

ג כסלו תשפ"א 19.11.2020

לפי הקצב

כתיבה: ד"ר עומר חורש

יעוץ ועריכה: אורה הירש, שרה ורטהימר, אפרת לינק, ד"ר פרחי וקסמן, תמי בן-דור

"זה לא משנה כמה איטי אתה הולך, כל עוד אינך עוצר" טען קונפוציוס (פילוסוף סיני).

מהירות? איטיות? כל עוד אינך עוצר? מושגים אלה קשורים אלינו כמורים ומחנכים בעיצוב דמות הלומד, אך האם יש להם משמעות גם בהבנת תהליכים בביולוגיה? התשובה היא בוודאי. כשקונפוציוס אמר "כל עוד אינך עוצר" הוא התכוון לשינוי, להתקדמות איטית המתייחסת למשך השינוי, ובהכללה – קצב. בכך עוסק המאמר שלפנינו.

בתוכנית הלימודים בביולוגיה משולבים מספר נושאים בהם נדרש התלמיד להבין תהליכים ביולוגיים. לגבי מרבית התהליכים האלה הוא נדרש להבין מהי ההשפעה של גורמים שונים על קצב התהליך.

נשאלת השאלה, מהו קצב תהליך?

קצב¹ תהליך הוא השינוי שחל בתהליך או בגודל מסוים המעיד על התהליך, ליחידת זמן.

דוגמה מוכרת לקצב היא מהירות. מהירות מוגדרת כשינוי במרחק ליחידת זמן. לדוגמה, אם נמדוד את המרחק שעבר נוזל בפיפטה ביחידת זמן, נוכל לחשב את מהירות התקדמות הנוזל, גודל המבטא את קצב התהליך הנמדד.

דוגמה נוספת היא קצב גדילה הנמדד על ידי שינוי במסה, במספר התאים או באורך של אורגניזם, ליחידת זמן.

נהוג לבטא קצב של תהליך בביטוי מתמטי פשוט כגון:

$$\frac{\Delta X}{\Delta T} = \text{קצב}$$

כלומר, קצב הוא שינוי (Δ) החל בגודל מסוים (X) ביחידת זמן (ΔT).

השינוי מחושב לרוב על פי כמות המגיב בנקודת זמן פחות כמות המגיב בנקודת זמן קודמת, כלומר על פי ההפרש בכמות המגיב בין שני פרקי זמן או על פי ההפרש בכמות התוצר בשני פרקי זמן.

¹ יש המשתמשים במושג שיעור או מידה, במקום במושג קצב. למושגים שיעור ומידה יש גם פירושים אחרים שמשמעותם אינה קצב. לכן, מומלץ להנחות את התלמידים להשתמש במושג קצב בלבד, מושג שלו משמעות אחת בכל התהליכים בהם דנים בניסויי חקר בחטי"ב ובתיכון.

כמות יכולה להיות מסה, נפח, מרחק, אורך, ריכוז (מספר חלקיקים/נפח או מסה/נפח), מספר (למשל של זרעים שנבטו) – אלו לרוב הכמויות הנמדדות בניסויים המוצעים לתלמידים בבית הספר העל יסודי.

הניסוי המוצג בטבלה 1 ממחיש את הנאמר לעיל.

בניסוי נמדד קצב תהליך התסיסה בשמרים על ידי מדידת השינוי בנפח הכולל של CO_2 שנפלט במשך זמן בתנאים מסוימים.

טבלה 1: נפח ה- CO_2 שנפלט בתהליך התסיסה בשמרים במשך זמן

נפח ה- CO_2 הכולל שנמדד בפיטה (מ"ל)	זמן המדידה (דקות)
0	0
0.2	1
0.4	2
0.6	3
0.7	4
0.75	5
0.75	6
0.75	7
0.75	8
0.75	9
0.75	10

ניתן לחשב את קצב התהליך, המבוטא במקרה זה על פי השינוי בנפח ה- CO_2 שנפלט, בכל אחד מפרקי הזמן שבהם בוצעו המדידות, לדוגמה:

בדקה הראשונה של הניסוי נפלטו 0.2 מ"ל של CO_2 כלומר השינוי בנפח הגז הוא 0.2 מ"ל ($\Delta X=0.2$) ואילו השינוי בזמן הוא דקה ($\Delta T=1$) לכן קצב התגובה הוא: $0.2/1=0.2$ מ"ל/דקה.

בדקה השנייה של הניסוי נפלטו עוד 0.2 מ"ל של CO_2 כלומר השינוי בנפח הגז הוא 0.2 מ"ל ($\Delta X=0.2$) ואילו השינוי בזמן הוא דקה ($\Delta T=1$), לכן קצב התגובה הוא: $0.2/1=0.2$ מ"ל/דקה, כלומר קצב התהליך לא השתנה.

גם אם היינו בוחרים מראש למדוד את קצב התהליך בשתי הדקות הראשונות לניסוי היינו מקבלים:

$$\Delta X = 0.4 \text{ מ"ל}$$

$$\Delta T = 2 \text{ דקות}$$

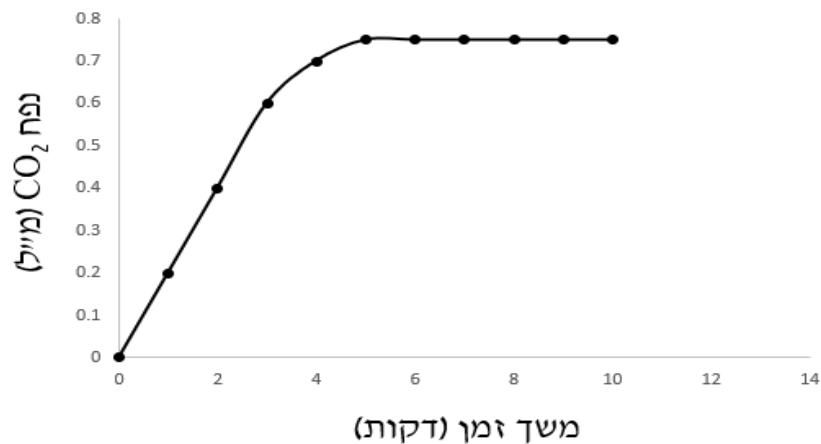
ולכן הקצב של התהליך הוא $0.4/2 = 0.2$ מ"ל/דקה.

אולם, אם נחשב את קצב התגובה בפרק הזמן שבין הדקה השלישית לרביעית (באופן דומה לחישוב הנייל), נמצא כי הוא 0.1 מ"ל/דקה. כלומר, אנו רואים כי קצב התגובה משתנה במשך התהליך (נעשה איטי יותר), וכך גם בין הדקה הרביעית לחמישית. יחד עם זאת, כל עוד התהליך נמשך יהיה לו קצב מסוים, קבוע או משתנה.

אם נסרטט גרף על פי תוצאות הניסוי, הרי שגודל שיפוע הגרף המעיד על מידת השינוי בנפח CO_2 כתלות בזמן, הוא למעשה קצב התגובה.

גרף 1:

קצב התסיסה בשמרים לפי נפח ה- CO_2 שנפלט



ניתן לראות כי בשלוש הדקות הראשונות, מידת השינוי (עלייה) בנפח ה- CO_2 ליחידת זמן היא קבועה, כפי שבא לידי ביטוי בשיפוע הגרף שאינו משתנה, כלומר קצב התהליך אינו משתנה. בין הדקה השלישית לחמישית מתמתן שיפוע הגרף, דבר המעיד על האטה בקצב פליטת ה- CO_2 ליחידת זמן, כלומר האטה בקצב התסיסה. החל מהדקה השישית לא חל שינוי בנפח הכולל של ה- CO_2 ליחידת זמן, כלומר ניתן לשער כי קצב התהליך הוא אפס ($\Delta X=0$).

מדוע ניתן לשער ולא להסיק? משום שיתכן שהחל תהליך אחר, כימי או ביולוגי, בנוסף לתהליך התסיסה, בו נצרכת כל כמות ה- CO_2 הנוספת שנפלטת, לכן היעדר שינוי עשוי להעיד על הפסקת התהליך, אך יש לבדוק את ההשערה באמצעות בקורות מתאימות בניסוי או באמצעות ניסוי אחר.

בפועל, ברוב הניסויים שהתלמידים מבצעים במעבדה הם נדרשים למדוד תוצאות בשתי נקודות זמן בלבד (עם התייצבות המערכת, ולאחר פרק זמן נוסף). אם נתייחס לניסוי שתוצאותיו מתוארות בטבלה 1, התלמיד נדרש, לרוב, למדוד מרחק של נוזל הנדחק בפיפטה, כמדד לנפח הגז הכולל שנפלט. התלמיד מסמן את מיקום הנוזל בפיפטה בזמן אפס (לאחר שהמערכת התייצבה) ופעם נוספת לאחר 5 דקות (או פרק זמן אחר, תלוי בניסוי).

האם מדובר במדידת קצב?

כן, משום שאנו מודדים שינוי בגודל ליחידת זמן. אם נתייחס לנתונים שבטבלה 1 הרי שהקצב שנמדד בפרק הזמן שמתחילת הניסוי ולאחר 5 דקות הוא:

$0.15 = 0.75/5$ מ"ל/דקה. זהו, למעשה, קצב ממוצע של התגובה, שאינו מעיד על שינויים שחלו בקצב התגובה במשך זמן ביצוע הניסוי.

לרוב, לא נדרש מן התלמיד לחשב את קצב התהליך, אך כן נדרשת ממנו ההבנה כי נמדד קצב של תהליך ביולוגי.

חשוב לציין כי בשל קוצר הזמן בבחינת בגרות מעשית בביולוגיה התלמידים נדרשים לבצע מעט מדידות, אך בניסויים במסגרת הביוחקר מומלץ לבצע מדידות בפרקי זמן רבים יותר, ולחשב את הקצב במהלך התגובה. כך יתקבלו נתונים נוספים אליהם אפשר להתייחס בדיון בתוצאות.

תלמידים רבים נוטים לחשוב שעצם קיום התהליך מעיד באופן ישיר על קצב ההתרחשות שלו, כך למשל ניתן למצוא תלמידים הקובעים כי המשתנה התלוי (בניסוי 1) הוא תהליך התסיסה. זו טעות, משום שעל פי תשובה כזו לא ברור האם הם מתכוונים לקיום התהליך – יש או אין, בעוד שהמשתנה התלוי הוא קצב תהליך התסיסה.

כאמור, כאשר עוסקים בתגובות כימיות כחלק מתהליכים בביולוגיה אנו מתעניינים בקצב שלהן, כלומר בכמה זמן מתרחשים השינויים בחומר. בחלק מהתהליכים בביולוגיה נעשה שימוש בממד המעיד על קצב התהליך הנבדק אך לא נמדד התהליך עצמו. למשל, אם נמדוד את קצב הנביטה לפי מספר הזרעים שנבטו בפרק זמן מסוים או שנמדוד את נפח החמצן הנפלט ליחידת זמן בתהליך הפוטוסינתזה, הרי שאנו מודדים את קצב התהליך באופן ישיר. לעומת זאת, אם נמדוד את הנפח של מגיב או תוצר בתהליך על ידי שינוי בצבע אינדיקטור, או על ידי שינוי ברמת חומציות, זוהי מדידה עקיפה של קצב התהליך. דוגמאות נוספות לתהליכים שבהם נמדד הקצב ראו בנספח בעמודים 9, 10.

היבט נוסף שחשוב להבין הוא שבמידת קצב או מודדים לרוב קצב של כמה תהליכים המתרחשים ברצף זה אחר זה. למשל תהליך הפוטוסינתזה הוא תהליך שמעורבים בו מספר שלבים, הכוללים מעורבות של חלבונים שונים, וביניהם גם אנזימים. בניסוי במעבדת בית הספר איננו בודקים באופן ישיר את קצב הפעילות של חלבונים אלה, אלא את השינוי בכמות אחד מהתוצרים הסופיים או את השינוי בכמות המגיבים ההתחלתיים של התהליך. מדידת היעלמות המגיב או יצירת התוצר מאפשרת לשקלל את הקצב של כל החלבונים המעורבים בתהליך, אשר לכל אחד מהם קצב משלו המושפע מגורמים שונים.

מה לגבי יחידות הקצב?

למעשה, החוקר הוא זה שקובע את יחידות הקצב של התגובה, כלומר את הגודל שעבורו נמדד השינוי ואת יחידת הזמן. לדוגמה: השינוי בכמות הנמדדת ליחידת הזמן היא תלוית תהליך, מכשיר או חוקר – אפשר למדוד קצב לשנייה, לדקה, לשעה, לשנה. אפשר גם למדוד קצב בתחילת תהליך לעומת מדידת הקצב בסופו – כך ניתן למשל ללמוד האם התהליך הואט או הואץ או שקצבו לא משתנה. כך גם לגבי יחידות המידה שאת השינוי בגודלן או בודקים, לדוגמה: נאמר שבניסוי 1 (לגבי מדידת קצב התסיסה) מדדו את נפח ה- CO_2 שנפלט באמצעות המרחק שעבר הנוזל בפיפטה, שהוא פרופורציונאלי לנפח הגז שנפלט. אם נתייחס לשינוי נקודות זמן, תחילת המדידה וסיום המדידה, הרי יש לנו שינוי בכמות ביחידת זמן. נאמר שמשך המדידה הוא 5 דקות ושהנוזל התרחק למרחק של 10 ס"מ הרי שהשינוי במרחק הוא 10 ס"מ במשך חמש דקות, לכן עונה להגדרה של קצב, וקצב התהליך הממוצע הוא 2 ס"מ/דקה:

$$2 = 10/5 \text{ ס"מ/דקה}$$

בעוד שבתיאור הניסוי עצמו (ראה לעיל) נמדד אותו קצב אך ביחידות שונות (מ"ל/דקה).

חשוב לציין כי בנקודת מדידה מסוימת קצב התגובה הוא אחד, ולא תלוי בדרך שבה החלטנו להציגו, כלומר, האם מדדנו שינוי בריכוז המגיבים, או בריכוז התוצרים או האם מדדנו בכל שנייה או בכל דקה או יותר. קצב התהליך באותה נקודת זמן הוא מסוים.

מדוע בכל זאת מתקבלים לעתים קרובות הבדלים בין מדידות שונות בנקודת זמן? זה קשור למידת הדיוק והאמינות של מכשיר המדידה, עין החוקר ועוד. עוד על המושגים, דיוק, אמינות, מהימנות ותוקף מסקנות תוכלו לקרוא במאמר: [דיוק, אמינות ומהימנות – מה בעצם ההבדל?](#)

כדי למדוד קצב נבחר בשיטה שבה קל לנו (יחסית) לעקוב אחר שינוי כלשהו בין אם זה ריכוז/נפח/מסת המגיב, התוצר או גורם אחר הקשור בתהליך, וכן נבחר יחידת זמן אופטימלית, המתאימה לפרק הזמן בו נערך הניסוי או בהתאם לתהליך (למשל, לא נבחר לבדוק את קצב הנביטה אחת לדקה).

נחזור ונדגיש מדוע או מדברים על קצב ממוצע. במקרה של ניסוי 1 יחידת הזמן שהוגדרה לקצב היא גדולה יחסית, בסדר גודל של דקות. אולם אם נתבונן בתהליך מתחילתו ועד לסוף המדידה, יתכן כי במהלך חמש

הדקות חלו שינויים בנפח הגז הנפלט ליחידת זמן, כתוצאה משינוי בריכוז המגיבים, התוצרים, היווצרות מעכבים, ואפילו גורמים מקריים כמו הטיית המבחנה. מובן כי לו היינו בודקים את מידת התקדמות הנוזל אחת לפרק זמן קצר יותר, כגון שנייה, היינו יכולים לשרטט גרף המראה את השתנות קצב התגובה לאורך זמן, ואולי אף לאסוף יותר נתונים בניסוי וללמוד יותר על אופיו של התהליך אותו אנו בודקים, ועל גורמים שמשפיעים עליו. בניסוי ביוחקר, בהם מרחב הזמן גמיש יותר, ניתן ואף רצוי לעשות זאת. אך גם בניסוי 1 שתוצאותיו מוצגות בטבלה 1, אם נאריך אותו, נוכל לקבוע כי יחידת הזמן היא 5 דקות ולמדוד שוב את השינוי במרחק שעבר הנוזל בין חמש דקות לעשר דקות וכך הלאה.

גורמים המשפיעים על קצב תגובה

טמפרטורה: ככל שעולה הטמפרטורה עולה האנרגיה הקינטית של החלקיקים במדגם (המתבטאת במהירות התנועה של החלקיקים), כלומר ליותר מולקולות של מגיבים יש אנרגיה גבוהה מאנרגיית השפעול של התגובה, ויכולות להתקיים יותר התנגשויות פוריות ביחידת זמן, וכתוצאה מכך יוצרו יותר תוצרים. כמו כן, התנועה המהירה של המולקולות מגדילה את הסיכויים להתנגשויות ביחידת זמן, שיובילו ליצירת תוצרים. לסיכום, לטמפרטורה יש השפעה כפולה על קצב התגובה: עלייה במספר הכולל של ההתנגשויות ועלייה בחלקן היחסי של ההתנגשויות הפוריות מסך כל ההתנגשויות. מאידך, כשמדובר בתגובות בהן מעורבים אנזימים או חלבונים אחרים בתא כגון חלבוני העברה בקרום התא, טמפרטורה גבוהה דווקא יכולה להאט את התגובה, שכן חלבונים אלה עוברים דנטורציה ואינם מתפקדים בזירוז התגובה.

שטח פנים: ככל ששטח הפנים בו יש מגע בין החלקיקים (מולקולות, יונים) הוא גדול יותר, כך גדל הסיכוי להתנגשויות פוריות בין החלקיקים וקצב יצירת התוצרים עולה. עם זאת, יש לשים לב להשפעת שטח הפנים על קצב דיפוזיה ואוסמוזה ולהחליט מראש מה יהיה הגודל המשתנה: סך כל החלקיקים שעברו דרך הקרום ליחידת זמן או סך כל החלקיקים שעברו דרך הקרום ליחידת זמן ליחידת שטח. אלו שני גדלים בעלי משמעות שונה. לדוגמה, בניסויים שבהם בודקים את השפעת שטח הפנים של קוביות קטנות (של תפוח אדמה או של אגר) לעומת קוביות גדולות אך בעלות נפח כולל זהה, האם קצב האוסמוזה או קצב הדיפוזיה גדל? לא בהכרח! ככל ששטח הפנים גדול יותר מספר המולקולות שעוברות ליחידת זמן גדל, ולכאורה אפשר לטעון שהקצב עולה. אבל אם מתייחסים למספר המולקולות שעוברות ליחידת זמן לכל יחידת שטח, ערך זה הוא זהה בקוביות קטנות ובקוביות גדולות, מכאן שהקצב לא משתנה. לכן בשימוש של המושג קצב בהקשר להשפעת שטח פנים יש להחליט מראש מה יהיה הגודל המשתנה – סך כל החלקיקים שעברו דרך קרום תאים ליחידת זמן או סך כל החלקיקים שעברו ליחידת זמן ליחידת שטח.

ריכוז אנזים :

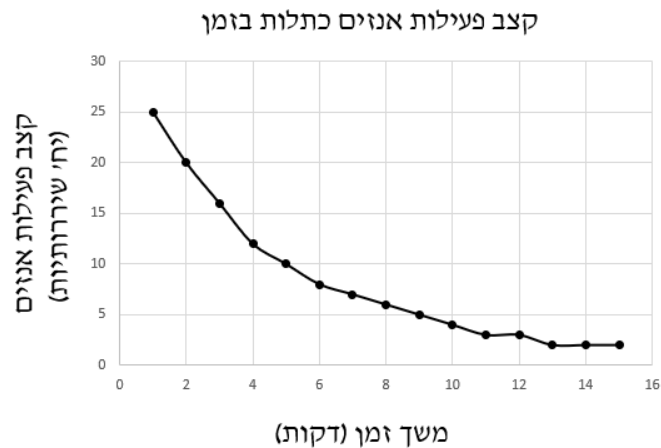
אנזים (קטליזטור) הוא אמצעי להגדלת קצב תגובה. אנזים, כמו כל זרז, הוא חומר כימי המוסף לתגובה, אך אינו משתנה במהלכה, כלומר ריכוז האנזים בתחילת התגובה ובסופה זהה (נכון למקרים בהם תנאי התגובה כגון טמפרטורה ו-pH אינם משתנים במהלכה). אנזים מאפשר לתגובה להתרחש במסלול חלופי עם אנרגיית שפעול נמוכה יותר מאנרגיית השפעול של אותה תגובה ללא הזרז. מולקולות של אנזים אינן "מתבזבזות" ולכן בדרך כלל דרושות כמויות מאד קטנות של אנזים על מנת להגדיל באופן ניכר את קצב התגובה.

ועוד לגבי קצב תהליכים אנזימטיים :

לא ניכנס לתיאוריית הקינטיקה של אנזימים כפי שבאה לידי ביטוי במשוואת מיכאליס-מנטן וגרף ליינוויבר-בורק , אך כן נתעכב על מאפיין חשוב, הקשור בגרף המתאר את התלות של קצב הפעילות האנזימטית במשך הזמן (כאשר כמות האנזים קבועה) (גרף 2).

נדגים ניסוי שבו יש מבחנה עם אנזים בריכוז מסוים וסובסטרט בריכוז מסוים בתנאים מיטביים של טמפרטורה ו-pH, ונמדוד את קצב התגובה. נגלה כי קצב התגובה יורד עם הזמן. זאת משום שעם הזמן יורד הריכוז ההתחלתי של הסובסטרט, ולכן מתקיימים פחות מפגשי אנזים וסובסטרט. אם נתאר זאת באופן גרפי נקבל:

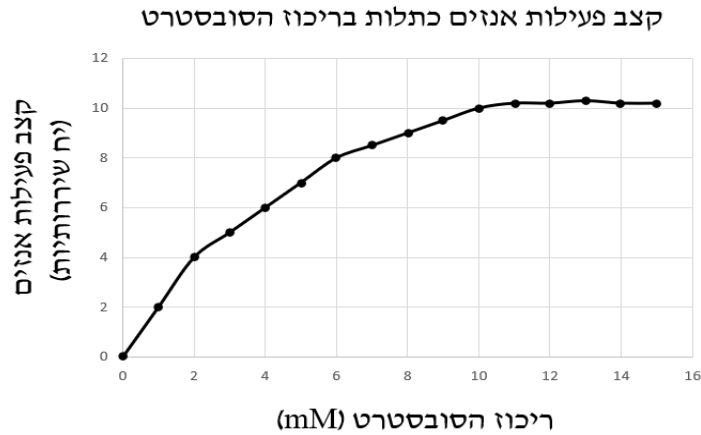
גרף 2:



המסקנה העולה מן הגרף: בריכוזים מסוימים של אנזים ושל סובסטרט, קצב התגובה אינו קבוע במשך הזמן.

לפיכך, מה המשמעות של הקצב בגרף המתאר את הקשר בין קצב פעילות האנזים וריכוז הסובסטרט?

גרף 3:



מגרף 3 ניתן ללמוד על קצב פעילות האנזים בריכוז סובסטרט מסוים, אך איך ניתן לחשב זאת אם ראינו כי קצב התגובה בריכוז סובסטרט מסוים משתנה עם הזמן? למעשה, הגרף אותו אנו נוהגים להציג לתלמידים נוצר על ידי סדרת טיפולים במערך הניסוי, כשבכל אחד מהם ריכוז אחר של סובסטרט וריכוז אנזים קבוע. הגרף מציג רק את הקצב ההתחלתי של התגובה, בפרק זמן קצר מאד לגבי ריכוז מסוים של סובסטרט. כפי שהראינו, יש לזכור כי גם מהירות זו יכולה להשתנות בהתאם לירידה בריכוז ההתחלתי של הסובסטרט לאורך זמן, בצורת המבחנה שיכולה להשפיע על שטח המגע בין האנזים לסובסטרט ועוד, כך שהגרף המוצג לתלמידים הוא סכמטי, אך מאפשר להסביר עקרונות בפעילות אנזימית.

גרף 3 דומה במראהו לגרף 1 המתאר את השינוי בכמות התוצר במשך הזמן. בגרף 3 כותרת ציר ה-Y היא קצב התהליך, ובמקרה זה התיישרות הגרף מריכוז מסוים אינה מעידה על כך שהתהליך נפסק, אלא על כך שהקצב שלו אינו משתנה לאורך הזמן.

נספח

טבלה 2: משמעות המושג קצב בתהליכים אותם ניתן לבדוק במעבדת בית הספר.

הקצב יבוטא על פי	דרך המדידה	המשתנה התלוי
<ul style="list-style-type: none"> שינוי בכמות התוצר ליחידת זמן שינוי בכמות המגיב ליחידת זמן 	באמצעות אינדיקטור / שינוי צבע / שינוי ריכוז / שינוי pH	קצב פעילות האנזים
<ul style="list-style-type: none"> ירידה בכמות החמצן ליחידת זמן עליה בכמות הפחמן הדו חמצני ליחידת זמן ירידה בכמות הגלוקוז ליחידת זמן 	באמצעות אינדיקטור / שינוי צבע / שינוי ריכוז / שינוי pH / שינוי בנפח	קצב הנשימה התאית
<ul style="list-style-type: none"> שינוי בכמות האתנול ליחידת זמן שינוי בכמות פחמן דו חמצני ליחידת זמן 	באמצעות אינדיקטור / שינוי צבע / שינוי pH / שינוי בנפח	קצב התסיסה בשמרים
<ul style="list-style-type: none"> עליה בכמות החמצן ליחידת זמן ירידה בכמות הפחמן הדו חמצני ליחידת זמן 	באמצעות אינדיקטור / שינוי צבע / שינוי בריכוז / שינוי pH / שינוי בנפח	קצב הפוטוסינתזה
<ul style="list-style-type: none"> כמות החלקיקים המתקבלת בצד אחד של קרום דיפוזיה ליחידת זמן שינוי בצבע / בריכוז ליחידת זמן 	באמצעות אינדיקטור / שינוי צבע / שינוי pH	קצב דיפוזיה
<ul style="list-style-type: none"> שינוי בנפח תמיסה ליחידת זמן שינוי נפח רקמה ליחידת זמן שינוי בריכוז תמיסה חיצונית ליחידת זמן 	באמצעות מדידת נפח, מסה או שינוי של צבע תמיסה (במקרה של חומר צבע לא חדיר (לקרום)	קצב אוסמוזה

טבלה 3: דוגמאות למדידת קצב בנושאים שונים מתוך תכנית הלימודים.

נושא	משתנה תלוי	הקצב יבוטא על פי
עיכול	קצב ספיגת גלוקוז במעי	<ul style="list-style-type: none"> השינוי בכמות / ריכוז הגלוקוז במעיים ליחידת זמן
הובלה	קצב הלב	<ul style="list-style-type: none"> מספר פעימות הלב לדקה
הובלה	מהירות זרימת הדם בעורקים / בנימים / בוורידים	<ul style="list-style-type: none"> המרחק שעובר נוזל הדם בכלי הדם לשנייה
נשימה	קצב הנשימה	<ul style="list-style-type: none"> מספר הנשיפות / הנשיפות לדקה
הפרשה חיצונית	קצב הסינון בפקעית	<ul style="list-style-type: none"> כמות המים העוברת דרך דפנות נימי הפקעית לשנייה
הפרשה חיצונית	קצב יצירת השתן	<ul style="list-style-type: none"> כמות השתן שנוצרת לשעה
עצבים	מהירות הולכת האות החשמלי	<ul style="list-style-type: none"> מרחק שעובר האות החשמלי לאלפית שנייה
עצבים	מהירות הולכת האות הכימי	<ul style="list-style-type: none"> כמות הניורטרנסמיטר המשתחררת ליחידת זמן המרחק שעובר הניורטרנסמיטר במרווח הסינפטי ליחידת זמן
רמה תאית	קצב שכפול DNA / קצב תיעתוק / קצב תרגום	<ul style="list-style-type: none"> כמות ה-DNA / כמות RNA / כמות החלבון הנוצרת ליחידת זמן
אבולוציה	קצב התרחשות מוטציות	<ul style="list-style-type: none"> מספר המוטציות ליחידת זמן תדירות האללים באוכלוסייה ליחידת זמן
גדילה והתפתחות	קצב נביטה	<ul style="list-style-type: none"> מספר הזרעים הנובטים ליחידת זמן
גדילה והתפתחות	קצב צימוח וגטטיבי	<ul style="list-style-type: none"> אורך / מסת השורש/ הגבעול / מספר העלים ליחידת זמן