



כתיבת ניירות מדיניות כלכליים

מרצה : פרופ' עדי פוזנר

עוזרת הוראה : גב' צופית נטר

**מהי התרומה הצפויה ממסחר בחשמל בין ישראל לאירופה
באמצעות פרויקט מגשר אירו-אסיה?**

מגישות : נטע ינקוביץ' (208141127) ודנה טרייטל (314924879)

תוכן עניינים

3.....	שאלת המדיניות מטרות הנייר.....
4.....	עיקרי המלצות.....
4-6.....	חשיבות השאלה.....
5-8.....	ההקשר המקומי.....
8.....	פירוק השאלה למרכיביה.....
9-20.....	ניתוח כלכלי.....
9-10.....	שיטת המחקר.....
10-11.....	מסגרת החשיבה הכלכלית.....
11-12.....	ספרות מדעית וסוגיות ספציפיות.....
11-20.....	ניתוח ותרומה מקוריים.....
11-12.....	מקורות מידע.....
11-14.....	תיאור הניתוח הכלכלי.....
14-15.....	מגבלות הניתוח.....
15-18.....	תוצאות.....
18-19.....	ניתוח רגישות.....
19-20.....	ניסיון מדיניות קודם.....
20-22.....	סיכום והמלצות.....
23.....	בביליוגרפיה.....

שאלת המדיניות ומטרות הנייר

בשנת 2021 שרי האנרגיה של מדינות ישראל, קפריסין ויוון, חתמו על מזכר הבנות להנחת כבל החשמל התת-ימי "מגשר אירו-אסיה". כבל זה יוקם בים התיכון לאורך כ-1,500 ק"מ ומיועד לחבר בין רשתות החשמל של שלוש המדינות, ואת ישראל לרשת החשמל האירופית. כבל זה עתיד להיות הארוך ביותר בעולם מסוגו, ותהיה באפשרותו להוביל הספק חשמל של 2,000-1,000 מגה-וואט. חיבור משקי חשמל בין מדינות, ופתיחת משק החשמל למסחר בינלאומי טומן פוטנציאל כלכלי ואסטרטגי תורם לעצמאות האנרגטית ומאפשר את גיוון סל מקורות האנרגיה והגדלת המוכנות לחירום ועמידה בביקושים העתידיים. על כן, בנייר מדיניות זה, נציג ניתוח כלכלי עבור משק החשמל הישראלי, של פוטנציאל הרווח ממסחר בחשמל בין ישראל לאירופה באמצעות פרויקט מגשר אירו-אסיה. את הניתוח נבצע באמצעות הרצת סימולציה אשר תתבסס על פערי מחירי החשמל בין ישראל למדינות אירופה, ובאמצעות ניתוח עלות-תועלת (CBA) לצורך הערכת הכדאיות הכלכלית של פרויקט זה. בנייר זה נעסוק בשאלה **מהי התרומה הצפויה ממסחר בחשמל בין ישראל לאירופה באמצעות פרויקט מגשר אירו-אסיה?** מטרות הנייר להציג תמונה רחבה של היתרונות לחיבור רשת החשמל של ישראל לרשת החשמל האירופית; לפרט את מאפייני משק החשמל הישראלי; לבצע סקירה של מחקרים שנעשו בעולם על ההשפעות הכלכליות של חיבור רשת חשמל של מדינות שונות באמצעות כבל תת-ימי לבצע ניתוח כלכלי של פוטנציאל הרווח הצפוי מפתחה של המשק הישראלי למסחר בחשמל עם אירופה באמצעות פרויקט מגשר אירו-אסיה, כמו גם את הכדאיות הכלכלית של פרויקט זה; ולספק המלצות להמשך מחקר עתידי.

עיקרי ההמלצות

בנייר מדיניות זה, בחנו את התרומה האפשרית מהמסחר בחשמל שיתאפשר בעקבות חיבור רשת החשמל הישראלית לרשת החשמל האירופית. באמצעות ניתוח כלכלי, מצאנו כי קיימת היתכנות למסחר בחשמל באמצעות התשתית העתידה לקום, כאשר מחירי החשמל הנמוכים בישראל עשויים להפוך אותה למדינה מייצאת חשמל במחיר זול לאירופה. בנוסף, תוצאות ניתוח עלות-תועלת שביצענו, מצביעות על כדאיות כלכלית של פרויקט זה. עם זאת, מאחר ופרויקט זה עתיד לשנות באופן מהותי את משק החשמל הישראלי, אנו סבורות כי על מקבלי ההחלטות לבחון ולהתאים מדיניות שתתמוך בשינויים הצפויים. על כן, אנו ממליצות על מספר צעדי מדיניות ועל הרחבת מחקר עתידי בנושא. המלצותינו כוללות הקמת מנגנונים לפיקוח ולשמירה על מחירי חשמל הוגנים וברי השגה, על מנת להבטיח שהפערים במחירי החשמל לא יובילו לעלייה משמעותית במחירים לצרכנים בישראל. בנוסף, מאחר וכבל חשמל תת-ימי מהווה דרך חלופית של מדינת ישראל לייצא גז טבעי, יש להבטיח שמירה על כמות רזרבות מספקת באמצעות תכנון לטווח ארוך. כמו כן, מאחר ושילוב מגשר אירו-אסיה צפוי לשנות את תמהיל ייצור החשמל של ישראל, קיים צורך בהכנה רחבה של משק החשמל העתידי לשינויים השונים כך שיאפשר לשמור על מערכת חשמל איתנה ולמקסם את התועלת ממנה. המגשר עשוי לסייע בניהול המערכת והתמודדות עם האתגרים שבשילוב אנרגיה סולארית אולם יש לבחון את כדאיות הפרויקט גם בהשוואה לפתרונות אחרים כמו אגירה וקיטום.

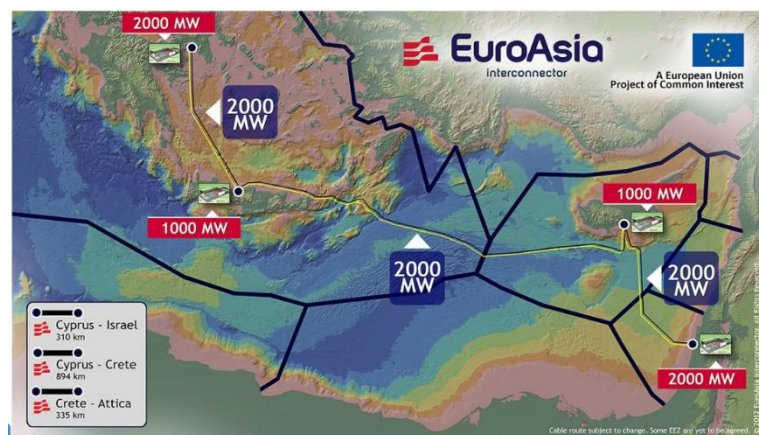
חשיבות השאלה

חשמל הוא משאב הכרחי לתפקוד התקין של כל חברה מודרנית. על פי תחזית מינהל המידע של מחלקת האנרגיה בארה"ב (EIA) עד לשנת 2050 עתיד הביקוש העולמי לחשמל לגדול בין 75%-30%. תחזית זו מתבססת על שינויים בצריכה כתוצאה מהתקדמות טכנולוגית ושינויי האקלים. על מנת לאפשר את קיומה של מערכת חשמל יציבה, מנהל המערכת חייב להתאים בין הביקוש לבין ההיצע לחשמל. כלומר, הביקוש וההיצע לחשמל חייבים להיות מאוזנים בכל זמן. על כן, הגידול בביקושים מציב אתגר משמעותי בניהול

מערכת החשמל, ואף עשוי לאיים על הבטחת אמינות האספקה והביטחון האנרגטי של מדינות. אלה נמצאים בליבת השיקולים של קובעי המדיניות (גל, 2024).

בשנת 2012 ביוזמת תאגיד "Quantum Energy" המתמחה בהקמה ותפעול תשתיות אנרגיה, הוצג לראשונה פרויקט **מגשר אירו-אסיה** (EuroAsia Interconnector). פרויקט תשתית שמטרתו לחבר בין משקי אנרגיה ביבשות אסיה ואירופה, לצורך העברה דו כיוונית של חשמל בין מדינות, ובין מדינות ישראל ויוון וקפריסין בפרט. הקמת התשתית מחולקת לשני שלבים. מצידה של ישראל בשלב הראשון יבוצע חיבור של רשת החשמל הישראלית לקפריסאית, באמצעות כבל תת-ימי באורך של כ-330 ק"מ, עומק של עד 2,200 ק"מ ובהספק מותקן של 1,000 מגה וואט. בנוסף, תוקם בעיר חדרה תחנת המרה המותאמת להספק זה. בשלב השני תורחב התשתית לתעבורה של 1,000 מגה וואט נוספים. כלומר, בסוף הפרויקט ההספק המותקן יהיה בסך הכל 2,000 מגה וואט. מגשר אירו-אסיה נתפס כפרויקט תשתיות ייחודי ושאפתני בשל היותו מבוסס על תשתית כבל חשמלי תת-ימי הארוך ביותר מסוגו בעולם, 1,208 ק"מ.

מפה 1: חיבורי כבל החשמל התת-ימי EuroAsia Interconnector



(EuroAsia Interconnector, 2018)

עלות המיזם נאמדת בכ-2.57 מיליארד יורו, והוא ימומן על ידי המדינות השותפות בו והאיחוד האירופי, שהכיר במיזם כפרויקט בעל חשיבות משותפת (PCI - Project of Common Interest) ויממן חלקים ממנו באמצעות מענקים. מתוך סכום זה, העלות המוערכת למימון המקטע שבין ישראל לקפריסין הינה מיליארד יורו.

בעשור האחרון, מתקיים שיתוף פעולה רציף בין ישראל ויוון וקפריסין במטרה לקדם את הקמתו של המגשר, זאת בנוסף לפעילות הכנה מקדימה שמבצעת מדינת ישראל (EuroAsia ; EuroAsia Interconnector, 2018). בשנת 2021 שר האנרגיה דאז יובל שטייניץ חתם יחד עם שרי האנרגיה של קפריסין ויוון על מזכר הבנות להנחת תשתית הכבל (משרד האנרגיה והתשתיות, 2021). בשנת 2023 אישרה המועצה הארצית לתכנון ובנייה באופן רשמי את הקמתו של כבל חשמל תת-ימי לאורך קו החוף בין אשקלון לחיפה. תשתית זו מהווה חלק מהקמת התשתית העתידית אשר תחבר בין ישראל לקפריסין (משרד האנרגיה והתשתיות, 2023). בנוסף, בחודש מרץ האחרון, במהלך ביקור של שר האנרגיה התעשייה והמסחר של קפריסין בישראל, סוכם כי ישראל תקדם את פרויקט זה בעדיפות עליונה. במהלך הפגישה אף נבחנה אפשרות להקמת חיבור תת-ימי בתחנת הכוח רידינג בתל אביב. בימים אלה מתבצעות עבודות ההקמה בין המדינות ויוון וקפריסין באמצעות חברת IPTO (משרד האנרגיה והתשתיות, 2024). חיבור משקי חשמל בין מדינות, ופתיחת משק החשמל למסחר בינלאומי טומן פוטנציאל כלכלי ואסטרטגי

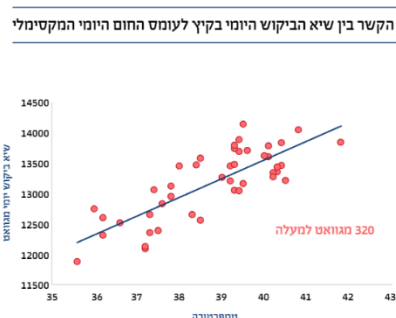
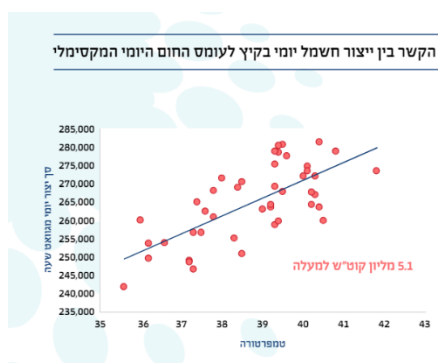
תורם לעצמאות האנרגטית ומאפשר את גיוון סל מקורות האנרגיה והגדלת המוכנות לחירום ועמידה בביקושים העתידיים (גל, 2024). יחד עם זאת מדובר בשינוי עמוק באופיו של המשק על כן מעלה אתגרים בהיבטים תכנוניים, כלכליים, חברתיים וגיאופוליטיים אשר דורשים הכנה והתאמה של המדיניות והרגולציה של משקי חשמל.

ההקשר המקומי

משק החשמל הישראלי מורכב מחמישה מקטעים: ייצור, הולכה, חלוקה, אספקה וניהול. ביוני 2018 במסגרת הרפורמה במשק החשמל הוחלט על הקמת חברת "נגה", חברה ממשלתית חדשה לניהול מערכת החשמל. בכך הופרדה פעילות זו מפעילותה של חברת החשמל אשר אחראית על יתר המקטעים (מרכז המחקר והמידע של הכנסת, 2021). ישראל היא מדינת "אי אנרגטי", מאופיינת בצפיפות אוכלוסייה גבוהה יחסית ובקצב גידול אוכלוסייה מהיר. צריכת החשמל במשק הישראלי משתנה ותלויה בשעת היום ובעונה. השפעות משבר האקלים על הביקוש לחשמל יחד עם שינויים טכנולוגיים מציבים אתגרים למנהל המערכת מצד ניהול הביקושים. לפי תחזית חברת נגה, עד שנת 2030 צפוי קצב הגידול לביקוש לחשמל לעלות ל-3.1% עד שנת 2030, ול-3.7% עד שנת 2040 (רשות החשמל, 2022). תמהיל מקורות ייצור החשמל בישראל צפוי לעבור שינויים עמוקים בשנים הקרובות לאור התחייבות ישראל להפסקת השימוש בפחם כדלק, והגדלת הייצור ממקורות מתחדשים. זאת במסגרת התחייבות ישראל בוועידת האו"ם לשינויי האקלים ("הסכמי פריז") לצמצום הפליטות ומעבר לכלכלה דלת פחמן עד לשנת 2050. הגידול הצפוי בביקוש ביחד עם שינויים בתמהיל מקורות ייצור החשמל בישראל, מצריכים את התאמתה של כלל המערכת ומקטעיה, ומחייבים בתכנון ארוך טווח אשר יאפשר להגדיל את הביטחון האנרגטי. זאת באמצעות אספקת חשמל אמינה, זמינה, בת קיימא, במחיר הוגן (משרד האנרגיה 2021).

ביקוש לחשמל - הביקוש לחשמל בישראל מושפע משלושה גורמים מרכזיים: שינויי האקלים, התפתחות טכנולוגית ודמוגרפיה. לאור מיקומה הגיאוגרפי, מדינת ישראל מוגדרת כ-hotspot וחשופה במיוחד לשינויי האקלים והשפעותיו. לפי נתוני השירות המטאורולוגי לשנת 2023, בישראל ישנה מגמת עלייה באירועי מזג אוויר קיצוני כמו שיאי חום וקור. השפעות הטמפרטורה, הינם הגורמים העיקריים לגידול בביקושים לחשמל בישראל. על כן חורף קשה או קיץ חם במיוחד עשויים להשפיע על היקף הביקוש לחשמל. בכדי לעמוד ביעדי הממשלה לאיפוס פליטות, שואפת ישראל להפסיק את השימוש במנועי בעירה מבוססי בנזין וסולר עד שנת 2030, באמצעות מעבר לשימוש בכלי רכב חשמליים. הגידול וקצב החדירה המהיר של תחבורה חשמלית בישראל מהווים גורמים בולטים לעלייה בביקוש לחשמל והתלות בה. צרכנים משמעותיים נוספים המשפיעים על הביקוש ועל התלות בחשמל הינם ענף הסלולר והאינטרנט ומתקני התפלת מים, אשר מפיקים כ-70% ממקורות מי השתייה בישראל (גל 2021 ; וינשטוק ואלרן, 2016).

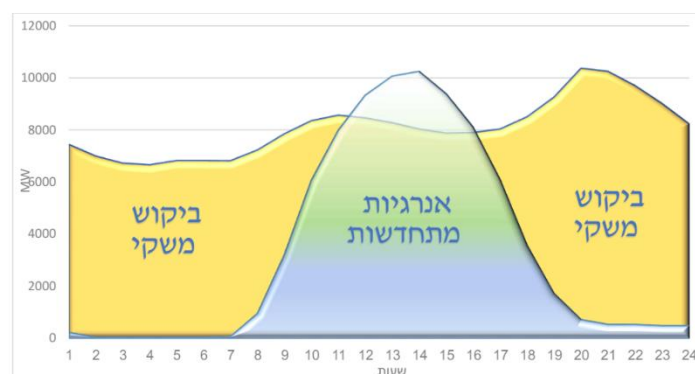
תרשים 1: השפעת מזג האוויר על הביקוש לחשמל – קיץ



(נגה, 2022).

תמהיל מקורות הייצור - בעבר ייצור החשמל בישראל התבסס ברובו על פחם. בעקבות גילויים של מאגרי גז משמעותיים במים הכלכליים של ישראל בתחילת העשור הקודם, חלה עלייה חדה בשימוש בגז טבעי כמקור לייצור חשמל. כיום גז טבעי הינו המשאב העיקרי בסל הדלקים של ישראל. נכון לסוף שנת 2022 גז טבעי היווה כ-68% מסך תמהיל מקורות הייצור בעוד פחם היווה כ-21%, ומקורות מתחדשים כ-10%. בכדי לעמוד בהסכמי ועידת האו"ם ובהתאם ליעדי הממשלה, בשנת 2030 ישראל שואפת להגדיל את ייצור החשמל ממקורות מתחדשים ל-30% מסך התמהיל, תוך התבססות על אנרגיה סולארית כמקור עיקרי ואנרגיית רוח. השימוש בפחם לייצור חשמל יופסק לחלוטין. תמהיל אנרגיה מגוון ונקי הינו רכיב מהותי להשגת ביטחון אנרגטי (גל, 2019). יחד עם זאת, עלייה בשימוש באנרגיות מתחדשות כמקור חשמל דורשת התאמה ותכנון ארוך טווח של משק החשמל הישראלי. כמו כן, עלייה זו מציבה מספר אתגרים משמעותיים אשר עלולים לפגוע ביכולתה של מדינת ישראל לעמוד ביעדים שהציבה. ראשית, ייצור חשמל באמצעות לוחות סולאריים דורש שטח רב, ישראל הינה מדינה בעלת מרחב צר ושטחים פתוחים מוגבלים. על מנת לעמוד ביעד זה יש צורך בהקצאה אדירה של שטחים לטובת הקמת מערכות ייצור, ולכן עולות שאלות בנוגע לשימושים יעד זה (נגה, 2022). שנית, בניגוד למקורות ייצור קונבנציונליים, מקורות אנרגיה מתחדשת ואנרגיה סולארית בפרט מאופיינת בתנודתיות ועונתיות. לכן קיים קושי בשליטה על פרופיל הייצור אשר אינו תואם בהכרח לביקוש בכל רגע נתון. תכונות אלו מקשות על מנהל המערכת בבניית מערכת חשמל אמינה וחזקה, ודורשות פיתוח של טכנולוגיות אגירה וניהול המערכת באמצעות פעולות כמו קיטום. זהו אתגר מהותי ועמוק בניהול מערכת החשמל העתידית של ישראל. ישראל הציבה לעצמה כיעד את הגדלת אחוז מקורות האנרגיה המתחדשת בתמהיל לכ-30% עד שנת 2030 ובין 50-80% עד שנת 2050. הגדלת אחוז המתחדשות בתמהיל הייצור מהווה אתגר מהותי ועמוק בניהול מערכת החשמל העתידית של ישראל, שכן מתבסס בעיקרו על אנרגיה סולארית אשר שילובה בהיקפים גדולים גורם לשינוי בעקום הביקוש נטו. בשעות השמש, בהן מתקנים סולאריים מייצרים חשמל, הביקוש נטו המוגדר כסך הביקוש בניכוי ייצור אנרגיה מתחדשת יורד בצורה משמעותית. לקראת הערב, עם הירידה בייצור הסולארי מחד והעלייה בביקוש מאידך, העקומה עולה בחדות. כלומר, פרופיל הייצור אינו מסונכרן עם שעות השיא והשפל של הביקוש לחשמל. כתוצאה מכך עקום הביקוש נטו מקבל צורה הידועה כ"עקומת הברווז". על כן, יתכנו בישראל עודפי ייצור (פרג ולוי, 2018).

תרשים 2: עקום ביקוש משקי ועקום ייצור מאנרגיות מתחדשות - עונת האביב שנת 2030.

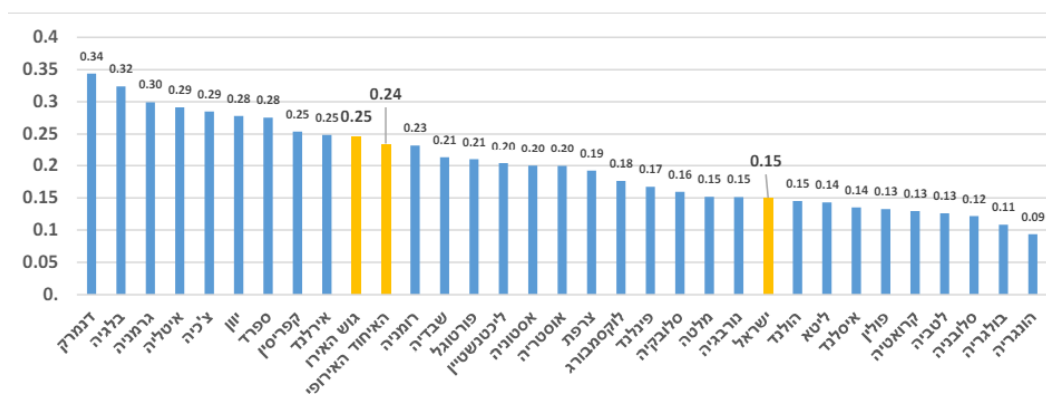


(נגה, 2022)

תעריף החשמל בישראל - תעריף זה מפרק ומשקף את עלות אספקת החשמל בחמישה מקטעים: ייצור, הולכה, חלוקה, אספקה וניהול. התעריף נקבע ומעודכן מעת לעת על ידי רשות החשמל, ומחירו משתנה על

פי מתח האספקה, עונות השנה, היום בשבוע, והשעה במהלך היום. בשעות השיא נקבע תעריף חשמל גבוה על מנת לתמרץ הפחתה של צרכנים בשימוש בחשמל. זאת כדי לאפשר את הקלת העומסים על המערכת כך שתוכל להתמודד עם שיאי הביקוש. תעריף החשמל הביתי בישראל נמוך בכ-36% מהמחיר הממוצע במדינות האיחוד האירופי, ונמוך בהשוואה לרוב מדינות האיחוד. עלות תעריף החשמל מושפעת מעלויות הון של נכסי ייצור, שיעורי תשואה, תמחיל ועלויות של דלקים, היקף רכישות חשמל, התפלגות צריכה, שינוי בשער החליפין, רכישת אנרגיות מתחדשות ועוד (הכנסת, 2023).

תרשים 3: מחיר צריכת החשמל המשתנה בישראל ובאירופה, 2022, מחצית ראשונה (באירו לקוט"ש)



(הכנסת, 2023)

יחס הרזרבה - על אף מגמת העלייה בביקוש לחשמל, בשנים האחרונות חלה עלייה ביחס רזרבה היצע החשמל. יחס הרזרבה הינו היחס שבין ההספק המותקן לביקוש לחשמל בשעות השיא. עד לאחרונה משק החשמל בישראל התאפיין ביחס רזרבה נמוך, כלומר ההספק הזמין מעל שיא הביקוש עמד על אחוזים בודדים בלבד. אך בשנים האחרונות חל עלייה ביחס זה לאור שתי מגמות. מגמה ראשונה הינה האטה של קצב הביקוש לחשמל, ומגמה שנייה הינה כניסה של יצרנים פרטיים אשר הובילו להגדלה של ההספק המותקן ברשת. לפי תרחישים שפרסמה חברת נגה, אם שיא הביקוש ימשיך להתפתח בקצב ממוצע שנתי של כ-2.5%, בתחילת העשור הבא צפויה הרזרבה להגיע לכ-30% מעל שיאי הביקוש. חשוב לציין כי השפעות שינויי האקלים ועלייה באירועי מזג אוויר קיצוני, עשויים להוביל לגידול משמעותי בשיאי הביקוש אשר יהיו גבוהים במיוחד. על כן, יחס הרזרבה צפוי להישאר נמוך יותר מזה הנאמד בתחזית (רשות החשמל, 2022).

מאפיינים גיאופוליטיים - מאפיין ייחודי של ישראל הוא היותה מדינת "אי חשמלי", כלומר משק החשמל פועל כמשק עצמאי ומבודד ללא חיבור למדינות שכנות. יחד עם זאת, בשנים האחרונות חתמה ישראל על מספר הסכמי סחר בגז טבעי, בהם ייצוא גז טבעי לשכנותיה מצריים וירדן וכן שיתופי פעולה אזוריים במסגרת הסכמי אברהם. במסגרת הסכמים אלה אשר זכו לתמיכת איחוד האמירויות ולשיתוף פעולה עם ארצות הברית, עתידה ישראל להגדיל את ייצור המים במתקני התפלה לטובת ייצוא שנתי של עד 200 מיליון קוב מים לירדן. בתמורה ישראל תייבא חשמל שמקורו במקורות מתחדשים בהיקף של 600 מגה וואט אשר ייוצר בירדן. הסכמים אלו ממחישים את הפוטנציאל לשיתופי פעולה אזוריים. בנוסף, גילויי הגז מאז שנת 2000 הובילו להקמתו של פורום הגז EMGF (Forum Gas Mediterranean East), פורום לשיתוף פעולה אזורי בתחום הגז בו חברות המדינות: מצרים, ירדן, יוון, קפריסין, איטליה, צרפת, וישראל, כמו גם הרשות

הפלסטינית. ובימים אלו נבחנים בישראל שני פרויקטים נוספים ושפתניים לשיתוף פעולה אזורי עם יוון וקפריסין:

- Euro asia interconnector – פרויקט לחיבור רשתות החשמל של המדינות באמצעות כבל חשמל תת ימי. בכך תוכל ישראל להפוך למדינה יצואנית ויבואנית של חשמל, ולסיים את בידודה החשמלי. פרויקט זה אף עשוי להוות נתיב אפשרי לסחר בגז טבעי ולהוות תחליף לשימוש בטכנולוגיות הנזלה עבור שינוע (LNG).
- Mediterranean East – פרויקט להקמה של צינור גז ממזרח הים התיכון לאירופה, פרויקט זה בעל סיכוי נמוך יותר לפיתוח וקידום.

שיתופי פעולה אזוריים בתחום האנרגיה מאפשרים להגדיל את מגוון מקורות הייצור, לייצב קשרים מדיניים באזור ובכך תורמים להגדלת הביטחון האנרגטי של ישראל. יחד עם זאת, לאור אתגרים גיאופוליטיים רבים בקידום שיתופי פעולה עם מדינות ערב קיים קושי בהובלת פרויקטים נוספים. הסכמים ושינויים עתידיים עשויים לייצר הזדמנויות חדשות לישראל בהקשר זה, כגון הסכם נורמליזציה עם סעודיה אשר עשוי לאפשר ייבוא חשמל מבוסס מקורות מתחדשים ובעתיד לייבא מימן. בנוסף, כחזון אפשרי ורחוק ליום שאחרי מלחמת "חרבות ברזל", שיקום רצועת עזה עשוי לכלול את פיתוח שדה הגז הנמצא מול חופיו (גל, 2024).

פירוק השאלה למרכיביה

חיבור משקי חשמל בין מדינות ופתיחת משק החשמל למסחר בינלאומי טומן בחובו פוטנציאל כלכלי ואסטרטגי משמעותי (Bell, 2021 & Antweiler, Boz et al., 2021; MacIver, Bukhsh). פרויקט מגשר אירו-אסיה, אם יוקם, צפוי לחולל שינויים משמעותיים במשק החשמל הישראלי ולהשפיע על הכלכלה הישראלית בכללותה. על כן, קיים צורך מהותי בהבנה של ההשפעות האפשריות של פרויקט זה, כדי להכין את המשק על כלל היבטיו לשינוי אשר במטרה לשמור על הביטחון האנרגטי של מדינת ישראל. שאלת המדיניות בנייר זה תעסוק בהבנת התרומה העתידית ממסחר בחשמל כתוצאה מהקמת פרויקט מגשר אירו-אסיה בהיבטים הבאים:

- **הכנסות עתידיות מייצוא חשמל** - בחינת הפוטנציאל הכלכלי של ייצוא חשמל כדרך נוספת לניצול משאבי הגז הטבעי של ישראל, אשר תתרום להכנסות המדינה ותאפשר גיוון במקורות ההכנסה הלאומית.
- **הגדלת הביטחון האנרגטי** - חיזוק הביטחון האנרגטי של ישראל על ידי גיבוי אספקת החשמל והפחתת הצורך בהקמת תחנות כוח נוספות לגיבוי בשעות ביקוש שיא. בכך עשוי להוביל לחיסכון בעלויות ולהגדלת אמינות האספקה.
- **הגדלת היעילות בייצור** - שיפור היעילות בייצור החשמל כתוצאה מהפתיחה למסחר והשימוש המוגבר באנרגיות מתחדשות. זה יכול להוביל לשיפור טכנולוגי, לצמצום עלויות הייצור ולהפחתת פליטות ואף לתרום לעמידה ביעדי האקלים של מדינת ישראל.
- **מחירי החשמל** - בחינת ההשפעות האפשריות על מחירי החשמל בישראל כתוצאה מהפתיחה למסחר בינלאומי. יש להעריך את ההשלכות על הצרכנים ועל הכלכלה המקומית, ולוודא שמחירי החשמל יישארו נגישים והוגנים לכלל האוכלוסייה.

ניתוח כלכלי

שיטת המחקר

בנייר מדיניות זה, ננתח את התרומה מהמסחר בחשמל שתיווצר כתוצאה מהקמת פרויקט כבל תת-ימי בין ישראל לקפריסין. על מנת לבחון זאת, נבצע סימולציה להערכת פוטנציאל הרווח ממסחר בחשמל בין ישראל לאירופה, שיווצר באמצעות פרויקט מגשר אירו-אסיה לאורך פרק זמן של שנה. סימולציה זו מתבססת על התעריף הסיטונאי השעתי לחשמל בישראל ובאירופה לאורך שנת 2023. התעריף הסיטונאי משקף את העלות השולית לייצור חשמל, כלומר התעריף שבו יצרני חשמל פרטיים יכולים למכור חשמל לרשת החשמל הישראלית. השימוש בתעריף זה מאפשר לבדוד את עלות הייצור בפרט מסך העלויות המגולמות בתעריף החשמל בישראל, כדוגמת עלויות אספקה והולכה לצרכן. באמצעות נתוני תוצאות הסימולציה נבצע ניתוח עלות-תועלת (CBA), זאת על מנת לספק תובנות לגבי הכדאיות הכלכלית של פרויקט זה ובחינת החזר ההשקעה. בנוסף, על סמך הנתונים שיתקבלו, נבצע ניתוח רגישות לצורך הערכת השפעה של שינויים בפרמטרים מרכזיים. **הניתוח הכלכלי בנייר מדיניות זה יאפשר להעריך באופן כמותי את הערך הכלכלי של פרויקט הכבל התת-ימי, ולשקף את הכדאיות הכלכלית של פרויקט זה עבור מקבלי ההחלטות. זאת לצורך התוויית מדיניות מושכלת במשק החשמל.**

מסגרת החשיבה הכלכלית

אנו סבורות כי חיבור רשת החשמל של מדינת ישראל לאירופה צפוי להעניק למשק תרומה ורווחה כלכלית כתוצאה משני אפקטים כלכליים מרכזיים. אפקט ראשון הינו אפקט הייצוא שיווצר כתוצאה מהפתיחה למסחר בין רשת החשמל הישראלית לרשת החשמל האירופית. ההבדלים בין משקי החשמל השונים כגון הבדלי תעריפי חשמל והבדלים בביקוש לחשמל, יוצרים בסיס למסחר בין השניים, ובכך עשויים לתת מענה וערך כלכלי למדינות הסוחרות. הזדמנויות המסחר גדלות עם השונות של הביקוש לחשמל לאורך זמן (עקב השפעות עונתיות או שעתיות) ומתאם נמוך יותר (או שלילי) בביקוש. היתרון היחסי בייצור חשמל ממקורות שונים שיש לכל מדינה בשעה מסוימת והשוני בשיא ובשפל הביקוש בכל מדינה, מתבטאים בפער בתעריפים (Antweiler, 2016). פער זה משקף פוטנציאל למסחר בין ישראל לאירופה, הן לייבוא והן לייצוא של חשמל. למשל, במידה ומחיר החשמל בישראל בשעה נתונה יהיה גבוה מהמחיר באירופה או זהה לו, כבל חשמל תת-ימי עשוי לשמש לייבוא חשמל מאירופה בשעות בהן הביקוש בישראל הוא בשיא. בכך יאפשר להחליף חלק מהתחנות שמשמשות לגיבוי אספקת חשמל. במידה והמחיר בישראל יהיה נמוך מהמחיר באירופה בשעה נתונה, הכבל יאפשר ייצוא של חשמל מישראל לאירופה.

יש לציין כי מאחר ועלות הקמת התשתית של הכבל התת-ימי בין ישראל לאירופה הינה יקרה במיוחד, מקדם העומס על הכבל יצטרך להיות גבוה בכדי שיתאפשר להחזיר את עלות ההשקעה בפרויקט. בנוסף לכך, כבל חשמל תת-ימי מהווה דרך חלופית של ישראל לייצא גז טבעי. בשנת 2023, הוחלט על ידי הממשלה בהתייעצות עם מינהל רשות הגז הטבעי, לאשר מתן היתר ייצוא בהיקף של BCM 3.5¹ לשנה (משרד האנרגיה והתשתיות, 2023). כיום ייצוא גז טבעי נעשה באמצעות צנרת למצרים לצורך הנזלתו במתקני ההנזלה שיש ברשותה. ייצוא של חשמל אשר מיוצר באמצעות גז טבעי, הינו דרך אחרת לייצא גז טבעי למדינות אחרות. עם זאת, הכדאיות הכלכלית של חלופה זו תלויה בפערי מחירי הגז בין ישראל לאירופה.

¹ "אמת המידה המקובלת למדידת כמויות הגז (נפח) במיליארדי מטרים מעוקבים"

מספר גדול של מחקרים מצא שמסחר בחשמל בין מדינות באמצעות תשתית כבל חשמל תת-ימי מוביל לצמיחה כלכלית והגדלת הייצור מאנרגיות מתחדשות במדינות בהן מתקיים הסחר (Antweiler, 2016; Boz et al., 2021). דוגמה לכך ניתן לראות במחקר של Abrell ו-Rausch (2016), אשר בו פותח מודל שיווי משקל כללי רב-מדיני על מנת לבחון את ההשפעות של התרחבות תשתיות הולכת חשמל וחדירת אנרגיה מתחדשת באירופה על רווחים ממסחר. במחקר נמצא כי לפיתוח של תשתיות הולכה יש פוטנציאל להביא לרווחים ניכרים מהמסחר בין מדינות אירופה. פוטנציאל זה מוערך בין 1.6–2.6 מיליארד דולר לשנה (המקביל לעלייה של 0.02%–0.03% ברווחה שנתית). בנוסף לכך, על פי מחקר שערך הבנק העולמי (2020) על סחר בחשמל בין מדינות מרכז יבשת אסיה, נמצא כי המסחר בחשמל במדינות אלו צפוי לספק תועלת כלכלית של עד כ-6.4 מיליארד דולר. זאת באמצעות ניצול טוב יותר של פוטנציאל ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות באזור, והגדלת אמינות הרשת באמצעות מענה לביקושים. כמו כן, במחקר נטען כי סחר בחשמל בין מדינות עשוי להגדיל את השימוש במקורות אנרגיה מתחדשים לייצור חשמל באזור. זאת מאחר ולמדינות רבות ישנו פוטנציאל משמעותי של אנרגיית רוח ואנרגיה סולארית אשר לא מנוצל לאור היעדר כדאיות כלכלית. על כן, פתיחה של מסחר בחשמל עשויה להפוך את פיתוח תשתיות הייצור הללו לכדאיות כלכלית ובכך לעודד את הקמתן. אימוץ מקורות אנרגיה מתחדשים הוא הכרחי לעתיד בר-קיימא, והכבל התת-ימי ממלא תפקיד מרכזי בקידום מעבר זה. בשל תנאי הייחודיים, מדינת ישראל נשענת כמעט באופן בלעדי על אנרגיה סולארית כמקור לאנרגיה מתחדשת. עם זאת, השילוב של אנרגיה סולארית ברשת החשמל מגיע עם אתגרים הקשורים לתנודתיות בייצור הקשורה במזג אוויר ועונתיות. דבר המחייב מערכת אגירה או השקעה בהקמת תחנות כוח לגיבוי. אף על פי כן, באמצעות פרויקט הכבל התת-ימי, ניתן יהיה להעביר ביעילות עודפי אנרגיה מתחדשת ממדינה אחת לאחרת, תוך אופטימיזציה של ניצול המשאבים והפחתת² הפרויקט לא רק יאפשר את הצמיחה של ייצור אנרגיה מתחדשת אלא גם יסייע למדינות הסוחרות להתקדם לעבר יעדי האקלים שלהן.

אפקט כלכלי שני אשר מעצים את ההשפעה החיובית של פרויקט מסוג זה הינו החיסכון בעלות ההקמה של תחנת כוח נוספת לייצור חשמל בישראל. מטרת תחנה זו לספק גיבוי של היצע חשמל בשעות בשנה בהן הביקוש לחשמל נמצא בשיאו. גיבוי של חשמל בשעות אלו, מאפשר להגדיל את אמינות היצע החשמל, לצמצם את דקות אי-האספקה (הפסקות חשמל) לצרכני החשמל ובכך להקטין עלויות אי-אספקת חשמל למשק הישראלי. תחנת הכוח האחרונה המוקמת, בדרך כלל מאופיינת ביעילות אנרגטית³ נמוכה ועלות הקמה גבוהה. זאת מאחר והתחנה צפויה לפעול לעיתים רחוקות בשעות בהן הביקוש נמצא בשיאו וישנו צורך בהיצע חשמל נוסף להבטחת אספקת החשמל. לפיכך, הקמה של הכבל התת-ימי, עשויה לאפשר צמצום בגיבוי של תחנות כוח, לחסוך את הקמת תחנת הכוח האחרונה וכתוצאה מכך להוביל לחיסכון אדיר בעלויות הקמה. בנוסף, היתרון בפרויקט הכבל על פני הקמת תחנת כוח נוספת, הוא שבזמנים בהם הכבל לא ישמש לייבוא חשמל מאירופה, הוא יוכל לשמש לייצוא חשמל ולהוות מקור הכנסה נוסף למדינה.

ספרות מדעית בסוגיות הספציפיות

ישנם מעט מחקרים אשר בחנו את התרומה הכלכלית ממסחר בחשמל בין מדינות באמצעות כבל תת-ימי באמצעות סימולציה וניתוח עלות-תועלת. דוגמה למחקר כזה הינה המחקר של Purvins, Sereno,

קיסום - מתאר כל פעולה שמפחיתה את כמות החשמל הנוצרת כדי לשמור על האיזון בין היצע וביקוש - שהיא קריטית² למניעת הפסקות חשמל.
יעילות אנרגטית – כמות האנרגיה הנדרשת לצורך הפקת יחידת מוצר או שירות³

Ardelean, Covrig, Efthimiadis & Minnebo (2018). מחקר זה בחן את הכדאיות הכלכלית של פרויקט כבל תת-ימי בין אירופה לחלק המזרחי של צפון אמריקה באמצעות ניתוח טכנו-כלכלי וניתוח עלות-תועלת. המחקר התייחס לפוטנציאל התרומה הכלכלית של הפרויקט אשר נובעת ממסחר בחשמל. מחקר זה הינו הראשון להציג ניתוח טכנו-כלכלי של חיבור תשתיות רשת חשמל בין מדינות באמצעות כבל תת-ימי. הניתוח הטכנו-כלכלי במחקר התבצע באמצעות מודל למערכת ניהול ושליטה (Dispatch) שפותח על ידי מחברי המאמר, בתוכנת הדמיית שוק החשמל PLEXOS³. מודל זה מאפשר לחזות ולנהל באמצעות סימולציה, את ייצור החשמל ואת זרימת האנרגיה ברשת החשמל. כמו כן הוא מאפשר לספק הערכת ביצועים לפרויקט הכבל התת-ימי בין אירופה לצפון אמריקה, באמצעות ניתוח ההשפעה על מחירי החשמל ועל הרווחה החברתית במדינות השונות. תוצאות המחקר מצביעות על כך שכבל בהספק של 4,000 MW בין אירופה לצפון אמריקה צפוי להגדיל את הרווחה הכלכלית-חברתית השנתית בכ-177M€. כמו כן, נמצא כי סך התועלת השנתית מספיקה לכסות את עלויות ההשקעה של הפרויקט, וכי פרויקט זה צפוי לשפר את הרווחה הכוללת. על פי מחקר זה, היתרונות ההדדיים מסחר בחשמל בין אירופה וצפון אמריקה נובעים מהבדלים בעלויות הייצור, מזמני שיא ביקוש יומיים שונים, ממתאם נמוך בייצור ממקורות אנרגיה מתחדשים, ומהשונות העונתית של הביקוש.

מחקר נוסף של Doorman & Frøystad (2013), בחן את ההשפעות הכלכליות של חיבור כבל תת-ימי בין נורווגיה לבריטניה. במחקר נעשה שימוש בסימולציה כדי לנתח את הרווחיות של חלופות חיבור כבל שונות בין בריטניה לנורווגיה באורך שבין 550 ל-900 ק"מ, עבור תרחישים שונים בהווה ובעתיד. עבור הסימולציה מחברי המאמר השתמשו במודל EMPS, אשר מאפשר לייצג את מערכות החשמל בשתי המדינות הללו, כמו גם במדינות גרמניה והולנד. המודל מנתח את ההשקעה בתשתית הכבל מנקודת מבט של רווחה חברתית, בהינתן שיעור התשואה הנדרש, אורך חיי הפרויקט וחישוב התועלת מחיבור התשתית בין המדינות. הניתוח בוצע עבור שתי חלופות שונות: א. מערכת החשמל נכון לשנת 2010 והחיבור הימי בין נורווגיה ובריטניה. ב. מערכת החשמל העתידית (נכון לזמן כתיבת המאמר) בשנת 2020, אשר תכלול גם חיבור לחוות רוח ימית הנמצאת בין בריטניה לנורווגיה. במחקר שני התרחישים נמצאו רווחיים מבחינת הרווחה החברתית. חלופה א' נמצאה כרווחית יותר כאשר הגידול ברווחה החברתית עלה על העלות הקבועה השנתית ב-72%. במחקר נבחנה גם ההשפעה של עליית מחירי הגז בבריטניה ונמצא כי תחת עליית מחירי הגז, חלופה ב' אינה רווחית ואילו חלופה א' רווחית, בשונה מתוצאות הסימולציה הראשונה שבוצעה.

מחקרים נוספים השתמשו בשיטות שונות לצורך בחינת ההשפעה הכלכלית של מסחר בחשמל בין מדינות בשימוש כבל תת-ימי. מחקר שנערך בשווייץ למשל, בחן את ההשפעה של שווקי חשמל גדולים על מחירים של שווקי חשמל קטנים כמו בשווייץ. הניתוח במחקר התבצע באמצעות מודלים אקונומטריים ובמודל שיווי משקל נאש-קורנו. ממצאי המחקר תרמו להבנת הדינמיקה של מחירים בין שווקי חשמל "חוצי גבולות" באירופה (Keles, Dehler-Holland, Densing, Panos & Hack, 2020).

ניתוח ותרומה מקוריים

מקורות מידע

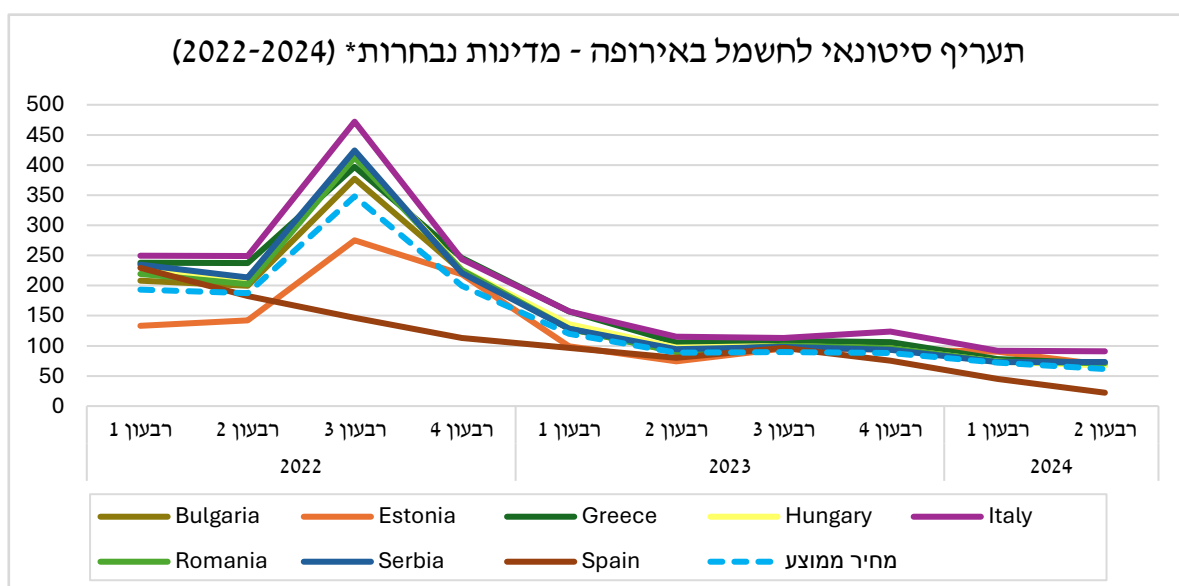
עבור הרצת הסימולציה בניתוח הכלכלי, השתמשנו בנתוני התעריף הסיטונאי לחשמל באירופה המתפרסמים על ידי ה-ENTSO-E, הרשת האירופית של מפעילי מערכות ההולכה. רשת זו הוקמה במימון האיחוד האירופי ומייצגת 40 מפעילי מערכות הולכת חשמל מ-36 מדינות ברחבי אירופה (ENTSO-E).

2024). בנוסף, השתמשנו בנתוני התעריף הסיטונאי לחשמל בישראל של חברת נגה (2024). שני בסיסי הנתונים של תעריפי החשמל, הן באירופה והן בישראל, הינם על בסיס שעתי לאורך כל ימות השנה. בניתוח זה בחרנו להתמקד בנתוני שנת 2023 בפרט, מאחר ונתונים אלו הינם העדכניים ביותר נכון לזמן כתיבת העבודה. בנוסף כדי להשוות את התעריפים השונים השתמשנו בנתוני שער החליפין היומי הממוצע של מטבע האירו וביצענו התאמה של התעריף לכל יום בנפרד (בנק ישראל, 2024). עבור הערכת הכדאיות הכלכלית של הפרויקט בניתוח עלות-תועלת, התבססנו על תוצאות הסימולציה לקביעת פוטנציאל הרווח השנתי מייצוא וייבוא חשמל. כמו כן התבססנו על הספרות המדעית לצורך קביעת שער ההיוון הפיננסי, עלות תפעול שנתי ואורך חיי הכבל התת-ימי (Purvins et al., 2018). עבור עלויות ההקמה של תחנת הכוח האחרונה, השתמשנו בנתוני רשות החשמל (2022).

תיאור הניתוח הכלכלי

לצורך הניתוח הכלכלי בנייר מדיניות זה, בשלב הראשון הרצנו סימולציה על פני זמן, שבחנה בעזרת התעריף הסיטונאי השעתי לחשמל האירופי והישראלי בנפרד, את פוטנציאל הרווח השנתי ממסחר בחשמל בין ישראל למדינות אירופה. בשלב השני ביצענו ניתוח עלות-תועלת (CBA) על בסיס תוצאות הסימולציה. את הסימולציה בנינו בקובץ תוכנת Excel, אשר תוכל לשמש את קובעי המדיניות באופן נגיש להערכת ההשפעה של פרויקט הכבל התת-ימי על משק החשמל הישראלי. שני בסיסי נתוני המחיר הסיטונאי הן באירופה והן בישראל הינם שעתיים על פני זמן, כלומר סה"כ 8,760 נתונים שעתיים בשנה. על כן, תחילה ביצענו התאמות בין שני בסיסי נתוני המחירים לשעה, כך שיהיו מקבילים על פני זמן UTC (Coordinated Universal Time), ועל פי יחידות מידה (€/MWh). בנוסף לכך, מאחר ובסיס נתוני המחירים האירופי מפרט את המחירים לכל מדינה בנפרד, חישבנו את הממוצע האירופי בכל שעה.

תרשים 4 – תעריף סיטונאי ממוצע לחשמל במדינות אירופה נבחרות, וממוצע כללי באירופה, בין השנים 2022-2024



*מתוך 29 מדינות באירופה בבסיס הנתונים למחיר סיטונאי לחשמל, בחרנו בתרשים זה לכלול את המדינות הקרובות ביותר לישראל גיאוגרפית, ובעלות המאפיינים הדומים ביותר.

לאחר מכן, חישבנו את פערי המחירים בערך מוחלט, כדי למצוא את ההפרש בין המחיר הישראלי למחיר האירופי וכך לבחון את הפוטנציאל למסחר.

לאחר מציאת פערי המחירים, ביצענו אדפטציה לאיבודי החשמל הצפויים מפעולת ההולכה, כך שיגולמו במחיר. איבודי החשמל מתרחשים בעת הולכת החשמל עקב התנגדות במוליכים החשמליים, וכוללים את איבודי החשמל בכבל עצמו ובתחנות המרת המתח החשמלי אשר ממוקמות בשני קצוות הכבל במדינות עצמן. נמצא כי בתשתית כבל תת-ימי בין מדינות, איבוד החשמל הכולל הצפוי הינו כ-9% מהחשמל (Purvins et al., 2018). יש לציין כי אחוז איבוד האנרגיה מבוסס על פרויקט בין צפון אמריקה לאירופה, בכבל שאורכו 3,300 ק"מ. כלומר מאחר ואורך הכבל הצפוי בפרויקט מגשר האירו-אסיה הינו קצר יותר (330 ק"מ), אחוז איבוד האנרגיה צפוי אף להיות נמוך מכך, ולכן התוצאות עלולות להיות מוטות מטה.

בכדי לגלם את איבודי החשמל במחיר כאשר הפער בין המחיר בישראל למחיר באירופה היה שלילי והיווה בסיס לייצוא, חישבנו את המחיר בישראל באופן הבא:

$$P_L = \frac{P_I}{(1 - L)}$$

כאשר P_L מייצג את המחיר לאחר האדפטציה לאיבודי החשמל, P_I מייצג את המחיר בישראל, ו- L מייצג את אחוז איבוד החשמל.

בשעות בהן הפער בין המחיר בישראל למחיר באירופה היה חיובי והיווה בסיס לייבוא, ביצענו את אותו החישוב על המחיר באירופה.

לאחר מכן, בכדי לחשב את סך הייצוא והייבוא השנתי ולהעריך את הרווחים הצפויים מהפרויקט, הרצנו סימולציה על פני זמן, אשר מכפילה בכל השעות לאורך שנת 2023 את סך ההספק המתוכנן לכבל התת-ימי, במחיר הרלוונטי (מחיר ייבוא או מחיר ייצוא).

בכל שעה בה היה בסיס לייצוא (פער מחירים שלילי), הכפלנו את המחיר בישראל אשר מגלם את איבודי האנרגיה בסך ההספק המתוכנן של הכבל בשעה נתונה, כלומר 1,000 מגה-וואט (MWh), וסכמנו לסכום הייצוא הכולל בשנה.

את הרווח הצפוי מייבוא, חישבנו באמצעות ההפרש בין סך הייבוא במחיר האירופי שלאחר האדפטציה לאיבוד חשמל, לבין ייצור החשמל במחיר בישראל באותה שעה. כך הערכנו את החיסכון שיווצר כתוצאה מייבוא על פני ייצור בארץ במחיר הנתון לאותה שעה.

בשלב השני, התבססנו על נתוני תוצאות הסימולציה שערכנו, ועל ספרות מדעית בכדי לקבוע את סך העלויות והתועלות הצפויים מפרויקט הכבל התת-ימי. באמצעות נתונים אלו נוכל לבחון האם הפרויקט כדאי ומהו סכום ההחזר השנתי הדרוש לכך שההשקעה בפרויקט תהיה משתלמת.

תרשים 5 – תיאור הנתונים עליהם התבססנו בניתוח ה-CBA:

נתונים והנחות		
עלות הפרויקט	₪	4,010,000,000
שער הירון		7%
אורך חיי הפרויקט (שנים)		25
הכנסה שנתית מייצוא	₪	1,144,557,646
חיסכון שנתי מייבוא	₪	16,663,936
עלות תפעולית שנתית	₪	84,210,000

בכדי לחשב את הכדאיות הכלכלית של פרויקט מגשר אירו-אסיה באמצעות ניתוח CBA, ביצענו שימוש בנוסחת ה-NPV (ערך נוכחי נקי):

$$NPV = \sum_{i=0}^n \left(\frac{B_i}{(1+r)^i} - \frac{C_i}{(1+r)^i} \right)$$

כאשר B_i ו- C_i מהווים את התועלות והעלויות בהתאמה, אשר מתרחשים בשנה i למשך $n = 25$ שנים, ו- r מייצג את שיעור ההיוון הפיננסי.

מתוצאת ה-NPV ניכנו את גובה ההשקעה ההתחלתית, כלומר את עלות הפרויקט (1 מיליארד יורו), ובאמצעות הנתון הסופי בחנו את הכדאיות הכלכלית של הפרויקט. כדי להעריך את החיסכון שיווצר כתוצאה מהקמת הכבל, חישובנו את עלות הקמת תחנת הכוח הנוספת (האחרונה) במשק החשמל. מהות תחנה זו הינה גיבוי אספקת חשמל למשק הישראלי בשעות ביקוש השיא. תחנה זו לרוב מאופיינת ביעילות נמוכה ועלויות גבוהה. על כן, התבססנו על מאפיינים אלו בקביעת סוג התחנה, בהתאם לסקירת תחנות הכוח הקיימות במערך ייצור החשמל בישראל שפרסמה רשות החשמל.

את עלות הקמת התחנה נחשב באמצעות כפל אומדן עלות ההקמה של יחידת הייצור השולית, בכמות ההספק המתוכנן של הכבל התת-ימי (1,000 MW). זאת בהתאם לנתוני רשות החשמל:

טכנולוגיה	עלות הקמה	עלות תפעול קבועה	נצילות	אורך חיים	שירותי הון	עלות קבועה	מיצגת יחידה נוכחית
	\$/KW	\$/kW.yr	אחוזים	שנים	דולר/שנה/קו"ט	דולר/שנה/קו"ט	
טי"ג תעשייתית E,F	810	44	37%	25	54.63	98.63	טורבינות גז תעשיות וקטוריות

(רשות החשמל, 2022)

על כן, סך עלות הקמת תחנת הכוח האחרונה מוערכת בכ- 2,916,000,000 ₪.

מגבלות הניתוח

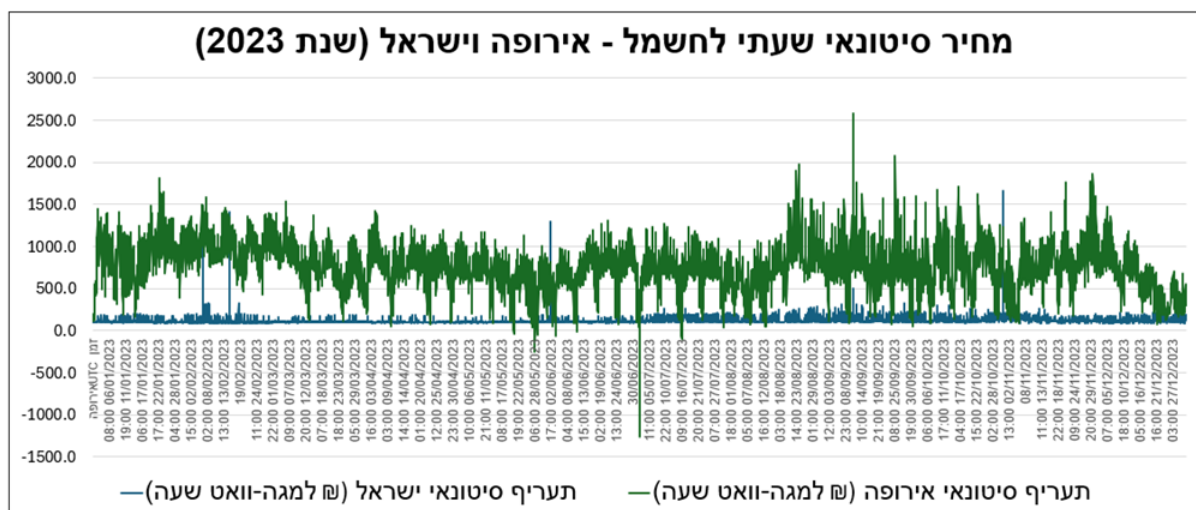
- בבסיס הניתוח הכלכלי שביצענו עומדות מספר הנחות מגבילות לצורך פישוט:
- מקרה הבוחן - בניתוח הכלכלי, לקחנו כמקרה בוחן את נתוני המחירים לשנת 2023, ובהם השתמשנו לצורך בחינת פוטנציאל הרווח והכדאיות הכלכלית של הפרויקט לאורך 25 שנים - אורך חיי הפרויקט. זוהי מגבלה מהותית אשר אינה לוקחת בחשבון את תחזיות המחירים 25 שנים קדימה אלא מקבעת את מחירי שנת 2023 בישראל ובאירופה למשך כל חיי הפרויקט. את סך הרווח מייצוא וייבוא חשמל חישובנו באמצעות הממצאים משנת 2023 בלבד ומהם גזרנו את הרווחים השנתיים לאורך 25 שנים. בכדי לדייק את הניתוח ניתן להזין לתוך הסימולציה את תחזיות המחירים עבור כל שנה בה ייעשה שימוש בתשתית הכבל למסחר.

2. ביקוש לחשמל - הביקוש לחשמל בישראל ובאירופה אינו נלקח בחשבון בניתוח. בניתוח זה מתקיימת ההנחה כי בכל שעה תמיד יהיה מי שימכור או יקנה את מלוא ההספק של הכבל התת-ימי. כלומר, הייצוא למשל אינו מוגבל בהתאם להבטחת האספקה של הביקוש לחשמל בישראל.
3. היצע חשמל – היצע ההספק הזמין לייצוא בפועל בכל שעה אינו נלקח בחשבון בניתוח. לצורך פישוט אנו נניח שבכל שעה שבה מתקיים מסחר בחשמל, כמות החשמל הנסחרת תהיה 1,000 MWh, בהתאם להספק המתוכנן של הכבל התת-ימי. כלומר במחיר השולי ניתן יהיה להעביר בכבל 1,000 MW בכל זמן.
4. הספק הכבל התת-ימי - יש לציין כי בתכנון העתידי של פרויקט מגשר אירו-אסיה, בשלב הראשוני הכבל מיועד להספק של 1,000 MW בלבד בכל כיוון, ובשלב השני עתיד לגדול להספק של 2,000 MW. בעבודה זו הנחנו שגובה ההספק בחישוב ישקף את השלב הראשון בלבד.
5. מחיר החשמל- נסתכל על תעריף הייצור כמחיר שולי, כלומר שהוא נכון לייצור ה-MW הקרוב. עלויות הייצור המשתקפות במחיר השולי, משתנות בהתאם לכמות הייצור הנתונה. התעריף אותו אנחנו לוקחות בחשבון אינו משקף את המחיר בכל כמות חשמל שמיוצרת באותה שעה. חשוב לזכור שככל שמייצרים יותר חשמל, הייצור מתבצע באמצעות תחנה יקרה יותר.
6. התעריף האירופי - בסימולציה שערכנו, חישבנו את התעריף הממוצע של 29 מדינות אירופה בשעה מסוימת. זאת מתוך הנחה שבחיבור הכבל התת-ימי מישראל לקפריסין, יתאפשר לרשת החשמל הישראלית לבצע מסחר בחשמל עם כל מדינות אירופה בהנחה ומסחר זה ישתלם לה.
7. עלות תפעול קבועה - עלות התפעול והתחזוקה של הכבל קבועה לאורך כל חיי הפרויקט.

תוצאות

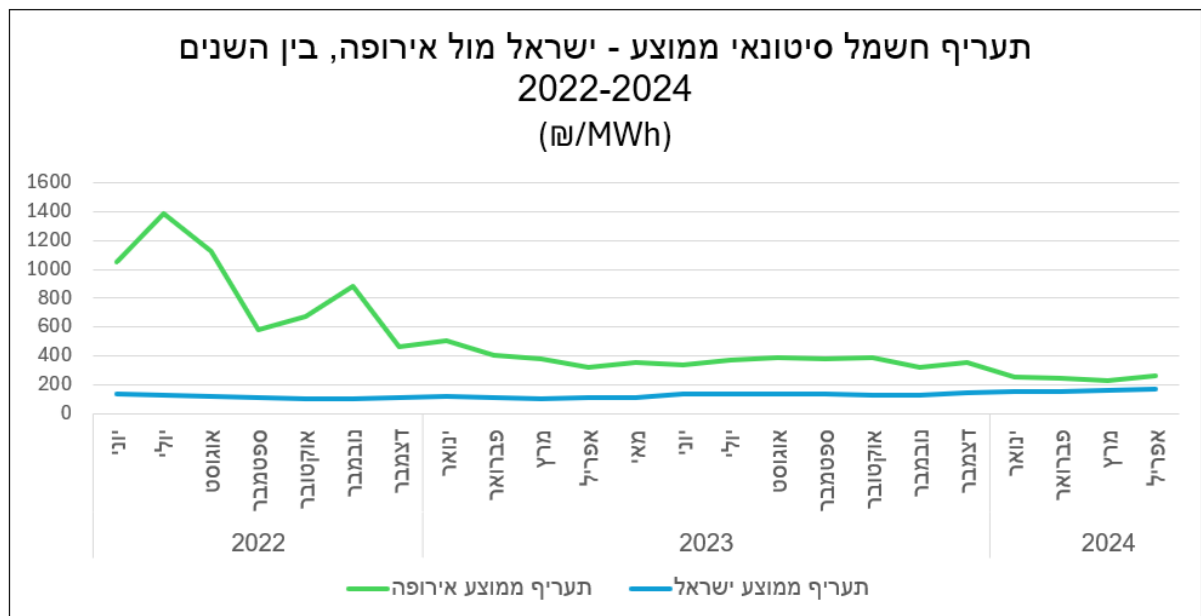
בבחינת הפערים בין המחיר הסיטונאי לחשמל בישראל לבין המחיר הסיטונאי לחשמל באירופה בכל שעה בשנת 2023, מצאנו כי המחיר באירופה ב-98% מהמקרים היה גבוה מהמחיר בישראל.

תרשים 6 - פערי המחיר הסיטונאי השעתי לחשמל בין ישראל לאירופה, לאורך שנת 2023

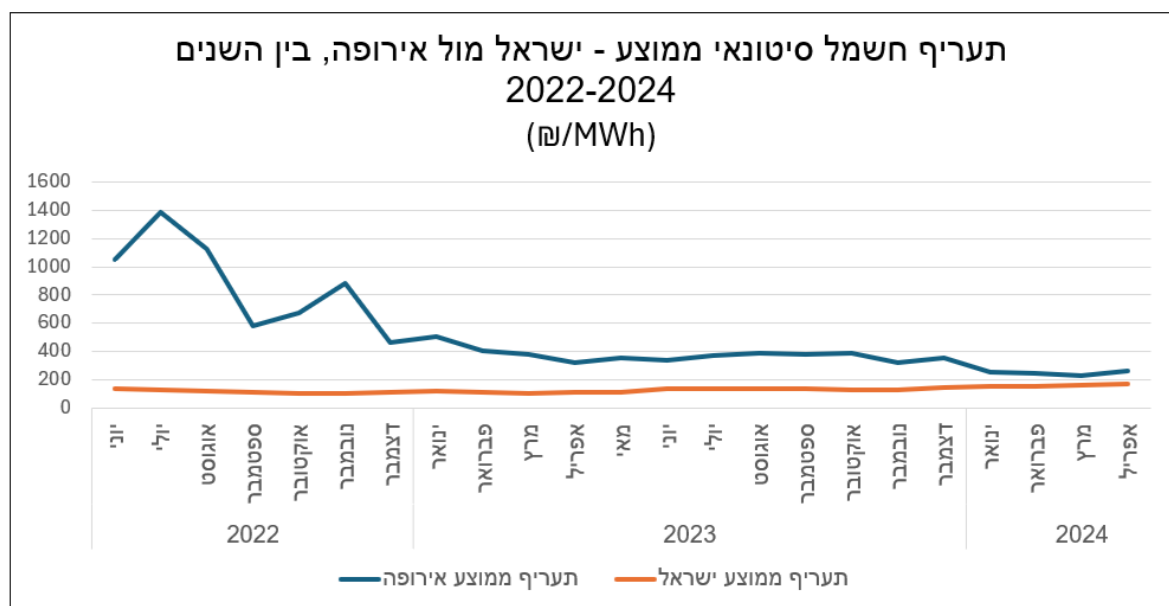


את פערי המחירים המשקפים פוטנציאל רווח מפתיחה למסחר בחשמל בין שתי המדינות ניתן לראות גם בשני התרשימים הבאים:

תרשים 7 - פערי המחיר הסיטונאי הרבעוני הממוצע לחשמל בין ישראל לאירופה, בין השנים 2022-2024, (ש"ח למגה-וואט שעה).

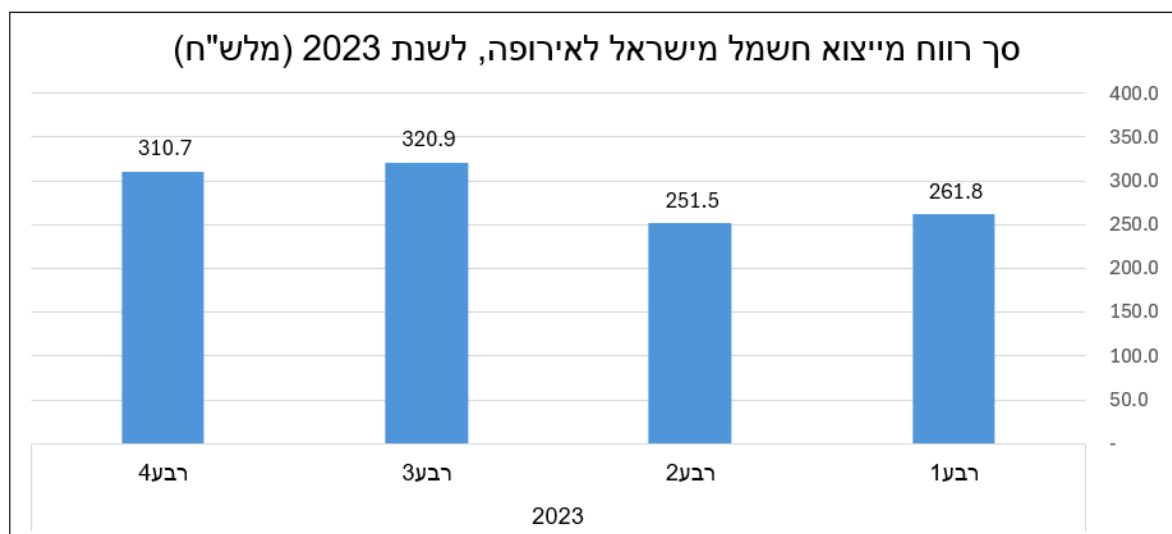


תרשים 8 - פערי המחיר הסיטונאי החודשי הממוצע לחשמל בין ישראל לאירופה, בין השנים 2022-2024, (ש"ח למגה-וואט שעה).



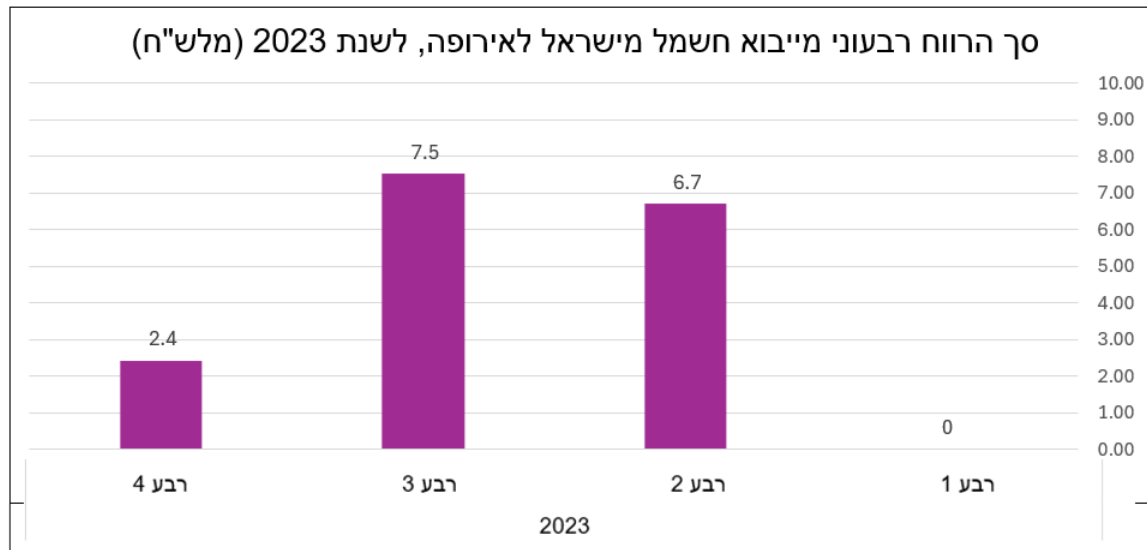
על פי תוצאות הניתוח, המבוססות על התעריף הסיטונאי לחשמל בישראל ובאירופה בכל שעה לאורך שנת 2023, סך הרווח הצפוי מייצוא חשמל מישראל לאירופה, כתוצאה מפתיחת מסחר בחשמל דרך הכבל התת-ימי, הינו 1,144,827,975 ₪.

תרשים 9 – סך הרווח הרבעוני מייצוא חשמל מישראל לאירופה, בשנת 2023 במיליוני ש"ח



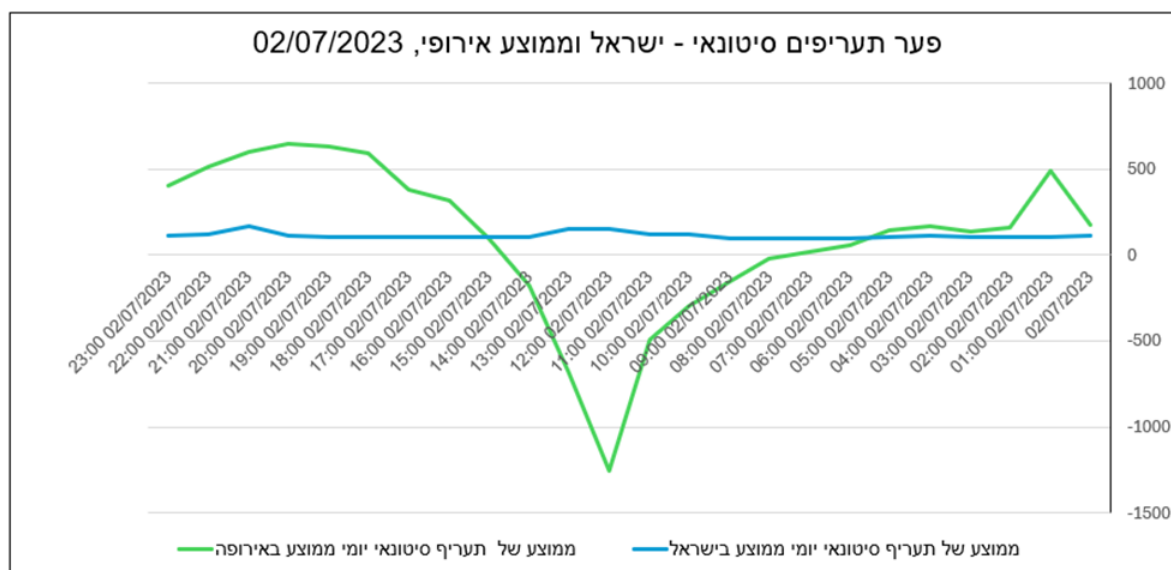
על פי תוצאות הניתוח, המבוססות על התעריף הסיטונאי לחשמל בישראל ובאירופה בכל שעה לאורך שנת 2023, סך הרווח הצפוי מייבוא חשמל מישראל לאירופה, כתוצאה מפתיחת מסחר בחשמל דרך הכבל התת-ימי, הינו 16,663,936 ₪.

תרשים 10 – סך הרווח הרבעוני מייבוא חשמל מישראל לאירופה, בשנת 2023 במיליוני ש"ח



לצורך הדגמה, נציג את הפערים במחירים בתאריך 2/7/2023 בחודש יולי, אשר מהווה חודש בו הביקוש לחשמל בישראל נמצא בשיאו, ומאופיין בכמות גבוהה של דקות אי אספקה (רשות החשמל, 2023).

תרשים 11 – פער תעריפים סיטונאי - ישראל וממוצע אירופי, 02/07/2023



בניתוח העלות-תועלת (CBA) שביצענו, אשר מתבסס על תוצאות הסימולציה, נמצא כי הערך הנוכחי הנקי (NPV) הינו חיובי ועומד על סך 8,541,044,052 ₪.

ניתוח רגישות

ביצוע ניתוח רגישות מעניק עומק נוסף להבנת הפרויקט ומאפשר הערכה מקיפה יותר של הכדאיות הכלכלית והסיכונים הכרוכים בו. זהו כלי מהותי בניהול פרויקטים ובקבלת החלטות מושכלות, המסייע להיערך לתרחישים שונים ולנהל את פרויקט הכבל התת-ימי בין ישראל לאירופה בצורה טובה יותר. כדי לבחון את עמידות התוצאות ביצענו את ניתוח ה-CBA בשינוי הפרמטרים: שער ההיוון, עלויות התחזוקה והתפעול, והרווח הכלכלי שיווצר מייבוא חשמל. שינוי בפרמטרים אלו עלול להשפיע על הערך הנוכחי הנקי של העלויות והתועלות ובהתאם לכך על פוטנציאל הרווח של הפרויקט.

תרשים 12 - תוצאות ניתוח הרגישות ביחס לפרמטרים הבאים: שער היוון, רווח מייבוא.

שער היוון					
9%	8%	7%	6%	5%	8,541,044,052 ₪
6,454,462,058 ₪	7,362,347,682 ₪	8,405,117,404 ₪	9,608,718,389 ₪	11,004,950,664 ₪	5,000,000 ₪
6,503,574,956 ₪	7,415,721,563 ₪	8,463,385,320 ₪	9,672,635,170 ₪	11,075,420,387 ₪	10,000,000 ₪
6,569,031,997 ₪	7,486,857,588 ₪	8,541,044,052 ₪	9,757,822,636 ₪	11,169,341,530 ₪	16,663,936 ₪
6,601,800,752 ₪	7,522,469,325 ₪	8,579,921,152 ₪	9,800,468,731 ₪	11,216,359,832 ₪	20,000,000 ₪
6,700,026,548 ₪	7,629,217,087 ₪	8,696,456,984 ₪	9,928,302,293 ₪	11,357,299,278 ₪	30,000,000 ₪

רווח מייבוא

תרשים 13 - תוצאות ניתוח הרגישות ביחס לפרמטרים הבאים: רווח מייבוא, עלויות תפעול.

עלות תפעול שנתית					
200,000,000 ₪	100,000,000 ₪	84,210,000 ₪	70,000,000 ₪	50,000,000 ₪	8,541,044,052 ₪
6,997,481,092 ₪	8,162,839,410 ₪	8,346,849,488 ₪	8,512,446,905 ₪	8,745,518,569 ₪	- ₪
7,055,749,008 ₪	8,221,107,326 ₪	8,405,117,404 ₪	8,570,714,821 ₪	8,803,786,485 ₪	5,000,000 ₪
7,191,675,656 ₪	8,357,033,973 ₪	8,541,044,052 ₪	8,706,641,469 ₪	8,939,713,132 ₪	16,663,936 ₪
7,347,088,588 ₪	8,512,446,905 ₪	8,696,456,984 ₪	8,862,054,401 ₪	9,095,126,064 ₪	30,000,000 ₪
7,696,696,083 ₪	8,862,054,401 ₪	9,046,064,479 ₪	9,211,661,896 ₪	9,444,733,560 ₪	60,000,000 ₪

רווח מייבוא

תוצאות ניתוח הרגישות מצביעות על כך ששינוי בפרמטר שער ההיוון הינו בעל ההשפעה הרבה ביותר על תוצאות ניתוח ה-CBA. את פרמטר שער ההיוון הפיננסי הזנו לניתוח הרגישות בטווח שבין 5%-9% מאחר וזהו הטווח הנהוג לשימוש בפרויקטים של תשתית כבל חשמל בין מדינות (Purvins et al., 2018; Dethier et al., 2011; Fleten et al., 2011). עם זאת, ניתן לראות בשני תרשימי התוצאות, כי על אף השינויים בפרמטרים, תוצאת ה-NPV נשארת חיובית, כלומר פרויקט הכבל התת-ימי כדאי כלכלי בכל המקרים שנבחנו. מאחר ו-NPV שלילי משקף את אי כדאיות הפרויקט, בחנו עבור כל פרמטר בנפרד את הערך אשר יביא לנקודת איפוס ה-NPV, בהינתן ששאר הפרמטרים האחרים נשארים קבועים:

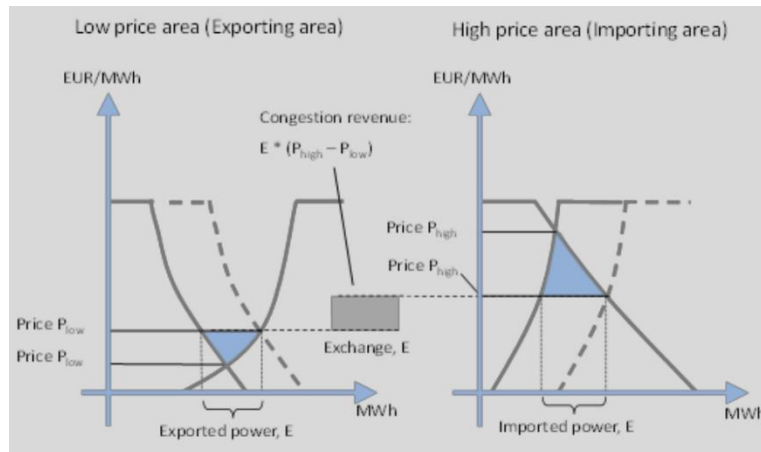
- שער היוון - 27%
- סך הכנסה שנתית מייצוא - 411,646,238 ₪
- סך רווח שנתי מייבוא - כפי שניתן לראות בתרשים 13.
- גם כאשר אין רווח שנתי מייבוא כלל, הפרויקט עדיין כדאי בזכות ההכנסות מייצוא.

ניסיון מדיניות קודם

חיבור רשתות החשמל בין מדינות אירופה החל כבר בשנות ה-20 של המאה הקודמת והתפתח לאורך עשרות שנים. לאורך שנות ה-90, האיחוד האירופי והמדינות החברות בו, החלו בתהליך הדרגתי של פתיחת שווקי החשמל והגז הלאומיים שלהם לתחרות. עם זאת, הסחר בחשמל התנהל ללא גוף מרכזי אשר היה אחראי על ניהול השוק (UCTE, n.d). כתוצאה מכך, היכולת של המדינות לבצע סחר זו עם זו הייתה מוגבלת ביותר ולא יעילה. לכן, בתחילת שנות ה-2000 החל האיחוד האירופי בפיתוח מנגנונים שמטרתם לאפשר את הקצאתם היעילה ביותר של מקורות החשמל האפשריים לסחר בין המדינות, ובכך לעודד מסחר בחשמל. דוגמה למנגנון כזה הינו צימוד שוק (Market Coupling = MC), מנגנון זה אוסף מידע כגון זמינות החשמל ומחירו בכל זמן נתון ומבצע חישוב של מחיר שיווי המשקל לאורך 24 שעות עבור היום שלמחרת. בכך מאפשר זרימה של חשמל מאזורים עם מחירים נמוכים יותר לאזורים עם מחירים גבוהים יותר בצורה חלקה. בחינה של מדיניות זו מאפשרת ללמוד כיצד סחר רציף ויעיל בחשמל בין מדינות משפיע על משקי החשמל במדינות המעורבות בו (exspot, 2022).

מחקרים אשר בחנו והשוו בין משקי החשמל במדינות לפני יישום המנגנון ואחריו, מצאו כי סחר בחשמל בין מדינות משפר את הרווחה הכלכלית והחברתית, לאור הניצול המקסימלי של המשאבים ושיפור יעילות משק החשמל המקומי. סחר רציף הוביל להורדה כוללת של מחירי החשמל, לצמצום הבדלי מחירי החשמל בין המדינות, ושיפר את אמינות האספקה. יחד עם זאת, נמצא לא כל המדינות מרוויחות מהסחר באופן זהה. במדינות בהן מחיר הייצור נמוך יחסית ולכן בעיקר מייצאות חשמל (לדוגמה: צרפת והולנד), נמצאה כי חלה עלייה בעודף היצרן, עלייה בעודף הכולל, אך ירידה בעודף הצרכן. במדינות בהן המחיר גבוה יותר הסחר הוביל להשפעה הפוכה (בריטניה) (L.G. Montoya, B. Guo, D. Newbery, P.E. Dodds, G.). (Lipman, G. Castagneto Gisse 2020 ; Martijn Backer, Dogan Keles, Emil Kraft, 2023).

תרשים 14: צימוד שוק והשפעתו על הרווחה הכלכלית ממסחר בחשמל במדינות אירופה



התרשים מציג את ההשפעה הכלכלית של מנגנון צימוד שוק על המסחר בחשמל בין מדינות אירופה. כאשר חשמל עובר ממדינות עם מחירי חשמל נמוכים למדינות עם מחירי חשמל גבוהים במטרה לאזן בין ההיצע לביקוש, המחיר מתכנס למחיר שיווי משקל, ובכך מצמצם את פער המחירים. באזור המייצא, המחירים יורדים, מה שמועיל לצרכנים יותר מאשר ליצרנים. לעומת זאת, באזור המייבא, המחירים יורדים, מה שמועיל ליצרנים יותר מאשר לצרכנים. האפקט הכולל הוא גידול ברווחה הכלכלית עבור שתי המדינות, כאשר האזור הכחול מציין את הרווח הנקי ממסחר, והאזור האפור מייצג את ההכנסות הנוצרות למפעילי מערכות התשתית במצב של סחר יעיל.

עוד נמצא כי לסחר בחשמל בין מדינות יש השפעות גם על חדירתן של אנרגיות מתחדשות ושילובן בתמהיל הדלקים. אחד האתגרים המרכזיים בשילוב מקורות מתחדשים ברשת החשמל הינו חוסר הסינכרון בין ההספק המיוצר ברגע נתון לביקוש לחשמל במשק, דבר אשר מקשה על ניהול המערכת. סחר בחשמל בין מדינות מבטיח ניצול אופטימלי של מקורות אנרגיה מתחדשים באמצעות מכירת עודפי חשמל למדינות שכנות. בכך הוא מונע את הצורך בביצוע קיטום (curtailment). בנוסף, העלות השולית של ייצור חשמל ממקורות מתחדשים עשויה להיות נמוכה יותר בהשוואה למקורות קונבנציונאליים. על כן, מדינות אשר יגדילו את ייצור החשמל המבוסס על מקורות אלו בתמהיל האנרגיה שלהן, עשויות להפוך ליצואניות, כיוון שייתכן ויוכלו לספק חשמל במחירים נמוכים יותר. כך נמצא שבבריטניה מדינה שבעיקרה מייבאת חשמל משכנותיה, גידול של ייצור חשמל ממקורות מתחדשים עשויים לאפשר לה בשנים הבאות להפוך גם היא לייצואנית של חשמל ממקורות מתחדשים ובכך ייתכן ותגדיל את רווחי המדינה, זאת לאור מחיר החשמל הנמוך יחסית. הגדלת חלקן של האנרגיות התחדשות בתמהיל הייצור צפוי להוביל לירידה במחירי החשמל בבריטניה וגם לירידה במדינות איתן מבצעת מסחר (MacIver, Bell & Bukhsh 2021). בהתאמה למקרה הישראלי, מחיר החשמל בישראל נמוך באופן יחסי ביחס למחירי רוב מדינות האיחוד האירופי. בנוסף, בישראל צפוי גידול בייצור חשמל ממקורות מתחדשים בשל יעדי האקלים של הממשלה. גידול זה אשר צפוי להתבסס בעיקרו על אנרגיה סולארית אשר מאופיינת בתנודתיות ושילובה בהיקפים גדולים עלול להוביל לעודפי ייצור.

סיכום והמלצות

בנייר מדיניות זה בחנו וניתחנו את התרומה האפשרית מהמסחר בחשמל שתיווצר כתוצאה מחיבור רשת החשמל הישראלית לרשת החשמל האירופית. מסקירת הספרות, הנתונים והניתוח הכלכלי שביצענו, למדנו על הפערים במחירי החשמל בין שוק החשמל הישראלי לשוק החשמל במדינות אירופה. לאור תוצאות

הסימולציה שביצענו, אנו מעריכות כי קיימת היתכנות למסחר בחשמל באמצעות התשתית העתידה לקום. בנוסף, מכיוון שמחירי החשמל בישראל נמוכים יותר, ישראל עשויה להפוך למדינה המייצאת חשמל במחיר זול לאירופה, בהנחה שהפערים במחירים יישמרו. פתיחת המשק למסחר בחשמל תשפיע באופן עמוק ומשמעותי על אופיו של משק החשמל הישראלי ועל הכלכלה הישראלית בכלל. בנוסף, באמצעות ניתוח עלות-תועלת שביצענו לבחינת כדאיות הקמת התשתית נמצא כי הקמתו תוביל לתועלת כלכלית עבור ישראל. על כן, אנו ממליצות להקים את מגשר אירו-אסיה ובכך להגדיל את הביטחון האנרגטי, רווחי המדינה ולשפר את מעמדה ויחסי הגיאופוליטיים עם מדינות האזור ואירופה. עם זאת, מאחר ופרויקט זה עתיד לשנות באופן מהותי את משק החשמל הישראלי, אנו סבורות כי על מקבלי ההחלטות לבחון ולהתאים מדיניות שתתמוך בשינויים הצפויים. זאת כדי לאפשר שמירה על הביטחון האנרגטי של ישראל על כלל היבטיו. על כן, אנו ממליצות על מספר צעדי מדיניות ועל הרחבת המחקר:

1. פתיחת המשק למסחר בחשמל עשוי להשפיע על מחירי החשמל בישראל. על כן, קיים צורך בבניית מנגנונים שמטרתם לפקח ולשמור על מחירי חשמל הוגנים וברי השגה לאורך זמן. מחיר הוגן הינו אחד הגורמים המרכיבים את רמת הביטחון האנרגטי של מדינות, מחיר החשמל צריך להיות נגיש. במידה וגם בעתיד ישראל תהיה בעלת מחירי חשמל נמוכים ביחס למדינות אחרות, פער זה עשוי לעודד ייצוא של חשמל, שעשוי להוביל לעלייה במחירי החשמל לצרכנים בישראל. רגולציה מתאימה צריכה לדאוג לשמור בין איוון ההספק המיוצא לצרכים המקומיים.
2. תגליות הגז הגדולות בעשורים האחרונים הפכו את ישראל למדינה עצמאית מבחינה אנרגטית וליצואנית של גז טבעי. המצאות משאב טבע יקר זה מאפשר להבטיח אספקת החשמל בישראל בעשורים הקרובים. ולתרום באופן משמעותי לביטחון האנרגטי של ישראל. כיום מייצאת ישראל גז טבעי למדינות השכנות הגובלות על הקרקע, ירדן ומצרים. מגשר אירו-אסיה צפוי להוות פתרון אלטרנטיבי לייצוא של גז מישראל למדינות מרוחקות באמצעות הפיכתו לחשמל. מעבר לחשיבות הגיאופוליטית, ייצוא גז מגדיל את הכנסות המדינה ולכן קיימת לו גם חשיבות כלכלית משמעותית עבור ישראל. על אף היתרונות, גז הינו משאב מתכלה על כן קיים צורך בבחינה של המדיניות אשר מצד אחד תוביל למקסום התועלת מסחר ומצד שני תוך שמירה על הביטחון האנרגטי ואינטרסים אחרים. בגיבוש המדיניות בנושא הגז הטבעי קיימות גישות שונות לשאלה מהי הדרך המיטבית להבטיח את הביטחון האנרגטי לצד הבטחת מקורות אנרגיה זמינים, נקיים וזולים למשק המקומי. על כן, אנו ממליצות על בחינה של מדיניות ייצוא הגז של ישראל בהינתן הקמת פרויקט זה. זאת כדי להבטיח שמירה על רזרבות הגז הטבעי כמרכיב של ביטחון אנרגטי ושמירה על נגישות המחירים.
3. הקמה של תשתיות חשמל הינם פרויקטים בעלי משך ביצוע ארוך טווח, הקמתם אורכת שנים רבות. שינויים במשק החשמל הנובעים משינוי הביקושים מגוון התמהיל והיבטים נוספים מחייבים תכנון מוקדם ומקיף על כלל חלקיה תוך התחשבות בתרחישים שונים ושילוב טכנולוגיות עתידיות. שילוב המגשר יגדיל את תמהיל האנרגיה של ישראל וכן ישפיע על חלקי המערכת השונים. על כן, קיים צורך בהכנה רחבה של משק החשמל העתידי לשינויים השונים כך שיאפשר לשמור על מערכת חשמל איתנה ולמקסם את התועלת ממנה.
4. אנו ממליצות להרחיב את הניתוח תוך בחינת תמהיל הייצור העתידי של החשמל בישראל ושילובם של אנרגיות מתחדשות בפרט. אנו סבורות כי יש לבחון את השפעות הכבל בהתחשב בגידול בייצור מאנרגיה סולארית אשר הנה תנודתית ועונתית ואינה מסונכרנת עם הביקוש. מגשר אירו-אסיה עשוי להוות

אלטרנטיבה תומכת לניהול המערכת והתמודדות עם המורכבות בשילובם של אנרגיה סולארית. על כן אנו ממליצות לבחון את כדאיות הפרויקט גם בהשוואה לפתרונות אחרים של מנהל המערכת: אגירה וקיטום.

5. אנו ממליצות על הרחבת הניתוח הכלכלי של תשתית זו אשר כולל גם בעלויות והתועלות הסביבתיות. יתרה מכך אנו ממליצות על ביצוע תסקיר סביבתי במטרה לבחון את השפעותיו הסביבתיות של הכבל על המערכת האקולוגית הימית.

6. בשנים הקרובות האיחוד האירופי צפוי להחל במיסוי פחמן לייצוא בחשמל. נכון להיום, ישראל אינה קיבלה החלטה על הטלת מס זה לכך עשויות להיות השלכות על הרווחים ממסחר של ישראל עם אירופה. אנו סבורות כי יש לבחון את ההשפעה של מיסי הפחמן גם בראי פרויקט זה (המשרד להגנת הסביבה, 2021).

7. על אף שחיבור משק החשמל הישראלי למדינות אירופה מאפשר לחזק את מעמדה הגיאופוליטי באזור, אנו סבורות כי היבט נוסף אותו יש לבחון בראי בחינת כדאיות פרויקט זה הינו ההיבט הביטחוני. חיבור רשת החשמל הישראלית לאירופאית עשוי להוות אתגר בהגנה על תשתיות האנרגיה של ישראל לאור מיקומן המרוחק. על כן, יש לבחון גם את עלויות הביטחון וההגנה על התשתית בבחינת כדאיות הפרויקט.

8. בנוסף, בניתוח שביצענו בנייר זה הונחו מספר הנחות משמעותיות אשר עשויות לפגוע בתוצאות הכדאיות. על כן אנו ממליצות פיתוח וקידום המחקר. אנו מוצאות צורך לבחון גם את הרזרבה הפנויה במשק בכל זמן נתון על מנת לוודא שאכן יש חשמל זמין לקיום סחר בנוסף להיתכנות המחירים.

9. יש לבחון היבטים נוספים ביחס לכדאיות יישום הפרויקט הנוגעים גם לאופי של שווקי אנרגיה נוספים ולמאפייני הפרויקט. שווקי החשמל של המדינות ישראל קפריסין ויוון דומים יחסית, דבר אשר עשוי להקשות על היכולת לבצע מסחר. בנוסף, עולות שאלות בבחירת עדיפות המדינה לייצוא, האם קיימת תחרות במחיר והאם לישראל יתרון על פני המדינות האחרות. יתרה מכך, יש לקחת בחשבון שקיומה של התשתית לא אומר בהכרח כי מסחר יוכל להתקיים מדובר במערכת מורכבת אשר מערבת מגוון שיקולים והשפעות אשר יש לקחת בחשבון בביצוע תחזית (EuroAsia Interconnector, 2021).

לסיכום, בראי משק החשמל העתידי של ישראל, הקמה של תשתית ייחודית זו עשויה לתרום לביטחונה האנרגטי של אך קיים צורך בביצוע מחקר רחב על מנת ללמוד על השפעותיו השונות וכדאיותו הפרויקט בבחינת היבטים שונים. וזאת כדי לאפשר לישראל ביטחון אנרגטי ארוך טווח.

ביבליוגרפיה

- בוטוש, נ'. (ינואר 2023). סקירה של משק החשמל והגורמים המשפיעים על מחיר החשמל. הכנסת, מרכז המחקר והמידע. אוחר בתאריך 22 ביוני 2024 מתוך: <https://tinyurl.com/kbymbkk2>
- גל, נ. (2019) היערכות משק החשמל בישראל למשבר האקלים ולהפחתת פליטות גזי חממה. אקולוגיה וסביבה. אוחר בתאריך 22 ביוני 2024 מתוך: <https://tinyurl.com/3f7xtxh8>
- גל, נ. (2024). הצורך המשקי בשיתוף צרכנים ביתיים בהסדר לניהול ביקושים. INSS. אוחר בתאריך 6 ביוני, 2024 מתוך: <https://tinyurl.com/3dbvwyrp>
- המשרד להגנת הסביבה. (2021). תמחור פחמן בישראל - מסמך מדיניות. אוחר בתאריך 20 ביוני, 2024 מתוך: <https://tinyurl.com/y6zxxmy8>
- וינשטוק, ד. אלרן, מ. ביטחון מערכת החשמל בישראל. INSS. אוחר בתאריך 22 ביוני 2024 מתוך: <https://tinyurl.com/2rcyxf8>
- מרכז המחקר והמידע של הכנסת. (אוגוסט 2021). תיאור וניתוח יישום הרפורמה במשק החשמל. אוחר בתאריך: 22 ביוני 2024 מתוך: <https://tinyurl.com/5xyza2w3>
- משרד האנרגיה. (אפריל 2021). מפת דרכי למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050. אוחר בתאריך 22 ביוני 2024 מתוך: <https://tinyurl.com/42kyfv2j>
- משרד האנרגיה והתשתיות. (מרץ 2021). ישראל מתחברת לרשת החשמל האירופית: השר שטייניץ חתם על מזכר הבנות להנחת כבל החשמל התת-ימי הארוך בעולם. אוחר בתאריך 22 ביוני, 2024 מתוך: https://www.gov.il/he/pages/electricity_080321
- משרד האנרגיה והתשתיות (יולי 2023). כבל החשמל התת ימי יוצא לדרך!. אוחר בתאריך: 22 ביוני 2024 מתוך: <https://www.gov.il/he/pages/news-040723>
- משרד האנרגיה והתשתיות. (מרץ 2024). מחזקים את מעמדה של ישראל כמעצמה אנרגטית אזורית - חיבור החשמל התת ימי בין ישראל לקפריסין ולאירופה יוצא לדרך. אוחר בתאריך: 22 ביוני 2024 מתוך: <https://www.gov.il/he/pages/news-270324>
- נגה. (אוגוסט 2022). תוכנית פיתוח אינטגרטיבית למערכת הייצור והמסירה עד שנת 2030. אוחר בתאריך 23 ביוני 2024, מתוך: <https://tinyurl.com/2b339zp9>
- פרג, י. ולוי, נ. (2018). מערכות מיקרוגריד בישראל: תועלות משקיות, סוגיות חברתיות ומתווה מדיניות ליישום אוחר בתאריך 21 ביוני 2024 מתוך: [mikrogrid0israel.pdf\(runi.ac.il\)](https://mikrogrid0israel.pdf(runi.ac.il))
- רשות החשמל. (אוגוסט 2020). הגדלת יעדי ייצור החשמל באנרגיות מתחדשות לשנת 2030. אוחר בתאריך 22 ביוני 2024 מתוך: <https://tinyurl.com/3t29a6xw>

רשות החשמל. (2022). קריטריון האמינות המשקי לצרכי תכנון מערך הייצור. אווזור בתאריך: 22 ביוני

2024 מתוך: <https://tinyurl.com/mryywxfh>

Boz, D. E., Sanli, B., & Berument, M. H. (2021). The effects of cross-border electricity trade on power production from different energy sources. *The Electricity Journal*, 34(5), 106953-.

<https://doi.org/10.1016/j.tej.2021.106953>

EuroAsia Interconnector. (2018). *EuroAsia Interconnector project: Overall leaflet*. Retrieved June 22, 2024, from: https://www.euroasia-interconnector.com/wp-content/uploads/2018/01/EuroAsia_Interconnector_Project_Overall_leaflet_English.pdf.

EuroAsia Interconnector. (2018). *EuroAsia Interconnector project and progress*. Retrieved June 22, 2024, from: https://www.euroasia-interconnector.com/wp-content/uploads/2018/01/EuroAsia_Interconnector_Project_and_Progress_English.pdf.

EuroAsia Interconnector Project Submarine power cable (november 2021). Retrieved June 22, 2024, from: <https://tinyurl.com/3renx49d>

ENTSO-E (2024). European wholesale electricity price data: Day-ahead Prices. Retrieved June 20, 2024 from: <https://tinyurl.com/2y7ufdjs>.

Keles, D., Dehler-Holland, J., Densing, M., Panos, E., & Hack, F. (2020). Cross-border effects in interconnected electricity markets - an analysis of the Swiss electricity prices. *Energy Economics*, 90, 104802.

L.G. Montoya, B. Guo, D. Newbery, P.E. Dodds, G. Lipman, G. Castagneto Gisse, (2020). Measuring inefficiency in international electricity trading, *Energy Policy*, Volume 143, 2020,111521, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111521>.

MacIver, C., Bukhsh, W., & Bell, K. R. W. (2021). The impact of interconnectors on the GB electricity sector and European carbon emissions. *Energy Policy*, 151, 112170-.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112170>

Martijn Backer, Dogan Keles, Emil Kraft, The economic impacts of integrating European balancing markets: The case of the newly installed aFRR energy market-coupling platform PICASSO, *Energy Economics*, Volume 128, 2023, 107124, ISSN 0140-9883, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107124>.

Purvins, A., Sereno, L., Ardelean, M., Covrig, C.-F., Efthimiadis, T., & Minnebo, P. (2018). Submarine power cable between Europe and North America: A techno-economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 186, 131–145. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.095>

UCTE. (n.d). The 50 Year Success Story – Evolution of a European Interconnected Grid.
Retrieved June 22, 2024, from: <https://tinyurl.com/w6w4yza4>

World Bank. (October 2020). Central Asia Electricity Trade Brings Economic Growth and
Fosters Regional Cooperation. Retrieved June 20, 2024 from: <https://tinyurl.com/4ymdx57>
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112170>