

# 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 ביואינפורמטיקה בבתי ספר תיכוניים, נציג יוזמות למימוש החזון שנוסו במקומות שונים בעולם וננתח את המאפיינים של סביבת למידה חדשנית בביואינפורמטיקה שפותחה בארץ. נתייחס גם לעיצוב סביבות למידה בביואינפורמטיקה, 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 ביואינפורמטיקה בתיכון.

### **חינוך ביואינפורמטי – סקירה כללית**

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

### **הוראת ולמידת ביואינפורמטיקה בתיכון**

הצורך לשלב ביואינפורמטיקה בשיעורי מדע בבתי הספר התיכוניים 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 בביואינפורמטיקה המתאימים להוראת הנושא בקרב תלמידי תיכון. פותחו שיעורים מבוססי-ביואינפורמטיקה ויחידות קוריקולריות [21-29] ומוצעות תוכניות חוץ-כיתתיות בביואינפורמטיקה [נסקרו ב-20]. אמנם מגוון חומרי הלימוד עדין מצומצם ומוגבל, אך זהו צעד ראשון והכרחי. בהתחשב בזמינותם של מסדי נתונים וכלי ביואינפורמטיקה מבוססי-אינטרנט, כמו גם במשאבים ובהמלצות לפיתוח חומרים [30] והוראתם [19] בבתי הספר, הרי שבשלו התנאים לשלב ביואינפורמטיקה בתוכניות לימודים מדעיות לתלמידים בתיכון.

### **הזדמנויות להוראת ביואינפורמטיקה**

#### **בתיכון**

עם היתרונות העיקריים הטמונים בשילוב ביואינפורמטיקה בתוכניות לימודים לתלמידי תיכון ניתן למנות את ההתאמה של הנושא לתוכניות הלימודים בביולוגיה ובביוטכנולוגיה ואת התכונות הטבעיות בכלים ובמאגרי המידע ביואינפורמטיים היכולים לקדם למידה [20, 31]. מטבעה ביואינפורמטיקה מתאימה לפעילויות מחקר מדעיות בסביבה משולבת מחשב. היא מאפשרת למידה פעילה, אישית ושיתופית, אגב התמודדות עם מסדי נתונים גדולים וטכנולוגיות עכשוויות בהקשרים של העולם האמתי, 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 ביואינפורמטי ובהוראתו. הביואינפורמטיקה 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 המתקשב.

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 בביולוגיה חישובית בבית ספרם, וראו ב"ביולוגיה" 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+, Prosite, 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.