



---

---

# קידום תשתיות ייצור מתקדמות בעזרת אנליטיקה: סקירת כלים ויישומים

דו"ח ביניים

---

---

חוקרים:  
פרופ' רון קנת  
ד"ר ענבל יהב  
ד"ר אביגדור זוננשיין

אפריל, 2017

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחבר/ים ואינן משקפות בהכרח את דעת

מוסד שמואל נאמן.

## תוכן עניינים

2	תוכן עניינים
3	רשימת איורים
3	רשימת טבלאות
4	תקציר
5	1. מאפייני הייצור המתקדם
5	1.1 מבוא
7	1.2 מיומנויות אנליטיות נדרשות בייצור מתקדם
7	1.3 היבטים נוספים של תשתיות הדרושות לקידום ייצור מתקדם
11	2. שיטות אנליטיות בייצור מתקדם
11	2.1 מגמות באנליטיקה
11	2.2 נושאים באנליטיקה מתקדמת התומכים בייצור מתקדם
13	3. איכות האינפורמציה המופקת במסגרות ייצור מתקדם
13	3.1 התפתחות האנליטיקה בהיבטי ייצור
14	3.2 מבוא לאיכות אינפורמציה (InfoQ)
14	3.3 איכות אינפורמציה של האנליטיקה בייצור מתקדם
15	4. מתווה לקידום נושא הייצור המתקדם ואנליטיקה בישראל
16	4.1 השלב הראשון: סקירת הידע הקיים בתחום הייצור המתקדם
16	4.2 השלב השני: קידום פרויקטי פיילוט בעזרת שיתופי פעולה
17	4.3 השלב השלישי: הקמת זירת ידע ובסיס מידע של חברות ויזמות בתחום

## רשימת איורים

---

איור 1: מעגלי הייצור המתקדם.....16

## רשימת טבלאות

---

טבלה 1: חברות הזנק ישראליות בתחום אנליטיקה בייצור המתקדם (רשימה נכונה ל 4.2017).....9

טבלה 2: הערכת איכות אינפורמציה של 4 שיטות אנליטיות בשימוש ייצור מתקדם.....15

טבלה 3: מועמדים לפיילוט בייצור מתקדם.....16

## תקציר

ייצור הופך חומרי גלם ורכיבים למוצרים ומערכות. פריון הייצור קובע את היכולת להתמודד בשוק היצוא הן מבחינת תחרותיות מחירי המוצרים והן מבחינת זמני תגובה לדרישות השוק. פריון נמוך מביא למשכורות נמוכות ולעיתים לסגירת מפעלים או להעתקת המפעלים לחו"ל<sup>1</sup>.

שיפור פריון תשתיות ייצור מבוסס על השקעות בציוד, על איסוף וניתוח נתונים מתהליכי הייצור והתקנת חיישנים שמאפשרים בקרה ושליטה. שיפור מסוג זה מכון לייצור מתקדם המאפשר השגת יעדי עלות ואיכות ברמה בינלאומית. בהקשר הזה, לשימוש מושכל במידע ולפיתוח מוצרים ושירותים חדשניים מבוססי מידע, יש פוטנציאל גדול בקידום תהליכי ייצור וע"כ להגדלת פריון של חברות בישראל ובכלל, ולתרום לצמיחתן. במחקר שנעשה על ידי ה OECD נמצא כי שימוש במידע יכול לשפר פריון של חברה ב 5% עד 10%. בארץ, בוצע מחקר דומה על ידי חברת הייעוץ דלויט שאישש את הנתון של 5% פוטנציאל עליה בפריון. המחקר של דלויט מזהה אפשרות של עליה ב 5% בתמ"ג של ישראל שיעלה ע"כ ב 54 מיליארד ש"ח, ויביא לתוספת של 18 מיליארד ש"ח להכנסות המדינה ממיסים. את הדוח המפורט ניתן להוריד מ: <https://goo.gl/nmV03Q>

מטרת מסמך זה היא לסקור שיטות ויישומים בתחום האנליטיקה כחלק מתחום הייצור המתקדם. הסקירה תתייחס לאיסוף נתונים בהיקפים גדולים (Big Data), שיטות ייצור מתקדמות ומתודולוגיות ניתוח נתונים מתקדמות (Advanced Analytics). מטרת העל של היוזמה לקידום תשתיות ייצור מתקדמות בעזרת אנליטיקה היא להביא לשיפור פריון הייצור בישראל בעזרת נתונים ואינפורמציה. מטרת משנה הן להשפיע על החינוך התעשייתי והמנהיגות התעשייתית בישראל כך שיראו בקידום שיטות ייצור מתקדמות אתגר משמעותי וירתמו אליו.

פרק 1 במסמך, מסכם את המאפיינים העיקריים של ייצור מתקדם. פרק 2 מציג רשימה של נושאים וכלים אנליטיים התומכים בייצור מתקדם. פרק 3 ממנף את ממדי InfoQ לבחינת איכות המידע, וע"כ מאפשר למפות את הכלים ושיטות שמוצגות בפרק 2. פרק 4 מתווה כיווני דרך ומציג תכנית פעולה ראשונית.

**המטרה:** ייזום והבניה של פעילות בתחום הייצור המתקדם בישראל תוך שילוב אנליטיקה מתקדמת, טכנולוגיות חישה ותהליכי ייצור מודרניים. המסמך מציג חומר רקע וכיווני פעולה קונקרטיים.

<sup>1</sup> <http://www.neaman.org.il/Neaman2011/Templates/ShowPage.asp?DBID=1&TMID=580&LNGID=2&FID=964&IID=4456>

# 1. מאפייני הייצור המתקדם

## 1.1 מבוא

המהפכה התעשייתית התחילה במאה ה-18 עם הכנסת קיטור ותחנות מים בתעשיית הטקסטיל באנגליה. חשמל שולב במפעלים לייצור רכב של הנרי פורד בתחילה המאה ה-20 ומחשבים שולבו בשנות ה-70 של המאה הקודמת במסגרת מאמצי ניטור ובקרה. בשנים האחרונות מתחוללת מהפכה משמעותית נוספת עם הכנסת חיישנים, רובוטים, ציוד מדידה ואנליטיקה מתקדמת במה שזכה לכינוי ייצור מתקדם, Industry 4.0 או Manufacturing 4.0.

אחת ההגדרות של ייצור מתקדם היא:

"ייצור עם קישוריות גבוהה, אשר נתמך בנתונים וידע, המאפשר לארגון לבצע אופטימיזציה של תהליכים עסקיים ותפעוליים, על מנת לייעל פריון וצריכת משאבים כולל אנרגיה, כדי להגיע לרמת ביצועים גבוהה במונחים תפעוליים וכלכליים" הלינק הבא הוא מצגת מפורטת.

[Pai, J.C., Industry 4.0: from the Internet of Things to Smart Factories, MSME, 2014](#)

מומחים צופים שהיקף הנתונים שישולבו בתהליכים אלה יעלה ב-2020 על 15 טריליון גיגהבייט במקביל, ההשקעה באנליטיקה ב-2020 צפויה לעלות על 18 מיליארד דולר. הדוח הזה של IDC

מתייחס לאנליטיקה ותחומים של **Cognitive Systems and Artificial Intelligence**

<http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS41878616>

ייצור מתקדם משלב מספר שינויים מהותיים כגון:

- שימוש מוגבר בחיישנים ומערכות מעקב על בסיס תמונות המספקים חתימות קול, חום, רעידות, הרכב חומרים ועוד.
- ייצור באמצעות מדפסות תלת מימד המאפשר שינויים תכופים במוצרים עקב דרישות משתנות בשוק, כולל תפירה והתאמה של מוצרים לצרכים ספציפיים
- במקום שימוש בחומרי גלם קיימים - סינתזה של חומרים חדשים המותאמים למוצר הסופי ולשיטות ייצור מתקדמות
- במקום ייצור בסדרות גדולות - ייצור בסדרות של "אחד", עם גמישות כך שכל מוצר שונה מרעהו.
- דיגיטיזציה מקיפה של תהליכי הייצור, תוך שימוש מקיף וחכם בחיישנים חכמים ויכולת ניתוח נתונים מעמיקה ומקיפה
- במקום הצעת ומכירת המוצר הפיזי בלבד - חבילת פתרונות אינטגרליים הכוללת חומרה, תוכנה ושירותים. חבילה זו משלבת גם חיישנים ודרישות לאיכות ואמינות גבוהים יותר. החיישנים והנתונים מאפשרים חיזוי התנהגות המוצרים ויכולת תחזוקה ותיקון מראש
- מחזור של חומרים והחזרתם לתהליך הייצור, מעבר להיקף המחזור שמתבצע כיום בעיקר משיקולים סביבתיים.

פרטים נוספים ניתן למצוא במאמר הסקירה של [Calignano et al \(2017\) Overview on Additive](#)

[Manufacturing Technologies, Proceedings of the IEEE, 105\(4\): 593-612](#)

מהפיכה זו באה לענות על מספר אתגרים ברמה הלאומית:

- **העברת הייצור למדינות אחרות:** הצטמצמות מדאיגה של בסיס הייצור במדינות המתבססות על עובדי ידע. הייצור עובר למדינות בהן הייצור מתבצע על ידי עובדים בשכר נמוך.
- **ניתוק הקשר בין הפיתוח לייצור:** ללא הקשר הבלתי אמצעי בין קבוצות הפיתוח וההנדסה של המוצרים החדשים עם מוקדי הייצור, ניתק המסלול החיוני של חדשנות ושיפור מוצרים ושירותים בזמן אמת מול צרכי השוק. כמו כן, יש קושי בפיתוח העסקי של הדורות השונים של המוצרים והתאמת גרסאות לשווקים השונים.
- **פגיעה בתעשייה המסורתית:** בתעשייה המסורתית, נוצר פער פריון גדול לעומת תעשיית העלית, הגורם לירידה ברמת ההשתכרות בתעשייה המסורתית ולחוסר משיכה של צעירים לתעשייה זו.
- **צמצום יכולת התגובה:** השוק הגלובאלי דורש שינויים והתאמות אישיות במוצרים בקצב גובר והולך.
- **התייעלות מוגבלת:** המגמות של תעשייה ברת קיימא מחייבת שימוש יותר מושכל בחומרים וחיסכון גדול במשאבי אנרגיה.

בד בבד עם הגידול באתגרים הניצבים בפני התעשייה, מבשילות טכנולוגיות פורצות דרך. טכנולוגיות הייצור המתקדמות העיקריות הן:

1. הנדסת ננו של חומרים ומשטחים - כולל סינתזה ובנייה של חומרים פונקציונאליים ומולטיפונקציונאליים ברמת הננו ורמת המיקרו. מקור החומרים יכול להיות טבעי וגם מלאכותי.
2. ייצור בהוספה וייצור מדיק - כולל שימוש בטכנולוגיות חדשניות כמו הדפסה תלת-מימד, בהן תהליך הייצור הוא הוספת משטחים ליצירת המוצר מאבקת חומר.
3. רובוטיקה ואוטומציה מותאמת - כולל שימוש אינטליגנטי של רובוטים ואוטומציה בייצור. טכנולוגיות אלו מחליפות עבודת ייצור מחזורית, או היכן שנדרש דיוק גבוה. כמו כן, שימוש במערכות אוטונומיות לביצוע משימות מורכבות.
4. הדור הבא של האלקטרוניקה - כולל פיתוח חומרים חדשים לחצאי מוליכים כמו GaAs שיאפשרו המשך גידול בכושר החישוב לפי חוק מור. כמו כן פיתוח שיטות ליטוגרפיות חדשניות שיאפשרו הדפסה לא יקרה של כרטיסי אלקטרוניקה מתקדמים, כולל גמישים ותלת-מימד.
5. ייצור רציף של פרמצבטיקה והנדסת ביו - פיתוח שיטות ייצור מיוחדות, עם בקרה בזמן אמת, לתרופות בכמויות גדולות וכמויות קטנות. כמו כן, מקום מחקר להפיכת בקטריות ותאים ליצרני פרטאינים ותרכובות על פי בקשה.
6. תכן וניהול שרשראות אספקה מבזרות - כולל ניהול שרשרות אספקה רב לאומיות, עם בקרה ועקיבות מלאה, תוך דאגה לאיכות ולעמידה בתקנים בינלאומיים. כמו כן, מושם דגש מיוחד על עמידה בהיבטי סביבה, קיימות, הבטחת מידע, הגנה בפני סייבר, אחריות חברתית ומניעת רמאויות.
7. ייצור ירוק ובר קיימא - כולל עידוד מחזור ושימוש חוזר של חומרים, צמצום האנרגיה המושקעת במהלך הייצור והלוגיסטיקה.
8. שילוב נרחב של סנסורים לאיסוף וניתוח נתונים ורישומם באמצעות אינטרנט של הדברים. נתונים רבים אלו מנותחים בכלים אנליטיים מתקדמים, המאפשרים לא רק ייצור ותחזוקה חכמים אלא גם חיזוי מראש של התנהגויות ואנומליות.
9. שימוש נרחב במודלים וסימולציות לתכן המוצרים, לבחינתם ולייצורם בצורה אופטימלית ככלל, ייצור מתקדם מאופיין בחדשנות פורצת ומשבשת, המתבסס על ידע רב ומעמיק של החוקרים, המהנדסים והעובדים.

בסעיף הבא נסקור בקצרה את המיומנויות האנליטיות הנדרשות בייצור מתקדם.

## 1.2 מיומנויות אנליטיות נדרשות בייצור מתקדם

כאמור, הייצור המתקדם נשען על שלושה מרכיבים:

- א. טכנולוגיות ייצור מתקדמות
- ב. מקורות נתונים מגוונים המשלבים חיישנים ואמצעים בתחום הדימות והניטור
- ג. יכולות אנליטיות מתקדמות.

המיומנויות האנליטיות הנדרשות בייצור מתקדם כוללות:

1. קשר ישיר למקורות וסוגי מידע רבים
2. יכולת לטפל במידע בהיקף של טרה-בייטים
3. יכולת לשלב מידע מובנה ובלתי מובנה
4. שימוש ביכולות ענן כדי לאפשר אחסון בלתי מוגבל ונגישות למידע בכל מקום ובכל זמן
5. לוח מכוונים שמתעדכן בזמן אמת, המשלב יכולות אנליטיקה להעמקה ו"צלילה" כדי לקבל תובנות אופטימאליות לצורך קבלת החלטות
6. יכולת זיהוי חכם של אנומליות, חריגות ותקלות בייצור ובהרכבה
7. יכולות מידול וסימולציות של מוצרים, מערכות ותהליכים
8. יכולות הערכת אופטימיזציה רב מימדית של מערכות ותהליכים

פרק 2 מפרט את המיומנויות האנליטיות הנדרשות במסגרת ייצור מתקדם.

## 1.3 היבטים נוספים של תשתיות הדרושות לקידום ייצור מתקדם

א. תשתיות אינטרנט

תשתיות אינטרנט מהוות מרכיב קריטי בפיתוח ייצור מתקדם. ישראל לא נמנית עם המדינות המתקדמות ביותר בתום האינטרנט. פרטים על המצב ב 2016 ניתן למצוא ב:

<https://www.isoc.org.il/sts-data/20979>

ב. מיומנויות משאבי אנוש

לצד כמות בוגרים כנראה מספקת של אקדמאים שמכשירות האוניברסיטאות והמכללות קיים מחסור בכ"א מקצועי. בנוסף קיים מחסור בתחומים ייחודיים של הנדסת חומרה ופתוח תוכנה. פרטים [בדוח](#) של פרופ בן טל ופרופ' פלד ממוסד נאמן בנושא. בנוסף, וכמענה לביקוש רחב, נפתחו מסלולי לימוד למדעי הנתונים בכל האוניברסיטאות בארץ. חינוך מתכננים לייצור מתקדם מהווה אתגר משמעותי.

ג. מוקדי ידע בתחומי ייצור מתקדם, אנליטיקה, סטטיסטיקה וחיישנים

מוקדי ידע בתחום הזה קיימים במספר אוניברסיטאות. דוגמאות בולטות הן המעבדה להנדסת מכונות של פרופ' [יעקב בורטמן](#) באוניברסיטת בן גוריון שעוסקת בסנסורים ומודלים בתחומי ה PHM והפעילות של פרופ' [משה טור](#) באוניברסיטת תל אביב. בסנסורים אופטיים. מוקדי ידע הקשורים לדטה אנליטיקה קוללים את הקבוצה של פרופ' עודד מימון ופרופ' עירד בן גל באוניברסיטת תל אביב ואת הפעילות של פרופ' אביגדור גל בטכניון. [הדוח](#) של מוסד שמואל נאמן מ 2016 שהוכן על ידי דר' אביגדור זוננשיין, דר' גילי פורטונה ועידן ליבס משקף תמונת מצב ברמה לאומית.

ד. חדשנות בכלים ואמצעים. קידום ייזמות וחברות הזנק בתחום.



תמונת מצב לגבי תפוקות מו"פ מפטנטים ישראליים מציג את המאפיינים של הפעילות ההמצאתית הישראלית. דוח של מוסד שמואל נאמן מ 2017 מציג את הנושא בשני העשורים האחרונים ומאפשר לבחון את מיקומה של ישראל בפעילות המצאתית ביחס לקבוצת המדינות המפותחות.

ה. עידוד ממשלתי

משרד הכלכלה והתעשייה הקים לאחרונה את רשות החדשנות. ייעוד רשות החדשנות הוא הבטחת שגשוג כלכלי באמצעות חדשנות טכנולוגית. מטרת רשות החדשנות הן חיזוק המחקר והפיתוח בתעשייה הישראלית, הגדלת התועלת הכלכלית שהתעשייה מניבה למשק הישראלי, קידום היצוא, יצירת מקומות עבודה ושימור מקומה של מדינת ישראל בחזית החדשנות העולמית.

במקביל, משרד התחבורה פועל לקדם תנועת כלי רכב אוטונומיים במדינת ישראל והממשלה החליטה לקדם תוכנית לאומית לתחבורה חכמה. אחד הפרויקטים הראשונים במסגרת החלטה זו הוא הקמת מרכז ניסויים לרכב אוטונומי ותומך תחבורה חכמה. במסגרת זו יפעלו גורמים שונים שעוסקים בתחבורה חכמה ורכב אוטונומי: גופים אקדמיים, סטארט-אפים, תאגידים וגורמים שיכולים לספק את התשתיות למרכז ניסויים זה. למעשה, מרכז הניסויים ישמש מעין חממה טכנולוגית שתייצר תשתיות מידע הנדרשות למו"פ ולצמיחת תעשיית התחבורה בישראל. מהלך נוסף שאמור להיות כחלק מהמיזם הזה הוא פתיחה והנגשת מאגרי המידע בתחום התחבורה החכמה לטובת כל החברות והיזמים שפועלים בעולם התחבורה בישראל, לרבות זו הציבורית. הפעילות הזו מבוססת על שיתוף פעולה עם האקדמיה – באמצעות ות"ת.

מטרת היוזמה לקידום ייצור מתקדם, ודגש על שילוב אנליטיקה בייצור מתקדם מכון למהלך דומה ברמה הלאומית. תחום רחב זה משתלב, להערכתנו, עם היוזמות בתחום תחבורה חכמה.

ו. חברות הזנק

תחום הייצור המתקדם עורר עניין רב בקרב יזמים מתחומים שונים. רשימה חלקית של חברות הזנק בתחום הייצור המתקדם שעוסקות או מתבססות על דטה אנליטיקס מוצגת בטבלה 1 (דוח פנימי של מוסד נאמן שערך עידן ליבס).

## טבלה 1: חברות הזנק ישראליות בתחום אנליטיקה בייצור המתקדם (רשימה נכונה ל 2017.4)

Name	Established	Business description	Target verticals
3D signals		Acoustic analysis of machines' rotating elements for preemptive maintenance	Metal and energy industries
Augury	2011	Cost-efficient and scalable predictive maintenance diagnostic technology using vibration and ultrasonic sensors to measure sounds from mechanical systems.	HVAC service companies, commercial buildings, factories, Internet of Things
DeepSense (SmartLogic)	2014	DeepSense maximizes industrial machines up-time by predicting future failures. DeepSense provides operational intelligence and deep semantic insights which in turn increase production yield and revenues.	Semiconductors, industrial and manufacturing companies
Diagsense DGS	2013	Diagsense has developed an innovative statistical algorithm designed to detect evolving	Turbines – inefficiency of power generation Liquid pumps – cavitation and
Eltav Wireless Monitoring	2006	Monitoring, diagnostics, predictive maintenance	All verticals of the process industry
ICS <sup>2</sup>	2013	Cyber Security for industrial control systems	Large industrial facilities: water systems, oil and gas plants, petrochemical plants and power generation plants
Lightapp	2009	Industrial Energy Intelligence software	Industrial Organizations
NextNine	1998	Centralized Operation Technology (OT) Security Management for Distributed SCADA/ICS Environments	Oil, Gas, Mining, Chemicals, Energy, Manufacturing, Defense and Critical Infrastructure Enterprises
n-Join Research	2014	Technological solution to optimize factories' efficiency, quality, and profitability, reducing environmental impact in the process.	Industrial Enterprises, Factories
Omatic Systems	2003	Adaptive Control, Monitoring and metal cutting optimization products	Industrial sector – Automotive, Aerospace, Power Generation, Tool Production, General Machining
Panoramic Power	2009	Sensors and software for analyzing energy consumption	Industrial manufacturing, healthcare facilities, higher education facilities, commercial buildings, retailers and restaurants.
Phase3 Technologies	2011	Electrical sensors and designated algorithm for real-time monitoring and alerting	Chemical and petrochemical, metal processing, power generation, pulp and paper, water, utilities, cement, food and beverage, automotive, textile, and other industries
Predictive Systems Enginee	2001	Online automated machine condition monitoring	Industrial manufacturers, utilities and large organizations such as hotels and hospitals.
Pyramid Analytics	2008	Business Intelligence and Analytics platform	Retail, Consumer Product, Manufacturing and Distribution, Insurance and Underwriting, Healthcare providers and Insurers, Banking and Finance, Education
QualityLine	2014	Real-time quality control of manufacturing	Manufacturing & Industrial companies
ThetaRay	2013	Big data analytics platform and solutions for advanced cyber security	Financial and industrial sectors, Other critical infrastructure
Visual Factories	2013	Performance Improvement Management System	All industries that use metal cutting machinery

## ז. ספקיות תוכנה

בסקירה זו נתייחס למוצרים של ארבע חברות המספקות פתרונות תוכנה בתחום הייצור המתקדם. החברות שסקרנו פעילות בישראל ונמצאות בקדמת התחום האנליטי. מטרת הסקירה היא לספק רקע בלבד ואין כאן כוונה לספק כיסוי ממצה. במילים אחרות, קיימות חברות תוכנה אחדות ונוספות שמספקות פתרונות הולמים לתחום הייצור המתקדם.

א. חברת MathWorks (www.mathworks.com)

החברה מספקת מספר כלים כולל Simulink ו-MatLab. במסגרת אנליטיקה התומכת בייצור מתקדם, הפתרונות שמספקת החברה מאפשרים:  
 - קישוריות למערכות ייצור וחיישנים כולל הקלטות, תמונות ווידאו.  
 - יכולות אנליטיות מתקדמות כולל למידה ממוחשבת, עיבוד תמונות ועיבוד אותות ומערכות בקרה.  
 - עיבוד מהיר של קבצי נתונים גדולים על ידי חישוב מקבילי ושימוש בענן.  
 - פריסה של מערכות זמן אמת ליישום יעיל בסביבות ייצור.

ב. חברת JMP (www.jmp.com)

החברה היא חטיבה בחברת הענק SAS ומתמקדת בפתרונות תוכנה למחשבים אישיים הכוללים פתרונות מתקדמים בשילוב ויזואליזציה והנגשה באיכות גבוהה. גרסה 13 של JMP משלבת יכולות קישור נתונים ממערכות שונות עם עיבוד טקסטורלי וכלי כריית מידה מתקדמים. התוכנה מייצרת באופן אוטומטי קוד בשפות המאפשרות יישום במערכות ייצור ושילוב תוכנות בשפות כגון R.

ג. חברת GE (www.ge.com)

חברת GE מספקת מספר פתרונות בתחום הייצור המתקדם כולל מערכת PREDIX, CYBERSECURITY ומערכת BRILLIANT MANUFACTURING. היתרון של GE הוא בזה שהמערכות שהיא מציעה פותחו בשלב ראשון עבור שימוש פנימי בחברה כך שהן נשענות על ניסיון מצטבר רב. החיסרון הוא בגמישות מוגבלת וקושי בפיתוח מענה מותאם ללקוחות ספציפיים.

ד. חברת INFOR (www.infor.com)

החברה מספקת פתרון רחב לניהול תשתיות ואמצעים בשם EAM. הפתרון הכולל מכוון לתחומי אחזקה מונעת, הגדלת נצילות הציוד, ניהול אמינות של ציוד ותהליכים וניהול מלאי. הניסיון של החברה בהטמעת המערכת כולל את תחום הייצור, אסדות קידוח, מערכות בריאות ועמידה בדרישות איכות סביבה ותקנים כגון ISO 55000.

## 2. שיטות אנליטיות בייצור מתקדם

### 2.1 מגמות באנליטיקה

אנליטיקה ומערכות אינטלגנציה מלאכותית (AI) מקבלות תאוצה משמעותית בשנים האחרונות. דוח של IDG מפרט מגמות אלה ומציג את היישום במערכות ייצור מתקדמות כאחד התחומים החשובים בהתפתחות זו: <http://www.cio.com/article/3166060/analytics/15-data-and-analytics-trends-that-will-dominate-2017.html>

הרשימה כוללת:

1. Natural Language Generation
2. Speech Recognition
3. Virtual Agents
4. Machine Learning Platforms
5. AI-optimized Hardware
6. Decision Management
7. Deep Learning Platforms

בהקשר הזה, תחומים ספציפיים שמתבססים על אנליטיקה כוללים, כמונחים באנגלית, את:

1. Engineering Design
2. Manufacturing Systems
3. Decision Support Systems
4. Shop Floor Control and Layout
5. Fault Detection and Quality Improvement
6. Conditioned Based Maintenance
7. Customer and Supplier Relationship Management
8. Energy and Infrastructure Management
9. Cybersecurity and security related issues

נושאים אלה יוצגו בהמשך עם תיאור קצר. רשימת ספרות בנושאי אנליטיקה התומכים בייצור מתקדם מצורפת בסוף המסמך.

### 2.2 נושאים באנליטיקה מתקדמת התומכים בייצור מתקדם

#### 2.2.1 הנדסת תכן (Engineering Design)

ניסויי סימולציה ממוחשבים, ניתוח אופני כשל, סימולציות למאמצים, חלוקת מתחים ועומסים, התפתחות כשלים.

#### 2.2.2 מערכות ייצור (Manufacturing Systems)

תרשימי זרימה וסימולציות, גמישות תפעולית, צמצום ממדים, איחוד נתונים ממקורות שונים.

2.2.3 מערכות תומכות החלטה (Decision Support Systems) מעקב שינויים, עצי החלטות, מקבצי מצבים, ניתוח רגישות, רשתות בייסאיניות ומודלים גרפיים.

2.2.4 תכנון ובקרת קווי ייצור (Shop Floor Control and Layout) תהליכים רב ממדיים, מנגנוני דיווח, תרשימי T2.

2.2.5 איתור תקלות ושיפור איכות (Fault Detection and Quality Improvement) מערכות דיאגנוסטיקה, ניתוחי כשל.

2.2.6 תחזוקה מבוסס שימוש (Conditioned Based Maintenance) מודלים לתחזוקה מבוססת שימוש. מודלים דיאגנוסטיים ומודלים פרוגנוסטיים.

2.2.7 ניהול יחסי ספק לקוח (Customer and Supplier Relationship Management) מעקב ביצוע, ניהול אפיציות, הגדרת פרמטרים קריטיים.

2.2.8 ניהול אנרגיה ותשתיות (Energy and Infrastructure Management) אופטימיזציה של צריכה וצמצום בזבוז אנרגיה, בניית יתרות לעצמאות אנרגטית.

2.2.9 ביטחון סייבר וביטחון באופן כללי (Cybersecurity and security related issues) הערכת סיכונים, תבחינים למיפוי רמת מוכנות כנגד מתקפות סייבר, מיפוי ארגונים ותהליכים.

## 3. איכות האינפורמציה המופקת במסגרות ייצור מתקדם

### 3.1 התפתחות האנליטיקה בהיבטי ייצור

האתגר הראשון בארה"ב, בקידום חשיבה אנליטית בייצור, נבע מהזמנה גדולה של משרד ההגנה האמריקאי שביקש מאלי ויטני לייצר כמויות גדולות של רובים מסוג מוסקט. ויטני הבין שלא יצליח לספק את ההזמנה בצורה כלכלית על ידי ייצור פרטני בה מומחה בונה רובה מ א עד ת. הרעיון שלו היה להקים מחלקות ייצור, כאשר כל מחלקה מתמחה בחלק אחר של הרובה. על מנת לאפשר חלופיות בחלקים, ויטני הנהיג שימוש במפרטים שאיפשרו להבחין בין חלקים שעומדים במפרט וחלקים פסולים שחייבו תיקון והתאמה.

גישה זו הביא לקידום תפישת הביקורת בה פעלו שני גורמים: פועלי הייצור ומבקרי האיכות.

הרעיון הבא פותח במעבדות בל - ולטר שוהרט הבין שכדאי לתת דגש להתנהלות תהליכי הייצור ולקדם את בקרת התהליכים עצמם. שוהרט פיתח את רעיון תרשים הבקרה שאיפשר ייצור יעיל יותר, גם במונחי עלות וגם במונחים של זמן תגובה על ידי איתור מוקדם של יציאת התהליכים מבקרה. בזכות שוהרט, בל הצליחה לייצור ולספק מרכזיות וטלפונים בכמויות גדולות ובאיכות נאותה בכל רחבי ארה"ב.

התפתחות נוספת באה מרעיונות של ג'וזף ג'וראן ואדורדס דמינג שקידמו מאמצי שיפור על ידי זיהוי וטיפול בסיבות שורש לבעיות בייצור. רעיונות אלה הביאו להקמת צוותי שיפור. בשנות ה 80 מוטורולה קידמה את התפישה הזו תחת הכותרות של שש סיגמה ותהליכי DMAIC. ג'וראן ודמינג הביאו את הגישה הזו ליפן, בסוף מלחמת העולם השנייה, והפכו את יפן למעצמה תעשייתית.

מהנדס יפני בשם טגוצ' קידם רעיון נוסף שהביא למהפכה משמעותית באיכות ועלות מוצרים. טגוצ' דיבר על רעיון התכן החסין בו תכן המוצר ותהליכי הייצור מכוונים מראש להתמודדות עם אי וודאות ורעשים על ידי התמקדות בצמצום השונות.

על ההתפתחות הזו בסטטיסטיקה התעשייתית ניתן לקרוא בפרק הראשון של הספר בנושא סטטיסטיקה תעשייתית מודרנית של קנת וזקס

[www.wiley.com/go/modern\\_industrial\\_statistics](http://www.wiley.com/go/modern_industrial_statistics)

שלב נוסף בהתפתחות האנליטיקה הוא נושא איכות האינפורמציה שהוצג על ידי קנת ושמואלי בספרם בנושא <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1118874447.html>

ממדי InfoQ שמוצגים בהמשך מספקים תשתית רחבה לתכנון, בקרה והערכה של מערכות קיימות.

### 3.2 מבוא לאיכות אינפורמציה (InfoQ)

איכות אינפורמציה, בכינוי InfoQ, נקבעת על ידי ארבעה מרכיבים והם:  $g$  – מטרות העבודה,  $X$  – הנתונים ששימשו את הניתוח,  $f$  – שיטת הניתוח שיישמו ו  $U$  – התועלת שמופקת מהעבודה.

ההגדרה של איכות אינפורמציה היא:  $InfoQ=U(f(X|g))$

הערכה של InfoQ מתבצעת על ידי שמונה ממדים והם:

-InfoQ1	רזולוציית הנתונים מול המטרות שהוגדרו
-InfoQ2	מבנה הנתונים במקורות המידע השונים
-InfoQ3	שילוב נתונים ממקורות שונים
-InfoQ4	עדכניות הנתונים
-InfoQ5	תאימות בין נגישות נתונים ומטרות מקבלי החלטות ברמות השונות
-InfoQ6	הכללה של ממצאים ברמה תהליכית ובהקשר של מוצרים ושירותים שונים
-InfoQ7	יישומיות מסקנות הנובעות מהניתוח האנליטי כולל תכניות פעולה ותהליכי אסקלציה
-InfoQ8	תקשור המידע שהופק מניתוח הנתונים ואמצעים לוויזואליזציה עם הנגשה

לדוגמא:

חברת RSL פתחה מערכת המאפשרת לאסוף ולנתח נתונים מחיישנים במערכות מוטסות ([www.rsl.co.il](http://www.rsl.co.il)).

הנתונים נאספים על ידי חיישנים שונים הממוקמים בתת מערכות שונות. עם נחיתת המערכת המוטסת מתבצעת "חליבה" של הנתונים תוך כדי חישובים דיאגנוסטיים המספקים חתימה אלקטרונית שמשמשת להחלטות תחזוקה ואבחון כשלים.

החליבה מתבצעת אחת לתקופה והמידע מסופק רק כשהמערכת על הקרקע. במובן זה, במידה ויש עניין בהתרעות תוך כדי טיסה, המערכת חלשה בממד החמישי (InfoQ5) שמשקף תאימות בין נגישות הנתונים והצורך בהתרעה בזמן אמת.

תצוגת המערכת מבוססת בעיקרה על נתונים חד ממדיים ובמובן הזה הממד השלישי (InfoQ3), הבוחן שילוב בין נתונים ממקורות שונים, נראה חלש.

דוגמא נוספת מתקבלת מבחינת המידע המגיע מסיבים אופטימיים ומחיישני שמע.

התקנת סיב אופי סביב גלגל שיניים מאפשר לזהות תרחישי כשל, ללא השפעה של תנאי הסביבה. מצד שני תרחישים אלה מאוד ממוקדים. לעומת זאת, חיישני שמע מאפשרים אבחון רחב יותר של שינויים בביצועי מערכת כאשר החיסרון הוא ברגישות מוגברת לרעשי סביבה.

בראייה InfoQ, התייחסות לשלושת הממדים הראשונים, InfoQ1-InfoQ3, מאפשר שילוב נתונים ממקורות חישה אלה והעצמת איכות האינפורמציה המופקת.

### 3.3 איכות אינפורמציה של האנליטיקה בייצור מתקדם

כלים אנליטיים המשתלבים בייצור מתקדם כוללים תרשימי T2, שילוב PCA, רשתות בייזניות ועצי החלטות- טבלה 2 מציגה הערכת מומחים לאיכות אינפורמציה של שיטות אלה ביישום ספציפי כאשר ההערכה לכל ממד היא על סקלה 1-5. הציון "1" משקף רמה נמוכה ביותר. הטבלה ממחישה איך ניתן להשוות ולהתאים שיטות על בסיס שמונה ממדי InfoQ.

החישוב הכולל להערכת InfoQ מתבצע על ידי חישוב ממוצע גיאומטרי לציון שמונת הממדים:  
 $InfoQ\ Score = [d_1(Y_1) \cdot d_2(Y_2) \cdot \dots \cdot d_8(Y_8)]^{1/8}$ . בדוגמא זו נראה ש שילוב T2 עם PCA סיפק את  
האינפורמציה באיכות הגבוהה ביותר.

טבלה 2: הערכת איכות אינפורמציה של 4 שיטות אנליטיות בשימוש ייצור מתקדם

InfoQ Dimension	T2 Chart	T2 with PCA	Bayesian Network	Decision Trees
Data Resolution	2	5	3	2
Data Structure	2	5	4	4
Data Integration	3	5	4	3
Temporal Relevance	5	4	3	3
Chronology of Data and Goal	4	5	2	3
Generalizability	5	5	2	5
Operationalization	5	5	4	4
Communication	5	5	4	5
Use case score	63	96	51	60

#### 4. מתווה לקידום נושא הייצור המתקדם ואנליטיקה בישראל

התכנית המוצעת כוללת שלושה שלבים. **בשלב ראשון** יש לבצע סקר ספרות וברור מעמיק על הרצוי והקיים בישראל בתחום הטכנולוגיה והאנליטיקה של הייצור עם השוואה לנעשה במדינות שונות כגון גרמניה, איטליה, סין וארה"ב.

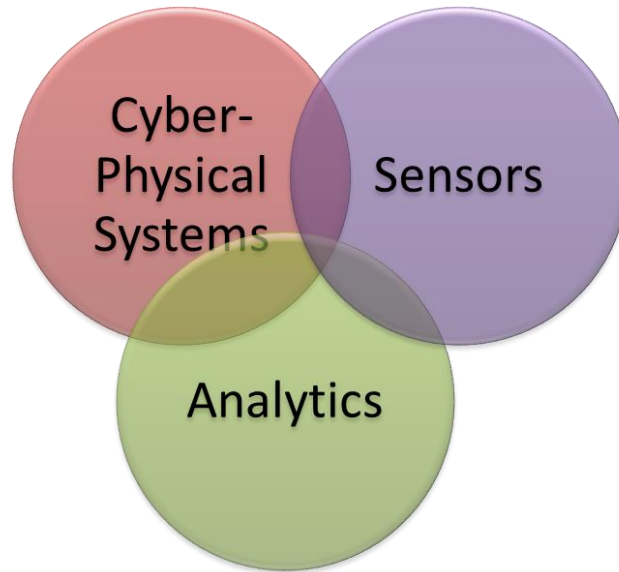
**בשלב שני** יותנעו מספר פיילוטים (מומלץ 3-5) בתחומים שונים וברמת בשלות שונה ליישום מתקדם בעזרת נתונים ואינפורמציה כבסיס לשיפור פריון הייצור ([Manufacturing 4.0](#)) בפיילוטים האלה יבואו לידי ביטוי שמונת הממדים של InfoQ, המתוארים בסעיף קודם, במסגרת מאמץ ממוקד להגדלת פיריון. הפילוטים האלה יקבלו תמיכה וישמשו דוגמאות מוחשיות ומתועדות לטובת התעשייה הישראלית בכללותה. תכנית מפורטת לשלב השני תגובש עם סיום השלב הראשון ותכלול התקשרויות עם ארגוני תעשייה, ארגון אירועים להגברת המודעות, בחינת שילוב היוזמה במסגרת תכניות אקדמיות באוניברסיטאות ובמכללות ותמיכה בפרויקטי הפיילוט בצורה זו או אחרת.

**בשלב שלישי** תורחב הפעילות תוך כדי מאמץ לשתף קבוצות רחבות בידע והניסיון שהצטבר ובניית מדיניות ותשתית לאומית בהתאם. תכנית לשלב השלישי תגובש עם סיום השלב השני ותבחן הקמת מסגרת קבועה בשיתוך עם ארגוני תעשייה ואקדמיה. מסגרת זו תאפשר הטמעת Best practices באזורים עם עדיפות לאומית.

שלושת השלבים מכוונים לקדם שלושה תחומים המתוארים באיור 1 והם: 1) מעגל החיישנים, מעגל טכנולוגיות הייצור ומעגל האנליטיקה.



איור 1: מעגלי הייצור המתקדם



#### 4.1 השלב הראשון: סקירת הידע הקיים בתחום הייצור המתקדם

מסמך זה מהווה בסיס לסקירת הידע הקיים בישראל בתחום הייצור המתקדם. עיבוי המסמך יתבצע על ידי שיתוף גורמים נוספים, על בסיס תרומה למסמך, ומשוב ממעגלים שונים.

#### 4.2 השלב השני: קידום פרויקטי פיילוט בעזרת שיתופי פעולה

טבלה 3 מציגה רשימה ראשונית של חברות מועמדות לפיילוט.

טבלה 3: מועמדים לפיילוט בייצור מתקדם

שם חברה	תחום פעילות	בשלות
שמן	מזון	השקיעו KNIS500 וקצרו פרות בטווח קצר
אסם שדרות	מזון	מגוון קווים ברמות שונות
מקסימה אשדוד	גז לתעשייה	התחלתי
HP אינדיגו	דפוס	ביניים
תדיראן סוללות	סוללות	ביניים
אורבוטק	ציוד בדיקה	התחלתי
תעשייה אווירית	תעופה	ביניים

### 4.3 השלב השלישי: הקמת זירת ידע ובסיס מידע של חברות ויוזמות בתחום

תכנית מפורטת לשלב זה תגובש עם סיכום שני השלבים הקודמים.

תכנית זו צריכה להשתלב בתכניות אחרות שגובשו בתחומים משיקים.

לדוגמא, מסמך של ד"ר אביגדור זוננשיין מאוקטובר 2016 בשם: "מהפיכת המידע- חדשנות מבוססת מידע" המסכם בתמצית את התכנית המוצעת בדוח של של דלויט שהוזכר בתמצית מנהלים. הדוח ללא ציון תאריך ושמו: " הערך הכלכלי של חדשנות מבוססת מידע" <https://goo.gl/nmV03Q>.

בשלב זה יבחנו גם תכניות דומות במדינות מתועשות ויקודמו שיתופי פעולה עם ארגונים שונים. שני שיתופי פעולה שכבר בשלבי התהוות הן שת"פ ישראל – ארה"ב במסגרת קרן בירד ושת"פ עם המרכז לייצור מתקדם באוניברסיטת ניו המפשייר: <https://ceps.unh.edu/CAMMI>.

כפי שצויין:

**המטרה:** ייזום והבניה של פעילות בתחום הייצור המתקדם בישראל תוך שילוב אנליטיקה מתקדמת, טכנולוגיות חישה ותהליכי ייצור מודרניים.