



לשכת רב הקמפוס

הפקולטה למדעי היהדות

דף שבועי

פרשת עקב, תשס"ח
מספר 770מאת המרכז ללימודי יסוד ביהדות
ע"ש הלנה ופאול שולמן

ארץ אשר ה' אלוקיך דורש אותה

בפרשתנו יש השוואה מעניינת בין ארץ ישראל לארץ מצרים (יא:י-יב):
 כִּי הָאָרֶץ אֲשֶׁר אַתָּה בָּא-שָׁמָּה לְרִשְׁתָּהּ לֹא כְּאֶרֶץ מִצְרַיִם הוּא אֲשֶׁר יֵצְאתָם מִשָּׁם אֲשֶׁר תִּזְרַע אֶת-זֶרְעֶךָ
 וְהִשְׁקִיתָ בְּרִגְלֶךָ כְּגֵן הַיָּרְק. וְהָאָרֶץ אֲשֶׁר אַתָּם עֹבְרִים שָׁמָּה לְרִשְׁתָּהּ אֶרֶץ הָרִים וּבְקָעַת לְמִטַּר הַשָּׁמַיִם
 תִּשְׁתָּה-מֵיָם. אֶרֶץ אֲשֶׁר-ה' אֶל-לִהְיֶךָ דָרַשׁ אֹתָהּ תָּמִיד עֵינֵי ה' אֶל-לִהְיֶךָ בָּהּ מְרִשִׁית הַשָּׁנָה וְעַד אַחֲרֵית
 שָׁנָה.

בפסוקים אלה כתוב שיש לארץ מצרים יתרון פיזי על ארץ ישראל, משום שהמים מובטחים בה בגלל
 הנילוס העולה על גדותיו מדי שנה ("וְהִשְׁקִיתָ בְּרִגְלֶךָ כְּגֵן הַיָּרְק"). אולם היתרון הפיזי הזה אינו אלא
 מגרעת רוחנית, היות שאנשי מצרים אינם מרגישים בהשגחת הקב"ה על חייהם בכל הקשור למים. לעומת
 זאת, המים בארץ ישראל אינם מובטחים, ומקורם בגשמים ("לְמִטַּר הַשָּׁמַיִם תִּשְׁתָּה-מֵיָם"). אי-וודאות זו
 היא מעלה רוחנית. בכל עת תושבי ארץ ישראל ערים לתלותם המוחלטת בהשגחה אלוקית - יסוד חשוב
 בבניית ההכרה של האדם במעורבותו המתמדת של הקב"ה בחיי היום-יום שלו ("אֶרֶץ אֲשֶׁר-ה' אֶל-לִהְיֶךָ
 דָרַשׁ אֹתָהּ תָּמִיד עֵינֵי ה' אֶל-לִהְיֶךָ בָּהּ מְרִשִׁית הַשָּׁנָה וְעַד אַחֲרֵית שָׁנָה").

הפסוקים האלו נשענים על העובדה שאי-אפשר לדעת מראש אם שנה מסוימת תהיה שנה גשומה או
 שנת בצורת. לכן במשך החורף, בתקופת הגשמים, אנו מתפללים לקב"ה יום-יום על הגשם. בתחילת
 החורף, בשמיני עצרת, יש תפילות (ויוצרות) מרגשות שבהם אנו פונים לקב"ה שיביא לנו את הגשם
 הדרוש כל-כך לחיינו. מלבד זה יש מסכת שלמה – תענית, שעיקר תוכנה התעניות והתפילות להורדת
 גשמים שחזו"ל קבעו לעת בצורת.

אי-וודאות הכרוכה בירידת הגשם הייתה קיימת במשך אלפי שנים – עד שנות החמישים של המאה
 ה-20. אולם ביובל השנים האחרונות החלו המדענים להצליח בחיזוי ירידת הגשמים, והיום ניתן לחזות
 את מזג האוויר ואת הסיכוי לירידת הגשמים חמישה ימים מראש.

מה השינוי שאפשר תחזיות אלו? את התשובה אפשר לסכם במילה אחת: המחשב. בעבר התבסס
 חיזוי הגשמים על תצפיות בתבניות העננים, מהירות הרוחות ומידת הטמפרטורה, ועל-פי הנתונים הללו
 נקבעה תחזית מזג האוויר. יכולת החיזוי בשיטה זו הייתה מוגבלת ליום אחד בלבד. אבל היום באמצעות
 המחשב אפשר לבצע את החישובים הדרושים לחיזוי ירידת הגשמים עד חמישה ימים מראש, כאמור.
 היכן טמון הקושי בחיזוי ארוך-טווח של מזג האוויר? המטאורולוגיה, הלוא היא מדע חיזוי מזג
 האוויר, עוסקת בנעשה באטמוספירה, המורכבת מתערובת ידועה של גזים (חמצן, חנקן, ארגון, פחמן דו-
 חמצני, וכמובן אדי-מים). מקור האנרגיה לתהליכים המתרחשים באטמוספירה ומקור אדי-המים ידועים
 אף הם. המשוואות הקובעות את יחסי-הגומלין בין כל המרכיבים הללו של האטמוספירה ידועות כבר יותר
 מ-100 שנה. ועל-מנת לחשב את הסיכוי לגשם במקום ובזמן נתון, לא נותר אלא לפתור את משוואות
 האטמוספירה הידועות, עבור המקום והזמן שבהם מדובר. לכאורה, תהליך חיזוי ירידת הגשמים פשוט
 למדי, היות שידוע כל שיש לדעת על האטמוספירה. אם כן מדוע כה קשה לחזות חיזוי ארוך-טווח של
 ירידת הגשמים?

הסיבה לקושי העצום בחיזוי ירידת הגשמים היא, שמזג האוויר אינו תופעה מקומית. מזג האוויר
 במקום מסוים מושפע מהתנאים האטמוספריים השוררים על-פני שטח נרחב מאוד של רבבות קילומטרים
 מרובעים. לדוגמה, כדי לחזות את מזג האוויר בשיקגו, יש צורך בחישוב נתונים במחצית שטח ארצות
 הברית! ברור שהצורך בביצוע חישובים כה רבים באופן ידני הופך את המשימה לבלתי-אפשרית.

כל זה השתנה במהלך שנות החמישים עם פיתוח המחשב האלקטרוני. מחשב אלקטרוני עדכני מסוגל לבצע בקלות רבה את מיליארדי החישובים הדרושים לחיזוי מזג האוויר. ההתקדמות במהירות המחשב הייתה ועודנה מדהימה, ומהירות זו היא שמאפשרת למטאורולוגים היום לחזות את ירידת הגשמים חמישה ימים מראש.

המגמה של פיתוח מחשבים מהירים נמשכת. הניסיון מלמד על הגדלת מהירות המחשבים פי עשר מדי חמש שנים. מהנדסי המאה ה-21 כבר מתכננים מחשב בעל מהירות של טריליוני חישובים לשנייה. לכן אפשר לצפות שיגיע היום שבו יהיה אפשר לחזות במדויק ירידת גשמים שבועיים מראש, ואח"כ חודש מראש, ולאחר מכן אף לעונה שלמה מראש. ייתכן שיידרשו לכך 20 שנה, אולי אפילו 50 שנה, אבל בסופו של דבר יוכלו החזאים להכין מפת מזג אוויר מדויקת עבור כל אזור שיבחרו ופירוט הימים הגשומים והימים הבהירים שיהיו בעונה הנבחרת. מה יהיה אם כן גורלה של התפילה לגשם? לכאורה, אם ידוע לנו שהשנה תהיה שנה גשומה, תהיה התפילה לגשם מיותרת, כשם שאין תפילה לזריחת השמש בכל בוקר. לעולם אין מתפללים על מה שכבר מובטח לנו על-ידי חוקי הטבע. וגם ההפך נכון: נניח שעל-פי תחזית מזג האוויר תהיה צפויה לנו שנת בצורת. אם ידוע לנו שלפי חוקי הטבע לא ירד גשם, הרי ברור שירידת ממטרים תהיה נס גלוי, ואסור להתפלל להתרחשותו של נס גלוי כדי לשרת צורך מסוים.

אם תהיה בעתיד מפה מטאורולוגית שבה תחזית מדויקת וארוכת-טווח לירידת הגשמים לעונה שלמה, הרי המצב בארץ ישראל יהיה שווה למצב בארץ מצרים. בשתי הארצות אפשר יהיה לקבוע את מצב אספקת המים בוודאות, ותיווצר לכאורה סתירה עם פסוקי התורה המצוטטים לעיל. ואולם מחקרים שנעשו לאחרונה פותרים את הבעיה שהעלינו. על-פיהם אפשר להוכיח מתמטית שלעולם לא תאפשר תחזית ארוכת-טווח לירידת הגשמים! יתר-על-כן, הוכחה מתמטית זו תהיה תקפה גם אם מהירות המחשבים תגיע לטריליוני טריליונים של חישובים לשנייה! יסוד הוכחה זו הוא המונח "כאוס", שהוא ענף מדעי חדש וחשוב מאין כמוהו. אין לראות במושג "כאוס" שם נרדף לבלבול או לאי-סדר. נהפוך הוא! לכאוס יש חוקים ברורים משלו. אף שתיאורית הכאוס מסובכת מאוד, הרי הרעיון העיקרי שלה פשוט: המערכת הכאוטית רגישה במידה קיצונית לשינויים הקלים ביותר בתנאי הסביבה, ולפי זה מתברר שהאטמוספירה היא מערכת כאוטית.

הרגישות הקיצונית לכל הבדל בסביבה, שהיא המאפיינת מערכת כאוטית, זכתה לכינוי ציורי בפי המדענים: "אפקט הפרפר". כינוי זה מבטא את הרגישות העצומה של מזג האוויר לשינויים קלים ביותר בתנאים האטמוספריים בנקודה כלשהי על-פני כדור-הארץ. כך יכולה תנועה קלה בכנפי הפרפר ביפן להניע תהליך שיגרום שינוי של-ממש במזג האוויר בישראל הנמצאת בצדו האחר של כדור-הארץ. הזמן הדרוש לשינוי זה תלוי באיזו מערכת כאוטית מדובר. עבור האטמוספירה החישובים מראים שהזמן הוא כשבוע ימים, דהיינו אפשר לחזות את ירידת הגשמים עד שבעה ימים קדימה, אבל אי-אפשר לחזות מראש את ירידתם לתקופה ארוכה יותר.

ברור שאין כל אפשרות לכלול בחישוב תחזית מזג האוויר את משק כנפיו של כל פרפר בעולם או של כל תנועה קלה אחרת, ומכאן שלעולם אי אפשר להכין תחזית ארוכת-טווח של ירידת גשמים. ראוי לציין שאפקט הפרפר אינו גורם אירועים מטאורולוגים קיצוניים. לדוגמה, מעופו של הפרפר בטוקיו לא יביא לירידת גשמים בתל-אביב באמצע הקיץ, כיוון שבתל-אביב לעולם אין גשם בקיץ. ואולם ביום מסוים בחודש ינואר ייתכן שיירד גשם ובאותה מידה ייתכן שאותו יום יהיה בהיר. במצב הזה משק כנפי הפרפר בטוקיו ישפיע בהחלט ויקבע איזו משתי אפשרויות אלו תתקיים. הביטוי "אפקט הפרפר" אינו רק ביטוי מליצי. המשק העדין של כנפי פרפר בודד אכן גורם בסופו של דבר כמה שינויים דרמטיים במזג האוויר בכל מקום בעולמנו. לכן גם פיתוחם של מחשבי-על בעלי מהירות חישוב עצומה ביותר לא יאפשר חיזוי מדויק של ירידת הגשמים לזמן רב. חזרנו א"כ לפסוקי הפתיחה. אפיונה של ארץ ישראל נשאר כארץ ש"למטר השמים תשטה-מים. ארץ אֶשֶׁר-ה' אֶלֶהֶיךָ דָּרַשׁ אֶתָּה, תָּמִיד עֵינֵי ה' אֶלֶהֶיךָ בְּהַ מְרִשִׁית הַשָּׁנָה וְעַד אַחֲרֵית שָׁנָה". עלינו להתפלל לגשם, וכדי שהגשם אכן ירד בעתו והארץ תיתן את יכולה, יש לקיים את מה שדורשת מאתנו התורה בפרשת "והיה אם שמע" הסמוכה (יא:יג-כא).

פרופ' נתן אביעזר
המחלקה לפיזיקה

הדף מופץ בסיוע קרן הנשיא לתורה ולמדע