

# נתוני עתק, אוריינות מדעית והשפעתם על דרכי הוראת מדע וטכנולוגיה אביבה בריינר<sup>1</sup>

2500 ממהירות השידור של תא עצב במוח). נתון זה היווה פתח למחקרים נוספים העוסקים בפיענוח מיקום על ידי מוחם של עטלפים ובעלי חיים אחרים.

באמצעות הצמדת חיישנים זעירים לעטלף הכוללים GPS לקביעת מיקום, EEG לניתוח גלי מוח ומיקרופון המקליט קולות, ניתן לדעת בוודאות מה עשה העטלף במהלך הלילה ולמצוא קשר בין המיקום ובין קולות של עטלפים אחרים, של פיצוח מזון ועוד.

חיישנים אלה ונוספים כמו חיישן לעוצמת אור, לתאוצה ולמדידת קצב פעימות לב מאפשרים כמעט לחדור למוח העטלף ולעקוב אחר דרך ראייתו את העולם הסובב אותו ואחר אופן תגובתו אליו. בדומה ליונקים אחרים, האופן שבו העטלף מתמצא במרחב ויכולתו לנווט בחושך ובאור, תלויים בקבלת אותות מסוגים שונים במקביל, הפיכתם לאות שנשלח באמצעות תאי עצב אל ההיפוקמפוס - חלק מהמוח המכיל קבוצת תאים הקובעים את כיוון הראש, המיקום והתאוצה. תדר האות הנשלח ואורך הגל מותאמים לסביבה שבה מצוי העטלף: בשטח פתוח ישתמש באות ארוך בתדר נמוך; בתוך המערה ישתמש באות קצר בתדר גבוה מאוד.

הצורך לטפל במידע העצום שנאסף מכל החיישנים, עורר בקרב החוקרים שאלות נוספות הנוגעות לדוגמה ביכולתם של העטלפים לנהל חיי שיתוף במושבות צפופות וגדולות. מסתבר שהעטלף יודע להבדיל בין אותות קול המשמשים לפענוח מיקומו במרחב, לבין שפת תקשורת בין פריטים שונים במושבה. פענוח מודלים של תגובות והתנהגות של העטלפים במושבה לעומת מושבות אחרות, יאפשר לחקור גם את היתרון האבולוציוני של חיים במושבות ענק, היררכיה במושבה, יחסי זוגיות וכן לחקור גם את אוכלוסיות נוספות.

**פרופ' ג'ין רובינזון, זוכה פרס וולף בחקלאות לשנת 2018** - על הובלת המהפכה הגנומית בביוטכנולוגיה של אוכלוסיות דבורת הדבש. בשנים האחרונות אנו עדים לתופעה מדאיגה של קריסת כוורות

ביג דאטה הוא מונח המשמש לתיאור היקף מסיבי של אוסף נתונים, שגודלו העצום וקצב עדכונם המהיר לא היו ברי השגה לקהילות של מדענים, חוקרים, אנשי עסקים ואחרים עד לפני זמן קצר. זרם המידע הבלתי פוסק, יחד עם יכולות האחסון ועיבוד המידע, מאפשר חילוץ משמעותי תוך כדי זיהוי תבניות, דפוסים, מתאמים והקשרים לוגיים שמאפשרים לקבל תובנות חדשות על העולם שבו אנו חיים. יכולתנו להתבסס על בסיס נתונים בעל ממדים עצומים כל כך ולדלות ממנו מידע רלוונטי להבנת תהליכים וקבלת החלטות, פותחת פתח לתהליכי חקר מדעיים רב-תחומיים הדורשים שינוי פרדיגמה בעבודת המדען והמשליכים על המיומנויות שתידרשנה בעתיד בתחום הוראת המדעים להכנת תלמידים לקראת העידן החדש. שלושת המאמרים המוצגים בהמשך ונבחרו באקראי מדגימים שימוש בנתוני עתק ומצריכים תפיסה אוריינית להפקת תובנות על הסביבה בה אנו חיים.

**פרופ' יוסי יובל מאוניברסיטת ת"א** מקשר בין שני תחומי מחקר, האחד בתחום האקולוגיה המתמקד בקשר בין התנהגות בעל החיים לסביבתו ובין תחום מדעי העצב העוסק בחקר המוח ומערכת העצבים ובוחן כיצד מתקבלים אותות מהסביבה למוחו של בעל החיים ומשפיעים על תגובתו. במחקר זה אוספים מידע על עטלפים בטבע בלי להפריע למהלך חייהם, כדי להבין את אופן הניווט שלהם לטווחים קצרים וארוכים ואת דרכי התקשורת במושבת העטלפים המאפשרות חיים משותפים הן באמצעות קול והן באמצעות סוגר. כיוון שהעטלף מתמצא במרחב ומנווט את דרכו באמצעות הסוגר (אות שנשלח ונקלט חזרה מעצמים שונים בסביבה), החוקרים שאלו מה מידת הדיוק של מוח העטלף בפענוח האותות הנשלחים ונקלטים אליו חזרה. למעשה, מוח העטלף מודד את המרחק כפונקציה של מדידת הזמן שלוקח לאות שנשלח - לחזור. החוקר ג'יימס סיימונס גילה בשנות ה-80 כי המוח של העטלפים מודד זמן במהירות של 400 ננו-שניות (פי

<sup>1</sup> ד"ר אביבה בריינר, מפתח מדע וטכנולוגיה, המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך

חדש "הסוציו-גנטיקה", ושוב, גם זאת כתוצאה מיכולת הניתוח של נתוני עתק.

**פרופ' רון מילוא ויונן בר-און** מיפו את פיזור הביומסה בכדור הארץ כדי להבין את המערכת האקולוגית. (מיפקד האוכלוסין של החיים בכדור הארץ: העצים עדיין שולטים). עד כמה שהדבר מפתיע, מסתבר שעד היום לא נעשתה קביעה מסודרת בקשר לביומסה של עולם החי והצומח. החל משנת 1973 התפרסמו מאמרים שעסקו במיפוי של גנומים שונים של אוכלוסיות שונות ומרחבים מסויימים. במחקר רחב היקף שכלל דגימות מ-210 מקומות שונים במרחבי כל האוקיינוסים עד למעמקים של 2000 ק"מ, השתתפו חוקרים, מורים, תלמידים ומתנדבים במהלך 4 שנים בין 2009-2013, והוא מתואר במאמר הבא: [Tara Oceans studies plankton at planetary scale](#). המחקר הנוכחי מתבסס על איסוף נתונים ממחקרים קודמים, כמו גם ממחקרים חדשים, ומביא נתוני ביומסה מחושבים לפי יחידת מידה אחידה של  $GtC =$  ג'גה-טון פחמן. [מעקב באמצעות לוויין מאפשר לבצע מחקר מדויק למדי של הביומסה של העצים בעולם, כך שרמת הוודאות של נתון זה די גבוהה](#). לעומתו, ההערכה לגבי מספר החיידקים החיים מתחת לפני האדמה היא הרבה פחות מדויקת.

להפתעתם גילו החוקרים שבני האדם בעלי הביומסה של  $0.06 GtC$  משנים את ההתפלגות של הביומסה בעולם באופן משמעותי. המשותף לשלושת המחקרים הוא שהחוקרים יצאו לדרך מתוך רצון להבין תופעה ממוקדת. המחקר הנקודתי המעמיק לא סיפק את המדענים והתרחב לתחומים משיקים קרובים ומהם אף לתחומים רחוקים שיצרו מחקר בין-תחומי ואף רב-תחומי חדשני שמאפשר תובנות בתחומים שעד היום לא השיקו זה לזה כגון סוציו-גנטיקה, השפעת הסביבה על ביטוי גנים או הנירוסיינס הדן בהשפעת הסביבה על קליטת האותות ותרגומם לפעולה ע"י המוח. והמאמר האחרון של מפקד האוכלוסין מאפשר לראשונה לכמת את השינוי בביומסה עקב פעילות האדם המשנה את סביבתו בלי שיהיה מודע לאופן שבו השינויים הללו ישפיעו עליו ועל יחסי הגומלין בינו לבין סביבתו.

מחקרים מדעיים מאפשרים לנו להבין ולהסביר תופעות ותהליכים. איסוף נתוני עתק מאפשר הרחבת ההבנה לסוג שאלות שעדיין לא נשאלו! מכאן שגם מושג האוריינות המדעית מתרחב ונדרש כדי ליצור חיבורים וקשרים בין תחומים שונים, כדי להגיע להבנה טובה יותר של היקום שבו אנו חיים.

והיעלמות דבורי דבש. חשיבות הדבורים בהספקת מזון לבני האדם היא עצומה. [כשליש מהמזון שצורכת האנושות הוא תוצר ישיר של פעילות דבורי הדבש הפועלות כמאבקות של למעלה ממאה נידולים חקלאיים חשובים](#). קיימים כ-20,000 סוגי דבורים הפזורים על פני כל כדור הארץ. רמת החברותיות שלהן משתנה, ודבורת הדבש היא ברמה החברתית המפותחת ביותר. מיפוי גנום הדבורה התבצע בשנים 2002-2006. בהמשך לפענוח גנום הדבורה התברר שיש לה מערכת אפיגנטית - מערכת המסוגלת לשנות ולווסת את פעילות הגנים השונים בתגובה לתנאי הסביבה. תנאי הסביבה הם לא רק התנאים הפיזיים אלא כוללים גם את הסביבה החברתית שהתבררה כבעלת השפעה מכרעת על ביטויים של כמחצית מהגנים באמצעות שינויים כימיים על גבי הדנ"א (אפיגנטיקה). גילוי זה הביא לפיתוח תחום הסוציו-גנטיקה ([מה חשוב יותר - הגנים או הסביבה?](#)). סימון דבורים והיכרות אישית עם כל דבורה בשיטת ה-[RFID - Radio Frequency Identification](#) מאפשרים זיהוי אישי וזיהוי התנהגות של דבורה אינדיווידואלית. בדרך זו ניתן להבחין בין פועלת בוגרת היוצאת מהכוורת לעומת אלה שעובדות בתוך הכוורת, שהן הצעירות. אחת השאלות שנחקרה היא מה גורם לפועלת הצעירה "להחליט" שהיא בוגרת מספיק ולהצטרף לחברותיה הבוגרות. ואם אין זו החלטתה שלה - אז מי מעורב בהחלטה?

במעבדה של ג'ין רובינזון באוניברסיטת אילינוי, במכון למחקר לביולוגיה גנומית ע"ש Karl R. Woese נערכו ניסויים רבים ומגוונים בתחום באמצעות העברת דבורים צעירות לכוורת חדשה נטולת פועלות בוגרות. למרבה ההפתעה התרחשה התבגרותן באופן מידי תוך כדי הפעלת גנים הדומים לגנים הפעילים בבוגרות. האם יש בכך עדות לחומר מעכב התבגרות שמפרישות הפועלות הבוגרות כדי לווסת את עבודת הכוורת? אכן התגלה חומר כזה! בניסוי אחר הוסרו הפועלות הכי "חרוצות" והושארו אלו שנספרו פחות כניסות ויציאות עבורן. התברר שלאחר הרחקת הפועלות ה"חרוצות" הפכו הפועלות ה"עצלות" ל"חרוצות". ניסוי נוסף בדק את מידת התוקפנות של הדבורים כתכונה נרכשת. כאשר פועלות מכוורת רגילה הוכנסו לכוורת המאופיינת בפועלות אגרסיביות - הן הפכו כאלה בעצמן. המנגנון שהתגלה לויסות זה הוא [יכולת ה-מתילציה](#); הוספת  $CH_3$  לבסיס הציטוזין מביאה להפעלת גנים ולהפסקת פעילותם של אחרים.

הקשר בין בקרה על ביטוי הגנים כתוצאה מהשפעת הסביבה לא נתן עדיין מענה לקריסת כוורות, אבל פתח פתח להבנת תחום