

במוקד הכלכלה

מגמות במשק האנרגיה בעולם ובישראל

הקדמה

מלאי זה נעשה כבר שימוש בכשליש. היקף הצריכה מוערך כיום ב- 22 מיליארד חביות בשנה. לכן המשך קיום הציויליזציה האנושית, כפי שהיא מוכרת כיום, יחייב מציאת מקורות אנרגיה חלופיים. עם זאת ראוי לציין כי עתודות הנפט המוכחות גדלות על פני זמן, ככל ששיטות החיפוש משתכללות.

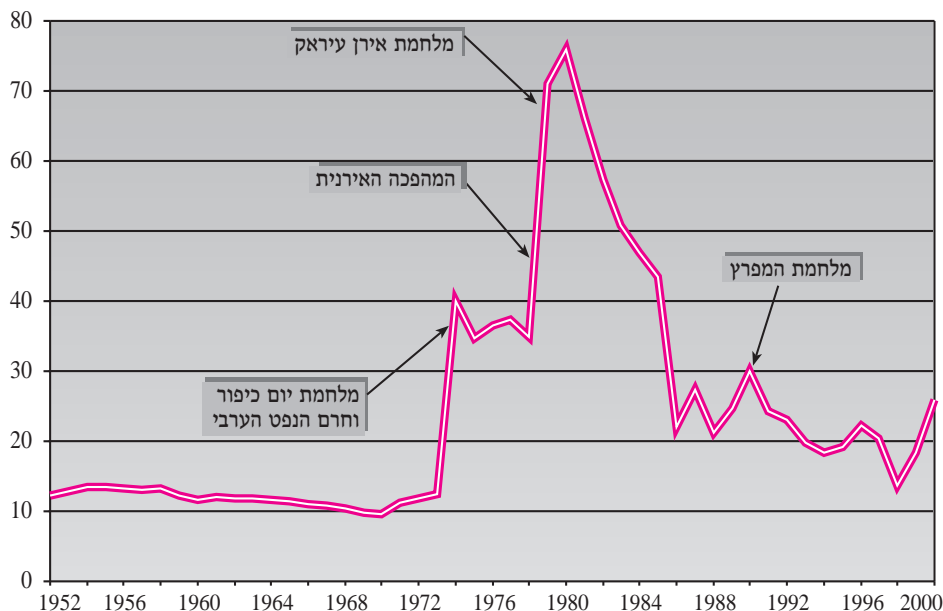
המעבר לכלכלה הבת-תעשייתית, בצירוף שיפורים טכנולוגיים, הביאו לירידת משקל האנרגיה בפעילות הכלכלית. היחס בין צריכת אנרגיה לתוצר קטן בארה"ב ב-50 השנים האחרונות בכמחצית (מ- $20,600 \text{ btu}^*$ ל- $10,900 \text{ btu}$ לדולר תוצר במחירים קבועים). ספציפית בתעשייה, התוצר גדל בארה"ב מ-1970 ל-1998 ב-50% ואילו השימוש באנרגיה ב-12% בלבד. משקל התעשייה עצימת האנרגיה בתוצר התעשייתי הכולל צפוי לפחות על-פי הערכות מ-23% ב-1998 ל-19% ב-2020.

השימוש בדלק החל עוד בעת העתיקה ועדויות לכך נשתמרו ברחבי המזרח התיכון. הוא התבטא בעיקר בשימוש באספלט למטרות שונות. ההיסטוריון הרודוטוס תיאר הפקה של נפט מבאר. השימוש האינטנסיבי במקורות אנרגיה שמקורם במאובנים החל מסוף המאה ה-18. עד לתחילת המאה ה-20 השימוש העיקרי בדלק זה קרי - נפט ופחם (להלן דלק מאובנים) היה לצורכי תאורה. התיעוש הרחב במאה ה-20 שינה את התפלגות השימוש בדלקים. התחבורה המוטורית רית לסוגיה הפכה לצרכן דלקים משמעותי ביותר. דלק מאובנים לסוגיו השונים מספק כיום כ-90% מכל שימוש האנרגיה במדינות המפותחות.

הדלק הנוזלי לתחבורה והחשמל לשימושים נייחים הם בעלי השפעה מכרעת על הפעילות הכלכלית וקשה לדמיין אותה בלעדיהם. החש"מ מאפשר את כל פעילויות התקשורת והמחשוב, אשר חשיבותן הולכת וגוברת.

מחיר חבית נפט

במונחי דולר של שנת 2000



* BTU - British Thermal Unit, זוהי כמות החום הדרושה להעלות במעלה (פרנהייט) כמות מים השווה לליברה אחת.

עקב חשיבותה הרבה, האנרגיה ממלאת תפקיד גם בתחומים מעבר לכלכלה. למד צבה של מדינה כספקית או צרכנית דלק נטו השלכה משמעותית לגבי מעמדה ויחסי החוץ שלה. להספקה סדירה של דלק חשיבות רבה בפעילות הכלכלית ולכן לזמינות של דלק חשיבות רבה ביחסי החוץ של מדינות שונות. היא גם הביאה לעתים להתפרצות של סכסוכים, אשר חלקם אף גלשו לאלימות.

בפרספקטיבה היסטורית יש לראות את השימוש האינטנסיבי בדלק מאובנים כתופעה חולפת בתולדות האנושות. על-פי קצבי הצריכה וגידולם הצפוי והיקף העתודות המוכחות, "עידן הנפט" צפוי להסתיים תוך מספר עשרות שנים. על-פי הערכות, סך מלאי הנפט העולמי הסתכם ב-2,330 מיליארד חביות. מתוך

סקירה כללית

חרות למשוך משקיעים זרים, במידה וירד מחיר הנפט יבחנו ההשקעות בהתאם לצפיות בעתיד.

קרטל אופ"ק

אופ"ק הוא ארגון של מדינות מפיקות נפט שהוקם בשנת 1960 על ידי המדינות ערב הסעודית, אירן, עיראק, כוויט וונצואלה. מאוחר יותר הצטרפו לארגון שש מדינות מתפתחות נוספות: קטר, אינדונזיה, לוב, איחוד האמירויות, אלג'יריה וניגריה. ב-1999 סיפק הארגון 42% מתפוקת הנפט העולמית. ב-1973 ערב פרוץ מלחמת יום כיפור הגיע חלקו של אופ"ק בייצור הנפט בעולם לשיא של 55%. מדינות הקרטל מחזיקות בכ-77% מעתודות הנפט בעולם. מטרת הארגון הינה לדאוג למחירי נפט גבוהים, שישרתו כמובן את האינטרסים של יצואניות הנפט החברות בארגון. הארגון מנצל את מעמדו המונופוליסטי הנובע ממשקלו הגדול בשוק והעדר היכולת של מדינות שאינן חברות בארגון להגדיל את תפוקתן בזמן הקצר, כדי לקבוע מחיר שוק גבוה, על ידי קביעת מכסות תפוקה. אופ"ק הינה למעשה קרטל בינלאומי, וככזה הוא ניצב בפני הבעיה של יכור לת אכיפת מכסות ההפקה על חבריו.

מחיר השוק של הנפט גבוה בדרך כלל מהעלות השולית של הפקתו ומשקל מרבית המפיקות הוא קטן יחסית, דבר הדוחף כל מדינה ספציפית להגדיל תפוקה ורווחים. יוצאת דופן היא ערב הסעודית שחלקה בתפוקת הנפט הוא הגבוה בארגון - כ-30%, ולכן דאגה בתקופות מסוימות לווסת את המחיר דרך צמצום תפוקותיה. אסטרטגיה זו של ערב הסעודית נובעת ממצבה הכלכלי הטוב, המאפשר לה להקטין רווחים בטווח הקצר ולמנוע קריסה של מחיר הנפט, שתגרום

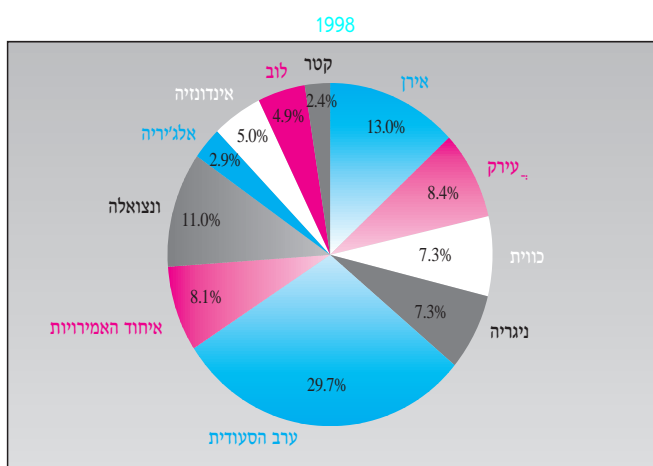
מקורות האנרגיה וחלוקתם הגיאוגרפית

בין מקורות האנרגיה הנפוצים ביותר ניתן למנות את הנפט, הפחם, הגז הטבעי, תחנות הידרו-חשמליות ואנרגיה גרעינית. שלושת המקורות הראשונים הינם למעשה משאבי טבע סחירים, המספקים כ-85% מצריכת האנרגיה העולמית. הפריסה הגיאוגרפית של מקורות אנרגיה סחירים אלו רחוקה מלהיות שוויונית. כ-65% מעתודות הנפט ו-35% מהגז הטבעי בעולם נמצאות במזרח התיכון. שם הן מתרכזות בערב הסעודית, אירן, עירק, כוויט ואיחוד האמירויות. רזרבות הפחם מתפרסות על פני מספר גדול יותר של מדינות. בצפון אמריקה ובמזרח אירופה (בעיקר במדינות ברה"מ לשעבר) נמצאות כמחצית מהרזרבות.

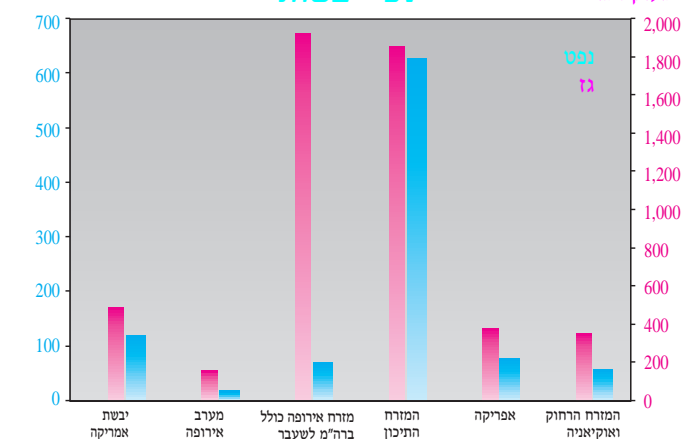
גיאולוגים מעריכים שכמות הנפט הכוללת בכל כדור הארץ עמדה על 2,330 מיליארד חביות נפט. שליש מכמות זו כבר נצרכה. ראוי לציין כי עתודות הנפט המוכחות גדלות על פני זמן, ככל ששיטות החיפוש משתכללות. היצע הנפט הגלובאלי עמד ברבעון השלישי של השנה על כ-77 מיליון חביות נפט ליום, מתוכן כ-32 מיליון חביות הופקו על ידי מדינות אופ"ק. בקצב הצריכה הנוכחי יספיקו רזרבות הנפט לעוד מספר עשרות שנים. לפי הערכות של סוכנות האנרגיה הבינלאומית תפוקת הנפט העולמית צריכה לגדול בשליש במהלך 15 השנים הבאות על מנת לעמוד בגידול בביקושים.

מדינות אופ"ק המזרח תיכוניות, מחזיקות במרבית עתודות הנפט, והן צפויות לספק את מרבית הגידול בביקושים. בכדי להגדיל את כושר התפוקה נדרשות מדינות אלו להשקעות גדולות. רק ערב הסעודית, כוויט ואיחוד האמירויות יוכלו לממן השקעות אלו ממקורות עצמיים. אם מחיר הנפט יישאר גבוה יצליחו מפיקות הנפט הא-

התפלגות הפקת הנפט בקרטל אופ"ק



העתודות הנפט והגז בעולם לפי יבשות



פיניות בצריכה גבוהה לנפש. נתון נוסף בעל השפעה הוא יעילות השימוש באנרגיה: מוצרי החשמל מתוכננים היום לחיסכון באנרגיה, כלומר השגת אותה רמת שרות באנרגיה נמוכה יותר. הצמיחה המהירה של מדינות מתעוררות פועלת נגד המגמה של ירידת צריכת האנרגיה לנפש. ירידת מחירי הדלק ל-10 דולר לחבית ב-1998 הוסברה בין השאר בירידה בביקוש של מדינות מתעוררות, בעקבות המשברים הכלכליים שפקדו אותן. העליה החדה במחיר בשנתיים האחרונות קשורה להתאוששות במדינות המתפתחות. סביר להניח שצריכת האנרגיה לנפש בעולם תגדל בשנים הבאות, בעיקר בשל המשך הגידול בביקושים מצד מדינות מתפתחות. בסין לדוגמה, שאוכלוסייתה מגיעה לכ-1.3 מיליארד נפש, צריכת הדלק בין השנים 1986 ל-1998 גדלה ביותר מ-100%, אך צריכת האנרגיה לנפש מהווה עדיין רק 8.5% מהצריכה לנפש בארה"ב.

השימוש בגז טבעי כמקור אנרגיה גובר במהלך השנים, בעיקר על חשבון השימוש בנפט. סוכנות האנרגיה העולמית מעריכה שהשימוש בגז טבעי עלה מ-16% מכלל צריכת האנרגיה בשנת 1973 ל-20% ב-1998. השימוש בנפט ירד מ-47% ל-37%. חלקה של האנרגיה הגרעינית וההידרו-חשמלית עלה מ-3% ל-9% וחלק השימוש בפחם נותר יציב. השימוש בפחם ובגז טבעי זול יותר מדלק, אולם בעוד שאת הנפט ניתן להוביל ללא בעיה בים, הובלת הגז מצריכה בדרך כלל בניית צינורות, עם כל הקשיים הגיאוגרפיים והפוליטיים הקשורים לכך, ולפחם יש השלכות סביבתיות שליליות יותר.

מחירי הנפט

מחיר הנפט, כמו כל מוצר כלכלי אחר, נקבע לפי הביקוש וההיצע למוצר. מקור התנודות החריפות במחיר הנפט (כפי העולה מן הגרף בעמ' 12) היה בדרך כלל זעזועים בצד ההיצע. מחיר הגז הטבעי, שהיה נמוך תחליפי לנפט, מושפע כמובן ממחיר הנפט, אם כי בפיגור מסוים. מחיר הפחם מושפע פחות ממחיר הנפט, שכן ההתקשרויות הן בדרך כלל דרך חוזים ארוכי טווח.

עליות חדות במחיר הנפט היו קשורות תמיד לחוסר היציבות במזרח התיכון. בשנת 1973, בעקבות מלחמת יום כיפור, קיצץ קרטל אופ"ק את מכסות הפקת הנפט ומחיר חבית נפט זינק מכ-3 דולר לחבית לכ-12 דולר. מלחמת אירן עירק גרמה לירידת תפוקת הנפט של מדינות אלו ומחיר הנפט עלה מ-13 דולר לחבית ב-1978 ל-37 דולר לחבית ב-1981. בשנים שלאחר מכן לא הצליח קרטל אופ"ק לשמור על מחיר הנפט הגבוה בשל כמה סיבות: המחיר הגבוה גרם להתייעלות השימוש באנרגיה, ירידת ביקושים כתוצאה מהאטה בפעילות הכלכלית במדינות המייבאות נפט וחריגת המדינות החברות

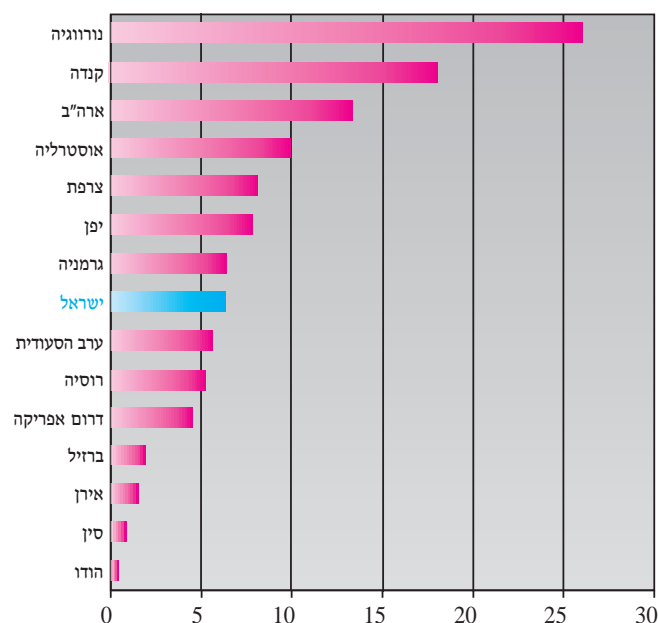
לכל החברות בקרטל נזק לטווח הארוך. מחיר גבוה יתר על המידה של נפט אינו משרת את מטרות הארגון גם כן. בטווח הזמן הקצר יכול מחיר חבית נפט גבוה להגדיל את רווחי הקרטל, אך לאורך זמן הוא עלול להקטין ביקושים, אם דרך מעבר לחלופות אנרגיה זולות יותר או האטה ואף מיתון במדינות המייבאות נפט. השפעה נוספת של מחיר גבוה מדי היא מתן תמריץ למדינות שאינן חברות באופ"ק להגדיל את כושר תפוקתן ולמדינות החברות באופ"ק לחרוג ממכירת הנפט שנקבעו להן. בעקבות העליה החדה במחיר הנפט בשנתיים האחרונות והלחץ הבינלאומי שהופעל על מדינות אופ"ק להגדיל את תפוקתן, קבע הקרטל מחיר יעד של 22-28 דולר לחבית. בפועל מחיר הנפט חרג זמן רב ממחיר יעד זה, אך בסוף דצמבר הוא ירד לכ-23 דולר לחבית. רווחי המדינות החברות בקרטל שיפרו באופן משמעותי את מצבן הכלכלי במהלך השנים.

צריכת האנרגיה העולמית

צריכת האנרגיה גדלה במהלך 30 השנים האחרונות בכ-80%. אוכלוסיית העולם גדלה בשנים אלו בכ-66% והתוצר העולמי גדל בכ-150%. העליה המתונה יחסית בצריכת האנרגיה לנפש נובעת מהעובדה שקצב גידול האוכלוסייה במדינות מתפתחות, בהן הצריכה נמוכה, גבוה בהרבה מריבוי האוכלוסייה במדינות מפותחות, המאור

ייצור חשמל לנפש במדינות נבחרות

אלפי קוט"ש, 1998



סקירה כלכלית

תגרום לקריסת המחיר ל-10 דולר לחבית באביב 2001, במידה והי-חורף לא יהיה קשה מדי.

כלכלה של משאבים מתכלים

דלק מאובנים מקורו בחומר אורגני קדום, אשר עבר שינויים כימיים ופיזיים עד שהפך לנפט גולמי. כמות מאגרי דלק המאובנים הידועה היא סופית במושגי זמן רלוונטיים לחברה האנושית, דהיינו תספיק למספר עשרות שנים. לכן ההתייחסות אליה הינה כאל משאב מתכלה, אשר ההחלטה לגביו היא על פריסת קצב ההפקה שלו על-פני ציר הזמן. זאת בניגוד לדלק גרעיני, אשר החומר הרדיואקטיבי ממנו מייצרים אותו מצוי בכמויות שתספקנה למספר גדול של דורות ובוודאי בניגוד לאנרגיה סולרית, אשר תסופק למשך מיליארדי שנים. בהערכת אופק אספקת הדלק יש לקחת בחשבון שכיום צריכת הדלק היא בלתי שוויונית בין מדינות. במידה וצריכת האנרגיה לנפש של המדינות המתפתחות על אוכלוסייתן הגדולה (דוגמת סין) תתקרב לזו של המדינות המפותחות, אופק זה יתקצר במידה משמעותית.

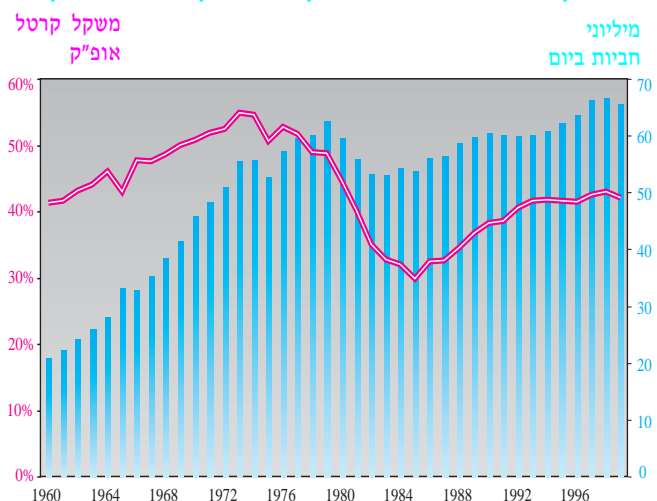
ההחלטה לגבי קצב ההפקה צריכה להתקבל, לכאורה, על בסיס שיקולי מחיר המשאב ושיעור הריבית. בשיווי משקל קצב ההפקה צריך להיות כזה, בו מחיר הנפט בניכוי עלות ההפקה השולית עולה בשיווי משקל על-על השווה לשיעור הריבית הריאלית. במקרה זה בעל המאגר מגיע לשיווי משקל בין השארת הנפט במעבה האדמה ובין הפקתו. אם תחזית ההתייקרות עולה על שיעור הריבית, עדיף להשאירו ולמכרו בעתיד ואילו במצב ההפוך יש אינטרס להפיק את הכמות המרבית בפרק זמן קצר ככל האפשר.

מובן שלעיתים המניעים הם של שיעור ריבית סובייקטיבי, דהיינו אם משאבי הנפט הם בידי מדינה מתפתחת, בה האוכלוסייה סובלת מרמת חיים נמוכה, תהיה העדפה לקבל תקבולים מרביים במועד מוקדם כדי לשפר את רמת הצריכה המיידית. בפועל חלק גדול מיתרת הנפט מרוכזות במדינות מדבריות דלות אוכלוסייה (דוגמת ערב הסעודית) אשר בידיהן האפשרות לשקול את שיקולי עיתוי ההפקה והמכירה על-פי שיקולים כלכליים יותר. ראוי לציין שבמציאות, כפי שמודגם בגרף שבעמוד 12, התנהגות מחיר הנפט רחוקה מלבטא עלייה מונוטונית בקצב של שיעור ריבית כלשהו. היות והמפיקים מרעים על-ידי שיקולים כלכליים, הרי שבתחילה מנוצלות היתרות אשר עלויות ההפקה שלהן הן הנמוכות ביותר וככל שאלו נגמרות עוברים להפקה בעלויות גבוהות יותר. בהיעדר שיפורים טכנולוגיים אשר יקזזו השפעה זו, גם מן הכיוון הזה ניתן לצפות למגמה של עליית מחירים לאורך זמן.

באופ"ק ממכסותיהן. הפסקת ויסות הפקת הנפט על ידי ערב הסעודית הובילה לירידה חדה במחיר אף מתחת ל-10 דולר לחבית במחצית שנת 1986. המחירים שבו לעלות ב-1990 עם פלישת עירק לכווית, כאשר מחיר חבית הגיע בשיא המשבר לכ-29 דולר. מחיר הנפט, שיד לאחר מלחמת המפרץ, שב ועלה בשנים 1995-1997, בעקבות עליה בביקושים שנלוותה לגאות הכלכלית בארה"ב ובמדינות המתעוררות. עליית מחיר הנפט נבלמה כאמור עם פרוץ המשבר רים הפיננסיים באסיה ואי התאמת תפוקת אופ"ק לירידה בביקושים. מחיר חבית נפט ירד במהלך 1998 עד לכ-10 דולר לחבית. החל מחודש מרץ 1999, עם הכרזת אופ"ק על קיצוץ במכסת ההפקה, שב מחיר הנפט לעלות, כשברקע גם האצה בפעילות הכלכלית בעולם. מחיר החבית נסק עד ליותר מ-35 דולר לחבית. למרות ההכרזה של אופ"ק על מחיר יעד של 22-28 דולר לחבית, ולחץ מצד יבואניות הנפט על אופ"ק להגדיל מכסות, המחיר נותר זה זמן רב מעל יעד זה. כאמור, בסוף דצמבר המחיר ירד לכ-23 דולר לחבית.

מחיר הנפט הממוצע ב-30 השנים האחרונות (מתואם לאינפלציה בארה"ב) עמד על כ-32 דולר לחבית. במהלך שנת 2000 הגיע מחיר הנפט לשיא של 15 שנים - 36 דולר לחבית. מרבית ההערכות הן בטווח הארוך צפויה ירידה מסוימת במחיר הנפט אל מתחת ל-30 דולר לחבית. ארגון אופ"ק נראה מאוחד יותר מבעבר וגם בביקושים לא ניכרת האטה, כך שמרבית החזאים לא צופים ירידה חדה במחיר הנפט לרמות של 1998. קיימות גם הערכות אחרות, דוגמת זו של שר הנפט הסעודי לשעבר, השיח אחמד זאקי ימני, המעריך שהרמה הנוכחית הגבוהה של מחירי הנפט ורמת התפוקה הנוכחית של אופ"ק

הפקת נפט בעולם ומשקלו של קרטל אופ"ק

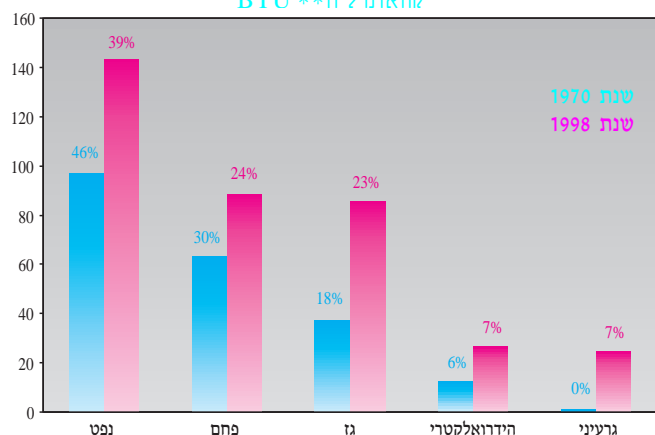


70% מפני כדור הארץ, ובכך הם משמשים כקולטי השמש הגדולים ביותר בעולם. הבדלי טמפרטורות בין פני הים ומעמקהם יוצרים אנרגיה טרמית. הדרך להפקת חשמל היא שימוש במים החמים בשי- לוב דרכים שונות להקטנת הלחץ האטמוספרי עליהם (כפי שנעשה בתהליך התפלת מים) בכדי ליצור קיטור שיניע את הטורבינות. מקור רה של האנרגיה מכנית הוא בתנועת הגלים ובמחזורי הגאות והשפל. את מחזורי הגאות כולאים באמצעות סכרים וגורמים למים לעבור, בזמן השפל, דרך טורבינות. יישום של שיטה זו, להנעת גלגל מים, היה קיים באירופה כבר במאה ה-18. להפקת אנרגיה באמצעות הג- לים ישנן מספר שיטות. עיקר הפעולה הוא ניתוב המים ויצירת לח- צים להפעלת טורבינות. האנרגיה המכנית הטמונה באוקיינוסים תלויה בעיקר ברוחות ובכח המשיכה של הירח, לכן אספקת אנרגיה זו אינה רציפה, בניגוד לאנרגיה הטרמית. ההשפעות הסביבתיות השליליות של השיטה כוללות פגיעה בחי ובצומח באזורי המתקנים.

הפקת אנרגיה מרוחות - השימוש באנרגיה העצורה ברוח הינו עתיק יומין. ישנם עדויות לכך שבמאה העשירית נעשה בה שימוש במזרח התיכון ומאוחר יותר באירופה. השימוש הקדום באנרגיית הרוח היא שאיבת מים, טחינה, ניסור, עיבוד מתכות ומעיכת קני סוכר. הפקת חשמל מתאפשרת באמצעות מדחפים הממוקמים על עמודים גבוהים, אשר ממירים את אנרגיית הרוח לאנרגיה חשמלית על ידי סיבוב גנרטור. החסרונות הטמונים בשיטה כוללים את הצורך בשטח נרחב, לשם יצירת חשמל במידה מסחרית, רעש, פגיעה בבעלי כנף בסביבה ופגיעה אסטטית.

שימוש במקורות אנרגיה עיקריים*

הוואדמיליון * BTU



* האחוזים מציינים שיעור מסה"ב מקורות האנרגיה
** קוואדמיליון = 10^{15}

לנושא זה מתחברת גם שאלת הבעלות על משאבי טבע הטמונים בקרקע. על-פי המקובל משאבי טבע שייכים למדינה בעלת הקרקע שמעליהם. ב-1990 סאדם חוסיין, נשיא עיראק קרא תגר על הנחה זו, כאשר טען שלא סביר שמספר מאות אלפי אזרחי כווית ישלטו במאגרי דלק עצומים ויהנו מרמת חיים גבוהה ביותר, בשעה שמיליוני ני אזרחי מדינות אחרות נתונים בתנאי קיום קשים. הוא הביא את השקפתו לידי ביטוי בפלישה לכוויית והעולם המערבי השיב את הסדר הישן על כנו.

מקורות אנרגיה בלתי מתכלים ועתידיים

כיום כ-60% מהפקת החשמל בעולם נסמכת על דלקי מאובנים (נפט, גז ופחם), שהינם מקורות אנרגיה מתכלים. כלומר, בעתיד, יש הטוענים אף בעתיד הקרוב, הם יאזלו. במקביל יתכן שהעלות הכלכלית ו/או האקולוגית להפקה ושימוש תעלה על התועלת. 40% הנות- רים של הפקת החשמל, מתחלקים באופן שווה בין אנרגיה גרעינית ובין אנרגיה בלתי מתכלה. האחרונה כוללת שימוש בחום השמש, רוחות, גלי וחום האוקיינוסים, גאות ושפל, חום כדור הארץ וכו'. מקורות אלו אינם מתכלים ונחשבים "ידידותיים" יותר לסביבה, אך גם להם השפעה שלילית מעבר לפגיעה בנוף (שמשותפת למרבית מקורות יצירת החשמל). החלק הארי בפלח האנרגיה הבלתי מתכלה שייך לאנרגיה הידרואלקטרית והשאר לשיטות חלופיות, חלקן חלוציות. התפלגות השימוש נובעת משיקולי כדאיות כלכלית. המוד- עות האקולוגית שהתעוררה בשנים האחרונות בשילוב הידע על הנזק הפוטנציאלי צפויים להעצים את השימוש באנרגיה חלופית זו ואף לגרום לפיתוח דרכים חדשות. למגמה זו יתרמו גם האמנות הבינלאו- מיות להגבלת זיהום האוויר (פרוטוקול מונטריאול ואמנת קיוטו), נוסות על תעשיות מזהמות ומודעות הצרכנים.

להלן סקירה תמציתית של מקורות אנרגיה בלתי מתכלים, היות והי- ריעה קצרה מלהכיל סקירה מקיפה יותר.

הפקת אנרגיה ממים - אנרגיה הידרואלקטרית - המקור השני בח- שיבותו למשק החשמל העולמי. שימוש באנרגיה האצורה בנפילת/ זרימת מים נעשה כבר אלפי שנים. לאחר ההשקעה הראשונית הע- לות השוטפת קטנה, כיוון שאין צורך בתשומת אנרגיה חיצונית. שי- מוש נרחב נעשה בשיטה זו במרכז ודרום אמריקה - כ-75% מתפ- קת החשמל. ההשפעות הסביבתיות השליליות של השיטה כוללת הסטה וחסמת הזרימה הטבעית של נהרות, פגיעה בבעלי החיים שם (לדוגמה: חסימת האפשרות של דגים לנוע במעלה הנהר).

אנרגיית האוקיינוסים - האוקיינוסים יכולים להפיק שתי צורות של אנרגיה: אנרגיה טרמית ואנרגיה מכנית. מי האוקיינוסים מכסים כ-

סקירה כללית

שווה לאנרגיה המופקת מכ-300 ליטר של בנזין. הבעיה העיקרית כיום היא החום העז הדרוש ליצירת ההיתוך - מעל 50 מיליון מע"לות צלסיוס. היתוך גרעיני הוא תהליך ידידותי ונקי לסביבה. תוצר הלוואי העיקרי הוא גז ההליום שהינו גז אציל, ושאר תוצרי הלוואי הרדיואקטיביים הם בעלי משך חיים קצר (חודשים, בניגוד לתוצרי הלוואי בביקוע גרעיני).

ב-1989 שני מדענים (Pons ו-Fleischmann) טענו שהם הצליחו לבצע היתוך גרעיני בטמפרטורת החדר. הקהילייה המדעית התייחסה ברובה לטענתם בזלזול (הדבר יזכיר לזקני הדור את המצאת האנר-גיה של יעקב מרידור ז"ל). היסוד התיאורטי לשיטתם הונח עוד בשנות ה-20 של המאה ה-20. כיום נמשך מחקר בנושא, בעיקר ביפן, בצרפת ובאיטליה, כאשר קיימים דיווחים על תוצאות חיוביות (ניסויים בהם תפוקת האנרגיה עולה על תשומת האנרגיה), אולם התוצאות לא מוכרות על-ידי הקהילייה המדעית.

בהקשר של מקורות אנרגיה בלתי מתכלים ראוי להזכיר את מוליכי העל, עקב הנצילות הגבוהה שהם מאפשרים. ישנם חומרים (בעיקר מתכות) המוליכים חשמל. אולם לחומרים אלו יש התנגדות מסוימת להולכה ולכן יש אובדן של כוח חשמלי, הגדל עם מרחק ההולכה. קיימים תנאים בהם נוצרת מוליכות-על, אשר בהם אין או כמעט ואין התנגדות. כבר בראשית המאה ה-20 נמצא שמוליכות-על נוצרת בחומרים מסוימים בטמפרטורות מאד נמוכות. השימוש בתכונה זו נעשה רק לצרכים מיוחדים ולא בשימוש רגיל עקב עלויות הקירור.

ב-1986 גילו מדענים של חברת IBM (Bednorz ו-Mueller) חומרים קרמיים שקיימו מוליכות-על בטמפרטורות גבוהות יותר. תגלית זו זיכתה אותם בפרס נובל לפיזיקה. מאז עולה הטמפרטורה בה מושגת מוליכות העל בהדרגה. ככל שזו עולה, עלות הקירור פוחתת והפוטנציאל המסחרי של מוליכות-העל גדל.

אנרגיה גרעינית

השימוש המסחרי הראשון בכורים גרעיניים לשם הפקת חשמל החל בסוף שנת 1957, חמש עשרה שנה לאחר שפרופ' אנריקו פרמי מאו-ניברסיטת שיקגו הצליח ל"ייצר" תגובת שרשרת גרעינית מבוקרת. כורים גרעיניים מספקים כשישית מתפוקת החשמל בעולם (17% ב-1999). הם משמשים גם כמקורות אנרגיה על גבי צוללות, נושאות מטוסים, לוויינים וכו'. כ-31 ארצות מפעילות כ-435 כורים גרעיניים לייצור חשמל וקיימים עוד כ-13 כורים גרעיניים בבנייה. הפקת חשמל תוך שימוש באנרגיה גרעינית נחשבת לדרך הנקייה ביותר, מבחינה אקולוגית בשימוש השוטף. העלות הממוצעת להפקת חשמל

הפקת אנרגיה מהשמש - ניתן לנצל את אנרגיית השמש במספר רחב של אופנים. כך למשל, ניתן לנצל אנרגיה זו באמצעות קולטי שמש לחימום מים כפי שנעשה במקומות רבים בעולם (בישראל שיטה זו נפוצה ביותר). הפקת חשמל מאנרגיית השמש מתאפשרת תוך שימוש בתאים פוטואלקטריים. הבעיה העיקרית שמונעת שימוש נרחב בתאים פוטואלקטריים לייצור חשמל הוא שיעור הנצילות הנמוך של התאים. רק כ-15% מהאנרגיה הסולרית מומרת לחשמל, כך שנדרש מספר גדול של תאים.

הפקת אנרגיה גיאותרמית - מרבית מתקני הפקת החשמל בעולם משתמשים בקיטור לשם הפעלת טורבינות לייצור החשמל. אנרגיה גיאותרמית משתמשת במאגרי המים החמים והקיטור אשר נמצאים במעמקי כדור הארץ. בחלק מהשיטות לאחר השימוש במים/קיטור הם מוזרקים חזרה לאדמה ובכך שומרים על מקור האנרגיה.

הפקת אנרגיה ממקורות אורגניים - **ביומסה (bioenergy)** - בני האדם משתמשים באנרגיה אורגנית אלפי שנים. אנרגיה זו מקורה בעצים, צמחים, בעלי חיים ומרכיבים אורגניים של שפכים מהמגזר התעשייתי והמגזר העירוני. בכדי להפוך אנרגיה אורגנית ל"דלק אורגני" משתמשים בתהליך פירוק כימי באמצעות חום (פירוליזה). שתי הצורות המוכרות ביותר של דלקים אורגניים הם אתנול ודיזל אורגני (biodiesel). בדלקים אלו ניתן לדלל את הדלקים המוכרים, כאשר התוצאה היא פליטת גזים רעילים נמוכה יותר. בניגוד לשאר מקורות האנרגיה הבלתי מתכלים ניתן, כאמור, להפוך את האנרגיה האורגנית ל"דלק נוזלי" שניתן לשימוש בתחבורה.

נסיים סקירה תמציתית זו בכמה שיטות חדשניות להפקת חשמל. הראשונה, "ארוכות שרב", היא המצאה שמקודמת על-ידי פרופסור דן זסלבסקי מהפקולטה להנדסה חקלאית בטכניון. בבסיס הרעיון ארוכה רחבה, כ-500 מטר, שתתנשא לגובה רב, כ-1000 מטר. אוויר בראש הארוכה יקורר על ידי התזת מים (ניתן להשתמש במים). האוויר הקר ישקע בארוכה במהירות הולכת וגוברת, כך שבבסיסה תנושב רוח עזה אשר תניע טורבינות לייצור חשמל. המצאה זו נבחנה על ידי מומחים גם מבחינה כלכלית ונראה שיש מקום להקמת פרויקטים מסוג זה. לארוכות שרב יתרונות גדולים מהבחינה האקולוגית וכן ניתן לשלב בהן מתקנים להתפלת מים בעלות נמוכה יחסית. בעולם נמצאו כ-40 אתרים מתאימים, ובכללם בישראל, להקמת ארוכות שרב. נראה כי פרויקט ניסויי ראשון יוקם בהודו, בו גודל הארוכה יהיה קטן יחסית.

השיטה השניה קשורה לאנרגיה גרעינית - היתוך גרעיני (חיקוי דרך יצירת האנרגיה בשמש). התשומה העיקרית הנדרשת לשם יצירת התהליך היא מי ים. האנרגיה אותה ניתן להפיק מליטר של מי ים

סקירה כללית

לא נראו השפעות בריאותיות בעקבותיה. התאונה השנייה, אשר נחשבת כאסון הגדול ביותר בתולדות הכורים הגרעיניים, אירעה בשנת 1986 בצ'רנוביל שבאוקראינה (הכור נסגר סופית בסוף שנת 2000). התאונה אירעה כתוצאה של פעולות בלתי אחראיות של מפעילי הכור, אשר הפרו את נוהלי הבטיחות. המכון לאנרגיה גרעינית בארה"ב מציין שבנוסף לפעולות אלו הכור בצ'רנוביל נבנה ברמת בטיחות נמוכה יותר מאשר כורים במערב, שלא הייתה מאפשרת לו לקבל היתר לפעול בארה"ב. התאונה גרמה למותם של בני אדם רבים ולזיהום אזורים נרחבים בבלרוס, אוקראינה וברמה"מ. תאונות אלו, בדגש על התאונה בצ'רנוביל, מעיבות על השימוש בכורים גרעיניים. בארה"ב הכורים הגרעיניים נחשבים כאחד ממקומות העבר-דה הבטיחותיים ביותר. בשנת 1999 שיעור התאונות שגרמו להפסד זמן עבודה או מוות היה 0.34 ל-200,000 שעות עבודה בהשוואה ל-3.1 בתעשייה הפרטית.

הפקת חשמל תוך שימוש כורים גרעיניים מהווה, כאמור, כחמישית מהפקת חשמל בעולם. ישנן מדינות בהן אנרגיה גרעינית הינה המקור המוביל לחשמל: צרפת 75%, ליטא 73%, בלגיה 57%, בולגריה 47%, הרפובליקה הסלובקית 47%, שבדיה 46%, אוקראינה 44%, קוריאה 42%, הונגריה 38%, יפן 36%, סלובניה 36% ושווייץ 36%. אות הקלון שהוטבע על אנרגיה גרעינית הביא ללחץ גדול על הפוליטיקאים לצמצום השימוש בה. בגרמניה, בה כשליש מהחשמל מקורו באנרגיה גרעינית, הושג לאחרונה הסכם בין מפעילי התחנות וממשלת גרמניה, להשבתת התחנות עד לשנת 2021.

השפעות סביבתיות

בצד התועלת הרבה הנובעת מן השימוש באנרגיה, יש לה גם השלכות שליליות. לשימוש במרבית סוגי האנרגיה יש השלכות סביבתיות שליליות. בדלק מאובנים הפקת האנרגיה נעשית בתהליך של שריפה/חמצון, כאשר התהליך הכימי יוצר תרכובות חדשות. לחלק מגזי הפליטה השפעות בריאותיות שליליות ועליות ריכוז דו תחמוצת הפחמן באטמוספירה גורם ליצירת אפקט חממה ולהתחממות של פני כדור הארץ. זאת היות ודו תחמוצת הפחמן וגזים נוספים (דוגמת מתאן ותחמוצות חנקן) עוצרים בעד קרינה אינפרא אדומה מלצאת לחלל. השפעה אפשרית של ההתחממות היא הפשרה של חלק מן המים הקפואים בקטבים, עליית מפלס פני הים והצפת אזורים יבשתיים נמוכים. יש הטוענים שתופעות מזג אוויר קיצוני בשנים האחרונות (דוגמת סופות חזקות) קשורות ל"אפקט החממה". בהיבט של נזקים בריאותיים הנובעים מזיהום אוויר, יש חשיבות רבה למיקום הזיהום. מכונות גורמות לנזקים קשים יותר, היות ופליטת המזהמים נעשית בתוך אזורי מגורים, בעוד שייצור חשמל נעשה בדרך כלל

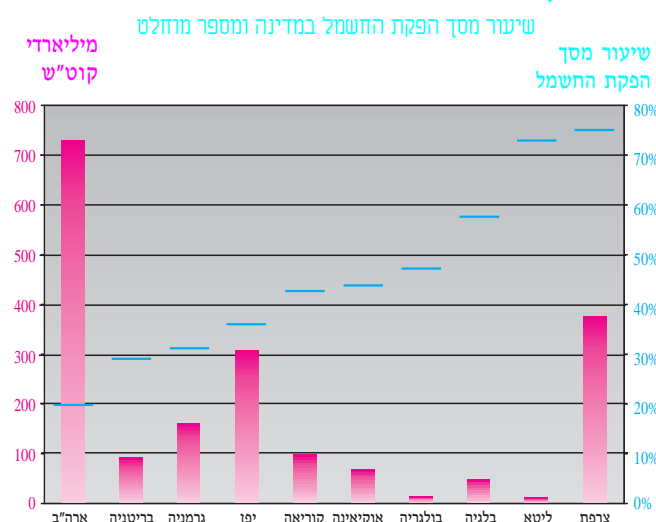
מל בשנת 1998 הייתה: בפחם 2.07 סנט לקוט"ש, באנרגיה גרעינית 2.13 סנט לקוט"ש, בנפט 3.24 סנט ובגז 3.30 סנט לקוט"ש.

הפקת החשמל באמצעות אנרגיה גרעינית מתבצעת בדומה להפקת חשמל באמצעות פחם או נפט. הרעיון הבסיסי הוא חימום מים בכדי ליצר קיטור, אשר מניע טורבינות המייצרות חשמל. כיום ישנן שתי שיטות להפקת אנרגיה גרעינית - ביקוע גרעיני והיתוך גרעיני (נדון בפרק הקודם). בכל הכורים לייצור חשמל הקיימים כיום משתמשים בתהליך הביקוע הגרעיני (נציין כי קיימים מספר סוגים של כורים גרעיניים). במסגרת תהליך זה משתמשים ביסודות "כבדים" (כגון: אורניום 235 ואורניום 238).

לשימוש באנרגיה גרעינית יתכנו השפעות סביבתיות שליליות ביותר. בתהליך הביקוע נוצרים תוצרי לוואי, שמשך "חצי חיים" שלהם הוא מיליוני שנים, בצורת פסולת גרעינית אשר הינה בעלת רדיואקטיביות ורעילות גבוהים. למרות ההשפעות הסביבתיות השליליות השימוש באנרגיה גרעינית נחשב "נקי" יותר מאשר השימוש בדלק מאובנים (ראה דיון מורחב בפרק השפעות סביבתיות). בצד ההשפעות השליליות קיימות גם השפעות חיוביות. לאחר סיום המלחמה הקרה ופירוק ברה"מ נחתמו הסכמים המצמצמים את כמות הנשק הגרעיני של הצדדים. חלק מהאורניום הטמון בנשק זה הוסב לשימוש בכורים גרעיניים.

החשש מפני הסכנה הטמונה בכורים גרעיניים מקורו בשתי תאונות מהותיות שאירעו בהם. התאונה הראשונה אירעה בשנת 1979 בארה"ב באי שלושת המילים (Three Mile Island). בתאונה השתחרר מעט חומר רדיואקטיבי אך לא נהרגו או נפצעו אנשים. כמו כן

הפקת חשמל באמצעות אנרגיה גרעינית



משק האנרגיה בישראל

משק האנרגיה בישראל כולל כמה מקורות: דלק גולמי ומוצרי, דלק מוצק, פחם, גז טבעי, חשמל הידרואלקטרי, שמש וחום. המרכיב העיקרי הוא, כמובן הדלק הגולמי, שמשקלו בייצור האנרגיה מסתכם ב-67%. בפרספקטיבה ארוכת טווח, השימוש באנרגיה, אשר נמדד באלפי שעט"נ (שווה ערך לטון נפט), גדל ביותר מפי 3 משנת 1970 ועד היום. הגידול המשמעותי של צריכת האנרגיה לווה בגידול משמעותי של האוכלוסייה. כמות צריכת האנרגיה לנפש גדלה, בשיעור צנוע יותר של כ-75%, וצריכת החשמל לנפש בשיעור ניכר - 175%. המגמה בעולם המערבי, עקב המעבר לתעשיות מתקדמות ושיפורים טכנולוגיים, היא התרופפות הקשר בין האנרגיה והתוצר. כך גם בישראל בצד הגידול האבסולוטי בכמות האנרגיה, יחס האנרגיה (שעט"נ למיליון ש"ח תמ"ג), ירד במקצת.

משום שכמות הנפט המופקת בישראל מזערית, מדינת ישראל מייבאת את מרבית תצרוכת הנפט שלה. כיום המקור העיקרי ליבוא הוא ממדינות ברה"מ לשעבר, שמשקלן כ-82% מכלל יבוא הנפט הגולמי. עד לפני מספר שנים התמונה הייתה שונה. בשנת 1995 היבוא ממדינות ברה"מ עמד רק על כ-4%. שאר היבוא מקורו במדינות הבאות: מצרים כ-34%, מערב אפריקה ונורווגיה.

בישראל שני מתקנים מרכזיים לזיקוק נפט: בתי הזיקוק בחיפה ובתי הזיקוק באשדוד. מתקני הזיקוק הראשונים (בחיפה) הינם "ירוש" מימי המנדט הבריטי. מתקנים אלו הוקמו בשלהי שנות השלושים בכדי לספק דלק ומוצרי, באופן אוטונומי, לבסיסי הצבא הבריטי באגן הים התיכון. החשש העיקרי היה חסימת נתיבי השייט במימי הים התיכון על ידי גרמניה ואיטליה. המתקן השני, באשדוד, הוקם בשנים 1969-1973. תפוקת המפעלים עומדת כיום על כ-13 מיליון טון בשנה. אספקת חשמל בישראל מתבססת בעיקרה על שני תחנות כוח של חברת החשמל: המתקן בחדרה ("אורות רבין") והמתקן באשקלון ("רוטנברג"). מתקני חשמל אלו פועלים בעיקר על פחם, שמסופק על ידי החברה הלאומית לאספקת פחם בע"מ. חברת החשמל והחברות הפרטיות הפיקו בשנת 1998 כ-38 מיליון קוט"ש. 90% מן האספקה מתחלקים באופן (די) שווה בין המגזרים התעשייתי, המסחרי והביתי. שאר אספקת החשמל מיועדת לחקלאות ולשאיבת מים ולקידוחים. סך ייצור החשמל גדל משנת 1970 פי 5.5. מדינת ישראל הינה הבעלים הן של מתקני הזיקוק והן של חברת החשמל.

בנוגע לעתיד, המכון הישראלי לנפט ולאנרגיה פרסם באוגוסט 1998 את תחזית הביקוש למוצרי נפט לשנים 2000-2010. על פי תחזית זו צריכת מוצרי הדלק תגדל בשנים אלו בכ-30%, כאשר צריכת

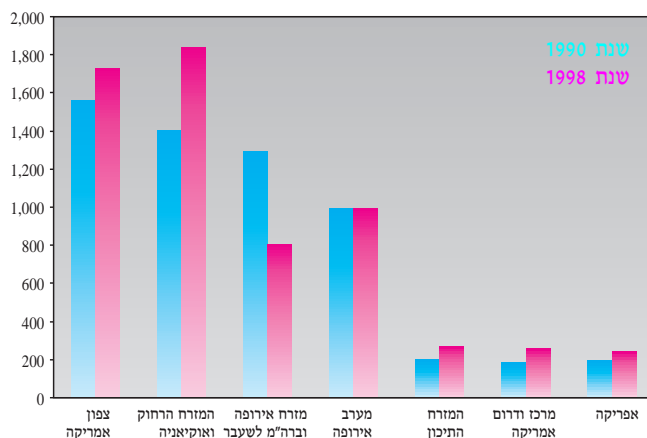
ברחוק מאזורים מיושבים. בנוסף לכך נגרם גם נזק סביבתי במקור מות הפקת האנרגיה (מכרות פחם לדוגמה).

ב-1997 אושרה אמנת האו"ם בנושא השינוי במזג האוויר (אמנת קיוטו), אשר מטרתה צמצום כמות גזי הפליטה כדי להקטין את היקף אפקט החממה. זאת על-ידי הגדלת היעילות האנרגטית, שימור יערות הגשם, קידום חקלאות בת קיום בתנאי מזג אוויר משתנה, פיתוח מקורות אנרגיה שאינם מתכלים והחצנת עלויות חיצוניות כדי לתמוך את העלויות הסביבתיות הנגרמות על-ידי שימוש באנרגיה. המדינות החתומות התחייבו להפחית את כמות פליטת גזי הפליטה בשנים 2008-2012 ב-5% ביחס לכמותם ב-1990.

גם לאנרגיה בלתי מתכלה יש השפעות סביבתיות. לדוגמה, שימוש באנרגיה הידרו-חשמלית על-ידי בניית סכרים גורמת לשינויים בסביבה ויכולה לאיים על בעלי חיים עקב הצפת שטחי מחייה נרחבים במים. אנרגיה גרעינית נבדלת מאנרגיה המופקת מדלק מאובנים בכך שהשימוש באחרונה כרוך בהשפעות סביבתיות שוטפות. לעומת זאת עיקר הסיכון לסביבה משימוש באנרגיה גרעינית נובע מאפשרות של תקלות. את הפסולת הרדיואקטיבית הנוצרת באופן שוטף ניתן להרחיק למקומות מיועדים לכך בכדי שלא תפגע בסביבה. אולם במקרה של תקלה, דליפה של חומר רדיואקטיבי יכולה לגרום לזיהום חמור בשטחים נרחבים ביותר. הדוגמה הבולטת ביותר לתופעה זו היא הדליפה מן הכור הגרעיני בצ'רנוביל, אשר הפיצה חומר רדיואקטיבי בשטחים נרחבים במערב אירופה. עקב החשש מן ההשפעות הסביבתיות השליליות של כורי כוח גרעיניים, קמה תנועה עממית רחבה של מתנגדים וכתוצאה מכך נעצרה בחלק מן המדינות בניית כורי כוח גרעיניים כמעט לחלוטין.

זיהום אוויר על ידי תחמוצת הפחמן, כתוצאה מצריכת אנרגיה בשנים 1990 ו-1998

מיליוני טון פחמן

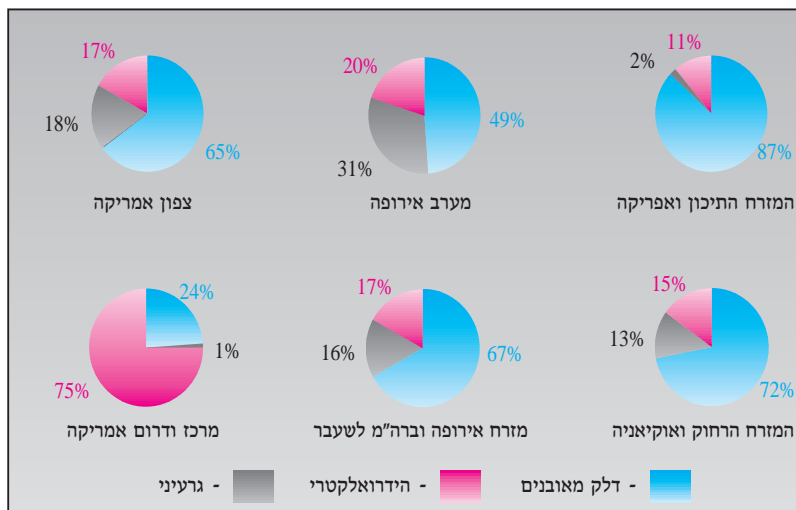


"חלץ-כוכב". הקידוח הימי הראשון ("בראבו") בוצע בשנת 1970 על ידי חברת "בלקו", מדרום לאשדוד. גם בקידוח זה לא נמצא נפט. לאחר מלחמת יום כיפור (1973) החלו חיפושי נפט במדבר סיני, בו נתגלה שדה הנפט "עלמה" ושדה הגז "שדות". תפוקת הנפט הממוצעת, בישראל, בחמש השנים האחרונות עמדה על כ-5,000 טון והיא מהווה פחות מפרומיל מצריכת הנפט בישראל. בשנת 1970 התפוקה הייתה גדולה באופן משמעותי כ-80 אלף טון, והיורד תה כ-1.3% מיבוא הנפט. כיום ישנן מספר חברות להן זיכיון לקידוחי נפט בישראל, אותן הן מתעדות לנצל. נציין שד"ר יחזקאל דרור קמן (הממונה על עניני הנפט במשרד התשתיות) סבור שישנן בישראל מספר מטרות הראויות לקדיחה, בין השאר באזור ים המלח.

שדות גז "קטנים" התגלו בישראל בשנים 1958-1961, בדרום מדבר יהודה ("זוהר", "כיבוד" ו"הר-קנאים"). במרוצת השנים נרשמה ירידה חדה בתפוקת הגז הטבעי משיא של כ-142 אלפי טון בשנת 1980 לכ-8.4 אלף טון בשנת 1999. בשנתיים האחרונות נחשפו מול חופי ישראל שדות גז גדולים. עתודות הגז שנמצאו מול חופי ישראל מוערכות על ידי משרד התשתיות בכ-45 מיליארד מ"ק.

התפלגות השימוש במקורות אנרגיה עיקריים לפי אזורים

1998



הבנזין תגדל בשיעור מואץ של כ-70%. המכון מציין שללא יבוא גז טבעי לישראל ובהנחה שכושר הייצור של בתי הזיקוק יישאר ללא שינוי, צפוי גידול ביבוא מוצרי נפט לישראל. פרופ' דן זסלבסקי מחד זיק בדעה שונה, לפיה ניתן לחסוך יותר מ-20% מצריכת הדלק להפקת חשמל במשק ע"י הפקת אנרגיה מרוח, פסולת ושמשי. הוא מצביע על "ארובות שרב" כפתרון מידי (טווח של כ-3 שנים) בנוסף לטכנולוגיות "מגדל שמש" ו"מראות פרבוליות". נוסף לחסכון בדלק, שימוש בטכנולוגיות אלו ימנע פגיעה בסביבה ויענה על הדרישה לקידוח פליטת גזי החממה.

חיפושי נפט וגז בישראל

המוטיבציה לחיפושי נפט וגז בישראל נסמכת במידה רבה על הסביבה הגיאוגרפית שלה. במדינות ערב השכנות, להוציא לבנון, נמצא ומופק נפט. חיפושי נפט בישראל החלו כבר בתחילת המאה. בשנות העשרים נעשו סקרים פלאונטולוגיים* הן מטעם ההסתדרות הציונית והן מטעם חברת הנפט הטורקית. בימי המנדט הבריטי קיבלה חברת בת של חברת הנפט העירקית זיכיון לחיפוש נפט במדברית ארץ ישראל. החברה ביצעה כמה קידוחי ניסיון באזור "חלץ". בשנות הארבעים הוענקו זיכיונות נוספים לחברה ירדנית ולחברות בריטיות. לאחר פרוץ מלחמת העצמאות בשנת 1948 הופסקו הקדוחים. לאחר קום המדינה, וחקיקת חוק הנפט, הוקמו מספר חברות לחיפושי נפט שהחלו בקידוחים בשנת 1953. חברות אלו נעזרו בשני מוסדות ממשלתיים: 1. המכון הגיאופיזי, אשר מבצע סקרים מגנטומטריים וסייסמיים. 2. המכון הגיאולוגי, אשר מספק שירותי מעבדה.

נפט נמצא לראשונה, בישראל, בקידוח "חלץ" (דרומית לאשקלון) בשנת 1955. בשנת 1957 נמצא נפט גם בקידוחים "ברור" ו"כוכב" הממוקמים דרומית וצפונית מקידוח "חלץ" בהתאמה. יש הטוענים ששלושת קידוחים אלו שייכים למעשה למאגר משותף. מעל ל-400 קידוחים נוספים נעשו במרוצת השנים ורובם התגלו כישמים או כלא כדאיים מבחינה כלכלית, להוציא קידוח

* סקרים העסקים בהיסטוריה של מבנה הקרקע על ידי חקר מאובני צמחים ובעלי חיים.

רשימת מקורות:

1. "אנרגיה בישראל: ינואר-יוני 1999", הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, פברואר 2000.
2. דפי מידע, המכון הישראלי לנפט ולאנרגיה, בית הספר למדעי הנפט והאנרגיה, המרכז למידע.
3. כהן ע., "הערך מוסף של אוויר חם ויבש", "הארץ", 14 בנובמבר 2000.
4. "Annual Energy Review 1999", Energy Information Administration (EIA), July 2000.
5. www.nei.org
6. www.imf.org
7. www.oilonline.co.il
8. www.orl.co.il
9. www.eia.doe.gov
10. www.wtrg.com
11. www.nrel.gov