

ניהול סיכוני בטיחות וגיהות

(מאמר שני בסידרה)

מאת: ד"ר אבי גריפל

הכותב הוא מרצה לניהול בטיחות באוניברסיטת בן-גוריון בבאר-שבע, יועץ בנושאי תורת הבטיחות במינהל הבטיחות של צה"ל ומחבר ספרים בנושאי בטיחות ובריאות בעבודה. E mail: rwrk208@uvvm.haifa.ac.il

המחבר מודה לד"ר מיכאל מהרי"ק, רפא"ל, על הערותיו החשובות לטיטוט המאמר. חלקים מהותיים ממאמר זה נוסחו על ידו, או נכתבו על-פי עצתו, במיוחד בפרק העוסק בהגדרות. יחד עם זאת, כל אי הדיוקים – אם ישנם – הם באחריות המחבר בלבד.

המאמר השני בסידרת המאמרים, המציגים את יסודות ניהול הבטיחות בישראל, עוסק בשיטות לאיתור והערכת גורמי סיכון.

שיטות לאיתור גורמי סיכון והערכת סיכונים

קיימות שיטות שונות לזיהוי גורמי סיכון (hazard identification) והערכת רמת הסיכון שלהם (risk assessment). שיטות אלה צריכות להיות חלק מגישה של "בטיחות שיטתית", המבוססת על תהליכים מסודרים ומוגדרים של זיהוי גורמי סיכון, הערכת סיכונים ושליטה בסיכונים. אימוץ גישה הבטיחות השיטתית מחייב את הארגון לבצע את התהליכים הנכונים של הערכת הסיכונים וגם לפתח שיטות ואמצעים לשליטה ולבקרה על הסיכונים - כולל מנגנוני פיקוח על הביצוע וקבלת משוב על יעילות פעולות המניעה. הארגון צריך לאמץ את אותם כלים ושיטות אשר יסייעו לו ליצור סביבת עבודה המספקת הגנה יחסית בפני נזקים. כמובן שמידת ההצלחה בהשגת סביבה בטיחותית תלויה לא רק בתהליך מוצלח של הערכת סיכונים, אלא גם ביישום מוצלח של אמצעים טובים, המפחיתים את הסיכון לרמה הרצויה.

רמת הסיכון אותה נרשה לעצמנו לצורך ביצוע מטלה מסוימת תלויה, בין היתר, בתועלת המופקת משימוש בגורם הסיכון, ובמדדים המקובלים לגבי "הסיכון הקביל". קרוב לוודאי, שנרשה לעצמנו רמת סיכון גבוהה יותר עבור מטרה כמו ייצור חשמל, מאשר עבור ייצור צעצועים. באופן דומה, יתכן שנרשה לעצמנו קיום של סיכוני קרינה גרעינית אם הדבר נחוץ לשמירת בטחון המדינה, אך אולי לא נסכים להקמת כורים גרעיניים כדי לייצר חשמל.

ביצוע ניתוח גורמי סיכון בשתי רמות

בשלב הראשון של "בטיחות שיטתית" יש לזהות את כל גורמי הסיכון במערכת. לשם כך צריך להכיר היטב את כל המערכות והתהליכים בארגון. "ניתוח גורמי סיכון" מתבצע, בדרך כלל, ב-2 שלבים:

1. ניתוח ראשוני (PHA - Preliminary Hazard Analysis) - בו מאתרים בעיות הדורשות בדיקה מפורטת יותר;
2. ניתוח יסודי (SSHA - Sub System Hazard Analysis) לכל גורם סיכון, מערכת או תהליך שאותו כבטיחותיים או מורכבים, בעזרת כלים מתאימים.

בניתוח הראשוני קובעים באיזה נושאים ניתן לטפל מיד ובאיזה מהם נדרש ניתוח מעמיק יותר. ניתוח מפורט מתבצע רק לגבי אותם גורמי סיכון הטומנים בחובם סיכונים גבוהים או לא ברורים. לפיכך, יש לסקור במסגרת הניתוח הראשוני את כל המערכות, התהליכים, המיתקנים, וסביבות העבודה הקיימות בארגון, כדי לקבוע מהם גורמי הסיכון בעלי יכולת הנזק הרב ביותר. באופן מעשי, רצוי להרכיב רשימה של כל העיסוקים או כל המטלות, רשימה של כל המיתקנים/פריטי הצידוד או רשימה של התהליכים, וכן רשימה של סביבות העבודה בארגון בהן קיימים גורמי סיכון – כגון: חומרים כימיים, סיכוני נפילה, סיכוני חשמל, התפוצצות וכדומה.

יש לסרוק כל פריט בכל רשימה, ולקבוע סדר עדיפות: איזה מהמטלות; מהמיתקנים; סביבות העבודה; התהליכים וכדומה, הם המסוכנים ביותר. עבורם יש לערוך תהליכים לאיתור גורמי הסיכון והערכה של רמת הסיכון. ככל שמצב הבטיחות בארגון משתפר, וכל המערכות המסוכנות כבר עברו תהליכי הערכת סיכונים - יחולו תהליכי הערכת הסיכונים, כנוהל שיגרת, גם על אותן מערכות אשר רמת הסיכון שלהן איננה כה גבוהה – וכך יתבצע שיפור עקבי ומתמיד ברמת הבטיחות. כדי לקבוע קביעה ראשונית של רמת הסיכונים במערכת, ניתן להיעזר ברשימות תיוג של גורמי סיכון נפוצים, רשימת מקורות אנרגיה במערכת, ומידע קיים על גורמי סיכון ידועים בחומרים, במיתקנים, בעיסוקים ובמטלות שכבר נערכו לגביהם ניתוחים שונים.

כאשר מחליטים מהם התהליכים או המערכות אשר עבורם יתבצע ניתוח יסודי של הערכת הסיכונים - חשוב לזכור כי יש לאתר, ואחר כך גם להעריך, את גורמי הסיכון בתהליכים הקבועים וכן בתהליכים לא שגרתיים. איתור גורמי הסיכון ובדיקת היתכנותם של תרחישים אפשריים, צריכים לקחת בחשבון לא רק מערכות, חומרים, ומיתקנים אלא גם מאפיינים של התנהגות העובדים. אחרי שהוחלט לגבי המערכות אותן יש לנתח באופן יסודי - יש להחליט מהם הכלים המתאימים להערכת הסיכונים של המערכת שנבחרה. באופן כללי - קיימות שיטות זיהוי פשוטות יחסית, המתאימות למערכות בעלות רמת סיכון נמוכה, ושיטות מתוחכמות ומורכבות יותר, המיועדות לזיהוי גורמי סיכון במערכות בעלות רמת סיכון גבוה, כמו מיתקנים תהליכיים, כורים גרעיניים, מערכות נשק, וכדומה. להלן נתאר שיטות פשוטות, המתאימות לשימוש על-ידי ממונה בטיחות מיומן, וכן שיטות מקצועיות יותר אשר יכולות להתבצע רק על-ידי צוות של מקצוענים.

שיטות לאיתור גורמי סיכון והערכת סיכונים במערכות עם סיכון נמוך

4 כלים אשר יכולים לסייע לאיש הבטיחות בזיהוי והערכה של גורמי סיכון בארגון:

- איתור בעזרת רשימות תיוג;
 - ניתוח בטיחות של מטלה (job safety analysis);
 - שיטת "what if": "מה עלול לקרות אם ...". (מכונה לעיתים גם "hazop לעניים");
 - ניתוח שינויים (change analysis).
- השיטות אינן מסובכות לביצוע והן תסייענה לאיש הבטיחות לאתר באופן שיטתי את גורמי הסיכון במערכת, ללא צורך בסיוע של אנשי מקצוע מחוץ לארגון.
- **איתור בעזרת רשימות תיוג** -רשימות תיוג, המפרטות גורמי סיכון שונים או מקורות אנרגיה, הן כלי עזר נפוץ לאיתור גורמי סיכון בארגון. לוח מס' 3 מציג רשימה לדוגמה, המתבססת על מידע שפרסם משרד האנרגיה האמריקני (DOE). בעזרת רשימת התיוג יכול איש הבטיחות לערוך סריקה שיטתית של גורמי סיכון אשר עלולים להימצא במערכת, כאשר הוא סוקר מערכת או סביבת עבודה מסוימת. תהליך כזה דורש, כמובן, התמצאות רבה מאוד בכל התהליכים והפעילויות המתרחשים במערכת.

רשימת תיוג היא כלי עזר חשוב, אך אין בה כדי להבטיח שאכן זוהו כל גורמי הסיכון במערכת. כלי זה מתאים בעיקר לשלבי הזיהוי הראשוניים, בהם מתכוונים לקבוע מהם גורמי הסיכון הקיימים במערכת.

לוח 3: גורמי סיכון נפוצים במערכות ובסביבות (לפי DOE)

גורם הסיכון	דוגמאות
מקור מתח	מתח גבוה ומקורות מתח
	טרנספורמטורים
	מצברים
	חשמל סטטי
מקור תנועה	מכונות; קצה חד; להב; נקודת צביטה
	כלי רכב; מלגזה
	מסה / גוף בתנועה
	נפילה
כוח הכובד	נפילת חפצים
	הרמה
	מעידה; החלקה
	רעידת אדמה
מקור לחץ	רעש
	גז / קיטור בלחץ
	רוח חזקה
	חומרים מאכלים
מקור כימי	חומרים מתלקחים
	ריאקציה כימית
	חומרים מגיבים (reactive)
	חומרים רעילים
	חומרים קרצינוגנים

חוסר חמצן	
חשמלי	מקור חום
פלזמה (plazma torch)	
גז טבעי	
חיכוך	
התלקחות/פיצץ ספונטני) (combustion	
חומרים קריוגניים (cryogenic)	
קרח, שלג, רוח, גשם	מקור קור
חומרים רדיואקטיביים	מקור קרינה
קרינה מיננת	
שדות Rf	
קרינה אינפרה-אדומה	
קרינה אולטרה-סגולה	
קרן פלזמה / לייזר	
ריאקציה כימית / גרעינית	

איתור גורמי הסיכון הקיימים הוא רק הצעד הראשון. לאחר מכן יש לחזות תרחישים (עיקריים) אפשריים עבור כל גורם שאותר ולהעריך - בעזרת טבלה כמו זאת המוצגת בלוח 1 - את ההסתברות שהם אכן יתרחשו ואת הנזקים הצפויים מהם. את המימצאים מרכזים בטבלה כדוגמת זו המובאת בלוח מס' 2.

■ **ניתוח בטיחות של מטלה (job safety analysis) - דרך שיטתית לאיתור גורמי סיכון בתהליך עבודה** היא ביצוע "ניתוח בטיחות של המטלה" (או של עמדת העבודה). בשיטה זו, מקימים צוות הכולל את העובד המכיר את המטלה, את מנהל העבודה ואת איש הבטיחות. במקרים לא מסובכים ניתן לערוך את הניתוח בצוות גם ללא איש בטיחות. הצוות מפרק את המטלה לצעדים, ומפרט לגבי כל צעד את גורמי הסיכון והתרחישים העלולים לגרום לנזק ואת אמצעי ההתגוננות הנדרשים. לוח מס' 4 מציג דוגמה פשוטה לניתוח בטיחות של מטלה: נטילת לוח עץ מהמחסן, שהיא הצעד הראשון בפעולה של ניסור לוח עץ בנגריה.

לוח 4: טבלה לריכוז מימצאי ניתוח בטיחות של מטלה (דוגמה)

תאור הפעולה	גורמי סיכון עיקריים	הנזק הצפוי	אמצעי המניעה
נטילת לוח עץ מהמחסן על-ידי העובד	נפילה או החלקה של העובד במחסן	נקיעות או שברים ברגל/אגן; פגיעה בגב	פינוי המחסן ממכשולים, כניסה רק עם נעלי בטיחות; לוח כבד שמשקלו מעל 12 ק"ג נוטלים רק באמצעות מלגזה
	חבטה מלוח שנופל מהערמה	פגיעה בראש, פגיעה ברגליים	עירום נכון של לוחות במחסן (רק בעמידה ובתוך תאים ייעודיים)
	היתקלות בחפץ אחר במחסן בעת נטילת הלוח	חבטה או חתך	עירום לוחות שיאפשר מרחב מספיק להוצאת לוח מהערמה
	פגיעה מלוח לא מהוקצע	חתכים בעור	הוצאת לוחות עץ רק עם כפפות מגן

בניתוח בטיחות של מטלה מנתחים אותה באופן שיטתי, צעד אחר צעד. בעת הניתוח ניתן להיעזר ברשימות תיוג, מידע על תאונות בתהליך שאירעו בעבר, וכן, בפרסומים שונים על סיכונים הקיימים בעיסוקים או בתהליכים הנבדקים. ניתן להיעזר בשאלתה למרכז המידע במוסד לבטיחות וגיהות. המידע שברשותם כולל דפי סיכון (בעברית) למקצועות נבחרים, וכן חוברות טכניות בתחומים שונים, המפרטות גורמי סיכון במערכות כגון: ריתוך, מיתקני חשמל, מעבדות ועוד. החומר הכתוב עשוי לסייע באיתור גורמי הסיכון במערכות ובתהליכים השונים. אם מעונינים לשלב בניתוח המטלה גם הערכה רשמית יותר לגבי רמת הסיכון או תהליך העבודה - ניתן לסכם את המימצאים בלוח כדוגמת לוח מס' 5.

לוח 5: ריכוז מימצאי ניתוח בטיחות בעיסוק (עם הערכת סיכון)

תאור הפעולה שבניתוח	תאור התרחיש/הסיכון בפעולה	חומרת הנזק הצפוי (4-1)	הסתברות התרחשות אירוע (4-1)	פעולות מומלצות למניעת הסיכון

את תוצאות ניתוח הבטיחות רצוי לרכז במסמך כתוב הכולל המלצות, ממנו ניתן להפיק אחר כך הוראות בטיחות או הוראות עבודה.

צורה פשוטה יותר לניתוח בטיחות של מטלה או של תהליך עבודה נקראת "ניתוח בטיחות ראשוני" (pre-job analysis) בה סוקרים מנהל העבודה, או איש הבטיחות מטלה חדשה - כדי לדעת אם קיימים בה סיכונים המצריכים הערכה מיוחדת. סוג כזה של ניתוח בטיחות נערך לעתים קרובות כאשר מוציאים "היתר לעבודה מסוכנת" (work permit), במקרים בהם נדרש לדעת אם בעבודה עבודה ניתן ההיתר קיימים סיכונים מיוחדים.

■ **שיטת "מה יקרה אם..." ("what if")** - השיטה מהווה "סיעור מוחות" בזעיר-אנפין, בו נסקרת המערכת ע"י צוות, הכולל חבר אחד – לפחות – אשר מכיר היטב את המערכת, כדי לאתר תרחישים אפשריים העלולים לגרום לנזק. בשיטה זו סורקים תהליכים שונים, תוך כדי העלאת שאלות לגבי אפשרות של התרחשויות אפשריות בנוסח של: "מה יקרה אם...".

"what if" מבוססת על שיטת "HAZOP", אשר מנסה לאתר השפעה של סטיות שונות בתפקוד מערכת על מצב הבטיחות בה. שיטת HAZOP מיושמת בד"כ על-ידי צוות מקצועי לבדיקת מיתקנים ומערכות ברמת סיכון גבוהה. ניתן לבצע תהליך דמוי HAZOP גם עבור מערכות ברמת סיכון שאיננה גבוהה, ולשאל "מה יקרה אם..." תוך ניסיון לאתר את מירב הסטיות אשר תתרחשנה במערכת. לכן, שיטת "what if" מתאימה גם למצבים בהם נדרש ניתוח של מערכות פשוטות עם סיכונים לא גבוהים (יחסית).

להלן דוגמה לשאלות הקשורות לאיתור תרחישים בעת עבודת ניסור לוח עץ במכונת ניסור:

- * מה עלול לקרות אם בעץ יהיה מסמר בקו החיתוך...?
 - * מה עלול לקרות אם תהיה "עין" בקו החיתוך...?
 - * מה עלול לקרות אם תהיה הפסקת חשמל, ופעולת הניסור תיפסק כאשר המסור נעוץ בתוך הלוח...?
 - * מה עלול לקרות אם להב המסור ישבר תוך כדי ניסור ?
 - * מה עלול לקרות אם עובד נוסף ינסה לעזור לפעולת הניסור ויחזיק את העץ בכיוון לא נכון ?
 - * מה יהיה אם יצטרכו לנסר לוח עץ קטן, שלא ניתן לקבע אותו לשולחן הניסור ?
- וכדומה

גם את המימצאים בשיטה זו יש לרכז בלוח, ולהחיל עליהם את התהליך הבסיסי של הערכת הסתברות התרחיש וחומרת התוצאה. התוצר של השיטה יכול להיות המלצות לשינוי אופן העבודה; הוראות בטיחות; המלצות לשינויים במערכי ההדרכה המתוכננים עבור העובדים; המלצות לשימוש באמצעי מגן, ועוד.

■ **ניתוח שינויים (change analysis)** - זוהי טכניקה שפותחה בארה"ב ומטרתה: איתור גורמי סיכון ותרחישים מסוכנים הנובעים משינויים המבוצעים במערכת. "ניתוח שינויים" מתבצע כחלק מתהליך הערכת סיכונים, הנערך לפני אישורו של שינוי במערכת, במיתקן או בתהליך. השיטה מתבססת על איתור השפעות אפשריות על הבטיחות, של כל שינוי במערכת - בעזרת טבלה כדוגמת זו המוצגת בלוח מס' 6.

מטרת הניתוח היא זיהוי ההשלכות הבטיחותיות של כל שינוי בכל מרכיב, הערכת הסיכון הכרוך בשינוי, ומציאת פעולות מתקנות שיפחיתו את הסיכון הכרוך בשינוי. את השינויים העלולים לגרום לתאונה מנסים לאתר על-ידי שאלות המתחילות במילים כמו "מי", "מתי", "היכן", "לאן", "מה" וכדומה. הלוח הבא מדגים ריכוז מימצאי ניתוח שינויים בסיסי.

לוח 6: ריכוז מימצאי ניתוח שינויים (change analysis)

תאור השינוי	מהי ההשפעה על המערכת	חומרת הנזק הצפוי (4-1)	ההסתברות להתרחשות אירוע (4-1)	השינוי הנגדי המומלץ לניטרול ההשפעה

לוח מס' 7 מרכז את השיטות שהוצגו, לביצוע תהליכי הערכת סיכונים במערכות לא מורכבות, עם סיכון נמוך (יחסית).

לוח 7: שיטות מקובלות להערכת סיכונים במערכות פשוטות

תאור השיטה לאיתור מיפגעים	באיזה מרכיב של העבודה היא מתמקדת	מתאימה לרמת סיכון	האם כוללת הערכת רמת סיכון
שימוש ברשימות תיוג לאיתור גורמי סיכון	בכל מרכיבי המערכת/התהליך	נמוך-בינוני	כן, ברמה ראשונית
ניתוח בטיחות מטלה: Job Safety Analysis (JSA) או: ניתוח ארגוני של תחנת עבודה	בעיסוק ובמטלות המבוצעות בו	בינוני-גבוה	כן, ברמה בינונית
ניתוח בטיחות ראשוני: pre-job analysis	בעיסוק ובמטלות המבוצעות בו	נמוך-בינוני	באופן חלקי בלבד
"מה אם" – סיעור מוחות לא פורמלי: "what if."	בכל מרכיבי המערכת/התהליך	נמוך-בינוני	חלקית
ניתוח שינויים: change analysis	בכל מרכיבי המערכת/התהליך	בינוני-גבוה	תלוי בשיטה

שיטות לאיתור גורמי סיכון והערכת סיכונים במערכות עם סיכון גבוה

במערכות בהן קיימים סיכונים גבוהים (כמו מיתקנים תהליכיים; תחנות כוח; כורים גרעיניים; רכב חלל; מערכות נשק; מיתקני אחסון דלק וכד'), יש לבצע תהליכי הערכת סיכונים הכוללים גם מרכיב כמותי, תוך שימוש בשיטות של ניתוח סיכונים הסתברותי (ניס"ה). בחלק זה נציג בקצרה מספר שיטות עיקריות מקובלות, כדי לדעת על קיומן ועל התפקיד אותו הן ממלאות. רק אנשי מקצוע מיומנים שהוכשרו לכך במיוחד יכולים להוביל תהליכי הערכת סיכונים המבוססים על שיטות הסתברויות. בקרוב עומדת להתפרסם תקנה המחייבת הליך של הערכת סיכונים כמותית בכל מיתקן תהליכי בארץ. לא ברור אם קיים בארץ מספיק כוח אדם מקצועי כדי לבצע את דרישות התקנה בטווח הקצר. לפיכך, מתכננת מחלקת הפיקוח על העבודה במשרד העבודה קורס מיוחד, המיועד למהנדסים, שיכשיר אותם לביצוע הערכות סיכונים כמותיות.

עקרונות ושיטות של ניס"ה (ניתוח סיכונים הסתברותי)

ניתוח סיכונים הסתברותי כולל:

- איתור תגובות של מערכת להפרעות בזמן הפעלתה;
- זיהוי קפדני של רמות הנזק הצפויות מתגובת המערכת;
- הערכה כמותית של תדירות האירועים הנ"ל ואי הוודאות הנלווית להערכה זו;
- סיכום אופני הכשל או הסיכונים של המערכת.

כאשר מחליטים לנקוט בגישה של ניס"ה עבור מיתקן או תהליך חדש, חשוב מאד:

- להגדיר בדיוק מהי המערכת אותה בודקים, ומהם מרכיביה;
- אם המערכת מסובכת או מורכבת - יש להקים צוות שיכלול, לפחות, איש בטיחות בעל ניסיון בניס"ה, איש מקצועי-טכני ואיש ניהול או שיטות;
- לערוך, מראש, תכנית המפרטת את אופן הביצוע המתוכנן של הניתוח, ואיזה שיטות ינקטו;
- לנסות לאתר ליקויי בטיחות מוקדם ככל האפשר, רצוי בעת התכנון;
- להתייחס לסיכונים צפויים בכל השלבים של חיי המערכת: תכנון או רכישה; הקמה; תפעול; פירוק; הפיכה לגרוטאות או פינוי.

עבור פרויקטים מסובכים ומורכבים (בניית מיתקן כימי, לדוגמה), מצריך הביצוע הנאות של תכנון תהליך הניס"ה איסוף מידע מקדים כדלקמן:

- תאור הפרויקט (או המיתקן) , כולל כל פריטי החומרים, הציוד והתהליכים;
- משך החיים הצפוי של המיתקן או הפרויקט;
- לאיזה סוג של תקלות מצפים;
- מסמכים, נתונים וקודים, המפרטים שליטה במיתקן - כולל נתונים הנדסיים, נהלים, חוקים, ותקנים;
- שרטוטי המערכת;
- נתוני עבר על מיפגעים במיתקנים או בפרויקטים דומים;
- רשימות מומחים רלבנטיים;
- רצוי לאפיין את המידע שחסר, כדי למצוא אותו על-ידי חיפוש במרכזי מידע, אצל ספקים, לקוחות, וכדומה.

הניתוח מבוצע, כאמור, על ידי צוות הכולל עובדים המכירים היטב את המערכת, ולפחות אדם אחד נוסף, בעל ניסיון בביצוע ניס"ה. התוצר הסופי של ניס"ה הוא דו"ח המתאר את אופני הכשל של המערכת - עם או בלי חישובים של תוחלת הנזק הצפוי; עם או בלי עקומות המראות את ההסתברויות השונות לכל רמת נזק צפויה.

- בעת ביצוע ניס"ה, נעזרים בטכניקות שונות לאיתור גורמי סיכון ו"אירועים מעוררים" (אירועי כשל העלולים לגרום לנזקים). הטכניקות העיקריות בהן נעשה שימוש הן:
- FTA (Fault Tree Analysis) – ניתוח עץ כשל;
- FMEA או FMECA (ניתוח אופני כשל ותוצאות);
- HAZOP.

להלן נציג בקצרה את המהות של כל אחת מהשיטות.

■ FTA (Fault Tree Analysis) - ניתוח עץ כשל (או: ניתוח בעזרת עצי תקלות)

ניתוח עץ הכשל היא אחת הטכניקות המקובלות ביותר לניתוח כשלים והערכת ההסתברות לאפשרות התרחשותם – במיוחד בתעשייה הכימית. מטרת השיטה הן:

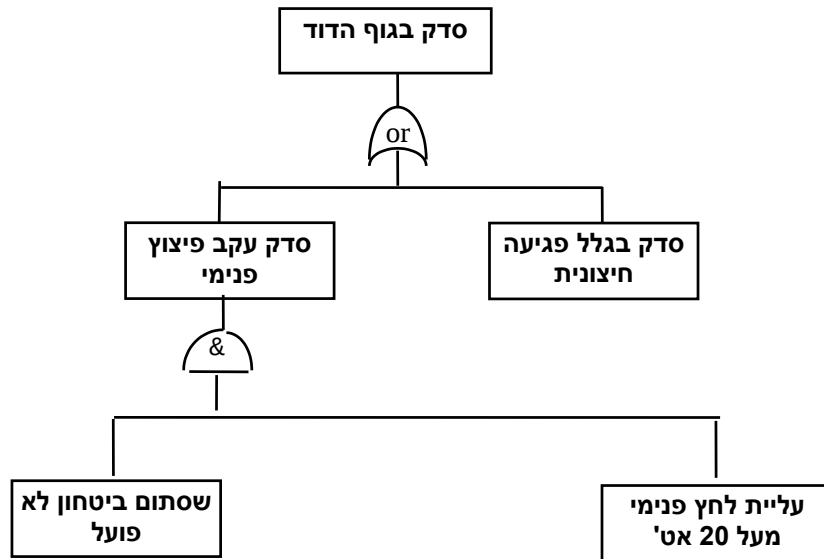
- (א) לתאר את מכלול המצבים והכשלים העלולים לגרום ל"כשל ראשי" הממוקם בראש העץ;
- (ב) לאתר את שלשלת האירועים בעלת ההסתברות הגבוהה ביותר לגרום לכשל הראשי.

הטכניקה עושה שימוש בתרשים עץ כשל, הכולל שערים לוגיים של "וגם" (and) ו-"או" (or) ושערים נוספים.

תרשים מס' 1 מציג עץ כשל פשוט (וחלקי ביותר) המייצג אפשרות כשל ראשי של סדק בגוף דוד קיטור. התרשים מראה כי סדק עשוי להיווצר מפגיעה חיצונית או כתוצאה מפיצוץ פנימי. ניתוח האפשרות של פיצוץ פנימי מראה כי היא תתרחש רק אם הלחץ בתוך הדוד יעלה מעל למותר וגם יהיה כשל של שסתום הביטחון. כאשר יודעים מהן ההסתברויות לכל כשל המצוין בעץ, ניתן לחשב את ההסתברות לגרימת הכשל הראשי, ואת הנתיב בעל ההסתברות הגבוהה ביותר לגרום לכשל הראשי. לדוגמה: אם מנתוני העבר ידוע כי:

- שכיחות של חבלה חיצונית היא אחת ל-25,000 ימים;
- השכיחות של לחץ-יתר היא אחת ל-100 ימים;
- אי-תפקוד של שסתום מתרחש אחת ל-1,000 הפעלות שבהן יש בו צורך - השכיחות הצפויה של פיצוץ פנימי (לחץ-יתר ואי-תפקוד שסתום) היא אחת ל-100,000 ימים (מכפלת שתי ההסתברויות בלתי תלויות), והשכיחות הסופית של היווצרות סדק בדוד היא אחת ל-25,000 ימים. הנתיב בעל ההסתברות הגבוהה ביותר לגרום לסדק הוא, במקרה הנוכחי, פגיעה חיצונית - עובדה העשויה להביא להחלטה לגבי מיקום דוד הקיטור בתוך מבנה מבודד. חישובי ההסתברויות של עצי כשל עשויים להיות מורכבים מאד, היות ויש להבחין בין המושגים "שכיחות" ו-"הסתברות" שיש להם מובן סטטיסטי שונה; וכן, יש להתחשב בתלות בין הכשלים ובתנאי אי-ודאות המצריכים שימוש בהתפלגויות סטטיסטיות לאמידת ההסתברויות הכשל.

תרשים 1: עץ כשל סכמתי עבור כשל ראשי של "פיצוץ בדוד"



המטרות של FTA, לסיכום, הן:

- חישוב הסתברויות להתרחשות האירוע הראשי;
 - איתור מסלולי כשל לאירוע הראשי (שילוב אירועים הגורמים לו);
 - איתור מסלול הכשל בעל ההסתברות הגבוהה ביותר;
 - איתור מסלול הכשל הכולל מספר מינימלי של אירועים בסיסיים.
- לשרטוט עץ הכשל ולחישובי ההסתברויות נלווים גם ניתוחי רגישות ואי ודאות.

HAZOP - איתור סטיות מתפקוד תקין של מערכת

HAZOP היא שיטה המבוססת על טכניקת סיעור מוחות של מומחים מתחומים שונים לצורך איתור מיפגעים אפשריים במערכות ובתהליכים מורכבים (בעיקר מתחום תעשיית הכימיה).

הצוות מגדיר את מרכיבי המערכת, את האנרגיות, את החומרים ואת התפקודים של כל מרכיב. חברי הצוות שואלים שאלות על סטיות אפשריות מתפקוד תקין לגבי כל מרכיב, כאשר השאלות מונחות על-ידי מילות מפתח כמו: יותר; פחות; גם; ההפך; בכלל לא; לפני; אחרי וכדומה. על ידי הכוונת השאלות לגבי כל תפקוד וכל זרימת אנרגיה, מצליחים לאתר תגובות העלולות לגרום לנזק במערכת, וניתן להעריך את רמת הסיכון של תרחישים אפשריים ואת אמצעי ההתגוננות האפשריים מהנזק. ביצוע ניתוח HAZOP הוא תהליך מורכב, יקר, ועשוי לקחת זמן ממושך (לעתים אפילו מספר חודשים עבור מערכת מורכבת). הוא מופעל רק על-ידי מומחים לדבר. כפי שפרטנו במאמר - קיימת שיטה חלופית, דומה, המתאימה לתהליכים פשוטים ומכונה לעתים "מה עלול לקרות אם..." ("what if..."). היא יכולה להתבצע גם על-ידי אדם בודד, הבודק מערכת על-ידי שאלות של "מה יקרה אם...". כדי למקד את שאלותיו למיפגעים הרלוונטיים למקרה הנבדק הוא יכול להיעזר ברשימות תיוג (צ'ק-ליסט).

ניתוח אופני כשל ותוצאות - FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)

ניתוח כזה אופייני למערכות מורכבות, בעיקר מערכות משובצות מחשב. הוא כולל פירוק המערכת למרכיבים, איתור סטיות או כשלים אפשריים בכל מרכיב ורישום ההשפעה של הסטייה לגבי מרכיבים אחרים במערכת ולגבי כלל המערכת. ההשפעה נרשמת גם במונחים של "קריטיות" – עד כמה תקלה ברכיב המסוים אחראית לכשל של כלל המערכת, או עד כמה כשל ברכיב הוא קריטי לתפקוד כלל המערכת. בנוסף, מציינים כיצד השגיאה תתגלה (אם היא תתרחש) ומה ניתן לעשות כדי לתקן אותה. היות וקיימים קשרים רבים בין מרכיבי המערכת השונים, יש המבצעים את הניתוח הזה בעזרת תוכנה המסוגלת לסכם את סך ההשפעות של כל מרכיב ולנתח את דפוסי הכשל העיקריים.

לוח מס' 8 מציג דוגמה לניתוח כזה, שערכה חברת AEROJET (ארה"ב).

לוח 8: ניתוח אופני כשל ותוצאות לפי חברת AEROJET

מרכיב	תאור כשל	השפעה על		חומרה	שכיחות	קריטיות	גילוי	מניעה
		מערכת	מרכיב אחר					

סיכום

מאמר זה מציג בפני הקורא שיטות לאיתור גורמי סיכון והערכת סיכון של תרחישים. השיטות שנסקרו במאמר הן כלים במערך ניהול הסיכונים בארגון. תהליך הערכת הסיכונים הוא רק מרכיב אחד של מערכת בטיחות שיטתית. תקן ישראלי (ת"י 4481) לניהול מערכות בטיחות וגיהות בתעסוקה (אומץ בשנת 1999), מציג מבנה נכון של מערכת ניהול המשלבת בתוכה גם אלמנטים של איתור גורמי סיכון והערכת סיכונים.

שני המאמרים הבאים בסידרה יעסקו בתקן הישראלי החדש לניהול מערכות בטיחות וגיהות (ת"י 4481, והתייחסותו לדרישות החוק, תוך התמקדות מיוחדת בשליטה בסיכונים השונים על-פי התקן, והתאמתו של התקן לחוקים ולתקנות במדינת ישראל.