



הערכת בשלות התעשייה בסולם הייצור המתקדם: מודל IMAM

חוקרים:

ד"ר אביגדור זוננשיין

ד"ר איתן אדרס

ד"ר גילי פורטונה

פרופ' רון קנת

אוגוסט, 2018

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

4.....	תקציר מנהלים.....
5.....	1. רקע ומטרות.....
7.....	2. בשלות של מפעלים בתחומי ייצור מתקדם – מודל IMAM – תיקוף התוכן.....
8.....	2.1 היגדים להערכת הממדים (המשתנים) של כלי המדידה IMAM.....
11.....	3. תיקוף המבנה של כלי המדידה IMAM.....
13.....	4. ניתוח הערכה עצמית של 15 מפעלים בצפון.....
17.....	5. ניתוח חוזקות וחולשות.....
20.....	6. סיכום.....
21.....	7. רשימת ספרות.....
22.....	8. נספחים.....
22.....	א. נספח 1: שאלון IMAM.....
30.....	ב. נספח 2: מכתב פנייה למפעלים.....
31.....	ג. סקר ספרות תמציתי על מודלים להערכת בשלות חברות ומפעלים.....

רשימת איורים

- 13..... איור 1: הערכה כוללת
- 13..... איור 2: פקטור 1 שרשרת הערך
- 14..... איור 3: פקטור 2 תשתית
- 14..... איור 4: פקטור 3 בקרה
- 15..... איור 5: פקטור 4 תהליכים בהנדסה
- 15..... איור 6: הערכה עצמית לפי פקטורים
- 17..... איור 7: מדד TOP5 - היגדים המצביעים על חוזקות
- 18..... איור 8: מדד TOP5 לפי תחומים/ממדי IMAM
- 18..... איור 9: בדיקת מובהקות מדד TOP5 לפי תחומים/ממדי IMAM
- 19..... איור 10: מדד BOT12

רשימת טבלאות

- 11..... טבלה 1: Factor Analysis
- 12..... טבלה 2: Components Reliability
- 12..... טבלה 3: Second Order Factor Analysis
- 16..... טבלה 4: Statistics
- 19..... טבלה 5: תחומי החוזקה והחולשה בתעשייה בצפון

תקציר מנהלים

מגמת היצור המתקדם במסגרת המהפכה התעשייתית היא מגמה חיונית לתעשייה הישראלית. במסגרת עבודתנו לקידום יצור מתקדם ניתחנו את המגמות בתחום בעולם, והצענו מתווה למדיניות לאומית לקידום יצור מתקדם בתעשייה הישראלית. לאחרונה, פרסם משרד הכלכלה והתעשייה תכנית לאומית לקידום יצור מתקדם, וגם הפיץ מכרז להקמת מכון ליצור מתקדם בצפון.

אחד הצעדים החשובים ליישום מגמת היצור המתקדם היא להעריך את מצב המפעלים בתחומי התוכן של יצור מתקדם, כדי לסייע בהתוויית תכנית יישום יצור מתקדם במפעלים.

בעבודה זו מוצג תהליך גיבוש ותיקוף מודל להערכת בשלות מפעלים ליצור מתקדם. התהליך כולל אפיון ארבעה עשר תחומי תוכן (ממדים) של יצור מתקדם ורשימת היגדים להערכת מצב המפעלים בתחומי תוכן אלו. כדי לתקף מודל זה, פנינו לחמישה עשר מפעלים שהעריכו את מצבם בתחומי יצור מתקדם באמצעות שאלון סקר שהכנו עבורם.

ממצאי הסקר אפשרו לנו לתקף מודל זה בדרכים מקובלות, על אף המדגם הקטן לכאורה, ומכאן יש בידינו מודל מתוקף להערכת בשלות מפעלים ליצור מתקדם. להערכתנו זהו כלי חשוב ליישום תכנית לאומית ליצור מתקדם בישראל, שהופצה לאחרונה על ידי משרד הכלכלה והתעשייה והרשות לחדשנות. כמו כן, המודל יכול לשמש כלי אבחון ראשוני וכלי להערכת התקדמות למכון ליצור מתקדם שיקום בעקבות מכרז משרד הכלכלה והתעשייה.

ממצאי הסקר גם מאפשרים לנו להעריך את תחומי החוזקה והחולשה של המפעלים שהשתתפו בסקר זה.

1. רקע ומטרות

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 ליעל פריון וצריכת משאבים כולל אנרגיה, כדי להגיע לרמת ביצועים גבוהה במונחים תפעוליים וכלכליים" (Pai, 2014).

ייצור מתקדם משלב מספר מרכיבים מהותיים, כגון:

- שימוש מוגבר בחיישנים ומערכות מעקב, בין היתר, על בסיס תמונות והקלטות להפקת חתימות קול, חום, רעידות, הרכב חומרים ועוד.
- ייצור באמצעות מדפסות תלת ממד 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 אוטומטי בסדרות של "אחד", עם הגמישות שכל מוצר שונה מרעהו
- דיגיטיזציה מקיפה של תהליכי הייצור, תוך שימוש מקיף וחכם בחיישנים חכמים ויכולת ניתוח נתונים מעמיקה
- 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.
- ככלל, ייצור מתקדם מאופיין בחדשנות המתבססת על ידע של חוקרים, מהנדסים ועובדים.
- רבים ממקבלי ההחלטות בעולם ובארץ רואים במהפכת הייצור המתקדם הזדמנות לתעשייה בכלל, ולתעשייה המסורתית בפרט, לשדרוג טכנולוגי מהותי שיביא אותה למקום אחר בתחרות הגלובאלית וישפר באופן מהותי את רמת הפריון בתעשייה המסורתית.

מהפיכה זו היא, להערכתנו, רק בתחילתה בישראל, ונעשים צעדים ראשונים לעידוד התעשיינים הישראליים לאמץ שיטות וטכנולוגיות ייצור מתקדמות.

פרטים על היוזמה לקידום הייצור המתקדם בישראל ב- <https://www.neaman.org.il/EN/Files/Data-Analytics-approaches-and-tools-survey-for-promoting-advanced-manufacturing.pdf>

פרטים על אתגרים אנליטיים בייצור מתקדם ניתן למצוא ב- <https://ssrn.com/abstract=3003830>

כחלק ממאמץ זה, פיתחנו כלי ושיטה להערכה של בשלות המפעל לייצור מתקדם. שימוש במודל להערכת בשלות מספק שתי תפוקות עיקריות:

1.1. תיאור מצב קיים עם אפשרות להוות השוואה לאחרים ו-

1.2. מפת דרכים ברורה המגדירה את היוזמות המתוכננות לקידום רמת הבשלות.

המודל מבוסס על ארבעה עשר ממדים אשר רלוונטיים ליצור מתקדם. שימוש במודל מאפשר להנהלה ללמוד היכן נמצא המפעל בניהולם על פני סולם בשלות. הערכה זו מאפשרת להנהלה להגדיר מתווה עם תחומים שעליה להתקדם בהם כדי לעלות בסולם הבשלות ליצור מתקדם. בנוסף, הכלי מספק השוואה (בנצ'מרק) בין מפעלים, כדי לאפשר למידה הדדית.

ההערכה יכולה להתבצע כהערכה עצמית, באמצעות תהליך הכולל מילוי שאלון ובדיקה בשטח של צוות הכולל את אנשי הארגון וגם, במידת הצורך, מנחים חיצוניים.

שאלון ההערכה מתבסס על הממדים וקריטריונים שונים בתחומם. בהערכה עצמה ניתן לכלל קריטריון ציון יחסי בהתאם למידת היישום בפועל של הקריטריון. המודל מתבסס על ניסיונו במודלי הערכה עצמית וחיצונית בפרס האיכות הלאומי, על מודל בשלות של ארגונים המפתחים מערכות ותוכנה (CMMI Kenett and Baker, 2010) ועל סולם האיכות שמוצג ב-Kenett and Zacks, 2014.

ליישום של מודל INFOQ להערכה בתעשייה הכימית ראו Reis and Kenett, 2018.

סקירת ספרות בנושא מודלים לבשלות ארגונית, ששימשה רקע למודל IMAM המוצג כאן, מופיעה כנספח 3.

2. בשלות של מפעלים בתחומי ייצור מתקדם – מודל IMAM – תיקוף התוכן.

כדי לאפיין את רמות הבשלות של מפעלים בתחומי הייצור מתקדם פתחנו מודל/כלי מדידה בשם:

Industry competence and Maturity for Advanced Manufacturing (IMAM)

DeVellis, Robert F. Scale Development: Theory and Applications של פי המתודולוגיה של

המודל מגדיר 5 רמות בשלות והן:

1. **רמה התחלתית** - יישום מצומצם של מרכיבי ייצור מתקדם ברמה מקומית ללא ניהול ובקרה מההנהלה הראשית, ואין להן תוצאות מדודות
2. **רמה מנוהלת** - מספר יוזמות יישום של מרכיבי ייצור מתקדם המנוהלות מרכזית ומביאות לתוצאות שיפור מקומיות
3. **רמה מוגדרת** - קיימת תכנית מפעלית בתחומי ייצור מתקדם. במסגרתה מקודמות מספר יוזמות מגוונות ליצור מתקדם המביאות לתוצאות שיפור מוכחות
4. **רמת מנוהלת כמותית** - הוגדרה אסטרטגיה מפעלית לקידום ייצור מתקדם מבוסס נתונים שמביאה לשינוי פניו של המפעל במגמת ייצור מתקדם
5. **רמה אופטימאלית** - המפעל מיישם בצורה אופטימאלית שיטות ייצור מתקדם, המביאות לתוצאות שיפור מוכחות בפריזון וברמה התחרותיות בשוק

על מנת לפתח כלי מדידה להערכת הבשלות לייצור מתקדם, סקרנו ספרות זרה, והתייעצנו עם גורמים מומחים מהתעשייה. על בסיס כל אלה הגדרנו את תוכן כלי המדידה כפי שמתבטא בשאלון למילוי עצמי על ידי חברות שכולל ארבעה עשר ממדים/משתנים והם:

1. אסטרטגיה ותכנון ארוך טווח ליצור מתקדם
2. משאבי אנוש ליצור מתקדם
3. תקשורת עם הלקוחות והשוק
4. תהליכים ביצור
5. תהליכים בהנדסה
6. תהליכים עסקיים
7. תהליכים בתחזוקה
8. תהליכים בלוגיסטיקה
9. תהליכים בשרשרת האספקה
10. תהליכים במחזור חיי המוצר
11. ניהול מידע וידע
12. תהליכים בהבטחת סייבר
13. השקעות בתשתיות וציוד
14. תוצאות שיפור בפועל

על מנת לבצע את ההערכה גיבשנו סדרה של היגדים המאפשרים מיצוב ארגון מסוים בנקודות פרטניות. ההיגדים מפורטים בהמשך.

2.1 היגדים להערכת הממדים (המשתנים) של כלי המדידה IMAM

1. אסטרטגיה ותכנון ארוך טווח ליצור מתקדם

- 1.1 קיימת תכנית אסטרטגית לקידום יצור מתקדם במפעל
- 1.2 קיימים יעדים אסטרטגיים כמותיים ואיכותיים לפיתוח יצור מתקדם במפעל
- 1.3 ישום התכנית האסטרטגית מונהג על ידי ההנהלה הבכירה
- 1.4 קיימת תכנית ארוכת טווח לקידום המפעל ליצור מתקדם
- 1.5 קיימת תכנית השקעות בתשתית, ציוד והון אנושי ליצור מתקדם
- 1.6 יצור מתקדם הוא מרכיב חשוב בתכנית החדשנות והיזמות במפעל

2. משאבי אנוש ליצור מתקדם

- 2.1 צוות המנהלים והעובדים בעל ידע וניסיון בתחומי יצור מתקדם
- 2.2 מזוהים הצרכים/פערים לפיתוח ההון האנושי בתחומי יצור מתקדם
- 2.3 קיימת תכנית פיתוח מנהלים בתחומי יצור מתקדם
- 2.4 קיימת תכנית הכשרת עובדים בתחומי יצור מתקדם
- 2.5 קיימת תכנית גיוס עובדים בעלי יכולת וניסיון רלוונטיים בתחומי יצור מתקדם

3. תקשורת עם הלקוחות והשוק

- 3.1 המידע על הלקוחות נמצא במאגר דיגיטאלי מעודכן, פעיל ומבוקר
- 3.2 המידע על המתחרים נמצא במאגר דיגיטאלי מעודכן, פעיל ומבוקר
- 3.3 המידע על צורכי השוק נמצא במאגר דיגיטאלי מעודכן, פעיל ומבוקר
- 3.4 הקשרים והאינטראקציה עם הלקוחות מתבצעים בערוצים דיגיטאליים - הזמנות, אספקות, משוב
- 3.5 המידע והנתונים על הלקוחות והשוק מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים
- 3.6 תובנות מניתוח המידע והנתונים על הלקוחות והשוק משמשות לקבלת החלטות עסקיות

4. תהליכים ביצור

- 4.1 קיימת מערכת תכנון יצור מבוססת טכנולוגיות מידע
- 4.2 קיימת מערכת בקרת יצור בזמן אמת (מבחינת תזמון, תצורה ואיכות)
- 4.3 מכונות היצור ממוחשבות, אוטומטיות ומבוקרות מחשב ככל הניתן
- 4.4 קיים שימוש מושכל ברובוטים ואוטומציה בקווי היצור
- 4.5 סימוכי היצור והתפעול ממוחשבים, וקיימת ויזואליזציה דיגיטאלית (גישה מסלולר או אלחוטית)
- 4.6 קיימת מערכת בקרת איכות יצור ממוחשבת
- 4.7 המידע והנתונים על ביצועי קווי יצור (מבחינת תפוקות, איכות ותזמון) מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים ומוביל ליזמות שיפור מתמיד
- 4.8 קיימת מערכת סנסורים מרושתת במסגרת אינטרנט של הדברים לניהול ובקרת היצור
- 4.9 מתקיימת בחינה של כדאיות שימוש במדפסות תלת-ממד ביצור חלקים מורכבים

5. תהליכים בהנדסה

- 5.1 קיימת מערכת תכנון הנדסי מבוססת טכנולוגיות מידע
- 5.2 כלי התכן ההנדסי הם ממוחשבים
- 5.3 תהליכי התכן ההנדסי מלווים במודלים וסימולציות במסגרת תכן מבוסס מודלים
- 5.4 סימולציות משמשות גם לתכן ניסויים סטטיסטיים במסגרת תהליכי התכן וההנדסה
- 5.5 נעשה שימוש מושכל במדפסות תלת-ממד ליצירה מהירה של אבי טיפוס, ולתכנון ויצור תבניות ומבלטים
- 5.6 במהלך הפיתוח וההנדסה של מוצרים חדשים נשקל בין השאר שימוש בחומרים חדשים ומתקדמים המשפרים את המוצר ותהליכי היצור

- 6. תהליכים עסקיים**
- 6.1. קיימת מערכת לתכנון ובקרת המערכת העסקית המבוססת על טכנולוגיות מידע BI
 - 6.2. נתוני וממצאי מערכת ה-BI משמשים להחלטות עסקיות
 - 6.3. קיימת מערכת נתונים ומידע על שותפים עסקיים (קיימים ופוטנציאליים)
 - 6.4. קיימת מערכת מעקב מגמות עסקיות בשוק
 - 6.5. המידע העסקי מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים, ומוביל לגיבוש צעדים עסקיים לאורך זמן
- 7. תהליכים בתחזוקה**
- 7.1. קיימת מערכת תכנון התחזוקה של המכונות והתשתיות במפעל, מבוססת טכנולוגיות מידע
 - 7.2. קיים שימוש מושכל בסנסורים המנטרים מצב המכונות והתשתיות כדי לחזות התדרדרות של מצב המכונות
 - 7.3. נתוני ניטור מצב המכונות משמש למערכת תחזוקה חזויה (PM) או תחזוקה מבוססת מצב (CBM)
 - 7.4. קיימת מערכת המנטרת את נתוני השימוש באנרגיות (חשמל, אויר דחוס, גז...) כדי לייעל את השימוש במשאבי אנרגיה
 - 7.5. המידע והנתונים על ביצועי התחזוקה (מבחינת תפוקות, איכות ותזמון) מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים ומוביל ליוזמות שיפור מתמיד
- 8. תהליכים בלוגיסטיקה**
- 8.1. קיימת מערכת תכנון הבלוגיסטיקה והשינוע (הפנימית והחיצונית) במפעל, מבוססת טכנולוגיות מידע
 - 8.2. קיימת מערכת בקרת הבלוגיסטיקה והשינוע בזמן אמת
 - 8.3. קיים שימוש מושכל ברובוטים ובאמצעים אוטומטיים בלוגיסטיקה (כולל אחסון) ובשינוע
 - 8.4. המידע והנתונים על ביצועי הבלוגיסטיקה (מבחינת תפוקות, איכות ותזמון) מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים ומוביל ליוזמות שיפור מתמיד
- 9. תהליכים בשרשרת האספקה**
- 9.1. קיימת מערכת תכנון התהליכים בשרשרת האספקה, מבוססת טכנולוגיות מידע
 - 9.2. מערכת המידע והנתונים על ספקים מבוססת טכנולוגיות מידע
 - 9.3. העברת המידע אל הספקים ומהם היא ממוחשבת ומבוססת על האינטרנט
 - 9.4. המידע והנתונים על ביצועי ספקים (מבחינת תפוקות, איכות ותזמון) מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים ומוביל ליוזמות שיפור מתמיד
- 10. תהליכים במחזור חיי המוצר**
- 10.1. קיימת מערכת תכנון מחזור החיים של מוצרים ומערכות, מבוססת טכנולוגיות מידע
 - 10.2. קיימת מערכת מעקב ובקרת המוצרים לאורך מחזור החיים (למשל מוצרים באחריות, שירות לקוחות...), מבוססת טכנולוגיות מידע
 - 10.3. קיימת מערכת ניתוח התנהגות משפחות מוצרים, מבוססת טכנולוגיות מידע
 - 10.4. המידע והנתונים על מחזור חיי המוצר (מבחינת אמינות, שירות) מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים ומוביל ליוזמות שיפור מתמיד
- 11. ניהול מידע וידע**
- 11.1. קיימות מערכות מידע ונתונים מתקדמות, מבוססות טכנולוגיות מידע, כמענה לתהליכי המפתח המפעל
 - 11.2. קיים שימוש אפקטיבי במידע ונתונים, תוך יישום שיטות אנליטיקה כמותיות וסטטיסטיות מתקדמות
 - 11.3. קיים שימוש אפקטיבי בנתונים ובמידע לקבלת החלטות ניהוליות ועסקיות
 - 11.4. המידע מנוהל תצורה, שמור וזמין לשימוש בזמן אמת
 - 11.5. קיים תהליך ניהול ידע ושימוש בידע נצבר, מבוסס בין השאר על טכנולוגיות מידע מתקדמות ובינה מלאכותית
 - 11.6. קיים תהליך למידה ארגונית והפקת לקחים מהצלחות וכישלונות
 - 11.7. קיים תהליך אפקטיבי לשיפור בסיס המידע, מערכות המידע תוך אימוץ מושכל בטכנולוגיות מתקדמות
 - 11.8. נעשה שימוש במודל ה-INFOQ להערכת מצב המידע והנתונים במפעל, ומגובשת מפת דרכים לשיפור

12. תהליכים בהבטחת סייבר

- 12.1. קיים זיהוי ומיפוי איומי וסיכוני הסייבר על תהליכי העבודה במפעל
- 12.2. קיימת תכנית להתמודדות עם איומי וסיכוני הסייבר במפעל
- 12.3. שיטות וטכנולוגיות הבטחה מול איומי סייבר מותקנות ומיושמות על פי תכנית
- 12.4. קיימת בקרה מתמדת על עמידות המערכת מול איומי סייבר
- 12.5. אירועי תקיפת סייבר מנותחים, מופקים לקחים ומבוצעים שינויים ושיפורים במערכות ההבטחה

13. השקעות בתשתיות וציוד

- 13.1. קיימת תכנית השקעות בתשתיות וציוד ליצור מתקדם בהיקף הולם את צרכי המפעל
- 13.2. תכנית ההשקעות מיושמת בפועל
- 13.3. נעשה באופן שוטף ניתוח אפקטיביות ההשקעות (ROI ...ועוד)
- 13.4. נעשים סקרים של פתרונות חדשניים ליצור מתקדם (בשוק, באקדמיה, בסטרטאפים), ובחינת התאמתם למפעל

14. תוצאות שיפור בפועל

- 14.1. הפיריון במפעל נמדד ומשתפר באופן מתמיד ב $X\%$ לשנה
- 14.2. זמני התגובה של המפעל נמדדים ומשתפרים ...
- 14.3. נתח השוק של המפעל נמדד וגדל ב...
- 14.4. שביעות רצון הלקוחות נמדדת ומשתפרת ב...
- 14.5. מדידה ושיפור בפועל של מדדי איכות מוצר או שירות
- 14.6. מדידה ושיפור ביצועים עסקיים

3. תיקוף המבנה של כלי המדידה IMAM

תיקוף שאלון כלי מדידה מתבצע בדרכים שונות (Adres, Vashdi and Zalmanovitch, 2016; DeVellis, 2012; Robert F., 2012; Kenett and Salini, 2012).

- המדגם הראשוני שעמד לרשותנו היה בן 15 מפעלים שמילאו את השאלון. על בסיס מדגם זה בוצע תיקוף לשאלון
- בדיקת המהימנות (Cronbach's Alpha) בקרב ההיגדים של כל אחד מהממדים הצביעה על מהימנות גבוהה ($\text{Alpha} > 0.858$ למעט ממד אחד בו $\text{Alpha}=0.703$).
 - חישבנו את הממוצעים של כל אחד מהממדים וערכנו ניתוח גורמים (Exploratory Factor Analysis) שהצביע על התכנסות לארבעה פקטורים, כשרמת הטעינות (loadings) גבוהה (טבלה 1).

טבלה 1: Factor Analysis

	Component			
	1	2	3	4
Market.Comm	.782			
Busns.Process	.789			
Logistics	.776			
Supply.chain	.966			
Product.life	.642			
Info.Knowhow	.742			
Strategy		.963		
HR		.822		
Manufacturing		.643		
Investment		.757		
Maintenance			.942	
Ciber.Security			.745	
Improvement			.742	
Engineering				.979

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.^a

a. Rotation converged in 5 iterations.

- הגדרנו את עולם התוכן של כל אחד מהגורמים: **שרשרת הערך** (תקשורת עם השוק, תהליכים עסקיים, לוגיסטיקה, שרשרת אספקה, מחזור חיי המוצר, ניהול מידע וידע); **תשתית** (אסטרטגיה, משאבי אנוש, תהליכים בייצור, השקעות); **בקרה** (תהליכים בתחזוקה, הבטחת סייבר, תוצאות שיפור בפועל); **הנדסה**. בצענו בדיקת מהימנות בקרב ההיגדים של כל אחד מהם (טבלה 2):

טבלה 2: Components Reliability

Component	Cronbach's Alpha
Value Chain	0.919
Infrastructure	0.936
Control	0.786
Engineering	One item

ד. על מנת לבדוק אם ארבעת הגורמים מתלכדים יחד לכלי מדידה אחד, בצענו ניתוח גורמים מהמעלה השנייה (second order factor analysis) ומצאנו שאכן ארבעת הגורמים מגדירים עולם תוכן אחד (טבלה 3) והוא המודל/כלי המדידה המוצע IMAM

טבלה 3: Second Order Factor Analysis

Component Matrix^a

	Component
	1
Value.Chain	.886
Infrastructure	.893
Control	.763
Engineering	.488

Extraction Method: Principal

ComponentAnalysis.

a. 1 components extracted.

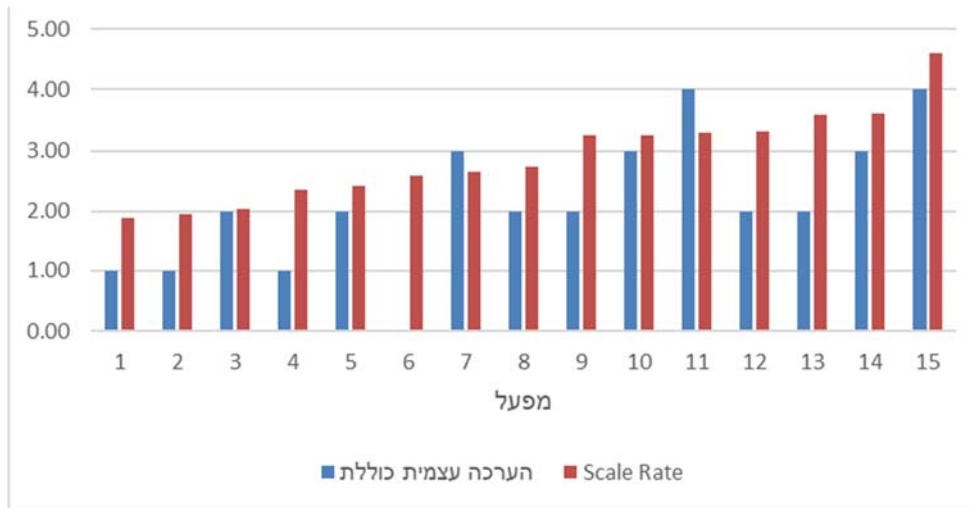
ה. בדיקת המהימנות של הקשר בין ארבעת גורמים אלה הצביעה על $\text{Alpha} = 0.751$.
 ו. **סיכום:** רמות הטעינה הגבוהות בניתוח הגורמים, יחד עם מספר הגורמים (4 factors) וארבעה עשר המשתנים - ניתן לומר, בהסתמך על (de Winter, Dodou and Wiernga, 2009) גם במדגם הקטן של חמישה עשר מפעלים, שתיקפנו את כלי המדידה IMAM. ראוי לציין שהשונות בין המפעלים בגודל ובתחום העיסוק מחזקת את תוצאות התיקוף. בעתיד, ככל שיגדל מספר המפעלים שישתתפו, נוכל לחזק את תוקף כלי המדידה. הרמה המשוקללת של הבשלות היא ממוצע ארבעת הגורמים הנ"ל. כן נציין שבקשנו ממלאי השאלונים לתת גם הערכה כוללת של מצב מפעלם ("ניתן לומר שבאופן כללי מצב הייצור המתקדם במפעל הוא ברמה 1...5").

כאמור לעיל, כלי המדידה IMAM יכול לשמש בהערכה עצמית של המפעל או בהערכה הנעזרת במומחי חוץ.

4. ניתוח הערכה עצמית של 15 מפעלים בצפון

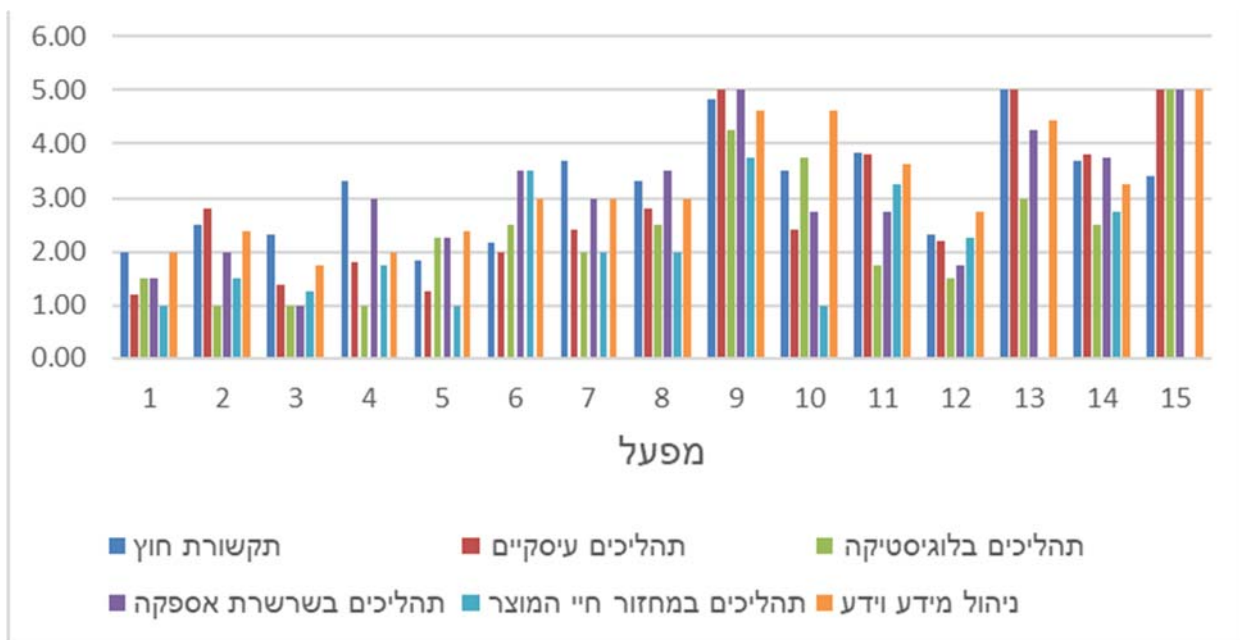
א. נמצאה קורלציה (תאימות) מובהקת בין ההערכה העצמית הכוללת לבין מדידת ה- IMAM. (Pearson Correlation 0.745, $p=0.002$). בשניים עשר מפעלים ההערכה העצמית הכוללת היא נמוכה מהמדידה על פי IMAM (איור 1)

איור 1: הערכה כוללת

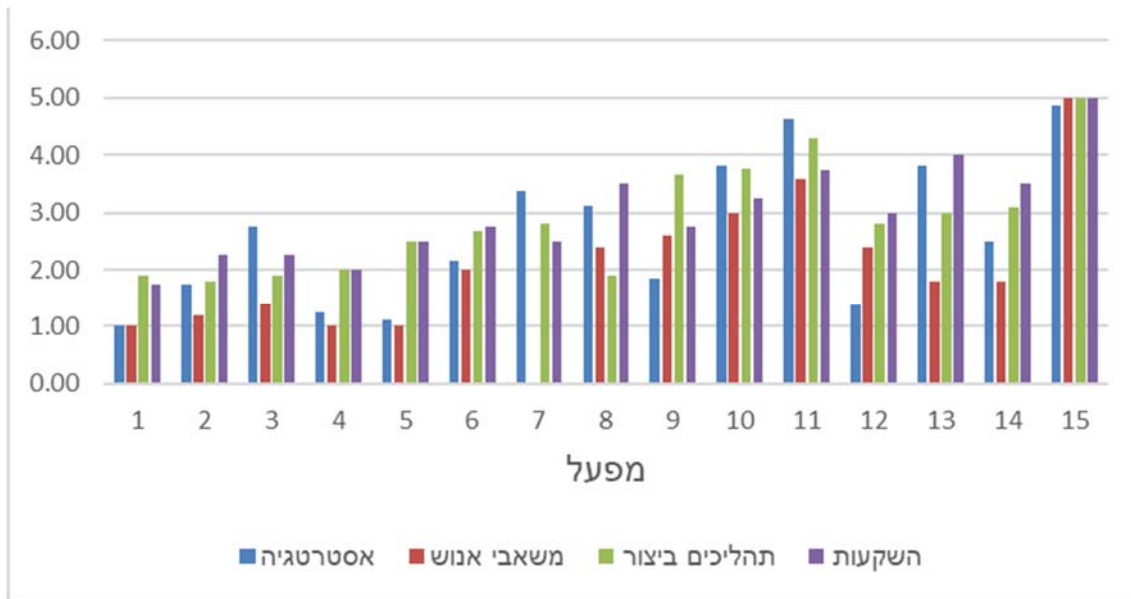


ב. ההשוואה בין המפעלים במרכיבי ארבעת הגורמים (איורים 2, 3, 4, 5)

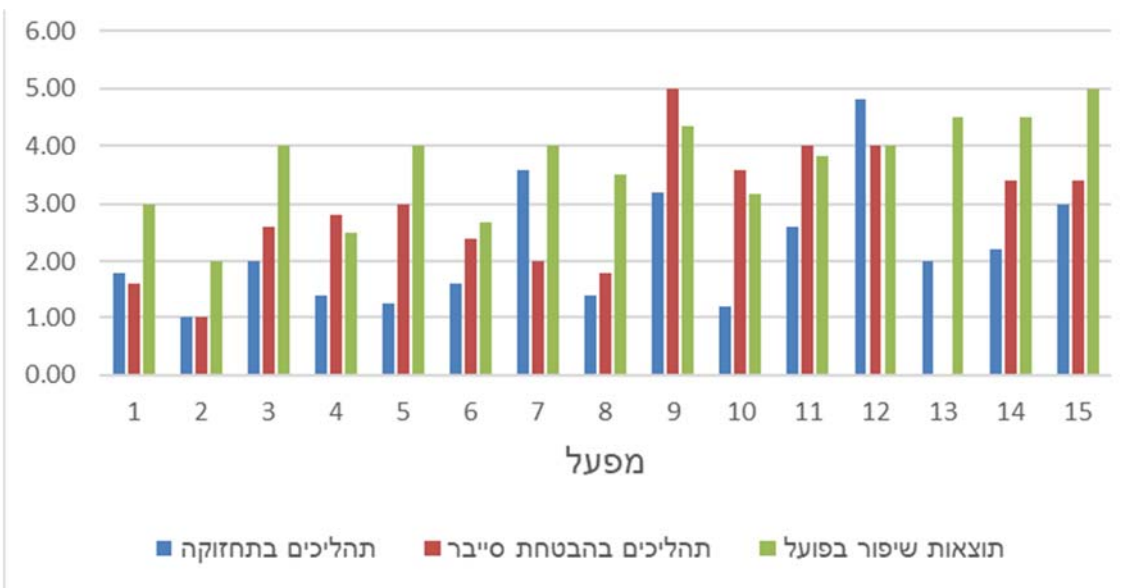
איור 2: פקטור 1 שרשרת הערך



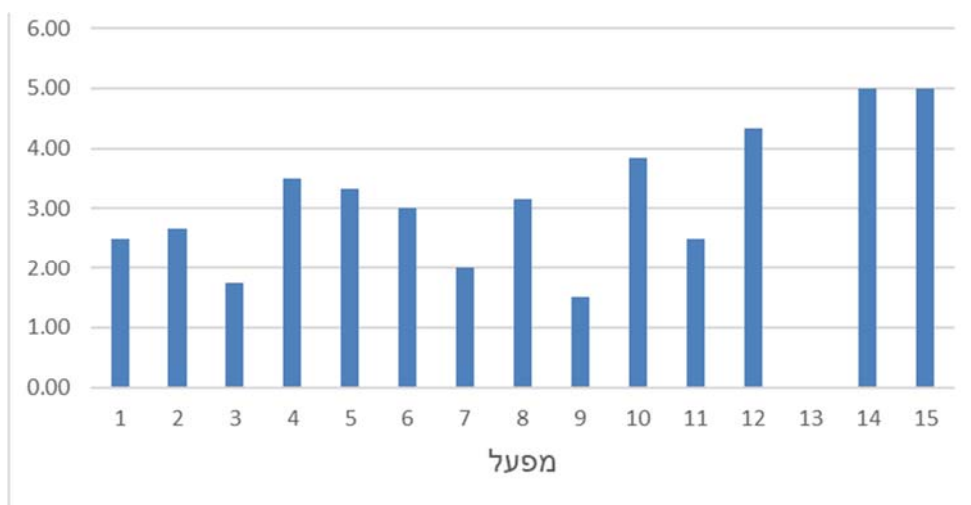
איור 3: פקטור 2 תשתית



איור 4: פקטור 3 בקרה

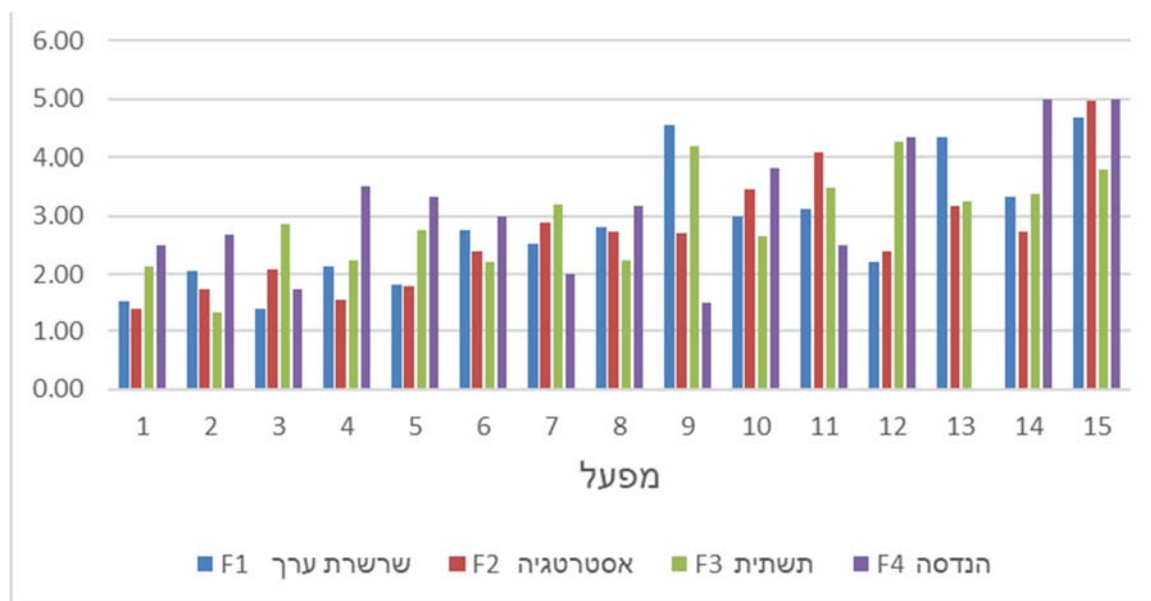


איור 5: פקטור 4 תהליכים בהנדסה



ג. השוואה בין המפעלים בארבעת הגורמים (איור 6).

איור 6: הערכה עצמית לפי פקטורים



ד. ניתוח הממוצעים, החציונים, סטיית התקן, מינימום ומקסימום - בין המפעלים בארבעת הגורמים, ההערכה העצמית ותוצאות המדידה (טבלה 4).

הממוצע והחציון בכל אחד מהגורמים וההערכות נמוך מהרמה האמצעית (3), למעט בהנדסה בו הממוצע מעט גבוה מ-3. הערכה עצמית יכולה להיות ביקורתית מחד או מוטת רציה חברתית מאידך.

תחת המגבלות, ניתן לומר שמצב המוכנות והבשלות לייצור מתקדם בקרב המפעלים שהשתתפו במחקר עד כה, טעונה שיפור משמעותי. שאלון ההערכה העצמית מאפשר למפעל לבצע 'תחקיר אמת' ובכך לזהות את התחומים והנושאים עליהם יש לשים דגש בשיפור.

טבלה 4: Statistics

	הערכה עצמית	Scale.Rate	שרשרת ערך	תשתית	בקה	הנדסה
N Valid	14	15	15	15	15	14
Mean	2.29	2.8998	2.8174	2.6728	2.9311	3.1488
Median	2.00	2.7328	2.7500	2.7125	2.8667	3.0833
Std. Deviation	.994	.74718	1.04668	.96802	.82522	1.10852
Range	3	2.72	3.27	3.56	2.93	3.50
Minimum	1	1.89	1.41	1.41	1.33	1.50
Maximum	4	4.61	4.68	4.97	4.27	5.00

5. ניתוח חוזקות וחולשות

ניתוח חוזקות התבצע על ידי בדיקה שני מדדים שחושבו מהנתונים שהתקבלו ברמת ההיגד הפרטני וברמת הממד/תחום אליו משתייך ההיגד.

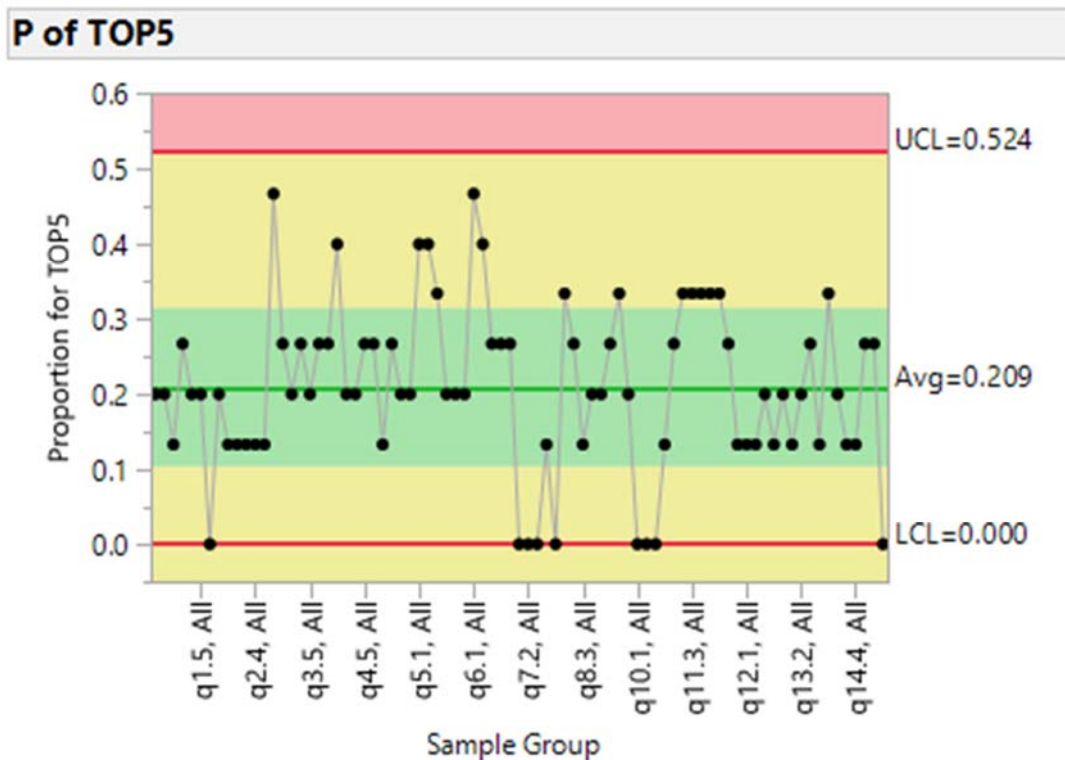
בעיקרון, היגדים בהם אחוז המשיבים "5" היה גבוה מצביע על חוזקה יחסית והיגדים בהם משיבי "1" או "2" היה גבוה מצביע על חולשה יחסית.

מדדים אלה נקראים TOP5 ו- BOT12 (Kenett and Salini, 2012).

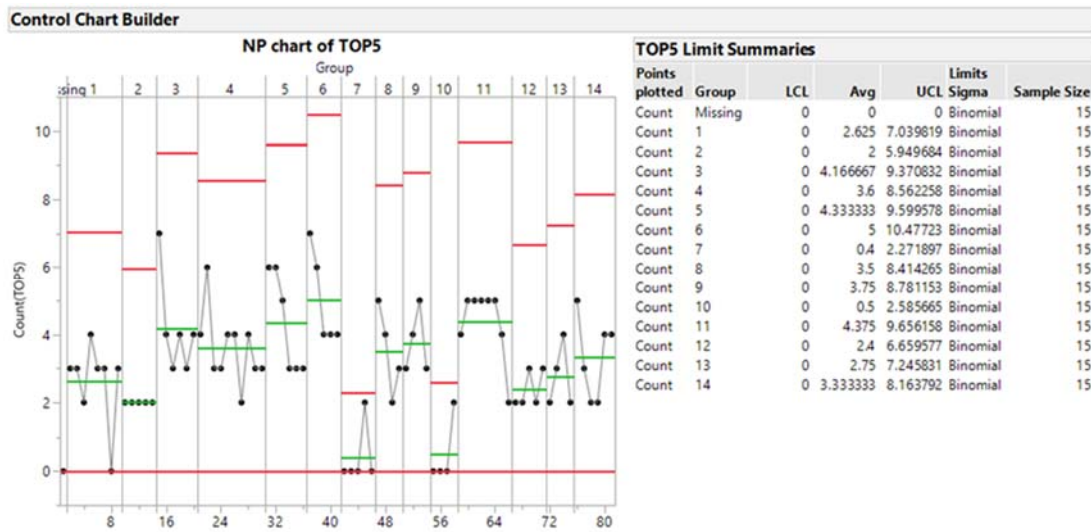
איור 7 מציג את תוצאות TOP5 על מכלול ההיגדים. ממוצע היגדי TOP5 הוא 20.9%. האזורים הצהובים משקפים ערכים נמוכים או גבוהים מאלה באזור הירוק. האזור האדום הוא של תוצאות גבוהות במיוחד וכאן לא היו כאלה.

איור 8 מציג את תוצאות TOP5 בכל אחד מ 14 תחומי/מדדי IMAM

איור 7: מדד TOP5 - היגדים המצביעים על חוזקות

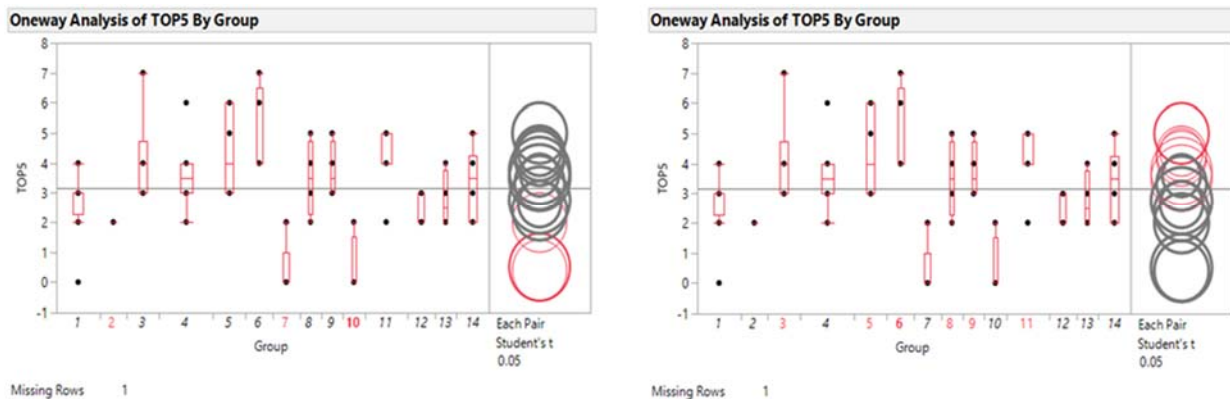


איור 8: מדד TOP5 לפי תחומים/ממדי IMAM



מאיר 8 עולה שתחומים 7 ו-10, כלומר תהליכים בתחזוקה ותהליכים במחזור חיי המוצר עם TOP5 יחסית נמוכים ושתחומים 5, 6 ו-11 עם TOP5 גבוהים יחסית (תהליכים בהנדסה, תהליכים עסקיים, ניהול מידע וידע). באיור 9 מוצגת בדיקת מובהקות ההבדלים בין התחומים שמואששת את האמור לעיל.

איור 9: בדיקת מובהקות מדד TOP5 לפי תחומים/ממדי IMAM



בצד ימין, תחומים עם רמה גבוהה יחסית, בצד שמאל תחומים עם רמה נמוכה יחסית.

ניתוח דומה בוצע לגבי מדד BOT12 (איור 10). כאן נראים שלושה היגדים עם BOT12 גבוהים במיוחד (כלומר היגדים המצביעים על חולשה) והם:

- 7.3 נתוני ניטור מצב המכונות משמש למערכת תחזוקה חזויה (PM) או תחזוקה מבוססת מצב (CBM)
- 8.3 קיים שימוש מושכל ברובוטים ובאמצעים אוטומטיים בלוגיסטיקה (כולל אחסון) ובשינוע
- 11.8 נעשה שימוש במודל ה- INFOQ להערכת מצב המידע והנתונים במפעל, ומגובשת מפת דרכים לשיפור

בעבודה זו מוצג תהליך גיבוש ותיקוף מודל להערכת בשלות מפעלים ליצור מתקדם IMAM. התהליך כולל אפיון ארבעה עשר תחומי תוכן של יצור מתקדם ורשימת היגדים להערכת מצב המפעלים בתחומי תוכן אלו. כדי לתקף מודל זה, פנינו לחמישה עשר מפעלים שהעריכו את מצבם בתחומי יצור מתקדם באמצעות שאלון סקר שהכנו עבורם.

ממצאי הסקר אפשרו לנו לתקף מודל זה בדרכים מקובלות, ומכאן יש בידינו מודל מתוקף להערכת בשלות מפעלים ליצור מתקדם. להערכתנו זהו כלי חשוב ליישום תכנית לאומית ליצור מתקדם בישראל, שהופצה לאחרונה על ידי משרד הכלכלה והתעשייה והרשות לחדשנות (משרד הכלכלה והתעשייה. אגף אסטרטגיה ותכנון מדיניות, 2018). כמו כן, המודל יכול לשמש כלי אבחון ראשוני וכלי להערכת התקדמות למכון ליצור מתקדם שיקום בעקבות מכרז משרד הכלכלה והתעשייה (משרד הכלכלה והתעשייה, 2018).

ממצאי הסקר גם מאפשרים לנו להעריך את תחומי החזקה והחולשה של המפעלים שהשתתפו בסקר:

חולשות	חוזקות
אסטרטגיה ותכנון ארוך טווח ליצור מתקדם	תקשורת עם הלקוחות והשוק
משאבי אנוש ליצור מתקדם	תהליכים בהנדסה
תהליכים בתחזוקה	תהליכים בשרשרת האספקה
תהליכים במחזור חיי המוצר	ניהול מידע וידע

בנספח הדוח מוצג מגוון מודלים להערכת בשלות מפעלים וחברות.

באמצעות השאלון שפיתחנו אפשר להשיג שני יעדים משמעותיים במאמץ יישום הייצור המתקדם בישראל.

יעד 1: מדידת הבשלות הארגונית באופן המאפשר למצב ארגון על סולם בשלות. מיצוב זה מספק מידע על מיקום יחסי של ארגון ובנוסף, כיווני פעולה המאפשרים עליה בסולם הבשלות.

יעד 2: זיהוי חוזקות וחולשות בתחום הייצור המתקדם. זיהוי זה יכול להתבצע ברמה אזורית, ברמה לאומית ובחתיים שונים של התעשייה.

Eitan Adres, Dana R. Vashdi, Yair Zalmanovitch (2016). Developing and Validating the New Individual's Level of Globalism (ILG) Scale, *Public Administration Review*, Puar 12424 S1.

De Winter J.C.F., Dodou D., and P.A. Wieringa (2009). Exploratory factor analysis with small sample size. *Multivariate Behavioral Research* 44:147-181.

DeVellis, Robert F. (2012). *Scale Development: Theory and Applications*. Newbury Park, CA: Sage Publications.

Kenett, R.S. and Baker, E. (2010). *Process Improvement and CMMI for Systems and Software*, Taylor and Francis, Auerbach CRC Publications

Kenett, R.S. and Salini, S. (2012). *Modern Analysis of Customer Surveys with Applications using R*, John Wiley and Sons

Kenett, R.S. and Zacks, S. (2014). *Modern Industrial Statistics: with applications in R, MINITAB and JMP*, John Wiley and Sons.

Kenett, R.S. and Shmueli. G. (2016). *Information Quality: The Potential of Data and Analytics to Generate Knowledge*, John Wiley and Sons

Kenett, R.S., Zonnenshain, A. and Fortuna, G. (2018) A road map for applied data sciences supporting sustainability in advanced manufacturing: the information quality dimensions, *Procedia Manufacturing*, 21, pp 141-148, 2018, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918301392>

Pai, J.C., (2014) *Industry 4.0: from the Internet of Things to Smart Factories*, MSME, <https://www.slideshare.net/jcspai/industry-40-pai>

Reis, M. and Kenett, R.S., (2018) *Assessing the Value of Information of Data-Centric Activities in the Chemical Processing Industry 4.0*, AlcHe, *Process Systems Engineering*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aic.16203>

משרד הכלכלה והתעשייה. אגף אסטרטגיה ותכנון מדיניות. (2018) תוכנית אסטרטגית לאומית לייצור מתקדם בתעשייה.

<https://www.gov.il/he/Departments/publications/reports/national-strategic-plan-for-advanced-manufacturing>

משרד הכלכלה והתעשייה. (5 יולי, 2018). הקמת והפעלת מכון ליצור מתקדם: מכרז מספר 618565.

<https://www.mr.gov.il/officestenders/Pages/officetender.aspx?plID=618565>

א. נספח 1: שאלון IMAM

שאלון הערכה לבשלות / מצב ייצור מתקדם במפעל							
לא רלוונטי	רמה אופטימלית				רמה התחלתית		
0	5	4	3	2	1		
						אסטרטגיה ותכנון ארוך טווח לייצור מתקדם	1
						במפעל קיימת תכנית אסטרטגית לקידום ייצור מתקדם	1.1
						במפעל קיימים יעדים אסטרטגיים כמותיים לפיתוח ייצור מתקדם	1.2
						במפעל קיימים יעדים אסטרטגיים איכותיים לפיתוח ייצור מתקדם	1.2.1
						יישום התכנית האסטרטגית לקידום ייצור מתקדם מונהג על ידי ההנהלה הבכירה	1.3
						קיימת תכנית ארוכת טווח לקידום המפעל לייצור מתקדם	1.4
						קיימת במפעל תכנית השקעות בתשתית וציוד לייצור מתקדם	1.5
						קיימת במפעל תכנית השקעות בהון אנושי, לייצור מתקדם	1.5.1
						ייצור מתקדם הוא מרכיב חשוב בתכנית החדשנות והייזמות במפעל	1.6
						משאבי אנוש לייצור מתקדם	2
						צוות המנהלים והעובדים בעל ידע וניסיון בתחומי ייצור מתקדם	2.1
						מזוהים הצרכים / פערים לפיתוח ההון האנושי בתחומי ייצור מתקדם	2.2

						קיימת תכנית פיתוח מנהלים בתחומי יצור מתקדם	2.3
						קיימת תכנית הכשרת עובדים בתחומי יצור מתקדם	2.4
						קיימת תכנית גיוס עובדים בעלי יכולת וניסיון רלוונטיים בתחומי יצור מתקדם	2.5
						תקשורת עם הלקוחות והשוק	3
						המידע על הלקוחות נמצא במאגר דיגיטאלי מעודכן, פעיל ומבוקר	3.1
						המידע על המתחרים נמצא במאגר דיגיטאלי מעודכן, פעיל ומבוקר	3.2
						המידע על צרכי השוק נמצא במאגר דיגיטאלי מעודכן, פעיל ומבוקר	3.3
						הקשרים והאינטראקציה עם הלקוחות (הזמנות, אספקות, משוב) מתבצעים בערוצים דיגיטאליים	3.4
						המידע והנתונים על הלקוחות והשוק מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים	3.5
						תובנות מניתוח המידע והנתונים על הלקוחות והשוק משמשות לקבלת החלטות עיסקיות	3.6
						תהליכים ביצור	4
						קיימת מערכת תכנון יצור מבוססת טכנולוגיות מידע	4.1
						קיימת מערכת בקרת יצור בזמן אמת (מבחינת תזמון, תצורה ואיכות)	4.2
						מכונות היצור ממוחשבות, אוטומטיות ומבוקרות מחשב ככל הניתן	4.3
						קיים שימוש מושכל ברובוטים ואוטומציה בקווי היצור	4.4

						סימוכי היצור והתפעול ממוחשבים	4.5
						קיימת ויזואליזציה דיגיטאלית (גישה מסלולר או אלחוטית) לסימוכי היצור והתפעול	4.5.1
						קיימת מערכת בקרת איכות יצור ממוחשבת	4.6
						המידע והנתונים על ביצועי קווי יצור (מבחינת תפוקות, איכות ותזמון) מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים ומוביל ליוזמות שיפור מתמיד.	4.7
						קיימת מערכת סנסורים מרושתת במסגרת אינטרנט של הדברים לניהול ובקרת היצור	4.8
						מתקיימת בחינה של כדאיות שימוש במדפסות תלת מימד ביצור חלקים מורכבים	4.9
תהליכים בהנדסה							5
						קיימת מערכת תכנון הנדסי מבוססת טכנולוגיות מידע	5.1
						כלי התכן ההנדסי הם ממוחשבים	5.2
						תהליכי התכן ההנדסי מלווים במודלים וסימולציות במסגרת תכן מבוסס מודלים	5.3
						סימולציות משמשות גם לתכן ניסויים סטטיסטיים במסגרת תהליכי התכן וההנדסה	5.4
						נעשה שימוש מושכל במדפסות תלת מימד ליצירה מהירה של אבי טיפוס, ולתכנון ויצור תבניות ומבלטים	5.5
						במהלך הפיתוח וההנדסה של מוצרים חדשים נשקל בין השאר שימוש בחומרים חדשים ומתקדמים המשפרים את המוצר ותהליכי היצור	5.6
תהליכים עסקיים							6

						קיימת מערכת לתכנון ובקרת המערכת העסקית המבוססת על טכנולוגיות מידע Business Intelligence (BI)	6.1
						נתוני וממצאי מערכת ה- Business Intelligence משמשים להחלטות עסקיות	6.2
						קיימת מערכת נתונים ומידע על שותפים עסקיים (קיימים ופוטנציאליים)	6.3
						קיימת מערכת מעקב מגמות עסקיות בשוק	6.4
						המידע העסקי מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים, ומוביל לגיבוש צעדים עסקיים לאורך זמן	6.5
תהליכים בתחזוקה							7
						קיימת במפעל מערכת מבוססת טכנולוגיות מידע של תכנון תחזוקת המכונות והתשתיות במפעל.	7.1
						קיים שימוש מושכל בסנסורים המנטרים מצב המכונות והתשתיות כדי לחזות הדרדרות של מצב המכונות	7.2
						נתוני ניטור מצב המכונות משמש למערכת תחזוקה חזוייה [(PM) Predictive Maintenance] או תחזוקה מבוססת מצב [(CBM) Condition Based Maintenance]	7.3
						קיימת מערכת המנטרת את נתוני השימוש באנרגיות (חשמל, אוויר דחוס, גז...) כדי לייעל את השימוש במשאבי אנרגיה	7.4
						המידע והנתונים על ביצועי התחזוקה (מבחינת תפוקות, איכות ותזמון) מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים ומוביל ליוזמות שיפור מתמיד	7.5
תהליכים בלוגיסטיקה							8

						קיימת במפעל מערכת מבוססת טכנולוגיות ידע לתכנון הלוגיסטיקה והשינוע (הפנימית והחיצונית).	8.1
						קיימת מערכת בקרת הלוגיסטיקה והשינוע בזמן אמת	8.2
						קיים שימוש מושכל ברובוטים ובאמצעים אוטומטיים בלוגיסטיקה (כולל איחסון) ובשינוע	8.3
						המידע והנתונים על ביצועי הלוגיסטיקה (מבחינת תפוקות, איכות ותזמון) מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים ומוביל ליוזמות שיפור מתמיד	8.4
תהליכים בשרשרת האספקה							9
						קיימת מערכת תכנון התהליכים בשרשרת האספקה, מבוססת טכנולוגיות מידע	9.1
						מערכת המידע והנתונים על ספקים מבוססת טכנולוגיות מידע	9.2
						העברת המידע אל הספקים ומהם היא ממוחשבת ומבוססת על האינטרנט	9.3
						המידע והנתונים על ביצועי ספקים וקבלני משנה (מבחינת תפוקות, איכות ותזמון) מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים ומוביל ליוזמות שיפור מתמיד	9.4
תהליכים במחזור חיי המוצר							10
						קיימת מערכת מבוססת טכנולוגיות מידע לתכנון מחזור החיים של מוצרים ומערכות.	10.1
						קיימת מערכת מבוססת טכנולוגיות מידע למעקב ובקרת המוצרים לאורך מחזור החיים (למשל מוצרים באחריות, שירות לקוחות וכו')	10.2

						קיימת מערכת מבוססת טכנולוגיות מידע לניתוח התנהגות משפחות מוצרים.	10.3
						המידע והנתונים על מחזור חיי המוצר (מבחינת אמינות, שירות) מנותח בכלים כמותיים וסטטיסטיים מתקדמים ומוביל ליוזמות שיפור מתמיד	10.4
ניהול מידע וידע							11
						קיימות מערכות מידע ונתונים מתקדמות, מבוססות טכנולוגיות מידע, כמענה לתהליכי המפתח במפעל	11.1
						קיים שימוש אפקטיבי במידע ונתונים, תוך יישום שיטות אנליטיקה כמותיות וסטטיסטיות מתקדמות	11.2
						קיים שימוש אפקטיבי בנתונים ובמידע לקבלת החלטות ניהוליות ועסקיות	11.3
						המידע מנוהל תצורה, שמור וזמין לשימוש בזמן אמת	11.4
						קיים תהליך ניהול ידע ושימוש בידע נצבר, מבוסס בין השאר על טכנולוגיות מידע מתקדמות ובינה מלאכותית	11.5
						קיים תהליך למידה ארגונית והפקת לקחים מהצלחות וכישלונות	11.6
						קיים תהליך אפקטיבי לשיפור בסיס המידע, מערכות המידע תוך אימוץ מושכל של טכנולוגיות מתקדמות	11.7
						נעשה שימוש במודל ה-INFOQ להערכת מצב המידע והנתונים במפעל, ומגובשת מפת דרכים לשיפור	11.8
תהליכים בהבטחת סייבר							12
						קיים זיהוי ומיפוי איומי וסיכוני הסייבר על תהליכי העבודה במפעל	12.1

						קיימת תכנית להתמודדות עם איומי וסיכוני הסייבר במפעל	12.2
						שיטות וטכנולוגיות הבטחה מול איומי סייבר מותקנות ומיושמות על פי תכנית	12.3
						קיימת בקרה מתמדת על עמידות המערכת מול איומי סייבר	12.4
						אירועי תקיפת סייבר מנותחים, מופקים לקחים ומבוצעים שינויים ושיפורים במערכות ההבטחה	12.5
						השקעות	13
						קיימת תכנית השקעות בתשתיות וציוד ליצור מתקדם בהיקף הולם את צרכי המפעל	13.1
						תכנית ההשקעות מיושמת בפועל	13.2
						נעשה באופן שוטף ניתוח אפקטיביות ההשקעות (כגון ROI)	13.3
						נעשים סקרים של פתרונות חדשניים ליצור מתקדם (בשוק, באקדמיה, בסטרטאפים), ובחינת התאמתם למפעל	13.4
						תוצאות שיפור בפועל	14
						מתנהלת מדידה ושיפור בפועל של הפירון במפעל	14.1
						מתנהלת מדידה ושיפור בפועל של זמני תגובה של המפעל	14.2
						מתנהלת מדידה של נתח השוק של המפעל וגידולו	14.3
						מתנהלת מדידה ושיפור בפועל של שביעות רצון הלקוחות	14.4
						מתנהלת מדידה ושיפור בפועל של מדדי איכות מוצר או שירות	14.5
						מתנהלת מדידה ושיפור ביצועים עסקיים	14.6

						כללי	15
						ניתן לומר שבאופן כללי מצב הייצור המתקדם במפעל הוא ברמה:	15.1



ינואר 2018

שאלון הערכה לבשלות/רמה/מצב יצור מתקדם במפעל

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.

ניתן להגדיר ייצור מתקדם כ"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".

ייצור מתקדם מתאפיין במספר מרכיבים מהותיים כגון: שימוש מוגבר בחיישנים ומערכות מעקב; דיגיטציה של תהליכי הייצור; פתרונות אינטגרליים הסוללים חומרה, תוכנה ושירותים; הדפסה בתלת מימד; שימוש בחומרים חדשים; גמישות בייצור; חיזוי התנהגות מוצרים ורכיבים המאפשרים קידום תחזוקה ותיקון מראש; מיחזור חומרים לתהליך הייצור.

רבים ממקבלי ההחלטות בעולם ובארץ רואים במהפיכת הייצור המתקדם הזדמנות לתעשייה בכלל, ולתעשייה המסורתית בפרט, לשדרוג טכנולוגי מהותי שיקדם אותה בתחרות הגלובאלית וישפר באופן מהותי את רמת הפריון בתעשייה המסורתית.

להערכתנו, מהפיכה זו נמצאת רק בתחילתה בישראל, ונעשים צעדים ראשונים לעידוד התעשיינים הישראליים לאמץ שיטות וטכנולוגיות ייצור מתקדמות.

כחלק מהמאמץ אנו מציעים לך כלי מדידה עצמי לרמת הבשלות והיישום של ייצור מתקדם במפעלך. ניתוח המדידה יכול לשמש את הנהלת המפעל בקביעת האסטרטגיה בתחום זה. במקביל, הנתונים המצרפיים יכולים לשמש את גורמי הממשל בעיצוב כלים שיתמכו בקידום התעשייה לייצור מתקדם.

נודה לך באם תמלא/י את השאלון המצורף אשר נתוויו יישמרו בדיסקרטיות אצל עורכי המחקר.

הוראות טכניות מופיעות בהמשך.

בתודה ובברכה,

צוות המחקר

ד"ר גלעד פורטונה פרופ' רון קנת ד"ר אביגדור זוננשיין ד"ר איתן אדרס

ג. סקר ספרות תמציתי על מודלים להערכת בשלות חברות ומפעלים

כללי

הערכת בשלות MATURITY ASSESSMENT של מפעלים וחברות בתחומים שונים היא פרקטיקה מקובלת בניהול. הערכה זו יכולה להוות צעד פתיחה לתהליך שיפור כולל וספציפי, כדי לאתר את ההזדמנויות הראויות לשיפור, וכן להעריך באופן תקופתי את התקדמות תהליך השיפור.

יש מספר משפחות של מודלי בשלות:

- מודלים המבוססים על מודל ה- CMMI - CAPABILITY MATURITY MODEL INTEGRATION שפותח במקורו על ידי ה- SEI להערכת בשלות הנדסת תוכנה בחברות
 - מודלים המבוססים על מודלי הערכת רמת מוכנות READINESS LEVEL שפותחו במקורם במשרד ההגנה האמריקאי DOD
 - מודלים המבוססים על תכניות פרסי איכות לאומיים כמו הבלדריג' האמריקאי או ה- EFQM האירופאי
 - מודלים להערכת בגרות ארגונים בתחומים ספציפיים כמו יצור, הנדסה ומחשוב
- בסיכום זה התייחסות תמציתית למודלים השונים, במיוחד בהקשרים לעבודה זו העוסקת בהערכת בשלות מפעלים וחברות ליצור מתקדם.

CMMI

מודל ה- CMMI שפותח במקורו כמודל CMM להערכת בשלות הנדסת תוכנה בארגונים על ידי ה- SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE – SEI באוניברסיטת קרנגי מלון CMU ושימש לפיתוח המודעות הניהולית והמקצועית שהנדסת תוכנה חייבת לכלול תהליכים מובנים, כדי שהתוכנה המפותחת תעמוד בדרישות הפונקציונאליות ותפחת במסגרת המשאבים (כסף וזמן) המוקצים לפיתוח. מודל זה הורחב ברבות הזמן כמודל CMMI להערכת בשלות ארגונים בתחומים מקצועיים שונים, כמו: הנדסת מערכות, ניהול פרויקטים, משאבי אנוש PEOPLE CMMI ועוד. פרוט על המודל ומרכיביו נמצא בספר:

Kenett, R.S. and Baker, E. (2010). Process Improvement and CMMI for Systems and Software

במודל זה יש שני מרכיבים עיקריים:

- הגדרת תחומי העניין וההערכה PROCESS AREA הנכללים בהערכת הבשלות (כמו: ניהול דרישות, תכנון פרויקט, בקרת פרויקט, בקרת ספקים ועוד)
 - הגדרת רמות הבשלות MATURITY LEVEL בכל תחום באמצעות היגדים מתאימים לפי גם הרמות הבאות: התחלתי, מנוהל, מוגדר, מנוהל כמותית, אופטימאלי.
- הערכת הבשלות בכל תחום מבוססת על מספר שיטות מקובלות כמו: הערכה עצמית על ידי פנל מומחים פנימי, הערכה על ידי מומחים מעריכים חיצוניים, איסוף עדויות ונתונים תומכים. נהוג גם שילוב בין שיטות ההערכה.
- ה- SEI סיפק ומספק הכשרות והסמכות למעריכים פנימיים וחיצוניים, ולמובילים מומחים בארגונים. כמו כן, ה- SEI מספק נהלים תומכים ליישום מודל ה- CMMI בארגונים.
- במשך השנים מאות ואף אלפי ארגונים בעולם יישמו את תהליכי הערכה לפי CMMI בהיקף משתנה מארגון לארגון. התרומה של המודל הזה לפיתוח היכולות של ארגונים בתחומים השונים הוערכה במספר מקרים, וההתייחסות לתרומת מודל זה ולאפקטיביות שלו שנויה במחלוקת בין המומחים. כולם מציינים שמודל ה- CMMI תורם למודעות התהליכית בתחומי הפעלתו, אבל חלקם מבקרים את כובד הביורוקרטיה והניירת המרובה המלווה את התהליך ועד כמה התהליך אובייקטיבי בהערכת הבשלות והיכולות של המפעלים.

מודלים להערכת רמת מוכנות READINESS LEVEL

מודלים אלו פותחו על ידי מערך ההרכשה של משרד ההגנה האמריקאי, כדי להגדיר במרכזי הרכש את רמת המוכנות המצופה מהספקים השונים בפרויקט פיתוח ויצור.

המודל הראשון שפותח במסגרת זו הוא ה- TECHNICAL READINESS LEVELS – TRL המיועד בעיקר לפרויקט פיתוח והנדסה של מערכות. המודל מגדיר 9 רמות מוכנות טכנית של הפרויקט מ- TRL1 עד TRL9 כמו:

TRL1 - עקרונות בסיסיים קיימים ומדווחים

TRL2 - הקונספט הטכנולוגי והיישום שלו מוגדר

TRL3 - הקונספט של פונקציות קריטיות מוכח באמצעות ניסויים והערכות אנליטיות

וכן הלאה..

על פי מתווה זה גובש מודל להערכת מוכנות ליצור, (MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL), המגדיר מתכונת להגדרת רמות מוכנות ליצור מבחינת מדרג הרמות ודרכי היישום והשימוש בפועל. מוגדרות 10 רמות MRL :

1. מזהות יכולות ייצור בסיסיות
2. מוגדרות תפישות ייצור
3. מפותחות יכולות להוכחת תפישות הייצור
4. יכולת ייצור טכנולוגיה בסביבה מעבדתית
5. יכולת ייצור רכיבים של אבי טיפוס בסביבת ייצור רלוונטית
6. יכולת ייצור אבי טיפוס של מערכות ותת מערכות בסביבת ייצור רלוונטית
7. יכולת ייצור של מערכות, תת מערכות או רכיבים בסביבת ייצור מייצגת
8. מודגמת יכולת קו ייצור פיילוט חלוץ, המוכן לייצר בהיקף ייצור קטן והתחלתי
9. מודגמת יכולת ייצור בהיקף קטן, יש הכנות להתנעת ייצור מלא
10. מודגמת יכולת ייצור מלאה ויש יישום פרקטיקות ייצור רזה (LEAN)

המתווה מגדיר גם תהליך יישום מודל ה- MRL לאורך כל מחזור החיים של המערכת על ידי המזמינים, על ידי מנהלי הפרויקטים ועל ידי יחידות הייצור. בקרת המודל מתקיימת בעיקר במסגרת סקרי התיכון של פרויקט הייצור הרלוונטי.

פרטי התהליכים מפורטים במסמך:

Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook, Version 2.0, May 2011, OSD Manufacturing Technology Program

מודלים להערכת הבגרות הדיגיטאלית של ארגונים

המהפכה התעשייתית הרביעית כוללת מרכיב חיוני והוא הטרנספורמציה הדיגיטאלית של מפעלים וחברות. הטרנספורמציה הדיגיטאלית מוגדרת כתהליך של שינוי עסקי וארגוני משמעותי ומתמשך הנובע משימוש הולך וגובר בטכנולוגיות דיגיטאליות במטרה לשפר את הביצועים העסקיים, את חווית הלקוח, לייעל את התהליכים העסקיים וליישם מודלים עסקיים חדשניים.

ממחקרים יישומיים עולה שההצלחה בטרנספורמציה הדיגיטאלית תלויה רבות בבגרות הדיגיטאלית DIGITAL MATURITY של הארגון.

הבגרות הדיגיטלית היא מדד ארגוני המתאר את ההיקף, העומק והאפקטיביות בה הארגון משתמש בטכנולוגיות הדיגיטליות בביצוע עסקיו ויצירת היתרון התחרותי שלו. מדד זה מצביע על השלב בו הארגון

נמצא בכל הקשור ליישום הטכנולוגיות הדיגיטליות, לטיב הכישורים והיכולות של מנהלי ועובדי הארגון להתמודד בעידן הדיגיטאלי ולטיב כישוריו בהטמעת חדשנות, מודלים עסקיים דיגיטאליים וטכנולוגיות דיגיטאליות חדשניות.

רז הייפרמן ריכז במאמרו על הבגרות הדיגיטאלית של הארגון מגוון מודלים שפותחו בנושא בשנים האחרונות, כמו:

- המקדם הדיגיטאלי של חברת מקינזי הכולל אפיון היבטים אסטרטגיים, היבטים תרבותיים, היבטים ארגוניים, והערכת היכולות הדיגיטאליות של הארגון. חברת מקינזי מקיימת סקרים מקיפים להערכת הבגרות הדיגיטאלית של ארגונים.
- המקדם הדיגיטאלי של חברת PWC הכולל 5 התנהגויות ארגוניות המשפיעות על המובילות הדיגיטאלית של הארגון: המנכ"ל כמוביל דיגיטאלי, קשרים חזקים בין סמנכ"ל השיווק וסמנכ"ל טכנולוגיות מידע, גישת חדשנות מבחץ פנימה, השקעות בפלטפורמות IT חדשות, ראיית הנושא הדיגיטלי כיכולת ארגונית. חברת PWC פיתחה שאלון בן 10 שאלות לביצוע ההערכה של המקדם הדיגיטאלי של ארגונים.
- ועוד... במאמר הבא: הבגרות הדיגיטלית של ארגון, רז הייפרמן, מגזין מנהיגים של אנשים ומחשבים (2016), קול המערכות (2018).

▪ מודל לאומי להערכת מוכנות תעשייה ליצור מתקדם

נושא המעבר ליצור מתקדם בתעשייה מהווה נושא אסטרטגי במדינות רבות בעולם, כמו: ארה"ב, גרמניה, אנגליה, סין ועוד. במדינות אלו גובשה מדיניות לאומית לקידום יצור מתקדם. בשנים האחרונות הצטרפה גם סינגפור למגמה עולמית זו. במסגרת זו גובש בסינגפור אינדקס:

THE SINGAPORE SMART INDUSTRY READINESS INDEX

אינדקס זה מסייע לממשלה בסינגפור לכוון את המדיניות הלאומית לקידום יצור מתקדם בתעשייה. האינדקס הסינגפורי כולל:

- שלושה אבני בניין-תהליכים, טכנולוגיה, ארגון
 - שמונה עמודי תווך-תפעול, שרשרת אספקה, מחזור חיי מוצר, אוטומציה, קישוריות, מודיעין, מוכנות הכישרונות, מבנה וניהול
 - וממדים פרטניים: אינטגרציה אנכית, אינטגרציה רוחבית, מחזור חיי מוצר משולב, רצפת היצור, הארגון, המפעל הבודד, פיתוח והלימוד של העובדים, שותפות פנימית וחיצונית בחברות, יכולות מנהיגות.
- אינדקס המוכנות נבנה על בסיס הערכת מצב המפעלים בממדים לעיל. בכל ממד הוגדרו היגדים ב- 6 רמות, מרמה 0 הנמוכה ביותר לרמה 6 הגבוהה והאופטימלית. ההערכה מבוצעת עצמית על ידי המפעל או באמצעות צוות מומחים חיצוני.
- קידום תכנית יצור מתקדם הלאומית בסינגפור, המבוססת על אינדקס המוכנות שלעיל, מיושם בתכנית מסגרת המכונה **DELIVER, ARCHITECT, EVALUATE, LEARN - LEAD**.
- במסגרת הלימוד (LEARN) יוצרים שפה משותפת לגבי תכנית יצור מתקדם ויוצרים מודעות לחשיבות התכנית לתעשייה.
- במסגרת ההערכה (EVALUATE) מעריכים את המצב הנוכחי של המפעלים בממדים המצוינים לעיל, וכן את החשיבות היחסית של כל ממד להצלחת החברה הספציפית.
- במסגרת הארכיטקטורה (ARCHITECT) מגבשים מפת דרכים לכל מפעל בדרך ליצור מתקדם, בהתאם למצבו הנוכחי, בהתאם לחוזקות והחולשות שלו, ובהתאם לאסטרטגיה וההזדמנויות שלו.
- במסגרת היישום בפועל (DELIVER) מקיימים מדידה תקופתית על פי האינדקס - האם המפעלים מתקדמים בקצב המתוכנן, מפקימים לקחים ויוזמים יוזמות שינוי והתפתחות נוספות.

בנוסף, התכנית הלאומית ליצור מתקדם בסינגפור מבוססת על מודל וארכיטקטורה תלת ממדית המכונה:
REFERENCE ARCHITECTURAL MODEL INDUSTRIE 4.0 (RAMI 4.0)

תלת הממדיות מורכבת מ: שכבות התהליכים בארגון, זרימת הערך לאורך מחזור החיים של המוצרים והמערכות, ומההיררכיות בארגון כמודגם במצגת הבאה:

https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.pdf?_blob=publicationFile&v=7

המודל והארכיטקטורה פותחו במסגרת חשיבתית המכונה פלטפורמה:

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0

שהמסמכים שלה מפורטים ב:

<https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/InPractice/Online-Library/online-library.html>

▪ מודלים לבשלות מבוססים על התוכניות לפרסי איכות לאומיים ותקני ISO בתחומי ניהול ואיכות

תכניות פרסי איכות לאומיים כמו הבלדריג' בארה"ב וה- EFQM כוללים קריטריונים לניהול מצטיין. קריטריונים אלו משמשים גם כמודלים לבשלות ארגונים לניהול ואיכות, כלומר רמת הבשלות והבגרות של ארגונים בהיבטי איכות וניהול.

7 הקטיגוריות לקריטריונים למצוינות בבלדריג' הן:

- מנהיגות
- אסטרטגיה
- לקוחות
- מדידה, ניתוח וניהול ידע
- כוח אדם
- תפעול
- תוצאות בפועל

כל קטגוריה מוגדרת על ידי סדרת סוגיות שהמענה עליה מאפיין את המצוינות הארגונית בקטגוריה זו, ומשמש גם להערכה עצמית וחיצונית של בשלות הארגון בקטגוריה זו.

מסמך הקריטריונים ומתכונת ההערכה של המצוינות כלולה במסמך:

BALDRIGE EXCELLENCE FRAMEWORK - A Systems Approach to Improving Your Organization's Performance

www.nist.gov/baldrige

בצורה דומה תכנית ה EFQM כולל 9 קטיגוריות למצוינות אירגונית:

- מנהיגות
- עובדים
- אסטרטגיה
- שותפויות ומשאבים

- תהליכים, מוצרים ושירותים
- תוצאות של עובדים
- תוצאות ללקוחות
- תוצאות לקהילה
- תוצאות עסקיות

אפיון המצוינות הארגונית בכל קטגוריה מוגדר באמצעות היגדים.

מודל מצוינות זה משמש גם הוא לאפיון בשלות ארגונים לניהול מצטיין ואיכותי.

תקציר מודל המצוינות של ה- EFQM כלול במסמך שהופק על ידי מכון התקנים הישראלי

http://www.sii.org.il/sip_storage/FILES/7/2727.pdf

פירוט נמצא באתר ה- EFQM: <http://www.efqm.org/the-efqm-excellence-model>

בתקני ה- ISO המערכתיים הקשורים לניהול, כמו 9001, 14001, 9004 ואחרים נכלל בשנים האחרונות פרק מיוחד להערכה עצמית של ארגון על בשלותו בכל אחד מסעיפי התקנים האלו. פרק זה כולל הגדרה של 5 רמות בשלות הדומות לאלו במודל ה- CMMI, ומתואר באמצעות היגדים.