

פרויקט גמר – מידול המלאי דו״ח מקדים ,סמסטר ב׳ תשפ״ב

אוניברסיטת בן גוריון הפקולטה להנדסה המחלקה להנדסה תעשייה וניהול

P-2022-02-380  
12.5.2022

Logo

Description automatically generated with medium confidence

חברי הצוות: נעה אלחרר ושגיא רוטשטיין  
הנחייה אקדמאית: פרופ׳ הלל בר גרא  
הנחייה מקצועית: אדון אביחי גרפי, מנכ"ל ומייסד חברת Algoplanner.io

**תודות**

תודה **לפרופ׳ הלל בר גרא** על הקדשת הזמן וההנחיה המסורה.

תודה **לאדון אביחי גרפי וחברת Algoplanner.io** על הזמן הרב שהושקע והעזרה במהלך הדרך.

**תוכן עניינים**

Table of Contents

[1. מבוא 3](#_Toc103116843)

[1.1 הצגת הנושא 3](#_Toc103116844)

[2.1 מוטיבציה 3](#_Toc103116845)

[2. רקע 4](#_Toc103116846)

[3. תכנון הפרויקט 16](#_Toc103116847)

[1.3 תיאור המצב הקיים 16](#_Toc103116848)

[2.3 הגדרת המודל התיאורטי והשערות המחקר 16](#_Toc103116849)

[3.3 עיצוב המערכת 16](#_Toc103116850)

[4.3 הערכות לקראת המשך הפרויקט 16](#_Toc103116851)

[4. יישום הפרויקט ותוצאותיו 16](#_Toc103116852)

[1.4 סטטיסטיקה תיאורית 16](#_Toc103116853)

[2.4 הסקה סטטיסטית 16](#_Toc103116854)

[3.4 תיאור מהלך העבודה והיישום 16](#_Toc103116855)

[4.4 בדיקת איכות ומבחני הקבלה 16](#_Toc103116856)

[5.4 הטעמת התוצר הסופי 16](#_Toc103116857)

[6.4 מסקנות ולקחים 16](#_Toc103116858)

[7.4 משמעויות המחקר וממצאיו 16](#_Toc103116859)

[8.4 ניתוח תוצאות המחקר 16](#_Toc103116860)

[9.4 בדיקת תאימות הממצאים לידע בסקר הספרות 16](#_Toc103116861)

[5. סיכום 16](#_Toc103116862)

[1.5 סיכום הישגי הפרויקט ותוצריו 16](#_Toc103116863)

[2.5 תובנות מרכזיות והפקת לקחים 16](#_Toc103116864)

[3.5 המלצות להמשך המחקר והפיתוח 16](#_Toc103116865)

[4.5 סיכום בנימה אישית 16](#_Toc103116866)

[רשימת מקורות 16](#_Toc103116867)

[Bibliography 16](#_Toc103116868)

[נספחים 17](#_Toc103116869)

**רשימת מושגים**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **שם המושג** | **תיאור המושג** | **יחידות מידה** |
| EOQ | Economic order quantity - מודל ניהול הזמנות מלאי המוצא כמות אופטימאלית להזמנה בהינתן מספר הנחות ומשתנים |  |
| רמת שירות | רמת שירות סוג 1. ההסתברות לאי היווצרות חוסר במהלך תקופת האספקה. |  |
| Y(q) | פונקציית עלות המדיניות מדיניות ניהול מלאי לתקופה, כתלות בגודל מנה. |  |
| K | עלות הזמנת המלאי , או עלות עריכה בייצור. |  |
| Q | גודל מנת ההזמנה או הייצור |  |
| Q\* | גודל מנת ההזמנה או הייצור האופטימלית |  |
| h | עלות אחזקת המלאי ליחידה לתקופה |  |
|  | קצב ביקוש המוצר |  |
|  | קצב ייצור המוצר |  |
| b | כמות החוסר |  |
|  | קנס על חוסר ליחידה |  |
|  | קנס מתמשך על חוסר ליחידה ליחידת זמן |  |
| I | ריבית שנתית |  |
| C | עלות רכש kיחידה |  |
| Z | מקדם סטטיסטי המבטא את מספר סטיות התקן הנדרש כמלאי הביטחון על מנת לקיים את רמת השירות הנדרשת במחסן. |  |
| ROP | מצב יתרת המלאי בה יש להוציא הזמנה מחודשת ע״מ לשמר את ברמת השירות הרצויה. |  |
| LT | זמן אספקה, פרק הזמן העובר מרגע החלטה על ביצוע רכש ועד קבלת המוצר כשהוא זמין למשתמש הסופי. |  |
|  | שונות מלאי הביטחון |  |
| MAD | ממוצע הסטיות בין מה שחזינו למה שקרה בפועל |  |
| B | כמות מלאי בטחון |  |

# **1. מבוא**

## **1.1 הצגת הנושא**

הצלחתן הכלכלית של חברות סיטונאות רבות תלויה במספר רב של גורמים. עיסוקן העיקרי של חברות אלה הינו סיפוק הביקוש של לקוחותיהן- הבנת הצרכים של קהל יעד רלוונטי, התאמת מוצרים קיימים או עתידיים לצרכיהם, ביצוע ייצור או רכש ולבסוף ווידוא מסירת המוצרים לידי הלקוחות. מפרוץ המהפכה התעשייתית, תחום זה הלך וצבר תאוצה בקצב מסחרר, וכיום נקרא בכלליותו ניהול שרשראות הספקה. מטרתן העיקרית של חברות השונות בתחום זה, הינו צמצום עלויות והגדלת רווחים, ולאופן בו מנוהל מלאי המוצרים השונים יש השפעה אדירה על עלויות המלאי וכן על יציבותן הכלכלי. מכאן עולה הצורך לנהל מלאים באופן יצירתי וחכם, שיביא למיקסום רווחים – "בעיית המלאי".

## **2.1 מוטיבציה**

כיום, הדרך הרווחת בחברות סיטונאים לקבלת החלטות בנושא כמויות רכש מלאי וניהול מלאים, נעשית באופן ידני. אנשי מקצוע בתפקיד ״planner״ עורכים חישובים ונעזרים במודלים מוכרים בכדי לקבוע את אסטרטגיית ניהול המלאי של החברה. ״planner״ בייצור ותעשייה מכין תוכניות עבודה לטווח הקצר ולטווח הארוך. הוא קובע מתודולוגיות ושיטות עבודה, לוחות זמנים לתהליכי הייצור ומקדם הזמנות מול לקוחות. תפקידו כולל בפועל תכנון הייצור כולל גיבוש תוכנית עבודה וייצור – לוחות זמנים, תקציב ויעדים וכן תכנון הייצור לפי ההזמנות במערכת, תכנון המשאבים וחלוקת עבודה.

אחת מהדרכים בהם מחשב ה״planner״ מתי יש להזמין מוצרים שונים, או מתי יש לייצרם הינם בעזרת מודלים מתמטיים, אחד ממודליים אלו הינו מודל EOQ המתחשב בפרמטרים שונים כמו: קצב ביקוש הלקוחות, קצב הייצור, מלאי הבטחון ועוד. המודל מציע פתרון לניהול מלאי בצורה מדויקת וקרובה יותר למציאות.

הבעיה?

כיום ישנה בעיה בתכנון התוכניות ובשימוש במודל EOQ בפרט, ישנם מספר פרמטרים רב שאינם נלקחים בחשבון במודל המשפיעים על עלות ניהול המלאי.

מטרות הפרויקט?

מטרת הפרויקט תהיה למצוא ולהגדיר פרמטרים אלו, לפתח מודל EOQ המתחשב בפרמטרים אלו ומציע פתרון לניהול מלאי בצורה מדויקת וקרובה יותר למציאות, בנוסף במהלך הפרויקט נפתח תוכנת פיתון שתיישם את המודל וממנה נוכל למצוא את הקשר בין הפרמטרים השונים למודל שנמצא.

אופי הפרויקט-

פרויקט זה עוסק במחקר אמפירי בעיקרו. סקירת ספרות בנושאי שרשראות הספקה, מודלים של ניהול מלאי ואיסוף נתוני עבר יהוו בסיס תיאורטי למימוש המחקר.

הגדרות מטרת הפרויקט-

נחלק את הפרויקט שלנו לשלושה פרקים עיקריים –

1. סקירת ספרות ובניית מודל EOQ סטוכסטי רחב בשפת פיתון.

2. צבירת מסד נתונים ע"י המודל, מציאת קשרים סטטיסטים מתוך המודל.

3. שימוש בכלי לימוד מכונה ובמסד הנתונים כדי לשפר את המודל שפותח.

# **2. רקע**

בעיית המלאי החלה להיחקר בשנת 1915 ע״י Ford Whitman Harris, שהגדיר את מודל הeoq הפשוט והמפורסם. באופן כללי קצב הביקוש של כל מוצר תמיד דינמי, הכוונה שקצב הביקוש משתנה בזמן. המודל מגדיר שקצב הביקוש תלוי בפרמטרים שונים ביניהם בביקוש המשתנה בזמן, במחיר המוצר ואפילו ברמת המלאי בה המוצרים מוצגים בחנויות. בשנים האחרונות הדיון על הבעיה עולה למציאת מודל שמתחשב בשונות הביקוש לשיפור ניהול המלאי. בעבר, המודלים פותחו בהנחה שיש איסור לחוסרים במלאי, בשנת 1987 המודל פותח להתחשב בחוסר במלאי, בשנת 1995 פותח הקשר בין חוסר במלאי לקצב ביקוש יורד.

בשנת 1997 פיתחו את מודל eoq כך שקצב הביקוש הינה פונקציה הכוללת מספר פרמטרים ביניהם מחיר המוצר, התקופה במלאי וכמות המלאי. כיום המודל המפורסם לוקח בחשבון פרמטרים דטרמיניסטיים לחישוב המלאי כגון : קצב ביקוש דטרמיניסטי לינארי גדל בזמן, תלות בכמות המלאי וקצב הביקוש, מחיר המוצר שמשפיע על ביקוש המוצר וזמן בין הזמנת המוצר להגעתו למלאי. (Sana & Chaudhuri, 2011)

**המודל הראשון**

Shape, polygon

Description automatically generatedמניח שהחוסר במלאי אסור, הוא לוקח בחשבון שפונקציית עלות המדיניות כתלות בגודל מנה תלויה במחיר הזמנת המוצרים ועלות אחסון המוצרים במחסן, בנוסף המודל מתאים עבור מוצרים הנרכשים בלבד ואיננו מתחשב בקצב יצירת המוצר.

כדי למצוא את הכמות האופטימלית לרכישה המתאימה למודל הראשון, נגזור את משואה זו, נשווה ל 0 ונבודד את Q. כך נמצא את משוואת Q שתמזער את פונקציית עלות ניהול המלאי :

נראה דוגמה לשימוש במודל 1-

משקאות שביט הינה היבואנית הבלעדית של משקה האנרגיה Bull-Bad בישראל.

הביקוש למשקה קבוע ועומד על 40,000 ליטר בשנה. את המשקה מייבאת החברה מהודו. המשלוח מגיע ארצה במכולה המסוגלת להכיל כל כמות. עלות המשלוח איננה תלויה בכמות המוזמנת ועומדת על 5000 ₪. העלות הקבועה להחזקת ליטר משקה לשנה במלאי הינה 1 ₪

הריבית השנתית היא 10%.

א. מהי הכמות המומלצת להזמנה בכל מחזור ? מהי העלות השנתית הכוללת ?

נתונים-

נחשב כמות אופטימלית של יחידות בכל מנה (Q\*) :

נחשב עלות ניהול מלאי שנתית:

**המודל השני**

גם הוא, מניח שהחוסר במלאי אסור. הוא לוקח בחשבון שפונקציית עלות המדיניות כתלות בגודל מנה תלויה במחיר עריכת פס הייצור ועלות אחסון המוצרים במחסן, בנוסף המודל מתחשב בקצב ייצור המוצר.

Diagram, engineering drawing

Description automatically generated

נחשב את :

ולכן:

כדי למצוא את הכמות האופטימלית לרכישה המתאימה למודל השני, נגזור את משואה זו, נשווה ל 0 ונבודד את Q. כך נמצא את משוואת Q שתמזער את פונקציית עלות ניהול המלאי :

נראה דוגמה לשימוש במודל 2-

משקאות דפנה הינו מפעל משפחתי קטן המתמחה בייצור משקאות מוגזים. לאחרונה החליטה החברה להיכנס לתחום הבירה. הביקוש לבירה קבוע בזמן ועומד על 25,000 ליטר בשנה. ברשות החברה מבשלה המסוגלת לייצר 100,000 ליטר בשנה. עלות העריכה לפני כל סדרת ייצור הינה 2400₪. הריבית השנתית היא 10%. עלות אחזקת ליטר בירה לשנה במלאי הינה 1₪.

מהו גודל מנת הייצור המומלצת ומהי העלות השנתית ?

נתונים-

נחשב כמות אופטימלית של יחידות בכל מנה (Q\*) :

נחשב עלות ניהול מלאי שנתית:

**המודל השלישי**

Diagram

Description automatically generated with low confidenceמודל זה מתחשב במצב בו יש חוסר במלאי. המודל מחשב את העלות הכללית כחיבור של עלות ההזמנה, עלות אחסון המוצרים במלאי, הקנס על מצב של חוסר ככפל בין עלות החוסר וסך היחידות החסרות, עלות החוסר הממוצעת.

חישוב :

כדי למצוא את הכמות האופטימלית לרכישה המתאימה למודל השלישי, נגזור את משואה זו, נשווה ל 0 ונבודד את Q. כך נמצא את משוואת Q שתמזער את פונקציית עלות ניהול המלאי (נזכור כי b נתון):

כדי למצוא את כמות חוסר אופטימלית עבור Q, נגזור את משואה לפי b:

נציב ב כדי למצוא כמות הזמנה אופטימלית גלובלית:

נראה דוגמה לשימוש במודל 3-

הביקוש השנתי למיץ קישואים סחוט טרי קבוע בזמן ועומד על 50,000 ליטר לשנה. עלות ההזמנה היא 500$ ועלות האחזקה 5$ ליטר לשנה. ההנהלה מתירה חוסר אך לחוסר זה ישנן עלויות שיש לקח בחשבון: 0.1$ לליטר ו- 15$ ליטר לשנה.  
מהו גודל מנת הייצור המומלצת ומהי העלות השנתית ?

נתונים-

**המודל הרביעי**

גם מודל זה מתחשב במצב בו יש חוסר במלאי. המודל מחשב את העלות הכללית כחיבור של עלות העריכה, עלות אחסון המוצרים במלאי, הקנס על מצב של חוסר ככפל בין עלות החוסר וסך היחידות החסרות, עלות החוסר הממוצעת, בנוסף המודל מתחשב בקצב ייצור המוצר.

כאשר:

*נחשב את גדלי הביניים*

Diagram, shape, engineering drawing

Description automatically generated

חישוב :

כדי למצוא את הכמות האופטימלית לרכישה המתאימה למודל הרביעי, נגזור את משואה זו לפי Q, נשווה ל 0 ונבודד את Q. כך נמצא את משוואת Q שתמזער את פונקציית עלות ניהול המלאי (נזכור כי b נתון):

כלומר בהינתן b, זהו ה Q הטוב ביותר.

כדי למצוא את כמות חוסר אופטימלית עבור Q, נגזור את משואה לפי b:

כלומר בהינתן Q זהו ה b הטוב ביותר.

מציאת כמות הזמנה אופטימלית גלובלית:

כלומר, זהו ה Q הטוב ביותר כאשר אין תנאים מקדימים.

נראה דוגמה לשימוש במודל 4-

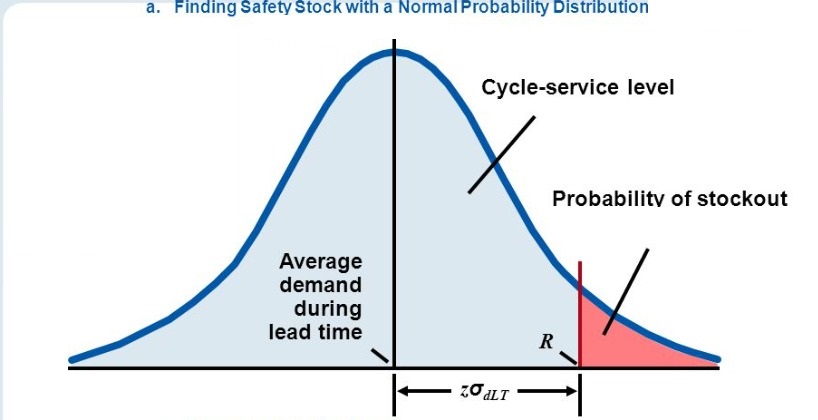
הביקוש השנתי למיץ סלק סחוט טרי קבוע בזמן ועומד על 75,000 ליטר לשנה. קצב הייצור הינו 100,000 ליטר בשנה, עלות העריכה היא 250$ ועלות האחזקה 8$ ליטר לשנה. ההנהלה מתירה חוסר אך לחוסר זה ישנן עלויות שיש לקח בחשבון: 0.2$ לליטר ו- 20$ ליטר לשנה.  
מהו גודל מנת הייצור המומלצת ומהי העלות השנתית ?

נתונים-

(Dieter & Bach, 2012)

**שרשראות אספקה:**

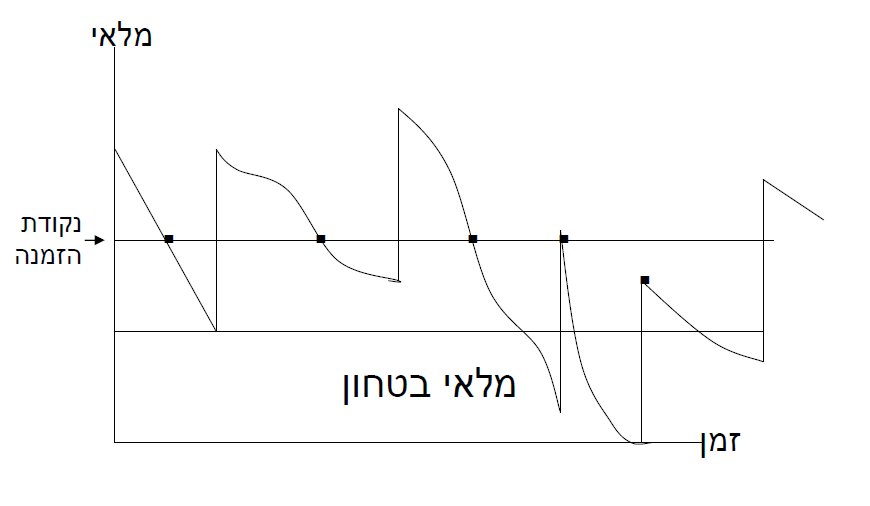
מלאי ביטחון ורמת שירות-

במקרים רבים, קיימת חשיבות לניהול שביעות הרצון של לקוחות שרשרת ההספקה. עד כה, דנו במודלים של רכש או ייצור, הנבדלים בסבילות לחוסר מלאי (מודל 1 ו2 אוסרים חוסר, מודלים 3 ו 4 מתירים חוסר). ניתן לתחום את ניהול שביעות רצון הלקוחות בעזרת מונח רמת השירות - ההסתברות לאי היווצרות חוסר במהלך תקופת האספקה.

מלאי בטחון-

כדי לעמוד ברמת שירות מסוימת, נוודא בכל מחזור שנותר מספיק מלאי ביטחון של יחידות במחסן עבור מקרים בהם הביקוש בתקופה כלשהי תהיה גבוהה מתוחלת הביקוש. החישוב למלאי ביטחון:

חישוב נקודת הזמנה:

באופן כללי במודל EOQ, נקודת ההזמנה תחושב ע"י הסכום בין ממוצע הביקוש במשך זמן ההספקה לבין כמות מלאי בטחון שיש להחזיק כדי לעמוד ברמת שירות רצויה:

חישוב נקודת הזמנה ע״פ התפלגות נורמלית:

עבור ביקוש המגיע מהתפלגות נורמאלית, תוחלת הביקוש בזמן ההספקה יהיה , וסטיית התקן נתונה , ולכן:

חישוב נקודת הזמנה ע״פ התפלגות פואסון:

עבור ביקוש המגיע מהתפלגות פואסון, תוחלת הביקוש בזמן ההספקה יהיה ,

, ולכן :

דוגמה לחישוב מלאי ביטחון ונקודת הזמנה-

נתון ביקוש לשקיות במבה המתפלג נורמאלית עם תוחלת ביקוש של 1000 שקיות ביום וסטיית תקן של 120 שקיות ביום. חברת "שטראו-סם" מייצאת את שקיות הבמבה לסופר "ביג-רמי", זמן התובלה של השקיות אל הסופר הינו 20 יום. קיימת דרישה לרמת שירות של 95%.

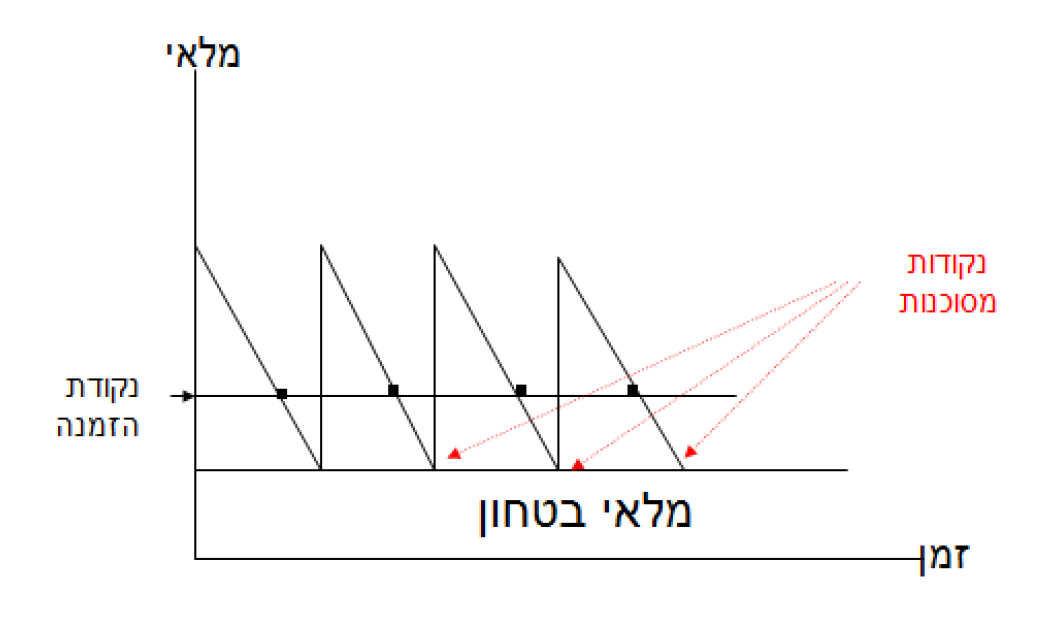
מה הוא מלאי הבטחון של שיקיות הבמבה שעל "שטראו-סם" לשמר, ומהיא נקודת ההזמנה הרצויה?

נתונים= , LT=20 days, service Level = 95%.

*כלומר, מצאנו שיש לבצעה הזמנה כאשר רמת המלאי מגיעה ל 20,888 יחידות, כדי לשמר רמת שירות של 95%.*

חישוב עלות ניהול המלאי:

לאחר שהבנו את החשיבות לשימוש במלאי בטחון ונקודת הזמנה, נראה את החישוב של עלויות ניהול המלאי, לדוגמה עם מודל 1. אך הפעם המודל מניח שהחוסר מותר ברמת שירות שהוגדרה. המודל ייקח בחשבון שפונקציית עלות המדיניות תלויה בגודל מנה, במחיר הזמנת המוצרים ועלות אחסון המוצרים במחסן. בנוסף, המודל מתאים עבור מוצרים הנרכשים בלבד ואיננו מתחשב בקצב יצור המוצר.



כדי למצוא את הכמות האופטימלית לרכישה המתאימה למודל זה, בדומה למודלים הקודמים נגזור את המשואה, נשווה ל 0 ונבודד את Q. כך נמצא את משוואת Q שתמזער את פונקציית עלות ניהול המלאי :

בהמשך לדוגמה הקודמת, דוגמה לחישוב מלאי ביטחון ונקודת הזמנה, נמשיך ונחשב את עלות מדיניות ניהול המלאי ואת גודל המנה האידאלית:

בנוסף לנתונים הקודמים, נודע לנו כי עלות אחזקת שקית במבה במחסן לשנה עולה 15, עלות ביצוע הזמנה הינה 1000:

, LT=20 days, service Level = 95%, ,

*per year*

כלומר, מצאנו שגודל מנה אידאלית יהיה 6,976 יחידות, אותם נזמין כ פעמים בשנה כאשר נשמור מלאי בטחון של 888 יחידות. עלויות ניהול המלאי עבור תוכנית זו יהיו 117,962.2477 ₪ בשנה.

**מודל EOQ סטוכטי עם זמן אספקה סטוכסטי:**

יתרה מכך, ניתן להמשיך ולהרחיב את המודל כך שיתחשב בזמן אספקה סטוכסטי. במציאות זמן הספקת המוצרים אינו קבוע, ותלוי בפרמטרים כמו לוגיסטיקה של תובלה ועוד.

חישוב נקודת הזמנה ע״פ שונות הביקוש והאספקה:

,

(Olsen, 2020)

# **3. תכנון הפרויקט**

## **1.3 תיאור המצב הקיים**

## **2.3 הגדרת המודל התיאורטי והשערות המחקר**

## **3.3 עיצוב המערכת**

## **4.3 הערכות לקראת המשך הפרויקט**

# **4. יישום הפרויקט ותוצאותיו**

## **1.4 סטטיסטיקה תיאורית**

## **2.4 הסקה סטטיסטית**

## **3.4 תיאור מהלך העבודה והיישום**

## **4.4 בדיקת איכות ומבחני הקבלה**

## **5.4 הטעמת התוצר הסופי**

## **6.4 מסקנות ולקחים**

## **7.4 משמעויות המחקר וממצאיו**

## **8.4 ניתוח תוצאות המחקר**

## **9.4 בדיקת תאימות הממצאים לידע בסקר הספרות**

# **5. סיכום**

## **1.5 סיכום הישגי הפרויקט ותוצריו**

## **2.5 תובנות מרכזיות והפקת לקחים**

## **3.5 המלצות להמשך המחקר והפיתוח**

## **4.5 סיכום בנימה אישית**

# **רשימת מקורות**

# Bibliography

Dieter, B., & Bach, M. F. (2012). *Inventory control: models and methods Vol.388.* Springer Science & Business Media.

Haolan Liao, L. L. (2020, 4 30). *Environmental sustainability EOQ model for closed-loop supply chain under market uncertainty: A case study of printer remanufacturing*. Retrieved from Computers & Industrial Engineering: https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S036083522030259X?token=7A972F3761508CD49614E2563E2FBE701BDEB6578ECDDF7518F89AD846C7D79DC2A8F07BD675038F6A76EF302357C694&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220418173821

Khan, M., Jaber, M., Guiffrida, A., & Zolfaghari, S. (2011, 3 21). *A review of the extensions of a modified EOQ model for imperfect quality items*. Retrieved from International Journal of Production Economics: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527311001307?casa\_token=rx5YYf7T\_FUAAAAA%3AlwFXYrRSlV31BCSjswmETZ9usVguN0lluKoI8lbQ\_k9GdDpaLKCT-F4Lj2GgshVhi5iR0MX66g

Liberatore, M., Robinson, L., & He, X. (1979, 4 1). *Technical note-the EOQ model under Stochastic lead time*. Retrieved from Operations Research: https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.27.2.391

Olsen, S. N. (2020). Production and Operation Analysis, Eighth Edition,. WaveLand Press, inc.

Sana, S. S., & Chaudhuri, K. (2011, 6 13). *A deterministic EOQ model with delays in payments and price-discount offers*. Retrieved from European Journal of Operational Research: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037722170601160X?casa\_token=tyNiMw2cKaYAAAAA%3AVfenuAF9BkKWWV9tyYUodycv3Mwq8qs5vvkKvtEA1hgxPSyIaKUiGPGp7gUr\_m\_qMnq1isBCzQ

*The stochastic EOQ model with random sales price*. (2011, 6 21). Retrieved from Applied Mathematics and Computation: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300311006709?casa\_token=QfKn6pXd6UYAAAAA%3A1EqMmLkoTa9TW0yztfc1Vl7GU5C\_gaMulFOKPd9OhroNlT2EJftKj5xcRAqJSwj751UCd5AUvA

# **נספחים**