

„חקר ביצועים" מהו ?

אנו מתקדמים לחודשים האחרונים של המלחמה באירופה. זה עתה פגע ביבשת אנגליה מה שיגורו ממנו מומן — רקיטה באליסטית לטוח ארוך שהיתה קרויה „V-2". אולם אפילו פגיעתה הראשונה של הרקיטה לא מצאה את פיקוד ההגנה על אנגליה בלתי מוכן. אמנם, שום אדם באנגליה מעולם לא שמע את הרקיטה בבואה, כי מהירותה עלתה על מהירות הקול. אולם בעזרת מכשירי האזנה שקלטו את רעש הרקיטה במרומים אפשר היה לרשום את מקום הירי המחושב, וזה החל מהרקיטה הראשונה שנורתה מגרמניה אל יבשת אנגליה. לשם כך היה צורך ביחידה צבאית מקצועית שמנתה 2000 איש. יחידה זו עמדה מוכנה כחוליה חיונית בהגנת אנגליה נגד הרקיטות עוד לפני שנורתה רקיטה, לפני שאיש באנגליה חש את פגיעתה.

שיתוף פעולה הדוק וממושך בין אנשי המדע בשטח הבליסטיקה והרקיטות המודרנות לבין חוקרי-ביצועים שצירפו נתון אל נתון ביחס לנשק משוער, אפשר לצבא הבריטי להקדים תרופה למכה ולהקים בעוד מועד יחידה מקצועית גדולה שיעודה לגלות את מקום מוצאן של הרקיטות, ולכנן למקומות אלה התקפות איריות.

ראית הנולד ועבודה מדעית מאומצת גולו מהיטלר את ההצלחה שהוא ציפה לה מהנשק הסודי שלו; וקיצרה במידה ללא-תקדים את התקופה בין הכנסת נשק חדש לשימוש לבין פעולה נגדו.

השם הקיבוצי „חקר ביצועים" מתיחס לעבודות מסוגים אלה — בדיקה בקורתית של אמונת בלתי-מבוססות ביחס למקלע, שיפורים בתותחנות שדה אגב גילוי שיטה למדידת שטיחותו של הקרקע, ועיבוד תכנית הגנה נגד נשק בלתי מוכר. ננסה-נא להבהיר לעצמנו מה משמעותו של חקר-ביצועים.

חקר-הביצועים הוגדר ע"י ותיקיו באנגליה כהפעלה שיטתית של השכל הישר מתוך מטרה להביא עובדה במקומה של השקפה, וזאת במיוחד במצבים מורכבים, יש בהגדרה זו מידה רבה של צניעות אם כי אין תקומה לחוקר ביצועים שלא ניחן במידה גדולה של שכל ישר, הרי השכל הישר בלבד

השנה — 1941, והמקום — בית ספר לחיל רגלים אי-שם באנגליה. המדריך מסביר לקבוצת הניכים מדוע אין כל טעם להאריך את צרור הירי של מקלע מעבר לכדורים אחדים: הירי גורם לרעידת המקלע כך שאין כל סיכוי אלא לשניים או שלושה כדורים ראשונים בכל צרור לפגוע במטרה. עם קבוצת חניכים זו נמצא „אורח". בגמר ההרצאה וההדגמה הוא נוטל רשות מהמדריך להשאר במקום ולבצע ניסויים אחדים על דעת עצמו. עצם הניסוי פשוט. האיש צובע את הקלעים בצבעים שונים ויורה צרור אחרי צרור, ארוכים יותר וקצרים יותר. הוא רושם את התוצאות, מנסה שוב, נותן לאחרים לנסות, וכעבור זמן קצר אוסף די חומר כדי לשלול אחת ולתמיד את האמונה עתיקת הימים בדבר החטאת המטרה מחמת רעידת המקלע. ההיפך הוא הנכון — הכדורים האחרונים בכל צרור-יריות דוקא הם המתמידים לפגוע במטרה.

ה„אורח" — איש מדע צעיר מטעם מדור חקר-הביצועים — לא חישב מראש דבר ולא ציפה לתוצאה מסוימת. הוא פשוט סירב להאמין בדבר מבלי להוכיח באמיתותו.

חקר-ביצועים בתחום התותחנות העלה כי יעילותו תו המעשית של תותח-שדה מסוים פיגרה במידה ניכרת אחר היעילות ה„מחושבת". ניסויים ראשונים בתנאי-שדה בקשר לבעיה זאת הוכיחו, כי סטיות קטנות ביותר משטיחות מוחלטת של הקרקע עלולות להוריד את יעילותה של הפגזת תותחים עד לחמי-שית מזו המתקבלת בקרקע שטוח לחלוטין. גתעוררה בעיה טכנית קשה: כיצד למדוד את אי-השטיחות הזאת של הקרקע? אחד מחוקרי-הביצועים מצא את הפתרון. הוא תקע מוטות-מודדים במערך מסוים, ולאחר מכן התייצב בעצמו על הראש והקריא את המידות.

(לא יפלא, שכשמשמר שוטרים שעבר בסיורו באחד הפקקים באנגליה ונתקל באורח העומד על ראשו ומסביבו מוטות-מודדים — אסרוהו בו במקום, במיוחד כשהלו סירב להשיב לשאלות השוטרים בטענה שמעשיו הם בבחינת סוד צבאי).

עובדות מורכבות, שיטה שסיעה בבדיקת תכנית
הטיס של יחידת מפציצים.

חקר-הביצועים הוא יליד בריטניה בימי מלחמת-
העולם השניה. התפקידים הראשונים שהוטלו על
כמה אנשי מדע אורחיים היו בתחום השימוש
במכשירי הרדאר החדשים, שפעולתם בשדה פיגרה
במידה ניכרת אחרי תוצאות המקוות. לקבוצות
אלה של אנשי מדע יצאו מוניטין כפי שאיש לא
יכול היה לשער. משקיפים צבאיים בעלי שיעור קומה,
מרכיבים להדגיש שאי-אפשר כלל להפריז בהערכת
תרומתם של "קוסמים" אלה למאמץ המלחמתי,
בחקר דרכי הלחימה של הצי, כחות-היבשה וחיל-
האוויר, באמצעי התגוננות בפני צוללות, בתכנון
גודלה הנכון של שיירה מוגנת, בהנחת מוקשים
ועוד ועוד.

המשותף בכל עבודות מחקר אלה הוא שאין
כונתם ליצור כלים חדשים כי אם לגלות את
השימוש היעיל ביותר בציוד הקיים. ומכאן גם
השם — חקר ביצועים. שינוי מרחיק לכת בשיטה
יש לראות בהקמת צות אנשי-מדע בעלי מקצועות
שונים זה מזה בהחלט. העובדים תוך שיתוף פעולה,
השלמה הדדית ובקורתיות במקום להסתפק, כמו
קודם לכן, בקבלת תשובה לבעיות מסובכות בצורה
של "חות דעת מומחית" שספק אם היתה תמיד
מבוססת על מחקר, נסיון, חוש או גיחוש.

עקרון מדעי חשוב שנתקבל ע"י חוקרי-הביצועים
ללא כל היסוס הוא עקרון של חשיבות גורם הכמות.
לורד קלוין בטא אותו לפני יובל שנים. בוז
הלשון: — "כל עוד אינך מסוגל למדוד את הנושא
שלך ולבטאו במספרים — ידיעתך עודנה דלה
ובלתי מניחה את הדעת; יכול להיות שבידך
ראשית הידיעה אולם מחשבותיך טרם הגיעו לשלב
של מדע, יאה נושא המחקר שלך אשר יהיה".

מבחינת ההגיון המדעי יוצאים חוקרי-ביצועים
מהנחה חדשה וחשובה ואומרים כי יאה שטח המחקר
אשר יהיה קימת מידה מסוימת של אחידות בצורתן
של בעיות וחיפוש התשובות להן. מכאן ההצדקה
להושיב בצותא אנשי מדע בעלי רקע שונה, הבאים
לתרום כל אחד מנסיגונו, איש איש במקצועו. הטיפול
הראשון בבעיה הוא מציאת גורה-שוה עם "דוגמה",
הינה, עם מקרה פשוט הדומה בקיום האופייניים
לבעיה המורכבת העומדת לדיון. כאן הוכיחה את
עצמה הגישה הבין-מקצועית, רוצה לומר — בעיה
חדשה על רקע הנדסי או מינהלי, יש ונמצאה לה
למשל, "דוגמה" דוקא בתחום המחקר הפיסיקאי.



והשוטר ראה אורח עומד על ראשו

לא יספיק לפתרון כל הבעיות, או אפילו של רובן.
כן נוכל להגדיר את חקר-הביצועים בתור גישה
השואפת לקראת ניצול כל ידיעה על-מנת לשקף
את "הנולד", את העתיד. יש להדגיש שזאת גישה,
ולא מדע חדש. חקר-הביצועים מושתת על ידיעה
בלבד, על כל חומרת השיקול המדעי, ואין דבר
שיהיה ממנו והלאה מאשר גיחושים ונבואה. מטרתה
של עבודה כזאת יקבע לנו אחת מהשתיים: —
תיאור של מצב מסוים בעתיד (המחושב כהתפתחות
של המצב הקיים בהווה) — או תיאור תוצאותיהן
של פעולות אלטרנטיביות מצדנו — במגמה לשמש
מורה-דרך למי שיצטרך להחליט כבר היום באיזה
מבין "האפשרויות הפתוחות" לפניו, לנקוט.

חקר הביצועים אינו מקבל על עצמו כל רסן,
מלבד רסן המשמעת המדעית, והמאבק באי-הידיעה
מתקיים ב"סגנון חופשי", כלומר כל אמצעי היכול
לקרב אותנו למטרה והכשר מבחינה מדעית —
מבורך, בלי שים לב למוצאו, או למטרתו המקורית.
אם להזכיר דוגמה בולטת מראשית התפתחותו של
חקר-הביצועים — הרי הושגו תוצאות מאלפות
בבעיות צבאיות בעזרת עבודתם של ביאולוגים,
הרוכשים בחוק לימודיהם טכניקות מיוחדות של
סטטיסטיקה המקילה להשתלט על ערב-רב של

המתימטיקה בולט יותר משל כל אחד אחר במשפחה הביאולוגי או המתימטי הטהור. מקומם של אנשי הצעירה של חוקרי הביצועים.

נאמר כבר קודם לכן, חקר הביצועים הנו גישה מדעית, ואיננו בחזקת מדע חדש. יחד עם זאת צריך לראות בחקר הביצועים מעין נקודת התגבשות מדעית-טכנית במערבולת הגדולה של גלי המהפכות הטכנולוגיות הרודפים זה את זה — אנרגיה גרעינית, שימוש רחב בהנדסה אלקטרונית ופיתוח אפשרויות חדשות לגמרי לביצוע חישובים המוניים בעזרת מכונות חישוב ענקיות, אבטומטיזציה בייצור וכו' וכו'. סביב הגביש הרעיוני של חקר הביצועים צומחים איפוא, גבישים אחרים, בין חדשים לגמרי ובין כאלה שמוצאם בתחום אחר, המתימטיקה הטהורה, ההנדסה או המנהלאת. חקר הביצועים וצאצאיו הצעירים מקבלים על עצמם בחינה אחת ויחידה בלבד: היש בדבר משום תועלת לפתרון בעיות — אם לאו. נתבונן מרחוק באחדות מהטכניקות הללו כדי לקבל מושג באיזה כיוון מנשבות רוחות אלה.

1. תורת התור (*). על בסיס עבודות שנעשו לפני כמעט חמישים שנה בחברת טלפונים של דנמרק, כדי לפתור בעיות של חיבור טלפונים, התפתחה תיאוריה מתימטית-הנדסית סביב לתור ההמתנה, אותה העובד דה שאנו קוראים לה לעתים קרובות "צואר בקבוק". בעיות שאפשר להשתיתן על "דוגמאות" כאלו רבות הן יוספיק להזכיר את הכונת התנועה של מטוסים בשדה-תעופה, השימוש במתקני טעינה ופריקה בנמל ביחס לאניות הממתנות, קביעת לוח-זמנים לקבלת חולים במרפאות, קביעת מספר הזבנים בבתי-מסחר גדולים לשעות השונות של היום, קביעת-הזמנים לאורות התנועה ברחובות הראשיים של העיר, או המספר הרצוי של פקידי מכס בנמלים ושדות-תעופה, וכו'.

2. תורת מסירת ידיעות מבוססת על עבודות המהנדס שנון (ואכן כמשמעותו העברית של שמו — כן הוא) מחברת הטלפונים הגדולה "בל" בארה"ב; ותורתו של פרופסור נ. וינר, הקרויה "ציברנאטיקס", וקרובה לעבודותיו של שנון, כל מסירת ידיעה נעשית בצורה קבועה: —

(*) הרקע המתימטי של החישובים במסגרת תורת התור מסובך למדי ויתכן ובמרוצת הזמן תחלנה בו התפתחויות נוספות. אפשר לצאת, למשל, מההנחה שהזמן שעלי לחכות בתור הוא הזמן שימתין מי שקדם לי בתוספת זמן השירות שלו, ובניכוי הפיגור של בואי בהשואה לבואו. מכאן אפשר לפתח התפלגויות שכונות שונות, המצביעות על האורך המצופה של התור במצבים שונים.

מקור ← משדר ← צינור ← מקלט ← יעד
↓
הפרעה

דפוס בסיסי זה נשאר ללא שינוי בין אם המדובר במברקה אלחוטית או בהודעות שנהגו לשגר בימי קדם על מולד החודש. כשמתחילים לחקור את ההשפעה ההדדית של הגורמים למיניהם בתהליך של מסירת ידיעות מגיעים מיד למסקנה כללית חשובה והיא שלא תימסר ידיעה במידת דיוק מתקבלת על הדעת אלא אם עצמת השידור שווה, או קטנה, מכושר הקיבול וההעברה של הצינור.

3. תורת איזון השיפורים מעוררת את בעיית התיאום המרכזי. יש ושכרו של שיפור הפעולות ביחידת-משנה אחת יוצא בהפסד ביחידות-משנה אחרות; יקרה והשיפור בפעולות של יחידת-המשנה אינו מקדם כלל את המטרות העיקריות של המפעל כולו. אם תינתן עדיפות מוחלטת למחלקת שירותים, למשל, לשימוש ברכב המפעל תוכל אמנם לגרום לשיפור ניכר של השירותים אולם יחד עם זאת גם לגרום להאטת-עבודה מופרזת במחלקת המשלוחים; חוסר איזון בשלשלת העדיפויות אינו הסכנה היחידה; יש ועדיפות חד-צדדית גם כשאינה גורעת דבר מיחידות משנה אחרות — אינה מקרבת אותנו למילוי המטרה העיקרית של המפעל כולו. למשל — כל צבא מחזיק ברכושו מספר מסוים של פטיפונים לצרכי בידור החיילים; אילו האפסנאים בלהטיהם כי רבו היו זוכים בפטיפונים שלא כמספר גדודים כי אם כמספר הכיתות בצבא — ספק הוא האם רמת הבידור היתה עולה על-ידי כך, ועל-כל-פנים כמעט ודאי הוא שרמתו הכללית של הצבא לא היתה משתפרת הודות לכך.

המסקנה היא, איפוא — כי על שיפור ביחידת-משנה יש לדון, מבחינות אחדות: (א) — לאור קרבת בנות אפשריים של יחידות משנה אחרות (וב) — לאור המידה בה הוא מקרב את המפעל כולו למטרתו המוגדרת.

מן הראוי להזכיר כאן את הלקח מאחת הפעולות המזהירות ביותר של צוותת חקר הביצועים במלחמת-העולם השנייה. צות זה הגיע למסקנה שסיכויי הפגיעה של צוללות האיוב באניות-המשא הנם ביחס הפוך למספר אניות המשחית המלוות את השיירה, וזה כמעט ללא הבדל לגודל השיירות. מסקנת הצות היתה, איפוא, להגדיל את השיירות ככל האפשר על-מנת לאפשר את ריבוי מספרן של אניות-

המשחית המלוות (שהיו מצויות בצמצום רב). המצתו של הצות הוכיחה בהחלט את יעילותה.

אולם מאז התקדמנו בשיטות החקר, ואילו כיום היתה עולה בפנינו בעיה כגון דא היינו חייבים להביא בחשבון גם את ההשפעות שתהיינה לתוצאה על יחידות-משנה אחרות במאמץ המלחמתי — כגון צפיפות בנמלי טעינה ופריקה בשל הגדלת השיירות; האטת קצב המשלוחים (דבר שניתן לחישוב בעזרת תורת התור) וההשפעה על המפעל כולו — כלומר, האם האויב מגיע למסקנה שעם ריבוי אגרות המשחית מסביב לשיירות מקטין במידה ניכרת את יעילותן של הצוללות — שמא יתרכו במאמץ לשכלול-יתר של צוללות, או יפעילו במקום שיהיה רגיש עוד יותר למאמץ המלחמתי הכללי?

למען הזהירות חובה להדגיש אי-אלה ממגבלותיו של חקר הביצועים. בה במידה שנוכל לצפות לסיוע חשוב מגישה מדעית חדשה זו בתחום של אירועים המוגנים כגון: תנועת רכב או מטוסים; קניה, אחסנה וניפוק של סחורות; עריכת תקציבים; פתרונות-אב כלליים לבעיות טקטיות מסוימות וכיו. אין מקום, לעת-עתה לפחות, לתקוות מופרזות לגבי אירועים חד-פעמיים או גדיירים ולגבי תופעות שאינן ניתנות למדידה, שקילה, מנין או הגדרה כמותית אחרת.

מיטב התשובה שתתקבל בדרך של חקר-ביצועים יכולה — במקרה הטוב ביותר — לשמש הנחיה כללית ורחבה למדי, אשר עליה תוכל להתבסס ההחלטה הסופית. אין, איפוא, כלל מקום לחשש (או לתקוה) שצות אנשי מדע אי-שם בחדר האחורי יוכלו לבוא במקומו של המדינאי, מנהל העסקים או המפקד, אשר הם נקראו לעזור לו בחיפושיו אחרי ההחלטה הנכונה ביותר ביחס לבעיות שבפניו.

אין לראות בחקר-ביצועים אופנה או צעצוע, המבטיח לנו הרים וגבעות בתנאי שנאמין בו. ההיפך הוא הנכון: כמו כל עבודה מדעית תובע חקר-ביצועים מעובדיו, ולקוחותיו רוח בקורתיות

מוחלטת. מן הראוי להוסיף כי למעשה דרושה בקורת כפולה כלפי תוצאותיו של כל מחקר ביצועים — האחת פרגמטית, כלומר באיזון מידה מועילות תוצאות המחקר באופן מעשי לפתרון הבעיה, והשנייה — מתודולוגית, כלומר האם לכל אורך המחקר נערכו השיקולים לפי מסלולים מדעיים מוכרים. אכן, פתרון יכול להיות "נכון" מבחינת המחשבה המדעית שהושקעה בו, אולם ללא תועלת מעשית. זה יקרה אם שגינו בניסוח השאלה עצמה או בבחירת שיטת הפתרון, או עקב אי-זהירות באיסוף ניתונים וכו'; והמסקנה תהא כי יש להתחיל הכל מחדש. פתרון אחר יכול להיות מועיל ביחס לבעיה המסוימת שחקרו בה, אולם מוטעה מבחינה מדעית; אין בכך רע כל עוד העובדה והסיבה ידועות לנו, וכל עוד אנו נשמרים מלהסיק מסקנות מעבר לתחום הבעיה שלפנינו ונמנעים מלהשתמש בשיטה המוטעית למקרה בלתי הולם.

אין, איפוא, כל מקום, לראות את חקר-הביצועים כדרך-המלך לידיעה, אלא יש להתחס אליו כאל שביד צר ומיגע לעתים, אך העשוי להוליכנו לפעמים למקומות אשר קודם לכן לא היתה לנו כל גישה אליהם.

הדגשנו את המגבלות כדי למנוע אשליות. אולם באותה מידת הדגשה לפחות יש להדגיש את עצם העובדה שחקר-הביצועים יכול לשמש מכשיר יעיל לפתרון בעיות במקום בו תרבותנו מפגרת עדיין ביותר: מציאת שימוש נכון לכלים קיימים והתנהגות נכונה לקראת מצבים שטרם היו דוגמתם. כל הצבאות המודרניים מעסיקים במלחמה ובימי-שלום צוותות של חוקרי ביצועים. וכן מקובל במפעלי התעשייה הגדולים; והישגים נכבדים נרשמים מדי פעם בפעם הודות להם, בתחומים שונים ורחוקים זה מזה, כגון של תכנון תחבורה או אף בעריכת לוח זריעה ושחילה לחוות חקלאיות.

כבר צוין לעיל כי הדבר אינו קל, ותובע מאמצים רבים, ושיתוף-מחשבות רב. ומותר אולי לסיים באימרת קוהלת (אמנם, בהיפוך הסדר) כי רק ה"מוסיף מכאוב — מוסיף דעת".

