



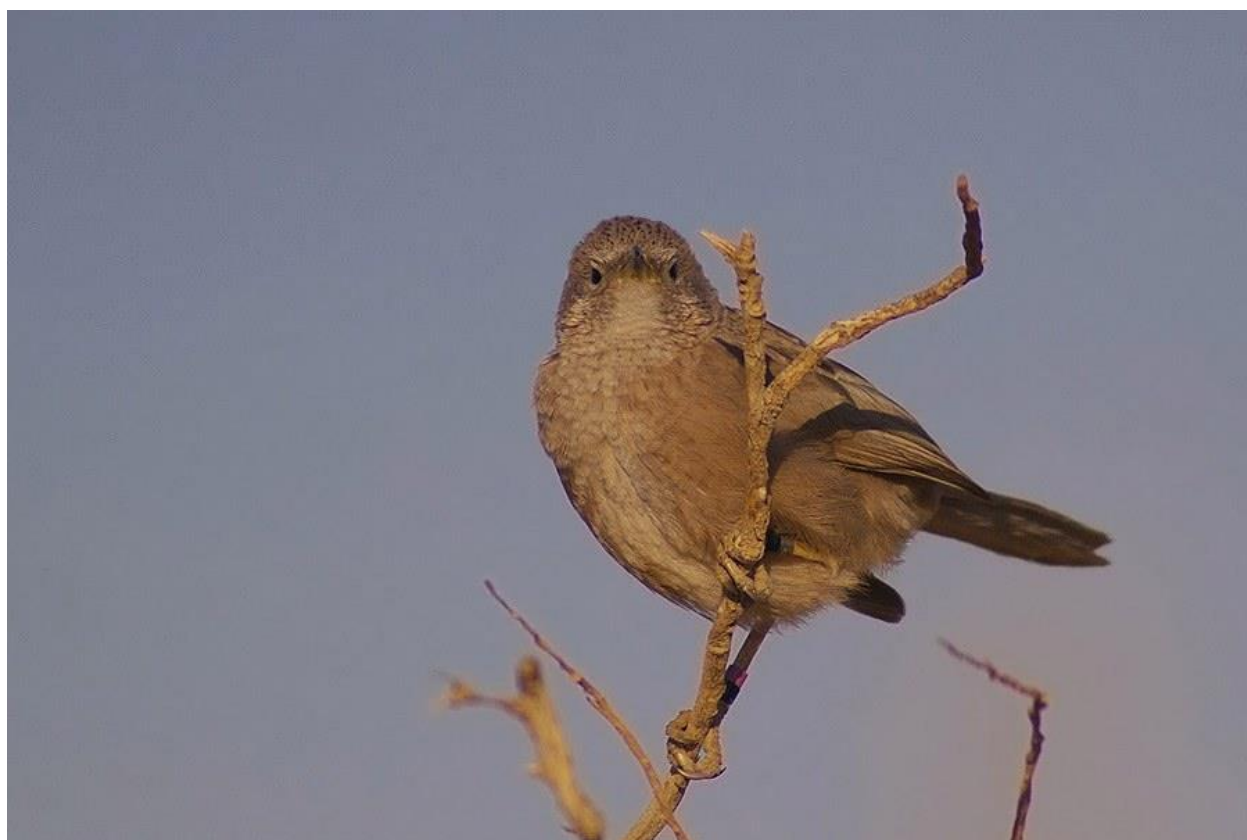
מיפוי ופיענוח הגורמים לשינויים ארוכי טווח בתפוצה ובשפע של עופות דוגרים בישראל – דוח מסכם (קול קורא מס' 12814/19 – מחקר מס' 1923)

פיתוח פלטפורמה אינטרנטית למיפוי שינויים ארוכי תפוצה בתפוצת עופות בישראל

עופר עובדיה: oferovad@bgu.ac.il אייל שוחט: eyal.shochat1@gmail.com

המחלקה למדעי החיים – אוניברסיטת בן גוריון בנגב

צילומים: אייל שוחט



זנבן ערבי – במהלך קרוב לשני העשורים האחרונים הרחיב את תפוצתו בנגב מהחבל המדברי לאיזור ספר המדבר שמצפון לו.

ע/פ ע/בקה

Summary Report Abstract (Call for Proposals No. 12814/19 – Research No. 1923)

Mapping and Deciphering the Causes of Long-Term Changes in the Distribution and Abundance of Incubating Birds in Israel: Developing a GIS-based Platform for Mapping Changes in the Distribution of Birds in Israel

We have developed a GIS-based platform that enables exploring changes in the distribution of bird species in Israel during the last decades. The system simulates an atlas of birds on Israel's map, according to the grid system used in "The Birds of Israel" (Shirihai 1996). The system displays observations of bird species over the years, using large data sets extracted from the national bird database and from eBird up to 2022. It enables the presentation of layers of information (built-up areas, water reservoirs, and roads), in order to help understand the causes of the observed temporal changes in bird distribution. In addition, the system enables the dynamic running and presentation of changes in the distribution of species over a selected range of years. This capability does not exist in any system today.

The system provides a response to geographic queries by filtering and cutting layers of information, the purpose of which is to help researchers perform regression analyses to find correlations between changes in distribution and environmental factors. After conducting research by experts who have experienced the system, and based on our impression, it seems that the system has the potential to be a significant and groundbreaking tool in nature conservation. Our recommendation is to implement the system in the National Bird Database of Israel, which will give the site a significant advantage over global sites such as eBird.

מבוא

בתקופה של התחממות גלובאלית ופיתוח מואץ שינויים בתפוצה ובשפע של בעלי חיים בכלל ועופות בפרט, הם תופעה טבעית שכיחה (Catano et al. 2020, Iknayan and Beissinger 2020, Salomon et al. 2021). קיימים מינים מלווי אדם שכל התערבות והפרעה לשטחים טבעיים פותחת עבורם נישות להתבססות (Shochat et al. 2010, Sofaer et al. 2020). חלק מהמינים הטבעיים מסתגלים גם הם לסביבות האדם, אולם מינים טבעיים מתמחים שלהם דרישות ספציפיות מהסביבה - על פי רוב מתמעטים או אף נעלמים מסביבות שעברו פיתוח ומבתי גידול טבעיים מופרעים או מקוטעים (Shochat et al. 2001, Domer et al. 2019). בעוד שקיטוע והרס בתי גידול הם הגורמים החשובים ביותר לירידה בתפוצה לעתים עד להכחדה (Rosenberg et al. 2019), הסיבות להתפשטות מינים או לצמצום תפוצתם אינן תמיד ברורות. למשל, חלק ממקרי ההתפשטות נובעים מתהליכים אקראיים, אשר בתזמון נכון עשויים לפתוח דרך להתפשטות דרך צוואר בקבוק, או לחילופין להכשל מסיבות אקראיות. בעוד שהסיבה העיקרית והישירה לצמצום או הרחבת תפוצה היא שינויים בשימושי קרקע (Bohada-Murillo et al. 2020), שינויים אנתרופוגניים יכולים לגרום לשינויים בתפוצת מינים באופן עקיף, למשל ע"י יצירת שינויים בתפוצה של מינים המקיימים אינטראקציה עם מין המטרה (טריפה, תחרות טפילות או הדדיות). לכן, שלב שני לתיאור שינויי התפוצה הוא ניסיון להבין את הגורמים והתהליכים.

לתעוד שינויים בתפוצת בעלי חיים שלוש בעיות. הראשונה הינה בעיית זהוי. מאחר שמדובר בתהליכים ארוכי טווח, לפעמים איטיים מאוד, קיים פער זמנים בין המועדים האמיתיים של תחילת התהליכים לבין מועד זיהויים. הבעיה השנייה היא להבין אם מדובר בתהליך חד כיווני הנובע משינוי מסוים, או בתנודה טבעית, כחלק מתנועת המטוטלת של האוכלוסייה. הבעיה השלישית הינה מנגנונית. גם במקרים של זיהוי ברור של שינוי, במקרים רבים קשה להבין את הגורמים ללא מחקר יסודי, או לפחות ניתוח מרחבי יסודי של תהליך ההתפשטות או צמצום התפוצה. מיפוי השינויים בתפוצה דורש נתונים ארוכי טווח, ומערכת ספציפית המסוגלת למפות שינויים אלה בזמן ולהציג את קצב וכיווני הצמצום או ההתפשטות. כדי להבין את השינויים בתפוצת מספר מיני עופות בישראל, פיתחנו לפני שנתיים פלטפורמה אינטרנטית אינטראקטיבית המסייעת לבחון משתנים אלה. בדוח זה נתאר את תכונות המערכת, היושבת כיום על שרת המחלקה למדעי החיים באוניברסיטת בן גוריון בנגב.

מאגרי נתונים אינטרנטיים

מאגרי נתונים מאפשרים לכל צפר להעלות את נתוני התצפית שערך, מכל מקום וזמן. לאחר הכנסת התצפית הנתונים עוברים ולידציה המבוססת על הסטאטוס של המינים בישראל. התצפיות כוללת מידע בסיסי כמו שמות המינים ומספר הפרטים לכל מין. ניתן לספק מידע נוסף כגון גיל, זווית, תת מין, סטטוס דגירה, התנהגות וכו'. על

בסיס הנתונים המצטברים, מאגרי המידע מייצרים מפות תפוצה של המינים. מפות אלה נותנות ביטוי מדי ובולט למימד המרחב, בעוד שמימד הזמן שלו חשיבות לא פחותה איננו מקבל ביטוי מדי. כדי להבין תהליכים אורכי טווח יש לפיכך לייצר טבלאות נתונים ולנתח אותם סטטיסטית. לאחרונה, (Rosenberg et al. 2019) השתמשו במידע שנאסף ע"י הציבור הרחב בסקרים שונים ונאגר במאגרי מידע כדי לתעד את ההתמעטות הכללית של מיני העופות בצפון אמריקה לאורך מספר עשורים. המחקר מציג את כוחם של נתונים הנאספים במשך עשורים רבים ע"י אזרחים שאינם מדענים ואת חשיבותם של מאגרי מידע לשמירת טבע.

בניגוד למחקר מסודר בו נקבע אופן איסוף הנתונים מראש, חסרונם של מאגרי המידע הוא בהטיות השונות של הנתונים (Fink et al. 2020). הטיות אלה עשויות לנבוע מהבדלי מאמץ סיקור הן בזמן והן במרחב. הטיות במרחב משמעותן חוסר איזון במאמץ הסקירה בין איזורים, או הבדלים ברמת הדיווח (גם אם המידע נאסף). למשל – צפרים רבים מדווחים רק על מינים נדירים, ומתעלמים מנוכחות מינים נפוצים. הטיות במימד הזמן נובעות מסיבה ברורה של מחסור או מיעוט בדיווחים היסטוריים לעומת דיווחים מן ההווה. הטיות אלה יוצרות בעיה בעת ניתוח הנתונים, ויש צורך להשתמש בשיטות סטטיסטיות כדי לתקן במידת האפשר את התמונה. למשל, השוואות של מספרים ממוצעים כאשר גודל המדגם שונה, ולא של מספרים מצטברים, שימוש במדדי מגוון (למשל Rarefaction), שימוש במודלים של נוכחות/חסר, ועוד. במקרים מסוימים, כדי לבחון האם מין המטרה אכן נעדר מתא שטח מסוים, או שהעדרו היא תוצאה של העדר תצפיות בתא השטח, יש צורך לבצע סקרים משלימים.

מטרות המחקר

מטרת המחקר היתה להשתמש בנתונים שהוכנסו למאגרי המידע בשני העשורים האחרונים, כדי (1) לנתח מגמות בשינויי תפוצה ארוכי טווח של העופות בישראל, ו-(2) לפענח את מסלולי הרחבת או צמצום התפוצה ואת הגורמים לשינויים בתפוצה בעזרת ניתוח מרחבי ע"י GIS. התוצר העיקרי מפיתוח הפלטפורמה היה מפות תפוצה מעודכנות בנות השוואה למשבצות האטלס של Shirihai 1996. על בסיס מפות אלה ניתן לחשב את קצבי ההתפשטות או צמצום התפוצה, הכיוונית הכללית של שינויים אלה, והגורמים המשוערים לשינויים.

שיטות

ניתוח נתונים ברמת המין:

מפות הבסיס בהן השתמשנו הן מאטלס העופות הראשון שפורסם בישראל (Shirihai 1996). אטלס זה מבוסס על משבצות בנות כ-13*8 ק"מ. לכל מין הדוגר בישראל, משבצות האטלס הכילו נתונים בהתאם לתצפיות מצטברות עד 1996. המשבצות נצבעו בחמישה צבעים בהתאם לצפיפות הפרטים במשבצת: צפיפות גבוהה,

בינונית, נמוכה, קינן ספורדי, וקינן היסטורי. במחקר זה בחרנו לא להשתמש במדדי צפיפות מכיוון שלא ניתן ליצור שיטת השוואה בין הנתונים באטלס של שיריחי לבין הנתונים שנאספו במאגרי המידע. לפיכך מפות האטלס בשיריחי 1996 שימשו כמפות נוכחות או חסר בלבד. כדי להבין את תפוצת העופות באותן המשבצות, השתמשנו בנתונים משני מאגרי מידע: המאגר הלאומי לציפורי ישראל, ו-ebird. אתרים אלה משמשים להעלאה שוטפת של תצפיות על ידי צפרים מדי יום.

בניית האתר האינטראקטיבי

פרוייקט בניית האתר נעשה כשיתוף פעולה בין חוקרים מהמחלקה למדעי החיים (עופר עובדיה ואיל שוחט) וחוקר מהמחלקה להנדסת נתונים (גיא שני) באוניברסיטת בן גוריון. את האתר בנו ופיתחו ארבעה סטודנטים מהמחלקה להנדסת נתונים (עודד ברקוביץ', שחר שעיה, אור שושני, ועילם גל), כפרוייקט מחקר לסטודנטים לתואר ראשון במחלקה. פרוייקט זה נבחר כפרוייקט המצטיין במחלקה לשנת 2022.

מטרת הפרוייקט היתה לספק כלי אשר יעיל וישיפר תהליכים שנעשו באופן ידני בשנה הראשונה של מחקר זה. הכלי שפותח משמש כמערכת מידע גיאוגרפית (GIS) אשר (1) מאחדת ומאפשרת הצגה דינאמית של השינויים לאורך השנים ע"י הנפשת הנתונים, (2) מאפשרת הצגת או הורדת מידע סטטיסטי על המשבצות השונות במפה לצורך ביצוע ניתוחים סטטיסטיים, ו-(3) מאפשרת הצגת תצפיות של מיני ציפורים ממספר ממאגרי המידע, לצד שכבות גאוגרפיות שונות, על מנת להבין את הקשר בין שינויים בתפוצה לגורמים סביבתיים.

עד כה לא היתה קיימת מערכת המאפשרת לבצע השוואות בין שכבות וזמנים שונים על מנת להסיק מסקנות נדרשות למחקר. העבודה בצורה ידנית אינה מעשית מכיוון שהיא אורכת זמן רב בהתחשב בצורך לבחון אופציות שונות (ניסוי וטעיה). הבעיה המרכזית שהמערכת באה לפתור היא הצגת שכבות מידע גיאוגרפיות ושכבות עם נתונים לאורך שנים על גבי המפה, מה שלא מתאפשר באף מערכת קודמת. המערכת שנבנתה מאפשרת הצגה של שכבות כמו שטח בנוי, מאגרי מים וכבישים. היא מכמתת בכל משבצת אטלס אחוז כיסוי של משתנים אלה, ומאפשרת לפיכך לזהות קשרים בין שכבות אלו לבין הרחבה או צמצום של תפוצות מינים שונים. בנוסף, המערכת מייצרת אנימציה של שינויי התפוצה לאורך זמן, ובכך מסייעת להבנת שינויי תפוצה. יתרונה הגדול של המערכת הוא שבניגוד לאתר "הספר האדום" למשל, היא עוסקת לא רק במינים מתמעטים אשר נמצאים בסכנת הכחדה, אלא גם במינים פולשים ומתפרצים.

תיאור המערכת

מערכת מידע גאוגרפי: מערכת ממוחשבת המאפשרת ניהול, אחזור וניתוח מידע גיאוגרפי תוך שילוב של תכנים ממספר שכבות מידע. במערכות אלו המידע מוצג כשכבות (נקודה, פוליגון, קו) על גבי מפה. השתמשנו ב-API

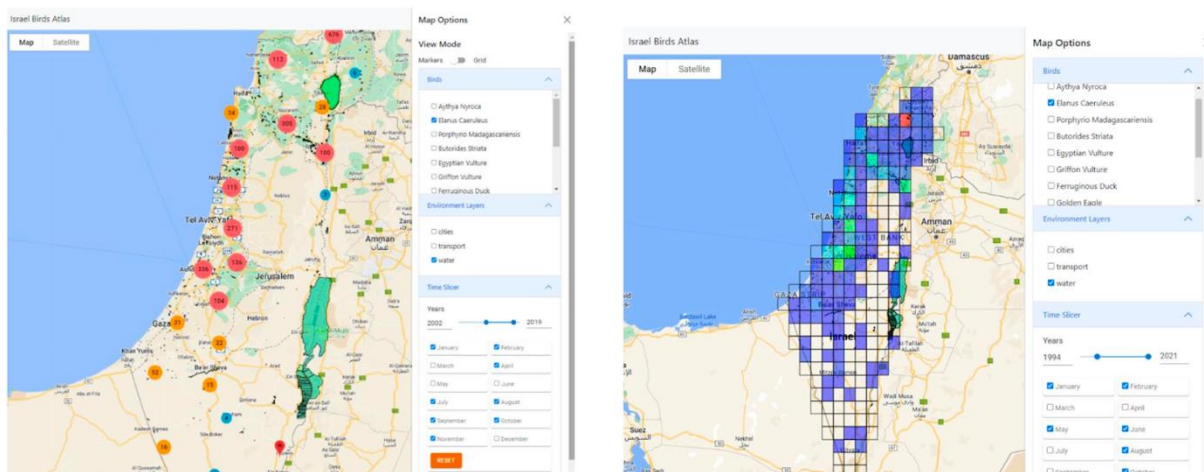
של Google Maps. זוהי פלטפורמה הנפוצה והמוכרת ביותר כיום ולכן היא מהווה יתרון משמעותי לנוחיות המשתמש. ה-API מספק מפת עולם נוחה לשימוש המאפשרת לטעון ולהציג שכבות שונות על גביה לפי בחירה. שכבות המידע הגיאוגרפיות נלקחו מאתר OpenStreetMap המכיל שכבות מידע רבות על העולם. המידע שקיים באתר מתעדכן מידי יום ע"י קהילת OSM ובכך מביא מידע רב ועדכני. מאתר זה נבחרו השכבות הרלוונטיות המופיעות במדינת ישראל.

עיבוד התמונות כלל שני שלבים עיקריים: (1) זיהוי קווי האורך והרוחב שבמפה על מנת לאפשר את תרגום התצפיות שעליה. (2) איתור התצפיות השונות והמרת המידע לנקודות ציון בפורמט long-lat על בסיס קווי האורך והרוחב שזוהו.

השתמשנו במפת google maps על מנת להציג את התצפיות והשכבות על גביה. מקורות הנתונים עבור בניית בסיס הנתונים הם: (1) מפות אטלס משיריחי 1996, (2) קבצי תצפיות אשר התקבלו בבקשה מיוחדת מאתר eBird, (3) קבצי תצפיות אשר התקבלו מן המאגר הלאומי לציפורי ישראל, (4) שכבות גאוגרפיות הלקוחות מאתר Geofabrik.de ומבוססות על המידע הקיים בפרויקט OpenStreetMap.

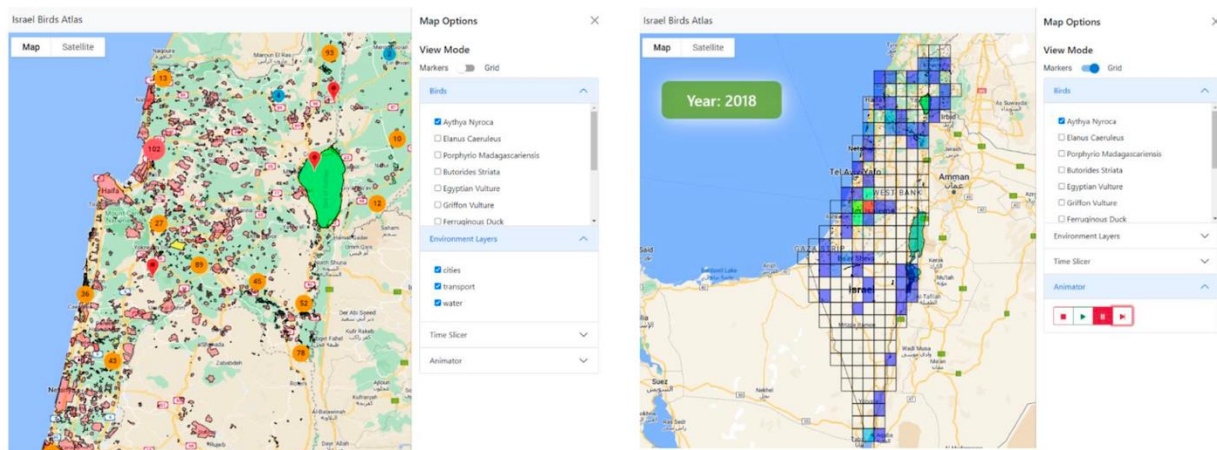
סוג הנתונים וכמות:

הנתונים משני מאגרי המידע הם קבצי CSV המכילים רשומות עם תצפיות לכל מין של ציפור. כל רשומה מתוארת ע"י תאריך, נצ, ומספר הפרטים. הנתונים מאטלס הציפורים בספרו של שיריחי הינם מפות קשיחות, מפה עבור כל מין ציפור, אשר מכילות תצפיות על פי צפיפות במשבצות השטח השונות. המפות עברו סריקה וחידוד בתוכנה גרפית, ולאחר מכן עובדו על ידי אלגוריתם עיבוד תמונה שיועד להמיר את המידע הוויזואלי שעל המפה למידע טקסטואלי באותו הפורמט של הרשומות אשר הגיעו מן המאגרים החיצוניים (איור 1).



איור 1. משמאל: הצגת מספר התצפיות ב-Marker mode. מימין: הצגת מפת חום ב-Grid Mode.

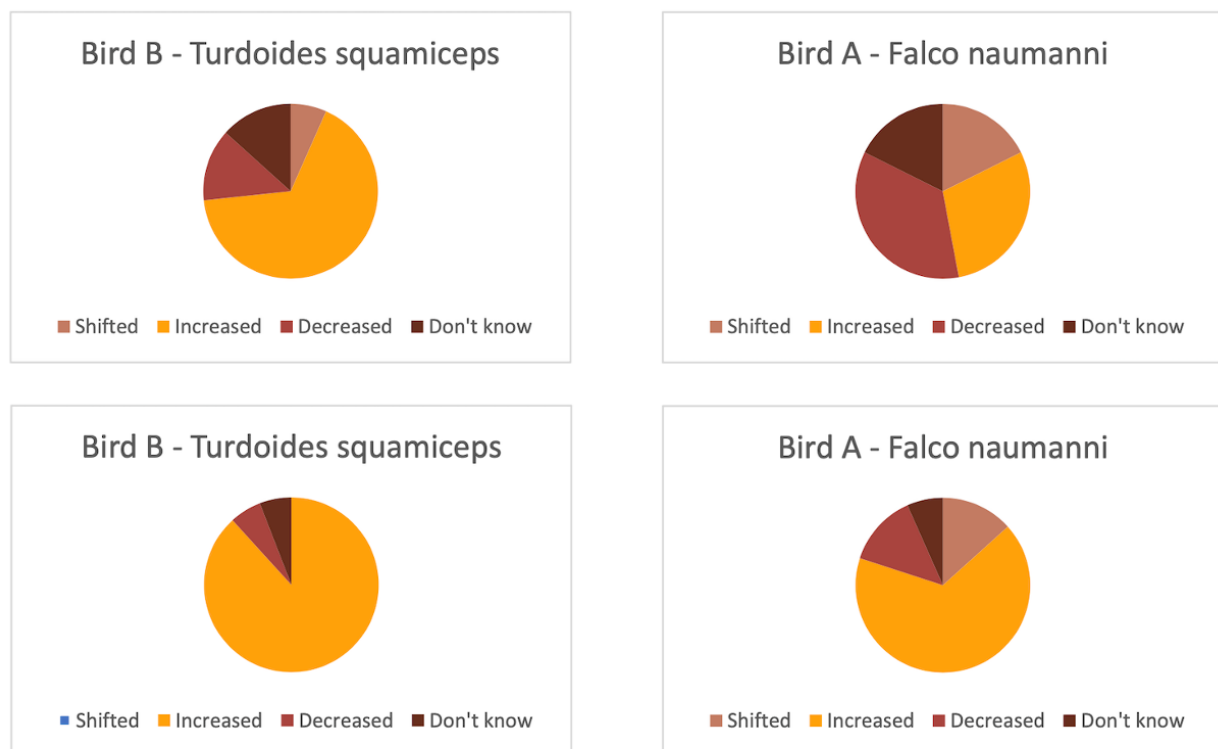
יתרונותיה החשובים של המערכת על המערכות הקיימות היום (מאגרי נתונים קיימים, ואתר המינים האדומים). הם כאמור קיומן של שכבות גאוגרפיות המאפשרות לחשב קשרים סטטיסטיים עם תפוצת העופות, והנפשת הנתונים לאורך זמן. בשלב זה ישנן רק שכבות בסיסיות, אולם ניתן לפתח ולהוסיף שכבות נוספות בשלבים עתידיים.



איור 2. משמאל: הצגת שכבות גאוגרפיות על המפה. מימין: הנפשת שינויי התפוצה במפת חום על פי טווח השנים שנבחרו.

במהלך פיתוח הפלטפורמה נערכה לאורך השנה פגישה שבועית בין הסטודנטים למנחים (גיא שני ואיל שוחט), כדי לבחון את ההתקדמות ולהגיב על התוצרים. בשתי פגישות השתתף גם הצפר הראשי של ק"ל ירון צ'רקה. בנוסף, על מנת להעריך את יכולות המערכת, לבדוק כמה היא ידידותית למשתמש והאם היא

אפקטיבית לעבודה היומיומית, נערך עם סיום העבודה סקר מומחים בקרב כ-20 משתתפים אשר נבחרו ע"י אייל שוחט. נבחר קהל מגוון של צפרים: חוקרים, אנשי שמירת טבע, וחובבים אשר התבקש לענות על שאלון. כחלק מהשאלון, המשתתפים התבקשו לבצע שתי מטלות בהן נדרשו להבין את שינויי התפוצה בשני מינים נבחרים: בז אדום וזנבן ערבי. בשלב הראשון התבקשו להעריך את השינוי על פי ידע כללי בלבד. לאחר מכן הוצג למשתתפים סרטון הסבר על המערכת, ואז הם התבקשו לבחון את השינוי פעם נוספת על ידי שימוש במערכת. לבסוף, המשתתפים נשאלו על יכולות המערכת בצורה פרטנית והתבקשו לדרג את רמת הידידות למשתמש, והאם יכולות אלו תרמו להם במציאת התשובה.



איור 3. התפלגות תשובות הצפרים לפני השימוש במערכת (למעלה) ואחריו (למטה), משמאל זנבן ערבי, מימין בז אדום.

מהתפלגות התשובות (איור 3) ניכר כי במקרה של הזנבן הערבי רוב הצפרים ידעו מראש כי הזנבן הרחיב את תפוצתו, בעוד שהתפלגות התשובות עבור הזאדום היתה כמעט אקראית. בשני המקרים השימוש במערכת עזר להם להבין את כיוון השינוי, במיוחד במקרה של הזנבן הערבי שם השינוי בולט פחות. ייתכן כי צפרים ששגו בתשובתם לאחר השימוש במערכת השתמשו בעזרים הויזואליים בלבד, ולא בקריאת המספרים המחושבים של מספר המשבצות התפוסות.



בז אדום – חרף רגישותו לשינויים סביבתיים והעלמות ממספר אתרי קינון, תפוצתו בישראל בעלייה החל משנות התשעים.

סיכום

תפקידה של מערכת ה-GIS שפיתחנו הינו להוות כלי אשר ייעל את המחקר לניתוח שינויים בתפוצת ציפורי ישראל בעשורים האחרונים. המערכת מדמה אטלס עופות על גבי מפת ישראל, לפי הגריד המופיע באטלס של שיריחי. המערכת מציגה תצפיות של מיני ציפורים לאורך השנים ומאפשרת הצגת שכבות מידע (שטח בנוי, מאגרי מים וכבישים), על מנת לעזור להבין את הגורמים לשינויים בתפוצת הציפורים לאורך השנים. בנוסף, המערכת מאפשרת הרצה והצגה דינאמית של השינויים בתפוצת מינים לאורך טווח שנים נבחר, יכולת שאינה קיימת בשום מערכת כיום.

המערכת נותנת מענה על שאלות גאוגרפיות בעזרת סינון וחיתוך שכבות מידע, שמטרתן לעזור לחוקרים לבצע ניתוחי רגרסיה למציאת קורלציות בין שינויים בתפוצה לבין גורמים סביבתיים. לאחר ביצוע חקר מומחים שהתנסו במערכת, ועל פי רשמים שקיבלנו, נראה כי למערכת פוטנציאל להיות כלי משמעותי ופורץ דרך

בשמירת טבע. המלצתנו היא להטמיע את המערכת במאגר הלאומי לציפורי ישראל, דבר שיקנה לאתר ייתרון משמעותי על פני אתרים גלובאליים כגון eBird.

ספרות

- Bohada-Murillo, M., Castaño-Villa, G. J., & Fontúrbel, F. E. (2020). The effects of forestry and agroforestry plantations on bird diversity: A global synthesis. *Land Degradation & Development*, 31(5), 646-654.
- Catano, C. P., Fristoe, T. S., LaManna, J. A., & Myers, J. A. (2020). Local species diversity, β -diversity and climate influence the regional stability of bird biomass across North America. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1922), 20192520.
- Domer, A., Sitkov, O., Ovadia, O., & Shochat, E. (2019). Effect of riparian vegetation clear-cutting on avian community in the Northern Negev. *Biological conservation*, 236, 435-442.
- Fink, D., Auer, T., Johnston, A., Ruiz-Gutierrez, V., Hochachka, W. M., & Kelling, S. (2020). Modeling avian full annual cycle distribution and population trends with citizen science data. *Ecological Applications*, 30(3), e02056.
- Iknayan, K. J., & Beissinger, S. R. (2020). In transition: Avian biogeographic responses to a century of climate change across desert biomes. *Global Change Biology*, 26(6), 3268-3284.
- Rosenberg, K. V., Dokter, A. M., Blancher, P. J., Sauer, J. R., Smith, A. C., Smith, P. A., Stanton J. C., & Marra, P. P. (2019). Decline of the North American avifauna. *Science*, 366(6461), 120-124.
- Salomon, A., Kozhoridze, G., Shochat, E., & Ovadia O. (2021). The desert exploiter: quantifying the spread of an over abundant bird species into the southern region of Israel. *Condor* 123(3), duab021.
- Shirihai, H. (1996). The birds of Israel. Academic Press, London.
- Shochat, E., Abramsky, Z., & Pinshow, B. (2001). Breeding bird species diversity in the Negev: effects of scrub fragmentation by planted forests. *Journal of Applied Ecology*, 38(5), 1135-1147.

Shochat, E., Lerman, S. B., Anderies, J. M., Warren, P. S., Faeth, S. H., & Nilon, C. H. (2010). Invasion, competition, and biodiversity loss in urban ecosystems. *BioScience*, 60(3), 199-208.

Sofaer, H. R., Flather, C. H., Jarnevich, C. S., Davis, K. P., & Pejchar, L. (2020). Human-associated species dominate passerine communities across the United States. *Global Ecology and Biogeography*, 29(5), 885-895.