

## פרקו זאת לגורמים! כיצד מדענים מכינים דלק מצמחים

Celia E. S. Luterbacher<sup>1\*</sup>, Jeremy S. Luterbacher<sup>2</sup>

<sup>1</sup>פרויקט מוח האדם, המכון הפדרלי לטכנולוגיה בלזון (EPFL), לוזן, שוויץ  
<sup>2</sup>המכון למדעי הכימיה וההנדסה, המכון הפדרלי לטכנולוגיה בלזון (EPFL), לוזן, שוויץ

כשאתם נוסעים באוטובוס לבית הספר בבוקר, המסע שלכם ככל הנראה מתודלק על-ידי דיזל או בנזין, שניהם מיוצרים מנפט. נפט הינו **דלק מאובנים**, מה שאומר שהוא מורכב מיצורים חיים שהתפרקו והתאבנו, כמו למשל צמחים קדמונים, פלנקטון (שם כולל ליצורים זעירים החיים במים) ואצות, אשר נקברו במשך מיליוני שנים מתחת לפני השטח של כדור הארץ.

דלקי מאובנים כמו נפט, גז טבעי ופחם נלקחים ממעמקי כדור הארץ ומשמשים להנעת רכבים, לחימום בתים ולהפקת חשמל. בנפט אפשר להשתמש גם לייצור כימיקלים שונים (הנקראים מוצרים פֶּטְרוֹכימיים), שמהם מייצרים מוצרים יומיומיים רבים, כמו מוצרי פלסטיק שונים.

היתרון בדלקי מאובנים הוא שצפיפות האנרגיה שלהם גבוהה מאוד, כלומר הם מכילים כמות גדולה של אנרגיה בכל יחידת נפח. משמעות הדבר היא שדלקי מאובנים הם מוצלחים מאוד בהנעת רכבים ובייצור חום. החיסרון של דלקי מאובנים הוא שבכדור הארץ יש כמות מוגבלת שלהם. מאחר שלדלקי מאובנים לוקח מיליוני שנים להיווצר, אנו בסופו של דבר נסיים את המאגרים הקיימים לפני שיספיקו להיווצר מאגרים חדשים. נוסף על כך, שריפת דלקים מאובנים או כימיקלים מבוססי נפט משחררת פחמן דו-חמצני (פד"ח, ובאנגלית CO<sub>2</sub>). פד"ח מוכר בתור "גז חממה", מאחר שהוא כולא את קרני השמש בתוך האטמוספירה של כדור הארץ

### סוקרים צעירים

FRENCH  
AMERICAN  
INTERNATIONAL  
SCHOOL  
גיל: 13-14



### דלק מאובנים (Fossil fuel)

דלקי מאובנים נוצרים מתחת לאדמה במשך מיליוני שנים, והם מורכבים מחומר אורגני שמקורו ברקמות של חיות וצמחים קדמונים. דלקי מאובנים כוללים פחם, גז טבעי ונפט. נפט יכול להיות מזוקק לדלקים אחרים, כמו למשל דיזל או בנזין.

## התחממות גלובלית (Global warming)

כאשר כמות גדולה מדי של גז הפחמן הדו-חמצני (פד"ח, ובאנגלית CO<sub>2</sub>) נכנסת אל האטמוספירה, הגז יכול לכלוא את קרני השמש בתוך האטמוספירה. תופעה זו נקראת אפקט החממה, והיא עשויה להוביל לעלייה כללית בטמפרטורה של כדור הארץ, תופעה אשר מכנה התחממות גלובלית.

## בר-קיימא (Sustainable)

בהקשר הסביבתי, חומר הוא בר-קיימא אם אפשר להשתמש בו באופן ממושך, בלי שהוא יאזל ובלו שתהיה לו השפעה כללית שלילית על הסביבה. לדוגמה, אנרגיה מתחדשת היא בת-קיימא מאחר שאנו יכולים לייצר אותה בלי לגרום נזק משמעותי לסביבה. בקנה מידה גדול יותר, מערכת אקולוגית היא בת-קיימא אם היא יכולה להתקיים לאורך זמן עם רמות סבירות של מגוון ביולוגי, יצרנות ומשאבים.

## דלק ביולוגי (Biofuel)

סוגים מסוימים של חומרים צמחיים (ראו למטה - ביומסה) יכולים להיות מעובדים לצורה של דלקים נוזליים או גזיים אשר נקראים דלקים ביולוגיים. חלק מהדלקים הביולוגיים יכולים לספק תחליפים מתחדשים לדלקי מאובנים שבהם משתמשים כיום, כמו בניין.

## ביומסה (Biomass)

מונח כולל שמתייחס לכל חומר אורגני (הכולל פחמן) שמקורו מחומר חי, כמו למשל צמחים. ביומסה צמחית מיוצרת משלוש מולקולות עיקריות: צלולוז (Cellulose), הֶמִיצֵלוֹז (Hemicellulose) וליגנין (Lignin). סוגי ביומסה המשמשים עבור דלקים ביולוגיים כוללים צמחים ופסולת צמחית, כמו למשל עשבים, גבעולי תירס ושבבי עץ.

ובכך מתפקד בדיוק כמו גג הזכוכית של חממה. שריפת דלקי מאובנים מעלה את ריכוזי הפד"ח באטמוספירה, דבר שעשוי להוביל להפרעות במזג האוויר, ובפרט להתחממות גלובלית [1].

בעקבות עליית המודעות לבעיות האלה, מדענים ומהנדסים עובדים קשה כדי למצוא סוגים חדשים של דלקים וכימיקלים שאינם מוסיפים פד"ח לאטמוספירה, ושלאפשר לחדש את אספקתם בעת הצורך. דלקים וכימיקלים אשר עונים על הדרישות האלה נקראים "ברי-קיימא". בהקשר הסביבתי, חומר הוא בר-קיימא אם אפשר להשתמש בו באופן ממושך, בלי שהוא יאזל ובלו שתהיה לו השפעה כללית שלילית על הסביבה.

**דלק ביולוגי** (או ביו-דלק) הוא סוג אחד של דלק שנראה מבטיח עבור עתיד האנרגיה שלנו, מאחר שהוא גם מתחדש וגם ידידותי לסביבה. במילים אחרות, דלק ביולוגי הוא בר-קיימא.

דלקים ביולוגיים מיוצרים לרוב מחומרים מן הצומח שבני אדם אוכלים, כמו למשל גבעולי תירס, עשבים ושבבי עץ. **ביומסה** הוא שם נוסף לחומרים מן הצומח המשמשים לייצור דלקים ביולוגיים. כאשר ביומסה נקצרת ומעובדת, מדענים יכולים לפרק את תאי הצמח ולהמירם לדלקים מתחדשים או לכימיקלים. כך, במקום לחכות מיליוני שנים עד שהטבע יהפוך את הצמחים לדלקי מאובנים, מדענים מנסים להאיץ את התהליך הזה באמצעות שימוש חכם בכימיה כדי ליצור דלקים ביולוגיים מצמחים שצומחים כיום.

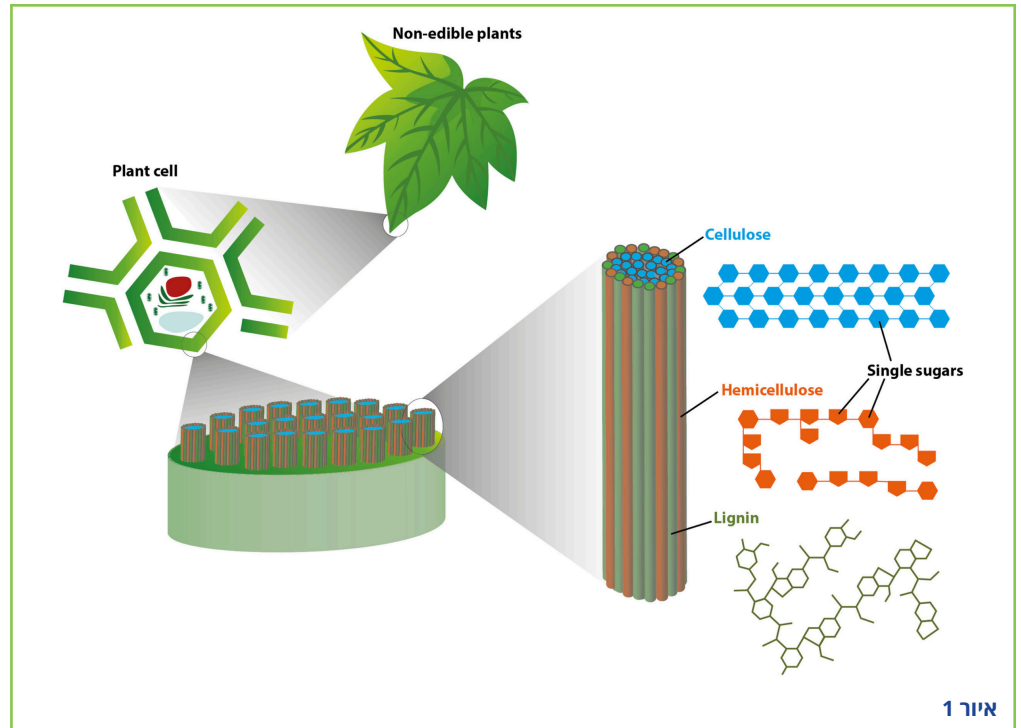
אבל, רק רגע – אם שריפת דלקי מאובנים, אשר עשויים מחומר אורגני, מכניסה עוד פד"ח לאטמוספירה... האם שריפת דלקים ביולוגיים אינה יוצרת את אותה הבעיה? למזלנו, התשובה היא לא. שריפת דלק ביולוגי אכן משחררת פד"ח, אולם זיכרו שהצמחים אשר משמשים לייצור דלקים ביולוגיים אינם קדמונים – הם חיים על פני כדור הארץ בימים אלה. צמחים מייצרים את מזונם בעזרת פד"ח, מים ואנרגיית האור. משמעות הדבר היא ששריפת הדלקים הביולוגיים אינה מגדילה את הכמות הכוללת של הפד"ח באטמוספירה, מאחר שכמות הפד"ח שנפלטת בעת השריפה היא אותה הכמות שהצמחים צרכו בעת צמיחתם. כלומר, הצמחים רק משחררים את מה שהם צרכו מלכתחילה. כמו כן, שלא כמו במקרה של נפט, אנו תמיד יכולים לגדל בעת הצורך צמחים חדשים עבור דלקים ביולוגיים.

אם כן, אם דלקים ביולוגיים הם ברי-קיימא וידידותיים לסביבה, הם וודאי הפתרון המושלם לבעיות האנרגיה שלנו, לא כן? לרוע המזל, התהליכים שבהם מדענים משתמשים כדי להפוך את הביומסה לדלק ביולוגי עשויים להיות יקרים מאוד. תגובות כימיות יקרות משמעותן דלקים ומוצרים ביולוגיים יקרים, ומרבית הצרכנים מעדיפים לבחור בבנזין רגיל או בפלסטיק מאשר במוצרים "ירוקים" יקרים יותר. נוסף על כך, חלק מהתגובות הכימיות הנדרשות ליצירת דלקים ביולוגיים כוללות כימיקלים חזקים אשר יכולים בעצמם ליצור בעיות סביבתיות, מה שמחזיר אותנו לנקודת ההתחלה ביחס לנושא הקיימות [2].

כדי להבין כיצד צמחים מעובדים לדלקים שימושיים ולכימיקלים, עלינו להבין ראשית ממה הצמחים עשויים. דפנות תאי הצמח אחראיות כמעט לכל משקלו של הצמח, והן עשויות משלוש מולקולות מורכבות שנקראות צלולוז, הֶמִיצֵלוֹז וליגנין. שתי המולקולות הראשונות, צלולוז והמיצלוז, מורכבות מיחידות בסיס העשויות מסוכר, אשר אסופות יחדיו במבנה מהודק שנתמך על-ידי המולקולה השלישית – ליגנין (ראו איור 1). כדי להגיע אל יחידות המבנה

## איור 1

איור זה מציג את המבנה הבסיסי של רקמות צמחים, החל מרמת העלה (מלמעלה): צמחים בלתי אכילים ובתקריב אל תוך רמת התא (משמאל): תא צמחי. כפי שאתם יכולים לראות, ברמה התאית מולקולות צלולוז ארוכות (מימין, בכחול) מאורגנות יחדיו בצורות שמוקפים על-ידי המיצלולוז (מימין, בכתום) וליגינין (מימין, בירוק). המבנה המהודק הזה מסייע ביצירת רקמות צמחיות חזקות ועמידות.



## ממס (Solvent)

בכימיה, ממס הוא נוזל או גז אשר מסוגל להמיס חומר אחר, שנקרא מומס. כאשר מוסיפים ממס למומס מקבלים תערובת שנקראת תמיסה (Solution).

## GVL

קיצור של גמא-וֵלְרוֹלַקְטוֹן (Gamma-valerolactone). זהו כימיקל אשר קל להפיק מצמחים. בניסוי שלנו השתמשנו ב-GVL בתור ממס כדי להמיס צמחים. בעבר השתמשו ב-GVL בתעשיית התרופות וכן בתעשיית הבשמים, מאחר שיש לו ניחוח צמחי מתוק.

## תגובה כימית (Chemical reaction)

תגובה כימית מתרחשת כאשר האטומים בדגימה כלשהי מסתדרים מחדש, מה שמוביל לשינוי בתכונות הכימיות של הדגימה. תגובה כימית יכולה להתרחש רק מהשלב שבו היא צברה מספיק אנרגיה. כמות האנרגיה המינימלית הזו, שדרושה עבור התחלת התגובה, נקראת אנרגיית שפעול (Activation energy).

העשויות מסוכר ולהפיק מהן דלקים ביולוגיים, צריך לפרק את שלוש המולקולות המורכבות האלה.

פתרון אפשרי אחד הוא להשתמש ב**ממס** – נוזל בעל תכונות כימיות שמאפשרות לו להמיס חומרים אחרים, כמו צמחים. מרביתנו משתמשים בממסים ביומיים, אפילו שאיננו מודעים לכך. לדוגמה, אתם משתמשים במים כממס בכל פעם שאתם שוטפים את הידיים או מכינים שוקו חם מאבקה.

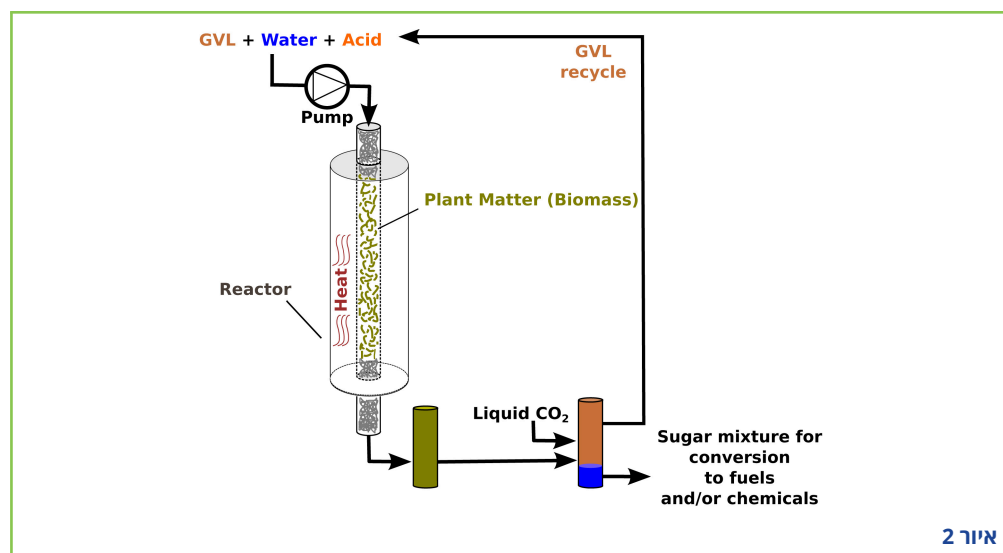
לעיתים, רק סוג אחד של ממס מסוגל לבצע את העבודה. לדוגמה, מים יכולים להמיס אבקת קקאו בעת הכנת שוקו חם, אולם אינם מסוגלים להסיר לק מהציפורניים – לצורך זה, יש להשתמש בכימיקל שנקרא אצטון.

לרוע המזל, עד לעת האחרונה חוקרי אנרגיה לא הצליחו למצוא ממס שיהיה (א) זול, (ב) בר-קיימא, ו-(ג) יעיל בפירוק צמחים. אולם כעת, גילינו ממס חדש ומעניין מאוד שנקרא גמא-וֵלְרוֹלַקְטוֹן (gamma-valerolactone, או GVL בקיצור), אשר עשוי להוזיל בהרבה את העלויות ולייעל את ייצור הדלקים הביולוגיים [3]. ה-GVL הוא ממס מעניין כל כך מאחר שלא זו בלבד שהוא זול אלא שהוא גם מתחדש, מפני שהוא מיוצר מהביומסה עצמה.

גילינו שאנו יכולים להשתמש ב-GVL כדי למצות יותר מ-70% מהסוכרים המקוריים שלכודים במבנה הדחוס של הביומסה, במטרה להפיק סוכרים פשוטים אשר קל הרבה יותר להמירם לדלק. התהליך הזה מודגם באיור 2, אשר מראה את התגובה הכימית כפי שהיא מתרחשת בתוך מכשיר ייעודי לייצור דלק ביולוגי שנקרא "בִּיּוֹרִיאָקְטוֹר". "ביוֹרִיאָקְטוֹר" הוא כלי קיבול ממתכת שבתוכו מתרחשות **תגובות כימיות** בתהליך ייצור הדלק הביולוגי. הביוֹרִיאָקְטוֹר מתוכנן במיוחד כדי לעמוד בתנאי החום והלחץ ובתנאים הכימיים הנדרשים לתהליך העיבוד.

## איור 2

המחשת תהליך ייצור הסוכרים מצמחים, תוך שימוש ב-GVL בתור הממס.



איור 2

שתי תכונות עיקריות של ה-GVL הופכות אותו לממס מצוין עבור מיצוי של סוכר:

(1) GVL מעודד את פעולתן של חומצות.

כדי שתגובה כימית כלשהי תתחיל, על המרכיבים המעורבים (המגיבים) לאגור תחילה מספיק אנרגיה. כמות האנרגיה הקטנה ביותר הדרושה להפעלת תגובה כימית נקראת "אנרגיית נְפִעוּל" (ראו איור 3). בתגובות שכיחות בתהליך הפקת דלקים ביולוגיים מערבבים הרבה חומצות עם מים כדי לסייע בפירוק הביומסה. תהליך הפירוק עשוי לקחת זמן מה, במיוחד במקרים של צמחים קשים או עציים מאוד, אולם הוספת GVL לתגובה מספקת לחומצות דחיפה אנרגטית חזקה. הדחיפה הזו עוזרת למערכת לאגור מהר יותר את אנרגיית השפעול שלה, כך שהתגובה יכולה להתרחש במהירות רבה יותר [4, 5], כפי שמתואר באיור 3.

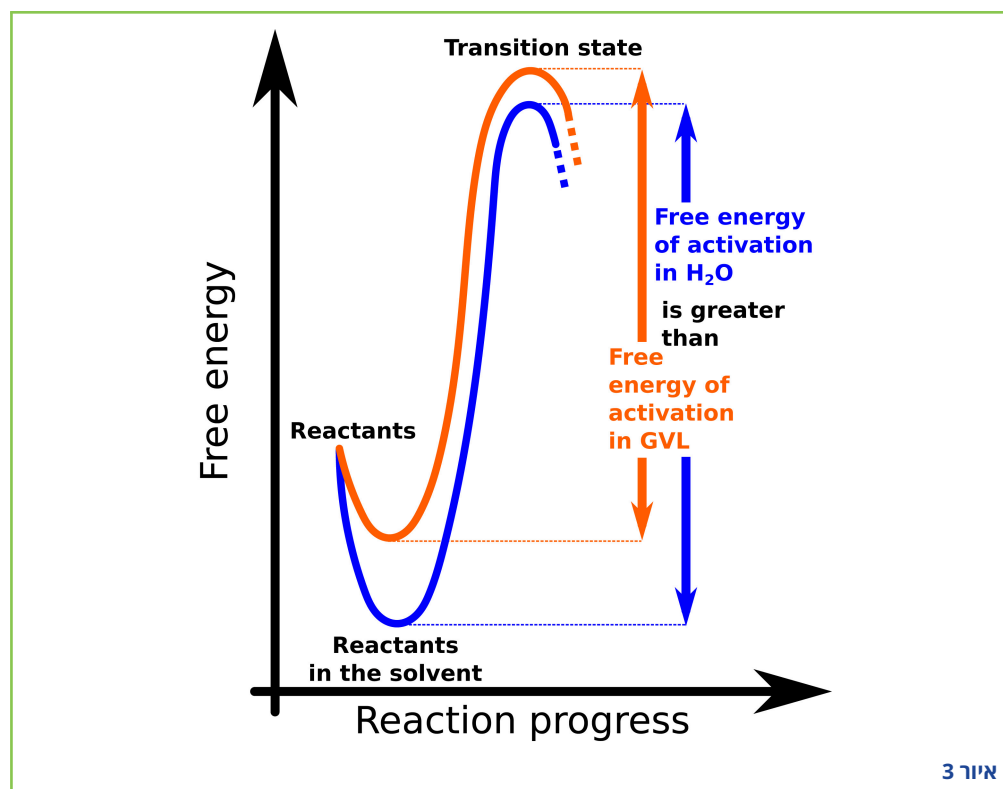
כדי להמחיש את התופעה הזו, דמיינו ששתי ילדות, דנה ואיריס, עומדות להתחרות אחת בשנייה בדרך לפסגה של גבעה תלולה. בדרך כלל, שתי הַרְצוֹת נדרשות לעמוד מאחורי קו הזינוק כדי לוודא שהמרוץ הוגן. אולם במרוץ הזה מאפשרים לדנה לקבל יתרון התחלתי: כאשר אות הפתיחה מצלצל דנה מתחילה לרוץ ממחצית הדרך במעלה הגבעה בעוד שאיריס צריכה להתחיל מתחתית הגבעה. מי אתם חושבים שתנצח? צדקתם – דנה תגיע לראש הגבעה לפני איריס. בדיוק באותו האופן שהיתרון ההתחלתי ממקם את דנה קרוב יותר לראש הגבעה בדימוי המרוץ הזה, כך ה-GVL מביא את החומצה קרוב יותר לנקודת הריאקציה עם הביומסה, מה שמאפשר לתגובה להתרחש מהר הרבה.

(2) GVL מסיר את מכשול הליגנין.

עבור צמחים, ליגנין חשוב מאוד: הוא מספק להם את צורתם ואת המבנה שלהם, ומסייע להם לגדול בצורה בריאה וחזקה. אולם עבור מדענים, הליגנין הוא מטרד – הוא מולקולה קשה ועקשנית שקשה מאוד לפרק, והיא מפריעה בתהליך של קבלת סוכרים פשוטים ממולקולות הצלולוז וההמיצלולוז. מדענים מקווים שיום אחד הם יצליחו לפרק את מולקולת הליגנין עצמה ולהפיק ממנה תוצרים מועילים, אולם לעת עתה הם רק שואפים להיפטר ממנה. ל-GVL יש יכולת בלתי שגרתית לפרק ליגנין ולמנוע ממולקולה זו לחסום את הפרס הגדול: אבני הבניין מסוכר, שהן עתירות אנרגיה.

### איור 3

הגרף הזה מדגים את שלבי ההתפתחות של תגובה כימית. "אנרגיה חופשית" היא לשם מפואר שמתייחס לכמות האנרגיה הרלוונטית לתגובה הכימית. תהליך התקדמות התגובה מייצג את השלבים שהמגיבים צריכים לעבור כדי להפוך לתוצרים הסופיים. אפשר לראות שבנוכחות GVL קל יותר להגיע לכמות הנדרשת של אנרגיה חופשית, ולכן הריאקציה מתרחשת מהר יותר (קו אדום).  
 Free energy = אנרגיה חופשית  
 = Reaction progress = התקדמות התגובה.



איור 3

הדבר הטוב ביותר, כנראה, בכימיקל ה-GVL הוא שאפשר למחזר אותו. בסוף תגובת ייצור הדלק הביולוגי אפשר להוסיף לביוריאקטור פד"ח נוזלי ולהפריד בין כל המגיבים כך שהם יהיו בשכבות נוזל שונות (איור 2 מימין). חשבו על בקבוק עם רוטב לסלט: השמן והחומץ אינם מתערבבים זה עם זה והם נשארים מופרדים לחלוטין עד שמנערים את הבקבוק. באותו האופן, כאשר מוסיפים פד"ח לביוריאקטור, ה-GVL ותמיסת הסוכרים הופכים להיות כמו הרוטב לסלט. כל הסוכרים מתרכזים בשכבה אחת (איור 2 מימין), בעוד שה-GVL יוצר שכבה נפרדת משלו. בשלב זה אפשר להסיר בקלות את ה-GVL ולהשתמש בו שוב, בעוד שתמיסת הסוכרים שמתקבלת היא מרוכזת בערך פי חמישה מהתמיסה שהייתה מתקבלת ללא ה-GVL. הריכוז המוגדל הזה הוא חשוב מאוד, מאחר שצריך להשקיע פחות אנרגיה בזיקוק של התוצר הסופי, מה שהופך את כל התהליך ליעיל יותר ופחות בזבזני.

לאחר שה-GVL הוסר מתקבלת תמיסת סוכר מרוכזת ויעילה מאוד. מדענים יכולים להשתמש בתמיסה עתירת האנרגיה הזו בשני אופנים:

1. הם יכולים לשדרג את הסוכרים באמצעות תגובות כימיות נוספות ולהפוך אותם למולקולות יעילות אחרות, אשר משמשות לייצור פריטים רבים שמיוצרים כיום מכימיקלים מבוססי נפט. משמעות הדבר היא שאפשר לעשות שימוש ב-GVL לשם ייצור חלופות בנות-קיימא לפלסטיק, לסבונים, לצבעים ולהרבה חומרים נפוצים אחרים.

2. הם יכולים להשתמש בסוכרים האלה כמזון למיקרואורגניזמים, כמו למשל שְׁמָרִים או חיידקים, אשר צורכים את הסוכר בתהליך חילוף החומרים שלהם, ומייצרים דלק כתוצר

של התהליך המטאבולי. דוגמה אחת לדלק כזה הוא הדלק הביולוגי אתנול (סוג של אלכוהול): הוא מסוגל להניע מכוניות, משאיות ומכונות אחרות ביעילות כמעט זהה לזו של בנזין. לחלק מהמיקרואורגניזמים יש תיאבון גדול במיוחד לסוכרים שמיוצרים מעיבוד של GVL, מאחר שהסוכרים האלה אינם מכילים כימיקלים חזקים שלעיתים קרובות משתמשים בהם בתגובות אחרות לייצור של דלק ביולוגי. כלומר, מיקרואורגניזמים יכולים לא רק לשרוד אלא גם לשגשג עקב צריכת סוכרים שמופקים מ-GVL. משמעות עובדה זו היא ש-GVL מתאים לשימוש גם עבור תגובות ביולוגיות אחרות – לא רק עבור תגובות כימיות. במחקר הזה השתמשנו במיקרואורגניזמים כדי לייצר אתנול, והריכוזים יצאו גבוהים כל כך עד שעלות זיקוק האתנול לצורה של דלק שמיש הייתה נמוכה.

מכל הסיבות שהוזכרו לעיל, שימוש ב-GVL מספק למדענים תקווה ליצירת דלקים ביולוגיים וכימיקלים שיכולים להתחרות במוצרי הנפט שבשוק. במשך מאות שנים בני האדם המציאו טכנולוגיות חדשות ופיתחו את התעשייה בקצב מדהים, לעיתים במחיר סביבתי כבד. לתהליך ייצור של דלק ביולוגי אשר עומד בדרישות של עלות סבירה, התחדשות וקיימות, יש פוטנציאל לתרום גם לבני האדם וגם לכדור הארץ. בעקבות גילוי תפקיד ה-GVL בעיבוד של דלקים ביולוגיים אנו מאמינים שהתקדמנו צעד אחד קרוב יותר לעבר עתיד בר-קיימא.

## מאמר המקור

Luterbacher, J. S., Rand, J. M., Alonso, D. M., Han, J., Youngquist, J. T., Maravelias, C. T., et al. 2014. Nonenzymatic sugar production from biomass using biomass-derived  $\gamma$ -valerolactone. *Science* 343:277–280. doi: 10.1126/science.1246748

## מקורות

1. Tester, J. W. 2005. *Sustainable Energy*. Cambridge, MA: MIT Press.
2. Luterbacher, J. S., Martin Alonso, D., and Dumesic, J. A. 2014. Targeted chemical upgrading of lignocellulosic biomass to platform molecules. *Green Chem.* 16:4816–38. doi: 10.1039/C4GC01160K
3. Luterbacher, J. S., Rand, J. M., Alonso, D. M., Han, J., Youngquist, J. T., Maravelias, C. T., et al. 2014. Nonenzymatic sugar production from biomass using biomass-derived  $\gamma$ -valerolactone. *Science* 343:277–80. doi: 10.1126/science.1246748
4. Mellmer, M. A., Sener, C., Gallo, J. M. R., Luterbacher, J. S., Alonso, D. M., and Dumesic, J. A. 2014. Solvent effects in acid-catalyzed biomass conversion reactions. *Angew Chem. Int. Ed.* 53:11872–5. doi: 10.1002/anie.201408359
5. Mellmer, M. A., Alonso, D. M., Luterbacher, J. S., Gallo, J. M. R., and Dumesic, J. A. 2014. Effects of  $\gamma$ -valerolactone in hydrolysis of lignocellulosic

biomass to monosaccharides. Green Chem. 16:4659–62. 10.1039/C4GC01768D

פורסם אונליין: 11 בינואר 2019

נערך על ידי: Berend Smit, École Polytechnique Fédérale de Lausanne Lausanne, Switzerland

ציטוט: Luterbacher CE and Luterbacher JS (2019) פרקו זאת לגורמים! כיצד מדענים מכינים דלק מצמחים. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2015.00010-he

### תורגם והותאם:

Luterbacher CES and Luterbacher JS (2015) Break it down! How scientists are making fuel out of plants. Front. Young Minds. 3:10. doi: 10.3389/frym.2015.00010

**הצהרת ניגוד אינטרסים:** המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

**COPYRIGHT** © 2015 Luterbacher and Luterbacher. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה). השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

## סוקרים צעירים

### FRENCH AMERICAN INTERNATIONAL SCHOOL, גיל: 12-13

בית הספר הבינלאומי הצרפתי-אמריקאי ממוקם בלב סן פרנסיסקו, והוא בית ספר יסודי ותיכון בינלאומי עצמאי ובו 1,080 תלמידים. בבית הספר היסודי ובחטיבת הביניים אנו מציעים תכנית דו-לשונית אשר מגיעה לשיאה בבית הספר התיכון הבינלאומי שלנו, במסגרתה התלמידים משלימים אחת משתי תכניות מקורות – צרפתית או תואר ראשון בינלאומי. ללא קשר לתוכנית הנבחרת, תמיד שמים דגש על מקצועות המדע. בשנים האחרונות תכנית הלימודים שלנו תוגברה על-ידי פתיחת מועדון מדע בבית הספר התיכון, ופתיחת מעבדות ייצור ותכנון בבתי הספר היסודי והתיכון. התלמידים והמורים משתמשים במרחבים אלה כדי לבצע מחקרים רב-תחומיים אשר משלבים חשיבה מדעית ועיצובית. [www.frenchamericansf.org](http://www.frenchamericansf.org)

## הכותבים

### CELIA E. S. LUTERBACHER

אינני מדענית, אולם אני אוהבת לכתוב על מדע ועל מחקר. אני מתעניינת במיוחד בביולוגיה ובעולם הטבע מאז שהייתי ילדה שגדלה בחווה בפנסילבניה, ארצות הברית. בקולג' הבנתי שאני אוהבת לבצע מחקר ספורות יותר מאשר מחקר במעבדה, לכן החלטתי להיכנס לתחום של עיתונאות מדעית. כיום אני כותבת על נושאים שונים, אולם מדע הוא עדיין הנושא המועדף עליי.

כתובת נוכחית: \*Swissinfo, Swiss Broadcasting Corporation, CH-3000 Bern





## JEREMY S. LUTERBACHER

אף על פי שכיום אני פרופסור להנדסה כימית, מעולם לא חשבתי שזה מה שאהיה. במהלך השנים למדתי לטינית ויוונית, ורק בבית הספר התיכון למדתי את השיעור הראשון שלי בכימיה. כימיה הייתה הנושא הראשון שבאמת נהניתי ממנו. בקולג' למדתי הנדסה כימית, ונדהמתי מהפוטנציאל שהיה לדיסציפלינה הזו ביחס לאתגרי האנרגיה והקיימות. בעקבות כך בחרתי את ההנדסה הכימית כבסיס לקריירה שלי. מחוץ לעבודה אני נהנה לרוץ ולהתאמן בסיף. את אשתי היפה סיליה פגשתי בעודי מתאמן בסיף באוניברסיטת קורנל בארצות הברית.

Hebrew version  
provided by

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ע"ר)  
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس  
Bloomfield Science Museum Jerusalem

