



הנטל הבריאותי והכלכלי של מחסור במגנזיום במים מותפלים מאיה שדה, איתמר גרוטו, נדב דוידוביץ' ואלכס וינרב

המחקר נערך בתמיכתה הנדיבה של יד הנדיב

סדרת מחקרי סביבה ובריאות של מרכז טאוב

מחקר מס' 3, ירושלים, אלול תשפ"ד, ספטמבר 2024

מרכז טאוב לחקר המדיניות החברתית בישראל

מרכז טאוב לחקר המדיניות החברתית בישראל נוסד ב-1982 ביוזמתם של הרברט מ' סינגר, הנרי טאוב וארגון הג'וינט האמריקאי. המרכז ממומן באמצעות קרן צמיחה שהוקמה על ידי קרן הנרי ומרלין טאוב, קרן הרברט ונל סינגר, ג'יין וג'ון קולמן, קרן משפחת קולקר-סקסון-הלוק, קרן משפחת מילטון א' ורוזלין ז' וולף וארגון הג'וינט האמריקאי. המרכז מקבל גם תמיכה שנתית נדיבה מתורמים פרטיים, מקרנות ומפדרציות יהודיות.

מרכז טאוב הוא מכון מחקר על-מפלגתי ובלתי תלוי העורך מחקרים איכותיים בנושאי חברה וכלכלה בישראל. המרכז מציג בפני מקבלי ההחלטות המובילים ובפני כלל הציבור בישראל תמונה רחבה המשלבת בין הממדים החברתיים והכלכליים בהתוויית מדיניות ציבורית. הצוות המקצועי של המרכז וצוותי המדיניות הבין-תחומיים, הכוללים חוקרים וחוקרות בולטים בתחום באקדמיה ומומחים ומומחיות מובילים בתחומי המדיניות, עורכים מחקרים מבוססי נתונים בנושאים חברתיים-כלכליים מרכזיים שעל סדר היום במדינה. המרכז מציג ניתוחים אסטרטגיים לטווח ארוך וחלופות מדיניות בפני הציבור ובפני מקבלי ההחלטות על ידי כתבות בתקשורת, תוכנית פרסומים פעילה, כנסים ופעילויות אחרות בישראל ובחו"ל.

הפרסומים של מרכז טאוב הם על דעתם ועל אחריותם של מחבריהם בלבד. אין בהם כדי לחייב את המרכז, את חבר הנאמנים שלו, את עובדיו האחרים ואת התומכים בפעולותיו.

היוזמה למחקר ומדיניות סביבה ובריאות

היוזמה למחקר ומדיניות סביבה ובריאות של מרכז טאוב היא מיזם משותף של הפורום לבריאות וסביבה, יד הנדיב ומרכז טאוב לחקר המדיניות החברתית בישראל. היוזמה עוסקת במחקר יישומי ובקידום מדיניות במגוון נושאים סביבתיים, בהם שינויי אקלים והסביבה הבנויה, איכות האוויר והמים, חשיפה לכימיקלים והטיפול בפסולת, תוך התייחסות מיוחדת להשפעתם על בריאות האוכלוסייה בישראל.

מטרת היוזמה לסייע בקידום המדיניות הציבורית בתחום הסביבה והבריאות באמצעות ביסוס ידע יישומי והנגשתו לקובעי המדיניות ולמקבלי ההחלטות. את פעילות היוזמה מלווה ועדת היגוי המורכבת מאנשי ונשות אקדמיה מובילים המחויבים לקידום ויישום מדיניות אפקטיבית בתחום הסביבה והבריאות בישראל. בוועדת ההיגוי חברים אנשי הוועדה המייסדת של פורום בריאות וסביבה ונציגים של יד הנדיב והנהלת מרכז טאוב.

ראשת היוזמה: מאיה שדה, חוקרת במרכז טאוב ודוקטורנטית במחלקה לאפידמיולוגיה ורפואה מונעת באוניברסיטת תל אביב.

חברי ועדת ההיגוי: פרופ' דוד ברודאי, ד"ר תמר ברמן, פרופ' איתמר גרוטו, פרופ' חגי לוי, פרופ' מיה נגב, אנדי בניקה, מירה גולן, פרופ' נדב דוידוביץ', פרופ' אבי וייס, פרופ' אלכס וינרב, ניר קידר.

אנא צטטו מחקר זה כך:

Sadeh, M., Grotto, I., Davidovitch, N., & Weinreb, A. A. (2024), The Health and Economic Burden of Desalination-Related Magnesium Deficiency. The Taub Center for Social Policy Studies in Israel. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12790539>

הנטל הבריאותי והכלכלי של מחסור במגנזיום במים מותפלים

מאיה שדה, איתמר גרוטו, נדב דוידוביץ' ואלכס וינרב

הקדמה

לפני שני עשורים הייתה ישראל בעיצומה של בצורת קשה. מפלס הכינרת היה ממש מעל ל"קו השחור" (שמתחתיו חדירת מלח, בדרך כלל בלתי הפיכה, הופכת את המים לבלתי שמישים). באמצעי התקשורת שודרו פרסומות שעודדו חיסכון במים. הגבלות הוטלו הן על משתמשים ביתיים והן על חקלאים, ובאופן כללי שררה בציבור חרדה לנוכח המחסור החמור במים בישראל.

היום אותה בהלת מים היא זיכרון רחוק. אף על פי שמאז שנת 2000 גדלה אוכלוסיית ישראל בלמעלה מ-50%, ואף על פי שכמות המשקעים השנתית הממוצעת נמוכה ב-9.6% בהשוואה ל-50 השנים הקודמות והטמפרטורה השנתית הממוצעת גבוהה ב-1.5 מעלות צלזיוס (הערכת המחברים בהתבסס על נתוני CRU – היחידה לחקר האקלים באוניברסיטת מזרח אנגליה), כמות המים הטריים לנפש שעומדת היום לרשות הישראלים גדולה מהכמות שעמדה לרשותם בשנת 2000. במילים אחרות, הסימנים המידיים למשבר מים ממשמש ובא, התאדו כולם.

* מאיה שדה, חוקרת וראשת היוזמה למדיניות סביבה ובריאות במרכז טאוב לחקר המדיניות החברתית בישראל ודוקטורנטית במחלקה לאפידמיולוגיה ורפואה מונעת באוניברסיטת תל אביב; פרופ' איתמר גרוטו, רופא בריאות הציבור ומומחה באפידמיולוגיה וי"ר ועדת ההיגוי של היוזמה למחקר ומדיניות סביבה ובריאות במרכז טאוב; פרופ' נדב דוידוביץ', חוקר ראשי וראש תוכנית מדיניות הבריאות במרכז טאוב ומנהל בית הספר לבריאות הציבור באוניברסיטת בן-גוריון בנגב; פרופ' אלכס וינרב, ראש תחום הדמוגרפיה ומנהל המחקר במרכז טאוב. אנחנו מודים לד"ר תמר ברמן על הערותיה המועילות לטיטוט מוקדמות של המאמר.

היפוך המגמה של משק המים בישראל עומד בניגוד חד למצב במדינות השכנות, שבהן הניהול הלקוי של אותן בצורות ממושכות שהשפיעו על ישראל הביא לירידה חדה במפלס מי התהום, לקידוחים הולכים ומעמיקים של בארות, ובסופו של דבר לאקוויפרים מרוקנים. רבים טענו כי הניהול הכושל הזה, והתנועה המסיבית של אנשים מאזורים כפריים לאזורים עירוניים שנגרמה בגללו במדינות כמו סוריה ועיראק, הם גורמים מרכזיים שמובילים לאי-יציבות פוליטית ולמלחמות אזרחים (Daoudy, 2020; DuBois King, 2016; Gleick, 2014).

הצלחתה של ישראל נבעה משתי מערכות מדיניות עיקריות. הראשונה הייתה מאמץ שימור רב-שכבתי, שכלל התקנת מקלחות ומכלי הדחה בעלי זרם נמוך, שיטות מתקדמות של השקיה בטפטפות ושימוש חוזר במים בשיעורים גבוהים מאוד: למעלה מ-85% ממי השופכין ממוחזרים ומשמשים שוב, בעיקר להשקיה; זהו שיעור גבוה פי ארבעה מאשר בספרד, אשר בקרב המדינות בעלות הכנסה גבוהה מדורגת במקום השני בהיקף השימוש באמצעי זה (Jacobsen, 2016). שיעור נזילות המים בישראל נע סביב 7%–8%, לעומת ממוצע של כ-30% במדינות בעלות הכנסה גבוהה, והוא נחשב הנמוך בעולם (Durst, 2020).

ואולם הגורם העיקרי למהפך במשק המים בישראל היה ההחלטה להגדיל את אספקת המים המתוקים למערכת באמצעות הקמת מתקני התפלה בהיקף נרחב. כיום פועלים בישראל שבעה מתקנים, ומתקן שמיני, שורק ב, צפוי להתחיל לפעול בשנה הקרובה. נרחיב על כך בזרקור בהמשך הדברים.

הסתמכותה של ישראל על התפלה לאספקת צורכי המים שלה היא נקודת הפתיחה של מאמר זה. בתמונה הגדולה, המעבר של ישראל להתפלה היה הצלחה חד-משמעית. לפי הערכות משנת 2017, חלקם של המים המותפלים מסך מי השתייה בישראל הוא 70% ברמה הארצית,¹ אם כי ההערכות מגיעות אף לכדי 80% (Koren et al., 2017). ואכן, אפילו ללא מתקן שורק ב, ישראל החלה להשתמש במים העודפים שלה כדי למלא שוב את הכינרת. במילים אחרות, ישראל משנה את כיוון הזרימה של המוביל הארצי, צינור המים הגדול שבעבר הוביל מים מהכינרת לכל חלקי הארץ, וכעת היא משתמשת בכינרת כמתקן טבעי לאחסון מים.²

במאמר זה אין בכוונתנו להמעיט בערכה של הצלחת פרויקט ההתפלה הישראלי, שניתק את הקשר בין נגישות למים בישראל ובין דפוסי הגשמים שקשה יותר ויותר להסתמך עליהם; מטרתנו להצביע על היבט אחד בבריאות הציבור שבו ייתכן שהמעבר להתפלה הוביל לתוצאות לא כל כך רצויות, אם כי ניתנות לתיקון.

1 מענה של רשות המים לבקשה מכוח חוק חופש המידע, נובמבר 2023.

2 הצלחה יש גם פוטנציאל להשפעות גלובליות. מאחר שלמדענים ישראלים היה תפקיד חשוב בפיתוח טכנולוגיות אלו ובמציאת פתרונות נקיים וידידותיים יותר לסביבה לבעיות מתמשכות. דוגמה ראויה לציון היא שיטות למניעת סתימת המברנות במיקרו-אורגניזמים ללא שימוש בכימיקלים – חברות ישראליות מעורבות מאוד כעת בפריסתן הגלובלית של טכנולוגיות אלו באזורים צחיחים ומעוטי מים אחרים בעולם.

לצד איחוד האמירויות, אוכלוסיית ישראל היא הראשונה שצורכת כמויות גדולות של מי שתייה מותפלים (כלומר ללא מינרלים, מלבד סידן שמוחזר למים), ולכן השפעות ההתפלה מחייבות תיעוד קפדני. יש ספרות מדעית נרחבת על אודות היתרונות הבריאותיים של סוגים מסוימים של מינרלים הנמצאים במי שתייה טבעיים; ככלל, המינרלים הללו נמצאים גם במי הים שאנחנו מתפילים, אלא שבתהליך ההתפלה הם מוצאים מן המים.

המוקד האמפירי של המאמר הוא המחסור במגנזיום. יש לציין כי רבים אחרים כבר עמדו על ההשפעות השליליות של המעבר למים מותפלים על צריכת מגנזיום. תרומתנו הספציפית כאן היא שאנחנו צופים את ההשפעות הבריאותיות של המעבר למים מותפלים ללא מינרלים על ההיארעות של שתי תוצאות בריאותיות מרכזיות בישראל: סוכרת מסוג 2 ושבץ איסכמי. הממצאים שלנו מצביעים על גידול משמעותי בשיעורי התחלואה – הגבוהים ממילא – בסוכרת מסוג 2, ועל גידול מתון יותר, במונחים אבסולוטיים, בהיארעות של מקרי שבץ איסכמי. אנחנו גם מתרגמים את ההשפעות הכוללות הללו של מחסור במגנזיום הן למספר השולי של שנות-אדם באוכלוסייה שחיה עם סוכרת מסוג 2, והן לעלות הכספית של המקרים הנוספים של סוכרת ושבץ למערכת הבריאות הציבורית.

המסר העיקרי של מאמר זה הוא שלניצחון המוחץ של הגדלת עתודות המים המתוקים המצומצמות של ישראל בעזרת התפלה, יש מחיר בתחום בריאות הציבור. למרבה המזל, **זהו מחיר שניתן להימנע ממנו**, כפי שיפורט בסיכום, שכן אפשר להוסיף מגנזיום למים מותפלים במקור.

זרקור

התפלה בישראל: סקירה היסטורית

ישראל עשתה את ניסויה ההתפלה הראשונים שלה באילת ובאשדוד בין שנות השישים לשנות השמונים של המאה שעברה. ואולם מתקן ההתפלה הראשון בשיטת האוסמוזה ההפוכה שהיה כדאי מבחינה מסחרית נפתח באילת רק בשנת 1997. הכדאיות נבעה בחלקה מן העלות הגבוהה של הובלת מים מצפון הארץ כל הדרך לאילת. מתקן שני, שהתמקד במים מליחים באזורים שמצפון לקיסריה, נפתח בקיבוץ מעגן מיכאל ב-2004.

שני המתקנים הראשונים היו רחוקים מלספק את צורכי המים ההולכים וגדלים של ישראל. הם היו קטנים יחסית, כושר הייצור המרבי של שניהם יחד הסתכם ב-38 מיליון מטרים מעוקבים (מ"ק) בשנה, ואף אחד מהם לא התפיל מי ים טהורים. לעומת זאת, המתקן באשקלון, שהיה מתקן ההתפלה הגדול בעולם כשנפתח ב-2005, היה בעל כושר ייצור של כ-120 מיליון מ"ק של מי ים טהורים. מתקני ההתפלה גדלו מאז, ובשל היתרון לגודל ובזכות חידושים טכנולוגיים מתמשכים הם מציעים מים בתמורה למחירים הולכים ויורדים ליחידה.

כפי שניתן לראות בלוח 1, בישראל יש היום שבעה מתקני התפלה מתפקדים, והמתקן השמיני, שורק ב, צפוי להיפתח בשנה הבאה. כאשר ייפתח גם הוא, תהיה למתקני ההתפלה של ישראל יכולת להתפיל כמעט מיליארד מ"ק של מי ים בשנה (שהם כ-35% מהצריכה הכוללת של מים בישראל, לרבות צריכת החקלאות והתעשייה) (Kramer, 2022).

לוח 1. מתקני ההתפלה בישראל

שם/מקום	שנת הפתיחה	כושר ייצור (מ"ק בשנה)
1 אילת	1997	20 מיליון
2 מעגן מיכאל	2004	18 מיליון (מים מליחים)
3 אשקלון	2005; הורחב ב-2010	119 מיליון
4 פלמחים	2007	90 מיליון
5 חדרה	2009	127 מיליון
6 שורק א	2013	150 מיליון
7 אשדוד	2015	100 מיליון
8 שורק ב	מתוכנן להיפתח ב-2024	200 מיליון

הערה: מתקן שורק ב, הראשון שיוקם בצפון הארץ, ישנה לחלוטין את אספקת המים לאזור זה, אשר הסתמכה עד כה על מקורות טבעיים.

מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב | נתונים: רשות המים; ויקיפדיה

במאמר זה שלושה חלקים עיקריים. בחלק הראשון אנחנו מסכמים ספרות ביו-רפואית הקושרת בין צריכת מגנזיום לבין תוצאות בריאותיות, מתוך התמקדות בסוכרת מסוג 2 ובשבץ איסכמי. בחלק השני אנחנו מנבאים את השפעת ההוספה של 50 מ"ג מגנזיום לצריכה היומית הממוצעת של אדם בישראל. החלק השלישי דן בהשלכות הכלכליות של הגל הגובר של תחלואה הקשורה למחסור במגנזיום, תחילה בהקשר של סוכרת מסוג 2 ולאחר מכן בהקשר של שבץ איסכמי. לבסוף נסקור בקצרה כמה אפשרויות לתיקון בעיה זו, ובראשן הוספת מגנזיום בתהליך ההתפלה. אנחנו טוענים כי החיסכון למערכת הבריאות הציבורית יכסה את עלותה של התערבות זו ואף יעלה עליה.

השפעות המחסור במגנזיום על הבריאות

המחקר הביו-רפואי מתמקד בהשפעות המגנזיום על הבריאות כבר עשרות שנים, מאז שהתברר בראשית המאה העשרים שזהו מינרל חיוני לבריאות האדם. למרות ההכרה בחשיבות המגנזיום, ואף על פי שהוא הקטיון התוך-תאי השני הנפוץ ביותר, בכל הנוגע לבריאות האדם מתייחסים אליו כאל "הקטיון הנשכח"³. בדיקות דם שגרתיות – כלומר "פאנל מטבולי בסיסי" (BMP) – אינן בודקות מגנזיום, ולכן הוא פחות מוכר באוכלוסייה מקטינונים אחרים.

במאה השנים האחרונות התגלו דברים נוספים רבים על אודות המנגנונים הקושרים מגנזיום לפעולה התקינה של כל איברי הגוף, לרבות העצמות, המערכת החיסונית, מערכת העיכול והמערכת הקרדיו-וסקולרית (de Baaij et al., 2015; Shechter & Eilat-Adar, 2021; Touyz et al., 2024). באופן כללי, התפקיד הבסיסי שלו הוא לשמש גורם משלים בתגובות אנזימטיות שחיוניות לתפקוד התא ולחילוף החומרים. מגנזיום מעורב במיוחד בכל התהליכים הביוכימיים והמטבוליים שבתא, כמו למשל ויסות הגלוקוז, וכמה מהפעולות האנזימטיות שהמגנזיום מתווך הן קריטיות לחיים. למגנזיום יש תפקיד גם בוויסות התכונות החשמליות של שריר הלב, על ידי הרחבת כלי דם והרפיית שריר חלק באמצעות דיכוי מנגנונים שמצרים כלי דם, ובדיכוי מנגנונים דלקתיים שמונעים הסתיידות וסקולרית והתפתחות של טרשת עורקים, פקקת ואוטם שריר הלב. לבסוף, למגנזיום יש תפקיד קריטי כנוסט ביחס לקטיונים אחרים, במיוחד יוני סידן ואשלגן. לריכוז אופטימלי של סידן בתא יש תפקיד מרכזי בשמירה על לחץ דם תקין, והוא מונע בין השאר קרישי דם והסתיידות עורקים. ריכוז גבוה של סידן בתא גורם להפרעה במטבוליזם התאי ולהתגברות העמידות לאינסולין, להשמנת יתר ולעלייה בהיארעות של סוכרת מסוג 2. לאחרונה התגלה כי לסידן יש תפקיד קריטי בתהליכי חילוף החומרים המתווכים על ידי אינסולין – יותר מדי סידן בתא מפריע לתהליכים אלו (Kang et al., 2017). מסיבות אלו הגוף מפקח היטב על ריכוז המגנזיום בנזל התוך-תאי.

אף על פי שכבר שנים רבות ידוע שחולי סוכרת סובלים ממחסור במגנזיום, שקשור גם בגידול בסיבוכי סוכרת ובשיעורי תמותה, רק לאחרונה התבססה תמיכה אמפירית בקשר הסיבתי בין מחסור במגנזיום להיארעות של סוכרת (Barbagallo & Dominguez, 2007). הקשר עובד באמצעות כמה מנגנונים. מצד אחד, מגנזיום מווסת פעילות של קולטני אינסולין, ובכך הוא מעורב בהשפעות המטבוליות של גלוקוז ואינסולין. מצד שני, אינסולין הוא הורמון חשוב בוויסות המטבולי של מגנזיום בגוף, משום שהוא מעורב בתהליך

3 קטיון, שבגוף האדם נקרא גם "אלקטרוליט", הוא יון בעל מטען חיובי (מספר הפרוטונים עולה על מספר האלקטרונים). נוסף על מגנזיום, דוגמאות נפוצות לקטיונים בגוף האדם הן נתרן, אשלגן וסידן.

העברתו מהמרחב החוץ-תאי אל המרחב התוך-תאי. מסיבה זו, ככל שרמות המגנזיום נמוכות יותר, כך גדלה כמות האינסולין הדרושה לעיכול כמות נתונה של גלוקוז – כלומר הרגישות לאינסולין פוחתת. נוסף על כך, כאשר כמות המגנזיום בתא נמוכה, יכולתו של האינסולין להכניס את המגנזיום לתוך התא קטנה יותר. ראייה אחרונה לכך שרמות נמוכות של מגנזיום יכולות לגרום לסוכרת היא שגיל מבוגר יותר קשור לריכוז מופחת של מגנזיום בתא, ואנשים מבוגרים נוטים למחלות מטבוליות ווסקולריות באופן כללי (Barbagallo et al., 2021).

ההכרה רבת השנים בקשר החיובי שבין מחסור במגנזיום לבין כמה מצבים כרוניים הניבה מחקרים רבים. עם הזמן התרחב הטווח שלהם במידה ניכרת. בשני העשורים האחרונים יש בהם גם מחקרים פרוספקטיביים (prospective studies) מתוכננים בקפידה, הנחשבים ל"מדד הזהב" במחקר הרפואי. ספרות זו מספקת כעת ראיות אמפיריות חזקות הקושרות צריכה נמוכה של מגנזיום לגידול משמעותי בהיארעות של סוכרת מסוג 2, הידועה גם כ-T2D או סוכרת מבוגרים, ושל שבץ איסכמי (Albaker et al., 2022; Barbagallo & Dominguez, 2007; Zhao et al., 2020 Wu et al., 2018), במחלת כבד (Shlezinger et al., 2018), ובמחלת כליות כרונית (Yin et al., 2023). לנוכח הנתונים המצטברים פרסמו האיגוד הקרדיולוגי בישראל ועמותת הדיאטנות והתזונאות בישראל נייר עמדה ובו המלצות לצריכת מגנזיום למניעת מחלות לב וכלי דם ולטיפול בהן, והמליצו למטופלים שחולים בהן ליטול תוספי מגנזיום ולעבור בדיקות תקופתיות (Shechter & Eilat-Adar, 2021).

בבסיס ההמלצות התזונתיות הסטנדרטיות לצריכת מגנזיום מונחת ההבנה שלרמות נמוכות של מגנזיום יש השפעות שליליות מרחיקות לכת על הבריאות. בישראל מומלץ לנשים בוגרות לצרוך 315 מ"ג מגנזיום ליום, ולגברים בוגרים מומלץ לצרוך 415 מ"ג ליום; לנשים הרות ולמתבגרים מומלצת צריכת מגנזיום בכמות שבין שתי אלה. מוסדות בריאות הציבור בכל המדינות האחרות בעלות הכנסה גבוהה שיש להן מערכות רפואיות מתקדמות מפרסמים המלצות דומות מאוד. נוסף על כך, מהנחיות המכונים הלאומיים לבריאות (NIH) בארצות הברית עולה כי אין סף עליון לצריכת מגנזיום כל עוד המקור הוא טבעי – הכליות נפטרות מכל העודפים – אולם באמצעות תוספים תזונתיים אין לצרוך יותר מ-400 מ"ג ליום (NIH, 2021).

צריכת מגנזיום בישראל

בעבר היו המים אחד המקורות למגנזיום בישראל. על פי הערכות, לפני עידן ההתפלה מים סיפקו כ-7%-17% מצורכי המגנזיום היומיים בישראל באמצעות 12-16 כוסות מים ומשקאות אחרים ששתו הישראלים במשך היום (Koren et al., 2017; Spungen et al., 2013).⁴ היום, כאמור לעיל, 70% מהמים במשקי הבית בישראל הם מים מותפלים. כל כמות של מגנזיום המצויה במים הלא-מותפלים – שיש בהם רמות משתנות של מגנזיום הנפוץ במסנני מים ביתיים (בריטה וכד'), הנמצאים בשימוש של 25%-50% מהאוכלוסייה (Spungen et al., 2013). סקרי הבריאות והתזונה (מב"ת) של משרד הבריאות כוללים הערכה של כמות המגנזיום הנצרכת דרך מי שתייה: מי ברז – 32.4 מ"ג לליטר; מים בבקבוקים – 28 מ"ג לליטר; מים מסוננים – אפס. בסקרים נמצא כי 46% מהאוכלוסייה שותים מים מסוננים, 31% שותים מי ברז ו-23% שותים מים מבקבוקים. למרות השימוש הנרחב במסנני מים ביתיים, רמת המגנזיום בדם של חולי לב המתגוררים באזורי התפלה הייתה נמוכה משמעותית מרמתה אצל חולי לב המתגוררים באזורים שהמים שמסופקים בהם אינם מותפלים (Koren et al., 2017).

לפי סקרי מב"ת על מצב הבריאות והתזונה בבני 18-64 ובבני 65 ומעלה (משרד הבריאות 2019א, 2019ב), ניתן להבחין בשלושה דפוסים של צריכת מגנזיום (כפי שמודגם בלוח 2).

1. מחסור במגנזיום – המוגדר כצריכה של פחות מהכמות המומלצת – ניתן למצוא בכל קבוצות הגיל ובקרב יהודים וערבים, גברים ונשים. מחסור ניכר נמצא בקרב גברים ונשים צעירים יחסית (18-34). גברים בגילים אלו צרכו בממוצע 68 מ"ג פחות מהכמות היומית המומלצת, ונשים – 60 מ"ג פחות. דפוס גיל זה בולט במיוחד בקרב היהודים: הן גברים מבוגרים והן נשים מבוגרות צורכים כמות גדולה יותר של מגנזיום מגברים ונשים צעירים מהם. לעומת זאת, בקרב הערבים דפוס הגיל איננו אחיד, וגם לא דפוס הצריכה של גברים ונשים. צריכת המגנזיום נמוכה במיוחד אצל נשים ערביות צעירות – הן צורכות 96 מ"ג פחות מהכמות היומית המומלצת.

4 הערכות אלו ואחרות עשויות להשתנות כתלות במגוון גורמים והנחות.

5 מקורות מים טבעיים נבדלים זה מזה מבחינת המינרלים שהם מכילים. לגבי מגנזיום (Koren et al., 2017) מדווחים כי מים מתוקים מהמוביל הארצי מכילים 20-25 מ"ג מגנזיום לליטר, אולם ממדגם המחברים לגבי מי ברז ב-24 מקומות שונים שבהם המים אינם מותפלים נמצאו רמות של 11-37.5 מ"ג לליטר (25.1 בממוצע). הפער הזה בין מים במוביל הארצי לבין מי ברז משקף אפוא הוספה של עוד מקורות מים – מעיינות מקומיים ומי תהום – במקומות שונים. באופן דומה, (Rosen et al., 2018) מצביעים על "רמות יציבות אך נמוכות מאוד של מגנזיום במימי נחל דן שבצפון הארץ".

2. ערבים בני 45-64: נשים צורכות 51 מ"ג פחות מהכמות היומית המומלצת, וגברים - 53 מ"ג פחות. זה מדאיג משום שבני קבוצת הגיל הזאת נוטים יותר למצבים רפואיים המונעים ספיגה יעילה של מגנזיום. בשל היעדר נתונים ספציפיים לגבי מספר המיליגרמים של מגנזיום שצורכים מעל גיל 65 איננו יכולים לדעת באיזו מידה צריכת החסר נמשכת בקבוצות הגיל המבוגרות ביותר. ואולם במיוחד בקרב גברים, שיעור הסובלים ממחסור במגנזיום עולה במהירות בגילים המבוגרים ביותר.
3. בקרב נשים צריכת המגנזיום הגבוהה ביותר היא בגיל הביניים, 35-44, ובקרב גברים - בקבוצת בני 45-64.

לוח 2. הכמות המומלצת לצריכה יומית של מגנזיום וסטיות מהמלצות אלו, בסקר התזונה הלאומי של ישראל לפי גיל ומגזר, 2014-2016

סך הכול סטייה בכלל האוכלוסייה (מ"ג)	סטייה בקרב ערבים (מ"ג)	סטייה בקרב יהודים (מ"ג)	כמות מומלצת (מ"ג)	נשים
60-	96-	60-	315	34-18
13-	24-	10-	315	44-35
16-	51-	10-	315	64-45
	(53% מחסור בצריכה)		265	74-65
	(60% מחסור בצריכה)		265	84-75
	(60% מחסור בצריכה)		265	85+
גברים				
60-	33-	67-	415	34-18
17-	12	25-	415	44-35
16-	53-	9-	415	64-45
	(60% מחסור בצריכה)		350	74-65
	(65% מחסור בצריכה)		350	84-75
	(80% מחסור בצריכה)		350	85+

הערה: בהתחשב בכך שההערכות לגבי החריגות מהמלצות מבוססות על רמות המגנזיום במי השתייה לפני ההתפלה, ייתכן שהחריגות בפועל, במיוחד כיום כאשר מים מותפלים מהווים 70%-80 מסך מי השתייה, גדולות אף יותר.

מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינר, מרכז טאוב | נתונים: הנתונים עבור בני 18-64 מעובדים מתוך משרד הבריאות, 2019א, עמ' 141; הנתונים עבור בני 65+ מעובדים מתוך משרד הבריאות, 2019ב, עמ' 171.

באופן כללי נראה כי דפוסים אלו תואמים מגמות בתזונה. מאכלים עשירים במגנזיום כוללים ירקות בעלי עלים ירוקים, קטניות, אגוזים וגרעינים, דגנים מלאים, חלב, יוגורט ועוד כמה מוצרי חלב. צריכה של מאכלים אלו הייתה בעבר גבוהה למדי בישראל. ואולם כבר זמן מה צריכתם נמצאת בירידה, בייחוד בקרב קבוצות גיל צעירות יותר, שצורכות כמויות גדולות יותר של מזון מעובד, שתכולת המגנזיום בו נמוכה. שינוי תזונתי זה תואם גם מגמות אחרות. השוואת נתונים בין סקר מב"ת 1999–2001 לסקר מב"ת 2014–2016 מראה שצריכה של אשלגן, הנמצא ברבים מהמאכלים המכילים גם מגנזיום, ירדה ב-9%, וצריכת ויטמין C, סמן לצריכת פירות טריים, ירדה כמעט ב-50%. יש לשים לב שעליות מתונות בצריכת סיבים תזונתיים וסידן במהלך אותה תקופה מעידות על כך שצריכתם של ירקות, דגנים מלאים ומוצרי חלב לא פחתה. במילים אחרות, הירידה בצריכת המגנזיום אינה נובעת אך ורק משינויים בתזונה אלא גם מירידה בתכולת המגנזיום בתוצרת החקלאית המקומית. ייתכן שזה המצב. ישנן כמה ראיות לכך שהתרחבות השימוש במים מותפלים (בעיקר ממוחזרים) בחקלאות היא כשלעצמה גורמת להקטנת תכולת המגנזיום בתוצרת המקומית (Raveh & Ben-Gal, 2018; Yermiyahu et al., 2007).

נתונים אפידמיולוגיים על קשרים בין מחסור במגנזיום במים בשל התפלה ובין בריאות הם נדירים. במחקר עוקבה גדול שהתבסס על מסד הנתונים של שירותי בריאות כללית נמצאה עלייה של 6% בסיכוי למחלת לב איסכמית בקרב אוכלוסיית בני 25–76 החיים באזורים שבהם החלו לספק מים מותפלים, בהשוואה לאוכלוסיות שמקבלות מים לא מותפלים. לא נמצא הבדל בהיארעות של סוכרת מסוג 2 (Shlezinger et al., 2018). במטא-אנליזה של 10 מחקרים הכוללים 77,821 מטופלים החולים במחלת לב כללית שנעשו במדינות שבהן יש הבדלים טבעיים בריכוז המגנזיום במי השתייה נמצא כי בקרב מטופלים שבמי השתייה שלהם הייתה כמות גדולה יותר של מגנזיום הייתה התמותה ממחלת לב כללית נמוכה ב-11% (Jiang et al., 2016). עם זאת, מחקר עדכני יותר מצא קשר מגן בין מגנזיום למחלות לב כלליות רק במקרים של אוטם שריר הלב ולא במקרים של שבץ (Theisen et al., 2022).

אם כן, באופן כללי הראיות שבנמצא מצביעות על ירידה בצריכה הממוצעת של מגנזיום, שנובעת הן מהתרחבות השימוש במים מותפלים ובמים מסוננים והן משינויים בתזונה, וגם מירידה אפשרית בריכוזי המגנזיום בתוצרת טרייה. במובן זה ההסתמכות הגוברת על מים מותפלים בישראל מחריפה בעיה קיימת של מחסור במגנזיום בקרב הציבור בישראל. אנחנו מניחים שהירידה בצריכת המגנזיום היא בטווח של 15%–20%, כלומר גבוה מעט מהערכתם של (Koren et al., 2017) בנוגע לירידה בצריכת מגנזיום ממים בלבד. על פי המינרלים המומלצים של מגנזיום המפורטים בלוח 2, מדובר בירידה של 50–80 מ"ג ליום. על בסיס זה, ההערכות האמפיריות שנתאר להלן מתמקדות בירידות שוליות של 50 מ"ג ליום.

הערכת ההשפעות של מחסור במגנזיום על הבריאות בישראל

תוצאה שלילית פוטנציאלית זו של התפלת המים, במיוחד בהקשר של המחסור במגנזיום, מוכרת בישראל כבר זמן רב. דיונים על הוספת מגנזיום למי שתייה מותפלים החלו בישראל בשנת 2004, עם מינויה של הוועדה המייעצת לעדכון תקנות המים בראשותו של פרופ' אבנר עדין. בעקבות המלצת משרד הבריאות להעשיר מים מותפלים במגנזיום, בשנת 2013 נקבע בתקנות ההגנה על בריאות הציבור כי עד ספטמבר 2018 יש לבחון את המשמעות והעלות של הוספת מגנזיום למי השתייה כדי להגיע לריכוז של 20–30 מ"ג לליטר ולהגיש המלצות בעניין. ועדת היגוי שהקים משרד הבריאות לבחינת הנושא פרסמה בינואר 2021 מסמך שבחן את העלויות הבריאותיות של מחסור במגנזיום במי השתייה, כמו גם את העלות של הוספת מגנזיום למים מותפלים. במסמך זה נטען כי התועלת שתפיק הכלכלה מהפחתת התחלואה והתמותה מסוכרת מסוג 2, מחלת לב כלילית ושבץ איסכמי כתוצאה מהוספת מגנזיום למים מותפלים תעלה על העלות, והמליץ להוסיף מגנזיום כדי להגיע לריכוז של 30 מ"ג לליטר מים מותפלים (תהל מהנדסים יועצים, 2021).

מטרות המחקר

למחקר זה שתי מטרות. כל אחת מהן מבוססת על הספרות המפורטת לעיל על ההשפעות השליליות המוכרות של מחסור במגנזיום על הבריאות; הירידה ברמות הצריכה של מגנזיום בישראל; התפקיד האפשרי של מים מותפלים בירידה זו; והקריאות להוסיף מגנזיום למים מותפלים כדי לעזור להפוך את המגמות האלו.

מטרנתו הראשונה היא לכמת כמה מההשפעות הבריאותיות מבחינת התחלואה העודפת הנובעת ממחסור במגנזיום. אנחנו מתמקדים במיוחד בהשפעות הצריכה הנמוכה יותר של מגנזיום על ההיארעות של סוכרת מסוג 2 ושל שבץ איסכמי. במטא-אנליזה מהזמן האחרון, המפורטת להלן, נטען כי השפעות המחסור במגנזיום הן חזקות ביותר בשני מצבים אלו (Zhao et al., 2020). אנחנו כמובן מכירים בחשיבותה של הספרות הרפואית על הקשר שנמצא בין מחסור במגנזיום ובין גורמים משמעותיים אחרים לתחלואה ולתמותה – בישראל בייחוד מחלת לב איסכמית, פרפור פרוזדורים וסרטן המעי הגס (Shlezinger et al., 2018, 2019) – אולם הניתוח שלנו אינו עוסק במצבים אלו. באומדנינו תיתכן אפוא הערכת חסר לסך הנטל הבריאותי שקשור למחסור במגנזיום.

מטרנתו השנייה היא להעריך את העלויות הכלכליות הישירות שעל מערכת הבריאות לשאת בהן בשל הנטל הנוסף של סוכרת מסוג 2 ושבץ איסכמי. אנחנו מתעלמים במכוון מן העלויות העקיפות של נטל עקיף זה, שכן הבאתו בחשבון דורשת להניח הנחות רבות מדי בדבר סוגי הטיפול והמטפלים, לרבות השפעות על תעסוקת המטפלים ועל בריאותם

הנפשית והגופנית (ארזי ואחרים, 2023). למרות הערכת חסר זו נראה כי מחסור במגנזיום קשור בתוספת משמעותית מאוד להוצאה הציבורית על בריאות.⁶

נתונים

נתוני ההיארעות של שבץ איסכמי וסוכרת מסוג 2 בישראל מתקבלים מהנתונים על ישראל במחקרי נטל התחלואה העולמי (Global Burden of Disease – GBD) לשנת 2019 (IHME, 2023).⁷ הערכות ראשוניות של ההשפעה הכוללת של הירידה בצריכת מגנזיום משתמשות בהיארעות מתוקנת לגיל של ה-GBD. להערכת ההשפעות על שנות חיים שנחיו עם סוכרת משתמשים בנתוני היארעות סגולית לגיל בשילוב אומדני תוחלת חיים ממחקרים פרספקטיביים שנעשו בבריטניה, המתוארים להלן, ונתונים על ניהול סוכרת ממשד הבריאות.

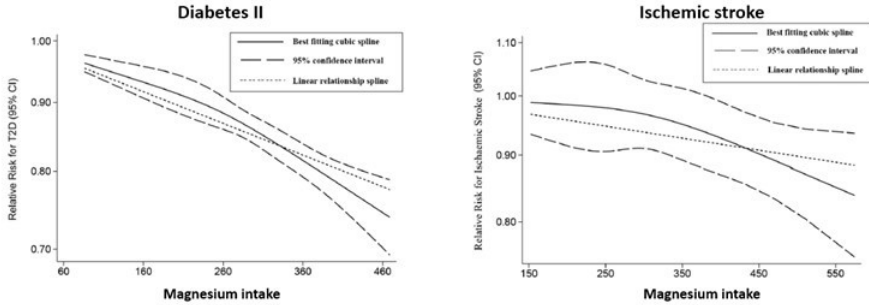
בהתבסס על דפוסי הצריכה שנצפו כמדווה בלוח 2 לעיל, אנחנו מספקים מגוון של נקודות התחלה לצריכת מגנזיום, מ-250 מ"ג ועד 450 מ"ג, שמהן אנחנו מחשבים את ההשפעות הבריאותיות הפוטנציאליות של המחסור בצריכה. הערכת השפעות הצריכה הנמוכה יותר של מגנזיום על שבץ איסכמי וסוכרת מסוג 2 מבוססת על קשר מנה-תגובה מתוך מטא-אנליזה של מחקרי עוקבות פרספקטיביים (Zhao et al., 2020).

קו המגמה המרכזי שאנחנו משתמשים בו כאן להערכת ההשפעה של צריכת מגנזיום על ההיארעות של סוכרת מסוג 2 ושבץ איסכמי מיוצג על ידי (Zhao et al. (2020 כ"ספליין הקובי המתאם ביותר" (best fitting cubic spline), המופיע בתרשים 1.

6 בחרנו גם שלא לכמת את השפעות המחסור במגנזיום על תמותה, שכן גם כימות כזה דורש הנחות נוספות רבות. לדוגמה, המהירות שבה תחלואה הקשורה למחסור במגנזיום מובילה למוות – בשל סוכרת מסוג 2 שאינה מנוהלת כראוי או שבץ חוזר, למשל – מושפעת מכיסוי השירותים הרפואיים וזמינותם ומרמת הכישורים של הצוות הרפואי הזמין.

7 הנתונים מתוך IHME, 2023.

תרשים 1. הקשר בין צריכת מגנזיום ובין היארעות סוכרת מסוג 2 ושבץ איסכמי



מקור: (Zhao et al. (2020), עמ' 11 (חלק מתרשים 3).

מהאומדנים של Zhao et al. (2020) עולה כי ככל שצריכת המגנזיום הבסיסית גבוהה יותר, כך הסיכון לחלות בסוכרת מסוג 2 או בשבץ איסכמי נמוך יותר. עם זאת, האומדנים מראים שברמות הצריכה הגבוהות יותר של מגנזיום, קצב השינוי של הקשר מנה-תגובה (כלומר הקשר בין הצריכה לסיכון) גבוה יותר.

השיפוע חד במיוחד עבור סוכרת מסוג 2. נמצא כי הסיכון לסוכרת מסוג 2 עבור אנשים שצרכו מגנזיום ברמה הגבוהה ביותר היה נמוך ב-23% מהסיכון של אנשים שצרכו מגנזיום ברמה הנמוכה ביותר. לגבי שבץ איסכמי, היתרון של צריכת מגנזיום ברמה הגבוהה ביותר היה הפחתה של 10% בסיכון היחסי (RR)⁸. השיפועים החדים הללו, הקרובים יותר למינון היומי המומלץ, נראים הגיוניים אינטואיטיבית, בהתחשב בטווח הרחב של תפקידי הוויסות שהמגנזיום ממלא בגוף האדם, כמפורט לעיל.

כמה מקרי סוכרת או שבץ יימנעו אם צריכת המגנזיום תגדל ב-50 מ"ג ליום

לוח 3 להלן משתמש בשיעורי הסיכון היחסי שבתרשים 1 ומדווח על אומדן מספר המקרים החדשים של סוכרת מסוג 2 ושבץ איסכמי שיימנעו אם צריכת המגנזיום היומית תגדל ב-50 מ"ג מארבע נקודות סף שונות לאורך "הספליין הקובי המותאם ביותר" ב-Zhao et al. (2020): מ-250 מ"ג ל-300 מ"ג, מ-300 מ"ג ל-350 מ"ג, מ-350 מ"ג ל-400 מ"ג, ומ-400 מ"ג ל-450 מ"ג. אלו נקודות סף מציאותיות, בהתחשב ברמות צריכת המגנזיום בפועל כפי שדווחו בסקר מב"ת 2014–2016 והוצגו בלוח 2 לעיל.

8 הסיכון היחסי (RR) מודד את הקשר בין חשיפה לתוצאה. זוהי הסתברות של הסיכון למחלה באוכלוסייה שנחשפה לעומת הסיכון למחלה באוכלוסייה שלא נחשפה.

לוח 3א. סיכון יחסי (RR) של האומדן המותאם ביותר של Zhao et al. והמספר השנתי המוערך של מקרים חדשים של סוכרת מסוג 2 שיימנעו בישראל על ידי הגדלה של צריכת המגנזיום ב-50 מ"ג ליום

מקרים חדשים של סוכרת מסוג 2	(RR (Zhao et al. 2020	העלאת הצריכה הטבעית מ:
853	0.966	250 מ"ג ל-300 מ"ג
1,178	0.952	300 מ"ג ל-350 מ"ג
1,237	0.950	350 מ"ג ל-400 מ"ג
1,627	0.934	400 מ"ג ל-450 מ"ג

לוח 3ב. סיכון יחסי (RR) של האומדן המותאם ביותר של Zhao et al. והמספר השנתי המוערך של מקרים חדשים של שבץ איסכמי שיימנעו בישראל על ידי הגדלה של צריכת המגנזיום ב-50 מ"ג ליום

מקרים חדשים של שבץ איסכמי	(RR (Zhao et al. 2020	העלאת הצריכה הטבעית מ:
23	0.995	250 מ"ג ל-300 מ"ג
46	0.989	300 מ"ג ל-350 מ"ג
139	0.969	350 מ"ג ל-400 מ"ג
144	0.968	400 מ"ג ל-450 מ"ג

הערה: האומדנים מבוססים על שיעורי היארעות מתוקנת לגיל, המוחלים על אוכלוסייה של 9.7 מיליון נפש באמצע שנת 2023.

מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב | נתונים: Zhao et al., 2020; IHME, 2023.

שני ממצאים עיקריים עולים מחישוב ראשוני זה. ראשית, ההשפעות על היארעות סוכרת מסוג 2 בישראל גדולות בהרבה מההשפעות על היארעות שבץ איסכמי. זה לא מפתיע. לא רק שהיארעות של סוכרת מסוג 2 גדולה יותר מזו של שבץ איסכמי באופן כללי, אלא שידוע כי היארעות הסוכרת מסוג 2 בישראל גבוהה בהשוואה להיארעות במדינות אחרות בעלות הכנסה גבוהה, אף שניהול הסוכרת בארץ השתפר משמעותית (משרד הבריאות, 2023). בעוד שבהיארעות של שבץ איסכמי ישראל נמצאת כמעט בתחתית הדירוג. עלייה שוות ערך באחוזי ההיארעות של שניהם תוביל אפוא לעלייה מוחלטת גדולה בהרבה במספר האנשים עם סוכרת מסוג 2 לעומת מספר האנשים שילקו בשבץ איסכמי.

ההשפעה החזקה של מחסור במגנזיום על סוכרת מסוג 2 מדאיגה ביותר. הן לפי דוח הסוכרת הגלובלי של ארגון הבריאות העולמי (WHO, 2016) והן לפי הגרסה האחרונה (מהדורה עשירית) של אטלס האגודה הבין-לאומית לסוכרת (IDA), מזרח אגן הים התיכון הוא כעת האזור שבו פגיעת הסוכרת היא החמורה ביותר בעולם, הן מבחינת שכיחותה והן מבחינת השפעתה על התמותה. בישראל 8.5% מהמבוגרים בני 20–79 חולים בסוכרת. באזור אירופה (ה-IDA משייך את ישראל ואת טורקיה לאירופה) רק במדינות הבלקן (אלבניה, בוסניה-הרצגובינה, סרביה, מונטנגרו), חצי האי האיברי (אנדורה, פורטוגל, ספרד) ומזרח אגן הים התיכון (קפריסין, טורקיה) יש שכיחות זהה או גבוהה יותר של סוכרת (11 מדינות מתוך 59). חשוב לציין כי בישראל הסיכון לחלות בסוכרת גבוה יותר בקרב קבוצות אוכלוסייה המאופיינות במעמד חברתי-כלכלי נמוך (משרד הבריאות, 2021). נמצא כי באוכלוסיות אלו הן צריכת המגנזיום הבסיסית בתזונה הרגילה והן שיעור הצריכה של תוספים תזונתיים נמוכים בהשוואה לאוכלוסיות ממעמד חברתי-כלכלי גבוה (תהל מהנדסים יועצים, 2021; Shahar et al., 2005). נראה אפוא שהמחסור במגנזיום במי השתייה מגביר את אי-השוויון החברתי-כלכלי בתחלואה.

הממצא המרכזי השני העולה מניתוח זה קשור לשיפוע החד יותר בסיכון היחסי ברמות הגבוהות יותר של צריכת מגנזיום, במיוחד ביחס לסוכרת מסוג 2, שנדון לעיל בהתייחס לתרשים 1. מבחינת עלות, כפי שנראה כעת, זוהי ההשפעה החשובה יותר.

עלותם של המקרים הנוספים

ספרות המחקר על העלות של היארעות מחלות למערכות בריאות היא מפותחת מאוד וטכנית למדי, כפי שניכר ברשימת הקריטריונים המתודולוגיים שהציע לאחרונה ה-British Medical Journal עבור הגשות בתחום הכלכלה (Wang et al., 2018). כיוון שמחסור במגנזיום משפיע יותר על סוכרת מסוג 2, וכיוון שסוכרת מסוג 2 נחשבת למרכיב מרכזי בהוצאה הכוללת על בריאות ולגורם עיקרי לירידה בתוחלת החיים באירופה (Khan et al., 2020; Soares Andrade et al., 2023), נתמקד תחילה בסוכרת מסוג 2. עלות המחסור במגנזיום במקרים של שבץ איסכמי הוערכה באמצעות מתודולוגיה שונה, ולכן הערכותינו בעניין זה נדונות בנפרד. חשוב להדגיש כי גישתנו שמרנית מאוד, כלומר אומדני העלות שלנו מוטים כלפי מטה. נעסוק בכך בפירוט בחלק של הדיון.

סוכרת מסוג 2

בהבחנה בין סוכרת מסוג 1 לסוכרת מסוג 2 ובהבחנה בין עלויות ישירות לעקיפות אנו נוהגים בהתאם לסטנדרטים קיימים. מבחינת קטגוריות רחבות, העלויות הישירות של סוכרת מסוג 2 כוללות טיפולי יום וטיפולים באשפוז מלא, תרופות ומגוון של עלויות "אחרות". טיפולי יום וטיפולים באשפוז מלא כוללים הן את הטיפול הישיר בסוכרת עצמה והן את הטיפול במצבים אחרים הנובעים ישירות מהסוכרת. עם אלה נמנים רטינופטיה סוכרתית ועיוורון, כף רגל סוכרתית (מצב שללא טיפול הולם עלול להוביל לקטיעה), סוגים שונים של מחלות קרדיו-וסקולריות, מחלות כליה, הפרעות בזקפה ושורה של בעיות נירולוגיות (Kanavos et al., 2012; Stegbauer et al., 2020). בהתאמה לגישה זו, העלויות הישירות של טיפול תרופתי כוללות תרופות כמו אינסולין, המיועדות ישירות לסוכרת, וגם תרופות לטיפול בסיבוכי סוכרת, כגון תרופות קרדיו-וסקולריות, תרופות להורדת רמת הכולסטרול, נוגדי טסיות, תרופות פסיכותרופיות, נוגדי חומצה, אנטיביוטיקה, תרופות לדיכוי מערכת החיסון ותרופות נגד אנמיה. לבסוף, עם העלויות ה"אחרות" נמנים בראש ובראשונה מכשור רפואי או ציוד כמו מזרקים, אביזרים לבדיקה עצמית של סוכר בדם, משאבות אינסולין וטיפול בחמצן (Kanavos et al., 2012).

עלויות עקיפות של סוכרת מסוג 2 כוללות יכולת מופחתת או אי-יכולת מוחלטת לעבוד, עלויות נלוות של בני משפחה מטפלים (שאולי יצטרכו לצמצם את שעות עבודתם כדי לטפל בקרוביהם), וברמה הלאומית – תשלומי רווחה נוספים הקשורים לקצבאות נכות וכדומה. במילים אחרות, העלויות העקיפות נובעות מהקטנת הפירון של אנשים שעדיין נמצאים בשוק העבודה, מפרישה מוקדמת ומהעברות ציבוריות מוגדלות שאינן קשורות לבריאות. כאמור לעיל, בשל הקושי להעריך את העלויות העקיפות, אנחנו מתעלמים מהן כאן.

מתודולוגיה

בשל מחסור בנתונים בנוגע לעלות הישירה של כל אחת מתשומות הבריאות שמנינו בפסקאות הקודמות, אנחנו מעריכים את הנטל הכספי הנוסף הקשור למחסור במגנזיום על ידי שימוש במתודה עקיפה. אנחנו מתחילים בחישוב שנות-האדם הנוספות שחיו אנשים באוכלוסייה עם סוכרת מסוג 2, כאשר את ה"תוספת" הזאת אפשר לייחס למחסור במגנזיום.

אנחנו מניחים אוכלוסייה שיש בה N פרטים שניתן לחלקם ל- N^A פרטים ללא סוכרת מסוג 2 ול- N^B פרטים עם סוכרת מסוג 2, כלומר $N^A + N^B = N$. שימו לב ש- N^B כולל את כל מי שחלו בסוכרת מסוג 2 בשנים קודמות ועדיין בחיים. במילים אחרות, N^B הוא פונקציה של

שני גורמים: ההיארעות של סוכרת מסוג 2 בשנים קודמות ותקופות הישרדות.⁹ כל קבוצה ניתנת לחלוקה נוספת לפי גיל, כאשר N_i^j מסמן את מספר האנשים מסוג A (j או B) בגיל i , $\epsilon [0, \infty]$.

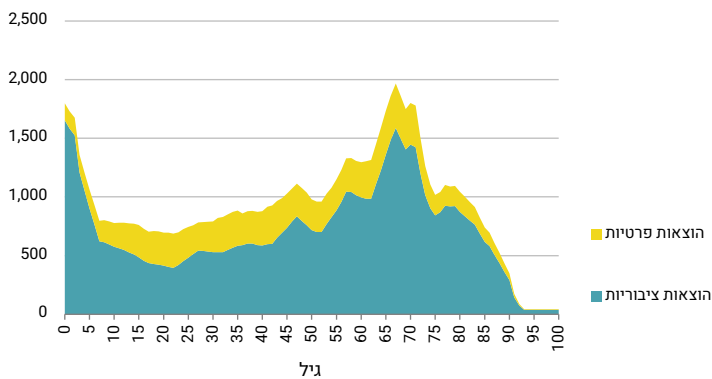
את סך ההוצאה על בריאות במדינה (TMC – Total Medical Costs) בכל שנה נתונה אפשר לדעת מניתוח דוחות ה-NTA – חשבונאות לאומית של העברות בין-דוריות.¹⁰ בשנת 2018 הסתכמה ההוצאה הכוללת על בריאות בישראל בכ-94.5 מיליארד ש"ח. דוחות ה-NTA מספקים גם אומדנים של ההוצאה הכוללת על בריאות לפי גיל – TMC_i , המוצגים בתרשים 2 עבור 2018 – הן מתוך ההוצאות הציבוריות והן מתוך ההוצאות הפרטיות. פיזור ההוצאות המצרפיות באוכלוסייה בכל גיל, N_i , נותן לנו הערכה של הוצאות הבריאות **המצטברות** לאדם בכל גיל. את ההוצאה הממוצעת על בריאות לאדם מסוג j בגיל i אנחנו מסמנים באמצעות C_i^j , ואת ההוצאה הממוצעת לאדם עבור כל האנשים מסוג A (j או B) אנחנו מסמנים באמצעות C_i^A . שימו לב שהן N_i^j והן C_i^j משתנים עם הגיל, הראשון בשל תנודות במבנה הגילים באוכלוסייה, והשני בשל הגידול בהוצאה על בריאות עם העלייה בגיל – גידול שמקבל התייחסות בנוסחת הקפיטציה של מערכת הבריאות הישראלית. ניתן אפוא להגדיר את סך ההוצאה על בריאות כך:

$$TMC = \sum_{i=0}^{\infty} (N_i^A \cdot C_i^A + N_i^B \cdot C_i^B)$$

9 אנחנו מתעלמים כאן מהגירה בין-לאומית, מה שגורם כנראה להערכת חסר קלה בעלויות הקשורות לסוכרת, מכיוון שאפקט "המהגר הבריא" רומז לכך ששכיחות הסוכרת בקרב מי שאינם מהגרים גבוהה יותר משכיחותה בקרב מהגרים: הראשונים כוללים אנשים שאובחנו עם סוכרת, אשר מניחים לגביהם שיש להם גישה לטיפול רפואי ולכן הסיכוי שיהגרו קטן יותר.

10 NTA (National Transfer Accounts) הוא פרויקט בין-לאומי שמשלב את המאפיינים הדמוגרפיים והכלכליים של מדינות ומתעד את כל התזרימים וההעברות בכלכלת המדינה, מתוך התמקדות מיוחדת בהוצאה הציבורית והפרטית על בריאות וחינוך. נתוני ה-NTA זמינים עבור כ-80 מדינות (וינרב ואחרים [בהכנה]).

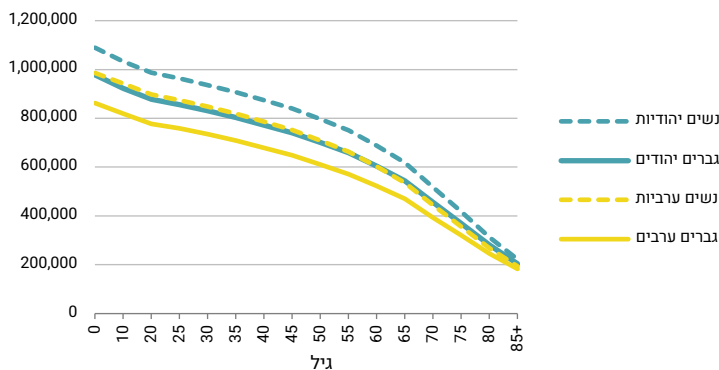
תרשים 2. ההוצאה המצרפית על בריאות בישראל, לפי גיל ומקור ההוצאה, 2018



מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב | נתונים: וינרב ואחרים (בהכנה)

החלה של הוצאות אלו לאורך מחזור החיים מאפשרת לנו להעריך את סך ההוצאה לנפש לכל החיים לפי גיל, מלידה ועד מוות. תרשים 3 מציג את סך ההוצאות האלה בחלוקה לפי מין ומגזר. המסקנה העיקרית שיש להסיק מן התרשים היא שיותר מ-60% מההוצאות על בריאות מוצאות אחרי גיל 60, כלומר ברבע האחרון של החיים. לכן, לכל מה שמגדיל את ההוצאות לנפש לפני גיל 60 תהיה השפעה משמעותית על סך ההוצאה על בריאות.

תרשים 3. סך הוצאות הבריאות הנותרות, לפי גיל, מין ומגזר

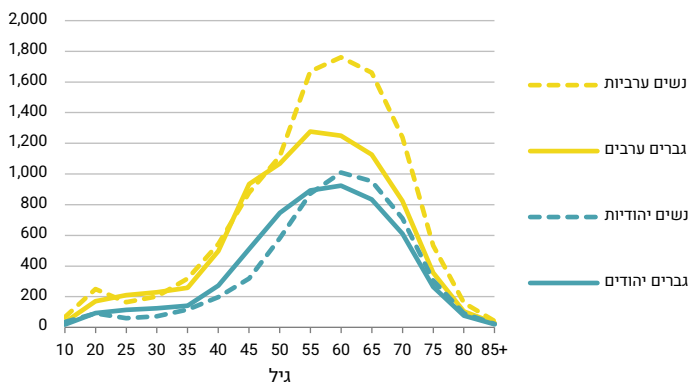


מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב | נתונים: וינרב ואחרים (בהכנה)

כדי להבחין בין C^A ל- C^B אנחנו מסתמכים על ניתוחים קודמים שנעשו במדינות בעלות הכנסה גבוהה שיש להן מערכת בריאות אוניברסלית ושתוחלת החיים בהן דומה לתוחלת החיים בישראל. ניתוחים אלו הפיקו טווח קטן יחסית של הערכות עבור הוצאות בריאות לנפש על אנשים עם סוכרת מסוג 2 (C^B) לעומת אנשים ללא סוכרת (C^A). מחקרים – בעיקר מצרפת, גרמניה וישראל – מראים שהוצאות הבריאות לנפש היו גבוהות פי 1.7 ו-1.8 אצל אנשים עם סוכרת מסוג 2 (בליצר ואחרים, 2018; Charbonnel et al., 2018; Jacobs et al., 2017). ניתוח של נתונים מבריטניה, שדייק יותר בהבחנה בין גידול תלוי-גיל בהוצאות הבריאות לבין גידול שקשור לסוכרת מסוג 2, מצא שהוצאות הבריאות של חולי סוכרת מסוג 2 גדולות פי 2 או פי 3 מההוצאות של מטופלים באותו גיל ומין שאינם חולים בסוכרת (Stedman et al., 2020). ממצא זה עולה בקנה אחד עם השוואות בין-לאומיות אחרות, כמו אלו שפרסמה האגודה הבין-לאומית לסוכרת (IDF, 2009, pp. 36–37). בחישובים שלנו אנחנו מעמידים את טווח עלויות הבריאות לנפש עבור חולים עם סוכרת מסוג 2 על פי 1.7 עד פי 2.7 מעלויות הבריאות לנפש עבור אנשים ללא סוכרת מסוג 2, ומכילים אותו לסך ההוצאה על בריאות (TMC) שנצפתה בדוחות ה-NTA הישראליים ב-2018 (כלומר 94.5 מיליארד ש"ח). שימו לב גם לכך שלשימוש ביחס העלויות לנפש בין חולי סוכרת סוג 2 לבין אנשים ללא סוכרת מסוג 2 יש יתרון בולט על פני הערכה של העלויות בפועל, שכן אנחנו יכולים להניח שכל הפחתה בקנה מידה גדול בהוצאות בכל מערכת הבריאות – שתאפשר אספקה יעילה יותר של שירותי בריאות – אמורה לחול באופן שווה על שתי הקבוצות – חולי סוכרת ואנשים שאינם חולי סוכרת.

כפי שצוין לעיל, אנחנו משתמשים באומדני היארעות עבור נשים וגברים ישראלים במחקרי נטל התחלואה העולמי, ומתייחסים לשנת 2019. אנחנו משלבים אותם עם אומדני היארעות סגולית לגיל עבור יהודים וערבים שהציגו (Jaffe et al., 2017), ומתאימים את נתוני קבוצות הגיל הגדולות יותר עבור הערבים לאומדנים הלאומיים. תהליך זה מניב את שיעורי היארעות הסגולית לגיל (מספר שנתי של מקרים חדשים ל-100,000 נפש) לפי מין ומגזר, המוצגים בתרשים 4. נציין שפרופיל הגילים של סוכרת מסוג 2 שונה מזה של מחלות כרוניות עיקריות אחרות בכך ששיעור ההיארעות עולה ואחר כך יורד. לעומת זאת, היארעות השבץ האיסכמי, כפי שנראה להלן, ממשיכה לעלות עם הגיל גם בסוף שנות ה-80 לחיים. זהו גם הדפוס הסטנדרטי של מחלות לב ושל רוב סוגי הסרטן (Driver et al., 2008; Frank, 2007). להבדל בין דפוסי ההיארעות הסגולית לגיל של סוכרת ושל שבץ איסכמי יש השלכות מרחיקות לכת על ההוצאות על בריאות.

תרשים 4. שיעורי ההיראות הסגולית לגיל של סוכרת מסוג 2, לפי גיל, מין ומגזר, 2019



מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב | נתונים: Jaffe et al., 2017, מכילים לשכיחות לפי גיל ברזולוציה גבוהה יותר ב-Global Burden of Disease Project

אומדני ההיראות של חולי סוכרת מסוג 2 – הגורם השני התורם ל-N^B – עובדו מנתוני UKPDS (United Kingdom Prospective Diabetes Study), מחקר סוכרת פרוספקטיבי שנעשה בבריטניה (Leal et al., 2009). על סמך נתוני המחקר, החוקרים מעריכים את תוחלת החיים של בני 65 ו-75 ומשווים אותה לתוחלת החיים בקרב חולי סוכרת מסוג 2 שאובחנו חמש שנים קודם לכן בעלי מאפייני סיכון בריאותי גבוה ונמוך ולתוחלת החיים של כלל האוכלוסייה. בשני המקרים סוכרת מסוג 2 מקטינה את תוחלת החיים. כמוצג בלוח 4, לגבי בעלי מאפייני סיכון נמוך – המעידים על סוכרת מסוג 2 המנוהלת היטב – סוכרת מסוג 2 גרמה לקיצור של תוחלת החיים ב-3.6 שנים בגיל 55 (21.1 שנים במקום 24.7). בגיל 65 היא גרמה לקיצור תוחלת החיים ב-1.7 שנים, ובגיל 75 – לקיצורה ב-0.4 שנים. לגבי בעלי מאפייני סיכון גבוה – המעידים על סוכרת מסוג 2 שאינה מנוהלת כראוי – הירידה בתוחלת החיים בכל גיל הייתה גדולה בהרבה: 11.5 שנים בגיל 55; 6.9 שנים בגיל 65; ו-5.7 שנים בגיל 75 (בהשוואה לתוחלת חיים ללא סוכרת מסוג 2).

לוח 4. אומדן תוחלת החיים של בני 55, 65 ו-75 בכלל האוכלוסייה ובקרב חולי סוכרת מסוג 2 שאובחנו 5 שנים קודם לכן, לפי מאפייני הבריאות הכללית

	75	65	55	תוחלת החיים של גברים בגיל
	10.0	16.6	24.7	e_x (כלל אוכלוסיית הגברים בבריטניה)
				חולי סוכרת מסוג 2 שאובחנו חמש שנים קודם לכן
	9.6	14.9	21.1	- חולים עם מאפייני סיכון נמוך (בשנים)
	4.3	8.0	13.2	- חולים עם מאפייני סיכון גבוה (בשנים)

e_x – תוחלת החיים בגיל x (expectation of life at age x).

סיכון נמוך: לחץ דם סיסטולי – 120 מ"מ כספית; יחס כולל של 4 בין כולסטרול ל-HDL; המוגלובין מסוכרר – 6%.
סיכון גבוה: לחץ דם סיסטולי – 180 מ"מ כספית; יחס כולל של 8 בין כולסטרול ל-HDL; המוגלובין מסוכרר – 10%.

הערה: אנחנו ממחישים את ההבדל בתוחלת החיים בין חולי סוכרת מסוג 2 שמנהלים היטב את מחלתם לבין כאלה שאינם מנהלים אותה כראוי, תוך שימוש בנתוני תוחלת החיים של גברים בבריטניה. ההשפעות היחסיות בקרב נשים זהות.

מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב | נתונים: Leal et al., 2009

העלות לכל החיים של היארעות סוכרת מסוג 2 בעוקבה של שנה אחת

לוח 2 הציג אומדן של המספר השנתי של מקרים חדשים בישראל שהיו נמנעים בזכות הגדלה של צריכת המגנזיום היומית ב-50 מ"ג. הישרדותם הארוכה של חולי סוכרת מסוג 2 שמנהלים היטב את מחלתם – שהוצגה בלוח 4 – מצביעה על המקור העיקרי לתרומתה הישירה של הסוכרת לכלל הוצאות הבריאות: במערכת בריאות ציבורית מצליחה כמו זו של ישראל רוב גדול של אנשים עם סוכרת מסוג 2 יחיו שנים רבות, אך העלות השנתית של הטיפול הרפואי בהם גבוהה במידה ניכרת מעלות הטיפול הרפואי במקביליהם שאינם חולים בסוכרת מסוג 2.

אנחנו מראים זאת כאן על ידי הערכת החיסכון הצפוי שקשור להגדלת צריכת המגנזיום היומית ב-50 מ"ג למשך שנה אחת ומניעת מספר המקרים החדשים שהוערך בלוח 2. לשם כך אנחנו:

1. מפזרים את 24,500 המקרים החדשים של סוכרת מסוג 2 ב-2019 בהתאם לשיעורי ההיארעות הסגולית לגיל לפי מין ומגזר כמוצג בתרשים 4;
2. מעריכים את מספר שנות-האדם הצפויות (כלומר תוחלת החיים) שחי אדם ללא סוכרת מסוג 2 בכל גיל, לפי מין ומגזר, על סמך לוחות התמותה הרשמיים של הלמ"ס לשנים 2015–2019;

3. מעריכים את מספר שנות-האדם הצפויות שחי כל חולה חדש בסוכרת מסוג 2 על ידי החלת אחוז הירידה בתוחלת החיים המופיע בלוח 4 בארבעה מצבים: כשאחוז החולים בסוכרת מסוג 2 המנהלים היטב את מצבם עומד על 80%, על 85%, על 90% ועל 95%;¹¹
4. ומכפילים מספר מוערך זה של שנות-אדם שחיו כל 24,500 החולים החדשים בסוכרת מסוג 2 ב-2019 בהוצאות הבריאות לנפש של אדם בעל סוכרת מסוג 2 (C_i^B) בכל גיל, בשני מצבים: מצב שבו היחס בין עלויות הרפואיות לנפש לסוכרת מסוג 2 (C^B) ובין העלויות ללא סוכרת הוא 1.7, ומצב שבו היחס הזה הוא 2.7.

ארבעת הצעדים האלה נותנים לנו את סך העלות של **טיפול לכל החיים** בכל 24,500 החולים החדשים בסוכרת מסוג 2 ב-2019 (במחירים קבועים לשנת 2018), בהנחה שיחס ההוצאה הוא במקום כלשהו בין 1.7 ל-2.7.

כדי לראות את היסכון אנחנו משחזרים את החישוב על פני שלושת השלבים משלוש נקודות התחלה שונות של צריכת סף של מגנזיום: 300, 350 ו-400 מ"ג ליום. במילים אחרות, אנחנו מפחיתים את סך כל המקרים החדשים בשלב 1 בהתאמה לחישובים שהוצגו בעמודה האחרונה של לוח 3א.

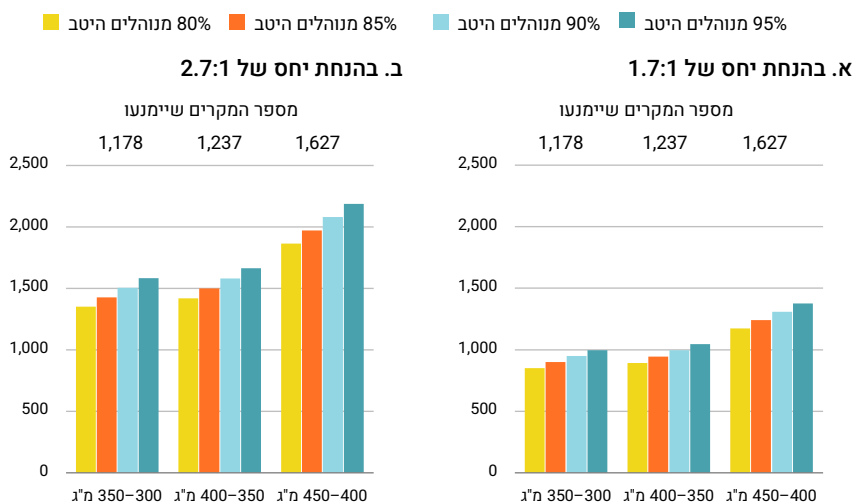
התוצאות מוצגות בתרשים 5. הן מצביעות על הערכות **היסכון לכל החיים** שקשור למניעת חלק מהמקרים החדשים של סוכרת מסוג 2 שאובחנו **בשנה אחת, 2019**, על ידי העלאת צריכת המגנזיום ב-50 מ"ג ליום. היסכון לכל החיים פירושו הוצאות רפואיות ישירות מרגע האבחון ועד המוות.

האומדנים שבתרשים 5א מניחים שהעלויות הרפואיות הישירות לפרטים החולים בסוכרת מסוג 2 גדולות פי 1.7 לנפש מהעלויות הרפואיות של מי שאינם חולים. האומדנים שבתרשים 5ב מניחים שעלויות אלו גדולות פי 2.7. בכל תרשים יש שלוש קבוצות של אומדנים, כל אחת מייצגת את מספר המקרים החדשים של סוכרת מסוג 2 שיימנעו על ידי הוספת 50 מ"ג מגנזיום לצריכה היומית. המספר הספציפי של מקרים שיימנעו מצוין בראש כל קבוצת עמודות, והטווח הספציפי של מגנזיום (הסף התחתון + 50 מ"ג) מצוין בתחתיתן. כפי שהוזכר לעיל, אלה מתאימים לספליין המותאם ביותר שדווח אצל (Zhao et al. (2020).

11 חולים המנהלים היטב את מצבם הם חולים בסוכרת מסוג 2 בעלי מאפייני סיכון נמוך ולפיכך תוחלת החיים שלהם גבוהה יותר, כפי שהוצג בלוח 4. חולים אלו מתאפיינים בלחץ דם סיסטולי של 120 מילימטר כספית, יחס כולל של 4 בין כולסטרול ל-HDL והמוגלובין מסוכרר ברמה של 6%.

בהנחה שניתן להעלות את צריכת המגנזיום מ-300 מ"ג ל-350 מ"ג ליום; בהנחה ש-80% מ-23,100 המקרים החדשים (24,278 פחות 1,178 המקרים שיימנעו) ינוהלו היטב; ובהנחה שיחס העלויות הרפואיות לנפש יהיה 1.7:1 עבור חולי סוכרת מסוג 2 לעומת מי שאינם חולים – התוצאות בהתאם לכל ההנחות האלה מראות ש-1,178 המקרים שיימנעו יחסכו לכל הפחות 850 מיליון ש"ח לאורך תוחלת החיים הצפויה של אותה עוקבה. החיסכון גדל ככל שעולה מספר המקרים שנמנעים, וככל שעולה אחוז חולי הסוכרת מסוג 2 המנהלים היטב את מצבם (ודוחף כלפי מעלה את שיעורי ההישרדות בקרב חולי סוכרת מסוג 2): אם יימנעו 1,627 מקרים ו-95% מהם ינוהלו היטב, החיסכון יגדל ויגיע ל-997 מיליון שקלים. כפי שרואים בתרשים 5, כשהיחס בין העלות לנפש עבור חולי סוכרת מסוג 2 ובין העלות לנפש למי שאינם חולים בסוכרת גדל, החיסכון מזנק במידה דרמטית עוד יותר.

תרשים 5. מיליוני השקלים שייחסכו על הוצאות רפואיות ישירות במשך כל החיים על ידי הגדלה של צריכת המגנזיום ב-50 מ"ג ליום, לפי רמות ההיארעות של 2019



הערה: האומדנים הם לפי היחס בין העלויות הרפואיות לנפש של חולי סוכרת מסוג 2 לבין העלויות הרפואיות של מי שאינם חולים, לפי מספר המקרים שיימנעו ולפי אחוז החולים שמצבם מנוהל היטב.

מקור: שדה, גרטון, דוידוביץ' ווינר, מרכז טאוב | נתונים: IHME, 2023; Leal et al., 2009; Weinreb et al., 2024; Zhao et al., 2020

את החיסכון למשך כל החיים ניתן לחלק לאומדנים שנתיים, כמוצג בלוח 5. בהנחה ש-90% מתוך 1,178 מקרים שנמנעו במקבץ העמודות הראשון בתרשים 5א (מ-300 ל-350 מ"ג ליום)¹² מנוהלים היטב, ושיחס העלות לנפש בין אנשים עם סוכרת ובלי סוכרת הוא 1.7:1, אזי כל אחד מ-1,178 המקרים שנמנעו היה חוסך 805,000 ש"ח בממוצע במהלך חייו, כלומר מרגע האבחון. נבהיר: זוהי עלות רפואית נוספת שקשורה לסוכרת מסוג 2, מעבר לעלות הסטנדרטית לאדם. בהנחה של תוחלת חיים ממוצעת של 15 שנה לאחר האבחון (גיל ממוצע 60 ליהודים, 55 לערבים), מדובר בתוספת של 53,653 ש"ח לכל חולה סוכרת מסוג 2 לשנה אחת, כמוצג בלוח (שורה שנייה, עמודה ימנית), ובסך הכול, עבור כל המקרים שנמנעו היו נחסכים כ-63 מיליון שקלים בשנה.

לוח 5. עלויות נוספות לחולי סוכרת מסוג 2, בהנחה של 15 שנות תוחלת חיים מאז האבחון ש"ח, מחירי 2018

יחס העלויות בין חולי סוכרת סוג 2 ובין מי שאינם חולים		
בהנחת יחס של 2.7:1	בהנחת יחס של 1.7:1	
89,605	56,418	95% מנוהלים היטב
85,213	53,653	90% מנוהלים היטב
80,821	50,887	85% מנוהלים היטב
76,429	48,122	80% מנוהלים היטב

הערה: האומדנים בלוח מבוססים על נתונים שמוצגים בלוחות ובתרשימים קודמים במאמר זה.
מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב

אילו נשארו כל התנאים כמו שהם אך יחס העלויות לנפש בין חולי סוכרת מסוג 2 ובן מי שאינם חולים בה היה 2.7:1, החיסכון הכולל היה גדל לכדי 73.3 מיליון ש"ח בשנה, שהם כ-85,213 ש"ח לחולה בשנה.¹³

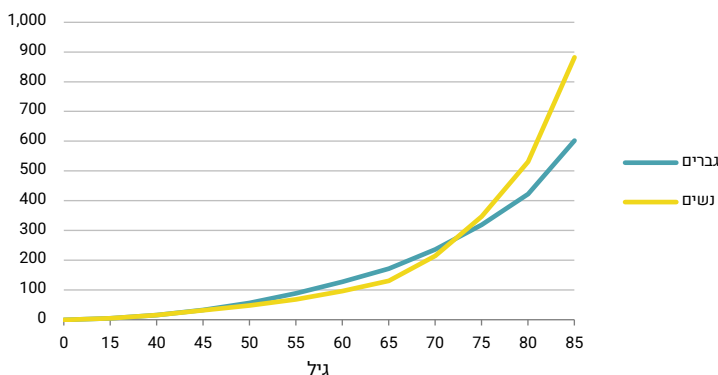
12 למען הקיצור אנחנו מציגים רק ערכים המבוססים על צריכת מגנזיום שעלתה מ-300 מ"ג ל-350 מ"ג ליום. העלות השולית השנתית לחולה דומה מאוד כשעולים מצריכת מגנזיום יומית של 350 מ"ג ל-400 מ"ג או מ-400 מ"ג ל-450 מ"ג.

13 מלוח 5 עולה כי ככל שקטן שיעורם של חולי הסוכרת מסוג 2 שמצבם מנוהל היטב, קטנות גם אותן עלויות נוספות למערכת הבריאות. זהו ממצא שווא הנובע מההנחה של 15 שנות תוחלת חיים מרגע האבחון של המחלה ואילך. הוא מרמז על כך שהחיסכון שנגרם למערכת משיעורי תוחלת החיים הנמוכים יותר של חולים אלו יותר ממקזז כל גידול בהוצאות כאשר הם עודם בחיים.

העלויות של היארעות נוספת של שבץ איסכמי

להערכת עלות המקרים הנוספים של שבץ איסכמי שנגרמים בשל מחסור במגנזיום אנחנו משתמשים בשיטה אחרת. הסיבה העיקרית לכך היא – כפי שמוצג בתרשים 5 – שהיארעות של שבץ, שלא כמו היארעות של סוכרת מסוג 2, עולה עם הגיל, וביעור עולה. פירוש הדבר הוא שאף על פי שאפשר ללקות בשבץ איסכמי בכל גיל, כולל בילדות (deVeber et al., 2017; Gao et al., 2023; Putaala, 2016), הגיל החציוני להתפרצות שבץ ראשון בישראל גבוה בהרבה מגיל האבחון בסוכרת – 71 שנים (Tanne et al., 2006).

תרשים 6. היארעות של שבץ איסכמי בישראל ב-2019, לפי גיל ומין



מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב | נתונים: IHME, 2023

הגיל החציוני הגבוה כשלעצמו מקצר את תקופת ההישרדות אחרי שבץ איסכמי בהשוואה לתקופת ההישרדות אחרי האבחון בסוכרת. אומדנים של Erlangen Stroke Project בגרמניה, מרשם פרוספקטיבי של מקרי שבץ מבוסס אוכלוסייה, מעריכים שההסתברות של נשים לשרוד 5 שנים אחרי שבץ היא 50.4% (95% רווח בר-סמך, 47.9%–53.1%), וההסתברות של גברים היא 59.2% (95% רווח בר-סמך, 56.4%–62.0%) (Rücker et al., 2020). אומדנים ממקורות אחרים מצביעים על שיעורי הישרדות דומים, כמובן כתלות בגיל היארעות השבץ (Rosamond et al., 2008). על פי נתוני GHDx, הן היארעות השבץ והן התמותה משבץ בישראל ירדו בעקביות יחסית במשך 30 שנה, בד בבד עם השיפור באיכות הטיפול (רם ואחרים, 2019). נתון זה תואם את השיפור בשיעורי ההישרדות שנצפה במדינות אחרות בעלות הכנסה גבוהה ואת הירידה בשיעור התמותה הן משבץ ראשון והן משבץ חוזר (Rücker et al., 2020; Wafa et al., 2020).

בעיקר בשל הגיל החציוני הגבוה בעת השבץ, תקופת ההישרדות אחריו קצרה הרבה יותר מתקופת ההישרדות של חולי הסוכרת ולכן פחות חשובה ההתייחסות להשפעת משך החיים על העלויות. כדי להעריך את החיסכון הצפוי בעקבות הגדלת צריכת המגנזיום, אנחנו מסתמכים ישירות על אומדנים קיימים של עלויות הקשורות לשבץ בישראל ובמקומות אחרים.

בסקירת העלויות הכלכליות של שבץ ב-31 מדינות, (Luengo-Fernandez et al. (2020) קובעים כי סך ההוצאות הרפואיות הישירות של כל סוגי השבץ בישראל ב-2017 – כולל הוצאות על טיפול רפואי ראשוני, טיפול אמבולטורי, טיפול חירום וטיפול בבית החולים וכן עלות כל התרופות – מסתכם בכ-0.86% מסך ההוצאות על בריאות.14 בהנחה שחלקו של הטיפול הרפואי הכולל בחולי שבץ נשאר 0.86% מהוצאות הבריאות ב-2018, הוצאות אלו מסתכמות ב-819.03 מיליון שקלים.

אנחנו מתמקדים כאן בשבץ איסכמי, ששונה מסוגים אחרים של שבץ הן בהיארעות והן בעלויות הרפואיות שכרוכות בו. שבץ איסכמי מהווה למעלה מ-80% ממקרי השבץ בישראל: 81% על פי (Rozenhul-Sorokin et al. (1996, אם כי במדגם של בני 50 ומטה; ו-89% ממקרי השבץ על פי (Tanne et al. (2006). התפלגויות אלו דומות לאומדנים במקומות אחרים – 87% בארה"ב (על פי המרכזים לבקרת מחלות ומניעתן).

שבץ איסכמי הוא גם יקר פחות מסוגי שבץ אחרים. ניתוח של עלויות רפואיות ישירות בסניגפור, למשל, מראה כי סך ההוצאות הרפואיות הקשורות בדימום מוחי תת-עכבישי (subarachnoid hemorrhage) היו גבוהות פי 2.5 מההוצאות בעקבות שבץ איסכמי, וסך ההוצאות בעקבות דימום תוך-גולגלתי היו גבוהות מהן פי 1.7 (Ng et al., 2015).

כשמביאים בחשבון את ההבדלים הללו הן בהיארעות של סוגי שבץ שונים והן בהוצאות הרפואיות בעקבותיהם, ניתן להסיק כי ההוצאות הרפואיות הקשורות לשבץ איסכמי בישראל הסתכמו בכ-743.8 מיליון שקלים (78.1% מסך ההוצאה על מקרי שבץ). באמצעות החלת הפחתה בסיכון היחסי כפי שהעריכו (Zhao et al. (2020, המוצגת בעמודה השנייה בלוח 6, להלן אנחנו יכולים לאמוד את סך החיסכון בהוצאות הרפואיות הישירות בעקבות שבץ איסכמי.

אומדנים אלו מוצגים בעמודה האחרונה בלוח 6. הם מלמדים שהגדלת צריכת המגנזיום היומית ב-50 מ"ג תחסוך סכום צנוע יחסית של 3.7–23.8 מיליון שקלים בשנה, תלוי

14 שיעור זה נמוך בהרבה מהממוצע באירופה (1.65%), למרות הוצאה ציבורית נמוכה יחסית בישראל באופן כללי. זהו שיעור נמוך במיוחד לעומת בריטניה, שבה חישוב מפורט של ההוצאה המצרפית הציב את העלות הישירה של מקרי שבץ על כ-4 מיליארד ליש"ט, שהם 5.5% מסך ההוצאות של בריטניה על בריאות (Saka et al., 2009).

בנקודת ההתחלה (על בסיס הוצאות ועלויות הבריאות ל-2018). זהו חלקיק קטן מהחיסכון בהוצאות בגין סוכרת מסוג 2, וזה לא מפתיע לנוכח השילוב של הפחתה קטנה יחסית בסיכון היחסי של שבץ איסכמי בהשוואה לסוכרת מסוג 2 וההיארעות הנמוכה יחסית של מקרי שבץ בישראל באופן כללי. ואולם יש לזכור שמדובר בהוצאות רפואיות ישירות בלבד, שאינן כוללות את ההוצאות העקיפות של טיפול ממושך יותר בחולי שבץ כרוניים, שהוא שלב טיפולי יקר לא פחות. בבריטניה, (Saka et al. (2009 העריכו את העלויות העקיפות האלה, כולל טיפול לא רשמי, ב-51% מסך העלויות הקשורות למקרי שבץ.

לוח 6. ההפחתה הצפויה בהוצאה השנתית על טיפול ישיר בשבץ איסכמי בעקבות הגדלה של צריכת המגנזיום ב-50 מ"ג ליום ש"ח, מחירי 2018

הגדלת הצריכה הטבעית מ:	ההפחתה בהתבסס על (Zhao et al. (2020	החיסכון הצפוי בהוצאות הבריאות
250 מ"ג ל-300 מ"ג	0.995	3,719,000
300 מ"ג ל-350 מ"ג	0.989	8,181,800
350 מ"ג ל-400 מ"ג	0.979	15,619,800
400 מ"ג ל-450 מ"ג	0.968	23,801,600

הערה: האומדנים בלוח מבוססים על נתונים שמוצגים בלוחות ובתרשימים קודמים במאמר זה. מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב

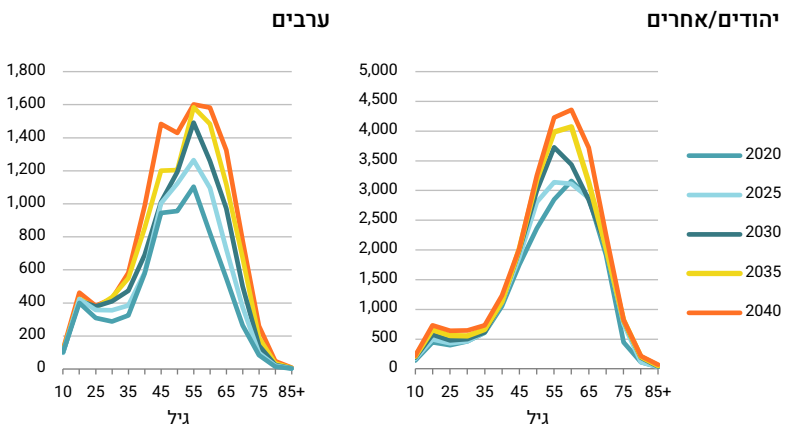
השפעות הגידול באוכלוסייה על הנטל הבריאותי והכלכלי

החיסכון הפוטנציאלי שהוערך עד כה מבוסס על שיעורי ההיארעות ב-2019, המיושמים על אוכלוסיית ישראל ב-2023. בהנחה ששיעורי ההיארעות הסגולית לגיל הם קבועים, חיסכון זה צפוי לגדול משמעותית במהלך שני העשורים הבאים, שכן הגידול באוכלוסייה – במיוחד דפוסי הגידול הסגולי לגיל, הגבוהים מהממוצע בגילי השיא של היארעות סוכרת מסוג 2 ושבץ איסכמי – יגרמו לעליית המספר המוחלט של מקרים חדשים של סוכרת מסוג 2 ושבץ איסכמי.

כאן אנחנו מחילים את אותם נתוני היארעות סגולית לגיל מ-2019 ששימשו עד כה בתחזיות האוכלוסייה של הלמ"ס. זה נותן לנו את המספר הצפוי של מקרים חדשים של סוכרת מסוג 2 במרווחים של 5 שנים, בשנים 2020–2040, כמוצג בתרשים 7. למען הנוחות לא הפרדנו בין גברים ונשים.

הגידול המהיר ביותר במקרים חדשים של סוכרת מסוג 2 באוכלוסייה היהודית יתרחש בשנים 2025–2035. בתקופה זו, העוקבות הגדולות יותר, הנמצאות כעת בשלהי שנות ה-40 לחייהן, יתחילו להגיע לגילי השיא של היארעות סוכרת מסוג 2. יצוין כי מספר המקרים החדשים של סוכרת מסוג 2 בקבוצת הגיל 55–64 יגדל בכ-3% בשנה מ-2028 עד 2032. לאחר מכן, כשיגיעו לקבוצת גיל זו עוקבות קטנות יותר, יקטנו שיעורי הגידול הללו לטווח הסטנדרטי יותר של 1.0%–2.0% בשנה. בסך הכול, שיעור הגידול הממוצע במספר המקרים החדשים של סוכרת מסוג 2 בכלל האוכלוסייה היהודית בשנים 2020–2040 יהיה 1.52% בשנה.

תרשים 7. המספר הצפוי של מקרים חדשים של סוכרת מסוג 2 עד 2040, לפי גיל ותת-אוכלוסייה ומקרים חדשים בשנה



הערה: האומדנים מבוססים על נתוני השכיחות ממחקרי נטל התלואה העולמי (GBD) לשנת 2019 (IHME, 2023) בשילוב תחזיות האוכלוסייה של הלמ"ס (תרחיש בינוני) ומניחים שיעורי היארעות סגולית לגיל כפי שהיו ב-2019.

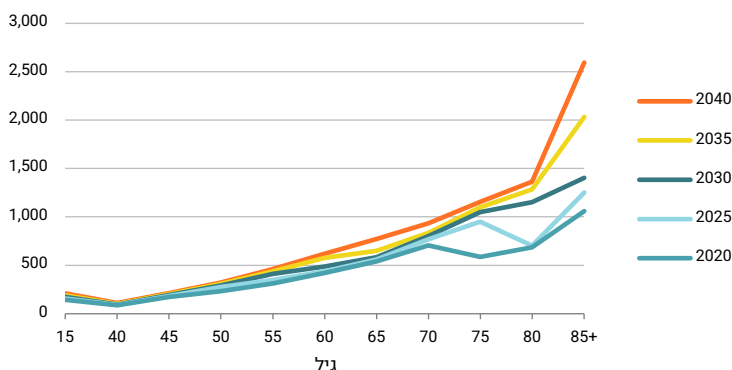
מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב

הגידול במספר המוחלט של מקרים חדשים של סוכרת מסוג 2 באוכלוסייה הערבית יהיה גבוה בהרבה. הסיבה היא שילוב של מבנה גילים סדיר יותר מעל גיל 20 ושל גידול מהיר במיוחד במספר המקרים מתחת לגיל 50, כאשר העוקבות הגדולות, שכעת הן בגיל 20–29, ייכנסו לקבוצות הגיל הבוגרות כשיעורי ההיארעות בקרבן גבוהים יותר. זה יעלה את השיעור הממוצע בכל הגילים. אם שיעורי ההיארעות הסגולית לגיל של סוכרת מסוג 2

באוכלוסייה הערבית יישארו קבועים, המספר המוחלט של מקרים חדשים של סוכרת מסוג 2 באוכלוסייה הערבית יגדל עד שנת 2028 בלא פחות מ-2.8% בשנה עד 2028, ובלא פחות מ-2.5% בשנה עד 2034.

הגידול הצפוי במספר המוחלט של מקרי שבץ איסכמי עולה על זה של סוכרת מסוג 2, כפי שרואים בתרשים 8. בסך הכול, כל חמש שנים עד 2035 יגדל מספר מקרי השבץ האיסכמי בכ-16% (2.3% בשנה), ולאחר מכן ב-13% עד 2040. ואולם גידול זה יהיה גבוה במיוחד בגילים מבוגרים יותר, לנוכח עוקבת האנשים הנמצאים היום בתחילת שנות ה-70 לחייהם, שהיא גדולה הרבה יותר מעוקבת האנשים הנמצאים בסוף שנות ה-70 לחייהם. בהנחה ששיעורי היארעות הסגולית לגיל נותרים קבועים, בשנים 2025–2030 נראה גידול מהיר מאוד במספר המוחלט של מקרים חדשים של שבץ איסכמי בגילי 80–84 (10% בשנה), ובשנים 2030–2035 נראה גידול מהיר בקבוצת בני ה-85+ (7.4% בשנה). כאמור לעיל, סיכויי ההחלמה בגילים אלו הם הנמוכים ביותר, ועלויות הטיפול הן הגבוהות ביותר.

תרשים 8. המספר הצפוי של מקרים חדשים של שבץ איסכמי עד 2040, לפי גיל



הערה: האומדנים מבוססים על נתוני השכיחות ממחקרי נטל התלואה העולמי (GBD) לשנת 2019 (IHME, 2023) בשילוב תחזיות האוכלוסייה של הלמ"ס (תרחיש בינוני), ומניחים שיעורי היארעות סגולית לגיל כפי שהיו ב-2019.

מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב

כדי להעריך את השפעות הגידול הזה על אומדן החיסכון בהוצאות הבריאות אנחנו מכפילים את המספר הצפוי של מקרים חדשים בכל שנה עד 2040 באומדני החיסכון לחולה סוכרת מסוג 2 המוצגים בלוח 5 ובאומדני החיסכון בעלויות הישירות של שבץ איסכמי המופיעים בלוח 6.

התוצאה של חישובים אלו מוצגת בלוח 7. מהחלת רמות התחלואה והעלויות של סוכרת מסוג 2 ושבץ איסכמי ב-2018 (במחירים קבועים לשנת 2018) על האוכלוסייה ב-2025 ניתן להסיק שאם 90% מהחולים בסוכרת מסוג 2 ינהלו היטב את מצבם, החיסכון השנתי למערכת הבריאות ינוע בין 83 ל-189 מיליון ש"ח, תלוי ברמת הצריכה של מגנזיום בנקודת ההתחלה ובעלות הנוספת של הטיפול בחולי סוכרת מסוג 2. עד 2030 ינועו סכומים אלו בין 91 ל-209 מיליון ש"ח, ועד 2040 – בין 111 ל-254 מיליון ש"ח. אומדן החיסכון השנתי מביא בחשבון גם את מספר המקרים החדשים שיימנעו בכל שנה על ידי הוספה של 50 מ"ג מגנזיום לצריכה היומית הממוצעת וגם את ההזדקנות ההדרגתית והתמותה בקרב עוקבות צעירות יותר.

לוח 7. החיסכון השנתי הצפוי בהוצאות רפואיות ישירות ממניעת סוכרת מסוג 2 ושבץ איסכמי בעקבות הגדלה של צריכת המגנזיום ב-50 מ"ג ליום מיליוני ש"ח, מחירי 2018

2040	2035	2030	2025	
בהנחת יחס של 1:1.7				
110.68	100.81	91.37	82.79	300–350 מ"ג
129.31	117.41	105.87	95.50	350–400 מ"ג
176.11	159.73	143.81	129.53	400–450 מ"ג
בהנחת יחס של 1:2.7				
166.78	152.18	138.29	125.60	300–350 מ"ג
188.20	171.32	155.12	140.44	350–400 מ"ג
253.52	230.61	208.55	188.61	400–450 מ"ג

הערות: האומדנים הם לפי היחס בין העלויות הרפואיות לנפש של חולי סוכרת מסוג 2 לבין העלויות הרפואיות של מי שאינם חולים, בהנחה ש-90% ממקרי הסוכרת מנוהלים היטב. האומדנים מבוססים על נתונים שמוצגים בלוחות ובתרשימים קודמים במאמר זה.

מקור: שדה, גרוטו, דוידוביץ' ווינרב, מרכז טאוב

דיון

בהינתן רמות ההיארעות הנוכחיות וגודל אוכלוסייה, החיסכון המינימלי בעלויות הרפואיות הישירות של טיפול בסוכרת מסוג 2 ושכך איסכמי שיושג מהגדלה של 50 מ"ג ליום בצריכת מגנזיום יסתכם בכ-83 מיליון שקלים בשנה (אוכלוסייה של 2025, מחירי 2018). זה הסכום שייחסך על ידי מניעת שיעור קטן של מקרים חדשים של סוכרת מסוג 2 ושכך איסכמי בשנה אחת.

החיסכון המוערך יהיה גדול יותר ככל שיעלה סף צריכת המגנזיום, ככל שתגדל ההצלחה בניהול סוכרת מסוג 2, וככל שישגדל יחס העלויות לנפש בין חולי סוכרת מסוג 2 ובין מי שאינם חולים. לדוגמה, הגדלה של 50 מ"ג בצריכת מגנזיום בנקודת התחלה של 350 מ"ג ליום, כאשר 90% מחולי הסוכרת מנהלים היטב את מצבם ויחס העלויות לנפש בין חולי סוכרת למי שאינם חולים בסוכרת עומד על 2.7:1, תחסוך כ-140 מיליוני שקלים בשנה.

נשוב ונדגיש כי מדובר באומדנים שמרניים מאוד, המעריכים את העלות המינימלית ביותר של המחסור במגנזיום. אנחנו מטים במכוון את האומדנים שלנו כלפי מטה בשש דרכים:

1. בטווח של שנים רבות מספר האנשים שלא יחלו בסוכרת מסוג 2 או בשכך איסכמי צפוי לעלות באופן מצטבר משנה לשנה. מבחינה זו, סך העלויות לכל אורך החיים הקשורות למקרי סוכרת מסוג 2 שנמנעו בשנה אחת, כפי שמוצג בתרשים 5, הוא מדד טוב יותר. הוא מצביע על חיסכון של מאות מיליוני שקלים בשנה.¹⁵
 2. האומדנים שלנו מתעלמים מן העלויות העקיפות הניכרות. הכללתן של עלויות אלו תגדיל את האומדנים בערך פי שניים. האומדנים שלנו מתעלמים גם מעלויות מסוגים אחרים, שגם הן אינן כלולות במודלים סטנדרטיים של עלויות עקיפות, בייחוד אלו הכרוכות בנטל הרגשי המוטל על בני משפחה קרובים ועל חברים ברשת התמיכה שאינם בני משפחה.
 3. היארעות הסוכרת מסוג 2 בישראל עולה בגילים צעירים יותר. לצד ניהול יעיל של המחלה, ירידת גיל החולים תגדיל את מספר שנות-האדם שנחיות עם סוכרת מסוג 2 במהלך החיים, ומתוך כך תגדיל את סך ההוצאות הרפואיות (וההוצאות העקיפות) שקשורות לסוכרת מסוג 2.
 4. האומדנים שלנו מתעלמים מן הסיכון המוגבר לשכך איסכמי בקרב חולים בסוכרת מסוג 2. במטא-אנליזה מהזמן האחרון, שמסכמת את המנגנונים הביולוגיים המשותפים לסוכרת מסוג 2 ולשכך איסכמי, נטען שלא זו בלבד שסוכרת מסוג 2 היא גורם סיכון
-
- 15 כמה מאותם אנשים שיינצלו ינועו ככל הנראה לעמודת הסוכרת מסוג 2 או השכך האיסכמי בגיל מבוגר יותר. לכן, מבחינת חיסכון לכל החיים, האומדן האמיתי הוא במקום כלשהו בין האומדן לשנה אחת ובין האומדן למשך כל החיים.

לשבץ, אלא ש"סיבוכים של כלי הדם במוח [גם] גורמים לחולי סוכרת להיות רגישים פי 2 עד פי 6 לאירוע שבץ, וסיכון זה גדול יותר בקרב אנשים צעירים" (Maida et al., 2022). בהתאם לאינטרס שלנו ליצור אומדן שמרני אנחנו מניחים כאן הנחה פשוטה יותר: לתחלואה נלווית יש השפעה שולית אפסית נטו על העלויות הרפואיות של המחסור במגנזיום. מחקר עתידי יספק הערכות איתנות יותר בעניין זה.

5. התמקדנו רק בהשפעות המחסור במגנזיום על סוכרת מסוג 2 ושבץ מוחי. למחסור במגנזיום נקשרו סיבתית גם מצבים רפואיים אחרים, בייחוד בישראל, ואלה יכולים לגרום להגדלת העלויות הרפואיות הישירות אף יותר. עם מצבים אלו נמנים מחלת לב איסכמית, אוטם שריר הלב וסרטן המעי הגס (Shlezinger et al., 2018, 2019).
6. האומדנים שלנו מוצגים במחירים קבועים לשנת 2018.

כאמור במבוא למאמר, הוויתור על צריכת מגנזיום ממקור טבעי בגלל השימוש במים מותפלים הוא סיכון בריאותי שמשרד הבריאות כבר דן בו באריכות, אך עדיין לא נמצא לו פתרון. דוח של משרד הבריאות מן הזמן האחרון (תהל מהנדסים יועצים, 2021) דן בהוספת מגנזיום למים מותפלים כדי להגיע לריכוז של 20–30 מ"ג לליטר, ואולם נראה כי טכנולוגיה זו נמצאת רק בשלבים ראשוניים של יישום. בערב הסעודית, שייצרה 2.1 מיליארד מ"ק של מים מותפלים ב-2020, מוסיפים מגנזיום לחלק מהמים המותפלים ומספקים מים מועשרים במגנזיום (כ-15 מ"ג לליטר) לאוכלוסייה של כ-1.3 מיליון נפשות (Fellowset al., 2023). גם בקפריסין מוסיפים מגנזיום למים מותפלים במטרה לייצב את המים לרמה של 10 מ"ג לליטר (Marangou & Savvides, 2001). היקף ההתפלה בישראל, כמו בעולם, צפוי לגדול בשנים הבאות, ובד בבד יגדלו גם אתגרי איכות הסביבה ואתגרי הבריאות הנלווים לטכנולוגיה זו (Jones et al., 2019).

סיכום

המעבר המהיר של ישראל להתפלה בהיקף נרחב הוא הישג טכנולוגי גדול. הוא אפשר לחברה הישראלית להתגבר על מגבלה סביבתית משמעותית, שאימה בעבר על קיימותה של אוכלוסייה גדולה בעלת טעמים – וצריכת מים – של מדינות עשירות.

לדה-מינרליזציה של מי ים, שאפשרה את ההישג הזה, יש כמה השלכות בריאותיות לא רצויות. כאן התמקדנו בשתיים מהן, הנובעות ממחסור במגנזיום. השלכות לא רצויות אחרות עלולות להיגרם ממחסור בIOD, בסידן פחמתי (שמוסיפים למים מותפלים בישראל) או במינרלים אחרים שמוצאים בתהליך ההתפלה. על כל פנים, בעיה זו ניתנת לפתרון. לפי עלויות שפורטו בדוח של משרד הבריאות, העלות השנתית של הוספת מגנזיום למים בטכנולוגיה הזולה ביותר צפויה להיות כ-37 מיליון ש"ח עבור אספקת מים לכ-10 מיליון

נפשות, ואילו בטכנולוגיה יקרה יותר אך פשוטה מבחינה טכנית העלות צפויה להגיע לכ- 270 מיליון ש"ח בשנה (תהל מהנדסים יועצים, 2021).

בפני יישומו של שינוי זה עומדים כמה מחסומים שיש להתייחס אליהם. אף שהנחיות ארגון הבריאות העולמי למי שתייה קובעות שמים הם מקור חשוב למגנזיום ושלכן יש להוסיף מגנזיום למים, בייחוד באוכלוסיות שצריכת המגנזיום בהן נמוכה, הן אינן כוללות המלצות לגבי הכמות הרצויה של מגנזיום במים (WHO, 2022).

השפעתם של מסנני מים ביתיים, שהשימוש בהם בישראל נרחב (Spungen et al., 2013), היא נושא שמחייב התייחסות ומחקר נוסף. הוספת מגנזיום למים מותפלים תתרום פחות לצריכת המגנזיום של מי שמשמשים במסננים (אם כי היא עדיין תתרום מעט בעת השימוש במים מותפלים בבישול, וכנראה תעלה גם את רמות המגנזיום בתוצרת טרייה). למרבה המזל, מאחר שבאוכלוסיות ממעמד חברתי-כלכלי נמוך השימוש במסנני מים ביתיים נפוץ פחות, להוספת מגנזיום למי השתייה באופן אוניברסלי תהיה השפעה גדולה יותר על אוכלוסיות אלו. זוהי אוכלוסיית היעד העיקרית של צעד זה, בהתחשב בעובדה שאנשים ממעמד חברתי-כלכלי נמוך צורכים פחות תוספים תזונתיים מאנשים ממעמד גבוה (תהל מהנדסים יועצים, 2021).¹⁶

בשל הדמוגרפיה הבלתי רגילה של ישראל חשוב אף יותר להתייחס כבר היום לבעיית הצריכה הנמוכה של מגנזיום. האומדנים שהבאנו מתייחסים לעלויות רפואיות ישירות בלבד, בהינתן גודל האוכלוסייה הנוכחי. ואולם בקרב המדינות בעלות הכנסה גבוהה ישראל מתייחדת בהרכב הגילים הצעיר שלה. תיעדנו כיצד גידול מהיר באוכלוסייה בעשרים השנים הבאות, בעיקר בקבוצות הגיל המועדות ללקות בסוכרת מסוג 2 ובשבץ איסכמי, יוביל לגידול מהיר במספר המוחלט של מקרים חדשים. יש בכך כדי להדגיש את הדחיפות של נקיטת צעדים מהירים למניעת מקרים רבים ככל האפשר של סוכרת מסוג 2 ושבץ איסכמי, ובראשם הגדלת צריכת המגנזיום.

16 את השימוש במסנני מים ביתיים יש לחקור בנפרד. איכות המים בישראל גבוהה, ועבור רוב האוכלוסייה, אפשר שהשימוש בהם מיותר (Rosen et al., 2018).

מקורות

- ארזי, ר', בנטל, ב', ודידוביץ', נ' (2023). **בני משפחה מטפלים בישראל: ניתוח, אפיון והשפעה על שוק העבודה**. מרכז טאוב לחקר המדיניות החברתית בישראל.
- בליצר, ר', טמיר, א', שטראוס, י', פוליצר, ע', פינטו, א', פריאור, ר', רז, א', גרינברג, ד', וקרסיק, א' (2018). **הערכת עלות מחלת הסוכרת בישראל והבנת המשמעויות למניעתה ולפיתוח כלי מימון חדשים לרפואה מונעת**. המכון הלאומי לחקר שירותי הבריאות ומדיניות הבריאות והמוסד לביטוח לאומי.
- וינרב, א', שרברמן, ק', ווייס, א' (בהכנה). **חשבונאות לאומית של העברות בין-דוריות בישראל 2018: דפוסים בסיסיים**. מרכז טאוב לחקר המדיניות החברתית בישראל.
- משרד הבריאות (2019). **סקר רב מב"ת מבוגרים: סקר לאומי שני בנושא מצב הבריאות והתזונה בבני 18–64, 2014–2016**, פרסום מס' 383.
- משרד הבריאות (2019). **סקר רב מב"ת זהב: סקר לאומי שני בנושא מצב הבריאות והתזונה בבני 65 ומעלה, 2014–2015**, פרסום מס' 382.
- משרד הבריאות (2021). **הרישום הלאומי לסוכרת: מצב הסוכרת בישראל לשנת 2021**.
- משרד הבריאות (2023). **התוכנית הלאומית למדדי איכות לרפואת הקהילה בישראל: תקציר מנהלים 2017–2021**.
- רם, ע', ליברודר, כ', הרשקוביץ, י', טנה, ד', שוחט, ת', וצוקר, ע' (2019). **הרישום הלאומי לאירוע מוח – כלי לניטור התחלואה והטיפול באירוע מוח בישראל**. הרפואה, **158**(6), 352–356.
- תהל מהנדסים יועצים (2021). **ליווי פיילוט להוספת מגנזיום למים מותפלים, דוח מסכם**.
- Albaker, W. I., Al-Hariri, M. T., Al Elq, A. H., Alomair, N. A., Alamoudi, A. S., Voutchkov, N., Ihm, S., Namazi, M. A., Alsayyah, A. A., AlRubaish, F. A., Alohl, F. T., Zainuddin, F. A., Alobaidi, A. A., Almuzain, F. A., Elamin, M. O., Alamoudi, N. B., Alamer, M. A., Alghamdi, A. A., & AlRubaish, N. A. (2022). **Beneficial effects of adding magnesium to desalinated drinking water on metabolic and insulin resistance parameters among patients with type 2 diabetes mellitus: A randomized controlled clinical trial**. *Npj Clean Water*, *5*(63), 1–9.
- Barbagallo, M., & Dominguez, L. J. (2007). **Magnesium metabolism in type 2 diabetes mellitus, metabolic syndrome and insulin resistance**. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *458*(1), 40–47.
- Barbagallo, M., Veronese, N., & Dominguez, L. J. (2021). **Magnesium in aging, health and diseases**. *Nutrients*, *13*(2), 1–20.
- Charbonnel, B., Simon, D., Dallongeville, J., Bureau, I., Dejager, S., Levy-Bachelot, L., Gourmelen, J., & Detournay, B. (2018). **Direct medical costs of type 2 diabetes in France: An insurance claims database analysis**. *PharmacoEconomics – Open*, *2*(2), 209–219.

- Daoudy, M. (2020). *The origins of the Syrian conflict*. Cambridge University Press.
- de Baaij, J. H. F., Hoenderop, J. G. J., & Bindels, R. J. M. (2015). Magnesium in man: Implications for health and disease. *Physiological Reviews*, 95(1), 1–46.
- deVeber, G. A., Kirton, A., Booth, F. A., Yager, J. Y., Wirrell, E. C., Wood, E., Shevell, M., Surmava, A-M, McCusker, P., Massicotte, M. P., MacGregor, D., MacDonald, E. A., Meaney, B., Levin, S., Lemieux, B. G., Jardine, L., Humphreys, P., David, M., Chan, A. K. C., ... Bjornson, B. H. (2017). Epidemiology and outcomes of arterial ischemic stroke in children: The Canadian Pediatric Ischemic Stroke Registry. *Pediatric Neurology*, 69, 58–70.
- Driver, J. A., Djoussé, L., Logroscino, G., Gaziano, J. M., & Kurth, T. (2008). Incidence of cardiovascular disease and cancer in advanced age: Prospective cohort study. *Bmj*, 337, 1–8.
- DuBois King, M. (2016). The weaponization of water in Syria and Iraq. *The Washington Quarterly*, 38(4), 153–169.
- Durst, P. (2020, February 4). *In Israel, it's all about water*. Michigan State University Extension.
- Fellows, C. M., Al Hamzah, A. A., & Ihm, S. (2023). Pathways to magnesium supplementation of drinking water: An overview of the saline water conversion corporation experience. *Chemical Engineering Journal Advances*, 16, 1–10.
- Frank, S. (2007). *Dynamics of cancer: Incidence, inheritance, and evolution*, Chapter 2. Princeton University Press.
- Gao, L., Lim, M., Nguyen, D., Bowe, S., MacKay, M. T., Stojanovski, B., & Moodie, M. (2023). The incidence of pediatric ischemic stroke: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Stroke*, 18(7), 765–772.
- Gleick, P. H. (2014). Water, drought, climate change, and conflict in Syria. *Weather, Climate, and Society*, 6(3), 331–340.
- IDF (2009). *IDF diabetes atlas, fourth edition*. International Diabetes Federation.
- IHME (2023). *Global Burden of Disease Study 2019 (GBD 2019) Results Tool*. Institute for Health Metrics and Evaluation.
- Jacobs, E., Hoyer, A., Brinks, R., Icks, A., Kuß, O., & Rathmann, W. (2017). Healthcare costs of Type 2 diabetes in Germany. *Diabetic Medicine*, 34(6), 855–861.
- Jacobsen, R. (2016, July 29). Israel proves the desalination era is here. *Scientific American*.
- Jaffe, A., Giveon, S., Wulffhart, L., Oberman, B., Baidousi, M., Ziv, A., & Kalter-Leibovici, O. (2017). Adult Arabs have higher risk for diabetes mellitus than Jews in Israel. *PLoS ONE*, 12(5), 4–12.
- Jiang, L., He, P., Chen, J., Liu, Y., Liu, D., Qin, G., & Tan, N. (2016). Magnesium levels in drinking water and coronary heart disease mortality risk: A meta-analysis. *Nutrients*, 8(1), 1–7.

- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T. H., Smakhtin, V., & Kang, S-m. (2019). [The state of desalination and brine production: A global outlook](#). *Science of the Total Environment*, 657, 1343–1356.
- Kanavos, P., van den Aardweg, S., & Schurer, W. (2012). [Diabetes expenditure, burden of disease and management in 5 EU countries](#). *LSE Health*, 1–113.
- Kang, J. K., Kim, O. H., Hur, J., Yu, S. H., Lamichhane, S., Lee, J. W., Ojha, U., Hong, J. H., Lee, C. S., Cha, J. Y., Lee, Y. J., Lm, S. S., Park, Y. J., Choi, C. S., Lee, D. H., Lee, I. K., & Oh, B. C. (2017). [Increased intracellular Ca²⁺ concentrations prevent membrane localization of PH domains through the formation of Ca²⁺-phosphoinositides](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(45), 11926–11931.
- Khan, M. A. B., Hashim, M. J., King, J. K., Govender, R. D., Mustafa, H., & Al Kaabi, J. (2020). [Epidemiology of Type 2 diabetes — Global burden of disease and forecasted trends](#). *Journal of Epidemiology and Global Health*, 10(1), 107–111.
- Koren, G., Shlezinger, M., Katz, R., Shalev, V., & Amitai, Y. (2017). [Seawater desalination and serum magnesium concentrations in Israel](#). *Journal of Water and Health*, 15(2), 296–299.
- Kramer, I. (2022). [Effects of population growth on Israel's demand for desalinated water](#). *Npj Clean Water* 5(67), 1–7.
- Leal, J., Gray, A. M., & Clarke, P. M. (2009). [Development of life-expectancy tables for people with type 2 diabetes](#). *European Heart Journal*, 30(7), 834–839.
- Luengo-Fernandez, R., Violato, M., Candio, P., & Leal, J. (2020). [Economic burden of stroke across Europe: A population-based cost analysis](#). *European Stroke Journal*, 5(1), 17–25.
- Maida, C. D., Daidone, M., Pacinella, G., Norrito, R. L., Pinto, A., & Tuttolomondo, A. (2022). [Diabetes and ischemic stroke: An old and new relationship an overview of the close interaction between these diseases](#). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2397.
- Marangou, V. S., & Savvides, K. (2001). [First desalination plant in Cyprus — product water aggressivity and corrosion control](#). *Desalination*, 138(1–3), 251–258.
- Ng, C. S., Toh, M. P. H. S., Ng, J., & Ko, Y. (2015). [Direct medical cost of stroke in Singapore](#). *International Journal of Stroke*, 10(SA100), 75–82.
- NIH (2021). [Magnesium, Fact Sheet for Health Professionals](#). National Institutes of Health.
- Putala, J. (2016). [Ischemic stroke in the young: Current perspectives on incidence, risk factors, and cardiovascular prognosis](#). *European Stroke Journal*, 1(1), 28–40.
- Raveh, E., & Ben-Gal, A. (2018). [Leveraging sustainable irrigated agriculture via desalination: Evidence from a macro-data case study in Israel](#). *Sustainability*, 10(4), 1–8.

- Rosamond, W., Flegal, K., Furie, K., Go, A., Greenlund, K., Haase, N., Hailpern, S. M., Ho, M., Howard, V., Kissela, B., Kittner, S., Lloyd-Jones, D., McDermott, M., Meigs, J., Moy, C., Nichol, G., O'Donnell, C., Roger, V., Sorlie, P., ... Hong, Y. (2008). [Heart disease and stroke statistics-2008 Update: A report from the American heart association statistics committee and stroke statistics subcommittee](#). *Circulation*, *117*(4).
- Rosen, V. V., Garber, O. G., & Chen, Y. (2018). [Magnesium deficiency in tap water in Israel: The desalination era](#). *Desalination*, *426*, 88–96.
- Rozentul-Sorokin, N., Ronen, R., Tamir, A., Geva, H., & Eldar, R. (1996). [Stroke in the young in Israel: incidence and outcomes](#). *Stroke*, *27*(5), 838–841.
- Rücker, V., Heuschmann, P. U., O'Flaherty, M., Weingärtner, M., Hess, M., Sedlak, C., Schwab, S., & Kolominsky-Rabas, P. L. (2020). [Twenty-year time trends in long-term case-fatality and recurrence rates after ischemic stroke stratified by etiology](#). *Stroke*, *51*(9), 2778–2785.
- Saka, Ö., McGuire, A., & Wolfe, C. (2009). [Cost of stroke in the United Kingdom](#). *Age and ageing*, *38*(1), 27–32.
- Shahar, D., Shai, I., Vardi, H., Shahar, A., & Fraser, D. (2005). [Diet and eating habits in high and low socioeconomic groups](#). *Nutrition*, *21*(5), 559–566.
- Shechter, M., & Eilat-Adar, S. (2021). [Dietary recommendations of magnesium for cardiovascular prevention and treatment](#). A position paper of the Israel Heart Society and the Israel Dietetic Association.
- Shlezinger, M., Amitai, Y., Akriv, A., Gabay, H., Shechter, M., & Leventer-Roberts, M. (2018). [Association between exposure to desalinated sea water and ischemic heart disease, diabetes mellitus and colorectal cancer; A population-based study in Israel](#). *Environmental Research*, *166*, 620–627.
- Shlezinger, M., Amitai, Y., Goldenberg, I., Atar, S., & Shechter, M. (2019). [Acute myocardial infarction severity, complications, and mortality associated with lack of magnesium intake through consumption of desalinated seawater](#). *Magnesium Research*, *32*(2), 39–50.
- Soares Andrade, C. A., Shahin, B., Dede, O., Akpeji, A. O., Ajene, C. L., Albano Israel, F. E., & Varga, O. (2023). [The burden of type 2 diabetes mellitus in states of the European Union and United Kingdom at the national and subnational levels: A systematic review](#). *Obesity Reviews*, *24*(9), 1–22.
- Spungen, J. H., Goldsmith, R., Stahl, Z., & Reifen, R. (2013). [Desalination of water: Nutritional considerations](#). *Israel Medical Association Journal*, *15*(4), 164–168.
- Stedman, M., Lunt, M., Davies, M., Livingston, M., Duff, C., Fryer, A., Anderson, S. G., Gadsby, R., Gibson, M., Rayman, G., & Heald, A. (2020). [Cost of hospital treatment of type 1 diabetes \(T1DM\) and type 2 diabetes \(T2DM\) compared to the non-diabetes population: A detailed economic evaluation](#). *BMJ Open*, *10*(5), e033231.

- Stegbauer, C., Falivena, C., Moreno, A., Hentschel, A., Rosenmöller, M., Heise, T., Szecsenyi, J., & Schliess, F. (2020). [Costs and its drivers for diabetes mellitus type 2 patients in France and Germany: A systematic review of economic studies](#). *BMC Health Services Research*, 20(1), 1–12.
- Tanne, D., Goldbourt, U., Koton, S., Grossman, E., Koren-Morag, N., Green, M. S., & Bomstein, N. M. (2006). [A national survey of acute cerebrovascular disease in Israel: Burden, management, outcome and adherence to guidelines](#). *Israel Medical Association Journal*, 8(1), 3–7.
- Theisen, C. F., Wodschow, K., Hansen, B., Schullehner, J., Gislason, G., Erbsøll, B. K., & Erbsøll, A. K. (2022). [Drinking water magnesium and cardiovascular mortality: A cohort study in Denmark, 2005–2016](#). *Environment International*, 164.
- Touyz, R. M., de Baaij, J. H. F., & Hoenderop, J. G. J. (2024). [Magnesium disorders](#). *The New England Journal of Medicine*, 3(390), 1998–2009.
- Wafa, H. A., Wolfe, C. D. A., Bhalla, A., & Wang, Y. (2020). [Long-term trends in death and dependence after ischaemic strokes: A retrospective cohort study using the south London stroke register \(SLSR\)](#). *PLoS Medicine*, 17(3), 1–17.
- Wang, L., Si, L., Cocker, F., Palmer, A. J., & Sanderson, K. (2018). [A systematic review of cost-of-illness studies of multimorbidity](#). *Applied Health Economics and Health Policy*, 16(1), 15–29.
- WHO (2016). [Global report on diabetes](#). World Health Organization.
- WHO (2022). [Guidelines for drinking-water quality](#). World Health Organization.
- Wu, L., Zhu, X., Fan, L., Kabagambe, E. K., Song, Y., Tao, M., Zhong, X., Hou, L., Shrubsole, M. J., Liu, J., & Dai, Q. (2017). [Magnesium intake and mortality due to liver diseases: Results from the Third National Health and Nutrition Examination Survey Cohort](#). *Scientific Reports*, 7(1), 1–6.
- Yermiyahu, U., Tal, A., Ben-Gal, A., & Bar-Tal, A. (2007). [Rethinking desalinated water quality and agriculture](#). *Science*, 318(5852), 920–921.
- Yin, S., Zhou, Z., Lin, T., & Wang, X. (2023). [Magnesium depletion score is associated with long-term mortality in chronic kidney diseases: A prospective population-based cohort study](#). *Journal of Nephrology*, 36(3), 755–765.
- Zhao, B., Zeng, L., Zhao, J., Wu, Q., Dong, Y., Zou, F., Gan, L., Wei, Y., & Zhang, W. (2020). [Association of magnesium intake with type 2 diabetes and total stroke: An updated systematic review and meta-analysis](#). *BMJ Open*, 10(3), 1–15.