



קידום יוזמות חינוכיות - כימיה תשע"ה

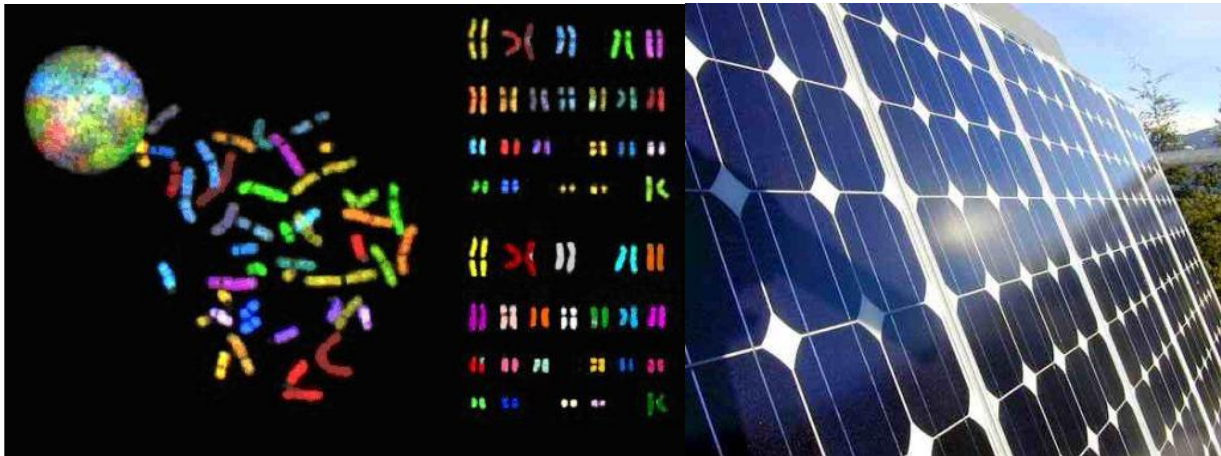
נושא היוזמה: קידום מקצוע הכימיה - שילוב פעילויות
חדשניות בהוראה על ידי שיתוף והנחיה
של מורים בשטח

תת-נושא II:

פרויקט המדגיש אספקטים של RRI בהוראה

מגישות: רונית ברד תיכון ע"ש קציר, רחובות
פאדיה חטיב תיכון עתיד, טירה
אורלי פלוטקין תיכון שיטין, ערבה תיכונה

בהנחיית ד"ר רון בלונדר וד"ר יעל שורץ



תוכן עניינים

עמ'

- רונית ברד ופאדיה חטיב - פיתוח יחידת לימוד ייחודית :
3 האם לאפשר שילוב של תאים סולאריים על חלונות בית הספר?
- רונית ברד ופאדיה חטיב - פיתוח יחידת לימוד ייחודית :
20 חקר מרכיבי החלב לבחירה של תחליפי חלב בריאים
- אורלי פלוטקין : הכנת רקע מדעי לפעילות "קבלת החלטות"
31 אורלי פלוטקין : הכנת רקע מדעי לפעילות "בדיקות גנטיות"
- אורלי פלוטקין : הכנת רקע מדעי לפעילות "אוכלים חרקים"
35

מצורפות שתי מצגות של :

- ♦ פאדיה חטיב : תאים פוטו-וולטאיים
- ♦ רונית ברד : לכל חלב יש תחליף? חלב - הרכב ומקורות

פיתוח יחידת לימוד ייחודית:

האם לאפשר שילוב של תאים סולאריים על חלונות בית הספר?

מגישות: רונית ברד

פאדיה חטיב

בהנחיית ד"ר רון בלונדר

פיתוח יחידה ייחודית העוסקת בהיבטים חברתיים של מחקר ופיתוח עכשווי. ביחידה התלמידים מתבקשים לקבל החלטה - האם ובאילו תנאים הם יאשרו שילוב של טכנולוגיה חדשנית של תאים סולאריים על החלונות בבית ספרם. כדי לקבל את החלטה התלמידים לומדים את הנושא המדעי. במסגרת היחידה התלמידים:

- ♦ עורכים סיור מודרך בגן המדע בנושא אנרגיות מתחדשות
- ♦ לומדים כיצד פועל תא סולארי ומבצעים ניסויי חקר (רמה 2 מלא) בו הם בונים תאים סולאריים
- ♦ לומדים על עופרת ורעילותה לאדם ולסביבה
- ♦ בוחנים היבטים חברתיים וסביבתיים הנוגעים למחקר עכשווי העוסק בפיתוח תאים סולאריים
- ♦ מקבלים החלטה כיצד לנהוג עם הטכנולוגיה החדשה שהוצעה לבית הספר.

את כל התהליך שעוברים התלמידים הם מציגים בתערוכה שהם בונים, בעזרתה הם יסקפו לעמיתיהם בבית הספר ובבתי ספר נוספים אשר ישתתפו בתוכנית את הידע הרלוונטי לדעתם בנוגע לסוגיה המדעית חברתית בה עסקו. היבטים טכניים: השתתפות בפרוייקט מצריכה למידה של המורה המוביל את הכיתה, וכוללת יום מלא במכון ויצמן. הפעילות מתאימה לתלמידי כיתות י"ב, לדוברי עברית או ערבית.

ביחידה מודגשים שישה ממדים של RRI (Responsible Research and Innovation)

(יושרה ואתיקה במדע וחדשנות).

RRI כולל שישה ממדים אשר נגזרים מתפיסת האחריות ההדדית שיש למגוון השחקנים בחברה בכל הנוגע למחקר וחדשנות מדעית:

1. מחויבות ומעורבות (engagement) של כל בעלי התפקידים בחברה. כל המעורבים יהיו שותפים לתהליכי המחקר ופיתוח, באופן שהבעיות ופתרונות יוגדרו על בסיס אתי-חברתי מוסכם.
2. שוויון מגדרי (gender equality) המאפשר לממש את מלוא הפוטנציאל האנושי. נשים צריכות להיות בעלות ייצוג הולם בתהליך של פיתוח ומחקר מדעי.
3. חינוך מדעי (science education) - יש לצייד את דור העתיד - מדעני המחר - בידע ובכלים הנדרשים לגיבוש תפיסת עולם במונחים של RRI. חוקרים צריכים להשקיע מאמץ

- בהעברת הידע שלהם והמחקר שלהם לדור הבא ולציבור הכללי, ולהדגים את דרך קבלת ההחלטות שלהם.
4. נגישות למידע (open access) - שקיפות ונגישות הינן תנאי הכרחי ל-RRI, המחייב גישה למידע, לפרסומים ולתוצאות מחקרים.
 5. אתיקה (ethics) - על מנת להיענות לאתגרים חברתיים, יש לפעול על בסיס של ערכים משותפים ועל פי סטנדרטים גבוהים של אתיקה.
 6. פיקוח (governance) - מטריית-העל אשר תבטיח מודל הרמוני המשלב בין כל שאר הממדים. הפיקוח יבקר ויפקח על שילוב ראוי בין כל 5 הממדים האחרים של RRI וימנע התפתחויות לא אתיות במחקר.

קטעי מידע שהוכנו ליחידת לימוד:

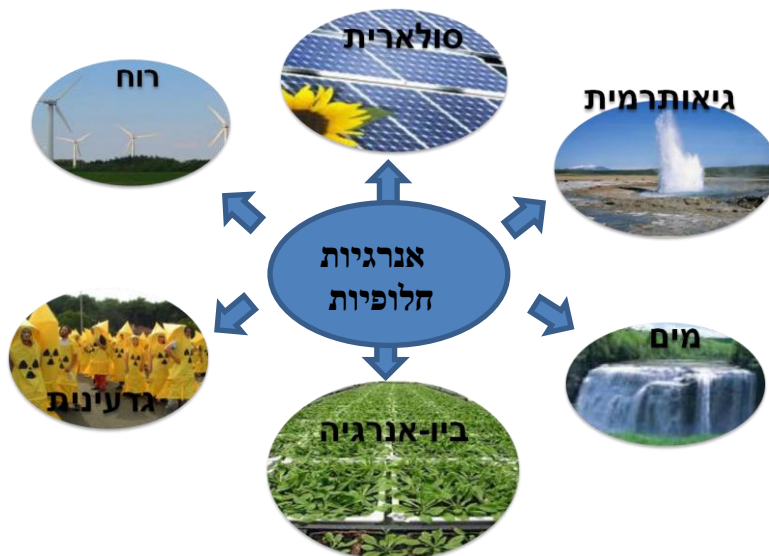
האם לאפשר שילוב של תאים סולאריים על חלונות בית הספר?

חלק I

אנרגיות חלופיות

הגדרות של "אנרגיה חלופית" ו"אנרגיה מתחדשת"

"אנרגיה חלופית" - זהו שם כולל לאנרגיה שמקורה אינו בנפט, פחם וגז טבעי - המשאבים שמתכלים. זוהי אנרגיה שהספקתה אינה תלויה בדלקים המתכלים. המונח מתייחס בעיקר לסוגים שונים של "אנרגיה מתחדשת".



“אנרגיה מתחדשת” היא אנרגיה שמקורה בתהליכי טבע מתמשכים שאינם מתכלים כתוצאה מרתימת האנרגיה האצורה בהם. מקורות האנרגיה המתחדשת נבדלים ממקורות אנרגיה מתכלים כגון נפט, פחם וגז טבעי, שהשימוש בהם כרוך בהקטנה משמעותית של מאגר האנרגיה הזמינה שאצורה בהם: אנרגיית רוח, אנרגיה שמקורה בתהליכים ביולוגיים, אנרגיית מים, אנרגיה סולארית.

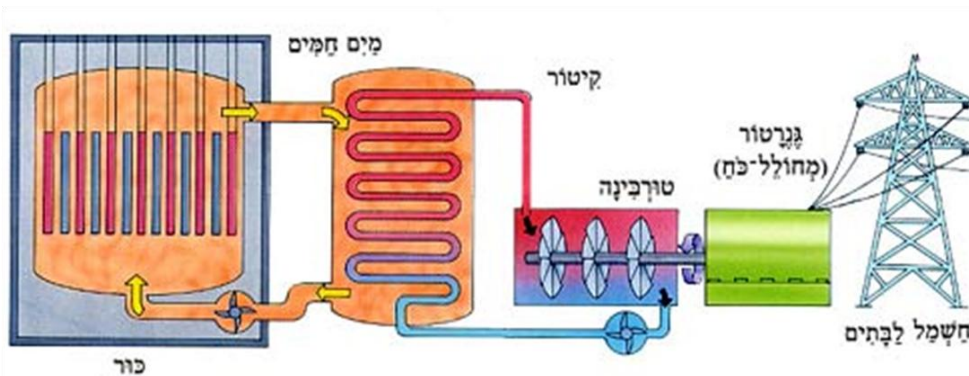
כל אנרגיה מתחדשת היא חלופית, אך לא כל אנרגיה חלופית היא מתחדשת
 המונחים באנגלית:

- Alternative energy - אנרגיה חלופית
- Renewable energy - אנרגיה מתחדשת
- Sustainable energy - אנרגיה בת קיימה
 (אנרגיה בת קיום נצחית)

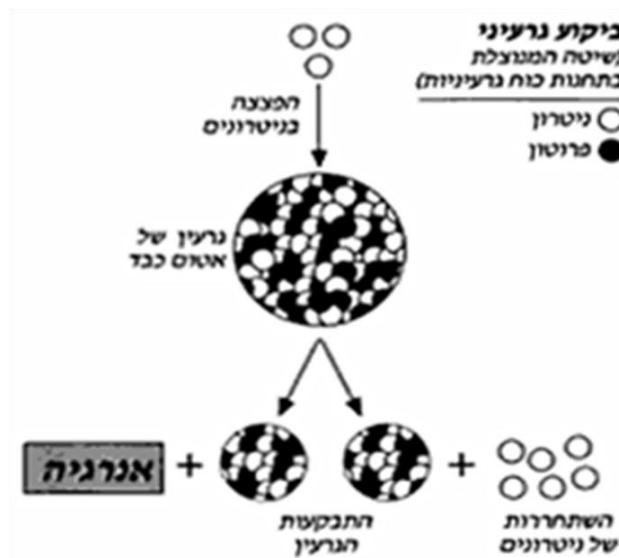
אנרגיה גרעינית

(אנרגיה חלופית, אך לא מתחדשת)

האנרגיה השמורה בגרעיני האטומים של יסודות אחדים, כגון אורניום (U), פלוטוניום (Pu). ניתן לשחרר אותה באמצעות ביקוע גרעיני ולהשתמש בה לייצור חשמל.



תיאור סכמתי של ביקוע גרעיני:



האנרגיה משתחררת כשמפרקים גרעיני האטומים של יסוד בעל מסה אטומית גדולה, כגון אורניום או פלוטוניום, לגרעינים קטנים יותר.

אורניום הוא אחד היסודות בעלי האטומים הכבדים בטבע. בכל אטום שלו יש בגרעין 92 פרוטונים, ואולם מספר נויטרונים בגרעין שונה באיזוטופים שונים. איזוטופ, שבגרעין שלו יש 146 נויטרונים, מכונה אורניום - 238 (92 פרוטונים + 146 נויטרונים בגרעין) והוא היציב ביותר והנפוץ ביותר בטבע. 0.71% מהאורניום בטבע קיים כאיזוטופ אורניום - 235. בגרעין האטום של איזוטופ זה יש רק 143 נויטרונים והיציבות שלו קטנה בהרבה.

אם לגרעין האטום של אורניום - 235 מוסיפים נויטרון, הגרעין מתבקע והאטום מתפרק לאטומים של שני יסודות אחרים (למשל בריום וקריפטון) ועוד כמה נויטרונים חופשיים. הנויטרונים החופשיים פוגעים באטומי אורניום - 235 נוספים והביקוע נמשך. זוהי תגובת שרשרת שבה נפלטת אנרגיה רבה. כך מופקת אנרגיה בכורים גרעיניים.

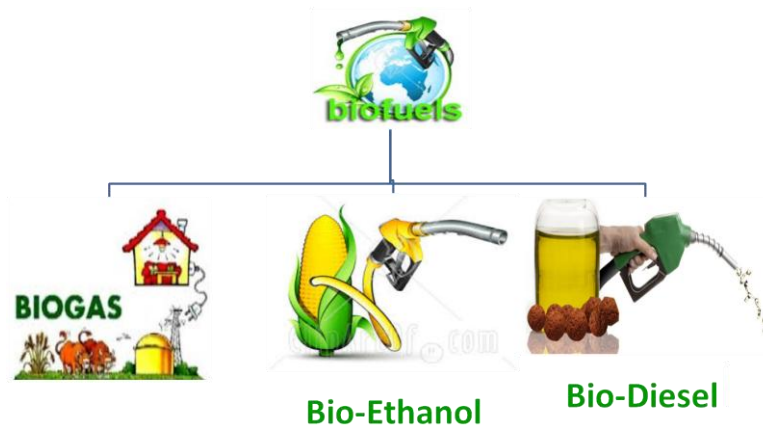
אנרגיית רוח

האנרגיה הקינטית שנמצאת ברוחות משמשת להפעלת טורבינות רוח לייצור חשמל. זהו אמצעי הפקת חשמל המתפתח בקצב מהיר בתקופה האחרונה.

השינויים בעוצמת הרוח הם תכופים, ולכן לא ניתן להבטיח ייצור חשמל רציף. בעיות נוספות: עלות הקמה גבוהה, רעש.



אנרגיה שמקורה בתהליכים ביולוגיים

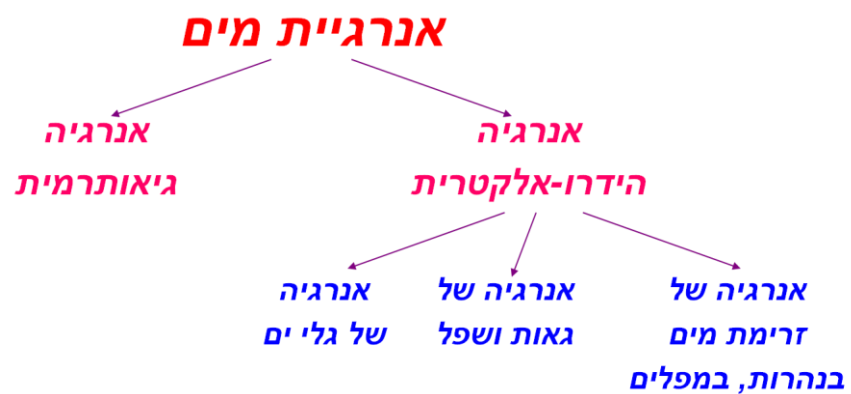


ביו-דלקים (bio-fuels) - חומרי בעירה נוזליים וגזיים המופקים ממקורות ביולוגיים מתחדשים. דלקים אלה מתקבלים משלושה מקורות בתהליכים מתאימים:

ביו-אתאנול, bio-ethanol: מיצוי וזיקוק של כהלים הנוצרים בתום התססה ופירוק ביולוגי של צמחים הגדלים ביבשה, כמו קנה סוכר, או הגדלים בים, כמו אצות.

ביו-דיזל, bio-diesel: מופק משמנים צמחיים, שומנים מן החי וחומרי סיכה (grease) ממוחזרים. ניתן להשתמש בדלקים אלה במצבם הטהור או לערבבם עם דלקים שמקורם בנפט כדי לשפר את יעילות השריפה ולצמצם את כמות המזהמים הנפלטת בתהליך השריפה של דלקים על בסיס נפט בלבד.

ביו-גז, bio-gas: חומר בעירה גזי המופק ממתמנות פסולת אורגנית ("מזבלות") או מפסולת אורגנית אחרת, למשל פסולת מרפתות ומדירים. החומרים האורגניים עוברים פירוק ללא נוכחות חמצן (אנארובי - anaerobic), שבמהלכו מתקבל בעיקר גז מתאן, שאותו ניתן לשרוף ולהפיק ממנו אנרגיה.



אנרגיה הידרו-אלקטרית

(הידרו = מים, אלקטרית = חשמלית)

ניתן בקלות יחסית להמיר את תנועת המים לאנרגיה חשמלית.
הפקת אנרגיה חשמלית נעשית במחוללים המונעים על ידי תנועה של מים זורמים.
כדי לשוב טורבינות, מנצלים את תנועת המים:

- ◆ בנהרות, במפלים
- ◆ בגלים
- ◆ בגאות ובשפל של האוקיינוסים.

תחנת כוח הידרו-אלקטרית - אתר שבו נעשית המרה של אנרגיה מכאנית לאנרגיה חשמלית.

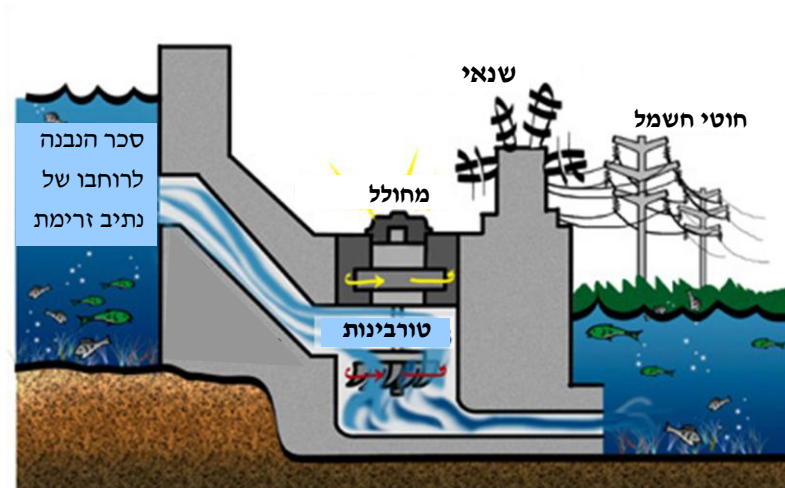
אנרגיה של זרימת מים

סכר או מפל מים ← טורבינות ← חשמל



הסכר מנצל את נפילת המים מגובה רב להפקת חשמל. כמות האנרגיה החשמלית המופקת בתחנת הכוח תלויה בכמות המים ובגובה המפל.

תחנת כוח הידרו-אלקטרית



אנרגיה של גאות ושפל

אנרגיה זו מתבססת על ההפרשים של גובה גלי האוקיינוסים בעולם בזמני הגאות והשפל. הגאות והשפל נוצרים כתוצאה מהשפעת כבידת הירח על כדור הארץ. תנועתו של כדור הארץ וכוח המשיכה של הירח גורמים לתנודות, המתרחשות בזמנים קבועים, בגובה ומחזוריות פני המים. כאשר המים נמשכים מעל פני כדור הארץ נוצר מצב של גאות, וכאשר הם נצמדים אל פני כדור הארץ נוצר מצב של שפל. את האנרגיה של תנודות הגאות והשפל ניתן להמיר לאנרגיה חשמלית באמצעות תחנות כוח הידראוליות. ואכן, במקומות שונים בעולם נעשה בה שימוש.



אנרגיה של גלי ים

מצופים הצפים על פני הים, שמחוברים בחוט אל עוגן ובו מחולל הממיר את אנרגיה של גלי ים לאנרגיה חשמלית.

או מנחת - מצופים ארוכים המחוברים זה לזה. גלי הים גורמים למצוף אחד להתרומם ביחס למצוף השני, והמפרק נע. הבוכנה ההידראולית מייצרת לחץ כתוצאה מתנועה זו, ומאוחר יותר הלחץ משוחרר על ידי הנעת טורבינה, ממנה מופק חשמל. או דמוי שובר גלים צף. חזית הגל מתנפצת על "שובר הגלים", ואנרגיית הגל מועברת לשובר. ניתן לנצל את התנועות הקטנות של השובר להפקת אנרגיה חשמלית.



אנרגיה סולארית

טכנולוגיות לייצור חשמל מאנרגיית השמש



המרה תרמית

המרה של קרינת השמש ליצירת חשמל - היכולת לנצל קרינת שמש מרוכזת במגדל השמש ולהגיע לטמפרטורות גבוהות מאפשרת הפקת חשמל. אחת השיטות היא לחמם באמצעות קרינת השמש אוויר דחוס, לטמפרטורה של בערך 1400 מעלות צלסיוס, במתקן מיוחד. המתקן נמצא בחלל המבודד מהסביבה, להפחתת מעבר חום לסביבה. האוויר הדחוס מוזרם לתוך טורבינה המסובבת מחולל ממנו מתקבלת אנרגיה חשמלית.

תאים פוטו-וולטאיים

תא פוטו-וולטאי (PV) או תא סולארי הוא התקן סולארי להפקה ישירה של אנרגיה חשמלית על ידי קליטת קרינה אלקטרומגנטית מן השמש.



תאים הממירים את אנרגיית השמש לאנרגיה חשמלית במישרין באמצעות חשיפה ישירה של חצי מוליכים לשמש. תא פוטו-וולטאי עשוי לרוב מסיליקון, בנוי מסרט מוליך למחצה הנתון בין שתי אלקטרודות. בחשיפה לאור האלקטרונים ניתקים ממקומם ויוצרים תנועה חשמלית. כדי ליצור תא פוטו-וולטאי יש לטעון שכבה של סיליקון במטען חיובי (P) ושכבה נוספת במטען שלילי (N). חיבור בין השכבות יוצר צומת (N-P). בצומת הזאת נוצר שדה חשמלי, כאשר השמש מקרינה על הסיליקון נוצרת תנועת אלקטרונים ובשדה החשמלי נוצר זרם ישר.

יתרונות וחסרונות של סוגי אנרגיה שונים

מקור אנרגיה	יתרונות	חסרונות
דלקים מאבנים : נפט, פחם, גז טבעי	<ul style="list-style-type: none"> - דרוש שטח קטן עד בינוני לאספקת האנרגיה - צפיפות גבוהה של אנרגיה אצורה - תחנות כוח יעילות יחסית 	<ul style="list-style-type: none"> - משאבים מתכלים - מטוּרד סביבתי כתוצאה מכרייה או מקידוח - השפעות אפשריות על מקורות מים תת-קרקעיים כתוצאה מנדידה של מלחים ומדליפת $CO_2(g)$ - פליטה גבוהה של גזי חממה - זיהום אוויר (למשל SO_x, NO_x, Hg)
אנרגיה גרעינית	<ul style="list-style-type: none"> - דרוש שטח קטן לאספקת האנרגיה - נפח פסולת מזערי - צפיפות גבוהה של אנרגיה אצורה - זמינה וזולה - נקייה - מספקת מקומות עבודה במהירות 	<ul style="list-style-type: none"> - סיכון של זיהום מתאונות גרעיניות - סיכון של זיהום מי-תהום מפסולת גרעינית - סיכון התפתחות מהירה של נשק גרעיני - בעיית בטחון
אנרגיה שמקורה בתהליכים ביולוגיים - מביומסה	<ul style="list-style-type: none"> - ניתן על ידי שימוש במקור זה להפחית את כמות גזי החממה, וזה תלוי ביצירת הביומסה, העברתה והשימוש בה 	<ul style="list-style-type: none"> - אספקת צפיפות אנרגיה נמוכה - השפעות אפשריות על מקורות מים תת-קרקעיים מכימיקלים המשמשים בחקלאות. - תחרות עם שימושים אחרים של הביומסה, על אדמה ועל מקורות מים - פליטת גזי חממה מהביומסה - בעיית רעב - לא תמיד זמינה
אנרגיית רוח	<ul style="list-style-type: none"> - אין פליטה של גזי חממה - אין זיהום אוויר - מקור אנרגיה מתחדשת 	<ul style="list-style-type: none"> - דרושים שטחים גדולים לאספקת האנרגיה - מטוּרד סביבתי לציפורים - הטורבינות מרעישות ומכערות את הנוף - אין ייצור רציף של חשמל ממקור זה, כי לא תמיד יש רוח
אנרגיה הידרואלקטרית	<ul style="list-style-type: none"> - אין פליטת גזי חממה - פליטת זיהומים לאוויר זניחה - מקור אנרגיה מתחדשת 	<ul style="list-style-type: none"> - השפעות על גידולי דגים - פגיעה באקולוגיה של חופים
אנרגיה גיאותרמית	<ul style="list-style-type: none"> - אין פליטת גזי חממה - פליטת זיהומים לאוויר זניחה - מקור אנרגיה מתחדשת - דרוש שטח קטן - יכול להיות כלכלי (לאחר קידוח) 	<ul style="list-style-type: none"> - השפעות אפשריות על מקורות המים התת-קרקעיים - הוצאות גדולות למציאת מקורות אנרגיה (קידוח) - נזק סביבתי (פליטת גזים לא ידידותיים לסביבה)
אנרגיה סולארית - תאים פוטו-וולטאיים	<ul style="list-style-type: none"> - אנרגיית שמש היא אנרגיה מתחדשת - חוסר תלות במקורות דלק מתכלים. - אנרגיה נקייה שאיננה פוגעת בסביבה מבחינת פליטת מזהמים וגזי חממה. - אפשרות להתקנה על גגות ובכך לחסוך משאבי קרקע. - הודות לפיתוחים חדשים - המחירים במגמת ירידה. 	<ul style="list-style-type: none"> - חומרים מוליכים למחצה יקרים - השקעה ראשונית גדולה. - הפקת אנרגיה לא סדירה בימים מעוננים ובלילה - יעילות המרה לחשמל נמוכה יחסית למקורות המתבססים על דלק. - אגירת אנרגיה בעייתית.

שאלות לחלק I - אנרגיות חלופיות

1. מהו הקשר ומהם ההבדלים בין אנרגיה חלופית ואנרגיה מתחדשת?
 - א. אנרגיית רוח.
 - ב. אנרגיה גרעינית.
 - ג. אנרגיה שמקורה בתהליכים ביולוגיים.
 - ד. אנרגיית מים:
 - i אנרגיה גיאותרמית.
 - ii אנרגיה הידרו-אלקטרית:
 - ♦ אנרגיה של זרימת מים בנהרות, במפלים.
 - ♦ אנרגיה של גאות ושפל.
 - ♦ אנרגיה של גלי ים.
 - ה. אנרגיה סולארית.
3. היעזר בטבלה "יתרונות וחסרונות של סוגי אנרגיה שונים".
 - א. באיזה סוג של אנרגיה מתחדשת הייתם בוחרים להשתמש בארץ, כדי לשמור על איכות הסביבה ולנצל את מקורות האנרגיה הקיימים בארץ?
 - ב. המדענים סבורים שאנרגיית העתיד היא אנרגיה סולארית (למרות החסרונות). הסבר מדוע.

חלק II

תאים פוטו-וולטאיים

תא פוטו-וולטאי (PV) או **תא סולארי** הוא התקן סולארי להפקה ישירה של אנרגיה חשמלית על ידי קליטת קרינה אלקטרומגנטית מן השמש. מדובר באמצעי שימושי וידידותי לסביבה המיועד לשימושים שונים ומגוונים, החל ממכשירי צריכה קטנים כמחשבון כיס, שעונים וסוללות, דרך מתקנים ציבוריים כדוגמת עמודי תאורה, ועד להפקת אנרגיה עבור תחנות חלל ולוויינים. לאחרונה החל להיות נפוץ יותר השימוש במערכות פוטו-וולטאיות גם למטרות הפקת חשמל ביתי ירוק.

קרינה אלקטרומגנטית

נהוג לסווג את הקרינה האלקטרומגנטית למספר קבוצות לפי אורך גל של הקרינה. אוסף כל הקבוצות האלה נקרא **הספקטרום האלקטרומגנטי**.

אורך גל של הקרינה הוא המרחק בין שני שיאי גל סמוכים. אורך גל נמדד ביחידות אורך.

$$10^{-9} \text{ מטר} = 1 \text{ ננומטר}$$

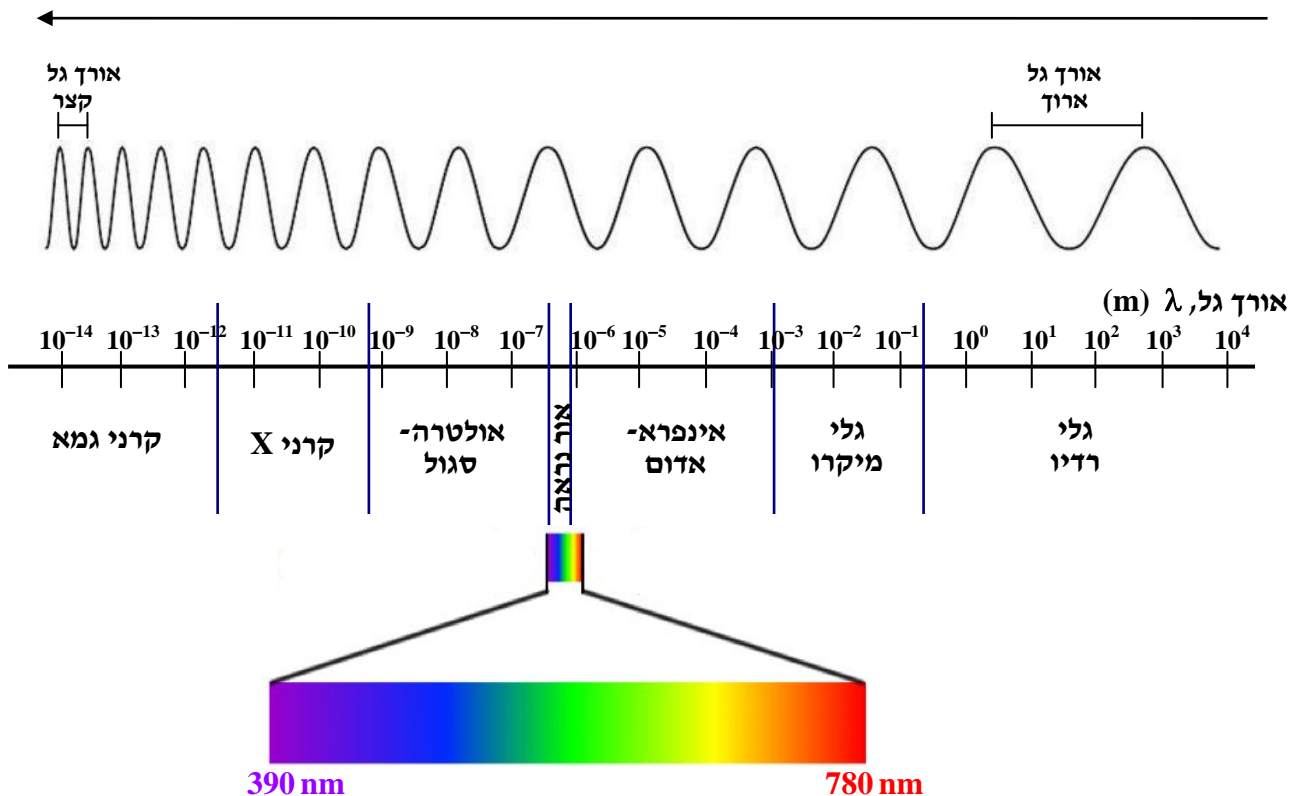
אנרגיה של קרינה אלקטרומגנטית נפלטת ונבלעת בצורה של מנות קצובות - פוטונים.

פוטון הוא מנת אנרגיה בודדת של קרינה אלקטרומגנטית.

ככל שאורך גל של קרינה אלקטרומגנטית ארוך יותר, אנרגיית הפוטון של קרינה זו קטנה יותר.

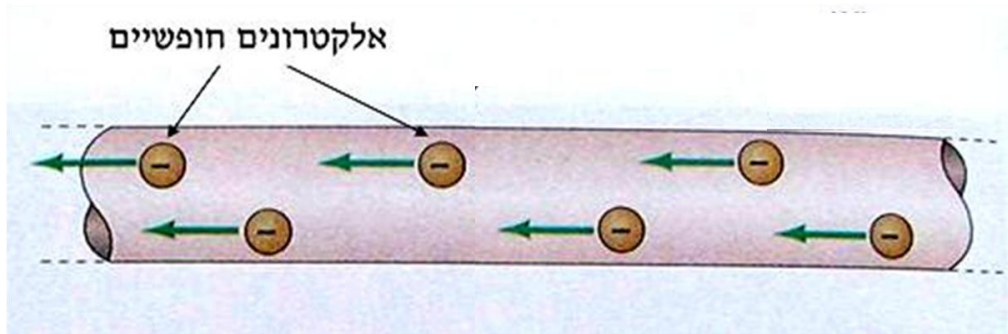
הספקטרום האלקטרומגנטי

אנרגיית הפוטון של הקרינה עולה



זרם חשמלי

זרם חשמלי הוא תנועה מכוונת של חלקיקים טעונים החופשיים לנוע (לרוב אלקטרונים) בתוך החומר המוליך

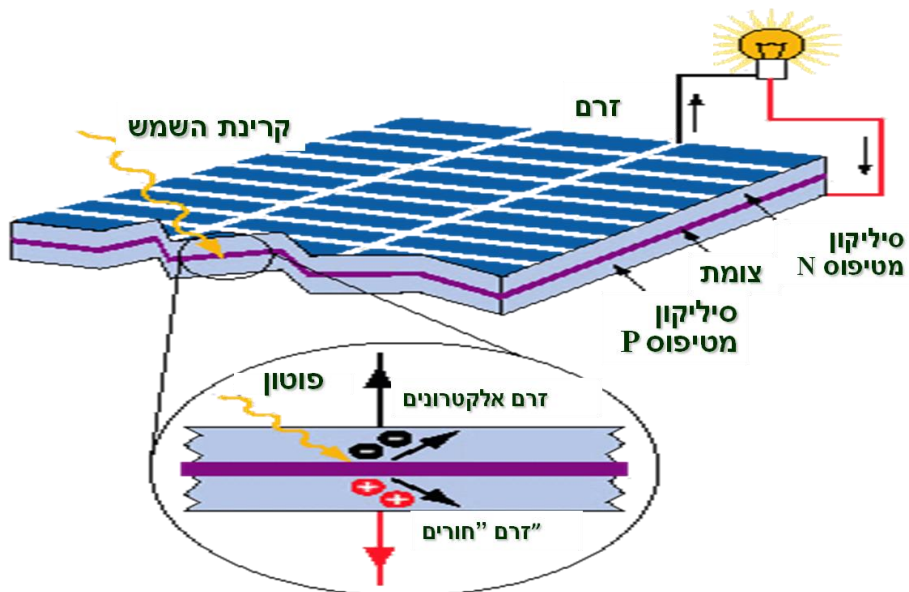


סוגי חומרים מבחינת מוליכות חשמלית

מבחינת מוליכות חשמלית יש שלושה סוגי חומרים :

- ◆ חומר מוליך
- ◆ חומר מבודד
- ◆ חומר מוליך למחצה - חומר שמוליך חשמל בתנאים מתאימים

מנגנון פעילות של תא פוטו-וולטאי

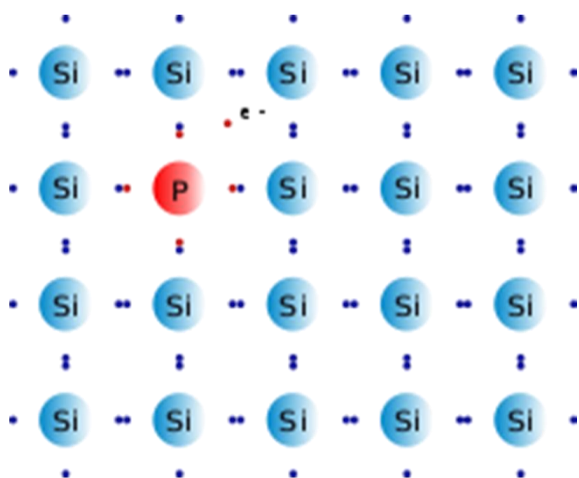


90% מהתאים הסולאריים מיוצרים כיום מסיליקון (צורן), שהוא חומר זול יחסית, מצוי בשפע, ומסוגל להוליך חשמל - בעיקר כאשר פוטונים של קרינת השמש פוגעים בו. פגיעת הפוטונים בפני השטח של הסיליקון משחררת אלקטרונים מהקשרים הכימיים שבהם השתתפו ומאפשרת להם לזרום. כדי להשלים את התהליך, מבצעים הסממה - מוסיפים לסיליקון ולתא הסולארי חומרים אחרים בכמויות קטנות, שמטרתם לסייע בהפרדת המטען: כאשר פוטון בעל אנרגיה מספקת פוגע בפני השטח, הוא מנתק אלקטרון מהקשר שבין אטומי הסיליקון, תוך יצירת מעין "מחסור באלקטרון", או "חור", במקום שבו היה האלקטרון קודם לכן. ה"חור" מתפקד למעשה כהיפוכו של האלקטרון, והוא בעל מטען חשמלי חיובי. לאחר פגיעת הפוטון נוצר מעין "צמד" של אלקטרון ו"חור". הצומת מפריד בין האלקטרונים ל"חורים". האלקטרונים עוברים לצד אחד של התא הסולארי, והחורים לצדו השני.

הסממה (Doping)

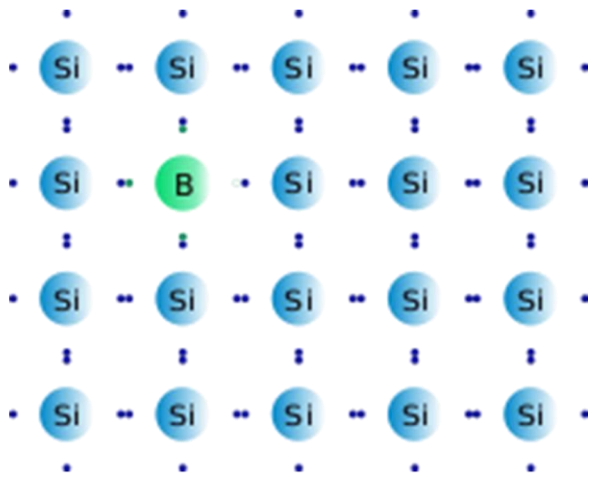
- הסממה היא הכנסת אטומים של יסודות אחרים (מזהמים) לגביש סיליקון.
- ◆ הסממה מאפשרת לשפר את המוליכות החשמלית של מוליך למחצה, כגון סיליקון.
 - ◆ הסיליקון נמצא בטור 4 בטבלה המחזורית. בדרך כלל, מבצעים את ההסממה בעזרת אטומי היסודות מטור 5 או מטור 3.
 - ◆ אפשר לשנות את המוליכות של מוליך למחצה בעזרת שינוי של סוג החומר המסמם וכמותו.
 - ◆ הסממה בעזרת אטומי יסוד מטור 5 יוצרת מוליך למחצה מסוג N (Negative).
 - ◆ הסממה בעזרת אטומי יסוד מטור 3 יוצרת מוליך למחצה מסוג P (Positive).

הסממה בעזרת יסודות מטור 5



מוסיפים כמות קטנה של זרחן (P) או ארסן (As) לגביש של צורן. לאטומים אלו חמישה אלקטרוני ערכיות: ארבעה מאלקטרוני הערכיות של האטום המזהם שותפים במבנה הגביש, אך האלקטרון החמישי הוא חופשי ובעל אנרגיה גבוהה. די בכמות קטנה של מזהם כדי ליצור תנועה חופשית של אלקטרונים והולכה חשמלית. מטען האלקטרונים שלילי ולכן מוליך למחצה שעבר הסממה כזאת נקרא מוליך למחצה מסוג N (Negative).

הסממה בעזרת יסודות מטור 3



מוסיפים כמות קטנה של בור (B) או אלומיניום (Al) לגביש של צורן. לאטומים אלו **שלושה אלקטרוני ערכיות**, כלומר באחד מהקשרים הקוולנטיים חסר אלקטרון. האטום המזהם יכול להשיג אלקטרון זה מקשר קוולנטי של **אטום סמוך, אך אז ייווצר "חור"** (חוסר באלקטרון) במקום שהאלקטרון נלקח ממנו. כל אלקטרון שנע אל "חור" משאיר מאחוריו "חור" פנוי שאלקטרון אחר יכול לנדוד אליו.

תנועת האלקטרונים יוצרת גם תנועה של ה"חורים". מכיוון שלחורים מטען חיובי, מוליך למחצה שעבר הסממה כזאת נקרא מוליך למחצה מסוג P (Positive).

יתרונות וחסרונות של תאים פוטו-וולטאיים

היתרונות:

- ♦ אנרגיית השמש היא אנרגיה מתחדשת - חוסר תלות במקורות דלק מתכלים.
- ♦ הפקת אנרגיה נקייה שאיננה פוגעת בסביבה מבחינת פליטת מזהמים וגזי חממה.
- ♦ אפשרות להתקנה על גגות ובכך לחסוך משאבי קרקע.
- ♦ הודות לפיתוחים חדשים - המחירים במגמת ירידה.

החסרונות:

- ♦ חומרים מוליכים למחצה יקרים - השקעה ראשונית גדולה.
- ♦ הפקת אנרגיה לא סדירה בימים מעוננים ובלילה.
- ♦ יעילות המרה לחשמל נמוכה יחסית למקורות המתבססים על דלק.
- ♦ אגירת אנרגיה בעייתית.

מדענים מחפשים חומרים אחרים שיתגברו על החסרונות

עם הפנים לעתיד

מתקנים פוטו-וולטאיים הינם פאנלים קשיחים, עשויים לרוב מסיליקון, שתפקידם לקלוט את קרינת השמש ולהמיר אותו לזרם חשמל. הפאנלים מותקנים לרוב על גג הבית ועל החלונות באזור אליו מגיעה קרינת שמש מרבית.

רוב התאים הסולאריים מיוצרים מסיליקון. אבל סיליקון מסוגל לנצל רק חלק מוגבל מקרינת השמש המגיעה לפני השטח שלו. אנרגיית הפוטונים של קרינה אינפרא-אדומה (IR) אינה מספיקה כדי לשחרר את אלקטרוני הסיליקון, ואנרגיית הפוטונים של קרינה אולטרה-סגולה (UV) גדולה מהאנרגיה הדרושה לשחרור אלקטרוני הסיליקון. כך חלק גדול מקרינת השמש מתבזבז. חומרים חדשים עשויים לפתור בעיה זו - לנצל טוב יותר את קרינת השמש. בפיתוחים החדשים מתכננים להשיג:

- ◆ יעילות הבליעה של הקרינה - שילוב חומרים שבולעים תחום גדול יותר של אורכי גל.
- ◆ חלונות שהם בעצם תאים פוטו-וולטאיים שקופים פלסטיים - בולעים קרינת IR.
- ◆ שיפור יעילות של מעבר האנרגיה.
- ◆ תאים שמשנים כיוון על פי מיקום השמש.
- ◆ תאים אורגניים להנעת מכוניות.
- ◆ הגדלת חיי התא.
- ◆ הגדלת היעילות של התא.
- ◆ הורדת המחיר של התאים.
- ◆ תאים מדור שני - אנרגיה בחושך - אגירת אנרגיה

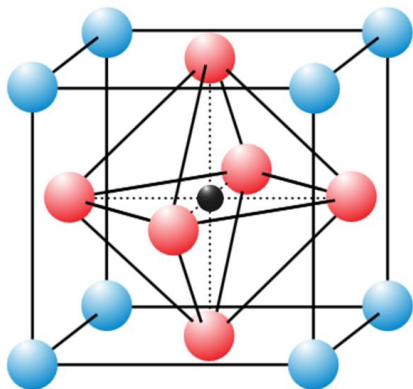


חלק III

תאים פוטו-וולטאיים המבוססים על פרובסקיט

פרובסקיט

פרובסקיט (Perovskite) הוא שמו של מינרל שנוסחתו CaTiO_3 . מינרל זה נתגלה בהרי אורל שברוסיה בשנת 1939 ונקרא על שמו של המינרלוג הרוסי פרובסקי. בעידן הטכנולוגי שם פרובסקיט הפך לשם של קבוצת חומרים מלאכותיים, שמתאפיינים במבנה גבישי זהה לזה של המינרל הטבעי פרובסקיט. מדענים פיתחו תאים פוטו-וולטאיים זולים ויעילים, המבוססים על פרובסקיטים שונים, שהם מוליכים למחצה. הנוסחה הכללית של מספר פרובסקיטים היא ABO_3 .



A - יון מתכת שמטענו $2+$, כגון יון עופרת Pb^{2+}

B - יון מתכת שמטענו $4+$, כגון יון טיטניום Ti^{4+}

O - אטום חמצן

לדוגמה: PbTiO_3

נוסחה כללית לסוג נוסף של פרובסקיטים היא ABX_3 .

A - יון מתכת שמטענם $2+$, כגון יון עופרת Pb^{2+}

B - יון של תרכובת אורגנית, כגון יון מתילאמין CH_3NH_3^+

X - אטום הלוגן: כלור Cl, ברום Br, יוד I

לדוגמה: $\text{PbCH}_3\text{NH}_2\text{I}_3$

יתרונות פרובסקיט לעומת סיליקון בתאים פוטו-וולטאיים

- ◆ ניצול תחום רחב של קרינה אלקטרומגנטית המגיעה מן השמש והפקת חשמל במתח גבוה.
- ◆ מובילות גבוהה של המטענים, זמן חיים ארוך.
- ◆ הכנה קלה בטמפרטורה נמוכה, קבלת גבישים בגדלים של 0.1 ננומטרים.
- ◆ כבר מגיעים לניצולת אופטית של 15%, ומצפים להגיע לניצולת גדולה יותר.

פיתוח יחידת לימוד ייחודית:

חקר מרכיבי החלב לבחירה של תחליפי חלב בריאים

מגישות: רונית ברד

פאדיה חטיב

בהנחיית ד"ר רון בלונדר

קטעי מידע שהוכנו ליחידה:

"הזדקנות בריאה מתחילה באמא..."

Engage - סודותיו של חלב אם

Explore - לגלות את הסודות

Explain - איסוף מידע

RRI - Elaborate

Exchange - תערוכה

חלק 1

Engage - סודותיו של חלב אם - למה תינוקות לא שותים חלב שנקנה בסופרמרקט?

בני אדם, בדומה לכלבים, חתולים, פרות ועיזים שייכים למחלקת היונקים. המשותף ליונקים: מטפלים בצאצאים תוך שהם מאכילים אותם בחלב אם. כל היונקים מייצרים חלב לאחר הלידה. חלב עיזים מיועד לעיזים, חלב פרה מיועד לעגלים, וחלב אם מיועד לתינוקות אנושיים. לכל חלב יש הרכב ספציפי אשר מאפשר לצאצאים לגדול באופן אופטימלי.

הזמן הנדרש לטיפול בצאצאים תלוי בבעל החיים: חתולים מטפלים בצאצאים 8-12 שבועות, צאצאיו של הניבתן ("אריה ים") דורשים 3 שנות טיפול. במקור, אימהות הניקו את ילדיהן כחמש שנים, כשעם הזמן ההנקה שימשה כתוספת למזון. במדינות מודרניות בהן האישה חוזרת לעבודה לאחר הלידה, נשים אינן מניקות תקופה כל כך ממושכת.

ארגון המזון העולמי ממליץ לאימהות להניק באופן מלא עד לגיל 6 חודשים, ולהמשיך בהנקה כתוספת למזון רגיל עד גיל שנתיים. אין הרבה אימהות אשר פועלות עפ"י המלצה זו. הנקה של פעוט בן שנתיים נחשבת למוזרה והיא שנויה במחלוקת (כיסוי הנושא במגזין TIME, עם תמונת הילד הגדול שיונק גרמה למהומה רבת). בהולנד, רק 2-5% מהאימהות, מניקות פעוטות בגילאים אלו.

לאור המלצת ארגון המזון העולמי, יש להניח שחלב אם נחשב למזון מאוד איכותי. האם חלב אם אינו סתם חלב? האם אי אפשר להאכיל את התינוק סתם בחלב מאריזת קרטון? התשובה היא, כמובן, לא. חלב אם שונה מאוד מהחלב שאנו קונים בסופרמרקט. ראשית, חלב אם מותאם לצרכי התינוק במהלך הזמן – חלב אם בן 3 שבועות שונה מחלב אם בן 3 חודשים. יחסי המרכיבים השונים בחלב אם גם הם שונים מאלו שבחלב פרה אותו אנו רוכשים במרכולים.

חלב מרכב בעיקר ממים, חלבונים, שומנים, פחמימות וויטמינים ומינרלים. להלן טבלה המציגה את המרכיבים השונים בחלב ממקורות שונים. ניתן לזהות כי קיימים ביניהם הבדלים רבים, ומכאן גם נובע ההבדל בין חלב אם לבין חלב פרה. ניתן לראות הבדל משמעותי בין מסת החלבונים בין חלב אם (1.5 גר' – לא כתוב בטבלה אבל זה כפי הנראה ב-100 מ"ל חלב – יש לבדוק!!!) לבין חלב פרה (3.5 גר'), וגם במסת הלקטוז (6.9 גר' בחלב אם לעומת 4.6 גר' בחלב פרה). על הבדלים נוספים בלאקטוז נלמד בפרקים 3.3 ו-3.4.

קיימת בחלב אם קבוצה גדולה של מולקולות דמויות סוכר הנקראות HMOs – (Human Milk Oligosaccharides). מולקולות אלו קשות לעיכול ע"י מערכת העיכול האנושית, ושאלת נחיצותן נותרה ללא מענה עד לא מזמן.

- ניסויים לקביעת רמות החלבונים, הפחמימות והשומנים בסוגים שונים של חלב.

תחליפים לחלב אם

נשים שאינן מיניקות או אינן יכולות להיניק, מאכילות את ילדיהן בתחליפי חלב. תחליפי חלב מיוצרים מחלב פרה, בשעה שנוכחנו לדעת שחלב פרה אינו החלב האופטימלי עבור תינוקות אנושיים.

בתהליך ייצור תחליפים לחלב, עובר חלב הפרה עיבוד והתאמה על מנת שידמה עד כמה שניתן לחלב אם. התחליף הראשון יוצר בשנת 1884 ע"י דילול חלב הפרה במים והוספת שמנת וסוכר, אבל מאז הלכו והשתפרו התובנות באשר להרכב החלב ותהליך עיבודו. לדוגמה, סוכרים מסויימים אשר דומים לסוכרים המורכבים שקיימים בחלב אם, מוספים לתחליפי החלב. כל זה חייב להיעשות במפעל, ונסביר על כך בפרק 3.5.

ילדים שניזונים על תחליפי חלב גדלים, עפ"י רוב, ללא בעיות בריאות מיוחדות. יחד עם זאת, מחקרים מראים שתינוקות אשר ניזונים על חלב אם מוגנים הרבה יותר מפני מחלות כמו סכרת, אסטמה ותופעות אלרגיות אחרות. יתר על כן, הנקה לטווח ארוך מספקת הגנה מפני השמנת יתר בשלבים מאוחרים יותר בחיים. ראיות אלו עולות ממחקרים אפידמיולוגיים אשר השוו בין קבוצות אנשים אשר סובלים/אינם סובלים מתופעות דומות (הנושא נידון ביתר פרוט בפרק 3.2). המנגנונים הביולוגיים המסבירים כיצד הסוכרים בחלב משפרים את הבריאות אינם עדיין לגמרי ברורים, ומחקר בתחום זה החל להתפתח רק לאחרונה (נידון בפרוט בפרק 3.3).

כאמור, לא ברור לגמרי עדיין באיזה אופן מתפקדים סוכרי החלב כמגנים על הבריאות. אך מצטברות עוד ועוד ראיות לכך שלחלב אם יש יתרון בהתפתחותם של חיידקי מעיים טובים בתינוקות, והם מסייעים לתפקודה המיטבי של מערכת החיסון. על כך נלמד בפרק 3.4. עם הצטברות הידע המדעי והחדשנות הטכנולוגית, הלכו והשתפרו הרכביהם של תחליפי החלב. שיפור זה גם עורר את התפתחותם של החיידקים החיוניים במערכת העיכול. אלא שהתחליפים נשארים רק דומים לחלב אם ואינם חלב אם עצמו. האם אי פעם ניתן יהיה לייצר חלב זהה לחלב אם? האם היצרן יהיה רשאי לשווקו כמוצר דומה לחלב אם? שאלות אתיות כאלה ואחרות יידונו בפרק 4.

חלק 2

Explore - לגלות את הסודות

בשנים האחרונות, תודות לטכנולוגיות מחקר חדשות, התגלו מספר "סודות" באשר לחלב אם. טבלה 2.1 (ע"מ 9) מראה שחלב אם מאוד מועיל לתינוק. בנוסף למרכיבים התזונתיים המשמשים חומרי בניין ומקור אנרגיה, אנו מוצאים בחלב אם חומרי הגנה, וגם אוליגוסכרידים אשר, כאמור, אינם מתעכלים בקלות באמצעות מיצי העיכול. היחידה שלהלן תדון בחומרים מסתוריים אלו. לאחרונה, באמצעות טכניקות לחקר DNA, נתגלו חיידקים שעד כה לא היו ידועים כחיידקים ששוכנים במעי. חיידקים אלו ניזונים מאותם אוליגוסכרידים. אותם אוליגוסכרידים אשר מצויים בחלב אם, מאפשרים את התפתחותן של קבוצות חיידקים במעי ומביאים, למעשה ליחס אופטימלי בין קבוצות החיידקים השונות במעי. בהעדר אוליגוסכרידים דומים בחלב פרה, לא מתאפשרת גדילתם של אותם חיידקים, ובכך מופר האיזון הרצוי בין קבוצות החיידקים במעי של התינוק הניזון מחלב פרה. בפרק 3 נלמד עוד על אותם חיידקים.

איור 2.1 – הרכבן של מספר קבוצות חיידקים במעי האדם. קיימים הבדלים בין תינוקות, השפעתן של אנטיביוטיקות ותת-תזונה על פעוטות והשינויים במהלך הגדילה וההתבגרות.

את מרבית חיידקי המעי ניתן למצוא במעי הגס. רופאים מתייחסים לאוכלוסיה זו כאל איבר נפרד ולא כאל חלק מאוכלוסיית החיידקים במעי. בשנים האחרונות נמצא כי הרכב אוכלוסיית החיידקים הזו משפיעה על בריאותנו, ובעלת חשיבות רבה בתפקודה התקין של מערכת החיסון, אלרגיות, עודף משקל, סכרת, אסטמה, תסמונת המעי הרגיז ועוד.

הקשר שנמצא בין נוכחותן של אוכלוסיות חיידקים לבין בריאות טובה או העדר מחלות עולה מתוך מחקרים שנעשו באוכלוסיות גדולות של אנשים.

בכל אופן, נדרשים עדיין מחקרים רבים על מנת לקבוע את הקשר בין חלב אם לבין נוכחותם של חיידקים מסוג A או היעדרותם של חיידקים מסוג B. יחד עם זאת, הקשרים שכבר נמצאו מספיק מבוססים על מנת שתעשיית המזון תוסיף אוליגוסכרידים לתחליפי חלב. עם זאת, עדיין נדרשים מחקרים רבים לגילוי המנגנון המדויק שבאמצעותו אוליגוסכרידים במזון מהווים בסיס לבריאות טובה.

- גרף 2.3 – הקשר שבין נוכחות אוליגוסכרידים בתחליף החלב לבין אחוז הזיהומים מהם סבלו התינוקות במשך התקופה הנבדקת. הגרף מראה שתינוקות שניזונו מתחליפי חלב ללא תוספי האוליגוסכרידים, סבלו יותר מזיהומים.

משימה לחלק 2

1. מנה את ההבדלים בין אוכלוסיות חיידקי המעי בתינוקות אשר ניזונים מחלב המכיל אוליגוסכרידים לבין כאלה שניזונים מחלב שלא מכיל אוליגוסכרידים.
2. אלו שינויים באוכלוסיית חיידקי המעי מתרחשים במהלך הגדילה? הגרף לא ברור וקשה לגזור מידע.
3. השווה בין המאפיינים של תאי חיידקים, בע"ח וצמחים.

4. מדוע המושג השגור הינו gut flora ולא gut fauna?
5. מנה לפחות 3 השפעות חיוביות שיש לנוכחותם של חיידקים מסוג ביפידובקטריה במעי.
6. מהי אוכלוסייה? מדוע משתמשים במושג מיקרוביום בהתייחס לחיידקי המעי? (מערכת העיכול מכילה כ-100 טריליון חיידקים, המכונים מיקרוביום. חיידקי המעיים נתפסים בדרך כלל כסימביוטים מועילים, אולם מחקרים מהזמן האחרון מראים כי להרכבים ספציפיים של אוכלוסיות חיידקים יכולה להיות השפעה על המצב הבריאותי שלנו. שינויים בהרכב המיקרוביום קשורים לרשימה הולכת וגדלה של מחלות כרוניות. יתר על כן, ניסויים של "השתלות מיקרוביום", שבהם חיידקים הועברו מעכבר אחד לעכבר אחר ואפילו מאדם אחד לאחר, ושינו את הפנוטיפ שלו או את מצב המחלה, הוכיחו כי למיקרוביום תפקיד במחלות רבות ומרכזיות בעידן שלנו כגון השמנת יתר, סוכרת מטבוליק סינדרום ואף מחלות נפש כגון דיכאון ועוד).

חלק 3

Explain - איסוף מידע

עיכול – מה קורה לחלב במעי התינוק?
 כל היונקים ובכלל זה בני האדם, ניזונים מחלב בלבד בשלב הראשון לחייהם. בפרק 2 למדת שחלב מכיל מגוון חומרים. חלק גדול מן החומרים הללו מתעכל לפני שגוף התינוק משתמש בהם ליצירת אנרגיה. החלק הראשון בתהליך העיכול מתרחש בצינור העיכול באמצעות אנזימים. תחילה נדון בתהליך העיכול באופן כללי, ובהמשך נבדוק מה קורה לחלב אם במעי התינוקות.

צינור העיכול

אפשר להתייחס לצינור העיכול שלנו כאל שפופרת שנמשכת לכל אורך הגוף מלמעלה בפה ועד למטה בפי הטבעת. רק בשעה שחומרים מצינור העיכול נספגים במערכת הדם, הם הופכים לחלק מן הסביבה הפנימית של הגוף.

האוכל נטחן ומעורבב בפה עם הרוק, ועובר לקיבה דרך הושט. הקיבה משחררת מיצי עיכול חומציים. משך הזמן בו נמצא המזון בקיבה תלוי בהרכבו. מדי פעם עובר חלק מתכולת הקיבה לתריסריון. שם מעורבב המזון עם מיצי מרה (מהכבד) ומיצי לבלב (מהלבלב). התריסריון הופך למעי הדק ובו רוב חומרי המזון מעוכלים ונספגים. המעי הדק הוא מאוד ארוך ובעל שטח פנים גדול (200-150 מ"ר) בזכות סיסי המעי. לאחר העיכול הופכים חומרי המזון כה קטנים עד שהם נספגים בדם. החומרים שנשארו לא מעוכלים מועברים למעי הגס וחלקם מעוכלים באמצעות חיידקים. החומר הסמיך והמעובה נאסף במעי הגס ויוצא מחוץ לגוף דרך פי הטבעת.

אנזימי עיכול

אנזימי עיכול מופרשים במגוון אזורים לאורך צינור העיכול. אנזימים אלו מזרזים את פרוק החלבונים, הפחמימות והשומנים. בפרק 3.4 נלמד יותר על אנזימים. האנזימים מסייעים בעיכול חומרי המזון. העיכול מתרחש בשלבים עד שהתוצרים המתקבלים קטנים מספיק על מנת להיספג בדם.

מעיי התינוק

תהליך העיכול במעיי התינוק דומה לזה של מבוגר, אלא שהתפתחותם של המעיי הדק והגס נמשכת עדיין בשנת חייו הראשונה של היילוד. בהתחלה, עיכולן של מולקולות מורכבות אינו מספיק מפותח עדיין, והבניה המיקרוסקופית של המעיי הגס והדק שונה. לדופן המעיי (הפונה לחלל המעיי) – תאי האפיתל אשר באים במגע עם החומרים שבמעיי – יש 2 תפקידים: ספיגת חומרי מזון ועצירת פאתוגנים (חיידקים/פטריות/נגיפים הגורמים למחלות). בתינוקות, החלל בין תאי האפיתל הינו גדול יחסית, ומאפשר ספיגה של מולקולות גדולות מחלב האם (בין תאי האפיתל קיימים צמתי חסימה – tight junctions – אלו הם חלבונים הקשורים לקרומי התאים ומקרבים בין התאים. מספר הצמתיים הולך וגדל לאחר הלידה, וכך מצטמצם החלל בין התאים והקרבה ביניהם מרבית. מספרם הקטן במעיי התינוק מהווה, כאמור, יתרון בכך שמולקולות גדולות מחלב האם ניתנות לעיכול). תודות למרווחים הקיימים בין תאי האפיתל, מתאפשרת גם ספיגתם של נוגדנים מחלב האם – נוגדנים אשר מסייעים למערכת החיסונית של היילוד, אשר אינה מתפקדת ביעילות עדיין. מה שמהווה יתרון, עלול גם להיות חיסרון, שכן, גם פאתוגנים עלולים לחדור לתאים ביתר קלות, כמו גם חומרים מעוררי אלרגיות. לאחר הלידה הולכת חדירות התאים ויורדת, בעיקר בזכות הורמונים ופקטורי גדילה המצויים בחלב אם. זו הסיבה לכך שתינוקות הניזונים מתחליפי חלב אשר אינם מכילים חומרים אלו חשופים, אם כן, ליותר תופעות של אלרגיות וזיהומים, בהשוואה לתינוקות שיונקים חלב אם. את ההשלכות לכך ניתן לזהות בקרב בוגרים, שכן, ברגע שמתפתחת אלרגיה, קשה מאוד להתמודד איתה.

עיכול חלב אם בתינוקות

בחודש הראשון שלאחר הלידה ניזונים תינוקות ממזון נוזלי בלבד. מזון נוזלי עובר עפ"י רוב במהירות דרך הקיבה. איך יתכן שתינוקות אשר ניזונים מחלב בלבד, מרגישים שבעים? על מנת להבין זאת תוכל לערוך את הניסוי: "הכנת גבינה עם חומצה". בעזרת חומצה ניתן לדמות את התהליך שעובר החלב בקיבת התינוק. חלב אם ותחליפי חלב מכילים, בין השאר, סוכרי חלב, חלבונים ושומנים. אלו הם חומרים שדורשים עיכול לפני שהם יכולים להיספג. מיד לאחר הלידה, חלק מהאנזימים הנדרשים לצורך כך, נמצאים בחלב אם. בקיבת התינוק מתרחש תהליך גיבושם/קרישתם (אולי הכוונה לדנטורציה/פירוק - coagulation) של חלבונים באמצעות האנזים רנין - גם משום שב-2 החודשים הראשונים שלאחר הלידה, הקיבה אינה מייצרת מספיק חומצה. במהלך הדנטורציה (coagulation) נשארים החלבונים (ובעיקר החלבון קזאין) משך זמן ארוך יותר בקיבה – שם הם יכולים לעבור עיכול באמצעות האנזים פפסין. רמות החומציות בקיבה אינן אופטימליות עדיין - עובדה שמעכבת את פעילות הפפסין - ומכאן גם החשיבות לנוכחות ממושכת יותר של החלבונים בקיבה. במעיי הדק מתרחש העיכול באמצעות כימוטריפסין, ולאחר מכן חומצות אמיניות ופפטידים קצרים נספגים בתאי האפיתל. בניגוד לבוגרים, תינוקות מייצרים בקיבה גם את האנזים ליפאז - האנזים מסייע לעיכול השומנים המצויים בחלב אם, וחיוני משום שהכבד מפריש בשלב זה מעט מאוד חומצות מרה, והלבלב עדיין לא מספיק מפותח על מנת להפריש ליפאז.

במעיי הגס מתפרק סוכר החלב לאקטוז (הפחמימה החשובה ביותר בחלב אם) באמצעות האנזים לקטאז. בקרב רוב האנשים, ייצור האנזים לקטאז הולך ויורד לאחר 3 שנים. יחד עם זאת, התופעה של אי סבילות ללאקטוז נפוצה הרבה פחות בקרב אירופאים ואוכלוסיות בצפון אמריקה. תהליך העיכול נשלם במעיי הגס, ותוצרי העיכול נספגים. קזאין, חלבון החלב, חשוב למינרלים וכמקור לחומצות אמינו.

אי סבילות ללאקטוז

מדברים על אי סבילות ללאקטוז כאשר אדם אינו יכול לעכל באופן מלא את סוכר החלב לאקטוז. לאקטוז הוא דו-סוכר המרכיב מגלוקוז וגאלאקטוז. לקטאז הוא אנזים המפרק את הקשר בין שני החד-סוכרים. בצורת חד-סוכרים הם יכולים להיספג בדם. במקרה של אי-סבילות ללאקטוז לא מופרש מספיק לקטאז, והלאקטוז שלא עבר פרוק נותר במעיים, ועובר תהליכי תסיסה באמצעות חיידקי המעי. תוצרי התסיסה כגון גזים וחומרים מעוררים גורמים לכאבי בטן, להתכווצויות, לתחושת נפיחות, לבחילות ולשלשולים. הפחתת מוצרי החלב בתזונה עשויה להקל על הסימפטומים.

דקירה בכף הרגל

מכל תינוק בגיל 3-5 ימים נלקחת דגימת דם קטנה מעקב כף הרגל. הבדיקה משמשת לאבחון 17 מחלות תורשתיות חשוכות מרפא, אך ניתנות לטיפול אם הן מאובחנות בזמן. 14 מן המחלות מוגדרות כהפרעות מטאבוליות הדורשות תזונה מיוחדת. אחת מן ההפרעות הן גאלאקטוסמיה (Galactosemia) – פגם גנטי שלא מאפשר לגוף לנצל את הגאלאקטוז (חסר באנזימים שהופכים גאלאקטוז לגלוקוז). כתוצאה מכך ישנה הצטברות של גאלאקטוז אשר גורמת לנזקים בכבד ולקטאראקט בעין. ניתן למנוע את הסימפטומים באמצעות דיאטה נטולת לאקטוז (כלומר, לא לאכול מוצרי חלב). תחת זאת ניזון התינוק ממוצרים על בסיס סויה (נטולי לאקטוז). יש לשמור על משטר תזונה נטול לאקטוז משך כל החיים, ומכאן ברור שחלב אם יהיה אסור לשימוש במקרה זה.

כיצד צובר תינוק סטרילי חיידקים במשקל 2 ק"ג בהיותו בוגר?

המהלך ההריון מוגן העובר היטב באמצעות הרחם, ללא קשר ישיר לסביבה החיצונית. הגוף מתפתח בסביבה סטרילית. המגע הראשון עם העולם החיצון מתרחש בעת הלידה. כאשר עובר היילוד בתעלת הלידה, מתרחשת ההדבקה הראשונה בחיידקים. מעיי של אדם בוגר מכילים כ- 2-1.5 ק"ג של חיידקים. רובם חיים בסביבה עשירה בחמצן במעיי הגס. קיימים כ-1,000 מינים שונים של חיידקים במעיי הגס. מחצית מכמות הצואה שמייצר אדם מורכב מחיידקים.

בשבוע הראשון שלאחר הלידה, מתבססת במעיי בעיקר אוכלוסיית החיידקים מסוג *E. coli* וסטרפטוקוקוס. בהמשך מתבססות במעיי הגס אוכלוסיות אנאירוביות כגון *Clostridium* ו- *Ruminococcus*. בקרב יילודים שניזונים מחלב אם מרבית אוכלוסיות החיידקים מסוג *Bifidobacteria* ו- *Lactobacilli* ע"ח מינים אחרים של חיידקים. הדבר לא קורה בקרב תינוקות הניזונים מתחליפי חלב.

ברגע שהיילוד מתחיל לאכול מזון מוצק, מתחילה להתפתח אוכלוסיית החיידקים שתאפיין אותו כבוגר. מספר הבקטרואידיים (חיידקים אנאירוביים גראם שליליים), קלוסטריוידים (חיידק אנאירובי גראם חיובי היוצר נבגים) ופפטוקוקוסים (חיידקים גראם חיוביים) עולה. בנוסף ניתן למצוא בגופו גם מינים אחרים של חיידקים. עד לשנתו השלישית, מתפתחת מעיו של התינוק אוכלוסיית חיידקים יציבה. לנקודת הזמן בה מפסיק היילוד לינוק חלב אם יש השפעה מהותית על הרכבה של אוכלוסיית החיידקים בחלל המעי.

אנטוני ואן לבנהוק נחשב כמגלה המיקרואורגניזמים. הוא היה הראשון שצפה בחיידקים מבעד לעדשה מגדילה, בשנת 1676. רק 200 שנה מאוחר יותר הצליחו פרדיננד קון, לואי פסטר ורוברט כוך לגדל אוכלוסיות חיידקים, לחקור ולאפיין אותן. מחקרים אלו חשפו את השפעותיהם הפאתוגניות של החיידקים.

עוד התגלה כי נוכחותו של חמצן הינה קטלנית עבור מינים מסויימים של חיידקים, שנקראו אנאירוביים. גידול חיידקים מסוג זה הוא קשה ודורש טכניקות מיוחדות. ממחקרים שנערכו על אוכלוסיית חיידקי המעיים למד האדם על חיידקים רבים כדוגמת חיידקי *E. coli*. גם היום ברור שרוב החיידקים המצויים בכדור הארץ (יותר מ-90%) אינם ידועים עדיין, ועל כן לא נחקרו. תודות לטכנולוגיות חדשות של DNA, ניתן לזהות אוכלוסיות חיידקים ע"י רצפים של קטעי DNA. בשיטות אלו נתגלה כי בני אדם הם למעשה מערכת אקולוגית של חיידקים. בשנת 2011 מצאו מדענים כי הרכבה של אוכלוסיית החיידקים בצואת אדם תלויה בגיל, במין, במשקל הגוף ובמוצא. יחד עם זאת ניתן לחלק את אוכלוסיית בני האדם ל-3 תת אוכלוסיות עפ"י אוכלוסיית החיידקים הדומיננטית המצוייה במעיים שלהם. 3 האוכלוסיות הן: בקטרואידיים (*Bacteroidetes*), פרוטלה (*Prevotella*) ורומינקוקוס (*Ruminococcus*).

סטימיוולציה (המרצה) של ביפידו ע"י אוליגוסכארידים בקטריוולוגים הראו שצואת תינוקות הניזונים מחלב אם מכילה ריכוז גבוה של ביפידובקטריה (*Bifidobacteria*), זאת בניגוד לצואתם של תינוקות הניזונים מתחליפי חלב. אחד מההבדלים החשובים ביותר בין חלב אם לתחליפי חלב הוא ריכוז גבוה של אוליגוסכרידים מסיסים בחלב אם, במיוחד גלאקטו - אוליגוסכריד (GOS).

החיידקים האנאירוביים *Bifidobacteria* ו-*Lactobacillus* יכולים לגדול בסביבה שבה GOS מהווה את מקור הפחמן היחיד במזון.

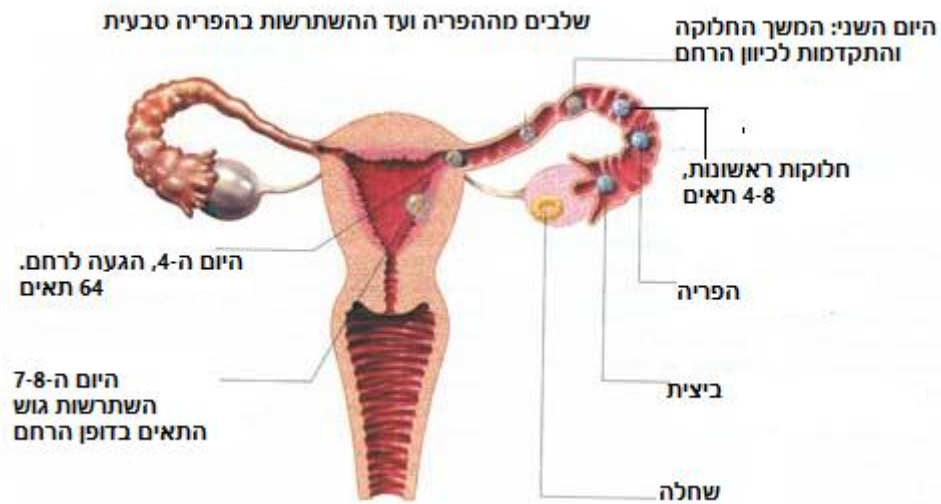
הכנת רקע מדעי לפעילות "קבלת החלטות"

מגישה: אורלי פלוטקין

בהנחיית ד"ר יעל שורץ

הפריה חוץ-גופית (IVF)

תהליך אבחון גנטי טרום השרשתי (PGD) מחייב הפריה חוץ-גופית (הפריית מבחנה) מכיון שהבדיקות נעשות בשלבים מאוד מוקדמים: כאשר עובר בנוי ממספר קטן מאוד של תאים. **בהפריה רגילה** שמתרחשת בגוף האישה (בחצוצרה) הזיגוטה (התא הראשון של עובר אשר נוצר מהתלכדות של ביצית וזרע) מתחילה להתחלק כבר בחצוצרה כל הדרך עד להשתרשות גוש התאים בדופן הרחם.



אין אפשרות לקחת תאים לבדיקה בשלב זה בלי לפגוע בעובר המתפתח ולכן יש צורך לבצע הפריית מבחנה על מנת שיהיה אפשר לקחת תאים מהעובר המתפתח. **בהפריה חוץ גופית** ניתן להפרות את הביצית ולגדל את העובר בצלחת מעבדה עד היום השישי שלאחר ההפריה. התהליך כולל מספר שבועות של טיפול תרופתי לאישה על מנת לגרות את השחלות שייצרו יותר מביצית אחת במחזור. הביציות נשאבות בהרדמה מלאה ומופרות במעבדה באמצעות הזרע של בן הזוג בשיטת (ICSI מיקרו-מניפולציה).

הפריית המבחנה : <https://www.youtube.com/watch?v=DJGRsS4j-OA>

או <https://www.youtube.com/watch?v=twx1QgZfk0M>

ביום השלישי, כאשר העובר מורכב כבר מ-8 תאים, ניתן לקחת לבדיקה תא אחד או שניים, ולוודא שאינו נושא איזושהי מחלה גנטית. תהליך זה נעשה ע"י חירור המעטפת השקופה תחת מיקרוסקופ באמצעות קרן לייזר או חומצה, הכנסת צינורית דקיקה אל תוך הביצית ושאיבת שני תאים, כאשר ששת התאים הנותרים נשארים וממשיכים להתחלק.

חלוקת הזיגוטה <https://www.youtube.com/watch?v=P1h611sNji8>

1. אבחון גנטי טרום השרשתי (PDG)



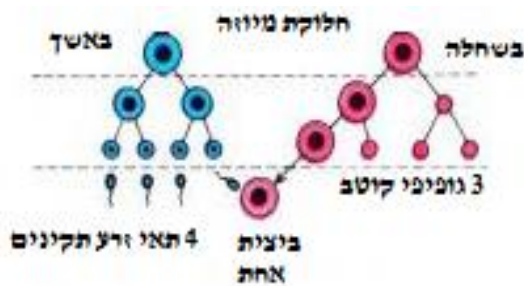
הבדיקה הגנטית מתבצעת על תא אחד או מספר קטן של תאים הנלקחים מעובר בן 3-5 ימים שנוצר באמצעות הפריה. התאים שהוצאו עוברים בדיקות גנטיות להימצאות מחלות, כגון ציסטיק-פיברוזיס, מחלות תורשתיות של מערכת העצבים ועוד. בנוסף, בודקים גם את

מספר הכרומוזומים של העובר, על מנת לקבוע אם הוא סובל מהפרעה אחרת, כמו תסמונת דאון, למשל. בדרך זו מזהים את העוברים שאינם לוקים במחלה המשפחתית הנבדקת ומחזירים רק אותם לרחם.

קיימות 3 אפשרויות של ביופסיה:

I. גופיפי קוטב. מדובר בביופסיה מהביצית של

האם (כאשר האישה מאובחנת כנשאית/חולה המחלה). הביופסיה הזו מתבצעת על שני גופיפי הקוטב של הביצית. אלה הם תוצרי לוואי של חלוקת הביצית ואינם תורמים להפריה או לעובר המתפתח. בדיקת המטען הגנטי במקרה של ביופסיית ביצית חוסכת את הצורך לבצע ביופסיה לעובר עצמו. עם זאת, תוצאות הבדיקה מעידות רק על תרומתה הגנטית של האם.



- II. תא אחד (בלסטומר) שנלקח מעובר בן 3 ימים (כאשר העובר מגיע לגודל של 8-6 תאים).
- III. מספר קטן של תאים (בלסטוציסט) שנלקח מעובר בן 5 ימים (כאשר העובר מגיע לגודל של כ-50 תאים).

הביופסיה מתבצעת בהתאמה אישית לזוג לפי הנתונים הגנטיים ופוריותם על מנת להשיג את ההצלחה והדיוק המרבי.

תוצאות האנליזה הגנטית

תוצאות הבדיקה מתקבלות תוך 3-5 ימים ממועד שאיבת הביציות, בהתאם לסוג הביופסיה שבוצע. דיוק הבדיקה הוא כ-99%.

חשוב לדעת - האבחון אינו תחליף לבדיקות השגרתיות למעקב אחר ההריון.

בנוסף קיימת המלצה של איגוד הגנטיקאים בישראל ובעולם ושל משרד הבריאות לאמת את האבחון של PGD ע"י בדיקה טרום-לידתית (סיסי שלייה/מי שפיר).

המגבלות

התהליך נועד להפחית את הסיכוי להולדת ילד החולה במחלה גנטית הקיימת במשפחה. על כן רק

זוגות עם אבחנה גנטית ברורה המעידה על נשאות של מחלה, אשר המוטציה הגנטית אותרה במשפחתם, יכולים לבצע אבחון טרום-השרשתי. לא ניתן לבדוק הימצאותם של תסמונות גנטיות אחרות או של מומים שלא ידועים מראש.

בנוסף חשוב לדעת שבכל היריון רגיל ללא קשר לשום מחלה גנטית ישנו סיכוי של 2%-3% להימצאותם של מומים מולדים בעובר. הפריה חוץ-גופית עם מיקרו-מניפולציה מעלה במעט (כ-1%-0.5%) את הסיכון הזה. כל המחקרים שנעשו עד היום מראים ש PGD-אינו מעלה את הסיכון למומים מעבר ל-4%-3.5% הנובעים מהמיקרו-מניפולציה. על כן יש צורך במעקב היריון רגיל גם לאחר שהושג היריון בעזרת אבחון טרום-השרשתי.

מחלות שניתן לאתר באמצעות PGD

במסגרת PGD ניתן לאתר מומים רבים ומגוונים. המחלות הנפוצות ביותר שבהן נעזרים ב-PGD הן מחלות אוטוזמליות רצסיביות חמורות – מחלות המועברות משני בני המין, כאשר כל אחד מההורים הוא נשא של המחלה.

המחלות העיקריות שבהן נעזרים באבחנה מוקדמת עם PGD הן: ציסטיק פיברוזיס (CF), תלסמיה חמורה, אנמיה חרמשית, מחלת SMA (מחלה נירולוגית תורשתית), מחלת הנטינגטון, תסמונת ה-X השביר, המפוליה, ניוון שרירים על שם דושן (שתי המחלות האחרות מועברות בתאחיזה ל-X) ועוד.

לאור כך שניתן לאתר מחלות ידועות מראש, תהליך PGD מתאים בעיקר לזוגות שנמצאו נשאים למחלות גנטיות תורשתיות חמורות (אם בבדיקה שלפני ההיריון או לאחר לידה של ילד חולה).

במקרים כאלו, כאשר ההורים מעוניינים בלידה של ילד בריא אך לא מעוניינים בהפסקת הרייון בלתי רצוי, PGD היא השיטה מתאימה ביותר. כמובן שעבור PGD לא ניתן להרות באופן טבעי ורגיל, ויש צורך במחזוריים של הפריה מלאכותית (IVF) על כל הכרוך בכך.

מעניין!

מלבד איתור של מחלות גנטיות, קל לבדוק גם את מין העובר ב-PGD. מין העובר נקבע על ידי נוכחות של כרומוזום המין Y. שני כרומוזומי X מביאים להתפתחותה של בת, ואילו כרומוזום X אחד וכרומוזום Y אחד מביאים להתפתחותו של בן.

באופן תיאורטי ומעשי, ניתן לבחור כך את מין העובר שייוולד לאחר הפריית מבחנה. אפשרות זו מעלה שאלה אתית קשה וחמורה – האם הסוף לבחירה יהיה המין של העובר בלבד, או שמא ההורים ירצו לבחור גם תכונות אופי גנטיות אחרות?

האם ראוי שבני זוג יבחרו את מין העובר שלהם? מדינות רבות הטילו מגבלות חוקיות על אפשרות זו. בישראל, ניתן לבחור את מין העובר באמצעות PGD לאחר אישורה של ועדה מיוחדת לעניין זה, כאשר מתקיימים התנאים הבאים: יש חשש לפגיעה מהותית נפשית או בריאותית בילד או במשפחתו אם לא תיערך בחירה מראש של העובר (למשל: מחלות תורשתיות של מין אחד בלבד), ולהורים המבקשים יש לפחות ארבעה ילדים בני אותו מין, ללא ילדים מהמין השני – כל אלו בכפוף להחלטת הוועדה ובהתאם להנחיות מפורטות נוספות.

אפשרויות הבדיקה מעוררות שאלות אתיות רבות. המועצה הלאומית לביואתיקה והאקדמיה הלאומית הישראלית למדעים פרסמו מסמך "הנחיות והיבטים אתיים לביצוע אבחון גנטי טרום-השרשתי בישראל" (2008).
(bioethics.academy.ac.il) המתייחס לחלק מסוגיות אלה.

המלצה : פעילות מתוקשב ת " ייעוץ גנטי "
<http://science.cet.ac.il/science/genetics/gene7/gene7-doctors.asp>

מקורות

[/http://www.szmc.org.il](http://www.szmc.org.il)
[http://www.rambam.org.il/RambamInfo/ADAMMagazine/Issueno12072008/Pages/Developmentsandinnovationsinthefieldofartificialfertilization\(IVF\).aspx](http://www.rambam.org.il/RambamInfo/ADAMMagazine/Issueno12072008/Pages/Developmentsandinnovationsinthefieldofartificialfertilization(IVF).aspx)
<http://www.medicalmedia.co.il/publications/ArticleDetails.aspx?artid=4995&sheetid=343>
<http://www.genes.co.il/%D7%98%D7%A8%D7%95%D7%9D-%D7%94%D7%A9%D7%A8%D7%A9%D7%94>

הכנת רקע מדעי לפעילות "בדיקות גנטיות"

מגישה: אורלי פלוטקין

בהנחיית ד"ר יעל שורץ

חשיבות הפרקטית של פרויקט גנום אנשי:

1. אפשרות לזהות גנים להבחנה (דיאגנוזה)
2. הבנת התפתחות המחלה
3. הבנת תגובות אפשריות לטיפול
4. הבנת יחסי גומלין גן-גן וגם גן-סביבה
5. ריפוי גנטי
6. רפואה מותאמת אישית
7. קביעת ההורים הביולוגים
8. פיתוח טכנולוגיות ההבחנה

מחלות גנטיות מוגדרות כמחלות הנגרמות ע"י שינוי בחומר תורשתי. שינוי זה יכול להיות כרומוזומלי (לדוגמא – תסמונת דאון) או שינוי נקודתי בגנים (לדוגמא – סיסטיק פיברוזיס) מחלה אשר מופיעה ביותר מלידה אחת ל-15,000 לידות נחשבת לשכיחה יחסית. החומר התורשתי מאורגן באדם ב- 46 כרומוזומים אשר מהווים שתי ערכות: 23 כרומוזומים ממקור אימה ו- 23 כרומוזומים ממקור אבהי. מבין 23 זוגות לא כולם שווים. ישנם 22 זוגות כרומוזומים רגילים (הנקראים כרומוזומים אוטוזומליים) וזוג של כרומוזומי מין X ו-Y. מוטציות כרומוזומליות הינן תוצאה של שינוי במספר הכרומוזומים. אחת הדוגמאות הינה טרנסלוקציה רוברטסונית - שני כרומוזומים שאינם הומולוגים מחליפים ביניהם קטעי כרומוזום-

המביאה למספר מחלות (דוגמא – סינדרום דאון)

סרטון המסביר מנגנון ההיווצרות של מחלה כרומוזומלית

<https://www.youtube.com/watch?v=vbGw4VanNjk>

אצל אחוז קטן (כ-1%) של אנשים ישנם שינויים כרומוזומליים מאוזנים שאינם משפיעים על בריאותם, אך מעלים באופן משמעותי (עד -50%) סיכוי לילדים בעלי מחלות הנגרמות משינויים כרומוזומליים.

כיצד בודקים כרומוזומים?

קריוטיפ - סט כרומוזומים של פרט בודד שהוא ייצוג ומספור הכרומוזומים.

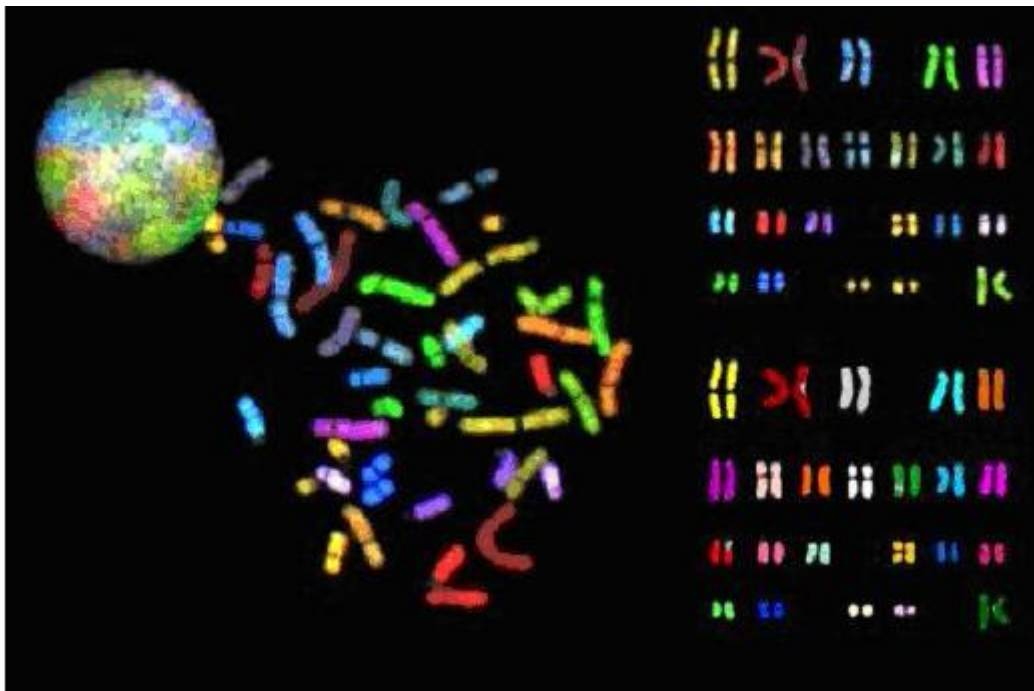
- מאפשר גילוי המין (יש או אין כרומוזום Y)
- מאפשר גילוי הפרעות כרומוזומליות (טרנסלוקציה, טריזומיה, מונוזומיה).
- בדיקת קריוטיפ מתבצעת כחלק מבדיקת מי שפיר (בשבוע 14-20), או בדיקת סיסי שיליה (בשבוע 10-13) במהלך ההריון.

לצורך בדיקה משתמשים בתאים מתחלקים . כיוון שתאי הדם שלנו הם תאים ממוינים , בעלי תפקיד מוגדר, יש צורך בפעולה שתגרום להם להתחלק.
 תאי הדם האדומים וטסיות הדם לא מתחלקים כלל כי אין להם גרעין , תאי הדם הלבנים מתחילים להתחלק בקצב רב רק כאשר גופנו נחשף לגורם מחלה כלשהו.
 אחת השיטות להכנת תכשיר מלימפוציטים :

- לימפוציטים מדם פריפרי – 0.5-10 מ"ל דם שמטופלים בפיטוהמגלוטינין (חומר הגורם להתחלקות של לימפוציטים). את התרבית קוצרים לאחר 48 שעות.
- עוצרים את המיטוזה בשלב המטאפזה בעזרת כימיקל (כמו קולכיצין) הגורם להתפוררות סיבי הקישור.
- גורמים להתנפחות הגרעין על ידי הוספת תמיסה היפו טונית.
- מפזרים את הכרומוזומים על זכוכית נושאת במיקרוסקופ.
- צובעים בצבע הנקשר ל DNA .

טכניקה FISH לזיהוי כרומוזומים, הינה טכניקה חדשה יחסית, הנעזרת בסימון פלואורוסנטרי ובמיקרוסקופיה פלואורוסנטרית ומאפשרת גם בדיקת הכרומוזומים בתאים הנמצאים בשלב שבין חלוקות התא (אינטרפזה)

הצגת השיטה : <https://www.youtube.com/watch?v=dRmWZ3IUjFo>



תמונה 1: צביעת בטכניקת FISH של תאי האדם במטאפזה

- את השיטות שמטרתן לבדוק מוטציות בגנים ניתן לחלק לשתי קבוצות עיקריות :
- שיטות המכוונות לגילוי מוטציות ידועות
 - שיטות המכוונות לגילוי מוטציות חדשות

קיים מספר רב של שיטות המאפשרות לקבוע נוכחות המוטציה ובסיס הביוכימי של השיטות הוא אנ היברידיזציה רצפים של או ליגונוקלאוטידים - שרשרות קצרות בהן רצף נוקלאוטידים ידוע והנוקלאוטידים מסומנים באיזוטופים רדיואקטיביים או בחומרים פלורסנטיים.

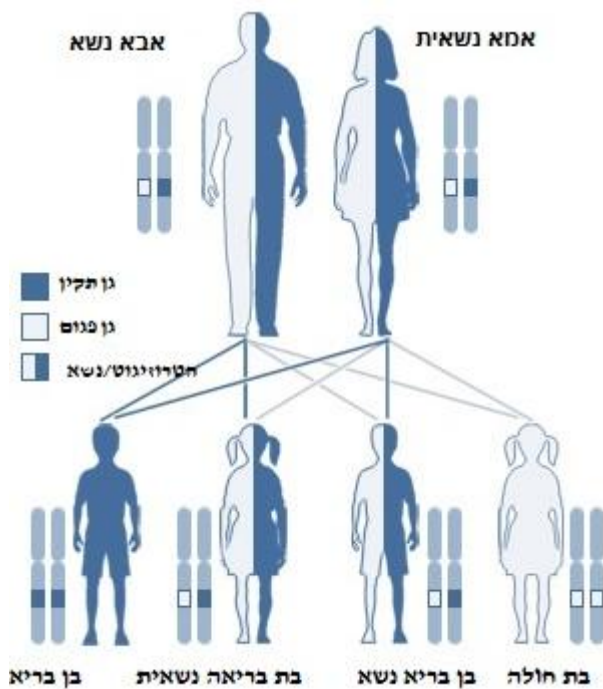
<https://www.youtube.com/watch?v=nm8Ai1CI9Is>

אנ אמפליפיקציה (ריבוי העתקים) רציפים של נוקלאוטידים שנבדקים בשיטות שונות.

גנים (genes) הינם יחידות תורשה אשר אחראיות על תכונות תורשתיות. לכל גן יש תפקיד מסוים ותכונה תורשתית מסוימת עליה הוא אחראי. גנים אשר מצויים על כרומוזומים רגילים עוברים **בתורשה אוטוזומלית**, גנים אשר נמצאים על X או על Y עוברים מדור לדור **בתורשה אחיזה למין**

בדיקות הסקר הגנטיות מומלצות לזוגות באוכלוסייה לפני היריון או בתחילתו, ומותאמות לבני הזוג ביעוץ אישי עם יועצת גנטית ועל פי מוצאם.

בדיקות סקר הן בדיקות גנטיות, המומלצות לאוכלוסייה הכללית גם ללא סיפור של מחלות/פיגור במשפחה, לאיתור זוגות נשאים בסיכון ללידת ילדים עם מחלות גנטיות חמורות ושכיחות שאין להן טיפול.



כמעט כל המחלות הנבדקות בסקר (פרט לאחת - תסמונת ה-X השביר) מורשות בצורה הנקראת **אוטוזומלית רצסיבית** מחלות גנטיות אלה מופיעות באופן זהה בבנים ובבנות.

במחלות רצסיביות פרט יכול להיות חולה אך ורק אם שני העותקים של הגן פגומים. מצב זה אפשרי רק אם שני הוריו נשאים, כלומר נושאים את המוטציה למחלה בעותק אחד של הגן שלהם. נשאים הם בריאים לחלוטין, אולם רק במקרה ששני נשאים מתחתנים ישנו סיכון של 25% לצאצא חולה בכל היריון.

שכיחות הנשאים של המחלות הנבדקות בסקר היא גבוהה (בין 1:100-1:25 נשאים), ולכן קיים סיכוי ששני נשאים יתחתנו ויהיו בסיכון ללידת ילד חולה, גם אם אין היסטוריה משפחתית של מחלות.

קיימים גם מחלות גנטיות מסוגים אחרים:

מחלות אוטוזומליות דומיננטיות – מחלות שמופיעות באותו אופן בבנים ובבנות ומספיק עותק אחד של הגן הפגום כדי שהמחלה תתפרץ. למחלות אוטוזומליות דומיננטיות אין צורך בביצוע בדיקות סקר גנטי משום שידוע מראש שיש סיכוי להעביר את המחלה לדור הבא. במקום זאת, המשפחה מופנית לאבחון טרום לידתי אשר יכול לקבוע האם העובר קיבל את הגן המוטנטי.

הכנת רקע מדעי לפעילות "אוכלים חרקים"

מגישה: אורלי פלוטקין

בהנחיית ד"ר יעל שורץ

כמיליארד בני אדם ברחבי העולם סובלים היום מרעב כרוני. ב־2050 תצמח אוכלוסיית כדור הארץ ל־9 מיליארד, ועמה תצמח משמעותית גם הדרישה לחלבון, במיוחד במדינות מתועשות וצפופות כמו סין והודו. ב־20 השנה האחרונות עלתה צריכת הבשר הממוצעת לאדם בסין מ־20 ק"ג ל־50 ק"ג בשנה. במקביל מראים המחקרים שתעשיית הבשר היא אחד המזהמים הגדולים ביותר בכדור הארץ. מחקר אחד של האו"ם, למשל, הראה שייצור בשר אחראי ל־14%-22% מפליטת גזי החממה לאטמוספירה. על פי ארגון "חמלה בחקלאות העולם (Compassion in World Farming), אם כל משפחה ממוצעת באנגליה תקצץ בחצי את צריכת הבשר שלה - התרומה לסביבה תהיה גדולה מאשר אם אותה משפחה תקצץ בחצי את השימוש שלה במכונית.

נכון ליום אנו יודעים על קיומם של כ-1 מיליון בעלי חיים, מתוכם 50% - חרקים בדיוק על רקע הנתונים האלה קמו התומכים באנטומופגיה והכריזו שגידול חרקים הוא הפתרון למצוקת המזון. הם טוענים שההגעות מהעניין היא אך ורק מוסכמה חברתית של המערב, ושמכל הדרכים להעשיר את אספקת החלבון בעולם, זאת המזינה והידידותית ביותר לסביבה. המחקר בתחום אמנם עדיין בחיתוליו, אבל יש כבר לא מעט ראיות מדעיות שתומכות בטענותיהם. ראשית, ההרכב התזונתי הבריא של החרקים ברור היום יותר מאי פעם. בקילו חגבים מטוגנים יש פי שלושה יותר חלבון מאשר בקילו בקר, והם גם עשירים במינרלים כמו ברזל ואבץ. גם בחרקים אחרים אפשר למצוא כמות חלבון גדולה כמו בבשר, ואף גבוהה ממנו. גם מבחינת איכות הסביבה המאמרים בעד. כך, מחקר שפרסמו בשנה שעברה מדענים מאוניברסיטת ווגנינגן בהולנד השווה בין הזיהום שנוצר מגידול חזירים לזה שגורם גידול חמישה זנים של חרקים. התוצאות נטו באופן ברור לטובת החרקים - הם כמעט לא ייצרו אמוניה וייצרו עשירית מכמות ה־CO₂ על כל קילוגרם של מזון. הגידול של החרקים מסתמן כפשוט וכלכלי יותר: הם בעלי דם קר, מה שהופך את הגידול שלהם לפי ארבעה יותר חסכוני באנרגיה מגידול בקר (הם לא זקוקים לאנרגיה ממזון כדי לחמם את גופם); הם גדלים מהר יותר; והם גם אכלנים לא בררנים, ואפשר להזין אותם במוצרי לוואי שאחרת היו פשוט נזרקים. ועוד משהו: מכיוון שהם כל כך שונים גנטית מבני אדם, הסיכוי שחרקים ידביקו אותנו במחלות מסוכנות, כאלה שכבר חטפנו מפרות, חזירים או עופות, קטן מאוד.

לנוכח כל העובדות הללו, קובעי המדיניות מתחילים להבין שהם צריכים לחבק את החרקים. הולנד, החלוצה בתיעוש התזונה החרקית, הקצתה לאחרונה מיליון יורו לפיתוח מוצרי מזון מבוססי חרקים. שלוש חברות הולנדיות שעד כה גידלו חרקים בעיקר להאכלת בעלי חיים מפתחות בשנתיים האחרונות לייץ של מוצרי מזון חרקיים לבני אדם. בצד השני של העולם, האוניברסיטה הלאומית של לאוס, שבשיתוף האו"ם כבר מקיימת סדנאות לחקלאות חרקים, החלה בשנה החולפת לערוך מחקרים מתקדמים בייעול חוות גידול.

ביל גיטס בבלוג מציג סרטון :

<https://www.youtube.com/watch?v=jjlVq5GiHbo>

וגם כותב על פתרונות אפשריות לבעיית הרעב . הוא מציין שבנוסף לחרקים , בעתיד כנראה נאכל אצות ומדוזות.

החל מספטמבר 2014 **בבלגיה** נמכרים מוצרי מזון המיוצרים מחרקים , אחרי שממשלת בלגיה אישרה גידול חרקים למזון בדצמבר 2013 .
כיום מוכרים כ-1900 מינים של חרקים שראויים למאכל האדם .
על פי נתונים של FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) ,
חרקים מהווים חלק מסורתי ממזונם של 2 מיליארד אנשים .
הנפוצים ביותר בין החרקים הנאכלים הם חיפושיות (31%) , זחלים (18%) , דבורים , צרעות
ונמלים (14%) חגבים , ארבה וצרצרים (13%)

בקישור הבא סרטון המציג גידול החרקים לצורכי המזון:

<http://www.fao.org/news/audio-video/detail-video/en/?uid=9906>

בשר מהווה עבורנו מקור לחלבון , אך מהשוואה ניתן לראות שגם חרקים יכולים להיות מקור מצויין לחלבון . יש לקחת בחשבון שחלבון של חרקים מכיל את כל ה-20 חומצות אמיניות הדרושות לבניית החלבון בגופנו .

מקור המזון	חלבון (גר/100 גר' מזון)	חומרים שומניים (גר/100 גר' מזון)	ברזל * (מ"ג ל-100 גר)	סוג של רב-סוכר
בשר בקר	23.5	21.2	6	גליקוגן
חגבים	20.6	6.1	8	כיטין
טרמיטים	14.2	2.2		כיטין
דבורים	13.4	1.4		כיטין

* חרקים מהווים מקור מצויין ליוני אבץ ויוני סידן

חלק מחרקים הנאכלים היום בעולם :

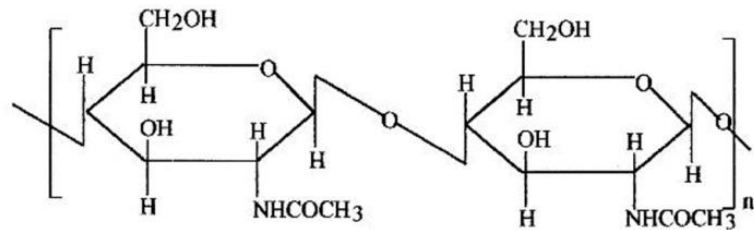
זחלים של פרפרים	חיפושיות
	
טרנטול	נמלים
	
תריסיתיים	גלמים של דבורים
	

והחרק הכשר – ארבה:

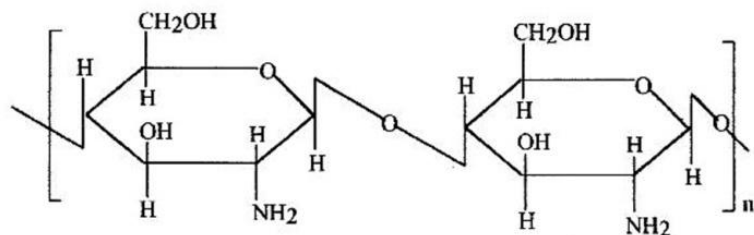


בנוסף לחומרים בעלי ערך קלורי בחרקים יש חומרים שלא מתעכלים, אחד מהם הוא כיטין. לחרקים אין שלד פנימי, השלד החיצוני שלהם בנוי בעיקר מרב-סוכר כיטין (נמצא גם בדפנות התאים של פטריות וחלק מאצות).

כיטין אינו מסיס במים, אתנול, אתר וממסים אורגניים אחרים, אינו מסיס גם בחומצות חלשות. חימום בתמיסה בסיסית חזקה בטמפרטורה C 150-200⁰ גורם לפירוק הפולימר לחומצה אצטית וכיטוזן, ניתן לזהות כיטוזן על פי צבע סגול של תמיסת יוד.



Chitin



Chitosan

מקור התמונה : <http://www.intechopen.com/books/biodegradation-life-of-science/biodegradable-polymers>

במערכת העיכול של יונקים (כולל אדם) אין אנזימים שמפרקים כיטין ולכן אפשר להגדיר כיטין כסיבים תזונתיים בדומה לתאית.

אחד משימושים של כיטוזן – ספיחה של חומרים במערכת העיכול. לדוגמה, הוא סופח חומצות שומניות במערכת העיכול לפני ספיגתן אל הדם. החיסרון שכיטוזן סופח אליו גם חלק ממינרלים וויטמינים. חומרים כיטין וכיטוזן נחקרים גם לצורך יצור טקסטיל

יש לקחת בחשבון צריכה מסיבית של חרקים למאכל יכולה לעורר בעיה אחרת – פגיעה בשרשרת המזון בטבע, ולכן הפתרון חייב לשלב גידול חרקים המיועדים לאכילה. מעניין לדעת - אדם אוכל במהלך חיו כ-500 גרם חרקים בלי לשים לב!

מקורות מידע

- [/http://www.fao.org/news/story/en/item/175922/icode](http://www.fao.org/news/story/en/item/175922/icode)
 - [/http://mashable.com/2013/03/21/bill-gates-future-of-food](http://mashable.com/2013/03/21/bill-gates-future-of-food)
 - <http://www.calcalist.co.il/local/articles/0,7340,L-3558374,00.html>
 - http://run.unl.pt/bitstream/10362/13306/1/Ardiyanti_2014.pdf
- מתכון למאכל ארבה
- <http://www.kikar.co.il/%D7%9E%D7%AA%D7%9B%D7%95%D7%9F-%D7%90%D7%A8%D7%91%D7%94-%D7%9E%D7%95%D7%A7%D7%A4%D7%A5-%D7%91%D7%A8%D7%95%D7%98%D7%91-%D7%AA%D7%A4%D7%95%D7%96%D7%99%D7%9D.html>