**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:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **שם חבר הצוות** | **משימות שהוקצו** | **משימות שהושלמו** |
| גאד טאהא | חיבור ל-Firebase, בניית גרפים וניתוח PCA, ניתוח מרחבי |  |
| |  | | --- | | מוחמד חטיב |  |  | | --- | |  | | |  | | --- | | שילוב נתונים אמיתיים, בניית סימולציה, הדמיה ודו"ח |  |  | | --- | |  | |  |
|  |  |  |

### המשימה

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

1. בחרו מערכת אקולוגית מוגדרת , על בסיס הנתונים שבחרתם

פלטפורמת WaterScope עוקבת אחר מאגרים ונקודות מדידה בישראל. המערכת מנטרת בזמן אמת ובחזרה היסטורית מדדים סביבתיים (משקעים, טמפרטורה, רמות מים, לחות) ומציגה אותם בצורה אינטראקטיבית.

1. 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

רכיבים אביוטיים: גובה פני מים, משקעים, טמפרטורת אוויר, לחות, הרכב קרקע, קרינת שמש.  
- מקורות אנרגיה: קרינת שמש השפעה על אידוי), גשמים (מים השקיה מלאכותית אם קיימת.

מעגל חומרים:  
- 1. מחזור המים – אידוי, עיבוי, חדירה לקרקע, זרימה.

2. מעגל פחמן – נשימה של יצורים מימיים, השפעה על ריכוז CO₂ באטמוספירה.

- קשרים ומשובים:

- משקעים ↔ גובה מאגר ↔ אידוי ↔ זמינות מים.

- טמפרטורה ↔ אידוי ↔ רמות מים ↔ צורך במעקב.

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

1. נסחו לפחות שתי השערות מחקר לגבי דינמיקה מרחבית במערכת האקולוגית שבחרתם

1. קיים קשר חיובי בין כמות המשקעים החודשית לשינוי בגובה פני המים בכנרת ובים המלח.

2. שינויים בטמפרטורה משפיעים על אידוי ומהווים גורם בירידה שנתית בגובה פני המים.

1. הגדירו בצורה מדויקת את המשתנים הבאים:
   * משתנים תלויים (לפחות 2)
   * משתנים בלתי תלויים (לפחות 5)
   * משתנים מתערבים שיש ביכולתכם לבקר (לפחות 2)

משתנים:

- תלויים:

1. גובה פני המים (מטרים)

2. השינוי השנתי ברמות המים (מטר/שנה)

- בלתי תלויים:

1. כמות משקעים חודשית (מ"מ)

2. טמפרטורת אוויר חודשית (°C)

3. לחות יחסית (%)

4. מיקום גאוגרפי (צפון/מרכז/דרום)

5. עונת השנה

- משתנים מתערבים:

1. השפעת האדם – שאיבת מים, ניהול מאגרים

2. עכירות או המלחת מים (ים המלח)

השערות סטטיסטיות:

- H0: אין קשר מובהק בין משקעים/טמפרטורה לבין שינוי ברמות המים.

- H1: כמות המשקעים משפיעה על עלייה/ירידה בגובה המים באופן מובהק.

1. 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

למה PCA?

WaterScope מנתחת מספר מדדים סביבתיים במקביל. PCA מאפשר:

- זיהוי משתנים דומיננטיים שמשפיעים על גובה פני המים.

- הפחתת ממדים לגרפים אינטואיטיביים.

- הבנת קשרים חבויים בין טמפרטורה, לחות, משקעים ורמות מים.

משתנים לניתוח:

- כמות משקעים

- טמפרטורה

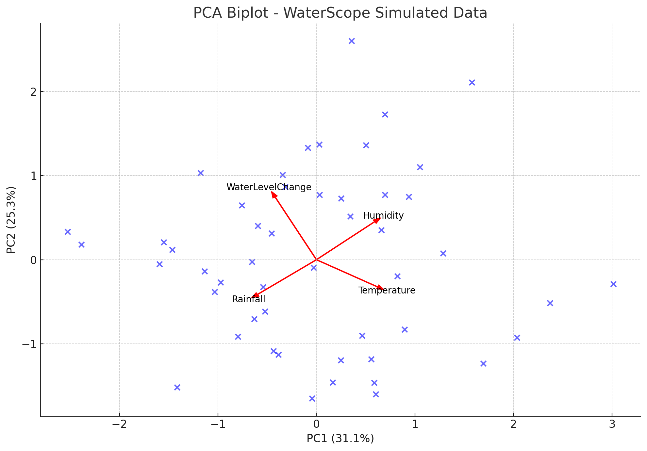
- לחות

- שינוי בגובה מים

פרשנות רכיבים:

- PC1 – דינמיקת לחות: שילוב של גשם ולחות ↔ השפעה ישירה על רמות מים.

- PC2 – טמפרטורה ↔ אידוי ↔ ירידת מים.

ויזואליזציה:

#### 

#### הנקודות הכחולות הן מדידות (חודשים).

#### החצים האדומים מייצגים משתנים: משקעים, טמפרטורה, לחות ושינוי בגובה מים.

#### אורכם וכיוונם מעידים על תרומת המשתנה לרכיבים PC1 ו-PC2.

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

1. פתחו מודל סטטיסטי שמתאר את הקשרים בין המשתנים שהגדרתם, בהתבסס גם על תוצאות ה-PCA

במסגרת פרויקט WaterScope פיתחנו מודל סטטיסטי המבוסס על ניתוח PCA שמטרתו להסביר את הקשרים בין משתנים סביבתיים (כמות משקעים, טמפרטורה, לחות) לבין השינוי בגובה פני המים.

רכיבי המודל:

המודל מנצל את שני הרכיבים העיקריים (PC1 ו-PC2) שהתקבלו מ־PCA:

PC1 – משטר הלחות והמשקעים

כולל את המשתנים: כמות משקעים, לחות יחסית

מייצג את תרומת מקורות המים (גשם ולחות) לעלייה בגובה פני המים.

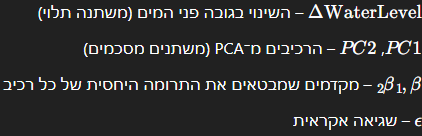
PC2 – תנאי אידוי ואקלים

כולל את המשתנה: טמפרטורת אוויר

מייצג את התרומה השלילית של תנאי חום לאובדן מים דרך אידוי.

נוסח מתמטי של המודל:





מטרות המודל:

להבין אילו גורמים משפיעים בצורה החזקה ביותר על שינוי בגובה המים.

לפשט את המודל באמצעות רכיבי PCA במקום 4 משתנים מקוריים.

להעריך תרחישים של ירידת מים על סמך תחזיות מזג אוויר עתידיות.

יתרונות הגישה:

צמצום ממדים בעזרת PCA משפר את דיוק המודל ומונע כפילויות (multicollinearity).

מאפשר לזהות אזורים רגישים לאובדן מים ולהגיב מראש.

1. 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

לצורך חיזוי מדויק של משתנים סביבתיים באזורים שבהם אין חיישנים פעילים, שילבנו במודל שלנו את שיטת Kriging – טכניקת אינטרפולציה סטטיסטית אשר מאפשרת להעריך ערכים באתרים בלתי מדודים על בסיס קורלציה מרחבית עם תצפיות שכנות.

נאספו נתונים על כמות משקעים, טמפרטורה ושינוי בגובה מים לפי מיקומים גאוגרפיים (X,Y).

נבנתה רשת מרחבית שבה כל נקודת מדידה משויכת לקואורדינטות.

בוצע חיזוי ערכי גובה מים באזורים ללא תחנת מדידה על סמך ערכי החיישנים הקרובים.

1. 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

הדינמיקה המרחבית של המערכת על ידי שילוב בין Kriging ליצירת חיזויים באזורים חסרי מדידות, לבין PCA שמזהה את הגורמים העיקריים המשפיעים על שינויי מים (כמו משקעים וטמפרטורה). הרכיבים העיקריים מראים אילו משתנים שולטים בהתנהגות האקולוגית, כמו אידוי מוגבר בדרום או לחות גבוהה בצפון. כך ניתן לחזות תופעות אקולוגיות כמו ירידת מים באזורים רגישים ולתכנן תגובה מונעת בהתאם.

#### 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
4. # Smart Irrigation Spatial Model Simulation (PCA + Kriging)
5. # Compatible with Google Colab
6. # Step 1: Install required libraries
7. !pip install pykrige scikit-learn pandas matplotlib numpy --quiet
8. # Step 2: Import libraries
9. import numpy as np
10. import pandas as pd
11. import matplotlib.pyplot as plt
12. from sklearn.decomposition import PCA
13. from sklearn.preprocessing import StandardScaler
14. from pykrige.ok import OrdinaryKriging
15. # Step 3: Generate example sensor data (simulated spatially)
16. np.random.seed(42)
17. grid\_size = 10
18. num\_points = grid\_size \* grid\_size
19. x\_coords = np.tile(np.arange(grid\_size), grid\_size)
20. y\_coords = np.repeat(np.arange(grid\_size), grid\_size)
21. # Generate synthetic sensor data (base values)
22. data = pd.DataFrame({
23. 'X': x\_coords,
24. 'Y': y\_coords,
25. 'Soil Moisture': np.random.normal(2000, 100, num\_points),
26. 'Temperature': np.random.normal(25, 2, num\_points),
27. 'Air Humidity': np.random.normal(55, 5, num\_points),
28. 'Light': np.random.normal(300, 50, num\_points)
29. })
30. # Step 4: Perform PCA on environmental variables
31. features = ['Soil Moisture', 'Temperature', 'Air Humidity', 'Light']
32. scaler = StandardScaler()
33. scaled = scaler.fit\_transform(data[features])
34. pca = PCA(n\_components=2)
35. pca\_components = pca.fit\_transform(scaled)
36. data['PC1'] = pca\_components[:, 0]
37. data['PC2'] = pca\_components[:, 1]
38. # Step 5: Define 3 scenarios
39. base = data.copy()
40. # Stress scenario: dry south-west quadrant
41. stress = data.copy()
42. stress.loc[(stress['X'] < 5) & (stress['Y'] < 5), 'Soil Moisture'] -= 300
43. # Recovery scenario: rehydration in dry zones
44. recovery = stress.copy()
45. recovery.loc[recovery['Soil Moisture'] < 1800, 'Soil Moisture'] += 200
46. # Step 6: Kriging function
47. def plot\_kriging(df, title):
48. x, y, z = df['X'], df['Y'], df['Soil Moisture']
49. gridx = np.linspace(x.min(), x.max(), 100)
50. gridy = np.linspace(y.min(), y.max(), 100)
51. OK = OrdinaryKriging(x, y, z, variogram\_model='linear', verbose=False, enable\_plotting=False)
52. z\_pred, \_ = OK.execute('grid', gridx, gridy)
53. plt.figure(figsize=(8, 6))
54. cp = plt.contourf(gridx, gridy, z\_pred, cmap='YlGnBu')
55. plt.scatter(x, y, c=z, edgecolor='k', cmap='YlGnBu', s=50)
56. plt.colorbar(cp, label='Soil Moisture')
57. plt.title(title)
58. plt.xlabel('X Coordinate')
59. plt.ylabel('Y Coordinate')
60. plt.grid(True)
61. plt.show()
62. # Step 7: Run Kriging plots for each scenario
63. plot\_kriging(base, "Base Scenario – Normal Conditions")
64. plot\_kriging(stress, "Stress Scenario – System Under Drought")
65. plot\_kriging(recovery, "Recovery Scenario – Post-Irrigation")

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.

בהצלחה!