

ברק הלפרן

ביה"ס להנדסה מכנית, הפקולטה להנדסה, אוניברסיטת תל-אביב

הועי פרץ

ביה"ס להנדסה מכנית, הפקולטה להנדסה, אוניברסיטת תל-אביב

יורם גרשמן

המחלקה לביולוגיה וסביבה, הפקולטה למדעי הטבע, אוניברסיטת חיפה ומכללת אורנים

הדס ממן

ביה"ס להנדסה מכנית, הפקולטה להנדסה, אוניברסיטת תל-אביב

ציטוט מומלץ

הלפרן ב, פרץ ר, גרשמן י וממן ה. 2020. זבל של אדם אחד הוא אוצר של אדם אחר – שימוש בפסולת צמחית לייצור חומר חיטוי למאבק במגפת הקורונה. *אקולוגיה וסביבה* 11(4): 61-63.



אילוסטרציה של תהליך ייצור אתנול מפסולת צמחית. משמאל: דוגמאות של סוגי פסולת שונים (קש, פסולת נייר ונום) ביחד עם הריאקטור המעבדתי; במרכז: הסוכרים המופקים מהתהליך, יחד עם השמרים; מימין: האתנול המופק מהתהליך

זבל של אדם אחד הוא אוצר של אדם אחר – שימוש בפסולת צמחית לייצור חומר חיטוי למאבק במגפת הקורונה

19 בינואר, 2021

גיליון חורף 2020 / כרך 11(4) / פסולת

[בקצרה](#)

אחד מכלי המאבק העיקריים להתמודדות עם התפשטות נגיף הקורונה (SARS-CoV2) הוא הקפדה על היגיינה, בדרך של רחיצת ידיים וחיטוי משטחים בחומרי חיטוי המבוססים על אלכוהול (כגון אלכוהול, ספטול ומגבוני אלכוהול). דבר זה מעלה את הביקוש העולמי לאלכוהול (בעיקר מסוג אתנול).

בישראל אין ייצור מקומי של אתנול בקנה מידה מסחרי, ולכן היא מייבאת כל שנה אתנול ברמת ניקיון 80% ומעלה בעלות של כ-40 מיליון ש"ח [1]. נתון זה צפוי לעלות עם התמשכות משבר הקורונה. ההסתמכות על יבוא בלבד בעייתית, מכיוון שסביר להניח שבעת מגפה יגדל הביקוש לאתנול אף יותר, ובעקבות זאת יעלה מחירו, וייתכן אף מחסור מקומי או אזורי בו, כפי שנצפה בהתפרצות הנוכחית. יתרה מכך, במקרה של סגירת גבולות יבוא אתנול עשוי להיות בלתי אפשרי. סימנים למחסור באתנול כבר נצפו, ומחיר האתנול העולה גרם למשרד הכלכלה להגביל את מחיר האלכוהול (החל ב-15 במרץ 2020, על פי פרסומים שונים) ולאסור זמנית על יצוא שלו [2]. הרוב המכריע של ייצור האתנול העולמי מבוסס על התססה של סוכרים המופקים מגידולים ייעודיים (קנה סוכר בברזיל, גרעיני תירס בארה"ב וגרעינים שונים באירופה). מדובר בעובדה מדאגה, כיוון שגידולים למטרות אנרגיה מתחרים עם גידולי מזון על שטחי החקלאות, המים, הדשן ומשאבים נוספים. אי לכך, מושקעים מאמצים רבים בייצור אתנול מפסולת, בדגש על פסולת צמחית (ליגנו-צלולוטית) כגון קש, פסולת נייר וקרטון, דשא וכיו"ב (טבלה 1 מתארת את הרכב הסוגים השונים של הפסולת).

טבלה 1. הרכב סוגים נפוצים של פסולת צמחית [4]

פסולת צמחית	ליגנין (%)	צלולוז (תאית) (%)	המי-צלולוז (%)
עץ	25–30%	35–40%	20–30%
קש	15–20%	33–40%	20–25%
פסולת תירס	16–21%	28%	35%
פסולת נייר וקרטון	0–15%	85–99%	0
עלים	0	15–20%	80–85%
כותנה	0	80–95%	5–20%
פסולת בננה	14%	13.2%	14.8%

טבלה 1
הרכב סוגים נפוצים של פסולת צמחית [4]

צמחים מורכבים בעיקר מצלולוז (תאית), שהוא פולימר של גלוקוז – התוצר הסוכרי שמקורו בתהליך הפוטוסינתזה. ניתן לפרק שרשרת רב-סוכרים זו בתהליך אנזימטי פשוט: אנזים (חלבון המזרז תהליכים כימיים ספציפיים) מסוג הידרולאז מזרז הגבה עם מולקולת מים לטובת שחרור מולקולת גלוקוז מהפולימר. האתגר הוא הנגשת אותו פולימר לאנזים, שכן, בדומה לבניין המורכב מפלדה ומבטון, התאית והליגנין שזורים אחד בשני, ונדרשת הפרדה. כיוון שכן, הנגשת הסוכרים מהפסולת הצמחית מחייבת תהליך רב-שלבי: איסוף הפסולת, גריסתה, טיפול-קדם שמפריד בין התאית לשאר רכיבי הפסולת (בעיקר ליגנין), ופירוק התאית לסוכרים שיהיו זמינים לשמרים לטובת תהליך התסיסה, שבו נוצר האתנול.

פסולת צמחית נוכחת בתעשיות רבות: מזון, נייר וקרטון, כותנה ועוד, היא מצויה בשפע, ויכולה להוות פתרון בר-קיימא לאדם ולסביבה (אתנול יכול לשמש גם תחליף דלק). עם זאת, נכון להיום טיפול-הקדם דורש הקמת מפעלים יקרים מאוד, ולרוב מחייב שימוש בחומצות חזקות שדורשות תהליכי ניקיון של הפסולת לאחר הטיפול ושל הביוב שנוצר ועלול להוביל לתוצרי לוואי רעילים לתהליך התסיסה.

במחקר שבוצע לאחרונה באוניברסיטת תל-אביב בשיתוף עם אוניברסיטת חיפה-אורנים, הודגם שטיפול מקדים בעזרת אוזון מאפשר ייצור אתנול ביעילות טובה מגזם עירוני ומפסולת מחזור נייר. בשיטה זו פסולת טבולה במים מטופלת בגז אוזון (O_3) – גז לא יציב על פני כדור הארץ שנוטה להגיב עם חומרים אחרים. במקרה זה הוא מגיב עם המרכיבים הפנוליים של הפסולת (הליגנין). לאחר התגובה הופכות שאריות האוזון לחמצן. אוזוןציה (הוספת אוזון) היא טיפול מקדים פשוט ויעיל לייצור אתנול, ללא צורך בשימוש בטיפול יקר ומזהם על-ידי חומצות חזקות או בטמפרטורה גבוהה [7,6,5]. בניגוד לטיפול-קדם מקובלים, אוזון ניתן לייצור מקומי, לפי דרישה ובקנה מידה קטן. בישראל נוצרות כל שנה 620,000 טונות של גזם רטוב שאין לו שימוש [3], ויכולות להוביל, לפי ניסויי המעבדה שלנו, לייצור של כ-33,000 טונות אתנול בשנה (על בסיס חישוב של 100,000 טונות פסולת יבשה, מתוכה 50% תאית). הפשטות בייצור האוזון והעובדה שלא נוצרים תוצרי לוואי, מאפשרות טיפול מבוזר סמוך למקור ההזנה שמונע את עלויות הובלת הפסולת. שימוש בגישה שלנו לייצור אתנול מפסולת צמחית יאפשר למדינת ישראל לייצר לעצמה את האתנול הנחוץ והמבוקש ללא תלות ביבוא לא יציב, בייחוד בזמן מגפות עולמיות. על בסיס המחקר המתואר כאן נרשם לאחרונה פטנט, ובימים אלה נבנה מחקר חלוץ חדשני בגן הזואולוגי באוניברסיטת תל-אביב בשיתוף משרד המדע, שנועד להוכחת היתכנות מחוץ למעבדה לתהליך שפיתחנו (איור 1 ואיור 2).

איור 1. שלבי התהליך - מהפסולת ועד האתנול

איור 1
שלבי התהליך - מהפסולת ועד האתנול

איור 2. שלבי טיפול-קדם באוזון: הפרדת התאית ופירוק החומר הלא רצוי ניתן לראות את הפירוק על פי שינוי צבע התמיסה מצהוב-כתום (מימין, תחילת הטיפול), לצהוב-ירקרק (משמאל, 10 דקות אוזונציה). ועד לצבע כמעט שקוף (משמאל, 5 דקות אוזונציה).

איור 2
שלבי טיפול-קדם באוזון: הפרדת התאית ופירוק החומר הלא רצוי
ניתן לראות את הפירוק על פי שינוי צבע התמיסה מצהוב-כתום (מימין, תחילת הטיפול), לצהוב-ירקרק (5 דקות אוזונציה) ועד לצבע כמעט שקוף (משמאל, 10 דקות אוזונציה).

מקורות

1. הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2020. [בוהל אתילי \(יבוא\). יצוא ויבוא, לפי סחורות וארצות - נתונים שנתיים.](#)

2. לשכת המסחר תל אביב והמרכז. 2020. [איסור זמני ליצוא מוצרים לחיטוי ולניקוי אישי המכילים](#)

אלכוהול ומכונות ומכשירי הנשמה. 29 במרץ.

3. מדר ד. 2015. שיפור מערך הפקת האנרגיה מפסולת אורגנית בישראל. *אקולוגיה וסביבה* 6(3): 240–231.

4. Jahirul MI, Rasul MG, Chowdhury AA, and Ashwath N. 2012. Biofuels production through biomass pyrolysis – A technological review. *Energies* **5**(12): 4952-5001.
5. Rozen Y, Mamane H, and Gerchman Y. 2019. Short ozonation of lignocellulosic waste as energetically favorable pretreatment. *Bioenergy Research* **12**: 292-301.
6. Peretz R, Gerchman Y, and Mamane H. 2017. Ozonation of tannic acid to model biomass pretreatment for bioethanol production. *Bioresource Technology* **241**: 1060-1066.
7. Peretz R, Mamane H, Wissotzky E, et al. 2020. Making cardboard and paper recycling more sustainable: [Recycled paper sludge for energy production and water-treatment applications](#). *Waste and Biomass Valorization*.