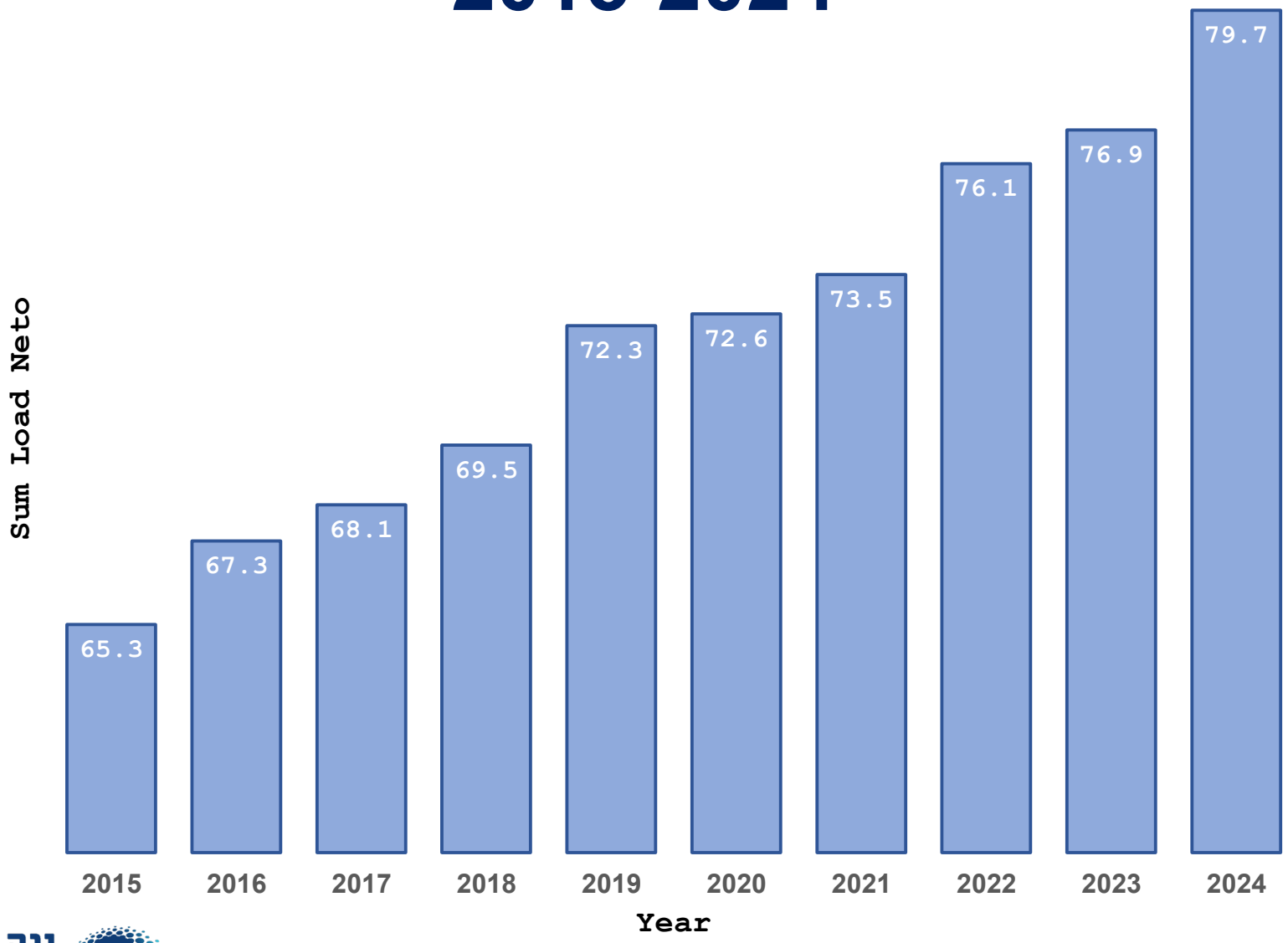
למידת מכונה ושיאי ביקוש לחשמל

ד"ר משה קלנר
היחידה לחיזוי ומחקר סטטיסטי
נגה, ניהול מערכת החשמל

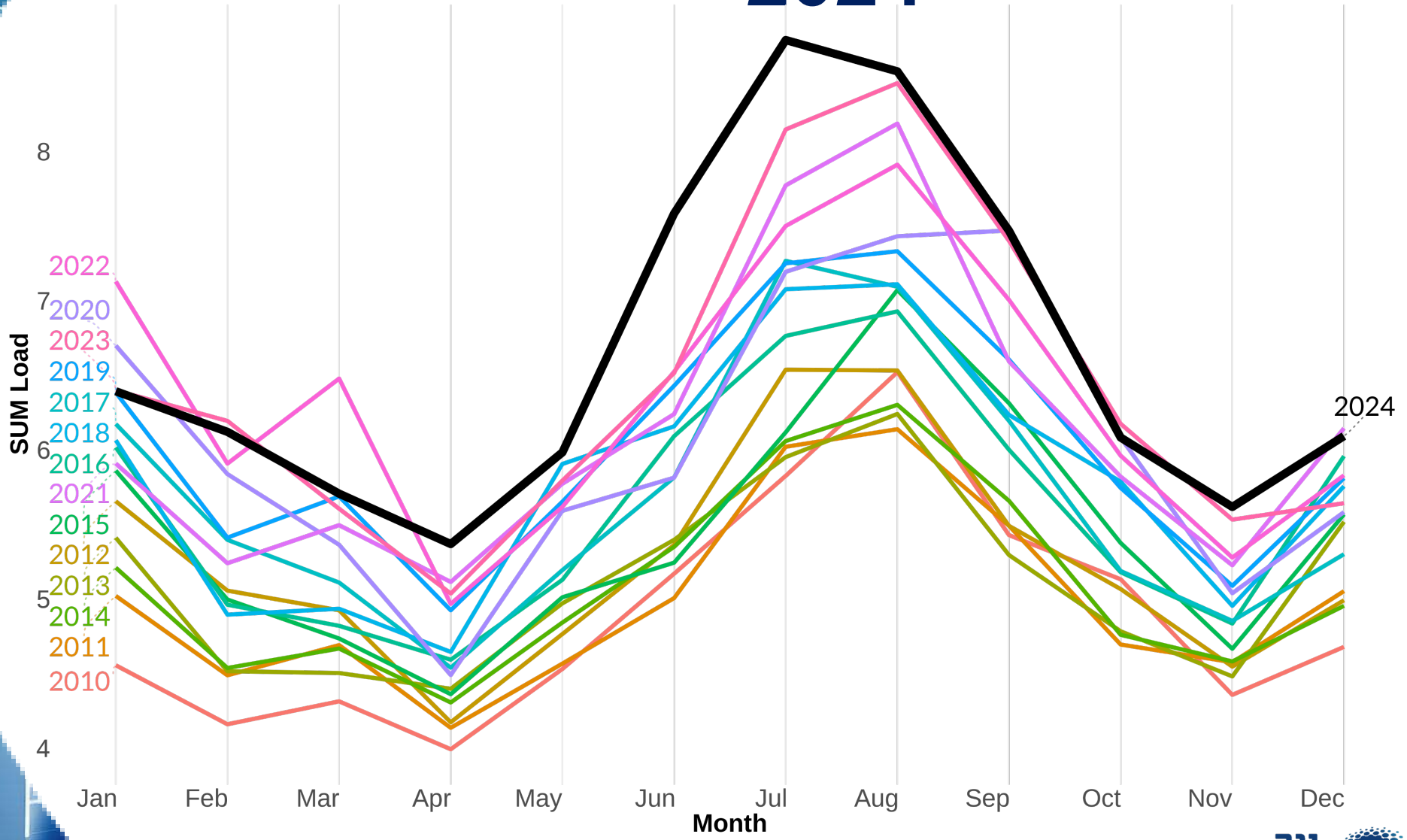
נגה
ניהול
מערכת
החשמל

ביקושי חשמל שנתיים (TWh)
2015-2024



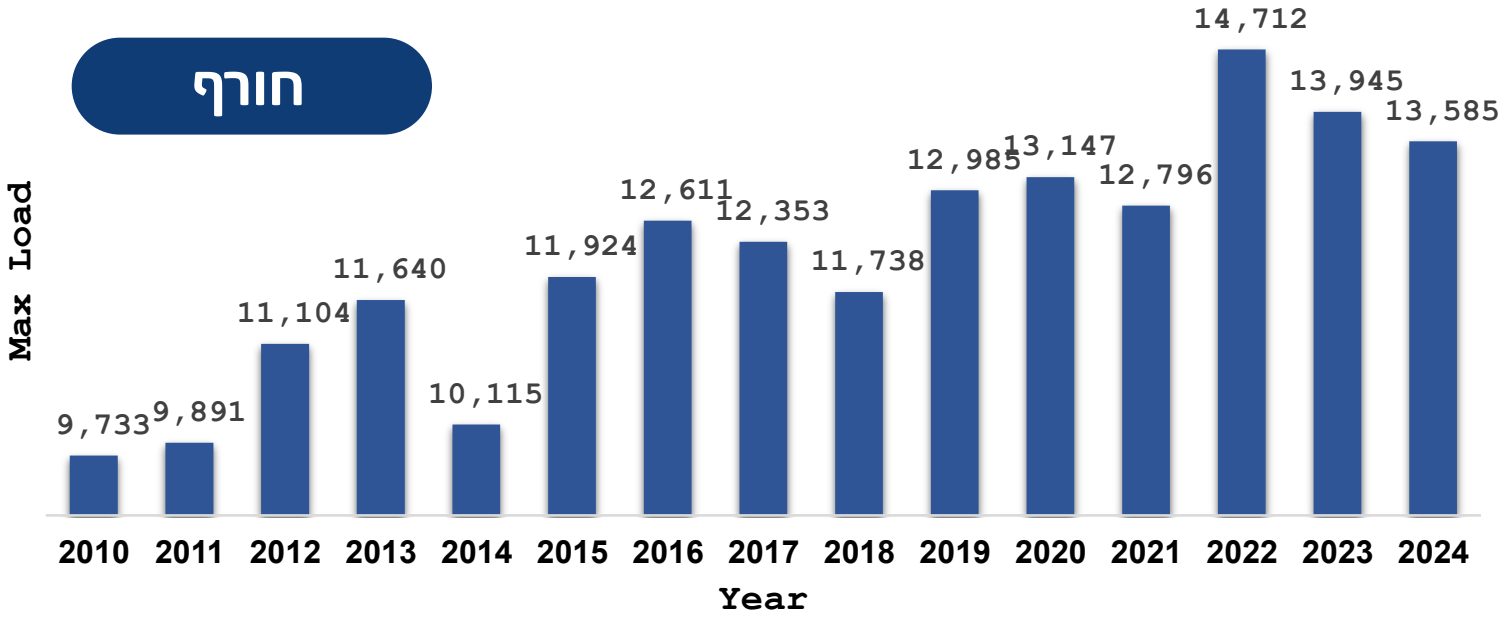
נגה
ניהול
מערכת
החשמל

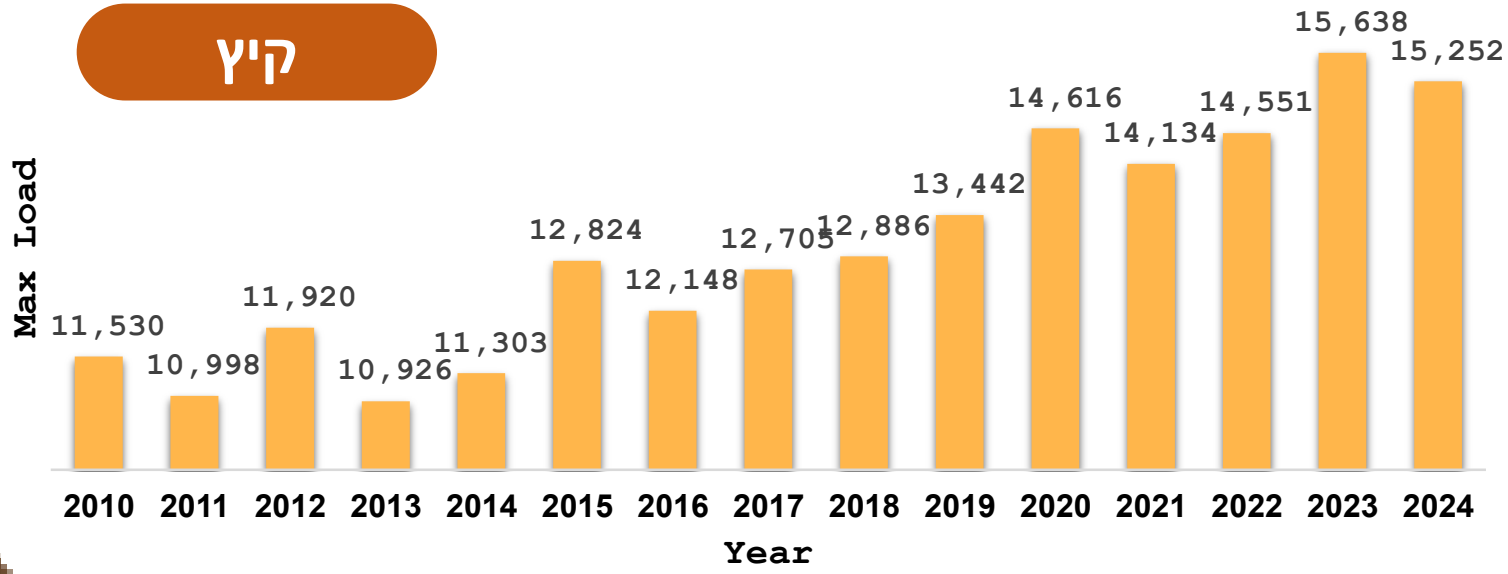
סך צריכה חודשי (TWh) -2010 2024



נגה
ניהול
מערכת
החשמל

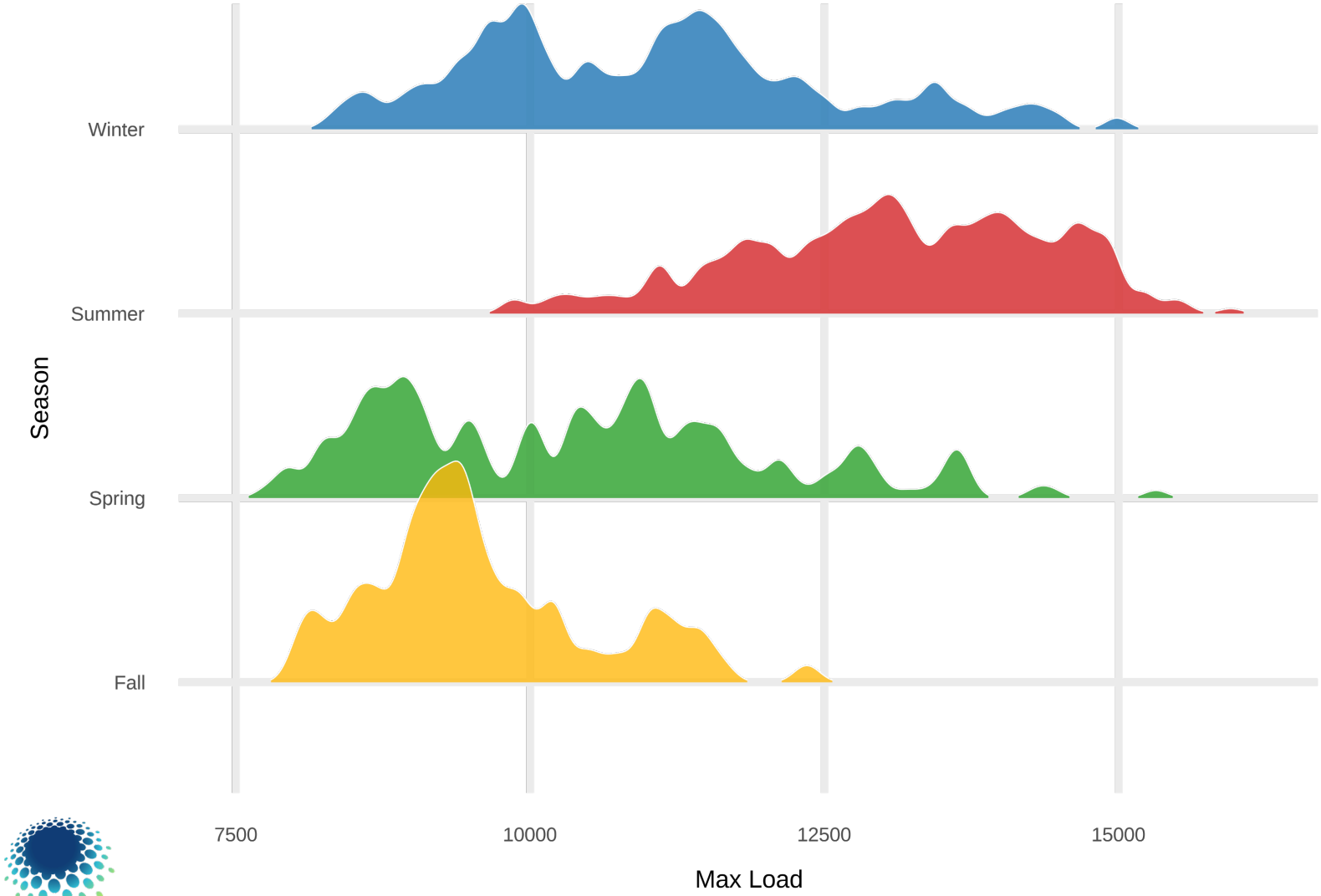
שיאי ביקוש שנתיים (MW)





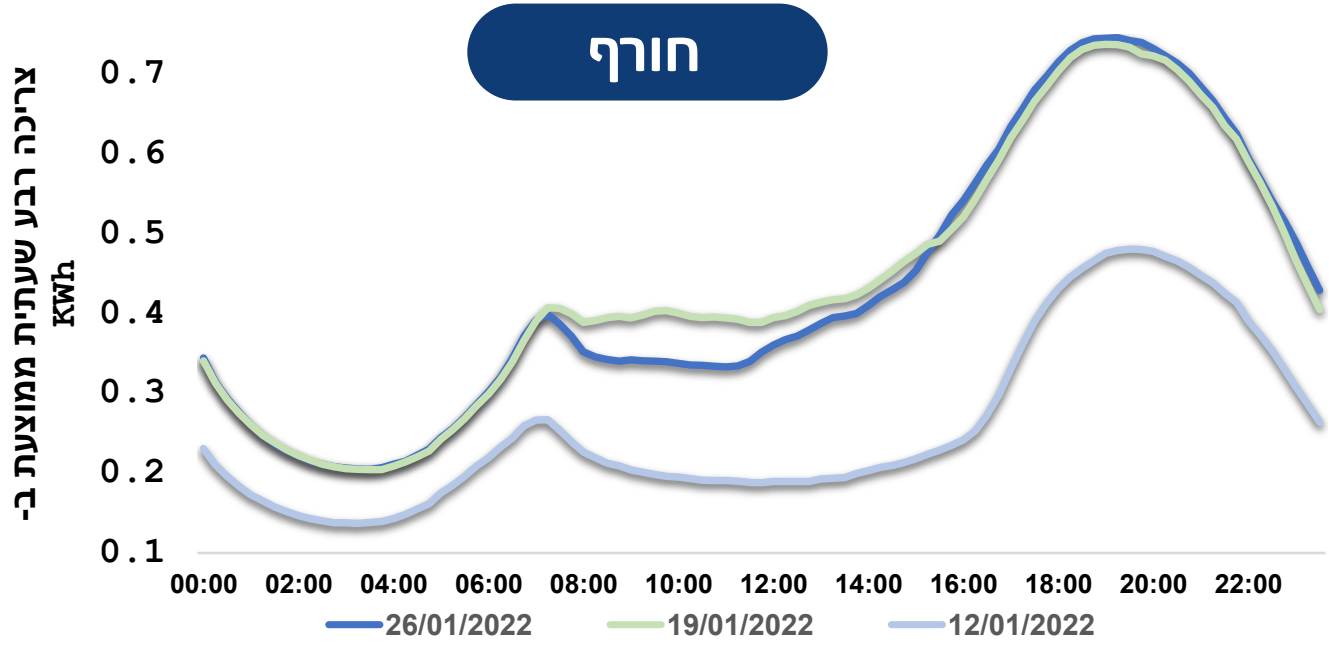
נגה
ניהול
מערכת
החשמל

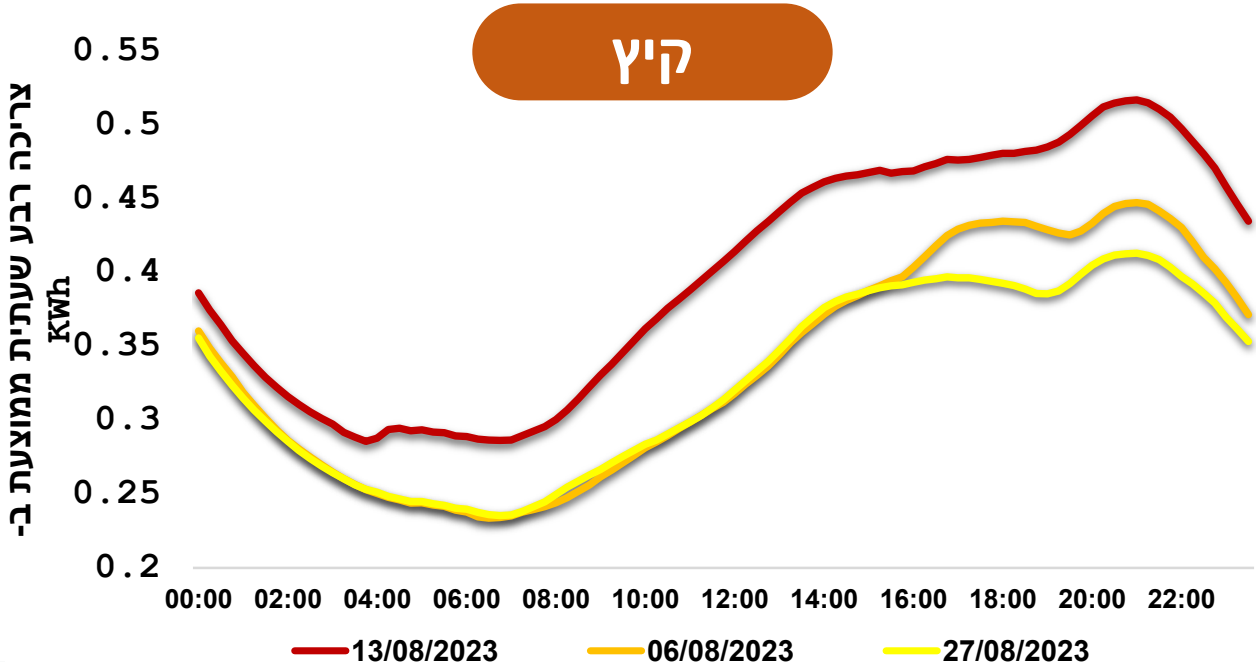
התפלגות שיאים יומיים לפי עונות 2022-2024



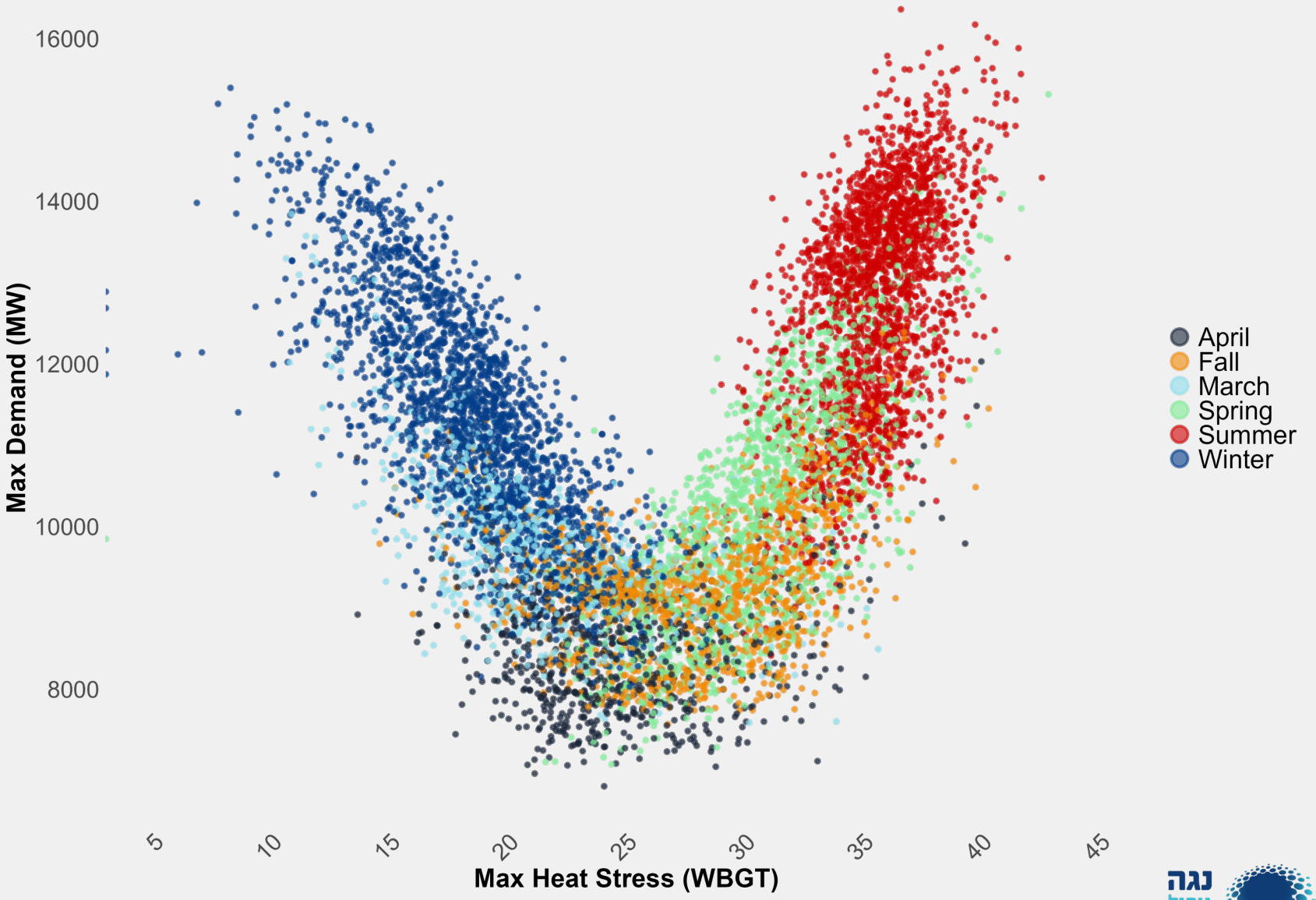
נגה
ניהול
מערכת
החשמל

הבדלי צריכה בימי הקיצון -מגזר ביתי





השפעת עומס חום על שיא הביקוש



נגה
ניהול
מערכת
החשמל

אמידת שיאי ביקוש לחשמל יום קדימה על ידי שימוש באלגוריתמים של למידת מכונה

שלבים בבניית המודל

1 — Models features

איסוף משתנים למודל

2 — Measures importance

בחירת המשתנים אשר מסבירים בצורה הטובה ביותר את המודל תוך שמירה על שונות מוסברת גבוהה

3 — SHAP

SHapley's additional explanations
הבנת השפעת כל משתנה על תוצאות החיזוי

4 — Synthesis

הגדלת מספר החריגות במודל לצורך ייצוג ערכים עם ביקוש גבוה

5 — Model selection

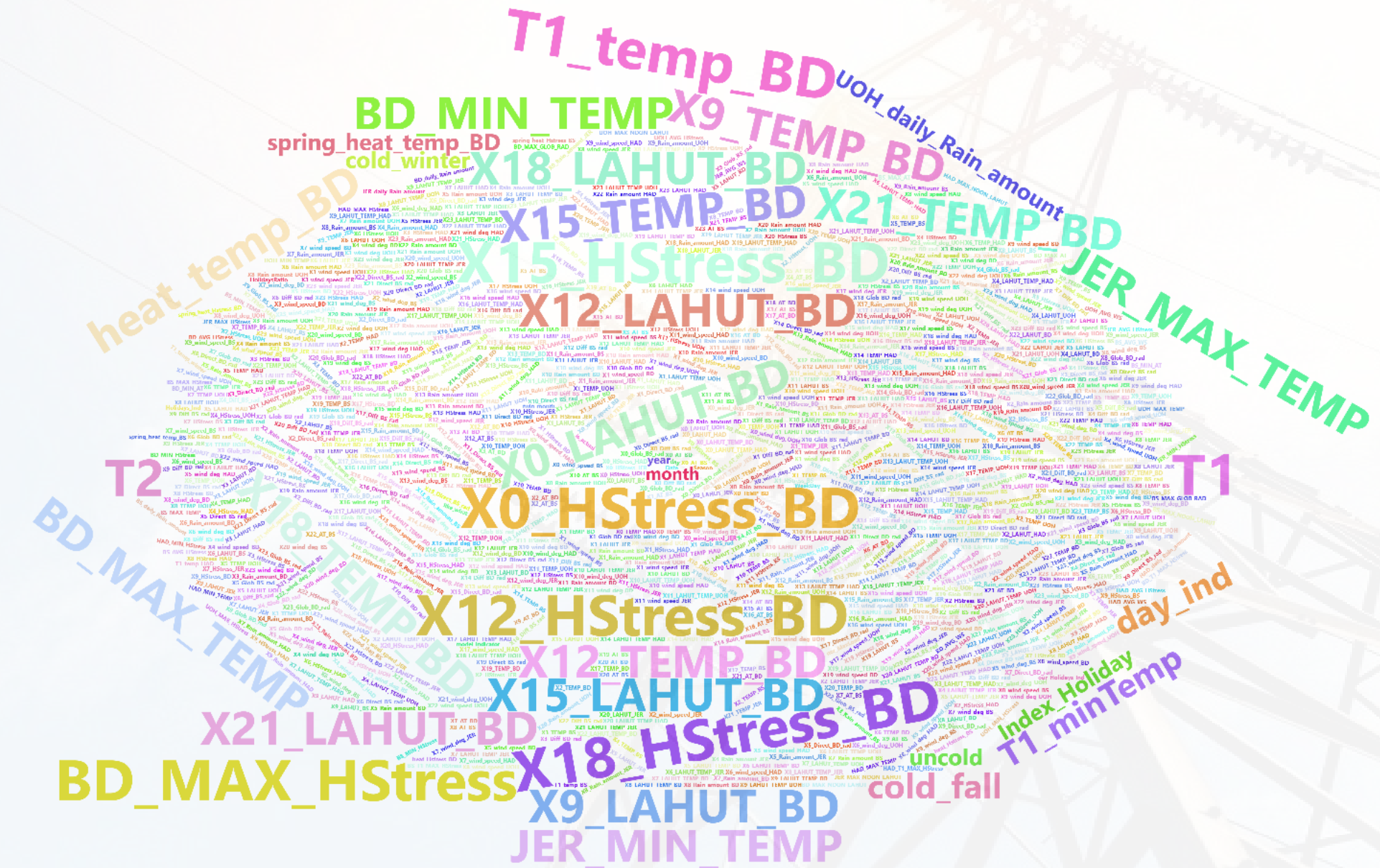
בחירת מודל לחיזוי ובחינת המודל

6 — Results

השוואת ערכי הביקוש המקסימלי לחשמל האמיתי והחזוי

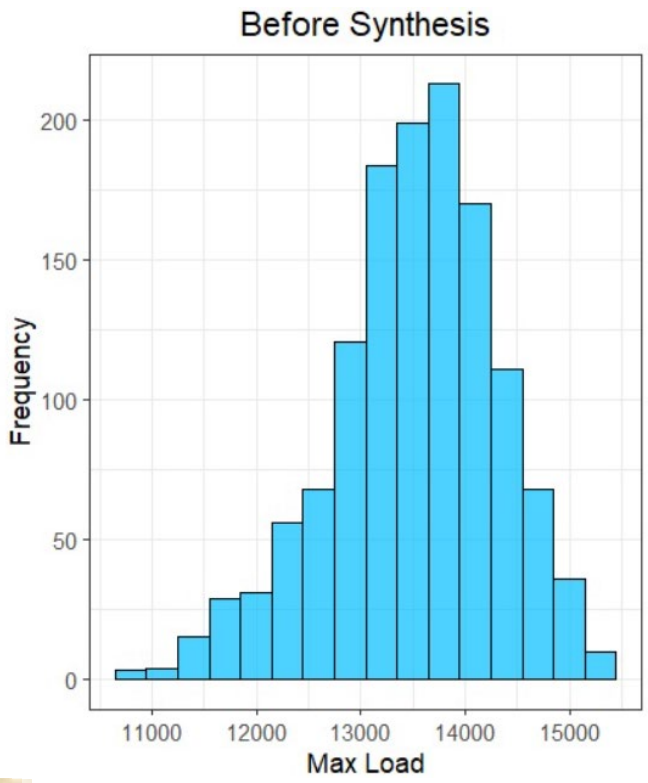
נגה
ניהול
מערכת
החשמל

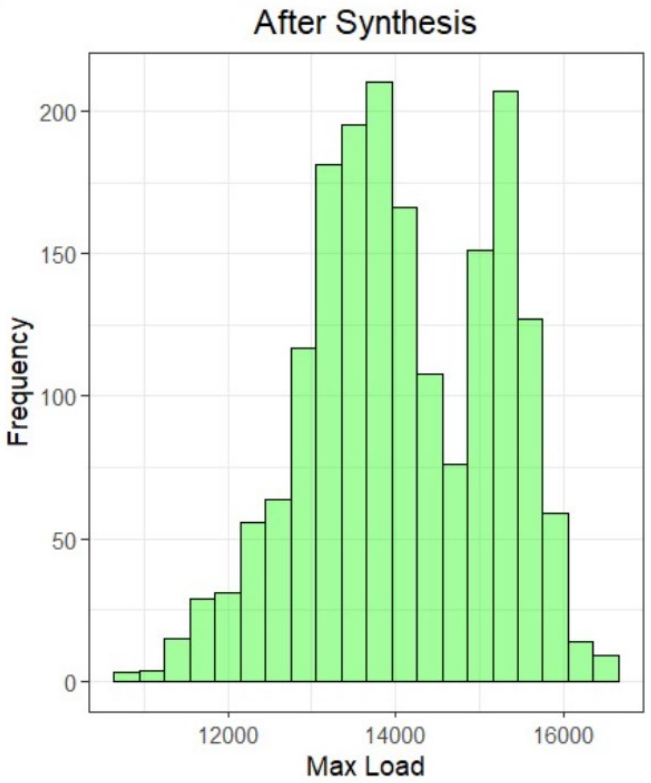
משתנים מסבירים

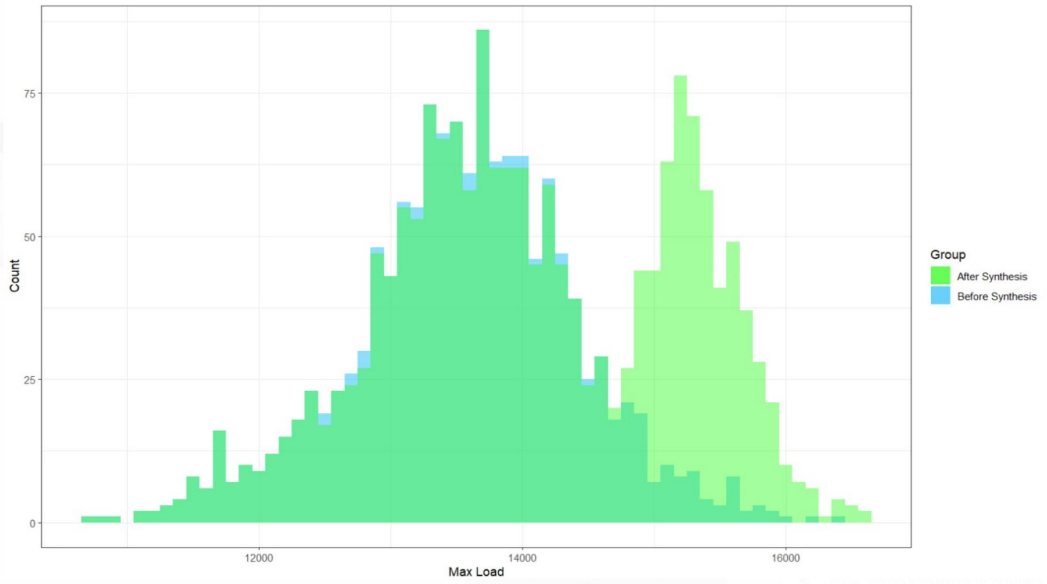


נגה
ניהול
מערכת
החשמל

סינטוז תצפיות זנב



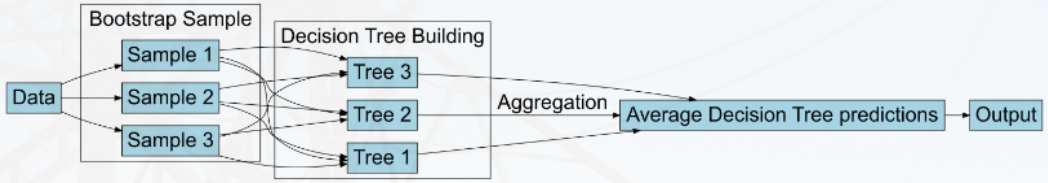


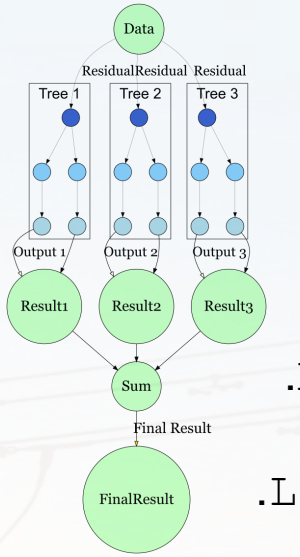


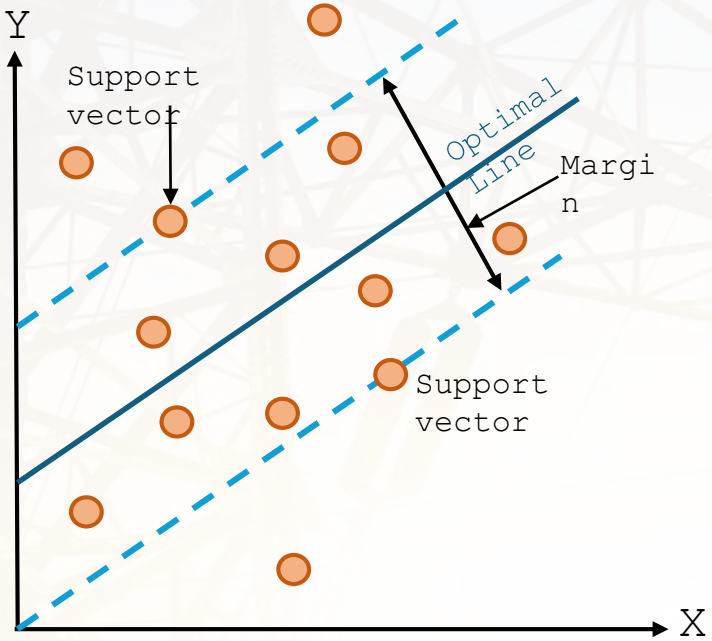
מודלים

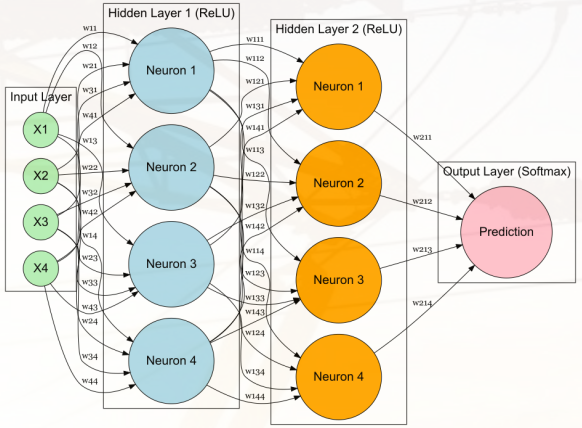
לצורך החיזוי אנו עושים שימוש ב-5 שיטות למידת מכונה שונות:

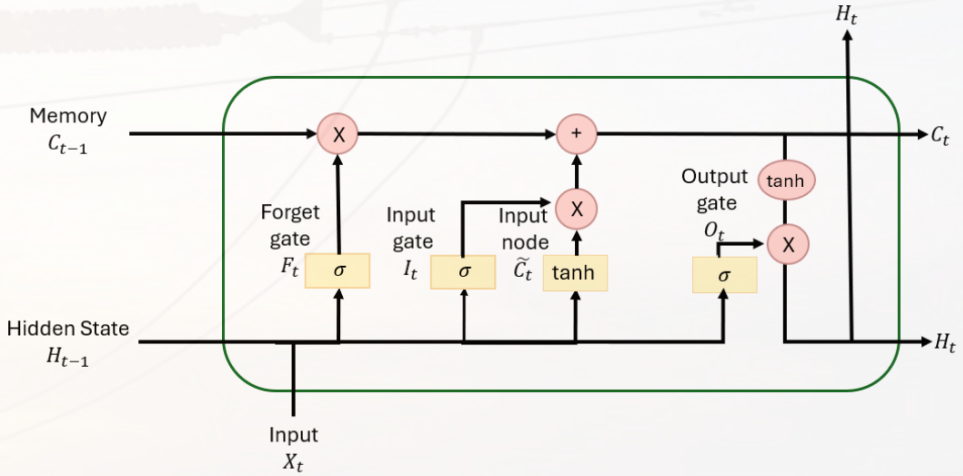
- ❖ מודל Random Forest.
- ❖ מודל XGBoost.
- ❖ מודל SVR.
- ❖ מודל (Deep learning) MLP.
- ❖ מודל (Deep learning) LSTM.





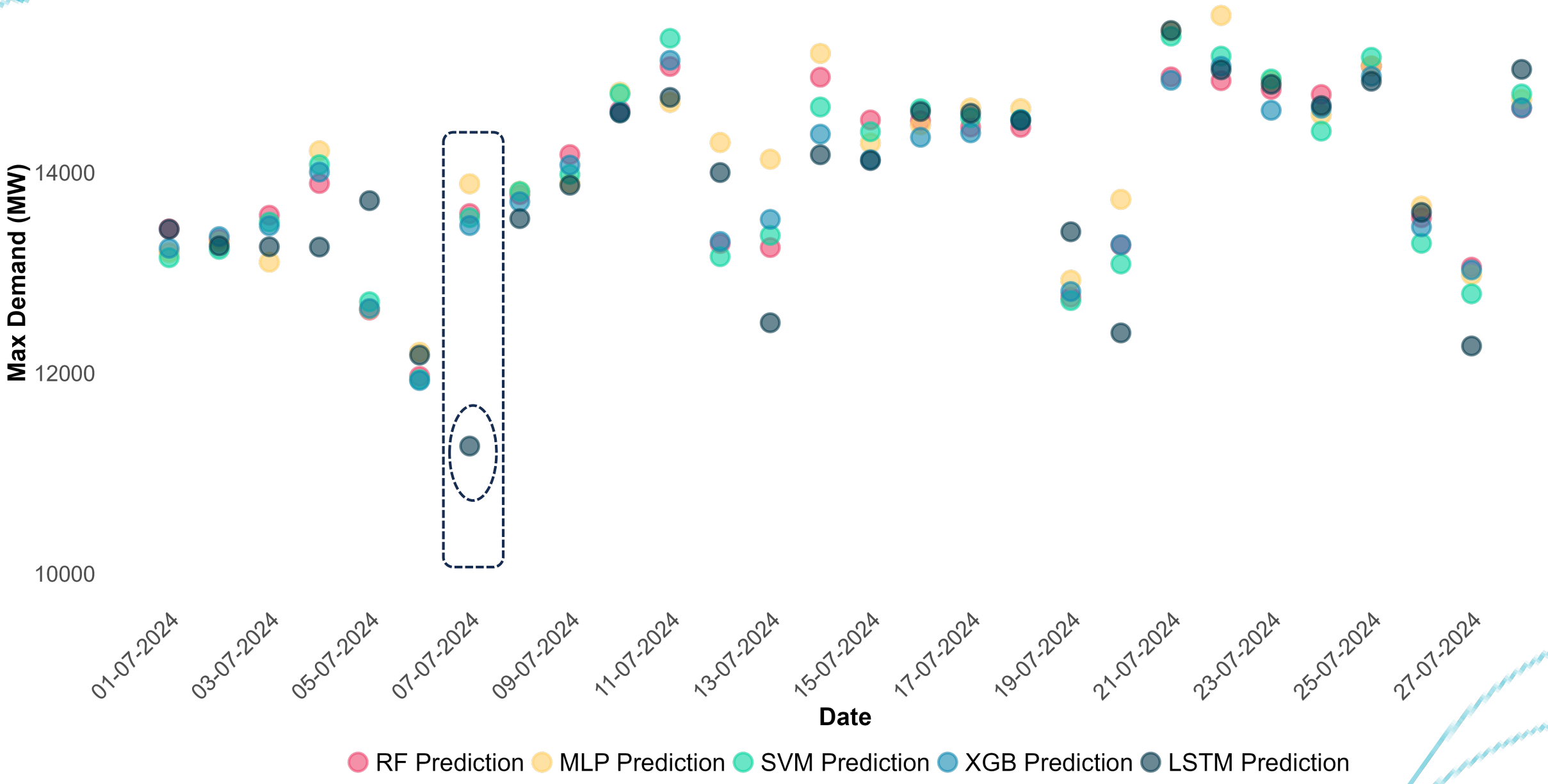




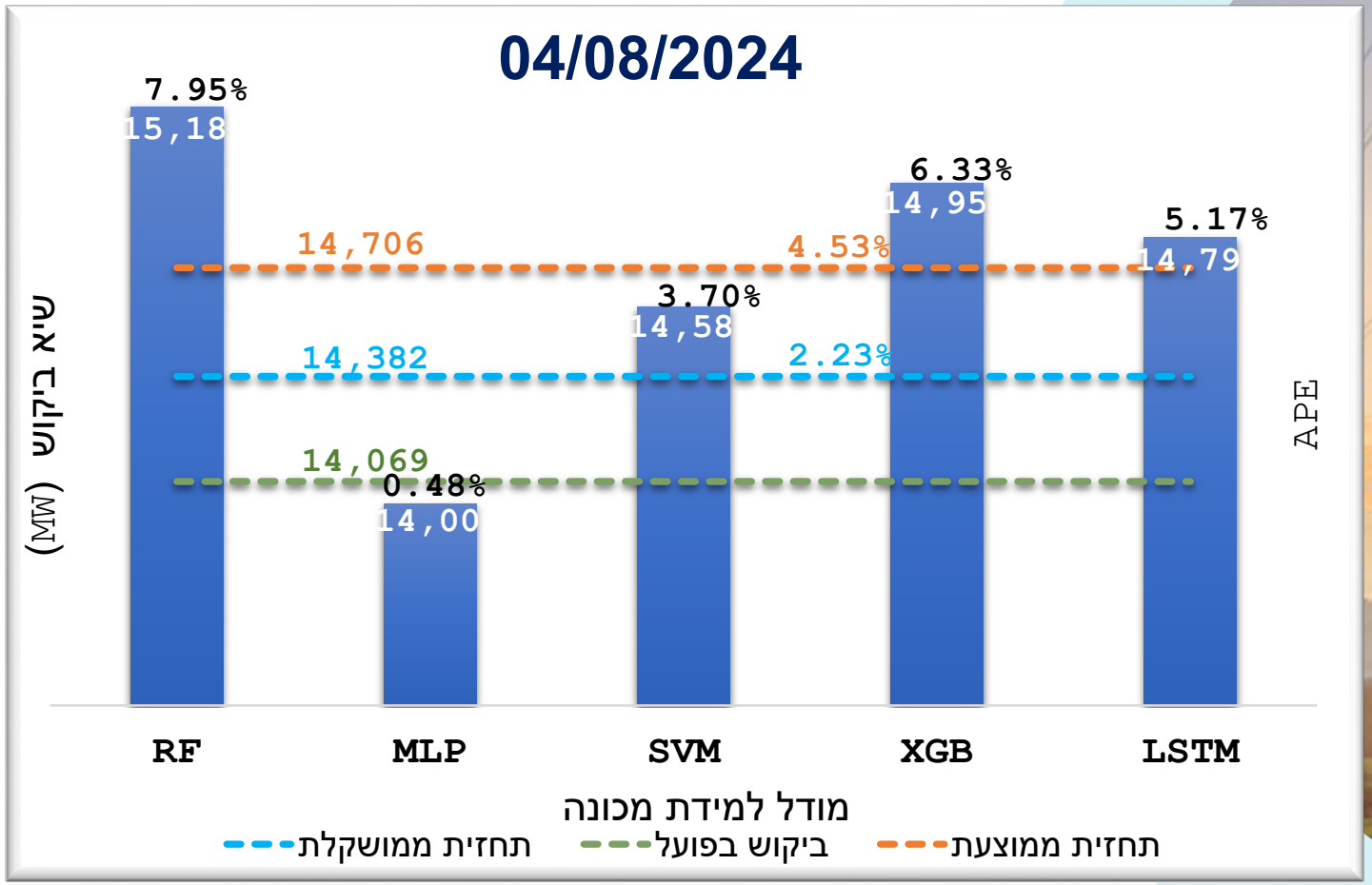


נגה
ניהול
מערכת
החשמל

כיצד נבחר את המודל הטוב ביותר?



בחירת המודל הטוב ביותר



מודל חיזוי ליום הקרוב – הצגת שיטת המשקול (חורף)

$$T^{\circ C}_{Min} \leq T$$

$$Upper\ Limit = Q_{3i} + \bar{P}_r \cdot Q_{3i}$$

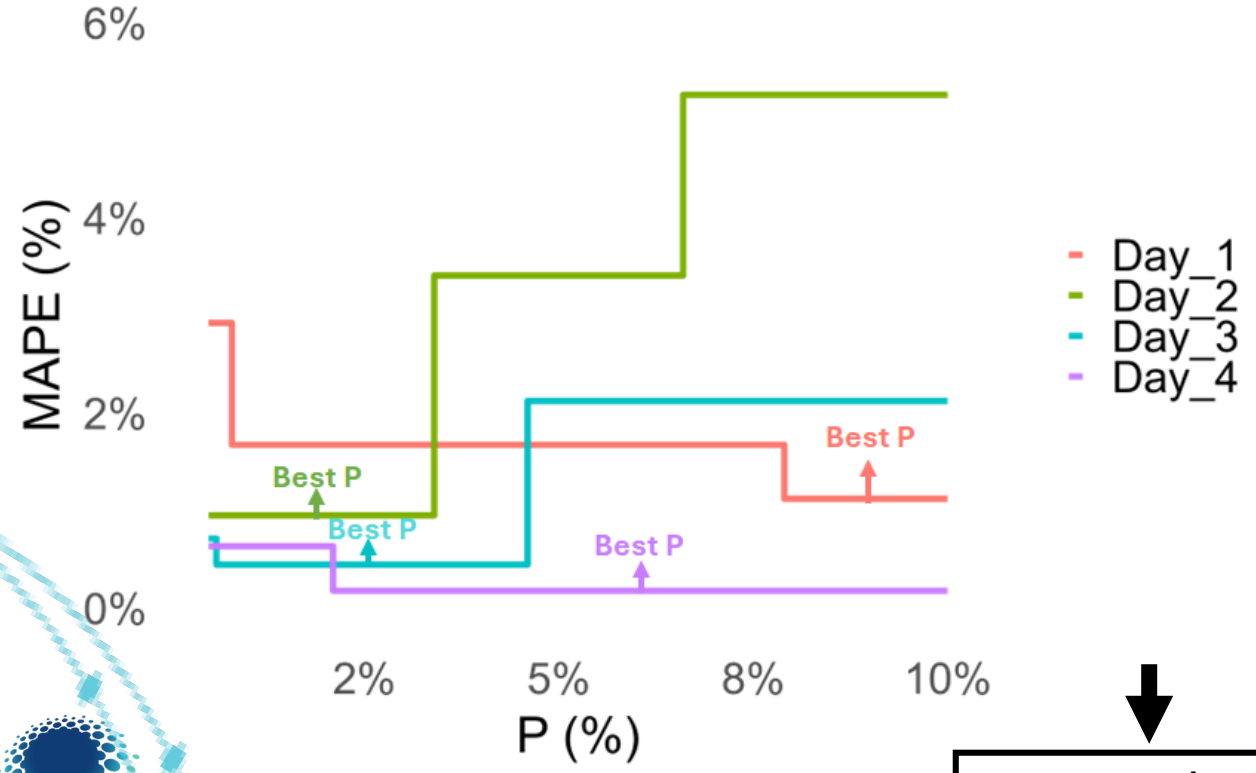
$$Lower\ Limit = Q_{2i} - \bar{P}_r \cdot Q_{2i}$$

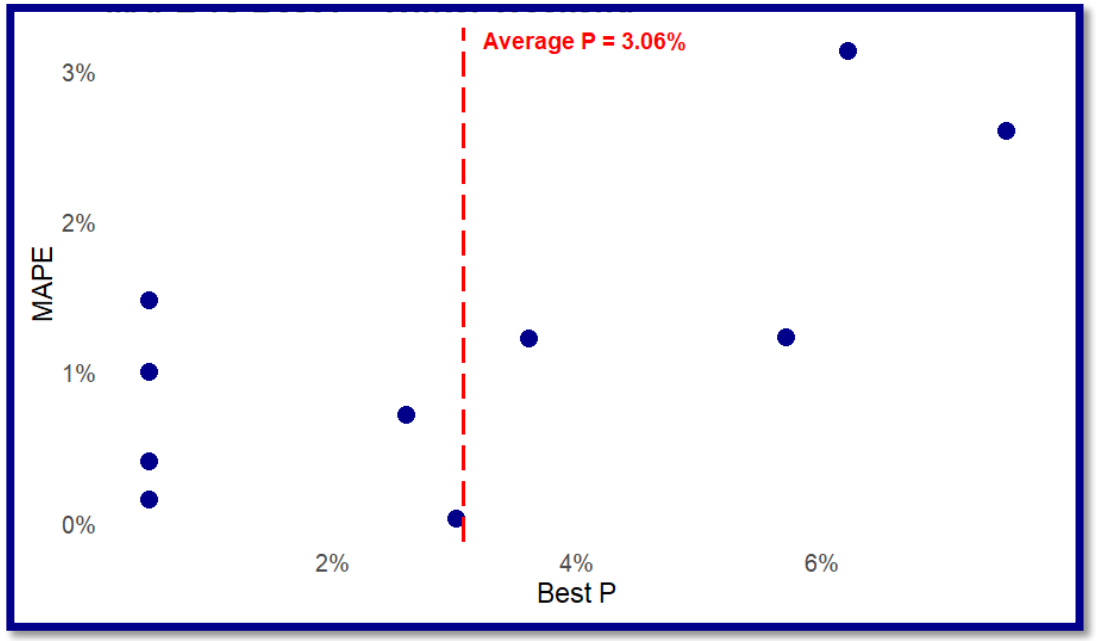
$$T^{\circ C}_{Min} > T$$

$$Upper\ Limit = Q_{2i} + \bar{P}_r \cdot Q_{2i}$$

$$Lower\ Limit = Q_{1i} - \bar{P}_r \cdot Q_{1i}$$

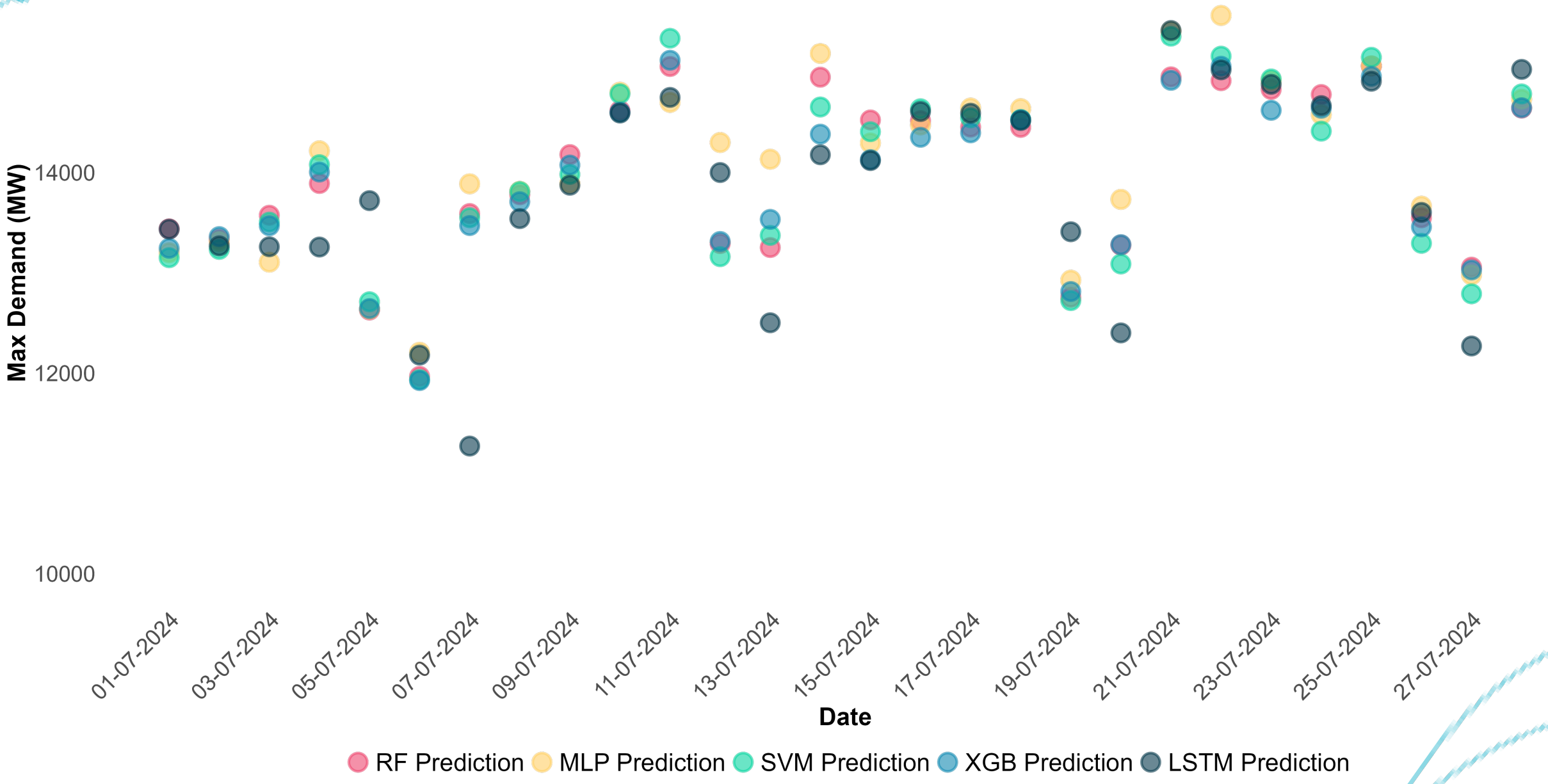
קביעת ערך P – מקדם רווח סמך



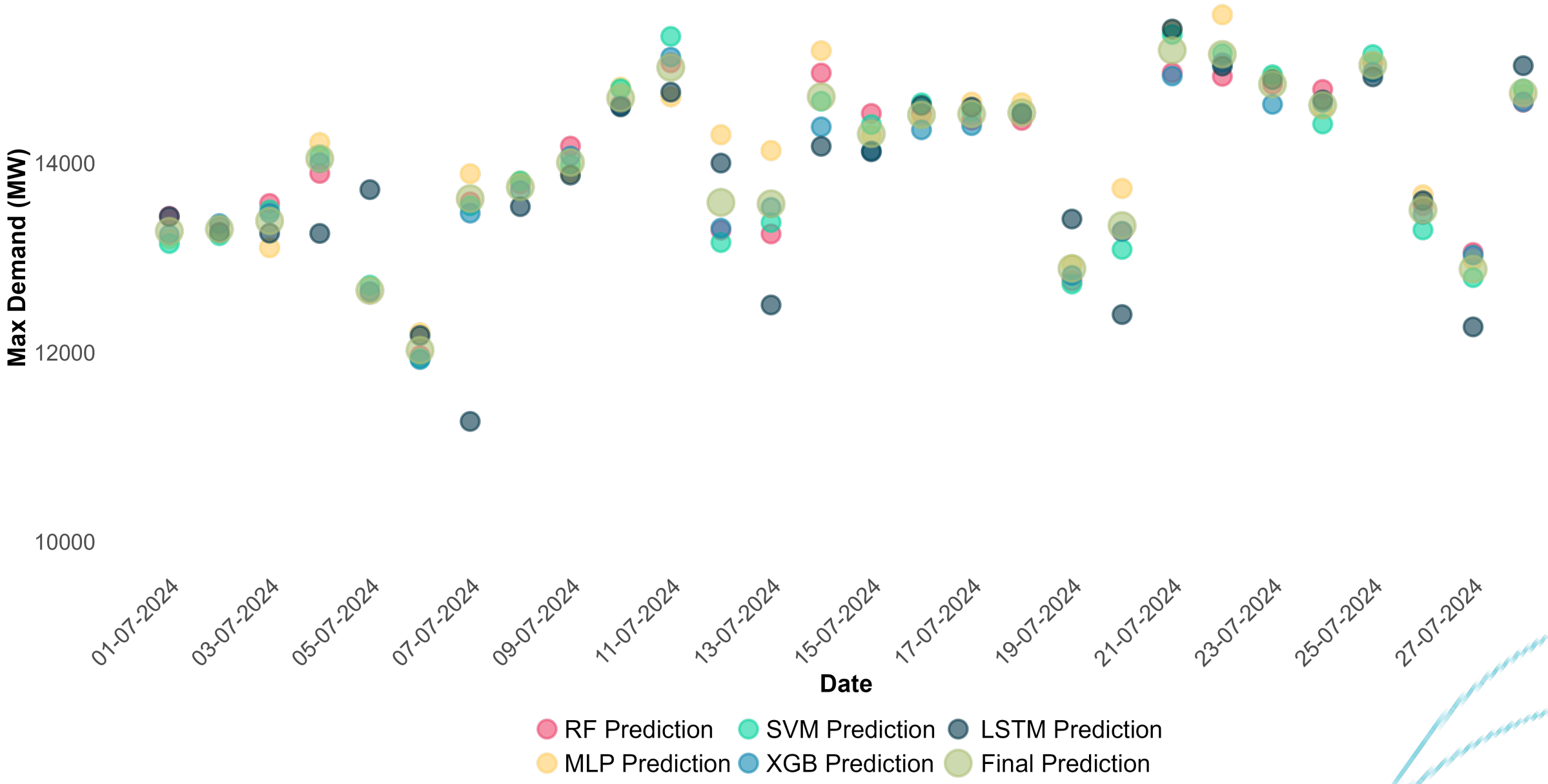


מודל Day Alike

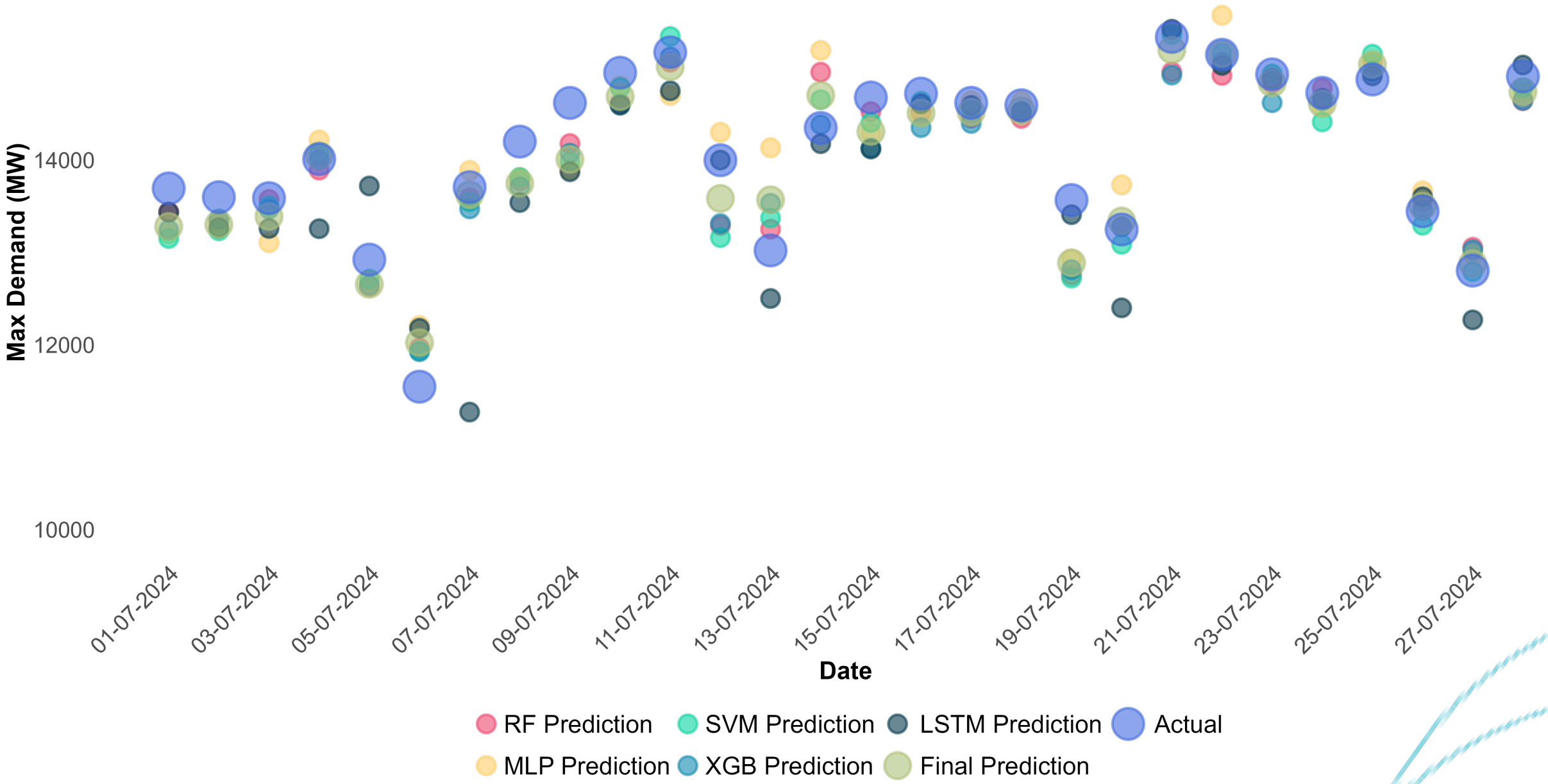
כיצד נבחר את המודל הטוב ביותר?



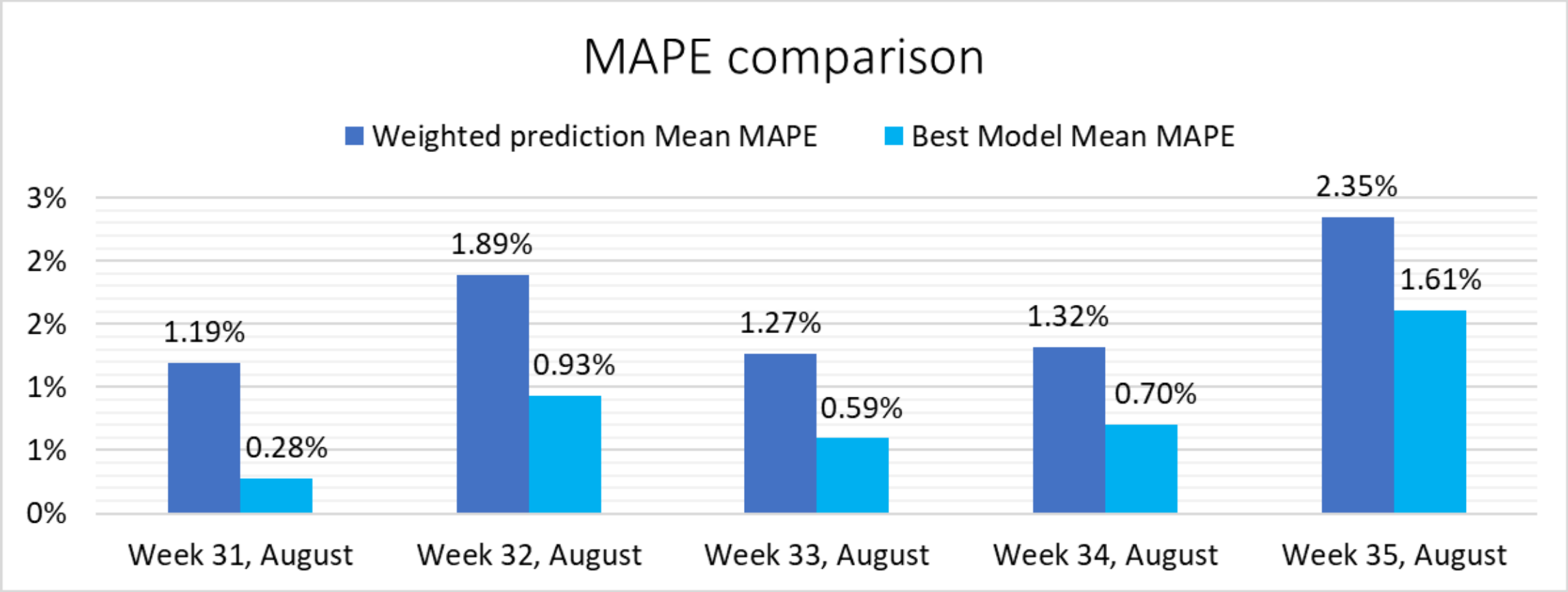
כיצד נבחר את המודל הטוב ביותר?



כיצד נבחר את המודל הטוב ביותר?



תוצאות

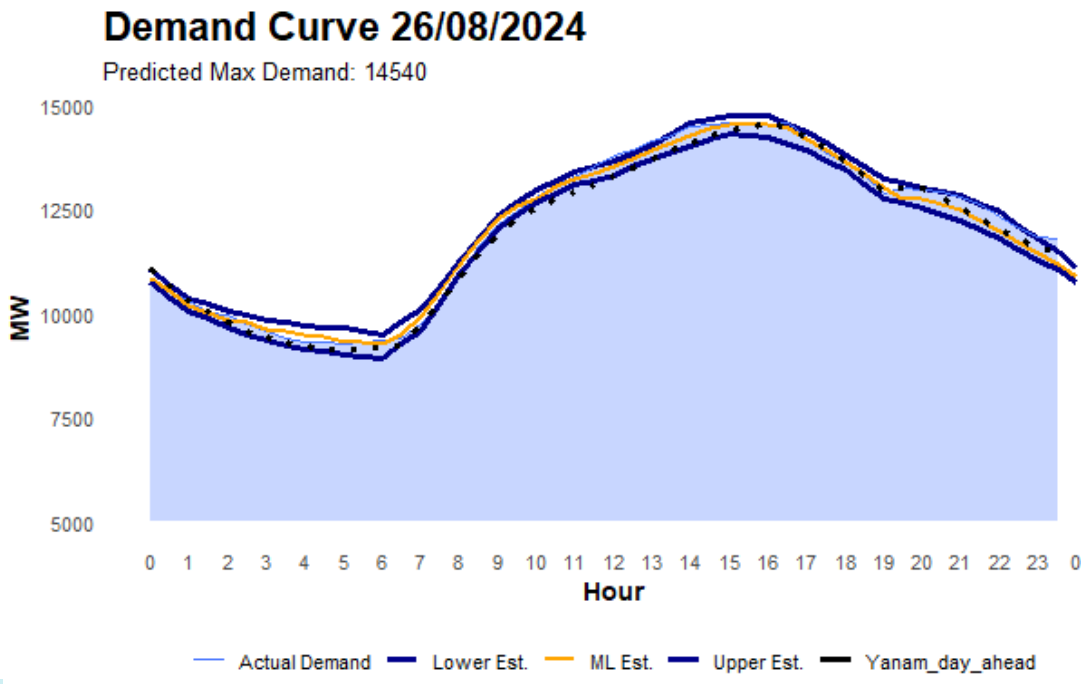

MAPE comparison
Weighted prediction Mean MAPE
Best Model Mean MAPE
3%
2%
2%
1%
1%
0%
1.19%
0.28%
1.89%
0.93%
1.27%
0.59%
1.32%
0.70%
2.35%
1.61%
Week 31, August
Week 32, August
Week 33, August
Week 34, August
Week 35, August

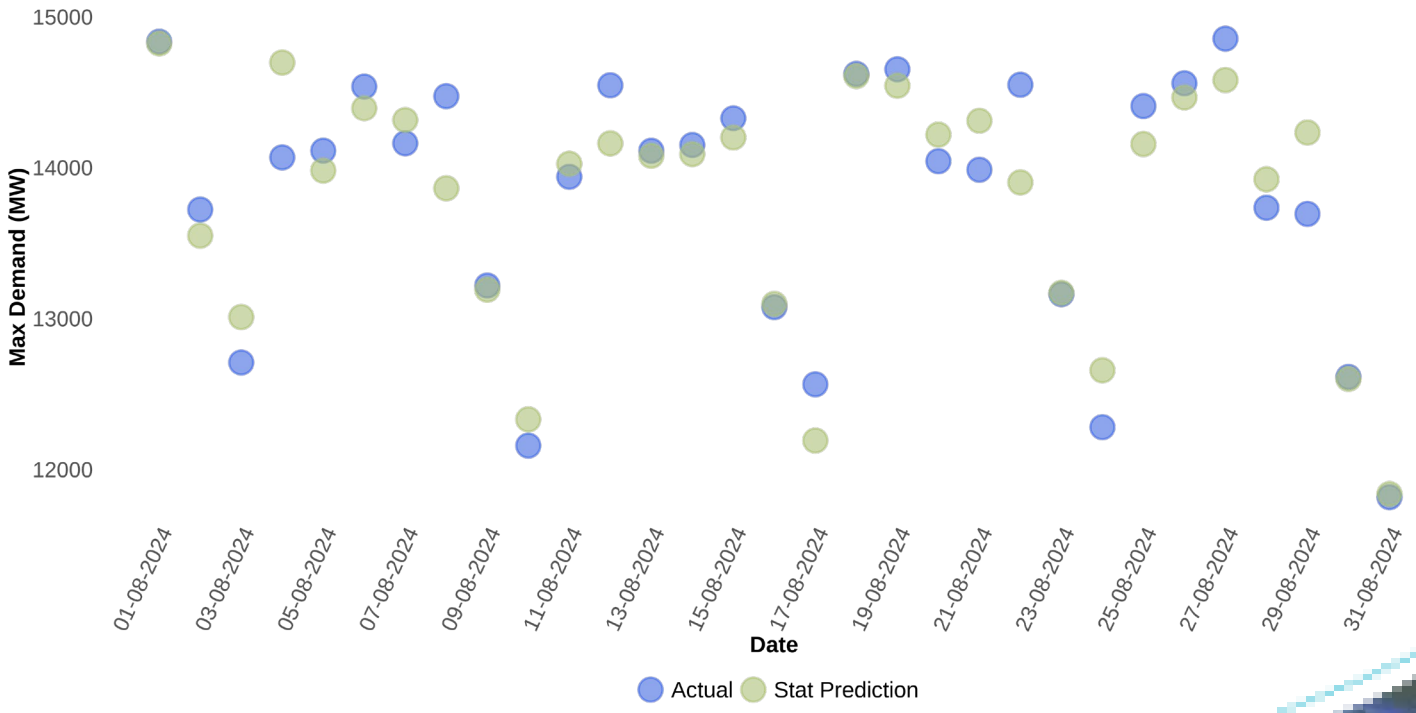
תוצאות באמצעות מדדי הדיוק השונים

Measures	RF	MLP	SVR	XGB	LSTM	Mean	Weighted prediction
APE	2.27%	2.33%	2.23%	2.37%	2.65%	2.10%	2.07%
Adjusted MAPE	1.18%	1.22%	1.16%	1.26%	1.46%	1.09%	1.07%
Threshold Rate	10.96%	13.20%	12.64%	15.08%	18.78%	9.85%	8.94%
Adjusted Threshold Rate	18.02%	20.53%	20.25%	21.16%	27.09%	16.69%	14.94%

נגה
ניהול
מערכת
החשמל

תוצאות


Demand Curve 26/08/2024
Predicted Max Demand: 14540
MW
15000
12500
10000
7500
5000
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 0
Hour
Actual Demand
Lower Est.
ML Est.
Upper Est.
Yanam_day_ahead

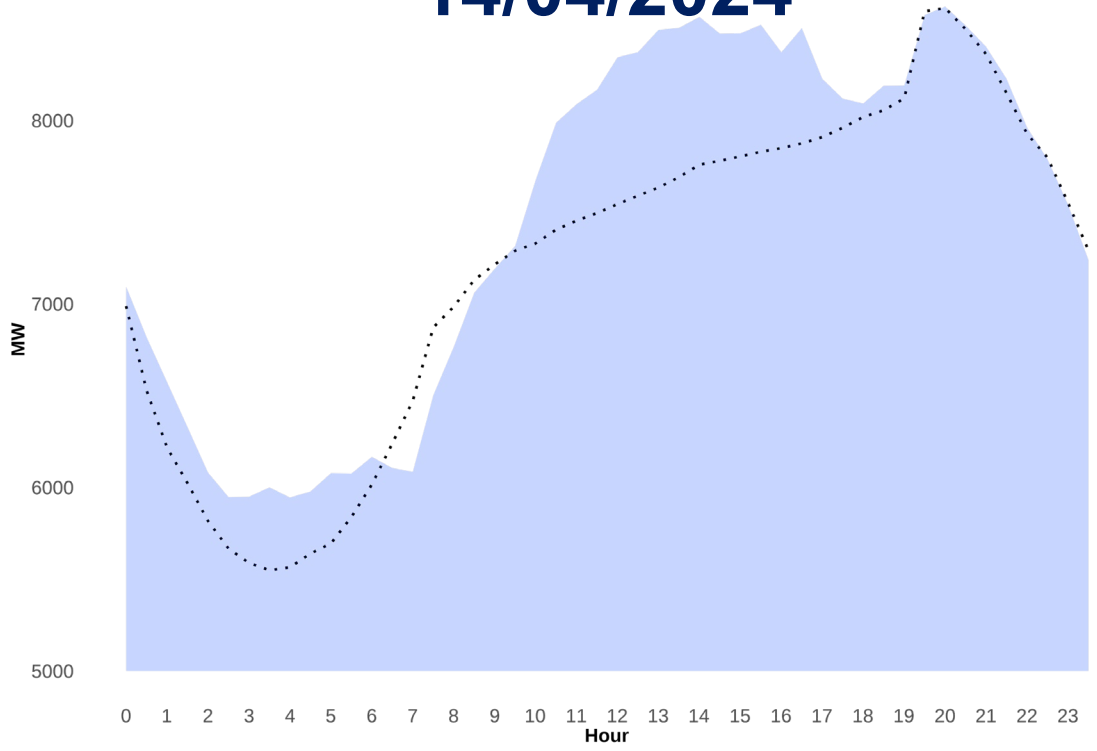

Max Demand (MW)
15000
14000
13000
12000
01-08-2024
03-08-2024
05-08-2024
07-08-2024
09-08-2024
11-08-2024
13-08-2024
15-08-2024
17-08-2024
19-08-2024
21-08-2024
23-08-2024
25-08-2024
27-08-2024
29-08-2024
31-08-2024
Date
Actual
Stat Prediction

תודה על ההקשבה

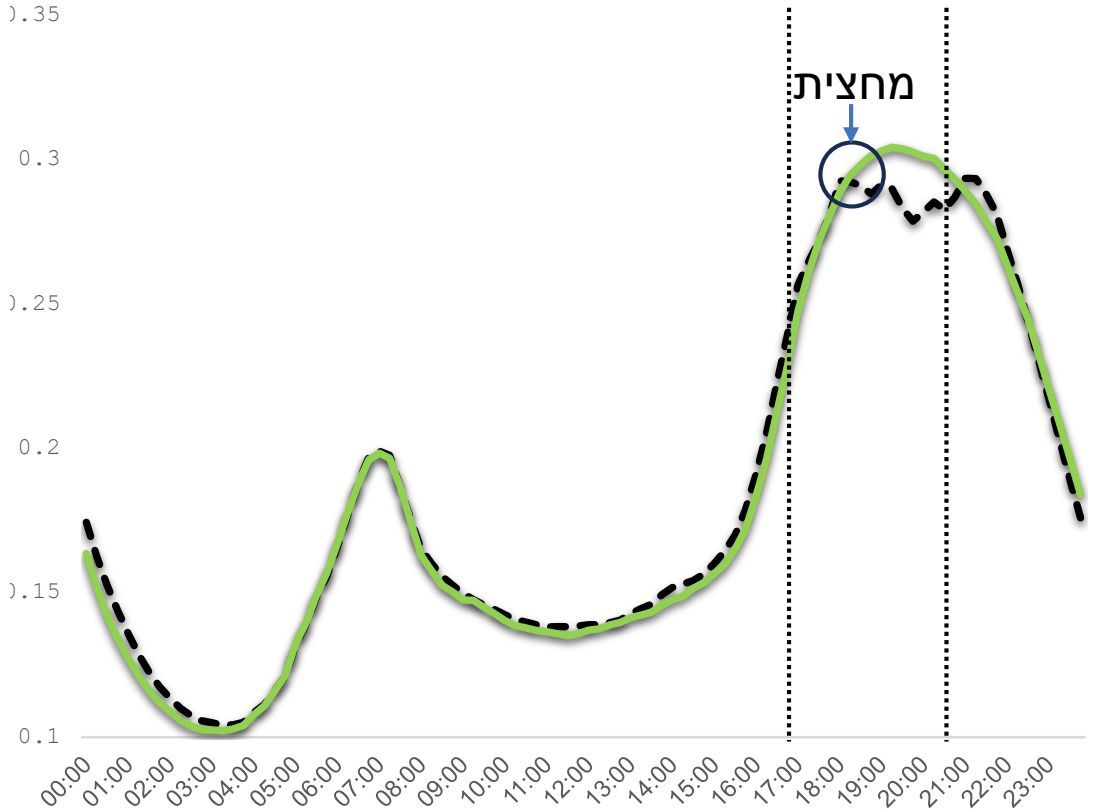
moshe.kelner@noga-iso.co.il

אירועים חיצוניים

המתקפה האירנית – 14/04/2024



גמר המונדיאל 18/12/2022



נגה
ניהול
מערכת
החשמל

מדדי דיוק

- **APE (Absolute Percentage Error)** - מדד לדיוק תחזיות שנועד למדוד את אחוז השגיאה האבסולוטי בין הערך הצפוי לערך הנצפה. ערך נמוך של APE מעיד על דיוק גבוה בתחזית, בעוד ערך גבוה מצביע על שגיאה משמעותית יותר.

- **Adjusted MAPE**- מדד זה הינו MAPE מותאם לצורכי מערכת החשמל, בו ניתן משקל שונה לשגיאה החצי שעתית הממוצעת. משקל גבוה לסטייה (ענישה) מתקבל בשעות בהן הצריכה גבוהה ובשעות בהן ייצור ה-PV קטן מאוד אך ביקושי החשמל עדיין גבוהים (21:00 – 17:00). שעות אלו מקבלות את המשקל המקסימלי בין 0.85 למשקל שקיבלו בהתאם למרחק משיא הביקוש. בנוסף, העלות של תחזית נמוכה מהביקוש בפועל (אמידת חסר) גבוהה מהעלות של תחזית גבוהה מהביקוש בפועל (אמידת יתר) ולכן בימים בהם יש אמידת חסר הגדלנו את ערך השגיאה ב-10%.

- **Threshold Rate–** מדד זה הינו ממוצע כמות הפעמים בו כל תחזית מבין 48 חצאי השעות היומיות סוטה מעבר ל-500 מגה-וואט, הספק ממוצע של תחנת כח, ביחס לערך האמיתי בנקודת הזמן הנבחנת. המדד מחושב בעזרת אינידקטור (I) המקבל את הערך 1 אם הפער בין התחזית לביקוש בפועל עולה על 500 מגה-וואט ו- 0 אחרת, כפי שמתואר במשוואה מספר 5.

- **Adjusted Threshold Rate–** מדד זה הינו התאמה של מדד **Threshold Rate** לשיא הביקוש המחושב על פי ממוצע כמות הפעמים בו כל תחזית מבין 48 חצאי השעות היומיות סוטה מעבר ל-500 מגה-וואט ביחס לערך שיא הביקוש ביום מסוים. המדד מתואר במשוואה מספר 6.