



טכנולוגיות מדעיות חדשות: ניווט בין הטוב לרע

Susan J. Debad^{1*} | Juan Enriquez^{2*}

SJD Consulting LLC¹, איימזוויל, מרילנד, ארצות הברית

Excel Venture Management², בוסטון, מסצ'וסטס, ארצות הברית

סוקרים צעירים

ALESSANDRO

גיל: 12



ÇAĞAN

גיל: 11



ÇAĞLA

גיל: 9



לעיתים קרובות, אנחנו מסתמכים על התחושה הפנימית שלנו, שתנחה אותנו אם ההחלטות שאנחנו מקבלים והפעולות שאנחנו עושים בחיי היום-יום הן "נכונות" או "לא נכונות". תחושה זו נקראת אֶתִיקָה. בזכות האתיקה אנחנו אדיבים, כנים והוגנים. על מדענים ומדעניות לכבד גם "כללים" אֶתִיִּים (כאלו ההולמים את ערכי האתיקה), כדי להבטיח שהמחקר שלהם – והטכנולוגיות רבות העוצמה הנולדות ממנו – יסייע לאנשים, ולא יפגע בהם. כללי האתיקה של מדענים כוללים כיבוד זכויות אדם, הגבלת פגיעה בבעלי חיים, שמירה על בטיחות הציבור וכנות בכל הקשור לעבודתם. במאמר זה נסביר מהי אתיקה מדעית ומדוע חשוב להקפיד עליה, בייחוד בזמנים שבהם טכנולוגיות חדשות ועוצמתיות מתפתחות במהירות. נדגים מה עלול לקרות אם מדענים לא יקפידו על כללי האתיקה, ונסביר מדוע נוצרים לעיתים מצבים לא פשוטים. לבסוף, נתאר כיצד הטכנולוגיות החדשות עשויות לשנות את ההתנהגויות שחברות מחשיבות אתיות. הצטרפו אלינו לחקר ה"מצפון" של המדע!

מהי אתיקה?

איך אתם מבדילים בין טוב לרע? רק בזכות הכללים שאתם חייבים לציית להם בבית או בבית הספר, בעיר או במדינה שלכם, או שיש משהו מעבר לכך? האם בגלל חוקי הדת, או מצפייה בהתנהגות כלפי האחר של אנשים שאתם מכבדים? ייתכן שאתם מקבלים החלטות על סמך המצפון – הקול הפנימי הקטן שמנחה אתכם ושגורם לכם להרגיש טוב כשאתם עושים את "הדבר הנכון", ואשמה כשאתם פועלים בניגוד לערכים שלכם. בסך הכול, שילוב של כל הגורמים האלו ואחרים יוצרים אצל האדם תחושה בנוגע למה "נכון" ו"לא נכון".

אתיקה (Ethics)

הקווים המנחים בראשם ובלבם של אנשים, שעוזרים להם לקבל החלטות נכונות ולהימנע מפגיעה באחר. האתיקה עוזרת לאנשים לעשות את המעשה הנכון.

אתיקה היא מעין מדריך בלתי נראה במחשבתנו ובליבנו, שעוזר לנו להחליט מה הדבר הנכון והטוב לעשות. האתיקה עוזרת לנו לחשוב על המעשים שלנו וכיצד הם עשויים לגרום לאחרים להרגיש. במקרים מסוימים, הבחירה בין טוב לרע מובנת מאליה, למשל במקרים ברורים של פגיעה, כמו גניבה או כשמים משהו ללא סיבה. נכון שלפעמים קשה לנו לומר את האמת, בייחוד כשאנחנו חושבים שהיא עלולה לסבך אותנו? ולמרות זאת, עמוק בפנים, יש קול קטן שדוחק בנו להיות כנים. זהו קולה של האתיקה שמדברת מתוכנו! כמו כן, כשאתם רואים מישהו עומד לבדו בצד ואתם מזמינים אותו לשחק, הקול האתי שלכם מפציר בכם להיות אכפתיים ומתחשבים. אבל ייתכנו מקרים שבהם הקו המפריד בין טוב לרע הוא מטושטש. במצבים המעורפלים האלו, ה"כללים" האתיים יכולים להנחות אותנו בקבלת ההחלטות.

לאתיקה תפקיד חשוב בכל היבטי חיינו, גם בעבודה. היא חשובה במיוחד בעיסוקים הנשענים על **טכנולוגיות** חדשות שעשויות להשפיע ישירות על אנשים, על החברה או על הסביבה – כמו במדע.

טכנולוגיה (Technology)

כלים, ציוד ושיטות שמדענים ומדעניות מפתחים, כדי לפתור בעיות ולשפר את החיים. טכנולוגיות רבות יכולות לעזור או להזיק לאנשים, ולכן יש להשתמש בהן בזהירות ובצורה אֶתִית (כלומר בהתאם לעקרונות האתיקה).

טכנולוגיות עוצמתיות מחייבות אתיקה חזקה

למדע יש יכולת מדהימה להמציא המצאות ולגלות גילויים שיכולים לשפר את בריאות האדם, לפתור בעיות סביבה, ובאופן כללי להפוך את חיינו לקלים ומהנים יותר. עם זאת, בדיוק כפי שניתן להשתמש בפטיש כדי לעשות את הדבר ה"נכון" (לנעוץ מסמר) או את הדבר ה"לא נכון" (לשבור חלון של שכן), הרבה מהכלים המדעיים שפותחו מתוך מחשבה על המטרות הנעלות ביותר עלולים להזיק אם יגיעו לידיים הלא נכונות. חשש זה מתעצם יותר ויותר ככל שהמדע מתקדם, מאחר שהטכנולוגיות נעשות נגישות וחזקות יותר, ולכן מסוכנות יותר. על המדענים להקפיד מאוד על הקוד האתי, כך שינחה אותם בעבודתם ויבטיח שהטכנולוגיות החדשות יישמו לטובת האדם ולא כנגדו.

נגיפים מלאכותיים (Synthetic Viruses)

נגיפים (וירוסים) המיוצרים במעבדה, שמטרתם לסייע בטיפול במחלות באמצעות התמקדות בתאים מזיקים ובהשמדתם, מבלי לפגוע בתאים טובים.

גנים (Genes)

הוראות הנמצאות בתוך תאים, שלפיהן נקבע איך האורגניזם נראה ומהם התפקודים שלו.

נגיפים מלאכותיים הם דוגמה לטכנולוגיה מתפתחת שיכולה לשמש כדי לעזור או כדי להזיק. חשבו על נגיפים כעל כונן USB (זיכרון נייד, "דיסק און קי") שצריך מחשב – כלומר תא – כדי להפעיל את התוכנות השמורות בו, רק שנגיפים יכולים "להתחבר" לסוגי תאים מסוימים בלבד. אם ניתן לתכנן נגיפים כך שיתחברו רק לתאים סרטניים ויטעונו בתוכם "תוכנה" (נ) שאומרת, "תא סרטני, אתה חייב למות", נוכל להזריק את הנגיפים ישירות לגידול, או אולי אפילו למחזור הדם, וכך לעזור לחולים להחלים. זהו כלי נהדר עבור רופאים, שיכול לעזור לאנשים רבים. עם זאת, בדיוק כפי שעל כונן USB יכולה להיות תוכנה שימושית או תוכנה

זדונית, בידיים הלא נכונות עלולים להיווצר נגיפים מלאכותיים מסוכנים שיתפשטו בקלות באדם (דרך האוויר או באמצעות מגע, למשל). נגיפים אלו עלולים לגרום מחלות או להכיל גנים שיפגעו באנשים, ואפילו יהרגו אותם.

אתיקה מדעית (Scientific Ethics)

הקווים המנחים והערכים שעוזרים למדענים ולמדעניות לוודא שעבודתם הוגנת, בטוחה ומשמשת כדי לעזור לאנשים, לבעלי חיים ולכדור הארץ, ולא כדי להזיק להם.

איור 1

האתיקה המדעית פועלת כ"מצפון" של המדע. זאת כדי להבטיח שמשמשים בתגליות מדעיות כדי לעזור לאנשים, ולא כדי לפגוע בהם. לדוגמה, בדיוק כפי שכוון USB עשוי להכיל תוכנה מועילה או זדונית, נגיפים מלאכותיים יכולים להכיל גנים שעוזרים להילחם בסרטן למשל, או, בידיים הלא נכונות, יכולים לשמש לפגיעה בבני אדם ואפילו להרוג אותם. אתיקה מדעית חזקה יכולה להטות את כף המאזניים לכיוון שימוש אחראי ואתי בטכנולוגיות עוצמתיות חדשות (האיור נוצר באמצעות carlottacat.com.
ETHICAL = אתי;
UNETHICAL = לא אתי.



איור 1

העקרונות המנחים את המדענים והמדעניות

הקווים המנחים המדויקים שמדענים צריכים לפעול על פיהם יכולים להשתנות מאוד בהתבסס על גורמים רבים, כמו סוג המדע (מדע הרפואה לעומת מדעי הצמח, למשל), האוניברסיטה או המכון שבו המחקר מתרחש, או התרבות המקומית. עם זאת, ישנם כמה עקרונות מנחים מקובלים שעל כל מדען ומדענית לפעול על פיהם (איור 2). בהם:

- **כבוד לזכויות האדם:** המדענים צריכים להגן על רווחתם, על כבודם ועל עצמאותם של כל המעורבים במחקריהם. עליהם להסביר בבירור את הסיכונים ואת היתרונות של המחקר, ולוודא שכל המשתתפים מסכימים להשתתף בו. עיקרון זה נראה **הסכמה מִדַּעַת**, והוא מבטיח שהמצטרפים למחקר עושים זאת מרצונם החופשי, ושלא מופעל עליהם לחץ להשתתף.
- **שימוש אתי בבעלי חיים:** אם יש צורך להשתמש בבעלי חיים במחקר, יש להתייחס אליהם באנושיות ולמזער את הכאב והסבל שלהם.
- **דיווח מייד על סכנה:** אם חוקרים מגלים סיכונים בריאותיים או בטיחותיים, בטיפול או בטכנולוגיה חדשים כלשהם, עליהם לדווח על כך מייד. הבטיחות מעל הכול, בייחוד אם במחקרים משתתפות קבוצות פגיעות, כמו ילדים, אסירים, נשים הרות או אוכלוסיות אחרות בסיכון.

הסכמה מִדַּעַת (Informed Consent)

כאשר אנשים בוחרים להשתתף במחקר מדעי מרצונם החופשי ומבינים היטב את מטרות, את הסיכונים בו ואת היתרונות שלו. על המדענים מוטלת האחריות האיתית להסביר את פרטי המחקר בצורה ברורה.

גניבה ספרותית (plagiarism)

להעתיק עבודה של מישהו אחר ולהעמיד פנים שהיא שלכם. גניבה ספרותית היא פסולה מפני שמדובר בגניבת רעיונות של אחרים.

איור 2

העקרונות האתיים המנחים את עבודתם של מדענים ומדעניות.

אלו כוללים טיפול נאות בבעלי חיים, כיבוד זכויות אדם, כנות, התחשבות בהשלכות הרחבות של עבודתם ודיווח מידי על סכנות (האיור נוצר באמצעות carlottacat.com).
דיווח = REPORT DANGERS
על סכנות;
RESPECT HUMAN RIGHTS = כיבוד זכויות אדם;
CONSIDER BROAD IMPACTS = התחשבות בהשלכות רחבות;
BE HONEST = כנות;
TREAT ANIMALS WELL = טיפול נאות בבעלי חיים.



איור 2

מה קורה כששוברים את החוקים?

אתם ודאי שואלים את עצמכם אם יש דוגמאות למצבים אמיתיים מהחיים שהסתיימו בתוצאות שליליות, מאחר שמדענים התעלמו מעקרונות האתיקה המדעית. בהחלט קיימות דוגמאות להתנהלות מדעית לא אתית, מכיוון שגם מדענים הם בני אדם ולפעמים הם עלולים לקבל החלטות שגויות, כמו כולנו.

אחת הדוגמאות המפורסמות היא ניסוי העגבת בטסקיגי, שנערך בשנים 1932–1972. בניסוי זה, מאות גברים אפרו-אמריקאים שחלו במחלת מין מידבקת הנקראת עגבת, לא קיבלו טיפול רפואי מהחוקרים, במקוון. החוקרים רצו להבין איך העגבת משפיעה על הגוף. אם בוחנים שוב את הרשימה שלנו, ברור שהמחקר הזה היה לא אתי מבחינות רבות. מרבית הגברים היו עניים שלא ידעו לקרוא, ולא נתנו את הסכמתם להשתתף במחקר. כמו כן, שיקרו להם בנוגע למצבם – לא נאמר להם שיש להם עגבת ושהמחלה מועברת ביחסי מין, והם קיבלו טיפולים מזויפים, גם כשהפניצילין נעשה זמין והיה יכול לרפא אותם. בעקבות הניסוי רבים מהגברים מתו או סבלו מסיבוכים חמורים, כמו עיוורון.

דוגמה עדכנית יותר להתנהלות מדעית לא אתית התרחשה בשנת 2018, כאשר מדען הכריז שהצליח לערוך את הגנים של בנות תאומות לפני שנולדו, באמצעות טכנולוגיה חדשה ועוצמתית בשם CRISPR-Cas9 (טכנולוגיה מהפכנית לשינוי מדויק של מקטעי דנ"א) [1]. לדברי המדען, הוא רצה לפתח עמידות בתינוקות מפני הדבקה ב-HIV (נגיף הגורם למחלת איידס) באמצעות השבתת הגן שמאפשר את כניסת נגיף ה-HIV לתאים. אף שנדמה שזהו רעיון נהדר, מעשיו עוררו בקרב חוקרים רבים וכן בציבור תדהמה ודאגה לעתיד של התאומות. המדען זייף כמה אישורים חשובים, וערך את הניסוי ללא תמיכה של הרשויות המקומיות או של הקהילה המדעית וללא הסכמתן. לדעת חוקרים רבים הוא לא שקל את ההשפעות ארוכות הטווח שעלולות להיות לניסוי שלו, על הילדות ועל ילדיהן העתידיים. לבסוף, היו שטענו שזהו ניסוי מיותר מכיוון שיש דרכים אחרות, מסוכנות פחות, למנוע הידבקות ב-HIV, מבלי לשנות את הדנ"א האנושי.

"נכון" או "לא נכון"? התשובה מורכבת!

חשוב לזכור שבמקרים מסוימים, כללי האתיקה המדעית שונים מכללי משחק או מכללי התלבושת האחידה בבתי ספר. מה שנחשב "נכון" או "לא נכון" לא בהכרח זהה בכל התרבויות, וגם יכול להשתנות עם הזמן, ככל שהידע והערכים של החברה מתפתחים. דוגמה קיצונית לכך היא שכאשר החל ניסוי העגבת בטסקיגי, לא היו הנחיות רשמיות המסדירות מחקר אתי בבני אדם. זה בשום אופן לא מצדיק את מהלך ניסוי, אבל לא היו בשעתו כללים רשמיים שהגנו על אנשים מפני ניסויים לא אתיים כאלה.

טכנולוגיה היא גורם בעל כוח רב במיוחד, שיכול לשנות את התפיסה של חברה באשר למה ש"נכון" ו"לא נכון". טכנולוגיות חדשות פותחות לפנינו אפשרויות שלא היו בעבר, וכך גורמות לבחירות הקודמות שלנו להיראות שגויות או לא אתיות. לדוגמה, רכבים הפועלים על מנועי בנזין הם הנורמה כבר יותר ממאה שנה, למרות ההשפעות המזיקות שלהם על הסביבה; פשוט לא היו בידינו אפשרויות תחבורה טובות אחרות. עם זאת, ככל שהרכבים החשמליים משתפרים, יותר אנשים עשויים להתחיל להרגיש שזה לא אתי לנהוג בכלי רכב מזהמים הפועלים על בנזין. כך עשוי לקרות גם בנוגע לאכילת בשר. ככל שתחליפי הבשר הסינתטיים יהיו יקרים פחות וטעימים יותר, ייתכן שיבוא יום שבו אפילו אוכלי הבשר ירגישו שלא מקובל לאכול בעלי חיים מבחינה אתית. ככל שהנורמות מתפתחות, דורות העתיד ישפטו את העבר דרך הסטנדרטים שלהם ויבקרו אנשים על התנהגויות עבר, שבמבט לאחור ברור שהן שגויות. כיום, הטכנולוגיות העוצמתיות הזמינות לנו מתרבות ומשתכללות מהר יותר מאי פעם, ובעקבותיהן האתיקה שלנו עשויה להתפתח בקצב מעריכי. אולי בעתיד אפילו ייראה לנו לא אתי **לא** לשנות את הגנים של ילדינו שטרם נולדו, כדי להגן עליהם מפני סרטן או מחלות נפוצות אחרות שאנשים סובלים מהן בימינו!

סיכום: כוחן של בחירות

מדע עשוי להיות רב-עוצמה, ויש לו פוטנציאל להביא להתפתחויות מדהימות שיועילו לאנושות. האתיקה המדעית היא המגדלור שמסייע למדענים למדעניות להתמודד עם המורכבות של עבודתם. היא מבטיחה שטכנולוגיות חדשות משרתות את החברה מבלי להזיק לה או להפר זכויות אדם. חוקים ותקנות יכולים לספק למדענים הנחיה אתית, אולם

הטכנולוגיה מתקדמת במהירות כזו שהחוקים הרשמיים וקודי ההתנהגות לא עומדים בקצב שלה. לכן חשוב שכל מדענית ומדען יקפידו מאוד על כללי האתיקה ויישאו באחריות להתנהגותם. שילוב הכשרה בתחום האתיקה כחלק מההשכלה המדעית יסייע למדענים להבין את ההנחיות שלפיהן הם מצופים לפעול.

עתיד המדע תלוי בשמירה על אמון הציבור (למידע נוסף על אמון במסגרת המדע, ראו [מאמר זה של פרונטירז – מדע לצעירים](#)). אם הציבור יראה שמדענים מקפידים לפעול על פי כללי האתיקה ושהם עורכים מחקרים בצורה אחראית, כנה ומכבדת, יהיה לו קל יותר לסמוך על המדענים, לתמוך במדע, וכן לפעול על פי המלצות מדעיות שיכולות לשמור על בריאותו.

ככל שהמדע והחברה ממשיכים להתפתח, טכנולוגיות חדשות ימשיכו לשנות את דעותינו ואת תפיסותינו באשר למה שמקובל עלינו ומה שלא. המדע שם בידינו כלים מדהימים, אבל הדרך שבה אנחנו משתמשים בהם תלויה רק בנו. כאשר מיטב המוחות המובילים את המחקר מצויים בכלי האתיקה, המדע יכול לפרוח, ובזמנית להגן עלינו ועל כדור הארץ.

תודות

ההשראה לכתיבת המאמר לקוחה מ־[Sparks! Serendipity Forum at CERN](#). למידע נוסף על נושא זה, צפו בהרצאותיהם של [Juan Enriquez](#), ושל [Andrew Hessel](#), וראו את ספרו של Enriquez [2].

הצהרת כלי בינה מלאכותית

טקסט חלופי הנלווה לאיורים במאמר זה נוצר על ידי פרונטירז בסיוע כלי בינה מלאכותית, ונעשו מאמצים על מנת להבטיח את דיוקו, כולל בדיקה על ידי כותבי המאמר כאשר הדבר התאפשר. אם ברצונכם לדווח על בעיה, אנו צרו איתנו קשר.

מקורות

1. Adli, M. 2018. The CRISPR tool kit for genome editing and beyond. *Nat. Commun.* 9:1911. doi: 10.1038/s41467-018-04252-2
2. Enriquez, J. 2021. *Right/Wrong - How Technology Transforms Our Ethics*. ISBN 9780262542814.

פורסם אונליין: 02 בפברואר 2026

נערך על ידי: [Claudia Marcelloni](#)

מנחים מדעיים: [Sezgin Ersoy](#) | [Marco Montemurro](#)

ציטוט: Debad SJ I Enriquez J (2026) טכנולוגיות מדעיות חדשות: ניווט בין הטוב לרע. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2023.1303154-he

תורגם והותאם מ: Debad SJ and Enriquez J (2023) New Scientific Technologies: Navigating the Path of Right and Wrong. Front. Young Minds 11:1303154. doi: 10.3389/frym.2023.1303154

הצהרת ניגוד אינטרסים: SD הועסקה ב־SJD Consulting LLC. JE הועסק ב־Excel Venture Management.

זכויות יוצרים © 2026 Debad I Enriquez 2023. 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.

סוקרים צעירים

ALESSANDRO, גיל: 12

אני Alessandro, תלמיד בן 12 מאיטליה. התחלתי להתעניין במדע כשהייתי ילד. רציתי להיות חוקר, אז ההורים שלי קנו לי את "ערכת המדען הצעיר", שבאמצעותה ערכתי את הניסוי הראשון שלי. הייתי גאה בעצמי. המשכתי לאהוב מדעים, והתחלתי ללמוד כדי להגשים את החלום שלי.

ÇAĞAN, גיל: 11

שמי Çağan ואני תלמיד כיתה ה'. בין השאר, אני נהנה לקרוא, לשחק כדורגל וכדורסל, ולעסוק במדע, בשפות עתיקות ובמדעי המחשב. אני אוהב לקרוא ספרי הרפתקאות, במיוחד את סדרת הארי פוטר. ניגנתי ארבע שנים בפסנתר, ועכשיו אני מתעניין בכלי נגינה אחרים. אני אוהב טבע, צמחים ובעלי חיים.

ÇAĞLA, גיל: 9

שמי Çağla ואני תלמידת כיתה ג'. בין השאר, אני אוהבת לעסוק בהתעמלות, לקרוא, לצייר ולהאזין למוזיקה. אני אוהבת לקרוא ספרי מדע בדיוני ופנטזיה. רקדתי בלט במשך שלוש שנים. אני מנגנת בפסנתר. אני אוהבת מאוד משחקים, טבע, בעלי חיים וצמחים.

הכותבים

SUSAN J. DEBAD

מאז 2015, Susan היא העורכת הראשית של פרונטירס – מדע לצעירים. היא עוזרת להציג את המדע במאמרים שלנו בצורה ברורה ומעניינת, כדי שאף אחד לא "ישתעמם" או ירגיש שהם "קשים מדי". יש לה דוקטורט באימונולוגיה גניפית (הדרך שבה מערכת החיסון מגינה עלינו מפני נגיפים). Susan גרה ליד העיר וושינגטון, ויש לה בן מתבגר, שתי ציפורים וארבעה כלבים. הם משמשים כמשפחת אומנה לכלבי



בִּינָל ועוזרים למצוא להם בתים מאמצים, ולכן לפעמים יש להם יותר מארבעה כלבים! בזמנה הפנוי היא נהנית לקרוא, לפתור תשבצים ולבלות בחוץ. *susan@sjdconsultingllc.com



JUAN ENRIQUEZ

Juan מתעניין בדרך שבה מדעי החיים וחקר המוח יכולים לחולל שינויים בעסקים ובחברה. יש לו תואר ראשון ושני מאוניברסיטת הרווארד. Juan היה המנהל המייסד של "פרויקט מדעי החיים" של בית הספר לעסקים בהרווארד, והוא שותף מחקר במעבדת הנירוביולוגיה הסינתטית של MIT, המכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס. כיום, הוא עובד ב־Excel Venture Management, חברה שעוזרת להקים חברות שרתומות את טכנולוגיות מדעי החיים כדי לפתור בעיות מרכזיות בתחום הבריאות ובתחומים נוספים. Juan נשא תשע הרצאות ב־TED במגוון נושאים וכתב כמה ספרים, בהם "נכון/לא נכון: כיצד הטכנולוגיה משנה את האתיקה שלנו". *jenriquez@excelvm.com

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



קרן משפחת

שעשוע Shashua

Family Foundation