



ביטחון מערכת החשמל בישראל הצעה לאסטרטגיה רבתי

דן וינשטוק ומאיר אלרן

בהשתתפות: אלכס אלטשולר, אהוד גנני, סיניה נתניהו,
איתן פרנס, שי טולדנו, אמיר שטיינר

ביטחון מערכת החשמל בישראל

הצעה לאסטרטגיה רבתי

דן וינשטוק ומאיר אלרן

בהשתתפות:
אלכס אלטשולר
אהוד גבני
סיניה נתניהו
איתן פרנס
שי טולדנו
אמיר שטיינר

INSS המכון למחקרי ביטחון לאומי (חל"צ)

המכון למחקרי ביטחון לאומי, המשלב בתוכו את מרכז יפה למחקרים אסטרטגיים, הוקם בשנת 2006. למכון שתי מטרות מוצהרות: הראשונה, היא לערוך מחקרים בסיסיים בנושאי הביטחון הלאומי של ישראל, המזרח התיכון והמערכת הבינלאומית, וזאת על פי אמות המידה האקדמיות הגבוהות ביותר. המטרה השנייה, היא לתרום לדיון הציבורי ולעבודת הממשל בנושאים שנמצאים, או ראוי שיימצאו, בראש סדר היום הביטחוני של ישראל.

קהל המטרה של המכון הוא דרג מקבלי ההחלטות, מערכת הביטחון, מעצבי דעת הקהל בישראל, הקהילה האקדמית העוסקת בתחומי הביטחון בישראל ובעולם, והציבור המתעניין באשר הוא.

המכון מפרסם מחקרים שהוא מצא כראויים לתשומת הלב הציבורית, תוך שמירה על מדיניות נוקשה של אי משוא פנים. הדעות המובעות בפרסומים הן של המחברים בלבד ואינן משקפות בהכרח את עמדות המכון, נאמניו או האישים והגופים התומכים בו.

ביטחון מערכת החשמל בישראל

הצעה לאסטרטגיה רבתי

דן וינשטוק ומאיר אלרן

בהשתתפות: אלכס אלטשולר, אהוד גבני, סיניה נתניהו,
איתן פרנס, שי טולדנו, אמיר שטיינר

מארס 2016

מזכר 152

Securing the Electrical System in Israel Proposing a Grand Strategy

Dan Weinstock and Meir Elran

Contributors:
Alex Altshuler
Udi Ganani
Sinaia Netanyahu
Eitan Parnass
Shai Toledano
Amir Steiner

המכון למחקרי ביטחון לאומי (חברה לתועלת הציבור - חל"ץ)

חיים לבנון 40
ת.ד. 39950
רמת-אביב
תל-אביב 6997556

טל. 03-6400400
פקס. 03-7447590
דוא"ל: info@inss.org.il

אתר המכון: <http://www.inss.org.il>

ISBN: 978-965-7425-89-3

כל הזכויות שמורות © מארס 2016

הביא לדפוס: משה גרונדמן

עיצוב גרפי: מיכל סמוֹקובץ ויעל ביבר, המשרד לעיצוב גרפי, אוניברסיטת תל-אביב
עיצוב העטיפה: מיכל סמוֹקובץ
תמונת השער: עמוד מתח עליון, ים המלח, שעת השקיעה

דפוס: אלינר, פתח תקווה

תוכן עניינים

7	תמצית מנהלים
9	הקדמה
11	עיקרי המחקר
17	פרק 1: האיומים על מערכת החשמל ומשמעויותיהם
17	רקע
18	האיום הקינטי: טילים ורקטות
20	אסונות טבע ושינוי אקלים
25	איומי סייבר
92	דופק אלקטרו-מגנטי (EMP)
31	פרק 2: מערכת החשמל בישראל
13	מקטעי מערכת החשמל
38	מערכת החשמל הנוכחית והעתידית
41	פרק 3: המענה לאיומים על מערכת החשמל בישראל
41	מוכנות מול התקפות קינטיות – טילים ורקטות
43	מוכנות מול אסונות טבע ושינוי אקלים
46	רמת המוכנות מול תקיפות סייבר
74	רמת המוכנות מול הדופק האלקטרו-מגנטי
35	פרק 4: מה ניתן ללמוד מהניסיון הבין-לאומי?
57	פרק 5: מסקנות המחקר
57	בחירת אסטרטגיה כוללת
16	קווים מנחים בתחום הטכנולוגי והתפעולי
67	קווים מנחים בתחום הארגון והמבנה
68	קווים מנחים בתחום הקהילתי
37	נספח א': מושגי יסוד במערכת החשמל
77	הערות
85	מחברי המחקר

תמצית מנהלים

מדינות רבות במערב, ובהן ישראל, הגיעו למסקנה כי הביטחון הלאומי שלהן תלוי, בין השאר, בחוסנו של העורף האזרחי. חוסן זה תלוי במידה רבה בתפקוד סביר ורציף של המערכות השונות המשרתות אותו, ובראשן אספקה סדירה של מוצרי היסוד של התשתיות הלאומיות החיוניות. בין אלה יש למערכת החשמל מקום מרכזי ביותר. הסיכון העיקרי הראוי להתייחסות בהקשר זה הינו עלטה מתמשכת בחלקים גדולים של המדינה ובמערכותיה המרכזיות.

עבודת מחקר זו, שהינה ראשונה מסוגה, בוחנת את האיומים החיצוניים העיקריים על מערכת החשמל בישראל ואת המענים הניתנים כיום לאיומים אלה. זאת, כבסיס להמלצות מערכתיות לגבי מה שלדעתנו ראוי יהיה לעשות כדי לשפר את מוכנותה של מערכת החשמל לעמוד בפני סיכונים משמעותיים ברמת הביטחון הלאומי. עבודה זו היא ראשונה בסדרת מחקרים שבכוונת המכון למחקרי ביטחון לאומי לפרסם, אשר יעסקו במוכנותן של מערכות התשתית הלאומית המשרתות את החזית האזרחית בישראל ומסייעות להן לעמוד מול האיומים עליהן.

ביטחון מערכת החשמל בשעת חירום וצמצום הסיכון של עלטה נרחבת ומתמשכת הם סוגיה קריטית ומרכזית המחייבת התייחסות כלל לאומית ובעדיפות גבוהה. ככלל, אנו טוענים כי המענים המערכתיים הניתנים כיום לאיומים על מערכת החשמל, במאפייניה הגיאוגרפיים-אסטרטגיים הייחודיים של מדינת ישראל, אינם מספקים, ומחייבים התייחסות מערכתית מרחיבה ומשולבת של הממשלה והתעשיות – התייחסות שתשפר את רמת המוכנות ואת יכולת ההתמודדות עם איומים אלה.

ביטחון מערכת החשמל תלוי באופן מכריע בקיומה ובהפעלתה של תפיסה מערכתית כוללת לגבי המרכיבים השונים של מערך התשתיות הלאומיות בכלל, ושל אספקה בטוחה של אנרגיה זמינה וזולה לצרכיה האזרחיים והצבאיים של מדינת ישראל בפרט. תפיסה כזו אינה קיימת בישראל, ומן הראוי שתגובש בהקדם ובאורח שיהיה מוסכם על המעורבים בעניין. זו אחריותם המלאה של ממשלת ישראל ושל המשרדים הקשורים בתחום החשמל: משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים ומשרד הביטחון (רשות החירום הלאומית – רח"ל). המענה המערכתי לחירום צריך להתבסס, במידה מרבית, על המענה בשגרה ועל יכולת גמישה ומהירה של מעבר משגרה לחירום.

הקדמה

מחקר זה נערך במסגרת התוכנית לחקר החזית האזרחית, הפועלת במכון למחקרי ביטחון לאומי. המחקר משקף ניסיון ראשון מסוגו להתמודד מחקרית לעומק עם סוגיה מרכזית בתחום ביטחון התשתיות הלאומיות החיוניות בישראל ולהציג מסקנות והמלצות מערכתיות. ההחלטה לערוך מחקר בנושא ביטחון מערכת החשמל בישראל משקפת את ההבנה כי נושא התשתיות הלאומיות במדינה ומידת עמידותן מול האיומים הרלוונטיים ראוי מאוד לבחינה מחקרית מעמיקה, כבסיס לדיון ציבורי ולקבלת החלטות מערכתיות מצד האחראים לנושא בממשלה ובתעשייה. ההתמקדות בנושא מערכת החשמל מבטאת את ההכרה כי מערכת זו, יותר מכל מערכת תשתית אחרת, מהווה מוקד מרכזי וחיוני לקיומה של הרציפות התפקודית הכלל משקית הנדרשת של מדינת ישראל. פגיעה קשה במערכת זו עלולה לא רק ליצור הפרעות משמעותיות באספקת החשמל, אלא גם לגרום עקב כך להפרעות ניכרות במערכות חיוניות אחרות, עד כדי פגיעה קשה מאוד במשק ובמדינה, כולל בתפקודו של צה"ל.

עבודת המחקר הנוכחית מתבססת אך ורק על מקורות גלויים. התייחסנו למחקר בגישה כלל מערכתית ואסטרטגית. אין בכוונתנו לבחון בצורה פרטנית כל מרכיב משנה במערכת החשמל, חשוב ככל שיהיה, או לבדוק את מידת עמידותו שלו נוכח הסיכונים הרלוונטיים הניצבים מולו. אנו יוצאים מתוך הנחה כי המופקדים על מערכת החשמל בישראל – החברות העוסקות בכך והרגולטורים הממלכתיים – יודעים לעסוק במרכיבים אלה בצורה מקצועית יותר מאתנו. יחד עם זאת, התברר לנו במהלך הכנת המחקר כי אין בישראל די עיסוק מקצועי רצוף ואינטגרטיבי בבחינה כוללת מערכתית ובראייה אסטרטגית של הנושא הנדון כאן, בחינה שתעמיד בצורה נכוחה את האיומים השונים מול המענים הקיימים, תבדוק אם יש פער בלתי ראוי ביניהם ותסיק מכך מה צריכה המדינה לעשות כדי לסגור פערים קריטיים במהירות האפשרית. זו אמורה להיות תרומתו העיקרית של מחקרנו: בחינה מיטבית של הנושא על מרכיביו העיקריים, העלאת המודעות לחיוניות העיסוק בו והצגת מסקנותינו בפני הציבור המעוניין ומקבלי ההחלטות, תוך הגשה, בצניעות הראויה, של המלצותינו העיקריות לשיפור המצב הקיים.

עבודה זו תחומה לבחינה של ביטחון מערכת החשמל בישראל בהקשר המוגבל מלכתחילה לכושרה לעמוד בפני איומים חיצוניים לה, וזאת בשני מדדים: האחד –

סיכונים מידי אדם בתחום הצבאי, ובהם פגיעה קינטית, פגיעת בהתקפות סייבר, וכן פגיעה זדונית בידי אדם באמצעות מערכות דופק אלקטרו-מגנטי (EMP). בחרנו לא לעסוק בתחום התקלות האפשריות בתוך המערכת, מתוך הנחה ותקווה שמנהליה יודעים לאתר אותן ולטפל בהן בעוד מועד. המדד השני עוסק בתחום הסיכונים מהטבע, ובמיוחד רעידות אדמה, שינויי אקלים וצונאמי. למרות שמערכות אספקת החשמל, גם בישראל, הינן בעלות זיקות חשובות למערכות ולשיקולים כלכליים, ארגוניים ופוליטיים, הקפדנו במחקר זה לא לגלוש לנושאים אלה, ולכל היותר אלה הוזכרו בעקיפין כמשפיעים על מערכות השיקולים של קביעת אסטרטגיית ההגנה מפני האיומים שנבחנו.

בשל מורכבות הנושא והצורך במקצועיות בתחום מערכות חשמל לאומיות, בחרנו הפעם לכוון צוות רחב יחסית של חוקרים, שעסק בהיבטים השונים של המחקר. בכל שלבי העבודה הרבינו להתייעץ עם מומחי תוכן מובילים בארץ ובחו"ל, תוך לימוד מעמיק של ההיבטים השונים של הסוגיה, בכלל זה על ידי השוואת מה שקורה בארץ בתחום החשמל עם המתרחש והמתחדש בחו"ל, ובעיקר בארצות הברית. מצאנו כי למרות ההבדלים בין המדינות השונות ולמרות הייחודיות של המקרה הישראלי – גם מבחינת גודל המערכת וגם מבחינת היותה של ישראל "אי אנרגטי" – ניתן ללמוד הרבה מגישתן ופעילותן של מדינות אחרות העוסקות בחיפוש דרכים לשיפור ביטחונה וחסינותה של מערכת החשמל שלהן. גם באקדמיה מצאנו מחקרים רבים, מהם ניתן ללמוד על הנדרש בישראל. כל אלה באו לידי ביטוי בפרק מיוחד בעבודה זו.

אנו מבקשים להודות במיוחד לעמיתינו שהשתתפו עמנו בצורה רצופה בעריכת המחקר ואשר שמותיהם מצוינים בדף הפתיחה ופרטי כל אחד מהשותפים מופיעים בסופו של מחקר זה. כאמור, מצאנו לנכון להתייעץ, לפני פרסום המחקר, עם מומחי תוכן בכירים בתחום החשמל, שטרחו לקרוא את הטיוטות השונות ולהעיר הערות חשובות שתרמו רבות לאיכותו המקצועית של המחקר. בין אלה נציין במיוחד בתודה ובהערכה רבה את גב' נורית גל, סמנכ"לית חטיבת רגולציה וחשמל ברשות החשמל; מר משה בן-יאיר, ראש אגף הנדסה ברשות החשמל; פרופ' אברהם אלכסנדרוביץ' ופרופ' יואש לברון מהפקולטה להנדסת חשמל בטכניון; מר עמוס לסקר, לשעבר מנכ"ל חברת החשמל; מר סער שפיר, סגן מנהל התוכנית הלאומית לתחליפי דלקים במשרד ראש הממשלה; מר ניסן כספי, מנכ"ל גלובאל פאוור; מר שלומי אנג'ל, סמנכ"ל טכנולוגיות בחברת אלקטל-לוסנט; מר יוסי כהן, מנהל תחום האנרגיה בחברת אלקטל-לוסנט; ד"ר ארז סברדלוב, מנהל האגף לייעוץ אסטרטגי בחטיבת הביטחון של חברת מטריקס; ד"ר פיטר וינסנט פריי, מנהל כוח המשימה האמריקאי בנושא EMP; מר רוברט מנינג, לשעבר המהנדס הראשי של רשות עמק טנסי בארצות הברית.

עיקרי המחקר

נתוני הבנק העולמי מצביעים על כך שצריכת החשמל לנפש בישראל בשנת 2011 הייתה כ-7,000 קוט"ש לשנה.¹ צריכה זו הייתה גבוהה מצריכת החשמל לנפש במרבית מדינות העולם, לרבות במספר מדינות אירופיות (צ'כיה, דנמרק, איטליה, ספרד). היא הייתה דומה לצריכה בצרפת, בגרמניה ובהולנד ונפלה מצריכת החשמל באוסטרליה, בקנדה, בדרום קוריאה ובארצות הברית.

המגזר הגדול ביותר בצריכת החשמל במרבית מדינות העולם המפותח הוא המגזר התעשייתי. חלקו של מגזר זה בכלל צריכת החשמל הוא כארבעים אחוזים ומעלה. בישראל, לעומת זאת, התעשייה צורכת פחות מ-25 אחוזים, והמגזר הביתי צורך כשלושים אחוזים – בדומה לחלקו בצריכה של המגזר המסחרי-ציבורי. פירוש הדבר הוא שתלותו באספקת החשמל של המגזר הביתי, שהוא עיקר ליבתו של העורך הישראלי ומתאפיין בכך שהוא נטול בדרך כלל אמצעי אספקת חשמל חליפיים, היא גבוהה במיוחד.

ניתן להצביע על התלות הגוברת והולכת של המשק הישראלי באספקת חשמל באמצעות מושג כלכלי הקרוי "עלות אי-אספקת חשמל". עלות אי-אספקת החשמל היא המחיר בשקלים לקוט"ש שמוכנים לשלם תמורת אספקת חשמל בעת מחסור בו. ככל שעלות זו גבוהה יותר במשק מסוים, כך גדלה תלותו של משק זה באספקת חשמל רציפה (ברור כי עלות אי-אספקת חשמל בניו יורק או בלונדון גבוהה לאין שיעור מזו של עלות אי-אספקת חשמל ברואנדה). במשך שנים רבות הייתה עלות אי-אספקת חשמל בישראל, הנקבעת בעיקרה על ידי משרד האנרגיה, כ-25 ש"ח לקוט"ש. העלות המעודכנת של אי-אספקת חשמל במשק הישראלי, המבוססת על מחקר שערך משרד האנרגיה ופורסם בשלהי 2011,² עמדה על 111 ש"ח לקוט"ש, דבר המלמד על התלות הגבוהה מאוד של המשק הישראלי באספקת חשמל רציפה.

עבודה זו כוללת מספר חלקים. החלק הראשון עוסק במיפוי האיומים המרכזיים על ביטחון מערכת החשמל בישראל. במסגרת זו זוהו ונותחו כאן ארבעה איומים מרכזיים: התקפות טילים ורקטות; אסונות טבע ושינוי אקלים; סייבר; דופק אלקטרו-מגנטי. לא נותחו בעבודה זו סיכונים של תקלות פנימיות במערכת החשמל, שמקורן אינו בגורמים חיצוניים, הגם שתחום זה ראוי אף הוא להתייחסות רצינית. החלק השני של המחקר מציג בתמצית את הניתן ללמוד ממדינות העולם בתחום ההגנה על תשתיות מערכת

החשמל. החלק השלישי מציג, כרקע לניתוח ולמען אלה שאינם בקיאים ברזי החשמל, מספר מושגי יסוד בתחום המקצועי של מערכת החשמל הארצית, וסוקר בתמציתיות את המבנה של מערכת זו בישראל, הנמצאת בשנים האחרונות בהתפתחות מואצת ובתהליכי שינוי ניכרים. החלק הרביעי של העבודה עוסק במענים האפשריים – חלקם קיימים כבר כיום וחלקם עדיין לא – לאיומים שפורטו בחלק הראשון. חלק מהאיומים ניתן למנוע, או להקטין את הסתברות פגיעתם או את היקף נזקיהם, בעוד שאיומים אחרים לא ניתן למנוע, אך ניתן בהחלט להקטין את פגיעתם, ובעיקר לקצר את משך ההתאוששות והחזרה לשגרה לאחר התרחשותם. החלק החמישי והאחרון כולל המלצות לשיפור ביטחונה של מערכת החשמל ועמידותה בשעת חירום.

להלן יפורטו כמה הדגשים עיקריים הנובעים מהמחקר.

המופקדים על ביטחון מערכת החשמל בישראל צריכים לשרטט מפת איומים מאוזנת, על בסיס ייחודיותה של המדינה ("אי אנרגטי" המאפשר גמישות מוגבלת), צרכיה (תלות גבוהה באספקת חשמל) ומגבלותיה (אויבים סביב לה). מפת האיומים צריכה להתייחס בצורה ראויה ושקולה גם לאירועי קיצון (novel crises), בעיקר עקב תהליכים של שינויי אקלים, גם אם סבירות התרחשותם יכולה להיות נמוכה יחסית. בחינת האיומים גם צריכה לקחת בחשבון צרוף של סיכונים שונים בנקודת זמן (למשל, אך לא רק, תקיפות קינטיות ותקיפות סייבר בעת ובעונה אחת). הנחת המוצא צריכה להיות שאיומים אלה עלולים להתממש הלכה למעשה, וכי חובה להיערך לקראתם בצורה הולמת ובראייה מחמירה.

להערכתנו, האיומים העיקריים בהקשר הספציפי של מערכת החשמל הם:

1. **התקפות טילים ורקטות.** זהו האיום המיידני, הגדל והצפוי ביותר. שיפור של רמת הדיוק של המערכות הקיימות והעתידות להימצא בידי האויב (בעיקר חזבאללה, אך בעתיד גם חמאס וגורמים אחרים), וכן פוטנציאל השיגורים (גם במטחים) וגודל הראש הקרבי, יגבירו מאוד את האיום, בעיקר על תחנות כוח ותחנות מיתוג.
2. **איומי סייבר.** אלה ילכו ויתרחבו³ ככל שהיכולות של היריב יתפתחו וככל שתועמק רמת המחשוב והתקשורת במערכת החשמל. עיקר נזקיהם הצפויים מאיומים אלה יגרמו למרכיבים החיוניים של השליטה והבקרה.
3. **דופק אלקטרו-מגנטי (EMP).** איום זה יפגע בשנאים, בתחנות מיתוג ובתחנות משנה, וכן בחדרי בקרה שאינם מוגני איום אלקטרו-מגנטי (אלמ"ג).
4. **אסונות טבע לסוגיהם.** גם אם סבירותם בטווח הקצר נמוכה יחסית לאיומים מידי אדם, הם עלולים לגרום נזקים קשים מאוד לכלל מערכת החשמל, לרבות מקטע החלוקה.⁴

- רמת המוכנות הקיימת בישראל להתמודד עם מגוון איומים זה אינה אחידה:
1. חברת החשמל לישראל (חח"י) עוסקת רבות בהיערכות לשעת חירום, אולם פעולותיה אינן מספיקות, מה גם שהיא אינה השחקנית היחידה בתחום. ההיערכות לשעת חירום מחייבת שיתוף פעולה צמוד בין הממשלה ובין התעשיות השונות, ודרושה עדיין עשייה רבה כדי להגיע לרמה הראויה של ביטחון המערכת.
 2. מערכת החשמל מוכנה בצורה סבירה לרעידות אדמה. סבירות פגיעתן של רעידות אדמה במתקני הליבה של המערכת הינה נמוכה יחסית.
 3. מערכת החשמל אינה מוכנה דיה לאסונות טבע אחרים, ובעיקר לאירועי קיצון אקלימיים, כגון צונאמי ועלייה של מפלס הים.
 4. מערכת החשמל מוכנה באופן חלקי בלבד להתקפות טילים מדויקות ומרוכזות ולתקיפות סייבר רחבות היקף.
 5. מערכת החשמל אינה מוכנה לאיום הדופק האלקטרו־מגנטי, אם כי לאחרונה חל שיפור ניכר במודעות לסיכון זה ויש התחלה של בחינה מקצועית כיצד להתמודד אתו.
- כל מענה מערכתי לאיומים על תשתיות קריטיות, ובעיקר של מערכת החשמל, חייב להיבנות על בסיס ראייה אסטרטגית־מערכתית. שאלה מכרעת בהקשר זה היא על מי מוטלות האחריות והסמכות לנהל את משק החשמל לקראת שעת חירום, במהלכה ולאחריה? שאלות נוספות הן: מי אחראי לקביעת השקלול המערכתי של האיומים והמענים, כולל בחינתם בפריזמה של עלות־תועלת? מי ה"אינטגרטור" לנושא תשתיות לאומיות בכלל ולביטחון מערכת החשמל בפרט? מי קובע את המדיניות הכוללת לפני אסונות ומי מפעיל את המערכות בשילוביות נדרשת עם מערכות אחרות בזמן האירוע, כדי להבטיח מידה מינימלית הכרחית של רציפות תפקודית?
- בישראל אין הסדרה ברורה של סוגיית ביטחון התשתיות הלאומיות הקריטיות, כפי שאין הסדרה של סוגיית ההגנה על החזית האזרחית בכלל. זאת, בעיקר בגלל המגבלות הפוליטיות והבירוקרטיות, המקשות על עיצוב ומימוש מאוזן של מענה מערכתי. כל עוד לא תיכון הסדרה כזו, תתקשה המערכת להגיע לרמה הנדרשת של מוכנות לחירום. נדרשת "אסטרטגיה רבתי" לנושא ביטחון התשתיות הלאומיות, וכחלק ממנה – אסטרטגיה לביטחון מערכת החשמל.⁵ מאפייניה של אסטרטגיה כזו צריכים לכלול פרו־אקטיביות ואיזון נכון בין מניעה והגנה ובין חוסן (resilience), שעיקרו בניית כישורים שיבטיחו התאוששות מהירה של המערכת לאחר הנסיגה ההכרחית בתפקודה בעקבות הפרעה קשה. גיבושה של אסטרטגיה כזו, צריך להיות באחריות ובריכוז הממשלה, והיא צריכה לשמש כבסיס המוסכם לתוכניות העבודה הרב־שנתיות של כל מרכיבי תעשיית החשמל בתחום ההיערכות וההתכוננות לשעת חירום. עד כה לא הייתה הצלחה בנושא חיוני זה.⁶ בהיעדרה, תמשיך המערכת לפעול בצורה לא אופטימלית, ללא סטנדרטים

ידועים ושקופים של אספקת חשמל וללא מסגרת מחייבת של פעולה בלוחות זמנים מוגדרים. נדרשת "שפה משותפת" בין הגורמים השונים בתחום התשתיות הלאומיות ואספקת החשמל, כבסיס לתהליך ממשי של קידום המוכנות, וזאת על בסיס תרחישי ייחוס (שעדיין לא הושלמו) וגיבוש תפיסה שתאפשר מדידה של רמת התפעול של המשקים השונים. אמנם, יש התחלה של עבודת מטה בנושא זה, בריכוזה של רח"ל, אולם אנו נמצאים רק בראשית הדרך.⁷

סוגיה חיונית להתייחסות קשורה בתקצוב הנדרש לצורך אבטחה מיטבית של מערכת החשמל בישראל. ברור שאין גבול להגנה ולאבטחה של המערכת. בהתאם לכך, אין גבול כספי לעלויות הכרוכות בכך, ואלה עלולות להיות בלתי ריאליות בעליל. לכן, יש צורך בקביעת תעדוף ברור של מה שנדרש באופן מובהק, מול מה שרצוי; של מה שנדרש עכשיו, מול מה שיכול להמתין ולהתבצע בהמשך הדרך. הבסיס הנכון לקביעה כזו של תעדוף הוא מה מידת הנזק המערכת העלול להיגרם כתוצאה מהפסקה ארוכה של אספקת חשמל.

"אסטרטגיה רבתי" לביטחון התשתיות הלאומיות צריכה להתייחס גם להתפתחויות עתידיות הצפויות בתחום ניהול רשת החשמל. תהליכים של אגירת אנרגיה לגיבוי ואופטימיזציה של השימוש באנרגיה במרחב העירוני תופסים כיום תאוצה בעולם. הצפי הוא כי לרשת החשמל העתידית יהיו ממשקים רבים ומגוונים מאוד למערכות חיצוניות, בין אם למתקני אגירת אנרגיה מקומיים במרחב העירוני, ובין אם למכשיר החשמלי הביתי. מורכבות המערכת העתידית מחייבת היערכות לניטור וניהול חכם של רשת החשמל. לניהול חכם כזה יהיו יתרונות בהיבט של אופטימיזציה של מערכת האנרגיה וזמינות האנרגיה בחירום, ולצד זאת גם סיכונים גוברים בהיבט הסייבר ותפעול המערכת.

במסגרת המענה הקונקרטי לביטחון תשתית החשמל, יש חשיבות מיוחדת לאימוץ מספר מענים עקרוניים הכרחיים:

1. אבטחת השליטה והבקרה על מערכת החשמל, הן ברמה הלאומית והן ברמות השונות של מערכת זו ושל כלל המערכות המזינות אותה, תוך התייחסות קפדנית לתלות ההדדית בין המערכות הרלוונטיות.
2. חיוני לוודא שיתוף פעולה ושילוביות מרבית בתוך מערכת החשמל, בין מרכיביה השונים ובינה לבין המערכות המשיקות.
3. דגש מיוחד יש לשים על שיתוף פעולה עם הקהילה, הלקוחות לסוגיהם וגורמי המענה הראשוני.
4. נדרשת מוכנות גבוהה, כלל מערכתית, בתחום ניהול הסיכונים, כאחד המענים החשובים לכל האיומים. בתחום חיוני זה ניכר פיגור של ממש, ולמעשה עדיין לא נקבע כיצד להגיע לניהול סיכונים נכון.⁸

להלן כמה קווים מנחים לטיפול מערכתי בממד הטכנולוגי-תפעולי-מערכתי:

1. אחת הבעיות הקריטיות של מערכת החשמל בישראל היא התלות הגוברת באספקת גז טבעי ובמערכת הולכת הגז. מערכת הייצור של החשמל בישראל תלויה כיום, במידה רבה, בצינור אחד המוביל את הגז. הפרעה באספקה סדירה של גז (או בתחליף הסולר) תהווה אתגר חמור למערכת הייצור.⁹
2. ביזור אתרי הייצור יכול לשפר את שרידות מערכת החשמל ולחזק את ממד הביטחון של המערכת בכללותה. באופן קונקרטי, יש לקבוע רגולציה שתתמוך בייצור מבוזר של חשמל, כדי לאפשר יכולת ייצור מקומית גם בעת אסון טבע או אירוע חירום, או בהיעדר מתח רשת. רשת מבוזרת (Distributed Power) עושה שימוש יעיל במשאבי רשת החשמל ומפחיתה משמעותית את ההשפעה של התרחשות אסון טבע או אירוע חירום, עד לצמצוםם לאירוע מקומי.
3. בעולם של אמצעי ייצור מבוססי דלקים פוסיליים, כגון גז, פחם, סולר ומזוט, יש לאנרגיה המתחדשת תפקיד חשוב בגיוון מקורות הייצור ובביזור אתרי הייצור. ניהול מערכת חשמל המחוברת לאתרים של אנרגיה סולארית, אנרגיית רוח ואגירה שאובה, יכול לשפר את שרידותה ולחזק את ממד הביטחון של מערכת החשמל בכללותה. על כן, ההמלצה היא לקדם ולהאיץ את פיתוחן של האנרגיות המתחדשות בישראל. כמו כן, יש לשנות את הרגולציה הנוכחית, שאינה מאפשרת למערכות פוטו-וולטאיות ביתיות קטנות לייצר חשמל בהיעדר מתח רשת.
4. ההסדרה הנוכחית של מתקני אגירה שאובה קובעת מכסה בהיקף כולל של 800 מגה-ואט. בשנים שחלפו מאז נקבעה ההסדרה גדל סך ההספק המותקן, ובנוסף לכך גדל מאוד היקף מתקני הייצור מאנרגיות מתחדשות, המחייבים יכולת אגירה. נראה כי יש מקום להרחבת המכסה המוקצית למתקני ייצור באגירה שאובה, הן בשל מוגנותם הגבוהה מפני איומים שונים, הן בשל הגידול בסך ההספק המותקן והן בשל תרומתם להרחבת היכולת להקים מתקני ייצור חשמל באנרגיה מתחדשת.
5. פוטנציאל האיום של הדופק האלקטרו-מגנטי מחד גיסא והעלות הנמוכה יחסית של ההתגוננות מפניו מאידך גיסא מצדיקים הקצאה דחופה של המקורות הכספיים הדרושים לבחינה יסודית, לקראת היערכות הולמת בנושא זה.
6. דיון בשאלת הטמנתן של רשתות חשמל חייב לכלול גם את השיקול של תרומת ההטמנה לביטחון המערכת ועמידותה בפני פגעי מזג אוויר והתקפות טילים ורקטות. שיקול זה נעדר כיום מהדיון בסוגיה זו.
7. כחלק מהמאמץ לשיפור יכולות חיזוי מזג האוויר, יש לייחד מאמץ ותקציבים גם להערכה טובה יותר של תופעות מזג אוויר שהן בעלות פוטנציאל לפגיעה בתשתיות החשמל.

8. מן הראוי לבצע מיפוי של המחסור באמצעי עבירות, כולל הערכת עלות ההצטיידות באמצעים כאלה. זאת, תוך בחינת הקשר בין עלות וישימות החלופה של הצטיידות עצמית של חברת החשמל ובין החלופה של שימוש באמצעים של מערכת הביטחון. כבר כיום יש התחלות חשובות של לא מעט תהליכים ראויים לבניית מענה מערכתי משולב הולם לסיכונים הביטחוניים והבטיחותיים של מערכת החשמל. חיוני לגבש תהליכים אלה ולהאיץ באמצעות יוזמה כוללת ומשותפת לממשלה ולתעשייה, העלאת המודעות, דיון ציבורי, קבלת החלטות ברמה הממלכתית, תכנון מערכתי ויישום מבוקר.

פרק 1

האיומים על מערכת החשמל ומשמעויותיהם

רקע

ההבחנה המסורתית בין אסונות טבע ובין מצבי חירום מעשי ידי אדם מעוררת שאלות רבות במציאות המודרנית. בתוך כך ניתן לשאול האם פגיעה במבנים ובתשתיות שונות, כולל במערכת החשמל, כתוצאה מהתרחשותה של רעידת אדמה הרסנית, צריכה להיות מסווגת כ"אסון טבע" או כ"אסון מעשה ידי אדם". התשובה הרווחת כיום נוטה לייחס מידה רבה של אחריות לפרטים, לארגונים השונים ולמוסדות ממשל, שכן אלה "לא נערכו", "לא מנעו", ו"לא צפו" את התרחשותו של התסריט שהתקיים הלכה למעשה, וגם לא עשו את הנדרש כדי למנוע את הנזקים בגוף ובנפש הנובעים ממנו.

הטכנולוגיה המודרנית מאפשרת להתכונן כיום בצורה טובה מאי פעם להתמודדות עם גורמי הסיכון השונים, הן בהקשר של מניעה והן בהקשר של טיפול לאחר מעשה. בהקשר זה יש מקום לשאול מהם סדרי העדיפויות והקצאת המשאבים ברמה הארגונית, המקומית והלאומית לצורך טיפול בגורמי סיכון אלה לשאלה זו אין תשובה מדעית צרופה; היא מערבת באופן מובהק ערכים, אמונות, חוויות מן העבר ואינטרסים מסוגים שונים של גורמים מגוונים. דעות שונות שוררות בקרב מקבלי ההחלטות, אנשי המקצוע והציבור הרחב בסוגיות אלו, שהן דינמיות במהותן, וזאת כתוצאה ממגוון השפעות, תהליכים, מאורעות והפרשנות המוענקת להם.

נדמה כי מוסכם כמעט על הכול שאין היתכנות כלכלית ופוליטית להשיג מוכנות מלאה לאסונות, שכן הדבר יבוא בהכרח על חשבון צרכים אחרים, חשובים מאוד גם הם. יחד עם זאת, גוברת ההכרה בכך שגם הפתרון של "לטמון את הראש בחול" ו"לקוות לטוב", או "לקוות שלי זה לא יקרה" ו"שהדבר" לא יקרה בתקופתי", אינו מהווה אופציה ריאלית. לפיכך, נדרש איזון מושכל ודינמי, אשר ייקבע מעת לעת בהתאם לניתוח השינויים (ככל שקיים מידע בנדון) בגורמי הסיכון. רצוי שאיזון זה ייווצר באמצעות אזמל ולא באמצעות "מכת גרזן" שרירותית. נראה כי חברת החשמל אכן חותרת להיערכות מושכלת בתחומים שעליהם היא מופקדת, הן מול מלחמה והן

מול רעידת אדמה.¹⁰

באופן כללי, הן אסונות טבע והן מצבי חירום שנגרמו בידי אדם מהווים אתגר שאינו רק מקומי אלא גלובלי, מורכב, מתמשך ורב־ממדי.¹¹ על פי נתוני הבנק העולמי,¹² ישנה מגמה מתמשכת של עלייה בהיקף הנזקים בגוף ובנפש כתוצאה מאסונות. אסונות הטבע גרמו בין השנים 1980–2011 למותם של למעלה מ־2.5 מיליון בני אדם ברחבי העולם ולנזק כלכלי המוערך ביותר מ־3.5 טריליון דולר. העיור המואץ והפיתוח הכלכלי המוגבר באזורים הנמצאים בסיכון לאסונות טבע מגבירים באופן מתמשך את החשיפה לאסונות פוטנציאליים ואת התלות באספקה סדירה של אנרגיה. השפעות שינויי האקלים מגבירות את הסיכונים ביתר שאת. בנוסף לאסונות הטבע ואסונות טכנולוגיים, ישנו האיום הגלובלי והאזורי של הטרור. כמו כן, יש אזורים מסוימים בעולם, דוגמת המזרח התיכון, בהם אי־יציבות אזורית מתמשכת מובילה לסכסוכים אלימים ולמלחמות.

בנסיבות אלו יש חשיבות מיוחדת לבחון את המשמעויות והשלכות של סיכונים אלה על התשתיות הלאומיות הקריטיות, שללא הגנה נמשכת ואיתנה עליהן לא ניתן לנהל בימינו חיים נורמליים וברציפות תפקודית סבירה. הנושא המכריע בהקשר זה הוא התלות ההדדית של התשתיות החיוניות בין לבין עצמן, ובמרכזן תעשיית החשמל, המהווה מכלול קריטי בכל מאמץ לאומי או בין־לאומי להגנה על המערכות מפני האיומים השונים.¹³ זו הסיבה מדוע ביטחון מערכת החשמל הפך למרכזי כל כך בחקר אסונות המוניים ברמה הבין־לאומית, כאשר ארצות הברית, למודת ההפרעות, התלויה מאוד באספקת חשמל סדירה, מובילה את הלמידה והמחקר.¹⁴ בישראל יש התחלות מעטות של עיסוק אקדמי ואחר בסוגיה חיונית זו.¹⁵

האיום הקינטי: טילים ורקטות

מלחמות ועימותים צבאיים עם גורמים יריבים אינם נדירים בישראל, ובמסגרתם נפגעת גם האוכלוסייה האזרחית של המדינה.¹⁶ הסיכון הפוטנציאלי לתשתיות של ישראל, כולל מערכת החשמל, ילך ויגבר עם השנים בשל שיפור יכולת הדיוק של הטילים המצויים בידי הגורמים היריבים¹⁷ והגידול במאגר הטילים שמחזיק האויב. אחת התזכורות האחרונות למקור סיכון זה הייתה מלחמת לבנון השנייה והעימות עם חזבאללה בקיץ 2006.¹⁸ מוקד העימות בשנים האחרונות הוא עם חמאס ברצועת עזה, שהתבטא בסבבי לחימה בחורף 2008–2009 (מבצע "עופרת יצוקה"), בנובמבר 2012 (מבצע "עמוד ענן") ובקיץ 2014 (מבצע "צוק איתן").

אמירתו של ראש אגף המודיעין בצה"ל, אלוף אביב כוכבי, בהרצאתו בכנס השנתי הבין־לאומי של המכון למחקרי ביטחון לאומי ב־29 בינואר 2014, על כך שכ־200,000 טילים ורקטות מאיימים על ישראל,¹⁹ מהווה נקודת התייחסות ראויה לדיון במשמעויותיו הפוטנציאליות של איום זה על מדינת ישראל. נראה כי אין חולק על כך שהדיוק הגובר

של הטילים הנמצאים בידי חזבאללה, ואלה שסביר להניח שיימצאו בידי חמאס (שלא להזכיר את סוריה ואיראן), עלול לגרום לכך שהפגיעות באוכלוסייה האזרחית ובמגוון התשתיות בישראל יהיו מסוכנות יותר.²⁰

חשוב להדגיש בהקשר זה כי רוב מאגרי הנשק תלול המסלול המצוי בידי אויביה של ישראל כוללים רקטות סטטיסטיות שאינן מונחות ואינן מדויקות ושטווח הפגיעה שלהן מצומצם ופחות משמונים ק"מ. לפיכך, רקטות אלו יוכלו לפגוע בעיקר בדרומה או בצפונה של המדינה. יחד עם זאת, יש בידי יריבי ישראל כמות משמעותית של טילים בעלי דיוק וטווח גבוהים. איום הייחוס המשמעותי והמידי העיקרי הוא עדיין של חזבאללה. המדובר בצירוף משמעותי של יכולות כמותיות, ושל יכולות דיוק מונחה וראש קרבי גדול יחסית. יכולות אלו עלולות למצוא ביטוי בשיעור סיכון גבוה ברמה שלא הוכרה במקומותינו, שיתבטא בעיקר במטחים רחבי היקף, מכוונים לעבר מטרה אסטרטגית אחת (כמו עיר מרכזית, או מתקנים חיוניים כמו במפרץ חיפה), או לעבר מספר מצומצם של מטרות מועדפות, וזאת בטווח זמן קצר. מטחים כאלה עלולים להסב נזקים משמעותיים בנפש וברכוש גם במתקני תשתית חיוניים, כולל מתקני מערכת החשמל.

מול אלה חשוב להזכיר את מערכות ההגנה האקטיבית של ישראל: המערכות הקיימות "כיפת ברזל" ו"חץ" והמערכות הנמצאות בפיתוח מואץ – "שרביט קסמים" ו"קרן ברזל".²¹ מערכות אלו תורמות לצמצום משמעותי ביכולת הפגיעה של הטילים והרקטות באוכלוסייה האזרחית ובתשתיות של ישראל, אולם סדר הכוחות הנוכחי של מערכות ההגנה האקטיבית לא יספיק מול תרחישים אפשריים של עימות עם חזבאללה. במצב כזה מתעוררת במלוא חריפותה הדילמה, האם מוטב לעשות שימוש במערכות הקיימות, הבלתי מספקות, כדי להגן על ריכוזי אוכלוסייה, או שמא להשתמש בהן כדי להגן על בסיסי צה"ל, ובעיקר על בסיסי חיל האוויר, וגם על מתקני התשתית החיוניים באותה שעה? עד כה לא עמדה ישראל בפני איום מסוג כזה, אולם עליה להיערך מולו ובזמן קצר. ההחרפה בנוקיי מבצע "צוק איתן",²² שהתבטאה בעיקר במשך הזמן הארוך מאוד של העימות, מהווה עדות נוספת למוגבלות המובנית של כל הערכה באשר לאיום, לכוונות ולדרכי הפעולה של הגורמים השונים במזרח התיכון, המסוכסך והמשתנה לעיתים כה תדירות.

תקיפה מסיבית אפשרית של טילים, גם מדויקים, על מתקני הייצור, ההולכה וההשנאה של מערכת החשמל אינה מביאה בהכרח להפרעה מתמשכת באספקת חשמל, גם אם יש לקחת אפשרות זו כסיכון משמעותי המחייב התייחסות. כך, למשל, קבע אלוף (מיל') גיורא איילנד, לשעבר ראש המטה לביטחון לאומי של משרד ראש הממשלה, כי קיים תרחיש לפיו פגיעת טילים בתחנת הכוח בחדרה עלולה להשאיר את ישראל ללא חשמל לעד חצי שנה (!).²³ איילנד הוסיף כי מתקנים רגישים רבים אינם

מוגנים לשעת מלחמה וכי משרדי הממשלה מגלגלים את האחריות התקציבית לטיפול בסוגיה זו האחד לשני. לדבריו, "לא רק שלא משקיעים בזה גרוש, אלא שהדיון בשאלה מי יקבע – עדיין לא התחיל". ואכן לא הייתה, לפחות אז, הסכמה בשאלה מי יתקצב את מיגון מתקני החשמל. התפיסה הגורסת כי התקציב יושת על המפעלים החיוניים עצמם נראית כבלתי ריאלי, כפי שהתברר לגבי שאלת המיגון של מתקני הגז הטבעי בים התיכון. שאלה זו מחייבת התייחסות רצינית, שתכלול את הערכת הנזק הצפוי למשק מפגיעה משמעותית באספקת החשמל ומהפסקה ארוכה בה.

אסונות טבע ושינוי אקלים

האתגר המשמעותי ביותר בתחום אסונות הטבע העלול לעמוד בפני מדינת ישראל היא רעידת אדמה הרסנית, במיוחד אם תהיה מלווה בגלי צונאמי. ישראל עלולה להיות חשופה לפגעי טבע נוספים, כתוצאה מהשפעה של שינויי אקלים, כמו סופת השלג שאירעה בדצמבר 2013, וכן מקרים של עומס חום כבד. הקושי והמורכבות של הפסקת חשמל במשך מספר ימים לתושבים רבים הם ברורים, אך אין מדובר בהכרח במצב חירום לאומי ברמה ארצית. מצב חירום כזה עלול לנבוע מרעידת אדמה הרסנית. המגמה הכלל עולמית המתמשכת של שינוי אקלים והתחממות כדור הארץ עלולה להוביל להחרפת תדירותם ועוצמתם של אירועי מזג אוויר קיצוניים, גם בישראל. שינויים אלה עלולים להוביל לפגיעה משמעותית ברווחת התושבים, במערכות הטבעיות ובמערכות הכלכליות של המדינה. אירועי מזג אוויר קיצוניים צפויים לעלות משמעותית את הדרישה והצריכה של אנרגיה, וקיים בהם גם סיכון משמעותי לפגיעה חמורה בתשתיות, כולל במערכת החשמל. זאת, כתוצאה משיטפונות, הצפות, סערות ועלייה צפויה של מפלס הים.²⁴

רעידת אדמה הרסנית

רעידת אדמה הרסנית עלולה לגרום למצב חירום רחב היקף ברמה הלאומית. רעידה כזו עלולה להביא בעקבותיה, מלבד גלי צונאמי, גם אסונות טכנולוגיים נוספים ולפגוע בתשתיות רבות. בשטחה של מדינת ישראל עובר בקע ים המלח (השבר הסורי-אפריקאי), אשר מפריד בין הלוח הטקטוני הערבי לבין הלוח האפריקאי.²⁵ בקע זה מאופיין כפעיל ביותר מבחינה סיסמית.²⁶ עיתוין, מיקומן ועוצמתן של רעידות אדמה אינם ניתנים כיום לחיזוי באמצעים מתחום הסיסמולוגיה והגיאופיזיקה. רעידת האדמה ההרסנית האחרונה בשטחה של ארץ ישראל התרחשה בשנת 1927. בספרות המחקרית שוררת הסכמה כי לפחות במהלך מאות השנים האחרונות, רעידות אדמה הרסניות התרחשו בערך כל שמונים עד מאה שנים.²⁷

מכיוון שאין אפשרות לחזות את עיתוי רעידת האדמה ההרסנית, את האזורים המדויקים שייפגעו בעקבותיה ואת היקפי הפגיעה, ממשלת ישראל נקטה לאורך השנים גישות שונות לקביעת "התסריט הצפוי" של רעידת אדמה כזו, שלאורו אמורים הגופים השונים לנתח את מכלול המשמעויות להיערכות הרלוונטית בתחום פעילותם. בשנת 2004 נקבע תרחיש ייחוס מחמיר, שנועד לשקף את מכלול משמעויותיה האפשריות של רעידת אדמה הרסנית.²⁸ בשנת 2012 אימצה הממשלה גישה שונה, הגורסת כי לא ניתן לבחור בתרחיש מסוים אחד וייתכנו תרחישים רבים. עם זאת, לצורך ההיערכות של הגורמים השונים במשק הוטבע מושג חדש – "מסגרת ההיערכות לאירוע שההסתברות להתרחשותו הינה חמישה אחוזים בתקופה של חמישים שנה" – אשר אומץ על ידי הממשלה. מסגרת זו קובעת, בין היתר, כי יש להיערך למצב שבו רעידת אדמה הרסנית עלולה לגרום להרג של 7,000 איש, לפציעה בינונית או קשה של 8,600 ולפציעה קלה של 37,000. כן צפוי ש-28,600 בניינים ייהרסו כליל או שייגרם להם נזק כבד, וכתוצאה מכך יהיו 170,000 עקורים חסרי קורת גג.²⁹

אין ספק כי רעידת אדמה הרסנית עלולה להציב בפני מדינת ישראל אתגר מורכב ורב-ממדי שהיא טרם התנסתה בו, הטומן בחובו, לצד האתגרים המעשיים הברורים, גם אתגרים תודעתיים – מרמת הפרט, דרך רמות המשפחה, הקהילה והארגון ועד רמת המדינה.³⁰ הנחת העבודה של הוועדה הבין-משרדית להיערכות לרעידות אדמה קובעת, בין השאר, כי "צפויים פערים גדולים מאוד ביכולת מתן שירות לאוכלוסייה בכל התחומים. בלתי אפשרי לגשר על פערים אלה בשיטות פעולה שגרתיות. יש לשנות תפיסת הפעלה, יש לקבוע רמות שירות (סטנדרטים) נחותות מהמקובל ברגיעה או במלחמה".³¹ לא ידוע אם הנחייה זו מולאה בשלמותה על ידי הגופים המוסמכים לטפל באספקת החשמל בישראל במקרה של רעידת אדמה.

רעידת אדמה עלולה להיות מלווה בהרס משמעותי של תשתיות חשמל, שישאיר מאות אלפים ללא חשמל לתקופה ארוכה, גם אם בתיהם לא ייהרסו וניתן יהיה להתגורר בהם. קיים תקן ישראלי 32,413 העוסק בתכן עמידות מבנים ברעידות אדמה. החלק השני של תקן זה קובע דרישות כלליות לעמידות מבנים הנדסיים ברעידות אדמה. הדרישות המובאות בתקן ובחלקי המשנה שלו חלות על מבנים הנדסיים שקיימת בהם מערכת מבנית עצמאית ושאינם בניינים, גשרי דרך, גשרי רכבת, סכרים, כורים גרעיניים או אסדות ימות. חלק משנה 2.1 של התקן עוסק במערכות מדפי אחסון מפלדה; חלק משנה 2.2 עוסק במכלים על הקרקע לאחסון נוזלים; חלק משנה 2.3 עוסק במכלים מוגבהים לנוזלים ולגזים; חלק משנה 2.4 עוסק בצנרת על-קרקעית במתקני תעשייה. תקנים אלה אינם רשמיים וישנם עדיין מתקני חשמל רבים שאינם עומדים בתקנים שפורסמו.

להלן תמצית הערכת נזקים לתשתיות בתחום החשמל כתוצאה מרעידת אדמה שתרחש בצפון המדינה, באזור השבר הסורי-אפריקאי.³³ תשתיות ייצור החשמל העיקריות באזור הצפון הצפויות להיפגע במקרה זה הן תחנות הכוח הקיטוריות בחיפה ובחדרה וטורבינות הגז בתחנות חגית, אלון תבור וקיסריה:

1. תחנת הכוח בחיפה היא תחנה קיטורית, ישנה יחסית, הממוקמת קרוב לנמל. עוצמת הרעש שהתחנה תספוג גבוהה יחסית, ולכן אנו מניחים שהיא תסבול מנזקים משמעותיים, שימנעו ממנה לייצר חשמל למשך מספר חודשים. תחנת הכוח בחדרה מרוחקת יחסית ממוקד הרעש. על פי הערכות המכון הגיאורפיסי, העוצמה (intensity) באזור התחנה תהיה 7 בסולם ריכטר, ורוב מרכיביה אמורים לעמוד ברעידת אדמה בעוצמה כזו, ואף בעוצמה גבוהה יותר. לפיכך, ההנחה היא שגם אם התחנה בחדרה תינזק, היא תוכל להמשיך לייצר חשמל תוך שעות עד ימים ספורים.

2. עוצמת הרעש בטורבינות הגז באלון תבור, בחגית ובקיסריה צפויה להיות 8 בסולם ריכטר. תחנות אלו אמורות לעמוד ברעש בעוצמות ברמה כזו. ההנחה היא שייגרמו בהן נזקים שישביתו את הטורבינות למספר ימים עד שבועות ספורים, אך רובם לא יהיו ברכיבים שעשויים להשבית את פעילות הטורבינה לתקופה ארוכה (שבועות רבים עד חודשים).

תחנות המשנה (תחמ"שים) ותחנות מיתוג (תחמ"גים) עיקריות באזור הרעש הצפוי נמצאות במקומות הבאים:

1. תחמ"ש זבולון (קרוב מאוד למוקד הרעש).
2. 11 תחמ"שים / תחמ"גים בחיפה ובקריות.
3. 15 תחמ"שים / תחמ"גים נוספים ברדיוס שלוש ק"מ ממוקד הרעש.

קו ה-400 קילו־וולט באזור הצפון עובר בין צומת יגור (תחמ"ש זבולון), יוקנעם, טורגו חגית ותחמ"ש קיסריה (בסך הכל כארבעים ק"מ בקטע זה). מתחמ"ש קיסריה מתפצל הקו לתחנת הכוח בחדרה ולכיוון מרכז הארץ. פרט לקו ה-400 קילו וולט, יש כ-300 עד 350 ק"מ של קווי מתח עליון (161 קילו־וולט) ברדיוס של שלושים ק"מ סביב מוקד הרעש, ובנוסף לכך פרוסים קווי מתח גבוה באורך מאות ק"מ לכל אורך ורוחב האזור. ככלל, קווי חשמל הם בעלי עמידות גבוהה יחסית לרעידות אדמה, שכן הן לעמודים והן לקווים עצמם יש מרווח מסוים לנוע (בין היתר לצורך עמידה ברוחות חזקות), כך שתזוזות שלהם עקב רעידת אדמה אינן צפויות לגרום לנפילת העמודים או לקריעת הקווים. עיקר הנזקים לקווי חשמל צפויים להיגרם בשני אופנים: נפילת עמודי חשמל עקב גלישת קרקע, למשל בשיפולי הכרמל, וכן קריעת קווים עקב נפילת עצמים

חיצוניים עליהם. הנזק העיקרי צפוי להיגרם לקווי החלוקה, שעוברים בתוך הישובים ובין המבנים.

תרחיש הייחוס של רעידות אדמה שאומץ על ידי ממשלת ישראל כולל את המרכיבים הבאים:

1. השבתת תחנת הכוח בחיפה למספר חודשים.
 2. נזקים לטורבינות הגז בחגית, באלון תבור ובקיסריה, שיגרמו להשבתת כל אחת מהן למספר ימים עד מספר שבועות.
 3. נפילת ארבעה עמודי קו 400 קילו-וולט בין תחמ"ש זבולון לאזור יוקנעם, ועוד שני עמודי קו 400 קילו-וולט בין יוקנעם לתחמ"ש קיסריה.
 4. נזקים כבדים מאוד לתחמ"ש זבולון (מבנה וציוד), שישביתו אותו למספר חודשים.
 5. נזקים כבדים לציוד בתחמ"ש אחד ובתחמ"ג אחד בחיפה שישביתו כל אחד מהם למספר שבועות, ונזקים שונים לציוד בעוד שלושה תחמ"שים ושלושה תחמ"גים ברדיוס שלושים ק"מ ממוקד הרעש, שישביתו כל אחד מהם למספר ימים.
 6. נפילת עשרה עמודי מתח עליון על שיפולי הכרמל ועוד עשרה עמודי מתח עליון ברדיוס שלושים ק"מ ממיגור, וקריעת הקווים שעוברים עליהם.
 7. קריעת כמאה קווי מתח גבוה בתוך העיר חיפה, חמישים קווי מתח גבוה בקריות וחמישים קווי מתח גבוה ביישובים שבין חיפה לנצרת.
 8. קריעת עוד עשרים קווי מתח גבוה באזור הגליל התחתון ועמק זבולון ועוד שלושים קווי מתח גבוה באזור שבין חיפה לתל אביב.
- יצוין כי חלק מאספקת הסולר לטורבינות הגז נעשית בקווי צנרת. חלק מקווי צנרת אלה צפויים להיפגע ברעידת אדמה, כך שאספקת הדלק לטורבינות הגז – גם לאלו שלא יפגעו – עשויה להשתבש.

שינוי אקלים

שינוי אקלים בעקבות ההתחממות הגלובלית צפוי להשפיע על מערכות אקלימיות, סביבתיות, חברתיות, כלכליות וגיאו-פוליטיות, הן בצורה מצטברת והן בשל אירועי קיצון. בדוח ההערכה החמישי של "הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי אקלים" (IPCC)³⁴ נקבע כי ההתחממות של מערכות אקלימיות היא חד-משמעית. עוד דווח כי מאז 1950 נצפו אירועים שלא התרחשו במאות קודמות: האטמוספירה והאוקיאנוסים התחממו, כמויות השלג פחתו, גובה פני הים עלה, וריכוזי גזי החממה עלו. כל אחד משלושת העשורים האחרונים היה חם יותר על פני כדור הארץ מאשר עשורים קודמים מאז שנת 1850. בחצי הכדור הצפוני, שלושים השנים שבין 1983 ל-2012 היו חמות יותר מאשר 1,400 השנים שקדמו להן. מאז אמצע המאה ה-19, מפלס פני הים עלה במהירות גדולה יותר מהקצב הממוצע באלפיים השנים האחרונות. ההשפעה האנושית על האקלים

ברורה: יש עובדות חד־משמעיות המצביעות על עלייה ברמת הריכוז של גזי החממה באטמוספירה. לפי כל תרחישי החיזוי, הטמפרטורה על פני כדור הארץ צפויה לעלות עד סוף המאה ה־21 ביותר מ־ 1.5°C ביחס לתקופה 1850–1900, וייתכן אפילו ביותר מ־ 2°C (לפי חלק מתרחישי החיזוי). העלייה בטמפרטורות צפויה להימשך מעבר לשנת 2100. ההשפעות של שינוי האקלים לא צפויות להיות אחידות על פני הגלובוס. ניכרים הבדלים חדים בממטרים בין אזורים לחים ליבשים ובין עונות רטובות ליבשות.

בסקירות שחוברו על ידי חוקרי מרכז הידע לשינוי אקלים³⁵ דווח כי שינויי הטמפרטורה בישראל בעשורים האחרונים מצביעים על מגמת ירידה של הטמפרטורות (מינימום, מקסימום וממוצע) משנות החמישים עד שנות השבעים של המאה הקודמת, ומאז – על מגמת עלייה עד תחילת שנות האלפיים ועל יציבות בעשור האחרון. יש לציין כי הטמפרטורות בעשור האחרון הן הגבוהות ביותר אף בהשוואה לאלו של שנות החמישים של המאה הקודמת. תרחישים גלובליים (שטרם בוססו אמפירית) חוזים המשך עליית הטמפרטורות בישראל בשיעור ממוצע של $0.3\text{--}0.5^{\circ}\text{C}$ לעשור (בהתאם לעונה ולמיקום). בנוסף למגמות אלו קיימת מגמה של הגברת אי־הוודאות של משטר הטמפרטורות. עוד נמצא כי ברוב הפרמטרים שנסקרו (משטר טמפרטורות, משטר הגשם, אירועי מזג אוויר קיצוניים כמו גלי חום וריכוזי מזהמים) קיימים תרחישים להחמרה, כגון: עלייה בטמפרטורות, ירידה בכמות המשקעים ועלייה בשכיחות ובעוצמה של סוגים מסוימים של מזג אוויר קיצוני. חשוב להדגיש שלא כל המגמות נמצאו מובהקות סטטיסטית. עם זאת, המשמעות היא כי אם תרחישים אלה יתממשו, עלולה להיות להם השפעה על תחומים גיא־אסטרטגיים שונים, ובכלל זה על משק המים, החקלאות והמזון, בריאות הציבור, שמירת החופים, האנרגיה והמערכות האקולוגיות. מחקרים רבים, כולל דוח של "הפאנל הבין־ממשלתי לשינוי אקלים", מצביעים על ההשפעות השונות של שינויי אקלים על לחצים חברתיים־כלכליים ודמוגרפיים, ועל סכסוכים אזוריים, כולל סוגיות של הגירה והשלכותיהן.³⁶

רמות הפגיעות והחשיפה של האוכלוסייה לאיומי שינוי האקלים מאופיינות, באופן לא מפתיע, בשונות גבוהה. תנאים ויכולות חברתיות־כלכליות, קירבת מגורים ונכסים ליערות, קירבת מגורים לחופים או לנחלים, היעדר ניקוז או כשלים בתחזוקתו, אמצעי היערכות מוגבלים – כל אלה מעמידים גורמים לאוכלוסיות רבות להיות חשופות ופגיעות. מפגעים הקשורים באקלים מהווים נטל נוסף על אוכלוסיות פגיעות אלו, ובעיקר על אנשים שחיים בעוני, ואף פועלים כמכפלת איום עם השפעות שליליות על חייהם. קיימת הסכמה רחבה בקרב מומחים כי יש לצפות אפילו לעימותים אלימים בקרב אנשים החיים באזורים המושפעים משינויים אקלימיים. יש לקחת בחשבון שאיום כזה עשוי להתעורר בתרחישים שונים גם בסביבתנו.

צונאמי

המידע על אירועי צונאמי שפקדו את חופי ישראל הינו מצומצם, דבר המקשה על הערכת הסיכון העתידי של תופעה זו. על פי עבודה שהוכנה במכון הגיאולוגי הישראלי,³⁷ הסיסמו-טקטוניים של הקשת היוונית והקפריסאית הוגדרו כמקורות העיקריים לרעידות אדמה מחוללות צונאמי בחופו המזרחי של הים התיכון. בחינה של תרחישי צונאמי כתוצאה מרעידות אדמה באזורים רחוקים יותר, כמו דרום איטליה ושולי היבשת בצפון-מערב אפריקה, מעלה שהם אינם מהווים איום חמור על חופי הארץ. לפי אותה עבודה, סיכון משמעותי טמון גם ברעידות אדמה שמקורן במערכת העתקי ים המלח. הסיכון באירועים כאלה נובע מיכולתן של רעידות כאלו לגרום בעקיפין לגלישות תת-ימיות גדולות במדרון היבשת במזרח הים התיכון, אשר יגרמו לצונאמי מול החוף הישראלי. למעשה, קרוב לשמונים אחוזים מכלל אירועי הצונאמי ההיסטוריים בארץ ישראל התרחשו במתווה דומה.

העבודה של המכון הגיאולוגי, שקבעה בין היתר את השטחים המועדים להצפה כתוצאה מתרחיש נתון, קובעת כי קיימת גמישות רבה בתהליך בחירת הפרמטרים של הגורם לצונאמי – הקובע את חומרתו של התרחיש. מקרה הצונאמי באוקיאנוס ההודי ב-2004, אשר היה חמור במידה ניכרת מההערכות שקדמו לו, המחיש את החשיבות בגישה שמרנית לצורך הערכת הסיכון. בהיעדר נתוני אמת בים התיכון, נדרש שיקול דעת בבניית התרחישים השמרניים, דבר הגורם לכך שמפות הסיכון יתבססו על מערכת של תרחישים חמורים יחסית.

במאי 2011 התקיים יום עיון בנושא היערכות ישראל לאירועי צונאמי. במסגרת יום זה הוצגה הערכה ראשונית של חברת החשמל על נזקים אפשריים למתקניה כתוצאה מאירוע צונאמי.³⁸

לתופעה הגלובלית של שינויי האקלים, כפי שנסקרה כאן, השפעות ישירות ועקיפות על מידת העמידות של מערכות התשתית הקריטית גם במדינת ישראל, כולל אלו של מערכת אספקת החשמל. כל תכנון מערכתי של חיזוק הביטחון של מערכת החשמל והעצמת יכולתה לעמוד במפגעים מהטבע, חייבים להתבסס גם על ההבנה כי שינויי האקלים מהווים מרכיב מרכזי בשרידות המערכות, ולכן מחייבים מענה הולם גם בהקשר רחב זה.

איומי סייבר

הגדרות, מאפיינים ומגמות

איום הסייבר הפך בשנים האחרונות לבעיה גלובלית. ההבנה כי הפגיעה ברשת המחשבים עלולה לגרום לנזק כבד, ואף לשבש ולשתק מדינה, הביאה לניסיון למצוא נוסחה אחידה המוסכמת על מדינות המערב להתמודדות עם איומי הסייבר, ובכלל

זה באשר לאופן שבו ניתן או מותר להתגונן או לתקוף. אחד המסמכים הידועים בתחום זה (שטרם קיבל את אישורו של נאט"ו), הינו "מדריך טאלין" (The Tallinn Manual),³⁹ הכולל רשימה של כללים העוסקים בהיבטים של תקיפות סייבר, וכן דברי פרשנות לכללים אלה.

הסייבר ימשיך להוות בעתיד הנראה לעין תחום מוביל בלחימה הן של מדינות והן של ארגוני טרור. הסתמכות העולם המודרני על רשתות מחשבים המחוברות לאינטרנט מאיצה את המגמות של שכלול ופיתוח יכולות תקיפה אל מול המאמצים האדירים שמושקעים בהגנה. ככל שיחלוף הזמן, המרחב הקיברנטי יהיה מרחב דומיננטי בהתמודדות עם מדינות קיצוניות וארגוני טרור.⁴⁰

איום הסייבר על מדינת ישראל

איום הסייבר על מדינת ישראל הפך בעשור האחרון לאיום ממשי ומתמשך.⁴¹ החלטות ממשלת ישראל על הקמת המטה הקיברנטי הלאומי,⁴² לצד הקמה של קריית סייבר בבאר שבע⁴³ ותמיכה תקציבית בגופים ממלכתיים שונים, דוגמת רא"ם (הרשות הממלכתית לאבטחת מידע בשירות הביטחון הכללי), מעידות על הבנה ועשייה בתחום התכנון האסטרטגי ארוך הטווח לפיתוח טכנולוגיות והון אנושי להגנה על המרחב הקיברנטי של המדינה.

קידום ההיערכות הלאומית להגנת הסייבר⁴⁴ וקידום הסדרה לאומית והובלה ממשלתית בהגנת הסייבר⁴⁵ היו שתי החלטות משמעותיות להגברת מוכנותה והתמודדותה של מדינת ישראל בתחום הסייבר. משמעות הדבר הינה הבנה שאיום הסייבר הוא איום ממשי על ביטחונה וחוסנה של המדינה, וכי יש להקצות משאבים רבים, בהם תקציבים, כוח אדם וקידום רגולציות כדי להתמודד עם האתגרים העתידיים בתחום זה. ההתמודדות עם איומי הסייבר בישראל הפכה להיות חלק אינטגרלי במאבק הסמוי והגלוי עם מדינות אויב, ארגוני טרור⁴⁶ וארגוני פשיעה. שכלול היכולות במלחמה בלתי פוסקת זו הביא לכך שישראל הינה כיום אחת המדינות המובילות בתחום הגנת הסייבר ואבטחת המידע. עדות לכך הינה קיומן של חברות הזנק ישראליות רבות, דוגמת Cyber Ark, ו-Trustier, הזוכות למוניטין בין-לאומי.

בדומה למדינות אחרות בעולם, גם בישראל החשש המרכזי מבחינת איומי הסייבר נוגע לתשתיות הלאומיות הקריטיות. מדינות רבות מסתמכות כיום באופן כמעט מוחלט על מערכות תשתיות ממוחשבות, המשמשות את מערכות החיים החיוניות – מערכות החשמל, המים, הבנקים, התחבורה, התקשורת והבריאות. כל פגיעה בתשתיות אלו בישראל עלולה לגרום לנזק של מאות מיליוני שקלים, ובמקרים מסוימים אף לפגיעה בנפש.

איום הסייבר על מערכת החשמל במדינת ישראל

ההתפתחות המואצת של המרחב הקיברנטי, לצד המוטיבציה של מדינות אויב וארגוני טרור להסב פגיעה לישראל, מחזקות את ההנחה כי התשתיות הקריטיות והרגישות של המדינה, דוגמת מערכת החשמל, מהוות מטרה מרכזית להתקפות סייבר. איום הסייבר הפך בשנים האחרונות לבעיה מרכזית עבור חברת החשמל. חלק נכבד מן התקיפות מבוצעות על ידי מדינות שיש להן אינטרס לפגוע בישראל ובתשתיותיה הלאומיות, בהן איראן. במקביל, ישנם ארגוני טרור אנטי ישראליים, כגון חיזבאללה, המנסים לפגוע בתשתיות הקריטיות, ובהן מערכת החשמל.

שגרת ההתמודדות של חברת החשמל עם התקפות הסייבר משתנה בהתאם למצב המדיני באזור. כאשר ישנה התארגנות של קבוצות טרור ותומכיהן לפגוע במדינת ישראל בנקודת זמן מסוימת, מספר התקפות הסייבר על חברת החשמל עולה פי כמה לעומת תקופות "רגועות" יותר. עצימותן של התקפות הסייבר מגיעה לעיתים לממדים כאלה, עד שחברת החשמל נאלצת להתמודד עם כ-10,000 תקיפות מידי שעה. בשנת 2014 בלבד, מספר הניסיונות של תקיפת סייבר על מערכות החברה נע בין 183,000 ל-293,000 ביום ברוב חודשי השנה. בחודשים אוגוסט-ספטמבר 2014, במהלך מבצע "צוק איתן" ובחודש שאחריו, חלה עלייה משמעותית במספר ניסיונות התקיפה בסייבר, ומספרן זינק לכ-865,000 תקיפות ביום בממוצע (ממוצע של כ-36,000 ניסיונות בשעה).⁴⁷

סוגי האיומים ותקיפות הסייבר נגד חברת החשמל הם כדלקמן:

1. התקפות (Distributed Denial of Service) DDOS – מניעת שירות ממשתמשים לבצע פעולות במחשב עקב עומס על השרת.
2. השתלטות מרחוק (Back Door) – פירצה במחשב המאפשרת חיבור מרחוק, ודרכו מתאפשרת גישה למידע במחשב המותקף או במחשבים אחרים.
3. דיוג (Spear Phishing/Phishing) – גניבת מידע דרך התחזות ברשת האינטרנט.
4. וירוסים מסוגים שונים, דוגמת וירוסים המכוונים כלפי מערכות SCADA (בקררים תעשייתיים) המשמשות לשליטה ובקרה על מערכות החשמל.⁴⁸

תקיפות סייבר עלולות לגרום לנזקים שונים, כמו דליפת מידע מסווג מתוך החברה, דליפת מידע עסקי ונזק תדמיתי (defacing ועד מניעת שירות ללקוחות). זאת, למשל, על ידי שינוי המבנה הוויזואלי של אתר החברה, כמו הכנסת תמונות של דגלי ארגון טרור לתוכו.

בשנים האחרונות חלה עלייה משמעותית במודעות ובמוכנות של מדינות באירופה, ובמיוחד בארצות הברית, להתמודד עם התקפות סייבר על תשתיות קריטיות. האירוע המכונן היה אירוע "סטוקסנט" (Stuxnet), אשר גרם להשבתה של הכור הגרעיני באיראן ב-2010. אירוע זה חידד את תחושת המורכבות והקושי להגן מפני התקפות

סייבר, שחלקן מכוון לבקרי ה-SCADA.⁴⁹ הסיכון הרב הקיים באפשרות וביכולת של התקפות סייבר להשבית את אספקת החשמל לאזרחים ולמערכות קריטיות הביא את ארצות הברית להשקיע משאבים רבים לשיפור האבטחה של מערכות הבקרה. הקמת גוף רגולטורי, דוגמת NERC (North American Electric Reliability Corporation),⁵⁰ וכתבת תקנים ומסמכים, כגון NIPP (National Infrastructure Protection Plan) של המשרד לביטחון המולדת, נועדו לסייע למדינה להתמודד עם איומים הולכים וגוברים. ניתוח של איום הסייבר על המרחב האזרחי בישראל, כולל על התשתיות הקריטיות, נערך ב-2013 במסגרת תוכנית הסייבר של המכון למחקרי ביטחון לאומי. הניתוח היווה בסיס להמלצות מערכתיות בתחום הארגון של מערכות ההגנה האזרחיות, כולל מערכות של תשתיות קריטיות.⁵¹

בשנים האחרונות מתחוללים שינויים במערכת החשמל, המתאפיינים באוטומציה ובתשתית תקשורת מתקדמת – תשתיות חובה שבלעדיהן לא ניתן להקים, לקיים ולנהל רשת חשמל חכמה. מאפיינים אלה מגבירים את חשיפת מערכת החשמל להתקפות סייבר, במיוחד כאלו שיהיו מכוונות לתשתיות הרשת הקריטיות ולאמצעי הניהול המתקדמים של אספקת החשמל שיוטמעו בעתיד. מבחינה תיאורטית, תתאפשר אפילו גישה זדונית למתקן החשמל הפרטי הביתי. חברת החשמל תצטרך לתת את דעתה לפתרון שיהיה מאובטח ויאפשר ניהול מתקדם של רשת החשמל, תוך מתן מענה הולם, מתקדם ומעודכן להגנת רשת זו.

חשיפה נוספת שקיימת בחברת החשמל, כמו בארגונים גדולים אחרים, היא החשיפה ההולכת וגוברת לגניבת מידע סודי דרך מכשירים ניידים שנמצאים בשימוש עובדי החברה: טלפונים ניידים, מחשבים ניידים ומכשירים אחרים. החדירה למכשירים ניידים של עובדים בארגונים גדולים נעשית בדרך כלל באמצעות יישומים (אפליקציות) תמימים (כגון, משחק שהעובד "הוריד" למכשיר הנייד שלו). אז נפרצת אבטחת המידע של העובד, ו"סוס טרויאני" שהושתל דרך הפירצה במשחק אותה ניצל ההאקר, יוכל לשלוף את כל המידע הפרטי שהיה על המכשיר, כולל שמות אנשי קשר, דואר אלקטרוני ופריטים אחרים. ארגונים רבים בעולם עושים מאמצים גדולים לנסות להשתלט על הפירצה התמימה הזו, המסוכנת למשאבים מסוימים של הארגון.

הפתרונות הקיימים בשוק מתייחסים בעיקר לחדירות לא מורשות מן החוץ, ומספקים מענה משמעותי אך לא הרמטי. לעומת זאת, הסוגיה הנדונה כאן מתייחסת לחדירה שנוצרה בעקבות אישור המשתמש (כאמור, מתן הרשאות בהתקנת משחק) ועל מכשירו הפרטי. אין להקל ראש בחדירה למכשירו הפרטי של העובד. ההאקר יכול בקלות רבה יחסית:

1. לשלוף מידע פרטי המצוי במכשיר (סיסמאות, תמונות וכדומה).
2. לאתר את מיקום העובד על גבי מפה (ניצול נקודות תורפה בפריסה הגיאוגרפית).

3. להפעיל מרחוק בסתר את מיקרופון המכשיר ולהקליט את כל המתרחש בישיבות סגורות.
 4. להשתמש מרחוק במצלמת המכשיר כדי לצלם באמצעותה מתקנים סודיים, קודי גישה לכספות ולדלתות וכדומה.
 5. להצניע את קיום "הסוס הטרויאני", ואז להפעיל בבת אחת את כל "הסוסים" הנסתרים במספר גדול של מכשירים כדי לבצע מתקפה משולבת.
- סכנות אלו מחייבות נקיטת גישה מערכתית אשר תספק הגנה לפחות כל עוד המכשיר מחובר לרשת מבוקרת (רשת הסלולר או ה-WIFI בתוך הארגון). ההגנה חייבת להיות כזו שתזוהה פריצה באופן מיידי על סמך התנהגות רשתית חשודה (ולא זיהוי חתימת וירוס, כמקובל בתוכנות אנטי וירוס קונבנציונליות, זיהוי העלול לארוך לעתים עד 180 יום).

דופק אלקטרו-מגנטי (EMP)

הפרעות אלקטרו-מגנטיות מהוות איום על הפעילות השוטפת של מערכת החשמל בישראל. להפרעות אלו שני מקורות עיקריים: הראשון נובע ממוג אוויר חללי, המשפיע על השדה האלקטרו-מגנטי של כדור הארץ ויוצר דופק (המילה העברית לפולס) אלקטרו-מגנטי ארוך (המכונה E3); המקור השני הוא פעולה זדונית, מעשה אדם, אשר יכולה ליצור דופק אלקטרו-מגנטי ארוך (HEMP = High altitude EMP) בעזרת פיצוץ גרעיני בגובה רב או דופק אלקטרו-מגנטי קצר (E1), כתוצאה משימוש בנשק (IEMI), המייצר הפרעות אלקטרו-מגנטיות ברדיוס קטן.

הדוח הרשמי הראשון בנושא הפרעות אלקטרו-מגנטיות וביטחון מערכת החשמל פורסם על ידי הממשל האמריקאי בשנת 2004.⁵² מאז, הנושא תופס תאוצה ומעורר התייחסות מצד חוקרים רבים ברחבי העולם. האמונה הרווחת מייחסת לאיום זה השלכות מרחיקות לכת על תפקוד החברה המודרנית, בין אם כתוצאה ממוג אוויר חללי ובין אם כתוצאה ממקור זדוני.⁵³

להתפתחות המהירה של מערכת החשמל מבחינת גודל, מבנה טכני ותלותיות התווספה גם העלייה הניכרת ברגישות להפרעות אלקטרו-מגנטיות.⁵⁴ החברות המודרניות מורכבות מרשת של גופים לאומיים ופרטיים, אשר מאפשרים התפתחות וצמיחה. אלה אחראים גם לתפקוד המערכות הקריטיות, כגון: מזון, מי שתיה, ביוב, תעבורה, תקשורת ומערכות רבות נוספות. המשותף לכל התשתיות הללו הוא התלות המוחלטת במערכת חשמל מתפקדת.

קושי עיקרי בהתמודדות עם האיום של הפרעות אלקטרו-מגנטיות היא ההתנהלות השוטפת של גופים ממסדיים ופרטיים. נושא ההכנה המקדימה להתמודדות עם איום זה זוכה להתייחסות רבה, הקוראת לטיפול ולהשקעה בהתמודדות עם איומים אלה

לפני יישום כל תוכנית עבודה. ההכרה בכך מעלה את הצורך במעורבותם של שורת גופים בכל מדינה, ובכלל זה בישראל: משרד ראש הממשלה, משרד הביטחון, משרד האוצר, משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים, רשות החשמל, חברת החשמל והמשרד לביטחון הפנים. כאשר אירוע אלקטרו־מגנטי התרחש כבר, היכולת לאתחל את פעילות מערכת החשמל תלויה במידה רבה בשחזור תפקודם של השנאים בתחנות המיתוג ובתחנות המשנה. ללא הגנה מספקת והקשחה של תשתיות אלו, האפשרות לאתחול מהיר של פעילות מערכת החשמל פוחתת באופן ניכר.

הפרעות אלקטרו־מגנטיות מהוות איום על הפעילות השוטפת של מערכת החשמל בישראל. הסבירות להתרחשות אירוע כזה נתפסת כנמוכה, אך אם תקרה, היא תהיה בעלת תוצאות הרסניות לתשתיות ולחברה המודרנית בישראל. קשת ההשפעה הרחבה של התרחשות זו מובילה לצורך בקבלת אחריות וביצירת רמה גבוהה של סינרגיה בין הגופים השונים האחראים לתפקוד השוטף.

פרק 2

מערכת החשמל בישראל

פרק זה יסקור את המרכיבים העיקריים של מערכת החשמל בישראל, כבסיס לניתוח המשמעות וההשלכות של האיומים עליה, בהמשך לאלה שנסקרו בפרק הראשון.

מקטעי מערכת החשמל

מקטע הייצור

הטכנולוגיות בהן פועלות יחידות ייצור החשמל בישראל הן:⁵⁵

- יחידות קיטוריות.** יחידות אלו ממוקמות לאורך חופי הים התיכון בשל הצורך לקרר אותן באמצעות מי ים. הן נמצאות בחיפה, חדרה, תל אביב, אשדוד ואשקלון. יחידות אלו מתאפיינות בהספק גבוה (היחידה הגדולה ביותר היא בהספק 575 מגה-ואט) וזמן התנעה ממושך של מספר שעות. לכן, הן משמשות כיחידות הבסיס של מערכת החשמל (base load). מטבע מיקומן, תחנות אלו חשופות לאיום הצונאמי. לעומת זאת, חשיפתן של תחנות אלו, במיוחד הדרומיות שבהן, לרעידות אדמה היא נמוכה יותר.
- יחידות מחזור משולב (מחז"ם).** טכנולוגיה זו מצטיינת בנצילות גבוהה של עד כשישים אחוזים. יחידות ייצור חדשות, הן של חברת החשמל והן של יצרני חשמל פרטיים, פועלות בדרך כלל בטכנולוגיה זו.
- טורבינות גז סילוניות.** המונח "טורבינות גז" אינו מתייחס לגז טבעי, אלא לעקרון הפעולה של הטורבינות הללו, המבוסס על גזי פליטה. טורבינות גז יכולה לפעול על גז טבעי, אך גם על סולר. יחידות אלו הן בעלות הספק נמוך יחסית, נצילות חשמלית נמוכה וזמן התנעה קצר. לכן, משתמשים בהן בעיקר כאשר הביקוש לחשמל הוא גבוה ולא ניתן לספקו באמצעות יחידות קיטוריות ומחז"מים בלבד.
- טורבינות גז תעשייתיות.** יחידות אלו הן בעלות נצילות חשמלית גבוהה מזו של טורבינות גז סילוניות אך גם זמן התנעתן ארוך יותר מטורבינות גז סילוניות.
- מערכות פוטו-וולטאיות.** אלו הן מערכות הממירות את קרינת השמש לאנרגיה חשמלית. ישנן אלפי מערכות פוטו-וולטאיות מחוברות לרשת המתח הנמוך. כמה עשרות מערכות פוטו-וולטאיות מחוברות לרשת המתח הגבוה, ומספר מערכות פוטו-וולטאיות מחוברות לרשת המתח העליון (חלקן נמצאות כיום בהקמה).

טכנולוגיות ייצור נוספות שעשויות להיות בעתיד בישראל הן:

1. **אגירה שאובה.** מספר פרויקטים משמעותיים נמצאים בשלבי הקמה על ידי המגזר הפרטי. תחנת אגירה שאובה מורכבת משני מאגרי מים – עליון ותחתון. בחלק אחד של פעולת התחנה (בדרך כלל כשתעריפי החשמל נמוכים), המים נשאבים מהמאגר התחתון למאגר העליון; בחלק אחר של פעולת התחנה (בדרך כלל כשתעריפי החשמל גבוהים), המים נופלים מהמאגר העליון למאגר התחתון ומייצרים חשמל. החלקים הקריטיים של תחנה זו – הגנרטורים שהם גם המשאבות – נמצאים במעבה האדמה ואינם חשופים לפגיעות קינטיות (טילים ורקטות). יכולתן של תחנות אלו להגיב לפגיעה חיצונית ולהיכנס לפעולה מחדש היא מהירה במיוחד.
2. **רוח.** היקף חוות הרוח הקיימות כיום הוא זניח – הספק של פחות מעשרה מגה-ואט – אך יש תוכניות להקמת חוות רוח בהיקף משמעותי של כ-800 מגה-ואט, בעיקר בצפון הארץ, על ידי המגזר הפרטי. מדובר בחוות שיקומו כבר בעשור הנוכחי.
3. **יחידות תרמו-סולאריות.** בדומה למערכות פוטו-וולטאיות, גם יחידות אלו מנצלות את קרינת השמש, אך הן ממירות אותה לאנרגיית חום, ממנה מופקת האנרגיה החשמלית. שתי יחידות כאלו נמצאות בהקמה באתר אשלים. יחידות אלו מסוגלות לייצר חשמל על בסיס גז טבעי גם בהיעדר שמש.
4. **מנועים.** יחידות אלו מוסקות בגז טבעי, ובדרך כלל ממוקמות בחצר צרכן האנרגיה. המנוע יכול לפעול על גז טבעי, אך גם על סולר או מזוט. יחידות אלו הן בעלות הספק נמוך, נצילות חשמלית גבוהה וזמן התנעה קצר מאוד.
5. **תחנת כוח גרעינית.** קיים אתר שמור סטטוטורית באזור שבטה בנגב, המיועד להקמת תחנת כוח גרעינית. חברת החשמל משמרת ידע מקצועי מסוים בתחום האנרגיה הגרעינית לייצור חשמל, ורבים מאנשי המקצוע בממשלה תומכים בהקמת תחנת כוח גרעינית. אף על פי כן, נראה כי מסיבות גיאופוליטיות, ובשל התנגדות ציבורית, לא תקום בישראל בשנים הקרובות תחנה כוח גרעינית לייצור חשמל.

מרבית כושר ייצור החשמל של מדינת ישראל מרוכזת במספר נמוך יחסית של כעשרים אתרים; כלומר, רמת הפיזור הגיאוגרפי שלהם היא נמוכה. מובן כי רמת פיזור נמוכה מגבירה את החשיפה לאיומים שונים, במיוחד לאיומים שמקורם במעשי אדם, שכן תקיפה ממוקדת ויעילה של מספר נמוך יחסית של אתרים יכולה לגרום נזק משמעותי למערך ייצור החשמל במדינת ישראל. משמעות הדבר היא שהחשיפה הביטחונית של אתרים אלה היא גבוהה יחסית. בנוסף לתלות ההדדית של המתקנים במסגרת תעשיית החשמל, וגם בתעשיות הנלוות אליה, המזינות אותה ומוזנות על ידה, ניתן לאתגר את המערכות בקלות יחסית בתחום הקינטי ובתחום הסייבר. גם לאיומים מהטבע יש השפעות ניכרות בתא שטח נתון, קטן וצפוף מאוד כמו זה של מדינת ישראל.

מהנאמר לעיל מתברר כי מקטע ייצור החשמל של מדינת ישראל מבוסס כיום בעיקר על יחידות קיטוריות (במיוחד כאלו המוסקות בפחם) ועל מחז"מים. פגיעה ביחידות אלו צפויה להיות בעלת השלכה משמעותית על היכולת לספק חשמל. לעומת זאת, פגיעה בטורבינה סילונית, בטורבינה תעשייתית, במנוע או במערכת פוטו־וולטאית אינה חמורה.

סוגי הדלקים העיקריים המשמשים לייצור חשמל בישראל הם: גז טבעי, פחם, סולר, ביו־גז ושמש. קיים הבדל בין היכולת הנקובה של יחידות ייצור המוסקות בדלק מסוים לבין תרומת אותן יחידות להיקף ייצור החשמל השנתי. כך, למשל, היכולת הנקובה של שתי תחנות הכוח הפחמיות היא 4,840 מגה־ואט, והיא היוותה בשנת 2013 כ־36 אחוזים בלבד מיכולת הייצור הכוללת. לעומת זאת, חלקן בפועל של שתי התחנות הללו בייצור החשמל הכללי בשנת 2013 עמד על כמעט 57 אחוזים. היכולת הנקובה של יחידות הייצור המוסקות בסולר היא 1,046 מגה־ואט, והיא היוותה בשנת 2013 כשמונה אחוזים מיכולת הייצור. לעומת זאת, חלקן המעשי של יחידות אלו בייצור החשמל הכללי בשנת 2013 עמד על פחות משלושה אחוזים.

הפערים בין היכולת הנקובה באחוזים ובין ייצור החשמל בפועל נובע ממספר שעות העבודה. היחידות המוסקות בפחם פועלות כ־8,000 שעות בשנה והן מושבתות רק לצורכי תחזוקה וטיפול בתקלות. היחידות הפועלות על סולר משמשות בעיקר לצורכי גיבוי, ולכן פועלות כמה עשרות או מאות שעות בשנה בלבד. נראה כי פגיעה באספקת הדלקים המשמשים לייצור חשמל תהיה בעלת השפעות הבאות:

1. **פגיעה באספקת הפחם** תהיה בעלת השפעה בינונית. מצד אחד, קיים משקל גבוה מאוד של פחם בייצור החשמל, אך מצד שני, קיימים מאגרים המספיקים למספר קטן של חודשי ייצור בעומס מלא.
2. **פגיעה באספקת גז טבעי** תהיה בעלת השפעה גדולה מאוד, בשל המשקל הגבוה של הגז הטבעי בייצור חשמל בשנים האחרונות והגברת התלות בו בשנים הקרובות. לכך יש להוסיף כי אין כיום אתר לאחסנה של גז טבעי, למעט הצנרת שבין המאגרים לחוף, וכי קיימת תלות במאגר גז מפותח אחד בלבד ובצינור הולכה ימי אחד בלבד. למיטב ידיעתנו, אין אף מדינה בה שיעור ייצור החשמל מגז טבעי הוא כה גבוה, בעוד שמערכת הולכת הגז הטבעי מהמאגרים היא כה שברירית. זהו מצב מסוכן מאוד, שכן תיקון תקלה בחלק התת־ימי של מערכת הגז הטבעי עשוי להיות ארוך מאוד. כך, למשל, ענקית הנפט BP נזקקה ללא פחות מ־87 יום רק כדי לסגור את הדליפה (לא לתקן את התקלה עצמה) שאירעה בבאר שלה במפרץ מקסיקו בשנת 2010. מיותר לציין שלרשות BP עמדו אמצעים שספק אם יעמדו לרשותה של מדינת ישראל.

3. **פגיעה באספקת סולר** תהיה בעלת השלכה בינונית. הסולר מהווה משקל קטן בייצור החשמל בישראל, אך גם משמש כדלק הגיבוי למרבית יחידות ייצור החשמל.

4. בנוסף, **פגיעת סייבר** ביחידת ניהול המערכת תשבש את פעילות תחנות הכוח, ובמיוחד את אלו שאינן מאוישות ותלויות בפעילותן בקיומה של תקשורת אמינה ותקינה.

מקטע המסירה

רוב הפסקות החשמל המשמעותיות (עלטות, Blackouts) שאירעו בעולם נבעו מתקלות במערכת המסירה ולא דווקא במערכת הייצור. מערכת המסירה כוללת שני רכיבים עיקריים: מערכת ההולכה ומערכת ההשנאה.

מערכת ההולכה

ההספק מיוצר בתחנות הכוח במתח שבין 11 ל-22 קילו-וולט, אך לא ניתן להובילו למרחקים משמעותיים ברמות מתח אלו. לשם כך נבנתה בישראל, החל משנות השישים של המאה העשרים, מערכת הולכה במתח של 161 קילו-וולט. עם הקמתן של יחידות הייצור הגדולות, בתחילת שנות השמונים, היה צורך במערכת הולכה במתח גבוה יותר של 400 קילו-וולט. חלק מאתרי הייצור מחוברים למערכת 400 קילו-וולט וחלקם מחוברים למערכת 161 קילו-וולט. למעשה, מערכת ה-400 קילו-וולט נמצאת עדיין בבנייה. בשל קשיים סטטוטוריים, העבודה עליה מתקדמת בצורה איטית ביותר, ונראה שיחלפו לפחות עשרים שנה עד שתושלם.

טבלה 1. השוואה בין מערכות ההולכה ב-400 וב-161 קילו-וולט

161 קילו-וולט	400 קילו-וולט	
33	60	גובה העמוד במטרים
40	70	רוחב המסדרון במטרים
4-3	3-2	מספר עמודים לק"מ
4-1.5	7-2	רוחב בסיס העמוד במטרים
300	1,800	יכולת העברת הספק
כ-4,400	כ-735	אורך כולל בק"מ

משני צדי קווי ההולכה קיים מסדרון בו אסורה בנייה מסיבות בטיחותיות (מניעת התחשמלות, מניעת חשיפה לשדות אלקטרו-מגנטיים וכדומה). כדי לצמצם את מספר המסדרונות ואת עלויות הקמתם של קווי ההולכה, מקובל להקים קווים דר-מעגליים. במקרים מיוחדים ישנם עמודים הנושאים שלושה או ארבעה מעגלים. גישה זו מגבירה את החשיפה במקרה של פגיעה פיזית במערכת ההולכה, שכן הפלת עמוד הנושא שלושה מעגלים תגרום, כמובן, לנזק חמור בהרבה מהפלת עמוד הנושא מעגל יחיד.

באזורים עירוניים צפופים (גוש דן, ירושלים וחיפה), בהם לא ניתן להקים רשת הולכה עילית, מניחים כבלי הולכה תת־קרקעיים. רשת הולכה תת־קרקעית יקרה הרבה יותר (עד פי עשרה) ובעלת יכולת העברת הספק קטנה יותר (בכשלושים אחוזים) מאשר רשת הולכה עילית. בארץ קיימים כבלי הולכה תת־קרקעיים ב־161 קילו־וולט בלבד ולכשלושה אחוזים מרשת זו בלבד.

מערכת ההשנאה

תחנות מיתוג מהוות צמתים לניתוב האנרגיה ומחברות, בדרך כלל, בין מערכות 400 ל־161 קילו־וולט. קיימות בארץ כעשר תחנות מיתוג. תחנות משנה מחברות בין מערכת ההולכה ב־161 קילו־וולט ובין מערכת החלוקה. קיימות בארץ כמאתיים תחנות משנה קבועות, שמרביתן שייכות לחברת החשמל, ומיעוטן לצרכנים פרטיים גדולים. בנוסף, קיימות תחנות משנה ניידות וארעיות, המשמשות צרכים זמניים של המערכת. תחנות המיתוג ותחנות המשנה הן בעלות שתי תצורות: פתוחה וסגורה. תחנה סגורה מוגנת טוב יותר, אך תיקון עקב פגיעה בה עלול לארוך זמן רב, בשל הציוד המיוחד המשמש אותה.

הפגיעות האפשריות במקטע המסירה הן פגיעה פיזית בעמודי מתח על, פגיעה פיזית בתחנת מיתוג, פגיעה פיזית בתחנת משנה, פגיעה פיזית בעמודי מתח עליון, ופגיעת סייבר ביחידת ניהול המערכת. יש הגורסים כי פגיעה בתחנות מיתוג ובתחנות משנה אינה משמעותית כמו פגיעה בכושר הייצור (על ידי פגיעה ביחידות הייצור עצמן או באספקת הדלק שלהן). מסקנה זו מסתמכת על משך התיקון הקצר של פגיעה טיפוסית בתחנת מיתוג או בתחנת משנה, לעומת משך התיקון הארוך של פגיעה במתקן ייצור. אנו סבורים כי גישה זו שגויה מהסיבות הבאות:

1. משך תיקון תקלה או פגיעה חמורה בתחנת מיתוג אינו כה קצר ועשוי לארוך מספר ימים.
2. פגיעה בתחנות מיתוג מסוימות עלולה לגרום לחוסר איזון משמעותי במערכת החשמל, עד כדי שיבוש חמור של פעולתה. משרד התשתיות הלאומיות מגדיר מקרה בו 25,000 צרכנים (כאחוז אחד מכלל צרכני החשמל בישראל) מנותקים מאספקת חשמל למשך שמונה שעות או יותר כ"מצב מיוחד במשק החשמל". אנו סבורים כי פגיעות מסוימות בתחנות מיתוג יכולות להיות בעלות השלכות מרחיקות לכת. פגיעה ביחידות ייצור היא לינארית. כך, למשל, פגיעה באחוז מסוים מכושר ייצור החשמל מאפשרת המשך תפקוד המערכת כולה, ולכל היותר יהיה צורך בהפסקה כפויה או על בסיס התנדבותי של הביקוש. לעומת זאת, לפגיעה בצמתים קריטיים של מעבר האנרגיה אין לעיתים חלופה כלל, למעט תיקון (אולי זמני) של הצומת שנפגע.

מקטע החלוקה

מערכת החלוקה מורכבת מקווי חשמל במתח גבוה, משנאי חלוקה ומקווי מתח נמוך. קווי החשמל במתח גבוה יוצאים מתחנות המשנה ומזינים שנאי חלוקה, שמהם יוצאות רשתות מתח נמוך. רמת המתח הנמוך היא 400 וולט בין פאזות ו-230 וולט בין פאזה לאדמה.

קיימות שלוש רמות של מתח גבוה:

1. 12.6 קילו-וולט בחלקים מסוימים של גוש דן, ירושלים וחיפה.

2. 22 קילו-וולט במרבית אזורי המדינה.

3. 33 קילו-וולט מבאר שבע דרומה ומעבר לקו הירוק.

המעבר ממתח גבוה למתח נמוך מתבצע על ידי שנאי חלוקה, המותקנים על עמודים או בתחנות פנימיות או בתחנות טרנספורמציה זעירות. קיימים כ-50,000 שנאי חלוקה, כ-25,000 ק"מ של קווי מתח גבוה וכ-20,000 ק"מ של קווי מתח נמוך.

עד לפני מספר שנים הייתה מערכת החלוקה כמעט נטולת אוטומציה. עם השלמתו של פרויקט אוטומציה רחב היקף (DMS – Distribution Management System), תיווצר יכולת שליטה משופרת על מערכת החלוקה (בעיקר ברשת המתח הגבוה). יש להניח כי לצד תיקון מהיר יותר של הרשת במקרה של תקלות, מערכת זו עלולה להיות חשופה לתקיפות סייבר.

רשת החלוקה משנה את אופייה. בעבר הייתה רשת זו על טהרת הצרכנות וכמעט שלא היו מחוברות אליה יחידות ייצור, למעט גנרטורים מוסקים בסולר או במזוט, שפעלו כגיבוי לשעת חירום בלבד ובדרך כלל סיפקו את תפוקתם לצרכנים שהיו צמודים אליהם. כיום מחוברות לרשתות החלוקה מערכות ייצור רבות, בעיקר מערכות ייצור פוטו-וולטאיות, ועתידות להתווסף אליהן יחידות ייצור בהספק מותקן נמוך, אשר יחברו לרשת החלוקה. כאשר קו המתח (הגבוה או הנמוך) אליו מחוברות מערכות אלו מנותק מסיבות בטיחות, ממירי המערכות הפוטו-וולטאיות מתנתקים והמערכות אינן יכולות להזרים חשמל לרשת. להערכתנו, אין סיבה שלא לאפשר למערכות אלו להזרים חשמל לצרכנים הצמודים אליהן, ככל שצרכנים אלה קיימים.

נהוג לחשוב כי פגיעה פיזית ברשת החלוקה אינה משמעותית כמו פגיעה ברשת ההולכה, וזאת בגלל המספר הקטן יחסית של צרכנים שיושפעו מפגיעה בודדת. ניתן להציג מספר הסתייגויות לכך:

1. ניתן לחשוב גם על פגיעות רחבות היקף ברשת החלוקה, למשל עקב רעידת אדמה

או פגיעת סייבר במערכת החלוקה האוטומטית.

2. אמנם, מספר הצרכנים ברשת החלוקה נמוך יחסית (כ-3,000 צרכנים), אולם הם מהווים כארבעים אחוזים מכלל צריכת החשמל בישראל. לכן, פגיעה ברשת החלוקה

עשויה להוות פגיעה בחלק משמעותי של הצריכה.

3. בניגוד לרשת ההולכה, שיש בה אפשרויות לגיבויים רבים, ברשת החלוקה, ובמיוחד ברשת החלוקה במתח נמוך, אפשרויות הגיבוי הן מוגבלות. על כן, פגיעה ברשת זו, גם אם תשפיע על מעט צרכנים, עשויה לארוך זמן רב – שעות ארוכות במקרה של תקלות נקודתיות, ועד ימים במקרה של תקלות מערכתיות.

מערכת החשמל הנוכחית והעתידית⁵⁶

מבנה מערכות החשמל השתנה אך במעט במאה השנים האחרונות והוא עומד כעת בפני שינויים מפליגים. המערכת הנוכחית היא בעלת המאפיינים העיקריים הבאים:

1. יחידות הייצור הן מועטות (כמה עשרות במקרה הישראלי, אם לא כוללים את המערכות הפוטו-וולטאיות), כל אחת מהן היא גדולה (כמה עשרות או מאות מגה-ואטים) והן מרוכזות במספר קטן של אתרים.
2. זרימת ההספק החשמלי היא חד-כיוונית – מתחנות הכוח, דרך מערכות המסירה והחלוקה ועד לצרכנים.
3. הממשקים של מערכת החשמל למערכות חיצוניות – בעיקר מערכות שליטה ובקרה – הם מועטים, אפילו במערכת החשמל הישראלית, שהיא מתקדמת, בעלת רמת אוטומציה גבוהה ועתירת מחשב.

המבנה החדש של מערכות חשמל, הידוע בשם Smart Grid, יבוא לידי ביטוי באופנים הבאים:

1. יחידות הייצור תהיינה רבות מאוד (אלפים ואף עשרות אלפים במקרה הישראלי). מרביתן תהיינה קטנות (קילו-ואטים בודדים או עשרות קילו-ואטים), וממוקמות סמוך לאתרי הצריכה.
2. זרימת ההספק החשמלי תהיה דו-כיוונית, לעיתים מתחנות הכוח הגדולות לצרכנים ולעיתים ממערכות הייצור הקטנות, הממוקמות באתרי הצריכה, לרשת החשמל, וממנה לצרכנים אחרים, דרך רשת החשמל.
3. הממשקים של מערכת החשמל למערכות חיצוניות יהיו רבים מאוד, אפילו ברמת המכשיר החשמלי הביתי הבודד. מכשיר זה יצויד במרכיב שיאפשר תקשורת עמו. לשינויים צפויים אלה השלכות רבות על ביטחון מערכת החשמל – חלקן לטובה וחלקן לרעה. למשל:
 1. סביר להניח כי פגיעה מכוונת במספר גדול מאוד של יחידות ייצור תהיה קשה הרבה יותר מאשר פגיעה במספר קטן של תחנות כוח.
 2. ריבוי הממשקים יאפשר לקבל אינדיקציה מהירה יחסית על תקלות במערכת החשמל, אך במקביל יגביר את חשיפתה של המערכת להתקפות סייבר.

פרק 3

המענה לאיומים על מערכת החשמל בישראל

פרק זה יסקור את המענים הקיימים במערכת החשמל בישראל ובסביבתה לאיומים שהוצגו בפרק הראשון.⁵⁷ אין המדובר בתקלות טכניות בתוך המערכת עצמה, שאף הן עלולות לגרום להפסקת חשמל ארוכה. תקלות אלו מחייבות התייחסות קפדנית של הממונים על המערכת החשמל בישראל.

מוכנות מול התקפות קינטיות – טילים ורקטות תחום המיגון

ביולי 2012 דווח על תחילת פרויקט מיוחד של שדרוג המיגון בעשרה מתקנים אסטרטגיים ברחבי ישראל שהוגדרו כבעלי עדיפות ראשונה, מחשש שיותקפו בטילים בעת מלחמה.⁵⁸ המטרה המרכזית של הפרויקט – שניזום על ידי ראש הממשלה עוד ב־2010 ואמור היה להיות מתוקצב על ידי גופי התשתיות שאת המתקנים שלהם ימגנו, כגון חברת החשמל – היא לאפשר חזרה מהירה לפעילות לאחר שייפגעו בתקיפה ויחדלו לספק חשמל או שירותים הכרחיים אחרים. על פי המדווח, התוכנית תכלול בניית מערך עיבוי למתקנים, מבטון בעובי של מספר מטרים, וכן מרכיבים נוספים של הגנה פיזית. הפרויקט אמור היה להתנהל על פי הנחיות ענף התשתיות הלאומיות, שהוקם זמן קצר לפני כן בפקוד העורף. אותו ענף ערך אז עבודת מטה, שבסיומה נבחרו עשרת האתרים הזקוקים למיגון מפני טילים בצורה הדחופה ביותר. בפקוד העורף תוכנן גם להחיל את הפרויקט על כ־15 מתקנים נוספים במשק המים, הדלק, זיקוק הנפט והתקשורת. הכוונה הייתה לפקח על מיגון אותם מתקנים גם מפני איום הסייבר. בדיון שהתקיים בוועדה לביקורת המדינה של הכנסת ב־26 באוגוסט 2013 אמר בעניין זה פקיד בכיר במטה לביטחון לאומי המופקד על הנושא: "ראש הממשלה הקצה עשרים מיליון שקל [...] לפיקוד העורף. המל"ל קבע, ביחד עם המשרד להגנת העורף [שפורק בינתיים וסמכויותיו הוחזרו למשרד הביטחון], עם פיקוד העורף ומשרדים אחרים, את אותם עשרה מתקנים [...] פיקוד העורף, האמון כרגע על המיגון, יעשה את התוכניות ויפקח על הבנייה [...] חלק מהמתקנים מתוך העשרה כבר מוגנו. מתקנים של תשתיות נפט ודלק כבר מוגנו. ואכן, רק אתמול הועברו 25 מיליון שקל מחברת החשמל למשרד הביטחון, לפיקוד העורף, כדי למגן את מה שקבענו להם. כלומר,

התהליך הזה מתקיים".⁵⁹ בהמשך הדיון התייחס השר גלעד ארדן (אז השר להגנת העורף) לסוגיית התקצוב של מיגון התשתיות וקבע: "מישהו צריך לקבל החלטות, וכרגע [...] יש בעיה בתהליך קבלת ההחלטות. כי כל משרד לכאורה אחראי שהמשרד שלו והגופים שלו יתפקדו בחירום, אבל המשרדים אומרים, בצדק [...] למשרד האנרגיה, למשל, יש יצרני חשמל פרטיים, ואם אין שום חוק שמסמיך את משרד האנרגיה [...] להגיד להם שמעכשיו בונים תחנות כוח בצורה אחרת, שתעלה הרבה יותר, אז מכוח מה הם יקימו [...]?"

על פי הידוע, נבנה מיגון לשתי תחנות כוח ולשתי תחנות מיתוג, אשר פגיעה בהן נחשבת לכזאת העלולה לסכן את שרידות מערכת החשמל. המיגון לא הוקם כחלק אינטגרלי של הקמת האתרים, אלא התווסף מאוחר יותר. בהקשר זה מתעוררות השאלות הבאות:

1. האם המיגון שבוצע תואם את כל האיומים המוכרים כיום או שהוא חלקי?
2. האם העובדה שפגיעה בשאר האתרים אינה מסכנת את שרידות המערכת מצדיקה היעדר מיגון כלשהו באתרים האחרים?
3. האם מיגון אתרים עתידיים בעת הקמתם לא יוזיל את עלותם באופן משמעותי?
4. האם תועלת המיגון שווה את ההשקעה בו?

תחום ההגנה האקטיבית

מרבית מתקני החשמל הגדולים (תחנות כוח ותחנות מיתוג) ממוקמים מחוץ למרכזים העירוניים. משמעות הדבר היא שיש ליצור, בהתאם להערכת האיום, מענה מקביל של הגנה אקטיבית גם לריכוזי אוכלוסייה וגם למתקני תשתית קריטיים, כמו מתקני חשמל חיוניים שהם בעלי פגיעות גבוהה לנשק קינטי. בהתחשב בצורך בהגנה אקטיבית סבירה גם על בסיסי צה"ל, ובעיקר על שדות התעופה של חיל האוויר, המסקנה המתבקשת מכך היא שאין מנוס מהגדלה ניכרת של סד"כ הסוללות נגד טילים, וכן פריסה מבצעית שלהן בשעת חירום בצורה שתיתן אבטחה מרבית גם למתקני תשתית המצויים בתוך עקבת ההגנה של הסוללה.⁶⁰

מפקד פיקוד העורף קבע בהקשר זה, בראיון עם כתב "הארץ" (29 במארכ 2013): "זה שנים מתווכחים במערכת הביטחון היכן נכון יהיה לפרוס את הסוללות בזמן מלחמה". לדבריו, עמדת פיקוד העורף במקרה כזה היא "להגן על הרציפות התפקודית של המדינה ועל היכולת לקיים מאמץ התקפי של צה"ל לאורך זמן, עד לניצחון במלחמה. זה אומר הגנה על תחנות כוח ובסיסי חיל האוויר לפני הערים הגדולות. ייתכן שבעתיד נוכל גם וגם. אבל נכון לעכשיו, עם סדר הכוחות של סוללות וטילי יירוט שעומד לרשותנו, נידרש להנהיג סדר עדיפות במשאבים. נידרש לקבל החלטה קשה, נוקבת וברורה".⁶¹

מוכנות מול אסונות טבע ושינוי אקלים רעידות אדמה

בשנים האחרונות גברה המודעות בישראל לתרחישים של רעידות אדמה.⁶² הטיפול באיום זה נכנס לסדר היום הלאומי, וההיערכות לקראתו עלתה מדרגה. היערכות זו באה לידי ביטוי, בין היתר, בתרגיל העורף השנתי "נקודת מפנה 6" שנערך בשנת 2012 ועסק בתרחיש של רעידת אדמה קשה.⁶³ לקראת התרגיל הוכן במכון הגיאולוגי מסמך מיוחד, המגדיר את רמות הנזק הצפויות בעקבות התרחיש של רעידת האדמה. המסמך קובע, בין השאר, כי הנזק המשמעותי ביותר במתקני תשתיות צפוי להתרכז בעיקר בצפון הארץ, באזורים שסביב המוקד של הרעש והשבר הטקטוני שגרם לרעידה. ככל שמתקן התשתית קרוב יותר למוקד וככל שעמידותו נמוכה, כך צפויה בו פגיעה חמורה יותר.

עדויות גיאולוגיות והיסטוריות מצביעות על כך שמרבית אירועי הצונאמי שפגעו בחוף הים התיכון התרחשו בעקבות רעידת אדמה יבשתית, אשר מוקדה היה פחות או יותר ממזרח לאזור שנפגע (ככל שניתן להעריך היכן היה המוקד של רעידה זו). במרבית המקרים הפגיעה הצטמצמה לאזור מוגבל. ההסבר שהוצע להופעת צונאמי מסוג זה מתבסס על גלישות במדרון היבשת – מערבית למוקד הרעש. למרות זאת, קיימת אפשרות שמוקד היווצרות הצונאמי יהיה צפונה או דרומה יותר למוקד הרעש. כמו כן, עלולים להתפתח גלים שישפיעו לטווחים ארוכים יותר. לפיכך, אם מוקד התרחיש יהיה בעמק החולה, האזור העיקרי המועד לפגיעה מצונאמי הינו ככל הנראה החוף הצפוני של מדינת ישראל.⁶⁴

לפי אתר פיקוד העורף, בשל היקף הפגיעה הצפוי בעת התרחשות רעידת אדמה הרסנית, "צריכים אזרחי המדינה להיערך לרעידת אדמה על בסיס ההנחה כי ביממות הראשונות ייאלצו להתמודד לבדם עם ההרס ותוצאותיו".⁶⁵ יש להניח שהנחייה זו רלוונטית גם לגבי מערכת החשמל, כלומר, יהיה צורך להיערך להפסקות חשמל. צבי חרפק, סמנכ"ל ארגון, לוגיסטיקה, ביטחון ומל"ח (משק לשעת חירום) בחברת החשמל, אמר בראיון ל"כלכליסט" ב-21 ביולי 2011: "המדינה הגדירה שלושה תרחישים לאומיים לרעידות אדמה, ולכל אחד מהם עשינו סימולציות של מקרים ותגובות". לדבריו, "חברת החשמל מיפתה את כל אתרי הייצור וקווי ההולכה שלה, לרבות קווי המתח, תחנות המשנה ותחנות המיתוג, במטרה לבחון השפעות שונות של רעידת אדמה על האוכלוסייה". בנוסף לכך, "בעשור האחרון ביצעה חברת החשמל שלושה תרגילים גדולים שבהם נבחן כל תרחיש וכן התבצע משחק מלחמה שלם, כאשר בחלק מהמקרים שותקו האתרים וירטואלית". עוד נאמר בראיון כי "יש לחברת החשמל כמה טכנולוגיות לאספקת חשמל, כגון מעקפים של קווי מתח עליון, תחנות משנה ניידות ועוד שורה של פתרונות. עם זאת, במקרה של אירוע חריג אין ספק שיהיו הפסקות

חשמל, שהאורך שלהן הוא בסימן שאלה". בנושא החלופות הקיימות (יתירות) של המערכת אמר חרפק: "אם נפגעה תחנת כוח ויש אחרות כרזרבה, אזי אספקת החשמל תיפגע בצורה מינורית יחסית. אם יתירות המערכת לא גבוהה – וזה המצב היום [2011] – מדינת ישראל צריכה לבחון האם אנחנו מאורגנים למצבים כאלו". לדבריו, לא מן הנמנע שחברת החשמל תסיט את הביקושים השונים בין ערי ישראל, כך שגם "חלק מהמקומות שלא נפגעו לא יקבלו חשמל לחלק משעות היום". שאלה נוספת שהתעוררה בראיון הייתה שיקום המערכת לאחר פגיעה. לדברי חרפק: "הדבר עלול לקחת בין חצי שנה לכמה שנים, תלוי בנזק [...] אם תחנת כוח שלמה בישראל תושבת, הפעלת גנרטורים לא תענה על הביקוש"⁶⁶.

אנו מעריכים כי פעילותה של חברת החשמל במשך שנים בתחום רעידות האדמה הינה, ככלל, אפקטיבית. לפיכך, יש להניח כי תחנות הכוח ותחנות המיתוג של חברת החשמל תוכלנה לתפקד בצורה סבירה, גם אם לא מלאה, לאחר רעידת אדמה. חלק ניכר מכושר ייצור החשמל של מדינת ישראל – חמש תחנות כוח של חברת החשמל (חיפה, חדרה, תל אביב, אשדוד ואשקלון) ותחנת הכוח הפרטית של חברת דוראד – נמצאות על חוף הים התיכון. התרחשות של צונאמי בים התיכון עלולה לגרום לפגיעה נרחבת בכושר הייצור של תחנות אלו. ראוי לפיכך לשקול התקנת גנרטורים ומשאבות מים במתחמי התחנות, שיכנסו אוטומטית לפעולה במקרה של הצפה, וכן לשקול התקנת סוללות הגנה בהן.

יצוין כי קיימים חילוקי דעות באשר לסבירות התרחשותם של מקרי צונאמי בים התיכון. להערכת ראש תחום תרחישי ייחוס במשרד הביטחון, 25 אחוזים ממקרי הצונאמי המוכרים אירעו בים התיכון. לעומת זאת, חברת החשמל סבורה כי ההסתברות להופעת צונאמי בים התיכון היא קטנה מאוד. אנו סבורים כי כדאי לבחון סוגיה זו על ידי גורמי ייעוץ מקצועיים, כגון המכון הגיאולוגי.

השאלות הנשאלות בהקשר להתרחשות רעידת אדמה והשלכותיה על מערכת החשמל בישראל הן:

1. האם חברת החשמל עושה את המרב והמיטב להגנה על מתקניה ולהתאוששות מהירה של המערכת לאחר רעידת אדמה? ההנחה היא שהידע לקיים רמה נאותה של היערכות לרעידות אדמה מצוי בעיקרו במערכת ובסביבתה, ולפיכך השאלה היא בעיקרה קונצפטואלית ותקציבית: מבחינה קונצפטואלית – עד כמה נכון להגן על המערכת בראייה של עלות-תועלת ובתנאים של סבירות לא גבוהה לרעידת אדמה בטווח הקצר (טענה המחייבת החלטה ברמה הממשלתית הבכירה ביותר); תקציבית – מי יישא בעלויות הגבוהות של רמת ההיערכות הנתפסת כנכונה ומי יקבע מהי רמה נדרשת זו: התעשייה עצמה, כולל הספקים הקטנים, או הממשלה?

2. מכיוון שבכל מקרה העלות תושט בסופו של דבר על הצרכן, השאלה הנוספת היא האם מתקיים דיאלוג מלא ופתוח בין הממשלה ובין הספקים בנושאים חיוניים אלה, ומדוע אין, נכון לעכשיו, תשובות מלאות ושקופות לכך?
3. האם יצרני החשמל הפרטיים, הנוכחיים והעתידיים, עוסקים בהגנה סבירה על מתקני ייצור החשמל שלהם כדי להבטיח את המשך תפקודם התקין בשעת רעידת אדמה?

פגעי מזג אוויר אחרים

רעידת אדמה היא אסון טבע חמור במיוחד, אך צפויות גם תופעות מזג אוויר שיכולות לחולל נזקים ושיבושים למערכת החשמל. לא ניתן למנוע פגעי מזג אוויר, אך ניתן לשפר הן את ההיערכות לקראתם והן את משך ההתאוששות מהם. בהקשר זה, יש לתת את הדעת על רמת המוכנות הכלל משקית, וכן על רמת המוכנות המקומית ועל המוכנות ברמת הפרט. יכולת הפרט להתמודד עם אירוע של ניתוק מרשת החשמל היא שולית, ויכולות הרשויות המקומיות בנושא זה משתנות מרשות לרשות. בכל מקרה, אירוע כזה יהיה מוגבל למספר יממות בודדות.

הטמנת רשתות חשמל בתת-הקרקע

הנחייה של משרד התשתיות הלאומיות מראשית שנות האלפיים קובעת כי רשתות מתח גבוה ומתח נמוך העוברות באזורים עירוניים יותקנו מתחת לקרקע. הנחייה זו רלוונטית לרשתות חדשות ולא לרשתות קיימות. קצב החלפת הרשתות גורם לכך שיחלפו עוד עשרות שנים עד שכל רשתות המתח הגבוה והנמוך באזורים עירוניים תהיינה תת-קרקעיות. מצב הטמנת רשתות חשמל בתת-הקרקע כיום הוא כדלקמן:

1. רשת מתח על של 400 קילו-וולט אינה מוטמנת כלל והיא כולה עילית.
2. רשת מתח עליון של 161 קילו-וולט היא בעיקרה עילית, למעט קטעים מסוימים באזורים עירוניים, שהם תת-קרקעיים, שאורכם הכולל הוא כשלושה אחוזים מאורכה של רשת זו.

היתרונות של הטמנת רשתות חשמל בתת-הקרקע הם:

1. עמידות גבוהה יותר בפני פגעי מזג אוויר (רוחות חזקות בחורף, שריפות בקיץ).
2. חיסכון במקום, שכן מרחקי בטיחות מתשתיות חשמל תת-קרקעיות הינם קטנים משמעותית ממרחקי הבטיחות הנדרשים מתשתיות חשמל עיליות.
3. אמינות אספקת חשמל גבוהה יותר.
4. שיפור היבטי איכות הסביבה, בזכות פגיעה נופית מופחתת ואסתטיות גבוהה יותר.
5. הפחתת חרדות האוכלוסייה מקרינה אלקטרומגנטית (ללא קשר לשאלה אם חרדות אלו מוצדקות).

להטמנת רשתות חשמל בתת-הקרקע יש גם חסרונות:

1. עלות ראשונית גבוהה יותר.
 2. איתור תקלות ברשתות תת-קרקעיות אורך לעיתים יותר זמן מאשר איתור תקלות ברשתות עיליות, וכך גם הטיפול בהן.
- אנו סבורים כי דיון בשאלת הטמנתן של רשתות חשמל בתת-הקרקע חייב לכלול גם את השיקול של תרומת ההטמנה לביטחון הרשת ולעמידותה בפני פגעי מזג אוויר. שיקול זה נעדר כיום מהדיון בסוגיה זו.

רמת המוכנות מול תקיפות סייבר

איומי הסייבר על מדינת ישראל בכלל ועל חברת החשמל בפרט מאלצים את מקבלי ההחלטות לנקוט אמצעים כדי למזער או להסיר איומים אלה. חברת החשמל וחברות נוספות של תשתיות לאומיות נמצאות תחת פיקוח של הרשות לאבטחת מידע. הרגולציות וההנחיות שחברת החשמל פועלת על פיהן נועדות ליצור סטנדרטיזציה בהתמודדות עם איומי הסייבר.

נושא הסייבר וההגנה על תשתית מערכת החשמל נתפסים בחברת החשמל כבעלי חשיבות רבה. הדבר בא לידי ביטוי, בין היתר, בכך שהנושא מלווה באופן אישי על ידי יו"ר החברה, המנכ"ל וועדות ייעודיות של הדירקטוריון. תשומת הלב שמעניקה הנהלת חברת החשמל לאיום הקיברנטי מתבטאת במספר אופנים: מתן משאבים, השתתפות בתוכניות בין-לאומיות העוסקות בסייבר, השתתפות במסגרת המחקר האירופי (FP7)⁶⁷ וכן השתתפות בתוכנית ההמשך האירופית (Horizon 2020)⁶⁸.

חברת החשמל פעילה בתחום הסייבר בזירות הבאות:⁶⁹

1. מרכז סייבר (Advanced Cyber Center – ACC) של החברה, המשמש כמרכז שליטה ובקרה 24 שעות ביממה, ומבוסס על מודל מוגדר של הגנה מפני איומי סייבר. המרכז מאוּש במומחי סייבר ובאנליסטים, המגיבים באופן מיידי לכל אירוע.
2. חברת החשמל שותפה בחברת סייברג'ים (CyberGym), המפעילה זירת הכשרה, אימון ומרכז הדמיה. החברה פועלת מאז שנת 2013 במרכז ההדרכה חפציבה של חברת החשמל ומשרתת מגוון רחב של לקוחות בארץ ובעולם.
3. חברת החשמל שותפה עם חברת MPRest בע"מ בפעילות להקמת מערכת "שריג מידע", המהווה מערכת לניהול ולבקרת-על לתחום האבטחה הפיזית של מתקנים וארגוני אנרגיה המהווה רובד מרכזי נוסף בהגנה מפני איומי הסייבר.

חברת החשמל מתנהלת ומנוהלת במסגרת תקנים מוכרים, בהם תקני ISO, תקני גהות ותקן COBIT (Control Objectives for Information and related Technology) המהווה מסגרת לפיתוח, יישום, ניטור ושיפור טכנולוגיית מידע ופרקטיקות של

ניהול טכנולוגיות בתחום של התקינה. ניהול על פי תקן COBIT מסייע להתמודד עם סיכונים מחשב בהתאם לתקני ISACA (Information Systems Audit and Control Association), ולעמוד ברגולציות שונות.

העמידה בתקנים השונים של אבטחת מידע מאפשרת לחברת החשמל לרכוש ולהטמיע מערכות חדשות על פי קריטריונים ברורים, וכך לקבוע סטנדרטיזציה בתחום זה. כל הטמעת מערכת חדשה בחברה או עבודה שלה עם ספקים מקבלת את אישור הרשות לאבטחת מידע.

חברת החשמל גם עוסקת בהקשחות של מערכות קריטיות, כולל הפרדת רשתות קריטיות ממערכות מינהליות, ומקיימת אימונים בתחום הסייבר. במסגרת זאת מבצעת החברה תרגולים תקופתיים ותרגילים כלל ארציים ומשתמשת בהאקרים מטעמה לבדיקת חדירות, מוכנות ויכולת תגובה של הארגון במקרה של תקיפה. אבטחת המידע היא חלק בלתי נפרד מהתרבות הארגונית של חברת החשמל. החברה משקיעה כספים רבים בקמפיינים ובתקשורות פנימיות לעובדים בסוגיה זו. כן ישנה מעורבות גבוהה מאוד של מנהלים בחברה ושל הנהלתה באכיפת הדרישות והתקנים בתחום אבטחת המידע. אחת לתקופה גם מתבצע בחברת החשמל תרגיל של ניהול סיכונים אסטרטגי בתחום אבטחת המידע.

בסיכום גישתה של חברת החשמל לאיומי הסייבר ולהתגוננות מפניהם בולטים המרכיבים הבאים: גישה אסטרטגית (ולא טקטית) לבעיה; הגברת המודעות לאיומים; הטמעת המסר כי מי שחש מוגן מפני התקפות סייבר נמצא ברמת סיכון גבוהה יותר. השאלות הפתוחות העיקריות בתחום ההתגוננות של מערכת החשמל בישראל מפני איומי הסייבר הן: באיזו מידה ממקסמת חברת החשמל את יכולותיה בתחום הסייבר ונערכת בצורה המיטבית לאיומים העתידיים, בהנחה שאלה יהיו קיצוניים יותר מהאיומים הנוכחיים? באיזו מידה מודעות החברות האחרות העוסקות בייצור ובאספקת חשמל ברשת – חברות שחלקן באספקת חשמל למשק הישראלי הולכת וגדלה – לסיכונים ולאיומים השונים, כולל בתחום הסייבר, ובאיזו מידה הן משקיעות את הנדרש להיערכות הולמת מולם? אין בידנו מידע מספיק כדי להשיב נכונה לשאלות אלו. נסתפק כאן באמירה שתפקידו של הרגולטור הוא לוודא קיומה של היערכות נאותה של כלל הספקים במערכת החשמל בישראל להתמודדות עם מכלול האיומים על מערכות ייצור החשמל והספקתו.

רמת המוכנות מול הדופק האלקטרו-מגנטי

ההתמודדות עם איום ההפרעות האלקטרו-מגנטיות אינה יכולה להיות בינארית. ריבוי המערכות והגופים התלויים בתפקוד השוטף של מערכת החשמל דורש רמה גבוהה של הגדרת עדיפות בהקצאת משאבים, הקשחת מערכות קריטיות והתוויית תוכניות

שיקום. כדי להבין בצורה מלאה את ההשלכות של התמודדות עם אירוע אלקטרו־מגנטי, חשוב לבצע הפרדה בין מקורות האיום ובין סוגי האיום, שהרי דפקים (פולסים) ברמות ובתדרים שונים ישפיעו על חלקים שונים במערכת החשמל. מחקרים רבים שפורסמו בתחום זה הגדירו שלוש רמות הגנה: הגנה מלאה; הגנה חלקית והתאוששות מהירה; הגנה חלקית והתאוששות הדרגתית. המטרה של חלוקה זו היא לשפר את יכולת ההתמודדות עם האיום, תוך התאמתה לסוג האיום.

יכולת התגוננות מהפרעות אלקטרו־מגנטיות

בתהליך התמודדות עם איום, המחשבה הראשונה נוטה להיות האם אפשרי למנוע אותו? הדעה הרווחת כיום היא שגישה כזאת היא בעלת יכולת מעשית מוגבלת ביותר. הפרעות אלקטרו־מגנטיות כתוצאה ממזג אוויר חללי אינן ניתנות לחיזוי באופן מדויק; אך גם במקרה של חיזוי תופעות כאלה, יכולת ההגנה על המערכות הקיימות הינה מוגבלת.⁷⁰ במקרים של הפרעות אלקטרו־מגנטיות זדוניות, אי אפשר לקבוע באופן מוחלט שניתן למנוע כל ניסיון פגיעה. נכון לשנת 2003, יותר מעשרים מדינות החזיקו או שקדו על פיתוח נשק אלקטרו־מגנטי⁷¹ בעל יכולת לבצע פעימה אלקטרו־מגנטית בגובה רב (HEMP). כתוצאה מכך, זמינותם של כלי נשק המסוגלים לפגוע נקודתית גבוהה בהרבה משהייתה עד אז. קיימות כיום חברות המפתחות "מזוודות EMP", שלכאורה מיועדות לביצוע בדיקות ציוד בלבד, אך יכולות לשמש גם ככלי נשק לכל דבר. נכון להיום, יש מגוון רחב של מענים טכניים ונוהלי עבודה אשר יכולים להקטין באופן משמעותי את השפעתם של אירועים אלקטרו־מגנטיים. נוהלי עבודה כאלה יכולים לכלול, למשל, מיפוי של אזורי רגישות. הכשרת צוותי תגובה ושמירה על מלאי מוגבל של חלקים קריטיים יכולות לשמש גורם מכריע בחזרת הרשת לפעילות. העלאת המודעות לנושא האיומים האלקטרו־מגנטיים והדגשת חשיבותה יכולות לדחוף לפיתוח מזורז של אמצעי מיגון וחיזוי, אשר ישפרו את רמת ההתגוננות.

ההטמעה של יכולות התגוננות מפני איומים אלקטרו־מגנטיים במערכת החשמל בישראל כיום הינה מזערית בלבד. חשוב לציין בהקשר זה שהטמעה ושילוב של יכולות אלו הן בעלות ערך מוסף: שימוש במערכת הגנה ובנוהלי עבודה יוצר סינרגיה מערכתית שמצידה יכולה להגביר את חוסן המערכות גם מול איומים אחרים, כמו איומי סייבר. הדמיה ממוחשבת שנעשתה על ידי חברות מובילות בתחום האלקטרו־מגנטי⁷² בדקה השפעות אפשריות של סופות אלקטרו־מגנטיות שהשתוללו בעבר על מערכת החשמל כיום. התוצאות הצביעו על התמוטטות מערכת החשמל. ההדמיה גם הוכיחה שלשימוש באמצעי הקשחה יש אפקט דרמטי על מידת הנזק, והוא אף יכול למנוע את קריסת המערכת.

מספר רב של חברות חשמל בעולם, ובעיקר בארצות הברית, החלו בפיתוח תוכניות להגנת רשתותיהן מפני אירועים אלקטרו-מגנטיים ברמה E1 וברמה E3. הצעדים המיושמים כיום על ידי חברות חשמל אלו כוללים:

1. הקשחת התכן של שנאים בתחמ"גים ובתחמ"שים.
2. פיתוח אמצעי זיהוי לפעילות אלקטרו-מגנטיות קצרות – E1.
3. פיתוח חסמי זרם לשנאים בתחנות מיתוג ובתחנות משנה.
4. מרכזי בקרה ומערכות שליטה ובקרה אשר ממוגנים מפני פעילות אלקטרו-מגנטיות קצרות – E1.
5. פיתוח תשתית תקשורת פנימית מוגנת E1.
6. שימוש בכבלי בקרה המוגנים מפני E1.
7. החזקת שנאים רזרביים של תחנות מיתוג ותחנות משנה במתחמים מוגנים.
8. פיתוח תוכניות הכשרה להתאוששות.

חלק גדול מהחומר הנכתב בנושא ההתגוננות מפני איומים אלקטרו-מגנטיים עוסק בפיתוח אמצעי ניתוח ומודלים, במטרה לגבש מענה אולטימטיבי. הגם ששלבם אלה חשובים ביותר, מן הראוי לציין שההבנה והידע הקיימים בנושא הפרעות אלקטרו-מגנטיות כתוצאה ממזג אוויר חללי עדיין מוגבלים. ככל הנראה, עודנו רחוקים מפיתוח יכולות טכנולוגיות לחזות הפרעות אלקטרו-מגנטיות. גם ניתוח הסבירות של אירוע אלקטרו-מגנטי זדוני אינו ניתן למידול (מלשון מודל) בצורה מדויקת. פיתוח יכולות ניתוח וגיבוש מודלים מדויקים מחייבים מיפוי וניתוח מעמיקים של כל שגאי מערכת החשמל – תהליך הדורש זמן ומשאבים רבים – בעוד שתרומתו של פתרון כזה אינה ודאית.

היעדר פיתוח וחיזוק יכולות התגוננות אינו הסיבה העיקרית למחסור בהגנה מפני איומים אלקטרו-מגנטיים. הסיבה העיקרית לכך היא חוסר מודעות לאיומים אלה. העלאת חשיבותו של הנושא בקרב נבחרי ציבור, גופים רגולטוריים וחברות פרטיות תסלול את הדרך להגברת ההגנה על מערכת החשמל מפני איומים אלקטרו-מגנטיים. חשיבות שיתוף הפעולה בנושא זה בין כל הגופים הרלוונטיים הינה קריטית, גם בשל מבנה שוק החשמל. בארצות הברית, לדוגמה, יש יותר מ-3,300 ספקי חשמל שונים – עובדה המקשה מאוד על יצירת תקן אחיד ומעלה באופן ניכר את הזמן הנדרש ליישום יכולות התגוננות פוטנציאליות. מבחינה זו, בישראל המצב פשוט בהרבה; השליטה הכמעט מוחלטת של חברת החשמל בתחום החשמל בארץ מהווה יתרון ברור ביישום תוכנית התגוננות מפני איומים אלקטרו-מגנטיים.

שלבים בפיתוח תוכנית התגוננות

בשנת 2013 פרסם ד"ר פיטר פריי (Pry), לשעבר מנהל בכוח המשימה בנושא ההגנה מהפרעות אלקטרו-מגנטיות של המשרד להגנת המולדת בארצות הברית, ספר המציג שלוש גישות שונות להתמודדות ולמוכנות של מערכת החשמל לאירועים אלקטרו-מגנטים.⁷³ בשנת 2011 נערך מחקר דומה בארץ על ידי יחידת המדען הראשי במשרד האנרגיה והמים, בשיתוף המועצה לביטחון תשתית האנרגיה (EIS),⁷⁴ במטרה לאמוד את הרגישות וההשפעות של הפרעות אלקטרו-מגנטיות על מערכת החשמל בישראל. שני הפרויקטים הללו אמורים להוות את הבסיס לשלב הבא, שבו יוצגו אסטרטגיות להתמודדות עם האיום, תוך לקיחה בחשבון של מקורו וסוגו, וזאת בהתאם לשלוש רמות הגנה שיפורטו להלן.

רמות ההגנה השונות

הקו המנחה לפיתוח תוכנית לצורך התמודדות עם האיום אלקטרו-מגנטי מבוסס על ניהול מערך עדיפויות לכל חלק במערכת החשמל, וזאת בהתאם לחשיבותו לתפקוד החברתי ולתרומתו להמשך תפקודה של מערכת החשמל ולאתחולה לאחר קריסה. תוכנית כזאת תידרש לכלול תקנים מפורטים וברורים של נוהלי עבודה ורכיבים טכניים לכל רמות השליטה האזוריות של מערכת החשמל.

שלוש רמות ההגנה מפני האיום האלקטרו-מגנטי הן:

רמה א' – הגנה מלאה: שימוש באמצעים המתקדמים ביותר כדי להקשיח את התשתית הקיימת, והבטחת המשך עבודה שוטפת גם במהלך אירוע אלקטרו-מגנטי ולאחריו. רמה זו מיועדת למוקדי הפיקוד והשליטה של מערכת החשמל, כמו גם למערכות וגופים שתפקודם וביטחון המידע הדיגיטלי שברשותם נמצאים ברמת חשיבות עליונה. רמה ב' – התאוששות מהירה: שימוש באמצעים אשר יבטיחו יכולת שיקום וחזרה לשגרה מהירה לאחר אירוע אלקטרו-מגנטי.

רמה ג' – התאוששות הדרגתית: שימוש מזערי באמצעים הגנתיים, תוך התמקדות בתכנון נוהלי שיקום לאחר אירוע אלקטרו-מגנטי.

התאמה בין רמות הגנה ובין מקור האיום וסוגו

במקרה של אירוע אלקטרו-מגנטי ישנה חשיבות מרבית לסוג הפרעות הנוצרות, שכן פעימות אלקטרו-מגנטיות בתדרים ובעוצמות שונים משפיעות באופן שונה על רכיבי מערכת החשמל. החלוקה המקובלת היא:

1. פעימה אלקטרו-מגנטית ארוכה (E3) – הפרעות אלו נוצרות בעקבות זרם גיאומגנטי מושרה (Geomagnetic Induced Current – GIC), אשר נוצר כתוצאה טבעית של מזג אוויר חללי קשה או כתוצאה של פיצוץ גרעיני בגובה רב. פעימה אלקטרו-מגנטית ארוכה משפיעה על אזור נרחב, ובמקרים מסוימים השפעתה מגיעה עד מרחב של

חצי יבשת. ההשפעות העיקריות של פעימה כזו כוללות פגיעה בתחנות כוח ושנאים בתחנות מיתוג ובתחנות משנה, התכתם של כבלי חשמל תת־קרקעיים, שריפת קווי מתח עיליים ופגיעה בצידוד אלקטרוני ובתשתית קווי הטלפון.

2. פעימה אלקטרו־מגנטית קצרה (E1) – הפרעות אלקטרו־מגנטיות אלו הן בעלות מקור זדוני ויכולות להיווצר כתוצאה משימוש בדופק אלקטרו־מגנטי גרעיני או לא גרעיני. האיזמים המרכזיים מפגיעת פעימה אלקטרו־מגנטית קצרה הם פגיעה במרכזי פיקוד ושליטה המשמשים לפיקוח, לשליטה ולאיסוף נתונים,⁷⁵ פגיעה בממסרים, ביחידות חלוקה מרכזיות וביחידות קצה.

אסטרטגיות הגנה מפני פעימות אלקטרו־מגנטיות

פיתוח אסטרטגיות הגנה מפני פעימות אלקטרו־מגנטיות נשען על התאמה בין מקור וסוג ההשפעות שלהן ובין התאמתן לשלוש רמות ההגנה שפורטו לעיל:

1. רמת הגנה א' (הגנה מלאה) ורמת הגנה ב' (התאוששות מהירה) מפני פעימה אלקטרו־מגנטית ארוכה: קנה המידה הרחב של השפעת פעימה אלקטרו־מגנטית ארוכה הוא הקושי העיקרי בפיתוח יכולות הגנה ברמה א' וברמה ב'; כלומר, הפוטנציאל לפגיעה במספר רב של רכיבים קריטיים (לדוגמה, שנאים) דורש גישה הבנויה על מנגנון אוטומטי שימנע את כניסת הזרם הגיאור־מגנטי המושרה למערכות. גישה ראשונה למניעת כניסת הזרם הגיאור־מגנטי למערכות בנויה על זיהוי מוקדם ועל מערכת אוטומטית אשר תנתק את השנאי. הבעייתיות בגישה זו היא ששנאים כוללים היום אמצעי הגנה אשר הופכת את גישת הניתוק ליעילה רק בטווח מסוים. גישה שנייה דוגלת במניעת הגעתו של הזרם הגיאור־מגנטי לשנאי, וזאת על ידי חסמי זרם בבסיס של שנאי תחנות מיתוג ותחנות משנה. קיימים מספר עיצובים לחסמי זרם אלה, וחלקם כבר עבר את שלבי הניסוי והבדיקות. שיטה נוספת למנוע את כניסת הזרם הגיאור־מגנטי למערכת היא על ידי הטמעת רצף של כבלים חשמליים על קווי המתח הגבוה. שיטה זו הוכחה כמוצלחת ביותר כאשר יושמה במחוז קוויבק בקנדה לאחר הסופה האלקטרו־מגנטית בשנת 1989, ומאוחר יותר גם בקליפורניה.⁷⁶

2. רמת הגנה ג' (התאוששות הדרגתית) מפני פעימה אלקטרו־מגנטית ארוכה: מבנה מערכת החשמל והרכיבים הפעילים בה מגבירים את הסיכון של פעימה אלקטרו־מגנטית ארוכה. נכון להיום, ההגנה של מערכת החשמל מפני השפעות אלו הינה מזערית. בארצות הברית, מרבית מערכות החשמל הגדולות אימצו נוהלי עבודה והתמודדות עם עומסי יתר הנוצרים כתוצאה מפעימות אלקטרו־מגנטיות כאלו. נוהלי עבודה אלה כוללים הפחתת ייצור החשמל, קביעת תקנים לבניית מתקנים ותרגול והתקנה של שנאים חלופיים.

3. רמת הגנה א' מפני פעימה אלקטרו־מגנטית קצרה: רמת הגנה זו מיועדת למתקנים רגישים ולמערכות פיקוד ושליטה שהם בעלי חשיבות עליונה לתפקוד, לשליטה ולאתחול של מערכת החשמל. מדובר במיקום מכשירים במכלים ייעודיים. מחקרים שנערכו בתחום זה הדגישו גם את חשיבות בחירתם של חומרי הבנייה למתקנים כגורם מחזק להגנה.⁷⁷ כמו כן, כדי לספק הגנה מלאה, יש לבחון את העיצוב הטכני של המכשירים האלקטרוניים במתקנים שהוגדרו לרמת הגנה זו. אפשרויות הגנה נוספות כוללות אמצעים המותאמים ספציפית להגנה מפולסים אלקטרו־מגנטים קצרים.
4. רמת הגנה ב' מפני פעימה אלקטרו־מגנטית קצרה: רמת הגנה זו מיועדת למספר מצומצם של מתקנים במערכת החשמל עצמה. רמה זו תכלול גם מרכיבים הגנתיים הקיימים ברמת הגנה א', אך גם חלקי חילוף (כולל שנאים בתחמ"גים ותחמ"שים) אשר יוכלו להחליף את החלקים הפגועים במערכת החשמל. הכשרת צוותי תגובה תהווה חלק חשוב מרמת הגנה זו.
5. רמת הגנה ג' מפני פעימה אלקטרו־מגנטית קצרה: רמת הגנה זו מיועדת לכל החלקים האחרים במערכת החשמל שאינם נכללים בדרישות של רמות א' או ב'. ההגנה ברמה זו מבוססת בעיקרה על החלפת חלקים תקולים והכנה מוקדמת של צוותים ונוהלי עבודה מפורטים במטרה ליעל את מאמצי השיקום. כיוון שלפעימה אלקטרו־מגנטית קצרה יש אזור השפעה מצומצם, ההערכה היא שעלות ההגנה והשיקום תהיה מזערית.

עלויות

העלות המשוערת של פרויקט למיגון מערכת החשמל בארץ נגד מגוון ההשפעות של הפרעות אלקטרו־מגנטיות נאמד בסכום של שלושים עד ארבעים מיליון דולר לרמת הגנה א' וכמאתיים מיליון דולר לרמת הגנה ג', לפרויקט שיארך בין שלוש לחמש שנים. נתונים אלה מבוססים על מחקר משנת 2013 אשר בחן אסטרטגיות התמודדות ומיגון מפני הפרעות אלקטרו־מגנטיות על מערכת החשמל "אדיסון" בדרום קליפורניה,⁷⁸ כמו גם על מחקר נקודתי ומעמיק שנערך בישראל בשנת 2011 על ידי המשרד לאנרגיה, מים ותשתיות לאומיות, בשיתוף עם המדען הראשי והמועצה לביטחון תשתית אנרגיה, וכן על מספר פרויקטים נוספים. בהתחשב בעובדה שמערכת החשמל עובדת כמקשה אחת, תכנון מקדים של מיגונה יאפשר חיסכון בעלויות. על פי המחקרים שהוזכרו לעיל, עלות התכנון של מערכות אלקטרוניות המוגנות מהפרעות אלקטרו־מגנטיות מהווה תוספת של אחוז אחד עד חמישה אחוזים בלבד לעלות התכנון הכוללת של אותן מערכות.

פרק 4

מה ניתן ללמוד מהניסיון הבין-לאומי?

ביטחון רשת החשמל והתשתיות הקריטיות האחרות מהווה סוגיה גלובלית מרכזית ואקטואלית. פגיעה ברשת החשמל של פקיסטן בינואר 2015, אשר הותירה שמונים אחוזים מתושבי המדינה ללא חשמל,⁷⁹ והפסקת חשמל המונית ב-45 מבין 81 הפרובינציות של טורקיה במארס 2015,⁸⁰ היו שני אירועים שהבליטו בעת האחרונה ביתר שאת את חשיבותו של הנושא.

ארצות הברית נמצאת כיום בעמדה מובילה ברמה הגלובלית בנושא ביטחון רשת החשמל, ולפיכך מהווה את המקור העיקרי ללמידה. בשנת 2013 פרסם המשרד לביטחון המולדת את הגרסה המעודכנת של התוכנית להגנת תשתיות לאומיות – NIPP 2013.⁸¹ תוכנית זו מפרטת כיצד על הממשל ועל גורמים במגזר הפרטי בארצות הברית לפעול יחדיו כדי לנהל סיכונים. התוכנית מהווה פיתוח של גרסה קודמת שלה, אשר פורסמה בשנת 2006. הגרסה המעודכנת עונה על הדרישות המופיעות בהנחיות הנשיאותיות למדיניות בנושא ביטחון תשתיות קריטיות (PPD-21),⁸² שפורסמה בפברואר 2013. היא הוכנה בשיתוף עם 16 מגזרי תשתיות קריטיות בחמישים המדינות של ארצות הברית ובכל הרבדים של הממשל והתעשייה.

התוכנית האינטגרטיבית להגנה על תשתיות קבעה שלושה עקרונות מנחים לכיווני פעילות מרכזיים:

1. זיהוי, הרתעה, גילוי והיערכות לסיכונים העיקריים לתשתיות החיוניות.
2. צמצום (mitigation) רמת הפגיעות של מערכות, נכסים ורשתות חיוניות.
3. הפחתת השלכותיהן הפוטנציאליות של תאונות ופעולות עוינות על תפקודן של תשתיות חיוניות.

התוכנית להגנת תשתיות לאומיות של ארצות הברית מדגישה כי יישום מיטבי של העקרונות המנחים וקידום תהליכי קבלת החלטות מיטביים מותנים בשימוש מרבי במכלול תשומותיהם, יכולותיהם ומומחיותם של השותפים הרלוונטיים מן המגזר הציבורי, הפרטי וההתנדבותי. בנוסף לכך, התוכנית גורסת כי יש לקדם באופן פרו-אקטיבי את הפעילות המשותפת של בעלי העניין הרלוונטיים בסוגיות של חוסן

תשתיות חיוניות, וזאת באמצעות שלושת אפיקי הפעולה הבאים: מיסוד השותפויות, קידום החדשנות בתחום ניהול הסיכונים והתמקדות בתפוקות.

אחד המחקרים המקיפים והעדכניים ביותר בנושא ביטחון רשת החשמל פורסם בארצות הברית באוקטובר 2014 על ידי הארגון הלא ממשלתי "המרכז לחקר הנשיאות והקונגרס" (CSPC).⁸³ פרויקט מחקרי זה נמשך כשנה וכלל עבודה משותפת רציפה ולמידה הדדית יחד עם גורמי ממשל, מחוקקים ונציגי המגזר הפרטי. מטרתו העיקרית הייתה להבין את מכלול האיומים בפניהם ניצבת מערכת החשמל בארצות הברית ולאחר את הדרכים האפקטיביות ביותר לחזק את חוסנה. עבודת המחקר מתייחסת בהרחבה לנושאים הבאים:

1. מאפייניה של מערכת החשמל האמריקאית.
2. ניתוח מתקפות שונות על רשת החשמל, בעיקר במהלך העשור האחרון. המדובר במתקפות סייבר, במתקפות פיזיות, באירועי מזג אוויר קיצוני ובאירועים אלקטרו-מגנטיים.
3. סקירת הגורמים המאיימים על רשת החשמל בארצות הברית: מדינות (רוסיה, סין, איראן, צפון קוריאה), ארגונים שאינם מדינות וגורמים פרטיים.
4. ניתוח מענים אפשריים לאיומים השונים: אבטחה פיזית, אבטחה קיברנטית, התגוננות בפני דופק אלקטרו-מגנטי ומזג אוויר קיצוני, והתאוששות ממתקפות שונות.
5. פעולות שעל גופים שונים בארצות הברית (פדרליים, המדינות והתעשייה) לבצע.
6. תמריצים כלכליים והיבטים ביטוחיים.
7. המבנה העתידי של רשת החשמל האמריקאית.

התובנות העיקריות שהתגבשו במסגרת עבודת מחקר זו הן כי יש לטפל בנושא ביטחון מערכת החשמל בגישה מובנית ואסטרטגית, תוך התבססות על ניתוח סיכונים. מערכת החשמל ניצבת בפני מגוון גדול של איומים. התמקדות באיום מסוים עלולה למנוע טיפול באיומים אחרים; מצד שני, לא ניתן לתת מענה מושלם לכלל האיומים. לפיכך, יש לדרג מעת לעת את עוצמות הסיכון המוצבות על ידי האיומים השונים. התובנות המתמייחסות לטווח הזמן הקצר הן:

1. יש חשיבות רבה לכך שהממשל בארצות הברית ימשיך לנקוט פעולות להגברת הביטחון של תשתיות קריטיות בכלל וביטחון מערכת החשמל בפרט.
2. מומלץ כי הקונגרס יפעל להקמת התשתית החוקתית לשיתוף מידע במסגרת ביטחון קיברנטי.
3. מומלץ כי שיתוף מידע במסגרת ביטחון קיברנטי ייעשה, ככל הניתן, בתהליכים אוטומטיים.

4. חשוב לפתח תוכניות שיאפשרו לעובדים רלוונטיים במגזר הציבורי לעבוד למשך תקופה קצובה בחברות החשמל הפרטיות, ולהיפך. זאת, לצורך למידה מקיפה והפריה הדדית.
5. יש חשיבות לכך שהתוכנית העסקית להמשך ההשקעות בביטחון מערכת החשמל תכלול את מרב הגורמים הרלוונטיים במגזר הפרטי.

התובנות הנוגעות לטווח הזמן הארוך הן:

1. מומלץ כי משרד האנרגיה של ארצות הברית ימשיך לרכז את הטיפול הכולל בביטחון מערכת החשמל מול חברות החשמל הפרטיות. המשרד לביטחון המולדת יהיה הסוכנות המרכזית לטיפול בנושא הסייבר, תוך שיתוף פעולה רצוף עם קהילת המודיעין האמריקאית.
2. יש חשיבות להעמקת הניתוח של מכלול המשמעויות של השפעת ביטחון מערכת החשמל על תשתיות קריטיות אחרות.
3. מומלץ כי הקונגרס יבסס וירחיב את התשתית החקיקתית לשם הגברת התיאום ושיתוף הפעולה בין מכלול הגורמים הקשורים למערכת החשמל. במקביל לכך, יש חשיבות רבה לגיבוש וחיזוק שותפויות בין גורמי הממשל ובין תעשיית החשמל לשם שיפור ביטחון מערכת החשמל.
4. מתוך הכרה בחשיבותו הרבה של הנושא, יש לרתום גורמים לאומיים מרכזיים, כמו המשמר הלאומי, להגברת הביטחון של מערכת החשמל.
5. יש חשיבות רבה לכך שהסוגיות הנוגעות לרשת חכמה, רשתות מקומיות ואנרגיות מתחדשות ייבחנו לעומק גם בהיבטי ביטחון מערכת החשמל ואמינותה.

במאי 2015 פרסם משרד השיכון והפיתוח העירוני של ארצות הברית מזכר המתמקד בהיבטים תכנוניים בתחום התשתיות הלאומיות.⁸⁴ מסמך זה מדגיש את חשיבותו של שלב התכנון מבחינת חוסן של התשתיות נוכח מצבי חירום מסוגים שונים. כחלק מניתוח מאפייני הפגיעות הפוטנציאליים בתשתיות בעקבות אסונות, מודגשת החשיבות של ניתוח מקיף של ההשלכות העלולות לנבוע משינויי אקלים. כדי לספק תמריצים של ממש לביצועם הנכון של תהליכי התכנון, המזכר מפרט בהרחבה את מגוון מקורות המימון והייעוץ הטכני שגורמי הממשל השונים בארצות הברית עשויים לספק לפרויקטים בתחום התשתיות. בנוסף, המסמך מדגיש את חשיבותם של שיתופי פעולה מתמשכים בין כלל הגורמים הרלוונטיים הן ברמה הפדרלית, הן ברמת המדינות והן ברמה המקומית, וזאת לשם הגברת החוסן.

מחקר חשוב נוסף, הרלוונטי לענייננו, עוסק בניתוח ההשלכות והמשמעויות של הסופה "סנדי" בשנת 2012 מבחינת חוסן התשתיות. המחקר נערך על ידי צוות חוקרים ממוסדות מחקר שונים בארצות הברית בראשות פרופ' סטיבן פלין (Flynn) מאוניברסיטת

נורת'איסטרן.⁸⁵ מסקנות המחקר מדגישות את הצורך בהגברת השילוביות (הן מבחינת מנגנונים בין-ארגוניים והן בהיבטים הטכנולוגיים) בין בעלי העניין השונים והתשתיות השונות, וזאת לפני התרחשותם של מצבי החירום, במהלכם ולאחריהם; בהחמרת תקני הבנייה השונים לתשתיות לשם הגברת החוסן; במתן תמריצים כלכליים להיערכות מוקדמת, כדי שתהיה נרחבת ככל הניתן.

מעבר למחקרים שצוינו לעיל, מתקיים בארצות הברית בשנים האחרונות תהליך רב-שנתי מקיף, המובל על ידי גוף ממלכתי – המכון הלאומי לתקנים וטכנולוגיה (The National Institute of Standards and Technology – NIST) – בשיתוף עם בעלי עניין שונים, ותוך דיאלוג עם גורמים רלוונטיים ומומחים מחו"ל. תהליך זה נועד לגבש תקנים טכנוניים מקיפים בתחום התשתיות, ובמסגרתו כבר פורסמה שורת מסמכים להתייחסות הציבור ובעלי עניין. המסמך האחרון במסגרת זו פורסם באפריל 2015.⁸⁶ התקנים שייקבעו במסגרת התהליך מיועדים להגביר את חוסן התשתיות, לזהות פערים העלולים לפגוע בחוסן זה ולהביא לצמצומם. לצורך זה עוסק התהליך הן בהיבטים עיוניים והן בהיבטים יישומיים-ארגוניים. השלב הבא המתוכנן במסגרת תהליך זה הינו הקמת גוף מייעץ רשמי בנושא של חוסן התשתיות – Disaster Resilience Standards – Panel (DRSP) – אשר ייצג את מכלול הגורמים הרלוונטיים ויסייע בפיתוחם והטמעתם של תקנים להגברת חוסן התשתיות.

ההמלצות והתובנות של המחקרים והתהליך שהוזכרו לעיל גובשו לצורכי הזירה האמריקאית, אך נראה כי יש מקום לבחינת התאמתן גם לישראל. סוגיות הליבה הן אותן סוגיות, ולכן מוצע לבחון לעומק כיצד ניתן לעשות שימוש מותאם, גמיש ומושכל בתובנות האמריקאיות גם במציאות הישראלית.

פרק 5

מסקנות המחקר

כללי

בדוח מבקר המדינה 65 ב' מדצמבר 2014⁸⁷ קבע המבקר, בין היתר, את הדברים הבאים: "נושא מרכזי וחשוב בדוח הוא מיגון המתקנים הרגישים בישראל כנגד האיום עליהם. בביקורת זו נבדק גם תיקון הליקויים שהועלו בביקורת קודמת משנת 2010. נמצא שלא חלה התקדמות של ממש במתן המענה לאיום, ואפילו ניסיון למגן חלקית מתקנים אזרחיים רגישים, לפי הוראת ראש הממשלה, טרם הסתיים".

המסקנה הכוללת העיקרית של עבודת מחקר זו מורכבת משתי תובנות מרכזיות:

- יש להתייחס לביטחון מערכת החשמל בישראל במבט כלל לאומי. מבט זה מחייב בחינה מקצועית מוסמכת ומאוזנת, שתבסס על יחסי עלות/תועלת (או לחילופין תתבסס על הנזק למשק ולביטחון הלאומי), ותרגומה לתכנון רב-שנתי. כל זאת, כבסיס ליישום המסקנות וההמלצות בשטח, על כל מרכיביהן.
- הממשלה, כרגולטור, חייבת לקבל בטווח הקצר ביותר החלטה עקרונית לגבי אחריותם של כל הגורמים המעורבים בנושא מחד גיסא, ולגבי השאלה העקרונית מי יישא בעלויות הגבוהות הנדרשות כדי לעמוד בתקנים שייקבעו לגבי הרציפות התפקודית הנדרשת של משק החשמל מאידך גיסא. לדעתנו, השאלה מי יישא בעלויות אלו – הממשלה או התעשייה – היא פחות קריטית מאשר המשך המצב הנוכחי, בו לא מתקבלת החלטה, ועקב כך מתמהמהת ההיערכות הנדרשת.

פרק ההמלצות שלהלן יתמקד בארבעה תחומים עיקריים: בחירת אסטרטגיה כוללת; קווים מנחים בתחום הטכנולוגי והתפעולי; קווים מנחים בתחום הארגון והמבנה; קווים מנחים בתחום הקהילתי-פוליטי

בחירת אסטרטגיה כוללת

הנטייה המובילה והמקובלת בעולם כולו בתחום הניהול של אסונות המוניים לסוגיהם – נטייה שהיא כמעט בחזקת ברירת מחדל – ניתנת להגדרה כגישת ההדחקה או ההתכחשות ברמה הפוליטית. זו מתבטאת באמירה "בתקופתי זה לא יקרה" (Not In My Term of Office – NIMTO).⁸⁸ הקשות המתחייבות מהתמודדות פעילה עם אסונות

המונניים מהוות חסם טבעי בפני קבלתן, מה גם שעלות ביצוען, גם במונחים פוליטיים וגם במונחים תקציביים חלופיים של פגיעה באינטרסים ובצרכים מידיים אחרים, היא גבוהה בדרך כלל. הגישה של "הדחוף קודם לחשוב" עושה שמות ביכולתם של מקבלי החלטות ברמות השונות לפעול בזמן כדי להציב מענים ופתרונות לאיומים השונים בתחום האסונות המונניים, כולל אלה הצפויים, קל וחומר במישור של האיומים הפחות צפויים במהותם, בעוצמתם, או בנזקים שהם יגרמו.

בדור האחרון גובר הלחץ על מקבלי ההחלטות להיחלץ מאסטרטגיה פשטנית זו של הדחקה ודחייה ולפעול בצורה גלויה ונחושה מול הסיכונים הגוברים של אסונות המונניים. תהליכי הגלובליזציה והעיור המאפיינים את עולמנו מגבירים את הסיכון של אסונות כאלה, או של הפרעות קשות, יוצרים חשיפה גבוהה מאוד לנזקים האפשריים הקשים, ומעצימים בהכרח את המודעות לצורך להתייחס בעדיפות גבוהה לנושאים המתחייבים מהתמודדות מערכתית ראויה עם אסונות המונניים. לכך ניתן להוסיף את ההבנה הגוברת בעולם, כי האסטרטגיה הראויה להתמודד עם אסונות המונניים היא להתבסס על הפרדיגמה של "all hazard approach"⁸⁹. פרדיגמה זו גורסת כי לא נכון לאבחן ולהפריד בין אסונות שמקורם מהטבע (natural disasters) ובין אסונות שמקורם מידי אדם (man-made disasters), וכי הדגש בהתייחסות לאסונות צריך להיות לא בסיבתם, אלא בנזקים ובהשלכות הקשות שהם יוצרים על המערכת הנפגעת. הגישה המחליפה בהדרגה את תפיסת הדחייה היא זו של ההגנה (resistance). גישה חדשה זו מתמזה בנקיטת צעדים שנועדו לסכל, למנוע, לדחות, ובמידת האפשר להגן מפני הנזקים של האסון הרלוונטי הצפוי, זה שמקורו מהטבע או מידי אדם, או לצמצמו. תמצית תפיסת ההגנה נשענת על הנחת היסוד לפיה ניתן לחזות את האסון ואת ממדיו, כולל את מיקומו, את זמן האירוע שלו, את מסלולו ואולי אף את היקף נזקיו, ולכן גם אפשר להקדים תרופה למכה: מניעה כוללת (prevention) או לפחות צמצום הנזקים (mitigation). הביטוי המעשי של אסטרטגיה זו הוא בניית "חומות" מסוגים שונים, ההולכות ומתרבות ומתפתחות בתחכומן ובטכנולוגיות המאפיינות אותן, וכל זאת במטרה להגן על המערכות, הציבור והתשתיות מפני האסון הבא.

תפיסת ההגנה ההולכת ורווחת הביאה מדינות רבות להשקיע הון עתק בבניית מערכים – רובם מבוססי טכנולוגיה מתקדמת – למניעת אסונות, להגנה מפניהם או לצמצום נזקיהם. ככל שההשקעה בהגנה הגולמית והפיזית על הציבור ועל התשתיות מפני אסונות גדולה יותר, כך ההיערכות המקדימה להם נתפסת כראויה יותר. מערכות ההגנה המתקדמות והיקרות מאוד, המתבססות בעיקרן על לקחי מקרים קודמים של אסונות המונניים, אכן יכולות לספק פתרון ראוי, בדרך כלל, לאסונות שכבר קרו, או לדומיהם. דוגמה טובה לכך היא ההשקעה העצומה הנמשכת ואף מתפתחת בהגנה על טיסות בין-לאומיות מפני טרור וחטיפות. זאת, גם שנים לאחר שהאיום הממשי עליהן

הצטמצם מאוד – יש שיאמרו בשל אמצעי ההגנה הללו. הלחימה בטרור התעופה היא חלק מרכזי בתקציבן של חברות התעופה. זאת, מאחר והביקוש לטיסות הוא גמיש יחסית, וחברות התעופה הבינו שעליהן לקחת חלק מרכזי במימון ההתגוננות מפני פגיעה בהן, כדי לצמצם למינימום את הירידה בביקוש, וכתוצאה מכך בעסקיהן. לעומת תחום התעופה, הביקוש לחשמל הוא קשיח ואיום טרור לא יפחית אותו.

כאן נחשפת החולשה העיקרית של אסטרטגיית ההגנה (resistance). זוהי אסטרטגיה צפויה ובלתי נמנעת, המעניקה במידה רבה פתרונות נכונים לצורך להתמודד עם אסונות המוניים לסוגיהם, אך היא אינה נותנת מענה מלא לבלתי צפוי ולבלתי נודע – המאפיינים חלק גדול של האסונות הגורמים נזקים גדולים. בהקשר זה חשוב לציין ולהטמיע כי אין שום מערכת הגנה, מתוחכמת ויקרה ככל שתהיה, שתעניק הגנה הרמטית ותשמש פתרון מוחלט לאתגרים של אסונות המוניים.

הבעיה היא שדווקא הצלחות מוכחות של מערכות הגנה מתקדמות, כמו ההישגים המרשימים מאוד של מערכת ההגנה האקטיבית "כיפת ברזל", יוצרות תחושה של יכולת מניעה מרחיבה, ומכאן קצרה הדרך להסתמכות עיוורת על מערכות כאלו בתרחישים צפויים וידועים, קל וחומר בתרחישים בלתי ידועים. מכשלה זו אינה מוכרת ואינה מובנת לציבור הרחב וגם לא למרבית מקבלי החלטות. גם אלה המתמודדים בצורה מושכלת יותר עם המכשלות והמגבלות של מערכות הגנה באשר הן, נוטים בדרך כלל לחפש פתרונות בתחומי השיפור האיכותי וההרחבה הכמותית של מערכות הגנה קיימות. נדירים יותר המקרים בהם מחפשים פתרונות "מחוץ לקופסה", כפי שנדרש מול תרחישי אסונות בלתי צפויים. על רקע זה ניתן לקבוע כי מסלול ההגנה אינו מספק תשובות מלאות לאסונות כאלה, המחייבים חיפוש אחר אסטרטגיה אחרת – אם לא חלופית, אזי משלימה.

הכישלונות המדהדים והתכופים של השנים האחרונות בהתמודדות עם אסונות המוניים רחבי היקף, הנובעים מהטבע או ממעשה ידי אדם,⁹⁰ הביאו לגיבושה של אסטרטגיה חלופית ההולכת ותופסת מקום ותאוצה. זוהי אסטרטגיית ה-resilience, המציעה כיווני חשיבה והיערכות משלימים לאסטרטגיית ההגנה. המונח העברי שאומץ לאסטרטגיה החדשה – "חוסן"⁹¹ – אינו עושה צדק עם המשמעות המלאה של המושג המקצועי resilience המקובל בעולם הרחב, ואף תורם להטיה ולהטעייה. "חוסן" כולל מרכיבים של עוצמה (robustness), כושר עמידה ונחישות, במיוחד בהקשר להתמודדות עם הטרור, שאינם כלולים במונח resilience. אמנם, בספרות המקצועית הענפה ניתנו הגדרות רבות למונח resilience, שהפך בשנים האחרונות לרווח גם במסמכים הרשמיים של מדינות מובילות בעולם, ובראשן ארצות הברית ובריטניה.⁹² ההגדרה המוצעת למונח זה היא במקרים רבים רחבת היקף וכוללת מרכיבים מגוונים בתחומי ההיערכות לאסונות המוניים, כמו למשל הקביעות המכוננות של האקדמיה הלאומית

למדעים של ארצות הברית, שפרסמה ב־2012 עבודה רחבת היקף בנושא זה, תחת הכותרת: *Disaster Resilience: A National Imperative*⁹³

כדי לפשט את התמונה ולהבהירה, נציע כאן כי resilience מבטא את כישוריה של מערכת – כל מערכת, בין אם היא תשתית, אנושית, קהילתית, כלכלית או לאומית – להתמודד בהצלחה עם אסונות המוניים מהטבע או מידי אדם, להכיל את תוצאות האסון בהתאם לממדיו, לאפשר ולקבל נסיגה תפקודית גמישה (“bend rather than break”) וליצור בעקבותיה התאוששות מהירה וחזרה לתפקוד מערכתי נורמטיבי, ברמה המאפשרת שימור זהותה ותפקודה המקורי של המערכת, או אף שיפורה.

יש להדגיש ולציין כמה מרכיבים הכרחיים לעניין ה־resilience:

1. ה־resilience יובא לידי ביטוי לעולם בהקשר של אסון⁹⁴ או הפרעה משמעותית המאיימת על תפקודה וזהותה של המערכת הנפגעת, או לפחות פוגעת באופן ניכר בפונקציות המגדירות אותה.
2. תפיסת ה־resilience יוצאת מההנחה כי בכל מקרה תיווצר נסיגה תפקודית של המערכת. אם אין נסיגה תפקודית כלשהי, משמעות הדבר היא שלא הייתה פגיעה של ממש, ובוודאי שלא היה אסון.
3. מושג המפתח הבסיסי של הפרדיגמה הנדונה הוא התאוששות (bouncing back), המבטא את יכולתה של המערכת לחזור לתפקוד מערכתי, וזאת כמבחן עליון ל־resilience שלה.

הרעיון האופרטיבי המוביל בתפיסת ה־resilience הוא הצורך ליצור או להעצים את היכולת של המערכת הנדונה להיות מסוגלת להתאושש במהירות לאחר הפרעה המשמעותית ולשוב לתפקוד נורמטיבי.⁹⁵ תפקוד זה אינו חייב להיות בהכרח בתצורה זהה למקורית, ובלבד שהוא יבטא את ייעוד הליבה של המערכת. מערכת בעלת מידת resilience גבוהה תחזור לתפקוד נורמטיבי מהר יותר ממערכת בעלת מידת resilience בינונית או נמוכה. המבחן העיקרי כאן הוא משך הנסיגה התפקודית וזמן החזרה לתפקוד מערכתי. זו המשמעות העיקרית של מה שמכונה במקומותינו “רציפות תפקודית”. הרציפות הנדרשת בפרדיגמה של resilience, אין פירושה שלא תיווצר הפרעה תפקודית כלשהי בעקבות האסון. אדרבא, כל הפרעה תיצור בהכרח נסיגה בתפקוד, אלא שבמערכת בעלת resilience, ההפרעה תהיה קצרה בזמן ותתאפשר חזרה מהירה לתפקוד נורמטיבי.

מושכל חשוב נוסף בהקשר הנדון גורס כי ה־resilience הגנרי של כל מערכת אינו נתון קבוע או מובטח. כדי לקיים את הרמה הנדרשת, יש צורך בפעולה מושכלת, מתוכננת, מקדימה ונמשכת, שתכליתה יצירת מתנגונים ונסיבות מערכתיות, שיהיה בהם כדי להבטיח תפקוד נכון של המערכת לאחר שחומות המגן שנוצרו כדי למנוע

את האסון או לצמצם את נזקיו, קרסו או נכשלו בייעודן. אחת המשימות הקשות בתפיסת ה־resilience הלכה למעשה הינה לייצר כלים, תהליכים ומנגנונים שיבטיחו את הרמה הנדרשת של חזרת המערכת לתפקוד לאחר האסון. מבחינה זו, יש בתיאוריה בסיס תפיסתי רחב, אולם הוא מחייב דיפרנציאציה בבחירת הכלים הדרושים כדי להעצים את כישוריה של המערכת, וזאת בהתאם לסיכונים הרלוונטיים מצד אחד ולמאפייניה של כל מערכת מצד שני.

מבחינה זו, תפיסת ה־resilience הבסיסית אמורה להשלים ולחזק את תפיסת ה־resistance, בכך שהיא מכוונת להתמקדות בשלב שלאחר הפריצה של מחסומי ההגנה ומיועדת בעיקר להבטיח שיקום מהיר וחזרה לתפקוד מערכתי. הגיוון של המערכות מחייב גם גיוון באמצעים והתאמתם למאפייני המערכת. כך, גישת החוסן החברתי/קהילתי (societal/community resilience) תחייב שימוש בכלי היערכות וחיזוק, השונים במאפייני ההפעלה שלהם מגישת החוסן התשתיתי (infrastructure resilience). גם בקבוצת התשתיות עצמן יהיה מקום להבחנה בין המרכיבים השונים של התשתיות הלאומיות, ובכלל זה מערכות האנרגיה.⁶

בהמשך פרק ההמלצות נציע כמה גישות, דרכים וכלים מערכתיים, שיהיו רלוונטיים לקידום אסטרטגיית ה־resilience בכל הקשור לחיזוק ביטחונה של מערכת החשמל בישראל.

קווים מנחים בתחום הטכנולוגי והתפעולי היערכות לשינויי אקלים

מעבר למאמץ הגלובלי והמקומי הנעשה בתחום ההתייעלות האנרגטית והפחתת פליטות גזי חממה, המענה הריאלי האפשרי לשינויי אקלים הוא היערכות להפחתת הפגיעות ובניית כלים לחיזוק החוסן ברמת השלטון המרכזי על מוסדותיו, השלטון המקומי והפרט, תוך שימת לב לתרחישים שונים הקשורים בשינויים אלה.

ליחידת ניהול המערכת בחברת החשמל יש כיום יכולות גבוהות בחיזוי מזג האוויר, ובמיוחד של הפרמטרים (כגון טמפרטורה ועומס חום) המשפיעים על צריכת החשמל, כמו גם על ייצור החשמל הקונבנציונלי. עם זאת, יש ליצור סינרגיה עם מערכות ידע נוספות, וכן להרחיב את העיסוק בניתוח מגמות לטווח ארוך. פעולות הסתגלות כבר מתרחשות במקומות רבים בעולם, באמצעות תהליכי תכנון בחשיבה לטווחי זמן שונים ורמות ביזור, גודל וגיוון של מקורות הייצור והתשתיות (למשל במשק האנרגיה בצרפת, לאחר אירוע גל החום הממושך בשנת 2003). בשנים הקרובות, עם הגידול בכוח הייצור של חברת החשמל, המבוסס על אנרגיות מתחדשות, תשפר גם יחידת ניהול המערכת של החברה את יכולותיה בכל הקשור לפרמטרים של מזג האוויר הקשורים לייצור חשמל, כגון: קרינת השמש, מהירות הרוח וכיוצא באלה.

חשיבות רבה נודעת לביצוע של הערכת סיכונים וניהולם, בהתאמה לתרחישים שונים של שינויי אקלים – שינויים אקלימיים אינקרמנטליים (עליית מפלס פני הים, תדירות ועוצמת סערות והשפעתן על מיקום תשתיות אנרגיה חופיות) ואירועי אקלים קיצוניים (גלי חום/קור) – אשר ישפיעו הן על תפקוד רשתות תשתית ושירותים קריטיים במערכת אספקת האנרגיה הלאומית והן על תפקוד מערכות תשתית קריטיות הנתמכות על ידי מערכות אספקת האנרגיה.

בהקשר התכנוני יודגש כי ההיערכות והמוכנות המתבקשות של משק האנרגיה לתרחישי אקלים שונים חייבות להיות ספציפיות לכל אזור גיאוגרפי ומותאמות לנסיבות (למשל, לאירועי השלג של דצמבר 2013 בירושלים, בצפת ובסביבתן). אין גישה אחת בלבד להפחתת סיכונים; לשחקנים בכל רמה ואזור, מהפרט ועד לממשלה, יש תפקידים משלימים בהובלת תכנון ויישום ההסתגלות, ויש לשאוף להשגת סינגריות במהלכים שנקטים לטובת הפחתת הסיכונים. כדי להפחית את הפגיעות והחשיפה לאירועי אקלים יש לנקוט צעדים שאינם מטילים נטל כספי רב על הציבור. צעדים אלה צריכים להנקט גם בשל סיבות אחרות, למשל, בשל תחזיות לרעידות אדמה והרחבת היתירות מול סיכונים ביטחוניים ואחרים המפורטים במחקר זה. אילוצים נפוצים שונים עלולים לגרום לפעולות הסתגלות חסרות ואף מזיקות. המדובר באילוצים העלולים לנבוע מהיעדר מודעות ורתימה של מקבלי החלטות לנושא, מאירודאות לגבי השפעות חזויות, ממגבלת משאבי כסף וכוח אדם, מאינטגרציה מוגבלת בין רמות ממשל שונות, מתכנון לקוי, מדגש יתר על תוצאות לטווח קצר ומהערכת חסר של ההשלכות השונות. ניתן לבטח אסון מקומי מפני הנזק הכלכלי הצפוי ממנו על ידי מערכות ביטוח מתאימות. לעומת זאת, נזק ברמה הלאומית מבוטח בדרך כלל על ידי המדינה, שיש לה היכולת ליטול על עצמה את היקף הנזק. כך, למשל, ממשלת ישראל ידעה ליצור מערך ביטוח מהמתקדמים בעולם בתחום החקלאות (חברה ממשלתית משותפת עם החקלאים – הקרן לביטוח נזקי טבע בחקלאות בע"מ). חברה זו גיבשה מנגנון ביטוח בתחום אסונות הטבע, תוך הבחנה, בין השאר, בין "אסון טבע מקומי" ל"אסון טבע לאומי", כך שניתן להתגונן מפני הנזק הכספי של אסון טבע רחב היקף.

אנו ממליצים כי משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים ייזום המשך עבודת תקינה על פרקים נוספים בתקן 413 (הדן בבניית בניינים ובתים שיוכלו לעמוד בפני רעידות אדמה), שתתמקד במתקני חשמל שאינם מכוסים על ידי חלקי התקן הקיימים, וכי על מתקני חשמל קריטיים תוכרז חובה לעמוד בתקנים הללו. כמו כן, ראוי לשקול התקנת שנאים ומשאבות מים במתחמי תחנות הכוח הסמוכות לחופי הים התיכון, שייכנסו באופן אוטומטי לפעולה במקרה של הצפה.

מתקני ייצור קונבנציונליים מבוזרים

ההתפתחות הצפויה של רשת חלוקת הגז הטבעי מאפשרת הקמת יחידות ייצור חשמל ואנרגיה תרמית (חום או קור) מקומיות (קוֹגֶנְרַצִיה), המחוברות לרשת המתח הגבוה והספקן הוא עד כ-16 מגה-ואט. יחידות ייצור אלו יאפשרו המשך תפקוד של מתחם מוגדר (קיבוץ, קמפוס אוניברסיטאי, מרכז קניות מסחרי וכיוצא באלה) גם בהיעדר רשת חשמל (אם כי הן תלויות באספקת גז סדירה וחשופות לסיכון אי-אספקה, או אספקה חלקית, בהתאם לאופי מתקני הגיבוי שייבנו בכל אתר).

ייצור חשמל פרטי מבוזר בהספקים של עד 16 מגה-ואט, ישרת לרוב צרכני חשמל במתח גבוה המחוברים לתחנת המשנה אליה מחוברת תחנת הכוח. בדרך זו לא ייעשה כל שימוש ברשת המתח העליון, שהיא בעלת חשיפה גבוהה לאירוע חריג, וההספק המיוצר על ידי תחנת הכוח יוזרם למרחקים קצרים לצרכנים המחוברים לאותה תחנת משנה.

הקמתן של תחנות כוח מבוזרות תאפשר יכולת לספק הספקים משמעותיים באזור פעילותה ולעבור לעבודה ב-Island Mode באופן מיידי בהתרחש אירוע חריג ולספק את הצריכה הנקודתית.

תחנות כוח בהספק מותקן נמוך ברשת המתח הגבוה, מאופיינות בדרך כלל על ידי יישומה של טכנולוגיית המנועים. למנוע יכולת טכנולוגית חשובה ביותר, המתבטאת ביכולת להגיע למלוא תפוקת הייצור בתוך שתי דקות, בעוד שהזמן הנדרש עבור הטורבינה המוצלחת ביותר להגיע למלוא תפוקת הייצור הוא לפחות 15 דקות. רק לטכנולוגיית ייצור חשמל באגירה שאובה יכולת כניסה מהירה יותר לייצור חשמל (וגם אז מדובר למעשה באגירה ולא בייצור). לפיכך, תחנות הכוח הפועלות על ידי יישומן של טכנולוגיות מנועים יכולות לשמש את מנהל המערכת כיחידות גיבוי לתגובה מהירה על נפילות חדות של יכולת הייצור של היצרנים השונים או על עלייה חדה בביקוש לחשמל.

מתקני ייצור באנרגיות מתחדשות

אנרגיה מתחדשת היא אנרגיה שהשימוש בה אינו כרוך בזיהום סביבתי ומקורה אינו מתכלה. הדוגמאות הבולטות לאנרגיה מתחדשת הן: אנרגיית השמש, אנרגיית הרוח ואנרגיה מביור-גז. השימוש הבולט ביותר באנרגיה מתחדשת הוא לייצור אנרגיה חשמלית, אם כי ניתן לייצר ממקורות אנרגיה מתחדשת גם אנרגיה תרמית, שמצידה יכולה לשמש ליישומים תעשייתיים וביתיים רבים, כמו חימום, קירור וכיוצא באלה. ב-15 השנים האחרונות הלכה וגברה המודעות בעולם, כמו גם בישראל, לצורך בהגדלת השימוש באנרגיות מתחדשות כשיעור מכלל השימוש באנרגיה לייצור חשמל. מודעות זו באה לידי ביטוי בהחלטות ממשלה⁹⁷ ובהסדרות של הרשות לשירותים

ציבוריים-חשמל לקידום הקמתם של מתקני ייצור חשמל שמקורם באנרגיות מתחדשות. ההסדרות הבולטות ביותר, שגם נשאו את הפירות המשמעותיים ביותר, הן ההסדרות בתחום הסולארי הפוטו-וולטאי. נראה כי בשנים הקרובות צפויה התפתחות משמעותית גם בתחומי הרוח והביו-גז.

לייצור חשמל מאנרגיית שמש, מאנרגיית רוח ומביו-גז מספר מאפיינים בולטים הרלוונטיים לביטחון רשת החשמל:

1. היעדר תלות בתשתית פגיעה: בעוד שניתן לפגוע במתקני ייצור חשמל המוסקים בגז טבעי או בפחם, על ידי פגיעה בקווי ההגעה למתקני הייצור, אין אפשרות מעשית לבלום את הגעת קרני השמש או משבי הרוח למתקני הייצור, או את התהליך הביולוגי לייצור ביו-גז. מאפיין זה יכול להפוך את מקורות האנרגיה המתחדשת לזמינים בעת משבר – ביטחוני או אחר – במשק החשמל. אנרגיה מתחדשת יכולה לשמש תחליף זמין לחלק מצורכי החשמל במשק הישראלי.
2. יכולת המערכת להתאים עצמה להיקפי ייצור שונים (Scalability): מתקני ייצור באנרגיה מתחדשת ניתן לבנות בדרך כלל בטווח הספקים רחב, החל בקילו-ואטים בודדים וכלה בעשרות ואף מאות מגה-ואטים. פירוש הדבר הוא שבאמצעות מתקני ייצור באנרגיה מתחדשת ניתן להבטיח אספקת חשמל (לפחות חלקית) גם למתחמים קטנים יחסית, כמו בתים פרטיים, בתים משותפים ואף שכונות, אזורי תעשייה, קיבוצים ומושבים, וזאת גם אם תשתית ההולכה והחלוקה המזינה מתחמים אלה נפגעה. מאפיין זה, המספק פתרון ייצור מודולרי, תואם את המגמה הרווחת בתכנון משקי חשמל מודרניים – "איים אנרגטיים" ("Islanding") – הרואה מקבצי צרכנים כמערכת מקומית (micro-grid) היכולה להיות מופרדת מן המערכת הארצית, בדרך כלל כתוצאה של תקלה, תוך המשך תפקוד חשמלי של המקבץ. בהקשר זה יש לציין כי הרגולציה הנוכחית לא מאפשרת עבודה ב-"island mode". בהיעדר מתח ותדר רשת תקינים, הממירים המאושרים כיום לשימוש לא יכולים להעביר את הספק המערכת הפוטו-וולטאית לרשת החשמל. קביעה זו הגיונית לגבי מערכות פוטו-וולטאיות בינוניות וגדולות שאין להן בהכרח צרכן צמוד ומזוהה, אך יש מקום לבחון שינוי בה לגבי מערכות קטנות, במיוחד ביתיות.
3. שרידות המתקן: מתקני ייצור באנרגיה מתחדשת בהספקי ייצור משמעותיים פרוסים בדרך כלל על שטח גדול, דבר המגדיל, מן הסתם, את סיכויי פגיעתם על ידי טילים או רקטות. יחד עם זאת, מתקנים אלה הם בעלי אופי מודולרי, כך שהוצאה מכלל פעולה של רכיב בודד בהם אינה משביתה לרוב את מתקן הייצור כולו. להמחשת נקודה זו נתבונן במתקן ייצור פוטו-וולטאי גדול בהספק של כארבעים מגה-ואט, המוקם בימים אלה בדרום הארץ ועתיד להתחבר לרשת המתח העליון. מתקן זה מורכב מכ-400,000 מודולים ומארבעים ממירים. פגיעה בכמה עשרות או מאות

מודולים מתוכם תהיה בעלת השפעה זניחה. במקביל, משך ההחלפה של ממירים שנפגעו הוא קצר יחסית, ובהנחה שיהיה מלאי מתאים שלהם, ההחלפה עשויה לארוך שעות עד ימים ספורים בלבד.

4. מהירות ההקמה/התיקון: המודולריות של מתקני ייצור באנרגיה מתחדשת, במיוחד על אנרגיה סולארית פוטו־וולטאית, מאפשרת הקמה מהירה והחלפה של חלקים פגועים במתקן, ולמעשה מגבירה את מהירות השיקום של כלל המערכת בעקבות פגיעה. כך, למשל, אם ייפגע מתקן פוטו־וולטאי במדינת ישראל, ייקח כמה שבועות להחליף את המודולים הפגועים. נקל לשער כי הנזק שהייתה גורמת פגיעת רקטות במתקן קונבנציונלי תהיה חמורה הרבה יותר, ומשך התיקון יהיה אז ממושך בהרבה.

למרבת מתקני הייצור באנרגיה מתחדשת יש כיום חיסרון משמעותי ביחס למתקני ייצור באנרגיה קונבנציונלית. חיסרון זה נובע מהתלות של מרביתם במקור אנרגיה שאינו זמין כל העת, כגון שמש או רוח. הפתרון לחיסרון זה הוא במתקני אגירה, אשר יאפשרו גישור בין פרקי זמן בהם מקור האנרגיה המתחדשת הוא זמין ובין פרקי זמן בהם אנרגיה זו אינה זמינה. קיימות שיטות שונות לאגירת אנרגיה (אגירה תרמית, אגירה חשמלית, אגירת מים ואגירת אוויר דחוס), ונראה כי מוקדם עדיין לקבוע איזו שיטה היא הטובה ביותר. ייתכן כי לכמויות אנרגיה שונות תתאמנה שיטות אגירה שונות. אגירה בפרויקטים תרמו־סולאריים מאפשרת הזרמה רציפה של אנרגיה מתחדשת לרשת. הממשלה יזמה את פרויקט "אשלים", הכולל שתי תחנות תרמו־סולאריות (כמו גם תחנה פוטו־וולטאית) – אחת על בסיס טכנולוגיית השוקת (אשר ממקדת את אור השמש באמצעות מראות קעורות אל גוף חימום הניצב במרכז המראות), בהספק של 136 מגה־ואט מותקן, והשנייה על בסיס טכנולוגיית מגדל שמש (אשר עושה שימוש בשדה של מראות נעות (הליוסטטים) אשר מרכזות את אור השמש אל גוף חימום מרכזי אשר ממוקם ברם מגדל קליטה) בהספק של 125 מגה־ואט מותקן.

בעולם של אמצעי ייצור מבוססי דלקים פוסיליים, כגון גז, פחם, סולר ומזוט, לאנרגיה המתחדשת יש תפקיד חשוב בגיוון מקורות הייצור ואתרי הייצור. ניהול מערכת חשמל המחוברת אל אתרים רבים של אנרגיה סולארית, אנרגיית רוח ואגירה שאובה (ראו להלן) יכול לשפר את שרידות המערכת ולחזק את ממד הביטחון של מערכת החשמל בכללותה. על כן, ההמלצה היא לקדם ולהאיץ את פיתוחן של האנרגיות המתחדשות בישראל. אנו גם ממליצים שישראל תקדם מדיניות שתאפשר המשך אספקת החשמל לאחר אירוע פגיעה ברשת ורציפות תפקודית של הבית הפרטי, ובעתיד, עם ההתקדמות הטכנולוגית – גם במגזרי צרכנות אחרים.

אגירה שאובה

בישראל מקודמים כיום מספר פרויקטים של אגירה שאובה בהספקים של מאות מגה-ואט כל אחד. מתקני אגירה שאובה עושים שימוש בשאיבת מים ממאגר תחתון למאגר עליון בשעות שפל בביקוש לחשמל ושחרור המים בכיוון הפוך, תוך ניצול האנרגיה שלהם ליצירת חשמל בשעות שיא, או בעת צורך של מערכת החשמל. מתקני אגירה שאובה נחשבים כבעלי תגובה מהירה במיוחד ולכן הם כלי חיוני בידיו של מנהל מערכת החשמל לטיפול במצבי חירום. מתקנים אלה יכולים גם להשלים את השעות החסרות של הייצור באנרגיה מתחדשת ולאפשר, באמצעות ניהול משולב, להזרים חשמל לרשת לאורך זמן.

ההסדרה הנוכחית של מתקני אגירה שאובה קובעת מכסה בהיקף כולל של 800 מגה-ואט. נראה כי מספר זה התקבע משום שזה היה הספקו של פרויקט אגירה שאובה שחברת החשמל התעתדה לבנות באתר פרסה באזור ים המלח, או משום שמספר זה היווה כשמונה אחוזים מההספק המותקן הכולל של מערכת החשמל בעת קביעת ההסדרה, ומקובל בעולם כי הספק האגירה השאובה הוא בין שמונה לעשרה אחוזים מסך ההספק המותקן.

בשנים שחלפו מאז נקבעה ההסדרה גדל סך ההספק המותקן, והוא גבוה מ-13 ג'יגה-ואט. בנוסף, גדל מאוד היקף מתקני הייצור מאנרגיות מתחדשות, דבר המחייב יכולת אגירה, כפי שהוסבר לעיל. נראה כי יש מקום להרחבת המכסה המוקצית למתקני ייצור באגירה שאובה, הן בגלל מוגנותם הגבוהה מפני איומים שונים והן בשל תרומתם להרחבת השימוש במתקני ייצור באנרגיה מתחדשת.

עבירות

חברת החשמל הסבירה חלק מהעיכוב בהחזרת אספקת החשמל לצרכנים באירועי החורף של דצמבר 2013 בקושי להגיע לאתרים בהם נפגעו תשתיות החשמל. זאת, הן בשל מחסור בצידוד מתאים והן בשל התנהלות אזרחים שחסמו ברכביהם את הצירים הראשיים. אירועים אלה חשפו את דבר קיומה של בעיית עבירות וזמינות של מתחזקי המערכת בעת הפרעה קשה.

על רקע זה, נדרש לבצע עבודה אשר תמפה את המחסור באמצעי עבירות, תאמוד את עלות ההצטיידות באמצעים כאלה ותבצע השוואה בין עלות וישימות חלופת ההצטיידות העצמית של חברת החשמל ובין עלות השימוש באמצעי עבירות של גורמים אחרים (בעיקר מערכת הביטחון). בנוסף לכך, יש לגבש נהלים משותפים לחברת החשמל ולמשטרת ישראל שיבטיחו כי תימנע כניסה של אזרחים לאזורים הצפויים לפגיעה וכי התחבורה בהם תנותב לצירים אחרים.

דופק אלקטרו־מגנטי

להבדיל מאיומים אחרים (התקפות טילים ורקטות, אסונות טבע, סייבר), אשר כבר התממשו בקנה מידה כזה או אחר, איום הדופק האלקטרו־מגנטי טרם מומש. עוצמתו הפוטנציאלית של איום זה והעלות הנמוכה של ההתגוננות מפניו מחייבות הקצאה של המקורות הכספיים הדרושים לחברת החשמל כדי להשיג יכולת התגוננות כזו. היכולת לאמוד באופן יעיל את הסבירות להתממשותו של איום הדופק האלקטרו־מגנטי עדיין אינה מדויקת דיה, והסיכון שבו מחייב התייחסות מערכתית, כולל הכנת תוכניות עבודה, הכנת צוותי תגובה והשקעה בהקשחת התשתיות. בדרך זו ניתן יהיה לשפר באופן ניכר את התמודדות המערכות עם האיום האלקטרו־מגנטי ואף למנוע קריסה של מערכת החשמל. המחסום העיקרי להתמודדות עם איום זה נובע מחוסר במודעות ומהכרה לא מספקת של נושא קריטי זה.

קווים מנחים בתחום הארגון והמבנה

במשך שנים רבות היוו צמדי המילים "חברת החשמל" ו"משק החשמל" מושגים נרדפים. משום כך היה אז היגיון רב בכך שחברת החשמל הייתה מופקדת על היערכות כלל מערכת החשמל במדינת ישראל גם למצבי חירום. דבר זה נעשה באמצעות הרשות העליונה לכוח לשעת חירום (לתחום חשמל), שהיוותה חלק ממל"ח (משק לשעת חירום). בראש הרשות עמד מנכ"ל חברת החשמל, ורוב הסגל שלה היה מורכב מאנשי החברה. נראה שכיום ישנן לפחות שתי סיבות לשנות מצב היסטורי זה:

1. חברת החשמל נבחנת וגם נוטה להתנהל, יותר ויותר, על בסיס שיקולים כלכליים-עסקיים. שיקולים אלה לא תמיד זהים לשיקולים ממלכתיים מערכתיים, כולל שיקולים ביטחוניים, במיוחד בשעת חירום ולקראת משבר. כחלק ממגמה זו, הולך וגדל הפער בין עניינה של חברת החשמל להשקיע ממקורותיה היא לטובת היערכות לשעת חירום ובין הצרכים המוכרים בתחום היערכות לשעת חירום במובנה הרחב.
2. חברת החשמל כבר אינה יצרן החשמל הבלעדי של מדינת ישראל. היא אמנם עודנה יצרן החשמל העיקרי, אך לצידה פועלים כבר כיום יצרני חשמל משמעותיים, ונראה כי חלקה בייצור החשמל יתייצב תוך מספר שנים לא רב על כשישים אחוזים מייצור החשמל הכולל במדינת ישראל. בתחום ההולכה תישאר חברת החשמל השחקן היחידי בטווח הנראה לעין, אך בתחום החלוקה והאספקה קיימים כבר שחקנים נוספים, גם אם בהיקף קטן יחסית.

עתידה של אחת הפונקציות החשובות ביותר בתפעול משק החשמל בשעת חירום – יחידת ניהול המערכת – נתונה לבדיקה, ולכן הוא לוט בערפל. אמנם, נראה כי במסגרת הדיונים על הרפורמה במשק החשמל הושגה הסכמה עקרונית כי יחידת ניהול

המערכת תחדל להיות חלק מחברת החשמל ותהפוך להיות חברה ממשלתית, אבל עתידה של הרפורמה כולה אינו ברור. אנו מעריכים כי אם וכאשר יתחדשו הדיונים על הרפורמה, והיא תצא אל הפועל, יחידת המערכת תפעל, במתכונת זו או אחרת, מחוץ לחברת החשמל. משמעות הדבר היא שהאחריות על ניהול משק החשמל בשעת חירום לא תהיה בידי חברת החשמל.

מנגד, נראה שלגורמים ממלכתיים, ובעיקר למשרד האנרגיה, אין עתה כלים מספיקים להיכנס לנעליה של חברת החשמל בניהול בפועל של משק החשמל בשעת חירום. לגורמים הביטחוניים בישראל יש, מן הסתם, משאבים ניהוליים טובים ויעילים יותר לניהול כזה, אך אין להם ידע מקצועי מספיק, מה גם שהזמינות של מערכת הביטחון לסייע בידי מערכת החשמל במצב חירום כללי תהיה נמוכה ביחס לצרכים אחרים העלולים לרתק אותה בשעת חירום רבתי.

הפתרון הסביר לדעתנו הוא הקמת רשות עליונה לכוח (חשמל) בתוך מינהל החשמל במשרד התשתיות הלאומיות. תפקידיה העיקריים של הרשות העליונה לכוח-חשמל יהיו כדלקמן:

1. קביעת מדיניות לתפעול משק החשמל בשעת חירום.
2. קידום חקיקה ראשית ומשנית בעניין.
3. קביעת תקנים מחייבים להפעלת המערכת.
4. תכנון המערכת לעתיד, תוך קביעת אחריות, לוח זמנים ותקציב בהתאם לצרכים.
5. פיקוח על יישום המדיניות וביצוע התוכנית מול חברת החשמל ומול הגורמים הפרטיים במשק.

אם יוחלט על הקמת רשות עליונה לכוח-חשמל, יהיה צורך בבנייה של מנגנונים גמישים אך מוסכמים, שיבטיחו זיקות ושיתופי פעולה רוחביים בין הרגולטור ובין גורמים אחרים במערכת הממשלתית העוסקים בתחום זה, כמו רח"ל, פיקוד העורף ואחרים, וכן (כלפי מטה) עם חברת החשמל וכלל המפעילים במסגרת מערכת החשמל. מנגנונים כאלה הכרחיים מצד אחד, אך אינם פשוטים לכינון ולתפעול מצד שני. הניסיון במדינת ישראל בתחום ההיערכות לשעת חירום והפעלת מערכת החשמל בחירום אינו מעודד. יש ללמוד מהכשלים המוכרים ולבנות דגם משופר, שיבטיח הפעלה מיטבית של המערכת בשעת חירום. שאלה חשובה בהקשר זה היא מי יתקצב את ההיערכות והתפעול בשעת חירום – המדינה או המפעיל?

קווים מנחים בתחום הקהילתי כללי

כל היערכות עתידית לשיפור יכולתה של מערכת החשמל להתמודד עם אסונות המוניים תצטרך לקחת בחשבון היבטים אנושיים, ארגוניים, חברתיים ופוליטיים,

כתנאי הכרחי ליצירת מענה הולם לאיומים על המערכת. על היבטים אלה להיות חלק מהתכנון המוקדם וממימושו בשטח, וזאת בנוסף ובמשולב עם ההיבטים הטכנולוגיים והארגוניים שפורטו בפרק זה. נדגיש כי חוסנה הכולל של מערכת החשמל מחייב שילוב מאמצים במסלולים השונים, כדי ליצור סיכוי רב יותר של התאוששות מהירה של המערכת בעקבות הפרעות קשות.

הנחת היסוד שלנו היא שכל אחד מהמרכיבים חשוב כשלעצמו, אולם רק אינטגרציה מוקפדת ביניהם – בחשיבה מוקדמת, בתכנון, בהיערכות, בתרגול ובבקרה נמשכת – תבטיח את התוצאות הטובות ביותר.

ההמלצות בקטגוריה זו יוצגו בהתאם לחתכים של קהלי יעד להתייחסות. הן עוסקות בעיקר במקרי חירום קשים במיוחד, כולל בהפסקות חשמל רחבות ממדים הנמשכות לאורך זמן רב (Black Sky Event).

מפעילי מערכת החשמל

מפעילי המערכת מהווים חולייה הכרחית וראשונית בחזרתה לתפקוד נורמטיבי לאחר פגיעה קשה. יש לקחת בחשבון כי המפעילים עצמם יינזקו בצורה ישירה או עקיפה מהפגיעה במערכת, באופן שיעכב או יצמצם את יכולותיהם לפעול ביעילות מלאה לשיקומה המהיר. מרכיב זה יהיה חלק חשוב בצמצום כושרה של המערכת להתאושש. מכאן הצורך לקחת בחשבון מראש שורה של שיקולים, כגון הכרה ומודעות לאתגר המקצועי ולדרכים להתמודד אתו (situation awareness), נוכחות של כוח אדם מקצועי (כמותית ואיכותית) באתרים הרלוונטיים, והכשרת הצוותים לפעול בתנאים בלתי מוכרים ותוך כאוס סביבתי. חשוב לאתר דרכים ואמצעים להתגבר על חסמים כאלה, וזאת, בין השאר, על ידי תכנון קפדני של הקמת צוותי הפעלה לאירועי קיצון; צוותי מקדים של כוח אדם מקצועי ומקצועי למחצה לפרקי זמן ארוכים; תכנון וביצוע מערכי הדרכה, תרגילים וסימולציות לאורך זמן, בהתאם לתרחישים צפויים וצפויים פחות; הקצאה מוקדמת של מנהלים ברמות הנדרשות השונות לצורך הפעלה בחירום של צוותי עבודה מורחבים; גיבוש תוכניות להגברת המוטיבציה של פעילי המערכת (כולל משפחותיהם) כדי להבטיח את היענותם המלאה לעבוד בתנאי חירום קשים לאורך זמן.

מספקי מענה ראשוני (First Responders)

במקרי קיצון תיווצר תלות גבוהה של מערכת החשמל הנפגעת בגורמים החיצוניים האמורים לספק מידע, תמיכה, סיוע, הצלה וחילוץ למפעילי המערכת ולצוותי החירום הפנימיים. החסם המיידני והגבוה ביותר לתפקוד נאות של צוותי המענה הראשוני, יהיה הפגיעה באספקת חשמל סדירה, ההכרחית להפעלת צוותים אלה. פגיעה כזו גם עלולה לשבש את התקשורת הנדרשת להפעלת הכוחות השונים בשטח. מערכת השליטה והבקרה עלולה להיות מופרעת קשות, אם לא לחלוטין, לפחות בקטעים מסוימים ואולי

אף קריטיים. יש לזכור שהתקשורת חיונית במקרים כאלה לא רק בין גורמי הסיוע החיצוניים ובין גורמי מערכת החשמל הנפגעת, אלא גם בתוך גורמי הסיוע החיצוניים ובינם לבין עצמם. נדגיש כי מדובר כאן לא רק על ההיבטים הטכניים החיוניים של תקשורת רב-מערכתית ורב-ערוצית, שהינה תנאי להצלחה של התנעה מחודשת של המערכת לאחר נפילה, אלא גם בסוגיה המכרעת של פיקוד ושליטה ברמות השונות. סוגיה מרכזית זו חייבת להיות מוסדרת וממוסדת מראש.

יש לתכנן את המערכת בחירום על בסיס של מחסור אפשרי בדלק, דבר שעלול לפגוע קשות בהגעה של צוותי חירום לאתרים הרלוונטיים וביכולתם לתפקד בהם. לקראת נסיבות קיצון כאלו, יש להדריך ולתרגל את הצוותים הפנימיים והחיצוניים לפעול במגבלות של דלק וחשמל. יש לוודא קיומם של נהלים מיוחדים לפעולה בתרחישים כאלה, כמו גם של אמצעי תקשורת חלופיים בין הכוחות. התלות המורחבת בגורמים חיצוניים יוצרת חסמים בלתי צפויים, כולל ריתוקם של כוחות חיצוניים לזירות ולאיתרים אחרים. כל אלה מחייבים מערכת מקדימה ומלווה של תיאום מוקדם, נהלים משותפים, קביעה של מערכי פיקוד ושליטה משותפים, יצירת עדיפויות בהקצאת כוחות, ותרגולים משותפים נמשכים עם כל הגורמים החיצוניים העשויים לשתף פעולה במקרי חירום.

לקוחות המערכת, הקהילה והציבור

אספקת חשמל נתפסת כיום כמשימה שמוטלת באופן בלעדי על הרשויות, הן בשגרה והן בחירום. זאת, להבדיל, למשל, מאספקת מים, שלגביה קל להסביר לציבור כי מוטב לו שיערך בכוחות עצמו לאספקה של כמות מזערית של מים בעת חירום. מבחינה טכנולוגית, ניתן לספק כמות מסוימת של חשמל באופן עצמי באמצעים פשוטים וזולים, כזו שתאפשר תפעול של מכשור ביתי בסיסי. המדובר, לדוגמה, בשקעים למכשירי חשמל דלי הספק אך חיוניים, כמו מחשבים וטלפונים, מקרר וכיוצא באלה. אפשר גם לשקול עידוד רכישה של אמצעים כאלה על ידי סבסוד או הסברה לציבור. כך, למשל, קיימות היום מערכות לייצור חשמל מקומי, בהספק מותקן של החל מקילו-ואט אחד, המספקות את עיקר צריכת החשמל והאנרגיה התרמית של בית אב. כל בית אב שצורכי החשמל הבסיסיים שלו מסופקים, מקל מאוד על הרשויות בשעת חירום. האתגר הגדול ביותר הוא האפשרות ליצור מהפך בגישת הלקוחות (צרכני החשמל) – מקורבן של הפסקת חשמל ארוכה והשלכותיה הקשות במקרי קיצון, לקהילה אקטיבית ומתפקדת, המסוגלת לאפשר לעצמה להתנהל גם במקרי חירום נמשכים. נזכור כי במקרים רבים, הפסקת החשמל עלולה להיות רק אחד מההיבטים של פגיעות האסון. הנחת המוצא כאן היא שקהילה פסיבית היא קהילה פגיעה, רוטנת ומערימה קשיים על עצמה ועל אלה האמורים לספק לה שירותים. לעומתה, קהילה אקטיבית

היא קהילה עם חוסן גבוה, המאפשר לה להתאושש במהירות ולהתמודד בצורה אפקטיבית עם ההפרעה, תוך כדי גיוס משאביה היא, כולל אלה שנפגעו עקב ההפרעה הקשה. מטרת העל תהיה למקסם את הפוטנציאל של הקהילה על מרכיביה השונים – האנשים, הקבוצות, הארגונים הלא פורמליים והמתנדבים למיניהם – במטרה להפוך אותם מקורבן לנכס של ממש.

מימוש תפיסה זו מחייב השקעת מאמצים נמשכים לפני קרות האסון. מנהיגי הקהילה, הפורמליים והבלתי פורמליים, צריכים להיות מודעים לסיכונים הצפויים ולפעול בהתאם להם, במגמה להעצים את החוסן החברתי של הקהילה. יש בכל קהילה גורמים חשובים, בעלי פוטנציאל סיוע גבוה, שחשוב וניתן לגייסם מראש, כמו למשל תלמידי תיכון, סטודנטים וארגוני התנדבות שונים. גיוסם והכשרתם מראש לפעולה בשעת חירום יכולים להיעשות באמצעות תוכניות חירום מיוחדות.

בשעת החירום עצמה יש חשיבות מיוחדת להפצת מידע רלוונטי לציבור. היעדר מידע או מידע שגוי וחלקי הם מכשול גבוה. לכן, יש לבנות מראש מערכי הפצת מידע, גם לתנאים שבהם יהיו מגבלות שידור של אמצעי התקשורת המוכרים בשגרה. בנוסף לכך, יש לדאוג לקיומן של תוכניות מיוחדות במוסדות ובקהילה לאנשים בעלי מוגבלויות. תפקוד יעיל בעת חירום מחייב תרגול. מוצע לשקול לבצע אחת למספר שנים תרגול עלטה (קרי, הפסקת חשמל) של אזורים מוגבלים במדינת ישראל, תוך בחינת יכולת התפקוד של כל מערכות החירום והכוחות בתנאי עלטה. כך, למשל, מערכת ייצור חשמל מבוזרת מעצימה את היכולת להגיע לפעולה עצמית של הקהילה ולאספקה של אנרגיה, תוך חתירה לייצוב החיים ברמת שגרה ובפרק זמן קצר. הקמת יחידות ייצור עד להספק של 16 מגה-וולט אמפר בתחומי הקיבוצים ובאזורי תעשייה, המתרחשת בימים אלה, עשויה להוות נדבך חשוב בתהליך זה.

התקשורת

התקשורת היא בעלת חשיבות מיוחדת גם בשעת חירום. התקשורת המסורתית והדיגיטלית-חברתית תמשיך לשמש משאב עיקרי בחירום, בתנאי שתהיה זמינה בצורה סבירה. בעיית הזמינות מחייבת התייחסות מקדימה, תוך איתור חלופות זמינות ואמינות, דבר שהוא בעייתי כשלעצמו. בנוסף לכך, יש לדאוג לתקשורת אמינה לציבור, בהתחשב בתלות הפסיכולוגית-מנטלית שלו בתפוקותיה.

יש לדאוג מראש לתכנון ולבנייה של אמצעים יעילים, שיבטיחו זרימה סדירה ככל הניתן של תקשורת ומידע לציבור בשעת חירום. יש לשקול בנייה של מרכז תקשורת אחוד לצורך העניין, שעיקר תפקידו יהיה לעדכן את הציבור בהתפתחויות ולהנחות אותו מה עליו לעשות בתרחישים השונים. מערכת החשמל צריכה להיות חלק ממאמץ זה.

סיכום

מתן מענה לאיום על מתקני התשתית הרגישים במדינת ישראל הוא אתגר המחייב מאמץ לאומי כולל ונרחב, הרבה מעבר לתחומי האחריות המקצועיים של מערכת אספקת החשמל. ההסדרה הממסדית הקיימת בישראל אינה נותנת מענה הולם לצורך לאומי זה. יש לשנות את המצב מיסודו וליצור מערכת שתבטיח את החוסן החברתי של הציבור כולו במקרים של הפרעה קשה באספקת החשמל למשך זמן ארוך.

ראשית חוכמה הוא יצירת תודעה לאומית והבנה בקרב מקבלי ההחלטות, שתשמש בסיס מוצק לקביעת מדיניות לאומית ברורה, לתכנון ארוך טווח, לחלוקת תפקידים מסודרת, לקביעת סדרי עדיפויות ולבקרה נמשכת על ביצוע בשטח. יש שותפים רבים ומגוונים להתמודדות הראויה עם האתגר, מחוץ ומעבר למערכת אספקת החשמל. מצב זה הופך את האתגר לקשה במיוחד לטיפול, הרבה מעבר להיערכות הטכנולוגית המתחייבת.

הכנת המערכת למקרי קיצון היא פעולה קשה, ממושכת ורבת פנים. יחד עם זאת היא אפשרית, בתנאי שתהיה מודעות מתאימה בדרגים השונים. דווקא משום כך יש צורך לעורר כבר עתה את המערכת לחשיבה, לתכנון ולעשייה, כדי שתהיה מוכנה לתגובה מערכתית ראויה בזמן, ולא, כמקובל במקומותינו, באמצעות אלתור תוך כדי ההתרחשויות.

נספח א' מושגי יסוד במערכת החשמל

מתח וזרם

אם נשווה מערכת חשמלית למערכת זרימת נוזלים, הרי שהמתח החשמלי מקביל ללחץ הנוזל. הזרם החשמלי מקביל לספיקת הנוזל, כלומר לקצב הזרימה שלו. את המתח מודדים ביחידות של וולט או קילו-וולט (אלפי וולט), ואת הזרם מודדים ביחידות של אמפר.

במערכת החשמל בישראל ישנן מספר רמות מתח סטנדרטיות:

- מתח-על (Extra High Voltage) של 400 קילו-וולט.
- מתח עליון (High Voltage) של 161 קילו-וולט, ועוד עשרות ק"מ בודדים של 110 קילו-וולט.
- מתח גבוה (Medium Voltage) של 33 קילו-וולט, 22 קילו-וולט, 12.6 קילו-וולט ועוד.
- מתח נמוך (Low Voltage) של 0.4 קילו-וולט.
- במתקנים פרטיים (אך לא ברשתות חברת החשמל) קיים גם מתח נמוך מאוד של חמישים וולט וביישומים מיוחדים גם של 24 וולט (באתרים חקלאיים) ו-12 וולט (בבריכות שחייה).

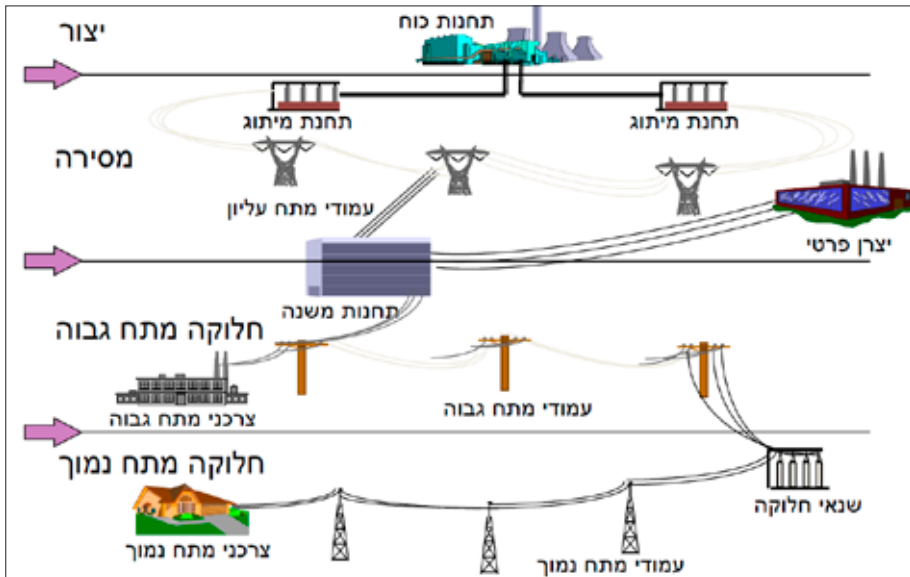
תדר

מרבית מערכות החשמל פועלות בזרם חילופין, והזרמים והמתחים בהן משתנים באופן מחזורי. התדר הוא מספר המחזורים בשנייה. הוא נמדד ביחידות של הרץ. התדרים המקובלים בעולם הם חמישים או שישים הרץ, וביישומים מיוחדים גם 16.67 ו-400 הרץ. התדר הנהוג בישראל הוא חמישים הרץ.

הספק

הספק חשמלי הינו כמות אנרגיה חשמלית ליחידת זמן. את ההספק מודדים בדרך כלל ביחידות של וואט, ולעיתים (בעיקר כשמדובר במנועים) גם ביחידות של כוח סוס. ההספק החשמלי יחסי למכפלת המתח בזרם. ניתן להעביר כמות הספק נתונה במתח נמוך וזרם גבוה, או במתח גבוה וזרם נמוך.

תרשים 1. המקטעים הפיזיים של מערכת החשמל



ככל שהמתח גבוה יותר, הוא מסוכן יותר ונדרשים מרווחי בטיחות גדולים יותר כדי להימנע מפגיעתו. ככל שהזרם גבוה יותר, הפסדי רשת החשמל גבוהים יותר. לכן, נהוג שהחשמל המיועד למרחקים גדולים מתחנות הכוח, עד לקרבת הצרכנים, מועבר במתחים גבוהים ובזרמים נמוכים. בכך מקטינים את הפסדי רשת החשמל ושומרים, ללא קשיים מיוחדים, על מרווחי הבטיחות הנדרשים. עם ההתקרבות לצרכנים, מורידים את המתח (מה שמאפשר הקטנת מרווחי בטיחות) ומגדילים את הזרם. הגדלת הזרם בקרבת הצרכנים אמנם מגדילה את ההפסדים, אבל מכיוון שמדובר על מרחקים קצרים יחסית, ניתן להשלים עם כך.

שנאי

ההתקן שמאפשר את שינוי המתחים והזרמים הוא השנאי (טרנספורמטור). נהוג לאפיין את השנאי על פי מתחי הכניסה והמוצא ועל פי ההספק שבכוחו להעביר.

מקטעי מערכת החשמל

מקובל לחלק את מערכת החשמל למקטעים הפיזיים הבאים (ראה תרשים 1):

1. מקטע הייצור (Generation) – מקטע זה כולל את יחידות הייצור החשמל.
2. מקטע המסירה (Transmission) – מקטע זה כולל את רשתות ההולכה במתחים של 161, 400 ו-110 קילו-וולט, תחנות מיתוג (תחמ"ג), המהוות צמתים של רשתות

הולכה, ותחנות משנה (תחמ"ש), המחברות בין רשתות במתח של 161 קילו-וולט לרשתות מתח גבוה במתחים של 22, 33 ו-12.6 קילו-וולט. במקטע זה מועברת האנרגיה החשמלית מיחידות הייצור לפאתי מוקדי הצריכה. רק צרכנים מעטים (פחות מחמישים) וגדולים במיוחד מחוברים לרשת ההולכה.

3. מקטע החלוקה (Distribution) – כולל רשתות חלוקה במתחים גבוהים של 22, 33 ו-12.6 קילו-וולט ובמתח נמוך של 400 וולט, ותחנות השנאה המחברות בין רשתות המתח הגבוה לרשתות המתח הנמוך. במקטע זה מועברת האנרגיה החשמלית מתחנות המשנה לצרכנים. מקצת הצרכנים (כ-3,000) הם צרכנים במתח גבוה ומרביתם (כ-2.5 מיליון) הם צרכנים במתח נמוך.

הערות

- 1 נתוני צריכת קוט"ש לשנה מתוך אתר הבנק העולמי, <http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC>
- 2 "תוצאות מחקר אומדן עלות אי-אספקת חשמל צד הביקוש", משרד התשתיות הלאומיות, נובמבר 2011, <http://energy.gov.il/GxmsMniPublications/AlutHashmal.pdf>
- 3 להערכת יו"ר חברת חשמל ישראל (חח"י), איום הסייבר משמעותי יותר מהאיום הקינטי. כבר היום משולות התקיפות בסייבר לסדר גודל של 7 טילים מדויקים ביום: כנס "ביטחון רשת החשמל", המכון למחקרי ביטחון לאומי, 28 באוקטובר 2014.
- 4 לדברי אבי שפירא, יו"ר הוועדה הבין-משרדית לעניין רעידות אדמה, רעידת אדמה שתתרחש בסבירות גבוהה בישראל, בעוצמה של 6-7.5 דרגות בסולם ריכטר תפגע גם בתשתיות, כולל ברשת החשמל. ברור לכולם שצריך לטפל בסיכון זה, אך אף גורם לא מקבל אחריות על כך: כנס "ביטחון רשת החשמל", המכון למחקרי ביטחון לאומי, 28 באוקטובר 2014.
- 5 לדברי שלמה ולד, לשעבר המדען הראשי של משרד התשתיות הלאומיות, האסטרטגיה הקיימת במשק האנרגיה כלל לא עוסקת בנושא החירום. כנס "ביטחון רשת החשמל", המכון למחקרי ביטחון לאומי, 28 באוקטובר 2014.
- 6 לדברי שלמה ולד, קצב העבודה בתחום זה אינו מתמודד עם ההתפתחויות המהירות במעטפת החיצונית. כל הטיוטות שגובשו בעבר נמצאו לא רלוונטיות מול המציאות הביטחונית והכלכלית המתפתחת.
- 7 בצלאל טרייבר, ראש רשות חירום לאומית (רח"ל), כנס "ביטחון רשת החשמל", המכון למחקרי ביטחון לאומי, 28 באוקטובר 2014.
- 8 יו"ר חח"י, כנס "ביטחון רשת החשמל", המכון למחקרי ביטחון לאומי, 28 באוקטובר 2014.
- 9 יו"ר חח"י, שם.
- 10 "האם המשק הישראלי מוכן למלחמה עם איראן?" NRG, 24 באוגוסט 2012, <http://www.nrg.co.il/online/16/ART2/398/054.html>
- 11 Integrated Research on Disaster Risk (IRDR), Strategic Plan 2013-2017, <http://www.irdrinternational.org/wp-content/uploads/2013/04/IRDR-Strategic-Plan-2013-2017.pdf>
- 12 The Sendai Report, *Managing Disaster Risks for a Resilient Future*, World Bank, 2012.
- 13 S. M. Rinaldi, J. P. Peerenboom, T. K. Kelly, "Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies," *Control Systems Magazine*, IEEE, Vol. 21, No. 6, 2001, pp. 11-25.
- 14 S. M. Amin, B. F. Wollenberg, "Toward a Smart Grid: Power Delivery for the 21st Century," *Power and Energy Magazine*, IEEE, Vol. 3, No.5, 2005, pp. 34-41.
- 15 דוגמה יוצאת דופן היא ספר שיצא לאחרונה, שמחברו כתב כמה מאמרים מעניינים בנושא הנדון: V. Gurevich, *Cyber and Electromagnetic Threats in Modern Relay Protection*, (CRC Press, 2014).
- 16 I. Sharkansky, "Local Autonomy, Non-Governmental Service Providers and Emergency Management: an Israeli Case," *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, Vol. 4, No. 4, 2007, pp. 1-8;

N. Laor, Z. Wiener, S. Spirman, L. Wolmer, "Community Mental Health in Emergencies and Mass Disasters: The Tel-Aviv Model," in *The Trauma of Terrorism: Sharing Knowledge and Shared Care*, eds. Y. Danieli, D. Brom, J. Sills, (New York: The Haworth Press, 2005), pp. 681-694.

17 מאיר אלרן ואלכס אלטשולר, "החזית האזרחית בישראל: עקרונות ההיערכות לעימות", בתוך: **הערכה אסטרטגית לישראל 2013-2014**, עורכים, שלמה ברום וענת קורץ, (תל אביב: המכון למחקרי ביטחון לאומי, 2014). עמ' 145-156, <http://heb.inss.org.il/index.aspx?id=4354&articleid=6446>

18 Sharkansky, "Local Autonomy, Non-Governmental Service Providers and Emergency Management: an Israeli Case"; E. Ben-Harush, *The Responsibility of the State with Regard to a Weakened Citizen in the Second Lebanon War: The Elderly and Invalids as a Case Study*, Graduation paper, (Israel: College of National Defense, 2007).

19 מאז הושמעו בפומבי הערכות שונות בנושא זה, כאשר המספרים האחרונים מדברים על 100-140 אלף רקטות וטילים בידי שני הארגונים.

20 מאיר אלרן ואלכס אלטשולר, "החזית האזרחית בישראל: עקרונות ההיערכות לעימות".

21 "קרן ברזל" - מערכת חדשה הנמצאת בפיתוח ברפא"ל ואמורה לתת מענה מבוסס לייזור לפצצות מרגמה ורקטות קצרות טווח, מתחת לטווח הפגיעה של "כיפת ברזל": Israel Defense, 18 בינואר 2014.

22 מאיר אלרן ואלכס אלטשולר, "החזית האזרחית במבצע 'צוק איתן'", בתוך: **"צוק איתן" - השלכות ולקחים**, ענת קורץ ושלמה ברום, עורכים, (תל אביב: המכון למחקרי ביטחון לאומי, 2014). עמ' 108-112.

23 מאיר אלרן ואלכס אלטשולר, **הפסיפס המורכב של החזית האזרחית בישראל**, מזכר 120, תל אביב: המכון למחקרי ביטחון לאומי, יוני 2012. ראו דבריו של גיורא איילנד באותו מזכר (עמ' 19-24), כפי שהוצגו בכנס שנערך במכון למחקרי ביטחון לאומי ב-5 בספטמבר 2011. בהקשר לענייננו אמר איילנד, בין היתר: "השינוי הכי משמעותי הוא בכך שהדיוק [של הטילים] שלהם גדל. שינוי זה הופך אותם מנשק סטטיסטי לנשק מדויק. ברגע שמדובר בנשק מדויק, הרי שכבר לא יורים אותו על המטרות בגודל של תל אביב, אלא יורים אותו על מטרות נקודה, בין אם זו תחנת כוח [...] מפקדה צבאית או שדה תעופה. אלה יהיו המטרות. תפיסת ההגנה שלנו אומרת, אנחנו נותנים הגנה מרחבית [...] העניין הוא שגם ההגנה המרחבית הזאת, גם במצב הכי טוב, הרי היא לא תעצור את כל הטילים. אם היא תהייה מאוד מאוד מוצלחת, היא תעצור שישים, שבעים, שמונים אחוזים מהטילים. עשרים אחוזים יחדרו [...] זה לא עשרים אחוזים שייפלו סטטיסטית באיזה מקומות, אלא עשרים אחוזים שיכוונו למקומות מאוד מסוימים. ועכשיו השאלה [היא] אם המקומות [...] האלה מוגנים כהלכה, **והתשובה היא מאוד לא** [...] אם אתם מסתכלים על תחנות הכוח במדינת ישראל, אתם מוצאים שתחנת הכוח העיקרית היא בחדרה. היא מספקת את מרב החשמל של מדינת ישראל. אם אתה לוקח את כל המתחם הזה ואומר 'מה לא סובל פגיעה מבחינת מדינת ישראל', אתה מגיע בסוף לשני מבנים יחסית מאוד קטנים, ש [...] מה שיש בתוכם אומר שאם זה יפגע זה כבר לא רק שאלה של כסף, כמה יעלה לך לתקן את זה, זה שאלה גם של **כמה זמן. מדינת ישראל יכולה להיות במשך חצי שנה במצב שהיא לא יכולה לספק את צורכי החשמל שלה**. עכשיו השאלה היא האם שני המבנים האלה, שעומדים כמו שני מבנים חשופים בשטח, צריך להשאיר אותם למיגון כפי שאתה נותן לכל שכונה ולכל בית מגורים ולכל אתר אחר, או שאתה אומר [...] שיש העדפת מטרות [...] ככה גם בהגנה: האם אתה מתעדף מטרות בהגנה ומגן על מקומות מסוימים באופן שאתה אומר 'גם הטיל שיחדור ויפגע - **לפחות הספקת החשמל למדינת ישראל לא תיפגע**'. מה שמדהים בעניין הזה זה לא השאלה אם יש כסף או אין כסף. מה שמדהים בשאלה הזאת זה שיש ויכוח שלא נגמר סביב השאלה 'מי נושא באחריות לעניין הזה'".

(ההדגשות של המחברים)

24 Analysis of the Chief Scientist of the Israel Ministry of Environmental Protection, Dr. Sinaia

- Netanyahu, presented at the round table on electric grid security at the Institute for National Security Studies, May 28, 2014, <http://heb.inss.org.il/index.aspx?id=4351&eventid=7649>
- Y. Rotstein, E. Arie, "Tectonic Implications of Recent Micro-Earthquake Data from Israel and Adjacent Areas," *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 78, Issues 2-3, June 1986, pp. 237-244, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0012821X86900646>
- Zvi, Ben-Avraham, Michael Lazar, Uri Schattner, Shmuel Marco, "The Dead Sea Fault and its Effect on Civilization," Tel Aviv University Press, *Lecture Notes in Earth Sciences*, Vol. 105, 2005, p. 145, http://www.tau.ac.il/~zviba/uri/abs/ZBA_et_al_2005.pdf
- R. Avni, *Jericho 1927 Earthquake: A Macroscopic Research on the Basis of that Period's Sources*, Ph.D. dissertation (Beer-Sheva: Ben-Gurion University of the Negev, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Geography, 1999); B. Z. Begin, "Destructive Earthquakes in the Jordan Valley and the Dead Sea – the Intervals of their Recurrence and the Possibility for their Occurrence," Geological Survey of Israel, Ministry of National Infrastructures, 2005; A. Salamon, "Natural Seismogenic Effects of the February 11, 2004 ML = 5.2 Dead Sea Earthquake," *Israel Journal of Earth Sciences*, Vol. 54, No. 3, 2005, pp. 145-169.
- "היערכות מדינת ישראל לרעידות אדמה", מרכז המידע של הכנסת, אוקטובר 2006, כתבה: שירה צוובנר, <http://www.knesset.gov.il/mmm/data/pdf/m01582.pdf>
- "תרחיש הייחוס המקומי", האתר לקידום המודעות והמוכנות למצבי חירום, אוקטובר 2012, <http://ready.org.il/israel/nationalscenario/>
- מאיר אלרן ואלכס אלטשולר, "עד כמה מוכנה ישראל לרעידות אדמה?" **מבט על**, גיליון 380, אוקטובר 2012, <http://heb.inss.org.il/index.aspx?id=4354&articleid=1217>
- "היערכות הרשות המקומית להתמודדות עם תוצאות רעידת אדמה", משק לשעת חירום (מל"ח), נובמבר 2007, עמ' 11, http://www.health.gov.il/Subjects/emergency/preparation/DocLib/tora/TORA_LB_QUAKE_MESEK.pdf
- ראה תקן 413 באתר מכון התקנים הישראלי, <https://portal.sii.org.il/heb/standardization/teken/?tid=7dc4df43-7c94-4326-8727-b2e656104b64>.
- מידע מאתר מפעם – מערכת מרכזי הדרכה ופיתוח בשלטון המקומי: http://www.mifam.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/adama.doc
- "The 5th Assessment Report on Climate Change," IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014, <http://www.ipcc.ch/activities/activities.shtml>
- דוח מרכז הידע לשינוי אקלים (דוח א', דוח ב', דוח רשויות מקומיות), אתר המשרד להגנת הסביבה: www.sviva.gov.il
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch>
- עמוס סלמון, "מפת האזורים המועדים להצפה מצונאמי לאורך חופי הים התיכון של ישראל במפרץ חיפה, גוש דן, אשדוד ואשקלון", המכון הגיאולוגי, ספטמבר 2009, http://www.gsi.gov.il/_Uploads/744GSI-24-2009.pdf
- יום עיון בנושא: צונאמי בחופי ישראל – סיכונים ודרכי היערכות, 2011, <http://www.tashtiot.co.il/2011/05/22/%D7%9E%D7%A9%D7%A8%D7%93-%D7%94%D7%AA%D7%A9%D7%AA%D7%99%D7%95%D7%AA-20/>
- Liis Vihul and Michael N. Schmitt, "The Tallinn Manual on Cyber Warfare – a first tool for Legal Practitioners," fifteen eightyfour, November 13, 2013, <http://www.cambridgeblog>.

- org/2013/11/the-tallinn-manual-on-cyber-warfare-a-first-tool-for-legal-practitioners-michael-schmitt-liis-vihul-nato
- T. G. Lewis, *Critical Infrastructure Protection in Homeland Security: Defending a Networked Nation* (John Wiley & Sons, 2006); G. N. Ericsson, "Cyber Security and Power System Communication – Essential Parts of a Smart Grid Infrastructure," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, Vol. 25, No. 3, 2010, pp. 1501-1507, http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=5491350&filter%3DAND%28p_IS_Number%3A5491350%29&pageNumber=2
- גבי סיבוני, **מרחב הסייבר והביטחון הלאומי – מבחר מאמרים**, תל אביב: המכון למחקרי ביטחון לאומי, יוני 2013, http://www.inss.org.il/uploadImages/systemFiles/Cyner_HEB.pdf, 2013
- קידום היכולת הלאומית במרחב הקיברנטי, החלטת ממשלה מס. 3611, מיום 7 באוגוסט 2011, <http://www.pmo.gov.il/Secretary/GovDecisions/2011/Pages/des3611.aspx>
- אימוץ המלצות הצוות הבין-משרדי לעדכון התכנית הלאומית לפיתוח הנגב לאור יישום המהלך להערכת מחנות צה"ל לנגב, החלטת ממשלה מס' 546, 14 ביולי 2013, <http://www.pmo.gov.il/Secretary/GovDecisions/2013/Pages/des546a.aspx>
- קידום ההיערכות הלאומית להגנת הסייבר, החלטת ממשלה מס' 2444, 15 בפברואר 2015, <http://www.pmo.gov.il/Secretary/GovDecisions/2015/Pages/des2444.aspx>
- קידום אסדרה לאומית והובלה ממשלתית בהגנת הסייבר, החלטת ממשלה מס' 2443, 15 בפברואר 2015, <http://www.pmo.gov.il/Secretary/GovDecisions/2015/Pages/des2443.aspx>
- Allen, Patrick D. Allen, Chris C. Demchak, "The Palestinian-Israel: Cyberwar," *Military Review*, Vol. 83, No. 2, 2003, pp. 52.
- "חברת החשמל חושפת נתוני פעילות סייבר לקראת ועידת הסייבר הבין-לאומית "cybertech", 22 במארס 2015, <https://www.iec.co.il/spokesman/pages/220320151.aspx>
- A. Teixeira, A. Saurabh, H. Sandberg, K.H. Johansson, S.S. Shankar, "Cyber Security Analysis of State Estimators in Electric Power Systems," 49th IEEE Conference on Decisions and Control, December 15-17, 2010, pp. 5591-5598, http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5717318&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5717318
- A. A. Cárdenas, A. Saurabh, L. Zong-Syun, H. Yu-Lun, H. Chi-Yen, S. Shankar, *Attacks against Process Control Systems: Risk Assessment, Detection and Response* (Fujitsu Laboratories of America, University of California, Berkeley, National Chiao Tung University, Taiwan, 2011).
- D. Watts, *Security & Vulnerability in Electric Power Systems* (Missouri: University of Missouri-Rolla in Rolla, October 20-21, 2003), pp. 559-566.
- גבי סיבוני, **המענה הלאומי להגנה האזרחית בסייבר: המלצות למקבלי החלטות**, נייר עמדה, המכון למחקרי ביטחון לאומי, תל אביב, אוגוסט 2013, <http://heb.inss.org.il/index.aspx?id=4354&articleid=5904>
- EMP Commission 2004 Executive Report, cited from A. Schnurr, "Vulnerability of National Power Grids to Electromagnetic Threats: Domestic and International Perspectives," *Energy Law Journal*, Vol. 34, Issue 1, 2013.
- V. Gurevich, "The Hazards of Electromagnetic Terrorism," *Public Utilities Fortnightly*, June, 2005, <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2005/06/hazards-electromagnetic-terrorism>
- A. Schnurr, "Vulnerability of National Power Grids to Electromagnetic Threats: Domestic and International Perspectives."
- ראו פריסת מתקני ייצור החשמל בישראל באתר משרד התשתיות הלאומיות:

- <http://energy.gov.il/Subjects/Electricity/Pages/GxmsMniElectricityProduction.aspx>
 דוח תקופתי של חברת החשמל לשנת 2012,
https://www.iec.co.il/investors/DocLib1/isa_2012.pdf.
- 56 דוח סטטיסטי של חברת החשמל לשנת 2010,
https://www.iec.co.il/investors/DocLib/stat_2010.pdf
- 57 היערכות לשעת חירום, דוח קיימות תאגידית חברת החשמל, חברת החשמל, 2013, עמ' 47-48,
<https://www.iec.co.il/Sustainability/Documents/annualReport2013HEB.pdf>
- 58 יואב זיתון, "לפני איראן: עשרות מיליונים למיגון מתקני תשתיות", Ynet, 31 ביולי, 2012,
<http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4262517,00.html>
- 59 מתוך פרוטוקול מס' 43 של ישיבת הוועדה לענייני ביקורת המדינה של הכנסת, ל' באב התשע"ג,
 26 באוגוסט 2013.
- 60 עוזי רובין, **ההגנה האקטיבית של ישראל במבצע צוק איתן**, עיונים בביטחון המזרח התיכון, מס' 111, רמת גן: מרכז בגין-סאדאת, ינואר 2015,
<http://besacenter.org/wp-content/uploads/2015/02/Hebrew-Booklet.pdf>
- 61 עמוס הראל, "אלוף פיקוד העורף: כיפת ברזל להגנה על תחנות כוח ובסיסי חיל האוויר, לפני הערים הגדולות", 29 במארס 2013,
http://archive.rotter.net/cgi-n/scoopsarchive/dcboard.cgi?az=show_thread&om=1554220130329&forum=archiveforum&viewmode=all
- 62 למרות זאת, דוח מיוחד של מבקר המדינה מ-2012 בנושא ההיערכות בישראל לרעידות אדמה קבע, בין היתר, כי: "בעשור שעבר ממועד פרסומו של הדוח מ-2001 [...] פרק זמן ארוך שבמסגרתו היה אפשר להשיג התקדמות ניכרת בנושא היערכותה של המדינה לרעידות אדמה, לא חל שיפור ניכר בתחום זה, ובכלל זה לא הוסדר תקצוב ההיערכות, ואף לא פריסתו על פני שנים להקלת הנטל התקציבי של חיזוק המבנים": "עמידות מבנים ותשתיות ברעידת אדמה – תמונת מצב", מבקר המדינה, 23 במארס 2011,
<http://www.mevaker.gov.il/he/Reports/Pages/116.aspx?AspxAutoDetectCookieSupp>
 ort=1#
- 63 תרחיש הייחוס הלאומי גובש בהנחיית ועדת ההיגוי הלאומית לרעידות אדמה, והוא מקובל על גופי המענה במדינת ישראל כבסיס שממנו ייקבעו ההנחות לגבי היערכות הגורמים הרלוונטיים להתמודדות עם רעידת אדמה. על פי תרחיש הייחוס, ברעידת אדמה בעוצמה של 7.5 בסולם ריכטר באזור בית שאן, צפויים להיות כ-16,000 הרוגים, 6,000 פצועים קשה, 83,000 פצועים קל וכ-377,000 מפונים מבתיהם. בהתאם לתרחיש הייחוס צפוי שפיזור הנפגעים יתפרס על רוב שטח מדינת ישראל: קובץ שאלות ותשובות לתרגיל "נקודת מפנה 6", פיקוד העורף, מחלקת אוכלוסייה, ספטמבר 2011,
http://www.herzliya.muni.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/earthquake-QA-sep2012.pdf
- 64 **תרחיש נזק מרעידות אדמה בישראל כבסיס לתרגיל החירום הלאומי 'נקודת מפנה 6'**, המכון הגיאולוגי, דו"ח מספר GSI/21/2012, אוקטובר 2012,
http://www.gsi.gov.il/_Uploads/1768NekudatMfne6.pdf
 למתקני החשמל בישראל.
- 65 ראו אתר פיקוד העורף: <http://www.oref.org.il/>
- 66 ליאור גוטמן, "איך תתמודד המדינה עם פגיעה בתשתיות ברעידת אדמה", **כלכליסט**, 21 ביולי 2011,
<http://m.calcalist.co.il/article.aspx?guid=3525153>
- 67 מידע אודות FP7 מאתר מועצת אירופה, http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html
- 68 מידע אודות HORIZON 2020 מאתר מועצת אירופה,
<http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>
- 69 "חברת החשמל חושפת נתוני פעילות סייבר לקראת ועידת הסייבר הבינ-לאומית cybertech", 22 במארס 2015,
<https://www.iec.co.il/spokesman/pages/220320151.aspx>

- A. Schnurr, "Vulnerability of National Power Grids to Electromagnetic Threats: Domestic and International Perspectives." 70
- J. Kappenman, "A Perfect Storm of Planetary Proportions," *IEEE Spectrum*, January 24, 2012, 71
<http://spectrum.ieee.org/energy/the-smarter-grid/a-perfect-storm-of-planetary-proportions>
- GE, Power World Corp., Mitsubishi, למשל, 72
- P. Pry, *Apocalypse Unknown: The Struggle to Protect America from an Electromagnetic Pulse*, (CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013). 73
- משרד האנרגיה והמים, הגנת תשתיות בפני דפקים אלקטרומגנטיים, סקירת רגישות רשת החשמל לדופק אלקטרומגנטי והנגזרות הנובעות מאיומים אלקטרומגנטיים (2013), בוצע ביחד עם המועצה לאבטחת תשתיות אלקטרוניות EIS. לא הופץ לציבור. 74
- Stuart A. Boyer, *SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition*, (International Society of Automation, USA, 2009), <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1717879> 75
- EMP Commission 2004 Executive Report, cited from KAPPENMAN META-R-322, *supra* note 228, at 3-1, 3-4. 76
- Pry, *Apocalypse Unknown*. 77
- שם. 78
- S. Masood, "Rebels Tied to Blackout Across Most of Pakistan," *The New York Times*, January 25, 2015, 79
http://www.nytimes.com/2015/01/26/world/asia/widespread-blackout-in-pakistan-deals-another-blow-to-government.html?_r=0
- D. Melvin, "Power Outage Hits much of Turkey; Officials won't Rule Out Terrorism," CNN, March 31, 2015, <http://www.cnn.com/2015/03/31/middleeast/turkey-power-outage/> 80
- NIPP 2013: Partnering for Critical Infrastructure Security and Resilience*, Homeland Security, <http://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/National-Infrastructure-Protection-Plan-2013-508.pdf> 81
- Presidential Policy Directive – Critical Infrastructure Security and Resilience*, The white House, February 12, 2013, <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/02/12/presidential-policy-directive-critical-infrastructure-security-and-resil> 82
- T. F. McLarty & T. G. Ridge, *Securing the U.S. Electrical Grid*, The Center for the Study of the Presidency and Congress (CSPC), October 2014, https://www.thepresidency.org/sites/default/files/Final%20Grid%20Report_0.pdf 83
- Federal Resource Guide for Infrastructure Planning and Design*, Build America Investment Initiative, May 2015, <http://portal.hud.gov/hudportal/documents/huddoc?id=BAInfraResGuideMay2015.pdf> 84
- George J. Kostas, *Bolstering Critical Infrastructure Resilience After Superstorm Sandy: Lessons for New York and the Nation*, Research Institute for Homeland Security at Northeastern University, April 2015, <http://www.northeastern.edu/resilience/wp-content/uploads/2015/04/Bolstering-Critical-Infrastructure-Resilience-After-Superstorm-Sandy.pdf> 85
- Information of Community Resilience Planning Guide, http://www.nist.gov/el/building_materials/resilience/guide.cfm 86
- <http://www.mevaker.gov.il/he/Reports/>, דצמבר 2014, מבקר המדינה, ירושלים, דוח שנתי 65 ב', Report_270/ReportFiles/fullreport_2.pdf 87
- E.J. Fitch, "Delay, Deny, Delete and Destroy: American Conservatism and Environmental Protection," *Interdisciplinary Environmental Review*, Vol.7, No.2, 2005, pp. 34-42. 88

- S.D. Smith, *Inter-Agency Collaboration and Consequence Management: An All-Hazard Approach to Emergency Incident Response*, Public Entity Risk Institute, 2003, http://www.idsemergencymanagement.com/Common/Paper/Paper_125/Shawn%20d%20smith%20Inter-Agency%20Collaboration%20and%20Consequence%20Mgmt%20WP.pdf 89
- ראו האירועים הבולטים מאז תחילת המאה ה-21 והיקף נוקיהם הכספיים: פוקושימה, יפן, 2011 – 300 מיליארד דולר; רעידת אדמה בסצ'ואן, סין, 2008 – 148 מיליארד דולר; זליגת הנפט במפרץ מקסיקו, 2010, 60–100 מיליארד דולר; סופת ההוריקן "קתרינה", ארצות הברית, 2005 – 45 מיליארד דולר; שיטפונות בתאילנד, 2011 – 45 מיליארד דולר; רעידת האדמה בכריסטצ'רץ', ניוזילנד, 2011, 40 מיליארד דולר; הנוק המצטבר של ההתקפה ב-11 ספטמבר 2001 על ארצות הברית הגיע לכמעט 2 טריליון דולר <http://www.iags.org/costof911.html> 90
- "בית צדיק חסון רב, ובתבואת קשע נעקרת", משלי ט"ו, 6. 91
- Cabinet Office, *Resilience in Society: Infrastructure, Communities and Businesses*, February 20, 2013, <https://www.gov.uk/resilience-in-society-infrastructure-communities-and-businesses> 92
- Disaster Resilience: A National Imperative*, The National Academies Press, Washington D.C., 2012, http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=13457 93
- יש פירושים ופרשנויות רבים ומגוונים למושג "אסון", המחייבים הבנה שמדובר בפרספקטיבה סובייקטיבית. ראו בין השאר: 94
- E.L. Quarantelli, "What is Disaster? The Need for Clarification in Definition and Conceptualization," University of Delaware Disaster Research Center, 1985, Reprinted from: B. Sowder, *Disaster and Mental Health Selected Contemporary Perspectives* (Washington D.C.: Government Printing Office, 1985).
- C.S. Holling, "Resilience and Stability of Ecological Systems," *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 4, 1973, pp. 1-23. 95
- P.E. Roeger et al., "Metrics for Energy Resilience," *Energy Policy*, Vol. 72, 2014, pp. 249–256, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514002237> 96
- החלטה ממשלה מס' 4450 משנת 2009 והחלטה מס' 3484 משנת 2011: <http://www.pmo.gov.il/Secretary/GovDecisions/2009/Pages/des4450.aspx> 97
<http://www.pmo.gov.il/Secretary/GovDecisions/2011/Pages/des3484.aspx>

מחברי המחקר

דן וינשטוק

ד"ר דן וינשטוק כיהן כמנהל מינהל החשמל במשרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים בשנים 2005-2008. בעל תואר ראשון בהצטיינות במגמת מערכות הספק בפקולטה להנדסת חשמל בטכניון בשנת 1992. את התואר השני, גם הוא בפקולטה להנדסת חשמל בטכניון, השלים בשנת 1994, ונושא המחקר שלו, שנעשה בהנחיית פרופ' אברהם אלכסנדרוביץ' וד"ר אדריאן צוקרברגר, היה "ממירים מטריציים". בעל תואר שלישי מהפקולטה להנדסה באוניברסיטת תל אביב, אותו השלים בשנת 2008 בהנחיית פרופ' יוסף אפלבוים. נושא המחקר לתואר השלישי היה "תכנון אופטימאלי של שדות סולאריים". בשנת 2014 השלים דן וינשטוק תואר שני נוסף בהנדסת גז טבעי ונפט בטכניון. נושא עבודת הגמר שלו בתחום זה היה "גז טבעי לתחבורה".

ד"ר וינשטוק הוא חבר סגל הפקולטה להנדסה של המכון הטכנולוגי בחולון ומורה מן החוץ במכללה האקדמית להנדסה ע"ש עזריאלי בירושלים ובמכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון באשדוד.

ד"ר וינשטוק שירת כעשר שנים כקצין טכני בחיל האוויר בתפקידים שונים בתחום החשמל. אחר כך עבד כמהנדס חשמל בפרויקט הרכבת הקלה במטרופולין תל אביב, וכן כמהנדס החשמל הראשי של חברת "בְּטָר פְּלִיִּיס" (רכב חשמלי). כיום הוא משמש כיועץ במשק האנרגיה בתחומים הבאים: אנרגיות מתחדשות, גז טבעי, התייעלות אנרגטית, רשת חכמה ותחבורה חשמלית.

מאיר אלרן

תא"ל (מיל') מאיר אלרן הוא חוקר בכיר במכון למחקרי ביטחון לאומי (INSS) ליד אוניברסיטת תל אביב (מאז 2004), וראש התוכנית לחקר החזית האזרחית והתוכנית לחקר צבא-חברה במכון.

אלרן הוא קצין בכיר לשעבר באגף המודיעין של צה"ל. שירת במגוון תפקידים בחטיבת המחקר ושימש כקמ"ן פיקוד הדרום, כסגן מפקד המכללה לביטחון לאומי וכסגן ראש אמ"ן. לאחר פרישתו מצה"ל שימש כסמנכ"ל עיריית תל אביב, כמנהל מכון

המחקר ע"ש ברוקדייל של הג'וינט וכיועץ לתכנון אסטרטגי במשרדי ממשלה ובאגפי ממשל שונים (משרד הביטחון, צה"ל, משטרת ישראל, המועצה לביטחון לאומי ועוד). אלרן הוא בעל תואר ראשון מהאוניברסיטה העברית בירושלים במדע המדינה ומזרח תיכון, ובעל תואר שני ביחסים בין-לאומיים ולימודים רוסיים מאוניברסיטת אינדיאנה בארצות הברית. משלים עתה את לימודי הדוקטורט באוניברסיטת חיפה במחלקה למדעי המדינה בתחום החוסן החברתי. מלמד במרכז הבינתחומי בהרצלייה.

אהוד גנני

ד"ר אהוד גנני הוא סמנכ"ל העמותה לביטחון רשת החשמל – EIS Council. מרכז, מפתח ומתאם את פעילות העמותה בארץ, במטרה להגביר את המודעות והמוכנות בפני תרחיש של עלטה ממושכת כלל מדינתית. חבר בקבוצת היועצים The SPECTRUM Group מווירג'יניה, ארצות הברית, העוסקת בסיוע לחברות שעיסוקן ביטחון ועסקים מול הממשלה הפדרלית.

אהוד גנני שימש בשנים 2005-2012 כסמנכ"ל וכיו"ר במספר חברות ישראליות העוסקות בטכנולוגיה, בפיתוח ובאספקת מוצרים ביטחוניים, ביניהן: "רבינטקס תעשיות", העוסקת באמצעי מיגון אישי ומיגון רכבים; "טרייסגארד טכנולוגיות", שעסקה בגילוי חומרי נפץ בשדות תעופה ובמעברי גבול; "בירד איירוסיסטמס", העוסקת במיגון של כלי טיס נגד טילים; ו"דיפנסופט", שעוסקת בתכנון הקמתם של מערכי הגנת גבולות ומתקנים.

גנני כיהן בשנים 2005-2011 כחבר מועצת המנהלים של "גילת תקשורת לוויינים" ושימש בהתנדבות כיו"ר הוועדה הציבורית לביטחון והגנת המולדת במכון הייצוא. בין 2002-2005 כיהן כסמנכ"ל התעשייה הצבאית. מ-1974 עד 2002 שירת ברפא"ל במגוון תפקידים, ביניהם כנציג רפא"ל בושינגטון (1991-1996) וסמנכ"ל לשיווק ולפיתוח עסקי (1997-2002).

ד"ר גנני הוא מהנדס כימאי בעל תואר מהטכניון ודוקטורט מאוניברסיטת וושינגטון בסנט לואיס, ארצות הברית. הוא שימש כמרצה אורח באוניברסיטת קליפורניה בדיוויס.

אלכס אלטשולר

ד"ר אלכס אלטשולר הוא עמית מחקר במכון למחקרי ביטחון לאומי ופוסט דוקטורנט במסגרת תוכנית פולברייט בבית הספר לממשל ע"ש קנדי באוניברסיטת הרווארד, ארצות הברית. מתמקד בחקר מכלול ההיבטים הקשורים להיערכות למצבי חירום, החל מרמת הפרט, דרך רמת הארגון והקהילה, ועד היערכות אסטרטגית ברמה הלאומית והבין-לאומית. במסגרת מחקריו הוא פיתח מספר מודלים מחקריים חדשניים בתחום מצבי חירום.

אלכס אלטשולר פרסם עד כה 26 פרסומים מדעיים והציג את מחקריו ב-23 כנסים מדעיים ומקצועיים.

סינייה נתניהו

ד"ר סינייה נתניהו כלכלנית משאבי טבע וחקלאות בהכשרתה. משמשת כמדענית הראשית במשרד להגנת הסביבה. במסגרת קידום הפעילות המדעית במשרד, יוזמת ומלווה מחקרים ופיתוח ידע בתחומי ההיערכות לשינויי אקלים, סביבה ובריאות, טכנולוגיות סביבה ומים, מניעת שריפות יער, תחליפי נפט לתחבורה, הפקת אנרגיה, בנייה ירוקה, תכנון מרחבי, מגוון ביולוגי ונושאים רבים אחרים.

איתן פרנס

איתן פרנס הוא מייסד ומנכ"ל איגוד חברות אנרגיה ירוקה לישראל. מומחה למדיניות ורגולציה בתחום האנרגיה הירוקה והפחתת פליטות גזי חממה. חבר השולחן העגול לצמיחה ירוקה. בין השנים 2008–2014 היה חבר בעשרות ועדות רשמיות בתחום האנרגיה, תכנון ומדיניות בישראל. חבר קבוצות המומחים לאנרגיה מתחדשת ולהתייעלות אנרגטית בארגון הכלכלי של האו"ם לאירופה (UNECE 2014), חבר המשלחת הישראלית לכינוס הרביעי של סוכנות האנרגיה הבין-לאומית IRENA 2014. חבר צוות ההקמה של המועצה העולמית לאנרגיה סולארית פוטו-וולטאית (GSPVA). בעל ניסיון נרחב בקידום תהליכים ציבוריים במשק האנרגיה ומרצה בנושא בשורה של מוסדות אקדמיים וקורסים מקצועיים.

איתן פרנס הוא המייסד והיושב ראש הישראלי של הוועדה לשיתוף פעולה בתחום האנרגיה הירוקה ישראל-גרמניה (AHK). הוא זכה לתואר איש השנה בקלינטק לשנת 2012 (מטעם קבוצת משוב) וקיבל אות הוקרה על שם בראיין מדווד ז"ל (בוועידה הבין-לאומית לאנרגיה ירוקה אילת-איילות, 2014). כיהן בעבר כחבר הנהלות ציבוריות של האגודה הישראלית לאנרגיה סולארית (ISES), ארגון המליץ ואגודת ידידי הגן הבוטני בירושלים. ב-2015 נבחר לשמש כמזכיר איגוד התעשייה הסולארית העולמית. בעל תואר ראשון ושני במשפטים, בוגר אוניברסיטת Warwick בהצטיינות והאוניברסיטה העברית בירושלים.

שי טולדנו

שי טולדנו הצטרף למכון למחקרי ביטחון לאומי ב-2013 כמתמחה בפרויקט הדה-לגיטימציה. במהלך עבודתו היה שותף לראיונות עם בכירים ומקבלי החלטות במשק הישראלי במטרה למפות איומים על כלכלת ישראל כתוצאה מאיום הדה-לגיטימציה. בעל תואר ראשון בכלכלה ולימודי שפות מאוניברסיטת אוקספורד ברוקס באנגליה.

במהלך לימודיו שם היה סגן נשיא אגודת הסטודנטים הזרים באוקספורד. משמש כמנהל פיתוח עסקי בחברת "פורמה-טק מערכות", ואחראי על הקמת שיתופי פעולה בארצות הברית ובמזרח הרחוק.

אמיר שטיינר

אמיר שטיינר מתמחה במכון למחקרי ביטחון לאומי בתוכנית "לוחמת סייבר", 2012. אמיר שטיינר הוא בעל תואר ראשון בתקשורת ממכללת ספיר. הוא מוסמך בתחום ניהול אבטחת מידע (CISO), מנהלי רשתות (MCITP) ומיישמי אבטחת מידע (ISSI) מהמכללה לאבטחת מידע See Security. שטיינר משמש כמפקד סוללה בחיל התותחנים בדרגת רס"ן. בין עיסוקיו השונים חקר את נושא ה-Dark Net ועולם הווירולוגיה. בין פרסומיו מאמרים אינטרנטיים, בהם "הגבול הדק בין החופש לפרטיות לשימוש לרעה בטכנולוגיה" ו"התגוננות המגזר הפיננסי מפני הונאה קיברנטית".

INSS Memoranda, June 2014–Present

- No. 152, March 2016, Dan Weinstock and Meir Elran, *Securing the Electrical System in Israel: Proposing a Grand Strategy* [Hebrew].
- No. 151, December 2015, Udi Dekel, Nir Boms, and Ofir Winter, *Syria: New Map, New Actors – Challenges and Opportunities for Israel* [Hebrew].
- No. 150, October 2015, Arik Rudnitzky, *Arab Citizens of Israel Early in the Twenty-First Century*.
- No. 149, October 2015, Gabi Siboni and Ofer Assaf, *Guidelines for a National Cyber Strategy* [Hebrew].
- No. 148, September 2015, Meir Elran and Gabi Sheffer, eds., *Military Service in Israel: Challenges and Ramifications* [Hebrew].
- No. 147, June 2015, Zvi Magen and Tatyana Karasova, eds., *Russian and Israeli Outlooks on Current Developments in the Middle East*.
- No. 146, April 2015, Shmuel Even, *The Cost of Defense in Israel: Defense Expenditures and Recommendations for Drafting the Defense Budget* [Hebrew].
- No. 145, December 2014, Yoav Zacks and Liran Antebi, eds., *The Use of Unmanned Military Vehicles in 2033: National Policy Recommendations Based on Technology Forecasting Expert Assessments* [Hebrew].
- No. 144, November 2014, Oded Eran, Dan Vardi, and Itamar Cohen, *Political Feasibility of Israeli Natural Gas Exports to Turkey*.
- No. 143, November 2014, Azriel Bermant, *The Russian and Iranian Missile Threats: Implications for NATO Missile Defense*.
- No. 142, September 2014, Emily B. Landau and Anat Kurz, eds., *The Interim Deal on the Iranian Nuclear Program: Toward a Comprehensive Solution?*
- No. 141, September 2014, Emily B. Landau and Anat Kurz, eds., *The Interim Deal on the Iranian Nuclear Program: Toward a Comprehensive Solution?* [Hebrew].
- No. 140, July 2014, Oded Eran, Dan Vardi, and Itamar Cohen, *Exporting Israeli Natural Gas to Turkey: Is it Politically Possible?* [Hebrew].
- No. 139, July 2014, Arik Rudnitzky, *Arab Citizens of Israel at the Start of the Twenty-First Century* [Hebrew].
- No. 138, June 2014, Pnina Sharvit Baruch and Anat Kurz, eds., *Law and National Security: Selected Issues*.