

## השפעת המחשב על האדריכלות – המימד הגלובאלי והמימד המקומי

### הקדמה

ביל גייטס, אומנם, הגדיר את המאה הנוכחית ככזו שתזכר כעידן הדיגיטאלי. אולם, מעבר להילה הכללית של החדשנות הטכנולוגית המתלווה למושג "דיגיטאלי", החרוט כיום על כל גאדג'ט חדש והשימוש במחשב לשרטוט אדריכלי וליצירת הדמיות, נשאלת השאלה לגבי ההשפעה האמיתית של המחשב על התכנון האדריכלי. האם אדריכלות המבוססת על שימוש במחשב היא אדריכלות דיגיטאלית? במקרה זה מרבית המבנים המתוכננים כיום עונים להגדרה זו, שכן, אפשר לטעון בביטחה שמשרדים שאינם משרטטים במחשב כמעט ואינם קיימים. לעומת זאת, האם שימוש בנייר סקיצה ועפרון בתהליך התכנון פוסל את המבנה מלהיכלל תחת ההגדרה "אדריכלות דיגיטאלית"? במקרה זה כל המבנים המצויינים במאמר זה ורבים אחרים אינם עונים להגדרה זו, שכן במהלך תהליך התכנון נעזרו המתכננים בנייר ועפרון.

מאמר זה יסקור את התפתחות השימוש במחשב באדריכלות והשלכותיה הדיספלינריות. במסגרת הסקירה תוצג התפתחות בעולם והקשרים/השפעות בין התפתחות זו לשימוש במחשב באדריכלות בארץ.

### התפתחות השימוש במחשב באדריכלות או סוף עידן הסגנונות

הפער בין השימוש המעשי במחשב לחזון המחשוב האדריכלי נוצר מיד עם הצגת המחשב למשרדי האדריכלים ומעבדות המחקר. הפרקטיקה האדריכלית השתמשה במחשב ככלי שרטוט מתקדם המאפשר דיוק ויעילות בביצוע פעולות שרטוטיות בסיסיות כהעתקת אובייקטים ויצירת מערכים. לעומת זאת, בחזית המחקר בשנות השבעים ותחילת שנות השמונים, נתפס המחשב ככלי שיחליף במהירה את האדריכל ויוכל לעצב בניינים באופן אוטומטי.

שנות התשעים הביאו מצד אחד להטמעת השימוש במחשב ככלי שרטוט במשרדי האדריכלים ועימו התרבות של עיצובים מרובי פעולות חזרתיות כהעתקות וחלוקה לגריד, ומצד שני להתפכחות בעולם האקדמי מהשאיפות הראשוניות לעיצוב טוטאלי מבוסס מחשב ומעבר להסתכלות צרה יותר על האפשרויות התמונות בשימוש במחשב באדריכלות<sup>1</sup>. במקביל למגמות אלה חלה התפתחות משמעותית בתוכנות גרפיות, דו ממדיות ותלת מימדיות, לגרפיקה ולאנימציה, שאומצו עד מהירה ע"י דור צעיר של אדריכלים כמרכוס נובק, גרג לין וסטפן פרלה<sup>2</sup>. אדריכלים אלה ואחרים החלו לייצר אדריכלות, בעיקר וירטואלית, המבוססת על צורות מורכבות, בעיקר עקומוליאנריות. במקביל, התפתח השיח התאורטי על המשטח והקיפול<sup>3</sup> המבוסס על תאוריות של פילוסופים כג'יל דלז<sup>4</sup>.

אנטוני וידלר, פילוסוף ותאורטיקן של אדריכלות התייחס לאימרה המפורסמת של מרשל מקלוהן "המדיום הוא המסר" באומרו "באדריכלות המדיום יכול, אמנם, לא להיות המסר, אבל, ללא ספק, יש לו השפעה עמוקה על הצורה של המסר". השימוש בתוכנות אנימציה הציג לאדריכלות צורות מורכבות המבוססות

<sup>1</sup> ראה פירוט על מחקרים אלה בספרו של יהודה קלעי, המדיה החדשה של האדריכלים (Kalay 2004)

<sup>2</sup> ראה הרחבה בסיפור של אנטואן פיקון על תרבות דיגיטאלית באדריכלות (Picon 2010)

<sup>3</sup> ראה הרחבה במאמר של גרג לין על הקיפול ועל גאומטריות משתנות (Lynn 1998)

<sup>4</sup> ראה ספריו של ג'יל דלז על "הקיפול" ו"אלף משטחים" (Deleuze 1988).

גאומטריה שאינה אוקלידית. אמנם, השימוש בצורות מורכבות באדריכלות לא היוותה חידוש<sup>5</sup>, ברם רמת המורכבות הצורנית החדשה המבוססת על היכולות הגאומטריות של התוכנות החדשות והכמות של הפרוייקטים המבוססים על גאומטריה מורכבת סימנו את תחילתו של עידן צורני חדש באדריכלות.

בניגוד לתקופות קודמות בהיסטוריה האדריכלית בהם שלטו סגנונות המבוססים, בין השאר, על רעיונות צורניים העידן החדש מבוסס על ביטול המגבלות הצורניות באדריכלות ולכן קשה להגדירו כסגנון. לכן, בהקשר זה, ניתן להגדיר את האדריכלות החדשה כהתפתחות אבולוציונית פורצת גבולות ולא כשינוי סיגנוני או פרדיגמטי.

## תכנון מבוסס ביצועים

השלב השני בהתפתחות השימוש במחשב באדריכלות קשור לשימוש בתוכנות מבוססות אובייקטים וכניסת מימד הזמן לתכנון. הפן המוכר יותר של השימוש במימד הזמן בתכנון מבוסס מחשב מתייחס להדמיה או אנימציה של הליכה (walk through). אנימציות אלה מאפשרות למתבונן לצפות בהליכה בחלל הפרוייקט ולעיתים מאפשרות שליטה מסוימת על תנועת המתבונן. פן מוכר פחות ובעל חשיבות זהה לשימוש באנימציה הוא השימוש במחשב להדמייה של ביצועים (סימולציה). המושג ביצועים מתייחס למספר רב של פרמטרים מדידים הקשורים בעיקר לסביבה כגון, תאורה, יציבות וחוזק, טמ' ואיורור וכד<sup>6</sup>. לבדיקת הביצועים בהקשר של פרמטרים אלה התפתחו תוכנות יעודיות הבוחנות את הביטוי של פרמטרים אלה בפרוייקט נתון. למרות שתוכנות אלה יועדו בתחילה למהנדסים מומחים קיים תהליך מתמש של התגברות השימוש בתוכנות אלה לעיצוב אדריכלי עקב עלייה מתמדת בידע הקשור לביצועים אצל אדריכלים מחד והפיכת התוכנות הייעודיות לנגישות יותר למגוון רחב של אוכלוסיות.

היכולת להיעזר בביצועים ככלי לקביעת הצורה אדריכלית והיכולות המתקדמות לעיבוד צורה הן שתיים מהטענות העיקריות בהם משתמשים תאורטיקנים כיהודה קלעי ברנקו קולירויק ואחרים לביסוס טענתם כי היחס למחשב בתהליך התכנון עלול להשתנות מכלי עזר לשותף ואף לעיתים כשותף עיקרי בתהליך התכנון<sup>7</sup>. ניתן לטעון כי ה-תיב"מ (C.A.D - Computer Aided Design) של תחילת שנות השמונים מתפתח בשנים האחרונות לכיוון תכנון מבוסס מחשב או תיב"מ (C.B.D - Computer Based Design). תפיסה זו מתקבלת בהסתייגות רבה ולעיתים בהתנגדות עזה מצד אדריכלים רבים, החוששים מאיבוד שליטה על תהליך התכנון. אולם, גם במסגרת תובנות אלו לא קיימות עדיין דוגמאות ממשיות לתהליך תכנון וייצור מבוססי מחשב מתחילתם ועד סופם אלא קטעים שונים של תכנון וייצור בהם מנוצלת יכולת העיבוד של המחשב ליצירה וסימולציה של מגוון רחב של פתרונות, עליהם, בשלב מתקדם יותר מופעלת יכולת האבחנה, השיפוט והתכנון האנושית.

לשימוש בביצועים ליצירת צורה וסימולציה קיימות עדיין מגבלות רבות בשני תחומים עקריים. התחום הראשון קשור לסוג הפרמטרים אותם ניתן למדוד. עד כה רוב המאמצים במחקר ובפרקטיקה התמודדו עם פרמטרים הקשורים לסביבה. פרמטרים הקשורים לתפיסה חושית וקוגניטיבית עדיין נמצאים מעבר ליכולות המיחשוב הקיימות היום וברובם מעבר להבנה האנושית<sup>8</sup>. התחום השני קשור למיקום השימוש בביצועים בתהליך התכנון. הרוב המוחלט של בדיקות הביצועים מיועדות לשלב התכנון או לשלב שלפני האיכלוס. בדיקות לאחר איכלוס אינן מקובלות. זו הסיבה למחסור בידע אמפירי על האופן בו הצרכנים

<sup>5</sup> הכוונה לשימוש בצורות מורכבות באדריכלות הבארוק ואדריכלות הארט נובו.

<sup>6</sup> לדיון במושג ביצועים בהקשר לאדריכלות ראה הספר פרפורמליזם ( Y. Grobman & Neuman 2011 )

<sup>7</sup> להרחבה בנושא זה ראה (Kalay 2004) (Kolarevic & Malkawi 2005) (J. Y. Grobman et al. 2009)

<sup>8</sup> לקשר בין פרמטרים לתפיסה חושית ראה (Grobman, 2008)

(דיירי ומשתמשי הבניינים) צורכים את הבניינים. הגדלת ההבנה של האופן בו אנו צורכים את הבניינים והאופן בו אנו תופסים וחווים את החלל תהיה אולי השלב השלישי בהשפעת המחשב על האדריכלות.

## אדריכלות ירוקה

בשנים האחרונות התחזקה ההכרה ציבורית בשינויי האקלים והקשר בין של הפיתוח האנושי לשינויים אלה. אחת ההשפעות המשמעותיות של השימוש במחשב לסימולציה היא היכולת לבחון את ההשפעות הסביבתיות על הבניין והשפעתם על פרמטרים כגון תאורה, בידוד, עמידות למאמצים וכן צריכת האנרגיה הצפויה של בניין והשפעתו על הסביבה. קשה לפתח טענה בדבר מה היה קודם, האפשרות למדוד את צריכת האנרגיה באמצעות תוכנות סימולציה או הרצון לחסוך באנרגיה הנצרכת בבנין. חלק ניכר מהתקנים הירוקים, ובעיקר תקן ה-LEED האמריקאי, ה-BREEAM האנגלי והתקן הישראלי 5281 המבוסס על התקן האנגלי מבססים את מערכות הניקוד שלהם על יכולת המדידה של ביצועים בפרמטרים אלה.

מחקרים הוכיחו שההבדלי העלות בין אדריכלות ירוקה לאדריכלות "רגילה" הולכים ונעלמים עם יישור הקו של כל החברות עם התקינה הירוקה והנסיין שרוכשים כל הגורמים המעורבים בבניה עם התחום (Kats 2009). לכן, סביר להניח שהמושג אדריכלות ירוקה או בניה ירוקה עתיד להעלם בעתיד הקרוב. כשם שאיננו מגדירים כ"אדריכלות קונסטרוקטיבית" בניינים שעומדים ולא קורסים, וכ"אדריכלות פונקציונאלית" בניינים שמאפשרים את השימוש להם הם נועדו כך גם לא תהיה סיבה אמיתית להגדרה של אדריכלות ירוקה.

## תכנון פרמטרי

תכנון פרמטרי מתייחס לאפשרות לישלוט באופן דינאמי על גאומטריה באמצעות פרמטרים. יכולת זו יכולה להתבטא בעיצוב מורכב מבחינה צורנית הכולל יחידות המשתנות באופן הדרגתי. הפרמטרים בהם משתמשים יכולים להיות קשורים לביצועים או כאלה המתייחסים צורה ויוצרים סגנון צורני חדש – פרמטריסיזם<sup>9</sup>. אם המעבר לשימוש בתוכנות אנימציה ייצר מהפיכה צורנית באדריכלות בסוף שנות ה-90 של המאה העשרים הרי היכולות שנוספו עם התפתחות הכלים הפרמטריים (כגון GEM, grasshopper) והשימוש בקוד מחשב באדריכלות הינם קטליזטור לקפיצה נוספת במורכבות הצורה האדריכלית אם לא למהפיכה צורנית נוספת.

## ייצור מבוסס מחשב

ייצור מבוסס מחשב מתייחס לתהליכי ייצור המבוצעים באמצעות מכונות הנשלטות בעזרת מחשב. המכונות העיקריות בהם נעשה שימוש באדריכלות הן מדפסות תלת מימדיות, חותכי לייזר (וחותכים העושים שימוש בטכנולוגיות אחרות), עיבוד שבבי (מכונות CNC). לשימוש בייצור מבוסס מחשב השלכות רבות על הדיסציפלינה האדריכלית אותם לא ניתן יהיה לסקור בפירוט במסגרת מאמר זה. ההשפעות העיקריות קשורות ל: א. היכולת לייצר צורות מורכבות – לייצור מבוסס מחשב אין (כמעט) מגבלה צורנית. המגבלות הקיימות קשורות בעיקר לסוג החומר, זמן עיבוד, גודל וכתוצאה מכך מחיר. ב. השפעה על

<sup>9</sup> לתאוריה של שומכר על פרמטריציזם ראה (Schumacher 2009)

מעבר מייצור סטנדרטי לכיוון של ייצור מותאם אישית – מבחינת המחשב המייצר אין משמעות גדולה לייצור חלקים זהים בצורתם או שונים. ג. השפעה על מעמד המעצב/אדריכל - בייצור מבוסס מחשב מתבטל המתווך בין המעצב/אדריכל והמוצר. בבניה מסורתית המתווך הוא הבנאי. המוצר האדריכלי משתנה מתוכניות נייר אותם צריך לפרש הבנאי לתוכנת מחשב אותה ניתן להזין ישירות למכונת הייצור. ד. חמירות דיגיטאלית – היכולת להדפיס חומרים שונים מאפשרת יצירת חומרים חדשים המבוססים על שילוב של תכונות.

### המימד הישראלי בהשפעת המחשב על האדריכלות

למרות שישראל היא מדינה המוכרת כ"אומת הסטראט-אפ" ואחת המובילות בטכנולוגיה עלית, ההתפתחות של השימוש המתקדם במחשבים באדריכלות לתכנון וייצור מפגרת כבעשור מול המדינות המובילות בתחום זה בעולם. עם תחילת התפתחות המחשב באדריכלות נערכו בארץ במקביל למחקרים דומים בעולם מחקרים אקדמיים שבחנו את אפשרויות השימוש במחשב לעיצוב האדריכלי<sup>10</sup>. בשנות התשעים דעך העיסוק המחקרי בהשפעת המחשב על אדריכלות.

השיח האדריכלי הדיגיטלי שהתפתח בעולם החל מתחילת שנות התשעים של המאה העשרים הוצג לראשונה בארץ בתחילת שנות האלפיים בתערוכה של לארס ספויברוק במוזיאון תל אביב אותה אצרה מאירה יגיד חימוביץ ותערוכת גבולות רכים אותה אצר יאשה גרובמן בשיתוף עם אדריכלית שלי כהן<sup>11</sup>. תערוכות אלה ובמיוחד גבולות רכים יצרו שיח ציבורי בנושא המשמעות של הצורה המורכבת באדריכלות והקשר שלה לפרקטיקה האדריכלית<sup>12</sup>.

בשנת 2003 הוקמה מעבדת המחקר TCODE בטכניון<sup>13</sup>. המעבדה נוהלה בשנים הראשונות ע"י יאשה גרובמן וערן נוימן. בשנים הראשונות לקיומה נערכו במעבדה מחקרים שעסקו בהשפעת המהפיכה הדיגיטאלית במובן הרחב (הכולל גם את מהפיכת האינפורמציה) על האדריכלות. במסגרת מחקרים אלה נבחנה ההשפעה על הפרוגרמה האדריכלית במגוון שימושים ונבחנו השלכות המהפיכה הדיגיטאלית על המושג טיפולוגיה באדריכלות. בתקופה זו נערכו יזמה והפיקה המעבדה מספר כנסים בנלאומיים במסגרת סדרת Form\_D שעסקו בהיבטים שונים של המהפיכה הדיגיטאלית באדריכלות וארחו דמויות חשובות בשיח הבנלאומי כקאס אוסטרנהויס, אנטוניו סאגיו ומייקל הנזל.

במחצית השניה של העשור עברה המעבדה לעסוק בביצועים. במסגרת העיסוק בנושא זה יזמו ואצרו יאשה גרובמן וערן נוימן את התערוכה הבינלאומית פרפורמליזם במוזיאון תל אביב לאמנות בשנת 2008<sup>14</sup>. התערוכה והמחקר עליה היא מתבססת הצביעו על שינוי בשיח הבנלאומי באדריכלות מעיסוק בצורה לעיסוק באופן בו הצורה מקיימת את הפונקציה האדריכלית או במילים אחרות בביצועים (פרפורמליזם). בתערוכה השתתפו אדריכלים מהשורה הראשונה בשיח הדיגיטלי באדריכלות ובניהם

---

<sup>10</sup> הכוונה למחקרים שנעשו ע"י חוקרים כעדנה שביב מהטכניון ואחרים (Shaviv & Gali 1974)  
<sup>11</sup> תערוכת חמישה רגעים נערכה בגלריית עמותת האדריכלים והשתתפו בה אדריכלים מובילים בשיח הדיגיטלי העולמי כפיטר אייזנמן, זהה חדיד, דילר וסקופדיו, סרבו, אסמפוטט ואחרים. ראה:  
<http://tx.technion.ac.il/~tcode/software.htm>

<sup>12</sup> ראה "שביל הבריחה הדיגיטלי" מאת אסתר זנדברג. הארץ. 29.5.2003. ראה:  
<http://www.haaretz.co.il/misc/1.885041>

<sup>13</sup> לפירוט על הפעילות של המעבדה בתקופה זו ראה אתר המעבדה: <http://tcode.net.technion.ac.il/about-2>

<sup>14</sup> לקטלוג התערוכה ראה (Y. Grobman & Neuman 2008)

פראנק גהרי, פיטר אייזנמן, גרג לין ואחרים. קטלוג התערוכה והמניפסט שהוצג בו פותחו לאחר מספר שנים לספר מקצועי בנושא<sup>15</sup>.

במקביל לפעילות של TCODE בטכניון ד"ר פיתח איל ניר את עבודת הדורטורט שלו מפקולטה לארכיטקטורה בטכניון שעסקה בתכנון פרמטרי ובעיקר את התוכנה הפרמטרית שפותחה במסגרתה לכדי תוכנה מסחרית<sup>16</sup>. התוכנה, שנקראה בתחילה PARACLOUD ואח"כ שונה שמה ל GEM היתה אחד הכלים הראשונים שאיפשרו באופן פשוט יחסית להשתמש בכלים בפרמטריים באדריכלות. התוכנה זכתה להצלחה בנלאומית גדולה במחצית השניה של העשור הקודם והיתה בשימוש משרדים גדולים בעולם כ ZAHA HADID ואחרים. בארץ נעשו נסיונות בודדים להשתמש בתוכנה זו לתכנון פרוייקטי בניה מעשיים בעיקר ע"י אדריכל חיים דותן.

בסוף העשור הראשון של המאה העשרים הצטרפו מספר בתי ספר נוספים לקבוצה העוסקת בהשפעת המחשב על האדריכלות, הבולטים שבהם הם שנקר והמכללה למנהל המובילים מגוון פעילויות הקשורות בעיקר לקשר של אדריכלות דיגיטאלית לפרקטיקה האדריכלית. אולם, בראיה כללית של החינוך האדריכלי הישראלי, ניתן לטעון כי לרוב בוגרי בתי הספר לאדריכלות בארץ עדיין אין את הידע התאורטי ואת הכלים המעשיים הקשורים בתכנון וייצור מבוסס מחשב.

בעשור הראשון של המאה ה-21 נבנו בארץ מספר פרוייקטים הקשורים לשיח הדיגיטאלי באדריכלות במספר תחומים. כל הפרוייקטים מבוססים על גאומטריה מורכבת המחייבת שימוש במודלים תלת מימדיים לתכנון ולהעברה לתוכנות ייצור. משרד קולקר קולקר אפשטיין, שיהיה המשרד הישראלי של פרנק גהרי בתכנון מוזיאון הסובלנות, עשה שימוש בתוכנת catia או digital project (גרסה של catia המיועדת לאדריכלים אשר פותחה במשרד גהרי) בתכנון אלמנטים בעלי גאומטריה מורכבת של מספר מבנים בארץ ובניהם בנין ננו טכנולוגיה באוניברסיטת בן גוריון. חיים דותן, עסק כאמור, בתכנון פרמטרי ולחלק מביניו צורה גאומטרית מורכבת המחייבת שימוש בתוכנות מחשב מתקדמות. מספר אדריכלים בנלאומיים תכננו ובנו בשנים האחרונות מבנים שחייבו שימוש מתקדם במחשב לתכנון וייצור. העובדה שפרוייקטים בעלי מורכבות צורנית גבוהה (כגון הגשרים של קלטרורה, הבנין החדש של מוזיאון תל אביב בתכנון של פרסטון סקוט כהן, מרכז ואהל באוניברסיטת בר אילן בתכנון של דניאל ליבסקינד והגגות של מרכז רבין לשלום בתכנון של משה ספדי) תוכננו ונבנו ע"י אדריכלים שאינם ישראלים כאשר אין כמעט מקבילות מקומיות לתכנון מסוג זה יכולה להתפרש כתופעה הנובעת מפערי ידע אדריכלים (ידע תאורטי ומעשי); בעיה של מקבלי החלטות שנמנעים מלתת פרוייקטים יוקרתיים ויקרים לאדריכליים מקומיים ללא נסיון דומה; בעיה טכנולוגית של ענף הבניה. קיימת דיכוטומיה בין היכולת הטכנולוגית בייצור מבוסס מחשב הקיימת בארץ בתעשיות הצבאיות, תעשייה אוירית, השימוש הרב בחותכים מבוססי מחשב בתעשיות אלה ובתעשיית הבניה לבין השימוש הדל שנעשה בטכנולוגיות אלה בעיצוב ובייצור מבנים בעלי גאומטריה מורכבת.

## סיכום

מאמר זה סקר את התפתחות השימוש במחשב ואת המימד הישראלי בהתפתחות זו. נדון הפער בין ההתפתחות העולמית במיחשוב אדריכלי למצב בארץ. נראה, שהסיבה לפער בין ישראל והעולם בתחום זה אינה נובעת מגורם אחד אלא שילוב של כל הגורמים שהוזכרו במאמר. יחד עם זאת, כנראה, הדרך המהירה ביותר ואולי אף הקלה ביותר לגשר על פער זה היא לדאוג לחינוך וידע מתאים בבתי הספר לאדריכלות. קבוצה מספיק גדולה של אדריכלים צעירים בעלי ידע תאורטי וידע טכני מעשי בנושאים אלה תוכל לקדם את כל ענף הבניה בכיוון זה.

<sup>15</sup> לספר הדן בפרפורמליזם ראה (Y. Grobman & Neuman 2011)  
<sup>16</sup> ראה (Nir & Capeluto 2005)

- Deleuze, G., 1988. *A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia*, London: Athlone Press.
- Grobman, J.Y., 2008. The Various Dimensions of the Concept of "Performance" in Architecture. In J. Y. Grobman & E. Neuman, eds. *Performatism – Form and Performance in Digital Architecture*. Tel Aviv: Tel Aviv Museum of Art, pp. 13–17.
- Grobman, J.Y., Yezioro, A. & Capeluto, I.G., 2009. Computer-based Form-generation in Architectural Design – A Critical Review. *International Journal of Architectural Computing*, 7(4), pp.535–553.
- Grobman, Y. & Neuman, E., 2008. *Performatism: Form and Performance in Digital Architecture*, Tel Aviv: Tel Aviv Museum of Art.
- Grobman, Y. & Neuman, E. eds., 2011. *Performatism: Form and Performance in Digital Architecture*, Routledge.
- Kalay, Y.E., 2004. *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design*, Cambridge, Mass: MIT Press.
- Kats, G., 2009. *Greening Our Built World: Costs, Benefits, and Strategies*, Island Press.
- Kolarevic, B. & Malkawi, A., 2005. *Performative Architecture: Beyond Instrumentality*, Routledge.
- Lynn, G., 1998. *Folds, Bodies & Blobs : Collected Essays* 0 ed., La Lettre Volee.
- Nir, E. & Capeluto, I.G., 2005. Smart cloud-of-points model: Point-based digital media and tools for architectural design. In *education and research in COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN in Europe*. eCAADe. Lisbon, Portugal, pp. 687–694.
- Picon, A., 2010. *Digital Culture in Architecture* 1st Edition., Birkhäuser Architecture.
- Schumacher, P., 2009. Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design. *AD Architectural Design*, 79(4). Available at: <http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20-%20A%20New%20Global%20Style%20for%20Architecture%20and%20Urban%20Design.html> [Accessed October 13, 2011].
- Shaviv, E. & Gali, D., 1974. A model for space allocation in complex buildings: A computer graphics approach. *Build International*, 7, pp.493–517.