

## מה יותר גדול: היצף מידע או המחסור במשאבים תומכים?

דר' אברום רותם מאי 2017

### הסוגיה

העיסוק במספרים גדולים מאד גורם להנאה מרובה למיעוט העוסקים בתחום, ולאדישות הרוב, שכן מה זה משנה לנו אם סך המידע הדיגיטלי כיום הוא ZB 1.2, או ZB 2.1, בעוד שלרובנו מדובר בתחום מתיש שכן רק לחשוב וודאי לנסות לדמיין כמה זה ZB (10 בחזקת 21 בייט) גורם לשריפת קלוריות ולכאב ראש מיותרים, וממילא אין לנו כלים להפוך זאת למשהו פרקטי להנאתנו או כמענה לצרכנו.

מצב זה קצת מחשיד, כי מדובר כאן בתחום עמום, במשהו שאין קריטריונים ברורים לעמוד אחרי הנתונים, ובכלל נראה שחסרה כאן פיסה משמעותית מהתמונה הגדולה שננסה, ברשותכם האדיבה כמובן, להשלימה במאמרון זה.

הרעיון הבסיסי שעומד אחרי כל הרצאה על נתונים, וכיום האופנה העונתית הם נתוני העתק (הביג-דאטה), האינטרנט של הדברים – IOT, "הרשת הגדולה" ועוד ביטויים חינוניים שכאלה, הוא לספר איזו קטסטרופה ממשמשת ובאה עלינו, כי כולנו נטבע בכמות נתונים מפלצתית, ללא היכולת להכילם. נראה שאנשי הטכנולוגיה המודאגים בעצמם, מולכים אותם ואותנו באף, כשהם מראים לנו שקופית מלאה באפסים, ורומזים בהנהון מאיים שכך כל חיינו יראו בעתיד הקרוב, אומדני עתק של מידע, אפסים אפסים, להזהיר בפעם המי יודע כמה, מחשרת ענני האפוקליפסה המאיימת יותר מתמיד.

### מספרים גדולים

מושג המספרים בכלל, ומושג המספרים הגדולים בפרט העסיק את אבות אבותינו של החברה האנושית כולה. מנייה היא האלי"ף בי"ת של ציויליזציה מתקדמת, ומנייה של כמות גדולה מאד, מעבר ליכולת האנושית להבנות אותה בכלים מעשה ידיו, היא אכן מכשול. ככל שהמדינה גדולה יותר, וככל שקיים רצון לשלוט ולארגן ברמת מדינה, נתקלו יותר ויותר בסוגיה כיצד אומדים, סופרים, ממיינים כמויות עתק של מידע בכל הנוגע למשל, למטבע, כמויות מוצרים חקלאיים, אנשים, בעלי חיים, שטחים, כלים, מיסים וכיוצא באלה.

**אין כמו המקרא החביב עלינו להדגים את סוגיית המספרים הגדולים, בו מתוארת הסוגיה:**

א. ייחוס מיסטי למניית כמות במספרים גדולים, שמי שינסה לספור - דמו בראשו, כי יכולת כזו שייכת רק לאל:

"כִּי תֵשָׂא אֶת רֹאשׁ בְּנֵי־יִשְׂרָאֵל לִפְקֹדֵיהֶם וְנִתְּנָו אִישׁ כְּפֹר נַפְשׁוֹ לֵאדְנִי בִּפְקֹד אֲתָם וְלֹא יִהְיֶה בָהֶם נֶגֶף בִּפְקֹד אֲתָם" <sup>1</sup> [שמות, ל], כמו גם "וַיְהִי כֹל יִשְׂרָאֵל אֶלְף אֶלְפִים וּמֵאָה אֶלְף אִישׁ שְׁלֹף חָרָב וַיְהוּדָה אַרְבַּע מֵאוֹת

וְשִׁבְעִים אֶלְף אִישׁ שְׁלֹף חָרָב: [...] וַיִּרְעַל בְּעֵינֵי הָאֱלֹהִים עַל־הַדָּבָר הַזֶּה וַיִּדַּךְ אֶת־יִשְׂרָאֵל: " [דברי הימים א, כא] ב. באין יכולת לספור אז אומרים:

"עַד אֵין מִסְפָּר" - "... בְּרַחֲמֵי הַיָּם הַרְבֵּה מְאֹד עַד כִּי חִדַּל לְסַפֵּר כִּי אֵין מִסְפָּר" [בראשית, מא]

1 כלומר, כדי לספור את העם כל אחד חייב לתרום כופר נפש, מס גולגולת. ללא כופר זה, האנשים ימותו.

"כחול אשר על שפת הים" – "ומדון ועמלק וכל בני קדם נפלים בעמק פארצה לרב ולגמליהם אין מספר  
**פחול שעל שפת הים לרב.**" [שופטים, ז]  
 כוכבים לאין מספר : "... וספר הכוכבים אם תוכל לספר אתם, ויאמר לו- זה יהיה זרעך." [בראשית, טו]  
 ג. התפעלות מיכולת האל לספור מספרים גדולים, כתכונה אלוהית נשגבת מיכולת האדם- מצויה בהרבה  
 מקומות במקרא כמו, "עשה גדלות ואין תקר נפלאות עד אין מספר" [איוב, ה]

ואם במניית גרגרי חול עסקנו, נראה שארכימדס היווני (מאה 3 לפנה"ס) פיתח בגאונות הייחודית לו, את השיטה שאנו משתמשים עד היום (בעקרון כמובן) בה אנו מונים כמויות עתק במספרים גדולים. ארכימדס הוכיח שלכל דבר שקיים יש סוף. אין דבר כזה (חומרי לפחות) "עד אין מספר". הוא הראה שניתן לאמוד את כמות גרגרי החול, שגם אם ימלאו את היקום המוכר אז (מכדור הארץ עד השמש) הכמות היא סופית –  $10^{63}$  (1 ו-63 אפסים, שגדול לאין שיעור מכמות הבייטים הדיגיטליים כיום שנמדדת ב-ZettaByte,  $10^{21}$  בלבד). הוא הדגים זאת באמצעות אשכול שהחל ביחידת הבסיס - גרגיר חול, מנה כמה גרגרים תופסים קוטר זרע פרג, כמה זרעי פרג תופסים רוחב אצבע, כמה רוחב אצבעות בסטדיה (מידת מרחק של כ-200 מטר) וכך הלאה. המספר שקיבל היה סך יחידות אלה, המכילות יחידות קטנות יותר וכו'.  
 ודוגמה נוספת, יש להתפלא כיצד אף תלמיד בכימיה לא משתומם למשמע המספר שמעבר לדמיון, כשמדובר למשל בקבוע (למעשה מספר) אבוגדרו<sup>2</sup>,  $6.0 \times 10^{23}$ , שהוא מספר החלקיקים הנמצאים בכמות חומר שמסתה, בגרמים, שווה למסה האטומית (או המולקולרית) של אותו חומר. (למשל, מספר אטומי הפחמן ב-12 גרם של פחמן).

### אומדן המידע החשוף לאדם – האם זה חשוב?

הסוגיה שרבים דנים בה היא הכמות הבלתי נתפסת שאנו מייצרים באמצעות טכנולוגיה מעשי ידיו להתפאר. כמות זו גדלה במהירות כזו, עד שבאופן ענייני אנו, האנשים מן הישוב, חדלים מלספור אותה, כי עברנו זה אין מספר.  
 אומדנים שונים מעריכים את קיבולת הזיכרון האנושי של האנושות כולה כ- חצי ZB. אומדן אחר מעריך פי אלף מכך, אך לא נראה שזה באמת חשוב, מאחר והמידע שלנו על אופן שמירת הזיכרון במח (שאינו דיגיטלי מן הסתם), אופן אחסנתו, אחזורו, והאמצעים הביולוגיים העומדים לשם כך נעלמים מעינינו עד כה לפחות, ולזה נוסיף גם את אי ההסכמה באופן המרת כמות המידע המאוחסן שבמח לבייטים דיגיטליים.  
 קיבולת האינטרנט המוערכת היא כיום במרחב ה-ZB, כלומר סדרי גודל של  $10^{21}$  בייטים.  
 ב-2016 מדובר על 1-4 יחידות של ZB, ששנוי במחלוקת קלה בין האומדנים. התחזית היא כשכל שנה יתווסף כ- ZB 1.1, שיוכפל עוד מספר שנים ל-ZB 2.2 בשנה<sup>3</sup>. הערכה אחרת מדברת על למעלה מ-ZB 40 כבר ב-2020 (ראו כאן בהמשך).

<sup>2</sup> מספר אבוגדרו חושב עוד בתחילת המאה ה-20, על ידי מדידת מטען אלקטרון בודד שניתן למדוד אותו בדיוק רב, וסך המטען שיש במול אחד של חומר (לדוגמה: 12 כ- גר' של פחמן מצוי), שגם אותו ניתן למדוד. מאוחר יותר הוא נמדד ישירות על ידי מדידת מספר חלקיקים בתא נפח נתון של חומר, באמצעות קרני-X.

<sup>3</sup> Stephanie P. ( March 18, 2016 ) How Big Is the Internet, Really? *Live Science*  
<http://www.livescience.com/54094-how-big-is-the-internet.html>

לשם הרחבת היריעה על אומדני המידע הצפויים, דנים גם באומדנים של מהירות התקשורת – הקצב בו מועברים נתונים. כאן הטכנולוגיה הדיגיטלית מנצחת בגדול את המח האנושי, שעובד לאט, אך עם ריבוי משימות בו זמנית. בכל מקרה אין לכך יתרון משמעותי מעבר למהירות הפצת המידע ברחבי בעולם/הגלקסיה, מאחר ובסוף השרשרת ימצא תמיד המשתמש - מח אנושי שחושב לאט יחסית שצורך את המידע.

### ניסוי מחשבת: לכמה מידע נחשף האדם לפני מאה שנים?

הסוגיה המוצגת כאן, כמות המידע הדיגיטלי לה אנו נחשפים וניחשף, אולי מעניינת, אך חסרת מעוף ופרספקטיבה של התמונה הגדולה המייצגת מידע ואדם. לשם כך נעשה זאת בניסוי מחשבתי - נחזור במכונת זמן, נאמר 100 שנה לאחור (שנת 1917), שנה בו המחשב היה אזוטריה תאורטית, ולנסות לבנות תזה המספרת על כמויות המידע הבלתי נתפסות להן נחשף האדם, וכיצד הוא מתמודד איתן. המידע שהגיע לאדם ב- 1917 מהסביבה שלו, מורכב מסוג הקולטנים שהאדם קולט את המידע ומתנהג על פיו. אם כך, נשאל ראשית, מה היא כמות המידע המצוי ביקום כולו ללא קשר לאדם, או לצורך מעשי, נשאל על עולמנו הקטן הכולל את הפלנטה ארץ, והמידע המתקבל מחוצה לה? התשובות לכך אינן משמעותיות לאף אחד, אך תמיד ימצאו אלה שזה מסקרן אותם. משיקולים קוונטיים, והערכת "שטח הפנים" של היקום, מגיעים למספר בלתי נתפס של כ-  $10^{123}$  בייט (או יחידת מידע דומה) שזהו הגבול העליון של כמות המידע שכל היקום יכול להכיל. הלאה. גם אם נשאל אומדן למידע לו האדם חשוף על פלנטה ארץ הקטנה והחביבה עלינו, נקבל מספרים מפלצתיים חסרי משמעות בעבורנו. למשל, רוב רובו של המידע המציף את האדם הוא קרינה אלקטרומגנטית, וחלק קטן משמיעה, ריח ומגע. נוכל בקלות יחסית למשל, לפרק את כלל הקרינה לאורכי גל ועוצמות, וגם כאן נקבל מספרים דמיוניים של מידע אליה חשוף האדם, מספר בייטים מפלצתי, שספק אם מישהו טרח לעשות זאת עד כה, מהסיבה שזה ממש לא חשוב.

**ומה לגבי המידע האצור בגופנו?** כאן דוקא טרחו לתת אומדנים<sup>4</sup>: גוף האדם מכיל על פי הערכות 150ZB בייט, לו רצינו לאחסנו במחשב. החישוב הוא אומדן סך תכולת תאי הגוף כולל הגנום האנושי. במגע מיני למשל, מועברים 135 Petabytes ( $10^{15}$ ) מהזכר לנקבה. בקצרה- בעוד אנו חוששים ועוסקים עם האתגרים והחששות מהמידע הדיגיטלי הקם עלינו לכלותינו, לא שמנו לב שהמידע הטבעי, החומרי, לו אנו חשופים ובנויים ממנו, גדול בהרבה מהמידע הדיגיטלי, ועדיין אנו חיים, כמו גם העולם.

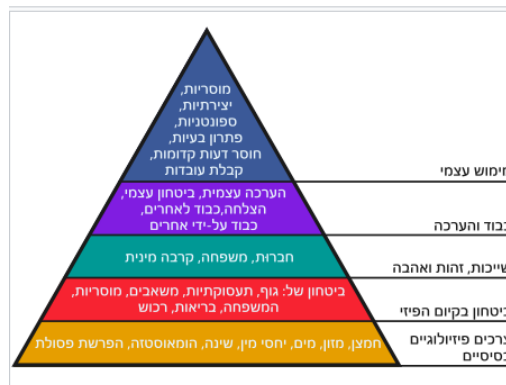
### איך האדם מתמודד עם המידע שאליו הוא חשוף?

מה שמעניין הוא לא אומדן המידע לו חשוף האדם באופן טבעי, ללא קשר לטכנולוגיה, במספרים הגדולים בהרבה ממרחב ה-ZB – (אומדן המידע הדיגיטלי האצור בהווה ובעתיד הקרוב). מיותר אפילו לשאול כיצד האדם מעכל ומתמודד, ובעיקר משתמש במידע מן הטבע הזקוק להישרדותו. הרי כולנו יודעים שהעין קולטת תחום אפסי, בטל בשישים מכלל תחום הקרינה האלקטרומגנטית, אפס מקרינות אחרות (כבידה, כח גרעיני). גם בתחום השמע המצב דומה: האוזן כוללת תחום צר מכלל הצלילים שנוצרים כתוצאה מתנועת חלקיקי אוויר, כך גם ההבחנה בריחות שונים וכיוצא

4 Grigoryev Y. (2016) How Much Information is Stored in the Human Genome? *BiteSizeBio*  
<http://bitesizebio.com/8378/how-much-information-is-stored-in-the-human-genome/>

באלה. במילים אחרות, האדם מצויד בכלי קליטה ועיבוד מידע, שמשתמשים בקמצוץ זניח, ממש אפסי, מכלל המידע המופץ בעולם, רק לשם מענה לצרכים אנושיים מוגדרים מראש בגנום הפיזי והחברתי, שמוגדרים למשל בפירמידה של מאסלו קשישא (משנת 1943). הטכנולוגיה, אגב, מרחיבה מאד יכולויות טבעיות מובנות אלו, אך עדיין האדם קולט ומטמיע את המידע במוחו, ביכולויות המובנות בו מקדמת דנה.

אגב שני, האנרגיה התומכת במידע טבעי זה, הוא קודם כל השמש, ותופעות דומות ברחבי היקום, וכמות זניחה של אנרגיה המופקת על ידי האדם.



עם נקודת מוצא זו, נשוב לסוגיה המטרידה את הטכנולוגים של המידע כיום: כיצד האדם יתמודד עם המידע המופץ באמצעים שהוא עצמו יצר? קונקרטית - נתוני עתק והאינטרנט של הדברים שיבטיח שכל המרחב שלנו יוצף במידע מכל התקן שימלא את הארץ ואת השמיים.

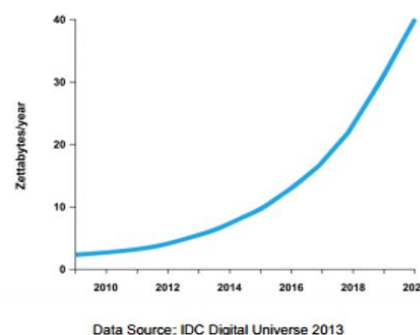
**מכאן נבין שזו לא הסוגיה המרכזית: כאז כן עתה, האדם יבחר באמצעים מלאכותיים ואנושיים טבעיים, ימנע לגמרי, יסנון ויבחר רק את המידע הרלוונטי לו בכל רגע בחייו באינסוף אופנים.**

הדאגה היא איפה, לא מה בני האדם יעשו, אלא כיצד נתמודד עם אתגר הייצור ובאחסון ודרכי הגישה של המידע המלאכותי. ומסתבר, שכאן אנו בצרות, כי המשאבים העומדים לרשותינו לשם כך מדולדלים מאד.

### הצפת המידע מול הידלדלות מקורות האנרגיה לשם כך

באומדנים שונים נמצא שכמות האנרגיה הנצרכת ליצירה ושימוש במידע דיגיטלי, שרק תלך ותגבר עם השנים, תופסת כבר היום נתח לא זניח מסך צריכת האנרגיה בעולם. צריכת אנרגיה של העולם העומדת כיום (2017) באומדן גס על כ- 20,000TWH בשנה<sup>5</sup> (10<sup>12</sup> Terabyte WH) - יחידת אנרגיה של וואט-שעה), וצריכת סך הטכנולוגיה הדיגיטלית בעולם מוערכת כעשרה אחוז מזה<sup>6</sup> (יותר מאשר סך האנרגיה שצורכת כל התעופה העולמית למשל).

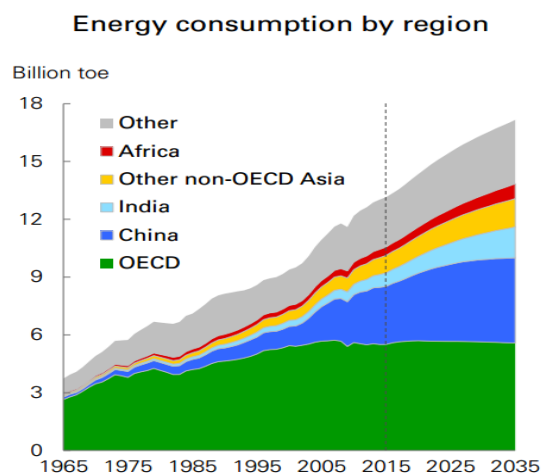
Size of the Digital Universe – Annual Data Created & Consumed



5 Keyworld energy statistics (2016) *International Energy Agency – iea*.  
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>

6 Mills M.P. (2013) The Cloud Begins with Coal, Big-Data, Big Networks, Big Instructure, AND Big Power. *American Coalition for Clean Coal Electricity*  
[https://www.tech-pundit.com/wp-content/uploads/2013/07/Cloud\\_Begins\\_With\\_Coal.pdf?c761ac](https://www.tech-pundit.com/wp-content/uploads/2013/07/Cloud_Begins_With_Coal.pdf?c761ac)

כיום אמדן המידע הדיגיטלי עומד על ZB 1-4<sup>7</sup>, ותחזיות הצמיחה ל-2020 מצביעות על עליה של כ-פי 10 – ZB 44. במילים אחרות, גם האנרגיה הדרושה לתחזוקת המידע הדיגיטלי יגדל פי 10, בעוד שסך האנרגיה שיצרוך העולם יעלה בפחות מ- 20%. מכאן שהתחזית התאורטית ב-2020, מדברת על אומדן של למעלה מ- 75% מסך האנרגיה בעולם היא דרישה לתחזוקה ולשימוש המידע הדיגיטלי. נתח כזה בשוק האנרגיה המידלדל אינו מציאותי, ולמעשה, בטווח הקרוב לפחות, הוא יגביל את צמיחת המידע הדיגיטלי החזויה, עד למציאת ושימוש במקורות אנרגיה משמעותיים נוספים, כנראה מחוץ לפלנטה ארץ.



© BP p.l.c. 2017

מנתונים אלה, גם אם הם אומדנים גסים, אך עדיין מבוססי מספרים שהשתדלו לחשבם ולחזותם, ולא ציפיות לב, נמצא שמה שיגביל את תחזיות האופטימיות בכל הקשור לצמיחת הביג-דאטה, אינטרנט של הדברים, השימוש במכשירים אישיים, ויעמוד למכשול כבד, הוא **המחסור הגדל והולך לאנרגיה הדרושה לתחזוק ממדי עתק של נתונים**. מה שצפוי שיקרה בפועל, ודאי בשנים הקרובות – צמיחה איטית מהחזוי לטכנולוגיה הדיגיטלית בכללותה. צריכה גוברת של חשמל, שתהפוך לסעיף כבד בהשקעות, אתגרי תשתית, אבטחה ורגולציה, שידחו את מימוש התמונה האופטימית של כל מרכיבי המרחב הציבורי והפרטי מקושר ומתקשר, לעתיד רחוק יותר.

הדאגה איך האדם יתמודד עם הצפת המידע הדיגיטלי במרחב הציבורי והפרטי ניראת מוגזמת. האדם מתמודד היטב עם כמויות מידע גדולות בהרבה שהוא נחשף אליהם באופן טבעי, ובתוספת כלים טכנולוגיים מתאימים, נראה שזה לא יהיה האתגר המרכזי, אך נזכור שאתגרים חברתיים חשובים אחרים העומדים לצאת מתיבת הפנדורה שהטכנולוגיה הדיגיטלית פותחת.

בנוסף, נוכל למתן את ההפחדות על סינגולריות, שלטון אימים של רובוטים וכיוצא באלה תודעה דיגיטלית, עם אגו ורצון משלו לשלוט, גם אם נראה שאין לזה בסיס עקרוני מתכתחילה. הסיבה פשוטה: בעתיד הנראה לעין מה שיגביל את צמיחת המכונות, הרובוטים והמידע הדיגיטלי לסינגולריות מאיימת, יהיה מחסור באנרגיה לתחזוק כמות כה גדולה. ■

7 Stephanie P. ( March 18, 2016 ) How Big Is the Internet, Really? *Live Science*  
<http://www.livescience.com/54094-how-big-is-the-internet.html>

8 BP Energy Outlook. 2017 edition  
<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf>