

הנדסת תעשייה וניהול - פרויקט גמר ק - 221

הגדרת רמות מלאי עבור מערכת מבצעית מול

מתארי כוננות ומרחבי פריסה שונים

מצגת מס' 2



הארגון

ח"א מפעיל מערכות מבצעיות קריטיות ואסטרטגיות למדינת ישראל.

המערך הטכני בח"א נדרש:

1. לשמור על זמינות מבצעית גבוהה עבור חלקי החילוף שברשותו
2. לשמור על רמת מלאי מספקת
3. לנהל את מלאי חלקי החילוף בחיל בצורה כזו שתתאים למתארי הפריסה השונים של אמצעי לחימה בהתאם למדרגות הכוננות

מול המלאי הקיים מתבצע תהליך לוגיסטי חישובי המגדיר עבור כמה ימי לחימה יספיק המלאי הקיים ברשות החיל.



מצב קיים

תכנון רמות המלאי מבוצע ע"י מערכות מידע לוגיסטיות שקיימות במערכת החיילית המתאימות ברובן למערך הטס.

אי וודאות $\times A \times B \times$ צריכה חזויה שנתית של הפריט = כמה חלפים נדרש לכל הלחימה

A - משקף את היקף פעילות המערך בלחימה ביחס לרגיעה
 $A = \frac{\text{שעות טיסה בלחימה}}{\text{שעות טיסה ברגיעה}}$

B - משקף את יחס הצריכות בין לחימה לרגיעה
 $B = \frac{\text{צריכות שעות טיסה בלחימה}}{\text{צריכות שעות טיסה ברגיעה}}$

* עבור מערכות דינמיות עפ"י החישוב הנוכחי $B = 1$

אי ודאות - מקדם פיצוי עבור סטיית תקן להתפלגות פואסונית



המערכות הדינמיות בחיל משנות את מיקומן
בהתאם למצב כוננות כזה או אחר, לעיתים
בצורה קיצונית (מצפון לדרום). תכנון זה גורר
זנב לוגיסטי ארוך.



תיאור הבעיה

1. הזמינות המבצעית הנדרשת היא 96% עבור 21 ימי לחימה
2. מלאי החלפים מצומצם עקב עלויות גבוהות של חלקי החילוף או שישנו יותר אמל"ח מבצעי מחלקי חילוף שייספיקו במידה ותתרחש תקלה
3. הנוסחה לחישוב כמות חלקי חילוף אינה מושפעת באופן אוטומטי משינוי פריסת המערכות

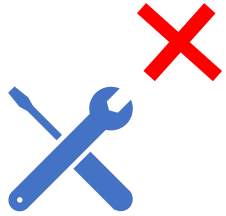
מופעי מ"ש (2,1) בשנה	מלאי חילי	צריכה שנתית ממוצעת	מק"ט
14	19	25.5	119
	1	9.7	192
	2	7.1	266

נתוני צריכה ח"א 2020

סה"כ ספקים	כמות ספקים בכל מערכת	כמות משפחות	משפחות
108	18	6	Big
36	9	4	Small

תיאור המערכת

מטרות הפרויקט



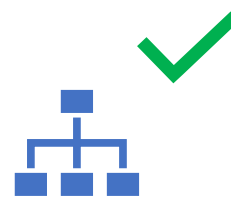
יישום מערכת לניהול ופיזור המלאי למיקסום מספר ימי הלחימה תוך התחשבות במדרגות הכוננות, פריסה גאוגרפית ועוד



הצגת התייעלות כלכלית או דרישה תקציבית לעיבוי רמות המלאי



המלצות על רמות מלאי נדרשות עבור מדרגות הלחימה השונות



המלצות על שינוי תהליכי נדרש על-מנת לעמוד בשרשרת האספקה



התאמת רמות המלאי בכ-95% מהזמן למדרגות הלחימה הקיימות בארגון כדי שהמלאי יספיק ל-21 ימי לחימה



ניתוח כמות ימי הלחימה בהתאם למלאי הקיים ברשות החיל



מתודולוגיה

בחינה וסקירה אקדמית
של התפתחות
הלוגיסטיקה וניהול רמות
המלאי בעולם בכלל
ובצה"ל בפרט

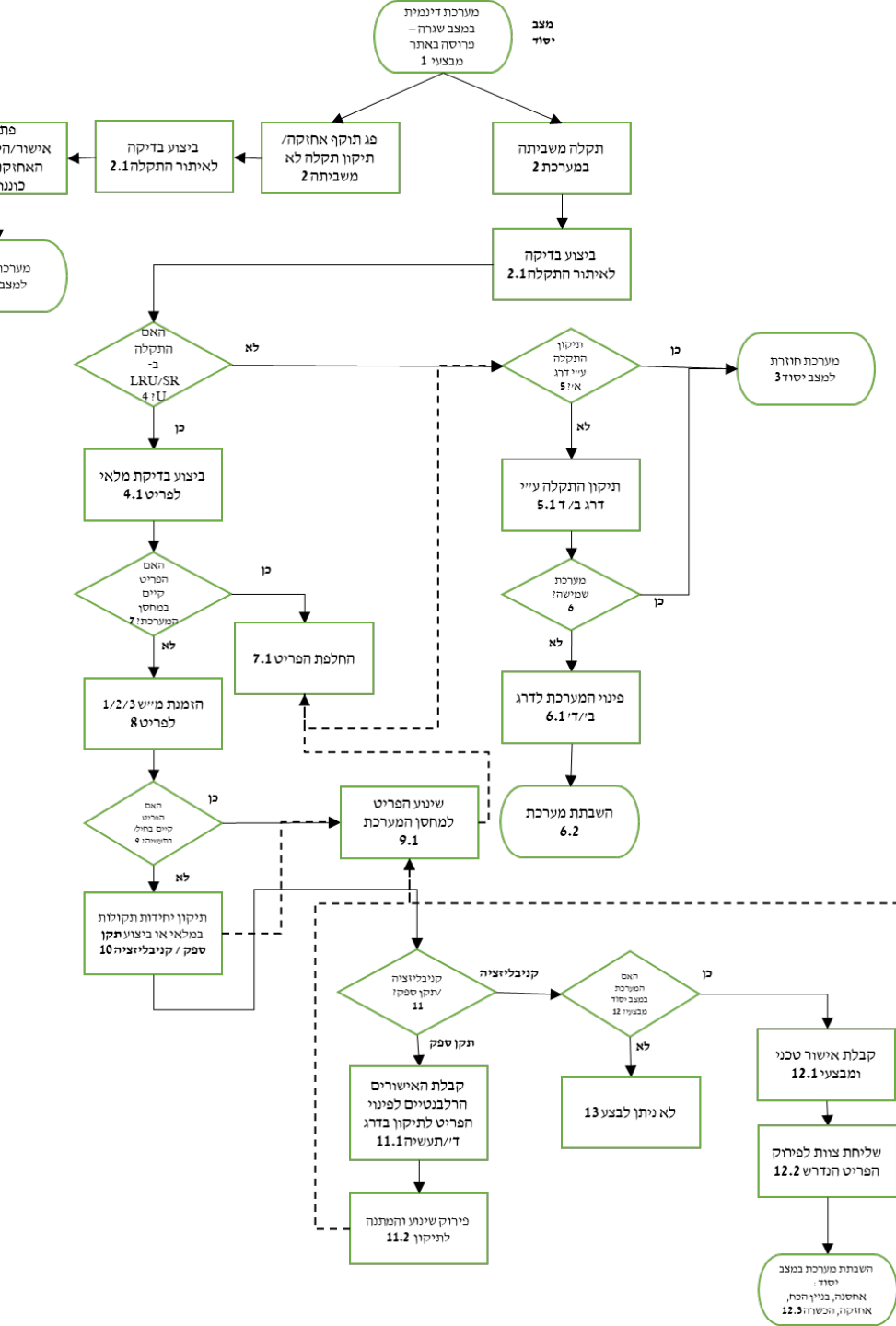
איסוף נתונים גולמיים
מדרגי האחזקה השונים
בחיל ובניית מערכת
תורים המבוססת על
המידע שנאסף

הערכה של התפלגות
זמני השירות

עריכת סימולציה
בתוכנת ARENA
לבחינת המתארים
השונים

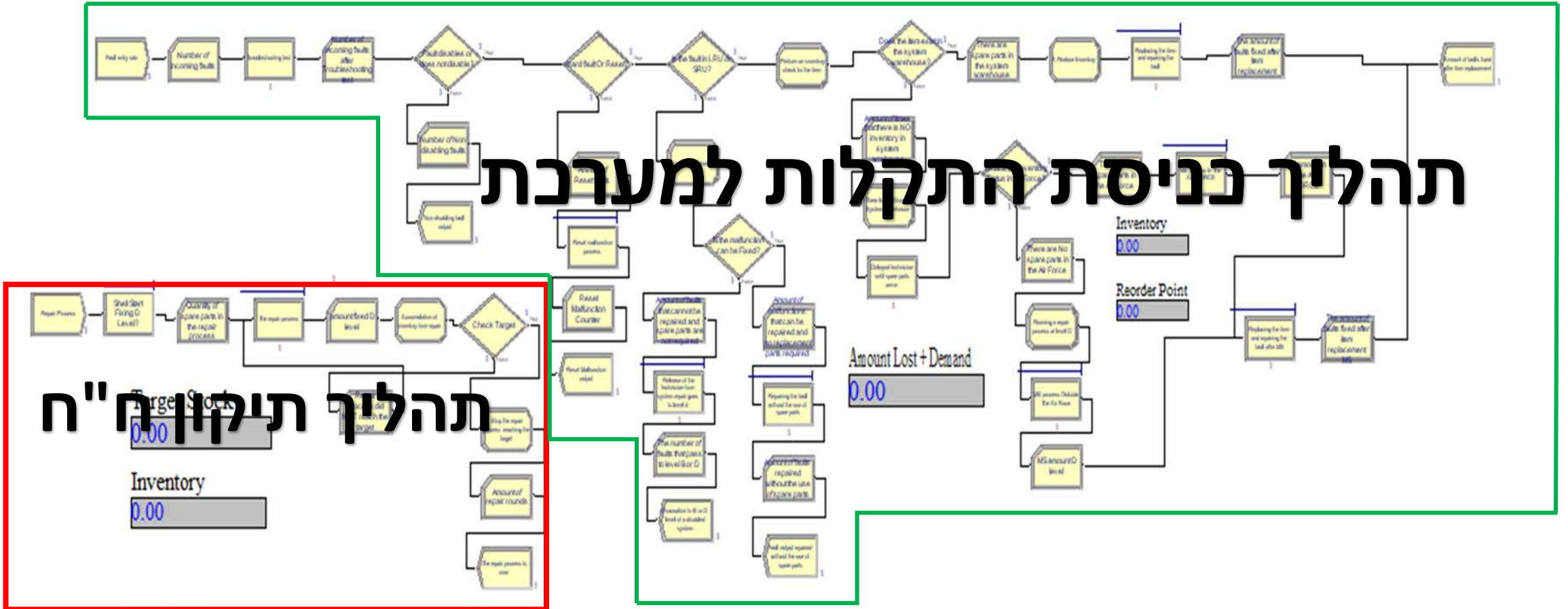
ממצאים – מצב קיים

תהליך שגרה/חירום



מידול התהליך ב- ARENA

תהליך בניסת התקלות למערכת



תהליך התאמת התפלגויות

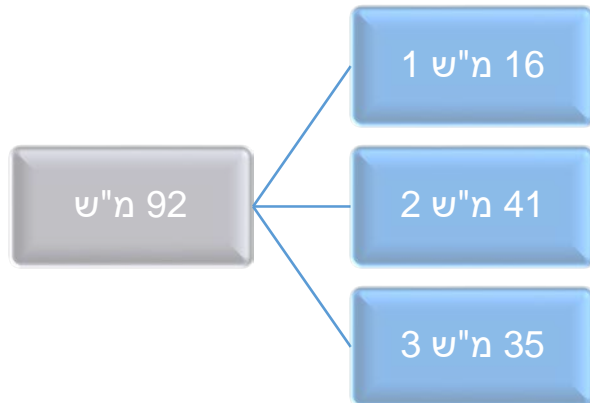
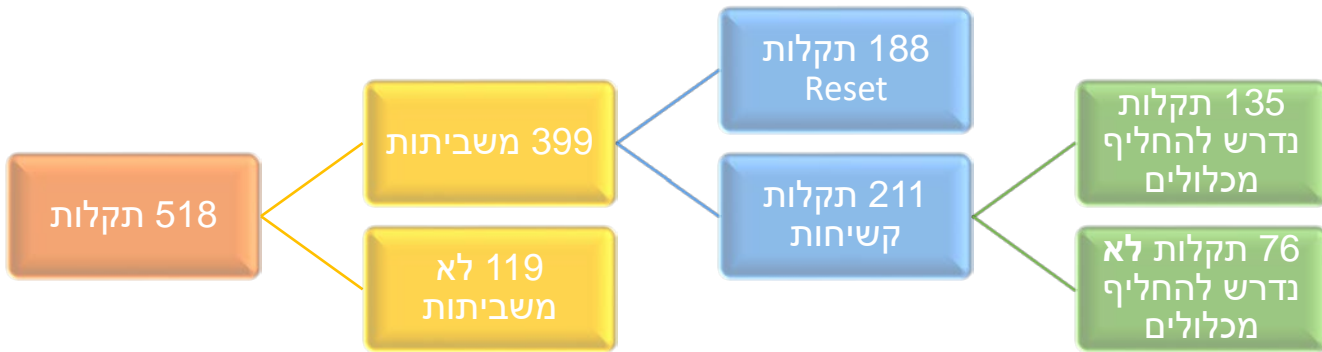
מחיל האויר התקבלו שני קבצי נתונים:

1. ריכוז תקלות במשך שנה המכיל 518 תקלות

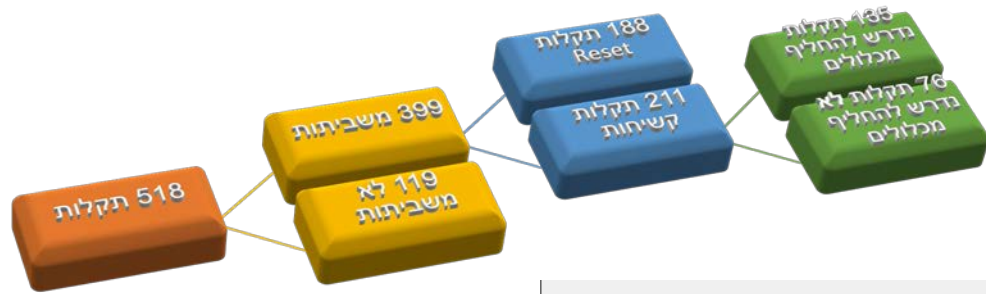
2. זמני הספקות עבור 92 מ"ש בשנה האחרונה

הקושי המשמעותי הוא אי מהימנות הנתונים ואי מדידה

של זמני שינוע ומשך תיקון תקלה באופן מפורק



התפלגות התקלות - 1



Fit All Summary

Data File: C:\Users\Shay\

Function	Sq Error
Weibull	0.000119
Exponential	0.000685
Erlang	0.000685
Beta	0.0692
Gamma	0.25
Normal	0.426
Lognormal	0.453
Triangular	0.858
Uniform	0.893

```
Distribution Summary
Distribution: Weibull
Expression: -0.001 + WEIB(74.3, 0.382)
Square Error: 0.000119

Chi Square Test
Number of intervals = 1
Degrees of freedom = -2
Test Statistic | = 0.0289
Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.166
Corresponding p-value < 0.01

Data Summary
Number of Data Points = 399
Min Data Value = 0
Max Data Value = 5.18e+004
Sample Mean = 485
Sample Std Dev = 2.95e+003

Histogram Summary
Histogram Range = -0.001 to 5.18e+004
Number of Intervals = 19
```

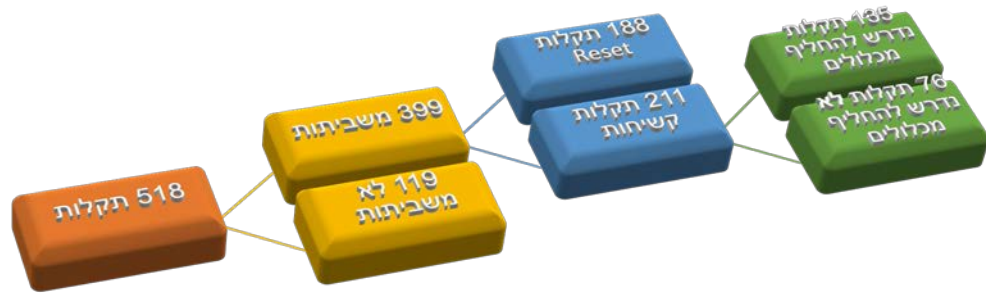
תקלות לא משביות הוגדרו במודל כתקלות שאינן משפיעות על זמינות המערכת, ולכן לא נדרשה התאמת התפלגות עבורן משום שמרגע התרחשותן הן מטופלות באמצעות "אישור" או "היתר" בספר המערכת.

עבור 399 תקלות משביות הותאמה התפלגות

Chi Square Test במבחן $p\text{-value} < 0.005$

ולכן דוחים את השערת האפס והתוצאה לא מובהקת באוכלוסייה.

התפלגות התקלות - 2



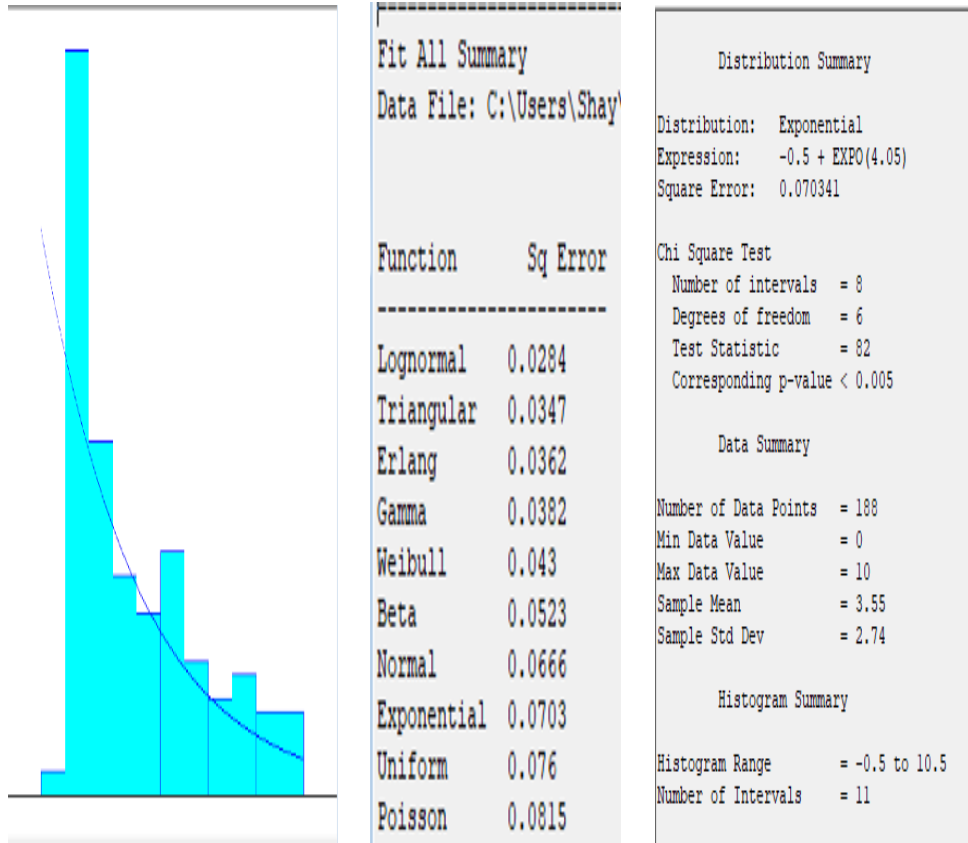
בוצע פילוג נוסף בין תקלות **Reset** (188 תקלות מתוך 399 תקלות משביות) שהן אמנם תקלות משביות, אך קצרות יחסית (עד 10 דקות) לבין תקלות משביות מעל 10 דקות.

הותאמה התפלגות $\text{Expo}(4.05)$

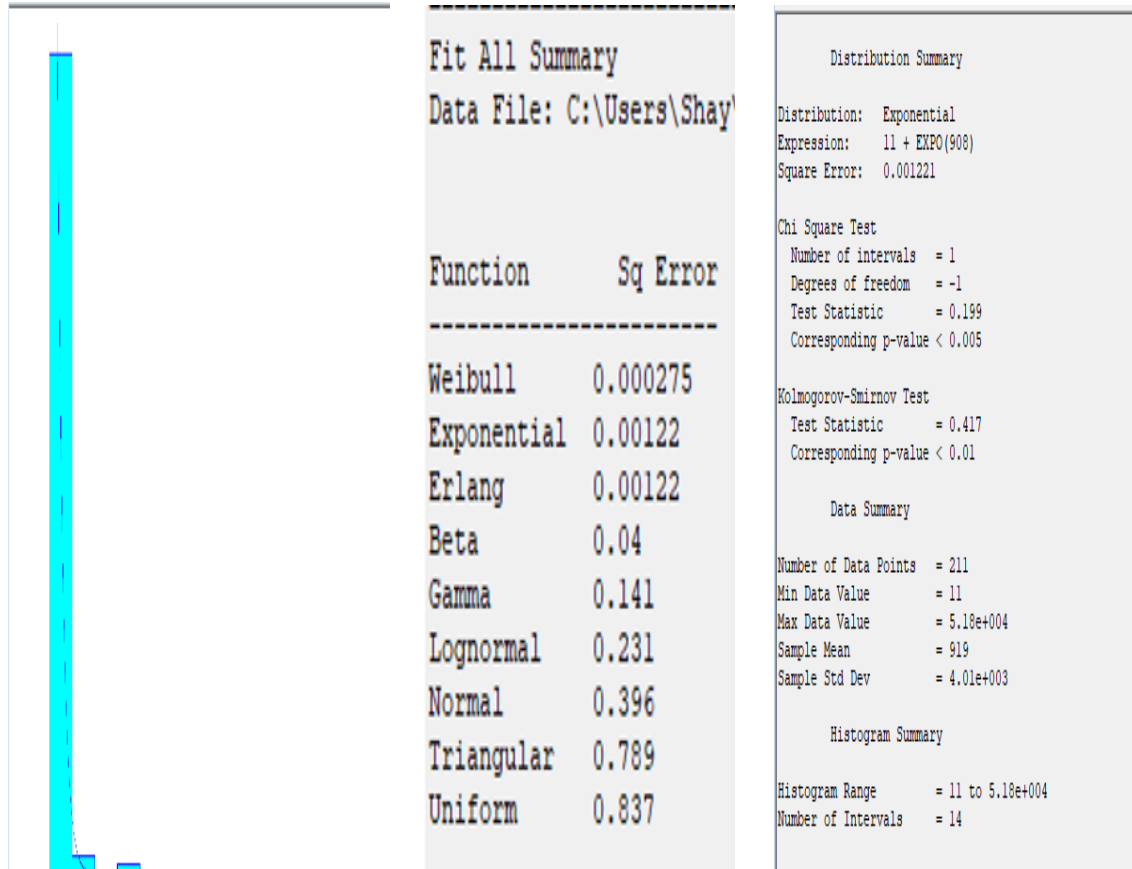
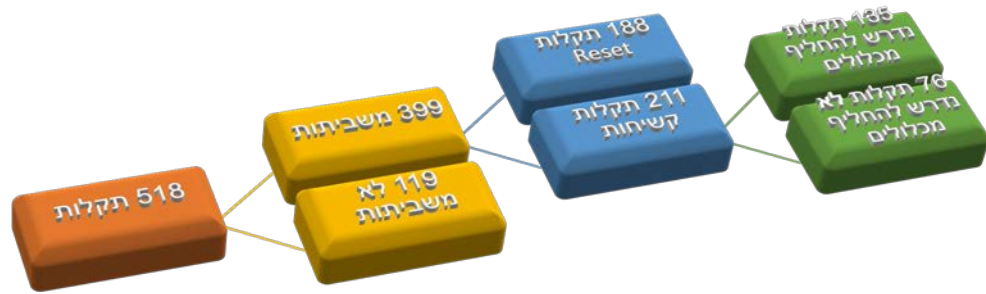
Chi Square Test במבחן $p\text{-value} < 0.005$

ולכן **דוחים** את השערת האפס והתוצאה לא מובהקת באוכלוסייה.

נבחר בהתפלגות זו, משום שמדובר בהתפלגות חסרת זיכרון שמתאימה לקצב תקלות שאינו מתוכנן או מדויק (בלתי תלוי), וניתן לומר שהתוצאה זהה מול יתר ההתפלגויות הקיימות בתוכנה.



התפלגות התקלות - 3

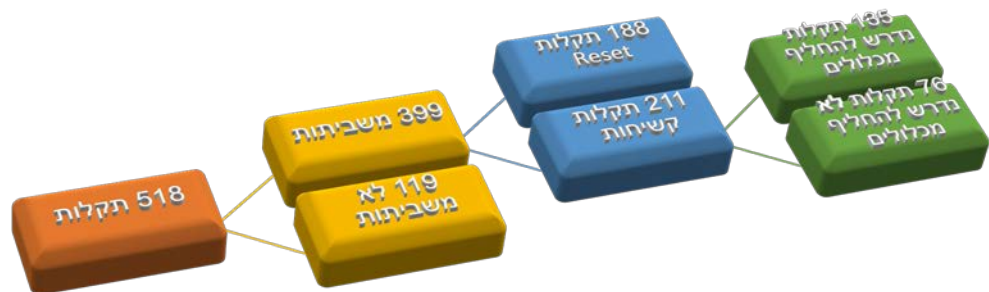


עבור תקלות משביות קשיחות (211 תקלות מתוך 399 המהוות 52.8%) הותאמה התפלגות Expo (908)

Chi Square Test במבחן p-value < 0.005

ולכן **דוחים** את השערת האפס והתוצאה לא מובהקת באוכלוסייה.

התפלגות התקלות - 4



בוצע פילוג נוסף של התקלות הקשיחות שבהן נדרשו

להחליף מכלולים (135 תקלות מתוך 211 המהוות

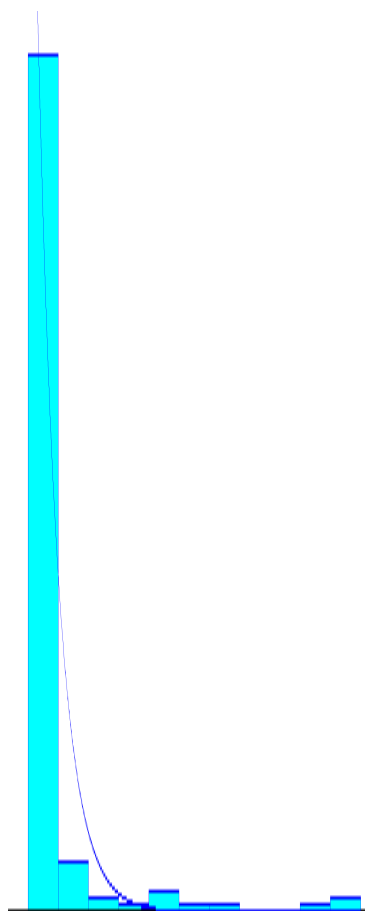
63.96% לבין כאלו שלא.

הותאמה התפלגות Expo (890)

Chi Square Test במבחן $p\text{-value} < 0.005$

ולכן דוחים את השערת האפס והתוצאה לא מובהקת

באוכלוסייה.



Fit All Summary
Data File: C:\Users\Shay\

Function	Sq Error
Weibull	0.00216
Beta	0.0124
Exponential	0.0288
Erlang	0.0288
Lognormal	0.0877
Gamma	0.113
Normal	0.463
Triangular	0.608
Uniform	0.664

Distribution Summary

Distribution: Exponential
Expression: $11 + \text{EXPO}(890)$
Square Error: 0.028818

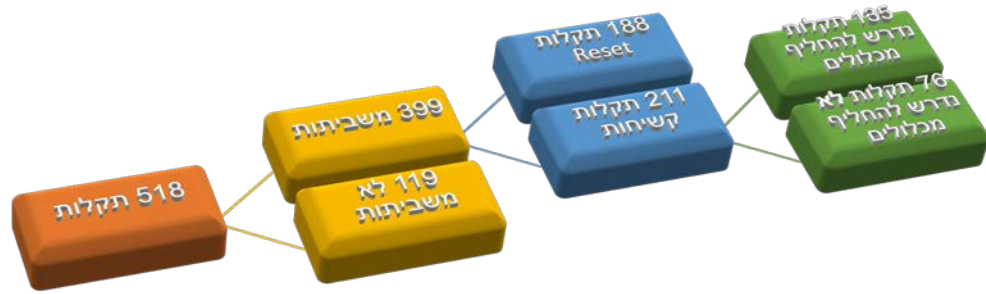
Chi Square Test
Number of intervals = 2
Degrees of freedom = 0
Test Statistic = 20.4
Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.393
Corresponding p-value < 0.01

Data Summary
Number of Data Points = 135
Min Data Value = 11
Max Data Value = $1.41e+004$
Sample Mean = 901
Sample Std Dev = $2.34e+003$

Histogram Summary
Histogram Range = 11 to $1.41e+004$
Number of Intervals = 11

התפלגות התקלות - 5



עבור תקלות קשיחות שבהן לא נדרשו להחליף

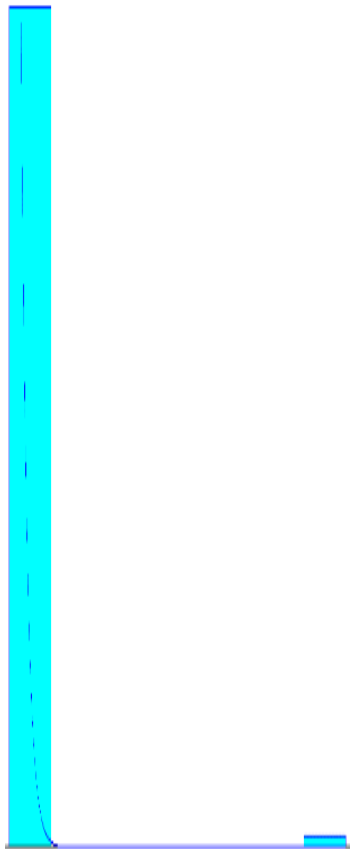
מכלולים (76 תקלות מתוך 211) הותאמה התפלגות

Expo (939)

Chi Square Test במבחן $p\text{-value} < 0.005$

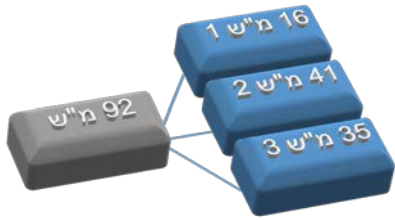
ולכן דוחים את השערת האפס והתוצאה לא מובהקת

באוכלוסייה.



Fit All Summary	
Data File: C:\Users\Shay\	
Function	Sq Error
Weibull	0.000246
Exponential	0.000322
Erlang	0.000322
Beta	0.0219
Gamma	0.211
Normal	0.38
Lognormal	0.385
Triangular	0.772
Uniform	0.849

Distribution Summary	
Distribution:	Exponential
Expression:	11 + EXPO(939)
Square Error:	0.000322
Chi Square Test	
Number of intervals	= 1
Degrees of freedom	= -1
Test Statistic	= 0.0112
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.467
Corresponding p-value	< 0.01
Data Summary	
Number of Data Points	= 76
Min Data Value	= 11
Max Data Value	= 5.18e+004
Sample Mean	= 950
Sample Std Dev	= 5.93e+003
Histogram Summary	
Histogram Range	= 11 to 5.18e+004
Number of Intervals	= 8



התפלגות מ"ש

3 ש"מ	2 ש"מ	1 ש"מ
<pre> Distribution Summary Distribution: Exponential Expression: -0.001 + EXPO(10.5) Square Error: 0.001137 Chi Square Test Number of intervals = 1 Degrees of freedom = -1 Test Statistic = 0.00379 Corresponding p-value < 0.005 Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.198 Corresponding p-value = 0.114 Data Summary Number of Data Points = 35 Min Data Value = 0 Max Data Value = 106 Sample Mean = 10.5 Sample Std Dev = 19.1 Histogram Summary Histogram Range = -0.001 to 106 Number of Intervals = 5 </pre>	<pre> Distribution Summary Distribution: Exponential Expression: -0.001 + EXPO(3.34) Square Error: 0.027766 Chi Square Test Number of intervals = 4 Degrees of freedom = 2 Test Statistic = 5.89 Corresponding p-value = 0.0538 Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.234 Corresponding p-value = 0.0196 Data Summary Number of Data Points = 41 Min Data Value = 0 Max Data Value = 13 Sample Mean = 3.34 Sample Std Dev = 3.4 Histogram Summary Histogram Range = -0.001 to 13 Number of Intervals = 6 </pre>	<pre> Distribution Summary Distribution: Exponential Expression: -0.001 + EXPO(4.44) Square Error: 0.008461 Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.137 Corresponding p-value > 0.15 Data Summary Number of Data Points = 16 Min Data Value = 0 Max Data Value = 14 Sample Mean = 4.44 Sample Std Dev = 4.44 Histogram Summary Histogram Range = -0.001 to 14 Number of Intervals = 5 </pre>
<p>דוחים את השערת האפס, התוצאה אינה מובהקת באוכלוסייה</p>	<p>מדובר בערך גבולי, ולכן הנטייה היא לדחות את השערת האפס, התוצאה אינה מובהקת באוכלוסייה.</p>	<p>מקבלים את השערת האפס, התוצאה מובהקת באוכלוסייה</p>

כלל המ"ש אוחדו להתפלגות דיסקרטית עפ"י יחס כמות המ"ש לסך כל המ"ש.

DISC (0.1739, Expo (4.44), 0.6195, Expo (3.34), 1.0, Expo (10.5))

התפלגות זו הותאמה עבור מתן עדיפויות שונות למ"ש ע"פ ההתפלגויות הספציפיות שהותאמו.

התפלגות קצב כניסת תקלות

שגרה	State	Number of units	Work cycle	Contribution	Malfunctions contributed per hour	Malfunctioned per hour per unit (Expo)
	מבצעי	5	6095	30475	435.7777778	87.15555556
	אחזקה	1	180	180	2.573913043	2.573913043
	בניין כח	1	2785	2785	39.82415459	39.82415459
	הדרכה	1	2785	2785	39.82415459	39.82415459
				36225	518	

קצב כניסת התקלות חושב עפ"י יחסים בין כמות התקלות לבין אופי הפעילות בשעות כפי שהתקבל מח"א.

הותאמה עבור התפלגות Expo משום שניתן להניח שהתקלות בלתי תלויות.

חירום	State	Number of units	Work cycle	Contribution	Malfunctions contributed per hour	Malfunctioned per hour per unit (Expo)
	מבצעי	10	6095	60950	518	51.8
				60950	518	

תוצאות

הסימולציה הורצה בתוכנת ARENA עבור מצב קיים בשלושה אופנים:

1. מצב שגרה - נבדק עבור 365 ימים במשך 10 רפלקציות
2. מצב חירום - מבצע קצר בן 10 ימים - נבדק עבור 10 ימים במשך 100 רפלקציות
3. מצב חירום- מבצע ארוך בן 50 ימים - נבדק עבור 50 ימים במשך 100 רפלקציות

לאחר הרצת המצב הקיים הוצבו הנתונים ב- Process Analyzer ע"מ לבצע שילובים שונים של כלל המשתנים בכדי להגיע לנקודת עבודה מתאימה.



תוצאות – מצב שגרה

Number of replications	Reorder point	Target stock	Batch size	Inventory	Entity 1 number out	Entity 2 number out	System number out	MS amount D level	The amount of faults fixed after item replacement	The amount of faults fixed after item replacement MS
10	0	0	0	22	105.7	21.5	127.2	14	12	15
10	20	7	1	22	108.1	6.5	114.6	4	24	4
10	21	7	1	22	108.1	6.5	114.6	4	24	4
10	20	8	1	22	104.1	6.4	110.5	3	25	3
10	21	8	1	22	104.1	6.4	110.5	3	25	3
10	20	9	4	22	106.4	6.1	112.5	2	25	2
10	20	9	3	22	109.8	7.1	116.9	2	25	2
10	21	9	3	25	108.8	6.4	115.2	3	26	3
10	21	9	2	25	105.1	6.5	111.6	3	25	3
10	21	6	1	30	103.7	6.3	110	3	24	3
10	29	6	1	30	103.7	6.3	110	3	24	3
10	21	6	1	30	103.7	6.3	110	3	24	3
10	29	8	1	30	101.9	4.7	106.6	2	24	2
10	29	9	1	30	102.2	4.9	107.1	2	25	2
10	29	9	2	30	103.2	6	109.2	2	26	2
10	21	9	1	35	104.1	3.7	107.8	2	26	2
10	34	9	1	35	104.1	3.7	107.8	2	26	2
10	39	8	1	40	106.7	2.8	109.5	2	26	2
10	44	35	2	45	105.7	0.8	106.5	1	27	1
10	49	35	1	50	104.8	0	104.8	1	26	1
10	49	35	2	50	105	0.5	105.5	1	27	1
10	54	45	1	55	106.9	0	106.9	1	27	1
10	20	10	1	55	106.9	0.1	107	1	27	1
10	55	50	1	56	106.8	0	106.8	1	27	1
10	54	45	1	56	106.8	0	106.8	1	27	1
10	21	19	1	57	106.4	0	106.4	1	27	1
10	40	20	2	60	106.8	0	106.8	0	27	0
10	40	20	1	60	106.8	0	106.8	0	27	0

במצב הנוכחי עם מלאי של 22 יחידות בחיל, וללא הגדרת קווים אדומים ברורים כמות המ"ש עומדת על 15 יחידות בשנה.

משמעות הדבר היא שכ-15 פעמים היה חסר במלאי היחידה פריט עבור תיקון תקלה, דבר שגרר השבתה ארוכה וירידה מזמינות מבצעית.

כאשר מוגדרים קווים אדומים, ניתן לראות שכמות המ"ש יורדת משמעותית. כמובן, שככול שמעלים את רמת המלאי, כמות המ"ש פוחתת, ובמלאי של כ-60 יחידות כמות המ"ש מתאפסת

תוצאות – מצב חירום – מבצע קצר

Number of replications	Reorder point	Target stock	Batch size	Inventory	Entity 1 number out	Entity 2 number out	System number out	MS amount D level	The amount of faults fixed after item replacement	The amount of faults fixed after item replacement MS
100	0	0	0	22	5.83	0	5.83	0	1	0
100	21	9	1	22	5.83	0	5.83	0	1	0
100	18	9	1	22	5.83	0	5.83	0	1	0
100	21	8	1	22	5.83	0	5.83	0	1	0
100	20	8	1	22	5.83	0	5.83	0	1	0
100	9	8	1	10	5.83	0	5.83	0	1	0

רמת המלאי הקיימת היום בח"א מספקת

עבור מבצע בסדר גודל שכזה.

כמו-כן, ניתן לראות שגם במקרה בו

המלאי מופחת מסיבה כלשהי לכמות

קטנה יותר, עדיין ניתן לעמוד בזמינות

גבוהה.

תוצאות – מצב חירום – מבצע ארוך

Number of replications	Reorder point	Target stock	Batch size	Inventory	Entity 1 number out	Entity 2 number out	System number out	MS amount D level	The amount of faults fixed after item replacement	The amount of faults fixed after item replacement MS
100	0	0	0	22	24.53	0	24.53	0	6	0
100	21	9	1	22	24.54	0	24.54	0	6	0
100	20	9	1	22	24.54	0	24.54	0	6	0
100	19	9	1	22	24.54	0	24.54	0	6	0
100	18	9	1	22	24.54	0	24.54	0	6	0
100	21	8	1	22	24.54	0	24.54	0	6	0
100	20	8	1	22	24.54	0	24.54	0	6	0
100	19	8	1	22	24.54	0	24.54	0	6	0
100	5	8	1	14	24.51	0	24.51	0	6	0
100	5	8	1	13	24.51	0	24.51	1	5	1

במבצע בסדר גודל שכזה ישנה זמינות מלאה לחלפים, אך יחד עם זאת ניתן לראות את הגבול התחתון ממנו כבר ניתן לחזות השבתות צפויות.

מסקנות

- ניהול נכון של המלאי התקול מאפשר עמידה בזמינות חלפים גבוהה וכמות מ"ש נמוכה באופן יחסי.
- הרעיון מאחורי ניהול מלאי נכון, הוא לאפשר זמינות גבוהה של ח"ח על המדף על מנת שזמן התיקון יהיה נקי מזמני המתנה עבור חלפים
- ניתן להציע מדרגות רכש חלפים ע"מ לעבות את המלאי, וגם בדרך זו להעלות את זמינות החלפים על המדף

ספק כח	כמות מ"ש צפויה בשנה	כמות יחידות סה"כ	תוספת למלאי	עלות יחידה	סה"כ
מלאי נוכחי	3	22	-		-
מדרגה 1	2	35	13	205 אש"ח	2.665 מש"ח
מדרגה 2	1	45	10		2.05 מש"ח
מדרגה 3	0	60	15		3.075 מש"ח
				סה"כ	7.79 מש"ח



מסקנות – קווים אדומים

- הגדרת קווים אדומים בניהול המלאי חשובה עבור יצירת מעגל מסודר של פינוי ח"ח תקולים בזמנים סדורים עבור תיקונים וחזרתם שמישים למדף. במסגרת העבודה, הוצגו מצבי שגרה וחירום במתארים שונים שעבורם ניתן ליצור קווים אדומים שונים כדי לעמוד ביעדי הזמינות המבצעית (96%)
- ההחלטה בדבר הגדרת הקווים האדומים נתונה בידי ההנהלה במטה ח"א, וכפי שמוצג הגדרת קווים אדומים היא תורמת משמעותית לרמת הזמינות המבצעית
- שמעבר להגדרת הקווים האדומים, ישנו תהליך לוגיסטי של שינוע בין היחידות השונות ע"מ לוודא שמלאי תקול לא נשאר במחסני המערכת ללא פינוי לתיקון. לטובת שיפור התהליך ניתן לפעול באחת או יותר מהדרכים הבאות:
 - זמן מוגדר לפינוי מלאי תקול מהיחידות בקצב שיתאים לרמת המלאי הקיימת
 - פינוי המלאי התקול ישירות ליחידה המתקנת במקום שינוע למחסן ביניים כפי שקורה כיום
 - קליטת יכולת תיקון בח"א ע"מ לצמצם זמני המתנה לתיקון מחוץ לחיל ברמת דרג ב'/'ד' עבור פריטים שמתוקנים בתעשייה
 - הסדרה חוזית של תהליך התיקון מחוץ לחיל והעמדת תקציב רלוונטי מול דרישה



קשיים ופתרונם

- מגבלת ARENA - הקשה על בניית סימולציה מלאה
- כמות הדגימות נמוכה יחסית בחלק מהתהליכים

ערך מוסף של התוצאות

- הבנת משמעות המלאי הקיים כיום ברשות ח"א
- הגדרת קווים אדומים מול המלאי קיים



יתרונות

- הסימולציה ניתנת לשינוי עבור מצבי יסוד, כמות מערכות וח"ח שונים
- שחיטה במלאי באמצעות קווים אדומים

חסרונות

- העבודה לא מציגה התייחסות לפריסה גאוגרפית ואופן פיזור המלאי – זמני נסיעה לא נמדדים
- דיוק ההתפלגויות



המלצות להמשך

1. אפיון כלי לאיסוף הנתונים בתורה מהימנה ע"מ לדייק את ההתפלגויות שהותאמו למודל
2. איחוד הסימולציה המפורקת לסימולציה אחידה המדמה את כלל התהליך עבור מצבי יסוד נוספים, על מנת ליישם מערכת לניהול ופיזור המלאי למיקסום מספר ימי הלחימה תוך התחשבות במדרגות הכוננות ופריסה גאוגרפית
3. התאמת הסימולציה לח"ח נוספים/ מצבי יסוד:
את נתוני הסימולציה ניתן בקלות לשנות עבור התאמה לח"ח אחרים הקיימים בחיל ע"י שינוי מספר פרמטרים:
 - הגדרת כמות הישויות הנכנסות למערכת
 - הגדרת המלאי ראשונית בהתאם לכמות המערכות
 - הגדרת קו אדום שמתחתיו נדרש לתקן/לרכוש ח"ח



שאלות?

Thank
you

