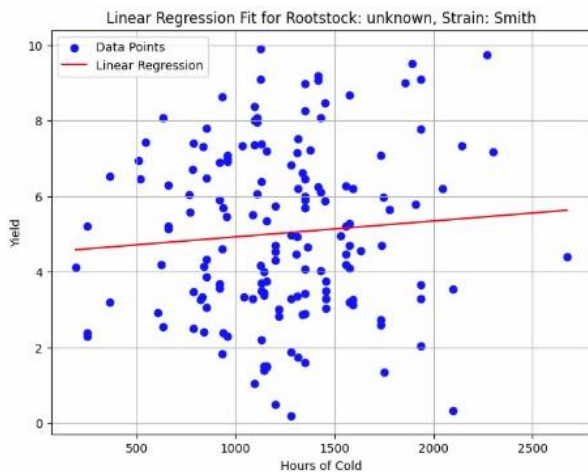
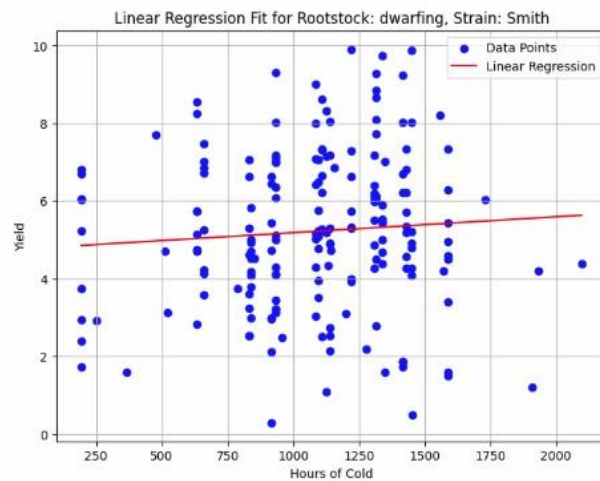
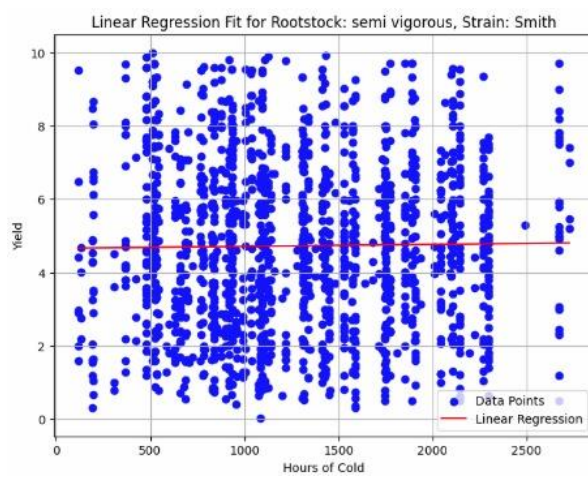
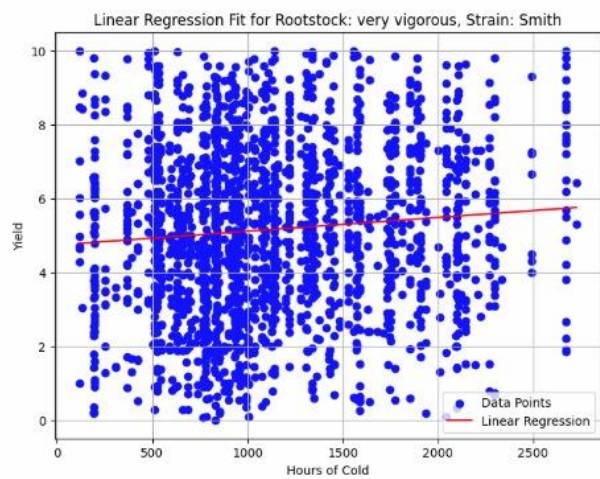
רגרסיה לינארית מותאמת ל-5 זנים: כמות יבול לפי טון לדונם, לפי אחוזון ה-85



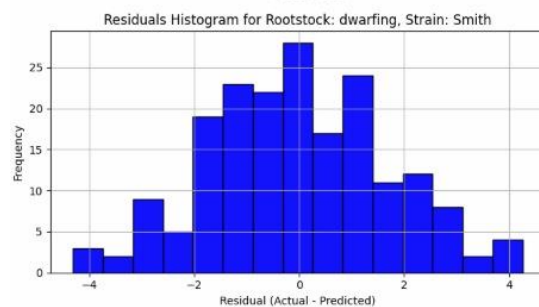
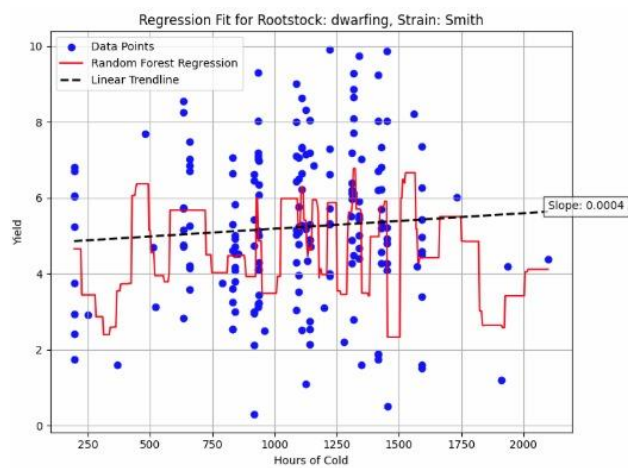
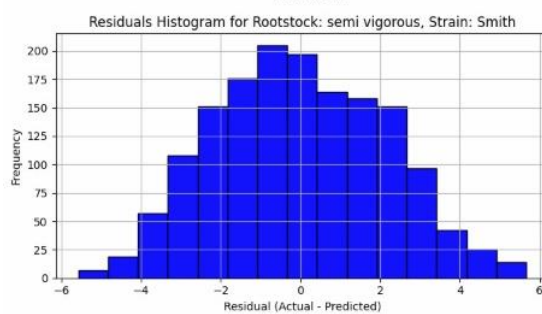
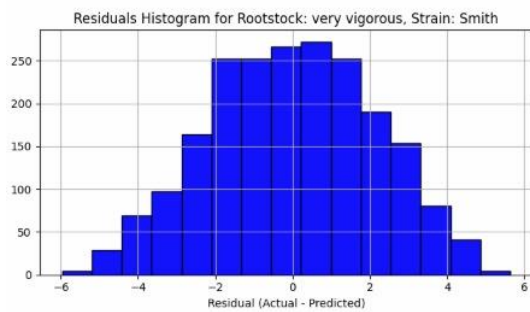
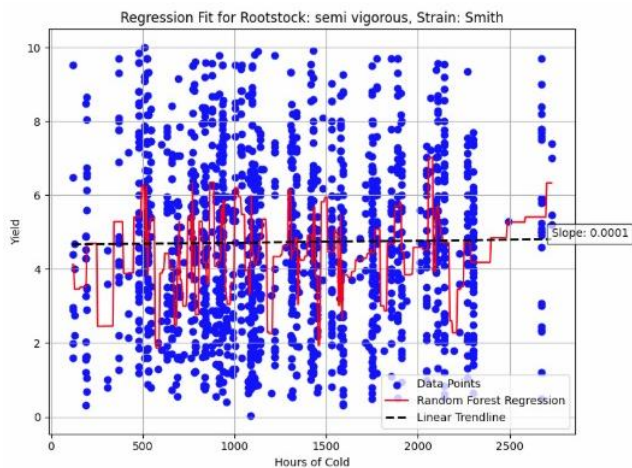
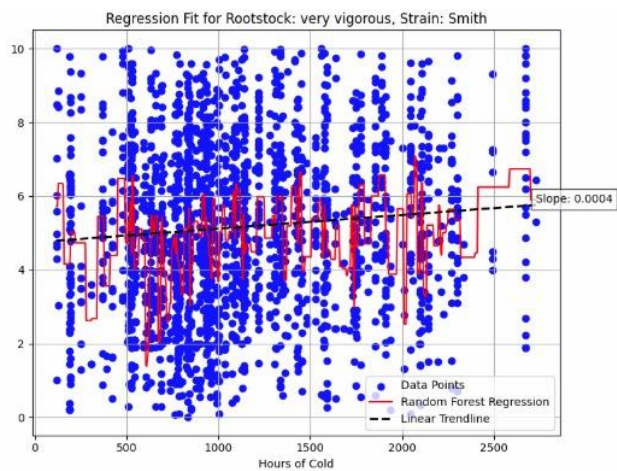
רגרסיה פולינומאלית מותאמת ל-5 זנים: כמות יבול לפי טון לדונם, לפי אחוזן ה-85

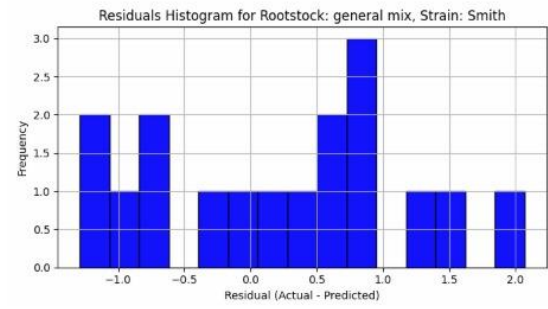
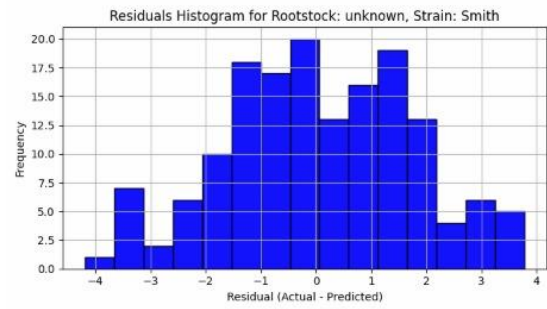
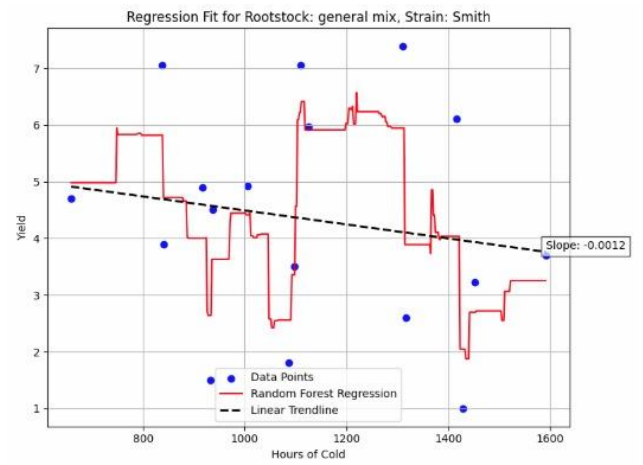
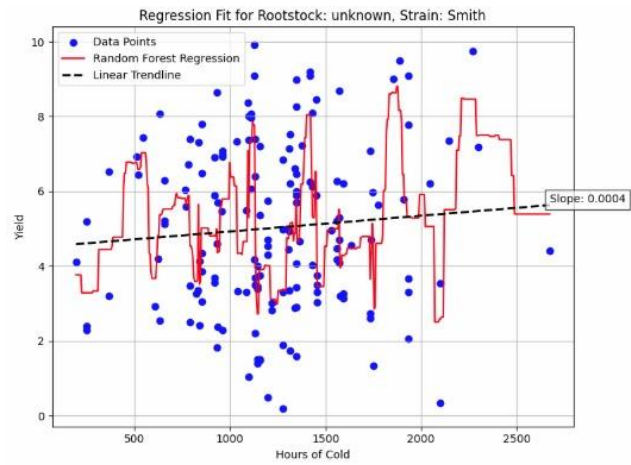


ניתוח רגרסיה לינארית של כמות היבול (טון לדונם) לפי שעות קור עבור זן סמית', לפי סוג כנה

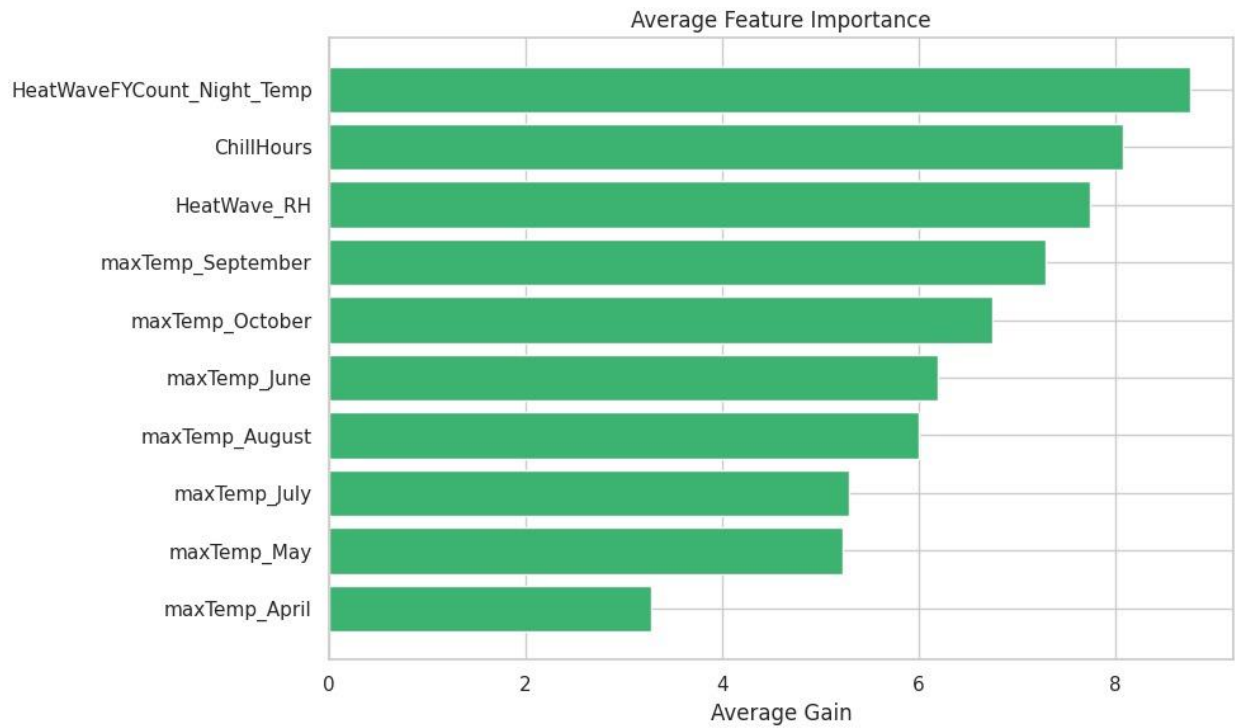


יער רנדומי לחיזוי כמות יבול (טון לדונם) עבור זן סמית' לפי סוג קנה





ממוצע חשיבות הפיצ'רים במודלים המצליחים ביותר



Average Feature Importance (only successful models):

HeatWaveFYCount_Night_Temp = 8.759

ChillHours = 8.080

HeatWave_RH = 7.740

maxTemp_September = 7.288

maxTemp_October = 6.745

maxTemp_June = 6.190

maxTemp_August = 5.994

maxTemp_July = 5.283

maxTemp_May = 5.220

maxTemp_April = 3.273

תוצאות מודלים בהם השתמשנו

לכל מודל חושבו מדדי ביצועים כמו RMSE ו-STD של שגיאות החיזוי. מהטבלה ניתן לראות כי מודל XGBOOST עם בדיקת פר זן עבור יונתן הציג RMSE של 2.244 ו-STD של 2.497. מודל XGBOOST נוסף, שבוצעה בו בדיקת פר זן + פר כנה, עבור תערובת כללית וזן סמית' השיג את הביצועים הטובים ביותר עם RMSE נמוך של 1.364 ו-STD של 2.071.

מודל LSTM בבדיקת חלקות נבחרות וזנים עם הזן יונתן הציג RMSE של 2.316 ו-STD של 2.497. מודל Random Forest בבדיקת חלוקה לכנות וזנים נבחרים עבור הזן גולדן ותערובת כנות כללית קיבל RMSE של 2.271 ו-STD של 2.532.

ערכים אלו מצביעים על כך שהמודלים הצליחו להסביר חלק מהשונות, אך קיימת שונות מוסברת שאינה נתפסת היטב במקרים של זנים מסוימים. מודלים מבוססי יערות רנדומים הציגו ביצועים טובים יותר יחסית לגרסאות לינאריות.

מודל	סוג בדיקה	עבור הזן	RMSE	TEST STD
XGBOOST	פר זן	יונתן	2.244	2.497
XGBOOST	פר זן + פר כנה	סמית' + תערובת כנות כללית	1.364	2.071
LSTM	חלוקה לחלקות וזנים	יונתן	2.316	2.497
Random Forrest	חלוקה לכנות ולזנים	גולדן + תערובת כנות כללית	2.271	2.532

אם ה- RMSE קרוב ל-STD - המודל אינו מדויק.

אם ה- RMSE משמעותית קטן מה-STD המודל מדויק וטוב! במחקר שלנו, המודלים אינם מדויקים מספיק.

מסקנות

- לא קיים מודל אחיד לחיזוי מדויק של היבול עבור כל זני התפוחים – יש להתאים את המודל לזן הספציפי.
- לכנה השפעה מהותית על כמות היבול, ויש להתחשב בה כגורם משמעותי בניתוח הנתונים.
- מומלץ לבחון פרמטרים נוספים שעשויים להשפיע על יבול התפוחים, במטרה לשפר את הדיוק ולהעמיק את ההבנה של המערכת החקלאית.
- לא נמצא קשר ישיר, נמצא קשר עקיף בין היבול לבין תופעות מזג אוויר שונות לכל זן/אזור בצורה שונה.
- במפות הקורלציה נצפו הבדלים מינוריים בין הזנים השונים.
- תופעות אקלימיות קיצוניות, כמו גלי חום וירידה במנות קור, הופכות נפוצות יותר, אך מגמת העלייה בהן אינה לינארית אלא תנודתית.
- מגמה זו מחייבת חשיבה עתידית ותכנון מערכות חקלאיות עמידות לשינויים בלתי צפויים במזג האוויר.
- הממצאים מדגישים את הצורך בשימוש במודלים מתקדמים יותר, שיאפשרו חיזוי מדויק יותר של כמות היבול.
- קיים צורך בהמשך איסוף נתונים עתידיים ומגוונים יותר, שיסייעו בבניית מודלים מדויקים ואמינים יותר לחיזוי היבול.

רעיונות להמשך

- לפני יצירת הפיצ'רים, להשתמש ברשת נירונים שמעוברים אליה הנתונים הגולמיים, כך שהיא תבצע באופן אוטומטי יצירת פיצ'רים בעזרת הגדרות שהוגדרו מראש (כגון סינון נתונים, קביעת ספים, השלמת נתונים ועוד מהשיטות שהוזכרו לעיל).
- לבחון שילוב משתנים ומאפיינים סביבתיים נוספים בהתאם לדרישות המחקר והידע המצטבר.
- לפתח מודל ייעודי עבור חקלאים, שיאפשר להם להזין נתונים בזמן אמת ולקבל תובנות והמלצות מיידיות לשיפור קבלת ההחלטות.

קישורים:

מקור מידע לכתיבת המבוא:

-<https://www.statista.com/statistics/264001/worldwide-production-of-fruit-by-variety/#:~:text=Fruit%20crops%20are%20a%20major,are%20grown%20on%20thick%20vines>

כתבות:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192304000632>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847208000142>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423811003694>

<https://academic.oup.com/jxb/article/67/9/2875/2877491>

ביבליוגרפיה:

Cesaraccio, C., Spano, D., Snyder, R. L., & Duce, P. (2004). Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126(1-2), 1-13.

Alburquerque, N., García-Montiel, F., Carrillo, A., & Burgos, L. (2008). Chilling and heat requirements of sweet cherry cultivars and the relationship between altitude and the probability of satisfying the chill requirements. *Environmental and Experimental Botany*, 64(2), 162-170.

Campoy, J. A., Ruiz, D., & Egea, J. (2011). Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: a review. *Scientia Horticulturae*, 130(2), 357-372.

Allard, A., Bink, M. C., Martinez, S., Kelner, J. J., Legave, J. M., Di Guardo, M., ... & Costes, E. (2016). Detecting QTLs and putative candidate genes involved in budbreak and flowering time in an apple multiparental population. *Journal of experimental botany*, 67(9), 2875-2888.