



חוקרים המבקשים להתמודד עם המשימה הזו של גילוי תיאוריה חדשה, מתמודדים עם בעיה שנובעת מאי-הצלחה של פתרון.

בדיון בפרק זה, אני נסמך על תפיסתו של קארל פופר בדבר השיטה המדעית כפי שמוצגת, למשל, בספרו "החיים כולם, הם פתרון בעיות" (Popper, 1999). חשוב לציין כי תפיסה זו אינה מקובלת על דעת רוב הוגי הדעות, כמאפיינת את השיטה המדעית באופן טוטאלי, למרות שפופר נחשב לפילוסוף ולפילוסוף של המדע מהשורה הראשונה. אני אשתמש בתיאור תפיסתו כדי לאפיין היבט חשוב של התפתחות המדע, היבט הקשור בהתפתחות תפיסת הטקסט בתרבות המערבית. בנוסף על קארל פופר, אני נסמך גם על ביקורתו של מיכאל פולני כנגד תפיסות מקובלות שונות ביחס לשיטה המדעית (Polanyi, 1946, 1964; ) (also 1962, 1974) וכן גם על ביקורתם של אלאן סוקאל וג'אן בריקמונט (Brickmont & Sokal, 1998)

הדיון בהתפתחותה של השיטה המדעית יחשוף מחדש גם את סוגיית ה"פריודיזציה" והפעם בהקשר התקופות שלכאורה המגדירות את התפתחות המדע. ראיית השיטה המדעית המודרנית כמורכבת ממספר סיבים שהתפתחו בזמנים שונים ושנאגדו בהדרגה ליצירה אחת הנקראת "המדע המודרני", תומכת ברעיון שלא ניתן להגדיר במדויק את ראשית המהפכה המדעית, או לאתר תקופה נבדלת הנקראת "עידן המדע המודרני". זה לא מוכיח שהמהפכה המדעית לא התרחשה, אלא כמו שהיום מתרחש אחרי הלילה, למרות שאין אנו מגדירים במדויק את ראשיתו, כך גם המהפכה המדעית.

### המבנה הבסיסי של השיטה המדעית

לפי קארל פופר, יש בשיטה המדעית יסודות שאינם חדשים. למען האמת, פופר טוען שהיסודות החשובים ביותר של השיטה המדעית אינם חדשים כלל. למשל, במשימת הגילוי של תיאוריות חדשות, השיטה המדעית מבוססת על תהליך ידוע של פתרון בעיות. בכך מסכים פופר עם טענתו החד משמעית של ריצ'ארד פיינמן: "מדע הוא שכל ישר" (פיינמן, 2006: עמ' 184).

תהליך פתרון בעיות מוגדר כמורכב משלושה שלבים החוזרים על עצמם:

- (1) מעוניינים לפתור בעיה נתונה;
- (2) מעלים מבחר פתרונות אפשריים עבורה; **תבנית (א)**
- (3) מבטלים ומסלקים את הפתרונות הלא מתאימים.

לטענתו של פופר, מהאמבה, המבקשת לשרוד ועוברת את תהליכי הברירה הטבעית ועד לניוטון ואיינשטיין, שביקשו להציע הסברים לתופעות הטבע הפיסיקלי, כולם מיישמים את התהליך הזה. במילים אחרות, במקום להתייחס אל אופי הפתרונות המדעיים, שאכן משתנה לעיתים באופן שורשי, אנו מסתכלים תחילה על התבנית הכללית ביותר המתארת את השיטה המדעית, כפי שהיא מיושמת בשלב גילוי תיאוריה חדשה. תבנית זו, בניסוחה הראשון, בשל כלליותה, עדיין אינה מתייחסת אל הגישה המדעית באופן ממוקד. אבל, כאשר נמקד אותה, היא תאפשר לנו להגדיר, בעזרת צעדי המיקוד, מאפיינים חשובים של המדע המודרני. מצד שני, הסתכלות זו מפחיתה ממידת המהפכניות שבגילוי השיטה המדעית עצמה. כלומר, לדעתו של פופר, השיטה המדעית היא תולדה של תהליך התפתחותי ולא תולדה של מהפכה אחת.

תבנית השיטה המדעית, בניסוחה הראשון כתבנית של פתרון בעיות, למרות שהיא כללית מאד, אינה מתייחסת במפורש אל תהליך יצירת הידע המדעי אלא אל המבחן של הידע

המדעי. לפי התבנית המוצעת על-ידי פופר, אחד השלבים הדרמטיים ביותר בהתפתחות המדעית הוא זה שבו מתגלה שהתיאוריה המקובלת אינה תואמת את העובדות הידועות, ואז המשימה המחקרית היא לגלות תיאוריה מדעית התואמת את העובדות במידה רבה יותר ובאיכות טובה יותר מהתיאוריה המקובלת.

כדי למקד יותר את תבנית השיטה המדעית, כך שהיא תתאים לחקירה מדעית שכזו, פופר מציע לנסח אותה, כך שהיא תהיה קשורה במטרת המחקר המדעי – יצירת הבנה טובה יותר של העובדות באמצעות תיאוריות, המציגות מציאות חדשה שמסבירה את העובדות הידועות טוב יותר מהפתרון הקודם:

(1) נקודת המוצא היא תמיד בעיה, או מצב בעייתי, הנגרם בדרך כלל מאי התאמה בלתי מוסברת של תיאוריה מקובלת לעובדות.

(2) העלאת מבחר פתרונות אפשריים, שהם תמיד תיאוריות המוצעות כהשערות להתאמה טובה יותר עם העובדות הידועות, כאשר בדרך כלל צפוי שהן תתגלנה כלא נכונות.

### תבנית (ב)

(3) ההתקדמות בחקירה המדעית מתקיימת על-ידי ביטול הפתרונות הלא-מוצלחים.

תבנית זו מתגלה בהתפתחותו של מדע, כחוזרת על עצמה, מבעיה נתונה אחת, ביחס לפתרון שהיה עד כה מקובל, לבעיה חדשה המתעוררת על-ידי בדיקה מתמדת של הפתרון החדש, ששרד מביטול הפתרונות הלא-מוצלחים במחזור קודם.

ריצ'ארד פיינמן, בהרצאותיו השונות על הפיסיקה, מדגיש את חשיבות השלב השלישי כשלב שבו נבדקות תיאוריות. הוא אפילו טוען שתיאוריה מקובלת חייבת להיבדק שוב ושוב, ככזו המועמדת להיות פתרון לא-מוצלח. לשם כך, על החוקר לחפש, או להעלות בדמיונו אפשרויות בהן התיאוריה הנבדקת (לרבות התיאוריה המקובלת ביותר) עלולה להתגלות כלא נכונה. (פיינמן, 2006: עמ' 221-222; Feynman, 1995: p. 158). לכן, כדי ששלב זה יהיה ניתן לביצוע, על התיאוריות להיות ניתנות להפרכה, תכונה שקארל פופר קבע כתכונה ה**כרחית** של תיאוריה מדעית (Popper, 1996: pp. 76-77). אם תיאוריה נבדקת אינה יכולה להיכשל במבחן העובדות מלכתחילה, אין טעם בבחינתה. אין גם שום טעם ביישומה, כי כל התרחשות תתאים לה. היא גם לא מסבירה שום דבר, כי כל התרחשות "מוסברת" באמצעותה.

בנוסף על-כך, טוען פיינמן, אין טעם שחוקר יחקור תיאוריה ב"מגרש הביתי" שלה, כלומר, במקומות שבהם הוא גילה אותה ובהם הוא יודע שהעובדות תומכות בה. את התיאוריות צריך לבחון במצבים חדשים, כדי להעמידן במבחן אמיתי (פיינמן, 1999: עמ' 76; Feynman, 1995: pp. 156-159). אין זאת אומרת שלא צריך לחזור על ניסויים שבצעו חוקרים אחרים שגילו תיאוריות קיימות. אדרבא, יש לחזור עליהם, אבל, מיד יש להוסיף להם ניסויים שבוחנים בצורה חדה יותר וביקורתית יותר את מה שגילו החוקרים הקודמים, אחרת לא תהיה משמעות להבדל שבין התוצאות, גם אם יתגלה הבדל כזה (פיינמן (בעברית), 1995: עמ' 326-327).

אמיליו סגרה, בספרו על פיסיקאים מודרניים ותגליותיהם (1986) מצטט את איינשטיין לאמור: "אין לקנא במדען העיוני, כי הטבע, או ליתר דיוק הניסוי, אינו סר ימין ושמאל, והוא שופט, לא ידידותי במיוחד, של עבודתו, לעולם לא יאמר 'כן' לתיאוריה. במקרים הטובים ביותר יאמר 'אולי'. וברוב המקרים יאמר פשוט 'לאו'... מן-הסתם תפגוש כל תיאוריה באחד הימים ב-'לאו' שלה - ורוב התיאוריות, זמן קצר אחר היווצרן." (שם: עמ' 292).

### מה בין האמבה לאיינשטיין? - מושג העיון הביקורתי

היות ולדעתו של פופר, התבנית של פתרון בעיות, על-ידי בחינה של פתרונות מועמדים וביטול של פתרונות לא-מוצלחים, מיושמת גם על-ידי האמבה במלחמת הקיום שלה וגם על-ידי חוקרים כמו ניוטון או איינשטיין, מציע פופר תכונות נוספות המאפיינות את השיטה המדעית ומבדילות אותה מפעילות האמבה (Popper, 1999: p. 7). כאשר אמבה מתמודדת עם בעיה ומציעה פתרון, הסביבה, שבה חיה האמבה, היא זו ש"בודקת" את הפתרון וכאשר הפתרון נפסל, בדרך כלל נפסלת גם האמבה. בדיקת הפתרונות בתבנית שקדמה לראשית המדע, נערכה תמיד על-ידי הסביבה. גם בגרסאות המוקדמות של הקונסטרוקטיביזם לפי ז'אן פיאז'ה, הבדיקה של ה"סכמה" של הלומד, מתבצעת על-ידי סביבת הלומד, מיוזמתו של המורה, ולא מיוזמתו של הלומד עצמו. כי הוא לא מבצע פעולת חקירה. בסביבה הלימודית המסורתית, בדרך כלל, נהוג היה לבחון את הידיעה של התלמיד בדרכים כאלה. כלומר, התלמיד נבחן יחד עם הידיעה שלו.

ביישום השיטה המדעית, החוקר מגדיר את הבעיה, או בוחר בה, ומציע פתרונות לבדיקה. בשלב בדיקת הפתרונות, מתגלה הפער שבין התיאוריות המוצעות כפתרונות למציאות הקונקרטית. בדרך כלל, תצפיות על המציאות הנחקרת אינן יכולות לאשר או לפסול בדרך פשוטה ומידית תיאוריה שהיתה מעוגנת במציאות קודם לכן. הפער הזה נובע מכמה סיבות, והדבקות השמרנית בתיאוריות "בעלות ניסיון" היא רק אחת מהן. ככל שהמדע מתפתח, התיאוריות מקושרות למציאות הניתנת לצפייה, בדרכים מורכבות מאד. גופים, אף פעם אינם נעים בקו ישר, וקשה לשחרר אותם מהשפעה של כוחות, ללא תיאוריה המלמדת אותנו על כללי הרכבה של כוחות. קרני האור אינן ניתנות לצפייה אלא באינטראקציה עם גופים, כמו חלקיקי האבק וכדומה. גם אלקטרונים אינם ניתנים לצפייה אלא באינטראקציה עם חלקיקים אחרים. תצפיות ביחס לאלקטרונים מספקות נתונים, אשר רק על-ידי עיבודם לפי תיאוריות מוקבלות, אפשר להתייחס אליהן כמספקות נתונים על אלקטרונים. במילים פשוטות, בדיקת תיאוריות, על-ידי תצפיות וניסויים, מחייבת עבודה תיאורטית. או אם אצטט את פיינמן שנית, בעניין "מהו מדע?", הרי שעריכת תצפיות היא חיונית, רק בתוספת של "הגורם החיוני, שיקול דעת לגבי מה שצופים בו ומה ששמים לב אליו" (פיינמן, 2006 : עמ' 185).

גם בדיקת הפתרונות האפשריים לבעיה אינה חייבת להיות מציאותית, כי היא יכולה להיות על-ידי ניסויים מדומים (הנקראים "ניסויים מחשבתיים"). בכל המקרים האלה, לא מיישמים את הבדיקה על מציע הפתרון. במקום זה, ביישום השיטה המדעית, המדענים הם שבודקים את הפתרונות האפשריים. הם עושים זאת, כאשר הם מיישמים על פתרונות אלה, או על ניסוחיהם, או על תוצאות הבדיקות שנערכו, את **העיון הביקורתי**. על-ידי יישום העיון הביקורתי ניתן לזהות פתרונות שגויים, או לתכנן ולערוך ניסויים מדוקדקים וממוקדים שמאפשרים את ביטול הפתרונות השגויים, וכל זאת ללא מעורבות אישית של החוקר שהציע אותם. מאחורי קביעות אלה מסתתרים כמה מאפיינים חשובים נוספים של החקירה המדעית המודרנית.

העיון הביקורתי מבוסס על הידיעה שאנו, כבני אדם, נוטים לעיתים קרובות לשגות, נוטים לא לראות את שגיאותינו ונוטים לייחס לדעותינו ערך מיוחד. אנו נוטים לדבוק באמונותינו ולהיפגע אישית, כאשר דעותינו מופרכות. העיון הביקורתי מוצע אפוא כאמצעי הגנה יחסי מפני נטיות אלה. עיון ביקורתי, בפתרון שמוצע לבעיה, מיועד ליישום תוך ניתוק מרבי של הפתרון ממציע הפתרון. ניתוק זה מושג בכמה אופנים. הניתוק מושג, למשל, כאשר ביצוע הבדיקה מתנהל על-ידי עמיתים. למטרה זו, רצוי גם להשתמש בשפה המייצגת את הפתרונות האפשריים, הרחק עד כמה שניתן, מנטיות לבנו ומרגשותינו, ולמוסרם לבדיקתם ולעיונם של עמיתינו. לכן, משימת הפיתוח של שפות מיוחדות

שמנתקות את הפתרונות ובדיקתם מהחוקר, הפכה להיות לחלק בלתי נפרד מהתפתחות השיטה המדעית במדעי הטבע.

העיון הביקורתי מתבסס גם על כלי ניתוח, כגון, בדיקת משמעויות של מונחים, על סמך הגדרות בדוקות, ויישום של כללי לוגיקה, לבדיקת הטיעונים המרכיבים את הפתרון ואת הנמקתם. מלכתחילה, פתרון המוצע לבחינה, חייב להיות מוצע באופן מנומק, בעזרת נימוקים שניתן לבחון אותם. שימוש במילים בעלי משמעויות עמומות, או משתנות, אינו מאפשר בחינה על-ידי עיון ביקורתי. נימוקים שאין להם בסיס הגיוני וניסוח הגיוני, אי אפשר להתייחס אליהם באופן ביקורתי. טבעי אפוא שהגדרות של מונחים והלוגיקה של טיעונים הפכו לכלים שליוו את העיון הביקורתי, מאז ימי יוון העתיקה ועד לימינו, בייחוד כשמדובר במחקר המדעי.

ואכן, בתרבות המערב, העיון הביקורתי התפתח כבר ביוון העתיקה, למשל, באסכולה האיונית, שנוסדה בערך במאה ה-5 לפנה"ס על-ידי תאלס ממילטוס. תאלס קבע את העיון הביקורתי כנוהל שגרתי בקרב תלמידיו. הוא יצר מסורת, לפיה רעיונות עומדים תמיד לביקורת ולבחינה, וכל המצליח לפתח רעיון מוצלח יותר לפתרון בעיה נתונה, הרי הוא משובה, גם אם הוא סתר בכך את מורהו.

פופר טוען כי מסורת העיון הביקורתי היא שורש חשוב של המדע המודרני. במילים שלו: "התזה העיקרית שלי היא שהמדע התגלה מתוך ההמצאה של העיון הביקורתי" (שם, עמ' 16; Popper, 1996: p. 92). כמובן שגם בתרבות היהודית היתה נהוגה מסורת של עיון ביקורתי, שהתגלמה במידה רבה בתלמוד, אלא שמסורת זו לא נפגשה עם המחקר המדעי ולא עם תרבות המערב, עד לימי הביניים (שורץ, 1999: עמ' 85; פרישמן, 2008: עמ' 383-386). ביהדות, מסורת זו לא יושמה על חקירת הטבע.

חשוב להבין שבעיון הביקורתי מדובר בהליך מתוחכם, שמבוסס על שיקולי דעת רבים ולא תמיד על נוסחאות חשיבה מקובעות. במישור המילולי הוא מתבצע בימינו במפגשים של כנסים מדעיים, במפגשי הקולוקוויום של מחלקות מחקר אקדמיות ובפגישות בין מדענים (Bereiter, 2002: pp. 84-86). דוגמה מאלפת למורכבות של ההליך הזה אפשר למצוא בתיאור הניסויים והשיקולים שהיו קשורים בביטול ההשערה של קיום האתר ובבדיקת מוחלטות מהירות האור, במסגרת התהליכים וההתלבטויות שקדמו לקבלת תורת היחסות הפרטית של איינשטיין (Polanyi, 1962, 1974: pp. 9-17).

בחינת טיעונים מורכבים מחייבת שימוש באמצעי עזר שמעמידים את הטיעונים לפני הבוחנים, ומאפשרים להם לבדוק את הפתרון המוצע בדקדקנות. זה מסביר מדוע השלב הבא של התפתחות העיון הביקורתי היה המעבר מעיון ביקורתי אוראלי לעיון ביקורתי טקסטואלי.

### העיון הביקורתי נעזר בטקסטים

השימוש בטקסטים מהווה צעד חשוב בפיתוח של שיטת העיון הביקורתי המילולית, כי הוא מאפשר ניצול של כלים טקסטואליים לארגון התכנים ולהצגתם, וזאת, בנוסף על רמה גבוהה יותר של ניתוק בין מציע הרעיון לבין הרעיון עצמו. "הכתיבה מפרידה את היודע מהידוע ובכך היא מעמידה תנאים ליאובייקטיביות" (Ong, 1982: p.46). גודי (1977) מציין כי תרבות של עיון בקורתי אינה יכולה להתמיד כלל ללא כתיבת הרעיונות הביקורתיים (שם, עמ' 43). השימוש בטקסטים גם מרחיב את טווח העיון הביקורתי כי הוא מאפשר דיון בטיעונים שבשיחה קשה בכלל לבטא אותם או לעקוב אחריהם (גבעון, 2008; וראה גם בפרקים 9 ו-12 בספר הזה).

השימוש בטקסט, לעומת העיון הביקורתי המילולי, מאפשר גם ניתוק במרחב ובזמן. הטקסט המדעי מגיע לידי עמיתים המרוחקים מהחוקר, והעיון בו אינו תלוי בזמן ביטוי

רעיונותיו של החוקר. ניתוק כזה יכול להיות יעיל, רק כאשר ניסוח הרעיון בכתב מאפשר את השגתו במינימום של הפרעות הנגרמות על-ידי הפרשנות האישית של הקורא. לשם כך נוצרת גם שפה מקצועית (או, "ז'רגון מקצועי") המאפשרת את עריכת הדיון מול גרסה מייצגת של הרעיון, שהיא יותר אובייקטיבית מגרסה בשפת יומיום או מגרסה המנוסחת בשפה נזילה. כאשר יודעים לנסח רעיונות בשפה שכזו, רגשותיו של מציע הפתרון, המילים שנבחרו, מעמדו החברתי, סוג הבגדים שהוא לובש והאנטומיה של גופו, אינם חייבים להיכלל בדיון או להשפיע עליו. אין ספק שעיון ברעיון שמנוסח בכתב, יכול להיות ממוקד יותר ברעיון עצמו, בתנאי שהרעיון ניתן לייצוג טקסטואלי ברור. מדובר אפוא בשלב נוסף של פיתוח שיטת העיון הביקורתית, מעבר לזו שהונהגה ביוון העתיקה.

מי שפיתח את השימוש בטקסטים לעיון אובייקטיבי וביקורתית בטיעונים, היו התיאולוגים של ימי הביניים, בני המאות ה-11, ה-12 וה-13. בפרק 4 תיארתי כיצד תומאס אקווינאס מנסח טיעונים בכתב. יחד עם זאת, כפי שצינתי בפרק 5, באותה תקופה, גם הוויכוחים הפומביים, המילוליים, שהשתתפו בהם נוצרים, מוסלמים ויהודים, נערכו במקרים רבים ברוח העיון הביקורתית. התיאולוגים הסכולסטיים היו אלה אשר לקחו את הרעיון היווני ופיתחו אותו, ובכך הניחו את היסודות לקראת יצירתו של הגורם המשמעותי ביותר של המדע המודרני, שהוא, לדעתו של פופר, העיון הביקורתית המתקדם, הטקסטואלי (שורץ, 1999: עמ' 117-133).

מוריס קליין, במחקרו המקיף על תולדות המתמטיקה בתרבות המערבית (Kline, 1980) התייחס אל תרומת המתמטיקה בפיתוח העיון הביקורתית בימי ימי הביניים כדלקמן (בתרגום חופשי שלי). הוא טען כי בעיני הכנסייה הנוצרית המתמטיקה היתה בעלת חשיבות כהכנה ללימודי התיאולוגיה. בעוד היוונים ראו במתמטיקה הכנה לפילוסופיה, הכנסייה סברה שכמות סבירה של ידע מתמטי נחוץ לפיתוח החשיבה, הדרושה לחקר התיאולוגי. הטעם לכך היה בזה שהתיאולוגים, בסביבות המאה ה-12, נדרשו ליישם תבונה בהבנת כתבי הקודש. בתחילת ימי הביניים הדגש, כפי שביטא זאת הקדוש אוגוסטינוס, היה על האמונה. הוא טען שללא אמונה אין ידיעה. ואולם, אבות הכנסייה, במאמציהם לבחון, לברור ולהבהיר דוקטרינות דתיות שונות, הסתמכו, יותר ויותר, על התבונה, כדי ליישב מחלוקות וכדי להוכיח התאמה עם תורות פילוסופיות שונות (שם, עמ' 95-96). עלינו לזכור שהפילוסופיה היוונית, הפילוסופיה המוסלמית וכן משנתו של הרמב"ם חדרו אל המערב, החל מהמאה ה-10 (שורץ, 1999). וקליין מוסיף ומציין "מאוחר למדי בתקופת ימי-הביניים, התבונה החלה להחליף את האמונה כתמיכה הראשית בתיאולוגיה הנוצרית" (Kline, 1980: p. 96). אבל הקשר אינו רק בין התבונה, המתמטיקה והתיאולוגיה. על כך אומר קליין: "לכן, הלמדנים של ימי הביניים המאוחרים, ואנשי הסכולסטיקה בפרט, לא רק שהם סיפקו את האטמוספירה הרציונאלית שבה המתמטיקה והמדע המודרניים נולדו, אלא גם הטמיעו בהוגי הדעות של הרנסנס את האמונה, שהטבע הוא יצירתו של הבורא ושדרכי הבורא ניתנות להבנה. אמונה בסיסית זו, היא ששלטה בתפיסת המתמטיקאים והמדענים של הרנסנס ונתנה להם השראה. אמונה זו, היא שחזקה ותמכה במחקרים הסבלניים, התובעניים והקשים של קופרניקוס, ברהה, קפלר, גלילאו, הויגנס וניוטון." (שם). אמונה זו הגיעה לאירופה הנוצרית מהמדענים והוגי הדעות הערבים סביב המאה ה-12 (ראה פרקים 4, 5, 6).

### העיון הביקורתית נעזר בטקסטים מיוחדים

הצעד הבא בפיתוח העיון הביקורתית מתממש, אם כך, בפיתוח השפה המיוחדת לעיון הביקורתית המדעי, שפת המתמטיקה, אשר כפי שמסתבר, היא שפת כתיבה ולא שפת דיבור. השימוש במתמטיקה, כשפת ניסוח התיאוריות המדעיות, הוגדר על-ידי גלילאו

כיעד הכרחי של השיח המדעי. בשנת 1623 הוא האמין ש"ספר הטבע" כתוב בשפה זו (נץ ונואל, 2007: עמ' 281). ריצ'ארד פיינמן, שלוש מאות שנה אחרי גלילאו, באחת מהרצאותיו המפורסמות בפיסיקה, "מתנצל" על העובדה שלא ניתן להבין את הפיסיקה ללא ידע במתמטיקה, והוא מסביר מדוע: "...המתמטיקה אינה רק שפה אחרת. המתמטיקה היא שפה פלוס הסקת מסקנות; היא כמו שפה בתוספת של היגיון... מכל מקום, אם אינך מעריך את המתמטיקה, אינך יכול לראות, בתוך המכלול הרב של העובדות, שההיגיון מאפשר לך לנוע מעובדה אחת אל השנייה... המתמטיקה היא רק חשיבה הגיונית מאורגנת." (Feynman, 1985: pp. 39-41). שפת המתמטיקה היא שפה המאפשרת, השגת רמות גבוהות יותר של ניתוק של הטקסט מהקשרים לא רלבנטיים ובעיקר, את ניצולו היעיל של הטקסט בביקורת התוכן של התיאוריות המדעיות. הטקסטים המתמטיים, בהיותם טקסטים דינמיים, מאפשרים לבקש בשפת המתמטיקה "לנוע מעובדה אחת אל השנייה..". באמצעות תהליכי הסקת מסקנות טקסטואליים.

עד כה ראינו שקיימים שלושה שלבים בפיתוח הרעיון של העיון הביקורתי: המילולי, שפותח ביוון העתיקה, הטקסטואלי, שפותח בימי הביניים במאות ה-12 וה-13, והמתמטי, שיזם גלילאו במאה ה-16. פופר טוען שהתפתחות זו היא משמעותית לביסוס השיטה המדעית המודרנית.

השימוש ה**נפוץ** במתמטיקה של מספרים בשיח המדעי חופף את השימוש במדידות כמותיות במחקר המדעי. לכן, יש הסוברים שמדידות כמותיות מהוות תנאי הכרחי לקיומה של השיטה המדעית בכללותה. כך, למשל, נובע מדברי ישעיהו ליבוביץ' "כל הקטגוריות של מדעי הטבע הן קטגוריות כמותיות. אין הגד בדבר קשרים ויחסים בין דברים בעלי-משמעות מדעית (בתחום מדעי הטבע) אלא אם הוא ניתן להמרה לערכי-יסוד כמותיים" (ליבוביץ', 2002: עמ' 190). אלה הסוברים כך, מתעלמים מן העובדה ששיטות המדידה עצמן חייבות להיות מבוססות על תיאוריות הנבחנות בשיטה המדעית, עוד לפני שניתן להשתמש במדידות עצמן באופן אמין וביקורתי. למשל, מדידת משקל של עצמים באמצעות מאזני שקילה, מבוססת על מספר חוקים תיאורטיים הקשורים בהתנהגות המאזניים עצמן ופעולות השקילה הבסיסיות, חוקים שאינם מתבססים על-ידי מדידות כמותיות, אלא על-ידי תצפיות לא כמותיות, ועל-ידי בחינת טיעונים, הנוגעים לנטיית כפות המאזניים ולאזונם. טיעונים אלה מנוסחים אמנם בשפה מתמטית, אך לא כזו שמתייחסת באופן מפורש אל כמויות או אל מספרים. מן החוקים האלה, אפשר להסיק, שהם מגדירים תכונה של העצמים הניתנת לביטוי על-ידי גודל כמותי בדרך המאפשרת מדידה של משקל באמצעות מאזניים (Suppes, 1951; Suppes, 1999: pp. 96-98). אבל, החוקים הללו הפכו לחוקי טבע, לפני שהתגלה שהם מגדירים שיטת מדידה. ללא גילוי חוקי טבע אלה, לא ניתן היה להגדיר מדעית את שיטת המדידה. הפיכתם של חוקים אלה לחוקי טבע לא נבעה מאפשרות המרתם "לערכי יסוד כמותיים", אלא להיפך. אפשרות המרתם למנוסחים באמצעות מונחים כמותיים נבעה מהיותם חוקי טבע בעלי תכונות מסוימות. אם אי אפשר היה להמיר את החוקים הללו לערכי יסוד כמותיים, זה לא היה פוסל אותם מלהיות חוקי טבע.

אפשר לראות בגיאולוגיה דוגמה מופתית למדע טבע שלם שהתפתח בצעדי ענק, שהתבססו על תצפיות ומסקנות, אשר במקרים רבים לא נדרשו כלל למדידות כמותיות (מזור, 1987). חוקי היסוד של הגיאולוגיה מבוססים על מספר מושגים שבחלקם הם לא כמותיים. מושג ה**שכבה הגיאולוגית**, **חוק הסופרפוזיציה** לקביעת תהליך היווצרותן של שכבות סלע ושל הופעתן, מושגי ה**תצורה והחבורה הגיאולוגיות**, מושג ה**מאובן המנחה**, ואחרים, מוגדרים ללא התייחסות אל מידות כמותיות (שם: עמ' 99-95). אני ממליץ לקוראים המתעניינים בשיטות מחקר לקרוא את ספרו הברור של מזור, כדי להיווכח כיצד מחקר "איכותני" נערך במדעי הטבע, ולאלו הישגים ניתן להגיע באמצעותו.

חשוב לשים לב לכך שהמתמטיקה, בכללותה, אינה עוסקת רק בכמויות הניתנות למדידה, כי, לא כל התורות המתמטיות עוסקות במספרים ממשיים, או במספרים בכלל. חשוב להבין גם שהמתמטיקה איננה שפה לתקשורת, או להבעת תכנים הנוגעים לחוויות האישיות של הדובר. המתמטיקה היא בעיקר שפה המשמשת לביטוי התייחסויות אל תבניות מופשטות, המאפשרות עיון, העומד בסטנדרטים חמורים ביותר של ביקורתיות. מדובר בתבניות כמושאי החקירה ובו בעת, גם בתבניות בשפת תיאור המושאים ובשפת סיכום החקירה, שהיא הלוגיקה. מכאן כוחה ככלי חשוב ויעיל גם לעיון הביקורתי הנדרש במדע.

חנה ארנדט, שהזכרתי אותה בפרק 1 כטוענת שטקסטים אינם יכולים לשמש כמצע לשיחה משמעותית, טענה גם שהמדענים והמתמטיקאים אינם מסוגלים לשוחח שיחה משמעותית (Arendt, 1958: p. 4). המדענים, בשיח המדעי שבתחומם, אינם מבטאים את דעותיהם הפרטיות כדיווח על מחשבותיהם או רגשותיהם, ולא כהבעה של העדפותיהם לגבי דילמות מוסריות וכדומה. הם יכולים לעשות זאת כמו כל אזרח אחר, אבל אז הם חורגים מיישום השיטה המדעית ומתחום מקצועיותם, והם יכולים לעשות זאת בדרגות שונות של מיומנות (פיינמן, 1999). ביישום השיטה המדעית, הם ידברו בשפה המקצועית שלהם, על תוכני השיטה המדעית, כפי שהיא ניתנת ליישום בתחומי המחקר שלהם. בשפה המקצועית שלהם, הם יעדיפו לדבר על תוכן מסוים, רק אם הוא ניתן לביטוי ברור וחוץ-פרטני ואובייקטיבי. כל סימן שעלול להתגלות בשיח המדעי לסטייה משמעותית מן ההעדפה הזו, הוא סימן לכישלון-מה של המשתתפים באותו השיח. בניגוד לגישה הזו, יש הטוענים שבשום מקרה, אדם אינו יכול להימנע מההשפעה המאגית של האידיאולוגיה. כך למשל האמין פוקו (ארבל, 2006).

**הערה:** כפי הנראה, פוקו האמין באמיתות מוחלטות, או לחילופין, הוא מבטא את סינדרום האכזבה מאי-קיומם של מצבי ידעה מוחלטים. אם אי-אפשר להוכיח באופן מוחלט על אף דעה שהיא חופשיה מהשפעה של אידיאולוגיה כלשהי, ואם במקרים רבים אכן ניתן לגלות השפעה שכזו בדעות של חוקרים, או של הוגי דעות, אין הדבר מוכיח שכל הדעות, תמיד מושפעות מאידיאולוגיה. הטענה שבשום מקרה, אדם אינו יכול להימנע מההשפעה המאגית של האידיאולוגיה, היא עמומה או חסרת תוכן לעצמה, כי היא, לכאורה, תמיד נכונה.

מסורת היא בידי הפילוסופים של ימינו, להצביע על חולשת הדעת האנושית כהוכחה בדבר אי-אפשרות הידעה בכלל. כך אפילו גם אפלטון טען, למשל, בדיאלוג "תיאטיטוס" (האזרחי, 1964: עמ' 173-186) שבשום מקרה אי-אפשר להסתמך על החושים, כי בהזדמנויות רבות הם מטעים אותנו. בכל המקרים האלה, בהם החושים מטעים אותנו, אנו בכל זאת יודעים, למזער, משהו על חולשתם האנושית של החוקרים. אלא שגם ממוטות עם צירים חופשיים ולא יציבים, אפשר להרכיב מבנים יציבים מאד, אם משכילים לבחור במבנה משולב (כמו משולש או ארבעון) שמצליח לבטל את השפעת החופש של הצירים. ההצלחה המדהימה של מדעי הטבע שהושגה במאות השנים האחרונות, הושגה, בין היתר, מהתגברות מוצלחת על העמדה האפלטונית, כתוצאה מיישום מוצלח של שילוב העיון הביקורתי עם תצפיות אנושיות, למרות החולשות האנושיות של החוקרים ולמרות חולשת ההסתמכות על החושים בתצפיות ובמדידות. השיטה המדעית היא שיטה המבוססת על השאיפה המתמדת ליישום העיון הביקורתי במידה גוברת והולכת של הצלחה. במדעי הטבע, שאיפה זו הוכיחה את עצמה בפועל, לא משום שנמצאה דרך להימנע מפגמים באופן מוחלט, אלא משום שנמצאה דרך המאפשרת שיפור באופן מתמיד. הישגי הידע המדעי בהתפתחותו, עד לימינו, מאשרים את תקפות הדרך הזו כעובדה אמפירית.



## תנאים נוספים ליישום העיון הביקורתי והשיטה המדעית

מזה כמה שנים, שהפער שבין הישגי מדעי הטבע ושיטתם ובין הישגי מדעי האדם והחברה ושיטתם, מעסיק את טובי הוגי הדעות. לטענתו של פופר, יישום גישתו כלפי המחקר המדעי, יכולה להיות בעלת משמעות לגבי חיי האדם בחברה ובעולם, בתנאים מסוימים. תנאי אחד הוא שיתגלו בעיות בחיים אלה, עם פתרונות שיוכלו להיבחן בפועל לפי השיטה המדעית, כפי שהוצגה בתבניות האלה. לשם-כך, נצטרך להמציא שפה, דבורה או/ו כתובה, המאפשרת את ניסוח התכנים המועמדים לבדיקה עיונית ביקורתית, באופן שיחזיק אותם ממעורבותנו האישית. כל עוד, שפת מדעי החברה והאדם לא תאפשר ניתוק ממעורבות החוקר, לא יתאפשר, לפי התבנית שהגדיר פופר, יישום יעיל של שיטת המחקר המדעי הזו, בתחומים אלה.

כל הויכוח שבין שיטת המחקר ה"כמותני" לבין שיטת המחקר ה"איכותני", מאבד את עוקצו, כאשר מקבלים את תפיסתו של פופר. אם שיטת המחקר מבוססת על בדיקת תיאוריה המוצעת כפתרונות לבעיה נתונה, התצפיות חייבות להיות מתוכננות כך שהן תבדוקנה את נקודות התורפה ואת נקודות החוזקה של התיאוריה הנחקרת. אם התיאוריה מנוסחת בשפה של כמויות הניתנות למדידה, הרי שבעיקר, רק באמצעות מחקר כמותני ניתן לבחון את התיאוריה הנחקרת. אם התיאוריה הנבדקת אינה מנוסחת בטענות כלשהן המנוסחות באמצעות כמויות הניתנות למדידה, אזי המחקר הבוחן אותה לא יהיה כמותני. הכמותניות אינה תנאי הכרחי לאפשרות בדיקתה של תיאוריה. הרי, כאמור, מחקרים לא כמותניים ביססו, בסופו של דבר, את כל המדידות המדעיות ואת הגיאולוגיה.

לדוגמה, ברטראנד ראסל, אפילו תמך, במפורש, באפשרות של מחקר מדעי הנסוב על תופעות סובייקטיביות והנסמך על תצפיות אישיות ולא דווקא על מדידות כמותיות (Russell, 1956: pp. 57-67). עדיין יהיה אפשרי לבחון תיאוריות, הנובעות ממחקר שכזה, לפי שיטתו של פופר. רוב המחקרים האיכותניים הנהוגים בתחומי מחקר במדעי החברה, כמו למשל בחינוך, הם מחקרי ליקוט עובדות, ולא מחקרים ליצירת תיאוריות יציבות. ובכל זאת, כאשר ניתן לבחון את התיאוריות המבוססות על מחקר איכותני בעזרת עיון ביקורתי, ניתן ליישם עליהן את תבנית המחקר המדעי.

ההשערות המנוסחות במחקרים איכותניים הנהוגים כיום, אינן מאפשרות עיון ביקורתי מדוקדק, כי לא נהוג בהם שימוש בשפה יציבה וברורה, המאפשרת יישום מספק של כללי ההיגיון. ללא יישום קפדני של כללי ההיגיון, העיון הביקורתי לא יכול להגיע לרמות של איכות מעבר למה שהושג בימי הביניים. כללי ההיגיון אינם דורשים ליישומם הנחות כמותניות.

אחד הגורמים המגבילים את יישום הגישה של פופר במדעים כמו מדעי החינוך, הוא ביטול החשיבות של העיון הביקורתי מלכתחילה. לעיתים קרובות, ז'ורנאלים וכנסים במדעי החינוך מציבים, אם במפורש ואם בעקיפין, את הדרישה שהמאמרים המתפרסמים בהם יהיו מאמרים לדיווח על מחקרים אמפיריים. בדרך כלל, מאמר, שמדווח על עיון ביקורתי בתיאוריות מקובלות, אינו נחשב כמאמר מדעי. עיון ביקורתי בתיאוריות חינוכיות, במקרה שהוא מתאפשר, צריך להיחשב כפעילות מחקרית משמעותית, ולא רק כניסוח של "נייר עמדה".

השיטה המדעית, גם לפי התפיסה המצומצמת של פופר, מקושרת אל העובדה שהקהילה המדעית פעלה, לפחות מאז ימי הביניים, כקהילה היוצרת ידע, המהנה יצירה שניתנת לבחינה על ידי ציבור המדענים. כפי שצינתי כמה פעמים, העיון הביקורתי מחייב מידה רבה של אי-תלות במציעי הפתרון, ואי-תלות זו מושגת על-ידי עיון ביקורתי שמתבצע על-ידי חוקרים שונים שאינם קשורים במציעי הפתרון. פירושו של דבר, שהחוקר המציע פתרון לבעיה, מנסח אותו ודואג לפרסומו, כדי שהפתרון יעמוד במבחן של עיון ביקורתי

על-ידי מספר רב של בוחנים. עמידה במבחן שכזה, מחייבת גם גישה מיוחדת אל ממשות הפתרון. אם בחינת המציאות של הפתרון המוצע אפשרית רק בתודעתו של המציע, הפתרון אינו ניתן לבדיקה על-ידי עמיתים.

אין ספק שהשימוש בדפוס תרם תרומה נכבדה לפעילות התקינה של קהילה העוסקת באופן פעיל בעיון ביקורתי. השימוש בדפוס אפשר יצירה של עותקים מדויקים במספר גדול, לשימוש של כל מי שמעוניין לבחון את הפתרונות המוצעים ואת העיון הביקורתי המוצג בהם. אבל יש להעיר כאן שתי הערות. השימוש בדפוס אפשר את שיפור הפעילות הזו ולא "יצר" אותה. התיאולוגים, המתמטיקאים והמדענים של ימי הביניים המאוחרים ושל תקופות שקדמו להם, לא נרתעו מעיון ביקורתי, למרות שלא עמדו בתי דפוס לרשותם. לדפוס, או לטקסטים המודפסים, שבהם הטיעונים נכתבו, לא היה שום ערך, ללא פיתוח של שפה המאפשרת ניסוח טענות לעיון ביקורתי וללא הנכונות לערוך עיונים ביקורתיים. לדפוס לא היה שום ערך, אלמלא היתה תשוקה לערוך עיונים שכאלה.

מוריס קליין מזכיר פעם אחת בלבד את הדפוס בתיאור התפתחותה של המתמטיקה והשינויים שהתרחשו בימי הרנסנס. הוא מייחס חשיבות רבה למעמד בעלי המלאכה החופשיים שהתפתח בימי הביניים המאוחרים ומוסיף: "עובדים ששאפו להגדיל את יעילות עבודתם והמעסיקים, משלמי שכרם, החלו בהתעניינות הולכת וגוברת במכונות, בחומרים ובטבע. התנועה החברתית והכלכלית הזו טיפחה את המהפך של התרבות האירופאית מפיאודליזם ואדישות לתופעות טבעיות לתעשייניות ולחקירה של בעיות פיסיקליות. ההמצאות המעשיות הגדולות שנוצרו מעבודתם של האומנים היו בעלות תנופה גדולה יותר ממה שהם העלו בדעתם. נייר כותנה, ואחר-כך נייר סחבות החליפו את הגווילים היקרים; התווים הניידים החליפו את העתקת כתבי היד. ההמצאות הללו נתנו כנפיים למחשבה ואפשרו לה לעוף מעל לגבולות של עמים ודתות." (Kline, 1980: pp. 101-102).

בנוסף על כך, כל הפיתוחים האלה לא יכלו ליצור את הקהילה המדעית אם לא ניתן היה להפיץ את הרעיונות החדשים בין חברי הקהילה המדעית. ללא השינויים הטכניים בכריכת הספרים, בנייר ובדיו, לא היה ניתן להפוך אותם לחפצים ניידים. גם ללא שירות דואר יעיל ואמין, מסוג זה או אחר, לא היה ניתן להשתמש בטקסטים, כדי לבצע עיון ביקורתי בפתרונות במקומות המרוחקים מהמציעים. כל מי שקורא את תולדות המדע (כולל תולדות המתמטיקה) ותולדות ההגות בימי הביניים, יכול לחשוף עדויות על כך שטקסטים עברו מרחקים גדולים, כדי להגיע לידי "בוחנים" שהיו רחוקים ממציעי הפתרונות. אפילו גאוות הרפורמציה, "ספר תנ"ך על שולחן של כל נוצרי", לא היתה ניתנת למימוש ללא אפשרות הפצת הספרים עצמם למרחקים. אנו יודעים כי בימי הביניים, כאשר הספריות במזרח נפגעו, הגיעו לנמלי אירופה אוניות עמוסות בספרים (Farrington, 1953: p. 307). יש גם עדויות לכך שכתבי יד בעלי תכנים כנסייתיים ותכנים עממיים הופצו ברשת המנזרים עוד במאה ה-9 (Graff, 1987: p. 48). כמו-כן, יש עדויות לכך שבמאה ה-14 עסקי מכירת ספרים פרחו וספריות רבות נפתחו (שם: עמ' 88).

הספריות הגדולות, החל מספריית אלכסנדריה, הספריות בעולם הערבי, וכמו-כן המנזרים בימי הביניים המוקדמים, הכריחו את הקורא להגיע בעצמו אל הספר המתאים, כדי לקרוא. כמובן שעולה השאלה, כיצד נודע לקורא על קיומו של הספר, אלא אם כן, מדובר בפעולה שהיתה בדרך כלל אקראית. החוקרים היו מגיעים אל הספריות האלה, בגלל השם שהיה להן ומתוך אמונה שיימצאו בהן ספרים ראויים ללימוד. כלומר, החוקרים היו צריכים "לגלוש" במרחב הספרים שנפרש לפנייהם בספריה. הספריות היו "קתדראלות" של טקסטים ולא טקסטים (במובן של פולני) כי הן לא אפשרו את יישום "חוק אפשרות התפעול" (ראה פרק 1), כי הן חייבו את הקורא להגיע אליהן. החידוש העצום, תחילה

באמצעות הדפוס ואחר-כך באמצעות האינטרנט, הוא ביצירת נגישות רבה אל הטקסטים. החידוש באינטרנט היה בהפיכת קבוצה ענקית של מחשבים, לספריה המגיעה אל כל קורא וקוראת, לפי דרישתם. המעבר מהספריות כקתדראלות, אל הטקסטים במחשבים הקשורים לרשת אינטרנט, כטקסטים בני-תפעול, המגיעים אל כל בית, הוא תהליך שנוצר בכמה שלבים, כאשר חלק מהם התרחשו עם התפתחות המדע המודרני, וחלק מהם התרחשו עוד בימי הביניים ובעיקר החל מהמאה ה-12.

### השיטה המדעית, ההצטברות הרציפה והמהפכות המדעיות

בחינוך הנהיגו פעילויות למידה שהיו מיועדות להפעיל תלמידים בתהליכים הדומים למחקר מדעי. "למידת חקר" היה הכינוי ללמידה שמתרחשת בפעילות מעין זו (חטיבה, 2003 : עמ' 228-232). אלא שללא הבנה של עקרונות המחקר המדעי, גם רעיון זה קשה ליישמו כראוי. למשל, תופעת ה"גזור והדבק" שמקבלת עידוד בחינוך, פוגעת בהשוואה שבין הלמידה הנדרשת בבית הספר ובין יצירת הידע המדעי כמודל ללמידה. ביישום ה"גזור והדבק" התלמיד מלקט קטעי טקסטים (או קטעי מדיה אחרים) ויוצר מהם הַדְבָק חדש משלו. האם הוא מעמיד את תוכן ההדבק שיצר לבחינה כלשהי של מציאות כלשהי? האם הוא מעמיד את עבודתו לבחינה של עיון ביקורתי של עמיתים מול מציאות כלשהי? את מה הוא מעמיד לבחינה? מדובר, במקרה הטוב ביותר, ביצירה אמנותית, ספרותית או חזותית, ולא ביישום של שיטה מדעית כלשהי. התירוץ שכל אחד משתמש בתוצרים של קודמים לו, אינו מתרץ את ה"גזור והדבק", או את רעיון "מיזוג הטקסטים", אלא אם יש חידוש בתוכן של התוצר המורכב, ואם התוכן הזה עובר מבחן של עיון ביקורתי, מול מציאות קשוחה, כמו כל תיאוריה מדעית בשיטת המדע המודרני. כל תוצר טקסטואלי של תלמיד יכול לקחת חלק בעמידה במבחן העיון הביקורתי של ידע שהוא יצר בלמידתו, בתנאי שאכן המוצר ייבחן ככזה. העיון הביקורתי אינו תואם את התרבות השלטת כיום בעולם החינוך.

ביישום תבנית השיטה המדעית שהגדיר פופר, אין מניעה שהחוקר ישתמש בתוצרים של קודמיו ובבחינות שונות שתוצרים אלה עברו. אם מתגלה שהם נכשלו בבחינה, עליו להציע פתרון חדש. הפתרון החדש יכול להיות נקי לגמרי מרעיונות שבאו לידי ביטוי בתוצרים הישנים, אבל מצב כזה בעצם אף פעם לא קורה, אפילו לא במהפכה המדעית הגדולה ביותר. קופרניקוס השתמש במעגלים שהיו יסוד חשוב בתיאוריה הפתולומאית. גלילאו השתמש במתמטיקה שפיתחו מתמטיקאים של ימי הביניים. קפלר השתמש בתוצאות המדידה של טיכו ברהה ובגיאומטריה של חתכי החרוט שפיתחו היוונים. אפילו ניוטון, שפיתח בעצמו תורות מתמטיות שלמות, שחסרו לו כדי לנסח את חוקי הטבע שלו וליישם אותם, לא בנה את תוצריו יש מאין. כדי להוכיח את יתרונותיהן של הצעותיו, הוא הוכיח כיצד חוקי קפלר ניתנים להסקה לוגית מחוקי הטבע שהוא ניסח. בהוכחות אלה הוא השתמש בגיאומטריה שפיתחו היוונים (Goodstein & Goodstein, 1996). פרמה, בן המאה ה-17, למד את הספר "אריתמטיקה" של דיאופנטוס בן המאה ה-3, מה שאפשר לו לפתח שלבים מתקדמים יותר של תורת המספרים. אוילר, בן המאה ה-18, למד את עבודתו של פרמה וממנה הוא גילה תוצאות נוספות. "המחקרים שלהם הפכו למקור העיקרי של תורת המספרים המודרנית" (וולס, 2004 : עמ' 141). איינשטיין השתמש בכלים תיאורטיים שפיתחו על-ידי קודמיו (כמו **טרנספורמציות לורנץ**, **גיאומטריה לא-אוקלידית** ואלגברה של טקסטים מיוחדים הנקראים "**טנזורים**") כדי לפתח ולנסח את תורות היחסות שלו, ועוד. כל ההצטברויות האלו של ידע לא היו אפשריות אלמלא השימוש בטקסטים. לכן, קל מאד לזהות את הטקסטים עם ידע, ואת "התפוצצות הטקסטים" כ"התפוצצות של ידע".

השימוש בכלים קודמים אינו מונע אפוא יצירה של פתרונות חדשים. למרות הרציפות הנובעת משימוש בחומרים קודמים, התבנית שמציע פופר, מתארת את התפתחות המדע, כסדרה של חידושים, שכן עיקר הטעם בקבלת הפתרונות המוצעים הוא דווקא בחידוש שיש בהם. אבל, החידוש אינו מושג בהם דווקא בשל היותו טוטלי, מוחלט או בלתי תלוי בידע קודם.

שיטת העיון הביקורתי, שמאפיינת את השיטה המדעית המודרנית, אינה חסינה מפני הידרדרות והתנוונות. ה"רלטיביזם" הפופולארי היום בעולם האקדמי, משמיט למעשה את הבסיס של השיטה המדעית המודרנית. כי אם כל תיאוריה קבילה, אז אין אפשרות לבטל אף תיאוריה ואין צורך בעיון הביקורתי. תופעות אלו מוכיחות שהכתיבה אינה יכולה מאליה, להביא לידי תרבות של עיון ביקורתי. השימוש בטקסטים בפני עצמו, אינו מהווה חיסון מפני הפיתוי של הכתיבה חסרת התוכן המדעי. מספר הטקסטים הנכתבים כיום, ללא שום עיון ביקורתי של ממש, רק הולך וגדל (Sokal and Bricmont, 1998).

מצד שני, אפשר לדלדל ולדלל את כוחו של המחקר המדעי גם בכך שמצמצמים את הפעולות הנדרשות, ביישום התבנית שהציע פופר, לפעולות טכניות, כאילו היו פעולות חשבון. התבנית המוצעת על-ידי פופר, אינה נוסחה, שכל יישומה בא על ידי חישוב. כל שלב בתבנית מחייב יישום עם שיקול דעת בעל משמעות מדעית, אחרת קשה יהיה להבחין בין פעילות מדעית לפעילות מאגית או לפעילות פוליטית (Polanyi, 1946, 1964). לכן, צריך להיזהר, ולא להתייחס אל התבנית שמציע פופר כאל הגדרה מפורטת וטכנית של השיטה המדעית, אלא כאל הטלת אור על מספר נקודות האופייניות לשיטה זו, או כשרטוטה בקווים כלליים. הצורך בשיקול דעת ובנקיטת מידה נכונה ביישום של כל אחד משלבי התבנית הם חיוניים להצלחתה. למשל, השימוש בטקסטים תוויים בעיון הביקורתי הוא חשוב כל עוד הוא תורם באמת לקידום המחקר, כפעילות המיועדת לקדם את הבנתנו את העולם שבו אנו חיים. במקרים רבים, ראוי לחזור אל הדיאלוג האנושי, כפי שאכן נעשה בכינוסים המדעיים ובסמינריונים האקדמיים. גם בזה כנראה שונים חוקרי המדע מן האמבה.

אמנם, גלילאו טען שהמתמטיקה היא השפה שבה נכתב "ספר הטבע", היא לא יכולה להשתלט על השיח המדעי בכל היקפו. על כך טענו סוקאל ובריכמונט כי "קשה מאד, אם לא בלתי אפשרי לנסח בחוקים את השיטה המדעית" (Sokal and Bricmont, 1998: p. 79). מהתפתחות הלוגיקה והמתמטיקה דווקא, אנו יודעים היום, בוודאות, מה הם הקשיים העקרוניים הטמונים בניסיונות הנאיביים לכפות את הטקסט התווי, באופן טוטלי, כמדיום מחייב על השיח המתמטי וממילא על השיח המדעי (ראה פרק 12).

### **השימוש בנוסחאות והמעבר מייצוג חזותי לייצוג אלפביתי של תכנים מדעיים**

ארכימדס, שהיה כנראה אחד מגדולי המדענים מכל הזמנים (נץ ונואל, 2007), השתמש בשרטוטים גיאומטריים מיוחדים כדי לנסח את טיעונו, הן במתמטיקה והן בפיסיקה (שם: עמ' 64-62; וולס, 2004: עמ' 252-256). היוונים השתמשו בדיאגרמות והמדע העתיק היה מדע של שרטוטים (נץ ונואל, 2007: עמ' 101-94). אלחוריסמי השתמש בגיאומטריה כדי להוכיח שיטות פתרון של משוואות. גלילאו, כאשר טען שהטבע "כתוב בשפת המתמטיקה", התכוון במפורש לצורות ולגופים הגיאומטריים. ניוטון השתמש בגיאומטריה כדי להוכיח את הקשר שבין חוקי קפלר לבין חוקי המכניקה. המדע של ימינו הוא מדע של נוסחאות, של טקסטים מיוחדים המורכבים מתוויים מיוחדים. כלומר, בנקודה מסוימת, בין ימינו לימי ארכימדס, נוצר מהפך משמעותי בממשק של המתמטיקה, ובעקבותיו גם בממשק המדעי. הטקסט תפס את מקומו המוכר לנו בעולם המדעי, כמדיום העיקרי.

כמובן שמדענים משתמשים בשרטוטים גיאומטריים בעבודותיהם, אלא שאחרי היוונים, בשלב כלשהו, השרטוטים במדע, הפכו לאיורים שממחישים את התוכן הנדון, יותר מאשר מספקים נתונים על התוכן. המדענים היוונים השתמשו בשרטוטים, כאמור, כדי לייצג את הטיעונים שלהם. בפרק 9 ארחיב קמעא את הדיון על תפקיד השרטוטים במדע היווני ובמדע המודרני. כאן אסתפק בקביעה שהמצאת הסמלים המתמטיים והמעבר לשימוש בנוסחאות, הם שפתחו את השער לטקסטים המדעיים המודרניים, ושינוי זה התרחש בימי הביניים, באותה התקופה שהוגי הדעות פיתחו את העיון הביקורתי הטקסטואלי. מה שמעניין הוא שממציאי השימוש בסמלים במתמטיקה, לא היו הוגי-דעות ולא מדענים. היו אלה המעתיקים, שהעתיקו בקפידה את אוצרות העולם העתיק ובעצלנותם לא טרחו לכתוב מילים חוזרות בכל פעם מחדש, אלא קיצרו אותן (נץ ונואל, 2007 : עמ' 116-120).

מי שמכיר את המלל המופיע בטקסט מתמטי, יודע שההתייחסויות אל חלקי המבנה (נקודות וקווים בגיאומטריה ומספרים שונים במצבים חשבוניים), חוזרות מספר רב של פעמים. מי שמעתיק טקסט מתמטי, כאשר הוא מנסה לחסוך זמן, מאמצים וגווילי עור יקרים, חיש מהרה ינסה לקצר את משימתו. מי שמעיין בכתבי היד שנכתבו בימי הביניים, עוד מראשיתם, יגלה נטייה מתמדת להשתמש בקיצורים ובראשי תיבות, כמעט באופן שיטתי (Marcos, 2008). הכותב, ובעיקר המעתיק, יכול לקיצורים שונים וסימנים מיוחדים כדי לייצג את המושאים הנדונים, החוזרים מספר רב של פעמים, בטיעון המתמטי. שוב ושוב, ארכימדס מדבר על נקודה מסוימת במבנה הגיאומטרי, אותו הוא חוקר, והוא ישתמש בביטויים תקינים ביוונית כדי להתייחס אליה: "אותה נקודה", או "הנקודה הנדונה". כאשר המעתיק, שהעתיק כאלף שנה מאוחר יותר את כתב היד של ארכימדס, התעייף מהחזרות הללו והכניס במקומן קיצורים, הוא לא ידע מה הוא גילה בחפשו את האתונות. הוא גילה את הבסיס לאלגברה המודרנית ולשפת המתמטיקה המודרנית.

התיאולוגים של המאות ה-11, ה-12 וה-13 המציאו את העיון הביקורתי הטקסטואלי, ואילו הנזירים העייפים, בני אותה תקופה, המציאו את היסודות הטקסטואליים, שאפשרו ניסוח של תיאוריות, ברורות ומפורשות, הסקת מסקנות מהן ובחינה מדוקדקת של כל אלה.

### סיכום: תפקיד הטקסט בשיטה המדעית

מרוב שימוש בטקסטים במדע, יכול להתקבל הרושם שכל הפעילות המדעית ניתנת לייצוג באמצעות טקסטים. רבים מזהים את המדע עם הנוסחאות, כאילו כל מה שמדען עושה הוא שימוש בנוסחאות. הטקסטים המדעיים, מימי קדם ועד היום, הם רק דרכי תיעוד המתארות צמתים, בהתפתחות המחקר עצמו, ונקודות מיקוד בתיאור תוצאותיו. כאשר מדען מנסח את עבודתו במאמר, הוא לא יכול לייצג בו את הפעולות ה"טראנס-טקסטואליות" (שמעבר לטקסטים) של עבודתו באופן שלם. גם אם ישתתף בכנס ויצג בו את עבודתו באופן מילולי ובמגע ישיר עם עמיתים, חלק חשוב של עבודתו יישאר בלתי-מפורש ובלתי ניתן לניסוח, לא בכתב וגם לא בדיבור. חלק בלתי-מפורש זה מתרחש, אפילו בתהליך של גילוי מסקנות לוגיות משמעותיות של ממצאי המחקר, כי הידע הנדרש לגילוי מסקנות לוגיות אינו יכול להיות ידע מפורש. הוא בדרך כלל מתחיל בניחושים. רק אחרי בדיקתם, הטובים שבהם, שעברו את מבחן הלוגיקה, מוצגים כחלק מממצאי המחקר. כל מי שניסה את כוחו בגילוי הוכחות לטענות כלשהן, יודע שגילוי הוכחה אינו תהליך חשוף. ההוכחה צריכה להיות מפורשת, אבל זה ניתן למימוש רק אחרי גילוייה.

חלק בלתי מפורש אחר של עבודת המדען מתרחש כאשר הוא בוחן תצפיות ובונה פרשנויות עבורן, כדי לקשרן עם התיאוריות המקובלות, ובוודאי הוא, או היא, יעשו זאת כדי להציע

תיאוריה חדשה. לפעולת התגלית הזו, של התיאוריה החדשה, הפילוסופים קראו "אינדוקציה", גם בשל העמדתה כנגד ה"דדוקציה" (ההסקה הלוגית) וגם בשל משמעותה, כהשראה. אינדוקציה היא פרשנות של סדרת ממצאים, המציעה תיאוריה מוכללת עבורם. פרשנות זו, כמו פרשניות אחרות, אינה נוצרת בדרך חשופה ומפורשת.

פיינמן הקדיש בספרו על טבעו של חוק פיסיקלי, פרק שלם לתיאור המורכבות של תהליך הגילוי של חוקי טבע חדשים (Feynman, 1995: pp. 149-173). "עלינו למצוא הסתכלות חדשה על העולם שחייבת להתאים לכל מה שידוע לנו, אבל חייבת שלא להתאים בניבויים שלה בנקודה כלשהי, אחרת היא לא תהיה מעניינת. ובאותה נקודת אי-הסכמה, הסתכלות זו צריכה להתאים עם הטבע... קשה מאד לחשוב על רעיון חדש. זה דורש דמיון פנטסטי." (שם: עמ' 171-172).

כפי שציינתי בפרק הקודם, לפי עדותו של פיינמן, בהרצאתו המפורסמת לבוגרי התואר הראשון, עם סיום לימודיהם באוניברסיטת קלטק, ב-1974, קיים עוד מרכיב לא מפורש שהוא חיוני להתקדמות המדע, והוא צריך לתפקד בהכשרת דורות חדשים של מדענים. הכוונה ליושר מדעי ולחופש לשמור על יושר מדעי, ואלה נלמדים אך ורק "בשיטת הפעפוע" (פיינמן (בעברית), 2006 : פרק 10, עמ' 224).

לפרשנות, לאמונה ולשיקול דעת יש תפקידים נוספים במחקר המדעי. למשל, בדיונים במסקנות הלוגיות הנובעות ממצאי המחקר, המדענים לפעמים חורגים מן הלוגיקה המחייבת, ומגיעים, על-ידי השראה או אינטואיציה, לטענות שאינן נובעות לוגית מהנתונים שיש בידיהם. אפשר להכליל ולומר שכל הדיונים, הנערכים על-ידי מדענים ובין מדענים, הם פעילויות לא טקסטואליות שכאלה. במקרים המוצלחים, פרשניות וניחושים אלה יכולים לשמש כהשערות למחקרים נוספים, ואז בדיעבד, נקרא לפעילות הפרועה הזו, אחרי שנבדקה והצליחה, **חשיבה אינדוקטיבית**. רק דמיון ואינטואיציה יכולים להביא אותנו לרעיונות שמהם נוכל לגלות ולהמציא השערות חדשות. ואולם, כדי שפרשנות תוכל לתפקד כהשערה, היא חייבת להיות מנוסחת באמצעות טקסט, על-מנת שיהיה ניתן להשתמש בה במחקרים חדשים ולבחון אותה.

לכן, כל התקדמות המדע תלויה בפעילות לא טקסטואלית, המיוצגת באמצעות טקסטים על-ידי רמזים ותוצאות בלבד. כמו היצירה המוסיקלית, המיוצגת באמצעות תווים, ביצועה דורש פרשנות ואינטואיציה שאינן כתובות באופן מפורש בתווים, אלא רק ברמזים. המדע אינו יכול להתקדם ללא שימוש רב בטקסטים, אבל אינו יכול להתקדם רק על-ידי שימוש בפעילויות שניתנות לייצוג מלא בטקסטים (Dyson, 2008).

ההכנה, שבוצעה בימי הביניים בסביבות המאה ה-12, להתפתחות השיטה המדעית, התמקדה בפיתוח וקידום השימוש בטקסט, כאמצעי מרכזי ליישום העיון הביקורתי. במעבר אל המחקר המדעי המודרני, של המאות ה-16 וה-17, השימוש בטקסט עבר התמקצעות מיוחדת נוספת. היא הושגה בפיתוח השימוש בשפות הלוגיקה והמתמטיקה, לייצוג טיעונים, לבדיקתם ולעזרה בחשיפת קשרים, שרק באמצעות המתמטיקה, עתירת הסמלים, ניתן לראות אותם. גם בפיתוח הזה, התרומה של סביבות המאה ה-12 היא מרכזית. קיים אפוא מסלול ברור שעובר מהמתודה הביקורתית של האסכולה האינטיבית, דרך הדיאלקטיקה הסכולסטית והעצלנות של מעתיקי כתבי היד של ימי הביניים, ועד למתמטיקה בשירות המחקר המדעי המודרני.