

ביוכימיה

שתי יחידות לימוד

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שעתיים וחצי.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שלושה פרקים.

פרק ראשון	25 נקודות
-----------	-----------

פרק שני	45 נקודות
---------	-----------

פרק שלישי	30 נקודות
-----------	-----------

סה"כ	100 נקודות
------	------------

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

בתשובה לשאלה חישובית, עליך להציג את שלבי הפתרון באופן מפורט ולהסבירם בקצרה. קבלת מרב הנקודות מותנית במילוי דרישה זו.

בשאלון זה 19 עמודים ו-4 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

בהצלחה!

השאלות

פרק ראשון (25 נקודות)

ענה על עשר מבין השאלות 1–12 בתשובון שבעמוד 19 במחברת הבחינה שלך (לכל שאלה – 2.5 נקודות).
לכל שאלה ארבע תשובות, שרק אחת מהן נכונה. סמן X במשבצת שמתחת לאות המציינת את התשובה שבחרת.

שאלה 1

איזה חלק מִכְנֵי של הנוגדן מעורב בקשירת האנטיגן?

- א. רק החלק המשתנה של השרשרת הכבדה (V_H)
ב. החלק המשתנה של השרשרת הכבדה (V_H) וגם החלק המשתנה של השרשרת הקלה (V_L)
ג. רק החלק הקבוע של השרשרת הכבדה (C_H)
ד. החלק הקבוע של השרשרת הכבדה (C_H) וגם החלק הקבוע של השרשרת הקלה (C_L)

שאלה 2

בהרצה של חלבון באלקטרופורזה בג'ל ב־ $pH = 7.0$, החלבון נדד לקוטב השלילי בג'ל. מהי הנקודה האיזואלקטרית (pI) של החלבון?

- א. 7.0
ב. 4.5
ג. 9.0
ד. 3.5

שאלה 3

חלבון עבר טיפול בחומר **מחזר** והורץ באלקטרופורזה בג'ל בתוספת SDS .

איזה מידע **אי אפשר** לקבל על החלבון מתוצאות ההרצה?

- א. מהו ערך ה- pI שלו
- ב. מהו משקלו המולקולארי
- ג. האם קיימים בו קשרי גופרית (S-S)
- ד. מהו הגודל של תת־היחידות שלו

שאלה 4

איזו חומצה אמינית בולעת אור באורך גל של 280 ננומטר? (ניתן להיעזר בנספח א.)

- א. גליצין
- ב. טירוזין
- ג. מתיונין
- ד. ציסטאין

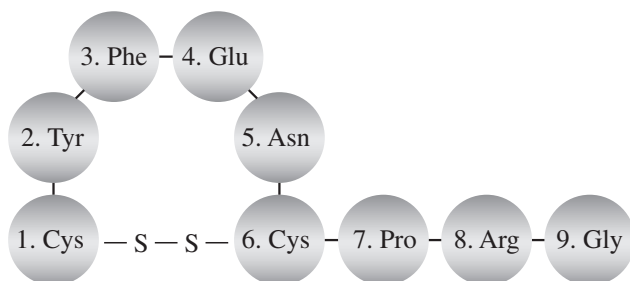
שאלה 5

איזה היגד נכון לגבי נוגדן שחסר בו המקטע Fe ?

- א. הוא יכול להיקשר למאקרופג'ים
- ב. הוא יכול להפעיל את מערכת המשלים
- ג. הוא יכול להיקשר לאנטיגן
- ד. הוא יכול להפעיל תאי הרג ציטוטוקסיים

שאלה 6

באיור לשאלה מוצג המבנה של ההורמון וזופרסין.



איור לשאלה 6

הורמון זה מווסת את הפרשת השתן מהכליות. חוקרים במעבדה מעוניינים להחליף את אחת החומצות האמיניות שמהן מורכב ההורמון בחומצה אמינית אחרת. קבע איזו החלפה, מבין ההחלפות שלהלן, תגרום לפגיעה המשמעותית ביותר במבנה ההורמון.

- א. החלפת ארגינין בעמדה 8 בליזין
- ב. החלפת פניל-אלנין בעמדה 3 בלאוצין
- ג. החלפת ציסטאין בעמדה 6 באלנין
- ד. החלפת חומצה גלוטמית בעמדה 4 בחומצה אספרטית

שאלה 7

מהו תהליך התעתוק?

- א. סינתזה של RNA על-פי תבנית של חלבון
- ב. סינתזה של DNA על-פי תבנית של RNA
- ג. סינתזה של RNA על-פי תבנית של DNA
- ד. סינתזה של חלבון על-פי תבנית של RNA

שאלה 8

"החוטית הנודדת" היא המדוזה הנפוצה ביותר בחופי ישראל. בארס שלה מצויים אנזימים שגורמים נזק לקרומים של תאי העור של האדם ולתחושת צריבה בעת המגע עם המדוזה. אחת הדרכים לטיפול במקום שנפגע מצריבת המדוזה היא שפיכת חומץ (חומצה אצטית) עליו.

מדוע טיפול זה יעיל?



איור לשאלה 8

- א. כי החומצה שוטפת את האנזימים שבארס ממקום הפגיעה
- ב. כי החומצה מזרזת את פעילות האנזימים המצויים בארס
- ג. כי החומצה משקמת את תאי העור שנפגעו מצריבת המדוזה
- ד. כי החומצה גורמת לדנטורציה של האנזימים שבארס

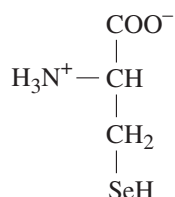
שאלה 9

באיזו מקרומולקולה ייתכנו קשרי גפרית?

- א. DNA
- ב. tRNA
- ג. RNA שליח
- ד. חלבון

שאלה 10

באיור לשאלה מוצגת נוסחת המבנה של החומצה האמינית סלנוציסטאין, שהיא נגזרת חומצית של החומצה האמינית ציסטאין.



איור לשאלה 10

ערכי ה- pK של סלנוציסטאין הם: $pK_a = 1.9$, $pK_b = 10.3$, $pK_R = 5.3$. בתהליך היינון של קבוצת ה- R בסלנוציסטאין משתחרר יון מימן והסלנוציסטאין נטענת במטען שלילי.

מהו ערך ה- pI של סלנוציסטאין?

- א. 7.8
- ב. 6.1
- ג. 3.6
- ד. 5.8

שאלה 11

מהו שם האנזים בתא המזרז את שבירת קשרי המימן בין שני גדילי DNA?

א. DNA-פולימראז

ב. הליקאז

ג. ליגאז

ד. RNA-פולימראז

שאלה 12

במה תלויה מהירות התגובה ההתחלתית, V_0 , של אנזים?

א. בריכוז הסובסטרט

ב. בקבוע מיכאליס מנטן

ג. בזמן התגובה של האנזים

ד. במהירות המרבית ($V_{\max}$) של האנזים

פרק שני (45 נקודות)

ענה על שתיים מבין השאלות 13–16 (לכל שאלה – 22.5 נקודות).

שאלה 13

החלבון P הוא חלבון בקרה גלובולרי הנקשר לרצף נוקליאוטידים ספציפי ב-DNA. חוקר במעבדת מחקר ביקש להפריד את החלבון P מתערובת חלבונים. בטבלה שלפניך מוצגים המשקל המולקולארי וערך ה-pI של כל אחד מארבעת החלבונים המצויים בתערובת החלבונים.

החלבון	המשקל המולקולארי (kDa)	ערך ה-pI
A	15	6.0
B	54	4.0
P	53	6.0
M	4	6.0

לרשות החוקר עומדים שני אמצעים להפרדת החלבון P מתערובת החלבונים: מסננת מולקולארית, ועמודה של מחליף אניונים (חיובית). החוקר הצליח להפריד את החלבון P מתערובת החלבונים ולנקותו בשני שלבים – I ו-II.

א. תאר את שני השלבים (I ו-II) שביצע החוקר לצורך הפרדת החלבון P וניקויו. הסבר את התוצאות המתקבלות בכל שלב.

חוקר אחר הצליח להפריד את החלבון P מתערובת החלבונים בשלב אחד בלבד – באמצעות עמודת זיקה.

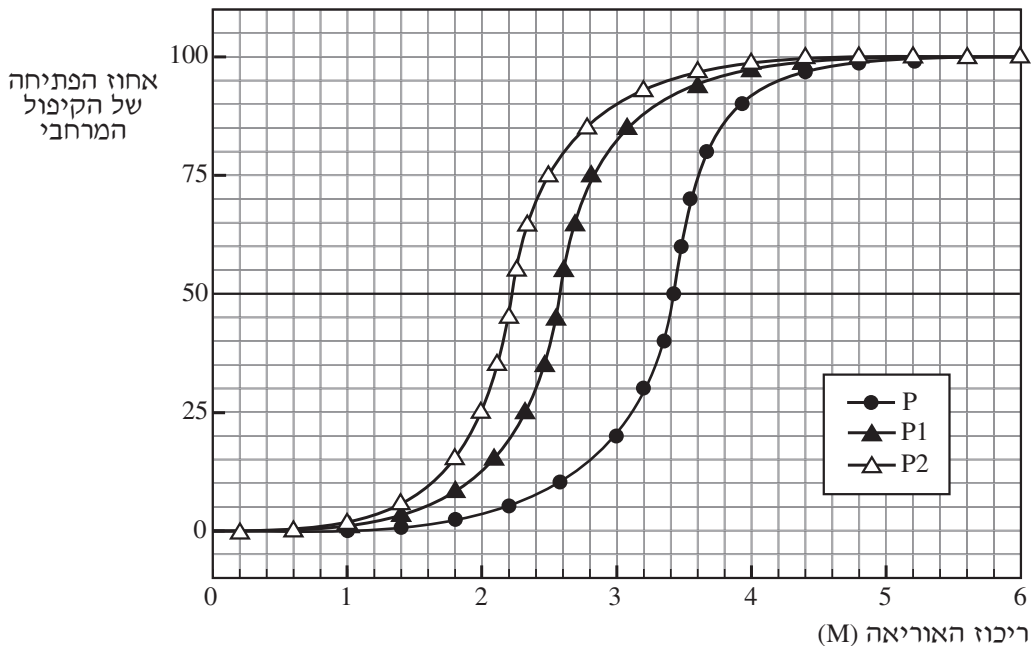
ב. 1. הסבר מהו עקרון הפעולה של עמודת זיקה.

2. איזה ליגנד חיבר החוקר לעמודת הזיקה כדי להפריד את החלבון P מיתר החלבונים שבתערובת?

מוטציות שונות משפיעות על יציבותו ועל פעילותו של החלבון P. בידי החוקר שלושה חלבונים: החלבון P המקורי ושני חלבונים מוטנטיים, P1 ו-P2. הוא רצה לבדוק את ההשפעה של אוריאה (שתנן) על היציבות ועל הקיפול המרחבי של שלושת החלבונים שבידיו. החוקר הכין שלוש סדרות של מבחנות:

- לסדרה א' הוא הוסיף את החלבון P ותמיסת אוריאה בריכוזים שונים.
- לסדרה ב' הוא הוסיף את החלבון P1 ותמיסת אוריאה בריכוזים שונים.
- לסדרה ג' הוא הוסיף את החלבון P2 ותמיסת אוריאה בריכוזים שונים.

החוקר בדק את אחוז הפתיחה של הקיפול המרחבי של כל אחד מהחלבונים בכל המבחנות.
תוצאות הניסוי מוצגות באיור לשאלה 13.



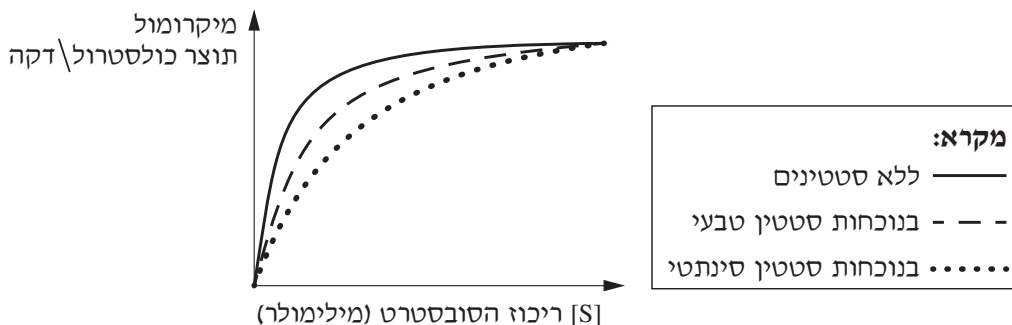
איור לשאלה 13

- ג. 1. הסבר כיצד אוריאה גורמת לדנטורציה של חלבונים גלובולריים.
2. יציבות החלבונים נקבעת על-פי ריכוז האוריאה שבו מקבלים פתיחה של 50% מהקיפול המרחבי של החלבון. **קבע**, על-פי הגרף, את ריכוז האוריאה שבו תתקבל פתיחה של 50% מהקיפול המרחבי של כל אחד מהחלבונים P, P1 ו-P2.
- הסבר את השפעת המוטציות על יציבות החלבונים P1 ו-P2 בהשוואה ליציבות של החלבון P.
- ד. תהליך הדנטורציה של חלבונים בנוכחות אוריאה הוא תהליך הפיך. הסבר כיצד החוקר יכול לגרום לרנטורציה של החלבונים (החזרת הקיפול המרחבי של החלבונים).

שאלה 14

רמת כולסטרול גבוהה בדם עשויה לגרום למחלות לב. לחולים שהכולסטרול בדם גבוה נהוג לתת סטטינים המובילים לירידה ברמת הכולסטרול. סטטינים הם מעכבים תחרותיים של האנזים רדוקטאז, הנמצא בכבד ומשתתף ביצירת כולסטרול. כיום קיימים סטטינים מסוגים שונים – טבעיים וסינתטיים.

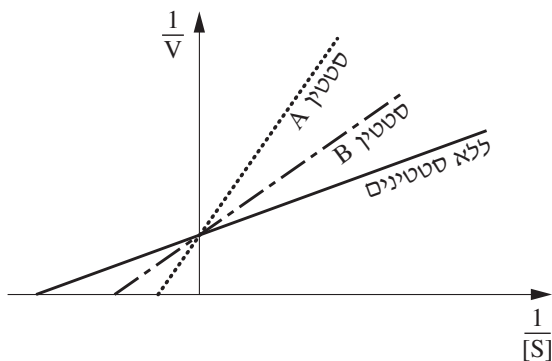
באיור א' לשאלה מוצג גרף מיכאליס מנטן המתאר את פעילות האנזים רדוקטאז בשלושה מצבים: ללא נוכחות סטטינים, בנוכחות סטטין טבעי, ובנוכחות סטטין סינתטי.



איור א' לשאלה 14

א. קבע איזה מהסטטינים (הטבעי או הסינתטי) מחליש יותר את הזיקה בין האנזים רדוקטאז למצע. נמק את קביעתך על פי הגרף שבאיור א'.

חוקר קיבל לידי שתי מבחנות, שבאחת מהן סטטין טבעי ובאחרת – סטטין סינתטי. החוקר לא ידע איזה סטטין מצוי בכל מבחנה.



כדי לגלות זאת, הוא בדק את ההשפעה של כל אחד מהסטטינים (ייקראו להלן סטטין A וסטטין B) על הפעילות של האנזים רדוקטאז.

כמורכן, הוא בדק את פעילות האנזים ללא נוכחות של סטטינים.

החוקר הציג את תוצאות הניסוי בגרף לינוואבר-בורק, המוצג באיור ב' לשאלה.

איור ב' לשאלה 14

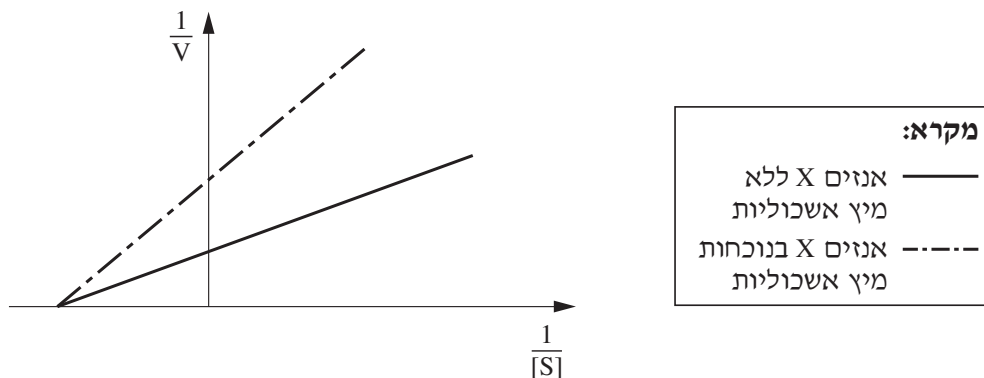
ב. עיין באיורים א' וב' וקבע איזה סטטין (טבעי או סינתטי) הוא A, ואיזה מהם הוא B. נמק את קביעתך בהסתמך על האיורים.

רופא מטפל באחד החולים בסטטין טבעי, במינון (ריכוז) שמוריד את רמת הכולסטרול בדמו לרמה הרצויה, אך חולה זה מתלונן על תופעות לוואי קשות. הרופא מחליט לשנות את התרופה ולתת לחולה סטטין סינתטי.

ג. האם הרופא צריך לתת לחולה את הסטטין הסינתטי במינון גבוה יותר או במינון נמוך יותר? נמק את תשובתך על-פי איור א' לשאלה.

הסטטינים מפורקים בגוף על-ידי אנזים X. לחולים המטופלים בסטינים ממקור טבעי אסור לשתות מיץ אשכוליות בעת נטילת התרופה, כיוון שבמיץ האשכוליות מצוי מעכב של האנזים X.

באיור ג' לשאלה מוצג גרף המתאר את ההשפעה של מיץ אשכוליות על פעילות האנזים X בריכוזים שונים של סטטין טבעי.



איור ג' לשאלה 14

- ד. 1. מהו סוג המעכב המצוי במיץ האשכוליות? נמק את תשובתך.
2. האם מעכב זה דומה במבנהו המרחבי לסטינים? נמק את תשובתך.

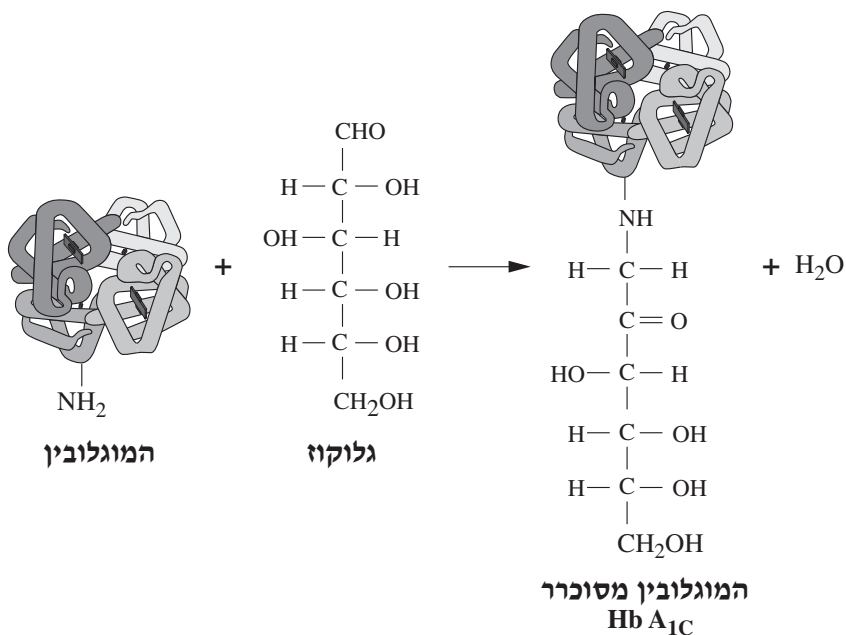
שאלה 15

אצל חולי סוכרת, שרמת הסוכר בדמם אינה מאוזנת, מתרחש פירוק מוגבר של שומנים הגורם להורדת ה-pH של הדם.

א. כיצד תשפיע ירידה ב-pH של הדם על זיקת ההמוגלובין לחמצן ועל שחרור החמצן ממולקולות ההמוגלובין?

הגלוקוז בדם חודר לתאי דם אדומים ונקשר להמוגלובין בתהליך הנקרא גליקוזילציה של המוגלובין. ההמוגלובין הקשור לסוכר נקרא "המוגלובין מסוכרר" או בקיצור Hb A_{1C}.

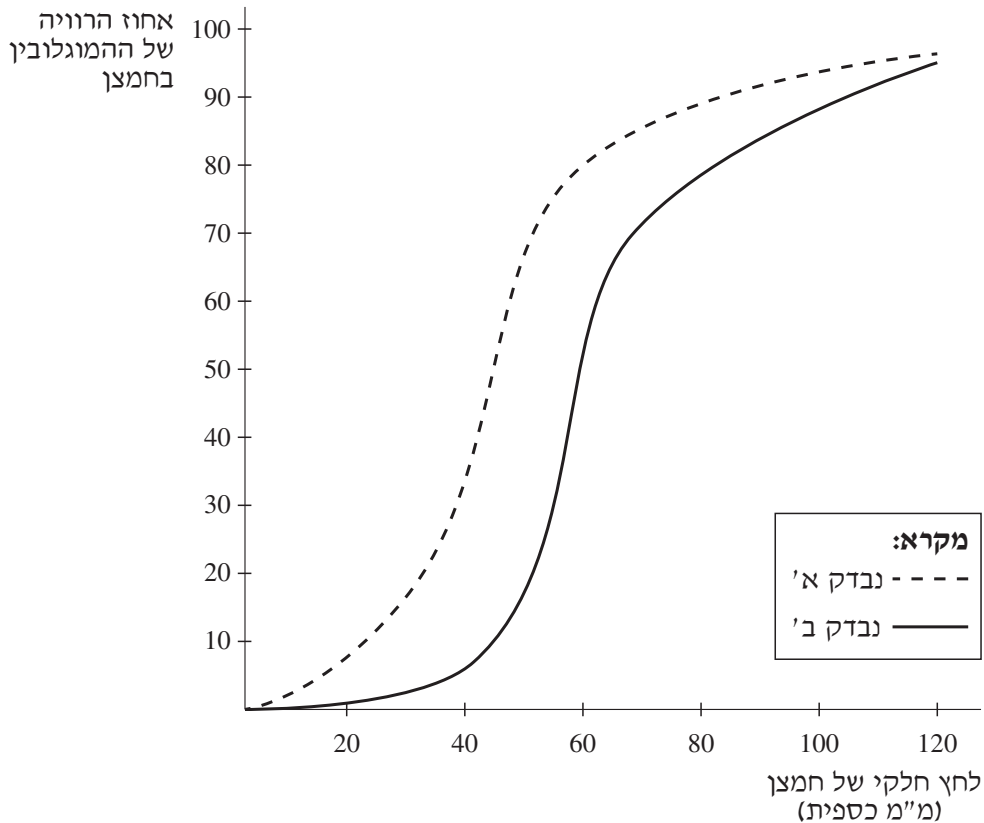
התהליך מתואר באיור א' לשאלה 15.



איור א' לשאלה 15

אצל חולי סוכרת, רמת גלוקוז גבוהה בדם מביאה להיווצרות המוגלובין Hb A_{1C} בריכוז גבוה. זיקתו של ההמוגלובין Hb A_{1C} לחמצן גבוהה מזיקתו של המוגלובין רגיל. הקישור בין הגלוקוז להמוגלובין הוא בלתי הפיך, ולכן מולקולה זו נשארת במהלך כל מחזור חייו של תא הדם האדום.

במעבדה נלקחה דגימת דם משני אנשים – האחד חולה בסוכרת והאחר בריא, ונבדק אחוז הרוויה בחמצן של כלל ההמוגלובין, בכל דגימה, כפונקצייה של הלחץ החלקי של החמצן. התוצאות מוצגות באיור ב' לשאלה 15.



איור ב' לשאלה 15

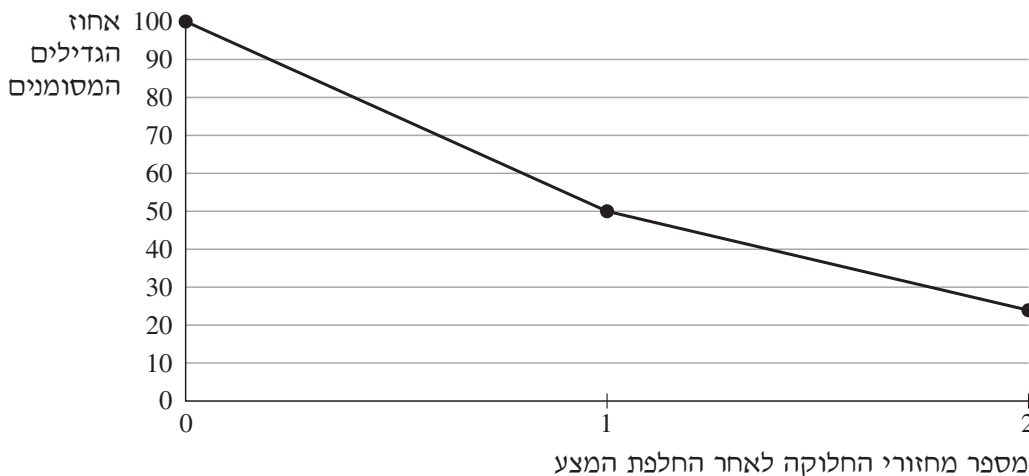
- ב. 1. איזו עקומה (של נבדק א' או של נבדק ב') מתאימה לחולה סוכרת ואיזו מתאימה לאדם בריא? נמק את תשובתך.
2. האם קשירת הגלוקוז להמוגלובין פוגעת **בשיתופיות** (קואופרטיביות) בין התת-יחידות של ההמוגלובין? נמק את תשובתך.
- ג. ברקמות המצויות בקצות הגפיים, לחץ החמצן נמוך (20-30 מ"מ כספית). לחולי סוכרת יש נטייה לפתח נֶמֶק בכפות הרגליים המתבטא במוות של הרקמה בגלל חוסר בחמצן.
- ד. כיצד ניתן להסביר את המחסור בחמצן ועקב כך את הנטייה להיווצרות נמק בכפות הרגליים של חולי סוכרת? התייחס לרמות ההמוגלובין A_{1C} ולזיקתו לחמצן.
- אצל נשים בהיריון החמצן עובר מדם האם לדם העובר מפני שזיקת ההמוגלובין של העובר לחמצן גבוהה מזיקת ההמוגלובין של האם לחמצן.
- ד. בסוכרת היריון שאינה מטופלת העובר עלול לסבול ממחסור בחמצן. הסבר מהי הסיבה לכך.

שאלה 16

סטודנט לביוכימיה ביקש לחקור מוטציות המתרחשות ב-DNA של חיידקים.

א. מהם שלושת המרכיבים של נוקליאוטיד ב-DNA? ציין אילו מבין המרכיבים שצינת משתתפים ביצירת הקשר הפוספודיאסטרי.

הסטודנט הכניס למבחנה את החיידקים שביקש לחקור, וכן מצע גידול שהכיל זרחן רדיואקטיבי. לאחר ש-100% מגדילי ה-DNA של החיידקים היו מסומנים רדיואקטיבית, החליף הסטודנט את מצע הגידול במצע גידול שהכיל זרחן רגיל. הסטודנט לקח שלוש דגימות ממצע הגידול: מיד לאחר החלפת מצע הגידול, לאחר מחזור חלוקה אחד של תאי החיידקים, ולאחר שני מחזורי חלוקה. הסטודנט הפיק DNA מהחיידקים בכל אחת מהדגימות, ובדק את אחוז גדילי ה-DNA המסומנים רדיואקטיבית בכל דגימה. תוצאות הניסוי מוצגות באיור א' לשאלה.



איור א' לשאלה 16

ב. הסבר את תוצאות הניסוי המתוארות באיור א' לשאלה בהסתמך על עקרון שכפול ה-DNA בתא.

ג. בניסוי אחר גידל הסטודנט חיידקים על מצע גידול שהכיל את כל המרכיבים הדרושים לגידולם, אולם שכח להוסיף למצע **יוני מגנזיום**. כיצד ישפיע הדבר על גידול החיידקים? נמק את תשובתך.

הסטודנט חקר מוטציות המתרחשות בגן H במהלך גידול החיידקים. הוא בודד את ה־RNA שליח (mRNA) של הגן H מתאי החיידקים בתחילת הגידול שלהם ולאחר כמה שעות של גידול.

ד. באיור ב' לשאלה נתונים שני רצפי RNA שליח של הגן H .

מספר העמדה	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
בתחילת הניסוי	5'-	G	U	C	C	C	U	A	A	U	C	G	A	U	U	U	A	A	U	G	U	C	U	U	A	U	A	G	G	A	G	G	C	U	G	-3'
לאחר כמה שעות	5'-	G	U	C	C	C	U	A	U	U	C	G	A	U	U	U	A	A	U	G	U	C	C	U	A	U	A	G	G	A	G	G	G	U	G	-3'

איור ב' לשאלה 16

1. עיין בשני הרצפים, וציין:

- באילו עמדות מצוי קודון ההתחלה של תהליך התרגום.
- מהן שלוש המוטציות שהתרחשו ברצף ה־DNA במהלך גידול החיידקים. בתשובתך ציין גם את מספר העמדה שבה התרחשה כל מוטציה.
- 2. הסבר כיצד משפיעה כל אחת מהמוטציות על הרכב החומצות האמיניות של החלבון. בתשובתך היעזר בנספח ב'.

פרק שלישי (30 נקודות)

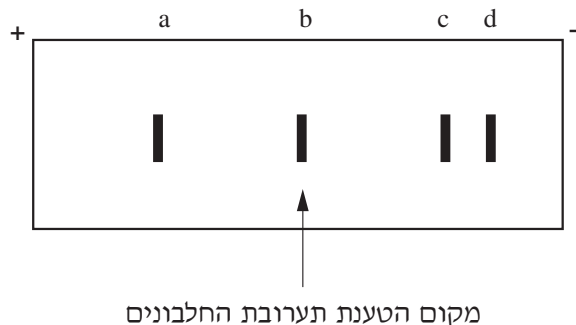
ענה על שלוש מבין השאלות 17–21 (לכל שאלה – 10 נקודות).

שאלה 17

חוקר קיבל מבחנה שהכילה תערובת של חמישה חלבונים שונים (1–5). למבחנה הייתה מצורפת רשימה של המשקל המולקולארי ושל ערכי ה- pI של כל חלבון, כמתואר בטבלה שלפניך.

החלבון	ערך ה- pI	המשקל המולקולארי (kDa)
1	7.0	210
2	3.0	14
3	9.0	211
4	5.0	95
5	3.0	15

החוקר הריץ את תערובת החלבונים באלקטרופורה בג'ל ללא SDS בבופר $pH = 5$. בתום ההרצה הוא קיבל ארבעה פסים (d–a) כמתואר באיור א' לשאלה.



איור לשאלה 17

א. התאם בין החלבונים 1–5 לפסים d–a שבאיור והסבר את התוצאות שהתקבלו.

ב. החוקר הריץ את תערובת החלבונים על ג'ל **בתוספת SDS**. כמה פסים התקבלו בג'ל זה? הסבר את תשובתך ופרט את מיקומם של הפסים (ביחס לקטבים של השדה החשמלי בג'ל).

שאלה 18

חוקר ערך ניסוי ובו בדק פעילות של שני אנזימים, המפרקים את סובסטרט X, באמצעות מדידה של הקבוע הקטליטי k_3 . קבוע זה מבטא את מספר מולקולות הסובסטרט שהופכות לתוצר בשנייה אחת על-ידי מולקולה אחת של אנזים. ריכוז האנזימים בניסוי היה זהה והסובסטרט היה בעודף. התוצאות מוצגות בטבלה שלהלן.

האנזים	k_3
A	1,000,000
B	100,000

- א. 1. האם תוכל לקבוע, על-פי הנתונים שבטבלה, לאיזה אנזים – A או B – יש ערך $V_{\max}$ גדול יותר? נמק את קביעתך.
2. ציין גורם **אחד** שיכול להגדיל את ערך $V_{\max}$ של אנזים בתנאים של עודף סובסטרט. נמק את תשובתך.
- ב. האם ניתן לקבוע, על-פי הנתונים שבטבלה, לאיזה אנזים – A או B – יש זיקה גדולה יותר לסובסטרט? נמק את תשובתך.

שאלה 19

לפניך רצף הנוקליאוטידים במולקולת RNA שליח (mRNA).

5'-AGAUGACUAAAGUGCGAGGGCCCUUUUAAAU-3'

- א. רשום את רצף הנוקליאוטידים במולקולת ה-DNA ששימשה כתבנית לסיתתה של ה-RNA שליח הנתון.
- ב. ציין **שלושה** הבדלים בין מולקולת DNA למולקולת RNA שליח.

שאלה 20

היסטונים הם חלבונים הנקשרים ל-DNA ואחראים לאריזתו ולדחיסתו בגרעין התא. קיימים חמישה סוגים של היסטונים: H1, H2A, H2B, H3 ו-H4. ההיסטונים עשירים בחומצות האמיניות ארגינין וליזין.

א. הסבר כיצד לדעתך היסטונים נקשרים למולקולות DNA.

חוקר במעבדה ניתק את ההיסטונים ממולקולת ה-DNA, והוא מעוניין להפריד בין הסוגים השונים של ההיסטונים. לצורך כך הוא השתמש בשתי שיטות הפרדה: הרצה באלקטרופורזה על ג'ל ב- $\text{pH} = 7$ ללא SDS, והרצה באלקטרופורזה על ג'ל בנוכחות SDS.

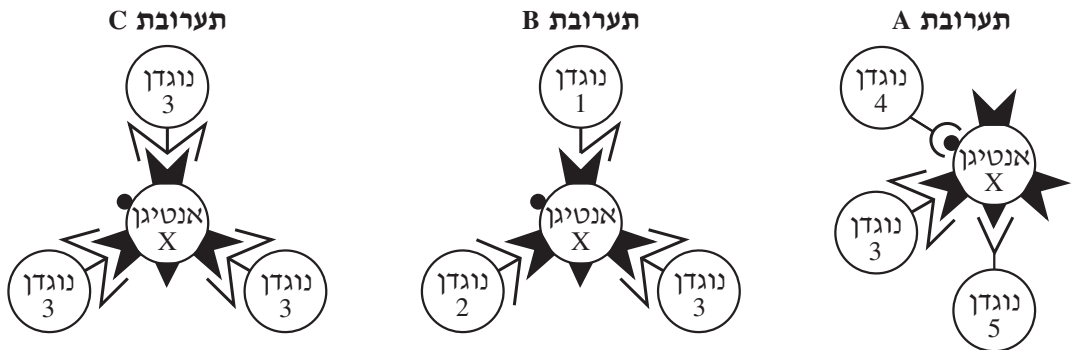
בטבלה שלפניך מוצגים המאפיינים של ההיסטונים המצויים בתאי האדם.

סימון ההיסטון	המשקל המולקולארי (kDa)	אחוז הליזין והארגינין בהיסטון (%)
H1	23.0	30
H2A	14.0	20
H2B	13.8	22
H3	15.3	23
H4	11.2	25

ב. בתום ההרצה, איזה מההיסטונים המופיעים בטבלה יהיה הקרוב ביותר לקתודה (האלקטרודה השלילית) בכל אחת משתי שיטות ההפרדה באלקטרופורזה? נמק את קביעתך בהתבסס על עקרון ההפרדה בכל אחת מהשיטות.

שאלה 21

חוקר במעבדה קיבל שלוש תערובות של נוגדנים, A, B ו-C, כנגד האנטיגן X. באיור לשאלה מתוארים: האנטיגן X והדטרמיננטות האנטיגניות שמצויות עליו, וסוגי הנוגדנים (1-5) בכל אחת מהתערובות.



איור לשאלה 21

א. מה מאפיין את הנוגדנים בכל אחת מהתערובות A, B ו-C? בתשובתך התייחס **לספציפיות** של הנוגדנים **ולזיקה** שלהם לדטרמיננטות האנטיגניות.

החוקר ביקש לבנות עמודת זיקה כדי לבדוד את האנטיגן X מתוך תערובת של אנטיגנים. הוא תכנן לקשור לעמודה את אחד הנוגדנים מתערובת B.

ב. איזה מהנוגדנים (1, 2 או 3) מתערובת B עדיף לקשור לעמודה? נמק את תשובתך.

בהצלחה!

נוסחאות מבנה, ערכי pK וערכי pH איזואלקטרי של החומצות האמיניות

שם החומצה	נוסחת המבנה	שם מקוצר (באנגלית)	pH איזואלקטרי	pK _a	pK _b	pK _R
גליצין	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Gly	6.1	2.4	9.8	—
אלנין	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Ala	6.1	2.3	9.9	—
ואלין	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\ \quad / \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH} \\ \quad \backslash \\ \text{NH}_3^+ \quad \text{CH}_3 \end{array}$	Val	6.0	2.3	9.6	—
לאוצין	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\ \quad / \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH} \\ \quad \backslash \\ \text{NH}_3^+ \quad \text{CH}_3 \end{array}$	Leu	6.0	2.3	9.6	—
איזולאוצין	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Ile	6.0	2.4	9.7	—
מתיונין	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{S}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Met	5.7	2.3	9.2	—
פנילאלנין	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Phe	5.5	1.8	9.1	—
פרולין	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ \quad \backslash \\ ^+\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2 \end{array}$	Pro	6.1	2.0	10.6	—

נוסחאות מבנה, ערכי pK וערכי pH איזואלקטרי של החומצות האמיניות (המשך)

שם החומצה	נוסחת המבנה	שם מקוצר (באנגלית)	pH איזואלקטרי	pK _a	pK _b	pK _R
סרין	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Ser	5.7	2.6	10.4	—
תראונין	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{OH} \\ \quad \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Thr	5.6	2.6	10.4	—
ציסטאין	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{SH} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Cys	5.1	1.8	10.8	8.3
אספרגין	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{NH}_2 \\ \quad \quad // \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C} \\ \quad \quad \backslash \\ \text{NH}_3^+ \quad \text{O} \end{array}$	Asn	5.4	2.0	8.8	—
גלוטמין	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \quad \text{NH}_2 \\ \quad \quad \quad // \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C} \\ \quad \quad \quad \backslash \\ \text{NH}_3^+ \quad \text{O} \end{array}$	Gln	5.6	2.2	9.1	—
טירוזין	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Tyr	5.7	2.2	9.1	10.9
טריפטופן	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_5 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{NH}_3^+ \quad \text{HC} \quad \text{N} \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$	Trp	5.9	2.4	9.1	—

נוסחאות מבנה, ערכי pK וערכי pH איזואלקטרי של החומצות האמיניות (המשך)

שם החומצה	נוסחת המבנה	שם מקוצר (באנגלית)	pH איזואלקטרי	pK _a	pK _b	pK _R
חומצה אספרטית	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{O}^- \end{array} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Asp	2.9	2.0	10.0	3.9
חומצה גלוטמית	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O}^- \\ \searrow \text{O} \end{array} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Glu	3.2	2.2	9.7	4.3
היסטידין	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{CH} \\ \searrow \text{NH} \end{array} \\ \qquad \qquad \qquad \text{H} \\ \text{NH}_3^+ \qquad \qquad \qquad \text{NH}^+ \end{array}$	His	7.6	1.8	9.2	6.0
ליזין	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_3^+ \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Lys	10.0	2.2	9.1	10.8
ארגינין	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{NH}_2 \\ \searrow \text{NH}_2^+ \end{array} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Arg	10.8	1.8	9.0	12.5

הצופן הגנטי

אות שנייה

	U	C	A	G	
U	UUU } Phe UUC } UUA } Leu UUG }	UCU } UCC } Ser UCA } UCG }	UAU } Tyr UAC } UAA סיום UAG סיום	UGU } Cys UGC } UGA סיום UGG Trp	U C A G
C	CUU } CUC } Leu CUA } CUG }	CCU } CCC } Pro CCA } CCG }	CAU } His CAC } CAA } Gln CAG }	CGU } CGC } Arg CGA } CGG }	U C A G
A	AUU } AUC } Ile AUA } AUG Met	ACU } ACC } Thr ACA } ACG }	AAU } Asn AAC } AAA } Lys AAG }	AGU } Ser AGC } AGA } Arg AGG }	U C A G
G	GUU } GUC } Val GUA } GUG }	GCU } GCC } Ala GCA } GCG }	GAU } Asp GAC } GAA } Glu GAG }	GGU } GGC } Gly GGA } GGG }	U C A G

אות
ראשונה

אות
שלישית