

## הרחק מהבית – כימיקלים תעשייתיים בקוטב הצפוני, שבאמת לא אמורים להיות שם

Roxana Sühring<sup>1\*</sup>, Miriam L. Diamond<sup>2</sup>, Martin Scheringer<sup>3</sup>, Liisa M. Jantunen<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למדעי הסביבה, אוניברסיטת שטוקהולם, שטוקהולם, שוודיה

<sup>2</sup>המחלקה למדעי הסביבה, אוניברסיטת טורונטו, טורונטו, אונטריו, קנדה

<sup>3</sup>RECETOX, אוניברסיטת מסריק, ברנו, צ'כיה

<sup>4</sup>היחידה לחקר תהליכי איכות אוויר, סביבה ושינויי אקלים קנדה, אגברט, אונטריו, קנדה

### סוקר צעיר

OLI  
גיל: 13



קשה להאמין, אולם חלק מהכימיקלים בספות, במחשבים, ואפילו בטלפונים הניידים שלנו מטיילים כל הדרך לאזור הארקטי. כיצד זה ייתכן? זה בדיוק מה ששאלנו כשגילינו כימיקלים שמשמשים בפריטים יומיומיים – כמו מחשבים, טלפונים ניידים וספות – באזור הארקטי הקנדי. במאמר הזה, נספר לכם על המחקר שלנו על הכימיקלים האלה באזור הארקטי הקנדי, ומה גילינו לגבי היכולות שלהם "לעוף" ו"לשחות" צפונה עד לקוטב. אנו גם נחלוק איתכם את הרעיונות שלנו על האופן שבו אנו יכולים להגן על חיות ועל אנשים באזור הארקטי, ובכל העולם, מפני חלק מהכימיקלים האלה.

### מה קורה כשכימיקלים לא נשארים היכן שהם אמורים להיות?

הכימיקלים שבני אדם מייצרים יכולים להיות מדהימים! אנו יכולים ליצור כימיקלים שמייצרים כל ריח, טעם, או צבע שאנו רוצים. כימיקלים הם מה שמאפשר לרפואה לסייע לאנשים, כימיקלים גורמים למכוניות שלנו לנסוע ולמטוסים שלנו לטוס.

מדענים שנקראים כימאים מייצרים סוגי כימיקלים שונים כל הזמן. הרבה מהחומרים החדשים האלה שימושיים, אולם חלקם גם יכולים ליצור בעיות. כימיקלים יוצרים בעיות בעיקר אם הם לא נשארים היכן שהם אמורים להישאר, אלא דולפים החוצה מהמוצרים שבהם הם מיועדים להיות.

דמיינו, למשל, חולצה אדומה בוהקת. צבע אדום הוא מצוין בחולצה, אולם אחרי שאתם שוטפים את החולצה האדומה עם חולצה לבנה, אתם עשויים למצוא חולצה אדומה וחולצה ורודה במקום חולצה לבנה (אל תנסו את זה בבית – ההורים שלכם יהיו מתוסכלים!). מה קרה? חלק מהכימיקל שמייצר את הצבע האדום לא נשאר היכן שהוא היה אמור להיות, בחולצה האדומה, ובמקום זאת דלף החוצה למים וצבע את החולצה הלבנה.

במקרה של חולצות בצבעים שונים, דליפה של כימיקלים היא בסך הכול מרגיזה. אולם דמיינו תרופה, או כימיקל שעשוי להיות מסוכן, שבורח מהמקום שבו הוא אמור להיות ונכנס למים. הכימיקל הזה עלול לגרום לחיות שחיות במים או שותות אותם, לחלות.

אנו יודעים שזה יכול להיות מאוד לא טוב אם כמויות גדולות של כימיקלים מסוכנים נשפכות ומגיעות לסביבה. אולם, לרוע המזל, אפילו כמויות קטנות של כימיקלים יכולות לעיתים לגרום לאנשים ולחיות לחלות.

כדי להגן על אנשים ועל חיות מפני כימיקלים שיכולים לפגוע בהם, ממשלות ברחבי העולם הסכימו על דרכים לשפוט אם כימיקל מסוכן מדי לשימוש, או אם אפשר להשתמש בו באופן מסוים [1]. קריטריון חשוב אחד לשפוט אם כימיקל הוא מסוכן פוטנציאלית הוא הזמן שלווקח לאותו כימיקל לעבור דגדגציה (להתפרק), ולבסוף להיעלם, בסביבה.

כימיקלים שעוברים **דגדגציה** לאט מאוד נקראים לא פריקים. חלק מהכימיקלים **הלא פריקים** יכולים להישאר בסביבה במשך מאות שנים. משמעות הדבר היא שאם כימיקל לא פריק יכול לגרום לחיה מסוימת לחלות, הוא יוכל להמשיך לעשות זאת במשך זמן רב מאוד, אפילו במשך כמה דורות.

## מדוע אנו מודאגים לגבי כימיקלים באזור הארקטי?

**האזור הארקטי** הוא החלק הצפוני של כדור הארץ שלנו. האזור הארקטי הוא ביתם של דובי קוטב, אריות ים, איילי הצפון, שועלים ארקטיים, ציפורים, דגים ואנשים. אולם לא הרבה אנשים חיים שם מאחר שקר מאוד וקשה להגיע לשם. יש שם מספר קטן מאוד של כבישים וחנויות, ובהחלט אין מפעלים שיכולים לייצר כימיקלים.

אף על פי שאין כימיקלים שמיוצרים באזור הארקטי, מדענים מצאו הרבה כימיקלים תעשייתיים במים, בשלג, באוויר, ואפילו בחיות ובאנשים שחיים באזור הארקטי [2]. חלק מהכימיקלים האלה נמצאו בשימוש, למשל, בתעשיית הדלק והגז, או בבסיסים צבאיים באזור הארקטי. אולם הרבה מהכימיקלים שמדענים מצאו לא היו בשימוש באזור הארקטי.

אם כן, השאלה הייתה "כיצד הכימיקלים האלה הגיעו לאזור הארקטי?". מדענים הבינו שכימיקלים לא פריקים יכולים להגיע לאזור הארקטי דרך המים והאוויר מהמקום שבו הם מיוצרים או נמצאים בשימוש.

### דגדגציה

#### (Degradation)

פירוק של כימיקלים בסביבה. דגדגציה יכולה להתרחש בגלל חיידקים, מים, או אפילו אור.

### כימיקל לא פריק

#### (Persistent Chemical)

כימיקל שלא מתפרק בקלות בסביבה. חלק מהכימיקלים הלא פריקים יכולים להישאר בסביבה במשך עשרות ואפילו מאות שנים.

### האזור הארקטי

#### (Arctic)

החלק הצפוני של כדור הארץ שלנו, סביב לקוטב הצפוני. האזור הארקטי אינו כולל מדינה אחת, אלא מספר מדינות שהן חלק מהאזור הארקטי: קנדה, דנמרק (גרינלנד), פינלנד, איסלנד, נורווגיה, שוודיה, רוסיה וארצות הברית. החלק הגדול ביותר של האזור הארקטי אינו אדמה אלא מכוסה במים – האוקיינוס הארקטי.

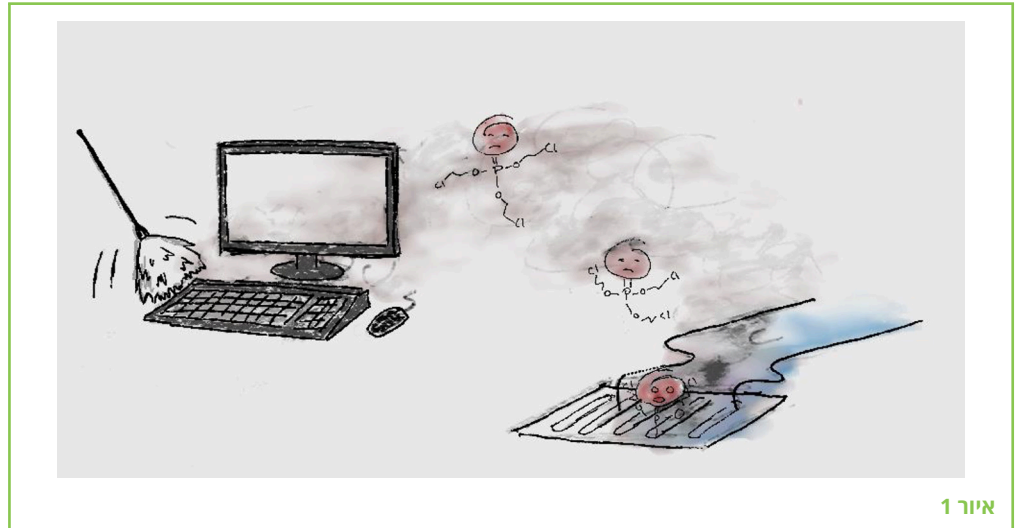
### תעשייה

#### (Industry)

כל החברות יחד.

## איור 1

חומרים מעכבי בעירה שמנוקים ממחשב יכולים להגיע לסביבה דרך האוויר ומי נשם (במקרה הזה, דרך הביוב).



איור 1

הנה האופן שבו כימיקלים לא פריקים מגיעים לאזור הארקטי: הם נעים בקלות ובמהירות רבה יותר ממקומות שבהם חם, שהם מקומות שבהם מרבית האנשים חיים ובהם נמצאים מפעלים, אולם לאחר מכן הכימיקלים "נתקעים" באזורים קרים יותר. לכן, כימיקלים לא פריקים שיכולים לטייל במים ובאוויר נעים צפונה מהמקום שבו הם מיוצרים עד שהם מגיעים לאזור הארקטי, ואז הם נשארים שם [3].

משמעות הדבר היא שחיות ואנשים באזור הארקטי - שבקושי משתמשים בכימיקלים האלה - באים במגע עם כימיקלים שיכולים לגרום להם לחלות. יתרה מזו, הם אפילו לא נהנים מהיתרונות של שימוש בכימיקלים, או מהבחירה אם הם רוצים את הכימיקלים האלה בסביבה או לא.

## אנשים רצו לשפר את המצב...

אנו מתעניינים בכימיקלים מסוימים שנקראים **חומרים מעכבי בעירה**. חומרים מעכבי בעירה משמשים בהרבה סוגי פלסטיק במטרה לוודא שהפלסטיק לא נשרף בקלות יתרה. חומרים מעכבי בעירה משמשים, לדוגמה, במחשבים, בטלפונים ניידים, בשטיחים ובקצף של חלק מהספות והמיטות.

לרוע המזל, הרבה חומרים מעכבי בעירה שהיו בשימוש בעבר, עד לפני כ-10 שנים, לא נשארו היכן שהם היו אמורים להיות. חלק מהחומרים מעכבי הבעירה יצאו החוצה מהספות, מהטלפונים הניידים, ומכל שאר המוצרים שהם נמצאו בהם, והגיעו לאוויר ולאבק בבתים, ואז יצאו לאוויר ולמים שבחוץ [4] (איור 1). החלק הגרוע ביותר היה שהחומרים מעכבי הבעירה האלה היו לא פריקים, יכלו להגיע לאזור הארקטי, והיו מזיקים - כך שהם יכלו לגרום לאנשים ולחיות לחלות [5].

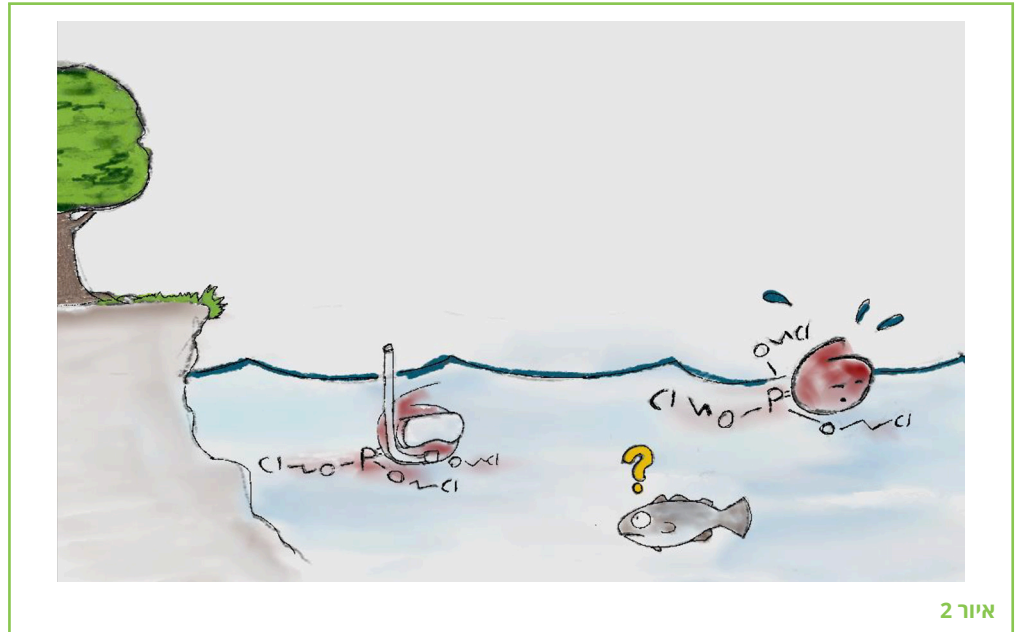
בשל התכונות המסוכנות האלה, חלק מהחומרים מעכבי הבעירה לא מותרים לשימוש יותר. אולם אנשים עדיין מודאגים שמחשבים, ספות וחומרי פלסטיק אחרים עלולים להיות דליקים. לכן, התעשייה הכימית התחילה להשתמש בסוגים אחרים של חומרים מעכבי בעירה, שנקראים

### חומרים מעכבי בעירה (Flame Retardants)

כימיקלים שמשמשים בפלסטיקים רבים במטרה לוודא שהפלסטיק לא נשרף בקלות.

## איור 2

OPEs "שוחים" (מועברים דרך זרמי המים) מאיפשהו בדרום (שם הם יוצרו) צפונה לכיוון האזור הארקטי. במציאות, OPEs זעירים מאוד ויש הרבה מהם, אולם היה לנו קשה לצייר את זה.



איור 2

**OPEs** (קיצור של organophosphate esters). ה-OPEs לא היו אמורים להיות לא פריקים, או להיות מסוגלים להגיע כל הדרך לאזור הארקטי.

מאחר ש-OPEs אמורים להיות חלופה ידידותית לסביבה עבור החומרים מעכבי הבעירה הישנים, התעשייה התחילה להשתמש בהם בכמויות גדולות. אולם אפילו שהאמינו שהם ידידותיים יותר לסביבה, ה-OPEs עדיין יכולים לגרום לאנשים ולחיות לחלות. חלק מהם אפילו חשודים בגרימה לסרטן [6].

יתרה מזו, כשניתחנו את האוויר באזור הארקטי הקנדי, מצאנו שם OPEs. אפילו יותר גרוע מזה: מצאנו יותר OPEs מאשר חומרים מעכבי בעירה ישנים ש-OPEs החליפו [7].

## כיצד OPEs מגיעים לאזור הארקטי?

תהינו כיצד ה-OPEs יכלו להגיע לאזור הארקטי. בדיקות הראו שמרבית ה-OPEs לא היו עמידים כמו החומרים מעכבי הבעירה הישנים. כמו כן, מודלי מחשב חזו שה-OPEs לא יגיעו לאזור הארקטי [8].

אולם המדידות היו ברורות מאוד: OPEs נמצאים באזור הארקטי הקנדי.

לכן, חזרנו לאזור הארקטי כדי לאסוף דגימות נוספות ולנסות להבין כיצד OPEs יכלו להגיע לשם.

לקחנו ספינה ששטה דרך האזור הארקטי הקנדי בכל קיץ. השתמשנו במשאבה מהספינה לאסוף דגימות אוויר ומים. אספנו דגימות הרבה פעמים במהלך 7 שנים, כדי לוודא שלא פספסנו שום דבר, ולברר אם ה-OPEs תמיד נוכחים באזור הארקטי הקנדי, או רק לעיתים [7].

## OPEs

סוג חדש של חומר מעכב בעירה שהיה אמור להיות חלופה ידידותית לסביבה לחומרים מעכבי בעירה ישנים שנאסרו לשימוש על ידי הממשלה.

**איור 3**

OPEs באזור הארקטי, שם הם יכולים להיתקע במים, בקרח ובאוויר.



איור 3

מה שמצאנו היה:

- OPEs נמצאו באזור הארקטי הקנדי בכל פעם שאספנו דגימות.
- ישנם יותר OPEs באזור הארקטי הקנדי מאשר חומרים מעכבי בעירה ישנים.
- נדמה ש-OPEs מגיעים לאזור הארקטי גם דרך האוויר וגם דרך המים [7] (איור 2).

הרעיון ש-OPEs מגיעים לאזור הארקטי הקנדי דרך המים היה תוצאה חדשה שאף אחד לא ממש חשב עליה לפני כן. התוצאה הזו עשויה להסביר מדוע כל כך הרבה OPEs נמצאים באזור הארקטי, מאחר ש-OPEs יכולים להתפרק מהר יותר באוויר מאשר במים. לכן, אם הם נמצאים במים, ה-OPEs יכולים להישאר זמן רב מספיק כדי להגיע לאזור הארקטי [7].

התוצאות האלה הצביעו על כך שה-OPEs אינם חלופה טובה לחומרים מעכבי הבעירה הישנים. במקום זאת, ממש כמו החומרים הישנים, OPEs הם מספיק לא פריקים כדי להצליח להגיע כל הדרך לאזור הארקטי (איור 3). בחלק מהמובנים, OPEs אפילו גרועים יותר מהחומרים מעכבי הבעירה הישנים, מאחר שאנו מוצאים הרבה מהם באזור הארקטי [7].

**האם יש משהו שאפשר לעשות לגבי הכימיקלים שנמצאים באזור הארקטי?**

כן, בהחלט, אפשר לעשות משהו.

הצעד הראשון הוא שמדענים, רגולטורים ואנשי תעשייה צריכים לבדוק אם אנו באמת צריכים את כל החומרי מעכבי הבעירה האלה מלכתחילה. כמובן, אף אחד לא רוצה מחשב או ספה שנשרפים בקלות, אולם עבור חלק מהחומרים מעכבי הבעירה עשוי להיות טוב יותר לא להשתמש בהם, מאחר שאם הם נשרפים הם מייצרים הרבה עשן רעיל. נוסף על כך שיטות אחרות להגנה מפני שריפה, כמו למשל מתזים וגלאי עשן, טובות הרבה יותר במניעת שריפות

מאשר חומרים מעכבי בעירה [5]. אז למה אנו לא משתמשים ביותר מערכות מתזים וגלאי עשן במקום בחומרים מעכבי בעירה, שיכולים לגרום לאנשים ולחיות לחלות?

אם ישנם מקרים שאנו באמת זקוקים לחומרים מעכבי בעירה, התעשייה שמייצרת אותם צריכה הייתה להוכיח שהחומר המעכב בעירה שהם רוצים להשתמש בו באמת מסוכנים פחות מאשר חומרים ישנים שנאסרו לשימוש.

חשוב מאוד לדעת, ישנם כמה דברים שכל אחד מאיתנו יכול לעשות:

כמבוגרים, אנו יכולים להשתמש בזכות ההצבעה שלנו! ממשלות צריכות לקבל הרבה החלטות, והחלטות לגבי אלה חומרים מעכבי בעירה בטוחים לשימוש עשויות שלא להיות בראש הרשימה. אולם אנו צריכים לתמוך בממשלות שאכפת להן מהסביבה ומבריאותם של אנשים. זהו הכוח הגדול שלנו בדמוקרטיה.

נוסף על כך ללא קשר לגילנו, אנו יכולים לשאול אנשים בחנויות שבהן אנו קונים צעצועי פלסטיק, טלפונים ניידים, מחשבי לוח (טאבלטים), ספות, או שטיחים, האם במוצרים האלה יש חומרים מעכבי בעירה ישנים או OPEs, ואם כן – האם החומרים מעכבי הבעירה באמת נדרשים במוצר המסוים והאם אנחנו באמת צריכים את המוצר הזה? אנו יכולים לדרוש מתעשיית החומרים מעכבי הבעירה להגיד לאנשים אם חומרים מעכבי בעירה נמצאים בשימוש, ואיזה סוג נמצא בשימוש בכל מוצר. זה חשוב מאחר שכיום, כשאתם והורכם הולכים לקנות טלפון נייד או ספה חדשה, אינכם יכולים לבדוק אם יש חומרים מעכבי בעירה במוצר שאתם רוצים לרכוש. אם יותר ויותר אנשים יבקשו מוצרים ללא חומרים מעכבי בעירה, החנויות, התעשייה והממשלה יתחילו לחשוב יותר אם חומרי מעכבי בעירה באמת נדרשים בכל כך הרבה מוצרים.

קחו את זה צעד אחד קדימה, ותשאלו את עצמכם אם אתם באמת צריכים לקנות כל כך הרבה דברים כל הזמן. האם טלפון נייד, לדוגמה, לא אמור להחזיק יותר משנתיים?

יחד, נוכל לעבוד לקראת הגבלת השימוש של כימיקלים מסוכנים כמו חומרים מעכבי בעירה, כדי להגן על הסביבה ועל בריאותם של בני אדם.

## תודות

אנו רוצים להודות לסבסטיאן סמסון על האיורים.

## מאמר המקור

Sühring, R., Diamond, M. L., Scheringer, M., Wong, F., Pucko, M., Stern, G., et al. 2016. Organophosphate esters in Canadian Arctic air: occurrence, levels and trends. *Environ. Sci. Technol.* 50:7409–15. doi: 10.1021/acs.est.6b00365

## מקורות

1. Stockholm Convention. 2008. *The New POPs Under the Stockholm Convention*. Chatelaine: Secretariat of the Stockholm Convention. Available online at: <http://chm.pops.int/Implementation/NewPOPs/TheNewPOPs/tabid/672/Default.aspx>

2. AMAP. 1998. *AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues*. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP).
3. Scheringer, M. 2009. Long-range transport of organic chemicals in the environment. *Environ. Toxicol. Chem.* 28:677–90. doi: 10.1897/08-324R.1
4. Rodgers, T. F. M., Truong, J. W., Jantunen, L. M., Helm, P. A., and Diamond, M. L. 2018. Organophosphate ester transport, fate, and emissions in Toronto, Canada, estimated using an updated multimedia urban model. *Environ. Sci. Technol.* 52:12465–74. doi: 10.1021/acs.est.8b02576
5. Shaw, S. D., Blum, A., Weber, R., Kannan, K., Rich, D., Lucas, D., et al. 2010. Halogenated flame retardants: do the fire safety benefits justify the risks? *Rev. Environ. Health* 25:261–305. doi: 10.1515/reveh.2010.25.4.261
6. Greaves, A. K., and Letcher, R. J. 2017. A review of organophosphate esters in the environment from biological effects to distribution and fate. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 98:2–7. doi: 10.1007/s00128-016-1898-0
7. Sühring, R., Diamond, M. L., Scheringer, M., Wong, F., Pucko, M., Stern, G., et al. 2016. Organophosphate esters in Canadian Arctic air: occurrence, levels and trends. *Environ. Sci. Technol.* 50:7409–15. doi: 10.1021/acs.est.6b00365
8. Zhang, X., Sühring, R., Serodio, D., Bonnell, M., Sundin, N., and Diamond, M. L. 2016. Novel flame retardants: estimating the physical-chemical properties and environmental fate of 94 halogenated and organophosphate PBDE replacements. *Chemosphere* 144:2401–7. doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.11.017

פורסם אונליין: 24 בפברואר 2022

נערך על ידי: Penelope Kate Lindeque

מנחה מדעי: Samantha Hood

**ציטוט:** Sühring R, Diamond ML, Scheringer M and Jantunen LM (2022) הרחק מהבית – כימיקלים תעשייתיים בקוטב הצפוני, שבאמת לא אמורים להיות שם. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00002-he

Sühring R, Diamond ML, Scheringer M and Jantunen LM (2020) A Long Way From Home—Industrial Chemicals in the Arctic That Really Should Not Be There. *Front. Young Minds* 8:2. doi: 10.3389/frym.2020.00002

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

**COPYRIGHT** © 2020 © Sühring, Diamond, Scheringer and Jantunen. 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.

## סוקר צעיר

**OLI, גיל: 13**

Oli הוא נגן גיטרה נלהב שנהנה לדבר מנדרינית ולשחק במשחקי מחשב.



## הכותבים

**ROXANA SÜHRING**

אני פוסט-דוקטורנטית באוניברסיטת שטוקהולם. המחקר שלי עוסק באופן שבו כימיקלים שנמצאים במוצרים יומיומיים יכולים להיכנס לסביבה, ומה קורה ברגע שהכימיקלים מגיעים לשם. אני בוחנת, למשל, אם כימיקלים שמשמשים כבשמים בסבונים יכולים להיכנס לדגים, ואם זו בעיה עבור הדגים. כשאני עוסקת במחקר, אני אוהבת לרקוד, לטייל, לטפס, או פשוט להתכרבל עם בעלי ובני, ולקרוא ספר מהנה. \*roxana.samson@aces.su.se

**MIRIAM L. DIAMOND**

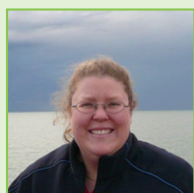
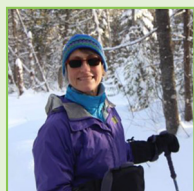
אני פרופסור באוניברסיטת טורונטו, שם אני גם חוקרת כיצד כימיקלים רעילים בורחים ממוצרים, נעים ברחבי הסביבה, ונכנסים אלינו ולחיות. קבוצת המחקר שלי דוגמת בתים, ערים, אזורים סביב לערים, ואת האזור הארקטי. יש לי שני ילדים גדולים, אני מנהלת מעבדה עם שמונה אנשים, ואני גם אוהבת לרקוד, לטפס, לעשות סקי ולשחות.

**MARTIN SCHERINGER**

אני פרופסור לכימיה סביבתית באוניברסיטת מסריק בברנו, צ'כיה, ומדען חוקר בכיר ב-ETH ציריך, ציריך, שווייץ. המחקר וההוראה שלי עוסקים במציאת כימיקלים חדשים מסוכנים לאנשים ולסביבה, ובאופן שבו כימיקלים נעים בסביבה. אני גם עורך שותף של עיתון בינלאומי בתחום של כימיה סביבתית, שנקרא Environmental Science and Technology.

**LIISA M. JANTUNEN**

אני חוקרת סביבה ושינויי אקלים בקנדה, ופרופסורית באוניברסיטת טורונטו בטורונטו, קנדה. המחקר שלי מתמקד בחומרים רעילים ומיקרו-פלסטיקים בקוטב הצפוני הקנדי, כיצד הם מגיעים לשם, מה קורה להם כשהם שם, וכיצד הם נכנסים לשרשרת המזון.



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



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל  
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK