

מרכז ידע להיערכות לשינויי אקלים בישראל

תקציר דו"ח מס' 1

**סקירת ידע קיים,
זיהוי פערי ידע ועדיפות להשלמתם**

את הדו"ח המלא ניתן לקבל מערן ברקוביץ במשרד להגנת הסביבה
eranb@sviva.gov.il

סיכום מנהלים

במסגרת פעילות המשרד להגנת הסביבה בישראל להכנת תוכנית לאומית להיערכות ישראל לשינויי האקלים במטרה לגבש מדיניות והמלצות אופרטיביות לצעדים המתחייבים בעקבות שינויי האקלים, באופן שיקטין את הנזקים הצפויים מתהליך ההתחממות. לשם בניית מאגר ידע קיים שעל בסיסו תפותח הצעה לתוכנית לאומית, הוקם במרץ 2011 מרכז הידע הישראלי להיערכות לשינויי אקלים בישראל. עבודת מרכז הידע תשמש בסיס לתוכנית לאומית להיערכות ישראל לשינויי אקלים, בהתאם להחלטת ממשלה מס' 474 שהתקבלה ביוני 2009. יעודו של מרכז הידע הוא לרכז את הידע המדעי הקיים בנושא ההיערכות (אדפטציה, adaptation) לשינויי האקלים, לזהות פערי ידע, לתאר את הסיכונים והשלכות שינויי האקלים על תחומים שונים ולהציע מדיניות לאומית במספר תחומים. בנוסף, מטרת מרכז הידע לאגם ידע וטכנולוגיות ישראליות אשר ישווקו ויישמו הן במדינת ישראל (משרדי הממשלה השונים) והן במדינות יעד אחרות. מדיניות ההתאמה לתופעת שינויי האקלים הפכה, לאחרונה, לסוגיית המפתח במו"מ על מדיניות האקלים, לקראת תום תוקפו של הסכם קיוטו ב-2012. הקושי ביישום מדיניות הפחתה לאומית ובינלאומית והמודעות הגוברת לתופעות שינויי האקלים גרמו, בסופו של דבר, לכך שנושא ההתאמה קיבל תאוצה בתחום המדע והמדיניות.

במסגרת פעילות מרכז הידע הישראלי (ICCIC) הוכן דו"ח ראשון אשר משקף את מצב הידע הקיים נכון להיום בנושא השלכות שינויי האקלים על מדינת ישראל. הסקירה המוגשת במסגרת דו"ח זה, מתבססת על מחקרים מדעיים ועבודות מקצועיות מהארץ ומהעולם וכוללת זיהוי פערי הידע המדעי הקיימים ומתן המלצות פרטניות לגבי פערי הידע המיידיים וארוכי הטווח בהם נדרשת השלמה מדעית, כולל תעדוף הנושאים על-מנת לאפשר למשרד להגנת הסביבה ולמשרדי הממשלה האחרים לקבוע קדימויות במחקרים הנדרשים.

תחומי הידע שנסקרו מוגשים בהמשך התקציר בצורה הבאה: ראשית, במסגרת תחום הידע בנושא **אקלים**, מתוארים שינויי האקלים הצפויים בישראל ב-50 השנים הקרובות בחלוקה לעשורים. בהמשך, נבחנות השלכות שינויי האקלים בחלוקה ענפית ממוקדת ב-4 תחומים: **משק המים**, **בריאות הציבור**, **המגוון הביולוגי**, **אופי הבניה העירונית**. לבסוף, נסקר הידע המדעי בשני נושאים רב-תחומיים, ובראיה כוללת של השלכות הדדיות בין ענפים, והם התחום **הגיאואסטרטגי וכלכלת ישראל**. לצורך הכנת הדו"ח והפעילות השוטפת של המרכז הוגדרו מובילי התחומים השונים והוקמו ועדות היגוי, הכוללות מומחים מהאקדמיה ומהתעשייה בשיתוף נציגי המשרד להגנת הסביבה, שמטרתם להוות צוותי חשיבה רב-תחומיים, התומכים בתהליכי העבודה.

קיימים תחומים נוספים, אשר טרם טופלו במסגרת מרכז הידע ולהם פוטנציאל פגיעות משינויי האקלים מחד גיסא, והשפעות על המשק הישראלי, מאידך גיסא, כגון משק האנרגיה והחשמל, החקלאות, התיירות, התחבורה ועוד, שאי טיפול בהם יקשה על קבלת תמונה מלאה וכוללת.

אקלים: חלקה הצפוני של ישראל מאופיין באקלים ים-תיכוני וחלקה הדרומי באקלים צחיח (arid) וביניהם רצועה צרה של אקלים צחיח למחצה (semi-arid). באזור זה של מפגש בין אזורי אקלים שונים, ניכרות תנודות רבות במזג האוויר בעקבות השפעות של מערכות אקלימיות ממקורות בעלי מאפיינים סינופטיים שונים. הדבר בא לידי ביטוי, בין היתר, בשונות רבה במשטר הטמפרטורות ובתנודות במשטר הגשמים – על כל מרכיביו.

דו"ח ה- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) מעריך כי שינוי האקלים הצפוי במאה הקרובה יגרום להתחממות עולמית, כתוצאה מכך, צפויה הטמפרטורה הגלובלית העולמית לעלות ב- 1.8 מעלות צלזיוס (מע"צ) עד 4 מע"צ עד סוף המאה ה- 21, בתלות בתרחישי פליטת גזי החממה השונים. בישראל, נמצא כי במהלך המאה ה- 21 צפויים שינויים ניכרים באקלים ברחבי העולם בדגש על אגן הים התיכון. תחזיות האקלים למדינת ישראל מצביעות על התחממות בשיעור ממוצע שבין 0.4 מע"צ ל- 0.8 מע"צ לעשור תלוי באזור ובעונה. באופן כללי ניתן לומר שכמויות המשקעים צפויות לרדת ברוב האזורים, אם כי מגמה זו בלתי מובהקת ברובה. בנוסף, צפויה עלייה בשכיחותם של אירועי מזג אוויר קיצוניים, שנות בצורת חריפות, שיטפונות ואירועי שרב. בנוסף, על פי המגמה העכשווית ומודלים גלובליים צפויה המשך העליה בגובה פני הים. ההשפעות העקרויות הצפויות הינן הגברת הצפות, השפעה על מי התהום, המלחת אקנות והשפעות ביולוגיות שונות. לכלל שינויים אלה עשויות להיות השפעות משמעותיות על ענפי המשק השונים בדגש על משק המים, חקלאות, ענף הבריאות, המגוון הביולוגי ותחום הבניה העירונית. בנוסף, צפויה השפעה גיאואסטרטגית במספר מעגלים וכן על התוצר הלאומי והרווחה החברתית בישראל. קיימים שני אופני פעולה מרכזיים כמענה לשינויי האקלים. אופן הפעולה הראשון הינו הפחתה (Mitigation) של התופעה באמצעות כלי מניעה שונים, בעיקר התערבות אנושית להפחתת שימוש במקורות אנרגיה שגורמים לפליטת גזי חממה (GHG). אופן הפעולה השני הינו התאמה של מערכות אנושיות וטבעיות בתגובה לתופעות הנובעות משינויי האקלים, לצורך מיתון הפגיעה בהן (Adaptation). לאור ההבנה כי צעדי ההפחתה הנוכחיים לא ימנעו את שינויי האקלים וכי עליית הטמפרטורה הממוצעת ב-2 מע"צ תתרחש בסבירות גבוהה, יש מקום להיערך באמצעות מגוון של צעדי התאמה.

משק המים בישראל צפוי להיפגע בצורה ישירה משינויי האקלים הצפויים. צפויה הפחתה משמעותית באגן ההיקוות של הכנרת בעקבות הפחתה במשקעים. כבר עתה ניכרת ירידה בעובי המשקעים באגן ההיקוות של הכנרת. כמויות המשקעים באגן מראות שונות גבוהה ונעות בין 300 אחוז בסביבה הצחיחה של האגן ועד ל-50% באזורים היותר לחים. בעשורים האחרונים תועדה ירידה בכמויות המשקעים באזורי ההזנה של מקורות הירדן הניכרת בשפיעת המעיינות הגדולים וירידה בנפח המים המגיעים לכנרת. גם בדרום הארץ נמצאה ירידה מובהקת במשקעים. השינויים באופי המשקעים וריבוי אירועי קיצון יגבירו את השיטפונות והנגר העילי ויפחיתו את ההעשרה של המילוי החוזר. הפער בין היצע המים הטבעי לבין הביקוש למים יושלם על ידי התפלת מי ים ומים מליחים ועל ידי הגברת הטיפול בשפכים והעלאת איכותם כדי להתאימם לכל סוגי הגידולים החקלאיים. עם זאת, התפלה וטיפול בשפכים מצריכים שימוש יקר באנרגיה, פליטת מזהמים קונבנציונאליים ופליטת גזי חממה וכן, יש לכלול גם שיקולים של מניעת זיהום סביבתי וזיהום מקורות המים. הידע המדעי במשק המים מתמקד בהשפעות שינויי האקלים על הפחתה בהיצע המים השפירים בישראל והרעה באיכותם. בנוסף, נכללים גם תחומים אנתרופוגניים - מעשי ידי אדם, המשפיעים על היצע המים בישראל בשל השפעתם המשולבת עם השינויים הפיסיים-אקלימיים.

ענף הבריאות צפוי להיות מושפע משינויי האקלים בצורה משמעותית - הן באופן ישיר דרך השפעות פיזיולוגיות (עליית העוצמה והתדירות של גלי החום והקור ובהתגברות העומס הנוצר על הגוף בעקבותיהם) והן באופן עקיף דרך השפעה על מחלות כרוניות ומדבקות וכן על שיעורי תמותה ותחלואה מגורמים חיצוניים. מנגנון השפעתו של האקלים על מחלות

כרוניות אינו ברור לגמרי, אך ידוע כי תנאי מזג אוויר קיצוניים (חום, קור ולחות), מעלים את השכיחות של הופעת מחלות שונות, כגון מחלות קרדיו-וסקולאריות ומחלות נשימתיות. שינויי האקלים משפיעים על זמינותם, נוכחותם והתנהגותם של הווקטורים השונים מחוללי מחלות מדבקות; שינויים אלה באים לידי ביטוי בדפוס עונתי המוצג על ידי רבות ממחלות אלה. בעוד חלק מהגורמים האחראיים לעונתיות זו ידועים, חלק נרחב מהתופעה עדיין אינו מוסבר. גורמים אקלימיים נוספים, כגון רמת הקרינה האולטרה סגולה (קיים קשר בין שינויי האקלים ועליית הטמפרטורות ובין פיחות שכבת האוזון בסטרטוספירה), משפיעים על הופעת מחלות אחרות לדוגמה סרטן וקטרקט.

השינויים הסביבתיים והאקולוגיים שיתרחשו כתוצאה משינויי אקלים צפויים להביא לעלייה בשכיחות של תופעות טבע, כגון בצורת ושטפונות, אשר ישפיעו לרעה ובאופנים שונים על האוכלוסיות הנמצאות באזור (התפרצות מחלות, זיהום מים, פגיעה בתשתיות סניטריות וכו'). סביר להניח כי הנפגעים העיקריים יהיו אוכלוסיות מוחלשות.

בהיבט המגוון הביולוגי, שינויי אקלים גלובליים צפויים להביא לשינויים משמעותיים ביחסי הגומלין בין מינים ובתפוצתם הגיאוגרפית, תוך השלכות על המגוון הביולוגי ועל אספקת שרותי המערכת. הדבר נכון הן לאקוסיסטמות של מים מתוקים ביבשה (כולל נחלים, מקווי מים עונתיים, מעיינות והכנרת), אקוסיסטמות ימיות (מפרץ אילת והים התיכון) והן לאקוסיסטמות יבשתיות. חשוב לציין, כי למרות שהביטה באזורנו מותאמת לתנאים של חוסר ודאות אקלימית, הפחתה נוספת בכמות המשקעים ובסדירותם יכולה להביא לשינויים קריטיים במערכת האקולוגית ובתפקודה, בעיקר באזור המדברי הצחיח.

בנושא המגוון הביולוגי ניתן לציין כי למרות שבעשור האחרון הולך וגדל מספר המחקרים העוסקים בהשפעות עתידיות של שינויי האקלים על החי והצומח ועל תפקוד המערכות אקולוגיות, מספר מועט ביותר של מחקרים נעשו בנושא זה בישראל. הסקירה מציגה את הידע הקיים בנוגע להשפעות שינויי אקלים על המגוון הביולוגי באזורים ים תיכוניים בעולם תוך דגש על מחקרים שנעשו בישראל ובחופיה. המחקרים המעטים שבדקו השפעות שינויי אקלים על עושר ומגוון מינים בישראל, מציגים תוצאות שאינן חד-משמעית ומשתנות לפי הקבוצה הנחקרת. מספר המחקרים שבדקו השפעות שינויי אקלים על מערכות מים מתוקים הוא נמוך במיוחד, כנראה משום שבמערכות אלה האיום העיקרי הוא לחץ פעילות האדם. שינויי אקלים יגביר את הלחץ על מערכות אלה, ובכך יחמיר את הדרדור במצבן. מודל לחיזוי השפעות שינויי אקלים על טווח התפוצה של מינים חוזה שבעקבות עליית הטמפרטורות ישתנו תחומי התפוצה של מינים והם יזוזו לאזורים בהם יהיה טווח טמפרטורות הדומה לזה בו הם מתקיימים כיום. אחת ההשלכות של שינויי טווח התפוצה של מינים עשויה להיות התפשטות של פרוקי-רגליים טרופיים והגברת ההפצה של מחלות המועברות באמצעותם. אוכלוסיות הנמצאות באזור המעבר מאקלים ים תיכוני לאקלים המדברי מאופיינות במגוון גנטי גבוה ולכן אזורים אלה הינם בעלי חשיבות לשמירת מגוון ביולוגי בעידן שינויי אקלים. הבדלים בהרכב הגנטי בין אוכלוסיות מבתי גידול בתנאים סביבתיים שונים יכולים לשמש לשימור המין תחת תנאי עקה. ניתן להניח השפעה קטנה יחסית על יצרנות ראשונית (מרעית) באזורי מרעה. במערכות ימיות, הסקירה מדגישה השפעה חזקה של מינים פולשים בים התיכון, תופעה שככל הנראה צוברת תאוצה עם התחממות מי הים. השפעה משמעותית נוספת היא הרס של טבלאות הגידוד החופיות. האיום העיקרי למערכת במפרץ אילת הוא הלבנת האלמוגים המהווים את הבסיס למערכת האקולוגית של השונית.

תחום **הבניה הירוקה** נתפס לרוב כתחום בו ניתן למנף הפחתה (mitigation) של פליטות גזי חממה, שכן, סקטור המבנים אחראי לכ-40% מצריכת האנרגיה העולמית

וכשליש מפליטות גזי החממה. אולם, שינויי האקלים הצפויים מחייבים גם שינוי תפיסת מבחינת התאמת הערים והמבנים (הצללה, חשיפה לרוח, נוחות תרמית בבניינים, התאמה לאירועי קיצון כמו הצפות או עליית מפלס המים ועוד). סקטור זה הוא גם בעל הפוטנציאל הגדול ביותר להפחתות משמעותיות וכדאיות בצריכה ובפליטות. אורך החיים של מבנים הוא ארוך יחסית ולכן פעולות שנעשות כיום הן בעלות השפעה על כמות הפליטות לטווח הזמן הבינוני והארוך. המערך העירוני הוא בעל השפעה רבה על יצירת מיקרו-אקלים בעיר - מורפולוגית העיר ואוריינטציית הרשת האורבנית משפיעות על הצללה וחשיפת הרחובות והשטחים הפתוחים לשמש ולרוח, אך יחד עם זאת על אגירת החום. כמו כן, יש להתייחס לגורמים אלה בעת שילוב מערכות סולריות להפקת אנרגיה בבניינים (חימום מים, תאים פוטו-וולטאים, מיקרו טורבינות רוח) - למערך העירוני השפעה מכרעת על יעילות מערכות אלה. ערים יכולות להפחית את כמות הפליטות של גזי חממה תוך התמודדות עם בעיות סביבתיות נוספות כגון זיהום אוויר, פסולת ותחבורה, ופיתוח כלכלי מקומי ע"י קידום שימוש במקורות אנרגיה אלטרנטיביים מחד גיסא, וקידום עיר מתוכננת טוב יותר המצמצמת זחילה עירונית ופרבור, מעודדת עירוב שימושים, בניינים ירוקים ותחבורה ציבורית טובה יותר, מאידך גיסא.

בראיה הרב-תחומית בתחום **הגיאואסטראטיגי**, קיימת התייחסות לשלוש תופעות עיקריות הנובעות משינוי אקלים, שעומדות בבסיסן של המשמעויות הגאואסטראטגיות לישראל: מחסור במים, עליית מפלס פני הים, עלייה בטמפרטורות (התחממות, התייבשות גוברת והגברת אירועי קיצון) ובנוסף עליהן, נושאים משולבים שיושפעו מאפקט מצטבר של שינויי האקלים. ההשפעה משליכה על מגוון רחב של נושאים גיאואסטראטיגיים, בהתאם למספר מרחבים גיאוגרפיים: מעגל פנימי, מעגל המדינות השכנות, מעגל המדינות המוסלמיות-ערביות הסמוכות למעגל הראשון ויתר מדינות העולם. נמצא, כי לשינויי האקלים יהיו השפעות מרחיקות לכת על ישראל, אם כי קיימים פערי ידע שיש להשלימם. בין הנקודות החשובות ביותר בנושא זה ניתן למנות את שינוי מאזן הכוחות הגיאואסטראטיגי, משק המים, ההגירה בישראל (לתוכה, סביבה, או דרכה), צריכת אנרגיה מוגברת, תחום המזון, מערכת הביטחון ועוד.

בתחום **הכלכלה**, שינויי האקלים עלולים להשפיע בין היתר על הכלכלה העולמית בכלל ועל הכלכלה הישראלית בפרט. קיימים מספר מחקרים אשר אומדים את הנזק הכלכלי של שינויי אקלים ללא פעולות הפחתה ו/או התאמה ומצביעים על שינויים בתוצר העולמי הגולמי בהתאם לשינוי הצפוי בטמפרטורה הממוצעת. נזק זה נאמד בכ- 0.5% לשנה במחצית המאה הנוכחית וגדל לכ- 1-5% לשנה עד סוף המאה הנוכחית ולאחריה. עלויות התאמה, הפחתה ונזק של שינויי האקלים קשורות האחת בזולתה. ככל שצעדי התאמה נרחבים יותר, כך הנזק קטן וקטן הצורך בצעדי הפחתה. מאידך ככל שהפחתה רחבה יותר, השינויים האקלימיים פחות דרסטיים ועלויות התאמה קטנות. ניתן לציין כי קיימת פעילות מחקרית ענפה בניסיון להעריך כלכלית את פעולות ההתאמה ברמה העולמית. אולם מרבית המחקרים מעריכים עלויות התאמה ברמה עולמית אגרטיבית או לפי איזורי פיתוח ולא ברמה של מדינה וענף. לרוב, מחקרים אלה באים להצביע על עלויות התאמה גבוהות במדינות מתפתחות ביחס למדינות מפותחות. על כן קשה ללמוד מספרות זו על עלויות התאמה הצפויות למדינה מפותחת קנה כמו ישראל. מחקר בנושא המתמקד על ישראל לא נמצא בספרות. מרבית המחקרים הכלכליים ברמת הענף עוסקים בתופעת עלית פני הים או בענף החקלאות ואילו עבור ענפים אחרים המידע המחקרי מצומצם. מספר מחקרים הכלכליים מבוצעים בשיטת ה- Top-Down, תוך שימוש במודלים

מסוג (Computable General Equilibrium) CGE או (Integrated Assessment Model) IAM. מודלים אלו משמשים להערכת העלות של תוכניות הפחתה של פליטות גזי חממה, עלויות הנזק של שינויי האקלים או התאמה לשינויים אלה. מחקרים בנושא התמודדות עם השפעות שינויי אקלים על כלכלת ישראל הינם מעטים. ביניהם, ניתן להצביע על מחקרים כלכליים שבוצעו בשנים האחרונות בישראל אשר בחנו את השפעת שינויי האקלים על ישראל, תוך התמקדות בענף בודד כמו החקלאות, וכן מחקרים שאמדו את עלויות תמריצים כלכליים להפחתת פליטות גז"ח.

בהתאם לאמור לעיל, ניתן להסיק כי **פערי הידע** המחקריים לגבי השפעת תופעת שינויי האקלים על כלל התחומים הינם רבים ומגוונים. במשק המים, יש להתייחס לנושאים של שונות במשקעים (כמות, פריסה, אירועי קיצון) והשפעתם על המילוי החוזר, השפעות עליית הטמפרטורות על התאדות לסוגיה ועל איכות מים, שכיחות בצורות, ניטור נגר עילי, ביטחון מים ומזון, ובמערכות העירונית: חיסכון ופחת. בענף הבריאות, הפערים המרכזיים באים לידי ביטוי בעיקר בתחומים של השפעת שינויי אקלים על מחלות לב, מחלות נשימתיות, סרטן וקטראקט, מחלות מדבקות שמועברות באמצעות מזון ווקטורים. לגבי תחום המגוון הביולוגי, קיים קושי אמיתי להעריך את ההשפעות של שינויי אקלים על מערכות אקולוגיות לאור המחסור בידע המבוסס על מחקר אמפירי. בתחום הכלכלי הרב-תחומי מצביעה הסקירה על פערי הידע בנושאי הערכה אמפירית של עלויות ההתאמה בישראל, מחקרים כלכליים-ענפיים, מחקרים כמותיים מבוססי מודלים של אסטרטגיית התאמה, וחקירת נושא אי-הודאות בתופעת שינויי האקלים והשפעתו על הערכות העלות ובחירת המדיניות, כולל סקטור הביטוח.

לסיכום, מסמך זה כולל סקירה מקיפה בתחומי הידע המרכזיים בנושא שינויי אקלים, ומיועד להוות בסיס נתונים ראשוני לצורך המשך הפעילות המחקרית-מדעית בנושא, בסיועם של צוותי ההיגוי הייעודיים שהוקמו. המשך הפעילות נדרש לצורך הגדרת מדיניות הפעולה של מדינת ישראל בכל תחום וההיערכות לביצועה בעיתוי הנדרש, תוך הקניית האמצעים הניהוליים והתקציביים ע"י מקבלי החלטות.