

לוגיסטיקה במחלוקת: משמעות, אתגרים ופתרונות בעידן המודרני

לוגיסטיקה במחלוקת היא המציאות החדשה שצבאות מודרניים נאלצים להתמודד איתה. יישום נכון של תאומים דיגיטליים יכול לחולל מהפכה ביכולת של הלוגיסטיקה הצבאית להתמודד עם אתגרי העידן הנוכחי והעתיד, ויש בה פוטנציאל להפוך את נקודת התורפה ליתרון אסטרטגי מכריע



תאומים דיגיטליים בסין. שנגחאי רואה בהם כלי אסטרטגי מרכזי בשאיפתה להפוך לאחת הערים החכמות והמתקדמות בעולם. הצילום באדיבות 51WORLD

לכוחות בשדה הקרב. צבא ארצות הברית כבר זיהה את ממד ה"לוגיסטיקה במחלוקת" כאחד מהאתגרים המרכזיים שיעמדו מולו במלחמה הבאה, והחל להתכונן ולהתארגן בהתאם.¹ במלחמה החדשה נדרש שינוי פרדיגמה. כדי לשמור על יתרון בזירה הצבאית המודרנית, על המערכות הצבאיות להבין לעומק את המשמעות ואת האתגרים הייחודיים של "לוגיסטיקה במחלוקת" ולפתח פתרונות טכנולוגיים מתקדמים, שישפרו הסתגלות ועמידות של הרשת הלוגיסטית מול איומים הולכים וגוברים על העורף.

מעורף בטוח לחזית שנייה: השינוי בתפיסת הלוגיסטיקה הצבאית

בעבר נתפס העורף כ"אזור בטוח", אך התמורות הטכנולוגיות המהירות יצרו מצב חדש. כיום האויב יכול לאיים על נכסים לוגיסטיים קריטיים בטווחים הולכים וגדלים מקווי החזית.

ההתפתחויות הטכנולוגיות שאנו עדים להן בעשורים האחרונים שינו את אופי המלחמה המודרנית. לצד התקדמות גדולה ביכולות הלחימה של הצבאות בזירות היבשה, האוויר, הים ובמרחב הקיברנטי, ניכר שיפור ביכולת של הצדדים הלוחמים לפגוע במטרות אסטרטגיות מעבר לקוים ובנכסים קריטיים בעורף. במקביל, מבנה שרשראות האספקה במגזר העסקי, ובהמשך גם במגזר הצבאי, הפך יעיל ומדויק יותר, נוספו שיטות כגון JIT (Just In Time), ומלאים בכל חוליית שרשרת צומצמו. עקב זאת הפכו שרשראות האספקה לדקות ופגיעות יותר.

בעקבות תהליכים אלה, מערכות הלוגיסטיקה וקווי האספקה של הצבאות המודרניים ניצבים כיום בפני אתגרים חסרי תקדים. האויב יכול לאיים ביעילות על העורף הלוגיסטי, מהרמה הטקטית עד הרמה האסטרטגית. מציאות זו מוגדרת כ"לוגיסטיקה במחלוקת" (Contested Logistics) ומחייבת חשיבה מחודשת, בנוגע ליכולת להבטיח רציפות תפקודית



רס"ן אלכסנדר קפנגאוז, רמ"ד תרגילים לוגיסטיקה, מנהלת מטכ"לית איתמ"ר

לוגיסטיקה במחלוקת מציבה אתגר ממשי לצבאות מודרניים עקב פוטנציאל השימוש של המענה הלוגיסטי לכוחות בקווים הקדמיים. הכוחות עלולים למצוא עצמם ללא התמיכה הנחוצה, והדבר עלול לפגוע ביכולתם להמשיך להילחם ביעילות. נוסף על כך, לוגיסטיקה במחלוקת אינה מצטמצמת לרמה הטקטית אלא משתרעת עד הרמה האסטרטגית. פגיעה בנכסים לוגיסטיים בעורף העמוק עשויה להוביל ל"אפקט דומינו" שישבש לחלוטין את כל המערך הלוגיסטי והרציפות התפקודית. כדי להתמודד עם האיום הלוגיסטי המתפתח, המדינות נדרשות להיערך בהתאם.⁴

החוליות החלשות בשרשרת האספקה

כמה אתגרים מרכזיים אופייניים לתופעת הלוגיסטיקה במחלוקת:

- שקיפות גוברת של העורף - מלחמת רוסיה-אוקראינה, המתחוללת מ-2022, ממחישה באופן ברור את ההפיקה של העורף לשקוף מתמיד. החל מכלים מתקדמים כמו לוויינים (אף מסחריים), דרך כטב"מים ועד איסוף אוסינט על ידי אזרחים ופרסום ברשתות חברתיות.⁵ המצב מאפשר לאויב לאתר בקלות נכסים לוגיסטיים קריטיים. העורף כבר אינו "מוסתר ובטוח". מה שבנית היום - מחר כבר גלוי לאויב, ומה שגלוי - יפגע. הנושא רלוונטי במיוחד בישראל, על שטחה המצומצם, ומלחמת "חרבות ברזל" מחזקת טענה זו. החל מריכוז כוחות, שמתבצע בשטחים הנראים לעיני הצופים (עוברי אורח, כתבים או אוספי מודיעין), דרך צילומים של כוחות בשטח העולים לרשת ומובילים לזיהוי מדויק עם נ"צ; ועד תמונות לוויין מדויקות שעולות כמעט מדי יום לרשת עם ניתוח (לעיתים מדויק להפליא) של אופן התקדמות כוחות צה"ל ומיקומיהם.⁶ לא נדרש מאמץ רב כדי לבצע ניתוח דומה גם לגבי ריכוז כוחות לוגיסטיים, שמרביתם תופסים שטח רב יחסית. נוסף על כך, קיימים עוגנים לוגיסטיים רבים שמיקומם קבוע וידוע, ופגיעה בהם תשפיע באופן חריף.

ההשפעה באה לידי ביטוי לא רק בפגיעה ישירה בגופים לוגיסטיים, אלא גם בעצם קיומו של איום על האוכלוסייה האזרחית. במקרה של פינוי אוכלוסייה מאזור מאוים, תפקוד עסקים שמשמשים חלק מהרשת הלוגיסטית עלול להיפגע, ויהיה צורך לחפש עבורם חלופה. לדוגמה: במהלך מלחמת "חרבות ברזל", פינוי אוכלוסייה מאזור עוטף עזה בדרום ומיישובי הגבול בצפון השפיע על פעילות בענפים השונים, בהם חקלאות, מסחר ותעשייה.² בהמשך, עם פינוי תושבים מצפון הארץ, הושפעו גם המפעלים השוכנים לאורך הגבול הצפוני.³ אומנם המלחמה (בשלב כתיבת מאמר זה) לא אתגרה את הרשת הלוגיסטית הארצית עד כדי קושי אמיתי בתפקוד, אך אין לדחות תרחיש מסוג זה, ואף יש להיערך אליו.

מערכות הלוגיסטיקה וקווי האספקה של הצבאות המודרניים ניצבים כיום בפני אתגרים חסרי תקדים. האויב יכול לאיים ביעילות על העורף הלוגיסטי, מהרמה הטקטית עד הרמה האסטרטגית. מציאות זו מוגדרת כ"לוגיסטיקה במחלוקת" (Contested Logistics) ומחייבת חשיבה מחודשת



ספינת "גלקסי לידר". ככל שגוברת השפעת הגלובליזציה על שרשראות האספקה גדלה גם פגיעותן לאירועים בלתי צפויים ברחבי העולם. השימוש בתמונה נעשה לפי סעיף 27 בחוק זכויות יוצרים

- טווח איומי טילים ורקטות - טכנולוגיות שיגור מתקדמות מאפשרות כיום פגיעה מדויקת במטרות לוגיסטיות על פני שטחים נרחבים. איום הכטב"מים מוחשי כיום יותר מאי פעם, והלחימה באוקראינה ממחישה זאת היטב: החל מהטלת חומרי נפץ עם רחפנים זעירים ועד כטב"מים מתאבדים בגדלים שונים, המשוגרים בלהקות.⁷ שיגור בהיקפים גדולים גובר על יכולות של מערכת ההגנ"א וגורם נזק כבד בעלות נמוכה יחסית.⁸
- פגיעות גוברת לסב"ר - מתקנים לוגיסטיים מבוססים כיום על מערכות מידע ובקרה ממוחשבות, אך לעיתים קרובות הגנת הסב"ר שלהם לוקה בחסר. גם בישראל מורגשת מגמה זו, הן בתקיפות כושלות של מתקנים ישראליים הן במבצעי סב"ר מוצלחים כמו תקיפת בית החולים מעייני הישועה, באוגוסט 2023.⁹
- פעילות חבלנית ממוקדת - ביצוע פעילות חבלה בתוך גבולות המדינה אינו מצריך כיום חדירה פיזית. באמצעות רשתות חברתיות אפשר לגייס ולהכווין אזרחים ותושבים לבצע פעילות חבלנית ואף להעביר נקודות להכוונת אמצעי כטב"ם שיכולים לזהות גשרים, צמתים או נקודות פריסה קריטיות למשימות הלוגיסטיות.

תאומים דיגיטליים יכולים לספק תובנות ויכולות חיוני ברמה שלא הייתה אפשרית עד כה בשום טכנולוגיה אחרת. כדי לממש את הפוטנציאל הרב של התאומים הדיגיטליים בלוגיסטיקה הצבאית מומלץ לאמץ גישה של יישום הדרגתי וממוקד, שתאפשר שדרוג מתמשך של היכולות התפעוליות והתכנוניות של המערך הלוגיסטי

- תלות גוברת באספקה בין-לאומית - את הלוגיסטיקה המודרנית מאפיין מבנה של שרשראות אספקה ארוכות ומורכבות המסתמכות על ספקים ממדינות רבות. הדבר מגביר את הפגיעות והחשיפה לשיבושים. בעוד בעבר חברות הסתמכו בעיקר על ספקים וייצור מקומי, כיום רכיבים, חומרי גלם ומוצרים עוברים בין מדינות רבות עד הרכבת המוצר הסופי. במציאות כזו, אסון טבע, סכסוך דיפלומטי או שביתה במדינה כלשהי עלולים לעצור רכיב קריטי, לשבש את הייצור ולגרום לקריסת כל שרשרת האספקה. לדוגמה: ניכר המאמץ של רוסיה לייצב את שרשראות האספקה שלה בצל הסנקציות הבין-לאומיות, תוך ניסיון לבנות תהליכי ייצור מלאים בשטחה, במיוחד בתחום ייצור תחמושת ארטילרית שחוה מחסור עולמי זה כשנה לפחות. במהלך מלחמת "חברות ברזל" התרחשו כמה מקרים של פגיעה בהובלה ימית, בהם השתלטות המיליציה הח'ותית על ספינת "גלקסי לידר" (ככל הנראה עקב מידע מודיעיני שגוי), ופחות משבוע לאחר מכן - תקיפת ספינת נושאת מכולות מהגדולות בעולם, הנמצאת בבעלות ישראלית, על ידי מל"ט איראני.¹⁰ ככל שגוברת השפעת הגלובליזציה על שרשראות האספקה גדלה גם פגיעותן לאירועים צפויים ברחבי העולם.

- מיטוב מוגזם - אחת הסיבות להגברת הפגיעות של שרשראות האספקה המודרניות היא המגמה של מיטוב (אופטימיזציה) מוגזם המאפיין את התהליכים הלוגיסטיים. בעשורים האחרונים אומצו שיטות ניהול מתקדמות כמו JIT וייצור רזה, שנועדו ליעל ולצמצם באופן ניכר את כמויות המלאי המוחזקות בכל שלב בשרשרת האספקה. הרעיון בבסיס השיטות השונות הוא לוודא שחומרים ומוצרים יגיעו לנקודת השימוש רק כאשר הם נחוצים, וכך ייחסכו עלויות אחסון והון קפוא. הצמצום הקיצוני במלאי גם הגביר עד מאוד את הפגיעות של שרשרת האספקה ואת חשיפתה להפרעות ולחוסר יציבות. לפיכך, במציאות של לוגיסטיקה במחלוקת, בה קיים איום מתמיד של שיבושים, יתר המיטוב עלול להגדיל את הסיכון לקריסת מערכות לוגיסטיות שלמות גם עקב השבתת צומת מרכזי יחיד. נדרשת חשיבה מחודשת על איוזן ראוי יותר בין יעילות תפעולית ובין עמידות וכושר התאוששות של המערך הלוגיסטי.
- כל אלה יוצרים עבור הלוגיסטיקה הצבאית אתגר מורכב בהרבה מבעבר ומצריכים חשיבה יצירתית ומציאת פתרונות טכנולוגיים חדשניים כדי להתמודד עם המצב ולהבטיח מענה רציף לכוחות בתנאים קשים.

מיגון, ביזור ופיזור

- כמה כיווני פעולה יוכלו לסייע להתמודד עם האתגרים הניצבים מול תופעת הלוגיסטיקה במחלוקת:
- הגנה פיזית על נכסים קריטיים - מיגון, הסתרה והטעיה של מתקנים לוגיסטיים אסטרטגיים.
- לצד התקדמות הטכנולוגיה, לעיתים אין תחליף לאמצעים פיזיים מסורתיים כמו חומת בטון עבה סביב מתקן אסטרטגי, הסוואה, הסתרת ציוד ומבנים במנהרות תת-קרקעיות, הסטת תשתיות למיקומים סודיים וכדומה. פתרונות אלה דורשים אומנם השקעה רבה בתשתיות, אך יוצרים שכבת הגנה בסיסית וקריטית לנכסים הלוגיסטיים, ומומלץ לשלבם עם פתרונות טכנולוגיים מתקדמים להגנה מיטבית.
- פיזור וביזור של יכולות - יצירת מבנה לוגיסטי מבוזר ומפוזר יותר, להפחתת התלות בצמתים בודדים. כך, אם אחד מהמתקנים מותקף או משותק, אפשר להסיט במהירות את הפעילות לאתר חלופי ולמנוע שיתוק כללי של היכולת הלוגיסטית. פיזור מחסנים ומרכזי הפצה בין מיקומים שונים מקטין אף הוא את התלות באתר יחיד. ריבוי נכסים לוגיסטיים מצריך אומנם השקעה ניכרת בתשתיות אך מקטין את הסיכון לשיתוק מוחלט של נתיב לוגיסטי בודד, ומשפר את שרירות המערך הלוגיסטי הכולל.
- כוונות לוגיסטיות - היכולת להעביר במהירות פעילות לוגיסטית קריטית למיקומים חלופיים בעת הצורך. לדוגמה: אם שדה תעופה מרכזי נפגע, כוונות לוגיסטיות מאפשרות להעביר בתוך שעות ספורות את כל הטיסות והתפעול לשדה תעופה אחר. דוגמה אחרת: אם נמל נסגר בשל איומי טילים אפשר לנתב את כל הפעילות הלוגיסטית לנמל חלופי. הכוונות דורשת תכנון מוקדם של נוהלי חירום, תרגול מצבים שונים ויכולת לוגיסטית עודפת שתאפשר גמישות. בכך היא מאפשרת המשכיות בתפקוד הרשת הלוגיסטית גם



C-17 אמריקני פורק פגזי 155 מ"מ בנבטים בראשית המלחמה. שיתופי פעולה הדוקים עם בעלות ברית הם משאב קריטי ליצירת עמידות של שרשרת האספקה מול איומים ומשברים. צילום: U.S. Air Force / Edgar Grimaldo

פעולה הדוקים עם בעלות ברית הם משאב קריטי ליצירת עמידות של שרשרת האספקה מול איומים ומשברים. לדוגמה: אפשר לגבש הסכמים עם מדינות ידידותיות בנוגע לשימוש בנמלים או בשדות התעופה שלהן בשעת חירום, או ליצור מלאי משותף של ציוד וחלקי חילוף בהיקפים נרחבים ועם פיזור סיכונים. המציאות של לוגיסטיקה במחלוקת דורשת חשיבה מעבר לגבולות המדינה וניצול מיטבי של יחסים בין-לאומיים. שיתופי פעולה לוגיסטיים הם מרכיב מפתח בחיזוק יכולת הצבא להמשיך להילחם לאורך זמן גם תחת פגיעות קשות בעורף הלוגיסטי.

מרבית הנושאים הללו באה לידי ביטוי בדוקטרינה המעודכנת של חיל הנחתים האמריקני מתחילת 2023 (מדובר בעדכון הראשון מאז 1997), והדבר מעיד על זיהוי צורך במתן פתרונות מול האתגר הקיים.¹¹ אלא שלעיתים מדובר בפתרונות מסוג "עוד מאותו הדבר". שינויים מהותיים באופן ניהול המלחמה מחייבים שינוי מהותי של כללי המשחק. נדרש מהלך בעל זיקה לתחום הטכנולוגיות החדשניות, שיכול להוביל לשיפור גדול במערכות שליטה ובקרה לוגיסטיות. בהקשר זה הדגיש גנרל מרק סימרלי, מפקד CASCOM (Combined Arms Support Command),¹² האחראי לכלל ההכשרות של מערך הסיוע המנהלתי: "צבא ארצות הברית יידרש לכוח אדם מיומן יותר, לוגיסטיקה עם יכולות חיזוי טובות והתלכדות טובה יותר עם המערכות הלוגיסטיות העסקיות כדי להתאים את עצמו ולהצליח במלחמה החדשה - מלחמה ממוקדת נתונים [...] בשדה הקרב, המצרך המכריע לשיפור מתן מענה לוגיסטי הוא נתונים".¹³ מגמה דומה מסתמנת גם במהדורה החדשה של דוקטרינת צבא ארצות הברית העוסקת באופיין של המלחמות העתידיות.¹⁴

- אם נכסים מרכזיים מושבתים על ידי האויב.
- חיזוי ו"תכנון מגירה" - זיהוי מראש של פערים וצרכים עתידיים והיערכות בהתאם. חיזוי נכון של הצרכים והפערים הצפויים מאפשר ללוגיסטיקנים להתכונן מראש ולמלא צרכים לפני שהם הופכים לבעיות חריפות. לדוגמה: שימוש בכלי בינה מלאכותית לחיזוי ביקוש עתידי לסוגי ציוד מסוימים והקצאת משאבים בהתאם. תכנון מגירה הוא תהליך בניית תוכניות חירום בהתאם לתרחישים שונים והכנה מראש של מענים לוגיסטיים עבורם, כמו תוכנית להפעלה מהירה של בית חולים שדה אם בית החולים הקבוע נפגע, או תוכנית לניצול נמל אזרחי אם נמל צבאי מושבת. מוכנות כזו מאפשרת ללוגיסטיקה להתקדם צעד אחד לפני האויב, לזהות מגמות ולהתכונן מראש לתרחישים עתידיים.
- אימונים ותרגול - שיפור המוכנות והכשירות הלוגיסטית באמצעות תרגול מצבים מורכבים מאפשר לאנשי הלוגיסטיקה לרכוש ניסיון בהתמודדות עם תרחישים מגוונים. אפשר לקיים תרגילי מפקדות, שטח ומשחקי מלחמה המדמים מצבי קיצון, כמו פגיעה בנמל או בשדה תעופה מרכזיים, ניתוק צירי תובלה חיוניים או שיבוש מערכות מחשוב לוגיסטיות. תרגול מצבים אלה יאמן את הכוחות ויכשיר אותם לפעול ביעילות גם תחת לחץ. תרגול עקבי הוא תנאי חיוני למוכנות המערך הלוגיסטי וליכולתו לתפקד ביעילות גם בתנאים הקיצוניים של לוגיסטיקה במחלוקת. הניסיון והכישורים שנצברים בתרגולים יאפשרו תגובתיות טובה יותר בתנאים המשתנים בשדה הקרב.
- שיתופי פעולה בין-לאומיים - חיזוק שיתופי הפעולה הלוגיסטיים עם בעלות ברית. בעידן הגלובליזציה, שיתופי



כטב"ם אבאביל 2 על מסילת שיגור (מימין), חיילים איראניים לוקחים כטב"ם מוהאג'ר למסלול ההמראה (משמאל). איום הכטב"מים מוחשי כיום יותר מאי פעם, והלחימה באוקראינה ממחישה זאת היטב. מקור: רשתות ערביות

ולתרגל בסביבה וירטואלית בטוחה היא אחד היתרונות הגדולים של תאומים דיגיטליים עבור הלוגיסטיקה הצבאית, ואין לו תחליף.

● מיטוב דינמי - התאמת תהליכים ושרשרת אספקה לתנאים משתנים. התאום הדיגיטלי מאפשר מיטוב דינמי ורציף של תהליכים ושרשראות אספקה. בניגוד למיטוב סטטי חד-פעמי, התאום מנטר באופן רציף את המציאות, ומזהה צורך בהתאמות. לדוגמה: אם יש עיכובים או תקלות בנתיב מסוים, התאום יכול לחשב אוטומטית מסלול חלופי מיטבי או להמליץ על ביצוע ויסות אמצעים, לרבות מקורות אפשריים. כך נשמרת יעילות מרבית גם בתנאים משתנים ובלתי צפויים. בהקשר של לוגיסטיקה צבאית, יכולת זו קריטית להתאמה גמישה של זרימת האספקה והמשאבים למצב בשטח ולצרכים המבצעיים.

● חיזוי צרכים עתידיים בעזרת בינה מלאכותית - לאיתור מוקדם של פערים. תאומים דיגיטליים משלבים למידת מכונה וכלי בינה מלאכותית, שמאפשרים חיזוי צרכים ופערים עתידיים במערכת, כמו חיזוי של ביקוש לסוגי אספקה וציוד מסוימים, בהתבסס על ניתוח דפוסים היסטוריים ומגמות נוכחיות. לדוגמה: אפשר לחזות מחסור צפוי בפריטים מסוימים עקב שחיקה גבוהה או עלייה בביקוש. יכולות החיזוי תורמות ליצירת תמונת מצב עתידית ותכנון לוגיסטי משופר והופכות את שרשרת האספקה לזריזה ופרואקטיבית יותר.

● תיאום ושיתוף פעולה עם גורמים נוספים בארגון ומחוצה לו - תאומים דיגיטליים משמשים פלטפורמה לשיתוף מידע ולתיאום בין גורמים המעורבים בניהול המערכת. הם מאפשרים שיתוף נתונים בנוגע למצב התשתיות, רמות המלאי והצרכים הלוגיסטיים בין כלל הגופים בצבא, ובמידת הצורך גם מחוצה לו: משרדי הממשלה, גופים אזרחיים, ספקים. שיתוף המידע משפר את הראייה הכוללת של כל השחקנים ומאפשר תיאום פעולות בין-ארגוני וקבלת החלטות משותפת.

● יעילות תפעולית - מיטוב של ניצול משאבים ותשתיות. אחד היתרונות החשובים של תאומים דיגיטליים הוא הפוטנציאל שלהם להוביל שיפור מהותי ביעילות התפעולית של המערכת. הם מאפשרים מידול וניתוח של תהליכים

לא מדובר בשינויים קוסמטיים בתחום מערכות השליטה והבקרה (כמו שיפורים ותוספות למערכות קיימות) אלא בשינוי מרחיק לכת, המשלב יכולות שליטה ובקרה רב-ממדיות עם יכולות סימולציה נרחבות ויכולות בינה מלאכותית לניתוח תהליכים ולמתן המלצות למקבלי ההחלטות.

סימולציה בזמן אמת - מכפיל כוח לוגיסטי

אחד הפתרונות המבטיחים להתמודדות עם אתגרי הלוגיסטיקה במחלוקת הוא שילוב של תאומים דיגיטליים (Digital Twins) בתפעול השוטף של המערך הלוגיסטי.¹⁵ תאום דיגיטלי הוא ייצוג וירטואלי ממוחשב של נכס פיזי, המשתמש בנתוני חיישנים מגוונים (לוויינים, מצלמות, רחפנים ועוד), במידע היסטורי ובסימולציות כדי לשקף בצורה רציפה את המתרחש בנכס הפיזי. לדוגמה: אפשר ליצור תאום דיגיטלי עבור בסיס לוגיסטי גדול - מודל וירטואלי מדויק המשקף בזמן אמת את המתרחש בבסיס אך גם מאפשר לבחון סימולציות של תרחישי "מה אם..." שונים.

היתרונות המרכזיים של תאומים דיגיטליים:

● מודל מדויק של המציאות בזמן אמת - מספק נראות של מצב תשתיות וזרימה לוגיסטית.¹⁶ בניגוד למודלים סטטיים, התאום הדיגיטלי משקף באופן רציף את השינויים והדינמיות של המערכת האמיתית. בהקשר של לוגיסטיקה צבאית, הוא משקף את מצבן העדכני של תשתיות קריטיות. אפשר לעקוב באמצעותו אחרי תנועת כלי רכב, מצב מלאי חלקי חילוף, זמינות מסלולי נחיתה ועוד - הכול בזמן אמת. כך אפשר לראות מייד היווצרות עומסים חריגים, ירידה ברמת מלאי של פריטים קריטיים או תקלות ונזקים לתשתית ברגע התרחשותם. יכולות אלה משפרות את הערכת המצב הלוגיסטית, איתור בעיות ונקיטת פעולות מתקנות במהירות וביעילות.

● סימולציות ואימונים וירטואליים - לבחינה מוקדמת של תרחישי כשל ומצבי קיצון. התאום הדיגיטלי משכפל את האזור הרלוונטי ומאפשר לבצע עליו סימולציות ותרגולים וירטואליים בסביבה מבוקרת ובטוחה כדי לבחון את השפעת התרחישים השונים על ביצועי המערכת. הסימולציות מאפשרות לבחון, לאתר ולזהות מראש את התגובה המיטבית לכל תרחיש. היכולת ליצור סימולציות

קיימים ומיטוב שלהם באמצעות סימולציות, כך שאפשר לזהות בזבזים וצווארי בקבוק ולייעל תהליכים ברשת הלוגיסטית במובן הרחב. נוסף על כך, התאום מספק ראייה רחבה המאפשרת לנצל את המשאבים הקיימים. הוא יכול לסייע במיטוב מושכל של ניצול שטחי אחסון, קיבולת ציוד, תפוקות ועוד. הדבר חשוב במיוחד לצורך ניצול מיטבי של המשאבים המוגבלים העומדים לרשות הצבא. יכולת הניטור והמיטוב הרציפים שמספק התאום הדיגיטלי הופכת אותו למכפיל כוח בהגדלת התפוקה והיעילות התפעולית של מערכות לוגיסטיות מורכבות, ובניצול מיטבי של המשאבים הקיימים.

שימוש בתאומים דיגיטליים יחזק את הגמישות והיציבות של הרשת הלוגיסטית ויקנה יכולת משופרת להסתגל לשינויים ולהתאושש משיבושים.

שילוב מושכל של יישומי הטכנולוגיה המתקדמת יכול להפוך את הלוגיסטיקה מנקודת תורפה ליתרון יחסי מול אויב המנסה לשבש אותה. הטמעה מתמשכת ועקבית של התאומים בלוגיסטיקה הצבאית עשויה לחולל מהפכה של ממש ביכולת להתמודד עם אתגרי הלוגיסטיקה במחלוקת

דוגמה בולטת ליישום רחב היקף של תאומים דיגיטליים אפשר למצוא בשנגחאי, בסין.¹⁷ החל מ-2018 ובמהלך למעלה משלוש שנים פותח עבור שנגחאי תאום דיגיטלי מקיף המכסה את כלל השטח העירוני שמוערך בכ-3,500 קמ"ר. המודל נבנה על ידי חברת World 51 הסינית בשיתוף פעולה הדוק עם המרכז לתפעול וניהול עירוני של שנגחאי. הוא כולל מידול מפורט של למעלה מ-100 אלף ישויות וירטואליות ובהן מבנים, כלי רכב, תשתיות ואובייקטים עירוניים. הנתונים הנדרשים לצורך בניית התאום נאספים ברציפות ממגוון מקורות טכנולוגיים כגון לוויינים, חיישנים ומצלמות אבטחה. שילוב של נתוני זמן אמת ויכולות סימולציה מתקדמות יוצר מודל דינמי ומדויק ברמה חסרת תקדים של המתרחש בעיר. שנגחאי מנצלת את התאום הדיגיטלי למגוון רחב של משימות ניהול עירוניות, ורואה בו כלי אסטרטגי מרכזי בשאיפתה להפוך לאחת הערים החכמות והמתקדמות בעולם בשנים הקרובות.

דוגמה נוספת היא חברת טסלה, שיוצרת תאום דיגיטלי עבור כל רכב חשמלי שהיא מייצרת. התאום מקבל נתונים בזמן אמת מחיישנים ברכב, ומשתמש באלגוריתמים של בינה מלאכותית לניתוח וזיהוי אזורים וחלקים שבהם צפויות תקלות וכשלים. הדבר מאפשר לחברה לצמצם תקלות ולשפר את חוויית הלקוח באמצעות טיפול מונע. כמו כן, התאום הדיגיטלי מסייע לה לתכנן טוב יותר את מערך השירות והתחזוקה שלה בהתאם לצפי התנהגות הרכבים בכביש, ניתוב חלקי חילוף ועוד.

שתי הדוגמאות ממחישות כיצד תאומים דיגיטליים יכולים לספק תובנות ויכולות חיזוי ברמה שלא הייתה אפשרית עד כה בשום טכנולוגיה אחרת. כדי לממש את הפוטנציאל הרב

של התאומים הדיגיטליים בלוגיסטיקה הצבאית מומלץ לאמץ גישה של יישום הדרגתי וממוקד, שתאפשר שדרוג מתמשך של היכולות התפעוליות והתכנוניות של המערך הלוגיסטי.

אפשר להתחיל בשילוב של תאומים דיגיטליים במתקנים המרכזיים ביותר, כמו נמלי ים, שדות תעופה ומרכזים לוגיסטיים גדולים, ולאחר מכן להרחיב בהדרגה את השימוש בהם לנכסים נוספים. תחילה יש לזהות את הנכסים האסטרטגיים החשובים ביותר, כמו נמלים ראשיים, שדות תעופה גדולים, בסיסי אספקה ותחזוקה קריטיים וכדומה. השלב השני כולל איסוף אינטנסיבי של נתונים מהנכסים הנבחרים באמצעות חיישנים, מצלמות, לוויינים וכל מקור מידע זמין. בשלב השלישי נבנים מודלים ראשוניים ופשוטים יחסית של תאומים דיגיטליים לכל נכס, על בסיס הנתונים שנאספו, והם משקפים באופן בסיסי את המתרחש במקבילה הפיזית שלהם. בשלבים מתקדמים יותר אפשר להעשיר את המודלים, להוסיף יכולות מיטוב וסימולציה, וליצור קישוריות בין תאומים של נכסים שונים.

הגישה ההדרגתית מאפשרת להתמקד תחילה באזורים בעלי הערך הגבוה ביותר ולהתרחב בהמשך, תוך צבירת ניסיון וידע מתמשכים בשילוב הטכנולוגיה. שילוב נכון של הדרגתיות והתמקדות הוא המפתח למימוש מוצלח של תאומים דיגיטליים.

שילוב מושכל של יישומי הטכנולוגיה המתקדמת יכול להפוך את הלוגיסטיקה מנקודת תורפה ליתרון יחסי מול אויב המנסה לשבש אותה. הטמעה מתמשכת ועקבית של התאומים בלוגיסטיקה הצבאית עשויה לחולל מהפכה של ממש ביכולת להתמודד עם אתגרי הלוגיסטיקה במחלוקת.

סיכום

לוגיסטיקה במחלוקת היא המציאות החדשה שאיתה נאלצים צבאות מודרניים להתמודד, בעוד הקרב הבא הוא על הלוגיסטיקה - קרב שתלוי ביכולות לקבל ולעבד נתונים, לזהות נקודות תורפה ולתת פתרונות מהירים. העימותים הנוכחיים מוכיחים שזוהי מציאות בלתי נמנעת שמחייבת חשיבה מחודשת על הגנת נכסים, כשירות לוגיסטית ואימוץ טכנולוגיות חדשניות. תאומים דיגיטליים הם אחד הפתרונות המבטיחים ביותר להפיכת שרשרת האספקה מנקודת תורפה ליתרון אסטרטגי במלחמה המודרנית. במקום לנסות לתקן ולשפר מערכות ישנות שיעילותן ותפקודן אינם מיטביים, ולעיתים פשוט לא מתאימים לצרכים ולאיומים המודרניים - יש לבנות סביבה עדכנית, החל מהתפיסה ועד ליכולות הרלוונטיות בשטח.

התרומה המהותית של התאומים הדיגיטליים היא במתן יכולות חדשניות: מודל מדויק ועדכני של המציאות, סימולציות ואימונים וירטואליים, מיטוב דינמי של תהליכים, חיזוי מוקדם של פערים באמצעות בינה מלאכותית ועוד. יישום נכון של תאומים דיגיטליים יכול לחולל מהפכה ביכולת של הלוגיסטיקה הצבאית להתמודד עם אתגרי העידן הנוכחי והעתיד. זוהי טכנולוגיה שיש בה פוטנציאל להפוך את נקודת התורפה ליתרון אסטרטגי מכריע.



ההערות למאמר זה מתפרסמות בסוף הגיליון.

**לוגיסטיקה במחלוקת: משמעות, אתגרים ופתרונות
בעידן המודרני (עמ' 50)**