

תחזית קודרת לנביאי האפוקליפסה

הידע שיפתור את בעיות האנרגיה, המים והמזון גָּל בקצב מהיר יותר מקצב גידול האוכלוסין. ההומו־סאפיינס, לפיכך, איננו מין בסכנת הכחדה

מלתוס ביקר בציניות את הרעיון, כאילו ניתן להגדיל את יכולת ייצור המזון בעולם באופן בלתי מוגבל. הוא ניבא תוצאות הרות אסון אפילו במקרה שהאוכלוסייה תגדל בשיעור של 10%: "כמות המזון, אשר הספיקה ל־7 מיליון אנשים, תהיה עכשיו מחולקת בין 7.5 או 8 מיליון". יש לזכור כי התחזיות האפוקליפטיות האלה הושמעו כאשר בכל אירופה חיו רק 150 מיליון בני אדם, ובכל העולם חיו אז 750 מיליון, פחות מהאוכלוסייה הנוכחית באירופה.

משתנו של מלתוס השפיעה על דורות רבים של כלכלנים, פוליטיקאים, הוגי דעות חברתיים ומדענים, ביניהם צ'ארלס דרווין ואלפרד ראסל ואלאס, אשר פיתחו את רעיונות הברירה הטבעית. מלתוס לא היה הראשון להביע את החששות האלה, ובוודאי שלא האחרון. בנג'מין פרנקלין הציע כבר בשנת 1751 לבריטניה להגדיל את אוכלוסייתה וכוחה על־ידי התיישבות ברחבי אמריקה, בהנחה שאירופה צפופה מדי.

גירסה עדכנית יותר לנבואתו של מלתוס היא הספר "גבולות לצמיחה", אשר פורסם בשנת 1972 על־ידי דונלה מדוז, דניס מדוז, יורגן רנדרס וויליאם ברנס. הספר זכה לפופולריות אדירה, נמכר בשלושה מיליון עותקים ותורגם ל־30 שפות. מחברי הספר טוענים, כי "אם המגמות הנוכחיות של גידול אוכלוסיית העולם, התיעוש, הזיהום, ייצור המזון ודלדול משאבי הטבע יימשכו ללא שינוי, נגיע לגבול הצמיחה האנושית על פני כדור הארץ במהלך 100 השנים הבאות. התוצאה תהיה ירידה פתאומית ובלתי נשלטת בגודל האוכלוסייה ובייצור התעשייתי".

המודל התיאורטי של הספר הוא אלגנטי ועקבי מאוד מבחינה מתמטית, הסימולציות נראות משכנעות, קל להבין וקל להסביר, אבל

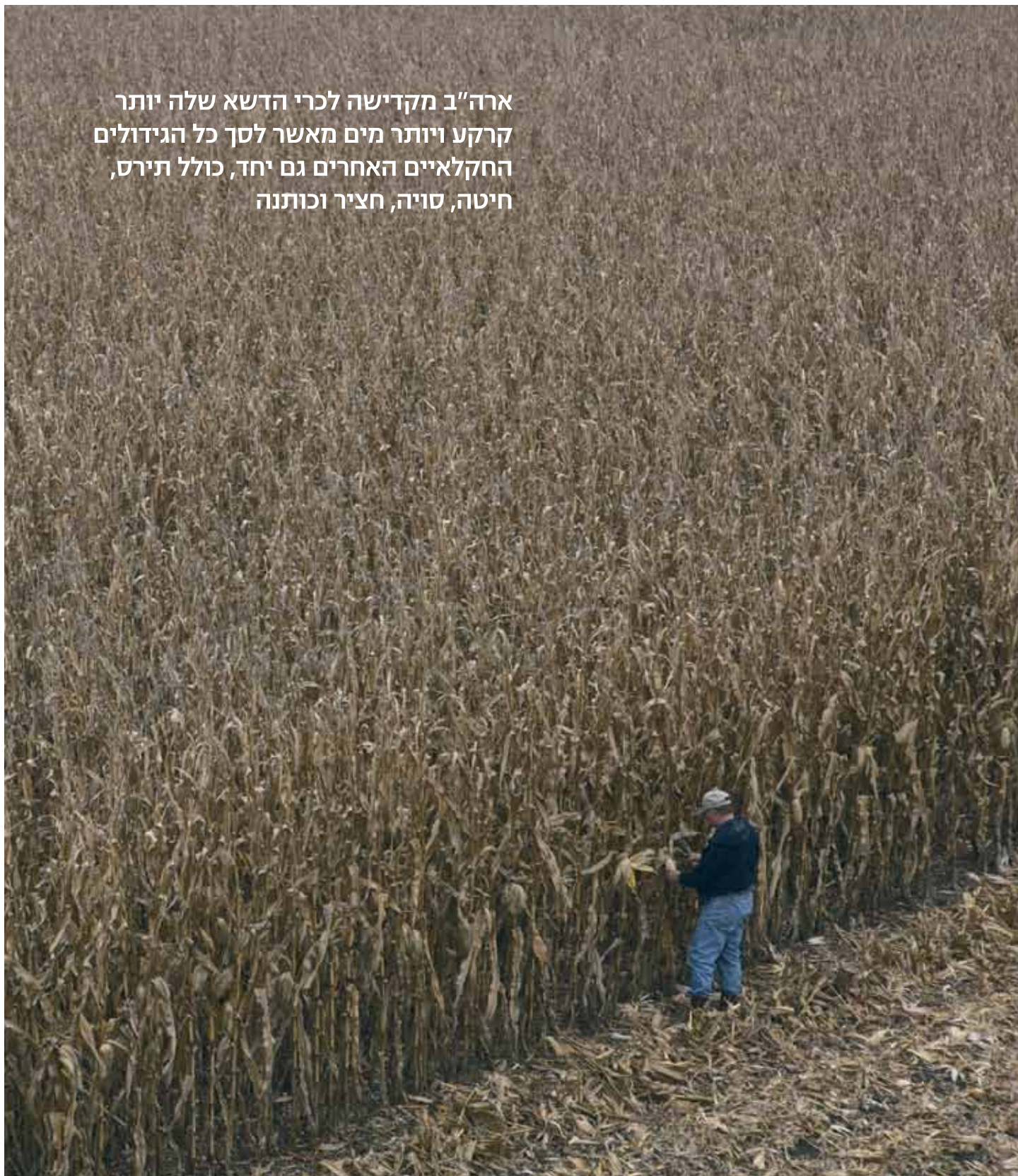
"תועי הדרך חושבים כי היבשה איננה קיימת, כאשר אינם רואים דבר מלבד ים". פרנסיס בייקון (1625-1561)

במאמרו המפורסם "על עקרון האוכלוסייה", שפורסם לראשונה בשנת 1798, חזה הכומר תומס רוברט מלתוס עתיד עגום למין האנושי. תחזית זאת התבססה על הבנתו כי אוכלוסיית העולם גדלה לפי טור הנדסי, בעוד שאספקת המזון גדלה רק בטור חשבוני, דבר שיוביל למוות המוני ולהתמעטות האוכלוסייה. כדי למנוע זוועות צפויות כרעב, מגיפות ומלחמות השמד, הציע מלתוס להקטין את הריבוי הטבעי בכל האמצעים האפשריים, כולל הפלות, פיקוח על הילודה, מיסוד הזנות, דחיית נישואין וחיי פרישות.



מלתוס. טעות בתחזית. ויקישיתוף

ארה"ב מקדישה לכרי הדשא שלה יותר
קרקע ויותר מים מאשר לסך כל הגידולים
החקלאיים האחרים גם יחד, כולל תירס,
חיטה, סויה, חציר וכותנה



חקלאי בשדות התירס של אייווה. שני אחוזים בלבד מכלל האוכלוסייה, כולל גנים,
עוסקים בחקלאות בארצות הברית. ויזואלפוטו

לתוריום, נוכל ליהנות גם מאנרגיה גרעינית עוד כמה מאות שנים. **חומרי גלם:** עקב חשיבותם הכלכלית והפוליטית של הנפט הגולמי והגז הטבעי, לא זכו משאבי הטבע האחרים לתשומת לב דומה, אבל חשיבותם של מינרלים ומתכות איננה פחותה מזאת של משאבי האנרגיה. קיומן של התעשיות היצרניות תלוי מאוד בחומרים האלה. לדוגמה, מכונות, צגים שטוחים ואינספור מוצרים אחרים מבוססים על אנטימון, קובלט, ליתיום, טנטלום, טונגסטן ומוליבדן. ייצור תאי שמש מחייב שימוש באינדיום, גליום, סלניום וטלוריום. זרחים רבים מבוססים על ניקל, פלדיום, פלטינה ומתכות אחרות, והביקוש הולך וגובר בתלילות. במהלך 25 השנים האחרונות בלבד גדל הביקוש העולמי לחומרי גלם טבעיים ב-45%. כיום, רוב המתכות מסיימות את חייהן כחלק ממוצרים הזרוקים במזבלות, או מפוזרות בסביבה בריכוזים קטנים שאינם מאפשרים למחזר אותן. בעיה נוספת היא חוסר האיזון בזמינות הטבעית של משאבים אלה. מעל 90% מהמתכות הנדירות ו-75% של גרמניום וטונגסטן מקורם בסין. מקורם של 90% מכל הניוביום בעולם הוא בברזיל, ושל 77% מכל הפלטינה - בדרום אפריקה. האיחוד האירופי זיהה לאחרונה 14 חומרי גלם בהם צפוי מחסור בעתיד הקרוב, מעין "מין בסכנת הכחדה", והמשמעות הכלכלית של זה היא עצומה.

מים: אמנם 71% משטחו של כדור הארץ מכוסים במים, אבל 97% מהם הם מלחים, ועבור רובו של העולם טכנולוגיות ההתפלה הן יקרות מדי ולפיכך לא רלוונטיות. שלוש האחוזים הנותרים הם מים מתוקים, אבל 90% מהם נעולים בקרחונים, בכיפות הקרח שבקטבים ובמי תהום בלתי נגישים. המשמעות היא שהאנושות נאלצת לספק את כל צרכיה ב-0.3% מכמות המים שעל כדור הארץ. למזלנו, זהו משאב טבע מתחדש, אשר אגור באקוויפריים, בגופי מים שעל פני האדמה ובאטמוספירה. כיום, כ-80% מאוכלוסיית העולם מתגוררים באזורים שבהם אספקת המים איננה מובטחת, ובכלל זה אזורים של חקלאות אינטנסיבית ואוכלוסיות צפופות בארה"ב ובאירופה. מעל 1.8 מיליון בני אדם מתים בכל שנה משתיית מים מזוהמים, ועוד רבים מתים כתוצאה מבצורת וממחסור במים לגידולים חקלאיים ולהשקיית בעלי חיים.

מזון: למחסור במים יש השפעה ישירה על הביטחון התזונתי. אכן, מדינות רבות אינן יכולות לתמוך בחקלאות השלחין שלהן ברמה הנדרשת כדי לפרנס את אוכלוסייתן הגדלה. ניצול יתר של הקרקע ותופעות סחף, בעיקר בסביבות טרופיות וסובטרופיות, מאיימים גם על התפוקה מהאדמות החקלאיות. הדיג המוגבר מדלדל את הדגה באוקיינוסים ומאיים על מקורות המזון של אוכלוסיות בארצות מתפתחות, שעבורן דגים הם המקור העיקרי לחלבון. עם זאת, הערכות שונות מצביעות על כך, שייצור המזון העולמי עולה על הביקוש הגובר. הבעיה היא שגם אם אספקת המזון הגלובלית היא סבירה, חוסר היכולת של מדינות עניות ומשפחות עניות לשלם עבור מזון מיובא וחוסר היכולת לספק מזון לאזורי עימות יביא לכך, שאנשים רבים ימשיכו לסבול מרעב ומתת-

המסקנות שגויות לחלוטין. מחברי הספר טועים מאותן הסיבות שמלתוס טעה, וגם כל אותם נביאי יום הדין של ימינו, כולל אלה שנוהגים מדי פעם להכריז על סוף העולם מעל גבי דרגש בפינת הנואמים בהייד פארק. ניתן להבין מדוע רעיונות נאיביים אלה נשמעו הגיוניים בתקופתו של מלתוס, סוף המאה ה-18, כאשר כמעט כולם עסקו בחקלאות, בייצור מזון. קשה יותר להבין מדוע דעות אלה עדיין זוכות לפופולריות כה רבה מאתיים שנים מאוחר יותר, כשאוכלוסיית העולם גדולה כבר ב-1,000, וכל המדדים של 60 השנים האחרונות, אשר מאפיינים את ההתפתחות הגלובלית, מצביעים בדיוק על הכיוון ההפוך. לא רק תוחלת החיים ורמת החיים עלו בהתמדה, אלא גם ערך התמ"ג לנפש, ייצור המזון לנפש, הנגישות למים נקיים, בריאות הציבור, החירות האישית וכבוד האדם. במקביל, ירדו בתלילות כל המדדים השלייים, כולל שיעור האנלפביות בקרב המבוגרים, מספר חללי המלחמות ומספר העניים. אפילו אוכלוסיית העניים המרודים בעולם, אלה שחיים על פחות מדולר אחד ליום, הצטמקה מ-40% ל-20% בתקופה שבין 1980 לבין 2001. במדינות המפותחות של ימינו עוסקים בחקלאות שני אחוזים בלבד של האוכלוסייה. רק חלקם, אלה שאינם עוסקים בגינון, מייצרים מזון, אשר מספיק לא רק לאוכלוסיית מדינתם, אלא תומך גם בתושבי המדינות הפחות מפותחות. מלתוס לא יכול היה לנחש כי גידול הדשא יהפוך לענף החקלאות המושקה הגדול ביותר בארה"ב. מדשאות בבתים פרטיים, במגרשי גולף ובפארקים ציבוריים משתרעות על פני יותר מ-180 מיליון דונם (2% משטח ארה"ב). למעשה, ארה"ב מקצה לכרי הדשא שלה יותר מים מאשר לסך כל הגידולים החקלאיים האחרים גם יחד, כולל תירס, חיטה, סויה, עצי פרי, כרמים, אספסת, חציר וכותנה. קשה לומר כי זוהי תמונת מצב אשר משקפת עולם רעב.

האתגרים הגדולים של ימינו

יש להודות כי האנושות ניצבת בפני אתגרים גלובליים ובעיות חמורות, אשר דומה כי הם מאיימים על עצם קיומה, מכיוון שלא ניתן למצוא להם פתרון כיום על בסיס הטכנולוגיות הידועות לנו. שש הבעיות המתוארות להלן, הוגדרו היטב במסמך "מפת הדרכים" של ארגון הכימיה האירופי EuCheMS:

אנרגיה: אנו צורכים כמויות עצומות של אנרגיה בצורה של דלקים נוזליים, חום וחשמל. כיום, 85% מכל אספקת האנרגיה הראשונית בעולם מגיעים ממקורות שאינם מתחדשים: 81% מנפט גולמי, פחם וגז, ועוד 5.9% ממינרלים של אורניום. הביקוש העולמי לאנרגיה צפוי להכפיל את עצמו עד לשנת 2050. הסיבות לכך הן קצב גידול האוכלוסייה - זו צפויה לגדול מ-7 ליותר מ-9 מיליארד בני אדם, והצמיחה הכלכלית המואצת במדינות המתפתחות. במקביל לעליית הביקוש צפוי לדול חמור במקורות האנרגיה שאינם מתחדשים. יחד עם זאת, יש לזכור כי מאגרי הפחם בעולם יספיקו לכמה מאות שנים. אם העולם יעבור מאורניום



לא נחזו. אנרגיה גרעינית, טלסקופ רדיו, מטוס

בין 2.4 ל-3.3 מיליון אנשים מתים מדי שנה מסיבות המיוחסות במישורין לזיהום האוויר. אלה כוללות, בין היתר, אסטמה חמורה, נפחת, מחלות לב וריאות, שבץ מוחי ואלרגיה נשימתית. מספר המתים כתוצאה מזיהום האוויר עולה לאין שיעור על מספר הנספים בתאונות דרכים. ארגון הבריאות העולמי מדווח, כי הריכוז הגדול ביותר של חומר חלקיקי נמצא במדינות החלשות והעניות. אבל אפילו בארה"ב חיו בשנת 2002 לפחות 146 מיליון אמריקאים באזורים שבהם ריכוז מזהמי האוויר חרג מהתקנים הפדרליים, למרות חוק האוויר הנקי שנכנס לתוקף בשנת 1970. בנוסף לכך, פליטה גוברת של פחמן דו-חמצני משריפת דלקים עלולה להוביל להתחממות גלובלית, אשר השלכותיה החברתיות והכלכליות בלתי צפויות.

יש לציין כי למרות שהבעיות הנ"ל הוגדרו בנפרד, הן כולן קשורות ביניהן. לדוגמה, פריצת דרך טכנולוגית, אשר תביא למקורות חדשים של אנרגיה זולה, תאפשר התפלת מי ים בכמויות גדולות, ואלו יובילו להגברת ייצור המזון.

חוסר היכולת לנבא את העתיד במדע

אין ספק כי הבעיות שתוארו לעיל הן חמורות מאוד. עם זאת, הסיבה העיקרית לאופטימיות שלי היא הביטחון שלי שאלה אתגרים שייענו עלידי טכנולוגיות עתידיות, שהן בלתי צפויות לחלוטין. העובדה שהמדע הוא בלתי צפוי הייתה פחות מובנת בזמנו של מלתוס, אבל היא הרבה יותר ברורה 200 שנים מאוחר יותר. לכולנו, כולל לעתידנים מקצועיים, אין שמץ של מושג איך ייראה העולם שלנו בעוד 50, או אפילו בעוד 10, שנים. הדבר נכון גם לגבי מוצרים מסחריים. לפני 1990 איש לא יכול היה לחזות את לידתה והיקפה של רשת האינטרנט העולמית. לפני חמש שנים איש לא יכול היה לחזות מכירות של 500 מיליון מכשירים מסוג אייפון ואייפד - קטגוריות מוצרים שלא היו קיימות לפני 2007.

הכישלון של ועדת רוזולט מהדהד עד ימינו. הוועדה לא הצליחה לחזות אף לא אחת מכל התגליות הגדולות של המאה ה-20

תזונה. סוכנות המזון והחקלאות של האו"ם זיהתה 27 מדינות, שבהן אספקת המזון נמוכה באופן המסכן את אוכלוסייתן.

בריאות: המדדים הכלליים של בריאות האדם בעשורים האחרונים מצביעים על מגמה מרכזית, לפיה בני האדם בריאים יותר, עשירים יותר וחיים זמן רב יותר. עם זאת, שיפור רמת הבריאות בחלקים מסוימים של העולם לעומת קיפאון, או אפילו נסיגה, באזורים אחרים, מגבירים את אי-השוויון העולמי. האתגרים הבריאותיים משתנים כל הזמן כתוצאה מהזדקנות האוכלוסייה ומתהליכי העירור והגלובליזציה. כל אלה מאיצים תופעות של מחלות מידבקות ומחלות כרוניות. מחלות מידבקות אחריות היום ליותר מחמישית ממקרי המוות בעולם. בנוסף להופעתן של מחלות זיהומיות חדשות, כמו SARS, והחמרה במחלות קיימות עקב שינויי האקלים, אנחנו נאלצים להתמודד גם עם האתגר של חיידקים עמידים לאנטיביוטיקה. 35 מיליון אנשים מתו בשנת 2005 ברחבי העולם כתוצאה ממחלות כרוניות, כגון סרטן, מחלות לב וכלי דם, מחלות נשימה, סוכרת, מחלות ניווניות והפרעות מוחיות, ונתון זה צפוי לגדול בעתיד הקרוב.

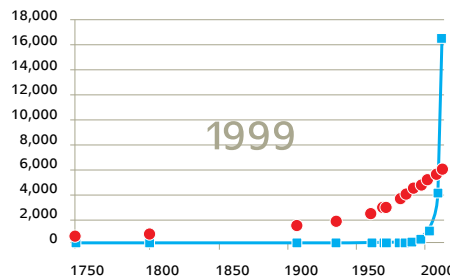
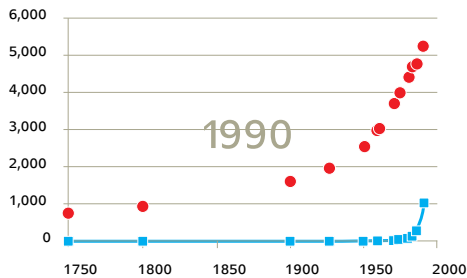
אוויר: ההשפעות הסביבתיות העיקריות של זיהום האוויר הן החמצתם של האוקיינוסים והאדמה ושינויים אקלימיים עקב אפקט החממה, אשר נגרם עלידי פחמן דו-חמצני, מתאן, פלואורורפחמימנים, תחמוצות חנקן ואוזון. זיהום האוויר מהווה גורם מוכח למספר מחלות, כגון זיהומים בדרכי נשימה, מחלות לב וסרטן הריאות. מזהמי האוויר הנפוצים ביותר המשפיעים על תחלואה, הם חומרים חלקיקיים, אוזון, תחמוצות חנקן ותחמוצות גופרית. ארגון הבריאות העולמי קובע, כי

רשימה ארוכה נוספת היא של מומחים בעלי שם, אשר התחזיות המלומדות שלהם מעוררות צחוק פרוץ. הלורד קלווין טען בשנת 1885, כי "כלי טיס כבדים מאוויר הם בלתי אפשריים", והלורד ריילי חזר על כך בשנת 1889: "אין בקרבי אפילו מולקולה אחת קטנה של אמונה בתעבורה אווירית, חוץ מאשר באמצעות בלונים פורחים". הלורד רתרפורד, חתן פרס נובל בכימיה, אמר בשנת 1933, שנים ספורות לפני פרויקט מנהטן: "מי שמצפה להפיק אנרגיה מביקוע גרעין האטום, מדבר שטויות". האסטרונום המלכותי של בריטניה, סר ריצ'רד וולי ("מסע בחלל הוא שטות מוחלטת"), וגם סר ג'ורג' פ. תומסון, חתן פרס נובל בפיזיקה ("הסיפורים על מסע בחלל מתאימים יותר לנערי בית-ספר מאשר למדענים רציניים"), השמיעו את הצהרותיהם הסמכותיות בשנת 1956, שנה אחת בלבד לפני שיגורו של הלוויין ספוטניק וחמש שנים לפני מסע החלל של יורי גגרין.

חוסר היכולת שלנו לחזות את העתיד הופך ללעג כל נבואה, ובמיוחד נבואות יום הדין. יתר על כן, יש לזכור שאנחנו כבר מזמן איננו מתקיימים אך ורק ממה שהטבע העניק לנו. פרט לכמה ציידים, מלקטי גרגירים ושוכני מערות, כולנו חיים בסביבה מלאכותית, ניזונים מיבולים ומבעלי חיים מהונדסים גנטית, לובשים סיבים סינתטיים או מהונדסים גנטית, ונוסעים במכונות מעשה ידי אדם. כולנו חיים על מוצרים שהם פרי הדמיון האנושי, ובניגוד למשאבי הטבע, הדמיון והיצירתיות האנושיים הם חסרי גבולות. כמובן שרצוי כי נתייחס אל הסביבה הטבעית שלנו בכבוד רב

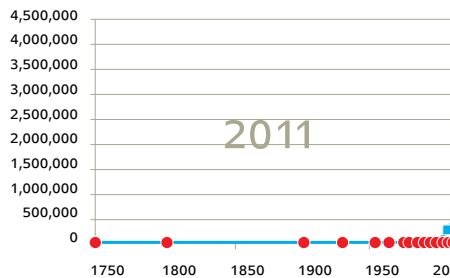
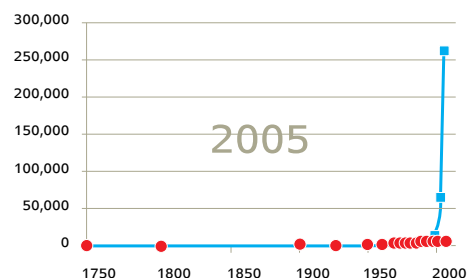
רוב ההמצאות הגדולות של המאה ה-20 אשר שינו את חיינו לבלי הכר, הופיעו בהפתעה מוחלטת. נזכיר רק כמה דוגמאות מוכרות, כגון קרינת רנטגן, רדיואסטרונומיה, שימוש ביוני ליתיום לטיפול במאניה-דיפרסיה, כימותרפיה של סרטן באמצעות התרופה ציס-פלטיין, פולימרים מוליכי חשמל, טכנולוגיית האבחון באמצעות דנ"א, מצלמות CCD, ועוד. פוליטיקאים רבים נוטים להאמין, כי ועדות רציניות של מומחים בעלי שם יכולות לחזות את העתיד במדע וטכנולוגיה. ראוי להם ללמוד את הלקח של ועדת המומחים שהקים נשיא ארה"ב, פרנקלין דלאנו רוזוולט, בשנת 1937, במטרה לעמוד על ההתפתחויות הטכנולוגיות והתעשייתיות הצפויות ב-20-30 השנים הבאות, ולייעץ לו איך להיערך לקראתן.

בראייה היסטורית, הכישלון של ועדת רוזוולט מהדהד עד ימינו. הוועדה לא הצליחה לחזות אף לא אחת מכל התגליות הגדולות של המאה ה-20, כולל אנרגיה גרעינית על-ידי ביקוע ועלידי היתוך, מכ"ם, לייזרים, טרנזיסטורים, מעגלים משולבים, תהודה מגנטית גרעינית, טומוגרפיה, מחשבים אישיים, דיסקי לייזר, תקליטורים, מטוסי סילון, טילים, מסע בחלל, מכשירי פקס, טלפונים ניידים, קרינת סינכרוטרון, פוליאיתילן, פוליפרופילן ופולימרים אחרים, המרת גז טבעי לדלקים נוזליים, ביוטכנולוגיה, הנדסת חלבונים, מבנה הדנ"א, גנטיקה מולקולרית, גנומיקה, נוגדנים חד-שבטיים, הגלולה למניעת הריון, ניתוחים להשתלת איברים, איברים מלאכותיים, מערכת המיקום הגלובלית (GPS), והרשימה אינסופית.



איור 1: אוכלוסיית העולם (במיליונים, בצבע אדום) לעומת הידע האנושי (בצבע כחול).

הנתונים באדיבות טום טרינטון, נשיא המכון האמריקאי למורשת הכימיה





בית משותף בהונג קונג. התפוצצות האוכלוסין איטית מהתפוצצות הידע
Michael Wolf / Architecture of Density 119

הצרפתית, הגיעה ל-8 בשנת 1900, 16 בשנת 1950, 32 בשנת 1960, וכיום מכפילה את עצמה כל 1.5 שנים (על-פי נתוני המכון האמריקאי למורשת הכימיה).

בהשוואה לקצב גידול המדעים של הידע האנושי, הצמיחה, המפלצתית לכאורה, של האוכלוסייה האנושית, היא למעשה חסרת משמעות ויכולה להיחשב במובנים רבים אפילו כשלילית. אמנם הנתון על הכפלת הידע האנושי כל 1.5 שנים הוא בבחינת הערכה גסה, אך רמת הדיוק איננה משנה את המסקנות. גם אם ההערכה הזאת מוטעית בשיעור של 10%, 100% או 1,000% (הכפלת הידע כל 15 שנים), המשמעות היא שהתפוצצות האוכלוסין היא הרבה יותר איטית מהתפוצצות הידע. רמת הדיוק איננה משנה את העובדה שחיים כיום 50 מיליון מדענים ומهندסים ברחבי העולם, ושמספרם מוכפל כל 15 שנים. היא איננה משנה את העובדה שאם נמנה את כל המדענים אשר חיו במהלך ההיסטוריה האנושית כולה, ניווכח כי 80%-90% מביניהם עדיין חיים ופעילים!

הבעיות האמיתיות שלנו הן לא אנרגיה, מזון ומים, אלא הפערים ההולכים וגדלים בין המדינות והחברות המתקדמות לבין כל אלה שנשארים מאחור

יותר, רצוי לשמר את המגוון הביולוגי ולשמור על היערות והאגמים, אבל ההתנהגות הזו לבדה לא תבטיח את פתרון הבעיות שתוארו לעיל.

פיצוץ האוכלוסין לעומת התפוצצות הידע

האוכלוסייה האנושית אכן גדלה באופן אקספוננציאלי, והיא מוכפלת בערך כל 50 שנה. עם זאת, ראוי להשוות את גידול האוכלוסייה לגידול בידע האנושי, אשר צומח בתלילות רבה עוד יותר (איור 1). אם נגדיר את כמות כל הידע האנושי כ-1 בשנת 0 לספירה, הכמות הזאת הוכפלה בתקופתו של לאונרדו דה וינצ'י - שנת 1500, הוכפלה שוב בזמן המהפכה

לכולנו, כולל לעתידנים מקצועיים, אין שמץ של מושג איך ייראה העולם שלנו בעוד 50, או אפילו בעוד 10, שנים

האנרגיה השנתית של אוכלוסיית העולם. כל הצמחים ואורגניזמים אחרים המבצעים פוטוסינתזה, לוכדים מדי שנה רק 3,000 אקסה'ג'אול – כלומר, פחות מפרומיל אחד של קרינת השמש. יש להניח כי כאשר נצליח למצוא דרכים לניצול אנרגיית השמש ביעילות דומה לזאת של הצמחים, לא יהיה עוד צורך בנפט, בפחם ובגז טבעי, ונוכל לוותר גם על השימוש באנרגיה גרעינית. לכן, מובן כי מאמצי המחקר הנוכחיים מתמקדים באנרגיה סולארית, חשמל סולארי, אנרגיה ממקורות ביולוגיים, אנרגיית רוח ואנרגיית האוקיינוסים. מאמצים רבים מופנים להמרת אנרגיה (תאי דלק, מימן, יעילויות אנרגיה ואנרגיה גרעינית) ואחסון אנרגיה (סוללות וקבלי-על).

חומרי גלם: הכימאים יכולים לתרום באופן משמעותי לפיתוח שיטות חדשות להפקה יעילה וחסכונית של משאבי טבע ממקורות שעדיין אינם נגישים לנו, כגון הפקת מתכות ממי ים. פיתוח טכנולוגיות חלופיות יכול להפחית את תלותנו במתכות נדירות. שיטות מיחזור חדשות יוכלו לעזור בהשבת משאבים יקרים. לפיכך, עיקר המאמצים המדעיים-טכנולוגיים מתרכז כיום במציאת דרכים למחזור, להפחית את הכמויות הנדרשות ולפתח תחליפים הולמים למשאבים ההולכים ונעלמים.

מים: המאמץ המחקרי מופנה למציאת דרכים לסיפוק הביקוש הגדל למים, לשיפור איכותם של מי השתייה, לטיפול בשפכים, לסילוק מזהמים ולפיתוחן של מערכות השקיה יעילות יותר. הטכנולוגיות החדשות חייבות להתייחס לכל המכלול של מחזור המים, כולל ההשפעה על המערכת האקולוגית וההשלכות על הצמיחה הכלכלית ועל הצדק חברתי. המאמצים הללו מניבים פירות מבורכים, וניתן לראות כי במדינות המתפתחות חל גידול מרשים בגישה למים בטוחים, מ' 30% מהאוכלוסייה בשנת 1970 ל' 71% בשנת 1990 ול' 84% בשנת 2004, גידול שהוא מהיר יותר משיעור גידול האוכלוסייה.

מזון: האתגר הטכנולוגי העיקרי בכל מקום בעולם היה תמיד התאמתם של הביקושים לאנרגיה, למזון ולמים למשאבים הטבעיים המוגבלים, מבלי לפגוע בסביבה. בדומה לשאר הנושאים, גם נושא המזון מציב הזדמנויות מעניינות למדעי הכימיה בכל המאמצים הרלוונטיים, כולל הגברת התפוקה החקלאית, הדברת מזיקים, מדעי הצמח, מדעי הקרקע, בעלי חיים, מדגה, מזון בריא, בטיחות מזון, ייעול תהליכים, הפחתת מחירים ושיפור שרשרת האספקה.

בריאות: מדעי הכימיה ימשיכו למלא תפקיד מרכזי בפיתוח טכנולוגיות חדשות הקשורות להזדקנות, אבחון, מניעת זיהומים, חומרים חדשים, איברים מלאכותיים, תרופות ופיתוח רפואה אישית. רשימת האתגרים



הים הארקטי. 90 אחוזים מהמים המתוקים נעולים עדיין בקרחונים. ויזואלפוטו

ניתוח איכותי זה מוביל למסקנה שהאנושות תמשיך לשרוד על פני כדור הארץ עוד שנים רבות, מכיוון שהבעיות אשר תוארו לעיל צפויות להיפתר על-ידי טכנולוגיות עתידיות. הבעיות האמיתיות שלנו הן לא אנרגיה, מזון, מים וכ', אלא הפערים ההולכים וגדלים בין המדינות והחברות המתקדמות לבין כל אלה שנשארים מאחור, בחשכה של בורות מדעית וטכנולוגית, שבויים באמונות טפלות ובחשיבה מיתולוגית.

דרכי ההתמודדות (נכון לעכשיו)

איש איננו יכול לנבא איך ומתי יזכו הבעיות המתוארות לעיל לפתרונות משביעי רצון. עם זאת, ניתן בהחלט להעריך כי לכימיה יהיה תפקיד מכריע בכל פתרון שהוא, מכיוון שכל הבעיות הללו קשורות לכימיה יותר מאשר לכל תחום מדעי אחר. מדעי הכימיה ימשיכו להיות שחקן מרכזי במסענו המתמשך להתמודדות עם האתגרים הללו.

אנרגיה: כל אנרגיית השמש אשר מגיעה לכדור הארץ בשנה אחת, היא כ־3,850,000 אקסה'ג'אול (10^{18} ג'אול). משמעות הנתון הזה היא, שכמות האנרגיה המגיעה אלינו מהשמש בשעה אחת, גדולה יותר מכל תצורות

ימשיכו לספק פתרונות ארוכי טווח לבעיות איכות האוויר. יש לסייג את כל מה שנכתב לעיל בכך, שהערכות אלה נכונות לעכשיו בלבד. על-פי ניסיון העבר, יש לקחת בחשבון כי תגליות מהפכניות בענפי המדעים הבסיסיים עשויות לגרום לשינויים דרמטיים ובלתי צפויים בסדרי העדיפויות שלנו, בכל מה שקשור למאמצים טכנולוגיים ולהעדפות בהשקעת משאבים. טכנולוגיות נהדרות ומוצרים חכמים, אשר נראים לנו כיום כשיא היצירה האנושית, עלולים למצוא את עצמם מחר מתגוללים במגרשי האשפה של ההיסטוריה, יחד עם כל קודמיהם.

מסקנות

גידול האוכלוסייה מעמיד את האנושות בפני בעיות עולמיות אדירות בתחומי האנרגיה, חומרי הגלם, המזון, המים, הבריאות ואיכות האוויר. בעיות אלה נראות לנו כיום מאיימות, משום שהן אינן פתירות על בסיס הטכנולוגיות הידועות לנו. אבל יש להניח כי אתגרים אלה ייענו עלידי טכנולוגיות עתידיות שעדיין אינן ידועות לנו. בסך-הכול, עתידו של המין האנושי נראה כיום מבטיח יותר מאי-פעם, וזאת משתי סיבות עיקריות: (1) גידול מהיר להפליא של הידע האנושי. (2) חוסר היכולת לנבא את העתיד במדע. תומס מלתוס ותלמידיו התעלמו משתייהן.

קובעי המדיניות היו מונעים מאז ומעולם עלידי השאיפה לפתור בעיות קשות בהקדם האפשרי. למרבה הצער, אין ביכולתם של המנהלים לתכנן ולכוון את כיווני הפתרון, וזה יהיה חסר טעם מבחינתם להורות למדענים מה ואיך לחקור, פשוט משום שאין לאף אחד מושג כלשהו לאן צועד המדע. לכן, הדרך הטובה ביותר שבה ניתן לקדם פתרון בעיות היא לצייד את המדענים במעבדות מודרניות ולתמוך בתכניות מחקר בעלות סיכון גבוה. דוגמה טובה לגישה זאת היא המדיניות של המועצה האירופית למחקר (ERC), אשר תומכת בתכניות מחקר מסקרנות ופורצות דרך, המוצעות בדרך-כלל עלידי מדען יחיד. פעילות מדעית חלוצית עשויה להוביל לתגליות מפתיעות ולטכנולוגיות מהפכניות, אשר איש אינו משער כי הן אפשריות.

יש להניח כי המין אנושי ישרוד בעולם הזה עוד שנים רבות, במוקדם או במאוחר יבואו על פתרון כל הבעיות שצוינו לעיל, ולכימיה יהיה כמובן תפקיד מרכזי בפתרונות הללו. הבעיות שמופיעות ברשימה נראות מפחידות, אבל הן אינן הבעיות האמיתיות שלנו. האתגרים הקשים יותר הם הפערים ההולכים ומתרחבים בין החברות האנושיות המתקדמות לבין כל אלו שנשארים מאחור, בין אלו שצועדים בחזית הידע האנושי לבין אלו שנותרים בחשכה של בורות מדעית וטכנולוגית, אמונות טפלות וידע מוטעה. זוהי, במידה רבה, אחריותנו כמדענים לעזור בגישור על פני הפערים הללו, לפחות במדינה שלנו.

המאמר המקורי פורסם באנגלית ובגרמנית בכתב העת "Angewandte Chemie International Edition", 2012

הייחודיים כוללת שיפור בתרומתה של האוכלוסייה המזדקנת לחברה ושיפור באיכות חייה; מניעה, אבחון וטיפול במחלות כרוניות, כגון סרטן, אלצהיימר, סוכרת, השמנה, דלקת פרקים, מחלות לב וכלי דם, פרקינסון ואוסטיאופורוזיס; מציאת סמנים ביולוגיים וכלים אנליטיים רגישים לאבחון מוקדם של מחלות; פיתוח חומרים חדשים עבור איברים מלאכותיים, רקמות ועדשות עיניים; פיתוח תרופות מוכוונות מטרה, ועוד.

אוויר: הניסיון של העשור האחרון במדינות המתועשות מראה, כי כאשר איכות האוויר הופכת לנושא מרכזי על סדר היום הציבורי ועל שולחנם של קובעי המדיניות, מופיעים פתרונות חדשניים ויצירתיים והם מיושמים במהירות. באירופה פועלים ארגונים רגולטוריים והתנדבותיים שונים בשיתוף פעולה, במטרה להפחית את מזהמי האוויר ואת השפעתם השלילית על הבריאות ועל איכות הסביבה. ראוי לציין כי במהלך 2004-2009 - תקופה שבה הייצור התעשייתי גדל באופן משמעותי - צומצמה בכל אירופה הפליטה התעשייתית של אמוניה, תחמוצות גופרית ותחמוצות חנקן בשיעור של 14%. סביר להניח כי כימאים ומהנדסים כימיים

כימיה היא הכול

הכימיה נמצאת בכל מקום, מכיוון שכל המדעים, פרט למתמטיקה תיאורטית, עוסקים בחומר, מכיוון שכל החומרים בנויים ממולקולות, ומכיוון שהבנה אמיתית של כל מערכת, חיה או דוממת, היא מסע שמתקדם מהפרט אל הכלל, מהמולקולה אל המערכת המורכבת. זה הדין גם בנושא תכנון ובנייה של מערכות חדשות. הכימיה, המכונה בצדק "המדע המרכזי", היא הכוח המניע שמשיפע באופן משמעותי על תחומי מדע אחרים, כולל תחומים טכנולוגיים ותעשייתיים.

עם זאת, כפי שכתב פרופ' ג'ורג' וייטסיידס מאוניברסיטת הרווארד, מבכירי הכימאים של דורנו, "בתרבות שלנו, ככימאים, בחרנו תמיד, כמעט באופן עיוור, לפעול כרדוקציוניסטים. אנשים מזכירים לי שוב ושוב שכימאים אמורים לעבוד על מולקולות, כאילו לעשות כל דבר אחר זה עניין מעורר חשד. כימאים אמנם אמורים לעבוד על מולקולות, אבל גם על השימושים שניתן לעשות במולקולות, ועל בעיות שעבורן המולקולות הן רק חלק מהפתרון. כימיה תמיד הייתה היד הנעלמה שבונה ומפעילה את כלי העבודה ומקיימת את התשתיות, אבל היא יכולה להיות הרבה יותר מכך. אנחנו מעריכים את עצמנו כמומחים לחציבת גושי גרניט לבניין, אבל מעולם לא חשבנו שתפקידנו לבנות מהם קתדרלות".