

עבודת המחקר בנושא: טיהור מים מיוני עופרת של התלמידים שחר גבירץ וידיד אלגאוי מבית הספר אמי"ת גוש דן בהנחיית המורה ד"ר מרדכי ליבנה ופרופ' אהרון גדנקן מאוניברסיטת בר-אילן.
העבודה זכתה במקום הראשון בתחרות מדענים ומפתחים צעירים בישראל לשנת 2009.

עופרת

העופרת נמנית על שבעת המתכות שהאדם הקדמון הכיר כבר בשנת 5,000 לפנה"ס. העופרת שימשה לבניית צנרת כבר באימפריה הרומית. שמם המודרני של שרברבים, plumbers בדומה ל plumbum, נגזר משמה הלטיני של העופרת. העופרת שימשה גם כממתיק מלאכותי (עופרת אצטט), ליצירת כלי חרט וכלי עבודה. במאה השנים האחרונות שימשה העופרת גם כתוסף לדלק שמטרתו להעלות את רמת האוקטאן וקבלת הספק גבוה יותר ממנוע של כלי רכב. השימוש בעופרת כתוסף לדלק נפסק ברובו, לאחר שהתגלה היקף זיהום התוצרים מכילי העופרת הנפלטים מהרכב. עדיין ישנו שימוש נרחב בעופרת לייצור לכות, גפרורים, חומרי צבע, משקולות דיג וצלילה, ציפוי כבלי חשמל, בניית מצברים, חומרי הגנה מפני קרינה מייננת ובניית כלי נשק וציפויים.

ממפעלים שמשתמשים בעופרת, נפלטים יוני עופרת כפסולת במים שלאחר מכן קשה מאד לסלקם. השארת העופרת במים מהווה סיכון בריאותי חמור וגורם מזהם מסוכן. חשיפה לעופרת הרעילה משפיעה לרעה על העצבים, על מערכת הדם (פגיעה באנזימים שיוצרים המוגלובין) ועל המוח. בין תוצאות החשיפה לעופרת ניתן למנות שיתוק כתוצאה מהפגיעה בעצבים, מניעת העברת נוזלים למוח, פגיעה באיכות השינה, פגיעה במערכת הרבייה, ליקויים בתינוקות וילדים ועוד¹.

על אף שבעת המודרנית המודעות לסכנת העופרת גדלה מאד, עדיין היא ממשיכה להיות מוזרמת במים, בין בצורתה המתכתית ובין כיוני עופרת דו ערכית. הימצאות זאת של עופרת במי שתייה בקרקע ובאוויר ממשיכה לסכן את הציבור. במקומות מסוימים אף נרשמים ריכוזי עופרת גבוהים, בייחוד בתעשייה. גם בשוק הביתי ישנם ריכוזי עופרת שיכולים לפגוע באיכות החיים¹.

צמחי מים

צמחי מים הם צמחים בעלי פרחים (לא אצות) הגדלים בסמוך למים ובתוכם. מדובר בצמחים שעברו הסתגלות לחיים בסביבה לחה, ומערכותיהם הותאמו לכך. צמחי מים הם בעלי חשיבות רבה לסביבה האקולוגית: הם מספקים חמצן לבעלי חיים ימיים, משמשים מקום גידול לאורגניזמים קטנים ומונעים היווצרות של סחף. אחד היתרונות של צמחי מים לאדם ולסביבה, היא העובדה שהם ניחנים ביכולת ספיחה יוצאת דופן למזהמים שונים במקורות המים. בגלל העלות הזולה של צמחי מים (עלות ממוצעת של דולר לקילו צמח), השימוש בהם נעשה נפוץ יותר ויותר לצרכים אקולוגיים ותעשייתיים הקשורים לפעולות ספיחה כדוגמת סילוק מתכות כבדות². **במחקר שלנו**, ניסינו לבחון את האפשרות של סילוק עופרת, מתכת כבדה, באמצעות ביופילטר, שני צמחי מים נפוצים: פיסטיה וסילביניה. השתמשנו בצמחים הללו לאחר שעברו ייבוש.

במהלך העבודה השתמשנו בצמחים הללו לאחר שעברו ייבוש. צמחים מיובשים, אלה צמחים שעברו חימום, כך שאינם חיים יותר אולם הם משמרים כמה מתכונות הצמח הטבעיות. שמירת הצמחים במצבם המיובש מבטיחה אפשרות להשתמש בהם תקופת זמן ארוכה. בנוסף שימוש בצמחים מיובשים בסביבה טבעית מונע את הסכנה בהכנסת צמח לסביבה שאיננה סביבתו הטבעית.

מיקרוגל

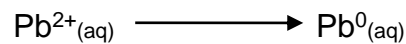
כבר שנים רבות משמש המיקרוגל בתעשיית המזון בתור אמצעי חימום חשוב. אולם, בתעשיית הכימיה והמחקר, לא היה ידוע השימוש במיקרוגל בתור אמצעי חימום עד לשנים האחרונות. מחקרים הראו ששימוש במיקרוגל לצרכים של סינתזה כימית במוצק ובנוזל עובד לפעמים בצורה טובה ויעילה יותר משיטות החימום המסורתיות³. המיקרוגל יוצר שדה חשמלי ומולקולות קוטביות יסתדרו בהתאם לכיוון השדה, כאשר מסירים שדה חשמלי זה, הפרעה תרמית (thermal agitation) מחזירה את המולקולה לאי סדר והאנרגיה התרמית משתחררת. כך שנקבל מצב קבוע של תנודות מכאניות בתדירות גלי מיקרו. כוחות החיכוך הנוצרים בין המולקולות יוצרים חום שהולך וגדל. ישנם יתרונות רבים לחימום באמצעות מיקרוגל ולא באמצעות תנור רגיל. בחימום עם תנור רגיל, החום לא מתפשט באופן שווה לכלל הגוף המחומם ואין פיזור סימטרי. חימום עם מיקרוגל מבטיח פיזור שווה וסימטרי של החום על פני כל הגוף.

שיטת המחקר

במחקר הכנו דוגמיות של תמיסת עופרת מימית בריכוזים משתנים. לתמיסה הוספנו כמויות משתנות של צמחי מים מסוגים שונים (פיסטיה ו-סלביניה) והכנסנו אותם למיקרוגל לפרקי זמן שונים. ריכוז יוני העופרת במים לאחר התהליך נמדד באמצעות טיטרציית קומפלפקסומטרית עם EDTA. הדגימות נבדקו בעזרת מכשור מתקדם: XRD ו- SEM על מנת לגלות את מבנה ומיקום העופרת לאחר הספיחה.

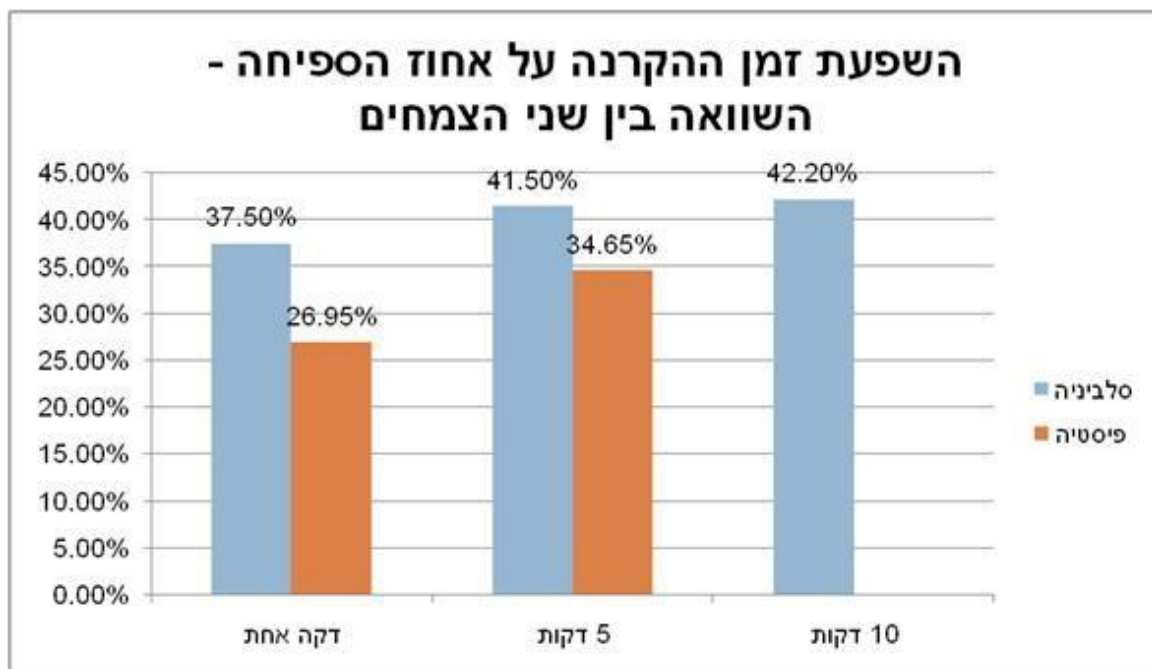
על הראקציה

תגובת חמצון-חיזור היא תגובה בה משתנים רמות החמצון של החומרים המשתתפים בריאקציה הכימית. במהלך התגובה, עוברים אלקטרונים בין החומרים. יוני העופרת הנמצאים במים מופעים בצורת Pb^{2+} . במהלך תגובת החמצון-חיזור, חומר בצמח מוסר את שני האלקטרונים החסרים לעופרת וכך נלכדת העופרת בתוך הצמח כאשר היא קשורה לו בקשר כימי. תנור המיקרוגל יוצר תנודות בין המולקולות היוצרות חום וכך גורם להאצת התהליך.

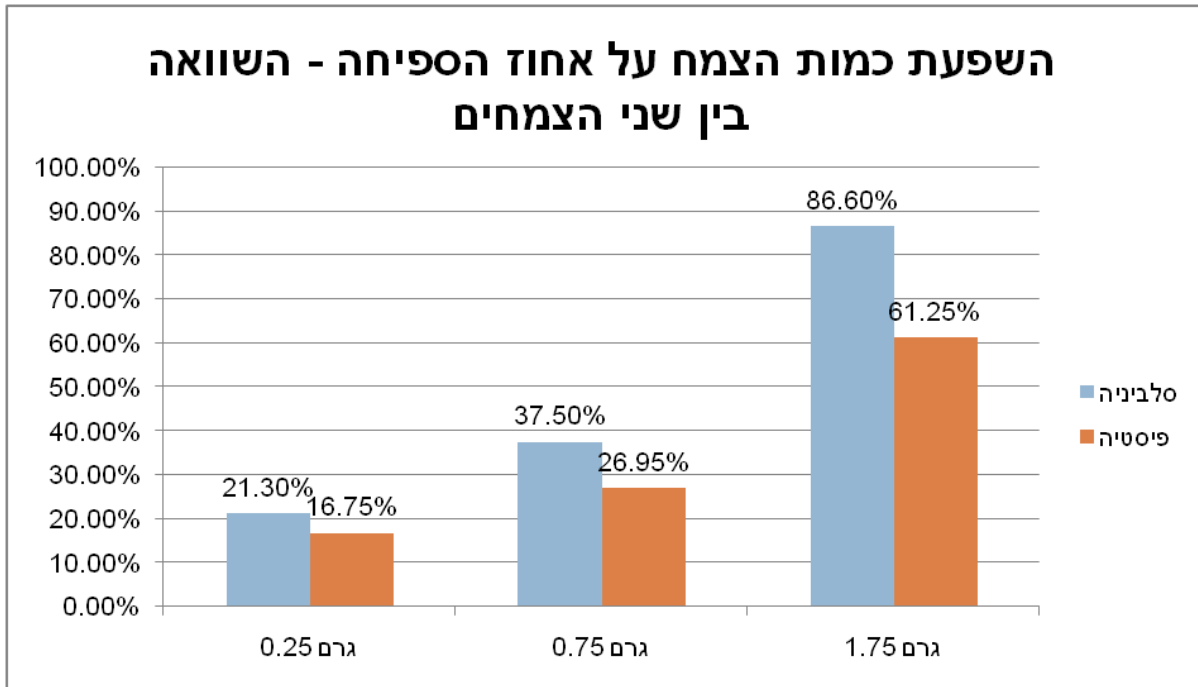


תוצאות

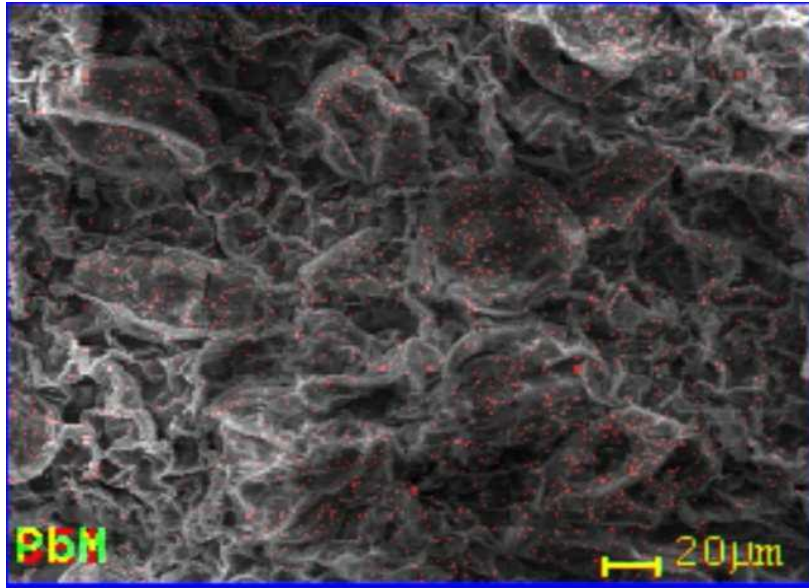
הניסויים שבוצעו במחקר זה נעשו בריכוז של 0.02 מולר שהוא ריכוז גבוה מאוד מהקיים במציאות. בניסוי נתגלה שכולל שמורידים את ריכוז יוני העופרת בתמיסה כמות יוני העופרת הנספחת גדלה.



הניסויים המוצגים בגרף זה נעשו עם 0.75 גרם צמח ובתוך גולה המכילה 60 מ"ל תמיסת עופרת בריכוז 0.02 מולר. בניסוי שבחן את ההבדל בין זמני הקרנה שונים, התברר שזמן הקרנה גדול יותר, לא מבטיח ספיחה בכמות משמעותית יותר. בעוד שבין דקה אחת לחמש דקות, יש הבדל "לטובת" 5 דקות ההקרנה, בשאר המקרים ההבדל מועט.



הניסויים המוצגים בגרף זה נעשו בזמן הקרנה של דקה אחת ובתוך גולה המכילה 60 מ"ל תמיסת עופרת בריכוז של 0.02 מולר. מתוצאות גרף זה ניתן לראות כי צמח הסלביניה סופח עופרת בצורה טובה יותר מאשר צמח הפיסטיה. בניסויים אלו לא קיבלנו יחס ליניארי כאשר כמות הצמח הוגדלה זאת עקב חסימה של חלק מהאתרים הסופחים בצמח על ידי חלקיקי העופרת הנספחת ועל ידי העלים עצמם.



בניסוי נוסף רצינו לבדוק האם ניתן להגיע לספיחה של כל יוני העופרת. בניסוי הוכנסו 3 גרם סלביניה לתוך 60 מ"ל תמיסת עופרת מימית בריכוז 0.01M והקרנו את התערובת במשך דקה אחת במיקרוגל. בניסוי זה מצאנו שהסלביניה ספחה 98.1% מיוני העופרת שבתמיסה.

תמונה ממיקרוסקופ אלקטרוני של הצמח סלביניה ועליו חלקיקי עופרת המסומנים בצבע אדום. מתמונות המיקרוסקופ האלקטרוני ניתן ללמוד כי העופרת נקשרת לצמח באתרי ספיחה מיוחדים.

מסקנות

ניתן לטהר מים מיוני עופרת עם צמחי המים פיסטיה וסלביניה. תוצאות המחקר מראות שצמחים אלה מחזרים את יוני העופרת שבתמיסה עד לטיהורם המוחלט. בנוסף שימוש בתנור מיקרוגל מקצר משמעותית את הזמן הלוקח לתגובת החמצון-חיזור ולספיחת העופרת בצמח. תוך דקה בתנור המיקרוגל משיגים תוצאות שללא שימוש במיקרוגל לוקחות מספר ימים.

חשיבות המחקר

מחקר זה מציג שיטה חדשה לטיהור יוני עופרת ממים. שימוש בשיטה זו כלכלי יותר ומהיר יותר משימוש בשיטות אחרות. עלותם של צמחי המים אפסית כתוצאה מתפוצתם הרחבה בארץ ובעולם. בנוסף שימוש בשיטה זו מאפשר שימוש חוזר בעופרת המחוזרת. טיהור מים מיוני עופרת יוביל לעליה ברמת התברואה וכן לשיפור ניכר באיכות הסביבה.

ביבליוגרפיה נבחרת

- 1) U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *toxguide for lead Pb*, **2007**.
- 2) Delago, M. bigeriego, M. Guardiola, E. *Uptake of Zn, Cr and Cd by water*. HYACINTHS, Water Res, 269-272. **1993**
- 3) Kingston, H. M.; Jassie, L. B. *Introduction to Microwave Sample Preparation: Theory and Practice*; American Chemical Society: Washington DC, **1988**.

פרסים

המחקר זכה בפרסים הבאים:

1. מקום ראשון בתחרות מדענים ומפתחים צעירים בישראל 2009
2. מקום רביעי בקטגוריית Team Projects בתחרות Intel ISEF 2009
3. מקום שני בתחרות המים בישראל 2008
4. פרס החברה הישראלית לכימי 2009