

## ננוקראפט: דומם בתנועה\*

– שלומית באומן

השינויים הטכנולוגיים המתרחשים בתקופתנו משפיעים במידה ניכרת על תחומי העיצוב והקראפט מבחינות רבות. תוצאת המעבר ממיכון ותיעוש לדיגיטציה של תהליכי הייצור של חפצי קראפט מתבטאת בשינויים בשפה הצורנית ובשורה של הנחות יסוד בנוגע לקראפט, בכל הנוגע לשימוש בחומרים ולתהליכי עבודה. נוסף על כך, הננוטכנולוגיה, הביולוגיה הסינתטית והאפשרויות הגלומות במעבדת המחקר ישפיעו אף הן במידה ניכרת על התרבות החומרית ועל הבנתנו את תחומי הקראפט השונים. פוטנציאל ההיבטים הדינמיים של הננוטכנולוגיה, אשר יתבטאו במיזוג בין החומרי, המכני והמדומה, ידרשו מיוצרים ראייה שונה בעלת יכולת שינוי וגמישות באופן אחר מהמוכר. כל אלו יוכלו להיות מגולמים במציאות משתנה ובאובייקט בעל יכולת אבולוציה משלו. מהי ננוטכנולוגיה וכיצד היא תתבטא בתחומי העיצוב והקראפט? מהי משמעותה החדשה של חכמת ידיים? האם ייתכן מקום לקדר או לצורף כשותף לצוותי מחקר ופיתוח (R&D) במעבדות המחקר? כיצב ישתנו תחומי העיצוב והקראפט?

**שלומית באומן**, אמנית, מעצבת קרמיקה, מחנכת וחוקרת תרבות חומרית. בעלת תואר שני (MSc) במסלול לעיצוב תעשייתי, הפקולטה לאדריכלות ובינוי ערים, הטכניון, חיפה. מרצה בכירה בפקולטה לעיצוב, המחלקה לעיצוב תעשייתי, HIT – מכון טכנולוגי חולון; אוצרת הגלריות בבית בנימיני, מרכז לקרמיקה עכשווית.

\* מאמר זה מבוסס על מחקר שערכתי במסגרת לימודי MSc, במסלול לעיצוב תעשייתי בפקולטה לאדריכלות ובינוי ערים, הטכניון, חיפה, בהנחייתן המלומדת והמעשירה של פרופ"ח נעמי ביטרמן (עיצוב תעשייתי, הפקולטה לאדריכלות ותכנון ערים) ופרופ"ח גיטי פריי (הנדסת חומרים), הטכניון, חיפה. במחקר נבדקה נקודת מבטם של מעצבים, מהנדסים ומתכננים בכירים בישראל, נשים וגברים, בנוגע ליחסי הגומלין בין ננוטכנולוגיה לעיצוב.

תמונה 1:

מריקה רטסמה וקוסטיקה  
ספאהו, (Mariëka Ratsma and  
Kostika Spaho), ביומימיקרי  
באופנה, 2011, הדפסת  
תלת־ממד



עם התגבשותו של תחום העיצוב כשדה פעולה עצמאי, התגבשה גם החשיבה התאורטית-היסטורית שלו. בסוף שנות השבעים של המאה העשרים תואר העיצוב על ידי ההיסטוריון האנגלי ג'ון בלייק (John Blake) כ"הקפאה של רעיונות [...] לא רק נספח של היסטוריה של האומנות, היסטוריה של אדריכלות, היסטוריה של טכנולוגיה" – אלא כ"אינטגרציה בין כל אלו". ספרות נרחבת בודקת את התפתחותו של העיצוב על פי סיווגים שונים, כהמשך של המסורת של המאה ה-19, המחלקת תחומים לפי קטגוריות: הנדסיים, ארגונומיים וסימבוליים. ואולם, תחום העיצוב הוא תחום המשתנה במהותו, ומכאן הקושי בהמשגתו.<sup>3</sup> דוגמאות להתלבטויות בנוגע ליתרונותיהם וחסרונותיהם של שינויים טכנולוגיים ניתן למצוא בתרבויות רבות, ובתקופות מגוונות. לדוגמה, מורס, שהיה האחראי העיקרי לשידור החשמלי הציבורי הראשון שנשלח אי פעם על כדור הארץ – היה לו מושג קלוש ביותר לאן תוליך המצאה זו, אם כי, ייאמר לזכותו, שהוא הכיר בבורותו כבר בשידורו החשמלי המוצפן הראשון. מילותיו היו: "מה עוללת לנו אלוהים?". לאחר הצלחת השידור מלב ים, עם חזרתו בספינה אל החוף, הוא כינס מסיבת עיתונאים ובה הסביר בהתלהבות כי באמצעות הטלגרף יוכל אדם במיין לשלוח כהרף עין הודעה לאדם בטקסס. ת'ורו (סופר ופילוסוף אמריקני) אשר נכח במאורע שאל מיד: "אבל מה יש להם לומר איש לרעהו?".<sup>4</sup> מורס הציע רעיונות שהתבטאו בטכנולוגיה, כלומר, היו נעלמים מן העין, ולפיכך מעולם לא עוררו שום ויכוח. הנחת היסוד הייתה כי הטלגרף הוא אמצעי העברה ניטרלי, שאינו נוטה להשקפת עולם משלו.

כיום אנו מבינים כי ההשפעות של פיתוחים טכנולוגיים על תפיסת עולמנו הן מרחיקות לכת וכי המהפכות הטכנולוגיות המתרחשות שוב ושוב משנות מאוד את חיינו, תודעתנו ואת הדרך שבה אנו מפרשים את העולם. במקום "The Medium is the Massage", ניתן לומר: "Technology is the massage".<sup>5</sup> דוגמה נוספת מופיעה בכתבי אפלטון, **שלוש שיחות על ידידות ואהבה**,<sup>6</sup> ובהן סוקרטס מספר לידידו פידרוס על תמוז, המלך של עיר גדולה במצרים העליונה, המארח את האל תיות – אל מצרי שלפי האמונה המציא את המספרים, החשבון, הגאומטריה, האסטרונומיה והכתב. בשיחתם, תיות מנסה לשכנע את תמוז כי

**ננו, ביו, סינתטי: הקדמה או הבטחות חדשות ישנות**

בשנים האחרונות, פיתוחים טכנולוגיים חדשים כמו ננוטכנולוגיה, ביוטכנולוגיה, ביומימיקרי וביוולוגיה סינתטית מביאים עמם הבטחה לשינוי מהותי של הנחות יסוד בנוגע לחומרים ולתהליכי העבודה בהם, לכלים חדשים לפתרון שאלות עיצוביות ולהבניית תפיסה חדשה של התרבות החומרית הן בקרב יוצרים הן בקרב צרכנים. מה תהיה שפת העיצוב של טכנולוגיות חדשות אלו? כיצד תשתנה הדרך שבה אנו מתבוננים בעולם וחווים אותו? אילו פרדיגמות יתפתחו בעטין של הטכנולוגיות החדשות? נראה כי השאלה אם טכנולוגיה מסוימת תתרום לתרבות או תנוון אותה הפכה לאנכרוניסטית. במובן זה, הביסה הטכנולוגיה את התרבות. אי לכך, נותר לנו לשאול, מה תפקידם של מעצבים ויוצרי קראפט כסוכני תיווך בין האדם ובין טכנולוגיות חדשות. (תמונה 1)

ספרו של ויטרוביוס, **עשרה ספרים על ארכיטקטורה** (De architectura libri decem) הוא הטקסט הידוע הראשון המנסח את עקרונות העיצוב והתכנון. ויטרוביוס אמן, אדריכל ומהנדס רומאי (80 לפנה"ס – 10 לספירה) – משרטט בספריו את עקרונות היסוד של פעולת המעצב או המתכנן. לפיו, פעולת העיצוב כוללת שלוש מטרות: חוזק (strength), שימושיות (functionality) ויופי (beauty). לראשונה הופיע המונח "עיצוב תעשייתי" במחצית המאה ה-19, עם הטמעתה של המהפכה התעשייתית. מהפכה טכנולוגית זו הניבה מפגני ענק של שילוב בין שפת עיצוב חדשה ליכולת טכנולוגית, שנועדו לחשוף את הישגיה של התקופה מבחינת המחקר ההנדסי, המדעי והחומרי. הישגים אלו התבטאו בתערובות בין-לאומיות גדולות של עיצוב וטכנולוגיה, בכתבי עת שהוקדשו לנושא (Journal of Design) ובמבנים אדריכליים המשקפים שינויים טכנולוגיים וחשיבה תכנונית חדשה (מגדל אייפל, Crystal Palace וכו'). על פניו, נראה כי העקרונות שניסח ויטרוביוס, למעשה, הניחו את היסודות לבאהאוס ולמודרניזם, שהתפתחו בעקבות המהפכה התעשייתית, וניכרים בהם חשיבה חברתית כוללת, חסכוניות חומרית, שימוש בטכנולוגיות חדשות (כולל שימוש בתהליכי ייצור תעשייתיים ובחומרים חדשים) ושילובן בשפה הצורנית החדשה.<sup>1</sup>

במהלך המאה העשרים השתרש תפקידם של מעצבים בתרבות המערבית כמתווכים בין האדם לבין הסביבה החומרית שהוא חי בה: מעצבים השתלבו בתעשיות מגוונות, אקדמיות פתחו מסלולים ללימודי עיצוב ובמוזאוניים הגדולים נוסדו מחלקות לעיצוב או הוקמו מוזאוניים לעיצוב.<sup>2</sup>

1. Bernard E. Bürdek, *Design History: Theory and Practice of Product Design*, Bessel: Birkhäuser, 2005.  
2. Louise Schouwenberg and Gert Staal, *House of Concepts: Design Academy Eindhoven*, Frame Publishers, 2007.

3. Victor Margolin, *Design History And Design Studies*, Hazel Clark and David Brody (eds.), New York: Berg, 2009.  
4. ניל פוסטמן (1931-2003), תאורטיקן וחוקר תרבות שהתמקד ביחסי הגומלין בין טכנולוגיה, תקשורת ותרבות באופן ביקורתי. גישתו משתקפת בספריו ובמחקריו, בהם הספרים **בידור עד מוות** (1985) **אבדן הילדות** (1986), **קץ החינוך** (1998) ו**טכנופולין** (2003), שתורגמו לעברית ויצאו לאור בהוצאת ספריית פועלים.  
5. פרפראזה למשפט המפורסם של מארשל מקלוהאן, ראו: Marshall McLuhan, *Understanding Media, The Extention of Man*, New York: Mentor, 1964.  
6. אפלטון, **שלוש שיחות על ידידות ואהבה: ליסיס, המשתה, פידרוס, שוקן**, 1976.

סוגיות אלו הן הרקע למאמר זה, שבו אתמקד ביחסי הגומלין בין ננוטכנולוגיה לעיצוב. מהו השינוי הצפוי ביחסי הגומלין בין ננוטכנולוגיה לתחום העיצוב והקראפט לעומת טכנולוגיות קודמות? מה יכולה להיות תרומתם של מעצבים ויוצרי קראפט לפיתוח טכנולוגיות חדשות?

### ננוטכנולוגיה: פלא קטן ביותר

ננוטכנולוגיה היא מידת גודל. ננומטר הוא מיליארדית המטר ( $1\text{nm}=10^{-9}$ ). כלומר, מידה שאינה נראית לעין ואינה ניתנת לחישה ביד (להמחשה: כ־1 חלקי 50,000 מקוטרה של שערה). המידה 1 ננומטר מציינת, פחות או יותר, מידת גודל שבין חלבונים למולקולות. כלומר, ננוטכנולוגיה היא כינוי לפעולה כלשהי המיושמת בקנה מידה 'ננו' ("ננו": ננס בלטינית). קנה המידה הננוטכנולוגי מאפשר ליצור מניפולציות במולקולות ובאטומים כיחידות המשולות לאותיות, שההרכבים השונים שלהן יוצרים מילים חדשות.<sup>15</sup> באמצעות מניפולציות ניתן לפתח חומרים חדשים או תכונות חדשות לחומרים מוכרים.

משמעותה של הננוטכנולוגיה היא אפשרות השליטה במרכיב הקטן ביותר ביקום, חלקיק שאינו ניתן לראייה בלתי אמצעית, שבעזרת מניפולציות שונות ניתן לבנות בו, לפתח ולייצר מחדש כמעט כל דבר.<sup>14</sup> לפיכך, ובשל נטייתה של התרבות לשאוב את סמכותה מן הטכנולוגיה, הננוטכנולוגיה מסומנת כהבטחה גדולה מאוד הנוגעת לכל תחומי החיים (חומרים חדשים, רפואה, קיימות, ביטחון וכד').<sup>16</sup> בשנת 1959, הפנה הפיזיקאי זוכה פרס נובל ריצ'ארד פיינמן את תשומת לבו של הקהילה המדעית לגדלים הקטנים, באמרו: "יש הרבה מקום שם למטה".<sup>16</sup> כך החל מסע מרתק של בחינת עולמות מורכבים בגדלים הקטנים. אחד הגילויים הננוטכנולוגיים הראשונים בשנות השמונים של המאה העשרים היה כי חומרים משנים תכונותיהם בגדלים זעירים. לדוגמה, נקודות קוונטיות (quantum dots) הן חלקיקי חומר שונים בגודל ננומטרי, מוליכים למחצה, שהתגלו, בין השאר,



**תמונות 2, 3, 4:** אורנמנט כנשא של ידע דיגיטלי. משמאל: יניב ועדי שריג, אגרטל, 2011 מימין: שני פריימים מסרט ב־YouTube המתעד את תהליך ייצורו של האגרטל במפעל בווייטנאם. ה־QR CODE, המודפס כאורנמנט על האגרטל, מפנה אל הסרט

לימוד האותיות יקנה חכמה וזיכרון לנתיניו. תמוז דוחה את הטענה מכול וכול, וגורס כי לימוד הכתב יפגע בזיכרוןם של הלומדים אותו ויהפוך אותם לחכמים לכאורה ולא לחכמים באמת.<sup>7</sup> אם כן, הדיון על יתרונותיה וחסרונותיה של טכנולוגיה חדשה אינו חדש כלל ועיקר; דיון זה מלווה שינויים טכנולוגיים בעת התהוותם בכל פעם מחדש, בניסיון תבוני להתבונן ולהגדיר את מערכת היחסים בין שינויים אלו להשפעותיהם

על החברה. המונח "מהפכה טכנולוגית" רווח זמן רב לפני המהפכה התעשייתית, מבלי שזכה להגדרה אחת ברורה.<sup>8</sup> מונח זה מציינ שינוי מערכתי בתחומים רבים של החיים, המתחוללים בפרק זמן קצר יחסית (שינויים טכנולוגיים, דמוגרפיים, כלכליים ותרבותיים). ואולם יש לזכור, כי כל מהפכה טכנולוגית תלויה גם בתנאים היסטוריים ייחודיים המביאים להתרחשותה.<sup>9</sup> במהלך המהפכה התעשייתית פותחה טכנולוגיה שאפשרה מיכון, התעצמות של השתלטות האדם על הטבע ויישום פרויקטים מרשימים ביותר מבחינת ההיקף והגודל ("הכי גבוה", "הכי חזק" וכו'). המהפכה הדיגיטלית התמקדה בבניית סביבה מטפורית מדומה, והביאה עמה את מהפכת המידע, את המטריקס המטשטש בין המדומה לממשי.<sup>10</sup> שתי מהפכות טכנולוגיות אלו יצרו שפה חדשה של תכנון ועיצוב, המאפיינת את הכלים שפותחו על ידי הסוכנים המרכזיים שפעלו בהן: מהנדסים ומתכננים, מתכנתים ומעצבים.<sup>11</sup> יניב ועדי שריג מדגימים שפה חדשה של קראפט בהשראת המדיה הדיגיטלית: העבודה **אגרטל** (2011) מדגימה את המשמעויות החדשות של האורנמנט כנושא ידע באמצעות סריקת הקוד המודפס (QR Code) על אגרטל זול מיובא. הקוד מפנה לסרט המתאר את תהליך ייצורו של האגרטל במפעל בווייטנאם.<sup>12</sup> (תמונות 2, 3, 4)

7. שם.

8. Carl Mitcham, *Thinking through Technology: the Path between Engineering and Philosophy*, Chicago: The University of Chicago Press, 1994

9. Thomas S. Ashton, *The Industrial Revolution, 1760-1830, USA: Oxford University Press, 1964*. ספרו החשוב של אשטון מרחיב על התנאים להתהוותה של המהפכה התעשייתית ועל מאפייניה.

10. סלבו זיזיק, *מטריקס - האחר הגדול והמציאות הוירטואלית*, תל אביב: רסלינג, 2003.

11. Branko Kolarovic, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, New York & London: Spon Press - Taylor & Francis Group, 2003

12. העבודה הוצגה בביאנלה ה־6 לקרמיקה ישראלית, עיצוב קרמי: כלים טכנו. לוגיים, אוצרת: שלומית באומן. מוזאון ארץ ישראל, תל אביב, צלם: ליאוניד-פדרול קביטקובסקי © מוזאון ארץ ישראל, תל אביב.

13. תודות לד"ר עמוס בר־דע (HIT), על המטפורה המדויקת.

14. Eric Drexler, *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*, New York: Anchor Books, 1986. אריק דרקסלר פעל (ועדיין פועל) להכרה בפוטנציאל הטמון בננוטכנולוגיה. הוא ליווה את תהליך הפיכתה של הננוטכנולוגיה למדע מוכר ומועדף על ידי ממשלת ארצות הברית. כמו כן, הקים את מכון פורטייט' לקידום הננוטכנולוגיה, ראו: <http://www.foresight.org>

15. מעניין ביותר לבחון את פעילות הרשות הלאומית לננוטכנולוגיה (ארצות הברית). הנתונים באתר מצביעים על הגיון של נושאי המחקר המשיקים לטכנולוגיה זו ומשקפים את סדר הגודל של התקציבים המוקצים לה (NNI), ראו: <http://www.nano.gov/node/1071>. גם בישראל פועלת רשות לאומית למחקר ננוטכנולוגי (<http://www.nanoisrael.org> / INNI)

16. Richard P. Feynman, "There's Plenty of Room at the Bottom", December 1959, <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>

כפולטי אור (חלקיקים אלו משמשים במכשירים רפואיים, בנורות לד (LED), בתאים סולריים ובעוד יישומים). נוסף על תכונות חדשות של חומרים מוכרים בגודל ננומטרי, הנוטכנולוגיה מאפשרת ניצול של הקשרים הספונטניים של מולקולות (קשרים כימיים), המאפשר בניית ננו של מבנים תלת-ממדיים בדומה למבנה הדנ"א.

תכונה אחרת המאפיינת את הנוטכנולוגיה היא הרכבה עצמית (self-assembly) של מולקולות ואטומים: הקשרים הספונטניים ביניהם מאפשרים גישה חדשה של הרכבה עצמית בבניית ננו-מבנים תלת-ממדיים, ננו-מנועים וכד'. כלומר, חומרים בעלי יכולת לבנות ולפרק את עצמם מספר רב של פעמים על פי אפליקציות נדרשות.<sup>17</sup> דוגמה לננו-חומר שנוצר באמצעות מניפולציות על אטומים בודדים ומולקולות, על ידי ניתוקם מפני השטח והזזתם ממקום למקום היא הגרפן, יריעה חומרית דו-ממדית של אטומי פחמן המסודרים בצורת משושים כמו בכורת, בעובי של שכבה אטומית אחת, המאופיינת בחוזק רב ובקלות יוצאת דופן. על מנת להצליח לראות ולבנות ננו-מבנים וננו-חומרים, בד בבד עם המחקר הנוטכנולוגי מתפתחות מערכות המאפשרות לראות וליצור מניפולציות בקנה מידה קטן כמו מערכות מיקרו/ננו אלקטרו-מכניות (MEMS/NEMS). מערכות אלו כוללת מכשירים כגון חיישנים, מנועים, מעבדים, מערכות אופטי-אלקטרוניות, מערכות מיקרו-פלאוידיות (מערכות המאפשרות שליטה על נוזלים בממדים זעירים) ומיקרו-מערכות (מערכות זעירות) מגוונות המאפשרות אינטגרציה בין מגוון פעולות רצויות. הנוטכנולוגיה מגדירה מחדש מושגים של חשיבה ופעולה ויוצרת סינתזה וחפיפה ביניהם: (1) מלמטה למעלה (Bottom Up) – כינוי לתהליך פיזי ומטפורי של מעבר מיחידת הבסיס למבנה: מן הפרט אל הכלל. מבחינת הנוטכנולוגיה, זו אפשרות של בנייה וצירוף של יחידות קטנות באמצעות קשרים כימיים וחשמליים, מולקולה אחרי מולקולה, על מנת ליצור תהליך בנייה מהקטן לגדול, מיחידת היסוד אל השלם. (2) מלמעלה למטה (Top Down) – תהליך פיזי ומטפורי של מעבר מגדול וכללי לקטן ופרטי. אם כן, ניתן להסיק שהנוטכנולוגיה היא למעשה מכלול של יישומים ואינטגרציה ביניהם. לדוגמה, ברפואה, הטכנולוגיה החדשה משנה שיטות אבחון, התאמת תרופות אישית ולא גנרית ("One Medicine to One DNA"), מאפשרת ניתוחים מרחוק וטיפול חירום מותאמים לסוג הפגיעה, פיתוח והטמעה של התקנים ביוקומפטיביים (הנטמעים בגוף ללא דחייה) הולכים ומתקדמים בגוף האדם. כמו כן, מתרחש מזעור של התקנים לאיסוף מידע ואחסונו, שינוי במתודות

של חקר החלל (חלליות ננומטריות ומעלית לחלל), שינויים בתחום משק האנרגיה (שינויים בשיטות להפקת אנרגיה, שימור אנרגיה ואגירתה), מודלים לחיזוי אקלים ופיתוח חומרים חדשים וחכמים.<sup>18</sup>

למרות ההתמקדות של הקהילה המדעית בטכנולוגיות מגוונות כמו הדפסה תלת-ממדית לסוגיה, ביוטכנולוגיה (התערבויות טכנולוגיות באורגניזמים חיים), ביומימיקרי (טכנולוגיה המפתחת מערכות או חומרים חדשים בהשראת תופעות מהטבע) וביו-לוגיה סינתטית (טכנולוגיה המאפשרת עיבוד ופיתוח של אורגניזמים באמצעים דיגיטליים) – הנוטכנולוגיה נתפסת אצל רבים כמהפכה הטכנולוגית הבאה, שרמזים של אותותיה כבר ניכרים בחיי היום-יום. מהפכה זו מתרחשת במעבדות המחקר ברגעים אלו ממש, ובשנים הקרובות היא תשפיעה במידה ניכרת על תחומים רבים בחיינו. המטפורה הרווחת בספרות המקצועית של המהפכה הנוטכנולוגית היא לא פחות מ"מעשה הבריאה" – בריאה של תהליכים, אסטרטגיות עבודה, כלי עבודה, חומרים, תכונות ומאפיינים.

### עיצוב, קראפט: חומרים חכמים חומרים טיפשים

בספריית החומרים החשובה Material ConnecXion, ניו יורק, ארה"ב, מדי חודש בחודשו מכיזים על למעלה מארבעים חומרים חדשים.<sup>19</sup> חלק ניכר מחומרים אלו הוא תוצר של מחקר ופיתוח ננוטכנולוגיים. אי לכך, פיתוח חומרים חדשים, חומרים חכמים ונגזרותיהם, נמצא בלב ההתעניינות בהקשר של עיצוב וקראפט. חומרים אלו נגישים למעצבים ולאנשי קראפט באמצעות ספריות חומרים למיניהן, אך לעת עתה הם תופסים חלק קטן מאוד ברפרטואר החומרים שהם משתמשים בהם. המאפיינים העיקריים של חומרים ננוטכנולוגיים הם חוזק רב יותר, קלות מרבית וקשיחות; כמו כן הם בעלי יכולת הרכבה עצמית, שכפול עצמי, תיקון עצמי ומחזור עצמי.<sup>20</sup> פיתוח חומרים חדשים בכלים ננוטכנולוגיים מאפשר לבחון מחדש פיתוח אסטרטגיות עבודה בחומר ויצירת חפצים בהתאמה לטכנולוגיות חדשות. דוגמה מוכרת של חומר ננוטכנולוגי-ביומימיקרי חדש היא ציפוי הידרופובי (חומר דוחה נוזלים) שפותח בהשראת ניתוח צורני של עלי צמח הלוטוס. עלים אלו מכוסים בבליטות ננומטריות המקטינות את שטח המגע עם הנוזל למינימום האפשרי.

18. להרחבה על ננוטכנולוגיה, ראו: Bhushan Baharat, *Handbook of Nano-technology*, Bhushan Baharat [ed.], Springer, 2004; Horst G. Rubahn, *Basics of Nanotechnology*, Wiley-VCH, 2006

19. ראו: <http://www.materialconnexion.com>

20. Thorsten Klooster, *Smart Surfaces and their application in Architecture and Design*, Basel-Boston-Berlin: Birkhäuser, 2009

התוצאה היא החלקה של טיפות מים ואבק משטח הפנים של העלה. חיקוי של פני שטח העלה לצורך פיתוח חומר ננוטכנולוגי לציפוי משטחים נתונים, מונע ממים או מחלקיקי אבק להיצמד אליהם. חומר זה ממחיש את יכולות הפיתוח של חומרים חדשים באמצעות ננוטכנולוגיה. דוגמה נוספת היא חומר בשם אירוג'ל (Aerogel) – חומר אוורירי, חזק, שקוף, מבודד חום, מבודד אקוסטי, סופח רעלנים, מפלטר ומשמש כ"לוכד" חומרים עבור מחקרים בחלל.<sup>21</sup> [תמונה 5]



**תמונה 5:** אירוג'ל (Aerogel): חומר בעל תכונות חומריות חדשות. מימין: אירוג'ל כמבודד חום. משמאל: המחשת חוזק: לבנת אירוג'ל שמשקלה 2.5 גרם נושאת לבנת אבן שמשקלה 2.5 ק"ג, הנראית כמרחפת. באדיבות NASA/JPL-Caltech

דוגמאות אלו ואחרות מעלות שאלות חשובות ורלוונטיות, שאמורות להעסיק אנשי העיצוב והקראפט: מהו חומר? איזו תרבות חומרית תתפתח בשנים הקרובות? מה אנו יודעים על ננוטכנולוגיה ועל ההיבטים המגוונים של השפעתה על העיצוב ועל הקראפט? מה יכולה להיות השפעת העיצוב והקראפט על הננוטכנולוגיה? האם חומרים, כלים ואסטרטגיות יהיו חכמים יותר אם יעוצבו על ידי מעצבים ויוצרי קראפט למיניהם? האם ייטיבו עם המשתמש ויתרמו לאיכות חייו וסביבתו החומרית? מה תפקידם של המעצבים ויוצרי הקראפט במהלך שינוי זה? האם מעצבים ויוצרי קראפט ימשיכו להתייחס לכלי העבודה ולחומרים שברשותם כמהלכים ב"סופרמרקט" של אפשרויות משתנות ובחרים במה להשתמש, או שיהיו לגורם משמעותי המעצב אסטרטגיות, כלים וחומרים חדשים? האם יוכלו להיות חלק אינטגרלי מצוותי פיתוח של חומרים וכלים ננוטכנולוגיים?

### אינטואיציות חומריות חדשות, תהליכים לא־מוכרים: מסטטי לדינמי

המאפיינים הכלליים ביחסי הגומלין בין עיצוב לננוטכנולוגיה מצביעים על מקסום שליטה בחומרים ובתהליכים חומריים, על ניצול יעיל מאוד של מקורות אנרגיה ועל יכולת התאמה מדויקת לצרכים ולחללים ייעודיים (costume made). מאפיין חשוב הוא שינוי החומר המוכר והפיכתו לדינמי, גמיש ומשתנה. משמעות הדבר היא כי יחול שינוי מהותי במעבר מעולם חפצים סטטי לעולם דינמי, אשר יתבטא

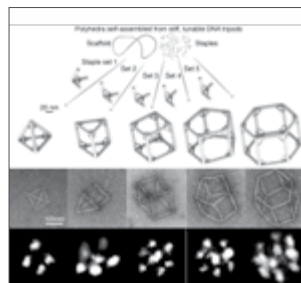
באמצעות התמזגות בין חומר, גוף ומדיה דיגיטלית ובין אור לחומר (או במילים אחרות: תתחזק המגמה הקיימת של מיזוג בין החומרי, החי, המכני והמדומה).<sup>22</sup> בהקשר זה, אחד השינויים הניכרים המתבטא באופן מוחשי בייצור/יצירת חפצים הוא מזעור גודל האובייקט ושיפור ניכר ביעילותן של מערכות מורכבות, או לחלופין טשטוש הגבולות בין חי לדומם ובין דינמי לסטטי. חפץ או חומר ייתפסו מלכתחילה כ"ענן פוטנציאלי של מולקולות", הקורא למרחב קונספטואלי חדש אשר מבטל את הדיכוטומיות בין "חי" ל"דומם", בין "טבעי" ל"תרבותי".

לדוגמה, פרויקט ה־flyfire ממחיש מצבי השתנות בחומר, בחלל ובזמן. בפרויקט זה מרחפות בחלל (פנים או חוץ) נורות לד הנשלטות על ידי מחשב ומשנות בהתאמה את צבען ומיקומן. טכנולוגיה זו מאפשרת השתנות של דימוי, הנוצרת על ידי שינוי מקומן של נורות ה־LED במרחב אחד ביחס למשנהו במהלך זמן נתון. "ריחופן" של הנורות באוויר באופן עצמאי מיתר את קיומו של מוניטור כלשהו. כלומר, מופע נורות ה־LED הוא חסר פורמט, תלת־ממדי ומשתנה בזמן.<sup>23</sup> [תמונה 6]



**תמונה 6:** flyfire, 2010, The MIT Senseable City Lab

עוד מכלול מאפיינים חשוב הנובע מתכונות הננוטכנולוגיה, אשר ישפיע על תהליכים בעיצוב ובקראפט, הוא שיטות בנייה חדשות (self assembly / bottom up) אשר ישנו את אסטרטגיית העיצוב ויאפשרו אסטרטגיה של בניית חפץ שנקודת המוצא שלה היא תא או מולקולה, המתפתחים בשיטות בנייה מתקדמות אל השלם באמצעות הרכבה עצמית של מולקולות.<sup>24</sup> [תמונה 7]



**תמונה 7:** DNA Origami, בנייה עצמית (Self Assembly) של מבנים תלת ממדיים באמצעות קשרים כימיים, Wyss Institute at Harvard University

אחד ההיבטים המרתקים ביותר ביחסי הגומלין בין ננוטכנולוגיה לעיצוב ולקראפט הוא פיתוח חומרים חדשים במעבדות החומרים והשינויים החומריים הנובעים מהם. חומרים חדשים אלו הם בעלי מאפיינים לא־מוכרים שנובעת מהם אינטואיציה חומרית חדשה.

22. להרחבה, ראו: ריי קורצווייל, עידן המכונות החושבות, אור יהודה: כנרת זמורה ביתן, 2001.

23. ראו: <http://senseable.mit.edu/flyfire>

24. ראו: <http://www.kurzweilai.net/largest-sturdiest-self-assembling-dna-cages-built#!prettyPhoto>. עד כה, הבנייה העצמית הגדולה ביותר של דניא נוצרה בתגובה לתנאי סביבה משתנים ובאינטואיציה חומרית חדשה.

21. טכונות החלל האמריקנית היא חלוצה בפיתוח חומרים ותהליכים חדשניים, ראו: NASA FAQ'S, September 29, 2005, <http://stardust.jpl.nasa.gov/overview/faq.html#aerogel>



**תמונה 8:** מארק צולה, *Sake Set*, 2011, קורונדום, 1750°C, גובה: 22-3 ס"מ



**תמונה 9:** טובי קרידג', *Biojewellery*, 2007, Biojewellery – Tobie Kerridge, Nikki Stott, Ian Thompson; 2006

המשמש ליצירת שתלים הנטמעים בגוף, ואולם השימוש הייחודי בטבעות המכילות תאי עצם מצריך פיתוח ייחודי. (תמונה 9)

לכאורה, נראה כי הנוטכנולוגיה, שהמטפורה שלה היא "מעשה הבריאה", מאפשרת (בפוטנציה לפחות) למעצבים סוג של "דף חלק" (tabula rasa). זאת, לעומת הגישה שלפיה, חומרים וכלי עבודה קיימים ב"סופרמרקט של חומרים וטכנולוגיות", המשתרע בין סדנאות העבודה בסטודיו לטכנולוגיות קיימות ולתעשיות שונות, ובין מחסנים של חומרי גלם לספריות חומרים למיניהן. גישת ה"דף החלק" מאפשרת למעצבים ולאנשי קראפט להפגין יצירתיות עיצובית וטכנולוגית במערכות של הנחות מוקדמות: איך לחשוב מחדש על טכנולוגיות קיימות? איך לנצל ביצירתיות חומרי גלם? ב"סופרמרקט" הזה, המעצבים או יוצרי הקראפט בוחרים באילו חומרים לעבוד, באילו כלי עבודה להשתמש ואילו מניפולציות להפעיל, מכיוון שגבולות המצאי החומרי והטכנולוגי די ברורים. בשנים האחרונות ניכרת מגמה של גישה ניסיונית והרחבת גבולות של טכנולוגיות מוכרות הן בזירת ה-Low-tech הן ב"הייטק". המושגים "מעבדה" ו"מחקר" נטמעו כמטפורה בתהליכי המחקר התרבותי והטכנולוגי של מעצבים ויוצרי קראפט. בהמשך למגמה זו, נראה כי באמצעות הנוטכנולוגיה ניתנת אפשרות ממשית (נוסף על המטפורית) לעצב (או "לברוא") את החומרים, את כלי העבודה ואת המניפולציות. כמו כן, כפי שראינו בפרוייקט Biojewellery, ניתן לחשוב על האפשרות שמעצבים ואנשי קראפט יהיו חלק מצוותי הפיתוח של טכנולוגיות וחומרי גלם אלו.

אנו נמצאים בתקופת מעבר מבחינה טכנולוגית, במובן זה, שחומרים ותהליכים נוטכנולוגיים עדיין נמצאים בתהליכי פיתוח ראשוניים, ואינם נגישים למרבית היוצרים. אמנם, הנוטכנולוגיה הוכרה כבעלת פוטנציאל רב, אך עדיין לא הוטמעה כתחום רווח בפעולות של יחידים ושל אקדמיות. הכרה זו תתמש כאשר תעשיות שמוטמעות בהן מתודות עיצוביות ופקולטות לעיצוב וקראפט ישתפו פעולה

כלומר, מאפייני החומרים המוכרים לנו כיום ישתנו לחלוטין, והגישה לחומר הגלם תשתנה: מגוש בעל תכונות מוכרות הניתנות למניפולציות שונות, למולקולות ולתאים ביולוגיים בעלי פוטנציאל השתנות במהלך השימוש. דוגמה לשינוי של תכונות מוכרות באמצעות טיפול במעבדה היא שינוי של חומרים קרמיים חדשים. החומר הקרמי נחשב לעדין ושביר מבחינה טכנולוגית ומטפורית, אך בטיפול במעבדה הנוטכנולוגית הוא משתנה והופך לאחד החומרים החזקים והקשיחים במצאי הקיים. לדוגמה, קבוצת עבודות של מארק צולה (Marek Cecula), העשויה מקורונדום (Korundum, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – מינרל המופק מאבן ספיר או מאבן אודם. תכונות החרסית וגובה הטמפרטורה מעניקים לה חוזק והופכים את עבודות הקרמיקה האלה לבלתי שבירות.<sup>25</sup> (תמונה 8)

נראה כי שינויים אלו ישפיעו שינויים בדפוסי העבודה של מעצבים ויוצרי קראפט. לדוגמה, עד כה, מעצבים, יוצרי קראפט, מהנדסים ומתכננים עבדו בשיתוף פעולה על פי משימות מוגדרות. ואולם, נראה כי בעטייה של הנוטכנולוגיה, יהיו מהנדסי חומרים וביולוגים לשחקנים חשובים מאוד בעבודת צוות זו. מגמה זו תגבר עד כדי עבודה משותפת על בסיס קבוע, מלא פוטנציאל ומסקרן עם מהנדסי חומרים וביולוגים כחלק בלתי נפרד מצוות העיצוב והתכנון. באמצעות אפיון של חומרים חדשים ופיתוחם, יהיה ניתן לפתח חומרים בעלי תכונות המותאמות לצרכים ייעודיים. אחת הדוגמאות לשיתוף פעולה מסוג זה היא בין המעצב טובי קרידג' (Tobie Kerridge) למעבדות מחקר ופיתוח. קרידג' הוא "מעצב אינטראקציה חוקר", שעובד בשיתוף פעולה עם מהנדסי חומרים בפיתוח פרויקטים עיצוביים. בפרוייקט Biojewellery של עיצוב טבעות לבני זוג, הציג קרידג' מרחב מטפורי חדש באמצעים נוטכנולוגיים. החומר שעוטף את המתכת הפנימית של הטבעות פותח במעבדה מתרבתית תאי עצם שנתרמו על ידי בני זוג, והוטמע בביוקרמיקה (קרמיקה ביוקומפטבילית, שאינה נדחית על ידי אורגניזם חי).<sup>26</sup>

האם להשתתפותו של מעצב בצוותי הפיתוח יש ערך מוסף? שאלה זו כשלעצמה היא בסיס למחקר חדש ומרתק. הטבעות של קרידג' לא יכלו להתממש ללא השתתפותו בצוות מסוג זה. אמנם, הפרוייקט השתמש בחומר ביוקרמי קיים,

25. העבודות הוצגו בביאנלה 6' לקרמיקה ישראלית, עיצוב קרמי: כלים טכנו. לוגיים, אוצרת: שלומית באומן. תל אביב: מוזאון ארץ ישראל, צלם: ליאניד-פדרול קביטקובסקי © מוזאון ארץ ישראל, תל אביב.  
26. הפרוייקט הוצג בתערוכה *Design and the Elastic Mind* במוזאון לאמנות מודרנית בניו יורק ב-2008, אשר עסקה ביחסי גומלין בין עיצוב לטכנולוגיה ובדקה את המגמות השונות של שפת העיצוב החדשה הנוצרת בהשפעת טכנולוגיות חדשניות, ראו: Paola Antonelli, *Design and the Elastic Mind*, New York: Museum of Modern Art, 2008



על בסיס קבוע עם מעבדות ננוטכנולוגיה, יקצו משרות למהנדסי חומרים כחלק בלתי נפרד מהצוות המקצועי שלהן ויפתחו מסלולים לעיצוב ולפיתוח חומרים וכלי עבודה. ואולם, מכיוון שתהליך זה נמצא בראשיתו, נשאלת השאלה, האם יש צורך באסטרטגיות לתקופת המעבר בין תקופות טכנולוגיות שונות? או שמא אין טעם לתת את הדעת לכך מפני שממילא הטכנולוגיה "תעשה את שלה". ההנחה כי הטכנולוגיה "תעשה את שלה" מדגישה את הפער בין הנחת היסוד שלפיה המעצב פותר בעיות עיצוביות בתרחיש קיים שאינו בשליטתו, לבין הצורך באסטרטגיות לתקופת המעבר ולניסוח קוד אתי בין תקופות טכנולוגיות שונות, שיובילו אל פוטנציאל האפשרויות החדשות לבריאת התרחיש עצמו: מהו החומר? מהו כלי העבודה? מהו האובייקט המשתנה? מהו אורך החיים של האובייקט? מהו מעמדו כמקיים עולם?

משתמע מכך, כי היכולות המורכבות של הננוטכנולוגיה חותרות תחת תפקידיהם של מעצבים ויוצרי קראפט. נראה כי ההתמחות בחומרים ובטכנולוגיות תוחלף בהתמחות באפיונים של חוויות שימוש, בפיתוח חומרים חדשים בהתאמה ובייצור חפצים המשתנים בזמן, מגיבים לסביבה, מאבחנים את גופנו ומגיבים אליו בזמן. התבוננות במהפכות הטכנולוגיות הקודמות בהקשר של יחסי הגומלין בין עיצוב לטכנולוגיה בכלל, ובחינת מאפייניה של הננוטכנולוגיה בפרט, מעוררים דיון ער בשאלות יישומיות, מקצועיות, פילוסופיות ואתיות, המהוות בסיס לדיון רחב ביחסי הגומלין בין ננוטכנולוגיה לעיצוב ולקראפט. האתגר האתי המתבקש של הננוטכנולוגיה הוא לשלוט על פיתוחה באופן צודק ומקיים לטובת האנושות ולהביא בחשבון את השלכותיה מבחינה יישומית, חוקתית, כלכלית, רפואית, חווייתית וסביבתית.<sup>27</sup>

הטכנולוגיה יוצרת שפה חומרית חזותית, ומכיוון שהשפעתה על חיינו הייתה ועודנה מרחיקת לכת, אך טבעי הוא שמעצבים יהיו שותפים לתהליכי תכנון ופיתוח של טכנולוגיות, חומרים וכלי עבודה. כיוצרים אקטיביים, האחראים לתרבות החומרית שאנו חיים בה ומתווכים באמצעות ממשק בינינו ובין סביבתנו החומרית והחזותית, אפשר לבחון את האפשרות של שיתוף המעצבים בתהליך שמסתמן כבעל השפעה מרחיקת לכת על מגוון תחומי העיצוב ועל התרבות החומרית בכללותה.

מיצ'יקו ניטה ומייקל בארטון (Michiko Nitta and Michael Burton) מפתחים שפה חדשה על הגבול שבין עיצוב לאמנות, מנקודת מוצא עיצובית/

מחקרית/עתידינית, שהופכת את הגוף לזירה הניתנת לעיצוב באמצעות טכנולוגיות חדשות. הם שיתפו פעולה עם Institute Foresight האנגלי,<sup>28</sup> מכון טכנולוגי המנסח חזון ואסטרטגיות פעולה ברמה לאומית בתחומים רבים, בהבנה שבעתיד הקרוב ישנו טכנולוגיות חדשות תחומי חיים רבים. שיתוף הפעולה בין המעצבים, בעלי ידע עיצובי/חומרי, לבין מכון המחקר הטכנולוגי, הניב כמה פרויקטים מסקרנים, שעניינם פיתוח תהליכים חדשים בעיצוב ובקראפט.

### סיכום: דומם, תנועה, חכמה, חכמת ידיים

הידע, הבנתו והפרזנטציה שלו השתנו מאוד בעקבות שתי המהפכות הטכנולוגיות המוזכרות במאמר זה – התעשייתית והדיגיטלית.<sup>29</sup> הידע העיצובי של המעצב ויוצר הקראפט בעידן הפוסט-מודרני נע בין הכללות חברתיות לפתרון מקרים פרטיים. הם מגשרים על ריבוי השפות של חברי הצוות הרבים השותפים לתהליך העיצוב (מהנדסים, אדריכלים, מעצבי רפרזנטציות וקבלני משנה שונים – לכל אחד שפה משלו) ומתפקדים כמתווכים לולייניים בין שימושיות, טכנולוגיה, חומר ותרבות.<sup>30</sup> המעצבים מתפקדים בהווה של חיפוש תמידי: חיפוש אחרי חידושים טכנולוגיים וחומריים, וחיפוש אחרי תובנות חדשות, המנסות, מצד אחד, לפענח חוויות שימוש חדשות, ומצד אחר, לערוך ניתוח ארגונומי ותרבותי. תפקידי המעצבים ויוצרי הקראפט נעים בין מילוי צרכים שונים (לעתים סותרים ולעתים חופפים): הם מתווכים בין האדם לסביבתו החומרית כמעין ממציאים, מהנדסים, אמנים, מנתחים מצבים ומייעלים תהליכים ומערכות מורכבות, משפרים חוויות שימוש, מונעים תאונות, מנתחים חברתיים, יוצרים אובייקטים סימבוליים וכד'.<sup>31</sup> ההבנה של מערך היחסים בין טכנולוגיה לחברה ובכלל זה גם בתחום העיצוב – תאפשר לנו ללוות את המהפכה הטכנולוגיה הבאה במודעות להשפעותיה הפוטנציאליות ולהשפיע עליה מעמדה של קבלת אחריות ומחויבות עיצובית-חברתית. שימוש בידע ננוטכנולוגי חדש יאפשר למעצבים הזדמנות להשפיע על האופי המקצועי של עבודתם, על אפיון כיווני מחקר ופיתוח חדשים ועל האפשרות להתקרב למימוש מקצועי מדויק ואופטימלי.

<sup>28</sup> <https://www.gov.uk/government/collections/foresight-projects>

<sup>29</sup> Antonelli, *Design and the Elastic Mind*.

<sup>30</sup> Donald A. Schon, *Designing Rules, Types and Words*, Hazel Clark and David Brody (eds.), New York: Berg, 2009.

<sup>31</sup> Klooster, *Smart Surfaces*.

<sup>27</sup> <http://www.etcgroup.org/issues/nanotechnology>, ETC Group, 2015.

## תמונה 10:

חולצה אינטראקטיבית המאפשרת שליחת מסרים אישיים באמצעות מסרון (חיבוק, געגוע, כעס וכדומה), (CUTECIRCUIT 2002)  
The HugShirt by CuteCircuit, photographer Fernanda Calfat © Getty Images



הננוטכנולוגיה, כמו שתי המהפכות הטכנולוגיות הקודמות, תיצור אף היא שינוי בדפוסי המשגה ושימוש.<sup>32</sup> לדוגמה חומר הנתפס היום כגוש סטטי, ייתפס כצבר מולקולות דינמי וכד'. מכאן החשיבות הרבה בהבנת השינויים הטכנולוגיים המערכתיים המתחוללים לנגד עינינו ובהשתתפות במחקר ובפיתוח שלהם. פוטנציאל ההיבטים הדינמיים של הננוטכנולוגיה אשר יתבטאו במיזוג בין החומרי, המכני והמדומה ידרשו מהיוצרים לאמץ ראייה בעלת יכולת שינוי וגמישות שונה מן המוכר. כל אלו יוכלו להיות מגולמים במציאות משתנה ובאובייקט בעל יכולת אבולוציה משלו. הננוטכנולוגיה תאתגר מחדש את תפקיד המעצבים ויוצרי הקראפט, אשר יצטרכו להתאים את עצמם לשינוי מנייתוח מצבים חברתיים כוללים לאפיון של מצבים ייחודיים ומשתנים. (תמונה 10)

כל אלו מעוררים שאלות רבות בנוגע לשינויים שיחולו בתחומי העיצוב והקראפט: כיצד ישתקפו בתחומי הקראפט המגוונים? מה משמעותה החדשה של חכמת הידיים? כיצד ניתן לשלב בין חומרי טבע, חכמת ידיים וחומרים חכמים? האם ניתן ליצור קראפט בצוות בין-תחומי? כיצד מעצבים ויוצרי קראפט יכולים להשפיע על התפתחות טכנולוגית? האם בצוותי הפיתוח יש מקום לבעלי אינטואיציה חומרית? האם ייתכן מקום לקדר או לצורך כשותף לצוותי מחקר ופיתוח במעבדות המחקר? מה תהא תרומתו? האם מעורבותם של אנשי הקראפט בצוותי הפיתוח יכולה להניב מסקנות טכנולוגיות טובות יותר? סביבה חומרית מותאמת יותר? ניתן לשער כי תחומי העיצוב והקראפט ישתנו באופן מהותי עם הטמעתה של הננוטכנולוגיה. השילוב שתואר לעיל בין חכמת ידיים, חכמת חומר ומערכות מכניות מורכבות ידרוש ממעצבים ומיוצרי קראפט פיתוח מונחים חדשים ויכולת ניתוח מורכבת של שדה ידע נרחב. ניתן לשער, כי עם הטמעת הננוטכנולוגיה יעבדו מעצבים ויוצרי קראפט במשולב בכלים אופטיים חכמים וייעזרו במהנדס חומרים, בשילוב כלים "מסורתיים". חפצים יגיבו למציאות משתנה ויתפקדו באופן רב-תפקודי. נראה כי הננוטכנולוגיה תמשיך לאתגר את תפקידם של מעצבים ויוצרי קראפט כפי שקרה במעבר מעבודה ידנית מסורתית לייצור באמצעות מודולים מתועשים, במעבר ממודולים כוללניים מודרניסטיים לפירוק פוסט-מודני,<sup>33</sup> ובמעבר ממציאות פרגמטרית "נאו-מיניריסטית" ומפוצלת לייצור יחידני, דינמי, חכם, הנותן מענה לצורך ייעודי במצב משתנה ודינמי.

.32 ש.ס.

.33 Fredric Jameson, *Postmodernism, or, The Cultural Logic of Late Capitalism*, Duke University Press, 2003.