

## דבר העורך

עורך:  
אהרון שחר

חברי המערכת:  
פרופ' אורית חזן  
אהרון שחר  
ד"ר רועי צזנה

מזכירת המערכת:  
סיון ברקוביץ

כתובת המערכת:  
מורטק - מרכז  
המורים הארצי  
למקצועות  
הטכנולוגיים - מדעיים  
המחלקה לחינוך  
למדע וטכנולוגיה  
קרית הטכניון  
חיפה 32000

moretech@technion.ac.il

לאור התהודה החיובית שהתקבלה מקוראי הגיליון השביעי של "מורטק", הוחלט להוציא את כתב העת פעמיים בשנה. מכאן, שהגיליון השמיני של מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים "מורטק", יוצא לאור באמצע שנת הלימודים תשע"ג. בגיליון זה הוספנו חדשות בתחום הטכנולוגיה, בנוסף לסקירת פעילויות מיוחדות של מרכז המורים, כמו למשל פעילות מרכז המורים ב"ליל המדענים" שהתקיים בטכניון.

"ליל המדענים" השנה התקיים בסימן שנת טיורינג הבינלאומית, לרגל 100 שנה להולדת אלן טיורינג שנחשב לאבי מדעי המחשב.

בהקשר זה, מופיע בגיליון זה מאמרו של אחיה אסף מאוניברסיטת בן גוריון הסוקר את התפתחות הבינה המלאכותית כחלק מפיתוח המחשב. ד"ר ארי גירו ועמיתיו מציגים מחקר שנעשה בקרב אוכלוסייה הלומדת במגמת אלקטרוניקה ומנצלת את המחשוב ללימוד בעזרת אנימציה. ד"ר יוסי מחלוף, ד"ר אילת אברהם ופרופ' ענת ירדן ממכון ויצמן מציגים במאמרם את שילוב המיחשוב בנושא הביואינפורמטיקה בתכנית הלימודים בביוטכנולוגיה.

עוד בגיליון, מוצגים רשמיהם של מורים מובילים מישראל, ממגמת ביוטכנולוגיה, שהשתתפו בקורס בין-לאומי מטעם המכון האירופאי לביואינפורמטיקה שהתקיים בקיימברידג' אנגליה.

לבסוף, אנו פונים לכל המורים והמורות לשתף את הקהילה בעשייה הברוכה שלכם בשדה ולשלוח מאמרים לפרסום בגיליון הבא. קול קורא מופיע בסוף הגיליון. כמו כן, הפקתו של כתב עת זה מותנית ע"י מספר הקוראים אותו. אנו מבקשים מכם למלא את דף המשוב המופיע בעמוד האחרון של גיליון זה ולשלחו לפי הפרטים המצוינים במשוב. תודה על שיתוף הפעולה.

קריאה מהנה ומועילה,  
אהרון שחר

## תוכן העניינים

5	.....	▪ משולחנו של מנהל מרכז המורים מורטק
6	.....	▪ "ליל המדענים" 2012 בטכניון
8	.....	▪ חדשות מעולם הטכנולוגיה
16	.....	▪ אלגוריתמים אבולוציוניים / אחיה אליאסף
22	.....	▪ שילוב נושא הביואינפורמטיקה בתכנית הלימודים בביוטכנולוגיה/ יוסי מחלוף, אילת אברהם, ענת ירדן
35	.....	▪ אנימציה ממוחשבת ככלי לשיפור הישגי סטודנטים להנדסאות ועמדותיהם כלפי אלקטרוניקה/אהרון גרו, ושאח זועבי, ניסים סבאג
40	.....	▪ מורים מובילים מישראל, ממגמת ביוטכנולוגיה, השתתפו בקורס בין-לאומי מטעם המכון האירופאי לביואינפורמטיקה שהתקיים בקיימברידג' אנגליה/ מינהל למדע וטכנולוגיה משרד החינוך
42	.....	▪ אודות "מורטק" – מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים
45	.....	▪ דף משוב

## משולחנו של מנהל מרכז המורים מורטק

למורות ולמורים בחינוך הטכנולוגי-מדעי,

רציתי להודות לכם על שיתוף הפעולה במהלך שנת הלימודים הנוכחית והקודמת, כולל השתתפות בכנסים, בימי עיון ובהשתלמויות, שמרכז המורים "מורטק" ארגן בשיתוף פעולה עם המפמ"רית והמפמ"רים לאלקטרוניקה וחשמל, ביוטכנולוגיה, מדעית-הנדסית ומכונות. המבחן הגדול שלנו כמרכז מורים הוא, האם נשכיל להגדיל לטפח ולהעצים את קהילת המורות ומורים בחינוך הטכנולוגי למען כלל תלמידים הלומדים במסלולים הטכנולוגיים מדעיים בישראל, או שמא נישאר קהילת מורים מצומצמת שטיפוחה עוכב בעשורים האחרונים. אם נשאר בד' האמות של הכיתה הרי שהפעילות הענפה של מרכז המורים "מורטק" תהיה חד פעמית; לחילופין, בעזרתכם/ ובעידודכם/ נדאג לכל קהילת המורים בחינוך הטכנולוגי. אנו רק בתחילת הדרך. לשם קידום, פיתוח וטיפוח קהילת מורים מקצועית נצטרך כמובן את עזרתכם/. תמיכתכם במרכז חשובה ולא הסתיימה אלא מעצימה. אהיה עמכם/ בקשר רציף.

בברכת עשייה מהנה ופורייה,

אהרון שחר – מנהל מרכז המורים

## ”ליל המדענים” 2012 בטכניון

לחוות וללמוד על חזית הטכנולוגיה הישראלית מפי ראשי האקדמיה והתעשייה הישראלית. מרכז המורים ייצג את המורים במקצועות הטכנולוגיים המדעיים, ובמיוחד את היוזמה החינוכית של מורי מגמת האלקטרוניקה בראשות מרכזת המגמה גבי קולט מזמר טוב, המקדם שיתוף פעולה בין מגמת האלקטרוניקה בבית הספר רב תחומי ב' בפתח תקווה לבין חברת BIM. לשמחתנו, דוכן מרכז המורים גדש בתלמידים, הורים, מדענים, בעלי מפעלים שאחד מהם אף הציע לקנות את הפרויקט שהתלמידים תכננו, בנו והציגו בנושא ניטור לחות וטמפרטורה במפעל. כמו כן, פרופ' בועז גולני, סגן נשיא הטכניון לקשי ציבור ופיתוח משאבים, ביקר בדוכן והביע את תמיכתו בעידוד החינוך הטכנולוגי מדעי. זאת ועוד, כאשר פרופ' גולני שמע מבוגרי המגמה בתשע”ב שעבודת הפרויקט האלקטרוניקה הקנתה להם 5 יח”ל ובנוסף התלמידים למדו ברמת 5 יח”ל פיזיקה 5 יח”ל מתמטיקה ו- 5 יח”ל אנגלית, הוא הציע לבוגרי המגמה להצטרף לעולם האקדמי הטכנולוגי, באמרו: ”לתלמידים האלו יש ברק בעיניים ולכאלו סטודנטים אני מצפה בטכניון”.

ליל המדענים, מתקיים בכל שנה ברחבי אירופה מאז 2007 ביוזמת ובחסות האיחוד האירופי. האירוע מתקיים במספר רב של מקומות בו זמנית. במהלך הערב מוסדות מחקר פותחים את דלתותיהם לציבור הרחב להרצאות ופעילויות בנושאי מדע בגובה העיניים.

השנה נערך ”ליל המדענים” בנושא מדעי המחשב, לציון שנת הולדתו המאה של אלן טיורינג, הנחשב לאחד מאבות התחום. ב”ליל המדענים” בטכניון השתתפו 5000 צעירות וצעירים ונהנו מעשרות אירועים בהשתתפות חוקרים ואנשי תעשייה מובילים. מגוון רחב של מיצגים ופעילויות, ביניהם שדרת ביתנים של מרכזי המורים של הטכניון, וביניהם גם מור-טק - מרכז המורים הארצי למורים במקצועות הטכנולוגיים מדעיים, ושל חברות ההיי-טק המובילות בארץ. כמו-כן, נחשפו המבקרים לרובוטים, בקרו באולם משחקי מחשב מתקדמים, ושמעו הרצאות אינטראקטיביות. בנוסף, סימולאטור של ירי טילים הוצג בפני באי האירוע.

הטכניון הפך לערב אחד לפסטיבל מדע ענק עבור משפחות, ילדים בני נוער, חיילים, סטודנטים ומבוגרים, שהגיעו לטכניון כדי לחגוג את ”ליל המדענים”, להכיר,



תצוגת תלמידי מגמת אלקטרוניקה מבית הספר רב תחומי ב' בפתח תקווה בליל המדענים 2012 בטכניון.

צילום: יואב בכר, דוברות הטכניון

נשיא הטכניון, פרופסור פרץ לביא, ופרופסור אלי ביהם, דיקן הפקולטה למדעי המחשב אירחו בפקולטה למדעי המחשב של הטכניון את שר המדע, פרופ' דניאל הרשקוביץ, שגריר האיחוד האירופאי, אנדרו סטנדלי, מייסד Comigo ו-M-Systems דב מורן, ונשיא אינטל ישראל, מולי אדן.

נשיא הטכניון, פרץ לביא בירך את אלפי המשתתפים שהגיעו לאירוע ואמר שהוא שמח לפתוח בפני הקהל הצעיר הרב את שערי הטכניון.

שר המדע, דניאל הרשקוביץ אמר "מדינת ישראל היא מעצמה מדעית טכנולוגית ולא באופן יחסי לגודלה. כאן בטכניון אנחנו רואים את ההון האנושי שעושה את זה."

מולי אדן התייחס לקשר של בני אדם עם מחשבים. לדברי אדן, הקשר עם המחשבים צפוי להיות דומה בשנים הבאות לקשר שקיים כיום בין בני אדם. לדבריו הקשר בין אדם למכונה יהיה טבעי ואינטואיטיבי. ולא רק זאת אלא שמחשבים יהיו חלק אינטגרלי מבני האדם. "המחשב עבר להיות ממחשב מרכזי למחשב שולחני. ומכאן למחשב נייד שכל אדם סוחב איתו ולטלפון נייד שנמצא

עם כל אחד מאיתנו. בשנים הבאות נסתובב עם ציפ (שבב) שנמצא בתוכנו", הסביר אדן. בהמשך דבריו התייחס נשיא אינטל לקשר של לימודי טכנולוגיה לאומת הסטארט-אפ הישראלית. "הנוער שנמצא כאן בליל המדענים הם אותם אנשים שיצטרכו לשאת בנטל האחריות של צמיחת תעשיית ההיי-טק בישראל. עלינו להשקיע בחינוך הטכנולוגי כדי למצב את בוגרי בתי הספר התיכונים בעמדה תחרותית יותר ביחס ליתר מדינות העולם". אדן ציין בנאומו כי "מקום טוב באמצע הוא לא מקום טוב". לדבריו, מגמת החדשנות בשנים האחרונות מואצת במידה רבה. "האתגר הגדול שעומד בפני התלמידים הוא אתגר גדול יותר מהאתגר שדור היי-טק הנוכחי עומד בפניו", הסביר אדן בנאומו.

שגריר האיחוד האירופי אנדרו סטנדלי חתם את האירוע ואמר שהוא נרגש מאוד להיות בטכניון וכי היחסים בין האיחוד האירופי לישראל חמים והדוקים, ובתחום המדע הם לאין ערוך חמים יותר. הוא אמר "אנחנו חוגגים כאן הערב חגיגה כפולה: 100 שנים לטיורינג ו-100 שנים לטכניון."

## חדשות מעולם הטכנולוגיה

טילים ובהן כיפת ברזל, בכנס השנתי של בוגרי המכללה לבטחון לאומי. שהעיר כי מערכת כיפת ברזל, למרות היותה מערכת טקטית הצליחה לסייע בהכרעה בממד האסטרטגי.

האיום עלינו מגוון, החל מהקסאמים, דרך רקטות תקניות ועד לרקטות ארוכות טווח כגון פאג'ר 5 ורקטה 8 אינטש שראינו בראשון. עדיין לא חוונו את הרקטות הכבדות של חצי טון ראש נפץ. חלק מהאיומים הם של כלי טיס נושמי אוויר כולל טילי שיוט שהאירנים הכריזו עליהם לאחרונה. בניית המערכות מתאפיינת בקצב מהיר.

בניהול פרויקטים של הגנה מטילים אם הצלחת תוך 5 שנים זה השג פנומנלי – להביא את מה שביקשו בזמן בביצועים. אף פעם עוד לא קרה – עשר שנים. דיברנו על מה קרה מ-2002 עד היום. כל פעם שאנחנו נרדימים אנחנו מקבלים איתות, כמו המל"ט שטס מעל ישראל.

האיום הולך ומחריף, זה גם פוגע בתפיסת הניהול. אנחנו במרוץ חימוש כאשר הצד השני משכלל את יכולת ההתקפה ואנחנו משכללים את יכולת ההגנה. מערכת כיפת ברזל שפותחה בתחילה כאבן יסוד טכנולוגית ובזמן שיא מקבלת ההחלטה – דצמבר 2007 ועד ליירוט ראשון, ב-2011 עברו בכל זאת 4 שנים. בזמן זה האיום השתנה כבר לא מדובר ברקטות לטווח של 4-40 קילומטרים אלא בטילים שמגיעים לתל אביב – מרחק של 70 קילומטרים מהרצועה.

רמתי הזכיר לכולם את הדילמות שהיו בשנות התשעים בכל הנוגע להגנה מטילים:

### מענק רובוטיקה ענק לחוקרים

#### באוניברסיטת בן-גוריון

קרן הלמסלי תעניק לאוניברסיטת בן-גוריון בנגב מענק של יותר מ-6.2 מיליון דולר לשם פיתוח מרכז רובוטיקה חדש  
קרן הלמסלי תעניק לאוניברסיטת בן-גוריון בנגב מענק של יותר מ-6.2 מיליון דולר לשם פיתוח מרכז רובוטיקה חדש. המרכז, שיקרא מרכז ABC לרובוטיקה, יהווה מוקד למחקר רב-תחומי ברובוטיקה וכן לפיתוח מערכות יישומיות ברובוטיקה חקלאית, ביולוגית וקוגניטיבית.

פרופ' יעל אידן, אשר מובילה את תחום הרובוטיקה באוניברסיטה במשך שנים רבות וקידמה אותו ללא הכר, מדגישה כי המטרה של המרכז החדש הוא להוביל מחקר חדשני בין-תחומי, תוך שיתוף חוקרים מתחומים שונים על מנת להוביל את המחקר בתחום הרובוטיקה לכוונים חדשים. "המרכז מתמקד בתחומי מחקר בהם אוניברסיטת בן-גוריון מובילה כיום והוקם במטרה לאפשר חיזוק הקשרים בין חוקרים הבאים מתחומים כגון-רובוטיקה, פסיכולוגיה, ביולוגיה ורפואה", אומרת פרופ' אידן.

מקור: אוניברסיטת בן-גוריון, הידען

### במימד הטכנולוגי הויכוח על התועלת של

#### כיפת ברזל הוכרע

הפלסטינים שיגרו במהלך מבצע עמוד ענן מטחים של 14-15 טילים בו זמנית, מסלולים שטוחים, והצלחנו לעמוד בכל האתגרים, כך אמר יאיר רמתי, ראש מנהלת חומה במשרד הבטחון האחראית על מערכות ההגנה מפני

אישית כגון, בקרי משחקים המתאימים באופן מושלם לצורת ידיהם.

חוקרים מאוניברסיטת וורוויק פיתחו חומר פלסטי מוליך פשוט וזול שיוכל לשמש לייצורם של התקנים אלקטרוניים בעבור תלמידים ואנשים בביתם, וזאת תוך ניצול הדור האחרון של מדפסות תלת-ממדיות חסכוניות.

החומר החדש, המכונה בשם "קרבומוρφ" (carbomorph) מאפשר למשתמשים בו לייצר מערכים וחיישנים אלקטרוניים כחלק ממבנה תלת-ממדי מודפס – מה שמאפשר למדפסת לייצר, לדוגמה, משטחים הרגישים למגע הניתנים לחיבור למעגל אלקטרוני רגיל. עד היום, צוות החוקרים השתמש בחומר החדשני לשם הדפסת עצמים שבהם מוטמעים חיישנים גמישים או כפתורים הרגישים למגע, כגון בקרים למשחקי מחשב או ספל המציין את נפחו המתמלא בעזרת גלאי מיוחד. השלב הבא יהיה להדפיס מבנים ורכיבי אלקטרוניקה הרבה יותר מורכבים, לרבות תילים וכבלים המשמשים לחיבור ההתקנים למחשבים.

אומר החוקר הראשי: "זה תמיד מפליא אותי לראות את המודלים המורכבים והמסובכים של התקנים כגון טלפונים ניידים או שלטי טלוויזיה הניתנים לייצור בעזרת מדפסת תלת-ממדית, אולם הם עדיין כשמים – מודלים – שלא ממש מתפקדים בעולם המעשי. "ביקשנו למצוא דרך שבה נוכל להדפיס הלכה למעשה התקני אלקטרוניקה מתפקדים בעזרת מדפסת תלת-ממדית. בטווח הארוך, טכנולוגיה זו תוכל להביא למהפכה בדרך בה אנו מייצרים את העולם שמסביבנו, תוך הכנת פריטי אלקטרוניקה אישיים באופן מותאם וייחודי

האם ניתן בכלל ליירט טיל בליסטי שחתימתו קטנה באמצעות מערך הגנה קרקעי? האם הסקאד אכן מייצר איום משמעותי על ישראל ומה לגבי הגראד? האם נכון להשקיע בהגנה על חשבון ההתקפה – ערעור תפיסת הבטחון המסורתית? האם ארהב תהיה מוכנה לסייע לישראל, לאורך זמן, במימון ההגנה מטילים? מה מידת ההגנה שניתן לספק לעורף ומה נכון לספק.

שתי הסוללות הראשונות היו במימון ישראלי, סולות 3-4 היו במימון אמריקני של 204 מיליון דולר. בזמן מבצע עמוד ענן, סוללות 5 ו-6 היו בבניה, ואת סוללה 5 הצלחנו להביא לתל אביב זמן שיא, כאשר המפעילים היו צריכים להתמודד עם תוכנה לא יציבה בשפה חדשה עבורם. הם הצליחו לעשות זאת בתוך יום וחצי".

במימד הטכנולוגי הויכוח הוכרע, גם המימד הכלכלי הוכרע בזכות הסיוע האמריקני. מבחינת עלות הפרויקט מינהלת חומה עלתה יותר מפרויקט אחד- פרויקט החץ, שהתפלג לארבעה פרויקטים במקביל כיפת ברזל, שרביט קסמים, חץ 2 (ו-3 בפיתוח) וכן פרויקט בני רשף. אנו שואפים, בסיוע המודיעין, להיות תמיד שלב אחד לפני הגורמים המאיימים אם מדובר בעזה, לבנון, סוריה או אף אירן. אם נוסיף את המידע מתחנות ההתראה האמריקניות, מצבנו היום מבחינת היכולת ליירט טילים טוב בהרבה.

המקור: הידען, אבי בליזובסקי

## **הדפסה אישית של רכיבי אלקטרוניקה תלת-ממדים**

מדענים מפתחים כיום חומרים חדשים שיוכלו לאפשר בעתיד לבוא לאנשים להדפיס בביתם שלהם רכיבי אלקטרוניקה מותאמים

יותר, בד בבד עם הפחתת הפסולת בתעשיית האלקטרוניקה.

הטכנולוגיה שלנו גם תוכל לסייע למעצבי מוצרים להבין טוב יותר כיצד בני אדם מנצלים את חוש המישוש שלהם לתפעול מוצרים באמצעות שליטה על גלאים המוטמעים באביזרים עצמם. כמו-כן, הטכנולוגיה תוכל לשפר את הניסיון הנרכש של מהנדסים במהלך לימודיהם המעשיים.

היתרון הגדול הטמון במדפסת תלת-ממדית הוא בכך שהשקעים המשמשים לחיבור לציוד חיצוני, כגון התקני אלקטרוניקה, ניתנים להדפסה בעזרת דבקים או חומרי צבע מוליכי חשמל.

המקור: הידען, ד"ר משה נחמני

### **הושלם בהצלחה ניסוי במנוע מטוס החלל סקייילן שיוכל להטיס בני אדם מכל מקום לכל מקום בעולם בתוך פחות מ-4 שעות**

ניסוי מוצלח למנוע סילון חדש המכונה SABRE שיוכל לשגר מטוס אל החלל וכך יוכל להגיע מכל מקום לכל מקום בעולם בתוך פחות מ-4 שעות..

מהנדסי חברת REL (Reaction Engines Limited) הבריטית התגברו על מכשולים טכניים גדולים שגרמו לעצירת ההתקדמות בפיתוח המטוס במשך למעלה משלושים שנה.

REL תכננה מערכת המקררת את האוויר הנכנס למנועים מאלף מעלות צלזיוס למינוס 150 מעלות בפחות ממאית השנייה – פי שש יותר מהיר ממצמוץ בעין.

למטוס פוטנציאל להאיץ למהירות של 5.5 מאך או 7,240 קמ"ש – או פי 5.5 ממהירות הקול. השבוע ביצעה החברה את הניסויים

בשיתוף סוכנות החלל האירופי. הסוכנות אישרה כי מטרת הניסוי הושגה.

המנוע הוא מרכיב מרכזי במטוס החלל המתכוון סקייילון – שאמור להמריא ולנחות בשדות תעופה רגילים אך לטוס דרך החלל. משמעות הדבר- נסיעה מהירה בכל מקום ברחבי העולם.

"צוות REL מנסה לפתור את הבעיה במשך למעלה משלושים שנה וכעת סוף סוף הם עשו זאת" אמר מייסד REL אלן בונד. "חדשנות לא קורית בן לילה, מומחים עצמאיים אישרו כי ניתן כעת להדגים מנוע מלא. מנוע הסברה הוא בעל פוטנציאל למהפכה בחיינו במאה ה-21 באותה הדרך שבה גרם מטוס הסילון למהפכה במאה ה-20."

כעת זקוקה החברה ל-382 מיליון דולר להמשך הפרויקט ולהוצאתו משולחן התכנון אל החלל.

המקור: הידען, אבי בליזובסקי

### **חוקרי הטכניון מצאו דרך חדשנית ליצירת מולקולות שיקצרו תהליכי פיתוח תרופות**

חוקרי הטכניון מצאו דרך חדשנית ליצירת מולקולות. הם הצליחו להגיע למולקולה עם המרכז הכיראלי בשלב אחד בלבד מחומר המוצא. עד כה הגיעו לכך חוקרים בכמה שלבים, וגם זאת – רק בשני מקרים בהסטוריה. על פריצת הדרך שלהם מדווח כתב העת המדעי היוקרתי "נייציר". מדובר בפתרון בעיה סינתטית שטרם נפתרה עד כה ועשויה לקצר באורח ניכר תהליכים בתעשיית התרופות.



כימיה אורגנית סינתטית היא מדע העוסק בבניית פרגמנטים מולקולאריים משוכללים מיחידות אורגניות פשוטות ביותר, מסביר פרופסור אילן מרק מהפקולטה לכימיה בטכניון. "אחת האפליקציות האפשריות הרבות בתחום זה הינה סינתזה של חומרי טבע מורכבים. בעשורים האחרונים הכימאים האורגניים הכינו מערכות מורכבות אלו באמצעות סינתזה רב שלבית. אולם, השאלה האמיתית של המאה ה-21 אינה עוד 'האם אנו יכולים לסנתז מולקולה זו?' אלא – 'כיצד נוכל לסנתז אותה בצורה יעילה ביותר, תוך שימוש במספר שלבים סינתטיים מינימאלי?'

בשנים האחרונות פיתחה קבוצת המחקר של פרופסור מרק אסטרטגיות אלטרנטיביות אשר לא רק ענו על הדרישות הללו אלא גם נתנו פתרון לבעיות סינתטיות מאתגרות. אחת הבעיות הקריטיות הנותרות בתחום זה הינה יצירה של מרכזים כיראליים רבעוניים במערכות א-ציקליות בתגובת אלדול. מולקולה פיראלית (Chiral molecule) היא מולקולה שלא ניתן ליצור חפיפה בינה ובין תמונת המראה שלה באמצעות סיבוב במרחב. לתכונה זו של מולקולות מסוימות, הנובעת מהיעדר סימטריית שיקוף פנימית, קוראים פיראליות (Chirality) ושתי המולקולות השונות, המהוות תמונת מראה האחת של השנייה, מכונות אננטיומרים. אלדולים (באנגלית ביחיד Aldol): הם קבוצה של תרכובות אורגניות. המילה אלדול היא חיבור של המילים אלדהיד ואלכוהול (כוהל); ואכן, כל האלדולים מכילים שתי קבוצות פונקציונליות – זאת של האלדהידים (CHO) וזאת של הכוהלים קבוצת הידרוקסיל (OH).

אלדולים נוצרים כשקטון מגיב עם קטון אחר או עם אלדהיד, או כשאלדהיד מגיב עם אלדהיד. התגובה נקראת תגובת אלדול, וחשיבותה בכימיה האורגנית גדולה, שכן היא אחת הדרכים המעטות בה ניתן ליצור קשרי פחמן-פחמן, כלומר – לחבר שתי מולקולות קטנות למולקולה אחת גדולה. התגובה מכונה תגובת אלדול מוצלבת כששני המגיבים אינם זהים (למשל, תגובה בין האלדהיד מתנל (פורמלין) והקטון פרופנון (אצטון)).

מרבית המולקולות הביולוגיות הן כיראליות, ומכאן חשיבות המושג במחקר הביוכימי. במקרים לא מעטים, שני האננטיומרים של חומר מסוים משפיעים באופן שונה על גוף האדם, ועל כן להבנת תכונת הכיראליות של מולקולות אלו יש חשיבות רבה בתעשיית התרופות ובתעשיית המזון. בתהליכים ביולוגיים שבהם מעורבות מולקולות כיראליות, כמו חומצות אמינו וסוכרים, פעיל בדרך כלל רק אחד האננטיומרים. הבנת המקור להבדל בשכיחות שני האננטיומרים של אותן מולקולות יכול לשפוך אור על מוצא החיים. בדיווח האחרון שפורסם ב Nature על ידי פרופסור מרק ועמיתיו, הם פתרו בעיה זו על ידי תגובה בכלי יחיד תוך שימוש בחומרי מוצא מגוונים בעלי זמינות גבוהה. פרצת דרך משמעותית זו מצטיינת פתרון אלגנטי ויעיל לבעיה סינתטית אמיתית, שכן הכנה של מרכזים רבעוניים אלו המותמרים כולם בפחמימנים במערכות א-ציקליות מהווה את אחד האתגרים העכשוויים הקשים ביותר בסינתזה האורגנית המודרנית.

האתגר גדול במיוחד ביצירה של מרכזים אלו בתוצרים אלדוליים. קושי זה הוא בעייתי שכן התגובה האלדולית מהווה את אחת הטרנספורמציות הכימיות החשובות

זעירים הרבה יותר מהמזל"טים (מטוסים זעירים ללא טייס) הקיימים כיום, ומהטבע אנו רואים שציפורים עושות את זה תוך נפנוף הכנפיים שלהן."

### תרגול רטוב

נפנוף הכנפיים הוא ההבדל העיקרי בין שיטת התעופה של עופות וחרקים לבין המטוסים המוכרים לנו. אלימלך בנה דגמים של כנפי הציפורים, ומתקן מיוחד לבחינתם: זרוע רובטית המניעה את הכנף בתוך מכל מים. השיטה מאפשרת לעקוב אחר הזרמים שיוצרת תנועת הכנף, ולסות להבין את הכוחות המופעלים עליה בכל נקודה ונקודה. השימוש בסביבה מימית, במקום באוויר, מאפשר לעקוב אחרי תנועה איטית יחסית של הכנף, ולבחון את הזרמים שהיא מייצרת בתווך שסביבה. החוקרים משתמשים בכנף המשחררת סילוני דיו אל המים, או במים ההמכילים חלקיקי צבע זעירים. צילום וידאו משוכלל מאפשר לבחון את הזרמים ולנתח אותם מתמטית. "המחקר התחיל לפני כשלוש שנים בחקר בסיסי של שדה הזרימה סביב כנף קבועה של יונק דבש", מספר אלימלך. "לאחר מכן חקרנו מה קורה סביב כנף סובבת, לבחון עד כמה זה דומה למדחף של מסוק. הדבר המסובך ביותר הוא אנליזה של שדה הזרימה סביב כנף מנפנת – האצה, האטה, סיבוב של הכנף בסוף המהלך ושוב האצה מחדש. זה נעשה מתוך רצון להבין כיצד מתקבלים כוח העילוי הגבוה והיעילות הגבוהה בתעופה של יונקי הדבש."

עניין בטחוני

החוקרים מקווים כי הידע שייאסף על הפיסיקה של תנועות הכנפיים אצל יונקי הדבש, יאפשר לתכנן מטוס זעיר, שיוכל ליישם את העקרונות האלה ליעילות טיסה

ביותר בסירתזה האורגנית. הבעיה העיקרית המגבילה את היצירה של מרכזים מסוג זה היא היעדרה של שיטה יעילה להכנתם של אנוליטים כיראליים תלת מותמרים במערכות א-ציקליות המוגדרים מרחבית.

ניתן לפתור בעיות אלו באמצעות שילוב של תגובת קרבמטאלציה וחמצון של אורגאנו קופרט, אשר מאפשרת קבלה של אנולט תלת-מותמר המוגדר מרחבית. שיטה זו שימשה ליצירת סידרה של תוצרי אלדול ו-

מאינאמידים Mannich, ביחסים

דיאסטרואומריים ואננטיומריים מצויינים וניצולות טובות.

על עשית סינתזה בדרך שונה לחלוטין מהמקובל, קיבל פרופסור אילן מרק את פרס היצירתיות Janssen Pharmaceutica לשנת 2012.

המקור: הידען, הטכניון

### נפנוף כנפי המזל"ט – מחקר ישראלי מנסה לרתום את עקרונות התעופה של ציפורי שיר לפיתוח מטוסים

יונק הדבש – Hummingbird – הוא ציפור שיר קטנה, הידועה בין השאר בזכות כישורי התעופה שלה. היא מסוגלת לטוס ישר במהירות גבוהה, לתמרן בזריזות רבה וכן לרחף במקום, בעודה מוצצת צוף מתוך פרחים. היכולות המרשימות האלה לא נעלמו גם מעיניהם של מהנדסי תעופה, המבקשים לרתום את הידע שנרכש במיליוני שנות אבולוציה, לטובת פיתוח כלי טיס יעילים יותר. "אנחנו מנסים ללמוד עד כמה שונים מנפנים מהטבע לעומת כלי טיס שאנו מכירים ומתכננים כל יום", אומר ד"ר יוסי אלימלך, חוקר הנדסת אווירונאוטיקה מהטכניון. "הרצון הוא לתכנן כלי טיס זעירים מתקדמים של הדור הבא, שיהיו

חוקרים מתאגיד יבמ הדגימו גישה חדשנית לננו-טכנולוגית פחמן, שלטענתם סוללת את הדרך לייצור מסחרי של שבבים הכוללים בתוכם טרנזיסטורים המורכבים מננו-שפופרות פחמן.

רבים מאמינים כי ננו-שפופרות פחמן תחלפנה יום אחד בעתיד את טכנולוגיית הסיליקון השולטת בתחום המוליכים למחצה, פיתוח שיוכל למזער עוד יותר את מבנה השבבים. לננו-שפופרות פחמן יש תכונות חשמליות טובות יותר מאשר לסיליקון, במיוחד עבור בניית התקני טרנזיסטורים ננומטרים.

תאגיד יבמ טוען כי מדעניו הצליחו, לראשונה אי-פעם, לשלב יותר מעשרת אלפי טרנזיסטורים פעילים של ננו-שפופרות בתוך התקן יחיד וזאת בעזרת תהליכים הנפוצים בתעשיית המוליכים למחצה. עד עתה, לדברי יבמ, מדענים הצליחו למקם מאות אחדות בלבד של התקני ננו-שפופרות פחמן כל פעם, כמות שרחוקה מלענות על הדרישות עבור יישומים מסחריים. לדברי התאגיד, הגישה החדשנית שלהם סוללת את הדרך לייצור מעגלים הכוללים בתוכם מספר גדול של טרנזיסטורים מסוג ננו-שפופרות פחמן בנקודות מוגדרות מראש על גבי המשטח. בסופו של דבר, טוענים החוקרים, יידרשו למעלה ממיליארד טרנזיסטורים מסוג ננו-שפופרות פחמן בהתקן יחיד לשם כניסה לזירה המסחרית.

*המוטיבציה לעבוד על טרנזיסטורים מסוג ננו-שפופרות פחמן טמונה בכך שבמדעים ננומטרים זעירים במיוחד מבנים אלו עולים בביצועיהם על טרנזיסטורים המורכבים מכל חומר אחר, אומר מנהל מחלקת מדעי הפיזיקה במעבדת המחקר של התאגיד. "יחד עם זאת, עדיין יש צורך להתמודד עם*

גבוהה. עם זה, המטוס חייב להיות בגודל דומה לזה של הציפור – כמה סנטימטרים – כדי שיוכל לתפקד ביעילות דומה. מטוס גדול יותר יחוש בצמיגות גבוהה בהרבה של האוויר, ולכן צריכת האנרגיה שלו תהיה גדולה מדי. אלימלך עצמו לא יעסוק כנראה בפיתוח מטוסים, לפחות בשנים הקרובות, והוא מעדיף להתמקד לעת עתה בידע הטהור. בשלב הבא של המחקר הוא צפוי לבחון את התנועה של כנף העטלף, בעלת מאפיינים יחודיים. "עטלפים אינם מנפנפים בכנף כמו יונק הדבש, אבל הם ניחנים בכושר תמרון חזק מאוד", הוא מסביר. "אנו רוצים לדעת עד כמה העובדה שהכנף שלהם היא ממברנית – כלומר בנויה בעיקר מקרום דק – תורמת לביצועי התעופה המשודרגים שלהם לעומת כנפיים שאנו מכירים מן היום-יום. אנחנו רוצים לדמות כלי טיס שהם דמויי עטלף."

העבודה של אלימלך ועמיתיו על כנפיים קבועות – שאינן מנפנפות – כבר הניבה כמה תובנות חשובות בדבר זרימת האוויר סביב הכנף והיווצרות מערבולות אוויר, תובנות שיש להן קשר ישיר לצריכת הדלק והאנרגיה של מטוסים. אם מחקריו יובילו גם לבניית מטוס זעיר שיוכל לנוף בכנפיו כמו ציפור, הדבר ישדרג את תחום המטוסים הזעירים. מטוסונים כאלה יוכלו לשמש כלי חשוב בסריקות אזורים מסוכנים, בצילום ובאיסוף מידע. אין פלא שהמחקר מושך גם את תשומת לבה של מערכת הביטחון, שאף משתתפת במימונו.

מקור: איתי נבו, מהבלוג 'המאור הקטן'

**חברת IBM מכריזה על פריצת דרך בתחום השבבים: שבבים מפחמן**

אתגרים לא קטנים בתחום כדוגמת רמת הניקיון הגבוהה ביותר הנדרשת של ננו-שפופרת הפחמן ומיקום מדויק ברמה הננומטרית. הצלחנו להתקדם מאוד בשתי סוגיות אלו".

מדענים מרחבי העולם כולו רותמים את המבנים המכונים ננו-שפופרות פחמן, שמוצאן בעולם הכימיה, עבור יישומים המשתרעים החל ממעגלים משולבים, התקני אחסון והמרת אנרגיה וכלה בחישה ביו-רפואית ובהרצפת דני"א.

ביבם מודים כי עדיין קיימים אתגרים ממשיים המונעים מננו-שפופרות פחמן מלהפוך לטכנולוגיה מסחרית, כולל רמת הניקיון ושיבוץ ההתקנים עצמם על גבי המצע. באופן רגיל, ננו-שפופרות פחמן מגיעות בצורת תערובת של חומרים מתכתיים ומוליכים למחצה וחייבים למקמן באופן מושלם על גבי משטח השבב על מנת לקבל מעגלים חשמליים מתפקדים. על מנת שההתקן יפעל כהלכה יש צורך בהרחקה מוחלטת של ננו-שפופרות המתכתיות וזאת בכדי למנוע פגמים בשלמות המעגלים. על מנת להגיע לרמה מסחרית, אומרים חוקרי יבם, זה חיוני לאפשר בקרה מוחלטת על המיקום והסידור של ננו-שפופרות הפחמן על גבי המצע.

על מנת להתגבר על מהמורות אלו, החוקרים של יבם פיתחו שיטה, המבוססת על כימייה של מחליפי יונים, המאפשרת מיקום וסידור מדויק ומבוקר של ננו-שפופרות הפחמן על גבי המצע תוך התארגנות דחוסה שלהן. התהליך כרוך בערבוב של ננו-שפופרות הפחמן יחד עם חומר פעיל שטח – סוג של חומר דמוי סבון – הגורם להן להתמוסס במים. מצע המורכב משני סוגי תחמוצות, תחמוצת הפניום ותחמוצת סיליקון, המכיל

בתוכו תעלות שעברו התאמה כימית, מוטבל בתוך תמיסה של ננו-שפופרות פחמן. בתגובה זו ננו-שפופרות נקשרות באופן כימי לאזורים של תחמוצת הפניום בעוד ששאר המשטח נותר ללא קישור.

רבים סבורים כי יכולת המזעור של טרנזיסטורים המורכבים מסיליקון מתקרבת למגבלותיה הפיזיקליות. ממדיהם ההולכים וקטנים של הטרנזיסטורים – המגיעים לקנה מידה ננומטרי – מונעים רווח עתידי מבחינת הביצועים וזאת בשל אופיו של החומר סיליקון ובשל חוקי הפיזיקה עצמם. תוך מספר שנים, מאמינים חוקרים רבים, שיטת המזעור הרווחת של טרנזיסטורים מסיליקון תגיע לקיצה.

מנגד, ננו-שפופרות פחמן הן יריעות חד-אטומיות של פחמן המגולגלות לכדי שפופרת. ננו-שפופרת הפחמן יוצרת את הליבה של התקן הטרנזיסטור שיוכל לפעול בדומה לטרנזיסטור הסיליקון הנוכחי, אולם עם ביצועים טובים יותר, זאת לדברי חוקרי יבם. בתחילת השנה החוקרים הראו כי טרנזיסטורים המורכבים מננו-שפופרות פחמן יכולים לתפקד בתור מתגים מעולים בקנה מידה מולקולארי של פחות מעשרה ננומטרים – עובי הקטן פי עשרת אלפים משיערת אדם והקטן בחצי מהגדלים הרווחים בטכנולוגית הסיליקון המובילה כיום.

מקור: הידען, ד"ר משה נחמני

#### **פיתוח ישראלי חדש שיקל על בעלי המוגבלויות: ה'שרפנע'**

הגעה למקומות גבוהים בבית, או במשרד, להורדת קופסת קפה נשכחת, או לאחסון תיקיות, היא משימה לא קלה לעתים, גם עבור אנשים נטולי בעיות. צריך להצטייד בכסא לא יציב, או בסולם רעוע במקרה

היותר טוב, לבקש מהסובבים שיחזיקו חזק ולקוות שהמהלך יעבור בשלום. לבעלי מוגבלויות ולבני גיל הזהב, הפעולה הפשוטה לכאורה, היא לעתים בלתי אפשרית לחלטין. אבל, לא עוד. הסטודנטים אלדד מזרחי, אביב גבע ויהב שטאל, בוגרי מחלקת הנדסת מכונות ומכטרוניקה במרכז האוניברסיטאי אריאל בשומרון מגיעים כעת עם הפתרון: ה"שרפנע", שכשמו כן הוא: שרפרף שיכול לנוע וגם להעלות את המשתמש לגובה, בקלות וללא סכנה.

הפיתוח החדש, שמבטיח, לאחר מסחורו, להפוך לחלק בלתי נפרד מחיי רבים, בנוי מפלטפורמה יציבה, עליה עומד המשתמש בבטחון רב, כשהוא נתמך על ידי מתקן הינועלי אותו ומונע נפילה לא רצויה. ה"נסיעה" בשרפנע נעשית באמצעות ידיות דמויות כידון ששולטות על תנועתו. השרפנע יכול לנועה ימינה ושמאלה, קדימה ואחורה וגם מטה ומעלה, כשהשליטה בתנועה מתבצעת על ידי המשתמש. בסיום המשימה ניתן לאפסנו בקלות במחסן הביתי או בפינת החדר. בימים אלה עסוק הצוות באיתור משקיעים שמוכנים להתחיל להניע את פס הייצור.

מקור: הידען, אוניברסיטת אריאל

### **טויוטה פיתחה אבטיפוס לרובוט עצמאי המסייע במטלות ביתיות**

חברת טויוטה (TOYOTA) העולמית פיתחה אבטיפוס לרובוט תמיכה אנושי human support robot (HSR) שנועד לסייע לאנשים עם מוגבלת בגפיים. אב הטיפוס נוסף לסדרת הרובוטים שמפתחת טויוטה העולמית על מנת להקל על אנשים בפעילות יומיומית.

רובוט ה HSR-מופעל באמצעות פקודות קוליות או באמצעות לוח מחשב PC. הוא קומפקטי, בעל יכולת תמרון מצוינת וקל משקל. לרובוט גוף גלילי עם זרוע מתקפלת המאפשר לו להרים חפצים מהרצפה, לשאוב חפצים דקים, להגיע לאובייקטים במקומות גבוהים, לפתוח וילונות ולבצע משימות ביתיות אחרות. יתר על כן, החלקים הנעים של גוף הרובוט והזרוע אינם מייצרים כמות גדולה של כוח, ובכך מקנים למשתמש בטיחות מרבית ושקט נפשי.

במטרה לשפר את איכות החיים, טויוטה פיתחה את אב הטיפוס החדש באמצעות שיתוף פעולה עם איגוד כלבי ההנחיה היפני, במטרה לזהות את הצרכים והרצונות של אנשים עם ניידות מוגבלת. פיתוח הפונקציות התמקד בהרמת חפצים שנפלו, איסוף חפצים ותקשור עם בני משפחה ומטפלים. בשנת 2011, ביצעה טויוטה בשיתוף קרן השיקום של יוקוהמה, ניסויים של שימוש ברובוט בבתיים של אנשים מוגבלים בגפיים, על מנת לקבל משוב ממשתמשים בזמן הפיתוח.

בנוסף, בשל הזדקנות האוכלוסייה ביפן, תשתף טויוטה פעולה עם ארגוני מחקר כגון אוניברסיטאות, כמו גם עם אנשים המעורבים בפעילות סיעוד ובריאות, על מנת לחקור ולפתח פונקציות חדשות ל HSR-כגון סיוע מרחוק, במטרה להביא ליישום מעשי בתחום הטיפול באנשים מבוגרים.

מקור: הידען

## אלגוריתמים אבולוציוניים

אחיה אליס-ף-דוקטורנט למדעי המחשב באוניברסיטת בן-גוריון שבנגב במעבדה של פרופ' משה זיפר

- בינה מלאכותית חלשה: למחשב אין יכולת חשיבה, אך הוא מסוגל לפתור בעיות בצורה חכמה או אינטליגנטית.

אף על פי שהבינה המלאכותית החזקה מככבת בסרטים וסדרות רבות (כגון: דאטה ממסע בן כוכבים, ויקי ילדת הפלא), במציאות היא נותרה בגדר פנטזיה. החוקרים הבינו כי על מנת לחקות את החשיבה האנושית יש להבין קודם כיצד היא פועלת. אנו מעריכים שהמוח האנושי מורכב ממאה מיליארד תאי עצב (נוירונים), אולם איננו יודעים באופן מלא את תפקידם. המחקר המודרני עוסק בעיקר בתחום הבינה המלאכותית החלשה, כלומר בפתרון בעיות ממוקדות יותר, בצורה אינטליגנטית. דוגמאות למחקרים בתחום הינם:

1. רובוטיקה
2. עיבוד תמונה
3. עיבוד והבנת שפה טבעית
4. אופטימיזציה של פתרונות לבעיות מורכבות
5. ביוטכנולוגיה

### אלגוריתמים אבולוציוניים

אחד מתחומי המחקר בתחום הבינה המלאכותית הוא אלגוריתמים אבולוציוניים. תחום זה במדעי המחשב, נשען על עקרונות מהאבולוציה המתרחשת בטבע, ומיישם עקרונות בסיסיים מעולם הביולוגיה, כגון: מוטציה (שינוי אקראי במידע הגנטי), שחלוף (זיווג של שני פרטים שונים באוכלוסייה ע"י חיבור המידע הגנטי של שניהם) ועקרון "החזק שורד". אלגוריתמים אבולוציוניים מפשטים את תהליך האבולוציה שבטבע מתהליך שאינו

אוניברסיטת בן-גוריון שבנגב האבולוציה עושה שעות נוספות; תוכנות המתפתחות מאליהן באופן אבולוציוני פותרות בעיות

קשות מהתעשייה ומעולם מדעי-המחשב. השנה ציינו ברחבי העולם מאה שנה להולדתו של אלן טיורינג (1912-1954), אבי מדעי המחשב.

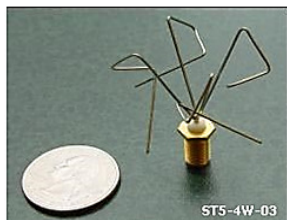
בשנת 1950 הציע טיורינג מבחן הבודק האם למכונה יש בינה מלאכותית [8]. המבחן נעשה בדרך הבאה: חוקר מקיים דיאלוג בשפה טבעית עם שני גורמים סמויים מעיניו, האחד אדם והשני מכונה. אם החוקר אינו מסוגל לקבוע בביטחון מי האדם ומי המכונה, אזי המכונה עברה בהצלחה את המבחן. עד היום לא נכתבה תוכנה העוברת את מבחן טיורינג.

### מהי בינה מלאכותית?

האם רק מכונות העוברות את מבחן טיורינג יכולות להיחשב לבעלות בינה מלאכותית? או שניתן להגדיר את המושג באופן אחר? ג'ון מקארתי הגדיר את המושג בשנת 1955 באופן הבא: "לגרום למכונה להתנהג בדרך שהייתה נחשבת לאינטליגנטית לו אדם התנהג כך". על-פי הגדרה זו, מערכת המנצחת אדם בשחמט או מערכות רפואיות המסוגלות לזהות סרטן על פי זיהוי דפוסים, ייחשבו לבינה מלאכותית. נהוג להפריד בין שני סוגים של בינה:

- בינה מלאכותית חזקה: המחשב חושב ומסיק מסקנות באופן דומה לזה של המוח האנושי או שהינו בעל יכולת חשיבה עצמאית השונות מאופן החשיבה של המוח האנושי

ציארלס דארווין "לא החזק ביותר הוא ששורד, גם לא האינטליגנטי ביותר. שורד הוא מי שיודע להתאים את עצמו לשינויים בצורה הטובה ביותר".



תמונה 1: אנטנה שפותחה בנאס"א באמצעות אלגוריתמים אבולוציוניים עבור לווייני ST5.

### שימושים בתעשייה

התעשייה שופעת במאות פטנטים ורעיונות המשתמשים באלגוריתמים אבולוציוניים, לדוגמא:

ב-22 למרץ, 2006 נאס"א שיגרה שלושה לוויינים במסגרת התוכנית Space Technology 5 (ST5) [5]. לוויינים אלו צוידו באנטנות שפותחו באמצעות אלגוריתמים אבולוציוניים (תמונה 1). קיימים פטנטים רבים הקשורים בחיזוי מודלים פיננסיים. ישנן שיטות המשלבות אלגוריתמים אבולוציוניים לצורך מציאת מבנים כימיים יציבים.

### שימוש באלגוריתמים אבולוציוניים

#### לצורך אופטימיזציה של יוריסטיקות

במעבדת המחקר של פרופ' משה זיפר מאוניברסיטת בן-גוריון שבנגב, פיתחנו אלגוריתם יעיל לבניה אוטומטית של היפר-יוריסטיקות [1, 2, 3].

לשם הבנה של המושגים ושל התהליך האבולוציוני ניקח דוגמא פשוטה מעולם המשחקים.

במשחק Tile-Puzzle שאנו רואים בתמונה 2, על המשתמש לסדר את המספרים מ-1 עד 8 (בגרסאות אחרות וקשות יותר של המשחק

מכוון מטרה, לתהליך מכוון. כלומר, אם בטבע האבולוציה פועלת ללא תכנון וללא יעד ספציפי, האלגוריתם האבולוציוני מותאם לבעיה מסוימת ומכוון להגיע לפתרונה.

אבולוציה המתרחשת בטבע הינה תהליך השינוי הגנטי באוכלוסייה של אורגניזמים לאורך דורות. אחד הגורמים לאבולוציה הוא העובדה שיצורים בני אותו מין מתחרים על משאבים סופיים (מזון, טריטוריה, אוויר, בני זוג). אלו שמסתגלים יותר לסביבתם (בזכות השינויים הגנטיים) הם אלו שישרדו ויעמידו יותר צאצאים.

אנו מפשטים תהליך זה לארבעה מרכיבים בסיסיים שיהוו את אושיות המערכת האבולוציונית:

1. אוכלוסייה של פרטים, כלומר פתרונות לבעיה אותה אנחנו מנסים לפתור. בדור (או בשלב) הראשון הפתרונות יהיו בדרך כלל אקראיים.
2. יכולת ריבוי הכרוכה בתורשת המידע הגנטי. כלומר, פרטים מתרבים ומורשים לצאצאים שלהם חלק מתכונותיהם. מוטציה ושחלוף הינם מרכיבים אינהרנטיים בתהליך.
3. תחרות.
4. משאבים סופיים עליהם מתקיימת התחרות.

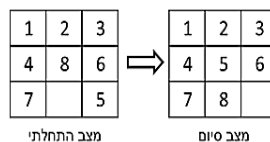
אנו מיישמים את ארבעת התנאים במחשב ומריצים אותם כאלגוריתם. במקום יצורים חיים, התוצרים של האלגוריתם יהיו תוכנות המותאמות לעשות את המוטל עליהן. במהלך ריצת האלגוריתם, הפרטים נחשפים לבעיות רבות ומגוונות כך שכאשר התהליך מסתיים, התוצרים מסוגלים לפתור גם בעיות חדשות שאליהן הם לא נחשפו בעבר. בצורה זו מתקיים המשפט המפורסם של

יש לסדר את המספרים מ-1 עד 15, 24, 35 וכן הלאה). בכל פעם ניתן להזיז מספר אחד הסמוך למקום הריק לעבר המשבצת הריקה.

כאשר שחקן אנושי מנסה לפתור בעיה זו הוא משתמש בכללי אצבע שונים להם אנו קוראים פונקציות יוריסטיות או פשוט יוריסטיקות. כללי אצבע אלו עוזרים לשחקן לפשט את הבעיה ולהתקדם אל עבר הפתרון. בהינתן כמה מהלכים אפשריים, השחקן בוחן איזה מצב יותר טוב על-פי כללי האצבע האלו. השחקן לא תמיד משתמש בכל הכללים ולפעמים יעדיף כלל אחד על משנהו. ב Tile-Puzzle ישנם כמה כללי אצבע ידועים (וחלקם אף טריוויאליים), לדוגמא:

1. הפינות קשות יותר לסידור, ככל שיותר פינות מסודרות המצב נחשב יותר קל
2. ככל שיותר מספרים במקומם הסופי המצב פשוט יותר
3. ככל שיותר שורות ו/או עמודות מסודרות, המצב פשוט יותר

השימוש במחשב מאפשר לנו, החוקרים, להוסיף עוד יוריסטיקות המסובכות לחישוב עי"י שחקן אנושי, כגון גאומטריית מנהטן: סכום המרחקים של כל המספרים ליעדם ללא תלות במספרים האחרים (בתמונה 2 – 8 במרחק צעד אחד ו-5 במרחק שני צעדים. לכן גאומטריית מנהטן במקרה זה תהיה 3). ככל שהסכום גדול יותר – אנו רחוקים יותר מהמטרה.



תמונה 2 : המשחק Tile-Puzzle. יש לסדר את המספרים מ-1 עד 8. בכל פעם ניתן להזיז מספר אחד הסמוך למקום הריק לעבר המשבצת הריקה.

מציאת יוריסטיקה טובה שתעריך בדיוק רב את איכות המצבים הינה משימה קשה מאוד. אולם, מחקר שביצענו באוניברסיטת בן-גוריון מראה שעל ידי שימוש באלגוריתמים אבולוציוניים ניתן למצוא פונקציות יוריסטיות העולות באיכותן בהרבה על יוריסטיקות ממחקרים קודמים. פונקציות אלו מזהות שלבים שונים בפתרון הבעיה (להלן, רכיב הזיהוי) ומפעילות יוריסטיקות שונות בהתאם (להלן, רכיב התעדוף). לפונקציות יוריסטיות המשלבות בתוכן מספר יוריסטיקות אנו קוראים היפר-יוריסטיקות.

במחקר זה הגרלנו אוכלוסייה התחלתית בה כל פרט הוא היפר-יוריסטיקה אקראי. בכל דור הערכנו את איכות הפרטים על ידי השוואת ביצועיהם בפתרון בעיות לביצועי פרטים אחרים. על הפרטים הטובים יותר הופעלו מוטציות (כגון שינוי תעדוף של יוריסטיקות) ושחלוף (חיבור שתי היפר-יוריסטיקות לאחת, לדוגמא עי"י לקיחת רכיב זיהוי המצב בו אנו נמצאים מפרט אחד, ולקיחת רכיב תעדוף היוריסטיקות מפרט אחר).

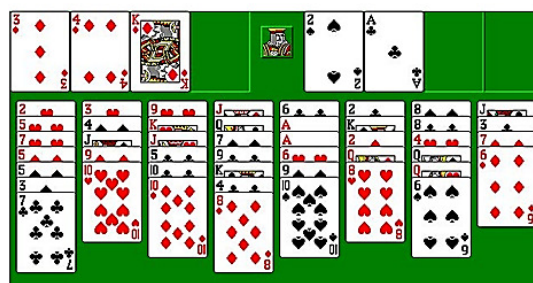
עד כה המחקר הניב תוצאות מרשימות בכמה בעיות שונות. היפר-יוריסטיקות שפותחו פתרו בעיות ביעילות ובמהירות גבוהה מאוד. השיפור בפתרונות נמדד ביחס לפותרים הטובים ביותר עד כה. במשחק פריסל למשל (תמונה 3), הפותרים האבולוציוניים פתרו 99.65% מהמשחקים לעומת הפותר הטוב ביותר הקודם הפותר רק 96.43%. הפותרים האבולוציוניים עשו זאת תוך קיצור אורך הפתרון הממוצע ב-40% וקיצור הזמן ב-94%! חשיבותן ואיכותן של תוצאות אלו הוכרו על ידי



הקהילייה המדעית, בין היתר בזכייה בפרסי זהב וארד בתחרות היוקרתית Humies.

למחקר זה השלכות מרחיקות לכת. אע"פ שמשחקים נתפסים כמשהו קליל, מדובר בתחום רציני המשלב תבונה מלאכותית. אנו משתמשים ביוריסטיקות לפתרון בעיות רבות כגון סידור מסלולי טיסה, יצירת מערכת שעות, זיהוי רצפים בגנים ועוד. השימוש במשחקים מאפשר ללמוד על תהליכים מורכבים ואת הידע הנרכש ניתן להחיל על בעיות אחרות מהמחקר ומהתעשייה.

במחקר אחר שנעשה במעבדה של פרופ' זיפר, פותחה תוכנה המסוגלת לנתח פרוטות סיליקון ולאתר בהן פגמים ביעילות גבוהה יותר מזו של מהנדס מומחה [4]. כמו-כן פותחה תוכנה המסוגלת לנבא מוטיבים חוזרים ב-RNA [6], תוכנה שעושה אבולוציה לקוד תוכנה קיים [7] ועוד.



תמונה 3: משהק פריסל המוטמע בתוכנת office מבית חברת Microsoft

## כל זה נשמע פשוט מאוד, אולי נפתור כל בעיה באמצעות אלגוריתמים אבולוציוניים?

אכן בבסיסו, הרעיון של אלגוריתמים אבולוציוניים פשוט מאוד, אולם כאשר ניגשים למלאכת המימוש צצות בעיות רבות:

1. תחילה עלינו להגדיר את הגנום, בד"כ כהרכבה של אבני בניין קטנות יותר. ככל שאבני הבניין טובות

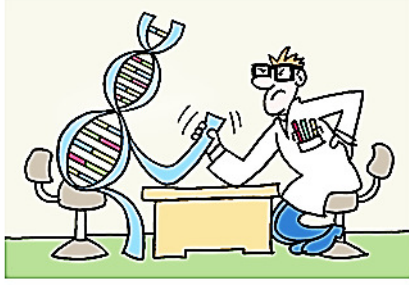
ורלוונטיות יותר לפתרון הבעיה, כך האבולוציה תתקדם יותר.

2. אחרי שהגדרנו את הגנום נצטרך להגדיר מהם האופרטורים הגנטיים (כגון מוטציה ושחלוף) וכיצד ניתן להפעיל אותם. יש להיזהר במלאכה זו שכן על אופרטורים אלו ליצור פתרונות חוקיים, אחרת ברבות הדורות האוכלוסייה תכיל ברובה פתרונות לא חוקיים שלא שווים מאומה ולא נצליח להתכנס לפתרון.
3. על מנת שעקרון החזק שורד יעבוד ונוכל לברור את הפרטים החלשים, עלינו להגדיר מהו פרט (או פתרון) חלש/חזק. נעשה זאת בדרך כלל ע"י הגדרת פונקציה המקבלת פתרון ומחזירה מספר המבטא את החוזק שלו.

4. לסיום, בדרך כלל נצטרך לנווט בין פרמטרים רבים וסוגים שונים של אופרטורים עד שנגיע לפתרון הרצוי. כאשר ננסה לפתור בעיות פשוטות המימוש יהיה פשוט, אולם ככל שהבעיה יותר מורכבת נדרש למיומנות רבה יותר, הן באלגוריתמים אבולוציוניים והן בתחום הבעיה אותה אנו מנסים לפתור.

האם ניתן להשיג בינה חזקה ע"י שחזור התהליך האבולוציוני שבטבע באמצעות אלגוריתמים אבולוציוניים?

כפי שהסברנו לעיל, אלגוריתמים אבולוציוניים הינם הפשטה של התהליך שבטבע, ובניגוד לטבע זהו תהליך מכוון. כיצד נגדיר מהו פרט חזק? כיצד נגדיר מהו פרט? מה מרכיב בינה חזקה? כאשר הטבע יצר את המוח הוא לא התכוון לכך, זהו תוצר של אינסוף משתנים ותהליכים מקבילים. לכן לא ניתן לבצע הדמיה לתהליך הטבעי באמצעות כוח החישוב הקיים היום.



תמונה 4: תחרות HUMIES: האדם נגד קוד אבולוציוני

פרופ' זיפר וקבוצת המחקר שלו הם בעלי מספר הזכיות הרב ביותר בפרס בינלאומי זה, לאחר שזכו בעבר בפרס זהב, בפרס כסף ובשלושה פרסי ארד.

## אלגוריתמים אבולוציוניים מול בני אדם

כל שנה נערכת תחרות פרסי יומיס (Humies) ([www.human-competitive.org](http://www.human-competitive.org)) את התוכנות הטובות ביותר המפותחות באמצעות אלגוריתמים אבולוציוניים (תמונה 4), במדד אחד בלבד – האם הן מנצחות באופן עקבי בני אדם בתחום שבו היא מתמחה.

- [1] A. Elyasaf, A. Hauptman, and M. Sipper. Evolutionary design of freecell solvers. *Computational Intelligence and AI in Games, IEEE Transactions on*, 4(4):270–281, dec. 2012.
- [2] A. Elyasaf, Y. Zaritsky, A. Hauptman, and M. Sipper. Evolving solvers for FreeCell and the sliding-tile puzzle. In Daniel Borrajo, Maxim Likhachev, and Carlos Linares López, editors, *Proceedings of the Fourth Annual Symposium on Combinatorial Search, SOCS 2011*. AAAI Press, 2011.
- [3] A. Hauptman, A. Elyasaf, M. Sipper, and A. Karmon. GP-Rush: using genetic programming to evolve solvers for the Rush Hour puzzle. In *GECCO'09: Proceedings of 11th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation Conference*, pages 955–962, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [4] I. Kadar, O. Ben Shahar, and M. Sipper. Evolving boundary detectors for natural images via genetic programming. In *ICPR*, pages 1–4, 2008.
- [5] J. Lohn, G. Hornby, and D. Linden. An evolved antenna for deployment on nasa's space technology 5 mission. In Una-May O'Reilly, Tina Yu, Rick L. Riolo, and Bill Worzel, editors, *Genetic Programming Theory and Practice II*, chapter 18, pages 301–315. Springer, Ann Arbor, 13-15 May 2004.
- [6] S. Michal, T. Ivry, O. Cohen, M. Sipper, and D. Barash. Finding a common motif of RNA sequences using genetic programming: The geRNAMo system. *IEEE/ACM Trans. Comput. Biology Bioinform*, 4(4):596–610, 2007.
- [7] M. Orlov and M. Sipper. Flight of the FINCH through the java wilderness. *IEEE Trans. Evolutionary Computation*, 15(2):166–182, 2011.
- [8] A. M. Turing. Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236):433–60, October 1950.

# שילוב נושא הביואינפורמטיקה בתכנית

## הלימודים בביוטכנולוגיה

ד"ר יוסי מחלוף, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות, ישראל  
ד"ר אילת אברהם, מפמ"ר מגמת ביוטכנולוגיה, משרד החינוך, מדינת ישראל  
פרופ' ענת ירדן, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות, ישראל

### תקציר

אחרונה עודכנה תכנית הלימודים בביוטכנולוגיה והיא כוללת נושא חדש הנקרא: ביואינפורמטיקה בשירות הביוטכנולוגיה. נושא זה שולב כחלק מן המעבדה לביוטכנולוגיה, כך שהיא כוללת שני מרכיבי חקר מדעי אותנטי מודרני: חקר ניסויי - עבודה מעשית במעבדה מכשירית מתקדמת; חקר מתקשב - ביואינפורמטיקה. במאמר זה נדון בחשיבות ובאתגרים הטמונים בשילוב נושא הביואינפורמטיקה, כמייצג תחום מחקר חדשני מבוסס טכנולוגיה מתקדמת, בבתי ספר תיכוניים ברחבי העולם. עוד נתמקד בניתוח המאפיינים ועקרונות העיצוב של סביבת למידה חדשנית בביואינפורמטיקה שפותחה בארץ.

### הקדמה

תחומי מחקר מדעיים חדשניים מבוססי טכנולוגיות מתקדמות משולבים לעתים רחוקות בלבד, ובדרך כלל באיחור ניכר, בתוכניות לימודים בית ספריות. דפוס זה מותיר את החינוך המדעי בתיכון בפיגור אחרי חידושים מדעיים ותגליות, שדווקא להם יש פוטנציאל לתמוך בהבנה של התלמידים את המדע המודרני, ולעורר בקרבם עניין ומוטיבציה ללמוד מדע וטכנולוגיה.

במהלך העשורים האחרונים, חלה התקדמות בטכנולוגיות ובמכשור ניסויי ופיתחו מגוון של שיטות וגישות מחקר חדשניות, בעיקר בתחומי הביולוגיה המולקולרית ובחקר הגנום; כל אלה הביאו לגידול ניכר בכמות, במגוון ובמורכבות המידע שהצטבר בקרב הקהילה המדעית. כך

התעורר הצורך לארגן ולאחסן את המידע הרב בצורה שתאפשר חיפוש, הצגה וניתוח מהירים וקלים, וכן לשתף מדענים ברחבי העולם במידע זה. כך נולד וצמח במהירות תחום חדש במדע – הביואינפורמטיקה - העוסק בפיתוח ויישום של מגוון כלי מחשב וגישות חישוביות כדי לתמוך במחקר ניסויי ותאורטי. בביואינפורמטיקה מתמזגים גישות ועקרונות מתחומי מדעי המחשב, מטכנולוגיית ומתורת המידע, מהנדסה, ממתמטיקה ומסטטיסטיקה במטרה לנתח מידע ביולוגי ורפואי מורכב, מגוון ורב, ולהפוך אותו למידע מובן ושימושי יותר המאפשר גילוי של תובנות חדשות וזיהוי עקרונות מאחדים או מבדילים בביוטכנולוגיה [1, 2]. לא זו בלבד של ביואינפורמטיקה מקום מרכזי במחקר מודרני, שבו חוללה מהפכה של ממש, אלא שיש לה גם השפעה עצומה על פיתוח יישומים בתחומי הביוטכנולוגיה, הרפואה, החקלאות והתעשייה [3].

למרות הגידול העצום במשאבים ובכלים ביואינפורמטיים בהם נעשה שימוש במחקר, חלה עלייה זניחה באלו המיועדים לחינוך [4, 5], ורובם מוקדשים דווקא להכשרת מדענים. לאור "מהפכת המידע", היעדרה של יחידת לימוד בביואינפורמטיקה מתכניות לימודים בבתי הספר התיכוניים היא מקור לדאגה גוברת הן בקרב הקהילה המדעית והן בקרב הקהילה החינוכית. בעוד הראשונה משוועת לבוגרים אוריינים בביואינפורמטיקה שיבחרו בקריירה בתחום מדעי החיים, האחרונה מתפקידה להכשיר את הדור הבא של אזרחים להתמודדות בעולם בו לידע תפקיד מרכזי.

במאמר זה נסקור את ההזדמנויות והאתגרים הטמונים בהוראת ביולוגיה בתיכון. נציג יוזמות למימוש החזון שנוסו במקומות שונים בעולם וננתח את המאפיינים של סביבת למידה חדשנית בביולוגיה שפותחה בארץ. נתייחס גם לעיצוב סביבות למידה בביולוגיה, להכשרת מורים בתחום, ולאמצעים לשיפור תהליכי למידה של תלמידים הלומדים באמצעות סביבות אלו. כמו כן נדון בתובנות ובלקחים מהניסיון שהצטבר בארץ ובעולם בהוראה ולמידה של ביולוגיה בתיכון.

### חינוך ביולוגיה – סקירה כללית

ראשיתו של החינוך הביולוגיה בלימוד עצמי ובחינה, בעת שחלוצים בתחום לימדו את עצמם ואיש את רעהו. מאז, הוקמו תוכניות הכשרה עבור ביולוגיה, חוקרים ואנשי סגל [6, 7]. הצורך בהכשרת מדעני המאה ה-21 הוביל לשינוי פרדיגמה בחינוך ביולוגיה וביולוגיה [14-8], בחתירה לשקף מגמות מחקר קיימות ולעדכן את תכניות הלימודים. בתחילה פותחו תוכניות לימודים ותעודות הסמכה בביולוגיה ברמה אוניברסיטאית [15, 16]. עם זאת האתגר שבשילוב מדע מורכב ועכשווי כגון ביולוגיה בכיתות גבוהות בתיכון הספר מומש רק לאחרונה (ראה להלן). התוכניות בחינוך הגבוה מיועדות בעיקר להוראת יסודות הביולוגיה, אגב התמקדות בתכנות מורכב ובחשיבות [17, 18]. לעומת זאת התוכניות לתלמידי התיכון עושות שימוש בדרך כלל בביולוגיה "פשוטה" ככלי להוראה כדי להקנות לתלמידים מעין ערכת כלים של מיומנויות טכניות ויכולות חשיבה ביולוגיה [19]. משנקבעו הסטנדרטים והמטרות של הוראת הביולוגיה, יש לשלבם ולהטמיעם במדיניות, בתכניות הלימודים, בהוראה ובהערכה על מנת לתמוך בלמידה משמעותית.

**הוראת ולמידת ביולוגיה בתיכון**  
הצורך לשלב ביולוגיה בשיעורי מדע בתיכון הספר התיכונים זוהה לראשונה על ידי מורים ואנשי חינוך שפעלו למימוש חזונם במהלך שיעוריהם. בשנים האחרונות צורך זה הועלה על נס ונידון בכנסים בינלאומיים ובכתבי עת אקדמיים [10, 20], והוחל בהקצאת משאבים למימון פיתוח חומרי לימוד בביולוגיה המתאימים להוראת הנושא בקרב תלמידי תיכון. פותחו שיעורים מבוססי-ביולוגיה ויחידות קוריקולריות [21-29] ומוצעות תוכניות חוץ-כיתריות בביולוגיה [נסקרו ב-20]. אמנם מגוון חומרי הלימוד עדין מצומצם ומוגבל, אך זהו צעד ראשון והכרחי. בהתחשב בזמינותם של מסדי נתונים וכלי ביולוגיה מבוססי-אינטרנט, כמו גם במשאבים ובהמלצות לפיתוח חומרים [30] והוראתם [19] בתיכון, הרי שבשלו התנאים לשלב ביולוגיה בתוכניות לימודים מדעיות לתלמידים בתיכון.

### הזדמנויות להוראת ביולוגיה בתיכון

עם היתרונות העיקריים הטמונים בשילוב ביולוגיה בתוכניות לימודים לתלמידי תיכון ניתן למנות את ההתאמה של הנושא לתוכניות הלימודים בביולוגיה ובביוטכנולוגיה ואת התכונות הטבעיות בכלים ובמאגרי המידע ביולוגיים היכולים לקדם למידה [20, 31]. מטבעה ביולוגיה מתאימה לפעילויות מחקר מדעיות בסביבה משולבת מחשב. היא מאפשרת למידה פעילה, אישית ושיתופית, אגב התמודדות עם מסדי נתונים גדולים וטכנולוגיות עכשוויות בהקשרים של העולם האמיתי, בדרך של פתרון בעיות, בעזרת מיומנויות המאה ה-21. כך לדוגמה, מיומנויות של רכישת ידע, של שימוש יצירתי בו ושל יישומו בהקשרים חדשים מוטמעות במחקר ביולוגיה ובהוראתו. הביולוגיה מאפשרת גם הוראה המשלבת

להתאמה למטרות ההוראה של המורה, אינם מספקים תמיכה ופיגומים ללמידה והוראה, אינם מספקים משוב ודיווח על ביצועיהם של התלמידים, הם קצרי קיימא ואינם מעודכנים. הקושי האחרון נובע מן האופי הדינמי ומהשינויים התכופים בכלי ביואינפורמטיקה ובמסדי הנתונים האוטנטיים. כלים ומסדים אלו הם מורכבים, עשירים במונחים מדעיים מקצועיים, בעלי ממשק שאיננו ידידותי למשתמש וגם הם אינם ניתנים להתאמה אישית. כל אלו מציבים קשיים למנהלים, למורים ולתלמידים.

*הגורם האנושי*: לעתים קרובות המורים חסרי ניסיון קודם במחקר או בהוראה בתחום הביואינפורמטי, ובעלי רקע חלקי בתחומים רלוונטיים, כגון תכנות וסטטיסטיקה. כמעט ואין בנמצא תוכניות ארוכות טווח להתפתחות מקצועית של מורים ההולמות את דרישות המקצוע, או קורסי הכשרה קצרים בביואינפורמטיקה, המשלבים את הידע, המיומנויות והפדגוגיה בסביבות עתירות טכנולוגיה. לאלה שאנגלית אינה שגורה בפהם - השפה מהווה גם היא מכשול. אין כוח הוראה תומך למורים, שבעצמם מתקשים לעתים להתמודד עם ההקשר המחקרי הביולוגי, עם כלים מורכבים ומסדי נתונים דינמיים ועם הפרשנות של הממצאים. למרות הקשיים המורים נדרשים לתמוך בתלמידים רבים, בעלי סגנונות למידה שונים, שכל אחד מהם מתקדם בקצב אחר וחוזה קשיים משל עצמו.

### **מאפיינים ועקרונות עיצוב של סביבת למידה אותנטית בביואינפורמטיקה**

כדי להטמיע בהצלחה ולשלב באופן רחב ביואינפורמטיקה בלימודי מדע בתיכון, עלינו להכיר את האתגרים והקשיים ולהתמודד עימם, ולהפיק את המרב מן ההזדמנויות הלימודיות. כדי להמחיש כיצד ניתן לעשות זאת ולהנגיש את הביואינפורמטיקה למורים ולתלמידים בתיכון, נתאר את הרציונל והעקרונות המנחים שעמדו

עזרי הוראה ולמידה דיגיטליים מגוונים, הוראה מתוקשבת ומלוות בהמחשות ומודלים העולים בקנה אחד עם סגנונות הוראה "מסורתיים פחות". יתר על כן תלמידים כיום גדלים בסביבה עתירת מידע, מחשבים, אינטרנט וטכנולוגיה, ולכן יש להם מיומנויות ויכולות דיגיטליות-טכנולוגיות טבעיות. הם גם מחזיקים לרוב בגישת למידה המתמקדת בזמינות המידע, בסיפוק מידי ובהתמודדות עם ריבוי משימות בו-זמנית. הוראת ביואינפורמטיקה יכולה לתרום להגברת העניין ולעלייה במוטיבציה של התלמידים לעסוק במחקר מדעי עכשווי כמו גם לפתוח חשיבה מחקרית אשר יכולה לשרת אותם כאזרחים עתידיים, ועל אחת כמה וכמה בלימודים מתקדמים במדע. למרות כל זאת, לימוד נושא הביואינפורמטיקה אינו כלול בשגרת לימודי מדעי החיים ברמת בתי הספר התיכוניים.

### **קשיים ואתגרים בהוראת ביואינפורמטיקה בתיכון**

בהתבסס על מחקרם של קאמינגס וטמפל [31] ועל ניסיוננו, מיינו את האתגרים המרכזיים הנלווים לשילוב ביואינפורמטיקה בבתי הספר התיכוניים לשתי קטגוריות הקשורות זו בזו: התשתית והגורם האנושי.

*התשתית*: הוראת ביואינפורמטיקה מחייבת תשתית מחשוב הכוללת מחשבים, גישה לאינטרנט, רוחב פס מתאים, כלים ביואינפורמטיים - שזמינותם אינה דבר מובן מאליו. בנוסף במרבית התיכונים אין בנמצא כוח אדם מוסמך ומיומן לתמיכה במורים בכל הנוגע, לדוגמה, בהתקנה ותחזוקה של חומרה ותוכנה. לרוב ביואינפורמטיקה היא לא חלק מתכנית הלימודים במדע, ולכן אינה כוללת סטנדרטים, חומרי לימוד ומשאבי תוכן מומלצים ומקובלים וכלי הערכה. כפועל יוצא מזה, לעתים קרובות מורים צריכים לפתח בעצמם חומרי לימוד או לבחור מבין חומרי לימוד זמינים באינטרנט, המיועדים בעיקר לסטודנטים במכללות ובאוניברסיטאות. חומרי לימוד אלו הם לרוב סטטיים, אינם ניתנים

בבסיס העיצוב והפיתוח של סביבת הלמידה "ביואינפורמטיקה בשירות הביוטכנולוגיה" [32]. סביבת הלמידה פותחה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע בשיתוף הפיקוח על הוראת הביוטכנולוגיה במשרד החינוך, ושולבה בלימודי המעבדה לביוטכנולוגיה במסגרת המקצוע "מערכות ביוטכנולוגיות". לימודי המעבדה כוללים חקר ניסויי- מעשי וחקר מתוקשב שבמסגרתו ניתן כיום לבחור בין הפרק "בעיות מחקר ממוחשבות" לבין הפרק "ביואינפורמטיקה בשירות הביוטכנולוגיה" [33]. משנה"ל תשע"ה נושא הביואינפורמטיקה יהיה נושא חובה במסגרת החקר המתוקשב.

סביבת הלמידה (איור 1) נועדה לאפשר התנסות ולמידה פעילה של תלמידים בהקשר של חקר מדעי אותנטי בביוטכנולוגיה, לצורך פתרון בעיות אמתיות ועכשוויות הקרובות ללב התלמידים. לשם כך התלמידים נדרשים לאינטגרציה של מידע ממקורות שונים ולשימוש מושכל במגוון כלים ביואינפורמטיים ובמאגרי מידע אותנטיים הזמינים לכל ברשת האינטרנט. בתהליך זה התלמידים רוכשים ומיישמים פרקטיקות מדעיות מודרניות המצריכות ידע, מיומנויות ודרכי חשיבה מדעיות.

שלושה מרכיבים מהותיים שזורים זה בזה וחיוניים להוראת הביואינפורמטיקה: אינטגרציה, הקשר, ואותנטיות [9, 14, 18]. משמעות המושג 'אינטגרציה' היא שיש לקשר ולשלב בין מושגי מפתח, רעיונות מרכזיים, עקרונות ומיומנויות מכל תחום דעת (ביולוגיה, מדעי המחשב, מתמטיקה וכו'), ולא להציגם כיחידות נפרדות השייכות לתחומי דעת נבדלים. 'הקשר' מתייחס לכך שאת המושגים, הרעיונות, המיומנויות והפרקטיקות יש ללמד בהקשר מדעי רלוונטי, לרוב בגישה של פתרון בעיות. למושג 'אותנטיות' בחינוך מדעי יש פנים רבות והגדרות מגוונות [34]. סביבת הלמידה עוצבה ותוכננה בהתאם לפרספקטיבה הקנונית על חינוך מדעי אותנטי, משמע שימוש בפרקטיקות של מחקר מדעי אותנטי כפי שהן מתקיימות על ידי הקהילה המדעית [35]. ההתנסות בפרקטיקות מדעיות אותנטיות מזמנת לתלמידים הזדמנויות לפתח הבנה עמוקה על האופן שבו ידע זה נרכש, מוערך, ומתפתח [36-38]. התנסות זו יכולה להפעיל בקרב התלמידים תהליכי הנמקה והסקה הדומים לאלו של מדענים, כמו גם לפתח מודעות לאפיסטמולוגיה הטמונה בבסיס חקר אותנטי [39].



**איור 1:** דף הבית של סביבת הלמידה "ביואינפורמטיקה בשירות הביוטכנולוגיה". מוצגים הפרקים השונים בסביבת הלמידה, כמו גם נושאי פעילויות החקר המדעיות האותנטיות ומגוון הכלים הביואינפורמטיים.

האפיסטמולוגיה שמאחוריהם, הם גלויים ומפורשים עבור התלמידים.

פירוט על כל מרכיבי סביבת הלמידה, הקשר ביניהם, ותמיכתם בהוראה ולמידה ניתן למצוא בנספח.

### **מורים – נרתמים ומובילים לשינוי**

למן ההתחלה היה ברור לנו כי שילוב מוצלח של נושא כה חדשני ומאתגר בתכנית הלימודים בביוטכנולוגיה תלוי ברצון וביכולת של מורים ללמד נושא זה מתוך הכרה בתרומה של הנושא להוראת ביוטכנולוגיה בתמורה שיחולל בקרב תלמידים. בהתאם לכך, שמנו לנו למטרה לרתום מורים ולהפכם למעין סוכנים שיכולים להוביל שינוי במערכת [40]. גייסנו ארבעה מורים מובילים לתכנית התפתחות מקצועית בת שנה במסגרת המסלול לקידום יוזמות חינוכיות בתכנית רוטשילד-ויצמן למצוינות בהוראת המדעים. ארבעת המורים היו מעורבים בעיצובה של סביבת הלמידה, בפיתוח של חומרי לימוד, עזרי הוראה וכלי הערכה, בהכנת המדריך למורה וכן בתמיכה במורים ובהכשרתם של מורים נוספים להוראת הנושא. מורים אלו היוו חיל חלוץ בהוראת הנושא. כעבור שנה הצטרפו שלוש מורות חדשות למסלול, שהמשיכו באותה הדרך ואף התמקדו בפיתוח פעילויות לתלמידים בכיתות י"א, כדי לאפשר הוראה ספירלית של הנושא. לאחרונה מורים בוגרי המסלול השתתפו בקורס בינלאומי ייחודי מסוגו למורים מובילים בביואינפורמטיקה מטעם המכון האירופי לביואינפורמטיקה בקיימברידג', אנגליה. שיתוף הפעולה ההדוק של מורים עם מפתחים וחוקרים בתחומי המדע והוראת המדעים תרם משמעותית לבניית קשרים הדוקים בין היחידה בביואינפורמטיקה לבין תכנית הלימודים בביוטכנולוגיה, סייע בהגדרת ציפיות ראליות ומעשיות מתלמידים וממורים בהתאם למטרות תכנית הלימודים והסטנדרטים שנקבעו, נטע

הפעילויות בסביבת הלמידה מבוססות על מאמרי מחקר ראשוניים, שהותאמו לרמת הידע והרמה הקוגניטיבית של תלמידי תיכון. השיקולים בבחירת המאמרים היו: (1) רלוונטיות של נושא המחקר המדעי לתחומי העניין של התלמידים; (2) יישום ביוטכנולוגי ברור; (3) שימוש במגוון כלים ביואינפורמטיים ובמאגרי מידע המתאימים לרמה הקוגניטיבית של תלמידי תיכון ולתכנית הלימודים בביוטכנולוגיה; (4) נושאי מחקר חדשניים, מחזית המדע שיש להם השפעה על תחומי חיינו ושזכו לחשיפה וכיסוי נרחב בתקשורת ובספרות המדעית הפופולרית; (5) קשר ישיר לעקרונות וטכניקות מתכנית הלימודים בביוטכנולוגיה; (6) ייצוג של מגוון מערכות מודל מחקריות ושל מולקולות שונות (דנ"א, רנ"א, חלבונים). הפעילויות עוסקות במחקרים אותנטיים שמטרתם שיפור איכות החיים ותוחלת החיים. לצד פעילויות בהן התלמיד מתוודע באופן מעמיק לעקרון הפעולה של כל כלי ביואינפורמטי, אופן השימוש בו וניתוח התוצאות המתקבלות, ישנן גם פעילות המדגישות את שילוב הגישה הביואינפורמטית כחלק מאסטרטגיית המחקר, שילוב הכלים הביואינפורמטיים במחקר ותרומתם לו.

בדומה למחקר אותנטי, לא זו בלבד שהפעילויות הן רב-שלביות ומצריכות שימוש במגוון כלים ביואינפורמטיים, אלא שלאורך הפעילות התלמידים גם מתנסים בפרקטיקות מדעיות מגוונות, הם נדרשים לתאם בין סוגים שונים של ידע שמקורם בדיסציפלינות מדעיות שונות, לייבא ידע קודם, ליישם מיומנויות טכניות הנוגעות לשימוש בכלים ביואינפורמטיים ולהפעלתם, להפעיל היגיון והנמקה מדעיים, לקבל החלטות בהתאם לאסטרטגיית המחקר ולהעריך, לבקר ולהצדיק את שלבי התהליך המדעי. בהתאם לכך, הרציונל ודרך החשיבה המדעיים, כמו גם את



במורים תחושה של בעלות ושייכות על סביבת הלמידה ומרכיביה, ובעיקר פיתח בקרבם זהות של מורים מקדמי שינוי בחינוך המדעי. פעולות אלה הביאו להקמתה של קהילת מורים, מפתחים וחוקרים המשתפים פעולה בהתאמת סביבת למידה חדשנית בביואינפורמטיקה, בשילובה בתכנית הלימודים ובקידום הוראת הנושא והפצתו.

מרכיב מרכזי נוסף בהפצה של סביבת הלמידה בביואינפורמטיקה הוא יישום של תכנית להתפתחות מקצועית והכשרת מורים בביואינפורמטיקה באמצעות השתלמויות ארציות (בנות 56 שעות), במכון ויצמן למדע ובמרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים (מורטק). בנוסף מתקיימות סדנאות כתיבה ופיתוח בביואינפורמטיקה (בנות 28 שעות) למורים מצטיינים. כל זאת לצד ליווי, תמיכה והדרכה רציפים ברמה אישית, לכלל המורים שבחרו ללמד את הנושא.

### **הוראת ביואינפורמטיקה בתיכון – לקחים, תובנות והמלצות**

יוזמות לשילוב ביואינפורמטיקה בתיכון מלוות רק לעתים רחוקות במחקר על עיצוב תכנית הלימודים, על תהליכי הוראה ולמידה ועל עמדות מורים ותלמידים. מספר עבודות משמעותיות שהתמודדו עם שאלות אלו, העלו על נס את האופי המורכב של הוראת הביואינפורמטיקה.

מחקרם המכונן בגישת חקר מקרה של וופר ואנדרסון [41] הדגיש את ההבדלים בדרך שבה סטודנטים שונים מעבדים ומקשרים ידע ומיומנויות בביואינפורמטיקה. לדידם, שליטה בביואינפורמטיקה מצריכה אינטגרציה מקיפה, מושכלת ועקבית של מידע עובדתי עם ידע פרוצדורלי ומיומנויות חשיבה אנליטיות. היבט נוסף של אינטגרציה עולה ממחקר שליווה מספר תלמידי תיכון שלמדו קורס בביואינפורמטיקה חישובית בבית ספרם, וראו ב"ביואינפורמטיקה" וב"מחשבים" שני תחומים נפרדים שאינם קשורים זה לזה [28]. עוד

נמצא כי תלמידי תואר ראשון נבדלו בעיקר ביכולתם להבין ולבטא את המשמעות הביולוגית של הממצאים הביואינפורמטיים, כמו גם בהבנתם את ההבדלים בין ציון עובדה, ביצוע פרוצדורה או הרצת תוכנת מחשב לבין תפיסת המשמעות שלהם ורכישת תובנות [42]. בדומה לכך נטען כי כדי להבטיח שאדם יבין של מדוע וכיצד מבוצע מחקר ביואינפורמטי, עליו לפתח ידע עובדתי ביולוגי לצד ידע פרוצדורלי במדעי המחשב ומתמטיקה באופן משולב ומגובש [43]. לפני כעשור פותחה בישראל סביבת למידה "ביואינפורמטיקה – פיצוח סודות גנום". סביבה זו מדמה מחקר אותנטי ויועדה להוראת נושא התורשה בקרב תלמידי ביולוגיה בתיכון [44]. באמצעות שימוש בסביבה אופיינו גישות ההוראה, ונבחן כיצד למידה באמצעות הסביבה משפיעה על רכישת ידע בתורשה, ועל הבנה של פרקטיקות מדעיות אותנטיות [45-47]. נמצא כי עיסוק במחקר מדעי אותנטי דורש יישום מתמשך של עובדות ופרוצדורות תוך הפעלת תהליכי חשיבה והנמקה מדעיים וקבלת החלטות. כמו כן נמצא שלמורים תפקיד מרכזי בתמיכה בלמידת ביואינפורמטיקה, בהקניה של ידע לתלמידים, ובשימוש מושכל של התלמידים בידע זה כפי שמדענים משתמשים בו. בעבודות אלו [45, 46] ואחרות [48, 49] נמצא כי הוראת ביואינפורמטיקה יכולה להשלים ולשפר את ההבנה של התוכן הביולוגי.

### **העתיד כבר כאן**

בעולם גוברים הקולות לשילוב הוראת ביואינפורמטיקה כחלק מתכנית הלימודים במדעים לתלמידי תיכון. צעדים ראשוניים בדרך למימוש חזון זה כבר ננקטו, הוקצו משאבים לפיתוח חומרי לימוד ואמצעים להוראת ביואינפורמטיקה בתיכון.

ניתן לומר כי מגמת הביוטכנולוגיה בישראל היא מהחלוצות ופורצות הדרך בתחום הוראת הביואינפורמטיקה בתיכון. לראשונה

הביואינפורמטיקה מהווה חלק משמעותי ומובנה בתכנית הלימודים של המקצוע. לצד קביעת סטנדרטים ומטרות מוגדרות להוראת הנושא ותכנית לימודים מוסדרת ומפורטת, פותחה סביבת למידה שבה מיושמים עקרונות והנחיות להוראת ביואינפורמטיקה וניתן מענה לאתגרים בהוראת הנושא [תוארו גם ב-19, 30, 31] כמו גם כלים להערכה. תוכניות מגוונות להכשרת מורים להוראה ולפיתוח חומרים בביואינפורמטיקה מיושמות בפריסה ארצית.

בשנה"ל תשע"ב, השנה הראשונה להוראת הנושא במגמת הביוטכנולוגיה בארץ, הנושא נלמד ב-8 בתי ספר, ו-144 תלמידים ניגשו לבחינת בגרות חדשנית. בשנה"ל תשע"ג מספר בתי הספר שבהם יילמד הנושא ומספר התלמידים הניגשים לבגרות צפוי לגדול באופן משמעותי. בשנה"ל תשע"ה יהפוך הנושא לנושא חובה. כל אלה יוכלו לאפשר שילוב של נושא הביואינפורמטיקה בתכנית הלימודים בתיכון במטרה להקנות לתלמידים "ארגז כלים" מדעי, המכיל יכולות וידע הספציפיים לתחום הביואינפורמטי, כמו גם מיומנויות ופרקטיקות כלליות לחקר ולמידה במאה ה-21. הכלים הללו מהווים מרכיבים מרכזיים באוריינות מדעית שהיא חיונית לאזרחים וחוקרים לעתיד בעולם שלאחר "מהפכת המידע".

#### **נספח – תיאור סביבת הלמידה**

##### **"ביואינפורמטיקה בשירות הביוטכנולוגיה"**

נושאי הפעילויות בסביבת הלמידה הם: (1) זיהוי אלל של הגן להמוגלובין בטא המקנה עמידות בפני מלריה; (2) סריקה וחיפוש אחר גנים המעורבים בביוסינתזה של אנטיביוטיקה חדשה; (3) חקר יחסי גנוטיפ-פנוטיפ בקרב חולי ציסטיק פיברוזיס; (4) חיפוש אחר מעכב תחרותי לרעלני האנתרקס; (5) אפיון הרצף והמבנה המרחבי של החלבון הפלואורסצנטי הירוק (GFP).

פעילויות 1-3 המכונות "פעילויות עומק" מהוות את שער הכניסה והחשיפה הראשונית לעולם הביואינפורמטיקה, על הכלים ומסדי הנתונים שבו. לכן מושם בהן דגש על הנחיה צמודה של התלמידים לאורך כל אחד משלבי תהליך החקר, אגב התמקדות בפרוצדורות להפעלת הכלים וניתוח דפי התוצאות, וכן במושגים בסיסיים ועקרונות פעולה. פעילויות 4-5 המכונות "פעילויות משולבות" מושתתות על ניסיון קודם שנרכש בפעילויות העומק ומבליטות את אסטרטגיית המחקר, את השיקולים לבחירת הכלי הביואינפורמטי, ואת תרומתו למחקר מדעי בסיסי ויישומי. התלמידים מתנסים ומשתמשים ברוב כליי הביואינפורמטיקה פעם אחת לפחות, בכל אחד מסוגי הפעילויות (טבלה 1). הפעילויות נבנו באופן מודולרי כך שהמורים חופשיים לקבוע את סדר הוראת הפעילויות.

בפתח כל פעילות ניתן רקע מפורט לחקירה המדעית, כולל תמונות, אנימציות וקישורים חיצוניים. מוצגים הרציונל, המטרה, גישת המחקר וכן שלבי מחקר ובהם 2-4 משימות עיקריות, שכל אחת מהן מצריכה שימוש בכלי ביואינפורמטי אחר.

הכלים הביואינפורמטיים שנבחרו להיכלל בסביבת הלמידה (Entrez, Blast-N, Blast-P, ClustalW, ORF Finder, Primer3+, -1, Jmol) הם פשוטים להפעלה, אך בה בעת מייצגים עקרונות וגישות מרכזיים בביואינפורמטיקה, ונמצאים בשימוש נרחב בקרב מדענים.

פעילויות

פעילויות משולבות		פעילויות עומק		
אפיון הרצף	חיפוש	חקר יחסי	חיפוש אחר	זיהוי אלל של
המבנה המרחבי של החלבון	אחר מעכב ותחרותי	גנוטיפ- פנוטיפ בקרב	גנים המעורבים בביוסינתזה של	הגן להמוגלובין
הפלאואורסצנטי הירוק (GFP)	לרעלני האנתרקס	חולי ציסטיק פיברוזיס	אנטיביוטיקה חדשה	בטא המקנה עמידות בפני מלריה
	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/> Entrez
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Blast-N
			<input checked="" type="checkbox"/>	Blast-P
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/> ClustalW
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		Primer3+
<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	ORF Finder
		<input checked="" type="checkbox"/>		Prosite
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Jmol

כלים ביואינפורמטיים

**טבלה 1:** פעילויות החקר המדעיות האוטנטיות והכלים הביואינפורמטיים בסביבת הלמידה "ביואינפורמטיקה בשירות הביוטכנולוגיה".

הביואינפורמטיקה מודגמת באמצעות השינוי בפרדיגמה שהיא חוללה במחקר האבולוציוני, וכן בשילובה במחקר בסיסי ויישומי בביוטכנולוגיה מודרנית.

לפיגומים ותמיכה בלמידה יש תפקיד משמעותי. הפעילויות כוללות משוב מידי על תשובות תלמידים לשאלות רב ברריות, ובו התייחסות לנכונות התשובה, מתן תשובה נכונה והסבר, וזאת בנוסף לביאורים גרפיים (איורים) ותרשימים, תצלומי מסך עם הנחיות וכו') ולתיאורים מילוליים המסבירים את הממשקים של הכלים הביואינפורמטיים ואת דפי התוצאות. כמו כן, ישנן גם הפניות למילון מונחים מדעי הכלול בסביבה. כדי להפוך את הרציונל ואת דרך החשיבה המדעיים, כמו גם את האפיסטמולוגיה שמאחוריהם, לגלויים ומפורשים עבור התלמידים, מופיע בתחילתה ובסיומה של

התלמידים נחשפים לכלים אלו דרך "ארגז כלים" וירטואלי הכולל הדרכה אינטראקטיבית באמצעות סרטונים ודפי מידע. לאור היקף השעות המוקצה להוראת הנושא והיעדר ידע קודם בתכנות, עקרונות הפעולה של כל כלי (ולא האלגוריתמים עצמם), אופן השימוש בכלים, ניתוח התוצאות המתקבלות ושילוב הכלים כחלק ממחקר (החל משיקולים בבחירת כלים, משמעות התוצאות ומעמדן, ועד התרומה למחקר) הם המרכיבים המרכזיים בסביבת הלמידה.

יחידת מבואות מניחה את היסודות המשותפים ללמידה וכוללת ידע תוכני, מושגי יסוד ורעיונות מרכזיים בביוולוגיה, בביולוגיה ובביואינפורמטיקה. בביוולוגיה מוצגים בעיקר הדוגמה המרכזית, כלומר, מרצף DNA לתפקוד חלבון ובקרה על ביטוי גנים. הביואינפורמטיקה מוצגת מנקודת מבט היסטורית ומחקרית. תרומת

מערכים ובהם ניתוח של הפעילויות בראייה קוריקולרית, מצגות ועזרי הוראה, תשובות מפורטות ומבוארות לכל השאלות בסביבת הלמידה, המלצות לדיונים המתמייחסות לקשיי תלמידים ולתפיסות שגויות, וכן פרום סגור למורים שבו הם יכולים להעלות שאלות, לשתף בניסיון ובחומרים שכתבו ועוד. כיוון שכל תשובות התלמידים לשאלות בפעילויות מתועדות ומאוחסנות בזמן אמת במסד נתונים ייעודי, הרי הממשק למורה מאפשר מעקב אחר התקדמות התלמידים וניתוח מידי של ביצועיהם ברמת הפעילות, השאלה, והתלמיד. על בסיס הממצאים, המורים יכולים לקבל החלטות בדבר התערבות במהלך הפעילות ברמת התלמיד והכיתה, או לתכנן את השיעורים הבאים.

כל משימה מעין תקציר הדין בשימוש בכלי הביואינפורמטי הרלוונטי ובתרומתו למשימה ולפעילות החקר כולה.

פיתוח כלי הערכה להוראת הנושא היווה אתגר משמעותי בשל הצורך בהלימה בין דרכי הוראה ולמידה לבין הערכה. שאלות קצרות לתרגול ושאלות בדגם בחינת בגרות מאפשרות לתלמידים לתרגל את המיומנויות הנדרשות מהם ולהבין לעומק את הגישה הביואינפורמטית. הן גם חושפות בפני התלמידים והמורים את הדרישות, מבחינת סגנון וקושי, של תכנית הלימודים בביואינפורמטיקה ושל בחינת הבגרות.

סביבת הלמידה כוללת גם מדריך למורה, הן כמרכיב המשולב בפעילויות והן כמרכיב נפרד. במדריך למורה ניתן למצוא הצעות לרצפי הוראה,

- .1 National Center for Biotechnology Information [NCBI]. A science primer: Bioinformatics. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/About/primer/bioinformatics.html>.
- .2 National Institutes of Health [NIH]. NIH working definition of bioinformatics and computational biology. <http://www.bisti.nih.gov>.
- .3 Attwood TK, Gisel A, Eriksson N-E et al. Concepts, Historical Milestones and the Central Place of Bioinformatics in Modern Biology: A European Perspective, Bioinformatics - Trends and Methodologies, Mahmood A. Mahdavi (Ed.), ISBN: 978-953-307-282-1, InTech. 2011.
- .4 Brazas MD, Yamada JT, Ouellette BF. Evolution in bioinformatic resources: 2009 update on the Bioinformatics Links Directory, *Nucleic Acids Res* 2009; 37;W3-5.
- .5 Brazas MD, Yamada JT, Ouellette BF. Providing web servers and training in Bioinformatics: 2010 update on the Bioinformatics Links Directory, *Nucleic Acids Res* 2010;38:W3-6.
- .6 Schneider MV, Watson J, Attwood T et al. Bioinformatics training: a review of challenges, actions and support requirements, *Briefings in Bioinformatics* 2010;11:544-551.
- .7 Schneider MV, Walter P, Blatter MC et al. Bioinformatics Training Network (BTN): a community resource for bioinformatics trainers, *Brief Bioinform* 201.13: 383-389; 2
- .8 National Research Council [NRC]. BIO2010:Transforming Undergraduate Education for Future Research Biologists. The National Academies Press, 2003.
- .9 Bialek W, Botstein D. Introductory science and mathematics education for 21st-Century biologists, *Science* 2004;303:788-790.
- .10 Neil Sarkar I. Editorial: Bioinformatics education in the 21st century, *Briefings in Bioinformatics* 2010;11:535-536.
- .11 Labov JB, Reid AH, Yamamoto KR. Integrated Biology and Undergraduate Science Education: A New Biology Education for the Twenty-First Century?, *CBE-Life Sciences Education* 2010;9:10-16.
- .12 Woodin T, Carter VC, Fletcher L. Vision and Change in Biology Undergraduate Education, A Call for Action—Initial Responses, *CBE-Life Sciences Education* 2010;9:71-.73
- .13 American Association for the Advancement of Science [AAAS] (2011), 'Vision and change in undergraduate biology education. A call to action.'

<http://visionandchange.org/files/2011/03/Revised-Vision-and-Change-Final-Report.pdf>.

- .14 Pevzner PA. *Educating biologists in the 21st century: bioinformatics scientists versus bioinformatics technicians*, *Bioinformatics* 2004;20:2159-2161.
- .15 Altman RB. *A curriculum for bioinformatics: the time is ripe*, *Bioinformatics* 1998;14:549-550.
- .16 Jungck JR, Donovan SS, Weisstein AE et al. *Bioinformatics education dissemination with an evolutionary problem solving perspective*, *Briefings in Bioinformatics* 2010;11:570-581.
- .17 Tan TW, Lim SJ, Khan AM et al. *A proposed minimum skill set for university graduates to meet the informatics needs and challenges of the "-omics" era*, *BMC Genomics* 2009;10 Suppl 3:S36.
- .18 Pevzner P, Shamir R. *Computing has changed biology—biology education must catch up*, *Science* 2009;325:541-542.
- .19 Form D, Lewitter F. *Ten simple rules for teaching bioinformatics at the high school level*, *PLoS Comput Biol* 2011;7:e1002243.
- .20 Lewitter F, Bourne PE. *Teaching Bioinformatics at the Secondary School Level*, *PLoS Comput Biol* 2011;7:e1002242.
- .21 Munn M, O'Neil Skinner P, Conn L et al. *The involvement of genome researchers in high school science education*, *Genome Res* 1999;9:597-607.
- .22 Seitz K, Leake D. *Utilizing the Web in the Classroom: Linking Student Scientists with Professional Data*, *The American Biology Teacher* 1999;61:565-573.
- .23 Wefer SH. *Name That Gene*, *The American Biology Teacher* 2003;65:610-613.
- .24 Elwess NL, Latourelle SM, Cauthorn O. *Visualising 'junk' DNA through bioinformatics*, *Journal of Biological Education* 2005;39:76-80.
- .25 Campbell AM, Zanta CA, Heyer LJ et al. *DNA microarray wet lab simulation brings genomics into the high school curriculum*, *CBE Life Sci Educ* 2006;5:332-339.
- .26 Amenkhienan E, Smith EJ. *A web-based genetic polymorphism learning approach for high school students and science teachers\**, *Biochem Mol Biol Educ* 2006. 34: 30-33;
- .27 Wefer SH, Sheppard K. *Bioinformatics in high school biology curricula: a study of state science standards*, *CBE Life Sci Educ* 2008;7:155-162.
- .28 Gallagher SR, Coon W, Donley K et al. *A First Attempt to Bring Computational Biology into Advanced High School Biology Classrooms*, *PLoS Comput Biol* 2011;7:e1002244.

- .29 Elkins KM. *An in silico DNA cloning experiment for the biochemistry laboratory*, *Biochem Mol Biol Educ* 2011;39:211-215.
- .30 Via A, De Las Rivas J, Attwood TK et al. *Ten Simple Rules for Developing a Short Bioinformatics Training Course*, *PLoS Comput Biol* 2011;7:e1002245.
- .31 Cummings MP, Temple GG. *Broader incorporation of bioinformatics in education: opportunities and challenges*, *Briefings in Bioinformatics* 2010;11:537-543.
- .32 Machluf Y, Dahan O, Shpalter-Avidan C et al. (2011), *'Bioinformatics in the service of biotechnology, A web-based learning environment for biotechnology majors*, <http://stwww.weizmann.ac.il/g-bio/bioinfo>', *The Amos de-Shalit Israeli Center for Science Teaching*, Rehovot, Israel.
- .33 Israeli Ministry of Education (2005), *'Syllabus of biotechnological studies (10th-12th Grade)'*, *State of Israel Ministry of Education Curriculum Center*, Jerusalem, Israel.
- .34 Yarden A, Carvalho GS. *Authenticity in biology education :benefits and challenges*, *Journal of Biological Education* 2011;45:118-120.
- .35 Buxton CA. *Creating contextually authentic science in a "low performing" urban elementary school*, *Journal of Research in Science Teaching* 2006;43:695-721.
- .36 Lee HS, Songer NB .*Making authentic science accessible to students*, *International Journal of Science Education* 2003;25:923-948.
- .37 Abrams ED. *Talking and doing science: import ant elements in a teaching-for-understanding approach*. In: Mintzes J. J., Wandersee W. J. H., Novak J. D. eds). *Teaching science for understanding: A human constructivist view*. San Diego, CA: Academic Press, 1998, 307-323.
- .38 Samarapungavan A, Westby EL, Bodner GM. *Contextual epistemic development in science: A comparison of chemistry students and research chemists*, *Science Education* 2006;90:468-495.
- .39 Chinn CA, Malhotra BA. *Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks*, *Science Education* 2002;86:175-218.
- .40 Fullan MG. *Why Teachers Must Become Change Agents.*, *Educational Leadership* 1993;50:12-17.
- .41 Wefer SH, Anderson RO. *Identification of Students' Content Mastery and Cognitive and Affective Percepts of a Bioinformatics Miniunit: A Case Study With Recommendations for Teacher Education*, *Journal of Science Teacher Education* 2008;19:355-373.
- .42 Honts JE. *Evolving strategies for the incorporation of bioinformatics within the undergraduate cell biology curriculum*, *Cell Biol Educ* 2003;2:233-247.

- .43 Buttigieg PL. *Perspectives on presentation and pedagogy in aid of bioinformatics education*, *Briefings in Bioinformatics* 2010;11:587-597.
- .44 Gelbart H, Yarden A (2001), 'Bioinformatics - Deciphering the Secrets of the Genome, <http://stwww.weizmann.ac.il/bioinformatics/>', *The Amos de-Shalit Center for Science Teaching*, Rehovot, Israel.
- .45 Gelbart H, Yarden A. *Learning genetics through an authentic research simulation in bioinformatics*, *Journal of Biological Education* 2006;40:107-112.
- .46 Gelbart H, Brill G, Yarden A. *The impact of a web-based research simulation in bioinformatics on students' understanding of genetics*, *Research in Science Education* 2009;39:725-751.
- .47 Gelbart H, Yarden A. *Supporting learning of high-school genetics using authentic research practices: the teacher's role*, *Journal of Biological Education* 2011;45:129-135.
- .48 Grisham W, Schottler NA, Valli-Marill J et al. *Teaching Bioinformatics and Neuroinformatics by Using Free Web-based Tools*, *CBE-Life Sciences Education* 2010;9:98-107.
- .49 Holtzclaw JD, Eisen A, Whitney EM et al. *Incorporating a new bioinformatics component into genetics at a historically black college: outcomes and lessons*, *CBE Life Sci Educ* 2006;5:52-64.



# אנימציה ממוחשבת ככלי לשיפור הישגי סטודנטים

## להנדסאות ועמדותיהם כלפי אלקטרוניקה

אהרון גרו, ושאה זועבי וניסים סבאג\*  
\*המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, חיפה  
\*\*המחלקה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה, כרמיאל

### רקע תיאורטי

#### שילוב אנימציה בהוראה

אנימציה (הנפשה) נועדה לספק אשליה של תנועה על גבי מסך. בהקשר החינוכי, יתרונה המרכזי הוא בהמחשת תהליכים שקשה להדגים במסגרת שיעור כיתתי או אף במעבדה [3].

התורה הקוגניטיבית של למידה באמצעות מולטימדיה [4] היא התורה המובילה כיום בתחום למידה משולבת מולטימדיה בכלל ואנימציה בפרט. התורה מניחה את ההנחות הבאות:

- ערוץ כפול – מידע מעובד באמצעות שני ערוצים נפרדים: ערוץ המעבד מידע שמיעתי-מילולי וערוץ המעבד מידע חזותי-תמונתי [5].
- קיבולת מוגבלת – יכולת עיבוד המידע בכל אחד משני הערוצים היא מוגבלת [6].
- תהליך למידה פעיל – תהליך הלמידה כרוך בעיבוד קוגניטיבי רב בכל אחד מערוצים אלה. העיבוד כולל הקדשת תשומת לב לחומר הנלמד, ארגונו במבנה קוהרנטי ושילובו בידע הקיים.

בהסתמך על הנחות אלה, בספרות מתנהל דיון מתמשך בשאלה האם השימוש באנימציה ממוחשבת עדיף על פני שיטות הוראה מסורתיות המתבססות על עזרים סטטיים [7]. יש לציין כי מחקרים לא הניבו עד כה תוצאות חד משמעיות ועקביות המצביעות באופן מובהק על יתרונה של גישה אחת על פני חברתה [7]. יחד עם זאת מסתמן שלאנימציה אכן יש יתרונות רבים וזאת בתנאי שהיא

### מבוא

אחד הנושאים הבסיסיים הנלמדים בקורסי אלקטרוניקה במכללות להנדסאים הוא הטרנזיסטור הביפולרי – התקן העשוי ממוליך למחצה המשמש כמגבר או כמתג. מורים במכללות להנדסאים נתקלים בקושי מהותי בבואם ללמד על הטרנזיסטור וזאת בשל העדר רקע מתמטי ופיסקאלי מספק בקרב סטודנטים [1] ההכרחי להבנת עיקרון הפעולה המורכב של ההתקן [2]. לפיכך, המורים מסתפקים בניחות תכונות הטרנזיסטור כרכיב במעגל חשמלי ואינם עוסקים כלל במבנהו הפנימי ובעיקרון פעולתו. רמת לימוד זו פוגעת, באופן ניכר, ביכולת העתידית של הסטודנטים להתמודד עם נושאים מתקדמים בהנדסת אלקטרוניקה, כפי שמתברר במהלך הוראת קורסי המשך. כמענה לכך, פיתחנו, לראשונה למיטב ידיעתנו, יחידת לימוד משולבת אנימציה ממוחשבת העוסקת במבנה ובעיקרון הפעולה של טרנזיסטור ביפולרי והמותאמת באופן יעודי לרקע של הנדסאי אלקטרוניקה. המחקר, שמתואר להלן, אפיין את הלמידה משולבת האנימציה הנ"ל מבחינת הישגי הסטודנטים ועמדותיהם כלפי אלקטרוניקה.

מפותחת בהתאם לכללי עיצוב [8] ומשולבת כהלכה בתהליך ההוראה [9].

### מוטיבציה ותורת ההכוונה העצמית

מוטיבציה מתארת מניעים להתנהגות. תורות מוטיבציה מנסות להתחקות אחר מקור המוטיבציה ולהסביר תהליכים המניעים את הפרט להתנהג כפי שהוא מתנהג. תורת ההכוונה העצמית [10]-[11] הינה תורת מוטיבציה המזהה שלושה צרכים מולדים בקרב האדם:

- צורך באוטונומיה – הצורך להרגיש שהתנהגות הפרט לא נכפתה עליו אלא נובעת מצרכיו.
- צורך במסוגלות – הצורך להרגיש שהפרט הוא בעל יכולת ומסוגל לעמוד ביעדים אתגריים.
- צורך בקשר ובשייכות – הצורך להיות אוהב ונאהב ולהיות חלק מקבוצה.

כאשר צרכים אלה מסופקים, אזי רמת המוטיבציה הפנימית של הפרט, המתבטאת בעניין והנאה, היא גבוהה. היות שתורת ההכוונה העצמית בהקשר החינוכי [12] הינה תיאוריה מובילה בתחום המוטיבציה החינוכית, היא שימשה במחקר זה לבחינת עמדות סטודנטים כלפי אלקטרוניקה.

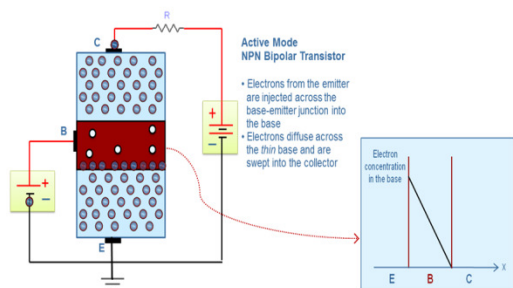
### **יחידת הלימוד**

כאמור לעיל, מורים במכללות להנדסאים מתקשים ללמד את נושא הטרנזיסטור הביפולרי בשל רקע מתמטי ופיסיקאלי חלש של הסטודנטים מחד, ומורכבות ההתקן מאידך. לפיכך, החלטנו לפתח יחידת לימוד משולבת אנימציה ממוחשבת שתעסוק במבנה ובעיקרון הפעולה של הטרנזיסטור ושתתאם באופן יעודי לרקע של הנדסאי אלקטרוניקה. חשוב לציין כי ההחלטה לפתח אנימציה חדשה התקבלה בעקבות חיפוש יסודי במאגרי מידע והתייעצות עם חברי סגל בכירים בפקולטות להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, שבסופם הגענו למסקנה שאנימציות בנושא טרנזיסטור ביפולרי הן קיימות היום אינן

מתאימות להנדסאים משום שהן פשטניות מדי, או לחלופין, מפני שהן ברמה אוניברסיטאית, הדורשת ידע מתמטי ופיסיקאלי מתקדם שאינו נמצא ברשות סטודנטים להנדסאות.

יחידת הלימוד החדשה מתבססת על ספר הלימוד של Sedra ו-Smith [13] ומתמקדת בתיאור איכותי של תהליכים דינמיים המתרחשים בטרנזיסטור באופני פעולה שונים (קיטעון, פעיל ורוויה). האנימציה, שנבנתה בסביבת Microsoft PowerPoint אינה אינטראקטיבית ומוצגת בפני הכיתה ע"י המורה, השולט על קצב התקדמותה ומלווה אותה בהסבריו. לאור עקרונות העיצוב [8], הקפדנו לשלב טקסט כתוב בסמיכות מרחבית לאנימציה ונמנענו משימוש בפריטים עודפים המסיחים את דעת הלומד מהעיקר. בתמונה 1 ניתן לראות מקטע מהאנימציה המתאר את הטרנזיסטור במצב פעיל.

בנוסף ליחידת הלימוד משולבת האנימציה שתוארה לעיל, פותחה יחידת לימוד מקבילה העוסקת באותם התכנים כמו יחידת הלימוד שתוארה לעיל, אולם אין היא כוללת אנימציה ממוחשבת אלא עושה שימוש בדיאגרמות סטטיות לתיאור עקרון הפעולה של הטרנזיסטור. המחקר, שמתואר בהמשך, משווה בין הישגי ועמדות סטודנטים שלמדו את היחידות השונות.



**תמונה 1:** מקטע מהאנימציה המתאר תהליכים שעוברים באלקטרוני (המסומנים כדורים כחולים) בטרנזיסטור ביפולרי מסוג NPN במצב פעיל. החורים מסומנים כדורים לבנים.

## מערך המחקר

אוכלוסיית המחקר כללה 41 סטודנטים שלמדו בשנת 2011 לקראת תואר הנדסאי אלקטרוניקה במכללה מובילה בישראל. הסטודנטים חולקו, באופן אקראי, לשתי קבוצות, קבוצת ניסוי בת 21 סטודנטים - בה נלמד מבנה ועיקרון הפעולה של טרנזיסטור ביפולרי באמצעות אנימציה שהוצגה ע"י המורה, וקבוצת ביקורת בת 20 סטודנטים - בה הסטודנטים למדו נושאים אלה באמצעות דיאגרמות סטטיות ששורטטו על הלוח ע"י המורה. חברי כל קבוצה נבחנו במבחן הישגים מקדים זהה בנושא דיודה. חשוב לציין שנושא הדיודה (הקודם ללימוד הטרנזיסטור) נלמד תוך שימוש בדיאגרמות סטטיות ששורטטו על הלוח. בהמשך, קבוצת הניסוי למדה על מבנה ועיקרון הפעולה של טרנזיסטור ביפולרי באמצעות אנימציה, בעוד שקבוצת הביקורת למדה את אותם תכנים, במשך אותו מספר שעות וע"י אותו המורה, תוך שימוש בדיאגרמות סטטיות. בתום הלמידה חברי שתי הקבוצות נבחנו במבחן הישגים מסכם זהה בנושא טרנזיסטור ביפולרי. בנוסף, חברי כל קבוצה השיבו על שאלון עמדות דמוי ליקרט טרם לימוד נושא הטרנזיסטור ואחריו.

כל אחד משני מבחני ההישגים, המקדים והמסכם, עבר תיקוף ע"י שני מומחים מתחום הוראת הנדסת חשמל ואלקטרוניקה. להבטחת אובייקטיביות הבדיקה, כל מבחן נבדק בדיקה רוחבית ע"י שני בודקים בלתי תלויים, תוך שימוש במחווך. המבחנים, שלא כללו את שם הנבחן אלא רק את מספר הזיהוי שלו, נבדקו בסדר אקראי שערבב בין חברי קבוצת הניסוי לבין חברי קבוצת הביקורת.

כל אחד משני שאלוני העמדות, המקדים והמסכם, תוקף ע"י שני מומחים מתחום הוראת הנדסת חשמל ואלקטרוניקה. שאלון העמדות המקדים, שמולא טרם לימוד נושא הטרנזיסטור, כלל 10 היגדים העוסקים בהנאה ועניין הכרוכים בלימוד

אלקטרוניקה ובקיומה של תחושת מסוגלות להתמודד בהצלחה עם בעיות בנושא הדיודה. מקדם אלפא-קרונבך נמצא שווה ל-0.77, ערך המצביע על מהימנות פנימית סבירה. שאלון העמדות המסכם, שמולא לאחר לימוד נושא הטרנזיסטור, כלל 10 היגדים העוסקים בהנאה ועניין הכרוכים בלימוד אלקטרוניקה ובקיומה של תחושת מסוגלות להתמודד בהצלחה עם בעיות בנושא הטרנזיסטור. מקדם אלפא-קרונבך נמצא שווה ל-0.83, ערך המצביע על מהימנות פנימית טובה.

## ממצאים

טבלה 1 מציגה את הציון הכולל (מתוך 100 נקודות) במבחני ההישגים (ממוצע M וסטטיית תקן SD) שהתקבל בכל אחת מהקבוצות, ואת ערכי p-value המתאימים שהתקבלו מביצוע מבחן t. מעיון בטבלה ניתן להתרשם שלא קיים הבדל מובהק בין קבוצת הניסוי לבין קבוצת הביקורת טרם לימוד נושא הטרנזיסטור, אולם לאחריו הציון הכולל הממוצע של קבוצת הניסוי גבוה באופן מובהק מזה של קבוצת הביקורת.

טבלה 1: מבחני הישגים - ציון כולל (ממוצע וסטית תקן) וערכי p-value

Group	N	Pretest				Posttest			
		M	SD	t	p-value	M	SD	t	p-value
Experimental	21	67.95	23.54	0.31	n.s.	78.24	11.13	3.37	<0.001
Control	20	65.80	20.30			66.15	11.86		

טבלה 2 מציגה את הציון האינדקס (m) שהתקבל משאלוני העמדות, ואת ערכי p-value המתאימים שהתקבלו מביצוע מבחן מאן-וויטני (לא ניתן להניח התפלגות נורמאלית של האינדקס, לכן בוצע מבחן א-פרמטרי לבדיקת מובהקות). ערכי האינדקס נעים בין 20 לבין 100 נקודות. מעיון בטבלה ניתן להתרשם שלא קיים הבדל מובהק בין קבוצת

והנאה בשיעורי האלקטרוניקה, בהשוואה לחבריהם שלמדו בעזרת דיאגרמות סטטיות. בנוסף, תחושת המסוגלות שלהם להתמודד בהצלחה עם בעיות בתחום גבוהה יותר ביחס לעמיתיהם. ממצאים אלה ניתנים להסבר עפ"י תורת ההכוונה העצמית, שנדונה בפרק התיאורטי ולפיה, שיפור ההבנה תורם לסיפוק הצורך במסוגלות ובכך מוגברת המוטיבציה הפנימית, שמאפיינה הבולט הוא הפגנת עניין.

תוצאות המחקר תואמות את הממצאים של [14] שפיתחו, עבור סטודנטים לפסיקה, קורס משולב אנימציה בנושא התקני מוליכים למחצה ושמצאו שיפור בהישגי הסטודנטים ועמדות חיוביות כלפי הלמידה. יחד עם זאת, בהשוואה זו חשוב לזכור כי אוכלוסיית המחקר במחקר שצוין לעיל כללה סטודנטים הלומדים לקראת תואר ראשון במדעים מדויקים. אוכלוסייה זו שונה באופן ניכר מסטודנטים להנדסאות הסובלים מהעדר רקע מתמטי ופיסקאלי מספק.

אמנם המחקר התבסס על מדגם קטן יחסית, אולם הוא נהנה מנקודות חוזקה משמעותיות: הסטודנטים שהשתתפו במחקר חולקו לקבוצות ניסוי וביקורת באופן אקראי ושתי הקבוצות למדו את אותם התכנים במשך מספר שעות זהה עם אותו מורה, שהקפיד שההבדל היחיד בין שתי הקבוצות יסתכם בשיטת ההוראה (משולבת אנימציה או, לחלופין, מבוססת דיאגרמות סטטיות).

לאור תוצאות המחקר, אנו ממליצים על שילוב אנימציה, שהותאמה באופן יעודי לרקע של הסטודנטים, בהוראת מבנה ועיקרון הפעולה של התקנים אלקטרוניים, בפרט טרנזיסטור ביפולרי.

הניסוי לבין קבוצת הביקורת טרם לימוד נושא הטרנזיסטור, אולם לאחריו - החציון של קבוצת הניסוי גבוה מזה של קבוצת הביקורת וקיים הבדל מובהק בניהן. התוצאה מצביעה על כך שעמדות סטודנטים מקבוצת הניסוי כלפי אלקטרוניקה חיוביות יותר באופן מובהק בהשוואה לעמיתיהם מקבוצת הביקורת. ניתן לומר, אפוא, שסטודנטים שלמדו על הטרנזיסטור בשילוב אנימציה מביעים יותר עניין והנאה בשיעורי האלקטרוניקה, בהשוואה לחבריהם שלמדו בעזרת דיאגרמות סטטיות. יתרה מכך, תחושת המסוגלות שלהם להתמודד בהצלחה עם בעיות בתחום גבוהה יותר ביחס לעמיתיהם.

**טבלה 2:** שאלוני עמדות - חציון האינדקס וערכי p-value

Group	N	Pretest		Posttest	
		m	p-value	m	p-value
Experimental	21	71	n.s.	82	<0.01
Control	20	67		62	

## דיון ומסקנות

תוצאות המחקר מצביעות על פער מובהק של יותר מ-10 נקודות בממוצע בציון הכולל בין הישגי סטודנטים שלמדו את נושא הטרנזיסטור בשילוב אנימציה, לבין הישגי עמיתיהם שלמדו אותו בעזרת דיאגרמות סטטיות. מהמחקר הנוכחי עולה גם כי סטודנטים שלמדו על הטרנזיסטור בשילוב אנימציה מביעים עמדות חיוביות יותר כלפי לימוד אלקטרוניקה באופן מובהק מאשר חבריהם. הפער מתבטא בהפרש של 20 נקודות בחציון האינדקס לטובת חברי קבוצת הניסוי. כך, סטודנטים שלמדו על הטרנזיסטור בשילוב אנימציה חשים יותר עניין

## מקורות:

1. Benesen, L. & Robinson, B. (1983). A study of the mathematics requirements for Israeli technicians and practical engineers. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 14, 217-224.
2. Karmalkar, S. (1999). Simple unified elucidations of some semiconductor device phenomena. *IEEE Transactions on Education*, 42, 323 – 327.
3. Flemming, S. A., Hart, G. R., & Savage, P. B. (2000). Molecular orbital animations for organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 77, 790–793.
4. Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 31–48). New York: Cambridge University Press.
5. Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford, England: Oxford University Press.
6. Baddeley, A. (1997). *Human Memory: Theory and Practice*. East Sussex, UK: Psychology Press.
7. Tversky, B., Bauer-Morrison, J., & Betrancourt, M. (2002). Animation: can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57, 247-262.
8. Kali, Y. & Linn, M. C. (2008). Designing effective visualizations for elementary school science. *Elementary School Journal*, 109, 181-198.
9. Hoeffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17, 722 -738.
10. Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior*. New York: Plenum Publishing Co.
11. Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The 'what' and 'why' of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11, 227-268.
12. Deci, E. L., Vallerand, R. J., Pelletier, L. G., & Ryan R. M. (1991). Motivation and education: The self-determination perspective. *Educational Psychologist*, 26, 325-346.
13. Sedra, A. S. & Smith, K. C. (2004). *Microelectronic Circuits*. New York: Oxford University.
14. Sihar, S., Aziz, S. H., & Sulaiman, Z. A. (2011). Design and development of semiconductor courseware for undergraduate students. *Journal of Applied Sciences*, 11, 883-887.

# מורים מובילים מישראל, ממגמת ביוטכנולוגיה, השתתפו בקורס בין-לאומי מטעם המכון האירופאי לביואינפורמטיקה שהתקיים בקיימברידג' אנגליה

מינהל מדע וטכנולוגיה משרד החינוך

סביבת הלמידה פותחה על-ידי צוות בראשותה של פרופסור ענת ירדן מקבוצת מדעי החיים מהמחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע.

המורים הישראלים שנבחרו להשתתף בקורס לוקחים חלק בתכנית רוטשילד-ויצמן למצוינות בהוראת המדעים במכון ויצמן למדע ונשלחו בעידודה ובתמיכתה.

במהלך הקורס השתתפו המורים בסדנאות ושמעו הרצאות מפי חוקרים מובילים בתחום, שנועדו לחשוף את המורים לפעילויות, חומרי לימוד ונושאים בביואינפורמטיקה שניתן לשלבם בהוראה בבתי ספר תיכוניים. כמו כן, הם סיירו ברחבי המכון האירופאי לביואינפורמטיקה ובמכון סגור לחקר גנומים.

תרומת הכנס הייתה רבה הן מבחינת ההתפתחות המקצועית של המורים והן מבחינת העצמת המורים, תחושת המסוגלות שלהם, ויכולתם לקדם יוזמות בתחום במערכת החינוך בישראל. הכנס הקנה למורים המשתתפים, כלים שיכולים לשמש לפיתוחם של חומרי למידה והוראה. כך שלמעשה המורים שלקחו חלק בכנס, יכולים לשמש כצינור להעברת ידע ומיומנויות לתלמידים ולמורים אחרים, ולהפצת הביואינפורמטיקה במערכות החינוך בארצות מוצאם.

המורים מספרים:

"גילינו כי מדינת ישראל היא חלוצה בשטח הטמעת הביואינפורמטיקה בחינוך העל-יסודי והופתענו לטובה מהפער הבולט שבין רמת הידיעות, המיומנויות והניסיון בתחומי ההוראה

לאחרונה (25-27 לנובמבר) התקיים במכון האירופאי לביואינפורמטיקה (EBI) בקיימברידג' שבאנגליה קורס בין-לאומי ייחודי ויוקרתי למורים שמטרתו לקדם את הוראת הביואינפורמטיקה בבתי הספר התיכוניים.

[http://www.ebi.ac.uk/training/onsite/121126\\_ELLS](http://www.ebi.ac.uk/training/onsite/121126_ELLS)

בכנס השתתפו 27 מורים מובילים מבתי ספר תיכוניים ברחבי מדינות האיחוד האירופי.



ישראל יוצגה על ידי ארבעה מורים מובילים ממגמת הביוטכנולוגיה: אוהד לבקוביץ, רחל סקאל, ד"ר ג'נט בשארה-שיבאן וד"ר רונית שינה

על מנת למדל מחקר מדעי אותנטי שולב לאחרונה נושא הביואינפורמטיקה בתכנית הלימודים הרשמית של מגמת ביוטכנולוגיה. במסגרת לימודי המעבדה עוסקים התלמידים בחקר ניסויי - מעשי ובחקר מתוקשב - ביואינפורמטי. לשם כך פותחו חומרי למידה מתקדמים המרוכזים בסביבת למידה הנקראת "ביואינפורמטיקה בשירות הביוטכנולוגיה":

ופיתוח חומרי למידה שלנו, המורים מישראל, לעומת אלו מאירופה שהשתתפו בכנס”.

עוד נדגיש כי רק בישראל נושא הביואינפורמטיקה מהווה חלק מוסדר ומשמעותי מתוכנית הלימודים הרשמית ולא נלמד כיוזמה פרטנית של מורה זה או אחר. חומרי הלמידה הכוללים גם כלי הערכה ודרכי ההטמעה עוררו עניין רב בקרב מארגני ומשתתפי הכנס.

יצאנו מחוזקים ומלאי גאווה על הנעשה אצלנו בארץ, במגמת ביוטכנולוגיה, לעומת הנעשה

בארצות אחרות ועל תרומתנו לקידום הטמעת נושא הביואינפורמטיקה במערכת החינוך בארץ.

אנו מאמינים כי הטמעת נושא הביואינפורמטיקה בתוכנית הלימודים הרשמית לא זו בלבד שיוצרת ענין ומוטיבציה בקרב התלמידים, אלא תורמת לביסוס ולהרחבת הידע המדעי-טכנולוגי הנלמד, תוך פיתוח מיומנויות חקר ומיומנויות המאה ה-21 בקרב התלמידים והמורים”.

# אודות "מורטק" - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים

המרכז. ועדת ההיגוי מורכבת מאנשי מינהל החינוך הטכנולוגי בישראל, צמרת חוקרי החינוך הטכנולוגי בארץ, נציגי פקולטות הנדסיות במוסדות להשכלה גבוהה, נציגי מורים ומנהל המרכז. על פעילות וועדת ההיגוי ניתן לקרוא בגיליון זה.

## הנהלת המרכז

הפעילות השוטפת של המרכז במרכז מתבצעת ע"י הצוות הקבוע:

פרופ' אורית חזן, ראש המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון והיועצת האקדמית של המרכז

אהרון שחר, מנהל המרכז

סיוון ברקוביץ, מזכירת המרכז

## חברי צוות מרכז המורים ונציגי המגמות

במרכז פעילים גם נציגי המגמות, המהווים חוליה מקשרת בין המפמ"רים והמרכז:

- אלקטרוניקה- הרמן גדי
- ביוטכנולוגיה - ניצן פנינה
- מכונות - רייכספלד עודד
- מדעית הנדסית - ששון ראובן

## פעילויות המרכז כוללת

- אתר אינטרנט
- סדנאות וימי עיון
- כנסי מורים
- קורסים והשתלמויות
- כתב עת
- יוזמות חינוכיות

מור-טק - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים-מדעיים שוכן במחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון. המרכז מספק במה להצגת כל הגישות והצוותים האקדמיים ברחבי הארץ העוסקים בהוראת המקצועות הטכנולוגיים-מדעיים בחטיבה העליונה במגמות הבאות: הנדסת מכונות, אלקטרוניקה ומחשבים, מדעית הנדסית וביוטכנולוגיה.

מורטק עובד בשיתוף פעולה הדוק עם האגף לפיתוח תוכניות למודים במשרד החינוך, עם מינהלת מל"מ, עם המפמ"רים, עם ראש תחום הטכנולוגיה ועם אנשי המחקר בפקולטות השונות להנדסה, טכנולוגיה ומדע במוסדות להשכלה גבוהה בארץ ובחו"ל. כל זאת על מנת לספק תמיכה לרכזי המקצועות, למנחים ולמורים בכיוונים הבאים:

1. פיתוח מנהיגות;
2. העמקת ידע בתחומים דיסציפלינאריים ואינטרדיסציפלינאריים ושיטות הוראה מכוונות להבנת מושגים אלה;
3. הכרת השינויים והחידושים הטכנולוגיים העדכניים ופיתוח דרכים לשילובם בתוכנית הלימודים;
4. הכרת שיטות הוראה/הנחיית פרויקטים/למידה בהקשר לחינוך הטכנולוגי;
5. פיתוח חשיבה במגוון המקצועות הטכנולוגיים;
6. הפצת המיומנויות והתכנים של מורים מובילים לכלל המורים;
7. טיפוח מטרות וכיווני חשיבה נוספים למרכז באמצעות ועדת ההיגוי של המרכז, המכונסת פעמים בשנה לדון על מדיניות



# מורטק - מרכז מורים ארצי לחקצונות הטכנולוגיים



מוסד הטכניון למו"פ, המחלקה להוראת  
הטכנולוגיה והמדעים

שרות ה. המזכירות הפדגוגית.  
אגף לתכנון ופיתוח חכמות למורים

מטלות מל"מ המרכז לחינוך מדעי בטכנולוגי ע"ש  
עמוס דה שליט

## דרכי התקשרות

טלפון: 04-8293146 פקס: 04-8295481

דואר אלקטרוני: [moretech@technion.ac.il](mailto:moretech@technion.ac.il)

## כתובת

מורטק - מרכז מורים ארצי למקצועות  
הטכנולוגיים מדעיים

המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה

קרית הטכניון

חיפה 32000

## מיקום

קרית הטכניון,

המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה

קומה 3, חדר 315

## מפת ההגעה למשרדי מרכז המורים למקצועות הטכנולוגיים מדעיים, מורטק במחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון, חיפה



## כתב העת מור-טק- הזמנת מאמרים (Call for papers)

על המאמר לכלול תקציר בן 25-75 מילים, סיכום קצר. יש להשתמש בפונט נרקיסיס, גודל 12 עם רווח 1.5 בין השורות. כותבים שמאמרים יתקבל יתבקשו לשלוח תמונה דיגיטלית.

את המאמר יש לשלוח אל אהרון שחר

בדוא"ל: [ahrons@technion.ac.il](mailto:ahrons@technion.ac.il)

במכתב המלווה יש לרשום את מקום העבודה ותפקידו/ה של השולח/ת ולהוסיף פרטי התקשרות.

### יתקבלו לפרסום מאמרים העוסקים בתחומים הבאים:

- הנעשה בחינוך הטכנולוגי בארץ: הוראת הטכנולוגיה וקידומה, הערכת לומדים, פרויקטים ועוד.
- למידה מהצלחות: שיעור מוצלח, פרויקט מוצלח, עבודת צוות טכנולוגי
- מחקר בתחום הוראת הטכנולוגיה
- הוראת הטכנולוגיה וההנדסה מנקודת מבטם של אנשי אקדמיה, תעשייה, מו"פ, מנהלים ובכירים
- נושאים הנדסיים/טכנולוגיים עכשוויים, רעיונות להטמעה בחינוך הטכנולוגי
- השבחת תשתיות, מעבדות וסביבות למידה למורים בחינוך הטכנולוגי
- eLearning בחינוך הטכנולוגי
- תחרויות, כנסים וסמינרים בארץ ובעולם
- סקירת ספרים ואינטרנט

מטרתו העיקרית של כתב העת מור-טק היא לקדם את הוראת המקצועות הטכנולוגיים במגמות:

- אלקטרוניקה
- ביוטכנולוגיה
- מדעית-טכנולוגית
- מכונות

קהל היעד של כתב העת הוא מורים מובילים, רכזים ומורים המלמדים במגמות אלו. כמו כן, כתב העת משמש במה ואמצעי לשיתוף ידע גם בין בעלי תפקידים נוספים העוסקים בהוראת הטכנולוגיה, לרבות אנשי משרד החינוך, מנהלי בתי ספר, אנשי תעשייה, חוקרים באקדמיה ואנשי מטה ברשתות החינוך הטכנולוגי. כתב העת חושף את קוראיו לחידושים פדגוגיים, להתפתחויות ולעדכונים בתחום הוראת הטכנולוגיה, לחידושים טכנולוגיים, ולנעשה בארץ ובעולם בתחומי הוראת הטכנולוגיה.

כתב העת מור-טק מזמין את קוראיו לשלוח מאמרים לפרסום בגיליון הבא. יתקבלו מאמרים בעברית שעניינם הוראת הטכנולוגיה. ניתן לשלוח גם מאמרים המתורגמים משפה אחרת שפורסמו בכתבי עת אחרים בארץ ובעולם ובתנאי שהשולח יסדיר את עניין זכויות היוצרים.

על המאמרים להיות בהיקף של עד 1500 מילים. במקרים מיוחדים יתקבלו גם מאמרים של עד 3000 מילים. כל מאמר שישלח לפרסום יעבור שיפוט של העורך ושני רפרנטים.

# משוב

לקוראי וקוראות מור-טק שלום,

אנא השיבו על שאלון משוב זה ושלחו אותו למור-טק - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים. ניתן לשלוח את המשוב באמצעות דוא"ל [moretech@technion.ac.il](mailto:moretech@technion.ac.il), פקס 04-8295481 או דואר לכתובת:

מורטק - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים  
המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון  
קריית הטכניון  
חיפה 32000

אנו מודים לכם על שיתוף הפעולה.

תאריך: \_\_\_\_\_ שם הקורא/ת: \_\_\_\_\_ בית הספר: \_\_\_\_\_

אנא סמנו X בעמודה המתאימה:

1 במידה מועטה מאוד	2 במידה מועטה	3 במידה בינונית	4 במידה רבה	5 במידה רבה מאוד	
					כתב העת תרם לי מבחינה מקצועית
					בגיליון פורסמו תכנים רלוונטיים למקצועות ההוראה שלי
					הגיליון היה נוח לקריאה
					אוסף המאמרים היה מגוון

בגיליון זה מצאתי עניין בנושאים אלה:

---

---

---

אשמח אם בגיליונות הבאים של כתב העת ייכללו גם הנושאים האלה:

---

---

---

הערות נוספות:

---

---

---