השפעת אישיות של דבורים על התפקוד הקולקטיבי של הכוורת  
חישוביות וקוגניציה בבעלי חיים (6170)  
שיר רשקוביץ וחושן לוגסי

תקציר:

בעבודה זו נבחן כיצד תכונות אישיות של דבורים בכוורת משפיעות על התנהגותם הקבוצתית בתהליך איסוף המזון. נבדוק כיצד תכונות אלו משפיעות על יעילות איסוף המזון, ועל ההישרדות הכוללת של הדבורים בכוורת. לצורך כך, נציע מודל שבו שמדמה התנהלות דבורים בכוורת בעת חיפוש מזון, המושפע מתכונות האישיות של חברותיה. התוצאות המתקבלות מלמדות על השפעת תכונות דבורים בכוורת על התפקוד הקבוצתי בעת חיפוש מזון. התוצאות מצביעות על כך שקיים יתרון לרמת הטרוגניות מסוימת בכוורת, ובכך מדגימות את ההשפעה החיובית של שונות בקבוצה. כמו כן, התוצאות מצביעות על כך שקיימים שילובי תכונות אופטימליים יותר ביחס לאחרים עבור כוורת הומוגנית, עבור איסוף מזון עשיר ורב. נציין כי תוצאות המודל חשובות להבנת התפקוד הקולקטיבי במערכות חיות, אשר מושפע מתכונות אינדיבידואליות של הפרטים באוכלוסייה.

מבוא:

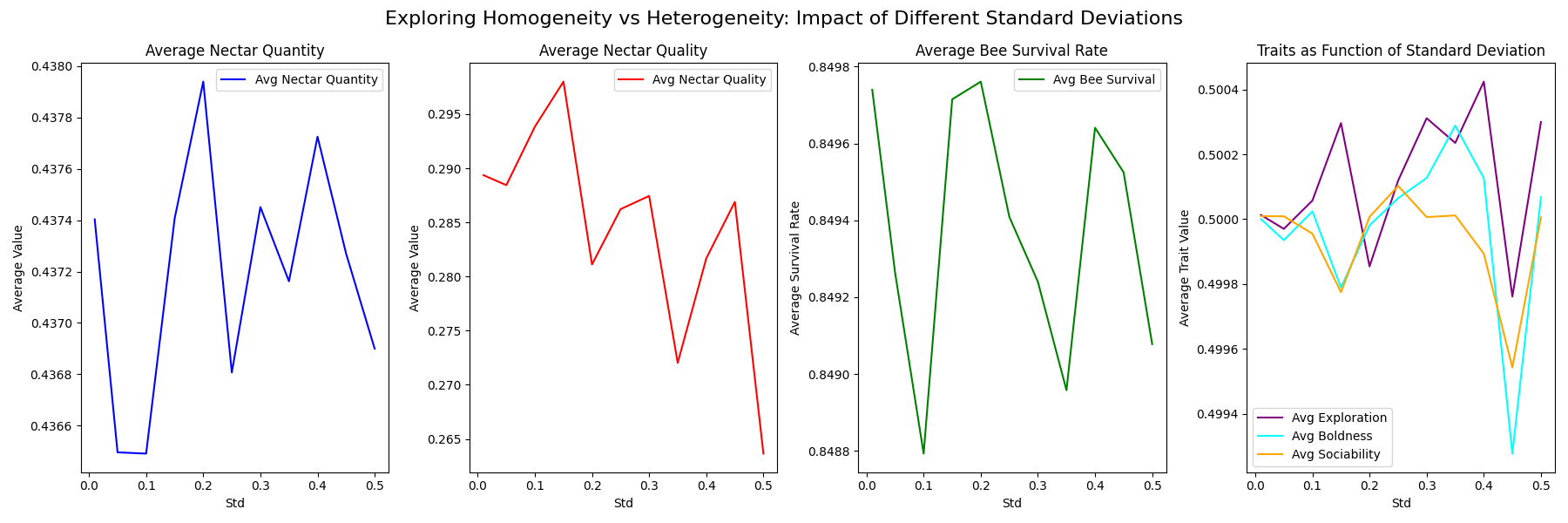
דבורת הדבש היא מין של דבורה המתקיים בארגון חברתי משוכלל בכוורת, במושבות שמונות עשרות עד מאות אלפי פרטים, כאשר בכל מושבה מלכה אחת. מרבית הפרטים במושבה הן נקבות "פועלות" והן אלה שמבצעות את כל עבודות איסוף המזון, טיפול בוולדות, שמירה ותחזוקה בכוורת. לדוגמא, הדבורים הפועלות מחליטות היכן לחפש צוף, מתי כדאי לצאת לחפש כוורת חדשה ואיפה, ומה הוא הזמן המתאים להחלפת המלכה[[1]](#endnote-1). אחד מתפקידי הנקבה הפועלת הוא לצאת מחוץ לכוורת לחפש אחר אבקת פרחים וצוף, המזינים את הדבורים בכוורת, והמובילים לייצור דבש. הדבש שהדבורים מייצרות הוא פרי שיתוף פעולה מתוחכם, אשר מיוצר מצוף איכותי, שאותו עליהן לאתר מבין מבחר עצום של פרחים, בהתאם לעונה ולתנאי הסביבה. כדי לייעל את תהליך איסוף הצוף, הדבורים הפועלות משתפות מידע בנוגע למקומות שבהם אפשר למצוא פרחים עם צוף מובחר על ידי ריקוד, המכונה מחול הדבורה[[2]](#endnote-2). שיתוף פעולה עשוי להיות יעיל יותר מהתנהלות אינדיבידואלית. לצד זאת, קיימים מקרים בהם החלטה קבוצתית אינה אופטימלית. למשל, כאשר החלטה קבוצתית מובילה את האינדיבידואל להתנהל ביחס לעצותיהם של אחרים, בעוד שההחלטה העצמאית של הפרט מובילה לתוצאה טובה יותר[[3]](#endnote-3).

בשנים האחרונות החלו מדענים להכיר בכך שאפילו חרקים כמו דבורים יכולים להיות בעלי תכונות 'אישיות', כלומר עם שוני בהתנהגות בין פרטים מאותו מין. עם זאת, ההשפעה של הבדלי אישיות אלה על התנהגויות קולקטיביות, במיוחד קבלת החלטות במהלך חיפוש מזון, אינה מובנת היטב. כאשר מתארים אישיות של בעלי חיים, נהוג להתייחס למזג, הנטיות או הטבע של בעל חיים, אשר חוזרים על עצמם לאורך זמן[[4]](#endnote-4). דוגמאות בולטות הן אגרסיביות, הימנעות מחידושים, נכונות לקחת סיכונים, חקר וחברתיות[[5]](#endnote-5). במבנים חברתיים מורכבים, לתכונות של החיות המעורבות עשויה להיות השפעה על התפקוד הקולקטיבי. הבנה של האופן בו תכונות אישיות של דבורים עשויות להשפיע על התפקוד הקולקטיבי של המושבה, תוכל לקדם את ההבנה שלנו במערכות חברתיות מורכבות, בהתפתחות אבולוציונית, וכן בניהול מערכות אקולוגיות[[6]](#endnote-6). כמו כן, לדבורי הדבש חשיבות חקלאית וכלכלית אדירה כמאביק עבור גידולים חקלאיים וכן כיצרן דבש, ולכן הבנה מעמיקה של תפוקת כוורת כתלות בתכונות אישיות של הדבורים המרכיבות אותה, עשויה לאפשר ייעול של תחומים אלה על ידי שימוש בכלים שונים, כמו למשל הנדסה ביו-טכנולוגית.

לכן, בעבודה זו נחקור את האופן שבו תכונות אישיות של דבורים בכוורת משפיעות על התפקוד הקולקטיבי שלהן בתהליך חיפוש ואיסוף מזון, תוך התמקדות בתכונות חברותיות, חקר ונועזות.

תוצאות:

על מנת לבחון ולמדוד את שאלת המחקר, פיתחנו מודל התנהגותי של דבורים, המתמקד באפשרויות ההתנהגותיות שלהם ומשקף את האישיות של כל דבורה. באמצעות סימולציות חישוביות, ניתחנו מהו שילוב ערכי תכונות האישיות הממוצעים האידיאליים של הדבורים בכוורת הומוגנית, על כמות ואיכות המזון בכוורת. בנוסף, בדקנו את ההשפעה של הומוגניות מול הטרוגניות על התפוקה הקולקטיבית בכוורת. כלומר, בדקנו כיצד משפיע הגיוון, מידת השוני בין תכונות הדבורים בכוורת, על המזון שנאסף.  **גרף 1: הטרוגניות מול הומוגניות**



גרף זה מציג את ההשפעה של רמת הגיוון באוכלוסייה, השונות בין התכונות של פרטים בכוורת, על כמות הצוף (הגרף הכחול), איכות הצוף (הגרף האדום), ואחוז ההישרדות של הדבורים בכוורת (הגרף הירוק). כאשר סטיית התקן שווה לאפס, כלומר הערך בציר האופקי, מדובר בכוורת הומוגנית. ככל שהערך בציר זה גדל, ניתן לראות את תוצאות המודל עבור כוורות הטרוגניות יותר. על פי תוצאות אלה, אין מגמה אחידה שניתן להצביע עליה. אולם, ניתן לראות כי עבור סטיית תקן סביב 0.15, מתקבלים ערכים גבוהים מאוד עבור כמות הצוף בכוורת, איכות הצוף בכוורת, ואחוז ההישרדות של הדבורים בכוורת.

**גרף 2: שילובי תכונות אופטימליים**

תמונה שמכילה טקסט, תרשים, צילום מסך, מקביל

התיאור נוצר באופן אוטומטי

גרף זה מציג שילובי ערכים שונים של תכונות החקרנות, הנועזות והחברותיות של דבורים בכוורת, על כמות הצוף (הגרף השמאלי), וכן על איכות הצוף הממוצעת (הגרף הימני) הממוצעים שאספה הקבוצה. בתוצאה המתקבלת, ניתן להבחין במגמה, לפיה ישנם שילובים אופטימליים יותר מאשר אחרים, שילובי ערכי תכונות שונות אשר מביאות לתוצאות גבוהות יותר. למשל, ניתן לראות כי השילוב עבור כמות צוף גבוהה ביותר בכוורת הינו 0.1 עבור חקרנות, 0.9 עבור נועזות, ו-0.3 עבור חברותיות. לצד זאת, השילוב האידיאלי עבור איכות צוף גבוהה בכוורת הינו 0.9 עבור חקרנות, 0.1 עבור נועזות, ו-0.5 עבור חברותיות. נזכיר כי ממוצעים אלה משקללים את אחוז הדבורים ששרדו מאחר והמיצוע הוא על מספר הדבורים בתחילת הסימולציה, ועל כן לוקחים בחשבון גם את שיקול אחוז ההישרדות של הדבורים בכוורת.

שיטות:Translation is too long to be save

נציע מודל המדמה התנהגויות של דבורים בכוורת בעת חיפוש מזון, המבטאות שלוש תכונות עיקריות: חקרנות, נועזות-נכונות לקיחת סיכונים, וחברתיות, ונבחן כיצד התנהגויות שונות משפיעות על התפקוד הקולקטיבי של הדבורים. המודל יבחן כיצד רמות וקומבינציות שונות של תכונות אישיות של דבורים בכוורת, משפיע על תפוקת הצוף בכוורת. תפוקת הצוף נמדדת על פי כמות ואיכות הצוף הממוצעים שהתקבלו בתהליך איסוף מזון, כאשר דבורים שלא שורדו את תהליך חיפוש ואיסוף המזון, לא תורמות דבר.  
  
ראשית, עבור כל אחת מהדבורים, ועבור כל אחת מהתכונות, דגמנו מספר בין 0 ל-1 מהתפלגות גאוסיאנית, אשר מייצג את מידת התבטאות התכונה אצל דבורה כלשהי. להלן האופן שבו מידלנו כל אחת מהתכונות:

* **תכונת החקרנות** בבעלי חיים מתבטאת בנטיית בעלי חיים לחקור את הסביבה שלהם, לחפש מקורות מזון חדשים, ולגלות את הסודות הנסתרים בסביבתם. נטייה זאת עשויה להוביל דבורה למצוא מקור מזון איכותי יותר, מאחר ויש לה היכרות נרחבת עם הסביבה, אך גם עלולה להוביל את הדבורה להיתקל ביותר סכנות. לכן, במודל שהצענו תכונת החקר משפיעה על איכות הצוף אשר דבורה משיגה, ועל הסיכוי שלה לשרוד את החיפוש. כלומר, דבורים חקרניות יותר במודל הן בעלות סיכוי גבוה יותר להיהרג מסכנה בעת חיפוש המזון, אך גם בעלות סיכוי גבוה יותר למצוא מזון איכותי בעת חיפוש המזון בהינתן ונשארו בחיים.
* **תכונת הנועזות** מתבטאת במידה בה בעליי חיים מציגים אומץ והתמודדות עם סיכונים ואיומים. הנועזות עשויה להתבטא במהלך הגנה על טריטוריה, חיפוש מזון או מאבק על שלטון בתוך הקבוצה. במודל, דבורים שאינן נועזות, ידבקו במקורות מזון מוכרים ופחות מסוכנים, שסביר כי יהיו מדוללים יותר, כלומר עם כמות צוף מעטה. לעומת זאת, דבורים נועזות אשר לא דבקות בפרח שמצאו, עשויות להביא כמות גדולה יותר של צוף. אולם, ייתכן כי חיפושים אלו יסתיימו באכזבה, ולא יובילו למקורות מזון נוספים. לכן המודל מציע שדבורים שאינן נועזות ישיגו מזון מדולל יותר, ואילו דברים יותר נועזות ישיגו מזון בכמות שנגריל באופן אקראי, המסמל את אי הוודאות שדבורים נועזות עלולות לחוות. בנוסף, על פי המודל שנבנה, דבורים יותר נועזות הן בעלות סיכוי נמוך יותר לשרוד.
* **תכונת החברתיות** מתבטאת בנטיית בעלי חיים לחיות בקבוצות ולשתף פעולה עם חבריהם. התנהגות זו יכולה להיות במטרה להגן על עצמם, לשתף משאבים, לחפש מזון או לטפח יחסים חברתיים. לכן, בחרנו במודל זה לייצג את רמת החברתיות של דבורה באמצעות המידה בה היא משתפת פעולה להשגת מזון. כלומר, ככל שרמת החברתיות של דבורה גבוהה יותר, יש לה שיתופי פעולה טובים יותר, ולכן היא מסייעת לדבורים אחרות להביא צוף מפרחים שהן הגיעו אליהם. ע"פ המודל שהצענו, דבורה חברותית תסייע לדבורה חברותית אחרת להביא צוף מאותו הפרח, ולכן תספק את אותה איכות צוף כמו הדבורה האחרת. המידול מתייחס לאפשרות של דבורה לחפש מזון לפי מחול של דבורה אחרת בכוורת, או לפי יכולותיה האישיות. כאשר דבורה מחפשת מזון לפי הנחיותיה של דבורה אחרת, תכונותיה מתבטאות באופן מעט שונה. כך למשל, אין ביטוי לתכונת החקר, מאחר והיא בסך הכל נשמעת להוראות של דבורה אחרת. עם זאת, נועזות הדבורה עדיין עשויה להתבטא במשך הזמן שהיא שוהה מחוץ לכוורת בחיפוש מזון, אשר עבור דבורה נועזת עשוי להיות ארוך יותר, ולכן מעלה את הסיכוי שהדבורה תאסוף כמות גבוהה של צוף. לעומת זאת, דבורה פחות חברותית, לא תעזור לדבורים אחרות, אלא תחפש צוף לבד ובאופן עצמאי, ותמצא איכות וכמות צוף אשר תלויים בתכונות האישיות שלה, כפי שתיארנו.

לאחר מידול תכונות האישיות, יצרנו סימולציה של כוורת המכילה אלף דבורים, עם תכונות שהוגרלו עבורן מהתפלגות גאוסיאנית, ודימינו את פעולת חיפוש המזון של הדבורים בכוורת. במהלך סימולציה זו, כל אחת מן הדבורים מחפשת אחר מזון, ומסיימת עם כמות מסוימת של צוף שהיא השיגה עבור הכוורת, וכן עם איכות מסוימת של צוף. דבורים שלא שרדו את החיפוש לא יתרמו צוף לכוורת כלל. בתום פעולת חיפוש המזון, חישבנו את אחוזי ההישרדות של הדבורים בכוורת, ואת איכות וכמות הצוף הממוצעת שנאספה, אשר יהוו את מידת ההצלחה של הכוורת, המכילה דבורים עם רמות ממוצעות מסוימות של חקרנות, נועזות, וחברתיות.

דיון:

המודל מדמה את הדינמיקה של התנהגויות קולקטיביות ואינדיבידואליות של דבורים בעת חיפוש מזון, ואת מידת ההצלחה של הדבורים באיסוף הצוף ברמת הכוורת. התוצאות, כלומר כמות הצוף, איכות הצוף והישרדות הדבורים בכוורת, מושפעות ישירות מהחלטות אינדיבידואליות של דבורים ומבוססות על תכונותיהן. כלומר, התוצאות מלמדות שתכונות דבורה בודדות יכולות להשפיע באופן משמעותי על ההצלחה הכוללת של הכוורת. על ידי הדמיית התנהגויות אלו, המודל מסייע בהבנת האיזון בין סיכון לתגמול בחיפוש אחר מזון. בנוסף, התוצאות מלמדות שהתפקוד הקולקטיבי, האופן בו הדבורים משתפות פעולה במחול הדבורה, משפיע גם כן על ההצלחה הכוללת של הכוורת, ולו תפקיד חיוני בהצלחת הכוורת. זאת מכיוון שניתן לראות מהתוצאות כי רמות חברותיות מסוימות בכוורת, משפרות את הביצועים של איסוף המזון. כמו כן, תוצאות הסימולציה מספקות תובנה על היתרון בחיים במסגרת חברתית מורכבת, וכן על היתרון בשונות בין הפרטים במסגרת. כך, קיבלנו כי מידה מסוימת של מגוון ושונות בתכונות אישיות בתוך מושבה מגביר את יעילותה בתפוקה המתקבלת מחיפוש מזון, ובסיכוי הממוצע של דבורה לשרוד. תוצאות אלו מספקות מסקנות לגביתפקידה של השונות והמגוון במערכות קולקטיביות והיתרונות האבולוציוניים שהיא עשויה להקנות.

לצד זאת, קיימות מספר מגבלות במודל המוצע, והן מספר צעדים משמעותיים להמשך. ראשית, על אף שמצאנו הבדלים בתפוקת המזון כאשר בחנו גיוון בכוורת, ההבדלים הם יחסית קטנים. כמו כן, המחקר לא מספק תשובה ברורה לגבי ציון המזון שנאסף במונחי השוואה בין איכות וכמות המזון, ויש צורך במחקר המשך אשר מיישב לבטים אלו בכדי לקבוע מסקנות מעבר למגמה שנצפתה, בנוגע לאופטימליות של ערכים מסוימים. בנוסף, על מנת להבין את התפקוד הקולקטיבי הכללי לאורך זמן ולהסיק מסקנות איכותיות על היכולת של דבורים לשרוד ולאסוף מזון, יש לדמות סביבה וירטואלית של פרחים, אשר מתחשבת באופן התרבותם, אשר מושפעות מהאבקה של דבורה אשר מבקרת בפרח בסביבה, וכן לתנאים סביבתיים נוספים. התחשבות בנסיבות נוספות אלה, עשויה להשפיע במידה משמעותית על תפוקת המזון ואחוזי ההישרדות בכוורת. כמו כן, האופן בו התכונות מאופיינות במודל הינו חלקי, ולא נאמן באופן מוחלט למציאות, ולכן לא מדמה באופן מלא את ההתנהגות המדויקת של דבורי הדבש. כמו כן, כל תכונה עשויה להתבטא באמצעות התנהגויות רבות, ובמודל המוצע ההשפעה של כל תכונה על תהליך חיפוש המזון אופיינה באופן מוגבל. בנוסף לכך, ישנן תכונות אישיות נוספות אשר לא התייחסנו אליהן במודל, המאפיינות את הדבורים בכוורת, ומשפיעות על התפקוד האישי והקולקטיבי בעת איסוף המזון בכוורת. במודל אשר ישקף באופן מהימן יותר את המציאות, יש להתייחס גם אליהן. על אף המגבלות, העבודה מציעה מודל אשר מתבסס על התנהגויות ידועות המאפיינות דבורים החיות יחדיו בכוורת, ומציע תובנות מעניינות על היתרונות של שונות בין פרטים בני אותו המין, שיתוף פעולה, ומציע השערה לפיה ישנם שילובי תכונות שעשויות להגביר את התפוקה של דבש בכוורת.

1. רשימת המקורות-

   Product vs Strategy. (n.d.). *SISolutions*. Retrieved August 2, 2023, from

   <https://www.sisolutions.co.il/post/product-vs-strategy>  
    [↑](#endnote-ref-1)
2. Honey Bee. (n.d.). In Wikipedia. Retrieved August 2, 2023, from <https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%93%D7%91%D7%95%D7%A8%D7%AA_%D7%94%D7%93%D7%91%D7%A9>, [↑](#endnote-ref-2)
3. Collective decision making. (n.d.). In Wikipedia. Retrieved August 2, 2023, from <https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A7%D7%91%D7%9C%D7%AA_%D7%94%D7%97%D7%9C%D7%98%D7%95%D7%AA_%D7%A7%D7%91%D7%95%D7%A6%D7%AA%D7%99%D7%AA> [↑](#endnote-ref-3)
4. Reale, D., Reader, S. M., Sol, D., McDougall, P. T., & Dingemanse, N. J. (2007). Integrating animal temperament within ecology and evolution. Biological Reviews, 82(2), 291-318. [↑](#endnote-ref-4)
5. [What is Temperament? – American Kennel Club (akc.org)](https://www.akc.org/akctemptest/what-is-temperament/) [↑](#endnote-ref-5)
6. Lemanski, N. J., Cook, C. N., Ozturk, C., Smith, B. H., & Pinter-Wollman, N. (2021). The effect of individual learning on collective foraging in honey bees in differently structured landscapes. Animal Behaviour, 179, 113-123.

   מקור פתוח:  
   [GitHub Repository - Cognition and Computation in Animals](https://github.com/shirashko/cognitionAndComputationInAnimals)  
   במאגר זה, ניתן למצוא את כל קוד המקור, הגרפים ותוצאות ההדפסות מהרצה כלשהי של הקוד. בנוסף מצורף בו קובץ README המספק מידע נוסף על המחקר והקוד. [↑](#endnote-ref-6)