



הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
הפקולטה להנדסה תעשייה וניהול

פרויקט גמר בהנדסת תעשייה:
מערכת תומכת החלטה בניהול אירוע רב
נפגעים (חל"כ)

מנחים אקדמיים: פרופ' אבישי מנדלבאום
ד"ר שגב וסרקרוג

מנחה תעשייתית: ד"ר שלמה ישראלית – מנהל המחלקה לרפואה דחופה, רמב"ם

מרכזי הקורס: פרופ' יששכר גלעד
מר שי כהן

צוות הפרויקט:

038748018

אביר קורן

304261506

אבי יונגלסון

306484064

יבגני סטירו

039300017

טל שבפל

תודות

ברצוננו להודות לפרופ' אבישי מנדלבאום על ההזדמנות הנדירה להשתתף בפרויקט כה מיוחד, הדורש אינטגרציה של שני תחומים הנלמדים במסלולים שונים בפקולטה. חשוב לנו, להביע את תודתנו הרבה והערכתנו לכל אלו אשר תמכו, סייעו ועזרו לנו לכל אורך הדרך.

ברצוננו להודות לשני המנחים האקדמאיים שלנו, פרופ' אבישי מנדלבאום וד"ר שגב וסרקרוג - על הנחיית הפרויקט, ההכוונה, העזרה המקצועית, השקעת הזמן והסבלנות לאורך הדרך.

ברצוננו להודות למנחה התעשייתי של הפרויקט, ד"ר שלמה ישראלית – מנהל המחלקה לרפואה דחופה (רמב"ם) - על היחס החם, האמונה בצוות, ההכוונה המקצועית והנכונות לעזור לאורך כל הפרויקט.

כמו-כן ברצוננו להודות למר יריב מרמור וגברת נועה זיכלינסקי על העזרה הרבה ושיתוף הפעולה. תודה מיוחדת לצוות מעבדת מערכות השרות בפקולטה (SEE LAB) על הנכונות והעזרה הרבה.

אנשים נוספים שסייעו לנו ועל כך אנו מודים להם:

- פרופ' מלכה גורפין אורגד
- ד"ר איציק כהן
- נציגי ביה"ח רמב"ם: מר קובי שיר מוסקוביץ' (מנהל תפעול מלר"ד רמב"ם), מר דורון בלוך (מערכות המידע ברמב"ם).
- נציגי חברת ארוסקאוט

תקציר מנהלים

אירוע רב נפגעים (אר"ן) מוגדר כמצב בו הביקוש לטיפול רפואי גדול מהיכולת לספקו, אר"ן מהווה אתגר ניהולי בזמן אמת הן מבחינת תפעול האירוע והן מבחינת התקשורת וניהול המידע. אר"ן חל"כ הינו מתאר מיוחד במהלכו חומרי לחימה כימיים צפויים לפגוע בכמות גדולה של אוכלוסיה. פגיעה כזו תיצור עומס רב על בתי החולים, ועל כן יש צורך בהערכות מתאימה ובשימוש בעקרונות טיפול מיוחדים כגון: טיהור, טריאז' וטיפול בסבבים לפי חומרה. בזמן אר"ן ביה"ח עובר למתכונת של מצב חירום - הקמת מצבת כ"א במיון, הקמת "חדר פיקוד" שינהל את האירוע ופינוי שטחים יעודיים לקבלת פצועים.

ראשית, היה עלינו ללמוד את המצב כפי שהוא היום, כיצד מתנהל אירוע רב נפגעים מסוג זה הן מבחינת שליטה והן מבחינת תקשורת ומידע. ניתוח המצב הקיים התאפשר באמצעות איסוף מידע ממומחי תוכן שונים והשתתפות בתרגיל חל"כ ארצי של פיקוד העורף. ניתוח זה חשף בעיות מהותיות לגבי המידע המתקבל בחדר הפיקוד: המידע המתקבל אינו מדויק, מגיע בעיכוב ומועבר במשיכה בכל הנוגע לסגל הרפואי. כמו כן, הערכות לגבי המשך האירוע מתקבלות על סמך כללי אצבע לא מדויקים.

בהתאם לכך מטרת הפרוייקט היתה בניית מערכת מידע התומכת בקבלת החלטות תפעוליות באירוע חל"כ - המערכת תציג מצב תפעולי של ביה"ח, הן מבחינת נפגעים והן מבחינת הצוות הרפואי, באופן אמין ובזמן אמת. כמו כן, המערכת תציג תחזיות לכמות הנפגעים בהמשך האירוע. הפתרון הנבחר לאיסוף המידע בזמן אמת היה שימוש במערכת RFID. יום לפני תרגיל החל"כ רושת חדר האוכל בבית החולים (שהוסב לחדר קשים לטובת התרגיל) במערך RFID (קולטנים ותגים) ביום התרגיל עצמו נעשה שימוש במערכת לטובת בחינת התכנות השימוש בה והמידע שנאסף הועמד לרשותנו כבסיס נתונים.

הנתונים שנאספו אינם מייצגים בהכרח מצב אמת אך היוו בסיס לניתוח עבור המודל ובניית המערכת.

בדו"ח זה נציג את:

- המצב הקיים והבעיות הקיימות.
- תהליך בחירת, בחינת, ניתוח והתאמת המודל התפעולי לתיאור הגעת הנפגעים לתרגיל, השהייה באתר הקשים ויציאתם מהאתר.
- בניית התחזית ואמידת הפרמטרים הנדרשים לבצע תחזית על כמות הנפגעים שיגיעו בטווח של שעה.
- אפיון וניתוח המערכת הנדרשת להצגת נתונים בזמן אמת אשר מבוססת על טכנולוגיית ה-RFID.
- פיתוח הלוגיקה וניקוי השגיאות של הנתונים שהתקבלו ממערך ה-RFID.

תוכן עניינים

1	רקע כללי	6
1.1	רקע על ביה"ח רמב"ם בחיפה	6
1.2	רקע על אירוע רב נפגעים	6
1.3	רקע על חומרי לחימה כימיים	7
1.4	רקע על אר"ן חל"כ	7
2	סקר ספרות	8
2.1	אירוע רב נפגעים (אר"ן)	8
2.2	אר"ן חל"כ	9
2.3	טכנולוגיית RFID	10
2.4	שילוב RFID במערכות רפואה	10
2.5	כלים העשויים לסייע בפתרון הבעיה	11
3	תיאור המצב הקיים	17
3.1	תיאור המצב הקיים	17
3.1.1	הערכות ביה"ח	17
3.1.2	קליטת החולים בבית החולים	17
3.1.3	שליטה ובקרה	19
3.2	בעיות במצב הקיים	21
3.2.1	המידע הנאסף במערכת בעת אירוע מוזן ע"י הרשמות בלבד	21
3.2.2	העברת הנתונים ממערכת הנמ"ר למערכת השליטה	21
3.2.3	העברת מידע על כח האדם למטה	21
3.2.4	במצב הקיים אין הערכה מתי אזורי הטיפול מתרוקנים או מתמלאים	22
4	מטרת הפרויקט	23
5	איסוף נתונים וממצאים	23
5.1	תרגיל חל"כ	23
5.2	נתונים ממערך ה-RFID	23
5.3	ראיונות	24
5.4	ממצאים	25
6	שיטות	27
6.1	היבט תפעולי	27
6.1.1	ניתוח נתונים	27

30	התאמת מודל תפעולי	6.1.2
44	תחזיות	6.1.3
50	היבט מערכות מידע	6.2
50	מתודולוגיות פיתוח	6.2.1
52	לוגיקה	6.2.2
53	ניקוי וטיוב הנתונים	6.2.3
55	ממשק המשתמש	6.2.4
57	פתרון	7
57	דיון ומסקנות	8
57	תרחיש	8.1
60	מבט לעתיד	8.2
61	ביבליוגרפיה	9
62	נספחים	10
62	נספח 1 – רשימת אתרי הקליטה בביה"ח ומיקומם	
63	נספח 2 – אפיון הקלט ממערך ה-RFID	
64	נספח 3 – בדיקת אקספוננציאליות עבור זב"מ	
65	נספח 4 – בדיקת אקספוננציאליות עבור משכי שהייה	
66	נספח 5 – מבנה הסימולציה	
68	נספח 6 – אנ"מ אקספוננציאלי עם תצפיות מצונזרות	
68	נספח 7 – אמד לממוצע עם תצפיות מצונזרות (ע"פ mrl)	
69	נספח 8 – אפיון ותעדוף שגיאות ממערך ה-RFID	

1 רקע כללי

ניהול אירוע רב נפגעים נתפס כקריטי בחשיבותו, והוא קודם אף לטיפול בפצועים באירוע. לאור תפיסה זו מנהל האר"ן יהיה האדם המנוסה ובעל הסמכות הרפואית הבכירה ביותר בשטח. מנהל האר"ן קובע סדרי עדיפויות של טיפול ופינוי ומקצה את המשאבים. במהלך האר"ן כוחות רפואה נוספים שמגיעים עוברים דרכו, מקבלים ממנו הוראות ומטפלים או מבצעים פינוי לפי שיקול דעתו. כמו כן, מדווח מנהל האר"ן לרמה ממונה כל העת על המצב בשטח וכל זאת לאור התפיסה כי חשיבותו של ניהול האירוע קודמת בחשיבותה לטיפול אישי בנפגעים אקראיים.

ניהול אירוע רב נפגעים דורש תמונה אמיתית ומדויקת המסייעת בראש ובראשונה באיכות קבלת ההחלטות בזמן האירוע. כמו-כן בתחקור והסקת המסקנות לאחר האירוע (למשל כאשר אין זמנים אמיתיים), וביכולת לבצע מחקר.

1.1 רקע על ביה"ח רמב"ם בחיפה

רמב"ם - הקריה הרפואית לבריאות האדם, קרויה על שמו של הרמב"ם, רבי משה בן מימון, גדול הרופאים היהודיים בעת העתיקה.

המרכז הרפואי רמב"ם נוסד בשנת 1938 והוא הגדול ביותר בצפונה של מדינת ישראל ובית החולים השלישוני (על אזורי) היחיד בו, הנותן מענה בכל תחומי הרפואה ומשלב גישה רב תחומית באבחון ובטיפול בחולה. בין מחלקות בית החולים גם מחלקות ייחודיות, שאינן נמצאות בבתי החולים השונים בצפון כמו: מרכז טראומה, נירוכירורגיה, אונקולוגיה, המטולוגיה, טיפול נמרץ ילדים ועוד. כמו כן, משמש ביה"ח כמתקן הרפואי העיקרי לפיקוד הצפון של צה"ל.

רמב"ם הינו בית חולים ממשלתי ובו 36 מחלקות אשפוז ובהן כ- 1,000 מיטות אשפוז, 45 יחידות רפואיות, 9 מכונים, 6 מעבדות ו- 30 מחלקות מנהליות ומשקיות.

מידי שנה מתאשפזים בביה"ח כ- 75,000 איש ועוד כ- 500,000 נמצאים בטיפול ובמעקב מרפאות החוץ ובמכונים.

1.2 רקע על אירוע רב נפגעים

אירוע רב נפגעים (אר"ן) מוגדר כמצב שבו הביקוש לטיפול רפואי גדול יותר מהיכולת לספק אותו. הגדרה נוספת מתייחסת לאר"ן כאירוע שבו הטיפול בפצוע מסוים עשוי להיפגע כתוצאה מכך שיש פצועים נוספים. הגורם העיקרי לאירוע עם פצועים להפוך לאר"ן, הוא מספר פצועים גבוה ביחס למספר המטפלים. גורמים נוספים הם מאפייני וסוגי הפגיעות, הכשרתו של כוח האדם, הצידוד הרפואי שבמקום ואמצעי פינוי הפצועים לקבלת המשך טיפול בבתי החולים.

הטיפול באר"ן דורש גישה ייחודית. כוחות הרפואה באר"ן פועלים להצלת חיי אדם רבים ככל האפשר, דבר שמשמעותו לפעמים היא החלטה מודעת להזניח את הטיפול בפצועים לא דחופים, בפצועים שסיכויי הצלתם דלים ובפצועים שהטיפול בהם דורש משאבים רבים מידי.

תורת הטיפול באר"ן לא הייתה מפותחת עד לשנות ה-70 וסביר להניח כי ההתפתחות בתחום, חלה במקביל להתפתחות סכמות הטיפול בנפגע בודד.

מרבית האירועים רבי הנפגעים הם תאונות אוטובוסים, אסונות טבע, מגפות ובישראל גם פיגועי טרור.

1.3 רקע על חומרי לחימה כימיים

במרוצת השנים, הלך והתפתח תחום הנשק בלתי קונבנציונאלי, ובתוך כך חומרי הלחימה הכימיים. עוד בימי קדם השתמשו צבאות באמצעים בלתי שגרתיים כמו הרעלת מקורות מים, גרימת מחלות ומגפות וכד'. במלחמת העולם הראשונה השתמשו בגז כלור כדי לשתק יכולות צבאיות ועורפיות ועם השנים השתכללו השיטות והאיום נעשה משמעותי יותר. במלחמת אירן - עיראק נעשה שימוש נרחב בחומרי לחימה לא קונבנציונאליים והנזק לאוכלוסיה היה אדיר. חומרים כימיים נועדו לפגוע בגוף האדם, בהתבסס על התכונות הפיזיולוגיות שלו. היקף פגיעתם רחב בדרך כלל. חומרת הפגיעה נמצאת ביחס ישיר לריכוז החומר הכימי אליו נחשפים ומשך זמן החשיפה. בנוסף, החומרים לרוב מאוד נדיפים, ולכן היקף הפגיעה באוכלוסיה גדול. פגיעת חל"כ מחייבת הפסקת מגע מוקדם ככל האפשר עם החומר, קרי הרחקה מהירה של הנפגע מהמקום, הפשטתו וטיהורו.

התרחיש הסביר ביותר לשימוש בחל"כ הוא שימוש בזרחנים אורגניים במתאר מלחמתי. הזרחנים האורגניים גורמים לנתק בין מערכת העצבים למערכת השרירים, הדבר עשוי לגרום לכשל נשימתי ובעקבות כך למוות. כמו כן, תיתכן פגיעה במערכת העצבים המרכזית.

1.4 רקע על אר"ן חל"כ

אירוע רב נפגעים אשר נגרם מהתפשטות חל"כ אשר בא במגע עם האוכלוסייה. באירוע מסוג זה, מעבר להתנהלות יוצאת הדופן של ביה"ח באר"ן יש להקפיד על הפרדה בין האזור שאליו נכנסים הפצועים אשר נגועים בחל"כ לבין האזור הסטרילי. כמו כן ישנם טיפולים מיוחדים אשר צריכים להינתן לנפגעי החל"כ. באירועים כאלו משולבים גם כוחות נוספים: יחצ"ב (היחידות הצבאיות של בתי החולים) על יחידותיו (פל"י ופל"ר), מד"א, משטרה, כיבוי אש, עירייה, לשכת בריאות מחוזית וקופות-חולים.

חלוקת הנפגעים באירוע חל"כ מתבצעת לפי:

1. פצוע קל - נפגע אשר מהלך ונושם.
2. פצוע בינוני - נפגע אשר שוכב ונושם.
3. פצוע קשה - נפגע אשר שוכב ולא נושם (בפועל ברמת בית החולים הכוונה לנפגע מונשם).
4. פצוע משולב - נפגע אשר סובל מפגיעת טראומה בנוסף לפגיעה מן החל"כ.
5. משפחות - נפגעים קלים שהגיעו כמשפחה (בדגש על ילדים).

באירוע חל"כ הסמכות במתן הטיפול התרופתי זהה מבחינת הסגל הרפואי ועל כן בהקשר של מתן הטיפול התרופתי לאב"כ ההתייחסות הינה לאיש צוות קליני (ולא לאחיות בנפרד ורופאים בנפרד).

2 סקר ספרות

על מנת להתמודד עם האתגרים הקיימים באר"ן בכלל ואר"ן חל"כ בפרט נעזר בידע קודם אשר כבר נחקר בעבר. ידע זה יעזור לנו להבין בצורה טובה יותר את המצב הנוכחי וישמש אותנו למציאת שיטות לשיפור מצב זה.

תחילה נסקור את הידוע על אירועים רבי נפגעים ואירועי חל"כ. נדון במערכת ה-RFID ושילובה במערכות הרפואה ולבסוף נבחן כלים תפעוליים שעשויים לשמש (או בפועל משמשים) לפתרון הבעיה ובניית המערכת.

2.1 אירוע רב נפגעים (אר"ן)

Merin et al (2010) מתארים במאמרם את האתגרים העומדים בפני הצוות הרפואי בעת אר"ן ואת הקושי והחשיבות של ניהול אירוע מסוג זה.

ב-12.01.10 התרחש בהאיטי רעש אדמה בעוצמה 7 בסולם ריכטר. רעידת האדמה פגעה באזורים המאוכלסים ביותר בהאיטי. כתוצאה מכך נהרגו כ-230,000 איש ו-250,000 נפצעו. כמובן שהאיטי לבדה לא יכלה להתמודד עם כמות כזאת של פצועים ולכן מדינות רבות שלחו סיוע, ביניהן גם ישראל.

המשלחת הישראלית כללה 230 אנשי צוות, 60 מיטות (כולל 4 לטיפול נמרץ) וחדר ניתוח אחד. בעקבות העומס הגדילו את מספר המיטות ל-72 ופתחו חדר ניתוח נוסף. המשלחת שהתה במקום במשך 10 ימים שבמהלכם טיפלה בכ-1100 פצועים. זאת אומרת, שטופלו בכל יום כ-110 פצועים על 72 מיטות בלבד(!).

הביקוש הגבוה לטיפול רפואי והיכולת המוגבלת של המשלחת לספק אותו מצביעים על אר"ן. בכדי להציל כמה שיותר חיים היה על הרופאים להחליט למי לתת טיפול רפואי ולמי לא. ההחלטה התקבלה ע"י צוות מיוחד של 4 רופאים שענו על השאלות:

- כמה דחוף מצב הפצוע?

- האם יש לנו את המשאבים לטפל בו?

- מה הסיכוי שהוא יחיה בעקבות הטיפול?

ורק אם מצב הפצוע היה דחוף יותר מהאחרים, היו מספיק משאבים פנויים לטפל בו וידעו שהטיפול יציל את חייו – היו מקבלים את הפצוע. כך לעיתים נוצר מצב שבו הגיע פצוע אנוש אך בגלל מחסור במשאבים או בגלל שהיה סיכוי קטן להציל את חייו, העדיפו להכניס פצוע במצב פחות גרוע. היה חשוב לעשות את הסינון הזה על מנת להציל כמה שיותר חיים.

Levi et al (2002) מתארים במאמרם מהו אירוע רב נפגעים, מהם עקרונות הטיפול וההערכות באירוע כזה ומהן הבעיות הצפויות לצוות המטפל ולצוות המנהל.

אר"ן מוגדר, עפ"י *Levi et al* (2002), להיות מצב שבו ברגע נתון מספר הנפגעים גדול ממה שיכולה המערכת להכיל (לתת טיפול הולם). עוד הוא מסביר כי רמת ואופן הטיפול בנפגעים היתה שונה אילו היו מגיעים כל אחד מן הנפגעים בנפרד שכן בפועל קיבולת בית החולים באר"ן מוגדרת

להיות כ 20% מכמות המיטות בבית החולים- עפ"י עיקרון זה מוקצה הציוד הזמין באופן מיידי בבית החולים. על כן אסטרטגיית הטיפול באר"ן מטרתה לספק טיפול באיכות סבירה, תוך הצלת כמה שיותר חיים ומניעת סיבוכים. הנקודות העיקריות באסטרטגיית הטיפול הן :

- ביצוע חלוקה ראשונית לרמות פגיעה עוד בטרם הכניסה לאזור הטיפול ע"י מנתח בכיר.
 - חלוקת הנפגעים לאזורי טיפול שונים עפ"י חומרת הפגיעה שהוגדרה בקליטתם- כך ניתן חלק כראוי את הצוות והציוד בין אתרי הטיפול שונים.
 - טיפול לפי עקרונות ה-ATLS (Advanced Trauma Life Support) כאשר הטיפול מתבצע קודם כל בפגיעות מסכנות חיים ותוך שימוש מצומצם בעזרים הדורשים זמן רב (CT או רדיוגרפיה למשל).
 - הטיפול בפינות הטיפול הוא ראשוני ומטרתו לייצב, מבוצעות בו רק פעולות מצילות חיים. שאר סבבי הטיפול יבוצעו במחלקות המתאימות.
 - התייעוד הרפואי מוגבל לתייעוד זמנים ואבחון בסיסי בלבד - כאשר מושקע מאמץ רב בהכשרת צוותי רישום מיומנים לטובת העניין.
- מעבר לאספקט הרפואי צפויות באר"ן בעיות נוספות הנובעות מפערים בהעברת המידע ושימוש נכון יעיל בתקשורת נושאים כגון גיוס צוותים נוספים, תקשורת נימית בתוך בית החולים (לקבלת החלטות בזמן אמת) וניוד חולים בעת אירוע (למשל למחלקות השונות) צריכים להילקח בחשבון ועל בית החולים להיות ערוך התמודדות עם נושאים אלו.
- מן המאמר עולה כי אירוע רב נפגעים הינו אירוע מורכב בעל פוטנציאל ליצירת עומס תפעולי תוך זמן קצר עקב כך הוא טומן בחובו אתגרי שליטה ובקרה אשר דורשים הערכות ותכנון מתאימים.

2.2 אר"ן חל"כ

Baker (2004) מתאר במאמרו מהם חומרים מסוכנים (בתוכם חומר לחימה כימי), מהם מאפייני אירועים כימיים, ומהם עקרונות וגישת הטיפול וההתמודדות עם אירוע כזה.

לפי Baker (2004) ישנם אלפי סוגים שונים של חומרים רעילים אשר מאופיינים ע"י רעילות, זמן עד להשפעה, נדיפות ויכולת פיזור. למרות השוני בין חומרים רעילים לבין חומרי לסימה כימיים או ביולוגיים ישנם קווי התייחסות דומים למגוון החומרים.

ההתייחסות לנשק כימי וביולוגי היא כאל נשק להשמדה המונית כאשר בפועל הם מהווים נשק עם פוטנציאל לפגיעה המונית כאשר בהעדר טיפול נאות יהפכו לנשק המוביל לשעורי תמותה גבוהים, כך למשל ארע באירועי החל"כ בבהופל ובמלחמת אירן עיראק עקב אי יכולת בתי החולים לתת מענה ראוי. כיום התפיסה היא שאירוע חל"כ הינו אירוע, אשר ניתן לנהלו באמצעות מתודות וכלים ממצבי חירום רגילים ולא מצב משתק אשר לא ניתן לנהל.

עקרונות הטיפול באירוע כזה מתחילים (כמו בכל טיפול רפואי) בבטיחות - על מנת שהמטפל לא יהפוך לקורבן הבא - המתבטאת בטיהור הנפגע (לעיתים תוך מתן טיפול במהלך הטיהור עצמו). לאחר הטיהור מתבצעת הערכה של חומרת הפגיעה, לאחר מכן יינתן טיפול לשמירה על דרכי אור ונשימה ובמקביל הערכת הגורם הפוגע על מנת למצוא את האנטידוט המתאים.

2.3 טכנולוגיית RFID

RFID (ראשי תיבות של Radio Frequency Identification) הינה טכנולוגיה של תיוג אלקטרוני באמצעות גלי רדיו. הטכנולוגיה מבוססת על התקנים קטנים המוצמדים לעצם אותו מעוניינים לזהות, ומאחסנים מידע הניתן לקריאה על ידי מכשיר מתאים באופן אלחוטי תוך שימוש בגלי רדיו. קיימות תגיות פסיביות - ללא מקור כוח ואקטיביות - הכוללות סוללה.

Chawla & Ha (2007) במאמרם מציגים סקירה על טכנולוגיית RFID. הם מתארים את אופן פעולת התגים, סוגיהם, שימושים קיימים, בעיות וטכנולוגיות מתהוות שישפרו את המוצר ואת אפשרויות השימוש בו.

מערכת RFID מורכבת מקוראים (readers/interrogators) ומגיבים (tags/transponders). לרוב יש מספר גדול של מגיבים לעומת מספר הקוראים. את המגיבים מצמידים לעצמים והקוראים יכולים לקבל אינפורמציה על המגיבים בטווח הקליטה שלהם. המגיבים מתחלקים לשלושה סוגים: פאסיביים, פאסיביים למחצה ופעילים. ההבדלים בסיווג מאופיינים ע"י מקור הכוח למגיב, ואפשרות השידור שלו. המגיבים הפסיביים למעשה יודעים להפיק אנרגיה ואותות משדה אלקטרו מגנטי שמייצר הקורא (כמו מחזיר אור). בשנים האחרונות ההתקדמות הטכנולוגית אפשרה יצירת מגיבים יותר זולים ואמינים. לדידם של Chawla & Ha (2007) קיימים מספר מכשולים לשימוש נרחב במערכות RFID: מחירם עדיין גבוה יחסית ומהווה מחסום בשימוש רחב היקף, המחיר הגבוה נובע מעלות הרכיב החשמלי במגיב, עלות אנטנות השידור ועלות הרכבה גבוהה. כמו-כן אמינות המערכת אשר תלויה בגורמים כגון: האוריינטציה של המגיב במרחב, העצם אליו הוא מחובר וסביבת העבודה. בנוסף, בשלב זה עדיין אבטחת המידע בעייתית והמערכת קלה יחסית לפריצה ומעקב. שיפור האבטחה (ללא שיפור טכנולוגי במוצר) יגרום לבזבוז אנרגיה דבר שיכול שוב לפגוע באמינות.

לסיכום, כיום טכנולוגיית RFID לא ממצה את פוטנציאל השימוש שלה, וכדי להגיע למימוש יש להתגבר על כמה מכשולים. עם זאת נראה כי אין איזושהי בעיה אקוטית והמשך התקדמות טכנולוגי יוביל להפיכת ה-RFID להיות אופציה מובילה במישורים רבים בחיי היום יום שלנו.

2.4 שילוב RFID במערכות רפואה

Fuhrer & Guinard (2006) גורסים כי טעויות רפואיות ברות מניעה אינן תוצאה של צוות מטפלים גרוע אלא של צוות מטפל טוב העובד במערכת גרועה. שימוש בטכנולוגיות איתור (RFID ודומותיה) יעזור להוביל לבית חולים "חכם".

Fuhrer & Guinard (2006) טוענים כי המשמעות של מניעת הטעויות הינה העלאת איכות השירות, הקטנת הטעויות והגברת בטיחות המטופלים. שילוב RFID בדך לבית חולים חכם יכול להתבצע ברמות שונות:

- הציוד הרפואי בנוי עם תגי RFID מובנים.

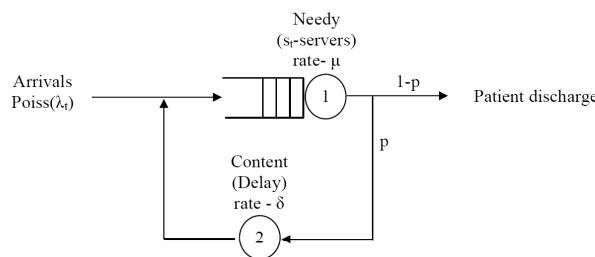
- רופאים, אחיות, סניטרים ונותני השירות יישאו תגים (מובדלים ביניהם) אשר יכילו את פרטי העובד'.
- כל חולה יישא תג שיכיל גם היסטוריה רפואית.
- תרופות חשובות (סמים למיניהם) ומנות דם יסומנו גם על ידי תגים.

באופן זה יתאפשר זיהוי חולים ומנות דם (או תרופות) כאשר תגים יוצמדו לכל חולה ומנת דם אשר יכיל את המידע הנדרש (סוג הדם, גישות לתרופות מינון נדרש וכו') ורק לאחר אימות והצלבת הנתונים יתאפשר מתן המנה (או התרופה). אפשרות נוספת היא שימוש בחדרי ניתוח "חכמים" שיוכלו זהות את החולה הנכנס ולהתאים את הפרוצדורה הרלוונטית עבורו ובכך לצמצם שגיאות זיהוי.

שימוש בטכנולוגיה זו צפוי אף לשפר אספקטים תפעוליים ע"י צמצום זמן חיפוש אחר משאבים ומסמכים, ניהול טוב יותר (על סמך נתוני זמן אמת) של צוות וציוד ומעקב אמין אחר מלאי. הדרך לבי"ח חכם עוד ארוכה אך בהחלט ישנם מרכיבים אותם ניתן ליישם ואף מיושמים כיום.

2.5 כלים העשויים לסייע בפתרון הבעיה

Yom-Tov (2010) פיתחה מודל אשר נקרא Erlang-R. המודל מסייע במידול מצבים לא סטנדרטיים, כלומר, אדם שקיבל שירות בתחנה אחת עשוי לחזור אליה לאחר שיבקר בתחנה אחרת (Error! Reference source not found.). שירות מסוג זה מתאים במיוחד לשרות במחלקה לרפואה דחופה בב"ח. שימוש במודל זה יכול לענות לנו על שאלות כגון: כמה שרתים עלינו לשים בכל תחנה, בהתאם למספר ה"מיטות"? ומהי המשמעות של הלקוחות החוזרים?



λ_t - Arrival rate of a time-varying Poisson process.

μ - Service rate.

δ - Delay rate ($1/\delta$ - Mean delay time between services).

p - Probability of return to service.

s_t - Number of servers at time t .

$Q_i(t)$ - Number of customers in node i at time t , $i = 1, 2$.

תרשים 1: תיאור סכמטי של מודל Erlang-R

מודל זה מתבסס על ההנחות הבאות:

- פצוע חדש הנכנס למערכת יהיה במצב NEEDED.
- פצוע שזקוק לטיפול נמצא במצב NEEDED, כאשר הוא במצב זה ברגע שיש רופא/אחות פנויים הם ניגשים אליו ונותנים לו את הטיפול הדרוש.

- קבלת הטיפול מתבצעת לפי סדר תור של First Come First Served – FCFS.
 - לאחר קבלת הטיפול החולה ימצא במצב CONTENT עד אשר יזדקק לטיפול נוסף.
 - לאחר קבלת הטיפול הוא יעבור למצב CONTENT בהסתברות P, אחר בהסתברות 1-P הוא משתחרר מהמחלקה.
 - הגעות הפצועים בת"ל.
- Yom-Tov (2010) במחקרה הראתה ששימוש במודל שומר על רמת שירות, זמני המתנה ונצילות שרתים אחידים ללא תלות בעומס (המשתנה לאורך שעות היום). המודל מתאים גם עבור מערכות קטנות כמו אלו הנמצאות בבתי חולים כאשר מספר האחיות יכול להשתנות בין 1 ל-10.
- Sinreich & Marmor (2005) גורסים כי שימוש בסימולציה הופך להיות כלי מקובל לתמיכה בקבלת החלטות בעולם מערכות שירות ובפרט במערכות בריאות. הצורך בכלי שכזה התפתח מהעלייה בדרישות הלקוחות (או המטופלים) והרצון לטייב את השימוש במשאבים קיימים וליצור מערכות יעילות יותר.
- עוד מוסיפים Sinreich & Marmor (2005) כי השימוש בסימולציה מתאים במערכות בריאות (ובחדרי מיון בפרט), שכן אלו מערכות גדולות יחסית עם מורכבות ודינמיות גבוהה- גורמים אשר מקשים בפיתוח מודל מתמטי. השימוש בסימולציה מאפשר להנהלת בית החולים (או חדר המיון) לקבל הערכה טובה על נצילות, צורך במשאבים ויעילות וכן לשפר את יכולת קבלת ההחלטות שלהם ע"י בחינת מידע המתקבל מאלטרנטיבות תפעול שונות.
- על מנת להפוך את הסימולציה לכלי המממש את הני"ל ולהגביר את מעורבות בית החולים וביטחונו בשימוש בכלי זה יש להקפיד כי הסימולציה תהיה:
- כללית וגמישה- יאפשר בחינת תצורות שונות ומגוונות
 - פשוטה ואינטואיטיבית- כאשר הכוונה היא להפוך את הכלי לשמיש וקל בעיני המשתמש
 - בעלת בסיס נתונים הגיוני ומתאים כברירת מחדל- באופן זה תגדל התאמת הסימולציה לצרכים שונים וההשקעה הנדרשת בהתאמות שונות תקטן.
- בעבודתם מתארים בניית מודל סימולציה עבור חדרי מיון כאשר השלבים אותם יישמו בפיתוח הסימולציה כללו:
1. שיחה מקדימה על מנת לקבל תמונת מצב ולהבין את המערכת- במקרה זה עם רופאי המיון הבכירים וראשי האחיות.
 2. איסוף נתונים- ע"י מדידות ומידע קיים. איסוף הנתונים התבצע ב 5 בתי חולים שונים והושקעו בו 1325 שעות אדם.
 3. ניתוח הנתונים שנאספו- באמצעות כלים סטטיסטיים. באופן זה יכלו למצוא דמיון בין מסלולים אותם עוברים סוגי חולים שונים ולסווגם ל 3 מחלקות עיקריות.
 4. פיתוח מודל לסימולציה- תבנית על פיה תרוץ תוכנית הסימולציה. כך פיתחו מודל להגעת סוגי החולים השונים אל חדר המיון.

5. אימות התוצאות המתקבלות- אל מול נתונים המתקבלים בפועל. למשל נעשתה השוואה של הגעות שהתקבלו ממודל הגעת החולים (מהסוגים השונים) אל מול נתוני האמת של בתי החולים.

Hall et al (2006) מציעים צורת הסתכלות מיוחדת על התהליך שעובר חולה בביה"ח. נקודת המבט הזאת מאפשרת למדל את הטיפול בצורה פשוטה שתאפשר ניתוח מעמיק ומדויק של תהליך הטיפול.

נסתכל על תהליך הטיפול בחולה כ"מקרו מערכת", אשר מתחילה בלידת החולה ומסתיימת עם מותו. החולה יוצא מהמערכת רק כאשר הוא מת, זאת מכיוון שכל עוד הוא חיי הוא מקבל החלטות אשר יוצרות אינטראקציה עם הטיפול הרפואי אשר משפיע על בריאותו.

המודל מציג 6 מצבים בהם יכול להימצא החולה: מרגיש טוב, דואג לעצמו (אם הוא מרגיש לא טוב הוא מזעיק עזרה), ביקור מונע, ביקור לשם טיפול, ביקור לאחר טיפול והחלמה. מטרת ה"מאקרו מערכת" ברורה – להגדיל את משך הזמן בין לידה למוות, להגדיל את משך הזמן שהחולה נמצא במצב "מרגיש טוב" ולמקסם את איכות הטיפול כאשר הוא נמצא במצב אחר. הכותבים טוענים, כי הקטנת עיקוב החולים ושיפור זרימת החולים יעזרו לנו להשיג מטרות אלו.

Hall et al (2006) מפרטים את המדדים העיקריים אליהם יש לשים לב על מנת לנתח את זרימת החולים. בכדי לעקוב אחר מדדים אלו אנו צריכים להבין את דפוסי הגעות החולים (מומלץ לבחון ברזולוציות שונות) ולעקוב אחר זרימת החולים באזורים השונים בביה"ח. לאחר שנקבל את המידע הזה נוכל למדוד את המדדים הרצויים בצורה מהימנה.

שהות במערכת וזמני המתנה – עדכון מדויק ובזמן אמת, שר יתבצע באופן אוטומטי, של נתונים אלו יכול לעזור בשיפור ניצולת משאבי ביה"ח.

מספר החולים שממתינים – מדד זה סייע להם להעריך את שלבי הטיפול אשר היוו את צוואר הבקבוק של המערכת. יש לשים לב אם יש תלות בין התורים השונים ולהבין מה גורם לעיקוב בתורים אלו.

יצרניות (פריון עבודה) וזמן שירות – יצרניות ניתן להגדיר ב-2 דרכים:

1. עבודה שהסתיימה בפועל חלקי משאבים שנוצלו.
 2. תפוקה מועילה (כניסות חולים או ימי חולים או מספר הפעמים שנעשה טיפול מסוים) חלקי תשומה (גודל הצוות או שעות עבודה).
- זמן השירות (למשל, זמן שעובר עד לשחרור החולה) יכול להצביע על מוכנות בית החולים לקבל חולה באופן מיידי. ישנו קושי רב גם במדידת מדד זה אשר יכול להיות מועיל מאוד לניתוח יכולת ביה"ח.

Morzuch & Allen (2006) גורסים כי תחזית מדויקת מספקת מידע חיוני על כמות המשאבים הנחוצה על מנת להתמודד עם הנפגעים. לטענתם הרעיון מאחורי תחזית הינו לחפש תבניות בהגעה ביום, ובמידה ונמצאו לוודא זאת ולבדוק האם הן משתנות בין הימים בשבוע. בעבודתם, הסתמכו כותבי המאמר על מחקר שבצעו על בסיס הנתונים של בית החולים ביורק, פנסילבניה, שכלל נתוני הגעות של שנתיים ו-7 חודשים לחדר המיון. בסיס הנתונים חולק ל-2 סט

נתונים לבניית מודל וסט נתונים לאימות המודל- כך שהנתונים שאומתו לא לקחו חלק בבניית המודל עצמו ובבדיקה נבחן המודל ביחס לנתונים "חדשים".

החיפוש אחר תבניות התבצע ב-2 מישורים, ראשית בדיקה האם כל יום "מתנהג" לפי תבנית מסוימת, ושנית האם ישנה מגמה כלשהי, כלומר האם כמות ההגעות היומית יציבה לאורך תקופה. בדיקות סטטיסטיות הפיקו תשובות חיוביות ל-2 השאלות ודחו את ההשערה כי אלו תוצאות אקראיות. יתרה מזאת התגלה דפוס של תבנית יומית מכוננת בתוך תבנית שבועית (כלומר התבנית השבועית היא מחזורית ובנוסף כל יום בתוכה הוא מחזורי).

השלב הבא הוא בחינת מודלים אפשריים לחיזוי, כאשר הרעיון הוא בחירת מודל שישתמש בכל סוגי הידע שיש לנו - כלומר ייקח בחשבון את סוגי המחזוריות השונים והתבניות השונות. Morzuch & Allen (2006) בחנו 2 מודלים אפשריים UCM והחלקה אקספוננציאלית כפולה. בדיקת התחזיות התבצעה בדירוג, בכל שלב חזו באמצעות 2 השיטות את השבוע הקרוב (על סמך הנתונים הקיימים בסט הנתונים לבניית המודל) ואח"כ הוסיפו את נתוני האמת של אותו השבוע לסט הנתונים על פיו נבנית התחזית. ההשוואה בין המודלים נעשתה ע"י מיצוע של מדד ה-RMSE של כל אחת מהשיטות לאורך כל התקופות.

הניסיון להשוות בין המודלים היה בעייתי שכן חילוף הפרמטרים הרלוונטיים ממודל ה-UCM בניסיון לחזות יותר מתקופה אחת קדימה נותר כדילמה.

עם זאת תוצאות המחקר הראו חד משמעית ששימוש במודל הלוקח בחשבון את סוגי המחזוריות השונים טוב יותר ממודל פשוט. יתרה מזאת שימוש במודל המורכב שמר על השתנות נמוכה של מדד ה-RMSE לאורך תקופות חיזוי שונות.

Gaynor et al (2005) גורסים כי בכדי שדרגים מנהלים יוכלו לקבל החלטות אפקטיביות, צריכה להיות להם נגישות למידע מהימן אשר מתעדכן בזמן אמת ואשר יוצג בצורה ברורה ויעילה. במצבי חירום יש צורך בקבלת החלטות במצב דינאמי ותוסס, אשר מכיל אי-ודאות רבה אשר גורם לתחושת דחיפות וצורך בהורדת אי הודאות בקבלת ההחלטות.

במאמר מציגים Gaynor et al (2005) מערכת בשם iRevive, מערכת אשר מתבססת על תקשורת אלחוטית אשר מעבירה את כל המידע על הפצוע ועל הטיפול שהוא קיבל טרם הגעתו לבית החולים ועד רגע זה. המידע מועבר למרכז בקרה ומשם לביה"ח שאליו יגיע הפצוע. כל המידע עובר דרך מרכז הבקרה, לכן ליושבים במרכז הבקרה יש בסיס מידע נרחב על המצב בשטח ובבתי החולים וכך הם יכולים לקבל החלטות חכמות יותר. התקשורת היא דו-כיוונית כך שמרכז הבקרה מקבל מידע מהשטח ומביה"ח וגם יכול להעביר מידע ופקודות לשטח לאחר ניתוח מידע זה ובכך ליעל את הטיפול באירוע.

מערכת מסוג זה בנויה על תשתית מורכבת, אשר תהיה מסוגלת להתמודד עם זרימת אינפורמציה רבה שמועברת במהירות גבוהה, ותעמוד גם במצבי עומס מבלי לקרוס. על מנת להוריד את העומס מהמערכת ולעשות סדר בבסיס הנתונים המידע עובר סינון. לאחר הסינון המידע מועבר לאזור במערכת שלגביו מידע זה רלוונטי ולא מופץ בכל המערכת.

מבנה זה של מספר שכבות של מקבלי החלטות, כאשר כל שכבה מקבלת את המידע שרלוונטי רק לה ובזמן אמת, יוצרת מערכת מידע גמישה ויעילה.

Fry & Lenert (2005) מטפלים במאמרם בבעיית זמינות המשאבים בעת אסונות עם נפגעים רבים. במצבים בהם המשאבים מוגבלים, התגובה האפקטיבית תלויה בכישורי הצוות ואופן ניהול האירוע. הם גורסים כי המונח "מודעות למצב" הינו מונח מפתח בהקשר של קבלת החלטות יעילות במהלך האירוע המשתנה במהירות. כאשר אין מודעות טובה למצב, מנהלים מקבלים החלטות על הקצאת משאבים באופן עיוור וכך נוצר מצב שאיוש צוות וציוד הינו תת-אופטימאלי, והטיפול בנפגעים מושפע לרעה.

לפי Fry & Lenert (2005) קיימים כלים וטכניקות לפיקוח על תהליכים עסקיים. כלים אלו חיוניים לשמירה על המודעות בכל מצב. כמעט בכל טיפול באסון משתמשים במשקיפים ייעודיים המוסרים מידע קריטי על המצב באמצעות מכשירי קשר.

בנוסף, ניתן למדל את הטיפול בנפגעים באירוע, אך יש אינספור משתנים המשפיעים על יעילות זרימת החולים. בעזרת נתונים בזמן אמת על מיקום הנפגעים בתוספת מערכות מידע רלוונטיות, ניתן לייעל החלטות הקצאת משאבים, למנוע צווארי בקבוק ולמקסם את התפוקה.

לפי Fry & Lenert (2005) יש חמש קטגוריות אליהן יש להתייחס בבניית מערכת התומכת בניהול אירוע:

1. מידע קריטי הנאסף בשטח יגיע במהירות ובדיוק למקבלי ההחלטות.
 2. כל החולים מופיעים במערכת וניתנים לזיהוי.
 3. החולים, הצוות והציוד מופיעים במערכת ללא צורך בתהליך כלשהו, ללא שגיאות או התערבות ידנית.
 4. המערכת חייבת לשלב את כל המידע הרלוונטי על המצב וקבלת ההחלטות מתבססת על יישום אחד.
 5. המערכת צריכה לדעת להתמודד עם מקרים של כשל במערכת או ברשת.
- המערכת יוצרת סביבה לניהול אירועים בשדה קרב או אסון אזרחי. המערכת משתמשת במידע על מיקומי תגיות באופן אלחוטי, להפחתת התלות בתהליכים ידניים, והגברת ה"מודעות למצב". הפוטנציאל של המערכת הינו במתן נראות להיצע וביקוש בזרימת הנפגעים. כמו-כן בתוספת מידע רלוונטי המערכת הינה יעילה כעזר למקבלי החלטות.

Wang et al (1996) במאמרם, מציגים מודל פשוט ויעיל לחישוב מספר האנשים הממוצע במערכת כלשהי בזמן נתון. המודל מתאים למערכות לא סטציונריות שבהן לכל "לקוח" שנכנס למערכת נדרשים משאבים שונים וזמן שירות שונה.

לדידם של הכותבים, מודל זה עדיף על פני סימולציה מכיוון שסימולציה דורשת מספר רב של הרצות לקבלת תוצאה מבוססת סטטיסטית וזה דורש זמן ומשאבי חישוב רבים.

המודל מתבסס על מודל PSA אשר לוקח בזמן נתון את קצב הכניסה למערכת ומכניס אותו לנוסחת שיווי משקל אשר הותאמה למערכת הספציפית אותה מנתחים והנוסחה מחשבת את מספר האנשים הממוצע במערכת באינטרוול זמן נבחר. כאשר תהליך זה מתרחש לאורך זמן רצוי כלשהו. במאמר מוצג מודל נוזלים מקורב אשר בשילוב עם PSA מסוגל לקבוע התנהגות ממוצעת

של תור במערכת עם התפלגויות הגעה ושירות כלליים. *Wang et al (1996)*, בעצם מראים איך ע"י התבססות על מאפייני מודל נוזלים הוא מתאר את מס' האנשים במערכת. המאמר מדגים כיצד שיטה זו מתאימה לסוגי תורים שונים – אינסופיים וסופיים. יתרון המערכת הוא בכלליות שלה, בפשטות, ביעילות החישוב והיא דורשת הנחות מעטות בלבד. בנוסף לכך, ניתן להתבסס על המודל כדי לתכנן את דינמיות המערכת. השיטה הוכיחה את עצמה ונתנה תוצאות קרובות לתוצאות סימולציה של אותה מערכת ואף של חישובים מדויקים. כמו כן, הראתה עדיפות על שיטת PSA ואף שיפרה את ביצועיה.

3 תיאור המצב הקיים

על מנת ללמוד כיצד מתמודדים כיום עם אר"ן חל"כ אספנו מידע ממספר מקורות: ספרות בנושא, ראיונות עם מנהלי האירוע בפועל, ראיונות עם האחראים על מערכות המחשוב בביה"ח ומתרגיל חל"כ של פיקוד העורף (עליו נפרט בהמשך).

3.1 תיאור המצב הקיים

באירוע חל"כ כמות הנפגעים אותה יכול בית החולים לקלוט הינה 600-900 נפגעים. צפי זה דורש הערכות ביי"ח לאירוע רב נפגעים, כמו-כן לטיפול בנפגעי חומרים כימיים. נתמקד בשלושה היבטים במצב הקיים: הערכות ביה"ח, קליטת החולים בביה"ח ושליטה ובקרה. כמו-כן מאחר וביי"ח רמב"ם לא התנסה באירוע חל"כ בעבר, הנתונים המספריים המובאים בפרק זה מסתמכים על הערכות המטה הבכיר בביה"ח.

3.1.1 הערכות ביה"ח

בעת אר"ן יעבירו את הנפגעים לבתי החולים ע"י כוחות צבא, אמבולנסים ואפילו אנשים שיגיעו באופן עצמאי.

ביה"ח עובר למתכונת של מצב חירום:

- הגדלת מצבת כ"א במיון – זימון צוות מהמחלקות השונות וגיוס עובדים מחוץ לביה"ח.
- הקמת "מטה פיקוד" שינהל את האירוע – במטה יושבים נציגים מההנהלות השונות – לוגיסטיקה, כ"א, מחשוב, הנהלה, מנהל מטה ונציג סיעוד. תפקידו לקבל מידע על המתרחש ועל-פי מידע זה לקבל החלטות לגבי דרכי ההתמודדות עם האירוע.
- פינוי שטחים נוספים לקבלת נפגעים – על מנת לקלוט את כל הנפגעים מפנים אזורים בביה"ח אשר לא משמשים במצב רגיל לטיפול בנפגעים, כמו למשל חדר האוכל.
- בנוסף לכך באירוע אב"כ שטח ביה"ח יתחלק לאזור "נגוע" ואזור "סטרילי". כאשר כל נפגע שיגיע יצטרך קודם כל לעבור טיהור שרק לאחריו יוכל להיכנס לאזור הסטרילי להמשך הטיפול. האזור הסטרילי מתחיל מיד לאחר קו מוגדר שנקרא הקו הצהוב.

3.1.2 קליטת החולים בבית החולים

ממוקד האירוע יגיע הנפגע לאתר הקליטה בבית החולים במידה והעומס על אתר הקליטה מאפשר זאת. במידה ולא, יופנה הנפגע לאתר וויסות השוכן בסמוך לבית החולים ובו יקבל טיפול ראשוני ויושהה עד מעבר לבית החולים. ההערכה היא כי במצב יציב, יגיעו אל בית החולים נפגעים רק מאתר הוויסות.

בעת הקליטה (בחלקו המזוהם של בית החולים) לאחר פריקת הנפגע מהרכב, יהיו עד 5 רופאים שתפקידם לבצע טריאז' ראשוני. בטריאז' יוערך מצבו הקליני, סביר שביצוע הטריאז' יתבצע במקביל לפריקת הנפגע על כן משך הזמן הממוצע לנפגע הוא 2 דקות. לאחר הטריאז', נפגעים

הטיפול

כאמור הטיפול במתאר של חל"כ תלוי בסוג הנפגע אך ישנן כמה עקרונות המשותפים לכל סוגי הנפגעים. הטיפול בחל"כ הוא אנטידוטלי (טיפול ישיר כנגד הגורם הפוגע) ונעשה בסבבים כלומר כל פרק זמן מוגדר מקבל הנפגע את מנת התרופה המתאימה במידה והנפגע זקוק לטיפול נוסף הוא מתבצע במקביל לסבבי הטיפול.

- אתר קלים/משפחות - טיפול תרופתי כל 30 דקות לנפגע כאשר נדרש יחס של לא יותר מ-10 נפגעים למטפל. יכול לאכלס עד 150 נפגעים.
- אתר בינוניים - טיפול תרופתי כל 30 דקות כאשר נדרש יחס של לא יותר מ-4 נפגעים למטפל. יכול לאכלס עד 100 נפגעים.
- אתר משולבים - טיפול תרופתי כל 10 דקות ובמקביל טיפול בפגיעת הטראומה. הפצועים המשולבים עוברים מיון נוסף בהגיעם לאתר כאשר הם מחולקים לפי חומרת פגיעת הטראומה כך שהנפגעים בעלי פגיעת טראומה קשה מועברים לחדר ההלם שם נדרש יחס של לא יותר מנפגע אחד לכל מטפל, ואילו אלו המוגדרים בינוניים או קלים מועברים לאולם ד' בחדר המיון שם נדרש יחס של לא יותר מ-4 נפגעים למטפל. יכול לאכלס עד 25 נפגעים.
- אתר קשים - טרם הטיפול התרופתי מתבצעות פעולות טיפוליות (חיבור למנשם ולמוניטור) האורכות כ-2 דקות. הטיפול תרופתי ניתן כל 10 דקות והיחס הנדרש הינו לא יותר מ-2 נפגעים למטפל. יכול לאכלס עד 60 נפגעים.

3.1.3 שליטה ובקרה

מערכות המידע בבי"ח

מערכת נמ"ר – המערכת משמשת כמערכת המידע הבסיסית של בי"ח. כל חולה בהגיעו לבי"ח נקלט במערכת, ונשמרים עבורו במערכת פרטים אישיים ורפואיים בסיסים.

פרומטאוס – מערכת שמוסיפה מידע קליני על החולים בבי"ח, כגון: תוצאות בדיקות, חוות דעת רפואיות וכו'.

אד"ם – המערכת הינה חלק ממערכות משרד הבריאות. המערכת נותנת תמונת מצב של שאר בתי החולים בארץ, כגון: כמות נפגעים, תמונות נפגעים אנונימיים וכו'. משמשת בעיקר עובדות סוציאליות במרכז הבקרה הארצי שעוזרות למשפחות למצוא נפגעים קרובים. מע' אד"ם מצויה גם אצל הרשויות המקומיות.

מעקב אחר החולה

בעת החלטה של קביעת האירוע כאר"ן נפתח באופן חד פעמי אירוע במערכת הנמ"ר- לפתוח אירוע הכוונה כי כל רשומה הנכנסת תחת האירוע משוייכת לאר"ן.

- בהגעת נפגעים השייכים לאר"ן חל"כ מתבצעת חלוקת תיקים מעבר לקו הצהוב, לאחר הטיהור.
- כל נפגע מקבל תיק עם מספר חח"ע שהוקצה מראש עבור אר"ן (לפני האירוע עצמו).
- כל תיק המוצמד לנפגע מסומן בצבע המתאים לסוג הפגיעה.

- מהתיק נלקחת מדבקה המועברת לרשמות הנמצאות בקו הצהוב אשר פותחות רשומה בסיסית - המקוטלגת עפ"י מספר הנפגע (המצוי מבעוד מועד על התיק) - במערכת הנמ"ר כך שבהגיע הנפגע לאתר המתאים הרשומה ממתינה עבורו לקליטה.
- מרגע קבלת התיק, עד ההגעה של החולה למחלקה המתאימה אין רישום כלשהו של החולה.
- כאשר החולה נכנס לאתר הטיפול, מתבצע רישום ראשוני על נייר על-ידי רשמת, הכולל מידע מינימאלי בלבד - מספר מזהה, חומרת הפגיעה ומין הנפגע.
- הרשמת מזינה את הפרטים שאספה ברשומה המתאימה המשויכת לנפגע במערכת הנמ"ר.
- כאשר מתפנה חלון זמן מוזנים פרטים נוספים בסבב שני ושלישי כגון שם, גיל, איזור פגיעה עיקרי וכו'.

מטה חירום בזמן אר"ן

- חדר הפיקוד מתכנס לאחר החלטה על הגדרת אירוע כאר"ן. לא בהכרח תלוי בכמות הנפגעים - ההחלטה מתקבלת ע"י הנהלת ביה"ח כאשר נדרשת הערכות שונה ממצב שגרה.
- בחדר הפיקוד מתכנס מטה ניהול האר"ן המורכב ממנהל האירוע ונציגים מיחידות בית החולים כגון, מחשוב, סיעוד, לוגיסטיקה, כ"א וכו'.
- תפקיד המטה הוא לקבל מידע, להגיע להחלטות ובהתאם להן לספק מידע לגופים תחתיהם (תתי מטות) או חיצוניים כגון תקשורת משטרה וכו'.
- בחדר הפיקוד מוצגים 3 מסכים : מצב האירוע, מצב בית החולים ויומן אירועים.

שליטה ומעקב אחר הצוות הרפואי

- מידי חצי שעה מתבצעת ספירה ידנית של אנשי הצוות הרפואי בכל מחלקה.
- מנהלי המחלקות מתקשרים לחדר הפיקוד ומדווחים על כמות הצוות באתר, מידע זה נרשם ע"י מנהל כ"א בחדר הפיקוד.
- במידה ויש מחסור בכ"א באחת המחלקות, מנהל המחלקה מתקשר לחדר הפיקוד ומבקש תגבור. בחדר הפיקוד בודקים איזו מחלקה לא ביקשה תגבור במשך הזמן הארוך ביותר, מבקשים מאותה מחלקה להעביר כ"א למחלקה שביקשה תגבור. במידה ולא ניתן לשחרר כ"א פונים למחלקה הבאה.

3.2 בעיות במצב הקיים

3.2.1 המידע הנאסף במערכת בעת אירוע מוזן ע"י הרשמות בלבד

איסוף נתונים על-ידי הרשמות טומן בחובו מספר בעיות:

1. הפרש זמן בין הגעת החולה לאתר הטיפול לבין הזנתו במערכת - באופן כללי פעולת ההזנה (הרישום הידני והזנתו למערכת המידע) הינה פעולה שאורכת כ-2-3 דקות.
 2. טעויות אנוש - טעויות הזנה במערכת בית החולים הינן דבר שכיח גם בשגרה קל וחומר בעת אירוע ובזמן לחץ. הטעויות יכולות אף להתבטא ב"פספוס" של חולה דבר אשר שכיח גם ביומיום.
- הבעיות שהוצגו יוצרות פער בין הנעשה במציאות בפינוק הטיפול השונות, לבין המידע המוצג למטה בחדר הפיקוד. פער שכזה יכול להוביל לקבלת החלטות באיחור ופגיעה ביכולת המענה של ביה"ח.

3.2.2 העברת הנתונים ממערכת הנמ"ר למערכת השליטה

הנתונים המופיעים במטה הפיקוד באמצעות מערכת השליטה באר"ן, מגיעים אליה לא באופן ישיר ממערכת הנמ"ר אלא באמצעות BI דרך Datawarehouse. תהליך העברת הנתונים מתבצע אחת למספר דקות דבר אשר מעקב את הגעתם אל מערכת השליטה.

3.2.3 העברת מידע על כח האדם למטה

המידע הקיים במטה בנוגע לכמויות הצוות בכל אתר מגיע על סמך תקשורת ווקאלית. המידע המועבר למטה בנוגע לכמויות הצוות הרפואי באתרים השונים מועבר באמצעות תקשורת פנימית (מירסים, מכשירי קשר, טלפוניה פנימית וכו') כאשר הודעות מועברות ממנהלי האתרים אל תת המטה האחראי על כח האדם. ההודעות בהקשר לצוות הרפואי מגיעות כל חצי שעה או כאשר יש עומס באתר וזקוקים לכ"א נוסף ולא מתארות באופן רציף את המצב באתר, כך למשל לא מגיעות התראות על עודף צוות.

על כן בעת עומס באתר מסויים יש צורך בחיפוש ומציאת האתר (או המחלקה) ממנו ניתן להעביר אנשי צוות דבר אשר מבזבז זמן יקר. כמו כן לא מתקבל חיווי על ביצוע הפעולה, כלומר גם אם המטה ביצע החלטת ניווד נכונה אין באפשרותו לנטר את התרחשותה.

כמו כן, גם כאשר מועבר המידע למטה, המידע יכול להיות לא מדויק, משתי סיבות:

1. הספירה נעשית ע"י איש צוות שעובר בחדר ומבצע את הספירה ידנית, כך שבתוך כל המהומה ואי-הסדר במקום הוא יכול בקלות לטעות בספירה.
2. הספירה נעשית ברגע מסוים, יכול להיות שבאותו רגע אחד (או יותר) מאנשי הצוות לא נכח.

3.2.4 במצב הקיים אין הערכה מתי אזורי הטיפול מתרוקנים או מתמלאים

המערכות המצויות כיום לא נותנות תמונת מצב או הערכה לגבי מתי אזורי הטיפול השונים מתפנים מנפגעים. כלומר, בעוד כמה זמן ביה"ח יסיים לספק את הטיפול והמיון הראשוני, והנפגעים כולם יועברו למחלקות האשפוז השונות, ישוחררו לביתם או חלילה נפטרו. בהעדר מידע זה, מקבלי החלטות נאלצים להסתמך על כללי אצבע כלליים ולא מדויקים. קבלת החלטות על סמך הערכות שגויות, עלולה ליצור מצב של חוסר איזון בין מספר אנשי הצוות למספר הפצועים, ובעקבות כך לעיכובים במתן הטיפול.

במקרה שאתר מסוים מתמלא יש צורך לפתוח אתר נוסף על מנת לקלוט פצועים נוספים. פתיחת אתר כזה אורכת כשעה. ללא ההערכות לגבי מתי האתר מתמלא, לא ניתן לדעת מתי להתחיל בפתיחת האתר הנוסף. אם יתחילו לפתוח מוקדם מידי – יבוזבזו משאבים. אם יתחילו לפתוח מאוחר מידי – הפצועים לא יטופלו בזמן ומצבם יתדרדר.

4 מטרת הפרויקט

בניית מערכת מידע התומכת בקבלת החלטות תפעוליות באירוע חל"כ.

- המערכת תציג מצב תפעולי של ביה"ח, הן מבחינת נפגעים והן מבחינת צוות רפואי, באופן אמין ובזמן אמת.
- המערכת תציג תחזיות לכמות הנפגעים בהמשך האירוע.

5 איסוף נתונים וממצאים

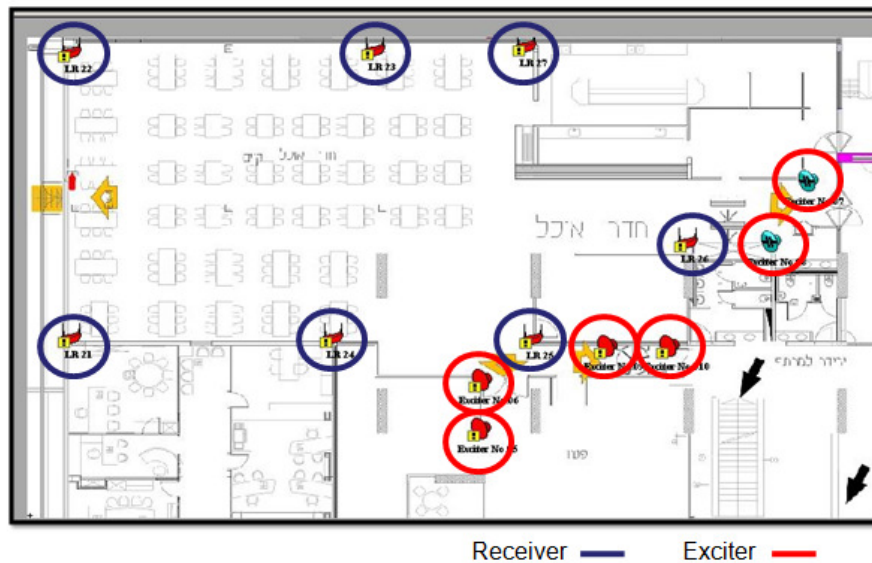
איסוף הנתונים התבסס על תרגיל של פיקוד העורף המדמה מתקפת חל"כ. כמו-כן נתונים ממערך ה-RFID שנבדק בתרגיל. להשלמת התמונה נאספו נתונים בעזרת הערכות מומחה וראיונות.

5.1 תרגיל חל"כ

בתאריך ה- 26.5.10 התבצע תרגיל ארצי של פיקוד העורף. התרגיל דימה אירוע של נפילת טיל חל"כ בחיפה ובמהלכו תורגל המבנה הכללי של אירוע מסוג זה. ביה"ח רמב"ם פרש את התשתית לאר"ן חל"כ אשר כוללת הצבת מקלחות הטיהור, פינוי אתרים לקליטת נפגעים, זימון כ"א נוסף - משנעים, רשמות וכוחות מילואים. נפתח חדר הפיקוד וביה"ח עבר למתכונת של מצב חירום.

5.2 נתונים ממערך ה-RFID

בתרגיל נבדקה התכנות לשימוש במערכת ה-RFID בזמן אירוע חל"כ. יום לפני התרגיל, הותקנה ואותחלה מערכת ה-RFID באתר קשים (חדר האוכל בביה"ח): הותקנו זוג Exciter-ים בכל פתח של חדר האוכל (כניסה ושתי יציאות). כמו-כן התקרה רושתה ב-receiver-ים.



תרשים 2: מערך ה-RFID שהותקן בחדר האוכל

לאחר התרגיל נאספו הנתונים ממערכת ה-RFID ובנוסף ביה"ח רמב"ם העמיד לרשותנו את נתוני התרגיל הרלוונטיים כפי שנאספו ע"י הרשמות במערכות המידע של ביה"ח. הנתונים של מערך ה-RFID נשמרים במסד נתונים SQL SERVER, ברזולוציה של שניה. בזמן התרגיל נכתבו 539,361 רשומות במסד הנתונים. השדות העיקריים לכל רשומה הם: תאריך ושעה (date created), מזהה תג (tag id), קוארדינטות X,Y,Z לסימון מיקום התג, סוג התג (primary category id) - 3 צוות רפואי 2- נפגע, ו-1 exciter id. (נספח 2).

5.3 ראיונות

על מנת להשלים את התמונה אודות המצב הקיים, אספנו מידע נוסף מהגורמים הרלוונטיים בביה"ח. ערכנו מספר ראיונות עם מנהל המלר"ד, אשר הינו מנהל האירוע בעת אר"ן חל"כ, ד"ר שלומי ישראלית. במהלך הראיונות קיבלנו פרטים נוספים אודות אירוע מסוג זה והערכות על כמויות נפגעים וצוות רפואי, ואופי ההתנהלות הצפוי באירוע. כאמור, אירוע מסוג זה לא התרחש בעבר ולכן הערכות אשר מתבססות על הידע והניסיון של ד"ר ישראלית הן בעלות משמעות רבה. כמו-כן, נפגשנו מספר פעמים עם נציג מערכות המידע בביה"ח רמב"ם, אשר הציג את המערכות הרלוונטיות בעת אר"ן חל"כ והמערכות הנוספות אשר פועלות בביה"ח. כמו-כן נציגי מעבדת מערכות השירות (SEE LAB) סייעו בהבנת הנתונים, טיבם וניתוחם.

5.4 ממצאים

היות ומדובר בתרגיל ייתכן כי הנתונים שהתקבלו אינם מייצגים מצב אמת. עם זאת נתונים אלה מהווים בסיס לניתוח: קצבי כניסה, התנהגות המערכת, התכנות מודלים.

ניתוח קצבי כניסה: עפ"י הערכת מומחה תבנית ההגעה כפי שנוצרה בתרגיל מדמה היטב מצב אמת. קצב כניסת הנפגעים הקשים הוא 26 נפגעים בשעה כפי שנאמד בתרגיל. נתונים אלו התאימו לניתוח המידע שאספנו אודות הצפי לזמן אמת (הערכות מומחים והפקודות לזמן אמת).

התנהגות המערכת: קיבלנו תמונה מפורטת על צורת ההתנהלות של אר"ן חל"כ (כפי שפורט בתיאור המצב הקיים) ואנו מודעים ומתחשבים בשינויים שצפויים להיות במצב אמת.

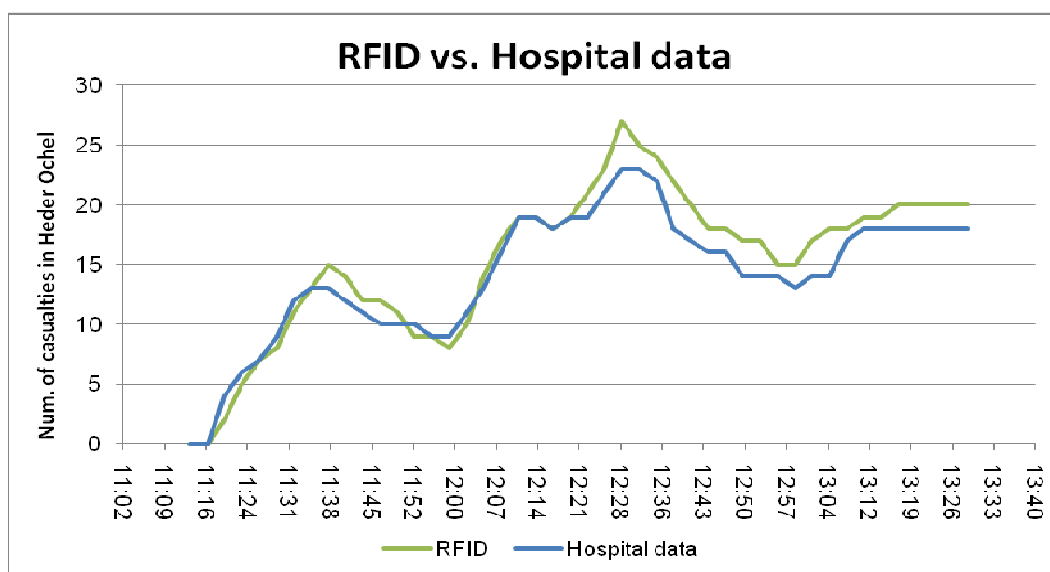
התכנות מודלים: על בסיס הנתונים שנאספו נוכל לבנות מודלים ולבדוק את נכונותם.

כמו-כן, הנתונים הגולמיים ממערך ה-RFID נבדקו על-ידי מעבדת מערכות השרות של הפקולטה (SEE LAB). המעבדה ביצעה עיבוד וניקוי לנתונים שכלל: מחיקת רשומות לא נכונות, מחיקת תזוזות מיותרות (מצב בו הנפגעים נעים באופן לא סביר), ביטול כניסות כפולות וכו'.

הממצאים שיש לקחת בחשבון בעקבות עיבוד הנתונים במעבדה:

נתוני ה-receiver-ים במערך ה-RFID: אין אפשרות לשחזר באופן אמין את המסלולים בעזרת נתוני ה-RFID. הנתונים שהתקבלו מה-receiver-ים מאוד רועשים ולא מדויקים. לכן לא ניתן להתחשב במסלולים בתוך חדר האוכל. לפיכך יש להשתמש בנתוני ה-exciter-ים בלבד, וההתייחסות הינה לכניסות ויציאות.

נתוני ה-exciter-ים במערך ה-RFID: נתוני ה-RFID שהתקבלו מה-exciter-ים אודות כניסות ויציאות של נפגעים וצוות רפואי היו רועשים גם כן. שימוש בנתונים אלו מצריך ניקוי ועיבוד, אשר לאחריהם מתקבלת התאמה טובה לנתונים אשר נאספו ידנית בתרגיל.



גרף 1: השוואה בין הנתונים שנאספו בביה"ח לנתונים המעובדים מה-RFID

בנוסף, מראיון שערכנו עם מנהל האירוע עולה כי מטה הפיקוד דורש שלא להוסיף מסך להצגת הנתונים בחדר הפיקוד בעת האירוע. אם כן, יש לתכנן את הפתרון כך שהפלט של המערכת יהיה מסד נתונים אשר מערכת ה-BI הקיימת בביה"ח תשלוף את הנתונים ממנו ותציגם במערכת הקיימת.

בהמשך ביצענו ראיון עם מחלקת מערכות המידע ברמב"ם על מנת ללמוד כיצד נוכל לשלב את הפלט של המערכת עם מערכות ה-BI הקיימות. לדאבונו, מערכת ה-BI הנוכחית אינה מותאמת לשינויים מסוג זה. כמו-כן, מחלקת מערכות מידע עובדים בימים אלו על מערכת BI חדשה אשר נמצאת עדיין בשלבי האפיון ולכן הפלט יוצג בממשק משתמש זמני.

6 שיטות

6.1 היבט תפעולי

ברצוננו לספק תחזיות לגבי כמות הנפגעים באתרים השונים בעת אר"ן חל"כ. על-מנת ליצור תחזית, נמצא מודל אשר מתאר בצורה טובה את המערכת. בניית המודל תתבסס על ניתוח הנתונים אשר נאספו בשלבים הקודמים.

6.1.1 ניתוח נתונים

לא קיימים נתוני אמת על אירוע מסוג זה, לכן נצטרך להסתמך על הערכות המומחים והנתונים אשר נאספו בתרגיל. היות ומדובר בתרגיל ייתכן כי הנתונים שהתקבלו אינם מייצגים מצב אמת, עם זאת נתונים אלה מהווים בסיס לניתוח קצבי הכניסה/יציאה, התנהגות המערכת והתכנות מודלים.

ניתוח תאורטי

בשלב ראשון נרצה לדעת מהי תחנת צוואר הבקבוק בתהליך

- באירוע מסוג זה תהיה כמות גדולה מאוד של נפגעים לכן הנחנו כי הגעת הנפגעים לא תהווה צוואר בקבוק (תחנות הטיפול לא ימתינו ריקות). הנחה זו מתבססת גם על העובדה שזמן קצר מתחילת האירוע בבאפר (החניה של בסיס חייל הים שמהווה תחנת ביניים לקליטת הנפגעים) תמיד יהיו נפגעים אשר ימתינו לפינוי לביה"ח.
- מכיוון שאנו שולטים על קצב הכניסה מהבאפר, ניתן להניח כי תהליך הכניסה יגיע למצב יציב. במצב יציב קצבי הכניסה יהיו שווים לקצבי היציאה. לכן, על מנת לחשב קצבים אלו נשתמש בנוסחת ליטל. על-פי נוסחת ליטל חלוקת מס' האנשים בתחנה (L) בזמן השהייה

$$\frac{L}{w} = \lambda \quad \text{כלומר } (\lambda), \text{ כולומר } \frac{L}{w}$$

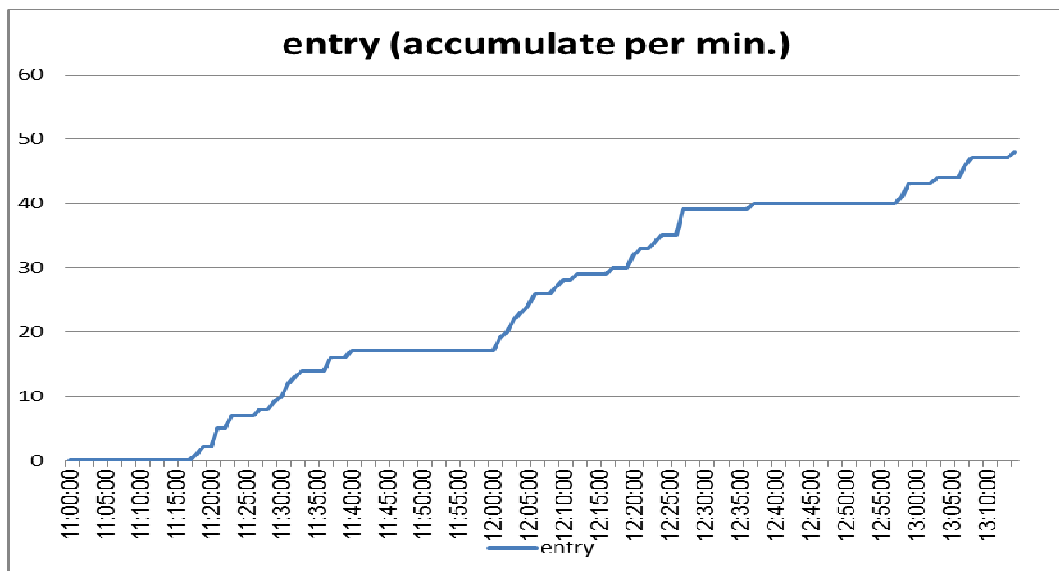
תחנה	L (מס' עמדות מינימאלי)	w ממוצע (דק')	λ (לשעה)
פריקה ומיון	4	2	$\frac{4}{2} \cdot 60 = 120$
החייאה באזור מזוהם (קשים בלבד)	4	4	$\frac{4}{4} \cdot 60 = 60$
הפשטה וטיהור - מהלכים	12	14	$\frac{12}{14} \cdot 60 \approx 51$
הפשטה וטיהור - שוכבים	14		$\frac{14}{14} \cdot 60 = 60$
החייאה באזור מטוהר (קשים בלבד)	3	3	$\frac{3}{3} \cdot 60 = 60$

טבלה 1: קצבי יציאה בכל תחנה

- נאטר את תחנת צוואר הבקבוק עפ"י קצב היציאה האיטי ביותר. חישובנו את קצבי היציאה בתחנות השונות וגילינו שתחנת צוואר הבקבוק היא שלב הטיהור. תחנה זו קובעת קצב כניסה של 111 נפגעים בשעה.
- כעת, עפ"י התפלגות סוגי הנפגעים נוכל להסיק את קצבי ההגעה למחלקות השונות:
 - 15% קשים - $0.15 \cdot 111 = 16.65$. כלומר, קצב כניסה של 16.65 נפגעים קשה בשעה.
 - 35% בינוניים - $0.35 \cdot 111 = 38.85$. כלומר, קצב כניסה של 38.85 נפגעים בינוניים בשעה.
 - 50% קלים - $0.5 \cdot 111 = 55.5$. כלומר, קצב כניסה של 55.5 נפגעים קל בשעה.

בדיקת התאמת נתוני התרגיל לניתוח התאורטי

כפי שצינו, בתרגיל נאספו נתונים רק על הנפגעים הקשים.



גרף 2: כמות כניסות מצטברת כפי שנצפתה בתרגיל

מגרף הנתונים זיהינו את תבנית הכניסה. כפי שניתן לראות תהליך הכניסה מתחלק לשני חלקים – שלב שבמהלכו יש כניסות ושלב שבמהלכו זרימת הנפגעים נעצרת. תבנית זו תואמת את הערכות המומחים וניתוח המצב הקיים, מכיוון שהגעת הנפגעים לאתרי הטיפול (בפרט לאתר קשים) תלויה בסיומו של שלב הטיהור.

- בתרגיל, אינטרוול ההגעות נמשך בממוצע 29.63 דקות, אינטרוול ההמתנה נמשך בממוצע 20.37 דקות.

- עפ"י הערכות שונות אחוז הנפגעים הקשים באירוע מסוג זה צפוי לנוע בין 15 ל-40 אחוז.
- ניתוח נתוני הכניסה הראה כי תהליך הכניסה (בעת אינטרוול הגעות) ניתן לתיאור על-ידי תהליך פואסון (משכי זמן בין-מופעיים אקספוננציאליים) עם קצב כניסה של 0.63 נפגעים בדקה (נספח 3).

- אינטרוול הגעות + המתנה ממוצע נמשך 50 דקות, לכן פרופורצית משך ההגעות היא:

$$\frac{29.63}{50} = 0.59 \text{ . על-כן, בממוצע מגיעים } 0.37 \text{ פצועים קשה } (0.63 \cdot 0.59 = 0.37), \text{ ז"א } 22.4$$

פצועים קשים בשעה. נתון זה מתאים לקצב הכניסה שנקבע ע"י צוואר הבקבוק בשלב

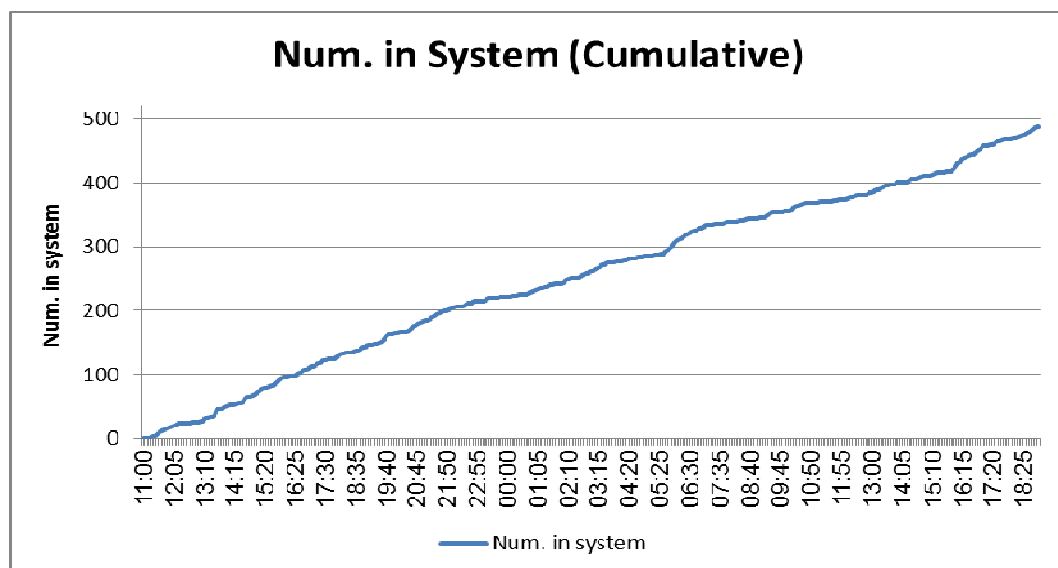
הקודם, עם $\left(\frac{22.4}{111} = 0.2\right)$ 20% פצועים קשה.

- בנוסף לכך, מצאנו שמשכי השהייה של הנפגעים הקשים בחדר הטיפול מתפלגים אקספוננציאלית (נספח 4).

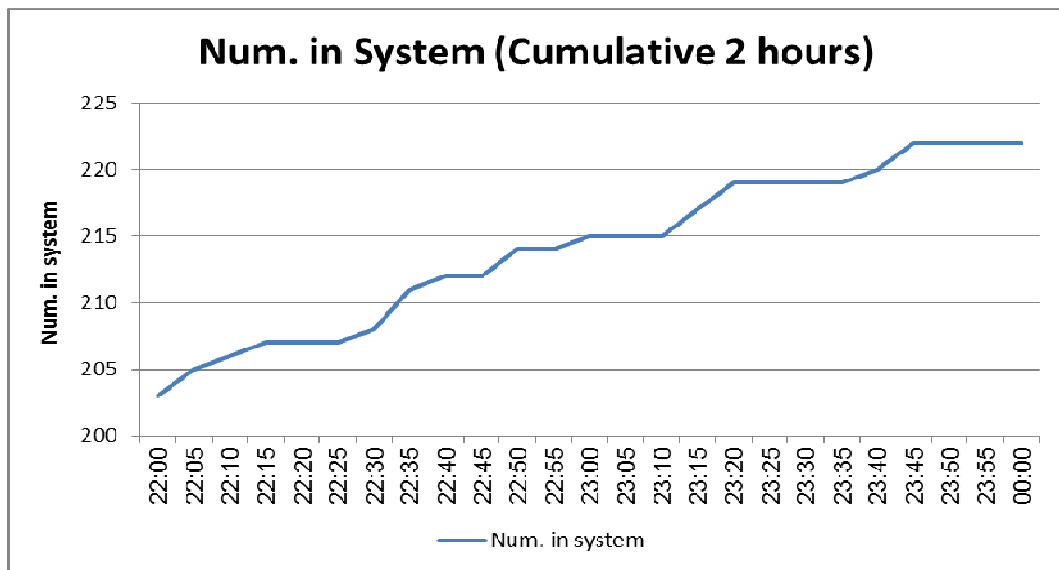
סימולציה

השתמשנו בנתונים הנ"ל על מנת לבנות מודל סימולציה אשר מתאר את המצב הקיים (נספח 5). משכי השהייה בתחנות השונות הוגדרו כ-Log-normal, מאחר והתפלגות זו שכיחה עבור משכי שירות. כמות השרתים בכל תחנה עשויה להשתנות בהתאם למצב האירוע. כמו-כן, צוואר הבקבוק במערכת הינה תחנת הטיהור (המוגבלת ל-26 נפגעים) על-כן, הנחנו בשאר התחנות מספר שרתים אינסופי.

הרצת הסימולציה התבצעה על פני 32 שעות, עם 300 חזרות. מניתוח הנתונים אשר התקבלו ממודל הסימולציה התקבלה התאמה לתבנית הכניסות כפי שראינו בתרגיל.



גרף 3: כמות נפגעים מצטברת עפ"י הפלט המתקבל ממודל הסימולציה על פני 32 שעות



גרף 4: כמות נפגעים מצטברת עפ"י הפלט המתקבל ממודל הסימולציה על פני שעתיים

משך אינטרוול הגעה ממוצע 20.36 דקות. משך אינטרוול הפסקה ממוצע הינו 13.69 דקות. קצב הכניסה הממוצע (באינטרוול ההגעה) הינו 0.4403 לדקה. כך שבשעה יגיעו 16 נפגעים קשה, קצב התואם את נתוני התרגיל וההערכות.

ניתן לראות כי הפרמטרים המתקבלים מהניתוחים השונים דומים אחד לשני (תבנית זהה). הפרמטרים אשר התקבלו בניתוחים השונים שימשו אותנו בהמשך להתאמת מודל תפעולי ובחינתו על מקבצי נתונים שונים.

6.1.2 התאמת מודל תפעולי

הרעיון שהנחה אותנו על מנת לייצר תחזיות היה התאמת מודל לנתונים שנאספו והזנת פרמטרים חזויים למודל ובכך להעריך את שיתרחש בעתיד הקרוב. הגישה אשר הנחתה אותנו בבחירת המודל היתה שימוש במודל פשוט ומוכר אשר מאפשר ביצוע התאמות וכמו-כן כללי ככל האפשר. בנוסף, המודל צריך להתאים לתיאור מערכת אשר לא בהכרח נמצאת במצב יציב (עקב קצב כניסה גבוה מקצב יציאה), ובנוסף לספק התאמה עבור מדיניות תור שונות מ-FIFO (אשר סביר שלא יתקיים במערכת מעין זו). על כן המודל עמו בחרנו לעבוד הינו מודל נוזלים. מודל הנוזלים לא מתייחס לאירועים בודדים, אלא כחלק מתהליך רציף המתחשב בקצבי הכניסה והיציאה. התנועה במערכת מתוארת כזרימה, שבה מאבד האינדיבידואל את זהותו בהיותו חלק מזערי בשטף. על כן הפרמטרים הרלוונטיים לשימוש במודל יהיו קצב כניסה למערכת λ וקצב היציאה מן המערכת μ .

משוואת מודל נוזלים כללית היא מהצורה: $Q(t_n) = Q(t_{n-1}) + \Delta Q(t_{n-1})$ כאשר

$$\frac{\Delta Q(t_{n-1})}{\Delta t} = \lambda(t_{n-1}) - \mu(t_{n-1})$$

כאשר $\lambda(t_{n-1})$ הינו קצב הכניסה באינטרוול הזמן בין t_{n-1} ל t_n

ו $\mu(t_{n-1})$ הינו קצב היציאה באותו אינטרוול.

התאמת המודל לנתונים נבדקה באמצעות RMSE אשר משמש מדד מקובל בתחום זה כאשר:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (Q_{\text{model}}(t_i) - Q_{\text{actual}}(t_i))^2}$$

כאשר K הוא מספר האינטרוולים הנבדק. מדד זה

משמש מעין קירוב לממוצע המרחקים בין פלט המודל לנתונים בפועל כלומר ההפרש הממוצע בין כמויות הנפגעים לפי המודל לכמות המתקבלת בפועל.

יחידת המידה הבסיסית על פיה ניתחנו את הנתונים היא באורך דקה (כלומר קצב נפגעים לדקה, משך שהייה בדקות וכו') כאשר הרזולוציה בה מוצגים הגרפים ועבורה מתבצעים החישובים (Δt) היא 5 דקות.

6.1.2.1 גלגולי המודל

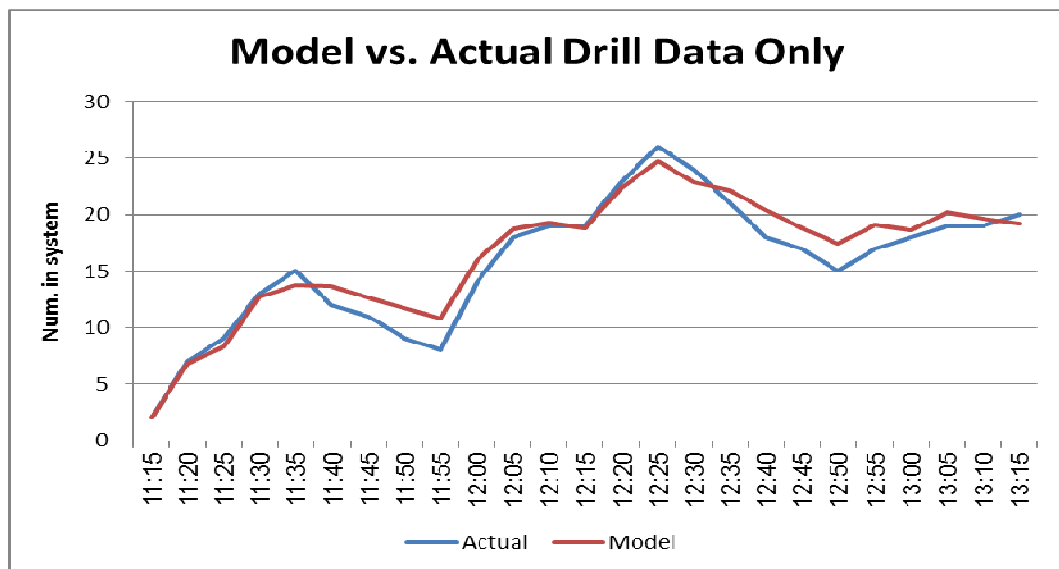
בשלב ראשון- בחינה של התאמת המודל כאשר קצב הכניסה נאמד בכל אינטרוול ומשך שהייה קבוע. האמד לקצב הכניסה הוא למעשה מספר הכניסות חלקי אורך האינטרוול, כך שלאחר הכפלה ב- Δt מתקבלת כמות הכניסות באינטרוול האחרון. האמד למשך שהייה חושב באמצעות שימוש ב-Censored sampling עבור התפלגות אקספוננציאלית שבוצע על משכי שהיית כלל הנפגעים. משך שהייה הממוצע עמד על 60 דקות.

$$Q(t_n) = Q(t_{n-1}) + \lambda(t_{n-1}) \cdot \Delta t - \mu \cdot (t_{n-1}) \cdot \Delta t$$

הינה למודל כי אם כן, המשוואה המתאימה למודל

$$\mu(t_{n-1}) = \frac{Q(t_{n-1})}{\hat{T}} \quad \text{כאשר } \hat{T} = 65.66 \text{ ו- } \hat{T} \text{ כפי שנאמד מנתוני התרגיל.}$$

שימוש במודל זה הניב את הגרף הבא:



גרף 5: מודל נזילים עם משך שהייה קבוע

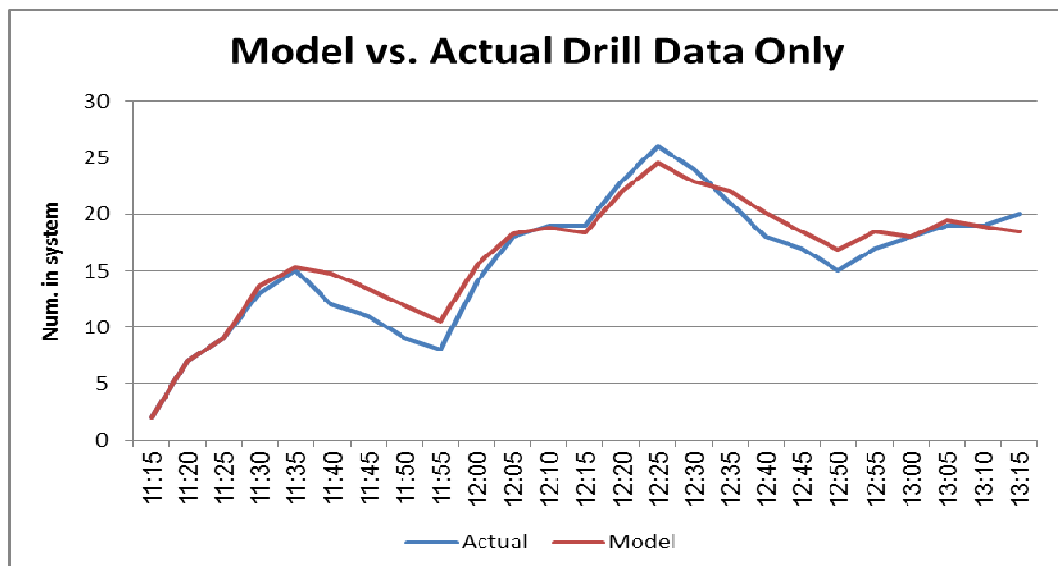
כאשר טיב ההתאמה המתקבל RMSE=1.4726

שלב שני- בחינה של התאמת המודל כאשר קצב הכניסה וקצב היציאה נאמדים בכל אינטרוול. האמד לקצב הכניסה מחושב באותו האופן שחושב בשלב הקודם. האמד לקצב היציאה שוב יתבסס על משך השהייה אלא שזה יאמד בכל אינטרוול. אמידת משך השהייה לוקחת בחשבון שני סוגים של תצפיות, משכי זמן שהייה עבור נפגעים אשר יצאו מן המערכת, ומשכי זמן שהייה עבור נפגעים אשר נמצאים כרגע בתוך המערכת. למעשה משך זמן השהייה עבור נפגע אשר שוהה כרגע במערכת הוא משך שהייה מצונזר היות וברשותנו רק חסם תחתון למשך השהייה בפועל. בהתאם לכך אמידת משך השהייה נעשתה באמצעות Censored sampling.

אם כן, המשוואה המתאימה למודל זה היא: $Q(t_n) = Q(t_{n-1}) + \lambda(t_{n-1}) \cdot \Delta t - \mu(t_{n-1}) \cdot \Delta t$

$$\mu(t_{n-1}) = \frac{Q(t_{n-1})}{\hat{T}(t_{n-1})} \text{ כאשר}$$

כאמור משכי השהייה אשר התקבלו בתרגיל נמצאו כמתאימים להתפלגות $\exp(0.0152)$ (בדקות). על כן אמדנו בכל אינטרוול את משך השהייה הממוצע תחת הנחת אקספוננציאליות (נספח 6). שימוש בגישה זו הניב את הגרף הבא:

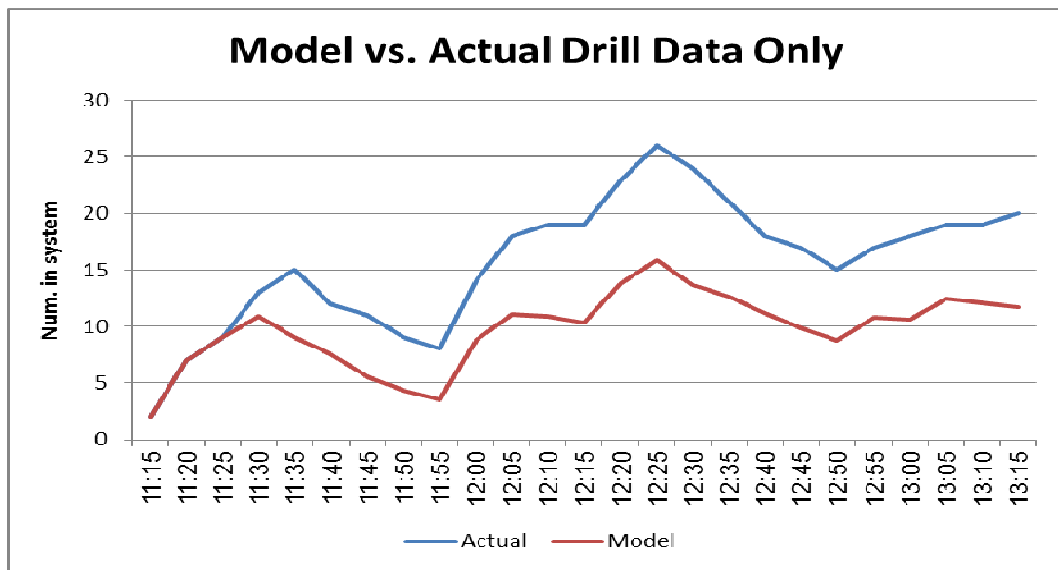


גרף 6: מודל נוזלים עם אמידה אקספוננציאלית בכל אינטרוול

כאשר טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=1.4367$

כאמור הנתונים שבידינו לא בהכרח מתאימים לנעשה במצב אמת, על כן רצינו לבחון גישה כללית יותר לאמידת הפרמטרים, בפרט- משך השהייה הממוצע. על כן נעשה שימוש באמד המתקבל ע"י חישוב ה-mrl ללא הנחות על התפלגות משך השהייה (נספח 7).

שימוש בשיטה זו הניב את הגרף הבא :



גרף 7: מודל נוזלים עם אמידה אי פרמטרית בכל אינטרוול

כאשר טיב ההתאמה המתקבל RMSE=6.6309

ניתן לראות כי ההתאמה המתקבלת פחות טובה מאשר זו שהתקבלה עבור שימוש בגישה המניחה התפלגות אקספוננציאלית של משך השהייה. תוצאה זו אינה מפתיעה שכן שימוש במודל אשר מותאם להתפלגות ספציפית משתמש במידע הנאסף באופן טוב יותר.

שלב שלישי- התייחסות לשני תהליכים נפרדים אשר מתרחשים באתר הקשים : תהליך עבור נפגעים אשר בסופו של דבר נפטרים ותהליך עבור נפגעים אשר בסופו של דבר מועברים לאשפוז. האמד לקצבי הכניסה מתבצע באופן משותף כלומר אמד אחד עבור קצב כניסה כולל (היות ובעת כניסה אנו לא יודעים לאן ישתייך הנפגע בסופו של דבר). בניגוד לכך, קצבי היציאה מחושבים בנפרד עבור כל תהליך כאשר עבור כל תהליך מחושב אמד לממוצע משך השהייה ע"י שימוש ב-Censored sampling.

עבור תצפית מצונזרת, אין אנו יודעים לאיזה תהליך היא שייכת. על כן, הגישה בה השתמשנו היתה חלוקת התצפיות המצונזרות לאמדי משך השהייה השונים בהתאם לפרופורציות הנפגעים בכל תהליך. כלומר תצפית מצונזרת שוייכה לאמד משך השהייה של הנפטרים בהסתברות אשר תואמת את פרופורציית הנפטרים שנאמדה באינטרוול הנבדק.

כמו כן, כל אחד מקצבי היציאה השונים מותאם לנפגעים מהסוג לפיו נאמד. על כן, קצבי היציאה מחושבים בהתאם לכמות הנפגעים בסוף האינטרוול הקודם כפול הפרופורציה המתאימה, ובכך למעשה מוגבל קצב היציאה לאלו המועמדים להשתייך לתהליך אותו הוא מתאר.

אם כן המשוואה המתאימה למודל זה היא :

$$Q(t_n) = Q(t_{n-1}) + \lambda(t_{n-1}) \cdot \Delta t - \mu_D(t_{n-1}) \cdot \Delta t - \mu_A(t_{n-1}) \cdot \Delta t$$

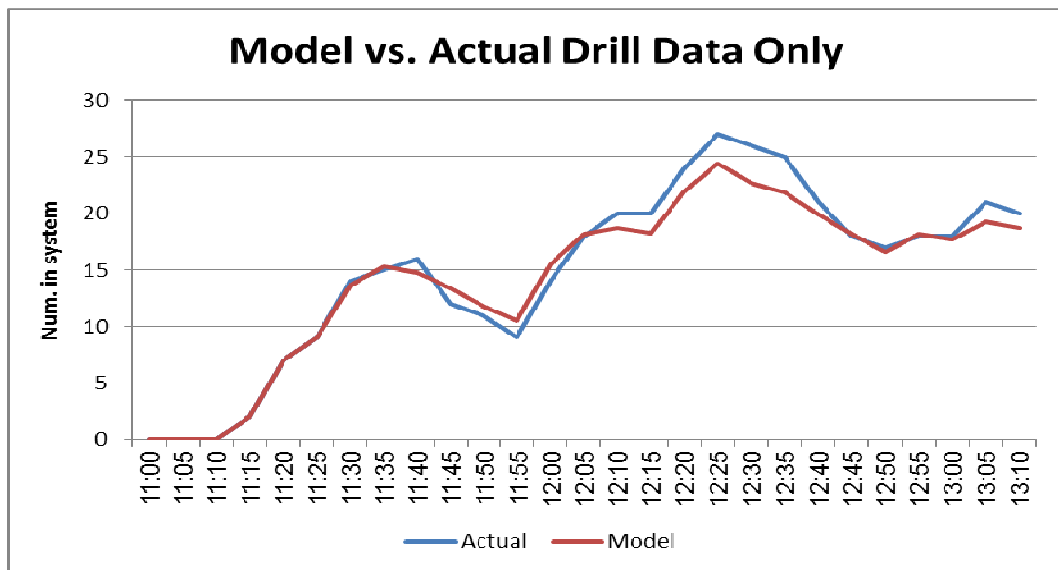
כאשר קצב יציאת נפטרים $\mu_D(t_{n-1}) = \frac{Q(t_{n-1}) \cdot p_D(t_{n-1})}{\hat{T}_D(t_{n-1})}$ כש- $p_D(t_{n-1})$ הינה פרופורציית

הנפטרים באינטרוול המתאים.

וקצב יציאת המאושפזים $\mu_A(t_{n-1}) = \frac{Q(t_{n-1}) \cdot p_A(t_{n-1})}{\hat{T}_A(t_{n-1})}$ כש- $p_A(t_{n-1})$ הינה פרופורציית

המאושפזים באינטרוול המתאים.

שימוש במודל זה הניב את הגרף:

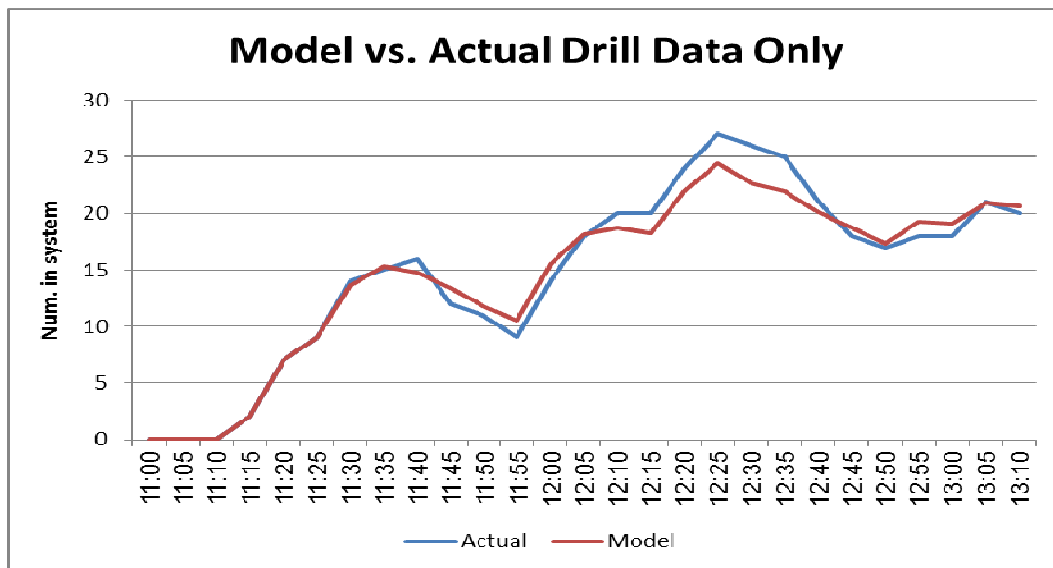


גרף 8: השוואת כמות הנפגעים בתרגיל למודל המתייחס להפרדת סוגי הנפגעים (אמידה מבוססת על כל המדגם הקיים)

כאשר טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=1.375$

על מנת שהמודל המתקבל יהיה גמיש ורגיש לשינויים במשכי השהייה בחנו את התוצאות המתקבלות כאשר אמידת משך השהייה מתבססת על תצפיות הנמצאות כרגע במערכת (מצונזרות) ותצפיות אשר יצאו מן המערכת בטווח השעה האחרונה בלבד.

גישה זו הניבה את הגרף :



גרף 9: השוואת כמות הנפגעים בתרגיל למודל המתייחס להפרדת סוגי הנפגעים (אמידה מבוססת שעה אחרונה)

כאשר טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=1.347$

העשרת הנתונים

כמות הנתונים אשר בידינו מצומצמת - 49 תצפיות מהן בסופו של דבר 20 מצונזרות (בסיום התרגיל נותרו 20 נפגעים בחדר האוכל כך שאיננו יודעים מה משך השהייה האמיתי שלהם). על מנת לבחון את התאמת המודל באופן רחב יותר היה עלינו להעשיר את הנתונים.

העשרת הנתונים בוצעה באמצעות סימולציה אשר דימתה את המשך התרגיל עד להגעה ועזיבה של 900 תצפיות נוספות. כלומר הנתונים שהוגרלו התאימו לתבנית הנתונים כפי שנצפו בתרגיל הן מבחינת קצב ההגעה הן מבחינת משכי השהייה והן מבחינת החלוקה לנפטרים ומאושפזים.

כאמור קצב הכניסה כפי שנאמד בתרגיל אופיין בתבנית של זמן בו מתרחשות הגעות בקצב של 0.63 בדקה וזמן "הפסקה" אשר בו לא מתרחשות הגעות. הנתונים שנאספו בתרגיל מדגימים 2 משכי זמן (מלאים) בהם מתרחשות הגעות (עם ממוצע של 29.63 דקות) ושני משכי זמן בהם ישנה הפסקה (עם ממוצע של 20.37 דקות). היות וכמות נתונים זו אינה מספיקה עבור ניתוח סטטיסטי הולם, ביצענו הנחה מפשטת (בהמשך נראה כיצד נמנענו משימוש בהנחה זו) והגרלנו משכי זמן אלה מהתפלגות נורמלית עם ממוצעים של 29.63 ו-20.37. בהתאמה כאשר סטיית התקן נבחרה כך שמקדם ההשתנות יהיה נמוך ויעמוד על שיעור של 1/10.

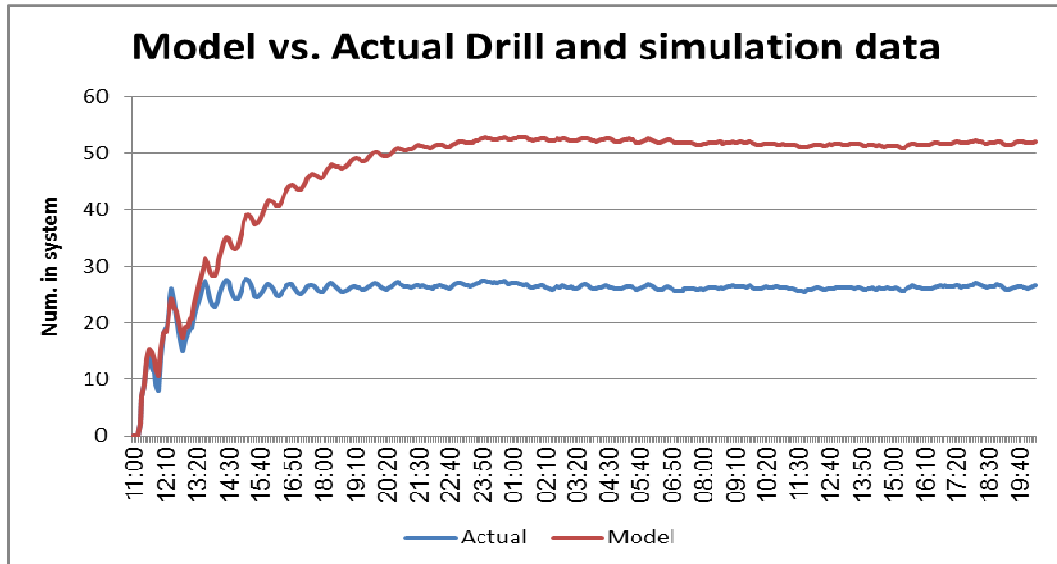
בהתאם לניתוח הנתונים משך הזמן הבין מופעי התפלג אקספוננציאלית (עם ממוצע של 1.59 דקות), כך גם משך שהיית הנפטרים (עם ממוצע של 57.26 דקות) ומשך שהיית המאושפזים (עם ממוצע של 68.35 דקות).

היות ומשכי השהייה שהוגרלו, הוגרלו מהתפלגות אקספוננציאלית אמידת משך השהייה לשימוש במודל נעשתה ע"י האמד בגישת ה-Censored sampling המתאים להתפלגות זו.

ביצענו 300 ריאליזציות שונות המשתמשות בנתוני התרגיל ומוסיפות לו נתונים חדשים בהתאם למתואר. עבור כל ריאליזציה נעשה שימוש במודל:

$$Q(t_n) = Q(t_{n-1}) + \lambda(t_{n-1}) \cdot \Delta t - \mu_D(t_{n-1}) \cdot \Delta t - \mu_A(t_{n-1}) \cdot \Delta t$$

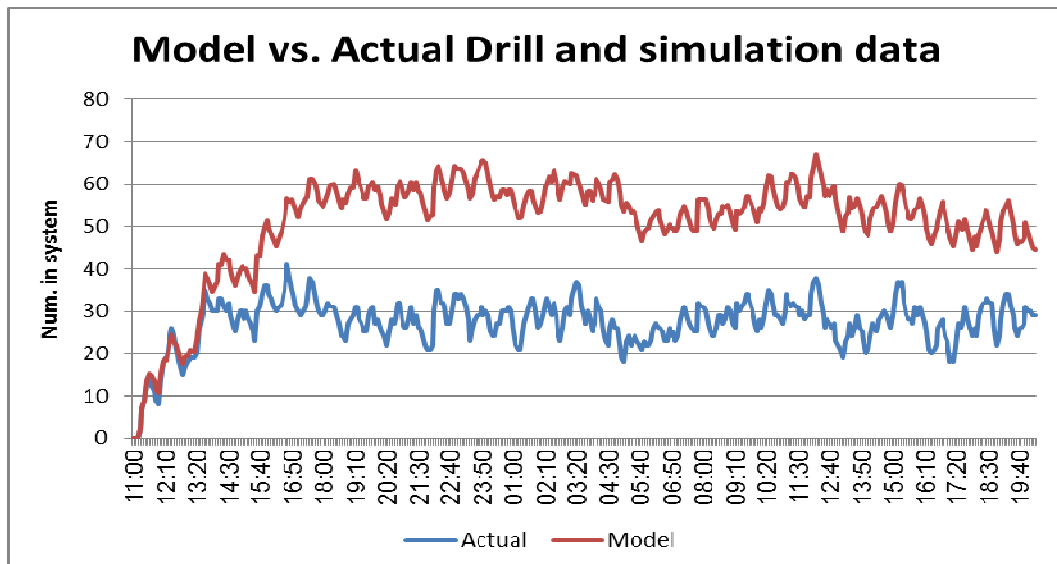
השוואת נתוני הסימולציה לאלו שהתקבלו ע"י המודל נעשתה באופן ממוצע עבור 300 הריאליזציות כפי שמוצג בגרף הבא:



גרף 10: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה (ממוצע על 300 הרצות)

טיב ההתאמה שמתקבל $RMSE=23.4548$

ובנוסף גם עבור ריאליזציות בודדות כפי שמוצג בגרף הבא:

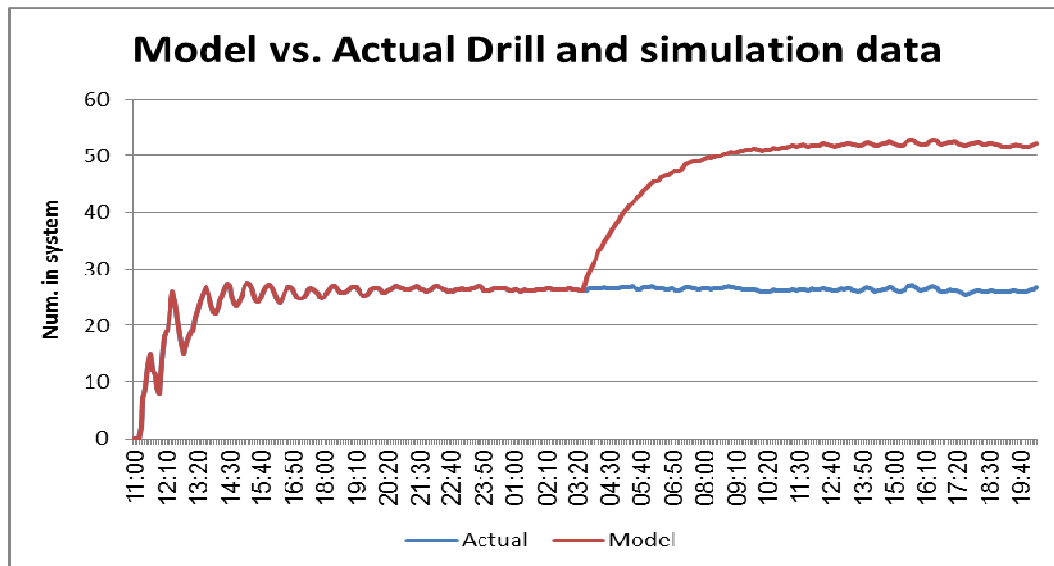


גרף 11: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=25.3758$

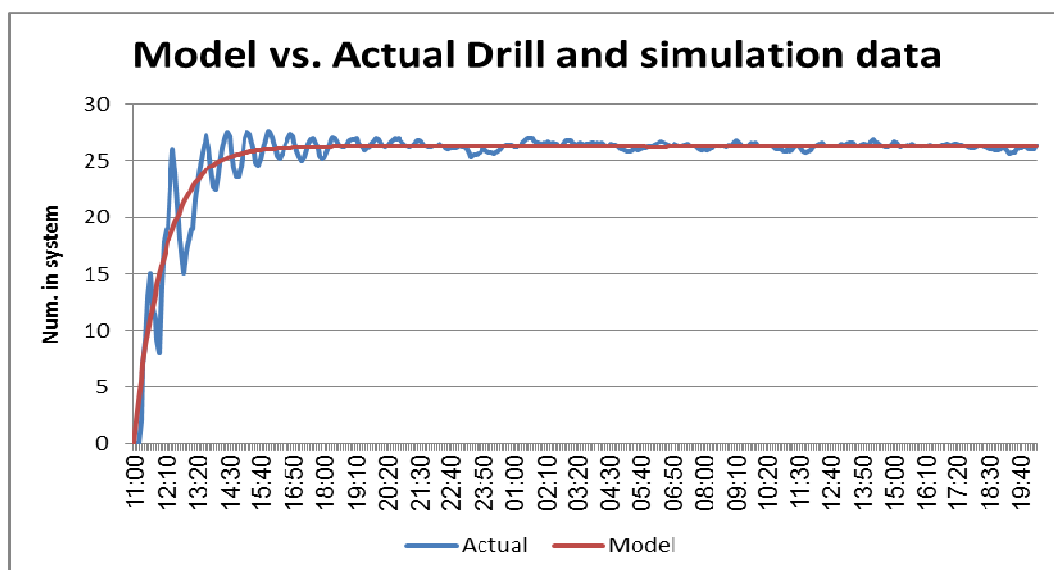
ניתן לראות כי מתקבל פער סיסטמתי בין המודל לנתוני הסימולציה.

היות והמודל המתואר הינו מודל איטרטיבי בחנו את האפשרות כי השגיאה המתקבלת הינה שגיאה מצטברת. על מנת לבחון אפשרות זו, השימוש במודל נעשה החל מנקודת זמן מסוימת כך שבמידה ואכן מדובר בשגיאה מצטברת נצפה שגודל השגיאה במקרה זה יהיה קטן יותר בדיקה זו הניבה את הגרף הבא :



גרף 12: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה החל מ 3:40

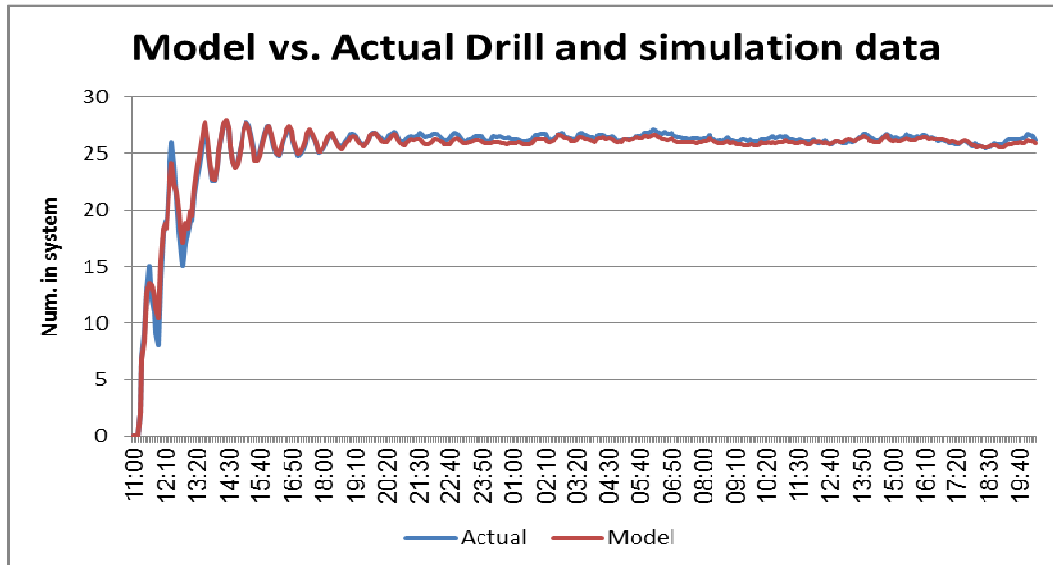
טיב ההתאמה שמתקבל (ע"ס השוואה בין הנתונים החל מהאינטרוול ה-200) $RMSE=23.8583$ ניתן לראות אם כן שגודל הסטייה הסיסטמטית אינו תלוי בנקודת הזמן בה מתחילים את השימוש במודל, על כן לא סביר כי מדובר בשגיאה מצטברת. על מנת לנסות ולהבין מה הגורם לשגיאה בחנו את תוצאות המודל כאשר פרמטרי הקצבים (כניסה ויציאות משני הסוגים) הוזנו בהתאם לערכים על פיהם הוגרלו הנתונים (כלומר קצב כניסה ממוצע של 0.6311 נפגעים בדקה משך שהיית נפטרים ממוצע של 57.26 דקות ומשך שהיית מאושפזים ממוצע של 68.35 דקות). הפלט המתקבל סיפק התאמה טובה כפי שמוצג בגרף הבא :



גרף 13: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה ללא אמידה

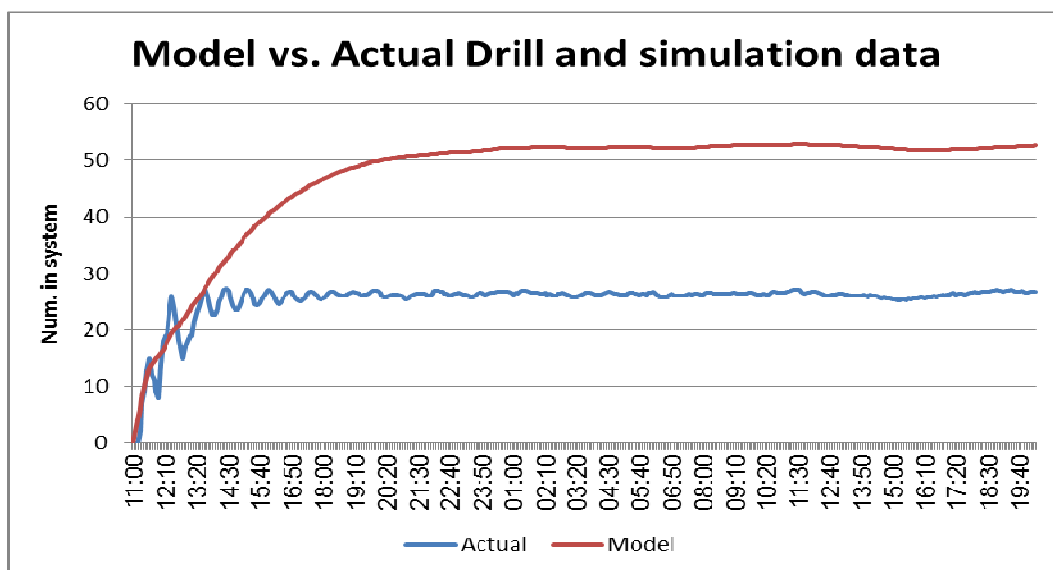
טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=5.2671$

אם כן, הסקנו כי מדובר בבעיה באמידת הפרמטרים. על מנת לאתר את הגורם הבעייתי ביצענו הרצות שונות אשר בכל אחת מהן נאמד רק סוג אחד של פרמטרים. הרצות אלו הניבו את הגרפים הבאים:



גרף 14: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה עם אמידת קצב כניסה בלבד

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=3.4816$

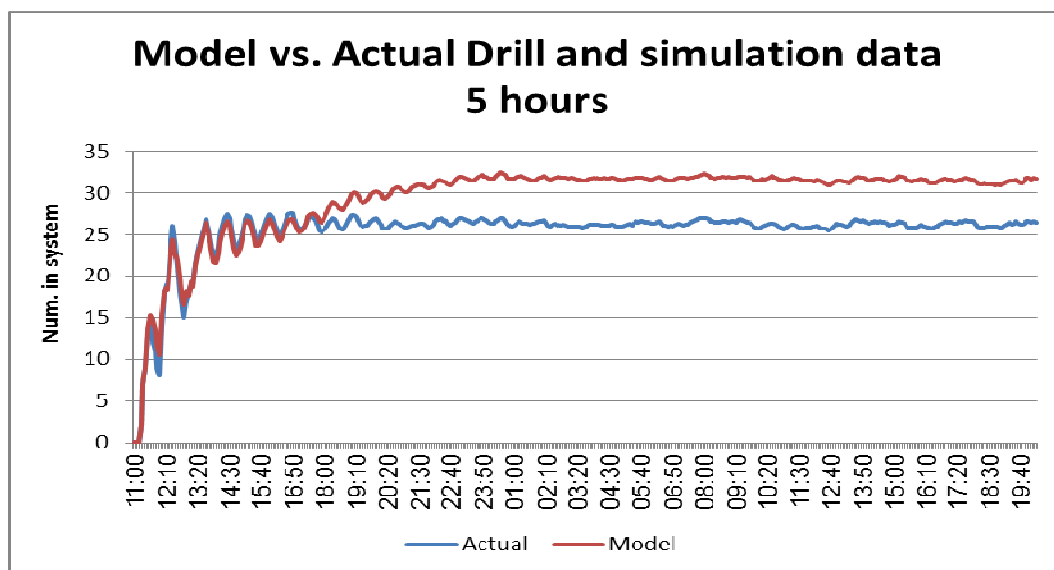


גרף 15: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה עם אמידת משכי שהייה בלבד

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=24.0645$

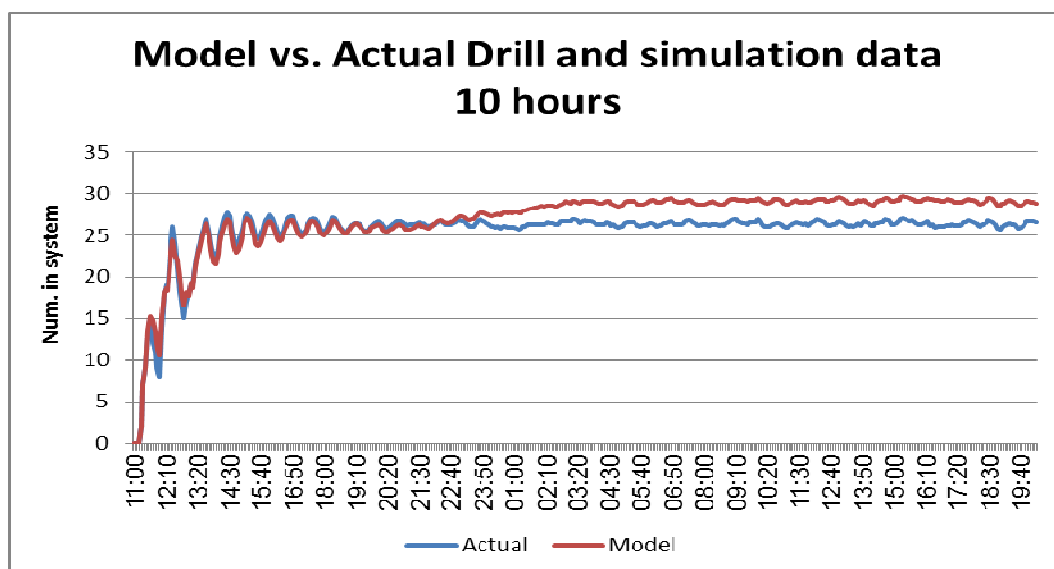
קל לזהות אם כן כי הבעיה טמונה באמידת משכי שהייה. היות והנתונים הוגרלו מהתפלגות אקספוננציאלית אין ספק כי שיטת האמידה מתאימה. אם כן, הצעד המתבקש לשיפור האמידה היה הגדלת המדגם. בכדי לבצע זאת בחנו אמידה המסתמכת על מספר רב יותר של שעות

הקודמות לרגע האמידה. הבדיקה נעשתה עבור משכי זמן בהם מתבצעת אמידה באורך של 5, 10, 15, 20 ו-25 שעות. בדיקה זו הניבה את הגרפים הבאים :



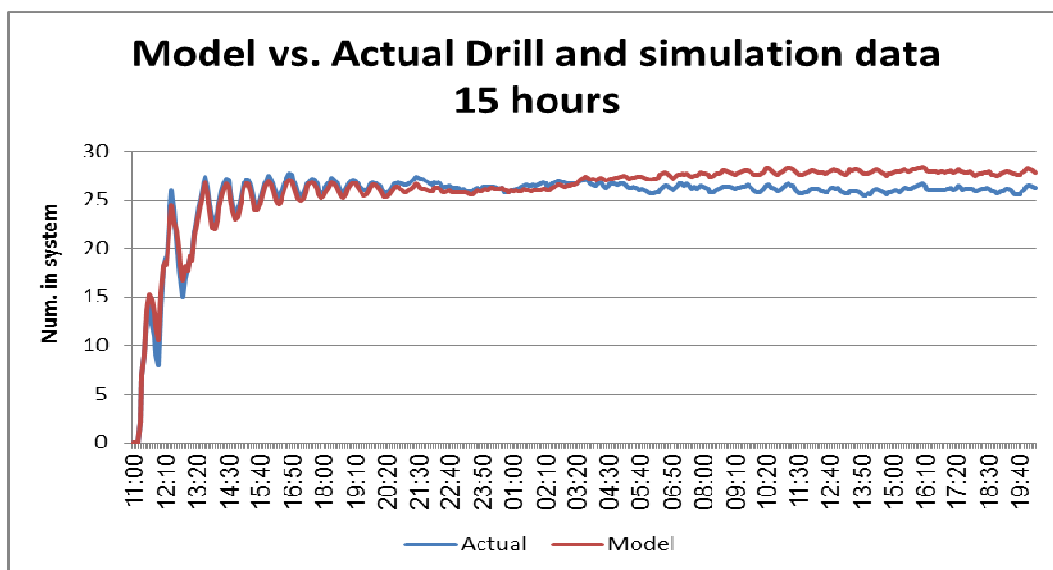
גרף 16: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה תוך שימוש באינטרוולי אמידה של 5 שעות

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=5.7133$



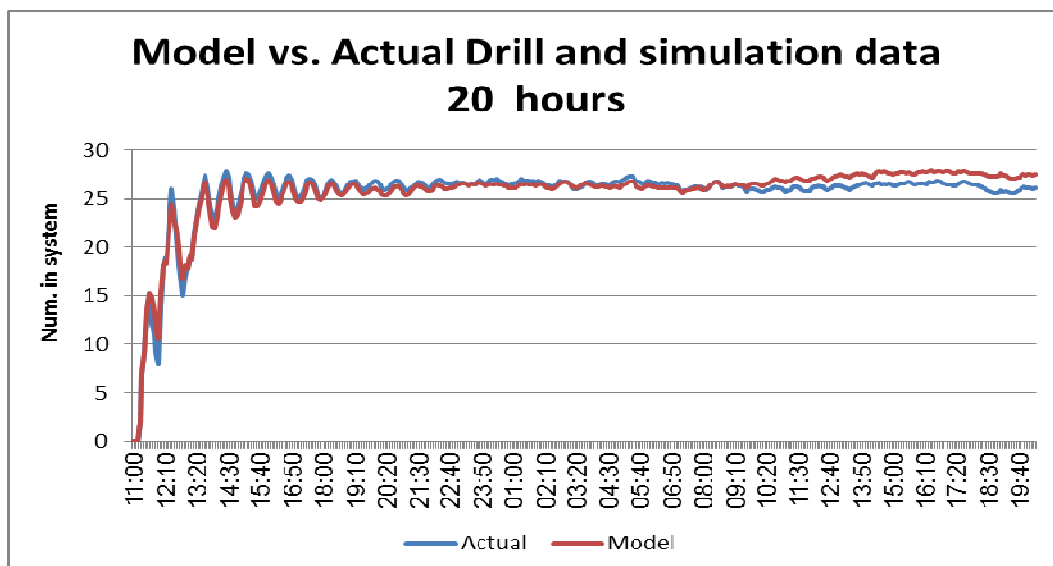
גרף 17: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה תוך שימוש באינטרוולי אמידה של 10 שעות

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=3.9145$



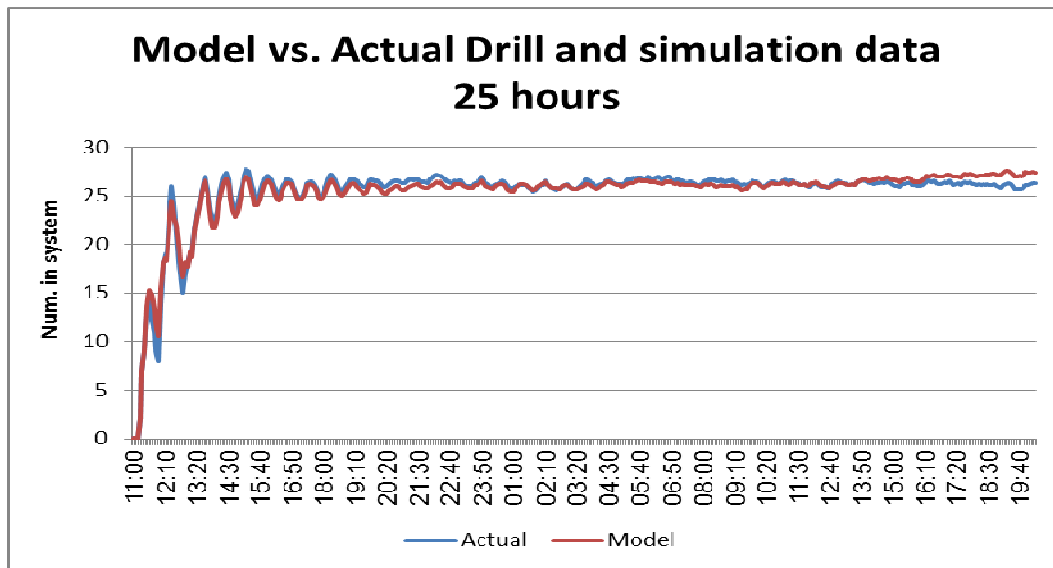
גרף 18: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה תוך שימוש באינטרוולי אמידה של 15 שעות

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE = 3.5479$



גרף 19: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה תוך שימוש באינטרוולי אמידה של 20 שעות

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE = 3.3759$



גרף 20: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה תוך שימוש באינטרוולי אמידה של 25 שעות

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=3.3580$

כצפוי, הגדלת המדגם שיפרה את דיוק האמידים, כאשר ניתן לראות כי עבור אמידה המתבססת על 25 שעות מתקבלת התאמה טובה. עם זאת הגדלת טווח הזמן עליו מתבצעת האמידה פוגעת בגמישות המודל, כמו כן אמידה על בסיס 25 שעות, אינה פרקטית עבור המתאר המדובר.

סיבה אפשרית לצורך במדגם גדול הינה מקדם השתנות גדול יחסית עבור התפלגות אקספוננציאלית.

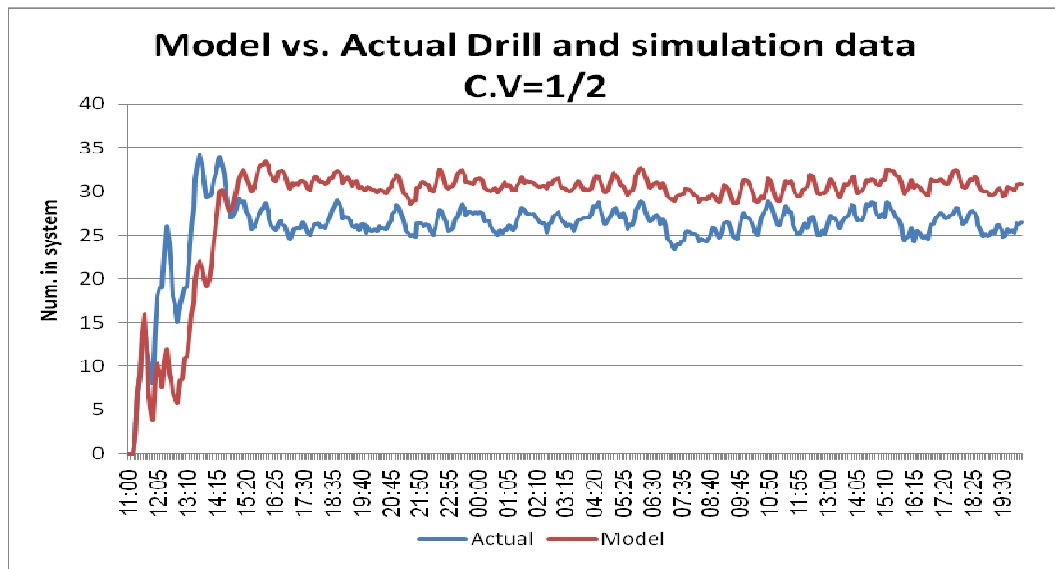
$$X \sim \exp(\lambda) \Rightarrow C.V = 1$$

בחנו את השפעת מקדם ההשתנות על טיב התאמת המודל ע"י בחינת ההתאמה של המודל עבור התפלגויות בעלות אותן ממוצעים (57.26 דקות עבור הנפטרים ו-68.35 דקות עבור המאושפזים) אך עם מקדמי השתנות קטנים יותר. בפרט, בדקנו את התאמת המודל עבור משכי זמן שהוגרלו מהתפלגות גמא -

$$X \sim \text{Gamma}(\lambda, n) \Rightarrow C.V = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

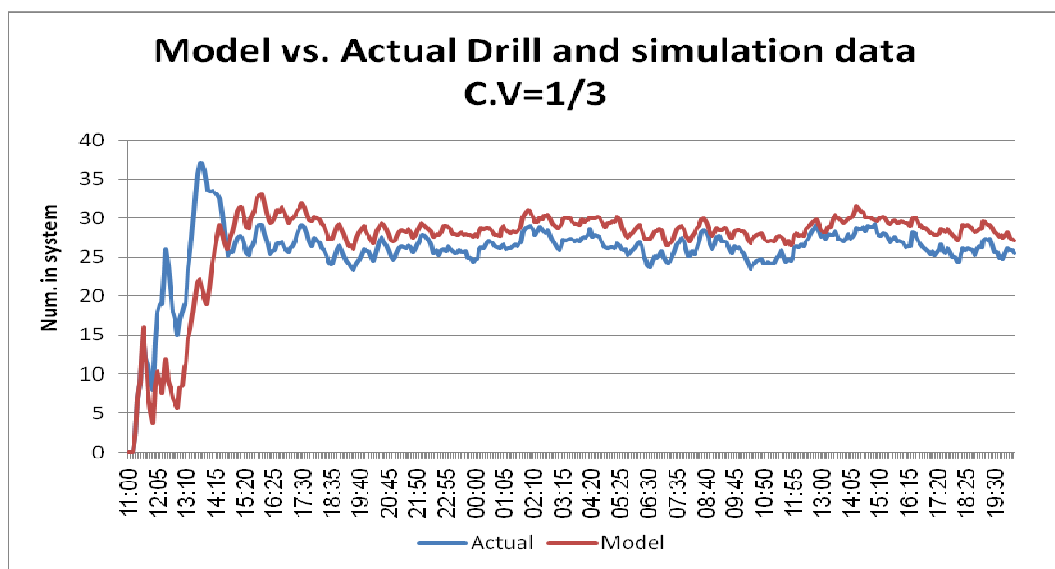
(תוך שמירה על אותו ממוצע)

בצענו סדרת בדיקות עבור התאמת המודל. הגרפים הבאים מציגים את התוצאות עבור $n=4,9,16,25$:



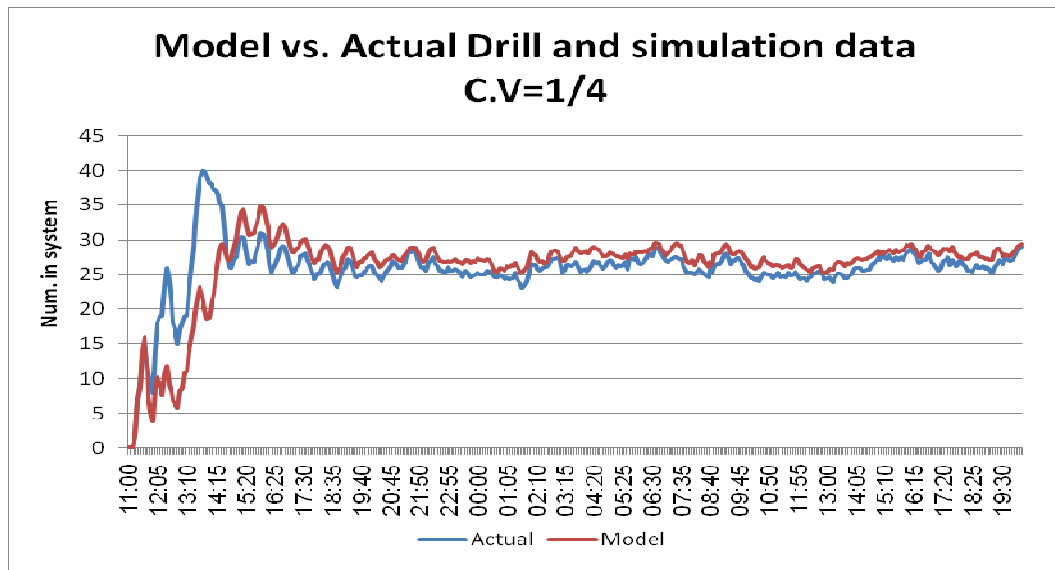
גרף 21: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה עם משכי שהייה המתפלגים גמא עם $n=4$

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=5.7561$



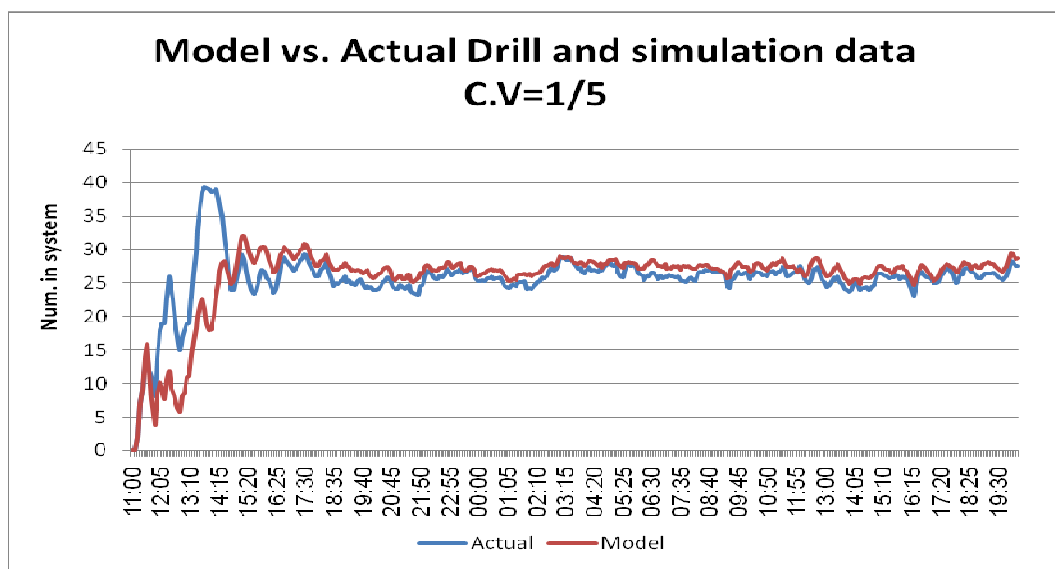
גרף 22: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה עם משכי שהייה המתפלגים גמא עם $n=9$

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=4.6826$



גרף 23: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה עם משכי שהייה המתפלגים גמא עם $n=16$

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=4.6205$



גרף 24: השוואת מודל נבחר עבור נתוני תרגיל וסימולציה עם משכי שהייה המתפלגים גמא עם $n=25$

טיב ההתאמה המתקבל $RMSE=4.5898$

כמו כן ניתן לראות כיצד מדד טיב ההתאמה ה- $RMSE$ קטן עם הגדלת הפרמטר n . כאמור, הנתונים שבידינו לא בהכרח ישקפו את המציאות, ובפרט משכי השירות נקבעו אקראית במהלך התרגיל. בהתאם להערכות שבידינו, משכי שהייה של הנפטרים ובעיקר של המאושפזים יהיו בעלי השתנות נמוכה. כך שלמעשה המודל שהתאמנו יספק התאמה טובה לתיאור הנתונים.

על כן המודל בו בחרנו מתייחס לשני תהליכים נפרדים באתר הטיפול: תהליך של נפטרים ותהליך של מאושפזים. על כן משוואת המודל הנבחר הינה:

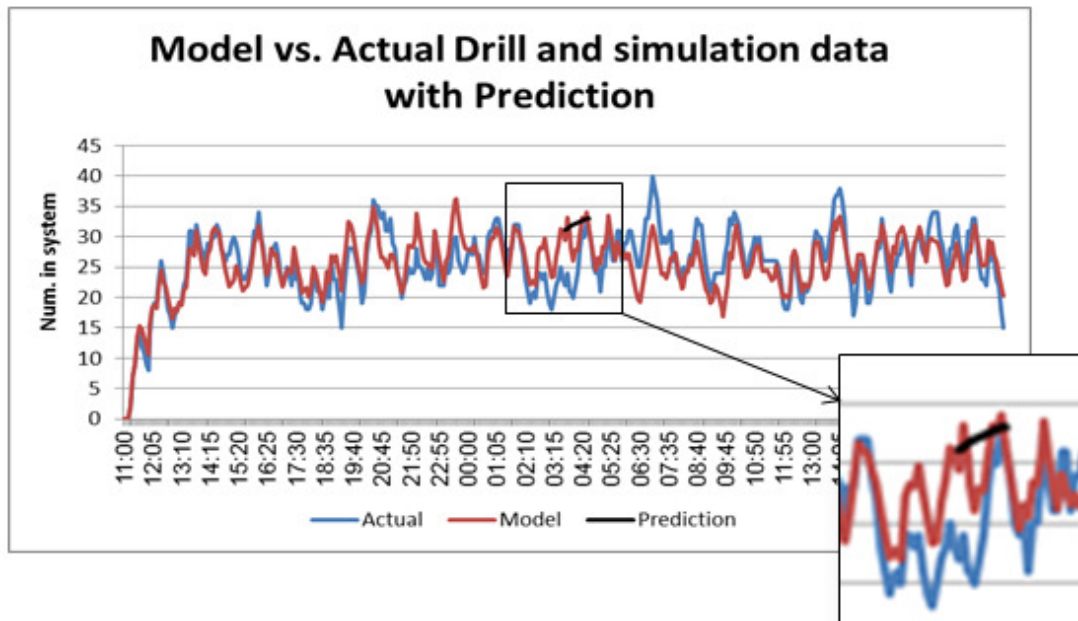
$$Q(t_n) = Q(t_{n-1}) + \lambda(t_{n-1}) \cdot \Delta t - \mu_D(t_{n-1}) \cdot \Delta t - \mu_A(t_{n-1}) \cdot \Delta t$$

$$\mu_A(t_{n-1}) = \frac{Q(t_{n-1}) \cdot p_A(t_{n-1})}{\hat{T}_A(t_{n-1})} \text{ ו } \mu_D(t_{n-1}) = \frac{Q(t_{n-1}) \cdot p_D(t_{n-1})}{\hat{T}_D(t_{n-1})} \text{ כאשר}$$

6.1.3 תחזיות

מטרת המערכת אותה אנו בונים הינה לשמש את מנהל אירוע החל"כ בעת אירוע. בהתאם לראיון עם מנהל המלר"ד (אשר בעת אירוע חל"כ ישמש כמנהל האירוע) תחזיות לגבי מצב בית החולים תהיינה רלוונטיות החל מטווח של שעה קדימה, כלומר תחזיות למשך זמן קצר יותר לא תאפשרנה מרחב החלטה ופעולה מספיקים. כמובן שבאופן אידיאלי נרצה לספק תחזית לפרק זמן ארוך ככל שאפשר, אך סביר להניח כי ככל שנאריך את זמן החיזוי טיב התחזית יקטן. כמו כן, במתאר הספציפי סביר להניח שבטווח של שעה לא נצפה בשינויים דרסטיים בפרמטרים המאפיינים את המערכת. על כן, יצירת והתאמת התחזית נעשו לטווח של שעה קדימה. כאמור, יצירת התחזית תתבסס על שימוש במודל התפעולי שהותאם. כדי להשתמש במודל ליצירת תחזית עלינו להזין את פרמטרים לשעה הקרובה ובאופן איטרטיבי, לקבל את הפלט ואף להשתמש בו לאיטרציה הבאה. אם כן, נותר לבחון את שיטות ניבוי הפרמטרים הנדרשים למודל.

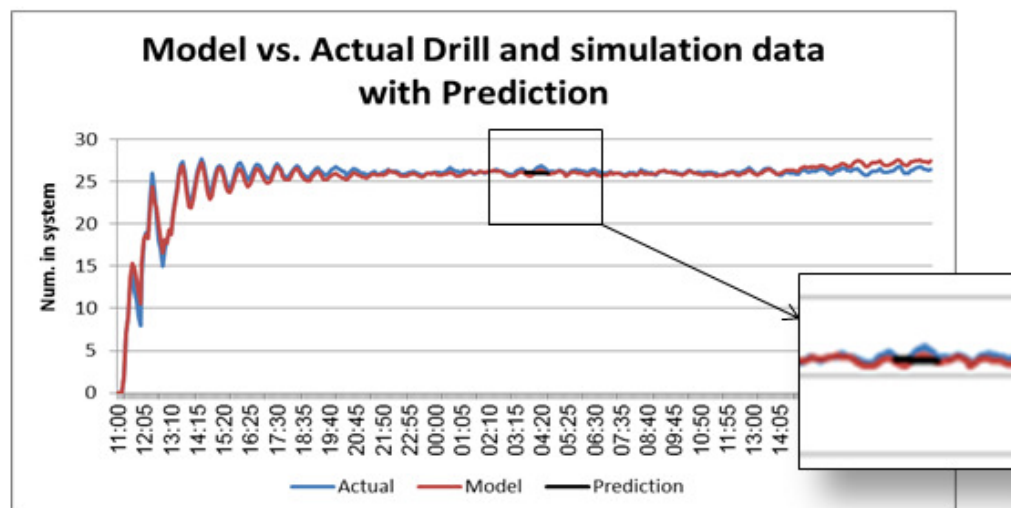
בשלב הראשון בחנו שימוש בממוצע הפרמטרים עבור השעה האחרונה. כלומר בפועל מחשבים את ממוצע קצב ההגעה, ממוצע משכי השהייה ופרופורציית החלוקה לסוגי נפגעים ממוצעת. עבור כל אינטרוול מזינים את הממוצעים הנ"ל ואת כמות הנפגעים באינטרוול הקודם - כאשר באיטרציה הראשונה כמות הנפגעים שתוזן היא כמות הנפגעים שהתקבלה בפועל באינטרוול הקודם ולאחריה כמות הנפגעים תוזן בהתאם לכמות שהתקבלה מהתחזית. שימוש בשיטה זו עבור נתוני התרגיל והסימולציה (עבור משכי שהייה אקספוננציאליים הנאמדים לאורך 25 שעות) הניב את הגרף הבא עבור ריאליזציה בודדת:



גרף 25: המודל הנבחר עם תחזית מבוססת ממוצעי השעה האחרונה

טיב ההתאמה המתקבל (עבור האינטרוולים בהם הוצגה התחזית) $RMSE=7.7767$

ואת הגרף הבא עבור ממוצע של 300 ריאלוציות:



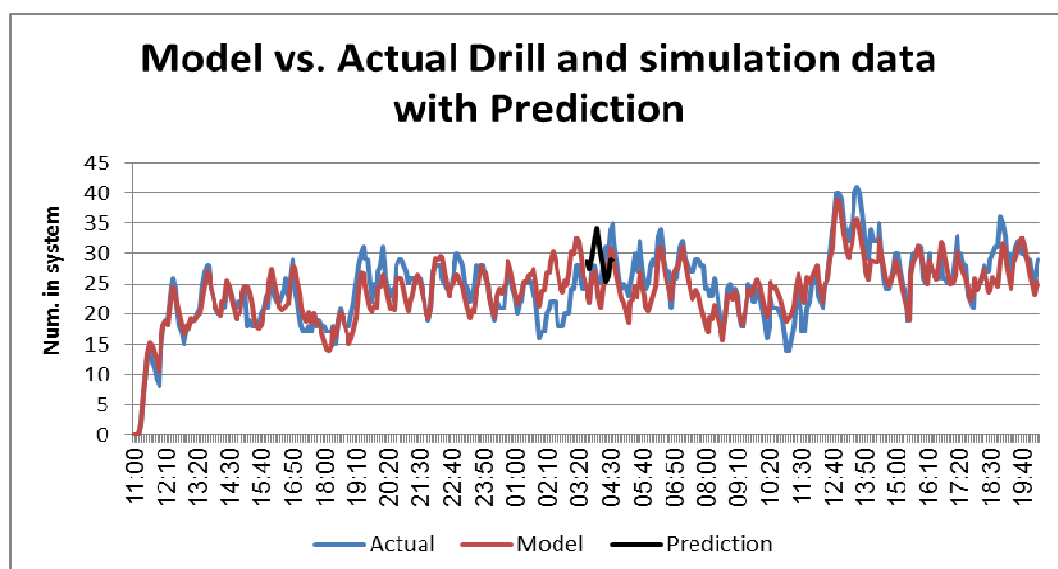
גרף 26: המודל הנבחר עם תחזית מבוססת ממוצעי השעה האחרונה (ממוצע על פני 300 הרצות)

טיב ההתאמה המתקבל (עבור האינטרוולים בהם הוצגה התחזית) $RMSE=5.3009$

ניתן לומר כי ההתאמה המתקבלת הינה ברמה סבירה, עם זאת נרצה לקבל התאמה טובה יותר.

על מנת לשפר את טיב התחזית שבידינו נשתמש במידע אשר קיים לנו אודות תבנית ההגעות. כאמור, ההגעות לאתר הקשים (וסביר שגם לשאר האתרים) מתרחשות לפי תבנית אופיינית כך שההגעות מתרחשות במרוכז בפרקי זמן מסוימים אשר ביניהם ישנם פרקי זמן המהווים הפסקות. מידע זה יכול לשפר את איכות התחזית ע"י התאמת חיזוי קצב ההגעה לתבנית. על מנת לבצע זאת עלינו לאתר תחילה באיזה אינטרוול זמן אנו נמצאים (הגעות או הפסקה), אח"כ למדוד את משך הזמן שאינטרוול זה נמשך עד כה ובהתאם לכך ליצור את התחזית כך שתמשיך את התבנית בהתאם. כמו כן, כמות הנפגעים המגיעים באינטרוול תוגרל מהתפלגות פואסון עם ממוצע הגעות המתאים לזה שנאמד באינטרוולי ההגעה הקודמים. ובנוסף משכי השהייה שיוזנו במודל עבור השעה הקרובה יהיו הקצבים שנאמדו בשעה שלפני התחזית (עבור כל אינטרוול בהתאמה).

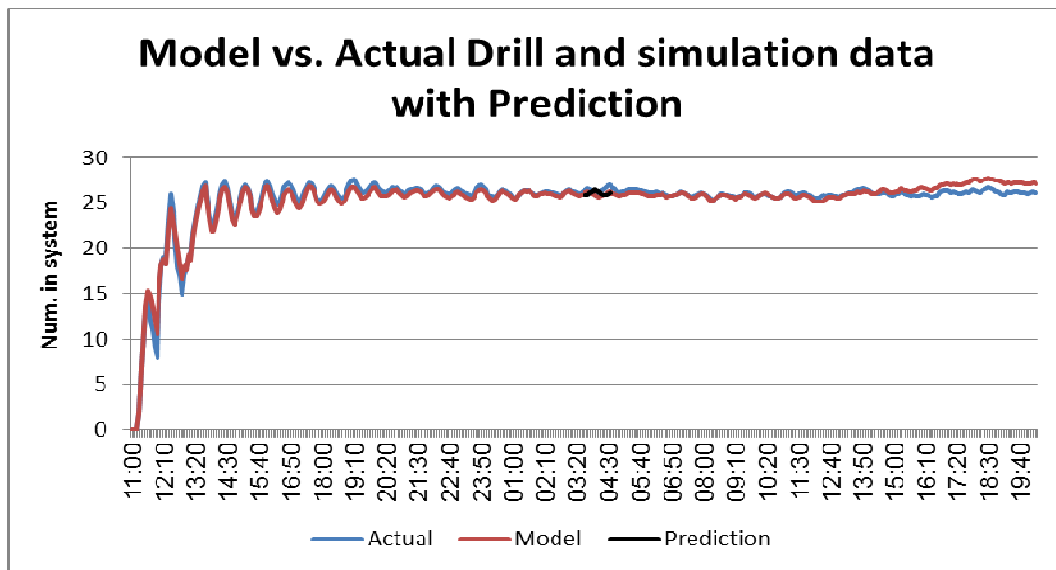
יישום גישה זו נעשה תחילה עבור נתוני התרגיל המורחבים (בתוספת הסימולציה), כך שלמעשה משכי אינטרוולי ההגעות וההפסקות נקבעו על ידינו והוזנו כפרמטר עבור אלגוריתם התחזית. התוצאות שהתקבלו עבור ריאליזציה בודדת מוצגות בגרף הבא :



גרף 27: המודל הנבחר עם תחזית מבוססת תבנית ההגעות

טיב ההתאמה המתקבל (עבור האינטרוולים בהם הוצגה התחזית) $RMSE=5.2499$

ועבור ממוצע על פני 300 ריאליזציות :

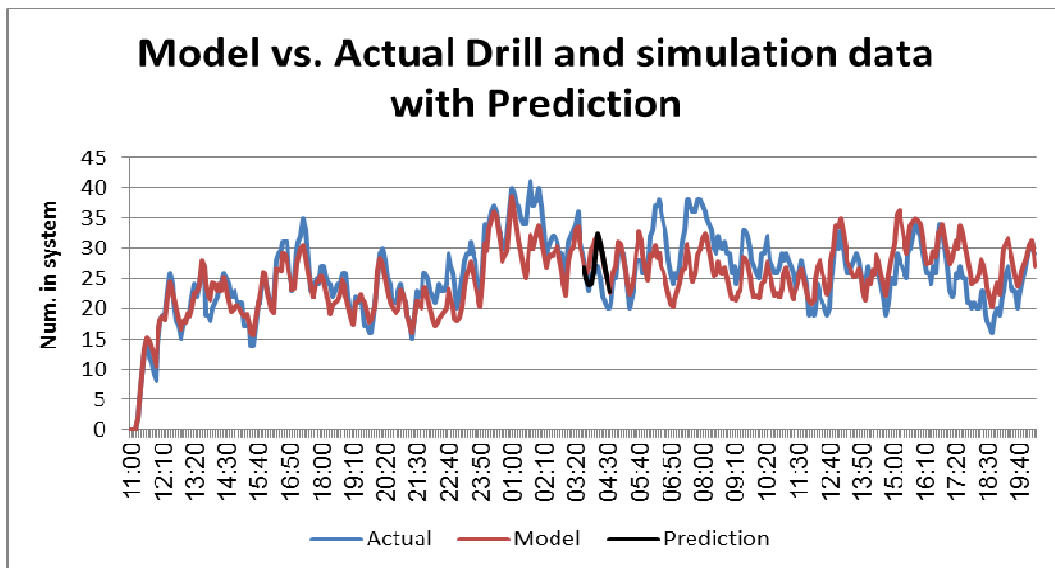


גרף 28: המודל הנבחר עם תחזית מבוססת תבנית ההגעות (ממוצע על פני 300 הרצות)

טיב ההתאמה המתקבל (עבור האינטרוולים בהם הוצגה התחזית) $RMSE=4.8761$
ניתן לראות כי ההתאמה המתקבלת טובה.

היות ואין נתונים על מצב אמת, אין באפשרותנו להזין את אורכי האינטרוולים כפרמטרים במערכת עבור מצב אמת. על כן נדרשנו למצוא דרך להעריכם בזמן אמת. למעשה אינטרוול אשר בו לא מתקיימות הגעות מהווה כעין זמן בין מופעי ארוך במיוחד, בניגוד לזמנים הבין מופעיים באינטרוולי ההגעות. על כן אם נבחן את כל הזמנים הבין מופעיים נוכל להפריד בין 2 סוגי תצפיות. כדי לבצע הפרדה זו באופן סיסטמתי ללא תלות בהתפלגויות וממוצעי משכי האינטרוולים בחרנו בגישה כללית בשימוש באלגוריתם קלאסטרינג (הקבצה) k-means ובפרט עבור מקרה זה 2-means. בעזרת השימוש באלגוריתם אנו יכולים לסווג כל משך זמן בן מופעי באופן חד ערכי לאחת הקבוצות. באופן זה אנו יכולים לאמוד את ממוצע זמן ההפסקה. אמידת ממוצע משך אינטרוול ההגעות מתבצע ע"י מדידת הזמנים בין ההפסקות.

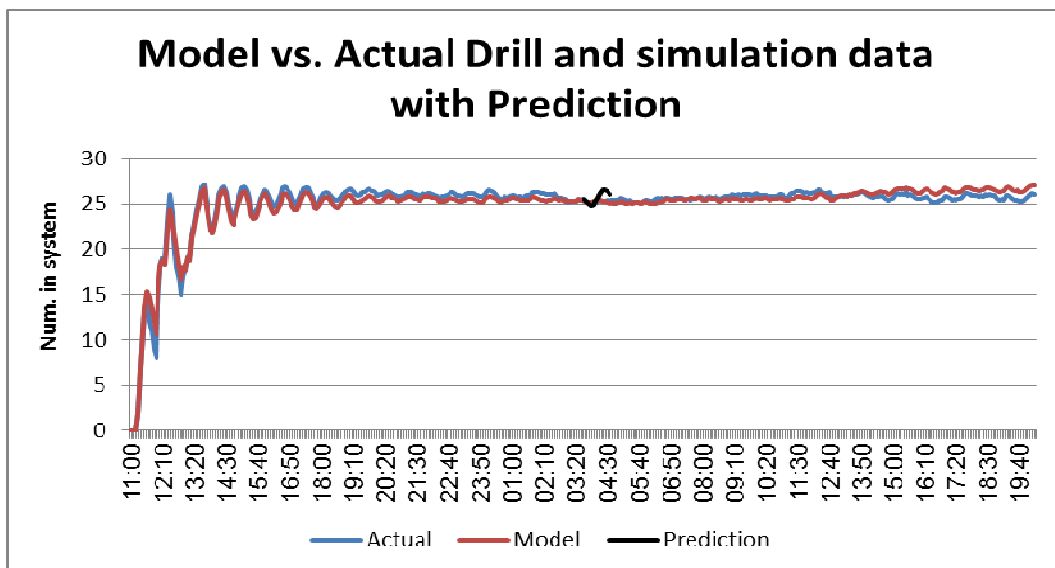
שימוש באלגוריתם זה הניב את הגרף הבא עבור ריאליזציה בודדת:



גרף 29: המודל הנבחר עם תחזית מבוססת תבנית ההגעות עם אמידת משכי חלקי התבנית

טיב ההתאמה המתקבל (עבור האינטרוולים בהם הוצגה התחזית) $RMSE=3.8122$

ועבור ממוצע על פני 300 ריאליזציות:

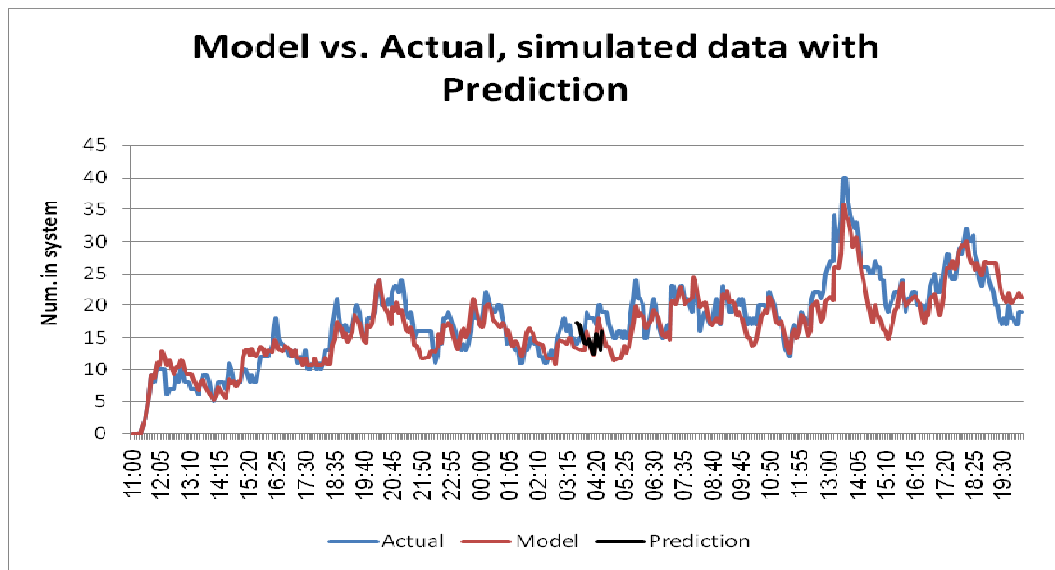


גרף 30: המודל הנבחר עם תחזית מבוססת תבנית ההגעות עם אמידת משכי חלקי התבנית (ממוצע על פני 300 הרצות)

טיב ההתאמה המתקבל (עבור האינטרוולים בהם הוצגה התחזית) $RMSE=5.1574$

ניתן לראות שהתקבלה התאמה דומה לזו שהתקבלה עבור נתונים אלו ללא שימוש באלגוריתם. אך כדי לבחון התאמה רחבה יותר בחנו אלגוריתם זה על נתוני הגעות שהתקבלו משימוש במודל הסימולציה שנבנה לתיאור תהליך הכניסה לאתר הקשים.

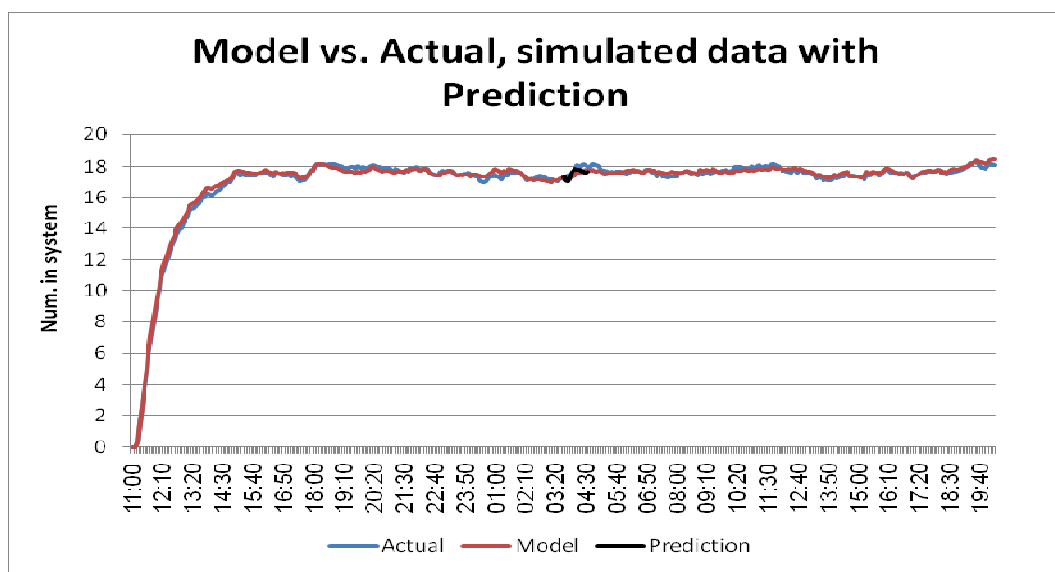
תוצאות השימוש בשיטה זו על פני ריאליזציה בודדת מוצגות בגרף הבא :



גרף 31: יישום הגישה הנבחרת עבור נתונים שהתקבלו מסימולציית תהליך הכניסה

טיב ההתאמה המתקבל (עבור האינטרוולים בהם הוצגה התחזית) $RMSE=4.0089$

ובאופן ממוצע על פני 300 ריאליזציות :



גרף 32: יישום הגישה הנבחרת עבור נתונים שהתקבלו מסימולציית תהליך הכניסה (ממוצע על עפני 300 הרצות)

טיב ההתאמה המתקבל (עבור האינטרוולים בהם הוצגה התחזית) $RMSE=4.8674$

לסיכום, המודל התפעולי שהותאם מתייחס ל-2 תהליכים שונים : אחד עבור נפטרים והשני עבור מאושפזים. האמידה המתבצעת הינה אי פרמטרית ומתאימה לכל התפלגות כאשר הגורם העיקרי המשפיע על טיבה הוא מקדם ההשתנות של ההתפלגות. ניבוי הפרמטרים אף הוא אינו מניח דבר על ההתפלגויות השונות ומשתמש בממוצעים על פני תקופת הזמן האחרונה תוך התאמה לתבנית ההגעות המתקבלת באמצעות אמידתה בגישה לא פרמטרית.

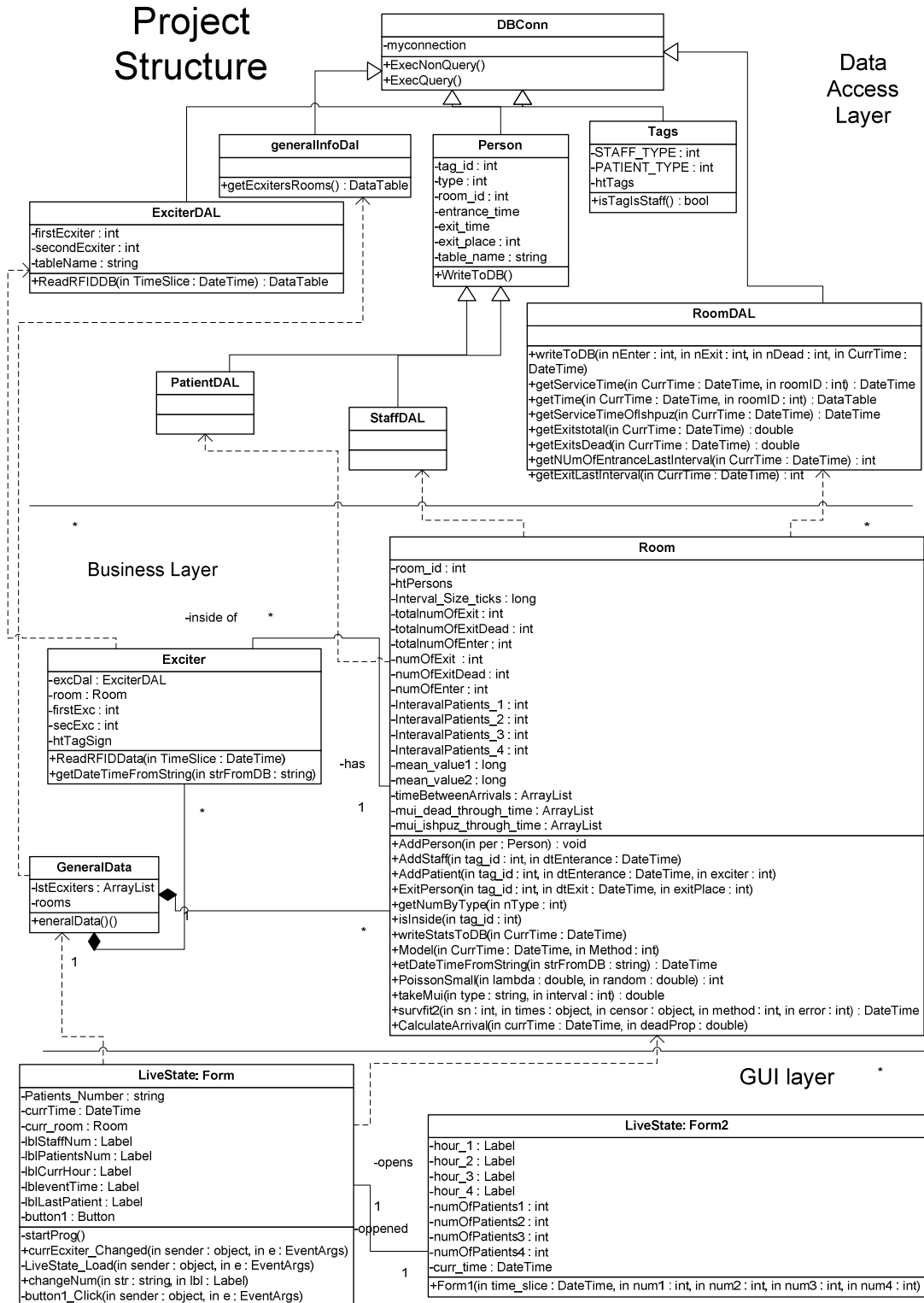
6.2 היבט מערכות מידע

6.2.1 מתודולוגיות פיתוח

ארכיטקטורת המערכת

המערכת מיושמת לפי הפרדיגמה תכנות מונחה עצמים. כמו-כן השתמשנו בתבנית עיצוב 3-Tier Pattern בחלוקה לשכבות הבאות:

- Data Access Layer – מחלקות שקוראות/כותבות למסד הנתונים
- Business Layer – מחלקות המנהלות את התהליכים במערכת
- GUI Layer – מחלקות המהוות את הממשק למשתמש



תרשים 3: UML המתאר את ארכיטקטורת המערכת

כלים לפיתוח המערכת

בפיתוח המערכת השתמשנו בכלים והטכנולוגיות הבאות:

- סביבת הפיתוח הינה Visual Studio של חברת מיקרוסופט
- שפת התכנות היא C#
- מסד נתונים SQL Server המאפשר ליצור פרויקט המשלב את מסד הנתונים של חברת ארוסקאוט (נתוני ה-RFID).

6.2.2 לוגיקה

לוגיקה להחלטה על כניסה/יציאה מחדר

בכל חדר מסומנות הכניסות והיציאות באמצעות רצף של שני exciter-ים. במערכת התייחסנו לשני ה-exciter-ים כיחידה לוגית אחת. כאשר תג נכנס/יוצא מהחדר הוא עובר מתחת לשני ה-exciter-ים לפי הסדר שהם ממוקמים בחדר. המערכת עוברת על הרשומות, כאשר מזהה כי תג עבר ב-exciter הראשון מבין השניים, התג נשמר בטבלת גיבוב (hash table). אם המערכת מזהה כי מדובר ב-exciter השני, כלומר, התג נמצא בטבלת הגיבוב, מתבצעת השוואה של השעות בהן כל exciter מהזוג ביצע עירור לתג. השוואה זו מאפשרת להחליט האם התג נכנס או יצא מהחדר. בעת השלמת הכניסה/היציאה התג נמחק מטבלת הגיבוב.

לוגיקה לאחסון מספר האנשים בחדר בכל רגע

כל חדר מאופיין בעזרת טבלת גיבוב המכילה את אנשי הצוות והנפגעים שנמצאים בחדר בכל רגע נתון. המפתח (key) הינו מזהה חח"ע של התג והערך (value) הינו מחלקה המייצגת אדם (נפגע או צוות). טבלת החדר מתעדכנת בהתאם ללוגיקה שתוארה לעיל לכניסה ויציאה מהחדר.

שמירת הנתונים על הנפגעים עבור חישוב התחזית

על מנת להשתמש במודל התפעולי בזמן אמת, יש לשמור נתונים תפעוליים על הנפגעים השונים. הנתונים התפעוליים הנדרשים לחישוב התחזית נשמרים בשתי טבלאות במסד הנתונים:

- **שמירת נתונים על נפגע לאחר יציאה מחדר הטיפול** – טבלה זו שומרת תיעוד על כל הנפגעים שיצאו מחדר קשים. לאחר שנרשמת יציאה כמו שהוסברה בלוגיקה לעיל, אנו שומרים את הנתונים עבור הנפגע: זיהוי התג, שעת הכניסה לחדר, שעת היציאה מהחדר וזיהוי אזור היציאה (חדר מתים/אשפוז).

taq id	enterance time	exit time	exit place	room id
64	27-May-2010 11:18:18 AM	27-May-2010 11:31:04 AM	1	1
61	27-May-2010 11:31:47 AM	27-May-2010 11:40:50 AM	1	1
47	27-May-2010 11:33:54 AM	27-May-2010 11:40:57 AM	1	1
62	27-May-2010 11:21:34 AM	27-May-2010 11:41:06 AM	1	1
69	27-May-2010 11:23:17 AM	27-May-2010 11:42:38 AM	2	1
68	27-May-2010 11:31:50 AM	27-May-2010 11:48:18 AM	2	1

טבלה 2: טבלת patients במסד נתונים

- **שמירת נתונים לכל אינטרוול קבוע של זמן** - בסיומו של כל אינטרוול זמן נשמרים נתונים שנאספו באינטרוול שהסתיים: זמן האינטרוול שנגמר, כמות הכניסות, כמות היציאות סה"כ, מספר היציאות לאשפוז, מספר היציאות לחדר המתים, משך זמן שהייה ממוצע עבור נפגעים שיצאו לאשפוז ומשך זמן שהייה ממוצע עבור נפגעים שיצאו לחדר המתים.

create time	enter num	exit num	exit dead	death stats	ishpuz stats
27-May-2010 11:20:00 AM	2	0	0	01-Jan-1900 12:00:00 AM	01-Jan-1900 12:00:00 AM
27-May-2010 11:25:00 AM	5	0	0	01-Jan-1900 12:00:00 AM	01-Jan-1900 12:00:00 AM
27-May-2010 11:30:00 AM	2	0	0	01-Jan-1900 12:00:00 AM	01-Jan-1900 12:00:00 AM
27-May-2010 11:35:00 AM	5	1	1	01-Jan-1900 12:12:46 AM	01-Jan-1900 12:00:00 AM
27-May-2010 11:40:00 AM	2	0	0	01-Jan-1900 12:00:00 AM	01-Jan-1900 12:00:00 AM
27-May-2010 11:45:00 AM	1	4	3	01-Jan-1900 12:11:52 AM	01-Jan-1900 12:19:20 AM

טבלה 3: טבלת PROJECTstats במסד נתונים

6.2.3 ניקוי וטיוב הנתונים

כפי שהוצג בממצאים, בבדיקת הנתונים לאחר התרגיל, התגלו מגוון שגיאות בקלט (נספח 8). אפיינו את השגיאות וביצענו תעדוף לטיפול על בסיס השכיחות במסד הנתונים. להלן השגיאות שנמצאו (מסודרות לפי שכיחות הופעתן):

- 1) קריאות מרובות מאותו exciter
 - 2) יציאה כפולה (או מרובה)
 - 3) כניסה כפולה (או מרובה)
 - 4) שימוש כפול בתג (לאחר יציאת נפגע השתמשו פעם נוספת בתג לנפגע אחר)
 - 5) כניסה מחדר המתים חזרה לאתר קשים (לאחר יציאת נפגע לחדר המתים)
 - 6) נתונים לא רלוונטיים לתרגיל (מיום התקנת המערכת)
 - 7) קריאות מתגים שאוחסנו בארגז שהונח קרוב מידי ל-exciter
- חמשת השגיאות הראשונות הן השגיאות השכיחות ביותר ויתכן כי יופיעו במצב אמת, לכן תכננו את המערכת כך שתטפל בשגיאות האלו online, בזמן ריצת המערכת. שתי השגיאות האחרונות הינן טעויות הנובעות מתפעול המערכות ביום התרגיל. שגיאות אלו טופלו offline באופן חד פעמי, לפני הרצת המערכת.

לוגיקת הטיפול בשגיאות:

1) קריאות מרובות מאותו exciter

בהתאם ללוגיקה שתוארה לעיל, עבור כל תג שמבצע עירור אנו בודקים אם ה-exciter שווה או שונה ל-exciter ששמור לתג בטבלת הגיבוב המתאימה. תג שעבורו התבצעה קריאה עם exciter זהה למה ששמור בטבלה (קריאה מרובה) אנו דורסים את הקריאה הקודמת ומתייחסים למעודכנת ביותר (מתאימים את הזמן השמור לזמן הקריאה האחרונה).

(2) יציאה כפולה (או מרובה)

עבור המקרה של יציאה, אנו מוודאים כי התג המיועד ליציאה נמצא בחדר, בהינתן ונמצא בחדר נרשמת יציאה. כאשר מתבצעת יציאה נוספת, הבדיקה מראה כי אין התג בחדר ועל כן לא תירשם לו יציאה נוספת (בהתאם מרובה).

(3) כניסה כפולה (או מרובה)

עבור המקרה של כניסה לחדר ניישם לוגיקה דומה. אנו בודקים כי התג לא נמצא בטבלת הגיבוב אשר שומרת את הנפגעים בחדר, במקרה והתג אינו נמצא בטבלה נרשמת כניסה והתג מתווסף לטבלה. כאשר מתבצעת כניסה נוספת, אנו נבדוק ונמצא כי התג רשום בטבלה, על כן לא תירשם לו כניסה נוספת (בהתאם מרובה).

(4) שימוש כפול בתג

הלוגיקה מיישמת פתרון מודולרי ומיועדת לטפל בטעויות אנוש שיכולות להיווצר. המערכת מאפשרת שימוש כפול באותו התג מכיוון שאין אנו משתמשים בזהות התג כמפתח לרישום נפגע/צוות רפואי במסד הנתונים. לכן במקרה ומשתמשים באותו התג פעם נוספת הוא נחשב כרשומה חדשה ועל כן לא מהווה שגיאה.

(5) כניסה מחדר המתים חזרה לאתר קשים

על מנת להתמודד עם שגיאה זו, בעת כניסה, אנו בודקים כי שני התנאים מתקיימים: התג אינו שייך לנפגע והכניסה אינה מתבצעת מחדר מתים לאתר קשים (נאפשר לצוות רפואי להיכנס לאתר קשים מחדר המתים).

בעזרת הלוגיקה הזו לא נרשום כניסה לנפגע שהוצא לחדר מתים וחזר לאתר קשים, ונאפשר שימוש נוסף בתג ששייך לנפגע שהוצא לחדר מתים.

לאחר מימוש אלגוריתם ניקוי הנתונים, רצינו לבדוק האם הניקוי שביצענו תואם את התוצאות שהתקבלו במעבדה. הבדיקה נעשתה על מדגם של נפגעים המכיל את כל השגיאות המתוארות. כמו-כן העיבוד שהתבצע במעבדה הינו ניקוי ידני לתגי נפגעים בלבד.

הטבלה (בניסוד התנונים) הניתנת בלתי כהניערכת		
tag id	enterance time	exit time
64	27-May-2010 11:18:19 AM	27-May-2010 11:31:04 AM
61	27-May-2010 11:31:48 AM	27-May-2010 11:40:50 AM
62	27-May-2010 11:21:34 AM	27-May-2010 11:41:06 AM
48	27-May-2010 12:02:02 PM	27-May-2010 12:33:10 PM
1	27-May-2010 12:12:47 PM	27-May-2010 12:35:33 PM
15	27-May-2010 12:01:16 PM	27-May-2010 12:37:16 PM
72	27-May-2010 11:37:15 AM	27-May-2010 12:40:17 PM
65	27-May-2010 12:21:06 PM	27-May-2010 12:54:29 PM
49	27-May-2010 12:05:50 PM	27-May-2010 12:13:12 PM
21	27-May-2010 12:23:32 PM	27-May-2010 12:38:27 PM
45	27-May-2010 11:40:51 AM	27-May-2010 12:30:16 PM
13	27-May-2010 11:37:21 AM	27-May-2010 12:57:02 PM
41	27-May-2010 12:04:31 PM	27-May-2010 12:20:40 PM
73	27-May-2010 11:27:11 AM	27-May-2010 12:15:17 PM

SEElab		
tag id	entry time	exit time
64	11:18:19	11:31:04
61	11:31:48	11:40:50
62	11:21:34	11:41:06
48	12:02:02	12:33:10
1	12:12:47	12:35:33
15	12:01:16	12:37:16
72	11:37:15	12:40:17
65	12:21:06	12:54:29
49	12:05:50	12:13:12
21	12:23:32	12:38:23
45	11:40:54	12:30:16
13	11:37:21	12:57:02
41	12:04:31	12:20:40
73	11:27:11	12:15:17

טבלה 4: השוואת כניסות ויציאות

כפי שניתן לראות, הטבלאות מכילות מידע זהה, מכאן שהמערכת מתמודדת עם השגיאות כראוי.

6.2.4 ממשק המשתמש

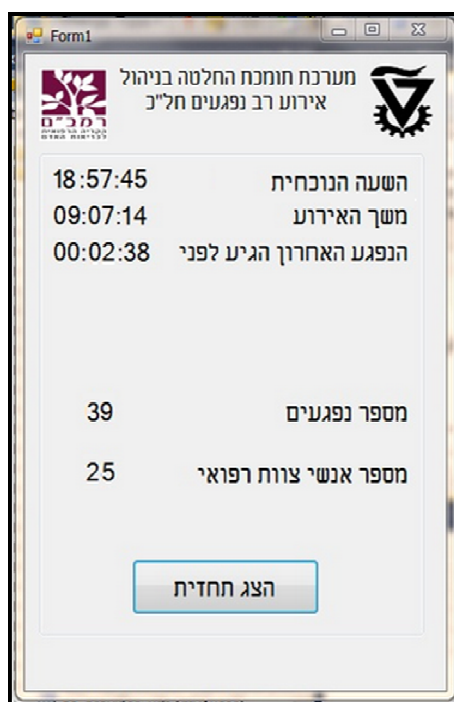
כפי שהוצג בממצאים, מערכות המידע בביה"ח רמב"ם נמצאות בתהליך אפיון לטובת שדרוג המערכות, ולכן פיתחנו ממשק משתמש זמני לצורך השלמת הפרויקט.

הממשק שפיתחנו הינו ממשק גרפי מבוסס windows forms המובנה בסביבת העבודה.

בהתאם לדרישות מנהל האירוע, ממשק המשתמש מציג את המצב הקיים בזמן אמת:

- הזמן שחלף מתחילת האירוע
- הזמן שחלף מרגע כניסת הנפגע האחרון לאתר
- כמות הנפגעים באתר
- כמות הצוות הרפואי באתר

כמו-כן המערכת מחשבת ומציגה תחזית למספר הנפגעים בשעה הקרובה, באינטרוולים קבועים, על בסיס המודל התפעולי שפיתחנו.



מכבים
המלחמה על החלטה

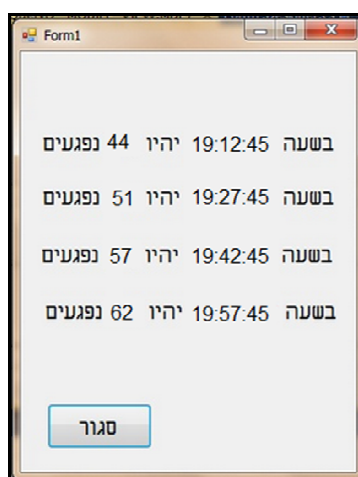
אירוע רב נפגעים חל"כ

השעה הנוכחית 18:57:45
משך האירוע 09:07:14
הנפגע האחרון הגיע לפני 00:02:38

מספר נפגעים 39
מספר אנשי צוות רפואי 25

הצג תחזית

איור 2: צילום מסך של ממשק המשתמש המתאר את המצב הקיים



בשעה 19:12:45 יהיו 44 נפגעים
בשעה 19:27:45 יהיו 51 נפגעים
בשעה 19:42:45 יהיו 57 נפגעים
בשעה 19:57:45 יהיו 62 נפגעים

סגור

איור 3: צילום מסך של ממשק המשתמש – תחזית

7 פתרון

לסיכום, במהלך הפרויקט ביצענו את השלבים הבאים: איסוף נתונים ממגוון מקורות, ניתוח הנתונים באמצעות מידול הפעילויות ואיתור צוואר הבקבוק, התאמת מודל תפעולי – מודל נוזלים שעבר גלגולים והתאמות לתיאור הנתונים, אמידת הפרמטרים בשיטות סטטיסטיות מתקדמות, בחינת המודל בעזרת סימולציה והתאמת תחזית למספר הנפגעים לשעה הקרובה.

כמו-כן בהתאם למטרת הפרויקט בנינו מערכת מידע אשר מקבלת נתונים על כניסות ויציאות תגים בזמן אמת ממערך ה-RFID (תגים לנפגעים וצוות רפואי), מבצעת ניקוי וטיוב לנתונים online על-מנת שיהיו תיאור מדויק לכניסות ויציאות מאתרי הטיפול, מציגה למנהלי האירוע את המצב הקיים בהתאם לדרישותיו, מבצעת ניתוח לנתונים הנאספים בזמן אמת ומיישמת את המודל התפעולי שפיתחנו להצגת תחזיות.

8 דיון ומסקנות

8.1 תרחיש

בנינו ביחד עם מנהל האירוע תרחיש אשר מתאר מצב אמת של אר"ן חל"כ. באמצעות התרחיש נבדוק את שימושיות הפתרון. בתרחיש אפשר לראות באופן מוחשי את התרומה של המערכת שבנינו להתמודדות עם אירוע מסוג זה. התרחיש מחולק ל-5 חלקים:

1. מצב האירוע בפועל – כל המידע על המתרחש, כולל מידע שלא ידוע בחדר הפיקוד.
2. מצב האירוע כפי שרואה אותו מנהל האירוע כיום, ללא המערכת שפיתחנו.
3. החלטת מנהל האירוע בהתבסס על המידע ללא המערכת והתוצאות של אותן החלטות.
4. מצב האירוע כפי שרואה אותו מנהל האירוע, עם המערכת שפיתחנו.
5. החלטת מנהל האירוע בהתבסס על המידע עם המערכת והתוצאות של אותן החלטות.

להלן החלקים:

1. מצב האירוע בפועל

חדר	כמות נפגעים ברגע זה	אנשי צוות ברגע זה	כמות נפגעים בעוד שעה	אנשי צוות נדרשים בעוד שעה
קשים	39	25	59	30
בינוניים	75	17	93	24
קלים	92	11	132	14

טבלה 5: כמויות הנפגעים ואנשי הצוות בפועל

- 9 שעות מתחילת האירוע
- 4 נפגעים קשה הגיעו ב 10 הדקות האחרונות
- 6 נפגעים קשה, מטופלים כרגע בתהליך ההגעה לאתר, ויגיעו בזמן הקרוב לאתר קשים
- 2 אמבולנסים נמצאים בדרכם לביה"ח, הם יגיעו בעוד 2 דק'
- באמבולנס אחד יש 1 נפגע קשה + 2 קלים
- באמבולנס השני יש 1 נפגע בינוני + 2 קלים

2. מצב האירוע כפי שרואה אותו מנהל האירוע, ללא המערכת שפיתחנו.

חדר	כמות נפגעים ברגע זה (בפועל)	אנשי צוות ברגע זה (בפועל)	כמות נפגעים בעוד שעה (בפועל)	אנשי צוות נדרשים בעוד שעה (בפועל)
קשים	35 (39)	23 (25)	47 (59)	24 (30)
בינוניים	70 (75)	15 (17)	98 (93)	25 (24)
קלים	86 (92)	15 (11)	126 (132)	13 (14)

טבלה 6: כמויות הנפגעים ואנשי הצוות ללא המערכת

- מנהל האירוע יודע שצריכים להגיע 2 אמבולנסים בדקות הקרובות ואת הרכב החולים בהם.

3. החלטת מנהל האירוע בהתבסס על המידע, ללא המערכת והתוצאות של אותן החלטות.

- עפ"י ההערכות המוקדמות, אשר מסתמכות על כללי אצבע ולא על ההתרחשויות בפועל, קצב הגעת הפצועים הקשים אמור להיות איטי יותר בהשוואה לקצב בפועל. לפי הנחה זו בשעה הקרובה לא ייווצר מחסור במקומות לטיפול בנפגעים קשים חדשים.
- מנהל האירוע רואה שכרגע יש מחסור בכ"א באתר בינוניים ולכן מתגבר את אתר הבינוניים על חשבון אתר הקשים.
- התוצאות:
- בעוד כשעה יגיעו לאתר קשים נפגעים שלא יהיה מקום לקלוט אותם. רק אז תתקבל ההחלטה לפתוח אתר נוסף לקשים וזה יהיה מאוחר מידי.
- פתיחת אתר נוסף אורכת כשעה, כל הזמן הזה הפצועים הקשים שאין להם מקום כרגע ימתינו ללא קבלת טיפול הולם ויתפסו משאבים (למשל המנשים) שבאותו זמן היו צריכים

לקלוט פצועים נוספים, אשר יוצאים מהטיהור. הדבר יגרום לעיכוב תהליך זרימת הפצועים לבית החולים.

- בעוד שעה יהיה מחסור בכ"א בחדר קשים והעברת כ"א מהקשים בשלב זה רק מחמירה את הבעיה.
- עיכוב במתן הטיפול מסכן את חיי הפצועים ולכן החלטה כזאת עלולה לגרום למות של פצועים שהיה אפשר להציל.

4. מצב האירוע כפי שרואה אותו מנהל האירוע, עם המערכת שפיתחנו.

חדר	כמות נפגעים ברגע זה (בפועל)	אנשי צוות ברגע זה (בפועל)	כמות נפגעים בעוד שעה (בפועל)	אנשי צוות נדרשים בעוד שעה (בפועל)
קשים	39 (39)	25 (25)	62 (59)	31 (30)
בינוניים	75 (75)	17 (17)	91 (93)	23 (24)
קלים	92 (92)	11 (11)	126 (132)	13 (14)

טבלה 7: כמויות הנפגעים ואנשי הצוות עם המערכת

- מנהל האירוע יודע שצריכים להגיע 2 אמבולנסים בדקות הקרובות ואת הרכב החולים בהם.
- מקבל מידע מדויק ובזמן אמת על מספר הנפגעים בכל חדר.
- מקבל מידע מדויק ובזמן אמת על כמות הצוות הרפואי בכל חדר.
- מעבר לזה מנהל האירוע מקבל מידע מהמערכת שלנו לגבי מספר הנפגעים אשר צפוי להיות בעוד שעה.

5. החלטת מנהל האירוע בהתבסס על המידע, עם המערכת והתוצאות של אותן החלטות.

- מנהל האירוע רואה שבעוד שעה יהיה מחסור במקומות פנויים בחדר קשים, לכן מחליט לפתוח חדר נוסף לקליטת קשים (פתיחת החדר אורכת כשעה).
 - מנהל האירוע רואה כי בעוד כחצי שעה ייווצר עומס בחדר קשים ולכן יעביר צוותים מחדר בינוניים וקלים לחדר קשים. במקביל הוא רואה שעתיד להיווצר מחסור בכ"א באתרים האחרים ולכן יוזעקו צוותים נוספים לתגבור.
- התוצאה:
- ביה"ח קולט את כל הנפגעים שהגיעו בשעה האחרונה ללא עיכובים.
 - מתאפשר ביצוע הערכת מצב והערכות לשעות הקרובות.

כלומר, בעזרת המערכת, ביה"ח בכלל ומנהל האירוע בפרט שיפרו את ניהול האירוע, נצילות המשאבים, יכולת ההערכות ואף הצילו חיי אדם.

8.2 מבט לעתיד

פרויקט זה מציג בניית מערכת תומכת החלטה לאר"ן חל"כ המתבססת על שימוש בטכנולוגיית RFID, וכמו כן, את השימושים והרלוונטיות שלה לניהול אירוע שכזה. בימים אלה נמצאת בשלבי פיתח מערכת מידע חדשה עבור רמב"ם שאמורה להחליף את המערכות הקיימות ולהציג את המידע בחדר הפיקוד בעת אירוע חל"כ. בשלב הבא, כאשר המערכת תהיה מוכנה ויבוצעו ההתאמות הנדרשות, יתבצע קישור בינה לבין מערכת המידע שבנינו כך שהמידע אשר נאסף ממערך ה-RFID לאחר ניקוי, והתחזיות אשר מספקת המערכת שלנו יוצגו גם הם באמצעותה.

בנוסף לכך, פרויקטים עתידיים יוכלו לשדרג את השימושים האפשריים במערכת באמצעות קישור בין הפצוע למספר התג באופן חח"ע. הדבר יאפשר זיהוי נפגע וקישור המידע למידע אשר קיים אודותיו. באופן זה שליטה מדויקת ופשוטה יותר על החולים ע"י העברה ועדכון מידע שוטף על מיקומו.

אספקט נוסף של שיפור יכול להתבטא, בשימוש בתגים חכמים יותר, אשר יוכלו למדוד ולשדר בזמן אמת מדדים חיוניים (למשל סטורציה, דופק וכדו') של החולה ולהתריע במקרה של סטייה מהנורמה. כמו כן, שיפור הדיוק והפחתת הרעש בנתוני ה-RFID יאפשר שימוש במידע הנאסף אודות מסלולי נפגעים ואנשי צוות באתרי הטיפול. מידע זה יאפשר לנתח מפגשים בין נפגעים לאנשי צוות ובכך לעקוב אחר רמת השירות שמקבלים הנפגעים.

1. Baker, D., "Civilian exposure to toxic agents: emergency medical response", *Prehospital and Disaster Medicine*, Vol. 19, pp. 174-178, 2004.
2. Chawla, V., Ha, D., "An Overview of Passive RFID", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 45, No. 9, pp. 11-17, 2007.
3. Fry, E.A., Lenert, L.A., "MASCAL: RFID Tracking of Patients, Staff and Equipment to Enhance Hospital Response to Mass Casualty Events", *AMIA Annu Symp Proc.*, pp. 261–5, 2005.
4. Fuhrer, P., Guinard, D., "Building A Smart Hospital Using RFID Technologies", *ECEH*, Vol. 91, pp. 131-142, 2006.
5. Gaynor, M., Seltzer, M., Moulton, S., Freedman, J. "A dynamic, data-driven, decision support system for emergency medical services", *Proceedings of the International Conference on Computational Science*, 2005.
6. Hall, R., Belson, D., Murali, P., Dessouky, M., "Modeling patient flow through the healthcare system", Patient flow: managing delays in healthcare, pp. 1-44, 2006.
7. Levi, L., Michaelson, M., Admi, H., Bergman, D., Bar-Nahor, R., "National strategy for mass casualty situations and its effects on the hospital", *Prehospital and Disaster Medicine*, Vol. 17, No. 1, pp. 12-16, 2002.
8. Merin, O., Ash, N., Levy, G., Schwaber, M.J., Kreiss, Y., "The Israeli Field Hospital in Haiti – Ethical Dilemmas in Early Disaster Response", *The New England Journal of Medicine*, Vol. e38, pp. 362, 2010.
9. Morzuch, B.J., Allen, P.G., "Forecasting hospital emergency department arrivals", Presented at the 26th Annual Symposium on Forecasting, Santander, Spain, June 11–14, 2006.
10. Sinreich, D., Marmor, Y., "Emergency department operations: the basis for developing a simulation tool", *IIE Transactions*, Vol. 67, No. 3, pp. 233, 2005.
11. Wang, W., Tipper, D., Banerjee, S., "A Simple Approximation for Modeling Nonstationary Queues", *IEEE INFOCOM*, Vol. 1, pp. 255-262, 1996.
12. Yom-Tov, G., "Queues in Hospitals: Queueing Networks with ReEntering Customers in the QED Regime", Ph.D. Thesis, Technion, 2010.

10 נספחים

נספח 1 – רשימת אתרי הקליטה בביה"ח ומיקומם

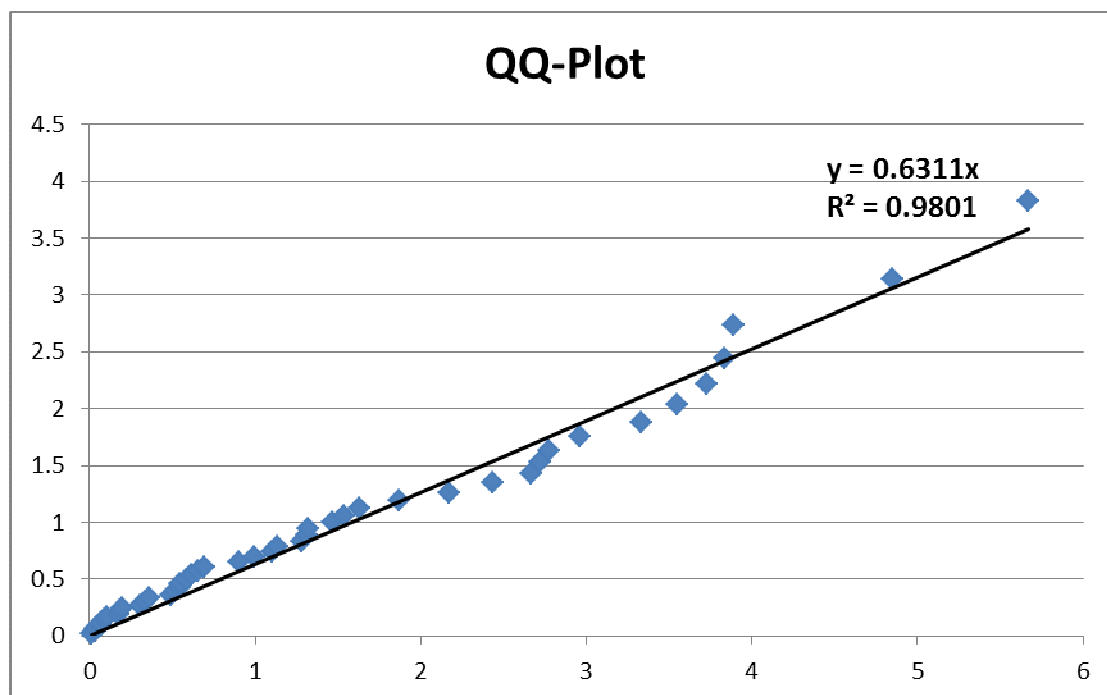
אתר	מיקום אופרטיבי	מיקום בתרגיל
מטה חירום	חדר ישיבות הנהלה	חדר ישיבות הנהלה
פריקה באתר טיהור	שער שחל	שער שחל
טיהור	איזור טיהור סביב בניין האבן	איזור טיהור סביב בניין האבן
ויסות	חניון 10 נמל	חניון 10 נמל
בינוני 1	פנימית ה'	מחלקת "מחסנית" מרתף
בינוני 2	פסיכיאטריה	
בינוני 3	עור	
בינוני 4	נוירולוגיה	
בינוני 5	קרדיולוגיה	
ילדים בינוני	מחלקת ילדים א'	מחלקת "מחסנית" מרתף
ילדים קלים	מרפאות חוץ מאייר	
ילדים קשים	ט. נמרץ ילדים פגיה כירורגית ילדים	מצורפים לאתר קשים 1 (חדר אוכל)
משולבים	מלר"ד	מלר"ד
קלים + נפש	בי"ס לרפואה	מחלקת "מחסנית" מרתף
קשים 1	חדר אוכל + פנימית ד'	חדר אוכל
חללים	חדר מתים – מאחורי הבניין הישן	חדר מתים – מאחורי הבניין הישן
מרכז מידע טלפוני	בדיקות תקופתיות	בדיקות תקופתיות

נספח 2 – אפיון הקלט ממערך ה-RFID

רשומות ממערכת ה-RFID של Aero scout, כל רשומה הינה שידור של תג, הרשומה בעלת השדות הבאים :

שם השדה	תיאור	קשר	דוגמא	הערות
location_report_id	מספר רשומה		612745	סה"כ 539361 רשומות.
date_created	תאריך שהרשומה נוצרה.		May-10 -27 11:00:00 A	הרזולוציה הינה עד כדי שניות
message_excite_r_id	כאשר נכנסים לתחום excitern משודרת הודעה, שהיא מספר כאשר בעזרת קשר חד ערכי מבססים באיזה תחום exciter התג נמצא	מזהה חח"ע exciter ל exciter ו id name	29	
exciter_id	מזהה exciter		3	
exciter_name	שם excitern		Exciter No.09	
area_map_id	מזהה מיקום במפה		1	
map_name	שם המיקום במפה	מזהה חח"ע map_name ל	Dining Room	הנתונים התקבלו מאזור אחד בלבד
x	אורך		1591	מידות בס"מ
y	רוחב		1379	
z	גובה		0	
asset_id	מזהה תג	מזהה חח"ע בין asset_id לבין asset_name	112	
asset_name	שם התג		000 CCC741324	
primary_category_id	מזהה האם התג שייך לרופא או חולה		2	
asset_serial_no	מספר סידורי		741324	נלקח משם התג כלומר שם תג : 000CCC741324 המספר הסידורי יהיה 741324
tag_id	מזהה סידורי לתג	מזהה חח"ע בין asset_id לבין tag_id	64	
Class	חסר משמעות		AT	
gateway_id	חסר משמעות		1	
zone_id	מזהה איזור במפה	קשר חח"ע בין zone_id לבין Zone_name	4	
zone_name	שם האיזור במפה		.East Entr	
is_tampered	חסר משמעות		1	

יש לקחת בחשבון כי השמות, הקשרים והמזהים הוגדרו מראש ומאותחלים עבור כל אירוע בהתאם להגדרות הנחוצות. (לדוגמא נקבע את שם המיקום במפה כ-Dining room מראש)



הגרף מציג התאמה טובה להתפלגות אקפוננציאלית.

נספח 4 – בדיקת אקספוננציאליות עבור משכי שהייה

היות והמדגם שברשותינו מכיל תצפיות מצונזרות, לא יכולנו להשתמש באותה שיטת בדיקת אקספוננציאליות פשוטה.

כדי לבחון התאמה להתפלגות אקספוננציאלית הגרלנו תצפיות אקספוננציאליות עבור אותו סט אפ. כלומר עבור אותן זמני הגעה הגרלנו משכי שירות מהתפלגות אקספוננציאלית. תחילה עם

$$\text{פרמטר המתאים לממוצע משך השירות הכולל} - \lambda = \frac{1}{66.65} = 0.015$$

$$\text{ואח"כ עבור נפטרים בנפרד} \quad \lambda = \frac{1}{57.27} = 0.01746$$

$$\text{ומאושפזים בנפרד} \quad \lambda = \frac{1}{68.31} = 0.01464$$

את סט הנתונים המוגרל השוונו לסט הנתונים הקיים באמצעות מבחן log-rank. התוצאות שהתקבלו-

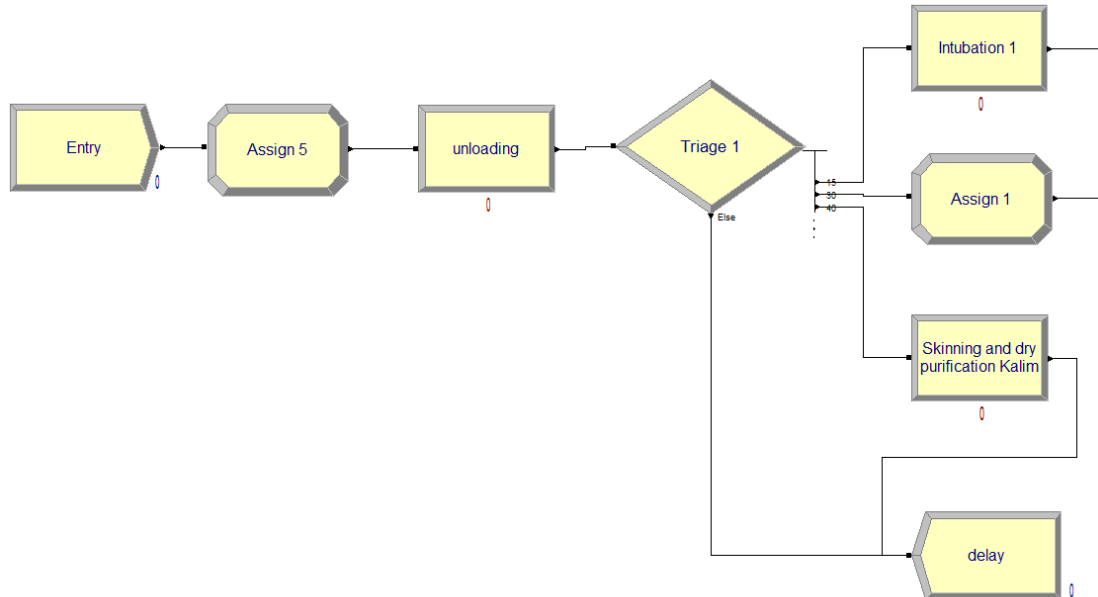
עבור משך שהייה כולל- $\chi^2_{(1)} = 2.3174$ על כן לא ניתן לדחות את ההשערה כי התצפיות מגיעות מהתפלגות אקספוננציאלית ברמת מובהקות $p.v.=0.05$.

עבור משך שהיית המאושפזים- $\chi^2_{(1)} = 2.9135$ על כן לא ניתן לדחות את ההשערה כי התצפיות מגיעות מהתפלגות אקספוננציאלית ברמת מובהקות $p.v.=0.05$.

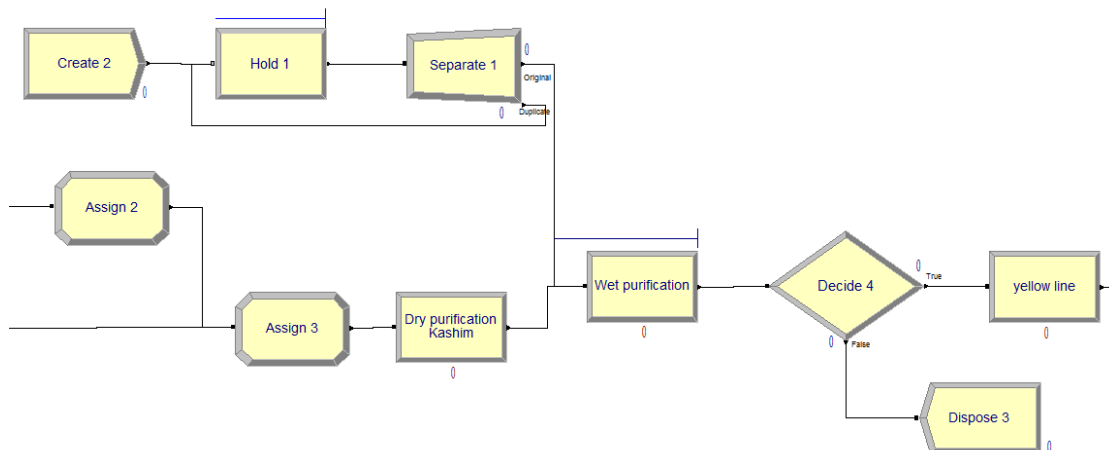
עבור משך שהיית הנפטרים- $\chi^2_{(1)} = 3.6751$ על כן לא ניתן לדחות את ההשערה כי התצפיות מגיעות מהתפלגות אקספוננציאלית ברמת מובהקות $p.v.=0.05$.

נספח 5 – מבנה הסימולציה

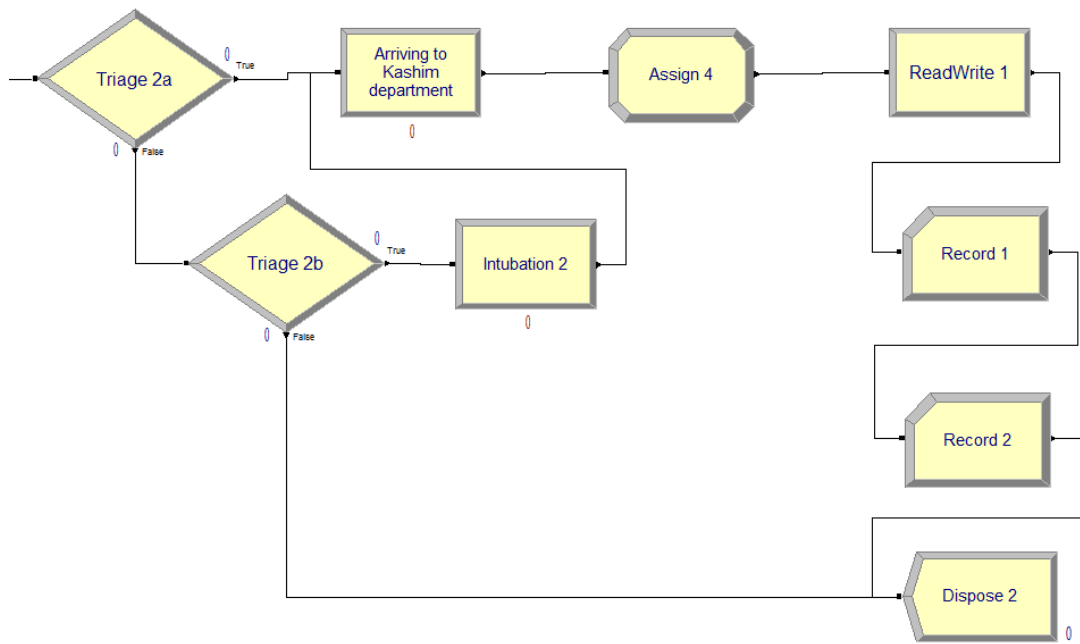
1. כניסת הנפגעים לשטח ביה"ח, פריקה וטריאז' ראשון. לאחר הטריאז' ה"לא נושמים" מועברים לאינטובציה, המתים להמתנה והקלים להפשטה וטיהור יבש.



2. הנפגעים הקשים מגיעים לשלב הטיהור היבש ולאחר מכן טיהור רטוב. במקביל נוצרות ישויות פיקטיביות אשר תופסות את המלתחות הפנויות על מנת להתחיל בתהליך הטיהור. לפני מעבר הקו הצהוב מסוננות הישויות הפיקטיביות מהמערכת.



הנפגעים שעברו את הקו הצהוב עוברים טריאז' נוסף. ה"לא נושמים" עוברים לאינטובציה והשאר ממשיכים למחלקת הקשים.



נספח 6 – אנ"מ אקספוננציאלי עם תצפיות מצונזרות

נניח התפלגות $X \sim \exp(\lambda)$

נסמן ב x_i משך שהייה עבור תצפית i.

נסמן ב D_1 את קבוצת התצפיות שחוו אירוע.

נסמן ב D_2 את קבוצת התצפיות המצונזרות.

$$\frac{1}{\hat{\lambda}} = \frac{\sum_{i|x_i \in D_1} x_i + \sum_{i|x_i \in D_2} x_i}{\sum_{i|x_i \in D_1 \cup D_2} I(x_i \in D_1)} : \text{האנ"מ המתקבל}$$

נספח 7 – אמד לממוצע עם תצפיות מצונזרות (ע"פ mrl)

ממוצע שארית החיים מוגדר להיות:

$$mrl(x) = E(X - x | X > x) = \frac{\int_x^\infty S(t)dt}{S(x)}$$

כאשר $S(x)$ היא פונק השרידות של מ"מ X (מהתפלגות כלשהי).

על כן עבור $x = 0$ מתקבל:

$$mrl(0) = \frac{\int_0^\infty S(t)dt}{S(0)} = \frac{\int_0^\infty S(t)dt}{1} = \int_0^\infty S(t)dt$$

הצורה בה חישבנו את $mrl(0)$ היא באמצעות חישוב השטח מתחת לעקומת אמד Kaplan-meier עבור מ"מ X.

חישוב השטח נעשה באמצעות קוד כתוב אשר מיושם בתוכנת SEESat (מופיע בנספח הקוד המצורף).

נספח 8 – אפיון ותעדוף שגיאות ממערך ה-RFID

שם הטבלה: mv4user.location_report

נחלק את השגיאות לשתי קבוצות:

קבוצה א': שגיאות שמטפלים בהן בזמן אמת (online)

קבוצה ב': שגיאות שטופלו ידנית (offline)

קבוצה א' :

מספר שגיאה	סוג שגיאה	דוגמא	שכיחות (אחוז מהתגים)
1	קריאות מרובות מאותו exciter	קריאה exciter 29 ואז שוב 29 Asset_id=8	25.8%
2	כניסה כפולה	קריאה exciter 27 ואז 28 מיד אחר כך 27 ואז 28 Asset_id=6	16.2%
3	יציאה כפולה (או יציאות רבות)	קריאות רבות לexciter 25 ו26 Asset_id=35	16.2%
4	שימוש באותו תג מספר פעמים	שימוש כפול בתג Asset_id=31	13.9%
5	כניסה מחדר מתים (לאחר הוצאה, קריאות של כניסה חזרה לחדר אשפוז)	Asset_id=35 קריאות של 25 ואז 26, חזרה לחדר האוכל לאחר הוצאה לחדר מתים.	11.6%

קבוצה ב' :

רעש בנתונים: ארגז של תגים שהונח קרוב מידי לexciter, גרר שנקלטו קריאות רבות של exciter-ים.

נתונים לא רלוונטיים לתרגיל: נתונים שנשמרו במסד הנתונים בזמן הבדיקות שנעשו לפני התרגיל והנתונים שנקלטו לאחר סיום התרגילים, כאשר נאספו התגים.

ניקיון ידני: כל הרשומות לפני 27-may-10 10:50:00 AM נמחקו (תחילת תרגיל).

כל הרשומות אחרי 27-may-1 16:00 PM נמחקו (סיום תרגיל).