

## האם זה שווה את זה? כיצד מוחכם מחליט להתאמץ

Anne-Wil Kramer<sup>1\*</sup>, Hilde M. Huizenga<sup>1,2,3</sup>, Lydia Krabbendam<sup>4</sup>,  
Anna C. K. van Duijvenvoorde<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup>המחלקה לפסיכולוגיה התפתחותית, אוניברסיטת אמסטרדם, אמסטרדם, הולנד

<sup>2</sup>מרכז אמסטרדם למוח ולקוגניציה, אמסטרדם, הולנד

<sup>3</sup>priority area Yield, אמסטרדם, הולנד

<sup>4</sup>המחלקה לפסיכולוגיה התפתחותית קלינית, אוניברסיטת VU, אמסטרדם, הולנד

<sup>5</sup>מחלקה לפסיכולוגיה התפתחותית, המכון לפסיכולוגיה, אוניברסיטת ליידן, ליידן, הולנד

<sup>6</sup>מכון ללידן למוח ולקוגניציה, אוניברסיטת ליידן, ליידן, הולנד

### סוקרים צעירים

SEAWELL  
ELEMENTARY  
גיל: 10



כל מה שאתם עושים דורש מכם מאמץ. לדוגמה, דברים בסיסיים כמו הליכה או רכיבה על אופניים דורשים מאמץ פיזי וקשורים לשימוש בגופכם. סוג אחר של מאמץ הוא מאמץ קוגניטיבי, שקשור לחשיבה ולשימוש במוח. לדוגמה, חשבו על הניסיון לפצח קובייה הונגרית. האם הייתם רוצים להשקיע את המאמץ שלכם בזה? העונג שבמציאת פתרון עשוי לגבור על הקושי שבחשיבה מאומצת. ייתכן, אולי, שתחליטו שמציאת פתרון לא שווה את המאמץ שלכם. מתי ומדוע אתם מחליטים לחשוב במאמץ? במאמר הזה, נסביר כיצד אתם מחליטים לבצע מאמץ קוגניטיבי, ומה קורה במוחכם בזמן שאתם מקבלים את ההחלטה הזו.

### הקדמה

בבית הספר, מורכים עשויים לומר שאם הייתם משקיעים קצת יותר מאמץ, הייתם עוברים את הבחינה, או שעם קצת יותר מאמץ הייתם מקבלים ציון גבוה יותר. בעוד שאתם עשויים

להרגיש שהשקעת מאמץ נוסף יכולה להוביל לתוצאות טובות יותר, לא תמיד ברור מהו בדיוק אותו המאמץ.

פעולות מאומצות יכולות להיתפס כהפוכות לפעולות אוטומטיות [1]. לדוגמה, אינכם צריכים לעשות שום דבר מיוחד כדי לגרום למוחכם לראות צבעים: זהו תהליך אוטומטי. בניגוד לכך, פעולות אחרות מערבות תהליכים לא אוטומטיים ודורשים מאמץ. פעולות מאומצות נמצאות בכל מקום. חשבו על המאמץ שנדרש כדי ללכת או לרכוב לבית הספר. פעולות גופניות כאלה דורשות מאמץ גופני. מצד שני, פעולות שדורשות **מאמץ קוגניטיבי** קשורות בחשיבה. מאמץ קוגניטיבי הוא מאמץ החשיבה שאתם משקיעים כדי להשלים מטלה מורכבת. לדוגמה, אתם משקיעים מאמץ קוגניטיבי כשאתם לומדים בבית הספר, פותרים חידה מורכבת, או מנסים לפתור תעלומה.

אנשים רבים מדווחים שהתנהגויות מאומצות שטובות לנו בטווח הארוך, כמו למשל למידה למבחן, מרגישות לא נעימות ברגע הנוכחי [2]. מדוע שהשקעת מאמץ קוגניטיבי תהיה לא נעימה? ויותר מעניין מכך, מדוע לעיתים זה מרגיש כיף? במאמר זה, נסביר מדוע ומתי אתם עשויים להחליט להשקיע מאמץ קוגניטיבי, ומה קורה במוחכם כשאתם מקבלים את ההחלטה הזו.

## עלויות ותועלות

דמיינו שיש לכם מחר בחינה שאתם צריכים ללמוד אליה. כמה מאמץ קוגניטיבי תשקיעו בלמידה? חוקרים מצאו שאפשר לחזות את התנהגותכם על ידי חישוב העלויות והתועלות של למידה [1]. מה עשויות להיות העלויות והתועלות האלה?

לשם פשטות, אנו יכולים לומר שהתועלת של למידה היא קבלת ציון גבוה. קבלת ציון גבוה טובה יותר לתעודה הסופית שלכם, ואתם עשויים פשוט לאהוב לקבל ציונים טובים. עלות חשובה קשורה לרמת המאמץ הקוגניטיבי שאתם צריכים להשקיע – כדי לקבל ציון טוב, אתם לעיתים נדרשים לחשוב קשה יותר.

חוקרים תיארו את החלטתכם להשתמש במאמץ קוגניטיבי כפונקציה של העלויות והתועלות הפוטנציאליות. אתם יכולים לחשוב על זה כמו בעיה במתמטיקה: סכום העלויות והתועלות מסתכם לערך מסוים. ככל שאתם מעריכים משהו יותר, כך סביר יותר שתשקיעו בו מאמץ קוגניטיבי.

באיור 1, אתם יכולים לראות שאם אתם צריכים ללמוד קשה מאוד כדי לקבל ציון טוב, הערך של קבלת ציון טוב יורד. זה אומר שמאמץ קוגניטיבי ככל הנראה גם יורד או מפחית את הערך של ציון טוב. זה מה שמדענים מכנים **פיחות מאמץ**.

## אבל... מה קורה במוח כשמחליטים להשקיע מאמץ קוגניטיבי?

כדי למדוד מה קורה במוחכם כשאתם מחליטים להשקיע מאמץ קוגניטיבי, חוקרים יכולים להשתמש בשיטה שנקראת **דימות תהודה מגנטית תפקודי (fMRI)** (עבור הסבר ל-fMRI,

### מאמץ קוגניטיבי (Cognitive Effort)

מאמץ החשיבה שאתם משקיעים בהשלמת מטלה מורכבת.

### פיחות מאמץ (Effort Discounting)

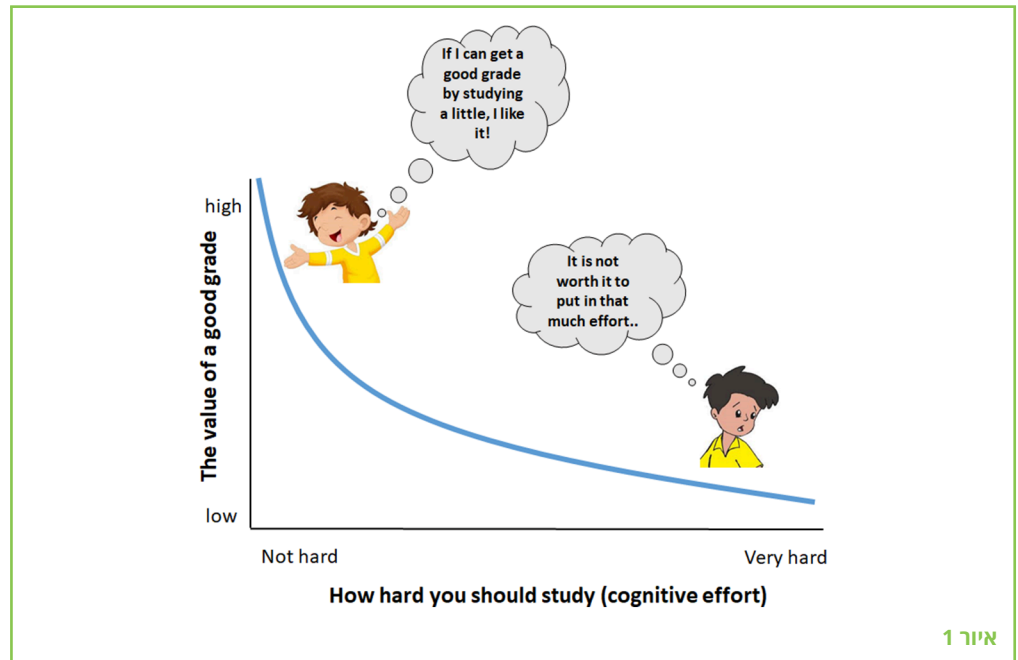
תופעה שבה משהו מאבד את הערך שלו אם נדרש להשקיע מאמץ נוסף.

### דימות תהודה מגנטית תפקודי (fMRI - Functional Magnetic Resonance Imaging)

שיטת דימות מוחי שמשמשת להראות אלה אזורי מוח פעילים בזמן נתון.

**איור 1**

הקו הכחול מייצג את הערך של ציון טוב כפונקציה של כמה קשה אתם צריכים ללמוד עבורו. כפי שאתם יכולים לראות, הערך של ציון טוב יפחת אם אתם צריכים להשקיע יותר מאמץ קוגניטיבי (ללמוד קשה יותר). זה מה שמדענים מכנים פיחות מאמץ; אתם פחות אוהבים משהו בגלל המאמץ שהוא דורש. הקו הכחול נקרא, לכן, עקומת פיחות המאמץ.



ראו תיבה 1). באמצעות fMRI, אנו יכולים למצוא אלה אזורי מוח פעילים, כלומר באלה אזורים נעשה שימוש באותו הרגע. ממחקרי fMRI למדנו שמוחכם כל הזמן מחשב את הערכים של פעולות העתיד שלכם, על ידי שקילת העלויות והתועלות של הפעולות האלה. אזור מסוים במוח שחשוב לאיתות על תועלות פוטנציאליות נקרא **הסטרואטום הקדמי**. האזור הזה נמצא עמוק בתוך המוח, והוא מעורב באיתות על סוגי תועלות שונים [3], למשל כסף, מזון טעים, או קבלת ציון טוב. אולם מה לגבי עלויות? מדענים הבחינו בכך שהעלויות של מאמץ קוגניטיבי מאותות בעיקר באזור אחר במוח, שנקרא **פיתול החגורה האחורי** [4].

**סטריאטום קדמי (Ventral Striatum)**

אזור במוח שמאזנת על העלויות של השקעת מאמץ קוגניטיבי.

**פיתול החגורה האחורי (Anterior Cingulate Cortex)**

אזור במוח שמעורב באיתות עלויות של השקעת מאמץ קוגניטיבי.

**תיבה 1. כיצד מדעני מוח מודדים פעילות מוחית?**

דימות תהודה מגנטית תפקודי (fMRI) הוא שיטת דימות מוח שמדענים משתמשים בה במטרה לראות מה המוח עושה בנסיבות שונות. המוח מכיל כ-100 מיליארד תאים, שנקראים נוירונים. הנוירונים האלה מתקשרים אחד עם השני דרך אותות כימיים וחשמליים. אם נוירונים שולחים יותר אותות אחד לשני, הם זקוקים ליותר חמצן. החמצן הזה מועבר דרך הדם, ואם הדם מכיל יותר חמצן אז הוא יותר מגנטי. על כן, באמצעות שיטות fMRI, אנו מודדים כמה חמצן משמש אזורים שונים במוח על ידי מדידת האות המגנטי שלו. זה אומר לנו באופן עקיף כמה פעילות יש באזור מסוים במוח. למידע נוסף על האופן שבו סורקי fMRI פועלים, ראו כתבת פרונטריז - מדע לצעירים נוספת [5].

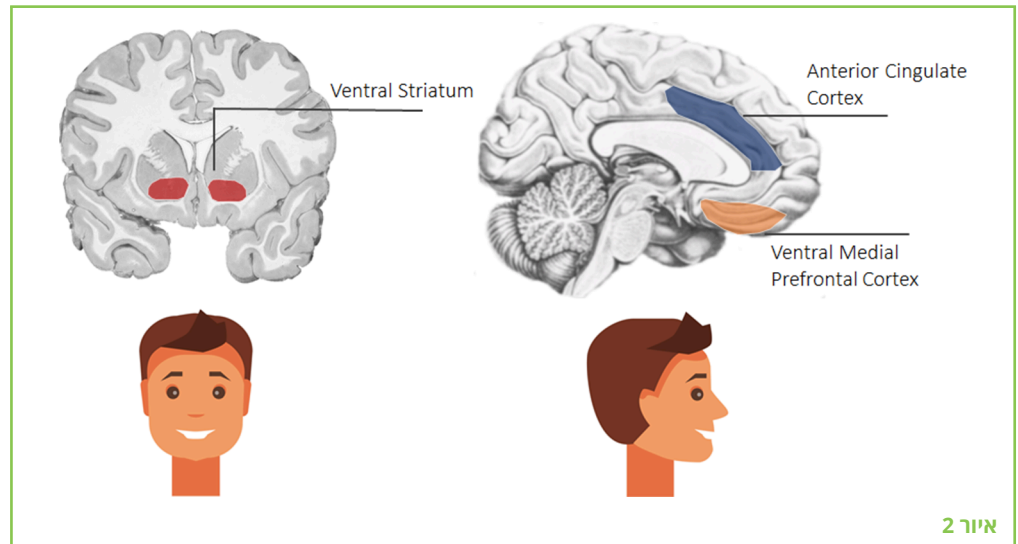
אחרי שמוחכם שקל את העלויות והתועלות, הסטרואטום הקדמי ופיתול החגורה האחורי יעבדו יחד כדי להחליף ביניהם מידע. בדוגמה שלנו, המוח שוקל את העלויות (מאמץ קוגניטיבי) ואת התועלות (ציון טוב) של למידה, ואז מחשב כמה אתם מעריכים את הציון הטוב, וכתוצאה מכך אם משתלם לכם ללמוד. חוקרים חושבים שהחלפת המידע הזו מתרחשת באזור במוח שנמצא לקראת החלק הקדמי של מוחכם, שנקרא **קליפת המוח הקדם-מצחית הקדמית האמצעית** (איור 2).

**קליפת המוח הקדם-מצחית הקדמית האמצעית (Ventral Medial Prefrontal Cortex)**

אזור במוח שבו העלויות והתועלות נשקלות.

## איור 2

מוחכם ממבט קדמי (משמאל) וצידי (מימין) של ראשכם. משמאל, אתם יכולים לראות את הסטריאטום הקדמי ("אזור התועלת"). מימין, אתם יכולים לראות את פיתול החגורה האחורי ("אזור העלות") ואת קליפת המוח הקדם-מצחית הקדמית ("סכום העלויות והתועלות").



## מתי אתם רוצים להשקיע מאמץ קוגניטיבי?

כעת, משאנו יודעים מהו מאמץ קוגניטיבי ומה קורה במוח כשמחליטים כמה מאמץ להשקיע, אנו יכולים לחזור לשאלה שהתחלנו ממנה: מתי אתם רוצים להשקיע מאמץ קוגניטיבי?

עד עכשיו, ייתכן שהבנתם שהמוח תופס מאמץ קוגניטיבי כיקר. לכן, מאמץ גדול מדי בדרך כלל מרגיש לא נעים. אתם עשויים לחשוב שמוחכם עצלן, אולם זה לא בהכרח המצב. מוחכם מנסה לבחון אם משתלם להשקיע את המאמץ הקוגניטיבי.

אולם, נכונותכם להשקיע מאמץ קוגניטיבי אינה תמיד זהה. אתם עשויים לזהות שלעיתים מתחשק לכם להשקיע מאמץ קוגניטיבי ולפעמים אתם ממש לא אוהבים לחשוב קשה. הנכונות להשקיע מאמץ קוגניטיבי אינה תמיד זהה – היא משתנה! כמה קשה מתחשק לכם לחשוב יכול להיות תלוי בשעה ביום (בוקר או ערב), כיצד אתם מרגישים (עייפים או רעננים), ואם אתם נהנים מהפעילות שדורשת את המאמץ שלכם, או לא [6].

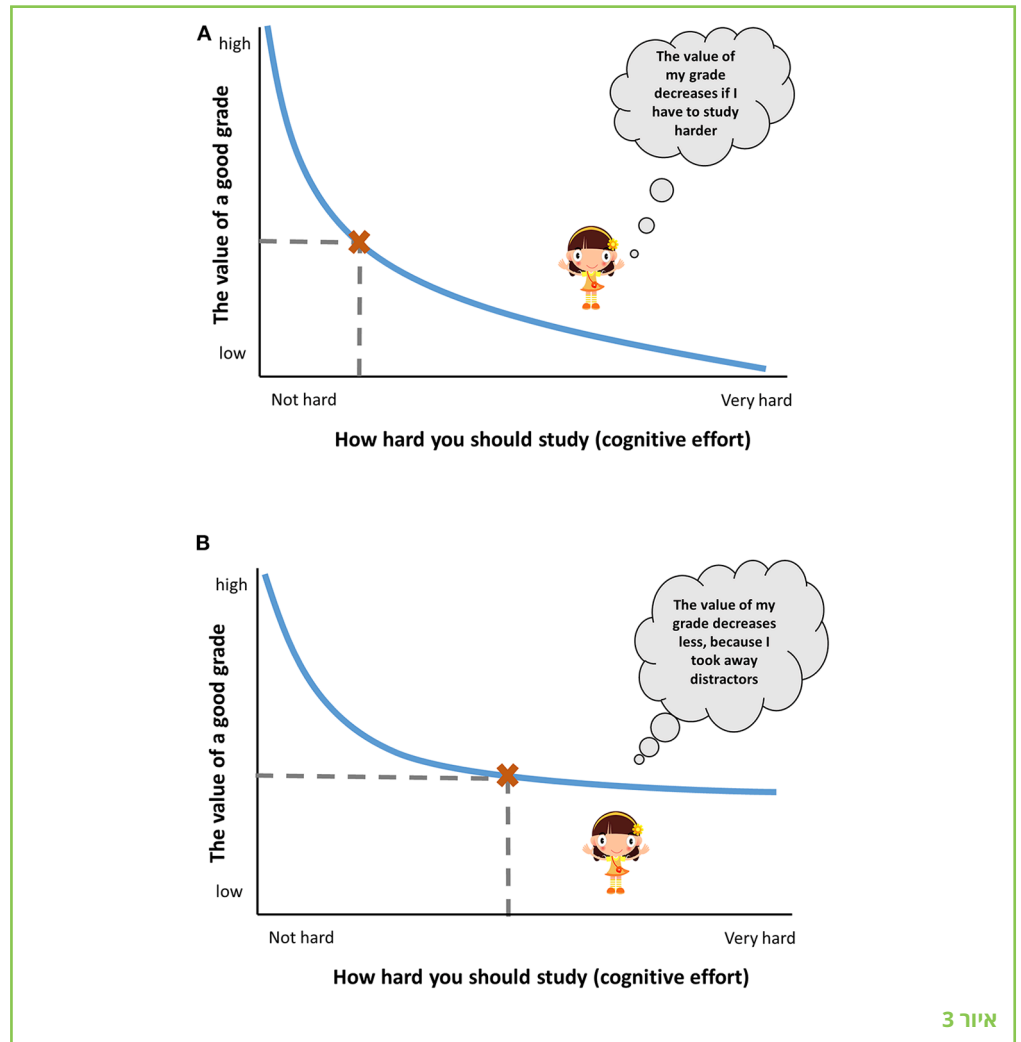
## טיפים להשקעת מאמץ גדול יותר

אם נכונותכם להשקיע מאמץ קוגניטיבי ניתנת לשינוי, אז שאלה חשובה מאוד היא: האם אתם יכולים להגדיל את נכונותכם להשקיע מאמץ קוגניטיבי במבחן שלכם מחר? טוב, התשובה היא... כן! בהתבסס על הידע שיש לכם היום, אתם יכולים לנסות שלושה טיפים פשוטים.

ראשית, הקטינו את כל העלויות האחרות עבור המוח החושב שלכם [1]. היפטרו ממסיחים, כמו למשל הטלפון הנייד שלכם, כדי שתוכלו להתרכז. כדי לראות מה עשוי לקרות, התבוננו באיור 3. הסרת הסחות דעת יכולה לגרום למאמץ קוגניטיבי להרגיש פחות יקר.

**איור 3**

**(A)** עקומת פחות מאמץ סטנדרטית: הערך של ציון טוב פוחת עם גדילת המאמץ הקוגניטיבי. האיזון האדום בשתי התמונות מצביע על הנקודה שבה הערך של ציון טוב הוא ממוצע, והקו האפור המקווקו מצביע על כמות הלמידה שדרושה כדי לקבל ציון ממוצע. **(B)** אם אתם נפטרים ממסיחים, כמו למשל הטלפון הנייד שלכם וטלוויזיה, הוספת מאמץ חדש כעת מפחיתה פחות מהר את הערך של ציון טוב. זה יוביל אתכם ללמוד עוד, מאחר שעלות המאמץ הקוגניטיבי תרגיש קטנה יותר.



איור 3

שנית, הגדילו את תועלתיתכם. לדוגמה, אתם יכולים לתגמל את עצמכם עם ממתק אחרי שלמדתם קשה במשך שעה אחת, או שאתם יכולים להגיד לעצמכם שאם תקבלו ציון טוב תקנו לעצמכם משהו נחמד.

שלישית, נסו להגדיל את הנאתכם מהמטלה המאמצת עצמה. לדוגמה, אם אתם לא אוהבים מתמטיקה, השתמשו במשחק מתמטי כדי להפוך את הלמידה למהנה יותר. באופן הזה, אתם עשויים אפילו להצליח ליהנות מהמאמצים שאתם משקיעים בלמידת מתמטיקה.

באמצעות הטריקים האלה, אתם בטוח תסיימו את שיעורי הבית שלכם בקלות רבה יותר. בהצלחה!

**תרומת המחברות**

A-WK ו-AD כתבו יחד את כתב היד. HH ו-LK סיפקו סקירות מהותיות.

## תודות

אנו רוצים להודות לאלה שסייעו בתרגום המאמרים באוסף הזה כדי לעשותם נגישים יותר עבור ילדים מחוץ למדינות דוברות אנגלית, ולקרן ג'ייקובס עבור סיפוק הכספים הנדרשים לתרגום המאמרים. בגין המאמר הזה, המחברות עצמן תרגמו אותו להולנדית. עבודה זו נתמכה על ידי מענק NeuroLab NL-7 Start Impulse מהאג'נדה המדעית הלאומית ההולנדית (NWA).

## מקורות

1. Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J. W., and Myers, J. 2013. An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *Behav. Brain Sci.* 36:661–726. doi: 10.1017/S0140525X12003196
2. Shenhav, A., Musslick, S., Lieder, F., Kool, W., Griffiths, T. L., Cohen, J. D., et al. 2017. Toward a rational and mechanistic account of mental effort. *Annu. Rev. Neurosci.* 40:99–124. doi: 10.1146/annurev-neuro-072116-031526
3. Westbrook, A., Lamichhane, B., and Braver, T. 2019. The subjective value of cognitive effort is encoded by a domain-general valuation network. *J. Neurosci.* 39:3934–47. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3071-18.2019
4. Kool, W., and Botvinick, M. 2018. Mental labour. *Nat. Hum. Behav.* 2:899–908. doi: 10.1038/s41562-018-0401-9
5. Sescousse, G., Caldú, X., Segura, B., and Dreher, J. C. 2013. Processing of primary and secondary rewards: a quantitative meta-analysis and review of human functional neuroimaging studies. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 37:681–96. doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.02.002
6. Parker, A. J. 2018. Fakes and forgeries in the brain scanner. *Front. Young Minds* 6:39. doi: 10.3389/frym.2018.00039

פורסם אונליין: 20 באפריל 2022

נערך על ידי: Jessica Massonnie

מנחה מדעי: Scott Huettel

**ציטוט:** Kramer A-W, Huizenga HM, Krabbendam L and van Duijvenvoorde ACK (2022) האם זה שווה את זה? כיצד מוחכם מחליט להתאמץ. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00073-he

**תורגם והותאם:** Kramer A-W, Huizenga HM, Krabbendam L and van Duijvenvoorde ACK (2020) Is It Worth It? How Your Brain Decides to Make an Effort. *Front. Young Minds* 8:73. doi: 10.3389/frym.2020.00073

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

Kramer, Huizenga, Krabbendam and 2022 © 2020 © **COPYRIGHT** van Duijvenvoorde. 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 למחבר(ים) 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

### 10 גיל: SEAWELL ELEMENTARY

הכיתה המדהימה שלנו בצפון קרוליינה מלאה מוחות לומדים מבריקים. אנו אוהבים לסייע זה לזה. אנו חושבים, פותרים ולומדים! אנו עושים פרויקטים שמתחיים את המוח שלנו, ולעיתים כשאנו עובדים יחד, רעיונותינו יכולים להתבלגן, אולם התוצאות הן תמיד כיפיות. אחת הדרכים שבהן אנו אוהבים להיות מגנבים? אמצו את העורך הפנימי שלכם! אנו אוהבים לקרוא הרבה מאמרים בעריכת עמיתים, והיינו נרגשים מאוד מההזדמנות לעבוד עם פרונטיר - מדע לצעירים!

## הכתבות

### ANNE-WIL KRAMER

אני דוקטורנטית באוניברסיטת אמסטרדם. אני ממלאת את הזמן שלי עם מגוון פעילויות. אני אוהבת להשקיע מאמץ גופני ברכיבה על אופניים ברחבי אמסטרדם, ובשחייה (גם בתעלות). אני גם נהנית להשקיע מאמץ קוגניטיבי לדוגמה על ידי משחקים או חשיבה על האופן שבו דברים פועלים. לעיתים אני מסתכלת על החתול שלי, ותוהה מדוע הוא יכול להרגיש טוב בלי להשקיע כל מאמץ במשך כל היום! אולם בכנות, אני גם לפעמים מרגישה ככה. בשל כך, תהיתי כיצד כל זה עובד? כדי לחקור מאמץ, אנו עורכים מחקר שבו אנו נותנים לאנשים לקבל החלטות על מידת המאמץ שהם רוצים להשקיע. [\\*a.kramer@uva.nl](mailto:a.kramer@uva.nl)

### HILDE M. HUIZENGA

אני פרופסורית לפסיכולוגיה התפתחותית באוניברסיטת אמסטרדם. אני משתמשת בהרבה מתמטיקה במטרה לחקור כיצד ילדים גדלים להיות מבוגרים, וכיצד מבוגרים גדלים להיות אנשים זקנים. לעיתים אני חושבת קשה כשאני עומדת בשולחן שלי, ולעיתים אני גם עושה זאת כשאני רצה, או מדברת עם הילדות המתבגרות שלנו, או רוכבת ברחבי אמסטרדם. בעת הרכיבה, חשבתי על האוירים של המאמר הזה. אני מקווה שתאהבו אותם.

### LYDIA KRABBENDAM

אני פרופסורית לנוירופסיכולוגיה התפתחותית באוניברסיטה החופשית של אמסטרדם. אני יודעת הכול על מאמץ קוגניטיבי וחינוך, מאחר ששלושת הילדים שלי הולכים לבית הספר! אני חוקרת אינטראקציות חברתיות בכיתות, וכיצד זה קשור ליחסי הגומלין שבין אינטראקציות חברתיות לבין התפתחות מוחית וקוגניטיבית. אני מוצאת את הנושא הזה מעניין מאחר שאם אתם עובדים או לומדים יחד עם אנשים שאתם אוהבים, זה גם עשוי לגרום למאמץ להיות הרבה יותר כיף.

### ANNA C. K. VAN DUIJVENVOORDE

אני פרופסורית לפסיכולוגיה התפתחותית והתפתחות מוחית באוניברסיטת ליידן. אני רוצה לדעת הכול על מוטיבציה, למידה והאופן שבו המוח פועל. האם זה לא מעניין שהמוטיבציה שלכם משתנה עם הגיל? האם זה קשור להתפתחות מוחכם? לא תמיד הייתה לי מוטיבציה בבית הספר, אולם כשיכולתי לבחור את הלימודים



שלי בנוירופסיכולוגיה, מצאתי אותם מרתקים. עבודה קשה כבר לא הייתה כל כך קשה! בעבודתי, אני מקווה להיות מסוגלת לבנות חוויות שמגבירות מוטיבציה ולסייע לילדים ללמוד.

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