

## אקלים והידרולוגיה – כלים מתקדמים למחקר ולמדיניות

ישראל 2100 – מודל אקלימי ברזולוציה גבוהה: תחזיות מדדים אקלימיים עבור מגזרים שונים במשק

יצחק יוסף<sup>1</sup>, אסף ציפורי<sup>1</sup>, פבל חייין<sup>1</sup>, תאודור בוגיצי<sup>1</sup>, אבנר פורשפן<sup>1</sup>, יואב לוי<sup>1</sup>, עמיר גבעתי<sup>1</sup>

[yosefy@ims.gov.il](mailto:yosefy@ims.gov.il)

1. השירות המטאורולוגי

בהמשך להחלטת ממשלה 4079, בוצעו בשירות המטאורולוגי סימולציות אקלים אזוריות במודל ICON ברזולוציה מרחבית גבוהה (2.5 ק"מ), לצורך הפקת תחזיות אקלימיות עד סוף המאה בתרחיש פליטות גזי חממה מוגבר SSP5-8.5. הסימולציות כוללות משתנים אקלימיים מרכזיים ובהם טמפרטורה, כמות גשם שנתית ועוצמות גשם קצרות טווח. מטרת המחקר כללו: (1) ביצוע אימות של המודל לתקופת 1980-2023 בבסיס להערכת אמינות תחזיות המודל; (2) הצגת מגמות חזויות כלליות עד שנת 2100 עבור ממוצע הטמפרטורה וכמות הגשם; (3) חישוב אוסף רחב של מדדים אקלימיים בעלי רלוונטיות למגזרים שונים במשק, דוגמת חקלאות, מים, אנרגיה, בריאות ובטחון. עבור הטמפרטורה מתקבלת התחממות עקבית לאורך המאה עם דפוס מרחבי ברור, שבו ההתחממות בולטת יותר ככל שנעים מזרחה, ועד עלייה ממוצעת של כ-3.0-3.5 מ"צ באזורי הפנים והבקעה לקראת סוף המאה. בכמות הגשם השנתית ניכרת מגמת הפחתה, בעיקר החל מאמצע המאה. בנוסף, יוצגו תחזיות עבור מדדים אקלימיים שונים דוגמת: ימים חמים מאוד, לילות חמים, מספר ימי גשם, מספר ימי גשם כבד ועוד. השילוב של רזולוציה מרחבית של 2.5 ק"מ מאפשר ייצוג מפורט של השונות האקלימית המקומית באזורים נרחבים וחישוב מדדים אקלימיים המותאמים למאפיינים ולרגישויות האקלימיות של מגזרי המשק השונים.

העבודה מציגה תחזיות מבוססות מודל אקלימי ברזולוציה מרחבית גבוהה (2.5 ק"מ) למגוון רחב של מדדים אקלימיים הרלוונטיים למגזרי המשק השונים בישראל. התוצרים מרחיבים את בסיס הידע הזמין לקובעי מדיניות, לתכנון ולמחקר, ומספקים שכבת מידע עדכנית, עקבית ובעלת פירוט מרחבי גבוה. המדדים ניתנים לשילוב במאגרי ידע לאומיים ולשימוש בבסיס אחיד לניתוחים יישומיים בהווה ובעתיד.

## אקלים והידרולוגיה – כלים מתקדמים למחקר ולמדיניות

מידול אקלים באמצעות מודל אייקון ברזולוציה גבוהה

פבל חייין<sup>1</sup>, עמיר גבעתי<sup>1</sup>, תאודור בוגיצ'י<sup>1</sup>, יואב לוי<sup>1</sup>, מתן כהן<sup>1</sup>

[pavelkh\\_il@yahoo.com](mailto:pavelkh_il@yahoo.com)

1. השירות המטאורולוגי הישראלי

במסגרת פרויקט "מרכז חישובים אקלימי לאומי" בהובלת השירות המטאורולוגי ובהשתתפות מספר משרדי ממשלה, מתקיים בשנים האחרונות מחקר אינטנסיבי לכיול מודל אייקון לאזור המזרח התיכון ברזולוציה גבוהה. מחקר זה כולל שיפור הפרמטריזציה האחראית על תהליכי המשקעים במודל, כמו גם כיול פרמטריזציות המשפיעות על מידול הטמפרטורה, לחות, רוח, קרינה, עננות, רטיבות קרקע, וכו'. במקביל לעבודה מחקרית, בוצעה התקנה של סביבת עבודה להרצת מודל אייקון אקלימי בצורה מקוננת ברזולוציה 12 ק"מ וברזולוציה 2.5 ק"מ על ענן AWS, ובוצע תהליך אופטימיזציה לשיפור זמני הריצות ויציבותן הנומרית.

בהרצאה זו נציג את הפרויקט בכללותו, את אופן כיול המודל והבעיות הפיסיקאליות איתן התמודדנו. נדגים את הקפיצה הדרסטית באיכות המידול שהתרחשה במעבר לרזולוציה גבוהה, המאפשרת מידול מפורש של תהליכים קונבקטיביים. מידול זה מאפשר לראשונה בארץ, ובין הראשונים בעולם, תיאור מדויק ואמין של תהליכי משקעים החל סקאלות זמן של עוצמות 5-דקות ועד לתיאור מרחבי אמין של ממוצעים ושיאים שנתיים. כמו כן, רזולוציה גבוהה מאפשרת מידול מרחבי כמותי אמין של טמפרטורה, לחות, רוחות (כולל משבים רגעיים), וכו'.

לפרויקט המוצג חשיבות לאומית. לראשונה מתבצעות ריצות אקלימיות עם מודל נומרי מן המתקדמים בעולם ברזולוציה גבוהה ביותר, שכולל במיוחד למזרח הים התיכון. תוצאות המודל הוכחו כאמינות על סמך אימות על תקופות עבר, וכבר משמשות את משרדי הממשלה להערכות לשינויי האקלים.

## אקלים והידרולוגיה – כלים מתקדמים למחקר ולמדיניות

סכרים באזורים מדבריים – פתרון פשוט לבעיה מסובכת או סכנה מיידית לתושבים במורד הזרם?

משה ארמון<sup>1</sup>, פלגיה בליאקוב<sup>1</sup>, אלעד דנטה<sup>2</sup>, יובל שמילוביץ<sup>3</sup>

moshe.armon@mail.huji.ac.il

1. האוניברסיטה העברית בירושלים
2. אוניברסיטת חיפה
3. אוניברסיטת קולורדו

סכרים הם פתרון מקומי ופשוט להתמודדות עם סכנות כתוצאה משטפונות באזורים מדבריים. מאידך, פוטנציאל ההרס כתוצאה מקריסת סכר גדול משמעותית מזה של השטפון הטבעי. באזורים מדבריים, היעילות של סכרים בהפחתת סכנת השטפונות מוטלת בספק מאחר שהשונות העיתית והמרחבית של הגשם והשטפונות הנלווים אליו מקשים את הערכת נפחי המים בשטפונות. בספטמבר 2023 הסופה "דניאל" הכתה באזור העיר דרנה שבצפון לוב והובילה לשיטפון אדיר שהוגדר כאסון ההידרו-מטאורולוגי הגדול ביותר במאה ה-21. במחקר קודם הראינו שהאסון התרחש בגלל שהסכרים בואדי לא תוכננו להתמודד עם כמויות הגשם שירדו במהלך הסופה, בגלל תת-הערכה של זמני החזרה של סופות כאלה. במחקר זה אנחנו משתמשים בסדרת נתוני גשם לווייניים מ-25 השנים האחרונות בשילוב ניתוח סטטיסטי מתקדם כדי לכמת את הסיכון לקריסת סכרים באזורים היבשים של יבשת אפריקה. סדרות הגשם הארוכות והמידע המרחבי מאפשרים להשוות בין זמני חזרה גבוהים של גשם לבין נפחי המים שאצורים בסכרים. תוצאות המחקר מראות שנפח המאגרים בשני שליש מהסכרים שווה לנפח הגשם הצפוי לרדת באירועים עם תקופת חזרה של אחת לעשר שנים או פחות. לשם הדגמה, נפח המים שהיה אצור בסכר שקרס באסון בלוב צפוי לרדת כגשם בסופות עם תקופת חזרה של כשנתיים. המחקר מראה שסכרים רבים באפריקה מצויים בסיכון גבוה למילוי ולכן אולי גם להתמוטטות בעתיד הנראה לעין.

המחקר מספק מסגרת כמותית להערכת סיכון סכרים באזורים מדבריים, המבוססת על נתוני גשם לווייניים וזמני חזרה ריאליים. ממצאיו רלוונטיים ישירות לישראל, שבה קיימים סכרים ומאגרי השהיה בנחלים מדבריים. ניתן ליישם את הגישה להערכת סיכונים מחודשת ולגיבוש מדיניות המשלבת בטיחות, ניהול סיכונים והיערכות לשינוי אקלים, במיוחד באגנים גדולים יחסית לארץ - אך הוא מאפשר יישום באגנים מרוחקים ומבודדים כמו אלה ברחבי אפריקה.

## אקלים והידרולוגיה – כלים מתקדמים למחקר ולמדיניות

כיצד מתארגנים עננים ימיים לתבניות שונות ולמה זה חשוב

הדר רוט<sup>1</sup>, תום דרור<sup>1</sup>, רון סרפיאן<sup>1</sup>, גלי דקל<sup>1</sup>, אורית אלטרץ<sup>1</sup>, אילן קורן<sup>1</sup>

[hadar.roth@weizmann.ac.il](mailto:hadar.roth@weizmann.ac.il)

1. מכון ויצמן למדע

עננים ימיים רדודים נפוצים מאוד מעל האוקיינוסים הסב-טרופיים, ומהווים חלק חשוב במאזן הקרינה הגלובלי בזכות האפקט הקרינתי המקרר שלהם. למרות חשיבותם, ייצוגם במודלים האקלימיים הקיימים עדין אינו שלם. הסיבה העיקרית לכך היא שרזולוציית המודלים אינה מספיקה כדי לפתור במפורש את התהליכים הקשורים בהתפתחות עננים. כתוצאה מכך, תהליכים אלו נדרשים לפרמטריזציה, דבר התורם במידה רבה לאי הוודאות בתחזיות האקלים ובמנגנוני משוב הקשורים בעננים. עננים ימיים רדודים מסווגים בדרך כלל לשלוש קבוצות עיקריות אשר קשורות בתנאים הדינמיים שיוצרים אותם ובמאפיינים המורפולגים שלהם: תאים סגורים, תאים פתוחים וענני קומולוס רדודים. ההתקדמות בתחום הבינה המלאכותית הרחבה סיווג בסיסי זה ואפשרה זיהוי אוטומטי של תבניות נוספות. יחד עם זאת, גם בתוך תבניות אלו קיימות תת-תבניות נוספות שטרם זוהו באופן שיטתי ולכן הדינמיקה, התנאים המטאורולוגיים וההשפעות הקרינתיות שלהן עדין לא נחקרו והוגדרו במלואם.

אנו מציגים בעבודה זו ארכיטקטורת בינה מלאכותית המיועדת לסיווג תמונות לוויין של עננים ימיים רדודים ולזיהוי תבניות חדשות של עננות זו. המחקר מתמקד במשטרי עננים בעלי כיסוי גבוה (הנפוצים ביותר ובעלי הרפלקטיביות הגבוהה ביותר) הנחלקים לארבע תבניות: תאים סגורים, רחובות עננים, עננים שכבתיים ותאים ללא מבנה מאורגן. חלוקה מפורטת זו, אשר לא הייתה אפשרית עד כה באופן שיטתי, מאפשרת חילוץ מידע עשיר יותר על משטרי עננות אלה, בהשוואה למה שנעשה בעבר. מערך הנתונים לאימון המודל סווג ותויג ידנית על ידי חברי קבוצת פיזיקת העננים של מכון ויצמן. לצורך הבנת אופן פעולת המודל נעשה פיתוח של שיטות מבוססות גרדיאנטים לפרשנות פיזיקלית של המודל. יישום המודל על אוסף גדול של תמונות לוויין מאפשר לראשונה בנייה של מאגר נתונים רחב, עקבי ומסווג באופן שיטתי של תבניות עננים ימיים רדודים בעלי כיסוי גבוה. מאגר זה מאפשר הצלבה בין תמונות לוויין לבין נתוני חישה מרחוק של תכונות עננים, שטף קרינתי ונתונים מטאורולוגיים. שילוב זה מאפשר חקר שיטתי של הקשר בין מורפולוגיית העננים, התנאים הדינמיים והמטאורולוגיים, וההשפעות הקרינתיות שלהם. בכנס נציג תוצאות של התבניות החדשות והאפיון שלהן.

עננים ימיים רדודים הם מרכיב מרכזי במערכת האקלים ומשפיעים באופן משמעותי על מאזן הקרינה של כדור הארץ. מחקר זה מעמיק את ההבנה המדעית של עננות זו, ובפרט של מגוון התכונות המורפולוגיות והקרינתיות שלה. מאחר שתבניות העננים מושפעות מתנאי הסביבה ומשפיעות עליה, חקירתן חיונית להבנת תהליכים אקלימיים ולהפחתת אי-ודאות בייצוג עננים במודלים אקלימיים.

## אקלים והידרולוגיה – כלים מתקדמים למחקר ולמדיניות

בתוך כמה זמן ניתן להבחין בהשפעת מיטיגציה על האקלים?

Shmuel<sup>1</sup>, Niklas Schwind<sup>2</sup>, Kai Kornhuber<sup>2</sup>, Ron Milo<sup>2</sup>, Carl-Friedrich Schleussner<sup>2</sup> Assaf

[assafshmuel91@gmail.com](mailto:assafshmuel91@gmail.com)

1. IIASA, Dartmouth College

2. IIASA

צמצום פליטות גזי חממה (מיטיגציה) צפוי להביא להאטה בקצב ההתחממות הגלובלית. עם זאת, השונות הטבעית במערכת האקלים מקשה על זיהוי השפעה זו בטווח הקצר, ולכן עד כה הוערך כי ניתן יהיה להבחין ביתרונות המיטיגציה רק לאחר 20-30 שנים.

במחקר הנוכחי אנו מראים כי ההנחה הזאת נובעת משימוש בממוצע הטמפרטורות הגלובלי, בעוד שניתוח מרחבי מפורט מאפשר לזהות אותות אקלימיים בפרקי זמן קצרים בהרבה. כדי להמחיש זאת אימנו מודל למידת מכונה המסווג בין תרחישים עם מיטיגציה לבין תרחישים ללא מיטיגציה, על בסיס שדות טמפרטורה אזוריים ברזולוציה גבוהה. תוצאות המחקר מראות כי בתוך עשור ניתן להבחין באופן מובהק בין שני התרחישים. בנוסף, באמצעות ניתוח תרומת האזורים השונים להחלטות המודל, זיהינו את האזורים שבהם האטת קצב שינויי האקלים ניתנת לזיהוי המוקדם ביותר. המסקנה המרכזית העולה מהמחקר היא כי השפעת צמצום פליטות גזי חממה על האקלים ניתנת לזיהוי בפרק זמן קצר משמעותית מהמקובל בספרות.

המחקר מדגים כי מדיניות להפחתת פליטות מניבה האטה בקצב שינויי האקלים שניתנת לגילוי כבר בטווח של עשור, ממצא בעל חשיבות גבוהה לקבלת החלטות בתחום האקלים. מניתוח אזורי עולה כי המזרח התיכון הוא בין האזורים שבהם יתרונות המיטיגציה צפויים להופיע מוקדם, ולכן ניתן ליישם גישה זו להערכת תועלות מוקדמות של מדיניות אקלימית בישראל.