

# ניהול סיכונים רדומים בעבודה רב-צוותית: יישום מתודולוגיה של אבטחת הצלחה ובטיחות

**העבודה בארגונים תעשייתיים מודרניים ובפרויקטים הנדסיים גדולים, כגון תחנות כוח, רשתות חשמל, בנייה, תשתיות וכד' מורכבת. ביצועה מחייב מגוון רחב של עובדים בעלי מקצועות והתמחויות מתאימות, וכחות עבודה אינדיבידואלית של איש אחד, לכן נדרשת עבודה רב-צוותית (Multi-team-MT), המחייבת תיאום יעיל בין הצוותים לביצוע נכון ובטיחותי. עבודת המחקר שלפנינו מנסה לתת לכך מענה באמצעות מודל תיאורטי שיאפשר בעתיד לאנשי השטח לנהל סיכונים רדומים שזיהו בעבודתם**

מאת ד"ר עימאד פרג'

מנהל הבטיחות הארצית, חטיבת משא"נ וארגון, חברת החשמל

ומקום. בזמן - כיוון שהן עובדות האחת אחרי האחרת. במקום - כיוון שמפסקי הזרם החשמלי בדרך כלל ממוקמים בארונות חשמל בנקודות הזנה מרוחקות מעמדת העבודה. עבודת מחקר זו תתמקד בסיכונים רדומים בעבודה רב-צוותית המבוצעת בהפרדה בזמן ובמקום. כמה חוקרים התייחסו לסיכונים רדומים בעבודה רב-צוותית: Mitropoulos P. (2005), ציין כי "טעויות שנעשו על ידי צוות אחד יכולות ליצור תנאים בלתי צפויים לצוות הבא", והציע כי "מחקרים עתידיים יתמקדו בהבנה טובה יותר של השפעתה של ודאות משימה על פיתוח אסטרטגיות ניהול שגיאיה". J. Reason, (1997) כתב: "ההחלטות והפעולות של 'שחקנים שונים' יכולות לייצר תנאים סמויים במערכת. אלה עשויים להישאר רדומים במשך זמן עד שהם משתלבים עם נסיבות מקומיות, וכשל פעיל מקומי יחדור שכבות רבות של מערכת הגנה ותאונה תתרחש". למרות החשיבות המוכרת של סיכון רדום בעבודה רב-צוותית - MTRD, אין מחקרים המצביעים על פתרונות יעילים לבעיה זו. סיכון רדום עלול להיות גם בתעשיות השונות, כאשר עובד מגיע לתפעל מכונה בקו ייצור ומגלה שהחשמל נותק. הניתוק נעשה על ידי מי מאנשי האחזקה לצורך ביצוע עבודות אחזקה בצידו מכני כלשהו, לאו דווקא בשל הצורך לאחזקת מערכת החשמל. אם הניתוק לא יסומן "כנעילה ותיוג" ואספקת החשמל תחודש בלי שהאחראי לאחזקה ידע על כך, הוא עלול להיפגע קשות בהפעלת המכונה בשעה שיתקן אותה.

## סיכון רדום

סיכון רדום הוא פרק הזמן שבין התרחשות כשל (אירוע סיכון TR) בפעולה של צוות אחד  $T_0$  (קבוצה A), שמשפיע על קבוצה אחרת (קבוצה B), אשר מעורבת בתהליך העבודה (איור 1). לכישלון זה יש פוטנציאל לייצר סיכון שלא זוהה על ידי קבוצה

בעבודה רב-צוותית כל קבוצת עבודה מבצעת עבודה ייעודית וברורה לפרק זמן מוגדר. הפעולות של קבוצות העבודה מתאפיינות בריבוי כלים ושיטות עבודה ושילבי עבודה בשטח. התיאום ביניהן חיוני והכרחי להשגת התוצאות הנכונות באיכות הנדרשת, תוך אבטחת בטיחות העובדים בקבוצות אלו. בתוך כך נוצרות השפעות הדדיות וסיכונים הנובעים מחפיפה בזמן ובמקום. לעתים, הסיכונים נוצרים על ידי קבוצה מסוימת במהלך עבודתה (עבודה עם חשמל, עם חומרים מסוכנים נדיפים במקום סגור, עבודה במקום סגור ומחסור בחמצן, משטחי עבודה חלקלקים ועוד), הם יכולים להיות "רדומים" לזמן מה ולהתממש בפגיעה בעובד של קבוצה אחרת.

עבודת המחקר עוסקת בניהול סיכונים רדומים אלה (RD - Risk dormancy), מנתחת אותם סטטיסטית ומציעה מודל הסתברותי לחיזויים (TDP - Time dependent probability). סיכון רדום בעבודה רב-צוותית (MTRD - Multi-team risk dormancy) לעתים אינו מזוהה בשלב זיהוי הסיכונים על ידי קבוצת עבודה מסוימת (טרם תחילת העבודה) או בשלבים מתקדמים יותר, כאשר קבוצת עבודה אחרת מתחילה לעבוד אחריה, או משלימה את העבודה הקודמת ואינה מעריכה נכון ובזמן את גורם הסיכון. לדוגמה, בחברת החשמל עבודות ברשת החשמל מבוצעות על ידי קבוצות בעלי מומחויות שונה. כדי לקיים רמת בטיחות גבוהה, ישנה הפרדה בין קבוצה המבצעת ניתוק של אזור העבודה ממקור האנרגיה ובין הקבוצה הבאה אחריה, אשר מבצעת את התיקון או את ההרכבה. הקבוצה שתפקידה הוא לנתק את אזור העבודה (רשת החשמל) ממקורות האנרגיה, טועה בזיהוי מוליכי החשמל, שמזינים זרם חשמלי למקום העבודה. הקבוצה הבאה אחריה, שתבצע תיקון ברשת, לא תזהה קיום זרם חי במוליכים ותחשוף את עובדיה לסכנת חשמול. עבודתן של קבוצות אלו מתאפיינת בהפרדה בזמן

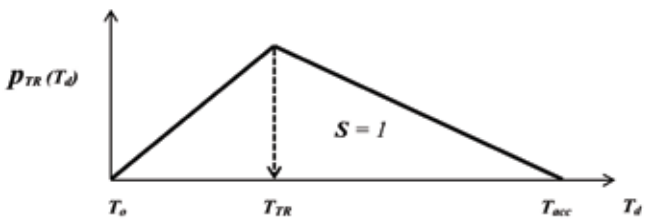
להן אופי של טווח קצר, 0.9 ו-0.8 בהתאמה, בהשוואה לפחות הופעות RD בטווח ארוך, ופרמטר  $\beta_2$ , שתוצאותיו נמצאו פחות מ-1 מדגימת שיעור כישלון של ירידה בזמן. לכן, מתעלמים מהטווח הארוך לקבוצה זו.

פרמטר חטיבה	$\alpha$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\beta_1$	$\beta_2$
צפון	0.47	3.98	570	0.92	1.4
דרום	0.68	4	539	0.92	0.96
לוגיסטיקה	0.69	19	622	0.67	1.32
*ייצור	0.9	20	660	0.66	1.55
*ביצוע	0.8	51	750	0.49	2.32

**טבלה 1. הטבלה מראה את גודל הפרמטרים של ההתפלגות**

בעבודה רב-צוותית, כאשר קבוצת עבודה מגיעה לאתר העבודה ו"לוקחת פיקוד", המשימה הראשונה שלה מתחילה בהכנות לביצוע העבודה. לדוגמה, לחלק משימות לעובדים לפי כישוריהם המקצועיים, לבחור את הכלי הנכון לעבודה, לתת את ההכשרה המתאימה ואת הוראות הבטיחות הרלוונטיות, וכד'. התרחיש האחרון הוא אירוע החלפת קבוצת עבודה (החלפת משמרת) - TR (Team Replacement), והוא נחשב גורם קריטי בבטיחות. התייחסותנו לאירוע TR היא כאל גורם בטיחות קריטי, כיוון שצוותים נדרשים לבצע פעולות בטיחות, כגון זיהוי, הערכה ובקרה של סיכונים בשלבי העבודה, ויש להבטיח ביצועים בטוחים ללא פגיעה בעובדים או נזק לרכוש. באירוע זה של TR, הערכות הסיכונים חלות על כל הסיכונים בעבודה שעלולים לאיים על חברי הצוות, כולל סיכונים רדומים שנוצרו על ידי צוותים קודמים שכבר פועלים באתר - MTRD.

אירוע TR זה מתרחש בטווח הזמן שהסיכון רדום (Dormant) (Time - DT), והוא מתואר באמצעות התפלגות משולש  $P_{TR}$ , כאשר זמן הרדימות  $T_d$  (DT) מוגבל על ידי שתי נקודות -  $T_0$  ל- $T_{acc}$  (איור 2). נורמליזציה של טווח הזמן הרדום נעשית באמצעות הליך פרוקרוסטס וקביעת קנה מידה חדש בין 0 ל-1, במקום  $T_0$  ל- $T_{acc}$  אחד. ברגע שקבענו מודל לאירוע בודד של TR, נבצע מיצוע על כל האירועים.



**איור 2: התפלגות TR**

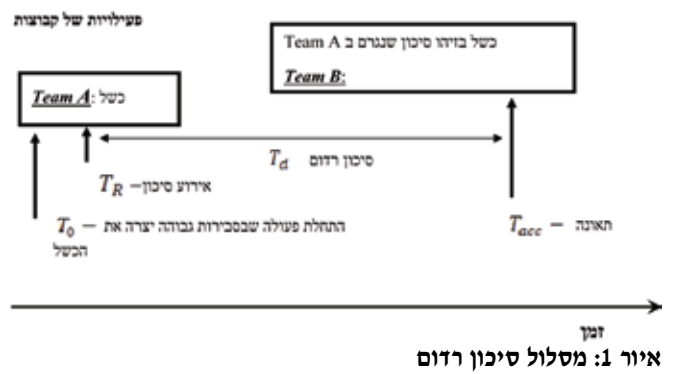
התוצאות מראות כי התפלגות רציפה זו יכולה להיות מתוארת היטב עם התפלגות בטא  $f$ :

$$f(\tau, \alpha, \beta) = \Gamma(\alpha + \beta) / \Gamma(\alpha)\Gamma(\beta) \tau^{\alpha-1} (1 - \tau)^{\beta-1}$$

ניתוח התפלגות בטא מגלה כי הנקודה המרבית של צפיפות ההתפלגות מופיעה ברגע החלפת משמרת TTR - הזמן שבו אירוע TR ממוקם בכ-40% מ-DT.

המודל שפותח במחקר זה הוא חדשני בשני מישורים עיקריים: ראשית, זיהוי של סיכון רדום - RD בעבודת רב-צוותית - MTRD. אף שהסיכונים הרדומים לא מזוהים או שניתנה להם הערכה נמוכה מדי, הם "פצצה מתקתקת": כל סיכון כזה מייצג אירוע

סוף בעמוד 25



B לתקופת זמן (סיכון רדום  $T_d$ ), ובסופו של דבר הוא עלול לגרום לתאונה  $T_{acc}$  ופגיעה בקבוצה B. מצב זה נקרא סיכון רדום בעבודת MT.

הניתוח שלהלן נערך מתוך נתוני תאונות תעסוקתיות של חברת החשמל בישראל, בין השנים 2004 ו-2011.

בחברת החשמל מועסקים 12,687 עובדים, המפעילים כמה תחנות כוח בעלות יכולת ייצור חשמל מותקנת של 13,133 מגוואט, המסופקת ללקוחות באמצעות רשת הולכה ואספקה ארצית. הפילוח הבא של מצבת העובדים לחמש חטיבות תפעוליות משקף את תחומי הפעילות העיקריים של החברה, שהוא רלוונטי למחקר זה.

החטיבות הראשונה והשנייה, מחוז צפון ודרום, מוליכות ומספקות חשמל. החטיבה השלישית עוסקת בבניית תחנות כוח ותחנות משנה. החטיבה הרביעית אחראית ללוגיסטיקה ומספקת שירותי תחבורה, מנופים, כלי רכב כבדים ועבודות מלאכה לחטיבות האחרות. החטיבה החמישית היא חטיבת הייצור, המפעילה את תחנות הכוח.

בהערכה ניסויית, אפשר לראות התאמה בין פונקציית לתקן CDF (בתורת ההסתברות זאת פונקציית הצטברות, CDF - Cumulative distribution function) מתוצאות הניסוי, לבין פונקציית ההתאמה הבאה, תאימות מצוינת בחמש החטיבות. פונקציה זו מנבאת את תוצאות פונקציית הניסוי של ה- $F_{exp}$  של ה-CDF של זמן רדימות הסיכון RD לנתוני תאונות MTRD:

$$F(T_d) = 1 - \alpha e^{-\left(\frac{T_d}{\theta_1}\right)^{\beta_1}} - (1 - \alpha) e^{-\left(\frac{T_d}{\theta_2}\right)^{\beta_2}}$$

הפרמטרים של התפלגות זמן RD לחמש חטיבות חברת החשמל מוצגים בטבלה להלן. כל אחד מהפרמטרים גם מחולק על ידי שתי אוכלוסיות ייחודיות שיש להן מאפיין מיוחד / משותף. חלק של  $\alpha$  מאוכלוסיית הסיכון הרדום מתאפיין בזמן רדום קצר ובפרמטר  $\theta_1$  ופרמטר צורה  $\beta_1$  טווח ארוך (פרק זמן ממושך עד להתרחשות הכשל) של  $(\alpha - 1)$  עם פרמטר  $\theta_2$  ופרמטר  $\beta_2$ . הנתונים מתוארים היטב על ידי התפלגות Weibull (התפלגות הסתברות רציפה, בעלת שני פרמטרים: פרמטר הצורה ופרמטר הגודל). בהתאם לכך, הטבלה הבאה מבחינה בין שתי קבוצות שונות. קבוצה אחת כוללת שלוש חטיבות: צפון, דרום ולוגיסטיקה, המציגות הבחנה ברורה בין התרחשות כשל בשל סיכון רדום בפרק זמן קצר, והתרחשות כשל בשל סיכון רדום בפרק זמן ארוך. כאשר התוצאות של  $\beta$  נמצאו קרוב ל-1, מודגם שיעור כישלון כמעט קבוע בזמן. עם זאת, בקבוצה השנייה, של שתי החטיבות אחרות - ייצור וביצוע, יש רוב להופעות זמן RD, אשר

---

## ניהול סיכונים רדומים בעבודה רב-צוותית המשך מעמוד 14

לכך, המודל המוצע מגדיר סיכונים רדומים, פן חדש של סיכונים שנוצרו על ידי עבודה רב-צוותית בארגונים תעשייתיים ובפרויקטים של תשתיות מודרניות, ללא קשר למסגרת הזמן. כרגע המודל תיאורטי בלבד. בכוונתנו להכניסו למסגרת אמצעי ניהול הסיכונים הקיימים, כדי לתת כלי יישומי בידי אנשי השטח, שיאפשר להם לתת מענה לסיכונים רדומים שזוהו על ידם. ■

ברמת סיכון כזו שבעתיד הנראה לעין יוביל לתאונה ודאית, אם כי לא לקבוצה שיצרה אותו, אלא לקבוצות אחרות הממשיכות את אותה עבודה או מבצעות עבודה אחרת באותו האתר. ואכן, גישת מרחב-זמן הנוכחית אינה מציעה פתרונות לסיכונים אלו. לכן, פיתחנו גישת TDP, שמציעה פתרון לניבוי RD. שנית, מסד נתוני תאונות חברת החשמל מאפשרים לנו להעריך ולקבוע את המגמות ואת היבטי הסיכון המשמעותי שתואר לעיל. בהתאם