

מגבלותיהן של

נוכח האפשרות שיתרחשו מצבי-חירום – תאונה, אסון-טבע, מלחמה, כְּשֶׁל של מערכת או קלקול במכונה – מוצע לעתים קרובות לפתח, להקים, לבנות או לרכוש "מערכות-חירום"; אלה הן מערכות מיוחדות, שיופעלו לכשייתרחש מצב-החירום ואשר מטרתן היא למנוע או להקטין את הנזק שעלול להיגרם.

דוגמה לכך היא מערכת המיועדת להפסיק תהליך-ייצור במפעל כימי בעקבות דליפה, או מערכת המכוונת להפסיק את פעולתה של תחנת-כוח בשל תקלה או להפעיל מזלפי-מים בפרוץ דֶּלְקָה. כסאות-מפלט במטוסים ומטפי-כיבוי במכוניות-נוסעים הם מערכות-חירום, וכן גם מנגנוני אזעקה שונים ויציאות-חירום. לעומת זאת, מערכת אספקת-המים העירונית (שמופעלת ברציפות), מערכת-הבלימה במכונית (שמופעלת לעתים תכופות) ומערכת כלי-הפסח (שמופעלת במועד ידוע מראש) אינן מערכות-חירום. אפילו אמבולנס עירוני אינו מערכת-חירום, שהרי הוא פועל דרך שגרה.

הקומקום הישן – אם הונח בעליית-הגג לצורך שימוש במקרה שיתקלקל המיחם האוטומאטי החדש – יכול גם הוא להיחשב כ"מערכת-חירום". "מערכת-חירום" אינה חייבת אפוא להיות קשורה דווקא בסיכון ציבורי או בעניין גורלי כלשהו, אך אנו נמקד את הדיון בתחום המערכות הציבוריות, ובפרט במערכות-חירום הקשורות בביטחון ובבטיחות.

"מערכת-חירום", אם כן, מאופיינת בכך שהיא משלבת שתי תכונות:

- א. המערכת נקראת לפעולה רק לעתים רחוקות;
 - ב. המערכת נקראת לפעולה ללא התרעה מוקדמת.
- גם מערכות צבאיות שמיועדות ללחימה הן מערכות-חירום. מוצבי-פיקוד שונים, מערכות-נשק, מסכות-גז ומקלטים להתגוננות אזרחית הם מערכות-חירום: הם מיועדים להפעלה שלא כדרך-שגרה, וללא התרעה מוקדמת.

הוא הדין במערכת-גיבוי, המיועדת להיכנס לפעולה במקרה של תקלה חריגה במערכת-שגרה. ואם המערכת

לאחר השוד בבניין בורסת-היהלומים ברמת-גן, דיווחה העיתונות: "החוקרים בודקים מדוע לא פעלו המצלמות, שתפקידן להנציח את הנכנסים בשערי הבניין; האם יד אלמונית חיבלה במצלמות, או שמא לא פעלו בגלל הזנחה שמקורה בתחזוקה לא נכונה. על-פי גרסה אחרת, פעולת המצלמות הופסקה לפני זמן קצר, כדי לשמור על סודיות הנכנסים."

מערכת-חירום מועדת לכישלון מעצם טבעה. חוסר-מודעות לכך מצד יזמי המערכות ומתכנניהן תורם להגדלת סיכוי הכישלון. העלויות והמאמצים הכרוכים בקיום השוטף של דריכות המערכת וכוננותה גבוהים מאלה הנדרשים להקמתה, ואם אין ביטחון שניתן יהיה לשאת בכך בעתיד – עדיף שלא להקים את המערכת כלל.

לערכות חירום

סא"ל (מיל') ד"ר יצחק רביד*

פורסם לראשונה בידי מחצ"ב – המרכז למחקרים צבאיים, רפ"ל, משהב"ט. המחבר מודה לאחדים מעמיתיו במחצ"ב, ובמיוחד לגב' שרה פוקס, על סיועם בביקורת, בהצעות ובהערות לחיבור זה.

- ה. **התאמה לנסיבות.** הנסיבות ותנאי-הסביבה שבהם נקראת המערכת לפעול צריכים שלא לחרוג מתחום הדרישות המבצעיות שעל-פיהן נבנתה;
ו. **אי-תלות.** המערכת צריכה להיות מחוסנת כלפי אותם גורמים שעלולים להביא למצב-חירום. נדון בהרחבה בכל אחד מחמשת התנאים הראשונים. התנאי הששי יידון בפרק הבא.

זיהוי מצב-חירום

מערכת-חירום לא תיקרא לפעולה אלא בעקבות זיהוי מפורש של מצב-חירום, זיהוי הכרוך בשיקול-דעת או בתהליך אוטומאטי מתאים. שני סוגי כישלונות מאיימים על הזיהוי: אי-הכרזה על מצב-חירום אמיתי ("היעדר אזעקה"), והכרזה מוטעית על מצב-חירום ("אזעקת-שווא"). לדוגמה, מנגנון אזעקה אוטומאטי עלול שלא להזעיק במצב-חירום אמיתי, בגלל נורית אזהרה שרופה – ועלול להזעיק בטעות, בגלל קצר חשמלי.

יש קשר של חילופיות (trade-off) בין שני סוגי הכשל. כדי להקטין את ההסתברות להיעדר אזעקה, יש לנקוט בכללים שיתירו אזעקה במצבים של ספק – והדבר יגדיל את ההסתברות לאזעקת-שווא.

הכרזה על מצב-חירום (אזעקה) מלווה בדרך-כלל בנזק, בין אם היא מוצדקת ובין אם היא נעשתה לשווא. אפשר למנות כמה דוגמות לנזק כזה: איבוד מטוס בעקבות החלטה על נטישה; הפסקת תהליך-ייצור בשל עצירת-חירום של מכונה; פינוי אוכלוסייה מחשש לסכנת זיהום; קלקול מלאי סחורות בשל הפעלת מערכת כיבוי-אש; נזק כלכלי וחברתי בשל גיוס מילואים. במתקנים תעשייתיים מסוימים, יש שדווקא הפסקת תהליכי-שגרה, בשל האזעקה, היא העשויה לגרום לתקלה בטיחותית ולמצב חירום. בהיעדר ביטחון בקיומו של מצב-החירום, החשש מאזעקת-שווא גורם לרתיעה חזקה מהחלטה על אזעקה. אל הנזק האובייקטיבי עשוי להתוסף חשש אישי, ברמות שונות, של מי שאמורים להכריז על מצב-חירום;

המגוּוּה היא צבאית, אזי מערכת-הגיבוי היא בבחינת "חירום שבחירום". כזו היא, לדוגמה, סדרת גיבוי של מרעומי-פצצות, שמיועדת להיכנס לשימוש במקרה שתוך כדי לחימה יתגלה כשל שיטתי בסדרת מרעומים תקנית. מרבית מערכות-החירום, מעצם טבען, אינן מגיעות בכלל להתנסות אמיתית. הליקויים בהן מתגלים, בדרך-כלל, רק בעקבות כישלונן במצב-חירום. בהתבסס על המספר הגדול-יחסית של כישלונות ידועים מתוך מיעוט מערכות-החירום הנדרשות לפעולה, ניתן להעריך כי מערכות-חירום רבות אינן מסוגלות לבצע את המצופה מהן.

כישלון חושף בדרך-כלל מחדלים: פגמים בתכנון המערכת או בבנייתה, ליקויים בטיפול ובאחזקה, רשלנות בכוננות, שגיאות בהפעלה. הגישה הרזוחת היא לנסות ולזהות את האשמים במחדלים אלה ולהטיל עליהם את האחריות לכישלון. אולם השכיחות הגבוהה של הכישלונות מעידה על כך, שייתכן כי יש להן סיבות שיטתיות. בהמשך המאמר ננסה לזהות סיבות אלה.

הדרישות ממערכת-חירום ומגבלותיה

על-מנת שמערכת-חירום תמלא כראוי את תפקידה צריכים להתקיים מספר תנאים:

- זיהוי. יש להחליט, שאכן קיים מצב הדורש את הפעלת המערכת;
- מיתוג. יש להפעיל את המערכת, דבר הכרוך במיתוגה במקום מערכת-שגרה שהתקלקלה, בהבאתה למקום הנדרש או בפעילויות אחרות;
- זמינות. על המערכת להיות שמישה בעת שנזקקים לה;
- כשירות. על המערכת למלא את הדרישות המבצעיות שלמענן תוכננה;

סיבות אפשריות לחשש זה הן:

א. האחריות להתרחשותו של מצב-החירום עלולה להיזקף לחובתו של המכריז; לחובתו של מנהל-משמרת שיחליט כי יש תקלה, או לחובתו של טייס שיחליט על נטישת המטוס.

ב. ההכרזה יכולה להיות כרוכה בהטרדתם של ממונים (המהנדס-האחראי, מפקד-המשמרת, האלוף), שאין ששים להעירם לשווא באמצע הלילה.

ג. הפעלת מערכת-החירום עלולה למנוע את אפשרות ההוכחה, לאחר-מכן, שאכן היה מצב-חירום. שוטר אשר ירה בפושע עשוי להתקשות להוכיח שאכן נשקפה סכנה לחייו. גיוס המילואים עשוי לסכל את כוונת האויב לבצע התקפת-פתע, אך בעקבות זאת לא תימצא הוכחה לכך שהאויב אכן התכוון לתקוף. הכרזת מצב-חירום היא הודאה בקיומו של משבר. קיים מניע חזק מאוד, מודע ובלתי-מודע, לדחות הודאה זו ככל האפשר. כל עוד יש ספק, נוטים לעכב את ההכרזה "עד שנדע בדיוק מה קורה"; זה נעשה מתוך תקווה שהמצב יחלוף או שיתגברו עליו בלא להיזקק לאמצעי-חירום. לפיכך, הכשל של העדר-זיהוי אינו בהכרח תוצאה של הזנחה או רשלנות. הוא משקף דילמה בסיסית [Woholstetter 1962].

קיימת גם נטייה לפרש סימני-אזעקה מוסכמים, המעידים על מצב-חירום, כאילו היו לא יותר מאשר תקלות במערכות הבקרה. דוגמה מאלפת היא תקלת-מנועים של חברת-התעופה "איסטון" שאירעה בחודש מאי 1983 [Aviation Week 1984]. מטוס מסוג לוקהיד L-1011, ובו 162 נוסעים, המריא לטיסה שגרתית ממיאמי שבפלורידה לאיי בהאמה. אחרי ההמראה נדלקו, בזו אחר זו, שלוש נורות-אזהרה, שהעידו על נפילת לחץ מסוכנת של שמן-הסיכה בכל שלושת מנועי המטוס. בהתייעצות אלחוטית של הצוות עם מומחים על הקרקע סוכם, שלא ייתכן קשר כלשהו בין המנועים, ולא סביר שתופיע תקלה בשלושתם כאחד; הם קבעו כי זוהי מן-הסתם תופעה שמקורה בתקלה במערכת-הבקרה, שהיא הקשר האפשרי היחיד בין שלוש הנורות. בהמשך הטיסה נשרפו שני מנועים. לאחר צניחה מסוכנת של המטוס, שהיה באוויר ללא כל פעולת מנועים – ולאחר הכנות לנחיתת-חירום בים – הצליח הצוות להפעיל מנוע אחד, ולנחות כשורה. בדיעבד התברר, שהתקלה נגרמה בגלל טכנאי (במשמרת-לילה) שלא התמצא בהוראות הטכניות; הוא ביצע פעולת שגרה של החלפת אטמים בהתקני-בקרה בשלושת המנועים, אך בטעות הרכיב את כל שלושת האטמים ללא טבעות-אטימה. (ראוי לציין עוד עניין מאלף: התקני-הבקרה שבהם הוחלפו האטמים לא היו חלק מקורי של המנועים, אלא נקבעו במועד מאוחר כתוספת בטיחות; מיקומם הלא-סטנדרטי והגישה הלא-נוחה אליהם היו גורמים מסייעים להתקנה השגויה.)

מקרה אחר הוא היבקעותו של צינור-דלק במפרץ ליד העיר ניריורק (בתחילת 1990), אשר בעקבותיה נשפכו

למפרץ כ-600 אלף גאלון של דלק, משום שהעובדים לא התייחסו ברצינות לאות האזעקה. השבועון טיים, שתיאר את המקרה, הביע תדהמה וזעזוע: פועלי 'אקסון' הוזהרו כי תיתכן היבקעות אך לא פעלו כנדרש; נורית-אזהרה הבהבה מאחר שמנגנון אוטומאטי זיהה את הדליפה – אך במקום להפסיק את הזרימה בצינור, שהיתה יכולה להפסיק את הנזילה לאחר כמות זעירה, הפועלים התעלמו מן האזהרה במשך כמעט שש שעות. הסיבה להתנהגותם: מערכת בקרת-הדליפות תיפקדה שלא-כשורה במשך כל השנה שקדמה לאירוע.

יש דוגמות רבות לכך שמערכת-חירום לא הופעלה בשל דחייה, או תקלה בזיהוי מצב-החירום. לגורם זה היה משקל חשוב גם בפרשיות מפורסמות, כגון "ליל העלטה" בנירירוק וגיוס המילואים במלחמת יום-כיפור.

בעיה זו – זיהוי קיומו של מצב המחייב את הפעלת המערכת – אינה קיימת לגבי מערכות המופעלות ברציפות או המופעלות במועדים ידועים מראש. הבעיה אמנם קיימת לגבי מערכות המופעלות לעתים לא-מתוכננות, אף אם תכופות (ואשר לפיכך אינן מערכות-חירום); גם במערכות אלה קיימת החילופיות שבין שני סוגי הטעויות. עם זאת, מכיוון שהן מופעלות לעתים תכופות, ניתן לווסת במשך-הזמן את הקריטריונים לזיהוי ולהגיע למצב שיווי-משקל מיטבי בין שני סוגי הטעויות. כמרכן, ניתן לשפוט את המחליטים על-פי סדרת-החלטות ארוכה ולא על-פי החלטה חד-פעמית.

מיתוג מערכת-חירום

היזום של פעולת מערכת-חירום כרוך לא רק בזיהוי, אלא גם במתן הוראה ובתהליך הפעלה. תהליך זה יכול להיות מיתוג אוטומאטי של מערכת-החירום, או סדרה מתאימה של פעולות ידניות. בכל אחת משתי האפשרויות טמון פוטנציאל נוסף לכשל.

תהליך המיתוג קיים לא רק במערכת-חירום, אלא בכל מערכת שאינה פועלת ברציפות. במערכת המופעלת לעתים תכופות, המיומנות בביצוע פעילויות המיתוג רבה יותר; במערכת המופעלת לעתים רחוקות, אך במועדים ידועים מראש, ניתן להתגבר על קשיי-המיתוג באמצעות הגברת הכוונות לקראת מועד ההפעלה. קשיי המיתוג, כמו קשיי הזיהוי, מכבידים במיוחד על מערכת-חירום.

נביא כמה דוגמות:

- א. כשתזדקק למקלט שבמרתף ביתך, אתה עשוי למצוא אותו נעול. המפתח יהיה בידי חבר ועד-הבית, שיחזור רק בערב. לכשיחזור, הוא יתקשה למצוא את המפתח (אלא אם המקלט משמש בשגרה כחדר-משחקים).
- ב. כשתשמע צפירת-אזעקה, תתקשה להבחין: האם זו צפירה של אותות מקוטעים לאורך 30 שניות או לאורך 60 שניות. גם אם תבחין – לא תזכור איזו קוראת לירידה למקלט בגלל הפצצת אוויר, ואיזו תובעת הסתגרות במשרדך בגלל תקיפת מחבלים.

ג. ביישובי-ספר קיימים גם חדרי-ביטחון (בבתי-המגורים) וגם מקלטים (מחוץ לבתים). העדפת השימוש באחד מהם על-פני השני, במקרים השונים, אינה ברורה.

זמינות המערכת

למערכות המופעלות ברציפות, או לעתים תכופות, אין צורך חיוני בתת-מערכת מיוחדת אשר תבדוק שהמערכת מסוגלת לפעול; אם המערכת אינה תקינה, יתגלה הדבר על-ידי אי-פעולתה. מערכת שאינה מופעלת ברציפות, אך מיועדת לפעול במועדים ידועים מראש, אכן דורשת בדיקה – אך זאת ניתנת להיעשות לקראת מועד ההפעלה המתוכנן. אבל מערכת-חירום, שאינה מופעלת לעתים תכופות ועם זאת עשויה להיקרא לפעולה בכל עת, מחייבת מעקב יזום ורצוף אחר תקינותה. מדד מקובל לזמינות הוא ההסתברות שברגע כלשהו המערכת תימצא תקינה:

$$\text{זמינות} = \frac{\text{זמן ממוצע בין תקלות}}{\text{זמן ממוצע בין תקלות} + \text{זמן תיקון ממוצע}}$$

"זמן תיקון ממוצע", המופיע בנוסחה לעיל, כולל גם את פרק-הזמן שבין התרחשות התקלה לבין גילוייה. במערכת-חירום, פרק זמן זה עלול להיות ארוך מאוד. סדרה שלמה של חימוש (למשל) יכולה להתיישן ולהפוך לבלתי-ראויה לשימוש, אך הדבר עלול שלא להתגלות עד פרוץ המלחמה. אם משך-הזמן הממוצע בין תקלות יהיה קצר מאשר משך-הזמן הממוצע בין הפעלות, או יהיה דומה לו, תימצא המערכת בלתי-תקינה במרבית ניסיונות ההפעלה.

ואמנם, אי-הזמינות של מערכת-חירום היא תופעה נפוצה:

א. כשתזדקק למטף-הכיבוי שבמכוניתך, תמצא אותו ריק. לו היית מוסר אותו לבדיקה שנתית (כפי שדורשות ההוראות המודפסות על גב המכשיר), ייתכן כי היה מתפקד – אבל אתה (אם אינך יוצא-דופן) לא מסרת אותו לבדיקה שנתית; מכבי-האש יגיעו למכוניתך הבעורת לפני שאתה, והנהגים שיעצרו בדרך לעזרתך, תצליחו להפעיל את מטפי-החירום שבמכוניותיכם.

ב. פורץ תמהוני נכנס דרך החלון אל חדר-המיטות של מלכת בריטניה. הוא שהה בחדרה כעשרים דקות בלא שהמלכה יכלה להזעיק עזרה; אמנם היה כפתור אזעקת-חירום בחדר, אך הוא לא פעל כהלכה.

בדרך-כלל, מלוות מערכות-חירום באמצעים ובנהלים לבקרת זמינותן. תהליכי הבקרה מתוכננים כך, שזמינות המערכת תובטח אם תהליכים אלה יופעלו ככתוב. בפועל, המערכות אינן זמינות לעתים קרובות; הסיבה לכך היא מחדלים בקיום נוהלי הבקרה. גורמים אחדים מעודדים מחדלים אלה לגבי מערכות-חירום דווקא:

א. בגלל הסבירות הנמוכה של אירוע-חירום, הנוגעים-

בדבר מעריכים – במודע או שלא-במודע – כי האירוע לא יקרה; לכן, אין הם מקפידים על תהליכי הבקרה והתיקון. גם מנגנוני פיקוח על ביצוע הנהלים ומנגנוני פיקוח-על לוקים בכך, ועל-כן לא יבטיחו את פתרון הבעיה.

ב. המחדלים אינם מתגלים בדרך-כלל, ולכן מונצחים לא רק המחדלים אלא גם תהליכי-הבקרה הרשלניים. הם הופכים למסורת, ולאחר זמן שוכחים שמסורת זו חורגת מן הנהלים שנקבעו מלכתחילה.

ג. מערכות-החירום ניצבות רוב הזמן ללא שימוש, ומשום כך קיימת נטייה לעשות בהן שימוש תחליפי לצרכים שוטפים שונים, או ליטול מתוכן חלפים ואביזרים שונים לשימושים אחרים, או – לכל הפחות – לתת להן עדיפות נמוכה בכל הקשור לחידוש חלפים ואביזרים ולאחזקה שוטפת.

לא כל מחדל כזה הוא בחזקת עברה. חלק מהמחדלים נובע מדלות-משאבים, שאכן מצדיקה העדפה של מערכות אחרות על פני מערכות-החירום. לעתים, אף שהמערכת כבר קיימת, לא כדאי להשקיע את תוספת המאמץ הנדרשת לבקרת כוונותיה. ייתכן שהסיכוי הנמוך לדלקה אינו מצדיק את הטרחה שכרוכה בבדיקת המטף ובזכירת מועד הבדיקה הנדרש. (טרחה זו יכולה להכביד על בעליו של כלי-הרכב יותר ממחירו של המטף.) ייתכן שהסיכוי הנמוך להיזקקות (באורח פתע) למקלטים אינו מצדיק את הטרחה שבמעקב אחר מפתחותיהם, לרבות מינוי המשגיחים הנדרשים. ייתכן שמאמץ הפיקוח הרב שהיה נדרש כדי לוודא שהבודק אכן יבדוק את פעמון-החירום בחדר-השינה של המלכה (ולא רק יסמן "+ בטופס ביקורת הבדיקות) הוא השקעה כבדה מדי, לנוכח השכיחות הנמוכה של פריצות לחדר המלכה.

כשירות

מערכת-חירום עלולה להיות בלתי-תקינה לא רק בשל תקלות בתהליך האחזקה השוטפת, אלא אף מלכתחילה – בשל פגמים בתוכן ובייצור. ייתכן שאינה כשירה כל-עיקר לעמוד במטלות אשר לשמן נבנתה.

מוצרים חדשים, או מערכות חדשות, עוברים בדרך-כלל "מבחני-קבלה" לפני שהצרכן מקבלם לרשותו. אך מבחנים חד-פעמיים כאלה אינם שקולים למבחן השימוש המעשי. בניגוד למערכות הנמצאות בשימוש תכוף, הוכחת כשירותן של מערכות-חירום תלויה באופן בלעדי במבחני-הקבלה. איכותם של מבחנים אלה תלויה בכמות המשאבים המוקצית לבדיקה, כמות אשר לעתים קרובות אינה מספקת. היא תלויה גם במקצועיות ובניסיון של הבודקים, אשר עשויים לפגר אחרי המקצועיות והניסיון המלווים מערכות הפועלות דרך שגרה. לכן, למרות הבדיקות, ייתכן שבשעת-חירום יתגלו ליקויי-כשירות במערכות.

יתר-על-כן: בעוד שבמבחני-קבלה של מערכות אחרות (גם אלה המופעלות ברציפות או לעתים תכופות, וגם אלה המופעלות לעתים רחוקות, אך במועדים ידועים

מראש) יודעים הבודקים כי אם יתעלמו מליקויים הם צפויים להיות מוקעים בשל כך, כי הליקויים יתגלו עם הפעלת המערכת – הרי שלגבי מערכות-חירום יכולים הבודקים להקל בתנאי-הקבלה ללא חשש רב לכך שהדבר יתגלה.

התאמה לנסיבות

מערכת-שגרה מתאימה את עצמה באופן שוטף לנסיבות שבהן היא פועלת. כך, בבית-מסחר גדול מותאם מספר הזבנים בכל משמרת לעומס הלקוחות באותן שעות היממה. מערכת-חירום, לעומת זאת, מותאמת לנסיבות המשוערות שאותן צופים מתכנניה – ואילו בפועל, הנסיבות עשויות להיות שונות. מערכת-חירום יכולה להיבדק רק לכאורה, בתנאים המדמים מצב-חירום: ניסוי או תרגיל. ייתכן, שתנאי-החירום הממשיים יהיו שונים. הניסוי והתרגיל מדמים בעיקר תופעות חירום אשר המתכננים והאחראים להפעלת המערכת מודעים להן. אף אם היו הפעלות-חירום בעבר, הרי האופי הלא-סדיר של מצב-חירום יכול לגרום לכך שהנסיבות של מצב-חירום הבא יהיו שונות.

בעוד ששורש בעיית הזמינות הוא בהעדר ביצוע של הביקורת המתוכננת, הרי שבעיית ההתאמה-לנסיבות נובעת מקוצר-דמיון, שמגביל את יכולת המתכננים לצפות נסיבות ריאליות, ומריבוי צירופי-הנסיבות האפשריים, שמקשים לתכנן מערכת שתתאים לכולם.

לדוגמה: שילובים של טמפרטורה ולחץ קיצוניים, והתפתחויות דינאמיות שלהם במצב-תאונה, אינם ניתנים לדימוי מלא. הוא הדין בתגובותיהם של מפעילי המערכת, אשר במצב-חירום אמיתיים עשויות להיות שונות מתגובותיהם בעת תרגילים.

דלקה עלולה לחסום גישה למטפ-כיבוי, שיועדו לכיבוי; היא יכולה לפרוץ באזור שבו סמטאות צרות, שרוחבן אינו מאפשר מעבר לכבאית; בעל-סמכויות, שאישורו נדרש לצורך פעילות-חירום מסוימת, יכול להיות עסוק דווקא בשל מצב-החירום – כך שלא תהיה אליו גישה; ערוץ תקשורת-חירום עלול שלא להתחבר למערכת-הקשר המיוחדת שיופעלו בשעת-חירום.

התופעה בולטת במיוחד לגבי מערכות צבאיות. בניסויים ובתרגילים, קשה טכנית לדמות באורח מלא אפילו את אותם תנאי הסביבה של שדה-הקרב שניתן לחזותם; על אחת כמה וכמה קשה לדמות תנאים, שאין חזים את אפשרות קיומם – ושעלולים להיווצר במפתיע, בין אם בשל שילובי נסיבות בלתי-צפויים ובין אם בגלל יזמת האויב. הקושי לצפות שילובי נסיבות של שדה-הקרב עלול לגרום כשל מערכות. דוגמות:

א. פגזים המצוידים במרעומים אלקטרומגנטיים מסוג נתון עשויים להיכשל בגלל הפרעות אלקטרומגנטיות מכוונות או רעשים לא מכוונים של מערכות אחרות בשדה-הקרב;

ב. הפעלת מערכת-נשק חדשה, מתוחכמת, עלולה

להיכשל בשל חוסר יכולת של המפעילים לעבוד או להתרכז כראוי תחת אש אויב;

ג. מאמץ רב מושקע בתכנון מפקדות-חירום, אך בסופר-של-דבר אין הן פועלות כפי שתוכננו. תוך כדי המלחמה, נראות רבות ממפקדות אלה כאתרי-בנייה או כמבנים בשיפוץ: קירות ופתחים מוזזים, אמצעי-מיגון מתוספים, מערכות-תקשורת מוחלפות ומחזקות, תפקוד חדרים משתנה. חלק ניכר מן ההכנות המוקדמות שנעשו נכשל, בשל העדר יכולת לדמות באופן ריאלי כיצד ייראו פני-הדברים במלחמה.

הסיפור הבא הוא אופייני: "פריסת כוחות צה"ל באזור חמת-גדר שונתה – בעקבות תחקירים שהתקיימו לאחר ארבע תקריות הירי בחמת-גדר, וחיסולו של החייל הירדני שהסתתר שם. החייל הירדני ניצל את השטח עד תום, וכוחות גדולים יחסית של צה"ל לא הצליחו לגלות אותו במשך כמה ימים. הפריסה הקודמת נקבעה לפני שנים רבות, ומאחר שלא היו שם תקריות לא נתגלו נקודות התורפה שבה." [מעריב, 7 בינואר 1990]

מערכות-גיבוי

"מערכת-גיבוי" היא מערכת המיועדת להיכנס לפעולה במקום מערכת ("מערכת מגובה) שנתגלתה בה תקלה. נדון רק במערכות-גיבוי שהן מערכות-חירום; דהיינו, כאלה שנקראות לפעולה רק לעתים רחוקות וללא התרעה.

להלן כמה דוגמות למערכת-גיבוי

א. מתקן מפקדה חלופי, המיועד לשמש במקרה שיהיה הכרח לפנות מתקן מפקדה ראשי;

ב. גנראטור-חירום, המיועד לספק חשמל במקרה של תקלה במערכת ההספקה הרגילה;

ג. מערכת נשק, המיועדת להיכנס לשימוש אם יסתבר שקיים כשל שיטתי במערכת של הקו הראשון.

דרישה חיונית ממערכת-גיבוי – בנוסף לדרישות ממערכות-חירום בכלל, שנדונו בפרק הקודם – היא, שלא תיכשל יחד עם המערכת המגובה. זוהי דרישת אי-תלות.

אי-תלות

אם למערכת המגובה ולמערכת-הגיבוי יש גורמי-כשל משותפים, ניתן לצפות שבמקרה של כשל באחת מהן לא תפעל גם האחרת. זמינותה של מערכת-גיבוי מותנית בכך, שגורמי הכשל שלה יהיו שונים מאלה של המערכת המגובה. שאלת התלות בין גורמי הכשל של שתי המערכות היא סוגיה מכרעת, שראוי להתעכב עליה. לצורכי דיון זה נתעלם מבעיות הזיהוי והמיתוג (שבהן עסקנו בפרק הקודם) ונתייחס אל מכלול שתי המערכות כאל מערכת אחת – שבה, לצורך הגדלת האמינות, הרכיבו במקביל שני רכיבים אשר כל אחד מהם מסוגל לבצע את משימת המערכת.

שני אירועים אפשריים הם "בלתי-תלויים", אם הידיעה שאחד מהם אירע אין בה כדי לשנות את ההסתברות לכך שהשני אירע. לגבי אירועים בלתי-תלויים (ולא בדרך-כלל!), ההסתברות לכך ששניהם יארעו שווה למכפלת ההסתברויות שלהם. שתי מערכות הן "בלתי-תלויות", אם אירועי הכשל של שתיהן הם בלתי-תלויים; כלומר, אם קיום פֶּשֶל באחת מהן אין בו כדי לחזק או להחליש את ההערכה לגבי קיום פֶּשֶל בשנייה.

אם שתי מערכות אינן בלתי-תלויות, הסתברויות הכשל שלהן יכולות להיות קשורות זו בזו במתאם חיובי או במתאם שלילי.

א. **מתאם חיובי:** הידיעה, שאירע פֶּשֶל באחת המערכות, מביאה להגדלת ההסתברות לכך שאירע כשל במערכת האחרת. תופעה זו שכיחה במצב שבו יש לשתי המערכות סיבות-כשל משותפות. במקרה קיצוני – שתיהן מצליחות או נכשלות כאחת, וההסתברות לכשל משותף זהה לכשל כל אחת מהן כשלעצמה. במקרה כזה, בגיבוי אין כל תועלת.

ב. **מתאם שלילי:** הידיעה שאירע כשל באחת המערכות, מביאה להקטנת ההסתברות לכך שאירע כשל במערכת האחרת. תופעה זו עשויה להיגרם על-ידי כך, שדווקא בתנאים שבהם מועדת מערכת אחת לכישלון – פועלת השניה כשורה. (לדוגמה: האחת נוטה להיכשל בטמפרטורה נמוכה, והשנייה – בטמפרטורה גבוהה.) במקרה קיצוני, מערכת אחת נכשלת אם ורק אם האחרת פועלת כשורה; במצב זה המערכות משלימות זו את זו, וההסתברות לכשל משותף היא אפסית. במקרה כזה, הגיבוי מבטיח הצלחה מלאה.

קשה להשיג מתאם שלילי בין הסתברויות פֶּשֶל של מערכות חלופיות. להלן, כשנדון ב"תלות", נתכוון לתלות בעלת מתאם חיובי בלבד; זו התלות הנפוצה בין מערכת-הגיבוי למערכת המגובה, ואותה מעוניינים להקטין ככל האפשר. גורמים רבים מביאים לכך, שתלות זו חזקה הרבה יותר ממה שנדמה לכאורה. גורמים אלה עשויים להיות: ליקויים בחומר-בנייה או בתהליכי ייצור משותפים, רמת אחזקה או השגחה כללית ירודה, התיישנות, שיתוך (קורוזיה) כתוצאה מרטיבות במחסן שבו מאוחסנות שתי המערכות, שגיאות שיטתיות של טכנאי בהרכבה של שתי המערכות, תנאי-סביבה שהכשילו את המערכת המגובה ואת מערכת-הגיבוי גם יחד.

לעתים קרובות מועלית דרישה, שמערכת-גיבוי תהא אמינה מאוד, אמינה אף יותר מאשר המערכת המגובה, שהרי לא תוכנס לפעולה אלא במקרה חירום והיא מעין מפלט אחרון. מובן, שעדיפה מערכת אמינה יותר, אך יש סייג לכדאיות ההשקעה בשיפור שולי של האמינות. הגדלת ההשקעה באמינות תביא לשיפור באיכות הרכיבים ובשיפור התכונות העצמיות של המערכת, שעליהם ישנה שליטה ליצרן; אך גורמי הכשל העיקריים של מערכת-חירום תלויים אך במעט בתכונות האמינות של המערכת כשלעצמה ונובעים מהקשיים הטבעיים בעצם היותה

מערכת-חירום. תהא זו שגיאה לחשוב, כי השקעה בשיפור האמינות תבטיח את התפקוד התקין של המערכת. הדרישה הבסיסית ממערכת-גיבוי היא איתנות במערכת המגובה, כלומר חסינות מפני גורמי-הפֶּשֶל העיקריים שלה. דרישה זו חשובה יותר מן האמינות של מערכת-הגיבוי כשלעצמה. אם דרישת איתנות מתקיימת, אזי יש למערכת-הגיבוי ערך רב אף אם אמינותה נמוכה; אפילו אמינותה 50% בלבד – היא תקטין את הסתברות הכשל של המערך הכולל למחצית ערכה ללא גיבוי.

הדילמה של הגיבוי

כאמור, בעת תכנון מערכת-גיבוי, צריך לשאוף להקטנת התלות שבין המערכת המגובה למערכת-הגיבוי. כדי להקטין את התלות, על מערכת-הגיבוי להיות שונה ככל האפשר מן המערכת המגובה: שונה במבנה, בעקרונות פעולה, במערכות-עזר ובממשק עם הסביבה. רצוי, שהמערכת תיבנה על-ידי יצרן אחר ועל-פי תכנון אחר. ועוד רצוי שאנשים אחרים יתחזקו אותה ויפעילו אותה – ויעשו זאת על-פי נהלים אחרים ובמקום אחר. גם תהליכי הפיקוד והבקרה שלה, רצוי שיהיו שונים מאלה של המערכת המגובה.

אך הכפלות אלה מגדילות את העלות של המערך. יתר-על-כן: כל תוספת של מרכיב שונה תחייב להתגבר מחדש על המגבלות המיוחדות למערכת-חירום; דהיינו, יהיה צורך להבטיח את התאמתו של המרכיב לדרישות המבצעיות, לדאוג לזמינותו ולטפל בבעיות מיתוגו בעת הפעלה. ככל שמערכת-הגיבוי תכלול יותר מרכיבים השונים מאלה של המערכת המגובה, כך תגדל העלות (הישירה והעקיפה) שלה וכך יתרחב גם פוטנציאל הכשל שלה.

הוצאת רעיון של מערכת-גיבוי מן הכוח אל הפועל מלווה לכן לעתים קרובות בתהליך של התפכחות הדרגתית; במהלכה משלימים, בזה אחר זה, עם קיומם של גורמי כשל משותפים רבים. בגלל הקושי להגיע לאיתנות רחבה, מסתפקים בדרך-כלל במערכת-גיבוי התורמת רק לתחום צר של כשלים מסוימים.

יתירות וכוננות

בגלל הבעייתיות שבהבטחת יעילותן של מערכות-חירום, כדאי להתאמץ להפחית את ההיזקקות למערכות אלה על-ידי הקטנת ההסתברות להיווצרות מצבי-חירום או על-ידי הטלת מטלות-החירום על מערכות הפועלות בשגרה. אם לא ניתן לוותר על מערכות-חירום – ניתן להקטין את פוטנציאל הכשל שלהן על-ידי הפעלתן בשגרה במהלך-סרק.

יתירות במערכת-שגרה

במקום להפעיל תאורת-חירום רק בעקבות תקלה

למצב-החירום שעלול להתעורר, או שמהירות תגובתן אינה מספקת. לכאורה, מערכת-חירום ייעודית תוכל להיות מותאמת טוב יותר ולהגיב במהירות רבה יותר למצב-החירום. אולם, שיקול זה מתעלם מהמגבלות המהותיות של מערכות-חירום. לעתים קרובות יש יתרון בהטלת משימות חירום על שירותי-השגרה קיימים – במקום לארגן שירותי-חירום מיוחדים – אף אם אין בכוחם של שירותי-השגרה לתת פתרון מושלם.

בעת תכנון מיקומם של מתקני-חירום, קיים לעתים קרובות לחץ לפצל את המערכות; הנימוק לכך הוא הרצון שיהיו קרובות למקומות האירוע. כך, באזור דליל-אוכלוסין קיימת נטייה להציב אמבולנס-חירום וכבאית-חירום בכל יישוב קטן ולהכשיר מתוך האוכלוסייה נהגי-חירום וחובשי-חירום; כל אלה מנוצלים אך מעט, שמישותם מידרדרת (או שכלי-הרכב נלקחים לשימושים אחרים), והבקרה על זמינותם נחשלת. ריכוז האמצעים בתחנת-הצלה אזורית אחת, אף שתהא מרוחקת יותר ממקום האירוע, עשוי להפוך את השירות ממערכת-חירום למערכת-שגרה – ולהביא, בסיכומר-של-דבר, לשיפור השירות. יתר-על-כן: כדי להגביר את תעסוקת התחנה ניתן לשקול איחוד שירותים (הכשרת כבאי-אש כך שיוכלו לשמש גם כאנשי עזרה רפואית, וביטול תחנת עזרה-ראשונה נפרדת). בנוסף לחיסכון כלכלי, יש בכך תרומה חשובה לעירנות התחנה. תחנות כבאי-אש רבות מטפלות גם בתקלות אחרות (כמו סילוק שפכי-שמן מכבישים, שאיבת מים ממרתפים מוצפים ופתיחת דלתות שמפתחות מנעוליהן אבדו) – ויש לכך ערך רב: הדבר מבטיח שהטלפונים בתחנה יהיו תקינים, שהתורן יהיה עירני, שהתיאום בין האחראי לבין המשמרת יהיה כשורה, שכלי-הרכב יהיו תקינים ושהאנשים ימצאו בכוננות. ניתן היה לטעון, לכאורה, שפעילויות משניות אלה פוגעות בכוננות לקראת אפשרות של תקרית חמורה; בפועל – תרומתן חיובית, בדרך-כלל.

יש יתרון להסתמכות רבה ככל האפשר על שירותי תחבורה קיימים על-פני שירותי רכב-חירום; יש יתרון לשימוש בשידורי רדיו קיימים על פני הקמת מערכות כריזה, אשר ינוצלו רק בשעת-חירום. בתכנון התגוננות אוכלוסייה המונית נגד תקיפה אפשרית של חל"ך יש יתרון להסתמכות על סגירת חלונות על-פני הסתמכות על שימוש במסכות-גז. היתרון גדל עוד יותר, אם המשאבים שהיו אמורים להיות מוקצים להקמת מערכות-החירום יוקצו לתגבור ולשיפור מערכות-השגרה.

כוננות

"כוננות" היא אוסף פעילויות, הנעשות כדי להגדיל את הסיכוי לכך שמערכת-חירום תתפקד באופן נאות. באמצעותה מנסים להתגבר על הקשיים האופייניים למערכות-חירום.

ניתן להפעיל גנראטור חירום בפעולת-סרק באופן שוטף – כך שלכשייזרש לא יהיה צורך להתניעו, אלא

בתאורת-השגרה ניתן להפעיל את שתי המערכות באורח קבע, במקביל; במקרה של תקלה במערכת-השגרה, תמשיך מערכת-החירום לפעול לבדה. בדרך זו מתגברים כמעט על כל נקודות-התורפה של מערכת-חירום: אין צורך בזיהוי, אין צורך במיתוג, יש בקרה מתמדת על זמינות מערכת-הגיבוי, וכשירות המערכת מוכחת באופן שוטף. ניתן לצייד פצצה בשני מרעומים בלתי-תלויים, כך שכל אחד מהם יוכל להפעילה לבדו. זוהי הכנסת יתירות למערכת-השגרה; אין זה גיבוי במובן של מערכת-חירום, שיש צורך ליזום את הפעלתה בעקבות זיהוי כשל במערכת המגובה.

במתקנים רבים נתקלים ב"יציאות-חירום" נעולות או חסומות. הסיבה לכך היא שהמופקדים על המתקן מעוניינים למנוע כל שימוש בפתח (לכניסה או ליציאה) מחוץ לשעת-חירום. ניתן אמנם לצייד את הפתח בהתקן אזעקה, שיופעל על-ידי הפתיחה, כדי להרתיע מפני פתיחה שלא בחירום; אבל התקן כזה יהיה יעיל רק אם בקרבת-מקום ימצא ממונה שייגיב במקרה של אזעקה. ככל שההתקנים שבפתח מורכבים יותר, יהיה קשה יותר לדאוג לתקינותם. כללו של דבר, חלק ניכר מ"יציאות-החירום" אינן מאפשרות יציאה בשעת-חירום. חמור מזאת: הן מטעות, כי אין יודעים שהן אינן מאפשרות יציאה. במתקנים שבהם יציאת-חירום היא חיונית, מגיעים לעתים קרובות – ובצדק – למסקנה מסוג שונה: במקום להשקיע מאמצים-סרק באחזקת יציאת-חירום שאינה מתפקדת כראוי, עדיף להשקיע בהתקנת פתח (שער או כניסה) סדיר נוסף – לרבות השקעה בכוח-האדם הנדרש לפיקוח עליו – שימשש בשגרה לכניסה וליציאה. מתן האפשרות לכניסה ויציאה בשגרה אינו רק ניצול נוסף של ההשקעה הנדרשת ממילא, אלא גם תמריץ לעירנות של הנוגעים-בדבר וערובה לכך שהפתח יהיה זמין.

יתירות במערכות-השגרה עשויה אפוא להקטין את הצורך במערכות-חירום. יעילותה מותנית, כמובן, באי-תלות בין המערכות היתירות: שביתה של שוערים, או תקלה ברשת-חשמל משותפת, תשבית את שני הפתחים כאחד; אף אחת משתי מערכות התאורה המקבילות לא תפעל אם הן קשורות לאותו לוח-חשמל ראשי – ואם, בשל העדר סימונים מתאימים על הלוח, הטכנאי (שייקרא לתקן את האחת) ינתק בטעות את האחרת.

אך עצם קיומה של היתירות עלול לגרום לשאננות, שתפגע ברמת התחזוקה או הפיקוח על המתקנים. בעוד שגילוי תקלה במערכת-שגרה יחידה (מערכת תאורה, שער) יגרום לקשיים שיזרזו את הנוגעים-בדבר לבצע את התיקון – הרי שקיום מערכת חלופה עשוי להביא לדחיית התיקון, לעתים אף לפרק-זמן ממושך.

העברת מטלות-חירום למערכת-שגרה

הצעה למערכת-חירום מנומקת לעתים קרובות בכך, שמערכות-השגרה הקיימות אינן מתאימות "בדיוק"

גיבוי על-ידי מערכת ישנה

בעת החלפה של מערכת ישנה בחדשה, מקובל שלא להשליך את המערכת הישנה אלא לשמור אותה למקרה של כֶּשֶׁל במערכת החדשה. זהו סוג מיוחד של מערכות-גיבוי, המתקבלות – לכאורה – בחינם. רק "לכאורה", משום שלאמיתר-של-דבר נחסכת עלות הרכש, אך לא עלות הכוונות שבלעדיה לא תהא המערכת יעילה.

אם יתקלקל המיחם האוטומאטי המודרני (שקניית לפני שנתיים) תיזכר שלא השלכת את הקומקום הישן – אך לא תזכור היכן טמנת אותו. ואולי תזכור כי הוא נטמן בעליית-הגג, אבל שם קשה יהיה למצאו; ואם תמצאנו – הוא יהיה חלוד ובלתי-ראוי לשימוש, או שיחסר המכסה. מכיוון שחששות מעין אלה יקננו בלבך, לא תטריח את עצמך כלל לחפש את הקומקום. אחר-כך יתברר, במאוחר, שחששותיך היו לשווא: הקומקום אכן היה תקין וזמין, אך אתה לא טרחת לקחתו ולהשתמש בו. עליות-הגג מלאות "מערכות-גיבוי" שלא שימשו אף-פעם – ושלא ישמשו לעולם. תופעה זו היא בעלת חשיבות, החורגת משיגיון האחסנה של גרוטאות. לעתים, החלטה על רכש מערכת חדשה מסתמכת על הנחה, כי המערכת הישנה תשמש לגיבוי במקרה של כישלון ("בשעת הצורך – נוכל להשתמש במערכת הישנה"). שיקול זה עשוי להיות מוטעה. כך, מערכות-מחשבים, או מערכות-מידע ממוחשבות, יכולות לכאורה לשמש גיבוי למערכות מתקדמות המחליפות אותן. למעשה, המאמץ הנדרש לצורך קיום יכולת זו הוא רב ביותר – ובדרך-כלל אין עומדים בו.

כדאיות ההשקעה במערכות-חירום

הערכה ריאלית של עלות ושל יעילות

יעילותה של מערכת-חירום תהיה בדרך-כלל נמוכה ממה שנצפה תחילה; עלותה תהיה גבוהה ממה שנצפה תחילה; וכדאיותה, עקב כך, תהיה נמוכה ממה שנצפה תחילה.*

* אכן, תופעה זו קיימת לא רק במערכות-חירום, אך בתחום זה היא חריפה במיוחד.

בעת הערכת יעילות המערכת יש להביא בחשבון את המציאות הצפויה: אפילו אם יבוצעו כל ההשקעות הנדרשות – לא יהיה ניתן למנוע לחלוטין כשלי-זיהוי וכשלי מיתוג, הזמינות לא תהא מלאה, ויהיו גם צירופי נסיבות שבהם לא תוכל המערכת למלא את ייעודה. אם המערכת היא מערכת-גיבוי, יש להתחשב בקיומם של גורמי-כשל משותפים למערכת זו ולמערכת המגובה. קשה להבטיח את קיום התנאים הנדרשים ממערכת חירום – אותם תנאים שתוארו בהרחבה לעיל. ניתן

רק למתג אליו את הצרכנים. אין בכך פתרון לבעיות הזיהוי והמיתוג, אך יש בכך תרומה לבעיות הכשירות והזמינות. כדי להבטיח את זמינותן ואת כשירותן של יחידות קרביות בשעת-חירום, נהוג לקיים – לפחות בסדרות אמונים – שגרת-חיים דומה ככל האפשר לשגרת מלחמה. הדבר מתבטא בפקודות-קבע, בסוגי פעילות, במערך-התקשורת ובציוד אישי ויחידתי. כדי להקטין את התלות בזיהוי מצב-החירום וכדי לחסוך את בעיית "מיתוג" מערכת-החירום, חלק מן המפקדות בצבא מקיימות שגרת פעילות זהה ברגיעה ובלחימה. טייסי-קרב (ברוב הצבאות) מקיימים ברגיעה שגרת יום-יום הדומה לזו של מלחמה: הם מקבלים פקודות משימה, הם טסים, משגרים חימוש ומבצעים בפועל את מרבית שלבי המשימה; ההבדלים בין רגיעה לבין מלחמה הם מוגבלים.

אלה, כמובן, פתרונות יקרים – אך אם מעוניינים להבטיח שמערכות-חירום תתפקדנה באופן נאות, אין להימלט מהקצאת משאבים רבים. משום כך, ניתן לנקוט גישה זו רק לגבי מערכות נבחרות. בניגוד לטייסי הקרב, סוללה טיפוסית של תותחים-נגד-מטוסים (ברוב הצבאות) עשויה לבלות את כל תקופת שירותה ללא ירי כלל, והיא מועדת לכשלים טיפוסיים של מערכות-חירום הרבה יותר מאשר מטוסי-קרב.

כוונות מחייבת תשומת-לב ומשאבים. הבטחת תשומת-לב עשויה, לעתים, להיות קשה יותר מהבטחת המשאבים. הָעֵדֵר פעילות אמיתית עשוי להביא להסתאבות; קשה להילחם נגד זרה-אחרונה, וגם דרגי הפיקוח עלולים להילכד ברשתה. קל לקבוע נוהל, שלפיו חייבים בכל בוקר להתניע את רכב-החירום למשך שלוש דקות; קשה מאוד לפקח על כך – ועל המפקח – ובייחוד קשה הדבר אם התנועות-בוקר אלה הן הזדמנויות-הפעולה היחידות של כלי-הרכב. קל לקבוע נוהל, שלפיו כל משמרת-לילה חייבת לחתום על טופסי ביקורת-נוכחות בכל אחת מנקודות-השמירה. קשה למנוע שגרה (שתיווצר בהדרגה), שלפיה ממלאים את כל הטפסים במרוכז בבוקר שלאחר השמירה. (במאוחר יסתבר, ששגרה זו היא מורשה קבוצתית מדורות קודמים של ממלאי-תפקידים – ואף שרבים שותפים לעברה, קשה להאשים איש מהם ביזמת-זדון.)

ההבדל בין המטוסים לבין סוללות התותחים-נגד-מטוסים, שנזכרו לעיל, הוא גם הבדל בין יחידה שאופייה פעיל לבין יחידה סבילה, שכל שנדרש ממנה הוא דריכות ממושכת. קשה לקיים דריכות כזו לאורך זמן. ביחידה מסוג זה צפויה ירידת מתח והתרופפות משמעת. דרושה מודעות גבוהה כדי לקיים דריכות כזו – אך בגלל הָעֵדֵר הפעילות, יש לצפות שרבים וטובים ישתדלו שלא להישאר ביחידה כזו לאורך זמן ושאיכות הפיקוד וכוח-האדם שבה לא יהיו גבוהים. ניתן לשפר את הדריכות רק באופן חלקי, וזאת על-ידי תוספת השקעה: ריבוי משמרות, ריבוי חופשות, שיפור תנאי-שירות, הסברה מתמדת, דחיפת פיקוד מעולה, בקרה קפדנית וייזום תרגילים למיניהם.

באנגלית אין מונח פשוט המתאים למונח העברי "כדאיות". המונח המורכב "cost-effectiveness" משמש במקומו. אכן, "cost" תרגומו "עלות", "effectiveness" תרגומו "יעילות"; אך "cost-effectiveness" אינו אלא "כדאיות", ואין צורך להיזקק ל"עלות-יעילות".

התחשבות בהסתברות מצב-החירום

מצב-חירום חריגים, שיש להם משמעות חמורה במיוחד, עשויים להצדיק מערכת-חירום אף אם הסתברותם נמוכה. אך גם במצב כזה – הצבת הדרישות השונות מן המערכת חייבת להתחשב בהסתברות. הגורליות של העניין העומד על הפרק אין בה כדי להצדיק השקעה בהיבטים צדדיים של המערכת, שאינם נוגעים ישירות ליכולתה לסכל את עצם החומרה הגורלית. יש טוענים כי התקני-חירום נדרשים לפעול בשעת-חירום באותה איכות ובאותה רמת-שירות הנדרשות ממערכות-שגרה בעת שגרה, מבלי כל קשר להסתברות שמצב-החירום אכן יקרה. אין לקבל גישה זו. נבהיר זאת על-ידי מספר דוגמות.

בתכנון תחנת-כוח המיועדת לפעול בשגרה, חשיבותה של עלות התפעול השוטף גדולה מחשיבותה של עלות ההקמה; כדאי להגדיל את ההשקעה בהוצאות ההקמה והרכש – אם יש בכך כדי לאפשר שימוש בדלק זול יותר ולהוזיל על-ידי כך את הוצאות התפעול. תכנון של תחנה קבועה חייב גם להתחשב ברצון למנוע זיהום-אוויר בתהליך התפעול. לגבי תחנת-כוח של גיבוי (שנועדה לחירום בלבד), לעומת זאת, ישנה חשיבות פחותה להחלת עלות התפעול או לנזקי הזיהום.

החשש מאסון המוני עשוי להצדיק את עצם קיומה של מערכת הצלה – אך אינו מצדיק בהכרח את הדרישה שהפעלת מערכת-ההצלה לא תהיה כרוכה בסיכון אנשים בודדים או שלא תזיק לרכוש. דרישה כזו חייבת להישקל על סמך עלות מימושה, ועל סמך השכיחות הצפויה של הפעלת המערכת. מכיוון שהמשאבים מוגבלים, מוצדק שהשקעות באמצעי-בטיחות ברמה גבוהה יותר יועדפו באותם מקומות שבהם אותה השקעה תביא להצלת יותר חי-אדם. מאותה סיבה, התקני הבטיחות בכביש ראשי (שבו נוסעות מכוניות רבות) טובים יותר מאשר בכביש צדדי (שבו נוסעות מכוניות מעטות); אף שמנקודת מבטו של הנהג הבודד אפשר היה לטעון כי הנוסע בכביש צדדי זכאי לאותה רמת-ביטחון אשר לה זכאי חברו הנע בכביש הראשי.

יש המנסים להצדיק כדאיות פיתוח ורכש של אמצעי-לחימה, בנימוק שבמשימות אפשריות מסוימות יהיה השימוש באמצעי המוצע זול יותר מן השימוש באמצעי קיים. לדוגמה, ביצוע משימת-תקיפה מסוימת עלול להיות כרוך באבדן מטוס – ואילו באמצעות שימוש בארבעה טילים, שמחיר כל אחד מהם הוא עשירית ממחיר המטוס, ניתן לבצע את המשימה ללא איבוד מטוס. טיעון מסוג זה לוקה לעתים בכשל: הוא היה תקף, לו היה ביטחון שמשימה כזו אכן תידרש ושאכן תנאי-הסיכון יהיו כמתואר. אך אם מדובר במשימות שספק אם יתעורר צורך בהן, או שקיימת הסתברות נמוכה בלבד לכך שהנסיבות יהיו כאלה שבהן צפוי איבוד מטוס – אזי אין זה ברור כלל שכדאי להשקיע ברכש הטילים המוצעים; האם באמת כדאי להשקיע (בוודאות) ארבעה מיליון דולר למען האפשרות, שניתן יהיה (במקרה בלתי-צפוי)

להתקרב לכך במאמצים רבים: תכנון קפדני, יתירות ברכיבים, בדיקות קבלה מקיפות, משטר אחזקה חמור, נוהלי-הפעלה מפורטים, העסקת כוח-אדם מעולה, תרגול תכוף. כל אלה כרוכים בעלויות גבוהות, אשר יש לכלול אותן בהערכת העלות של המערכת. הניסיון מלמד, כי נוטים להתעלם מהעלויות השוטפות של אחזקה וכוננות ולהעריך את כדאיות המערכת על-פי עלות ההקמה בלבד. יש לבדוק היטב, שמא לא יהיה ניתן – או שלא יהיה כדאי – לשאת בהוצאות הכוננות. אם כך – מוטב שלא להשקיע במערכת מלכתחילה.

בחיי היום-יום, חיוניותה של מערכת-חירום מטרידה פחות מן הלחץ של הצורך במערכות-שגרה. מכיוון שכך יש לחשוש, שבמצב של חוסר משאבים במערך יהיו "קיצוצים" בהוצאות השוטפות של מערכת זו דווקא – ושיעילותה תידרדר. חשש אחר הוא, שקיומה של מערכת-גיבוי עלול להביא להקלת ראש בחשיבות שמישותה ותקינותה של המערכת המגובה – או שיגרום לחלוקת תשומת-הלב ומשאבי התחזוקה בין המערכת המגובה לבין מערכת-הגיבוי, על חשבון המערכת המגובה. בכל מקרה יש לבחון אפשרויות להעדיף השקעות בחיזוק מערכות-השגרה, על-פני הקמת מערכות-חירום ייעודיות. אם פונים בכל זאת למערכת-חירום, יש לוודא לפני ההשקעה כי אכן ימצאו המשאבים הנדרשים ותימצא הנכונות הנדרשת על-מנת להפעיל את המערכת ביעילות.

חומרה – ותכליתיות

כדי שמערכת-חירום תביא תועלת, יש להשקיע בה (בייצורה ובתפעולה) השקעות ניכרות. לכן יש לבחון בקפדנות, האם מצב-החירום הוא אכן חמור דיו כדי להצדיק את ההשקעה. ייתכן, כי כדאי יותר לספוג את הנזקים שייגרמו – אם מצב החירום אכן יקרה – מאשר להשקיע במערכות-החירום.

פרידריך הגדול [1753] קבע: "האומר לשמור על הכול, אינו שומר על שום דבר!" ההלכה הצבאית מורה כי רק אותן התפתחויות העלולות לסכן את המאמץ העיקרי, רק הן ראויות לבחינה קפדנית, לתכנון תכניות-הגנה ולהקצאת משאבים עבורן. לעומת-זאת מזהירה התורה הצבאית שלא לפזר מאמצים כלפי מגוון רחב של אי-ודאויות. זהו עקרון "החיסכון בכוח" [Conolly 1953]. הדבר נכון גם לגבי השקעה במערכות-גיבוי.

לעתים קרובות, ההנמקה בעד מערכת-חירום נשענת אך ורק על תפישת חומרתו של מצב-החירום הנדון – ואילו השאלה, האם מערכת-החירום הנדונה אכן עשויה להועיל, נדחקת לקרן-זווית. אין לכך הצדקה. הטענה ש"חיי אדם מונחים על הפרק" אינה צריכה לסנוור; גם אין בה כדי להצדיק השקעה אשר לא תהיה בה תועלת – מלבד בהשקטת מצפונם של אלה, שחושבים כי "הכרחי לעשות משהו".

אחריות פורמאלית ואחריות עניינית

ההתעלמות, בעת תכנון מערכת-חירום, מן הבעיות שהזכרנו אינה נובעת אך ורק מקוצר-ראות; אלא גם מן הנטייה הטבעית של בעלי עניין – הן מפתחי מערכות ויצרניהן והן פרנסי ציבור – להפחית בהערכת העלות הכוללת ולהגזים בהערכת היעילות, כדי לעודד את התמיכה בהשגת אישור לרכישה ולהקמה של המערכות.

בעלי-העניין יכולים לפעול בדרך זו משום שהם, מהבחינה הפורמלית, אינם נוטלים אחריות מוחלטת לכך שהמערכת תועיל – אלא רק אחריות מותנית; הם מתחייבים שהמערכת תגיב כמתוכנן אך ורק אם תתקיים שורה ארוכה של תנאים. יש סיכוי גבוה לכך שהמערכת לא תידרש לפעולה אף-פעם, ושכשירותה לא תועמד למבחן; אך אם תידרש המערכת לפעול בכל-זאת, ימצאו תירוצים בשפע לכך שלא פעלה כשורה: הנסיבות חרגו מאלה שהוכתבו לצורך התכנון, הזיהוי והכרזת מצב-החירום היו מאוחרים ממה שתוכנן, והביקורת השוטפת (שהייתה אמורה להבטיח את שמישות המערכת) לא בוצעה כהלכה. לאחר כל היזקקות למערכת תהיה אפשרות לאתר "מחדל" בהשגחה או בהפעלה, למצוא "אשמים" ולהטיל עליהם את האחריות ל"הזנחה".

מהבחינה של האחריות הפלילית – יצאו אבות המערכת ידי חובתם; שהרי לו הייתה המערכת מופעלת בהתאם להנחיותיהם, אזי הייתה ממלאת את ייעודה. מאחר שלא קוימו ההנחיות – לא בהם האשמה. שונים פני הדברים מהבחינה הציבורית, העניינית והמקצועית. מי שעיסוקו במערכות-חירום (בתכנון, בהקמתן ובהשקעה בהן), ראוי לו שיהיה ער לטיבן ולטבען. ההסתברות לקיומם של מחדלים היא גבוהה, וראוי להתייחס להופעתם הצפויה כאל תופעת-טבע בלתי-נמנעת – כמו זריחת השמש – בלי קשר לשאלה מי יישא באחריות הפורמאלית למחדל.

אבותיה של מערכת-חירום (המשקיעים בה, מתכנניה, מי שאישרו אותה) אחראים לחיזוי הזנחות, המחדלים והעבירות שיגרמו לכך שהמערכת לא תעבוד – בדיוק כפי שהם אחראים לחיזוי מצב-החירום עצמו. הזנחות ומחדלים ועבירות אלה – אם יתגלו – יוכלו לשמש בסיס להעמדת עבריינים לדין או לתביעת דין וחשבון מממונים כלשהם; אבל עובדה זו אינה מעלה ואינה מורידה לגופו של עניין. מי שהוא בעל מקצוע בתחום מערכות-חירום, ידיעתו המקצועית אמורה לכלול את הידיעה שמחדלים ועבירות אלה שכיחים הרבה יותר ממצבי-החירום עצמם.

סיכום

לפני החלטה להקים מערכת-חירום יש למלא את התנאים הבאים:

- א. יש לבחון, שמא ניתן להטיל את משימות-החירום על מערכות-שגרה;
 - ב. יש לתכנן באופן מדוקדק את המערכת ואת מערכות-הממשק שלה;
 - ג. יש להגדיר את מבחני-הקבלה של המערכת, תוך הבאה בחשבון שלא יהיה ניתן לבחון את טיבה לאחר-מכן, בפעילות שוטפת;
 - ד. יש לקבוע במפורט את תהליכי-הכוננות, לרבות נוהלי האזעקה של המערכת, ולהעריך את היקף כוח-האדם והמשאבים האחרים, שיידרשו לצורך עמידה בתכנון זה;
 - ה. יש לחזות את עלות ההקמה ואת העלות השוטפת (של האחזקה והכוננות) בהתאם לתכנונים המפורטים הללו;
 - ו. יש להעריך את התרומה הממשית שמערכת זו – על-פי התכנון המפורט הנזכר – תוכל לתרום (הערכה זו צריכה להביא בחשבון את כלל המגבלות של מערכות-חירום, שנדונו לעיל);
 - ז. יש לשקול, האם התרומה הצפויה מצדיקה את העלות הנדרשת.
- ההחלטה המכרעת על כדאיות השקעה במערכת-חירום חייבת להתקבל רק לאחר ביצוע הצעדים המפורטים לעיל, ולא לפנייהם. יש להימנע מ"החלטה עקרונית" על הקמת המערכת, קודם לבדיקה מפורטת, מכיוון שהחלטה כזו תתבסס על הערכת יעילות מוגזמת ועל הערכת עלות ממעטת; לאחר-מכן, לכשיימצאו נתונים מפורטים יותר, "ההחלטה העקרונית" – שכבר נתקבלה – תשמש תירוץ כדי להימנע מדיון חוזר בכדאיות ההשקעה.

מקורות

[פרידריך הגדול (1753) פרידריך הגדול, הוראות למצביאים, תרגם א' ואלך, הוצאת "מערכות" 1979.]

"O-Ring Lack Cited in L-1011 Accident", *Aviation Week & Space Technology*, July 23, pp. 166-182; August 13, pp. 185-219. [Aviation Week 1984]

R.L. Conolly, "The Principles of War", *U.S. Naval Institute Proceedings*, 79 1953. [Conolly 1953]

R. Wohlstetter, *Pearl Harbor, Warning and Decisions* Stanford University Press. [Wohlstetter 1962]

