

# מכירת המחר בנזיד עדשים של עכשיו

יובל נאמן

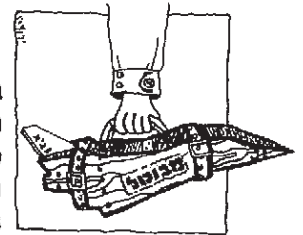
באין חזון יפרע עם

הוועידה הכלכלית הראשונה ב-1968. בעשרים השנים האחרונות ייצרה ישראל כ-1% מן היצירה העולמית במדע. תודות לעוצמה זאת קמו והתפתחו מפעלים כ"סייטקס", "אלסינט" וכדו'. הצלחותינו במו"פ הבטחוני – והיצוא הנובע ממנו, החל מטיל ה"גבריאל" של שנות השישים המוקדמות ועד למזל"ט (מטוס זעיר ללא טייס) של שנות השמונים – צמחו ונקו מעוצמה זאת. השתלבותנו במימדים משמעותיים במערכת המו"פ של "יוזמת ההגנה האסטרטגית" של נשיא ארה"ב אף היא יונקת כוחה ממקור זה. כ-30% מן המו"פ הישראלי מצויים באוניברסיטאות ובמכון ויצמן, והקיצוץ הניכר בהקצבה למוסדות להשכלה גבוהה (מוה"ג) פגע כמעט בלעדית בתשתית המחקרית.

מהי באמת הדרך הנכונה בקבלת ההחלטות לגבי פרויקטים לטווח ארוך ולגבי ההשקעות במו"פ? האם אכן קיימת סתירה בין החישוב הכלכלי לבין השיקול הכולל? בסוגייה זאת ננסה לדון במאמר זה, דיון איכותי גרידא. יתכן שבעיקבות הבנת הדברים תוכל להתפתח מתודה חישובית מתוקנת, אך יתכן גם מצב דברים שבו אין דרך דטרמיניסטית לגבור על אי-הוודאויות שביסוד הבעיה.

## ההחטאה בעיתוי (אנרגית שמש)

תופעה שניה שטרם נמצא לה פתרון הנה ההחטאה בעיתוי בתוכניות מו"פ שימושי ברמה הלאומית. תופעה זו משותפת לכל המדינות הדמוקרטיות שיש בהן מעורבות ציבורית גבוהה בנושאי המו"פ השימושי הגדולים. בישראל אפשר להביא כדוגמה את פיתוח הפקת אנרגית השמש או את התפלת מי הים. שני נושאים אלה נקבעו עוד בשנים הראשונות למדינה כיעדים לאומיים, לאור המציאות הסביבתית. כבר בסוף שנות החמישים הגיעו הפרופ' צבי תבור במעבדה הממשלתית לפיסיקה והפרופ' רודולף בלוך במפעלי ים המלח להישגים ניכרים בניצול השמש: קולטים שאיפשרו ניצול יעיל של קרינת השמש לצרכים ביתיים (20% מן הגגות בישראל נשאו דודי שמש כבר ב-1960, 20 שנה לפני קליפורניה), יחד עם ראשית פיתוח מערכות מראות ממקדות, תאים פוטוולטאים ובריכות שמש. ישראל הובילה את המחקר בתחום



בתקופת שלטונה של ממשלת האחדות הלאומית חוסלו שני פרויקטים לאומיים גדולים: תעלת הימים, שנקברה קבורת חמור ב-1985, ומטוס ה"לביא" ב-1987; האחד מפעל הנדסי שעיקר יעודו בתחום האנרגיה ופיתוח הנגב, השני פיתוח טכנולוגי מתקדם עם יעד בטחוני. במידת מה ניתן לראות סגירות אלה כתופעה מיוחדת שנגרמה ע"י אקלים הצמצום הכלכלי שהושרה במכוון בשנים 1985-1987 לצורך בלימת האינפלציה הבלתי נשלטת של 1982-1985; אך בצדק ניתן גם לראות בתופעה בטוים ל"עכשוויים" במדיניות הכלכלית, דהיינו העדפה מובהקת של האינטרס הרגעי על פני העשייה למען הדורות הבאים. השיטה נוגדת את אושיות הציונות ניגוד גמור: בשיקול כזה אסור היה, למשל, להעלות ארצה את יהודי ערב ב-1949-1952 ולהכפיל בשלוש שנים את אוכלוסייתה של מדינה חסרת-כל וזזה עתה נולדה.

מקובל היה, בשנות החמישים לצטט את יחסו הביקורתי של בן-גוריון ליועציו הכלכליים: הללו התנגדו כמעט לכל החלטותיו ה"ציוניות", מחישובי יציבות. הקמת מערך המחקר והפיתוח בתחומי הגרעין, התעשייה הצבאית והאווירית, הרשות לפיתוח אמצעי לחימה (רפא"ל) – כל אלה קמו וצמחו כפי שצמחו תודות לחיסוי שניתן להם ע"י המערכת הבטחונית בעידודו של בן-גוריון. בחסות זאת נמצאו כולם מחוץ לטווח פגיעתה של התקשורת. גם כלכלני משרד האוצר התקשו להפעיל כאן שיקולים כלכליים גרידא.

המדיניות הכלכלית של ממשלת האחדות הלאומית פגעה קשות בזרוע נוספת של "המחר": מערך המו"פ באוניברסיטאות נכנס לפיגור המאיים על כל התשתית בתחום הטכנולוגיות המתקדמות. מערך זה, שצמח תחילה בדחף יוזמות מקומיות ובגיבוי האינטואיטיבי של פנחס ספיר, הפך מנוף כביר לפיתוח התעשייתי מאז

פרופ' נאמן הנמנה על חשובי הפיסיקאים בדורנו, עומד בראש המכון ללמודים מתקדמים על שם מורטימר וריימונד טאקלר באוניברסיטת תל אביב. י. נאמן מילא שורה ארוכה של תפקידים באקדמיה ומימשל. בין היתר היה נשיא אוניברסיטת תל אביב בשנים 75-1971, שר המדע והפיתוח בשנים 1982-84. מאז 1979 משמש פרופ' נאמן בתפקיד יושב ראש תנועת התחיה.

בעולם. אף על פי כן, בראשית שנות ה-60, חוסלו כל הפעילויות הללו. האומדנים הכלכליים הראו שההשקעה לוואט מאנרגית השמש כה גבוהה שהרבית ממנה עולה על מחיר הנפט לאותה אנרגיה. נזכור שבאותם ימים היה מחיר החבית \$2...

ב-1974 עלו מחירי הנפט עליה תלולה ראשונה, ותוך שנה חזר נושא אנרגית השמש לראש סולם העדיפויות הלאומי במר"פ. ב-1979 חלה עליית מחירים נוספת. חברת "אורמת" בהנהגתו של יהודה ברוניצקי הביאה את בריכות השמש לרמה אופרטיבית והורידה את מחיר ההשקעה לוואט לסביבות \$5-6, בתחום שהוא תחרותי כאשר מחירי הנפט עלו על \$30 לחבית. בשלושה שלבי הגדלה (בריכות של 500, 7,000 ו-250,000 מ"ר) נרכש נסיון הפעלה מצוין; אלא שהשלב השלישי נערך כבר כאשר מחירי הנפט החלו יורדים, תחילה לאט ולאחר מכן בתלילות. עד שנסתיים הפיתוח הגיעו מחירי הנפט לשפל של \$13 החבית. ב-1986 הסתיים השלב והפיתוח הופסק. גורל התמיכה בתכניות המקבילות בחברת "ארגמן" היה דומה.

המור"פ בתחום התאים הפוטוולטאים באוניברסיטה העברית ופרוייקט מגדל השמש (מערכת מראות ממוקדת) וצינור החום (העברת האנרגיה ע"י גז מוזרם) במכון וייצמן עדיין נמשכים כיוון שכמעט ואינם תלויים במימון ממשלתי. יצוין שהמצב בארה"ב באשר למור"פ בהפקת אנרגיות "ממקורות בלתי מתכלים" דומה. בוטלו כל ההקצבות המיוחדות בסכומי ענק מאמצע שנות השבעים.

אגב, ההישגים מרשימים. חברת "לוז" הירושלמית הפכה ספק בינלאומי מוכר, והקימה תחנות כח סולאריות בקליפורניה בערך של 100 מיליון \$ ויותר. "אורמת" ו"ארגמן" הפכו ספקיות חשובות בתחום הבריכות, אך קיים סיכוי סביר שמחירי הנפט הנמוכים יביאו גם בארה"ב לצמצום ההזמנות.

אם אכן כך יהיה, סביר ששוב יתפזרו הצוותים המיומנים והידע שצברו. באחד הימים ישובו ויעלו מחירי הנפט, בין היתר דווקא משום שלא יפותחו מקורות חלופיים במחיר סביר. או אז ישוב הממסד המופ"י הממשלתי ויחפש את המומחים שנפוצו בינתיים לכל רוח. במאמץ של כמה שנים נשוב לצעוד קדימה במור"פ לניצול אנרגית השמש. מחירי הנפט שוב ירדו אז. הממשלה שוב תפזר את הצוות, וחוזר חלילה.

### ההחטאה בעיתוי (התפלה)

המור"פ בתחום ההתפלה עבר תעתועים דומים, אך במופע מהופך. בשנות השישים פרח. המועצה הלאומית למור"פ מימנה אז 8 תכניות מחקר מקבילות (ממברנות, קירור וכו'). במיוחד הגיעה לפרקה שיטת הזיקוק ע"י דחיסת הקיטור. שני יתרונות עקריים לה: היא פועלת בטמפרטורת החדר, ואינה מצריכה על כן פיתוח חמרים עמידים במיוחד; כן ניתן להצמיד את המתקן לתחנת כח, לניצול החום המתבזבז (בין 35-70 מעלות צלזיוס) ע"י הקיטור הנפלט. חברת "הנדסת התפלה בע"מ" שיווקה מתקני התפלה לאיים הקאנריים, לקאריביים וכו'.

לסיכום: תהליך מור"פ כלשהו בנושאי תשתית עשוי להימשך כ-10 שנים לפחות. לפני תום התקופה, משתנים תנאי הרקע שגרמו לתכנית להוולד, והפרוייקט מופסק. כעבור כמה שנים, ולעתים דווקא משום שהופסק הנסיון לפתח מוצר תחרותי, עולים המחירים מחדש, וחוזר חלילה.

### החטאה שלמה: אנרגיה גרעינית

מלכתחילה היו לישראל סיבות טובות לפתח תשתית למחקר גרעיני. ראשית, האפשרות שיווצרו אי פעם תנאים בהם תוכלנה מדינות ערב העוינות להצטייד בנשק גרעיני, שרק קיום נשק דומה אצלנו יוכל להתרועע מלהשתמש בו. שנית, האפשרות שמדינות עוינות תוכלנה אי פעם להנות ממטריה גרעינית מצד מעצמה – שתערוב בכך בפועל לשלמותן – ותאפשר להן לתקוף את ישראל בכל עת שתרצנה מבלי שתסתכנה במתקפת נגד ישראלית מכרעת. בשני מקרים אלה עשוי להווצר הכרח בקיום הרתעה גרעינית ישראלית. בהתחשב בעובדה שאין כל ביטחון שתימצא אז מעצמה שתספק מטריה כזאת לישראל, החליטו ממשלות ישראל בשנות החמישים והששים להקים תשתית מור"פ רחבה בתחום הגרעיני. סקרתי את המדיניות הישראלית באשר להרתעה הגרעינית במקום אחר<sup>1</sup>. בקטע הבא אתיחס לקבלת ההחלטות לגבי אותה תשתית וההמשך בהקשר עם

1. י. נאמן, ג'רוזלם פוסט 13.1.87.

יצוין שב-1964 הסתיימה הקמת התגר "ינקי" במדינת ניו יורק, עם מוצר שעלה רק 4 "מיל" (אלפיות דולר לקילוואט), כמחצית ממחיר החשמל בישראל. ב-1974, לאחר עליית מחירי הנפט, החלה ישראל מבקשת לרכוש תגרים. החל מ"מ עם ארה"ב, וב-1976 נחתמו בראשי תיבות בין ארה"ב לישראל ולמצרים הסכמים לאספקת תגר לכל אחת, כשהפיקוח למניעת ניצול התגרים לייצור נשק אמור להתבצע ע"י ארה"ב עצמה. אך ב-1977 העביר הנשיא קרטור חקיקה חדשה שחייבה פיקוח אר"ם והצטרפות הקונה לאלמנה"ג. האפשרות לרכישת תגר בארה"ב נגוזה.

ב-1983 פתחתי (בתור שר המדע והפיתוח וירר בפועל של הו"א) יחד עם שר האנרגיה מודעי, במו"מ עם צרפת. המו"מ התקדם בעצלתיים, אם כי נתקבלה לכאורה תשובה חיובית. על הצרפתים הופעל לחץ ע"י סעודיה ומדינות אחרות. כאשר קמה בישראל ממשלת האחדות הלאומית, המשיך ראה"מ שמעון פרס את המו"מ. התשובה החיובית לכאורה הביאה אותו לכלל הדלפת הידיעה, והעיתונות סיפרה על נכונות צרפת לספק לנו תגר. תוך זמן קצר הסתבר שאין לכך כל סיכוי. לא אכנס כאן לשיקולי הבטיחות שהפעלתי ולמחשבות על בנייה תת-קרקעית לצורך מיגון כפני חבלה או תקלה נוסח טשרנוביל. הלקח העיקרי לענייננו הוא ב"פיספוס" ב-1964, שנתגלה כ"מעוות לא יתקון".

### דרך קבלת ההחלטות

נגענו כאן בפרוייקטים שהמאפיין אותם הוא הצרוף של יעד שימושי מובהק, תהליך תכנון ופיתוח (ו/או הקמה) המתמשכים ע"פ 15-20 שנה, ותלות בגורם רקע חיצוני (מחירי נפט, או הסתייעות במימון אמריקאי בפרשת ה"לביא"). גם נושא הרס התשתית המחקרית במוה"ג מאופיין ע"י תקופת דעיכה של כ-10 שנים (ותקופה דומה שתידרש לשיקום).

בתקופת בן גוריון - ספיר, התקבלו ההחלטות בדרך לא-מתודית, למזלה של המדינה הצעירה. בלשון ספרותית יותר קוראים לזה "חזון" או "מנהיגות". בימי לוי אשכול כראה"מ ושרה"ב החל תהליך של שיקול זהיר יותר, עם הישענות על תחשיבים כלכליים לכאורה. פרטנו לעיל את ההחטאה בנושא התגר; אפשר גם להזכיר את ההחלטה (1963) להעדיף הזמנת טילי יריחו בצרפת ע"פ פיתוחם בישראל; כידוע "נתקעו" באמברגו שהטיל הנשיא דה גול במלחמת ששת הימים, ובסופו של דבר היה הכרח להתחיל מחדש - כמעט מבראשית - את פיתוחם בארץ. הפרוייקטים הללו חורגים מן הטיפול השיגרתי בהיותם אבולוציוניים בטבעם. הגשמתם יוצרת מצב חדש, איכות חדשה, וגם אופציות לפיתוחים או פרוייקטים חדשים. בעיקרון אי אפשר לחזות מראש התפתחויות כאלה. מפעל הימים, שהוא המוגדר שבאלה שמנינו, מייצר למשל חלק ממקורות המימון הנדרשים ע"י עצם ההתלהבות שעורר בצבור: אגרות החוב הממשלתיות

הנסיונות להיכנס לייצור אנרגיה בתגר (תחנות כח גרעיניות).

מ-1949 ואילך טיפלה הוועדה לאנרגיה אטומית בהקמת תשתית אנוש, ושיגרה לחו"ל מספר צעירים מוכשרים שהיו אמורים לשמש קאדר לתשתית הפיסית (כורי מחקר) לכשתוקם. הו"א היתה כפופה לראש הממשלה - שהיה אז גם שר הבטחון. המנגנון המינהלי של משה"ב, על משלחות הרכש שלו בארה"ב ובאירופה, טיפל במשתלמים. עד ששבו הללו ארצה. ב-1954 נתחלף בן גוריון במשה שרת (ראה"מ) ופנחס לבון (שרה"ב). הרצף הבטחוני לא היה מלא, ולבון החליט להסתפק בקיומה של התשתית האנושית במחקר הבסיסי המוה"ג. תמורת סכום של 100,000 דולר - מה שהושקע בלימודי הקבוצה בחו"ל - "נמכרו" החוקרים הצעירים (שגם נתנו הסכמתם לכך) למכון וייצמן שהחל אז בתהליך גידול מהיר. כך אכן נוצרה המחלקה למדעי הגרעין במכון, שהיתה עד מהרה למרכז המחקרי העיקרי בישראל בתחום ה"אנרגיות הנמוכות".

חלפו רק שלוש שנים והנה נפתחו בפנינו הזדמנויות להקמת התשתית הפיסית. במו"מ עם ארה"ב נרכש כור המחקר בנחל שורק (אורניום מעושר - מים רגילים), בהספק של 1 מגוואט (הוקם ב-1960); והקשרים הטובים עם צרפת איפשרו רכישת כור אורניום טבעי - מים כבדים שקם ליד דימונה ב-1962, בהספק של 24 מגוואט. אלא שבאשר לסגל המחקרי - היה הכרח להתחיל מבראשית. רק אחד משישה חוקרים מרכזיים שנשלחו ללמודים ב-1949 עוד היה "נגיש" ואכן קיבל על עצמו את ניהול הכור בנחל שורק. הו"א שוב שיגרה מחזורי משתלמים; במידת מה נעזרה בישראלים שיצאו ללמוד לפני כן ביוזמתם הם.

ב-1963 הגישה ועדה בראשותו של פרופ' שמעון יפתח המלצותיה לגבי כניסת משק החשמל בישראל לעידן הגרעין. ההמלצה היתה לעשות זאת מיד. באותם ימים לא היה בכך כל קושי מדיני, ולא נדרשה חתימת הרוכש על האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני (אלמנה"ג) - כלומר פקוח האר"ם על כל המתקנים הגרעיניים במדינה, פיקוח שישראל לא חפצה בו מטעמים שהסברתי במקום אחר<sup>2</sup>. לישראל לא היו כל מקורות אנרגיה שהם, והיא יבאה נפט מאירן. היה חשש רציני להפרעות בעטיו של החרם הערבי, ואפילו להפסקת ההספקה כליל. המחיר שניגבה מישראל לחבית נפט היה גבוה (8 אלפיות דולר לקילוואט) וניתן לשער שהאנרגיה הגרעינית תהיה תחרותית. הסגל הטכני שהוכשר תוך הקמת שני כורי המחקר עמד להתפנות ויכול היה לתרום לניצול בניית כורי הכוח להקמת תשתית תעשייתית בתחומי התמחות כלשהם, והתעשייה והיצוא היו יוצאים נישכרים.

ראה"מ (לוי אשכול) גנז את המלצות הוועדה. את החלטתו קבע ע"ס המלצותיו של המומחה האמריקאי פיליפ ספורן, שהוזמן ארצה לצורך בדיקת המלצות ועדת יפתח. ספורן העריך שמחירי הנפט ימשיכו לרדת גם בשנות השבעים, ושהחשמל מתגר יהיה יקר יותר. אף לא היתה אצלו תחושת הארעיות שחשנו אנו, הישראלים, באשר לנפט האירני.

מעוניינים בפיתוח, נעשה החישוב באחוזי נכיון נמוכים (2-4%). מחפשים לכך הצדקות מהצדקות שונות. למעשה צריך היה ללכת לפי שערי הרבית המציאותיים, אך בתנאים כאלה תהא התוצאה תמיד אי-עשייה.

התמקדנו בתעלה, אך המצב דומה לגבי פרויקט של טכנולוגיה מתקדמת דוגמת ה"לביא". יתכן שההחלטה לבנות את הפלטפורמה במקום להתמקד במערכות המיוחדות היתה שגויה, אולם היא יצרה גג משותף לכל המכלול העשיר של טכנולוגיות-המחר שצפוי להן ביקוש רב בכל התחומים (בקרה ובינה מלאכותית וכד'). אם אכן יתפזר הצוות, יתבטא הדבר בהפסד עתידי של יכולת פיתוח שקשה מאד לכמתה. ומה על העובדה שהללו גם לא יעמידו "תלמידים"? שוב אנו עומדים בפני הקושי של אומדן ערכה של יכולת עתידית.

בפיסיקה התפתח רק לאחרונה תחום של מערכות רחוקות משיווי-משקל תרמודינמי. הפיסיקה של מערבולת במדיום נוזלי או גזי היא דוגמה כזאת. הכלכלה המתמטית החדשה קבלה הרבה מן המתודות הפיסיקליות. אני מנחש שבעתיד יוכר הצורך בגישות מסוג זה גם בכלכלה. מאידך, כאשר אנו מטפלים בתהליכים אבולוציוניים, דומה שאין בכלל דרך טפול דטרמיניסטית. אולם הבעיות שהצגנו הן פחות אקראיות מן התהליכים האבולוציוניים, ויתכן שיכולה להימצא עבורן דרך טיפול כמעט – דטרמיניסטית.

עד שתימצא, אין מנוס מנקיטה בדרך החזון והמנהיגות. באין חזון יפרע עם – הפרעון במחירה של אי-העשייה ■

(ה"בונדס") שנמכרו ל"מייסדים" (כאשר ממשלת ישראל הודיעה שהכסף יוקדש לשלב התכנון של מפעל זה) היו מבוקשות מאד, מעבר למכירת "בונדס" שגרתית. אי אפשר לכלול כסף זה לאחר מכן בתחשיב ההוצאה הממשלתית, כאילו יעמוד לרשות פרויקט אחר אם לא יוצא כאן.

בסוף התהליך נוצרת איכות חדשה: התחבטנו הרבה בשאלה – כיצד לתת ביטוי כמותי-כספי לעובדה שתימנע הצטמקותו של ים המלח, מעבר להשפעה המסובכת על ייצור האשלג? עצם שינוי פני הסביבה התגלה במאה העשרים כצופן אינסוף הפתעות. הנוכל לאמוד את ערך הצלתו של ים שהוא יחיד במינו על פני כדור הארץ? הגשמת הפרוייקט פותחת אפשרות להפוך את מרבית הים למעין בריכת שמש ענקית, ולהפיק ממנה עוד 2,000 מגאוואט ברבות הימים, ועוד.

כאשר ניסינו לתת לכל אלה ביטוי כמותי, הסתבר שבשיטה המקובלת ערכם אפסי. זאת, משום שהחישוב נעשה ע"י קביעת אחוזי נכיון, בדרך כלל 4-12%, ריאליים (ז.א. מעבר לאינפלציה). בגישה כזאת מאבד העתיד כל משמעות. לכאורה, אם במקום להשקיעו, נפקיד את הכסף הנידרש להשקעה בפרוייקט כפיקדון בבנק, משך אותן 25 השנה שהיו חולפות עד להפעלתה של ימת השמש שבהמשך למפעל תעלת הימים, היינו מרוויחים יותר. כל מי שזוכר חשבונות הריבית דריבית מביה"ס יזכור כיצד הם גדלים מהר (עיין חובות המגזר החקלאי או קופת חולים). יהיה הפרוייקט העתידי רווחי כאשר יהיה, אף פעם לא יוכל להתחרות בגישה כזאת של אי-עשיית דבר. לכלכלנים יש על כך לכאורה תשובה משלהם: כאשר