**מעבדה במודלים אקולוגיים - סמסטר אביב התשפ"ה**

**תרגיל בית 2** -– **עבודה בצוותי העבודה**

מועד הגשה: 3.6.2025

יש למנות מהנדס.ת מערכת בכל צוות, אשר יהיה אחראי על הגדרת הדרישות ההנדסיות, ועל ניהול הצוות. נא לרשום את שם הסטודנט.ית בתרגיל זה. על מהנדס.ת המערכת לכתוב כיצד נעשתה חלוקת העבודה מול הצוות, מה היו המשימות של כל חבר צוות, האם היה ממשק בין חברי הצוות, והאם המשימות מולאו:

**מהנדס מערכת:**

**שי ביסטריצקי**   
שי מהנדס מערכת, היה אחראי על תיאום הפעולות בין חברי הצוות, הגדיר את הדרישות ההנדסיות הכלליות של הפרויקט, ווידא עמידה בזמנים מול הדרישות. הוא גם ריכז את הסיכומים והגיש את העבודה הסופית למערכת.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **שם חבר הצוות** | **משימות שהוקצו** | **משימות שהושלמו** |
| רון בנדל | - הגדרת דרישות ההנדסה והמערכת - חלק א: תיאור המערכת, מודל Odum - חלק ג: ביצוע PCA, פרשנות וגרפים - עריכת המסמך הסופי | - הושלמו במלואן כולל הכנת גרף biplot והסבר על צירים עיקריים |
| שי ביסטרצקי | - חלק ב: ניסוח השערות והגדרת משתנים - חלק ד: פיתוח מודל רגרסיה וסימולציה - איסוף מקורות אקדמיים וכתיבת הסיכום המדעי | הושלמו במלואן כולל יישום רגרסיה מרובת משתנים וביצוע סימולציה בקולאב |

### המשימה

#### חלק א: הגדרת מערכת אקולוגית (15%)

1. בחרו מערכת אקולוגית מוגדרת , על בסיס הנתונים שבחרתם
2. זהו את הרכיבים העיקריים של המערכת לפי מודל Odum:
   * רכיבים ביוטיים (מינים עיקריים)
   * רכיבים אביוטיים (גורמים פיזיקליים וכימיים)
   * מקורות אנרגיה
   * מעגלי חומרים (לפחות שניים)
   * קשרים ומשובים בין הרכיבים

#### חלק ב: ניסוח השערות והגדרת משתנים (20%)

1. נסחו לפחות שתי השערות מחקר לגבי דינמיקה מרחבית במערכת האקולוגית שבחרתם
2. הגדירו בצורה מדויקת את המשתנים הבאים:
   * משתנים תלויים (לפחות 2)
   * משתנים בלתי תלויים (לפחות 5)
   * משתנים מתערבים שיש ביכולתכם לבקר (לפחות 2)
3. הסבירו את הקשרים המשוערים בין המשתנים. רישמו השערות (השערת אפס, השערות נוספות).

#### חלק ג: ניתוח רב-משתני באמצעות PCA (15%)

1. תכננו שימוש בשיטת Principal Component Analysis (PCA) על המשתנים שהגדרתם:
   * הסבירו מדוע PCA מתאים לניתוח הנתונים במחקר שלכם
   * פרטו אילו משתנים ייכללו בניתוח ה-PCA
   * הציגו כיצד תפרשו את הרכיבים העיקריים (Principal Components)
2. תכננו ויזואליזציה של תוצאות ה-PCA:
   * גרף biplot של שני הרכיבים העיקריים הראשונים
   * הסבר כיצד תשתמשו בתוצאות לצמצום ממדים והבנת יחסים בין משתנים

#### חלק ד: פיתוח מודל סטטיסטי-מרחבי (30%)

1. פתחו מודל סטטיסטי שמתאר את הקשרים בין המשתנים שהגדרתם, בהתבסס גם על תוצאות ה-PCA
2. שלבו במודל לפחות אחת מהשיטות הבאות:
   * מודל דמוי Cellular Automata בהשראת Game of Life המתאר התפשטות או דינמיקה מרחבית
   * שימוש בטכניקת Kriging לניתוח או חיזוי מרחבי של אחד המשתנים על בסיס נתונים מדגמיים
   * שיטה אחרת שיכולה לדעתכם להסביר את הנתונים
3. הסבירו (בפסקה) כיצד המודל מבטא את:
   * הדינמיקה המרחבית של המערכת
   * השפעת הרכיבים העיקריים שזוהו ב-PCA על התהליכים האקולוגיים
   * יכולת חיזוי של תופעות אקולוגיות במרחב

#### חלק ה: סימולציה והדמיה (20%)

1. יישמו את המודל המרחבי שפיתחתם:
   * כתיבת קוד בקולאב
   * יצירת דשבורד הממחיש את הנתונים
2. הציגו לפחות שלושה תרחישים שונים של הסימולציה:
   * תרחיש בסיס
   * תרחיש מערכת תחת לחץ/הפרעה
   * תרחיש מערכת בתהליך שיקום/התאוששות
3. נתחו את תוצאות הסימולציה והסיקו מסקנות לגבי:
   * השערות המחקר שניסחתם
   * המשמעות האקולוגית של הרכיבים העיקריים שזוהו ב-PCA
   * דפוסים מרחביים שזוהו באמצעות הטכניקות המרחביות

מקורות: צרפו לפחות 5 מקורות אקדמיים רלוונטיים.

העזרות בכלי GenAI: ציינו אם נעזרתם במהלך העבודה בכלי GenAI, לאיזה צורך. רשמו פרומפטים שנתתם לכלי.

הנחיות:

1. יש להגיש את התרגיל בצוותים, בתיקיית ה –GIT שלכם (צרפו קישור למחברת, וודאו שהתיקייה והמחברת ציבוריות), וכן בתיקייית התרגיל ב moodle
2. כותרתו של הקובץ תהיה HW2\_TEAMNAME
3. שימו לב כי כל העבודות חייבות להיות שונות זו מזו. עבודות שייראו דומות ייפסלו ויינתן עליהן ציון 0

**[קישור לאתר](https://laboratory-in-ecosystems-git-main-ron-bendels-projects.vercel.app/)**

[**קישור לגיט**](https://github.com/ronben17/Laboratory-in-Ecosystems)

מגישים :

רון בנדל 207285099

שי ביסטריצקי 206622086

**חלק א :**

**הגדרת המערכת האקולוגית**

**1) מערכת אקולוגית מוגדרת:**

המערכת האקולוגית שבחרנו היא:

מערכת גידול מקומית ומבוקרת של צמח בזיליקום בעציץ, הכוללת גורמים ביוטיים (הצמח עצמו), גורמים א-ביוטיים (טמפרטורה, לחות, מים), וכן חיישנים(טמפרטורה,לחות אדמה ולחות אוויר) ומצלמה שמודדים את הצמח בזמן אמת ומאפשרים ניטור וקבלת אינפורמציה על מצב בריאות הבזיליקום בעזרת מודל AI .

מדובר במערכת **מוקטנת אך שלמה**, המייצגת את היחסים בין אורגניזם לצרכיו הסביבתיים, בדומה למערכת אקולוגית חקלאית או ביתית.

**רכיבי המערכת על פי מודל Odum**

**רכיבים ביוטיים:**

1. **המין העיקרי:** צמח בזיליקום היצרן הביולוגי היחיד במערכת.
2. **המין המשני**: ישנם מזיקים כמו תולעים חרקים אשר אוכלים את הצמח **.**

**רכיבים א-ביוטיים:**

**1)** טמפרטורת האוויר

**2)** לחות יחסית באוויר

**3)** לחות הקרקע

**4)** חשיפה לאור (ישיר/עקיף)

**5)** כמות הקרינה של השמש

**6)** הרכב הקרקע ועציץ

**7)** מים מהשקיה

**מקורות אנרגיה:**

בגלל שמדובר בצמח מקור האנרגיה הראשי הוא אנרגיית השמש (פוטוסינתזה). במידה והעציץ נמצא בתוך מבנה מקור האור יכול להיות גם אור מלאכותי .

**מעגלי חומרים :**

**מעגל הפחמן:**הצמח קולט פחמן דו-חמצני מהאוויר באמצעות פוטוסינתזה ומייצר חומר אורגני (סוכרים) שהם המזון של הצמח , ובכך מאחסן אנרגיה.

**מעגל המים:**מים ניתנים מהשקיה => נספגים מהשורשים => חלקם משמשים לבניית תאים => היתר מתאדים דרך העלים (טרנספירציה).  
המים משפיעים גם על טמפרטורת הצמח והקרקע שהם גורם קריטי בבריאות וגידול הצמח .

**קשרים ומשובים בין הרכיבים :  
  
(1** טמפרטורת אוויר גבוהה מדי מגבירה אידוי מים שגורמת ליובש בקרקע ואז נגרמת

ירידה של בריאות הצמח.

**(2** לחות עודפת באוויר + השקיית יתר עלולה לגרום לפטריותאו מחלות אחרות

ירידה בבריאות העלים

**3)** עוצמת אור משפיעה על קצב הפוטוסינתזה שמשפיעה על קצב צמיחה.

**4)**בריאות הצמח או משוב של המערכת החכמה משפיעה על הפעולה של בעל

הבזיליקום (השקיה, תגובה), מה שמהווה משוב חוזר למערכת.

**חלק ב:**

**1. השערות מחקר :**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **השערת אפס** | **השערת-מחקר** |
| **1** | אין הבדל מובהק בקצב הצמיחה בין מרכז לשוליים. | לחות בקרקע:  אזורים במרכז העציץ (לחות קרקע גבוהה יותר) יציגו קצב צמיחה יומי גבוה בלפחות 15% לעומת השוליים. |
| **2** | המרחק מהחלון זווית הקרינה ועוצמת האור אינם משפיעים על בריאות העלים. | אור-חום:  צד העציץ הפונה לחלון (אור/טמפ׳ גבוהים) יראה ציון בריאות-עלים נמוך יותר מטווח 22–26 °C. |

**2. הגדרת משתנים:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **סוג משתנה** | **שם המשתנה ותיאורו** | **יחידות / הסבר** |
| תלויים | 1. קצב צמיחה גובה (מ”מ/יום(  .2 ציון בריאות הצמח | 1. מ”מ  2. health score (0-10) |
| בלתי תלויים | .1 לחות-קרקע  .2 טמפרטורת-אוויר   3.לחות-יחסית  4 עוצמת אור  .5 כמות השקת המים | 1. %  2. °C  3. %  4. lux  5. מ"ל |
| מתערבים בשליטה | 1. סוג מצע/אדמה אחיד  2. משטר השקיה קבוע (זמן) | 1. אין  2. שעות |

**4 . קשרים משוערים בין המשתנים:**

1 .ככל שלחות הקרקע עולה, קצב הצמיחה צפוי לעלות, אך רק עד נקודת רוויית-יתר, שלאחריה ש תיתכן האטה. ייבוש הקרקע עלול להפחית את קצב הצמיחה .

2. טמפרטורה שעולה מעל 28 מעלות צלזיוס צפויה לפגוע בבריאות העלים, עקב נזקי חום

3. עוצמת אור בינונית תורמת לצמיחה טובה יותר, אך עודף אור בשילוב עם טמפרטורה גבוהה עלול שדג לפגוע בבריאות הצמח.

4. לחות אוויר גבוהה בשילוב עם קרקע רוויה מגבירים את הסיכון להתפתחות פטריות, מה שעלול שדג להפחית את בריאות הצמח.

**נוסח השערות נוספות**

H₁ אינטראקציה: חום גבוה ביחד עם קרקע יבשה יפחית את הבריאות יותר מכל גורם בנפרד.

H₀ כללית: אין אינטראקציה בין טמפרטורה ולחות-קרקע על בריאות העלים.

**חלק ג :**

**1. תכנון שימוש ב-PCA על המשתנים:**

למה PCA מתאים למחקר:

**צמצום ממדים** – יש לנו שלושה משתני סביבה (טמפרטורה, לחות-אוויר, לחות-קרקע). PCA מאפשר להקטין אותם לשני צירים עיקריים ולשמור על השונות.

**גילוי תלות בין משתנים** – המשתנים עשויים להיות קורלציוניים .

PCA מפריד את הצירוף הליניארי שמסביר את ההבדלים הגדולים ביותר.

**קישור לבריאות הצמח** – צביעת התצפיות לפי Health Score בגרף מאפשרת לראות ישירות אילו תנאי סביבה מקושרים לבריאות טובה או ירודה.

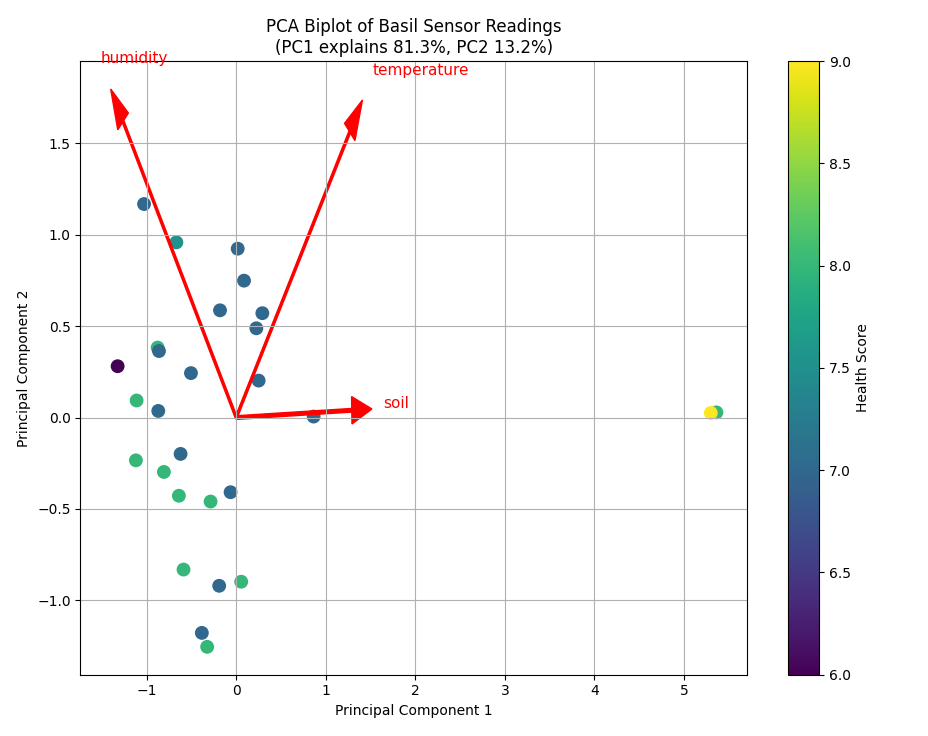
המשתנים הכלולים ב:PCA

1. Air Temperature (°C)
2. Relative Humidity (%)
3. Soil Moisture (%)

פרשנות כללית של רכיבים עיקריים:

|  |  |
| --- | --- |
| קריטריון | תיאור |
| אחוז השונות | אומר כמה מידע כל ציר PC מחזיק.  לדוגמא : ציר שמסביר 70 % חשוב יותר מציר שמסביר 10 %. |
| מקדמי הטעינה | מספר ליד כל משתנה. מספר גדול = המשתנה משפיע הרבה על הציר. סימן + או – קובע לאיזה כיוון דוחף. |
| זוויות בין חצים | - זווית קטנה => המשתנים חיוביים זה עם זה (קורלציה חיובית). - זווית קרובה ל-180° => קורלציה שלילית. - זווית קרובה ל-90° => כמעט ללא קשר. |
| מרחק בין נקודות | נקודות קרובות => תנאים דומים. נקודות רחוקות => תנאים שונים. |

**2.תכנון הוויזואליזציה :**



**תצפיות –**  נקודות בצבעי Viridis לפי Health Score .

**וקטורים אדומים –** כיווני התרומה של כל משתנה . PC1/PC2 מאפשר לראות במבט

אחד את פיזור הקריאות ואת השפעת כל משתנה.

**PC1 &PC2 :**

PC1 = 0.67×temperature − 0.56×humidity + 0.49×soil  
ציר PC1 מסכם מצב חום יבש: טמפרטורה ולחות קרקע גבוהות ולחות אוויר נמוכה.

PC2 = −0.12×temperature + 0.80×humidity + 0.59×soil  
 ציר PC2 מייצג לחות כללית, בעיקר לחות אוויר וקרקע.

**שימוש בתוצאות :**

**צמצום ממדים** – במקום שלושה משתנים, משתמשים ב-PC1 ו-PC2 כקלט אפשרי לאחד מהמודלים :

* clustering לזיהוי קבוצות תנאי סביבה
* KNN וכדומה

**הבנת יחסים בין משתנים :**

1. זווית חץ קטנה בין טמפ׳ ללחות-קרקע => קורלציה חיובית מתונה.

2. חץ לחות-אוויר כמעט מנוגד לשני החיצים => קורלציה שלילית עם טמפ׳ ועם לחות-קרקע.

.3 **גילוי אזורי בריאות –** בגרף רואים שציוני 9 מופיעים כנקודה בודדת בקצה הימני-התחתון (טמפ’ גבוהה, לחות-אוויר נמוכה, קרקע לחה במידה), ציוני 8–8.5 מפוזרים סביב המרכז-ימין (תנאים בינוניים-טובים), ואילו ציוני 6–6.5 מתקבצים דווקא בשמאל-עליון (לחות-אוויר גבוהה יותר), מה שמצביע על פגיעה בבריאות במצבי לחות יתר באוויר.

**חלק ד :**

**.1 פיתוח מודל סטטיסטי שמתאר את הקשרים בין המשתנים:**

בפרויקט זה פותח מודל מסוג רגרסיה מרובת משתנים (Multiple Linear Regression), שנועד לנבא את ציון בריאות הצמח (Health Score) בהתבסס על שלושה משתנים סביבתיים:

* טמפרטורת אוויר
* לחות באוויר
* לחות קרקע

המודל מתבסס גם על תוצאות **PCA (Principal Component Analysis)**, שבוצע כדי לצמצם את שלושת המשתנים לרכיבים עיקריים PC1 ו־PC2. שני רכיבים אלה מייצגים את עיקר השונות בין התצפיות:

* PC1 מתאר בעיקר את ציר “לחות כללית”
* PC2 משקף שינויים בטמפרטורה מול יציבות הקרקע

המודל אומן על תצפיות אמיתיות, והתקבלו ערכי ביצועים:

* Mean Squared Error (MSE): 0.12
* R² Score: -2.58

הגרף (מצורף למטה ) מציג את הפיזור בין ציוני בריאות אמיתיים לבין החיזוי של המודל. הפיזור המוגבל בציונים (רובם סביב 7) וכמות הדטא המזערי השפיע על יכולת החיזוי.

תמונה שמכילה טקסט, צילום מסך, קו, עלילה

תוכן שנוצר על-ידי בינה מלאכותית עשוי להיות שגוי.

**.2 שילוב שיטה מרחבית להסבר הנתונים**

במקום להשתמש ב־Cellular Automata או Kriging (שאינם מתאימים לעציץ אחד ללא חלוקה), שולבה שיטה חלופית שהיא רגרסיה מבוססת זמן שזה אומר שהנתונים נאספים כל 4 שעות, כך שהמודל למעשה מתאר את תגובת הצמח לאורך זמן לתנאים סביבתיים משתנים.

גישה זו מאפשרת לחזות את ציון הבריאות של הצמח במדידה הבאה לפי התנאים הנוכחיים. בשלב הבא ניתן לשלב מידע מהיסטוריית המדידות .

3. **ניתוח תוצאות הסימולציה והסקת מסקנות לגביו**

**דינמיקה מרחבית:** למרות שלא בוצעה חלוקה מרחבית ממשית, המערכת מתארת שינויים דינמיים לאורך זמן — מה שמדמה תהליך מרחבי במימד הזמן.

**השפעת ה־ :PCA** שני הרכיבים העיקריים עזרו לבודד את הגורמים המרכזיים שמשפיעים על בריאות הצמח.

**יכולת חיזוי:** המודל מאפשר התרעה מוקדמת כאשר צפויה ירידה בבריאות הצמח, בהתבסס על שינויים עדכניים בתנאים הסביבתיים.

ה. סימולציה והדמיה:

1. יישום המודל המרחבי:

במסגרת העבודה יישמנו את המודל שפיתחנו באמצעות פלטפורמת Colab ואתר Web אינטראקטיבי. המערכת כוללת:

* כתיבת python שמבצע ניתוח PCA ורגרסיה מרובת משתניםMultiple Linear Regression לצורך חיזוי ציון בריאות הצמח.
* אתר הכולל Dashboard להצגת נתוני המדדים (טמפרטורה, לחות אוויר, לחות קרקע) בגרפים אינטראקטיביים.
* מודול צילום או העלאת תמונה מהמשתמש, אשר נשלחת ל־agent מבוסס GPT שמחזיר ניתוח מילולי של בריאות הצמח והמלצות טיפול.

1. **ניתוח תוצאות הסימולציה:**

**השפעת רכיבי PCA:** הרכיב הראשון (PC1) תופס את רוב השונות ומשקף אינטראקציה בין לחות קרקע וטמפרטורה. רכיב זה קריטי בחיזוי מצב הצמח.

**דפוסים מרחביים-זמניים:** אף שאין חלוקה פיזית בעציץ, מעקב כל 4 שעות מאפשר לזהות שינויים דינמיים לאורך זמן — וזה מהווה תחליף ניתוח מרחבי במסגרת האפשרויות של המערכת.

**הערה חשובה**: בעקבות שיחה עם נעמי, ובהתחשב בכך שהדאטא שנאסף מוגבל נמדדו רק שלושה משתנים בסיסיים וללא חלוקה מרחבית של העציץ והדאטא המוגבל בזמן , בחרנו להתמקד רק בתשובות שהמערכת שבנינו מאפשרת לספק בפועל, ולא לחרוג לניתוחים שאינם מתאפשרים מהמערכת עצמה.

**מקורות :**

**1**. שימוש ברגרסיה ליניארית מרובה לחיזוי תכונות צמחים  
מאמר זה מציג כיצד ניתן להשתמש ברגרסיה ליניארית מרובה כדי להעריך תכונות צמחים על בסיס משתנים סביבתיים.  
[קישור למאמר](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429023000485)

2. השפעת לחות הקרקע על איכות הבזיליקום  
מחקר זה מצא שלחות הקרקע משפיעה על חוזק הגבעול ועל איכות הצמח הכוללת, באמצעות השפעה על התפתחות הרקמות התומכות.  
[קישור למאמר](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377420302651)

3. השפעת טמפרטורה על ביצועי הבזיליקום  
המחקר מציין שטמפרטורה אופטימלית לצמיחת בזיליקום היא בין 25 ל-30 מעלות צלזיוס, כאשר טמפרטורות גבוהות יותר עלולות לפגוע בבריאות הצמח.  
[קישור למאמר](https://www.mdpi.com/2311-7524/7/5/112)

4.שימוש ב-PCA לניתוח משתנים סביבתיים וצמיחת צמחים  
מחקר זה מדגים כיצד ניתוח רכיבים עיקריים (PCA) יכול לשמש לזיהוי משתנים סביבתיים המשפיעים על צמיחת צמחים.  
[קישור למאמר](https://www.researchgate.net/figure/Results-of-principal-component-analysis-PCA-based-on-the-plant-growth-promoting-PGP_fig2_366291364)

5. השפעת אינטראקציה בין אור ולחות על תגובת הבזיליקום   
מחקר זה הראה כי בזיליקום מציג ירידה משמעותית בצמיחה ובתגובות פיזיולוגיות עקב בצורת רק תחת עוצמת אור גבוהה.  
[קישור למאמר](https://www.mdpi.com/2073-4395/14/9/2101)