**[](https://www.google.co.il/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fhe%2Fthumb%2F8%2F8c%2FMabalLogo.svg%2F1200px-MabalLogo.svg.png&imgrefurl=https%3A%2F%2Fhe.wikipedia.org%2Fwiki%2F%25D7%2594%25D7%259E%25D7%259B%25D7%259C%25D7%259C%25D7%2594_%25D7%259C%25D7%2591%25D7%2599%25D7%2598%25D7%2597%25D7%2595%25D7%259F_%25D7%259C%25D7%2590%25D7%2595%25D7%259E%25D7%2599&docid=h1vK6NzwqZ453M&tbnid=j5aXsomFL4G_IM%3A&vet=10ahUKEwjR_5_U___lAhUlUBUIHcm2BoYQMwhOKAAwAA..i&w=1200&h=1457&bih=607&biw=1280&q=%D7%A1%D7%9E%D7%9C%20%D7%9E%D7%91%22%D7%9C&ved=0ahUKEwjR_5_U___lAhUlUBUIHcm2BoYQMwhOKAAwAA&iact=mrc&uact=8)**

**המכללה לביטחון לאומי**

**מחזור מ"ז, 2019-2020**

**קורס מבוא לעולם הדיגיטלי למקבלי ההחלטות**

מטלת סיכום

**מפעלים חכמים – רתימת יכולות הבינה המלאכותית לתהליכי הייצור בתעשייה הכימית**

**מגיש: גל שקל**

**מנחה אקדמי: פרופ' דן רז**

**אפריל 2020**

**מבוא - מערכות הייצור בתעשייה הכימית**

התעשייה הכימית אחראית להמרה כימית של חומרי גלם (כגון דלקים, גז פוסילי, מתכות, מינרלים, פולימרים) לחומרים אחרים (תוצרים) בעלי שווי או ערך כלכלי גבוה יותר. תוצרים אלה יכולים לשמש ולהימכר כחומר גלם הנדרש לייצור חומרים אחרים או להימכר כמוצר סופי בשווקים (כגון תעשיית הדלקים, חומרי משקי הבית, דטרגנטים תעשייתיים, פולימרים, דשנים, פרמצבטיקה ועוד). מחזור המכירות השנתי הגלובלי של תעשייה זו מוערך ב 4-5 טריליון דולר אמריקאי. מטבע הדברים, מדובר בתעשייה תחרותית, בה יעילות הייצור מתבטאת בסכומי כסף משמעותיים. שיפור יעילות הייצור בהשוואה לתהליך ייצור בזבזני או לא אופטימלי יכול להוות יתרון תחרותי משמעותי או לחלופין להוביל לחיסולה של החברה. במקביל והודות למהפכה הטכנולוגית בתחום ה IT, החל משנות ה-60 עברה התעשייה הכימית מהפכה מתמשכת בתחום המחשוב, הבקרה, הניטור, איסוף המידע והאוטומציה. תהליכי הייצור דורשים יציבות, רובוסטיות והדירות בקווי הייצור השונים על מנת לעמוד בדרישות האיכות של התוצר, בתפוקה הנדרשת ודרישות הבטיחות של המפעל להגנה על העובדים והסביבה. הפעלה של מתקן כימי, הכולל מאות או אלפי ברזים מפוקדים, ריאקטורים (מיכלים בהם מתרחשת התגובה הכימית), צנרת ענפה להולכת זורמים, מיקסרים, תנורים, עמודות זיקוק, מסננים, מסועים, מערכות חשמל, מים, קיטור, אוויר ועוד, מורכבת ודורשת כוח אדם מקצועי, מיומן ומנוסה האחראי להפעלת המתקן 24 שעות ביממה 7 ימים בשבוע. הפעלת המתקן, תפקודו התקין וביצועיו, כרוכה ביכולת המפעיל לנתח תקלות ומצבי אי וודאות ולהתמודד עם תקלות מורכבות. מחיר הטעות במקרה של ניתוח כושל או שגיאה תפעולית עלול להיות יקר ולהתבטא בהשבתת המתקן לזמן ממושך ובמקרים חמורים יותר לגרום לנזק בלתי הפיך לציוד יקר ערך במפעל. נכון להיום מתקני הייצור המודרניים מצוידים במערכות IT מתקדמות המאפשרות אוטומציה ממוחשבת והפעלה מרחוק המנוהגת על ידי מערך בקרים תעשייתי ייעודי המקבל בכניסה אותות מחיישני הניטור והמדידה המספקים אינפורמציה רציפה או דיסקרטית און-ליין על מצב בשטח המתקן (טמפרטורות, לחצים, ספיקות, ריכוזים, מצב בירוז וכד'). המפעיל (Human operator) מתפעל את המתקן באמצעות ממשק הפעלה **Human Machine Interface (HMI)** המקשר בינו לבין הבקר המתוכנת באמצעות קוד המבוסס אלגוריתם או רצף תפעולי בהתאם לשלבי הייצור והגנות הבטיחות. חשוב לציין ש"הידע וההבנה" של התהליך המתרחש במתקן הם בידי המפעיל וההחלטות שהוא מקבל והפעולות אותם הוא בוחר לבצע הם כמובן באחריותו ועל פי שיקול דעתו על בסיס ניסיונו ורמת מקצועיותו האישית.

**ההישג למפעל כתוצאה מיישום הטכנולוגיה.**

על פי הערכת מכון המחקר Accenture (Accenture and Frontier Economics, 2017), עד שנת 2035 טכנולוגיות שישכילו לשלב טכנולוגיית AI בתהליכי הייצור, יגדילו את פריון כוח העבודה שלהם עד 40%, וכנגזרת מכך את תפוקת התוצרת והמכירות בשיעור דומה. התוספת להגדלת היקפי המכירות בשוק תעשיות הייצור הגלובלי על פי הערכת מכון המחקר נאמד ב 3.8 טריליון דולר. שילוב טכנולוגיית AI בתהליכי הייצור בכלל ובתעשייה הכימית בפרט יאפשרו לכוח האדם האחראי לתפעול ולתחזוקת המתקן להתמקד בהחלטות ובסוגיות המהותיות ויחסכו ממנו את הצורך לעסוק בניהול השוטף ואף יחסכו ממנו את הטעויות והתקלות הנובעות מהחלטות ופעולות שגויות כתוצאה מהגורם האנושי (כגון: פזיזות, עייפות, רשלנות, היסח הדעת וכדומה) כפי שמתואר בהמשך. הישגים משמעותיים נוספים מתוארים גם במהלך ובסוף הפסקה הבאה.

**יישום שימושי בינה מלאכותית במערכות הייצור, השימוש וניצול המידע המצטבר**

כאמור, ההשקעה הראשונית הכרוכה בהקמת תשתית IT מתקדמת, מערכות מחשוב, בקרה, ניטור, ומדידה כבר בוצעה לאורך שלושת העשורים האחרונים והודות לכך כמות המידע הנאגרת והנשמרת בבקר היא עצומה. לצורך ההמחשה, מפעיל המתקן יכול בכל רגע נתון לדלות נתונים היסטוריים שנאגרו בבקר בכמה לחיצות כפתור ולהציג אותם על גבי מסך ההפעלה באופן טבלאי או גרפי. לדוגמא, מפעיל המעוניין להציג ולנתח את אופיין הלחץ, הטמפרטורה ומפלס הנוזל במיכל מסוים מנקודת זמן X עד נקודת זמן Y במהלך ביצוע תגובה כימית במיכל. יכולת זו קיימת ומבוססת כבר כיום והיא מבוצעת בשגרה. המסקנות וההחלטות מתהליך הניתוח תלויה במפעיל האנושי, ומושפעת מיכולות הניתוח המקצועית שלו ומהטיותיו האישיות. שימוש והטמעת טכנולוגיית AI יכולה לשנות את התמונה לחלוטין. מערכת לומדת הניזונה והעוקבת אחר כל הנתונים בכל רגע נתון ובזמן אמת יכולה לזהות קשרים בין סיבה לתוצאה, לנתח רגישות של משתנים ופרמטרים משפיעים, לזהות אנומליות בתהליך ולסייע רבות בניתוח אירועים חריגים ותקלות. הציפיה היא שהמערכת "הלומדת" תשפר את ביצועיה לאורך זמן תוך כדי "צבירת ניסיון" תפעולי. לצורך כך המערכת "תעודכן" על כל אירוע חריג או חריגה תפעולית כתלות בזמן באמצעות סט קריטריונים מוגדרים או באופן יזום כאשר הדבר ידרש. דוגמא זו התמקדה והמחישה את הפוטנציאל בהיבט התפעולי של המתקן. תהליך דומה ניתן ליישם גם בעולם התחזוקה.

תחזוקת מתקן כימי כרוכה בהשקעת משאבי כוח אדם ותקציב ולתהליך לקבלת החלטות בנושא תיעדוף העבודות יכולה להיות השפעה קריטית. שיטה אחת היא להנהיג מדיניות של "אחזקת שבר" כלומר "עובד עד שנשבר או מתקלקל" אולם לאורך זמן זוהי השיטה היקרה ביותר ולעיתים גם המסוכנת ביותר מבחינה בטיחותית. המשמעות במקרה של "שבר" היא עצירת תהליך הייצור עד לתיקון התקלה ולעיתים הדבר עלול לגרום לתקלות משנה ולמחירים בלתי נסבלים. בצד השני של הסקלה, ניתן להנהיג מדיניות של "אחזקה חזויה" (Predictive maintenance), מבצעים הערכה המבוססת על נתוני המתקן בזמן אמת היכן נכון להשקיע בנקודת הזמן הנוכחית את המשאבים **כדי למנוע את השבר** ולהימנע מזמן השבתה ארוך (Decreasing downtime). כאן יכולה להיכנס לתמונה מערכת ה AI המסייעת בקבלת ההחלטות. מערכת הבינה המלאכותית המוזנת בפלט של החיישנים המותקנים בשטח כגון חיישני רעידות וחיישנים אקוסטים לדוגמא, "לומדת" את ההבדל בין **האופיין התקין** **לאופיין המעיד על שינוי מגמה חריג המקדים את התקלה** ומצביע על הצורך בנקיטת פעולה או בטיפול מוקדם. ובהמשך לדוגא הקודמת, תחילת שחיקה של מייסב במנוע גדול משפיעה על אופיין הרעידות והאות האקוסטי הנפלט מהמנוע. באופן דומה ולא ארחיב מפאת קוצר היריעה ניתן לקבל תועלות משמעותיות מ"מערכת לומדת" גם בתחום זיהוי מוקדם של מצבי כשל במתקן (Prediction of failure modes), מניעת תקלות בטיחות (safety), צמצום פליטת מזהמים לסביבה, מציאת תחום עבודה אופטימלי בהקשרי יעילות תהליכית, חיסכון באנרגיה ושיפור הניצולת ורווח נוסף משמעותי ביותר אותו ניתן להפיק ממערכת המסוגלת לנבא את תגובת המתקן לפעולות המפעיל ורעשי הסביבה הוא ה**יכולת למדל את המתקן (Models)**. **יכולת זו מאפשרת לבנות סימולטור המאפשר בחינת מצבי קיצון, תרגול מפעילים, ניתוח מצבים ועוד.**

באופן גנרי כדי לאפשר שיח יעיל בממשק בין מומחי הטכנולוגיית ה AI למשתמש (מהנדס המתקן) ניתן להגדיר 3 שלבי מפתח. **א.** **הגדרת פונקציית המטרה**, מהו ה output אותו אנו רוצים להשיג (למשל, מיקסום תפוקת הייצור במגבלות התשתית הקיימת, חיסכון באנרגיה, הקטנת זמן השבתה וכד'). **ב.** **המשתנים המשפיעים**, כאן נדרש להצביע מראש על המשתנים שאנו מעריכים שיכולים להשפיע על התוצאה המבוקשת והמערכת תבחן את רגישות השפעת המשתנים הנ"ל ותתבקש להצביע על משתנים אחרים עליהם לא חשבנו **ולבסוף,** **תמיכה בקבלת החלטות.** המערכת תמליץ על ביצוע פעולות או על הימנעות מביצוע פעולות בזמן אמת כמערכת תומכת החלטה. זאת בנוסף לכל התועלות שצוינו קודם לכן.

**תובנות ולקחים שעלו מהשיח**

התובנה העיקרית שעלתה מהשיח עם פרופ' דני רז במהלך יום הדיון וההצגה היא **חשיבות** **בניית האמון** בין כל בעלי העניין במהלך תהליך השינוי והכנסת טכנולוגיה חדשה ולא מוכרת לארגון. ראשית יש לשכנע את **ההנהלה הבכירה בצורך ובכדאיות (הכלכלית)** של הכנסת המערכת החדשה אל מול הסיכונים, הרתיעה, אי הרצון לבצע שינויים והחשש מסיכונים. התהליך דורש נחישות, סבלנות ומאמץ משותף של כל בעלי העניין והרבדים בארגון. יש לפעול בשקיפות **ולבנות אמון גם בקרב אנשי רצפת הייצור** והמשתמשים העלולים לחשוש לאיבוד מעמדם, כוחם ואולי אף פרנסתם כתוצאה מהשינוי במיוחד בעת הכנסת טכנולוגיה "מאיימת" מסוג זה. ההמלצה המעשית לצורך בניית האמון הייתה **לבצע הכנסה והטמעה מדורגת**. המלצתי בהיקשר זה היא לבנות "פיילוט" חלוץ במתקן ראשון אחד במפעל וגם את הפיילוט הזה לפתח ולעבות באופן זהיר ומדורג. כדי לבנות אמון במערכת, להסיר התנגדויות ולבסס את הטכנולוגיה החדשה יש להראות ולהוכיח יכולות, הצלחות ותועלות לכלל הגורמים בארגון. בניית אסטרטגיית הנהלה המבוססת על עקרון זה והוכחת תועלות ויכולות באופן מדורג תוביל להאצת התהליך ולהרחבתו בהתאם.

**מקורות**

Accenture and Frontier Economics (2017)

**Accenture Research**

Accenture Research shapes trends and creates data-driven insights about the most pressing issues global organizations face. Combining the power of innovative research techniques with a deep understanding of our clients’ industries, our team of 250 researchers and analysts spans 23 countries and publishes hundreds of reports, articles and points of view every year. Our thought-provoking research—supported by proprietary data and partnerships with leading organizations such as MIT and Singularity—guides our innovations and allows us to transform theories and fresh ideas into real-world solutions for our clients.

www.accenture.com/research.

**השקפים שהוצגו במהלך הדיון**









