

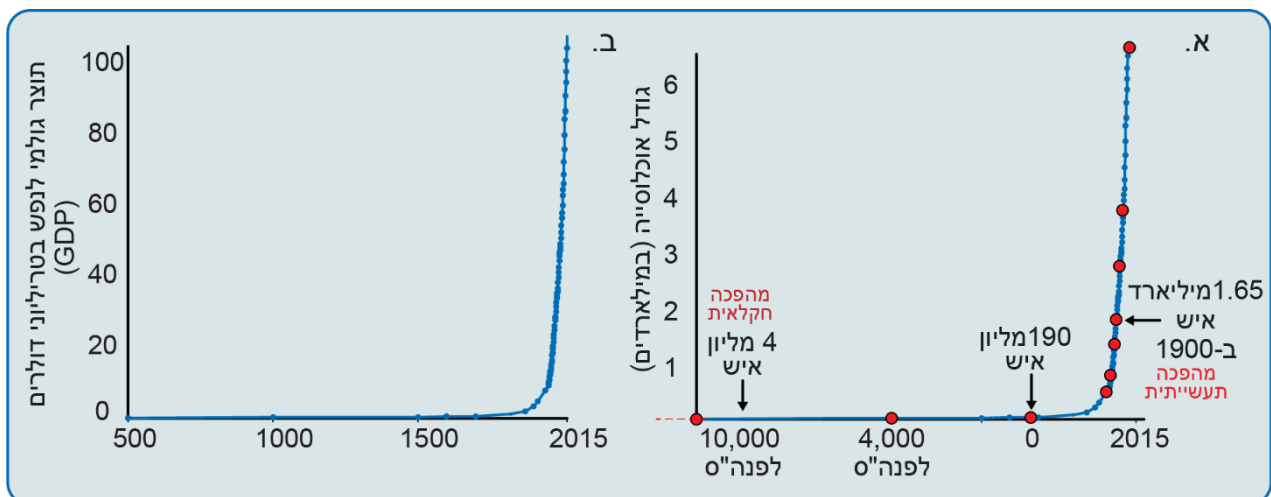
פרק 2: אוכלוסייה זה כל הסיפור

תוכן עניינים

פרק 2: אוכלוסייה זה כל הסיפור.....	1
2.1 התפתחות האוכלוסייה בכדור הארץ.....	2
2.2 שינוי בהרגלי צריכת דלקי מאובנים.....	2
2.3 ניתוח מחקר מדעי.....	5

2.1 התפתחות האוכלוסייה בכדור הארץ

בראשית, היה האדם צייד לקט, ולאורך תקופה ארוכה גודל האוכלוסייה בכדור הארץ עמד על בערך 4 מיליון אנשים (תמונה 7 א'). התפתחות החקלאות, בהתחלה כאמצעי לאספקת מזון ובהמשך כמקור להכנסה למשפחה החליפה את אורח החיים הנוודי. כתוצאה מכך, חוותה האנושות שינויים תרבותיים גדולים ביותר. ביות צמחים ובעלי חיים היה הסימן הראשון של מה שאנו קוראים לו כיום בשם חקלאות. והמאמצים לשיפור יבולים וגידול בעלי חיים היה כבר מתועד בכתבים עתיקים של מסופוטמיה, מצרים, אפריקה וסין. מקובל להתייחס לשינויים אלה בשם "המהפכה מחקלאית", אך למעשה לא מדובר על מהפכה אחת, אלא על הרבה מהפכות חקלאיות קטנות שהתרחשו בו זמנית באזורים שונים בעולם. מאז, המהפכה החקלאית שמתוארכת ל 10,000 שנה לפני הספירה, הובילה לעלייה הדרגתית אך איטית באוכלוסיית כדור הארץ, כך שבאמצע המאה ה-19, אוכלוסיית העולם מנתה כמיליארד וחצי בני אדם בלבד. היום, כמאה שנים אחרי, אוכלוסיית העולם מונה כבר מעל 7 מיליארד בני אדם והצפי הוא שעד 2050 יחיו בכדור הארץ כמעט 10 מיליארד אנשים (תמונה 7 א'). לצד הגידול באוכלוסייה, נראה שגם השפעת האדם על כדור הארץ מתרחבת. הצריכה האנושית הממוצעת למשל, עולה פי 10 בין השנים 1950-2016, בעוד שהגידול באוכלוסייה עלה רק פי 4. מכאן שלא רק שהאוכלוסייה גדלה היא גם צורכת יותר (תמונה 7 ב').

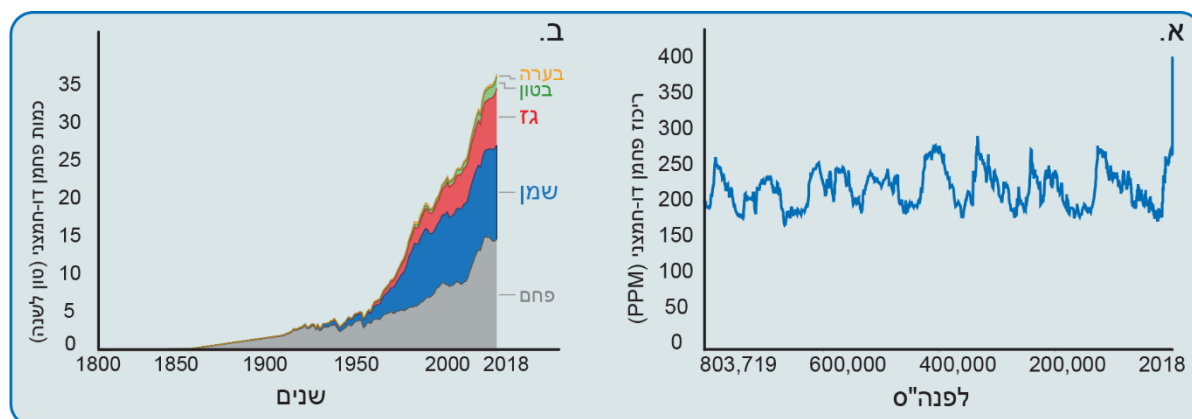


תמונה 7 א-ב: (א) שינוי בגודל האוכלוסייה בכדור הארץ ב-12,000 השנים האחרונות. (ב) שינוי בערך GDP (Gross Domestic Product) העולמי. המדד מייצג את הערך הכלכלי של הסחורות והשירותים באזור מסוים. למעשה מתאר המדד את עוצמת הצריכה של שירותים. ככל שהערך גבוהה יותר המשמעות היא צריכה יותר גדולה וצמיחה כלכלית.

2.2 שינוי בהרגלי צריכת דלקי מאובנים

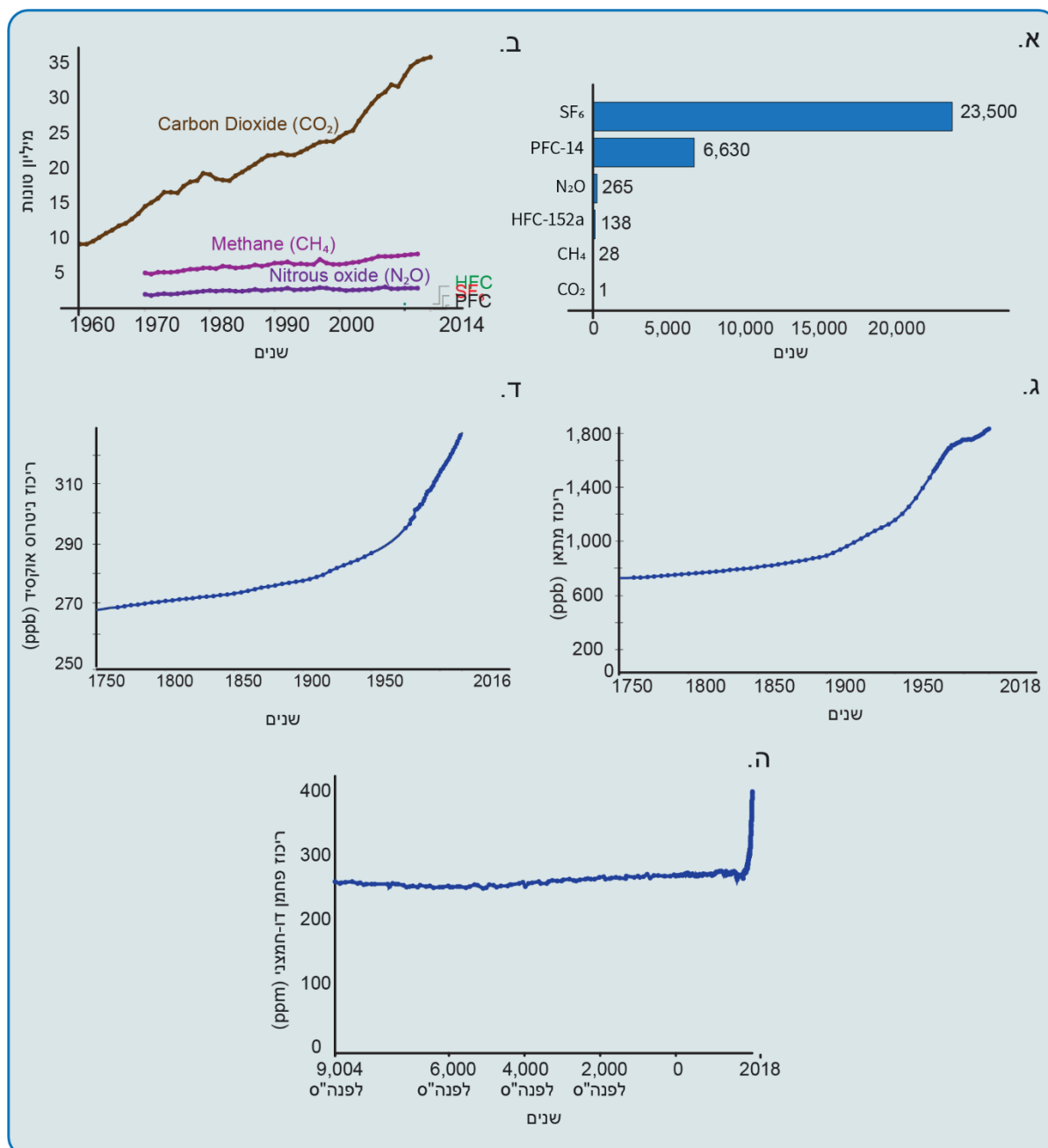
במקביל לעליה בכמות האוכלוסייה, ובמיוחד מאז המהפכה התעשייתית באמצע המאה התשע עשרה, ניתן לראות עליה דרמטית בצריכת דלקי מאובנים (נפט, גז טבעי, פחם). מרבצים אלו נשרפו בקצב הולך ועולה כדי לספק אנרגיה לתעשיות ולבתים, ולעמוד בדרישות האוכלוסייה למוצרים ותשתיות. דבר זה

הוביל לעלייה ניכרת בריכוזי הפחמן הדו-חמצני האטמוספרי (Churkina et al., 2020). ובאמת, כשבוחנים את השינויים בריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה לאורך תקופה של מעל 800 אלף שנה, ניתן לראות בבירור כי בעת הנוכחית ניכרת עליה בריכוזו באטמוספירה, הרבה מעבר למה שהיה באלפי השנים שקדמו לכך (תמונה 8 א'). עליה זו בריכוז הפחמן הדו חמצני באטמוספירה נמצאת בקנה אחד עם העלייה בשריפת דלקי מאובנים העולמית בין השנים 1751-2017, (תמונה 8 ב'). מכאן, שניתן למצוא קשר בין עליה בריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה לבין הפעילות האנושית.



תמונה 8 א', ב': (א) ריכוז פחמן דו-חמצני (CO_2) באטמוספירה בשנים 803,719 לפנה"ס – 2018. (ב) פליטת פחמן דו-חמצני לי סוג שריפת דלק בשנים 1751-2017. (א) ריכוז ממוצע של פחמן דו-חמצני נדד בחלקיקים למיליון (ppm). ריכוזי פחמן דו-חמצני בתקופות קדומות נמדדות מדוגמאות אוויר שהשתמרו בקרח. (ב) כמות הפחמן הדו-חמצני הנפלטת נמדדה בטונות לשנה. מקור: EPICA Dome C, Global Carbon Project (GCP); CDIAC CO_2 record (2015) & NOAA (2018).

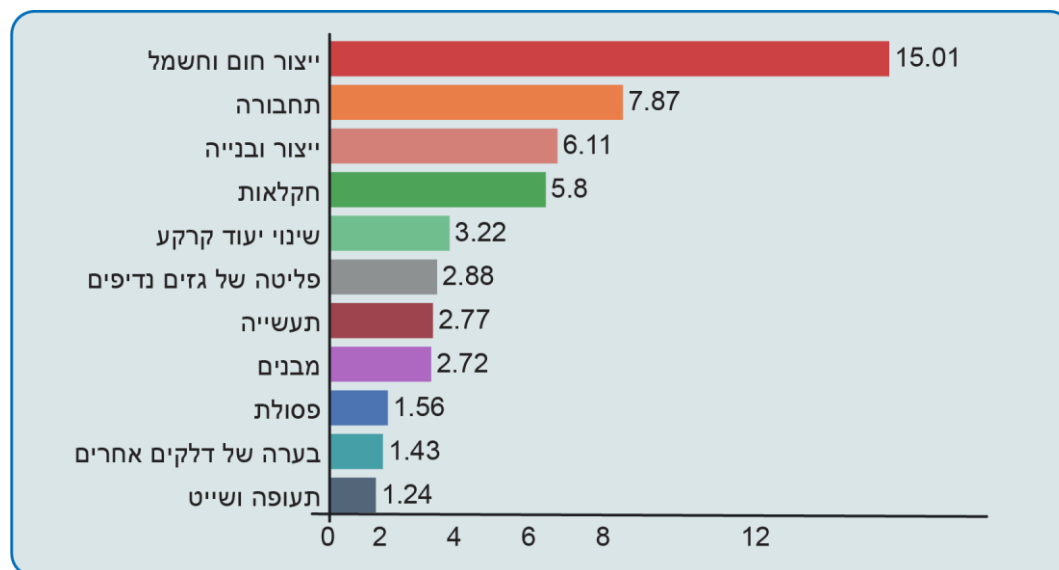
לצד עליה בפליטה של פחמן דו-חמצני, חלה עליה משמעותית בפליטה של גזי חממה נוספים. אלה כוללים את גז המתאן, ניטרוסאוקסיד והגזים HFC-152a , SF_6 ו- PFC-14 , (שנקראים בקיצור גזי F, מאחר שהם מכילים את אטום הפלואור F) (תמונה 9 ב'). ובהתאם עולה ריכוזם של גזים אלה גם באטמוספירה (תמונה 9 ג'-ה'). למרות ההבדלים הגדולים בכמויות הפליטה של הגזים השונים, צריך לשים לב לנתון נוסף, והוא מידת המסוכנות של הגזים כגזי חממה. ובאמת כאשר בוחנים את מידת המסוכנות של גזים אלה בהשוואה לפחמן דו-חמצני עולה תמונה מעניינת. גז מתאן מסוכן פי 28 מפחמן דו-חמצני, וגז הניטרוסאוקסיד מסוכן פי 265 (תמונה 9 א'). כלומר, למרות הכמות הקטנה, יחסית, של פליטת ניטרוסאוקסיד לאטמוספירה, המסוכנות שלו כה גדולה, שלצמצום הפליטה שלו תהיה תרומה משמעותית על אפקט החממה. אם נכפיל את מסוכנות הגז, בכמות הגז הנפלטת, נקבל מדד נוסף שנקרא (CO_2 equivalent, $\text{CO}_2 \text{ e}$). מדד זה מתאר את כמות הפחמן הדו-חמצני, שהייתה מחממת את כדור הארץ באותו האופן כמו הגז המדובר. למשל, בשנת 2012 ערך $\text{CO}_2 \text{ e}$ של מתאן היה 140 טון. מכאן, שבהשוואה לפחמן דו-חמצני, גם גזים שנפליטים בכמויות נמוכות מאד כמו ניטרוסאוקסיד וגזי F, השפעתם על אפקט החממה היא מאד גדולה. נשאלת השאלה אם כך, מדוע עיקר המאמץ המדעי והתקשורתי עוסק בצמצום פליטת פחמן-דו חמצני ולא בשאר גזי החממה? על שאלה זו ננסה לענות בהמשך האוגדן.



תמונה 9: א פוטנציאל התחממות גלובלית של גזי חממה בטווח של 100 שנה לפי מדד GWP_{100} . מדד GWP משווה את התרומה היחסית של יחידת מסה של גז חממה לזו של פחמן דו-חמצני. ערך GWP של 28 עבור מתאן אומר שטון אחד של גז מתאן משפיע פי 28 מטון אחד של פחמן דו-חמצני בטווח של 100 שנים. [מקור הנתונים](#). **ב** פליטת גזי חממה עולמית, 1970-2012. כמויות פליטת גזי החממה העולמית נמדדת לפי ההשפעה היחסית שלהם בהשוואה לפחמן דו-חמצני. [מקור הנתונים](#). ג-ה) ריכוז מתאן, ניטרוס אוקסיד ופחמן דו-חמצני באטמוספירה בהתאמה.

נקודה נוספת שיש לתת עליה את הדעת היא מהו המקור העיקרי לפליטת הגזים המזהמים. באופן כללי ניתן לומר שמרבית פליטת גזי החממה המרכזיים מקורה בצריכת חשמל ואנרגיה, ובמידה נמוכה יותר שימושי תחבורה וחקלאות. (תמונה 10). אבל כאשר בוחנים את מקור הפליטה העיקרי של כל אחד מהגזים בנפרד, נראה שהרוב הכמעט מוחלט של פליטת הניטרוסאוקסיד ורוב המתאן הנפלט

לאטמוספירה מקורו בחקלאות. לעומת זאת, פליטת רוב הפחמן דו-חמצני לאטמוספירה מקורה בעיקר משימושי אנרגיה ותחבורה. למידע הזה יש ערך רב עבור קובעי מדיניות בבואם לתכנן אסטרטגיות לצמצום פליטת גזי חממה.



תמונה 10: התפלגות פליטת גזי חממה לפי סקטור.

2.3 ניתוח מחקר מדעי

חברת החיידקים בכרס משפיע על פליטת המתאן

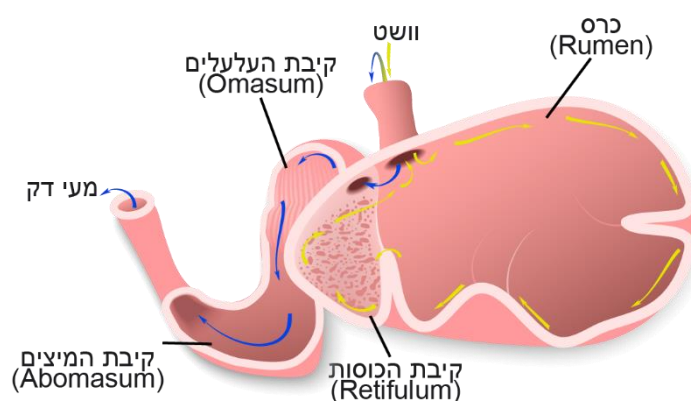
מבוסס על המאמר:

Kamke, J. et al. Rumen metagenome and metatranscriptome analyses of low methane yield sheep reveals a Sharpea-enriched microbiome characterised by lactic acid formation and utilisation. *Microbiome* 4, 1–16 (2016).

מתוך סך המתאן שנפלט לאטמוספירה ממקורות חקלאיים נמצא ששליש ממנו מקורו באופן ספציפי מבעלי חיים מעלי גירה (צאן ובקר). במעלי גירה, המזון יורד מן הושט אל שק היושב מעל לקיבה וקרוי כרס. לשק זה צמוד כיס שדומה לחלת דבש (רטיקולום). בכרס מתרחש עיכול ראשוני פיזי ופירוק מיקרוביאלי. לאחר מכן מתרחשת העלאת הגירה וירידה של המזון לקיבת ה Omasum. משם המזון יורד לקיבה האמיתית הקרויה Abomasum. שם מתרחש עיכול הדומה לזה שביונקים אחרים (תמונה 11). התכונה של פליטת מתאן, היא תכונה גנטית והיא מושפעת ממשך הזמן שעובר המזון בכרס (rumen), ומגודל הכרס. לכן הועלתה ההשערה שניתן יהיה ליצור על ידי הכלאות, קווים גנטיים של בקר וצאן, בעלי פנוטיפ של פליטת מתאן נמוכה. פליטת המתאן במעלי גירה, מקורה בפעילות מיקרוביאלית המתרחשת בכרס וברטיקולום (שמתפקדים מבחינה פונקציונלית כאיבר אחד). כדי לבדוק את ההשערה הזו נבדקה חברת החיידקים בכבשים המפרישות מעט או הרבה מתאן (Kamke et al., 2016). בין שני סוגי הכבשים נמצאו הבדלים בהרכב חברת החיידקים ובביטוי שונה של גנים האחראים על תסיסת סוכרים. אצל כבשים

המפרישות מעט מתאן נמצא עושר של חיידקי *Sharpea spp* בעוד שאצל כבשים המפרישות הרבה מתאן נמצאו חיידקים מהסוגים *Lachnospiraceae* ו *Ruminococcaceae*. כתוצאה מהבדלים אלו, כבשים המפרישות מעט מתאן ביצעו תסיסה מהירה של סוכרים ללקטאט ובוטיראט. בעוד שכבשים שהפרישו הרבה מתאן ייצרו אצטט ובוטיראט. בחישוב יבש נראה שכבשים המפרישות מעט מתאן מייצרות 24% פחות מתאן מכבשים המפרישות הרבה מתאן. אולם, סביר להניח שמאחר וקיימים מסלולי תסיסה נוספים, הבדל זה במציאות הוא קטן יותר. למרות זאת תוצאות המחקר תומכות בהשערה שהתכונה הפרשת מתאן היא תכונה גנטית שיכולה לעבור סלקציה. מידע זה יכול לשמש חקלאים ומגדלים, לבחירת קווים גנטיים המפרשים מעט מתאן, לטובת צמצום פליטתו לאטמוספירה.

מערכת הקיבות במעלי גירה



תמונה 11: מבנה הקיבה של מעלה גירה.