

ההבדל בין "מהי השפעת" ל"כיצד" – מסמך עזר לניסוח שאלת חקר

מאת: ד"ר עומר חורש

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

"תשובה מהווה בהכרח דרך סלולה, אולם שאלות בלבד מסוגלות להובילנו בדרך שעלינו לסלול".
כך על פי ציטוט מפורסם (יוסטיין גורדר, סופר נורווגי).

לאופן שבו אנו מנסחים שאלות יש חשיבות רבה ובכך עוסק המאמר שלפנינו.

במסגרת הוראת הביולוגיה אנו שואלים שאלות רבות, אך לעתים לא מקפידים על ניסוח נכון של השאלה, בעוד שהתשובה לשאלה, תלויה ב**ניסוח של השאלה**.

כאשר שואלים מהו טיב הקשר בין שני משתנים, בעיקר כשהקשר שאנו שואלים לגביו אינו בהכרח סיבתי, יש להשתמש במילות השאלה "מהי השפעת" לדוגמה:

מהי השפעת הטמפרטורה על קצב הפעילות של אנונים מסוים?

בשאלה זו אנו מנסים לברר את הקשר ברמה התאורטית לבירור המתאם (קורלציה) בין שני הגורמים, ורק לעתים השאלה עשויה להוביל גם לקשר סיבתי ישיר.

כמענה לשאלה זו נצפה לתשובה כגון:

ככל שעולה הטמפרטורה עד לערך מסוים, כך עולה קצב הפעילות האנזימטית, ומטמפרטורה מסוימת קצב הפעילות האנזימטית יורד.

על פניו ניכר ששינוי בטמפרטורה גורם לשינוי בקצב התגובה האנזימטית, אך בהחלט יתכן כי הטמפרטורה משפיעה על גורם מסוים במבחנת הניסוי או בתא, והוא זה שמשפיע על קצב התגובה האנזימטית, לכן שאלה מסוג זה, תוצאותיה והתשובה עליה אינם בהכרח מעידים על קשר סיבתי ישיר.

דוגמה נוספת: מהי השפעת עוצמת האור על קצב תהליך הפוטוסינתזה בצמח מסוים? כמענה לשאלה זו נצפה לתשובה כגון:

ככל שעולה עוצמת האור כך עולה קצב תהליך הפוטוסינתזה (עד לקצב מסוים). תשובה לשאלה זו מעידה על מתאם חיובי בין עוצמת האור לבין קצב הפוטוסינתזה, אך האם תשובה זו מעידה כי האור הוא בהכרח הגורם הישיר המשפיע על קצב הפוטוסינתזה, ולא גורם משני אחר המושפע מעוצמת האור?

כאמור, שאלות אלה מתארות מתאם כלשהו (חיובי או שלילי) בין הגורם המשפיע (המשתנה הבלתי תלוי) לבין הגורם המושפע (התהליך הביולוגי), אך הן אינן מבררות מנגנון, ואינן מצביעות בהכרח על קשר סיבתי (אלא במקרים שבהם המתאם מאד גבוה ואנו יודעים, על סמך מחקרים

קודמים, שהקשר הוא סיבתי). אם ברצוננו לברר מהו מנגנון ההשפעה ולהצביע על קשר סיבתי מובהק יותר על סמך המחקר שאנו מבצעים, יש להשתמש במילת השאלה **כיצד**, אשר משמעותה: **באיזה אופן?**

מנגנון הוא רצף פעולות או תהליכים הקשורים זה בזה ובאמצעותם מתבצע תהליך כלשהו. נדגים על פי השאלה: כיצד הטמפרטורה משפיעה על קצב הפעילות של אנזים מסוים?

נוכחנו כי בתשובה לשאלה "מהי השפעת הטמפרטורה על קצב הפעילות של אנזים מסוים?" התשובה שהתקבלה הייתה תיאור של קשר בין השתנות הטמפרטורה לבין השתנות קצב התגובה האנזימטית, ללא התייחסות למנגנון התהליך. אולם, אם נשתמש במילה **כיצד** כפתיח לשאלה זו, הרי שתשובה אפשרית במקרה זה צריכה להינתן באמצעות ניסוי המתייחס למנגנון ההשפעה של טמפרטורה על קצב פעילות אנזים, למשל באמצעות שיטת מדידה לקביעת כמות האנזימים שעברו דנטורציה או באמצעות שיטת מדידה לקצב התנועה של מולקולות. אלה אינם ניתנים במסגרת הביוחקר, לכן התלמיד משתמש בשאלה "כיצד" כאשר הוא נדרש לספק בסיס ביולוגי להשערות, על סמך ידע קודם או ידע מן הספרות.

דוגמה לתשובה כזו היא: ככל שעולה הטמפרטורה עד ערך מסוים, עולה האנרגיה הקינטית הממוצעת של חלקיקי החומר. ככל שמולקולות אלה נעות מהר יותר, כך מתקיימים יותר מפגשי אנזים-סובסטרט ומתקבלים יותר תוצרים ליחידת זמן. כמובן שתשובה הקשורה לירידה בקצב פעילות האנזים עם העלייה בטמפרטורה, תתייחס לאופן שבו עליה בטמפרטורה גורמת לדנטורציה של מולקולות האנזים. תשובה זו מתייחסת למנגנון התגובה האנזימטית ומעידה על קשר סיבתי ישיר בין העלייה בטמפרטורה ובין קצב התגובה¹.

במהלך ההוראה אנו משתמשים בעיקר במילת השאלה **כיצד** בהסבר של תהליכים במסגרת שיעורים עיוניים, אולם בעבודת החקר ובבחינות במעבדה השימוש המדויק יותר לשאלות חקר הוא לפתוח שאלה במילים **מהי השפעת...** שכן התלמיד אינו חוקר את מנגנון התגובה, והתוצאות שהוא מקבל אינן מעידות על מנגנון זה.

בעבודות ביוחקר, כאשר התלמיד מתבקש לבסס את הרקע הביולוגי להשערה, או בסיכום דו"ח מעבדה, בהסבר התוצאות, אנו למעשה שואלים את התלמיד "כיצד" או "באיזה אופן" ואז מצפים כי יתייחס למנגנון, בעוד שאלת החקר היא "מהי השפעת..." אשר תוצאותיה אינן מעידות על מנגנון זה. כך גם בשאלות מבחינות הבגרות בהן התלמיד מתבקש להסביר תהליכים ביולוגיים.

להלן תבנית לשאלה מבררת מנגנון (במסגרת עיונית בכיתה או במסגרת בחינת הבגרות):

כיצד תהליך מסוים מתרחש? או כיצד גורם מסוים משפיע על קצב/התרחשות תהליך?

כאן לא תמיד יש צורך בהתייחסות לקשר בין משתנה בלתי תלוי למשתנה תלוי. התשובה תתייחס כמובן למנגנון התגובה, כלומר למעורבות גורמים שונים בתהליך ולאופן מעורבותם.

¹ בוסתן, י., לינק, א., ייצוג מידע באמצעות תרשים זרימה: סיבה תוצאה – דגם הוראה
הירש, א., ד"ר אבולעפיה, נ., ניתוח תהליך ביולוגי – ויסות רמת הסוכר בגוף האדם - דגם הוראה

להלן תבנית לשאלה מבררת קשר (מתאימה לניסויי חקר):
מהי השפעת המשתנה הבלתי תלוי על קצב המשתנה התלוי (תהליך) באורגניזם מסוים?

בטבלה הבאה דוגמאות נוספות.

נושא	דוגמה לשאלה הנפתחת ב"מהי השפעת?" ולתשובה אפשרית	דוגמה לשאלה הנפתחת ב"כיצד?" ולתשובה אפשרית
חדירות קרומי תאים	מהי השפעת הטמפרטורה על חדירות קרום התא בשורש גזר? משתנה בלתי תלוי: טמפרטורות שונות. משתנה תלוי: חדירות קרום התא. נמדד באמצעות: כמות הגלוקוז היוצאת מהתאים ליחידת זמן. תשובה אפשרית: ככל שעולה הטמפרטורה (בטווח הנבדק בניסוי) כך ריכוז הגלוקוז בתמיסה עולה, כלומר עולה חדירות קרום התא בשורש גזר.	כיצד משפיעה הטמפרטורה על חדירות קרום התא בשורש גזר? תשובה אפשרית: ככל שעולה הטמפרטורה כך עולה מהירות התנועה של הפוספוליפידים בקרום, הם מתרחקים זה מזה והמרווחים ביניהם גדלים, כך שהקרום הופך חדיר יותר לחומרים מסוימים. מטמפרטורה מסוימת חל הרס של השכבה הכפולה של הפוספוליפידים, וחלבוני העברה בקרום התא עוברים דנטורציה, כך שחדירות קרום התא עולה ויותר גלוקוז יוצא מן התאים. בנוסף, לטמפרטורה יש השפעה על קצב הדיפוזיה של חלקיקי החומר, מה שמשפיע על קצב מעבר החומרים דרך קרום התא.
נשימה	מהי השפעת ריכוז החמצן בסביבה על קצב הנשימה התאית בחילזון השדה? משתנה בלתי תלוי: ריכוז החמצן בסביבה. משתנה תלוי: קצב הנשימה התאית. נמדד באמצעות: קצב צריכת החמצן של החילזון. תשובה אפשרית: ככל שעולה ריכוז החמצן בסביבה כך גדל קצב הנשימה התאית בחילזון השדה (הוא קולט יותר חמצן), עד שעלייה בריכוז החמצן אינה מביאה לעלייה נוספת בקצב הנשימה של החילזון.	כיצד משפיע ריכוז החמצן בסביבה על קצב הנשימה התאית בחילזון השדה? תשובה אפשרית: תתייחס למנגנון הנשימה, למשל: ככל שעולה ריכוז החמצן בסביבת חילזון השדה כך נקלטות יותר מולקולות חמצן בריאתו, ומובלות יותר מולקולות חמצן אל התאים בגוף החילזון. מכיוון שחמצן מהווה מגיב בתהליך הנשימה התאית במיטוכונדריה, עלייה בריכוז מולקולות בחמצן תגביר את קצב תהליך הנשימה התאית המתרחש במיטוכונדריה בנוכחות חמצן. בשלב מסוים עלייה בריכוז החמצן לא תביא לעלייה בקצב תהליך הנשימה משום שגורם אחר יגביל את העלייה בקצב,

למשל כמות המיטוכונדריה בתאי החילוץ.		
כיצד משפיעה כמות מי ההשקיה על קצב הפוטוסינתזה בעלי בצל הגינה? תשובה אפשרית : כאן נצטרך להתייחס למנגנון ההשפעה של מי ההשקיה, אשר אינו משפיע באופן ישיר על תהליך הפוטוסינתזה, למרות שמים הם אחד מהמגיבים בתהליך. שאלה הנפתחת ב"כיצד" אמורה לשרש תפיסות שגויות בקרב תלמידים. הסיבה העיקרית לעלייה בקצב הפוטוסינתזה עם העלייה בכמות מי ההשקיה (בטווח מסוים) היא פתיחת יותר פיוניות, תהליך המאפשר כניסה של יותר פחמן דרחמאני לעלה, מגיב עיקרי בתהליך הפוטוסינתזה.	מהי השפעת כמות מי ההשקיה על קצב הפוטוסינתזה בעלי בצל הגינה? משתנה בלתי תלוי : כמות מי ההשקיה. משתנה תלוי : קצב הפוטוסינתזה. נמדד באמצעות : קצב פליטת החמצן. תשובה אפשרית : בטווח מסוים ככל שתעלה כמות מי ההשקיה כך יגבר קצב הפוטוסינתזה בעלי בצל הגינה (יפלט יותר חמצן מהצמח). זוהי דוגמה לכך, ששאלת "מהי ההשפעה" והתשובה עליה אינן מצביעות על קשר סיבתי ישיר. כדי לברר קשר זה דרושה השאלה – כיצד?	פוטוסינתזה

לסיכום, ניתן לתרגל עם התלמידים כיצד יש לנסח שאלות חקר מתאימות. למשל, להציג בפני התלמידים תיאורים, דוגמת אלה שבטבלה, ולבקש מהם לנסח את השאלה שהתיאור הניתן הוא תשובה עליה. ניתן גם לתת לתלמידים צמדי משתנים ולהורות להם לנסח שאלות הקושרות בין שני המשתנים, ולדרוש את התשובה המצופה לשאלה, בהתאם לאופן הניסוח שלה

נסכם בציטוט של המשורר העברי חנניה רייכמן : "רַד לְעֶמֶק שְׁאֵלוֹת – וְתִגְבֶּיהָ לַעֲלוֹת !"