המכללה לביטחון לאומי

מחזור מ"ז, 2019-2020

תיעוד תלת מימדיי באתרים ארכיאולוגיים

מגיש: שחר בץ

מרצה: פרופ' דני רז

ציון סופי 92

**מרץ 2020**

**מבוא:**

כבר משחר ההיסטוריה גילה האדם סקרנות עין קץ לגבי העידנים שקדמו לו. ראשית המחקר הארכיאולוגי המודרני החל בשלהי המאה ה- 19. חפירותיו של שלימן באתר הארכיאולוגי של העיר טרויה הניחו את היסודות למחקר הארכיאולוגי המודרני ולחפירות סטראטיגרפיות, לפי שכבות. חפירותיו של פיטרי בראשית המאה ה-20 בתילים הגדולים במצריים ובארץ ישראל ביססו את המחקר הטיפולוגי המודרני של כלי החרס.

שיטות המחקר הארכיאולוגי הללו **כמעט ולא השתנו** לאורך כל המאה העשרים. תהליך החפירה הארכיאולוגית, תיעוד ורישום הממצאים, הליך השרטוט של השרידים הארכיאולוגים וצילום החפירה, שבסופם ועל בסיסם נכתב הדוח הסופי של החפירה, נותרו כפי שהם למן ראשית המחקר ועד העשור האחרון של המאה ה- 20.

פריצת דרך ראשונה החלה עם עידן המחשב. אט אט החלו להיכנס תהליכי מחשוב של החפירה הארכיאולוגית. החלו להיווצר בסיסי מידע ממוחשבים לחפירות השונות, לא עוד רישום ידני בדפי נייר אלא בנייה של מסדי נתונים שאפשרו מעקב מדוקדק אחר כל תהליך החפירה והממצאים. העשור האחרון הביא עימו חידושים פורצי דרך בתהליך התיעוד הארכיאולוגי, והחלו להיכנס תהליכים של תיעוד החפירה באמצעים דיגיטליים, במיוחד בתחום תיעוד השרידים הארכיטקטוניים של החפירה. כניסה של מערכות מדידה מדויקות מבוססות לייזר ו- GPS אפשרו עיגון של התוכניות האדריכליות, ומדידה פרטנית וקביעת מיקום מדויק של הממצא הבודד בתוך מכלול החפירה. טכנולוגיה זו אפשרה ניהול של מחקרים חדשים ופורצי דרך אשר עסקו בממצא בתוך האתר ומשמעותו להבנת חיי היום יום במבנה ספציפי או אף בחדר מסוים.

נקודת השיא בשימוש באמצעים דיגיטליים בחפירות ארכיאולוגיות מתרחש בשנתיים האחרונות עם כניסתה של **טכנולוגיית המידול התלת ממדי** למחקר הארכיאולוגי. בעבודה זו אציג את האתר של נבי סמואל כדוגמה לתהליך.

**מידול תלת ממד: תיאור הטכנולוגיה:**

טכנולוגיה זו מאפשרת יצירה של מודל תלת ממד של מכלול ארכיאולוגי המעוגן ברשת ישראל, בו לכל נקודה במודל יש ביטוי במרחב. כלומר בכל נקודה במודל ניתן לקבל נ.צ. מדויק של הנקודה ה- X,Y וכן ציון ה- Z של הנקודה, קרי הגובה. מודל זה מהווה את בסיס הנתונים של כלל תוצרי התיעוד והפרסום של החפירה ממנו אפשר לייצר כמעט כל נתון שעולה על הדעת. המודל יכול להיעשות על חפירה מצומצמת של ריבוע אחד ועד חפירות ענק המשתרעות על עשרות דונמים כשהתהליך הוא זהה ומהיר.

בניית המודל נעשית בעיקרה ע"י צילום אויר של שטח החפירה לצד צילומי שטח מזוויות שונות (איור 1). בטרם הצילום נלקחים מס' נקודות עיגון של שטח החפירה הנמדדות על ידי RTK (מכשיר מבוסס GPS המודד את הנ.צ והגובה של הנקודה ברזולוציה של ארבעה ספרות אחרי הנקודה). נקודות ציון אלה מסומנות בשטח כך שניתן לזהותם בצילום האויר. בשלב הראשון של העיבוד מופק אורטופוטו מיושר ברזולוציה גבוה של תחום החפירה. בשלב השני מוזנים צילומי האוויר, האורטופוטו וצילומי השטח לתוכנת המידול, כשהנתונים של נקודות הציון מוזנים גם הם לתוכנת המידול ומסומנים במערכת. המערכת יודעת לעבד את כלל הנתונים הן צילומי האויר והן צילומי השטח ולקשור אותם ביחד לכדי מודל תלת ממדי אחד (לתיאור התהליך ראה איור 2).

|  |
| --- |
|  |
| איור 1: נבי סמואל – דוגמא לחפירה גדולה בה נערך מידול תלת מימד. תצלום רחפן |
|  | |
| איור 2: נבי סמואל – הפקת תמונת התלת מימד | |

התוצאה שמתקבלת היא לא תמונה דו ממדית של המכלול, כי אם מודל אינטראקטיבי בתלת ממד של המכלול ממנו ניתן לגזור כל נתון שנדרש ובכל רזולוציה כמעט, מהמכלול כולו ועד לרמת האבן הבודדה. מתוך המודל ניתן לשרטט תכנית אב של המכלול וכן לחתוך ולשרטט חתכים של המכלול בכל נקודה שרוצים. תוצרים אלה משמשים בסופו של תהליך בפרסום הסופי של החפירה ובמחקרים נלווים שונים.

|  |
| --- |
|  |

**מהות הכנסת טכנולוגיית המידול התלת ממד וההישג לארגון:**

טרם כניסתה של הטכנולוגיה הנידונה, שיטת העבודה של תיעוד המכלולים האדריכליים בחפירה שהייתה נהוגה, הייתה של שיטת שרטוט ידנית. לכל חפירה היה מגיע מודד אשר היה מודד ומשרטט אבן אבן וקיר אחר קיר בצורה ידנית ומשרטט אותם על נייר. המדידות נעשו ע"י סרט מדידה פשוט והסתמכה בעיקר על כישוריו האישים של המודד בשטח. כך גם לגבי שרטוט החתכים וקביעת הגבהים של האלמנטים השונים. מטבע הדברים שיטה זו יצרה סטיות וטעויות, לעיתים קרדינאליות להבנת החפירה, במיוחד בחפירות סטראטיגרפיות מורכבות (איור 3).

עליית מדרגה בתהליכי השרטוט והמדידה של החפירות הארכיאולוגיות, נרשמו עם כניסתם של מערכות המדידה הממוחשבות והשימוש בתוכנות מחשב ייעודיות לשימוש אדריכלי. בעזרת מכשירי מדידה מבוססי GPS ניתן היה לקחת נקודות עיגון בחפירה ליצור פלוט עם הנקודות העיגון ועל בסיסם לשרטט את תכנית מכלול החפירה. ועדין כל זה דרש את שרותיו של המודד ושרטוטיו בשטח.

הטכנולוגיה של המידול התלת ממדי של החפירה מסמן כבר מהפכה ממש. טכנולוגיה זו מאפשרת, ע"י צילום אויר וצילום שטח בלבד ועיבודו בתוכנת מחשב, לקבל בסיס נתונים מלא על המכלול הארכיאולוגי. בעזרת המודל שנוצר ניתן לשרטט את המכלול הארכיאולוגי כולו ע"י גרפיקאי ישירות על גבי המחשב. באופן זה נוצרת שכבה גרפית של תכנית מדויקת ברמת האבן המעוגנת על קורדינטות. לצד התוכנית ניתן להפיק מהמודל חתכים של המכלול הארכיאולוגי למלוא גובהם בדיוק של ס"מ. בשכבה זו ניתן להשתמש הן לצרכי פרסום הסופי של החפירה הן לביצוע תוכניות פיתוח של האתר הארכיאולוגי ועוד.

כניסתו של מודל התלת ממד למחקר הארכיאולוגי שינה לחלוטין את תהליכי העבודה בארגון. הוא מאפשר תיעוד וביצוע של תוכניות המכלולים הארכיאולוגים, גם כאלה שהם גדולים ומורכבים במיוחד, במהירות ובדיוק, שלא יכול היה להתקיים קודם לכן. תהליכי העבודה התקצרו ובנוסף תפקידו של המודד הקלאסי בחפירה הארכיאולוגית שהתקיים מראשית המחקר הארכיאולוגי המודרני כמעט והתייתר. כיום כמעט הכול נעשה ישירות על המחשב דרך שימוש במודל התלת ממד (איור 4).

|  |
| --- |
|  |
| איור 3: נבי סמואל – תכנית הרובע ההלניסטי. טרם כניסת טכנולוגית המידול התלת ממד |

|  |
| --- |
|  |
| איור 4: נבי סמואל - דוגמא למידול תלת ממד של מבנה מגורים |

**הסיכונים:**

ניתן לזהות מספר בעיות עיקריות שיוצרת כניסת טכנולוגית המידול התלת ממד במחקר הארכיאולוגי.

1. **כוח אדם** - יצירת מערכת מידול לחפירות הארכיאולוגיות דורשת, מעבר לצורך בכוח אדם מיומן בתחום עולם המחשבים בכלל והמערכת בפרט, בסיס נתונים עצום בגודלו המחייב שינוי מהותי במערך המחשוב. המערכת דורשת שרתים בעלי נפח קיבולות עצום של עשרות טרה ביט ויותר. כמו כן, תשתית טכנולוגית ותמיכה טכנית שתתפעל את בסיס הנתונים באופן שוטף.
2. **ונפח המידע** - הכנסת מערכת שכזו דורשת בניה של נוהל עבודה חדש לחלוטין אשר יתכלל את כל הגורמים העוסקים בחפירה ארכיאולוגית על מנת להגיע לנקודה מסויימת ולקבל את המוצר המוגמר. נוהל עבודה אשר ראשיתו בארכיאולוג החופר, דרך מפעיל הרחפן והצלם, עובר במפעיל המערכת אשר מעבד את המידע ומייצר את המודול וסופו בגרפיקאי המייצר את המוצר המוגמר. כל אחד משרשרת הביצוע חייב להכיר את הטכנולוגיה החדשה, משמעותה ונהלי העבודה אשר יאפשרו מיצוי מקסימלי של המערכת. כל כשל בשרשרת גורם לחוסר יכולת להביא את הטכנולוגיה לכדי מיצוי ובסופו של דבר הארכיאולוג לא יוכל תעדת ולחקור את הממצא.
3. **פערים בין צרכי המחקר הארכיאולוגי ויכולות המערכת ולהפך** – מטבע הדברים מערכות מסוג זה לא נוצרו עבור עולם התוכן הארכיאולוגי אלה הושאלו והותאמו אליו. דבר זה יוצר פערים מסוימים העלולים לגרום מחד לאובדן מידע ארכיאולוגי ומאידך חוסר יכולת להביא לידי ביטוי את כל יכולות הטכנולוגיה החדשה ולעיתים אף לגרום לבזבוז משאבים של כוח אדם ושעות עבודה וליצירת מידע עודף אשר לא נדרש כלל לצרכי המחקר.
4. **החשש בנחיצות החפירות** **ומקצוע המודד והארכיאולוג** – הכנסת טכנולוגיות המדידה גרמו לשינויי בפני המדידה ולצמצום משמעתי של פעולת המודד בשטח. היה חשש רב בקרב הארכיאולוגים כי שימוש בטכנולוגיה יביא בסופו של דבר בסמצום הצורך בחפריות ובארכיאולוגים. טכנולוגיה של ת זיהוי האור והטווח ,LIDAR, שינתה את התחום וסיפקה דרך לסרוק אתרים ארכיאולוגים שלמים ללא צורך ממשי בחפירות. הארכיאולוגים חששו שכל הכנסת טכנולוגיה בסופו של דבר צ=תצמצם את החפירות מבחינה כלכלית וכי הם ימצאו את עצמם מובטלים. זה היה הסיכון המרכזי מבחינת אנשי השטח סיכון שנבע חלקו מבורות ומדעות קדומות.

**השיח עם מומחי הטכנולוגיה ואיך השפיע על קבלת ההחלטות:**

לצורך הבנת הערך המוסף מהטכנולוגיה ורכישתה נעשו מספר שיחות עם מומחים:

1. ערכנו סקר שווקים של מוצרי מדף בקרב חברות מחשבים העוסקות בתחום.
2. כחלק מתהליך הלמידה גם ביקשנו ממספר חברות פרטיות המספקות שרותי מידול בקבלנות משנה, ובקשנו הצעות מחיר לפרויקטים ספציפיים.
3. לאחר שלב זה הגענו למסקנה כי הדרך הטובה ביותר במבחן העלות תועלת תהיה רכישת הטכנולוגיה עצמה והטמעתה בתהליך העבודה ביחידה.
4. נבחנה מול מומחי תוכן בארץ ובחול המשמעות התקציבית של רכישת ידע, הקמת תשתית והLCC של הנושא לאורך שנים.
5. נבחנה מידת ההתאמה לאורך שנות התר"ש והמשמעות של שינויים אילו בכל התחומים.

השיח עם מומחי התוכן הטכנולוגיים, אנשי הכספים והארכיאולוגים הביא להחלטות הבאות:

1. נבחרה תוכנת מדף Context Capture של חברת Bentlley. החברה תספק את התוכנה לצד התמיכה הטכנית למשך 3 שנים.
2. החברה תלמד מודדים וטכנאים מקרב המשרד כיצד לתפעל את התוכנה.
3. החברה תלווה את צוות הארכיאולוגים באופן הפעלת התוכנה וניתוח התוצר.
4. המשרד יגייס אנשי תוכן המעורים בשטח התלת מימד הממוחשב.
5. יוקצו סכומים משתנים בתר"ש להקמת יכולת תשתית. עד לנקודת הזמן של צבירת היכולת החברה מתחייבת לספק שרות אחסון מידע למשך של 3 שנים.

**לקחים לשימור/שיפור מהתהליך- מרגע הרעיון עד הביצוע:**

בתחילת הדרך, הייתה הרגשה שיש פער דורות בין ההנהלה לבין דרגי השטח שהבינו את המשמעות הטכנולוגית. לכן בתחילת הדרך היה צורך להתגבר על פערי הידע והפוביה מהטכנולוגיה שאותה הביעו הדרג הניהולי הבכיר. לאור העובדה שמדובר בטכנולוגיה חדשה לגמרי ופורצת דרך בתחום הארכיאולוגיה הליך הלמידה והרכישה של הטכנולוגיה היה ארוך ומלא בהיסוסים. רק לאחר שגייסנו לעבודה מומחה תוכן לעניין, תהליכי הרכישה קיבלו תאוצה והגיעו לכדי השלמה. לכן אחת הנקודות החשובות הייתה הנגשת הנושא בכל הרמות טרם יוצאים למכרז או מציגים עמ"ט. הנושא ברור לכולם קוגניטיבית אך החששות לעיתים גוברות על השכל. לכן היה נכון לבצע תהליך למידה להסרת מכשולים וחששות.

הטמעת המערכת בהליכי העבודה הייתה גם היא ארוכה ולא פשוטה. על מנת לקבל תוצר מוגמר ואיכותי נדרשה שבירת מוסכמות עבודה וקיבעון מחשבתי של צוות הארכיאולוגים אשר הכיר תהליך עבודה מסוים שעל פיו התרגל לעבוד לאורך שנים והתקשה להסתגל לטכנולוגיה החדשה ולתהליכי העבודה השונים שהיא הביאה עימה.

נושאים לשיפור:

1. חשש מקבלת דבר חדש, חשש מהטכנולוגיה בעיקר בדרג הנהלה.
2. הכנסת הנושא דרך אנשי מקצוע שחששו למעמדם ותפקידם.
3. היה צורך בהנגשת המידע לפני התחלת התהליך.
4. לקוח שאינו בקיא בטכנולוגיה מצריך מומחה תוכן פנימי.
5. חוסר לימוד הנושא בתואר הראשון וקידוש הישן.
6. הסתמכות על מיקור חוץ.

נושאים לשימור:

1. הבנת היכולות בעולם.
2. מחקר משווה ומדעי**.**
3. התבססות על מומחי תוכןרלוונטיים והתאמות לארכיאולוגיה.
4. ליווי ל מומחי תוכן חיצוניים בלמידה, תמיכה בתשתית.
5. הסכם מפתח עם חברה חיצונית שנותנת מעטפת של 360.
6. הקמת יכולת פנימית- תשתית וכ"א מיומן מתחילת התהליך.
7. יישור קו בתר"ש עם הקו הקדמי במחקר.

**סיכום:**

הכנסת טכנולוגיה לגוף קיים הינה משימה קשה. על אחת כמה וכמה שמודבר במקום המתעסק בארכיאולוגיה ובטכנולוגיה שיכולה לייתר עובדים מסוימים. מתהליך זה ניתן ללמוד על תהליכים דומים של הכנסת טכנולוגיה לארגון. ראשית יש לקבוע מומחה תוכן במשרד שהוא זה אשר ינגיש את המידע למקבלי ההחלטות. קרי, יש לבצע השקעה התחלתית לקבוע מוביל תחום מתוך היחידה ולהכשירו. מוביל זה מכיר את צרכי הארגון ויכיר את היכולות הטכנולוגיות שבחוץ.

פערי המידע ופערי הדורות בין ההנהלה שלעיתים מקובעת לבין עובדי השטח היא המכשלה הראשונה שיש לעבור. לאחר ההסבר להנהלה וההבנה על החשיבות והתרמה לארגון ניתן להתקדם. מנהל שרואה את התמונה הרחבה חייב לשאול את עצמו מספר שאלות ארוכות טווח. מה התפוקות למול התשומות בנושא ההטמעה הטכנולוגית? מה המשמעות של אי קבלת הטכנולוגיה על הארגון שלו? מה האינטרוול של השינוי הטכנולוגי לאורך התר"ש? ולבסוף מה המשמעות על הארגון מבחינה תקציבית, הכשרות כ"א וכן תשתית. רק בחינה הוליסטית של כל המרכיבים יוכלו להביא להכנסה מוצלחת של טכנולוגיה. בקמ"ט ארכאולוגיה ביצעו תהליך יפה בו החברה החיצונית נותנת מעטפת של תמיכה, לימוד ,תמיכה תשתיתית ואחריות להטמעה במשך שלוש שנים.

בסופו של תהליך חייבים לנוע קדימה וגם תחום "עתיק" כמו חפירות ארכיאולוגיות מקבל דחיפה טכנולוגית ועומד בקו ראשון מבחינה טכנולוגית עם מקצועות אחרים.