

אושרית נבון, קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים - מכון ויצמן למדע



התעשייה הכימית היא ענף הייצור הגדול ביותר בארה"ב ובמדינות מפותחות אחרות. חומרים שימושיים מיוצרים בתהליכים כימיים, ובתוך כך נוצרים גם חומרי פסולת. בעבר, קברו את חומרי הפסולת באדמה או שפכו אותם לימים או לנהרות. במקומות רבים נוהגים כך גם היום, אך המגמה הרווחת בעולם שונה. ברור שיש לנקוט אמצעים אחרים לטיפול בפסולת, ובעיקר צריך לנסות ולמנוע את היווצרות החומרים האלו בתהליכי הייצור הכימיים.

חיינו מושפעים רבות ממדע הכימיה. רוב החומרים מיוצרים לשירות העולם סביבנו ולרווחתו. חומרים אלה משמשים כמעט בכל תחומי החיים: מכוניות, כבישים, חממות, בתים, תרופות, חקלאות ועוד. היקף הייצור האדיר מחייב לחשוב כיצד אפשר לייצר את החומרים האלו בלי לפגוע בסביבה. תפיסה זו הובילה להתפתחותו של ענף מדעי חדש יחסית הקרוי "כימיה ירוקה".

למדע "הכימיה הירוקה" שתי מטרות עיקריות:

1. פיתוח תהליכים חדשים שאינם כוללים חומרים מסוכנים ואינם יוצרים זיהומים סביבתיים.
 2. מציאת דרכים חדשות (לא דרך הכימיה הקלאסית) לייצור חומרים ידועים שיובילו להפחתת המפגעים והזיהומים תוך התבססות על הקיים בטבע.
- באופן זה, יכולים הכימאים להשפיע רבות על בריאות האדם והסביבה. ייצור חומרים כאלה צריך להיות כלכלי, נוסף על היותו כדאי מבחינה אקולוגית.

הכימיה הירוקה השתרשה כמדע אקדמי וקיבלה הכרה בתעשייה ובמדיניות ממשלות. בראשית שנות ה-90 של המאה העשרים הופעלה בארה"ב תוכנית מיוחדת לעידוד מדע "הכימיה הירוקה". מאז הצטרפו ליוזמה כמה מדינות בעולם. בארה"ב, התעשייה הכבדה פולטת לסביבה, מדי שנה, יותר משלושה מיליארד טונות של פסולת כימית, הכוללת חומרים רעילים. כדי להפחית את הנזק הנגרם מפסולת זו, כמתחייב מהחוקים השונים המגדירים ומסדירים את תהליכי העיבוד של הפסולת ואת אחסונה, משקיעה התעשייה כ-150 מיליארד דולר.

12 עקרונות מאפיינים לגישת הכימיה הירוקה נוסחו, והם מקובלים בעולם כולו. לדוגמה: שימוש בממסים מומלצים ולא רעילים, ביצוע ריאקציות "נקיות", הימנעות מקבלת פסולת כימית רעילה, שימוש בשיטות סינתזה שתוצריהן אינם רעילים ועוד.

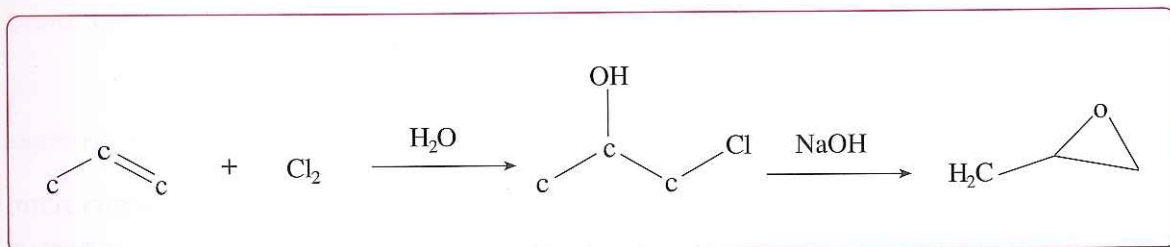
תחום מחקרי זה מתפתח בהתמדה. הוקמו ארגונים עולמיים ומתקיימים כנסים מדעיים בנושא. קיים גם עיתון ושמו "כימיה ירוקה" בהוצאת האגודה המלכותית הבריטית לכימיה. ניתן למצוא פרסומים בתחום גם בכתב העת המדעי היוקרתי Nature (Sarbu, Styranec and Beckman, 2000). בארה"ב, על-פי מדיניות ממשל קלינטון מאז שנת 1995, מעניקים פרסים על עבודות מחקר בנושא זה.

התפתחותו של תחום הכימיה הירוקה תסייע, בוודאי, גם בשינוי תדמיתו של מדע הכימיה וקירובו לציבור. מחיפוש בספרות המדעית ובאינטרנט, ניכר, כי הנושא "כימיה ירוקה וחינוך" התפתח אף הוא והשתלב בתוכניות לימודים. תלמידים וסטודנטים מתעניינים בשימור העולם שהם חיים בו, וככל שעולה הדאגה העולמית לאיכות הסביבה ולשימורה, נראה כי רבים מעוניינים להבין כיצד פעילות האדם משפיעה על הבריאות ועל איכות החיים בסביבתנו. (Collins, 1995, Heinhorst and Cannon, 2001, Michael, 1999, Reed and Hutchison, 2000)

מחקר מוביל בארץ מתבצע במעבדתו של פרופ' רוני נוימן, מהמחלקה לכימיה אורגנית במכון ויצמן למדע. כידוע, בתהליכי חמצון נוצרת, בנוסף על התוצרים המבוקשים, גם פסולת רבה מאוד. מטרת המחקר, אם כן, היא לפתח תהליכי חמצון שאינם מזהמים, כלומר שאינם משאירים פסולת כימית ויכולים להיקרא תהליכי "חמצון ירוק".

פסולת רבה נוצרת גם בתהליך הייצור של פרופילן אוקסיד, חומר המשמש לייצור של תקליטורים, כיסויים לחממות ומוצרי פלסטיק רבים. היקף המכירות של פרופילן אוקסיד מוערך בכ- 5 מיליארד דולר לשנה.

תגובת הייצור הקלאסית לקבלת פרופילן אוקסיד היא:



אחד מתוצרי הלוואי של התגובה הוא: NaCl, תעשיית הפרופילן אוקסיד בעולם מייצרת בשנה כעשרה מיליון טון של נתרן כלורי וכמאה אלף טון של תרכובות אחרות המכילות כלור, ומשגרת אותם לאתרי פסולת, שם הם גורמים לנזק סביבתי חמור. אחד הפרויקטים שקבוצתו של פרופ' נוימן עוסקת בו הוא פיתוח תהליך נקי לייצור פרופילן אוקסיד. התהליך קטליטי ומתבסס על תגובה עם חמצן מן האוויר בנוכחות זרז (קטליזטור) המבוסס על קומפלקס הכולל את המתכת רותניום. זוהי דוגמה לאחת הגישות המחקריות בתחום "הכימיה הירוקה", המפתחת תהליכים שבהם חמצן מן האוויר מגיב עם חומרים אורגניים בלי לגרום לשריפתם. תפקיד הזרז הוא להחיש את מהלך של תגובת כימיות ולהשפיע על כיוון.

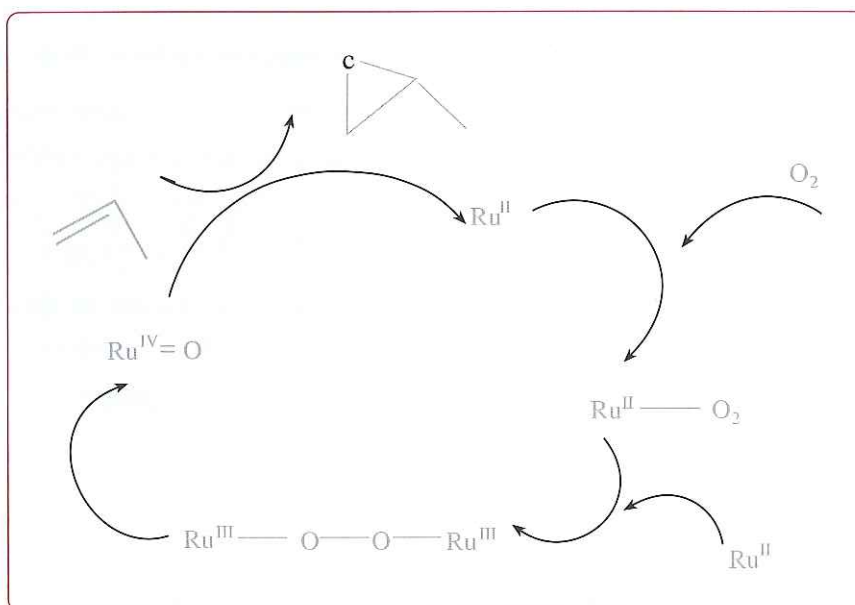
התגובה פותחה במעבדה. המנגנונים המעורבים נבדקו בשיטות כימיות מתקדמות כמו תהודה מגנטית גרעינית NMR (Nuclear Magnetic Resonance) - שיטה אנליטית ספקטרוסקופית, המבוססת על התכונות המגנטיות של גרעינים מסוימים. שיטה זו חשובה מאוד לחוקרי הכימיה, שכן היא מספקת מידע על איכות החומר, ניקיונו והמבנה המולקולרי שלו. השיטה אינה מוגבלת למצב צבירה אחד; ניתן למדוד תמיסות, נוזלים, מוצקים וגבישים נוזליים.



לגרעיני אטומים שונים תכונות מגנטיות שונות. בנוכחות שדה מגנטי, הם מתנהגים כמגנטים זעירים ועוצמתם ניתנת למדידה. הגרעינים המגנטיים החשובים ביותר לכימאים הם גרעין המימן, שבו פרוטון יחיד, וגרעין של פחמן-13. בהיעדר שדה מגנטי, המגנטים הזעירים מסודרים בצורה אקראית. השדה המגנטי גורם להם להסתדר כך שהחומר כולו הופך להיות בעל תכונות מגנטיות. השיטה מאפשרת קבלת מידע על הסביבות הכימיות של האטומים השונים ועל הסידור המולקולרי. לפרטים נוספים, ניתן לקרוא באתר האינטרנט:

http://www1/snunit.k12.il/heb_journals/mada/282062/html

התגובה מתרחשת במעגל הקטליטי כמתואר להלן:



מתכת רותניום בדרגת חמצון דו ערכית (הקשורה לליגנד) נקשרת היטב לחמצן. במעגל זה הרתניום משנה את הערכיות מ-2+ ל-4+ ובנוסף נשברים ונוצרים קשרים. חשוב לציין, כי זהו הפיתוח השני בעולם לתהליך ייצור פרופילן אוקסיד לשימוש בתעשייה.

חומרים נוספים הנחקרים במעבדתו של פרופ' נוימן הם אלדהידים ארומטיים המהווים חומרי ביניים חשובים לייצור של תרופות, חומרי טעם וריח וחומרי הדברה לחקלאות. המחקר מבוצע על שרשרת תגובות חמצון שאותן מנסים לעצור באמצע הדרך כדי לקבל את האלדהידים הארומטיים כתוצרי ביניים.

נסקור בקצרה שני מאמרים שפורסמו בכתב העת Nature המתארים מחקרים מובילים בעולם בתחום.

1. המאמר של Sarbu, Styranec and Beckman, 2000 מתאר שימוש בפחמן דו-חמצני כממס המתאים לתהליכים רבים. הממסים הנפוצים היום הם ממסים אורגניים אך אלה רעילים ודליקים וקשים למחזור. במהלך המחקר על CO_2 התברר כי הוא ממס בעייתי מאוד וכדי להגביר את יכולת ההמסה שלו, יש להוסיף לו תוספים. במחקר שנעשה באוניברסיטת פיטסבורג שבפנסילבניה, פותח תוסף זול שמגביר את יכולת ההמסה של CO_2 ומאפשר התרחשות של ריאקציות כימיות בתווך הנוצר. תוצאות המחקר פותחו ליישומים מסחריים של- CO_2 כממס.

2. המאמר של (Aurbach, Schechter, Gofer, Gizbar, Turgeman, Cohen, Moshkovic and Levi, 2000) מתאר עבודה שבוצעה בראשותו של פרופ' אורבך, מהמחלקה לכימיה באוניברסיטת בר-אילן. המחקר התמקד בסוללה המכילה מגנזיום ותרכובות נוספות המכילות מגנזיום. התכונות התרמודינמיות של המגנזיום הופכות אותו למועמד טבעי לשימוש כחומר לאנודה בסוללות הניתנות לטעינה מחדש, בשל צפיפות אנרגטית גבוהה יותר. המגנזיום אינו יקר, ידידותי לסביבה ובטוח לשימוש. פיתוח סוללות המגנזיום היה בעייתי ולא פשוט. במאמר מוצג הפיתוח הכימי.

ייעוץ פדגוגי: אבי הופשטיין, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

ייעוץ מדעי: רוני נוימן, המחלקה לכימיה, מכון ויצמן למדע

מקורות:

- Aurbach. D, Lu. Z, Schechter. A, Gofer. H, Gizbar. R, Turgeman. R, Cohen. Y, Moshkovich. M, Levi. E, (2000). Prototype systems for rechargeable magnesium batteries. Nature. 407, 724-727.
- Cann. M.C, (1999). Journal of Chemical Education. Bringing State-of-the Art, Applied, Novel, Green Chemistry to the Classroom by Employing the Presidential Green Chemistry Challenge Awards. 76, 1639-1641.
- Collins. T.J, (1995). Journal of Chemical Education. Introduction Green Chemistry in Teaching and Research. 72, 965-967.
- Heinhorst. S, Cannon. G, (2001). Journal of Chemical Education. Nature: "Green" Chemistry, Natural Antioxidants, and a DNA – fueled Mashine. 78, 150-151.
- <http://pubs.acs.org/cen/coverstory/7929/7929greenchemistry.html>
- <http://www.chemsoc.org/network/gen.html>
- <http://www.epa.gov/greenchemistry/whatis.htm>
- Reed. S.M, Hutchinson. J.E., (2000). Journal of Chemical Education. Green Chemistry in the Organic Teaching Laboratory: An Environmentally Benign Synthesis of Adipic Acid. 77, 1627-1629.
- Sarbu. R ,Styrane. T, Beckman. E.J, (2000). Nature. Non – fluorous polymers with very high solubility in supercritical CO₂ down to low pressures. 405, 165-168.
- המכון-חדשות מדע בשפה יידישית, גיליון 24, עמוד 14-15, אוגוסט 2001

