

ביומימיקרי בשדה הפדגוגי: הטבע כמורה

יעל הלפמן-כהן¹

ביומימיקרי הינו תחום דעת בצמיחה העוסק בחקר פתרונות הטבע לאתגרי החיים השונים. התחום מזהה כמנוע חדשנות בכל תחומי החיים. במקביל להתפתחות התחום באקדמיה ובתעשייה, יש ענין הולך וגובר בשילוב התחום במסגרות חינוכיות פורמאליות ובלתי פורמאליות, כמקור לחדשנות פדגוגית ותהליכי למידה משמעותיים.

מעופף, עטלף, שפירית ואחרים, במטרה לפתח מכונה מעופפת. הוא העמיק בלימודי הזואולוגיה והאנטומיה של התעופה הטבעית אך לא הסתפק בהתבוננות ובאיסוף ידע וחתר ליישמו. כידוע, דה וינצ'י לא צלח במשימתו לפתח את המטוס הראשון, אך הוא הניח את היסודות לתחום הביומימיקרי, המחבר ידע זואולוגי והנדסי בצורה מתודולוגית.

משמעות המילה ביומימיקרי היא "חיקוי החיים" ("bio" = חיים. "mimicry" נגזר מהמילה "mimesis" שטבע אריסטו ומשמעותו חיקוי). ביומימיקרי הוא תהליך של חיקוי מודע של ה"פתרונות התכנוניים של הטבע" (Benyus, 1997). למרות העניין התמידי בטבע, רק בעשרות השנים האחרונות אנו מזהים התגבשות של תחום דעת מדעי העוסק בחיקוי מתודולוגי של הידע הטבעי. ההתפתחות הטכנולוגית של העשורים האחרונים המאפשרת מידול וחקר של פתרונות הטבע, האיצה את הגיבוש של תחום הביומימיקרי כתחום דעת מדעי. כיום, ביומימיקרי מזהה כתחום דעת בצמיחה, עם גידול מתמיד במספר הפרסומים, הפטנטים ומענקי המחקר המיוחסים לתחום, כמו גם מכוני מחקר, עיתונים אקדמיים (Biomimetics & Bioinspiration, Design & Nature) ותכניות לימוד לתארים גבוהים.

בכתבה זו נסקור את התחום, נרחיב על היבטי הפדגוגיים ונציג דוגמאות של תכניות חינוך המתקיימות בבתי ספר יסודיים, בארץ ובעולם.

ביומימיקרי: הטבע כמנוע חדשנות

הפתרונות של הטבע הם תוצר של מעבדת התכן האבולוציונית, הם נבחנו במבחן הזמן ואינם מוגנים פטנט. מגוון המינים מהווה מקור לידע עצום ולפתרונות חדשניים ומקיימים.

משחר האנושות, האדם התבונן וחקר את הטבע. אריסטו שהתעניין בחיקוי וייצוג של הטבע, המציא את המושג "מימיזיס" שמשמעותו חיקוי, וטען ש"אין יצירות חסרות תועלת בטבע" (אריסטו). מאות שנים אחר כך, ליאונרדו דה וינצ'י מתבונן עמוקות בטבע ובגוף האדם מנקודת מבט הנדסית ובניסיון למזג בסיסי ידע הנדסיים וביוולוגיים. דה וינצ'י הניח שברגע שנדע איך פועלים גוף האדם וכוחות הטבע, יהיה לנו בסיס לבניית מכונות שמחקות את הטבע. דה וינצ'י הקדיש שעות רבות ביום להתבוננות, להסתכלות, למחקר ולשרטוט של מעופפים שונים בטבע כמו דג

¹ יעל הלפמן כהן, מייסדת שותפה ומנכ"ל ארגון הביומימיקרי הישראלי. דוקטורנטית בשלבי סיום באוניברסיטת תל אביב, ביה"ס ללימודי הסביבה ע"ש פורטר, בתחום של תכנון ביומימטי. נציגה בוועדת התקינה הביומימטית הבינלאומית מטעם מכון התקנים הישראלי. מרצה בתחום במסגרות אקדמיות ופרטיות

תהליך התכנון הביומימטי

תהליך התכנון הביומימטי יכול להתחיל מזיהוי תופעה בטבע המשמשת השראה לפתרון של אתגר תכנוני או מאתגר הנדסי המניע את החיפוש אחר פתרון ביולוגי.

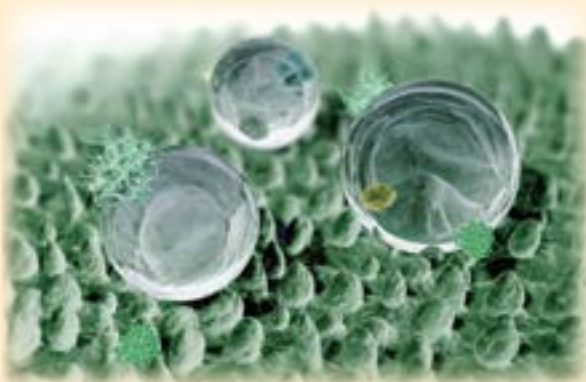
תכנון מבוסס פתרון: תהליך התכנון הביומימטי יכול להתחיל בזיהוי תופעה ייחודית בטבע שנחקרה על ידי ביולוגים, זואולוגים או בוטנאים. בהמשך מאתרים אתגר תכנוני אנלוגי לבעיה שנפתרה בטבע, ומוצעים יישומים אפשריים. כך למשל, גילוי של אפקט הלוטוס הוביל לסדרה של טכנולוגיות לניקוי עצמי. תהליך זה מוגדר כתכנון מהביולוגיה להנדסה, או תכנון מבוסס פתרון (Solution based) design. ראו דוגמה במסגרת על אפקט הלוטוס.

תכנון מבוסס בעיה: תהליך התכנון הביומימטי יכול להתחיל גם באתגר תכנוני שעולה הצורך להתמודד אתו. לשם כך מאתרים מערכת ביולוגית המדגימה פתרון לאתגר אנלוגי. הפתרון הביולוגי נחקר ומיושם בפתרון הטכנולוגי המפותח. דוגמה לכך היא הרכבת המהירה ביפן, שעוצבה מחדש בתהליך ביומימטי לפתרון בעיית הרעש שיצרה (ראו בוקסה). תהליך זה מוגדר כתכנון מההנדסה לביולוגיה או תכנון מבוסס בעיה (Problem based design) (Helms, Vattam, and Goel, 2009). ראו דוגמה בעמוד הבא על רכבת הקליע ביפן.

בתהליך העברת הידע בין הביולוגיה להנדסה נעזרים לעיתים רק במערכת ביולוגית אחת, ולעיתים הפתרון מבוסס על חקר של מספר מערכות ביולוגיות. כאשר התכנון מורכב יותר ומבוסס על מספר פונקציות. הידע המועבר מהביולוגיה להנדסה הוא לרוב ידע פונקציונאלי הקשור לרמות חיקוי של מבנים, תהליכים ועקרונות תכנוניים ברמות סדר שונות מרמת התא, דרך רמת האיבר, רמת האורגניזם ועד רמת המערכת האקולוגית. אך חשוב לזכור שהפתרונות התכנוניים בטבע הם לא תמיד אופטימאליים, אידיאליים או אלגנטיים. יתכנו "טעויות תכנוניות בטבע" שמתכנן אינטליגנטי לא היה מבצע. מכאן שעלינו ללמוד בצורה שקולה וביקורתית את הפתרונות התכנוניים של הטבע ולהציע ביישומים ההנדסיים שינויים או שיפורים לפתרון הטבעי, אם נדרש.

אפקט הלוטוס

עלה לוטוס תמיד נראה נקי למרות שהוא גדל בסביבות בוציות. עובדה זו כמובן מסייעת לו לבצע תהליכי פוטוסינתזה יעילים. כיצד צמח הגדל בסביבה בוצית נראה תמיד נקי? עובדה זו סקרנה מדענים שנים רבות. ברטלוט (Barthlott), בוטנאי גרמני, חשף את מנגנון הניקוי העצמי של עלי הלוטוס, וכינה אותו אפקט הלוטוס (Solga, Cerman, Striffler, Spaeth, Barthlott, 2007). עלה הלוטוס מכוסה בגבשושיות ננומטריות מכוסות שעווה. מבנה הגבשושיות מקטין את שטח המגע של טיפות המים הנופלות על המשטח ויוצר זוויות מגע של מעל 140 מעלות בין הטיפה למשטח, תכונה המאפיינת משטחים סופר-הידרופוביים (דוחים מים בצורה קיצונית). טיפות מים הנופלות על המשטח מקבלות צורה ספרית ומתגלגלות על משטח העלה המשופע בכוח הכבידה. בדרך הן מסירות חלקיקי לכלוך המצויים על העלה בשל מערך כוחות האדהזיה המאפיין את מבנה הבליטות. התוצאה - חלקיקי הכלוך מוסרים באופן קבוע על ידי טיפות מים, משאב זמין בסביבת העלה, ללא השקעת אנרגיה, תוך ניצול כוחות האדהזיה וכוחות הכבידה. לאפקט זה נרשמו פטנטים ויישומים ביומימטיים רבים לרבות צבעים, זכוכיות ובדים המתנקים בעצמם.



הדמיה של מנגנון הסרת הכלוך של הלוטוס

מקור: ויקיפדיה, מאת William Thielicke

ביומימיקרי בשדה הפדגוגי - ללמוד וללמד מהטבע

ביומימיקרי משולב במסגרות חינוכיות בארץ ובעולם הן כתחום תוכן נפרד והן ככלי להוראת המדע והטכנולוגיה.

במקביל להתפתחות תחום הביומימיקרי באקדמיה ובתעשייה, יש ענין הולך וגובר בשילוב התחום במסגרות חינוכיות פורמאליות ובלתי פורמאליות, כמקור לחדשנות פדגוגית ותהליכי למידה משמעותיים. ביומימיקרי משולב במסגרות חינוכיות בארץ ובעולם הן כתחום תוכן נפרד והן ככלי להוראת המדע והטכנולוגיה.

ביומימיקרי: כתחום תוכן נפרד

ביומימיקרי כתחום תוכן נפרד מקושר לשני נושאים עיקריים:

- **חדשנות, המצאתיות ויזמות:** תכניות חינוך אלו עוסקות בקידום חשיבה המצאתית הרואה בטבע מקור לחדשנות. כיצד הטבע יכול לסייע בתהליכי חדשנות ויזמות? איך נראה תהליך המצאתי שמתחיל בהתבוננות וחקר הטבע? תכניות חינוך אלו עוסקות בשלבי תהליך הפיתוח הביומימטי תוך תרגול החשיבה הנדרשת לתהליך: חשיבה אנלוגית המחברת בין אתגרים אנושיים לפתרונות בטבע, וחשיבה מערכתית המאפשרת זיהוי הפתרון הפונקציונאלי בטבע.
- **קיימות וסביבה:** תכניות חינוך אלו עוסקות בנושאי קיימות וסביבה באמצעות למידת עקרונות הקיימות בטבע. כיצד מערכות בטבע מתקיימות ושורדות לאורך זמן? מהם פתרונות הטבע לאתגרים הסביבתיים המעסיקים את האנושות כיום? בניגוד לגישות אחרות בחינוך סביבתי המעצימות את החסר (נגמרים לנו משאבי המים ומקורות האנרגיה), עיסוק בנושא הסביבתי ממבט ביומימטי מעצים את הפתרונות של הטבע לאתגרים הסביבתיים ונוסך תחושת בטחון, גישה אופטימית ותקווה לגבי יכולת ההתמודדות של האנושות עם הבעיות הסביבתיות. בהקשר הסביבתי, תחום הביומימיקרי נותן גם משמעות והצדקה נוספת למושג מגוון המינים. מכיוון שכל אחד ממיליוני המינים בעולם יכול להיות מורה, מקור לידע ותובנות, מין שנכחד הוא מורה שאבד. מגוון המינים חשוב לנו גם כמגוון של ידע ופתרונות לאתגרי האנושות.

הרכבת המהירה ביפן

הרכבת המהירה ביפן (Shinkansen), הידועה גם כרכבת הקליע, עוצבה באופן ביומימטי. בכל פעם שהרכבת יצאה ממנהרה לאוויר הפתוח היא יצרה גל רעש שהגיע למרחק של 80 ק"מ, פגע באיכות התושבים באזור, ולא עמד בתקני הרעש שהוגדרו. אחד ממהנדסי הרכבת היה חובב ציפורים. באחת הפעמים ששהה בטבע הוא הבחין בשלדג הצולל למים על מנת לתפוס דג. כניסת השלדג החלקה למים ללא גל רעש מאפשרת לו להצליח במשימתו ולשרוד. המהנדס זיהה אתגר אנלוגי לבעיית הרעש ברכבת בצלילתו של השלדג למים. גם השלדג וגם הרכבת עוברים מתווך אחד לתווך אחר, בעלי צפיפות שונה, ועליהם לבצע זאת ללא גל רעש. תובנה זו הובילה לחקר השלדג. הפתרון זוהה במבנה המקור. קטר הרכבת תוכנן מחדש על בסיס הפרמטרים של מקור השלדג, שהיווה מודל לפתרון. המקור הוא דוגמא למודל אופטימאלי, תוצר מעבדת התכן הטבעית, המהווה תחליף לחישובים מתמטיים מורכבים בתחום של דינמיקת הזרימה. כתוצאה מהפיתוח הטכנולוגי בעיית הרעש ברכבת נפתרה וכן מהירות הרכבת והיעילות האנרגטית שלה גדלו.



השלדג ורכבת הקליע

התמונות באדיבות ארגון הביומימיקרי הישראלי

בתייה). דוגמא נוספת היא המצאת ה"זבוקפת" - המשקפת מאפשרת תצפית רחבה למספר כיוונים בו זמנית, ללא הזזת הראש. המשקפת מבוססת על מבנה העין של הזבוב, המורכבת ממספר רב של עיניות קטנות (בית הספר בן גוריון מגן יבנה).



המצאת הזבוקפת. בית הספר בן גוריון, גן יבנה

ביומימיקרי במערכת החינוך הבלתי פורמאלית

פעילות ביומימיקרי ערה בולטת גם בחינוך הבלתי פורמאלי. גני חיות ומוזאוני מדע רבים בעולם משלבים תכניות חינוך בתחום הביומימיקרי. כך למשל, מוזיאון הימי בסן פרנסיסקו, מציע תכנית המשלבת הרצאה בכיתה והמשך בסיור בן ארבע שעות על חוף הים. במהלך התכנית התלמידים מתבוננים בהתאמות ובתפקודים של בעלי החיים הימיים תוך זיהוי האתגר ופתרונות בטבע. אוניברסיטת צפון קרוליינה מציעה מחנה של שבוע הנקרא "המהנדסים של הטבע" במהלכו נערכים סיורים ותצפיות ונחקרים מנגנוני תנועה שונים (למשל, תנועת התמנון), חומרים (למשל, דבק חילוון) ומבנים (למשל, דג הקופסינון). בארץ קיימות מספר תכניות בלתי פורמליות בגני טבע ובמוזיאונים למדע וטכנולוגיה. כך לדוגמה, יחידת החינוך של רמת הנדיב מציעה יחידה מקוונת המשלבת מבואות, תרגילים והתנסות בפיתוח המצאה בהשראת אורגניזמים מרמת הנדיב. גם פארק הספארי ברמת הגן מציע תכנים רבים החל מימי חשיפה ועד תכניות חינוך שנתיות. האוסף הזואולוגי של הספארי משמש כ"מעבדת מחקר" חווייתית, ומהווה מקור השראה לתהליכי למידה ביומימטיים.

סקירת המאפיינים של תכניות אלה מלמדת שבכולן יש מרכיבים משותפים כמו יציאה לטבע, חקר של אורגניזמים מקומיים, למידה חווייתית המשלבת משחק והפעלה, תרגול חשיבה ביומימטית (חשיבה אנלוגית ומערכתית), והתנסות בפיתוח המצאה בהשראת הטבע במסגרת פרויקט.

ביומימיקרי: כלי להוראת המדע והטכנולוגיה

ביומימיקרי משולב במערכות חינוך גם ככלי להוראת המדע והטכנולוגיה. הטבע והטכנולוגיה פועלים באותו מרחב של כוחות, עם אותם עקרונות מכאניים ועקרונות זרימה. ניתן להדגים עקרונות רבים הנלמדים במסגרת הוראת המדע והטכנולוגיה בצורה חווייתית ומסקרנת באמצעות תופעות דומות מהטבע. כך למשל עיסוק בנושא סדרות מתמטיות ניתן להעשיר על ידי הדגמת סדרת פיבונאצ'י בטבע המזוהה למשל בתפרחת החמנייה, במבנה האצטרובל ועוד. את חוקי ניוטון ניתן להדגים באמצעות מנגנוני תנועה שונים בטבע, למשל הנעת הסילון הבאה לידי ביטוי בתנועת הדיונונים, מבוססת על החוק השלישי של ניוטון, חוק הפעולה והתגובה. כוחות אדהיזה ניתן להדגים באמצעות אפקט הלוטוס ומיסבים באמצעות פעולת מפרקים.

השילוב של דוגמאות אנלוגיות מהטבע תורם להרחבת מנעד הדוגמאות המסבירות את התופעה, ומחזק את הקשר בין התופעה הנלמדת לחיינו היום יומיים וכתוצאה מכך תומך בלמידה משמעותית. פועל יוצא של תהליך זה הוא חיזוק החשיבה האנלוגית המבוססת על קשר בין תחומים.

סקירת תכניות ביומימיקרי בארץ ובעולם

ביומימיקרי: תכנית לבתי ספר יסודיים, כיתות ד-ו

התכנית פותחה על ידי ארגון הביומימיקרי הישראלי בשיתוף תכנית קרב לטבע וסביבה ויחידת החינוך של רמת הנדיב. התכנית פועלת מאז 2011 בבתי ספר רבים בפריסה ארצית. התכנית כוללת מבואות תיאורטיים, דוגמאות לפיתוחים ביומימטיים, הקניית יסודות החשיבה הביומימטית ותרגול מיומנויות של חקר אורגניזמים וחשיבה אנלוגית הקושרת פתרונות בטבע לאתגרים אנושיים. במהלך התכנית עובדים התלמידים בקבוצות על פתרון אתגר באמצעות השראה או העתקה של מנגנון ביולוגי נבחר. חלק מהתלמידים מתחילים באתגר ומוצאים אורגניזם שעמד בפני אתגר דומה, ואחרים מתחילים את התהליך בחקר אורגניזם שמעניין אותם, ומאתרים אתגרים טכנוניים אנלוגיים. התכנית מסתיימת מדי שנה בכנס חגיגי ברמת הנדיב בו מציגים התלמידים את המצאתם באמצעות דגם ופוסטר בפני צוות שופטים מקצועי. בין הזוכים למשל המצאת הביקופטר, מנגנון נחיתה של הליקופטר המיועד לחלץ נפגעים באזורים ללא נגישות, המבוסס על חקר מנגנון הנחיתה של הדבורה, המסוגלת לנחות גם על משטחים תלולים (בית הספר בן גוריון ממזכרת

ביומימיקרי בשדה הפדגוגי - ללמוד וללמד מהטבע

העיסוק בנושאים הנוגעים בחיי הלומדים, המערבים מגוון התנסויות שכליות, רגשיות ויצרניות ומזמנים חשיבה והעמקה בנושאים שנבחרו על ידי הלומדים כבעלי ערך עבורם, הופכים את הלמידה באמצעות הביומימיקרי ללמידה משמעותית.

תכניות חינוך בתחום הביומימיקרי מזוהות עם מספר דרכי הוראה-למידה המטפחות תהליכים ומיומנויות חשיבה מסדר גבוה ומובילות ללמידה משמעותית:

- **למידה בינתחומית ורב תחומית:** למידת הביומימיקרי היא קודם כל רב-תחומית בכך שהיא משלבת נקודות מבט של דיסציפלינות שונות (ביולוגיה, כימיה, פיסיקה, הנדסה, עיצוב ועוד), אך היא גם בין-תחומית, כי הלמידה מערבת חיבור של תפיסות, תיאוריות, מתודולוגיות וגישות של תחומי הידע השונים.

- **למידה אנלוגית:** ביומימיקרי בהגדרה הוא תהליך של העברה אנלוגית של ידע מתחום תוכן אחד (במדעי החיים - ביולוגיה) לתחום תוכן אחר (טכנולוגיה). למידת התחום מטפחת חשיבה אנלוגית המזהה הקשרים ודמיון בין אתגרים בטבע לאתגרים אנושיים. ככל שהחשיבה האנלוגית של הלומד מפותחת יותר, כך היכולת שלו להבין ולתכנן תהליכים ביומימטיים גדלה. לדוגמה, במסגרת הוראת התחום בבית הספר היסודי הוצג בפני תלמידים מגוון מערכות ביולוגיות והם התבקשו להעלות רעיונות להמצאות בהשראתן. תלמידי כיתות ג' השתמשו באנלוגיות צורניות. כך למשל, תלמיד שראה פטריה הציע להמציא בהשראתה מטריה. בכיתות גבוהות יותר (ה-10) הציגו התלמידים רעיונות המבוססים על אנלוגיות מורכבות יותר. למשל: הם התייחסו לתכונות של חומרים (חוזק וצפיפות) והציעו מבנה המחקה את חוזק הכוורת.

- **למידה מבוססת פתרון בעיות ופרויקטים:** ביומימיקרי משלב עיסוק בבעיות אנושיות שונות ובפתרונות הקשורים אליהם. בהגדרה התחום מבוסס על מציאת פתרונות בטבע לאתגרים שונים של החברה האנושית. התלמידים נדרשים להגדיר אתגר שמעסיק אותם בחיי היום יום ולמצוא פתרון

אנלוגי בטבע. לחלופין, הם נדרשים לזהות בטבע פתרונות לאתגרים שונים, ולמצוא אתגרים אנלוגיים בעולמם. בעיות ופתרונות הם אם כן נקודות המוצא ללמידה ולהטמעת ידע חדש. התלמידים מציגים את הפתרון לאתגר ואת תהליך הפיתוח שלו דרך מצגת, דגם או פוסטר. אפשר וכדאי לעודד תלמידים לבחור אתגרים המעסיקים אותם בחיי היום יום. כך למשל, במסגרת התכנית לבתי הספר היסודיים בארץ הוצג על ידי תלמידים מאזור הדרום שספגו הפגזות בבתיהם, פרויקט ביומימטי שעסק במיגון. תלמידים אחרים הציגו פרויקטים ביומימטיים של מזרק ידידותי המפחית חשש מזריקות, מגני ברכיים לרוכבי אופניים ומגלשות מים "המהירות בעולם". נושאים אלו הקרובים לליבם ולעולמם של התלמידים מעצימים את תהליך הלמידה והופכים אותה למשמעותית יותר.

- **למידה מבוססת מקום:** בכל תכניות החינוך שנסקרו יש שימוש במקום. במידת האפשר תהליכי הלמידה משלבים יציאה לסביבה הקרובה, אם בחצר בית הספר או בשמורות טבע סמוכות, והתבוננות באורגניזמים בסביבתם הטבעית. שלב ההתבוננות הוא חלק מתהליך החקר שמוביל את תכניות החינוך.

- **למידת חקר:** תחום הביומימיקרי במהותו מתאים מאוד ללמידת חקר. כל השלבים המבוצעים בעבודת חקר מבוצעים גם כאן לרבות ניסוח שאלת החקר וההשערות, חקירה מידענית, בחירת כלי החקר, תכנון מערך החקר, ביצוע החקר והסקת המסקנות. מושא החקר מתמקד מגוון המינים ובתופעות המתרחשות בטבע.

כל מאפייני הלמידה שתוארו לעיל הופכים את למידת הביומימיקרי ללמידה משמעותית. העיסוק בפרויקטים הנוגעים בחיי הלומדים, המערבים מגוון התנסויות שכליות, רגשיות ויצרניות ומזמנים חשיבה והעמקה בנושאים שנבחרו על ידי הלומדים כבעלי ערך עבורם (וידיסלבסקי, 2014) הופכים את הלמידה באמצעות הביומימיקרי ללמידה משמעותית.

ביומימיקרי – ערכים לצד למידה

הוראת הביומימיקרי, הן כתחום תוכן נפרד והן ככלי להוראת המדע והטכנולוגיה, מסייעת בגיבוש תפיסה ערכית הרואה בטבע מקור לידע. הטבע נתפס כמחסן של תובנות ולא רק מחסן של חומרים או מקור

סיכום

"הבט היטב בטבע ותבין הכל טוב יותר" (אלברט איינשטיין).

תחום הביומימיקרי הינו תחום דעת מתפתח בעולם ובארץ המזוהה כמנוע חדשנות. במקביל להתפתחות התחום באקדמיה ובתעשייה, הולך וגובר העניין בשילוב התחום גם בשדה הפדגוגי. ביומימיקרי ככלי חינוכי מקדם תפיסה ערכית הרואה בטבע מקור לידע ותובנות, מפתח חשיבה אנלוגית ויצירתית ומקדם למידה משמעותית. תכניות הלימוד בביומימיקרי מפיצות את זרעי החשיבה הביומימטית ומקדמות ההתבוננות, חקר ופליאה מעולם הטבע. תלמידים אשר יחשפו לשפה העיצובית של הטבע יזכו להרחבת הידע ויכולות החשיבה שלהם ויוכלו לתרום בבוא היום להנעת מנוע החדשנות הביומימטית בישראל.

קהילות ידע בעולם

העניין ביישומי של תחום הביומימיקרי במערכת החינוך הוביל ליסודם של מספר קהילות ומרכזים לתמיכה בתהליך הפדגוגי ולהעברת ידע למחנכים. להלן שמות של אתרים ברשת:

- **ביומימיקרי למחנכים:** האתר מרכז מידע רלוונטי על ביומימיקרי למחנכים.
- **Bioneers:** ארגון חינוכי העוסק בפתרונות מקיימים פורצי דרך – גם ביומימיקרי.
- **Biomimicry education summit:** הועידה השנתית למחנכים של ארגון Biomimicry 3.8
- **Biomimicry 3.8:** מכון הביומימיקרי האמריקאי
- **ארגון הביומימיקרי הישראלי**

גם בארץ יתקיים השנה כנס לקהילת המחנכים העוסקים בביומימיקרי במטרה לייצר תשתית להעברת מידע ותמיכה. לפרטים ניתן לפנות ל: info@biomimicry.org.il

למשאבים. מערכת היחסים עם הטבע הבאה לידי ביטוי היא מערכת יחסים של למידה, כאשר הטבע מזוהה כמורה, מודל ומדד (Benyus, 1997). גישה זו מטפחת כבוד לטבע. גם אורגניזמים "קטנים" כמו נמלים וחרקים יכולים להיות עבורנו מורים. פועל יוצא נוסף של הוראת תחום הביומימיקרי הוא חיזוק ערכים של התבוננות ופליאה. אם נסקור סיפורי המצאה ביומימטיים נגלה שהם התחילו ברגע אחד בו הבחין/ה המפתח/ת בתופעה טבעית, שגרמה לו/ה פליאה וסקרנות - תופעה המנוגדת לציפיות שלנו מהעולם סביבנו, להנחות העבודה שלנו, ולדרך בה הורגלנו לחשוב. רגע הפליאה הוא הרגע בו מתחיל להיבנות הגשר בין הביולוגיה לטכנולוגיה. כך למשל אפקט הלוטוס התגלה לאחר שמדענים הבחינו שצמח הלוטוס תמיד נשאר נקי למרות שהוא גדל בסביבה בוצית. לאן ואיך נעלם הבוץ? - הם תמהו... בימים של שטף מידע ופיתויים טכנולוגיים, יש חשיבות רבה לתהליכים המאפשרים לעצור, להתבונן, ולשאול...

ביומימיקרי – לאן?

לאור המגמות שתוארו והפוטנציאל של תחום הביומימיקרי ללמידה משמעותית ולקידום חדשנות, נראה ששילוב תחום הביומימיקרי בשדה הפדגוגי ילך ויגדל. טבעו הרב-תחומי והבינ-תחומי של התחום מזמן שיח וחיבור בין מקצועות ההוראה השונים בבית הספר ושיתופי פעולה בין מורים ומורות למקצועות המדעים והטכנולוגיה. שיתופי פעולה אפשריים אף עם מורים במקצועות אחרים כמו אומנות ואפילו ספרות ותנ"ך. ביומימיקרי יכול לשמש כערש של תרבות בית ספרית חדשנית. לדוגמה: פרויקט המקדם חדשנות בית ספרית בשם "הזמנה להמצאה":מדי חודש התלמידים מוזמנים לבחור יצור חי, לערוך חקירה להעלות רעיונות לפיתוחים טכנולוגיים המבוססים על החקירה שערכו, ולהציג את רעיונותיהם בחלל בית הספר, במסגרת תערוכה מתחלפת. האופי הרב-תחומי של התחום עשוי לזמן גם מפגש מקצועי ולימודי עם גורמים חוץ בית ספריים, שיתרמו להעשרת הידע, כמו חוקרים מהאקדמיה או גופים מהתעשייה.



מקורות

וידיסלבסקי, מ', 2014. **למידה משמעותית**, אאוריקה, גיליון 37, מרכז המורים הארצי למדע, אוניברסיטת תל אביב

Benyus, J, 1997. **Biomimicry: Innovation Inspired by Nature**. Quill. New York

Da Vinci index of biomimicry growth, Fermanian Business & Economic Institute of PLNU. <http://www.pointloma.edu/experience/academics/centers-institutes/fermanian-business-economic-institute/da-vinci-index-biomimicry>.

Fermanian Business & Economic Institute, 2010. **P.L.N.U, Global biomimicry efforts: an economic game changer**.

Vosniadou, S, 1989. **Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: A developmental perspective**. Similarity and analogical reasoning, p. 413-437

Goel, A.K, 1997. **Design, analogy, and creativity**. IEEE expert, 12(3): p. 62-70

Helms, M, Vattam, S, and Goel, A.K., 2009. **Biologically inspired design: process and products**. Design Studies, 30(5): p. 606-622

Solga, A, Cerman, Z, Striffler, B. F, Spaeth, M, Barthlott, W, 2007. **The dream of staying clean: Lotus and biomimetic surfaces**. Bioinspiration & biomimetics, 2(4): p. S126