

סקירת ספרות

בפרק הסקירה נבהיר את המושג 'מורכבות' וההתייחסות התיאורטית למושג (Shalizi, 2006) בתחומי מחקר ודעת שונים. בהמשך נסקור את תיאוריית המערכות בזיקתה למורכבות, נתאר את הגישות השונות שהתפתחו על רקע העיסוק בתופעות מורכבות. נפרט צורות החשיבה, הנדרשות להבנת מערכות מורכבות ונתמקד במיומנות של בניית מודלים כחלק מתהליך של הבנה ותפיסה של מורכבות.

מורכבות complexity

השאיפה למצוא חוק פשוט, יסודי, עומדת בלב לבו של המדע (Anderson, 1972) אך היא יוצרת ניגוד בין העולם המורכב לבין ההסבר למורכבותו. תיאוריות שונות מניחות שיש במהות הכל תכונות אחידות ומבניות (Dupr'e, 1995) שנגזרות זו מזו והן בלעדיות (Searl'e, 1997) אך התייחסות זו מביאה להזנחה של המורכבות ולפישוט יתר של תופעות טבעיות (Davies, 2003; Dupr'e, 1995). חשיבה רדוקציונית לא נותנת מענה לכלל התופעות הנצפות ברמת המקרו ומטרת המדע כיום הינה למיין ולהבין תופעות שמתהוות ותכונות שמבצבצות בהתנהגות מורכבת ומותאמת (Laughlin & Pines, 2000).

מורכבות מזוהה עם ריבוי קשרים במערכת, ריבוי תהליכים המתרחשים במקביל, תלות של קשרים ומרכיבים, כשהללו אינם ניתנים להפרדה (Bar-yam, 1997) אך יש להבחין בין מרכיב לחלק (Keirse, 1999). הגדרה אחרת הינה ארגון של מבנים מנותקים במערכת גדולה, בקני מידה שונים אשר מתקיימים במקביל (Garcia et al., 1993; 1999). מורכבות נמצאת בסולם שבין סדר לכאוס. היא מתבטאת בשונות המתקבעת תוך כדי תהליכים והיא איננה רציפה אלא נצפית כמפולת עד לחזרה למצב יציב (Vandewalle & Ausloos, 1999). (Frette et al., 1996) באופן אחר, מורכבות נתפסת כמדד לאקראיות בתוך מערכת סדורה עם גבולות או גדלים קבועים (Chaitian, 1975). הגדרה אחרת מתייחסת למורכבות כמצב מערכתי שבו היחידה הקטנה ביותר נושאת בתוכה שלמות ניגודית שאם וכאשר היא מופרדת נפגע כל השלם (Lanir, 1993).

מורכבות אובייקטיבית ברמת המיקרו תביא להגחה של התנהגות חדשה (Bedau, 1983; 2008). מוצק, נוזל ושקיפות אלו הן דוגמאות לתכונות ומאפייני מערכת שמגיחים (emergent) ושאינם ניתנים להסקה מתכונות מרכיבי המערכת (Searl'e, 1997). התיאוריה מאחורי Emergence¹ מתייחסת לתופעות פיזיקליות, מנטליות ביולוגיות ואנושיות, בעלות עקרונות וארגון שאינם רגישים לרמות המיקרוסקופיות ושלא ניתן להסבירן ברדוקציה.

מורכבות נתפסת כמדד לסדר המבדיל בין מצב קבוע שניתן לניבוי, למצב משתנה במערכת פיזיקאלית. לחילופין, כמידה של חישוביות שניתן לקיימה בכל מדרג אך במידה שונה (Mitchell, Crutchfield & Hraber,).

¹ למושג זה אין פירוש מובהק ומוסכם בעברית. התרגומים שנמצאו הם: התגלות, התהוות, בריאה, בצבץ והגחה

1993). תיאור הסדר, הנובע מקשר אקראי בין מרכיבים, איננו תיאור מספק של מורכבות מכיוון שניתן למצוא סדר באובייקטים פשוטים יחסית כגון גבישים (Thoren & Gerlee, 2010). הקשר בין הייצוג ויכולת הניבוי של המערכת מהווה חלק מהגדרת המורכבות (Fienman, 1960; Dupuy, 2007). מורכבות כתכונה, מעניקה יציבות ועמידות בפני תמורות ויכולת התאמה עד לנקודה מסוימת. בנקודות אלו הרמות מתפרקות והמערכות קורסות או לחילופין מייצרות תכונות חדשות (Dupuy, 2007). פון נוימן (1951) טען כי מורכבות הינה הגברה בנוסח תרמו דינמי כך שמתחת לגבול מסוים מתרחשת רק ירידה בארגון ומעליו המורכבות תגדל. נקודת המעבר במורכבות תמיד תהיה הנקודה שבה המבנה נהייה פשוט ביחס לתיאור התכונות. והיכולת להגדיל את המורכבות זוהי תכונה חיונית לפיתוח מערכות חיים מתפתחות (Von-Neumann, 1951; Dupuy, 2007).

יש המחדדים את המסגרת התיאורטית של המושג במגמה למצוא מכנה משותף כגון, התנהגות אדפטיבית בין מערכות מורכבות מתחומים שונים (Simon, 1962; 1991) או לחילופין מציאת מדד לכימות והערכה של מורכבות. נציין בקצרה מספר שיטות וגישות לכימות מורכבות:

1. עומק לוגי ועומק תרמודינמי- תוכנית מינימאלית (קוד / אלגוריתם) שאחראית לפלט או תוצאה מורכבת. המורכבות מאופיינת על פי התהליך שבו נוצרה ובמידת האנטרופיה (Bennett, 1995, 2003)
2. מגוון צרכים וספציפיות- תאים מתמחים (כגון, "מוח" של נמטודה) שלא עברו שינוי נחשבים מורכבים (Helmstaedter, 2014)
3. מידת הרעש ומקור ההפרעה שבתופעה- זיהוי מצבים כגון התארגנות עצמית קריטית, קטסטרופות ואטרקטורים (Bennett, 1995; Wolfram, 1985)
4. ריבוי רמות וויסות עצמאי- יצירת קשרים בין היחידות מעלה את המורכבות (Yokobayashi et al., 2003; Angenent et al., 2004).
5. אילוצים וניגודים- אילוצים וקונפליקטים שהמערכת מכילה (Kauffman, 1996; Kuipers, 1986; Edmonds, 1995)

תיאוריות שונות מתייחסות למורכבות בהלימה לפרדיגמה שלהן. למשל, תיאורית המערכות הדינמיות מתייחסת למורכבות על פי התהליכים והמנגנונים שבה ואילו תיאוריית הידע לפי מידת המידע המאוחסן בתוכנית האב של המערכת (Bennett, 1995; Adami et al., 2000; Adami, 2002) חלק מהתיאוריות והרעיונות הללו מוצגים בטבלה 1.

מודל מדעי-הגישה הכמותית

מודל מדעי שעוסק בפלישת המדוזות ומחולק לשלושה פרגמנטים (תהליכים) שבמרכזם משתני מצב: מדוזות, מזון ודגים. בין המזון לדגים ובין המזון למדוזות יש זרמים ישירים כלומר, דג מהווה יחידה ממשית של המזון. במודל ניתן לזהות שני מעגלי משוב בין הדגים למזון ובין המזון החדש לשאריות, כשהמדוזות מהוות ציר משני במעגלים הללו. יש התייחסות ברורה לקצב השנוי ולקשר שבין השנויים הללו למצבי איזון.

"ומכיוון שנשבר האיזון, נכנסנו לתהליך כזה שכל פעם מגדיל את ההפרש בין קצב התמותה של המדוזה לקצב הילודה שלה ולכן הכמות שלהם גדלה יותר ויותר"

יש הסתכלות ומעבר בין הרמות ממבט על המערכת למרכיב ובחזרה, ויש סיבתיות רב-מימדית ומעגלית. המודל מנסה לתאר את מחזורי הילודה השונים באוכלוסייה בתור ערך אחד ושילוב תכונות של מרכיב בודד כחלק מתאור האוכלוסייה. ערכי ההתחלה מייצגים מעבר מממוצע או סך כמייצג אוכלוסייה לאחד אקראי שמייצג אוכלוסייה (נלקח ממודל לדוגמה, שמתאר התרבות של צבאים בטבע).

"מכיוון שלא ניתן לעשות הפרדה בין המדוזות שהיו מלכתחילה לבין המדוזות שנוספו במהלך הילודה, לכן בחרתי לפנות לתנאי התחלה של מדוזה אחת (זמן חיים למשל) ולראות כיצד הכמות משתנה". המודל מנסה להגדיר בנקודת זמן מצב שבו האוכלוסייה היא לא אחידה למשל צעירים ומבוגרים יחד וערך "ממוצע" של אורך חיים למשל, לא עונה על הבעיה. לכן, יש שמוש בתאור האוכלוסייה כסטנדרט של יחידה אחת. בתרחיש הראשון ערכי המזון והאוכלוסייה גבוהים ואין תלות של המדוזות במזון. התרחיש מייצר גרף מעניין שבו יש שלוש נקודות שוויון של ערכים והתאפסות המזון מתרחשת מוקדם מדי ביחס להתרבות של המדוזות (מה שנתפס כלא הגיוני). בגרף השני (גרף 2), הגדירה את כל ערכי ההתחלה כ-1 וקיבלה נקודת שוויון אחת בין הדגים למדוזות עם עקומות זיגזג לא רציפות והתאפסות כמעט מקבילה של המזון והדגים וזאת בהשוואה לעליה במדוזות (אקווילבריום שאינו ליניארי). לפי הרושם הכללי, ההתנהגות שמתקבלת דומה לזו שבתרחיש הראשון אבל היא מציגה גם גלים ולכן יש בה יותר נקודות של משיכה ודחייה מאשר במודל הראשון. הגרף השני הוא סימולציה לאותם ערכי משתנים, אך יש בו הטמעה של התלות במזון ולמרות זאת, היא קבלה את אותה התנהגות שזיהתה כלא הגיונית. כלומר, שהמערכת מתנהגת כפי שהיא מתנהגת לאו דווקא בגלל המדוזות או הקשר של המדוזות עם המזון.