

Meteorology in Israel

Vol. 2 (27) No. 1

תלות שיא עומס החשמל היומי במשתנים מטאורולוגיים, ומשמעותה לגבי ניצול אנרגית רוח לצרכי הפקת חשמל בישראל

חיים שפיר, פנחס אלפרט ומרדכי סגל
החוג לגאופיסיקה ולמדעים פלנטריים, הפקולטה למדעים מדוייקים, אוניברסיטת תל-אביב,
תל-אביב, 69978

נתקבל 25.2.1992

תקציר

נבדקה תלות שיא עומס החשמל היומי בישראל במשתנים מטאורולוגיים בקיץ ובחורף. וכן, הקשרים בין עומס החשמל ואנרגית הרוח הזמינה ברמת הגולן. נמצא כי רגישות שיא עומס החשמל היומי למשתנים מטאורולוגיים גבוהה ביותר. בחורף, ניתן לחזות את שיא עומס החשמל היומי, שהוא בשעות הערב, על פי טמפרטורת בית דגן בצהרים במיתאם של 0.85, ושגיאת חיזוי ממוצעת של 4%. ואילו בקיץ, ניתן לחזות את שיא עומס החשמל היומי על פי עומס החום בבית דגן בצהרים במיתאם של 0.93, ושגיאת חיזוי ממוצעת של 1.5%-2%. נמצא כי בחורף אין קשר מובהק בין אנרגית הרוח ברמת הגולן למצבי מזג האויר השונים ולעומס החשמלי היומי המקסימלי. מאידך, בקיץ קיימת התאמה חיובית כלשהיא בין גורמים אלה. בקיץ, קיימת אנרגית רוח גבוהה ויציבה ברמת הגולן, שהיא תוצר של בריזת הים התיכון החודרת מדי יום לאזור בשעות אחר-צהר. לפיכך, מוצע כי ניצול אנרגית הרוח ברמת הגולן עשוי להיות, בשעות שיא העומס, בעל יתרון כלכלי יחסי בקיץ.

מבוא

בעשור האחרון פותחו בישראל תכניות לניצול אנרגית רוח לייצור חשמל בחוות רוח. מיקומם של החוות הראשונות אמור להיות ברמת הגולן. הספק החוות בשעות צריכת השיא היומי של החשמל הוא גורם כלכלי ראשון במעלה מבחינת כדאיותם. לפיכך, ראוי לבדוק הבטים מטאורולוגיים רלבנטיים לענין זה.

ידוע כי, רמת צריכת החשמל בשעות השיא היומי מושפעת במידה ניכרת מתנאי מזג האויר העונתיים. שינויים יומיים באיפיון המטאורולוגי מביאים להגברה או הפחתה בצריכת החשמל בשעות השיא לעומת הצריכה העונתית הממוצעת. בקיץ, הצריכה מושפעת בעיקר ממיזוג אויר של בניינים בשעות הצהריים. בחורף, שיא צריכת החשמל הינו בשעות הערב ונובע בעיקר כתוצאה מחימום בניינים וצריכת חשמל ביתית מוגברת. מכל האמור לעיל נובע, שחשובה הערכה של תלות צריכת החשמל בתנאי מזג האויר מחד, לעומת הערכת זמינותה של אנרגית רוח במצבי עומס חשמל גבוה מאידך.

הבטים שונים של יחסי הגומלין בין איפיוני מזג האויר, אנרגית הרוח וצריכת החשמל ברשת הארצית נידונו באופן איכותי בסגל ואלפרט (1990) וב- (Segal and Alpert, 1991). הם הגדירו את המונח "אנרגית מזג אויר", שהיא תוספת או הפחתה בצריכת אנרגית החשמל לעומת הממוצע העונתי כתוצאה משינוי במזג האויר, והציעו

לכמת את יחסי הגומלין הנייל ע"י מציאת הקשר בין מצבים סינופטיים מטאורולוגיים וצריכת אנרגית מזג האוויר בארועים אלו מצד אחד, לעומת אנרגית הרוח הזמינה מאידך. הצעתם היתה לסווג באופן ראשוני את אנרגית הרוח הזמינה בערכים מ-1 עד 4 על פי הערך הכלכלי וביחס למצב הסינופטי. בסיווג זה ערך 1 מייצג מצב בו צריכת אנרגית מזג האוויר גבוהה וגם זמינות אנרגית הרוח בחוות הרוח גבוהה, ולפיכך משמעותו הכלכלית ניכרת. לעומתו ערך 4, המייצג ערך כלכלי נמוך, הוא מצב שבו צריכת אנרגית מזג האוויר גבוהה אך זמינות אנרגית הרוח נמוכה.

אלפרט ושות' (1987) ערכו מיון של מצבים סינופטיים בשנת 1985. סגל ואלפרט (1990) הסתמכו על מיון זה כדי להעריך איכותית ולהדגים את הפוטנציאל הכלכלי של מצבים אלה. אלפרט ושות' (1987) מצאו ש-35% מימי החורף הם מצב של שקע קפריסאי או של הפרעה ציקלונית, ימים המלווים בירידת משקעים. על פי הסיווג הנייל הפוטנציאל הכלכלי של מצבים אלו בדרך כלל הוא בעל ערך 1. לעומת זאת, במצב של רכס ברומטרי או אזור לחץ גבוה בחורף הפוטנציאל הכלכלי של חוות הרוח מסווג בדרי"כ בערך 4 (כ-26% מימי חורף 1985). בקיץ, 28% מהימים אופיינו כמצב של אפיק פרסי חלש או רכס ברומטרי (טמפרטורת המקסימום בירושלים מעל 30°C), והם מוצעים להיות לפיכך בעלי ערך 4. 40% מימי הקיץ היו של אפיק פרסי חזק או מתון (טמפרטורת המקסימום בירושלים 26°C - 27°C). אנרגית הרוח בימים אלו גבוהה, אך אנרגית מזג האוויר בדרי"כ מופחתת - דרוג 2.

במחקר הנוכחי, נבדקה תלות שיא עומס החשמל היומי במשתנים מטאורולוגיים. וכן נבדקו באופן ראשוני הקשרים בין עומס החשמל ואנרגית הרוח במצבי מזג האוויר השונים. התרכזנו בעונות החורף והקיץ בהם מתקבלים העומסים הגבוהים. להלן נתאר את נתוני עומס החשמל, הרוח והנתונים המטאורולוגיים שקיבצנו לצורך העבודה. בהמשך המאמר נתאר באופן כללי את אופיו של עומס החשמל בישראל, וכן נעסוק בהתאמה בין שיא עומס החשמל היומי ומשתנים מטאורולוגיים בחורף ובקיץ. בנוסף לכך דן המאמר במידת זמינות אנרגית הרוח באתר תל קטיף שברמת הגולן בשעות השיא של עומס החשמל.

נתונים

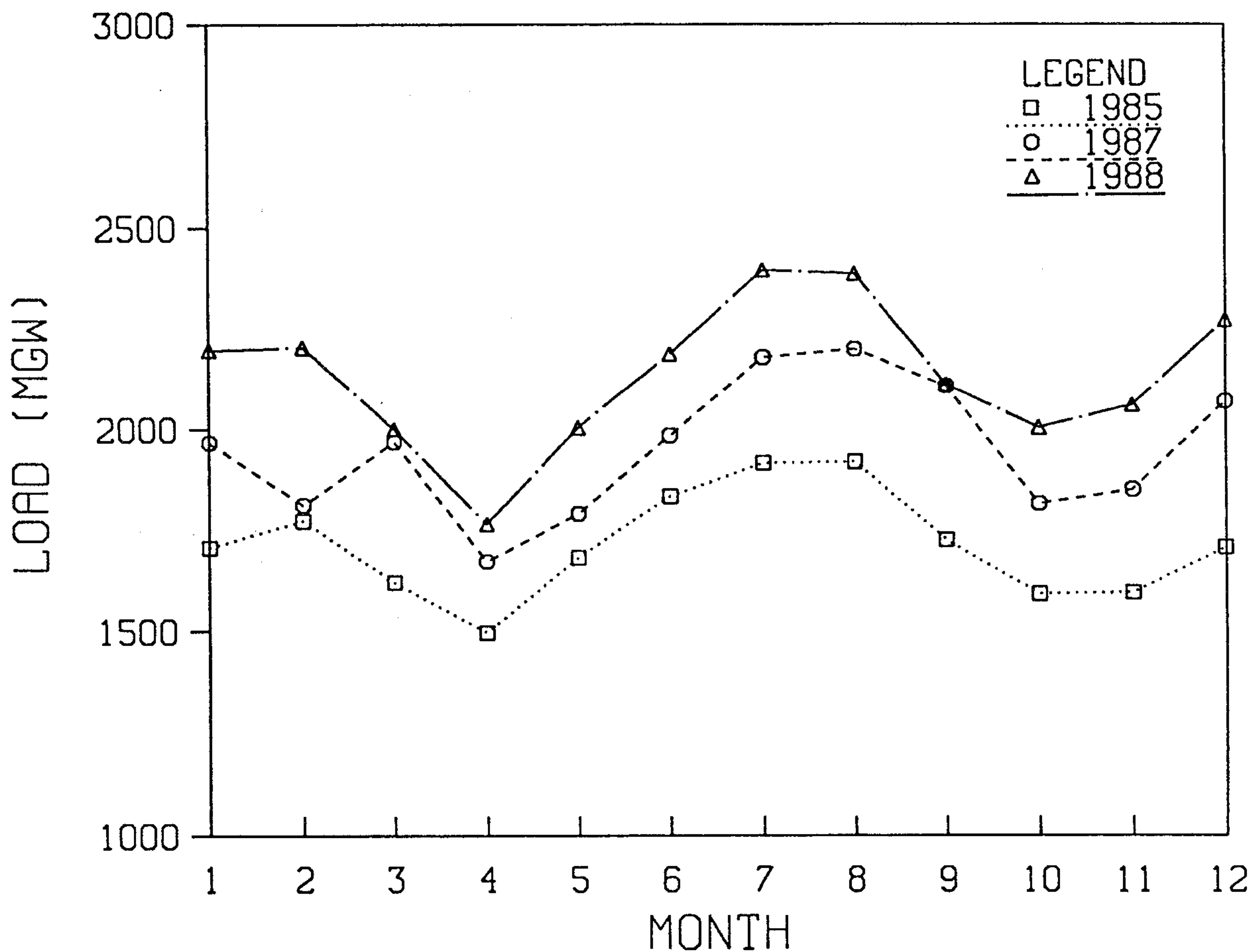
התרכזנו בשנים 1987 ו-1988 בסדרות העתיות הבאות :

- א. עומס החשמל השעתי הכולל במגה-וט (מיליון וט או בקיצור-מג"ו). הנתונים סופקו ע"י חברת החשמל לישראל.
- ב. נתונים מטאורולוגיים של בית דגן שכללו: (1) טמפרטורות מקסימום ומינימום יומי; (2) טמפרטורה, טמפרטורת התרמומטר הלח והלחות היחסית בשעות נבחרות; (3) מספר שעות יומי של זהירת שמש וכמות הגשם היומי. הנחנו כי מרבית צריכת החשמל הקשורה במזג האוויר מרוכזת בשפלת החוף, המיוצגת מבחינה מטאורולוגית ע"י תחנת בית דגן.
- ג. נתוני רוח שעתיים באתר המיועד לניצול אנרגית רוח ברמת הגולן - תל קטיף שסופקו ע"י חברת מי-גולן.

אופיו של עומס החשמל בישראל

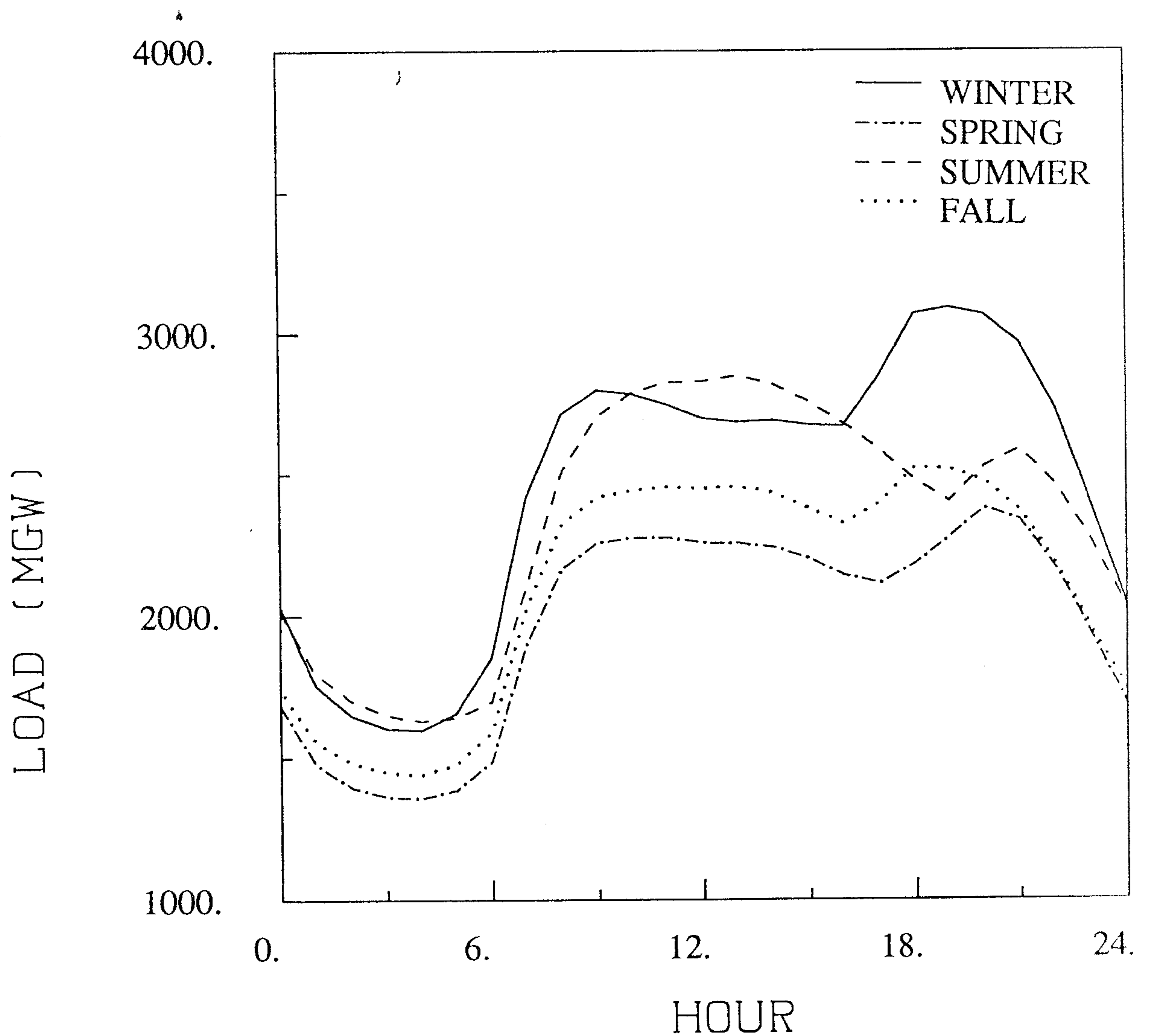
בסעיף זה, נביא כמה איפיונים כמותיים של עומס החשמל בישראל הקשורים לנושא העבודה, הגם שאיפיונים דומים הופיעו בפירסומים שונים. איפיונים אלה חשובים משום שהם מבטאים בין היתר את יחסי הגומלין בין עומסי החשמל והתנאים המטאורולוגיים בישראל. לצורך המחקר, הגדרנו חורף כתקופה דצמבר-פברואר, אביב; מרץ-מאי, קיץ; יוני-אוגוסט וסתו; ספטמבר-נובמבר.

איור 1 מראה את ההשתנות השנתית של ממוצע עומס החשמל היומי עבור השנים 1985, 1987, 1988. מן האיור אנו למדים כי ערכי ממוצע גבוהים מתקבלים בחורף ובקיץ, כאשר השיא בחודשים יולי ואוגוסט. כמו כן, אנו מוצאים עליה בממוצע העומס השנתי משנה לשנה כתוצאה מהגדלת הצריכה. הממוצע השנתי בשנים 1985, 1987 ו-1988 היה 1714.2, 1951.3 ו-2132.2 מג'ו בהתאמה.



איור 1: ההשתנות השנתית של ממוצע עומס החשמל היומי עבור השנים 1985, 1987 ו-1988.

איור 2 מראה את ההשתנות היממתית של עומס החשמל בישראל בשנת 1988 עבור ארבע העונות. כפי שכבר ראינו העומס נמצא גבוה בחורף ובקיץ, העומס בסתו גבוה מאשר באביב. המקסימום היומי בחורף, המתקבל בשעות הערב, מושפע בעיקר מצריכה לתאורה, לחימום בניינים, ובמידה מסוימת מחימום מים לשימוש ביתי. לעומת זאת צריכת החשמל בקיץ הינה מקסימלית בשעות החמות - שעות הצהריים, הנובעת כנראה בעיקר מצריכת חשמל לצורך מיזוג אוויר. בכל העונות קיים מקסימום עומס (ראשוני או משני) בשעות הערב הנובע מצריכה ביתית. מקסימום זה נדחה בקיץ יחסית לעונות האחרות עקב שעות אור מאוחרות בעונה והשפעת שעות הקיץ.



איור 2: ההשתנות היממתית הממוצעת של עומס החשמל בארבע העונות בשנת 1988 (דצמבר 87 - נובמבר 88).

תלות עומס חשמל במשתנים אטמוספריים

א. כללי

בסעיף זה, מפורטת סידרה של בדיקות מיתאם בין משתנים מטאורולוגיים ועומס החשמל המקסימלי היומי, שמטרתה מציאת אפשרות חיזוי של שיא העומס היומי. התרכזנו בחורף ובקיץ בהם העומסים הגבוהים ביותר. שיא עומס החשמל היומי הוגדר כממוצע העומס של השעות 18-20 בחורף ו-12-14 בקיץ; בשעות אלה נמצא העומס היומי המקסימלי בעונה. בביצוע המיתאמים תוקנו הסדרות כך שימי שישי, שבת, חגים, ערבי חגים וכן ימים בהם היו תקלות באספקת החשמל נופו (בקבוצת ימים אלו קיימת ירידה חדה בעומס החשמל בישראל).

ב. חורף

תוצאות מבחני המיתאם השונים עבור החורפים 1987 ו-1988 מוצגות בטבלה 1. המיתאם הגבוה ביותר בין עומס החשמל המקסימלי היומי והמשתנים המטאורולוגיים השונים נמצא עם טמפרטורת שעה 14 בבית דגן, מיתאמים של 0.83 ו-0.86. בשנים 1987 ו-1988 בהתאמה עבור 63 יום (ראה איורים a3 ו- b3 טבלאות 1 ו-2). השגיאה הממוצעת של חיזוי העומס על פי טמפרטורת הצהרים הינה 4.1% (101 מג"ו) עבור חורף 1987, ו-3.7% (103 מג"ו) עבור חורף 1988. המיתאמים של שיא העומס היומי עם טמפרטורות שעה 20 בבית דגן הם 0.63 ו-0.61 עבור 1987 ו-1988 בהתאמה. מיתאמים אלו פחות טובים מאשר המיתאמים עם טמפרטורות שעה 14. תוצאה זו יכולה להיות מוסברת בין השאר ע"י מכלול הגורמים הבאים :

1. בהנחה של ימים בהירים ובתקופות קצרות יחסית (עד כחודש), ההשתנות הבין יומית של קרינת השמש מועטה, לפיכך הטמפרטורה בשעות היום קובעת במידה רבה את ההשתנות הבין יומית של החום הנאגר על ידי הבניינים, ואת הצורך לחימום בשעות הערב.
2. בימי חורף בהירים וחמים חימום מים לצריכה ביתית מתבצע בארץ על ידי אנרגיה סולרית, וצריכת חשמל לחימום מים בערב קטנה. לעומת זאת, ביום מעונן וקר בחורף צריכת חשמל לחימום מים בשעות הערב אמורה לגדול כלשהוא.
3. אפשרות השפעה פסיכולוגית: האדם המפעיל את החימום מושפע בהחלטתו מרמת הטמפרטורה בשעות בהן שחה בחוץ, ולא רק לפי המצב השורר בזמן ההפעלה.

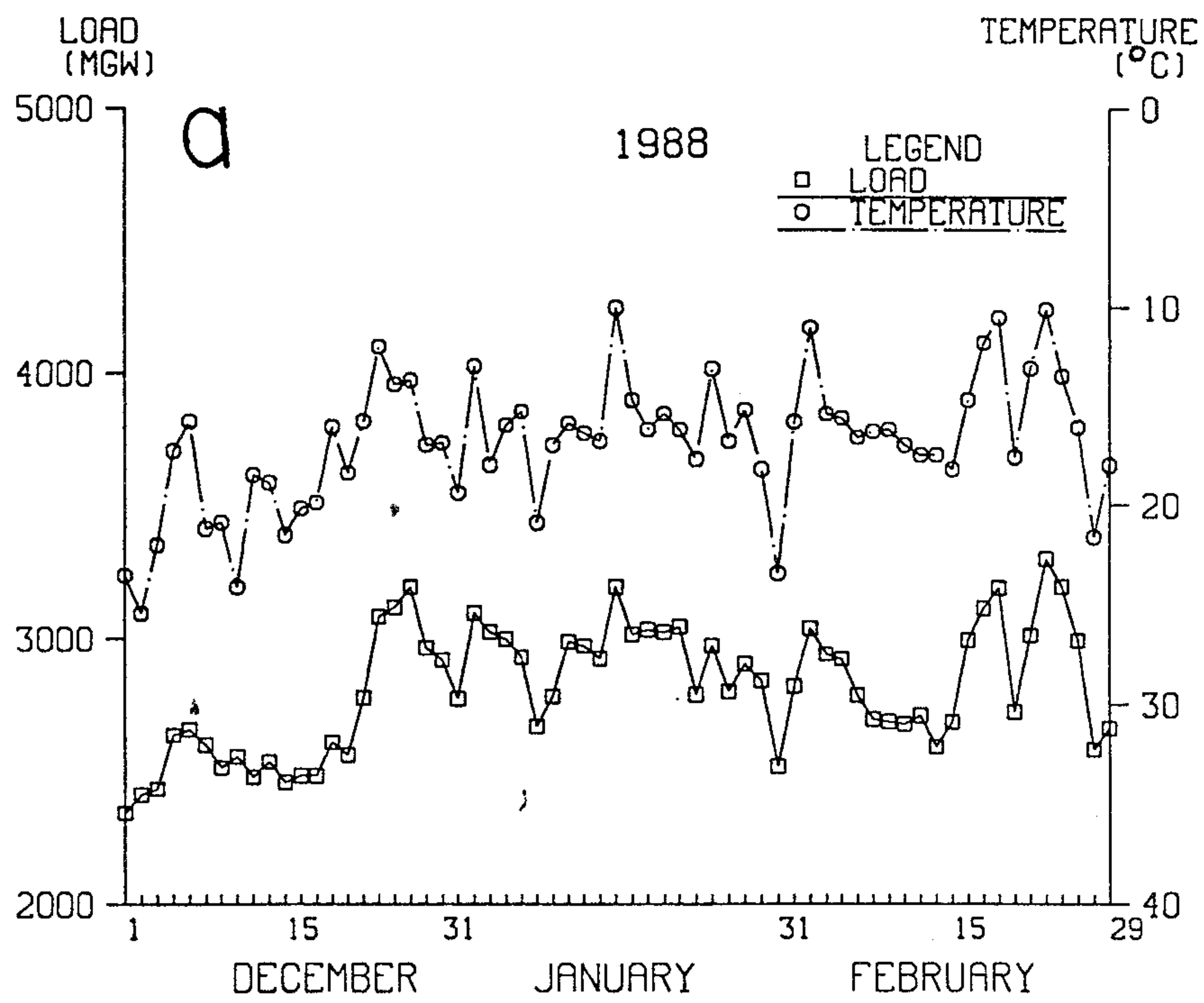
1, 2 ו-3 מסבירים במידה רבה מדוע קיימת התאמה גבוהה של עומס החשמל בחורף בערב עם טמפרטורות הצהריים. מיתאמים נמוכים נמצאו עם כמות הגשם בבית דגן - 0.37 (איור 4), ועם זמן זהירות השמש בבית דגן - 0.33 (איור 5). רגרסיה מרובת משתנים של העומס עם כל הפרמטרים האטמוספיריים לא שיפרה את המיתאם שהושג עם טמפרטורת שעה 14.

טבלה 1 : מיתאמים בין שיא עומס החשמל היומי Lm (מג"ו) ומשתנים מטאורולוגיים אחדים בחורף.

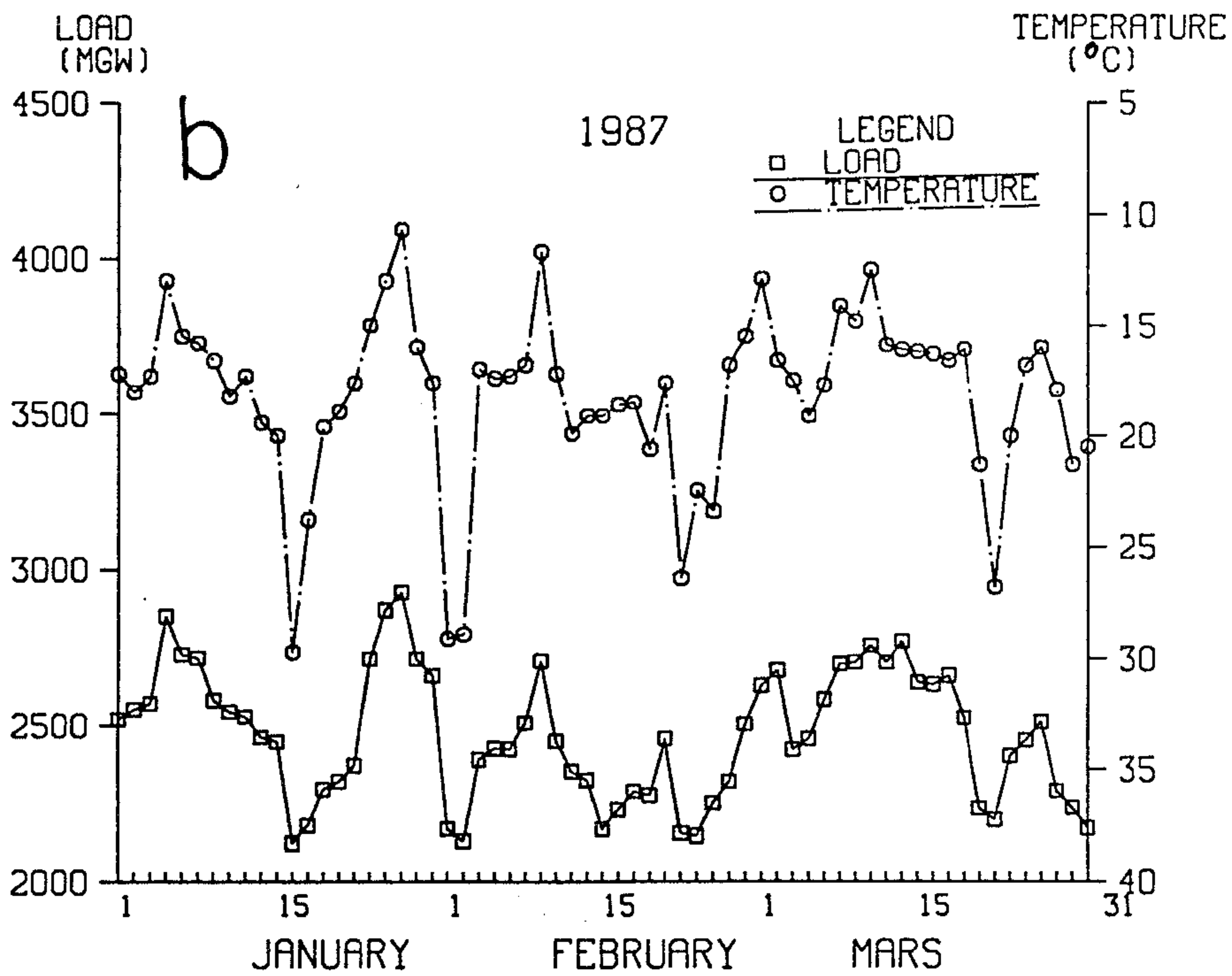
המשתנה	מקום	שנה	מס' ימים	המיתאם	משוואת הרגרסיה
טמפרטורה 14 Td (°C)	בית דגן	88	63	-0.86	$Lm = -60.73Td + 3839.9$
טמפרטורה 14 Td (°C)	בית דגן	87	63	-0.83	$Lm = -44.65Td + 3283.3^*$
טמפרטורה 20 Td (°C)	בית דגן	88	63	-0.61	$Lm = -53.23Td + 3483.3$
טמפרטורה 20 Td (°C)	בית דגן	87	63	-0.63	$Lm = -46.03Td + 3050.3$
גשם יומי R (מ"מ)	בית דגן	88	63	0.37	$Lm = 9.125R + 2767.6$
משך זהירות שמש Sd (שעות)	בית דגן	88	63	-0.33	$Lm = -26.8Sd + 2947.9$
ממוצע רוח יומי U (מ' לשני')	תל קטיף	88	54	-0.17	$Lm = -13.24U + 2928.4$
רוח בשיא העומס U (מ' לשני')	תל קטיף	88	53	-0.10	$Lm = -6.13U + 2868.7$

טבלה 2: הקשר בין שיא עומס החשמל היומי Lm (מג"ו) והטמפרטורה בבית דגן שעה 14 (°C) בחורף 1988. מספר ימים מתוך מדגם של 63 יום עבור צירופים שונים של עומס חשמל וטמפרטורה.

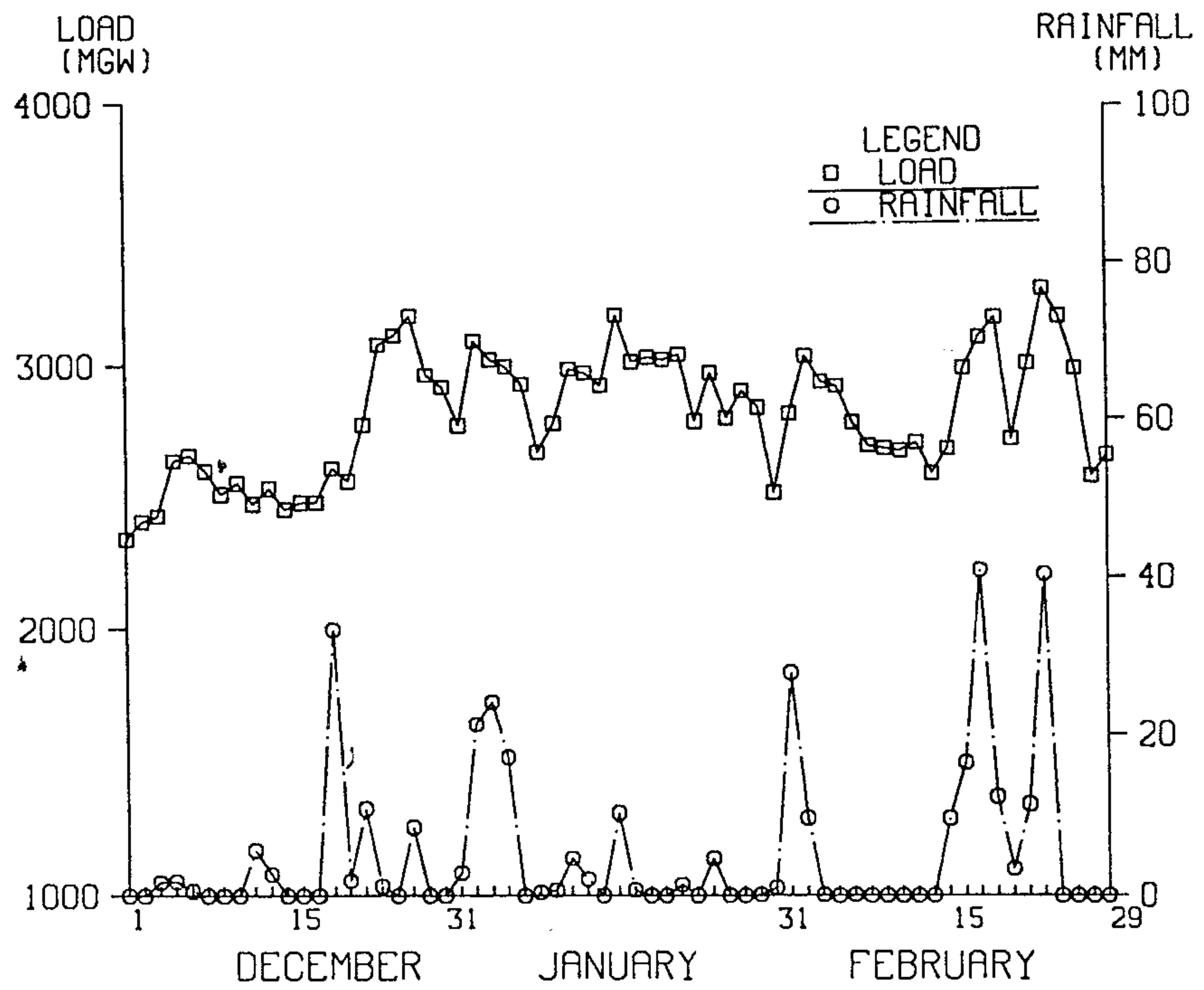
Lm	2300	2551	2801	3051	
Td	-2550	-2800	-3050	-3300	
14-10	-	-	3	9	
18-14	-	15	18	-	
22-18	7	6	1	-	
26-22	3	1	-	-	



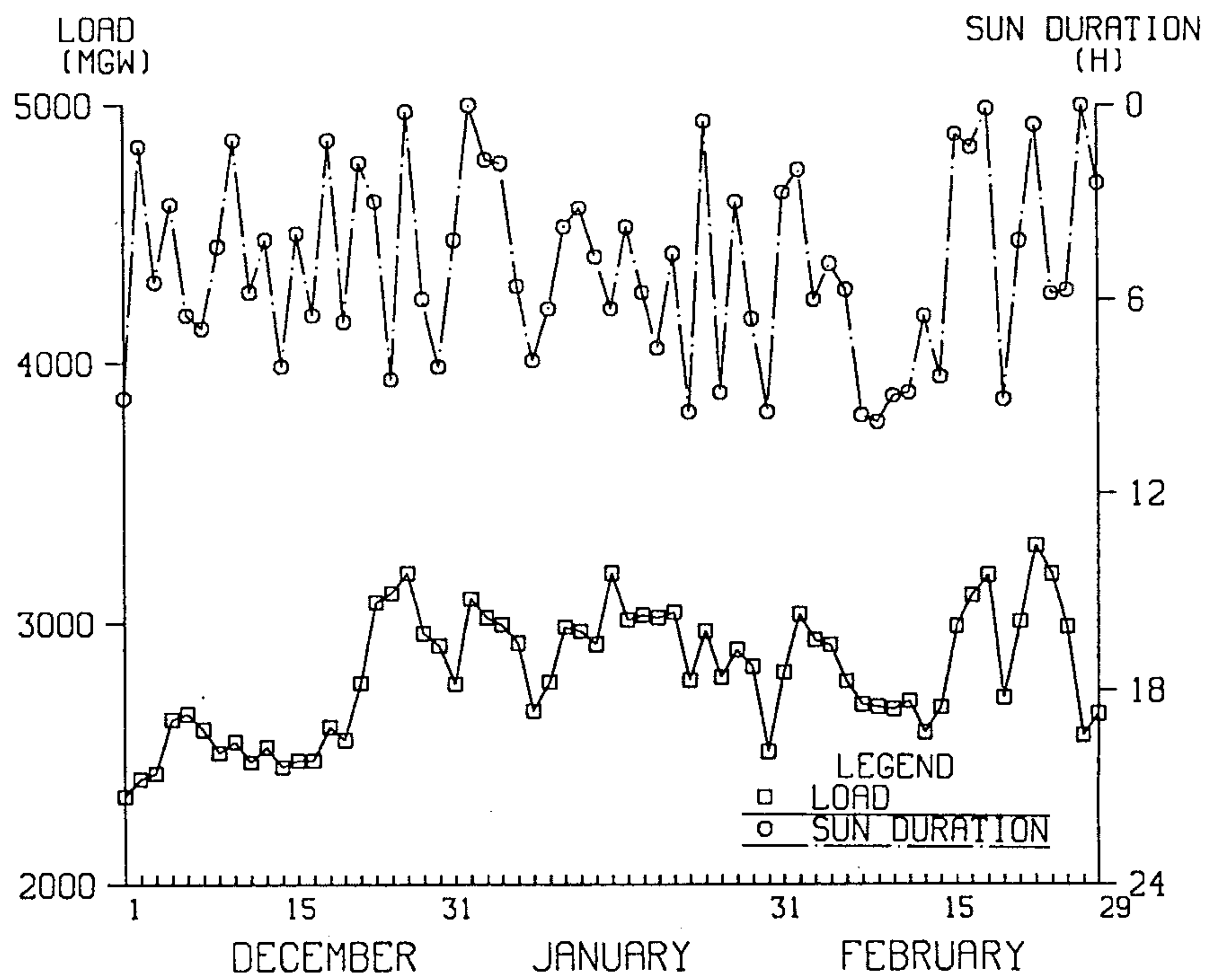
איור 3a: מהלך שיא עומס החשמל היומי וטמפרטורת 14 בית דגן בחורף 1988. ציר הטמפרטורה גדל כלפי מטה להדגשת ההתאמה השלילית. הסדרות תוקנו כך שימי שישי, שבת, ערבי חגים, חגים וימי תקלות חשמל נופו.



איור 3b: כמו איור 3a אך עבור חורף 1987.



איור 4: מהלך שיא עומס החשמל היומי והגשם היומי בבית דגן בחורף 1988.



איור 5: מהלך שיא עומס החשמל היומי ומשך זהירת השמש בחורף 1988. ציר זהירות השמש גדל כלפי מטה להדגשת ההתאמה השלילית.

תוצאות בדיקות המיתאם עבור הקיץ, כאשר פרדיקטורים מטאורולוגיים שונים הובאו בחשבון, מוצגות בטבלה 3. המיתאמים הגבוהים ביותר נמצאו עם עומס החום בשעה 14 בבית דגן. עומס חום הוא משתנה מטאורולוגי המוגדר כ- $(T_d + T_w) / 2$ כאשר T_d הטמפרטורה ו- T_w טמפרטורת התרמומטר הלח. המיתאמים של עומס החום עם שיא עומס החשמל היומי בקיץ היו של 0.93 ו-0.92 בשנת 1987 ובשנת 1988 בהתאמה (טבלאות 3 ו-4). שגיאת החיזוי הממוצעת על פי עומס החום היא 1.5% (42 מג"ו) בשנת 1987 ו-1.8% (64 מג"ו) בשנת 1988. המיתאמים עם טמפרטורת התרמומטר הלח בלבד היו טובים מאשר עם הטמפרטורה (ראה טבלה 3). ההתאמות של העומס עם הפרמטרים המטאורולוגיים השונים מוצגות באיורים a6 ו-b6. עומס החום נמצא כפרדיקטור טוב ביותר, רגרסיות רבות משתנים עם כל הפרמטרים המטאורולוגיים, כולל רוח שעה 14 בבית דגן, לא שיפרו את המיתאם. יתרונו של עומס החום כפרדיקטור ניכר באיור a6. בשנת 1988 היו בחודש יוני ימי שרב שבהם הטמפרטורה היתה גבוהה לעומת טמפרטורת תרמומטר לח נמוכה (לדוגמא, ראה את הימים ה-14 וה-20 ביוני באיור a6). עומס החום היה בינוני בלבד בימים אלה, ובינוני היה גם עומס החשמל בשעות השיא. Segal et al. (1992) דנים בהרחבה בדמיון התפיסתי שבין הרגשת הנוחות של האדם (הנקבעת ע"י עומס החום) לבין צריכת החשמל למיזוג אויר. כמו כן, הם מציגים הערכות נוספות לגבי הקשר בין צריכת החשמל וגורמים מטאורולוגיים.

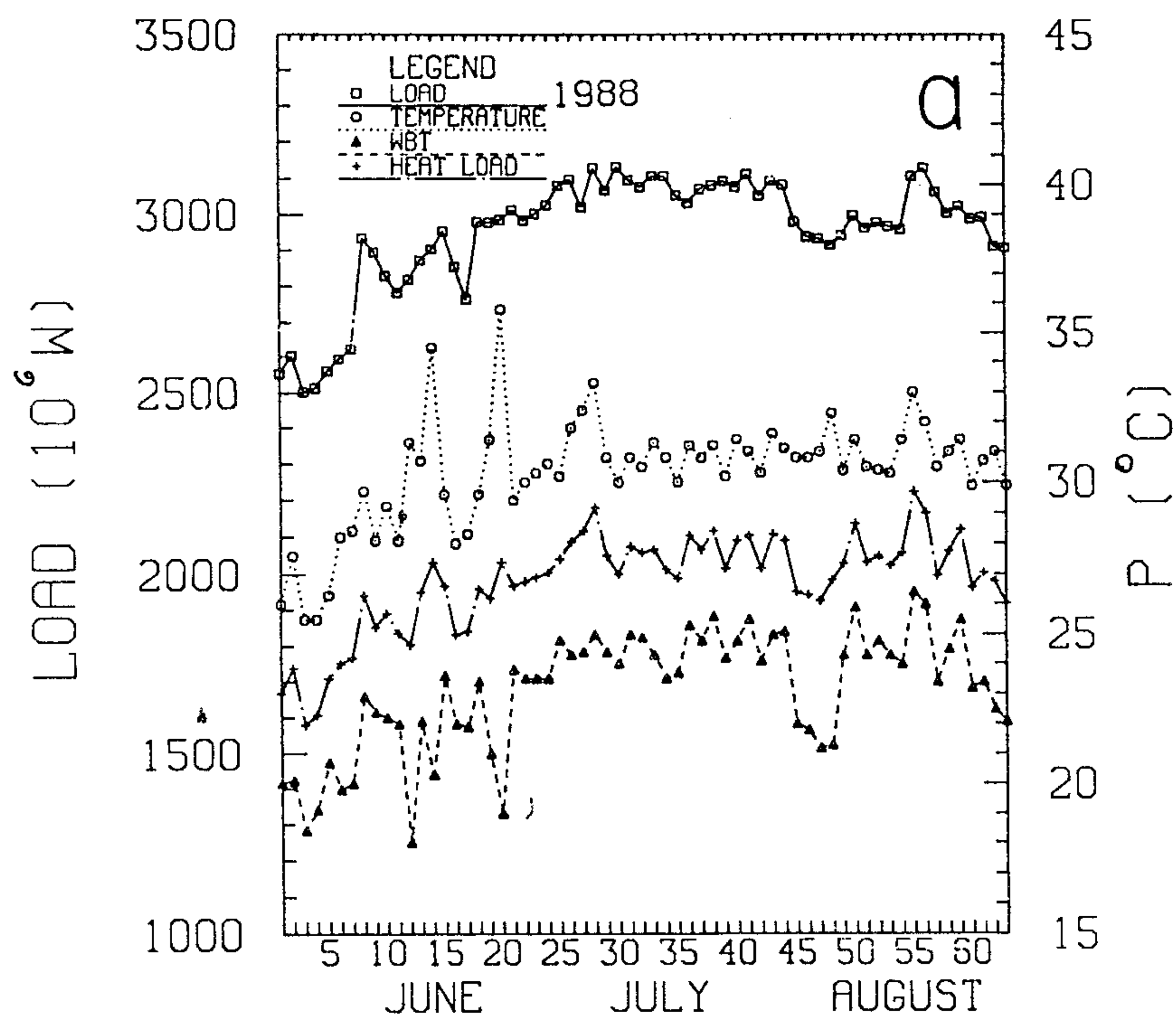
החיזוי המדויק יחסית של עומס החשמל בקיץ כתלות בעומס החום מאפשר הערכת הגידול בעומס החשמל בקיץ כתוצאה משינויי אקלים, ראה למשל Segal et al. (1992). במאמר זה הוערך כי הכפלת כמות ה- CO_2 באטמוספירה עלולה לגרום לצריכת חשמל גבוהה עד כ-10% מהצריכה הנוכחית. מאידך, השינוי האקלימי המוערך כתוצאה מהשינוי בניצול קרקעות לצרכי חקלאות באזור שפלת החוף נמצא כלא מובהק בהשפעתו על צריכת החשמל.

טבלה 3: מיתאמים בין שיא עומס החשמל היומי L_m (מג"ו) ומישתנים מטאורולוגיים אחדים בקיץ.

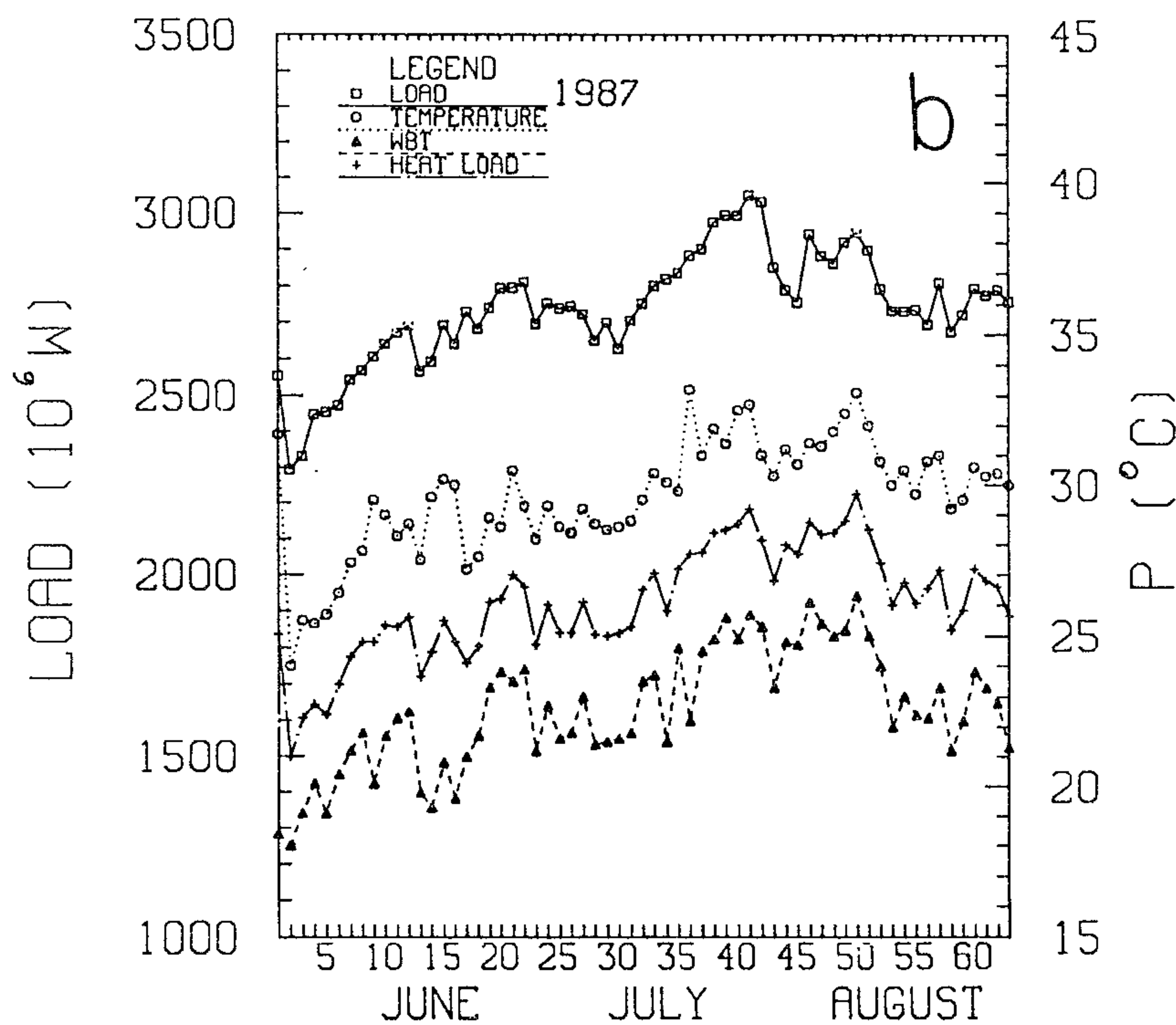
משוואת הרגרסיה	המיתאם	מס' ימים	שנה	מקום	המשתנה
$L_m=64.44T_d+994.6$	0.73	63	88	בית דגן	טמפרטורה 14 T_d (°C)
$L_m=68.61T_d+704.8$	0.85	63	87	בית דגן	טמפרטורה 14 T_d (°C)
$L_m=65.20T_w+1442.1$	0.81	63	88	בית דגן	טמפ. לחה 14 T_w (°C)
$L_m=68.16T_w+1200.4$	0.88	63	87	בית דגן	טמפ. לחה 14 T_w (°C)
$L_m=92.43HL+478.7$	0.92	63	88	בית דגן	עומס חום 14 HL (°C)
$L_m=79.76HL+656.4$	0.93	63	87	בית דגן	עומס חום 14 HL (°C)
$L_m=4.672RH+2706.2$	0.29	63	88	בית דגן	לחות יחסית 14 RH (%)
$L_m=25.55U+2719.9$	0.38	63	88	תל קטיף	רוח בשיא העומס U (מ' לשני')

טבלה 4: הקשר בין שיא עומס החשמל היומי L_m (מג"ו) ועומס החום בשעה 14 (°C) HL בבית דגן בקיץ 1988. מספר ימים מתוך מדגם של 63 יום עבור צירופים שונים של עומס חשמל ועומס חום.

3001	2801	2601	2400	L_m
-3200	-3000	-2800	-2600	HL
-	-	1	5	24-22
-	5	3	-	26-24
16	21	-	-	28-26
11	1	-	-	30-28



איור a6: מהלך שיא עומס החשמל היומי והפרמטרים המטאורולוגיים הבאים: טמפרטורה, טמפרטורת התרמומטר הלח ועומס החום בשעה 14 בבית דגן בקיץ 1988. הסדרות תוקנו כך שימי שישי, שבת, ערבי חגים, חגים וימי תקלות חשמל נופו.

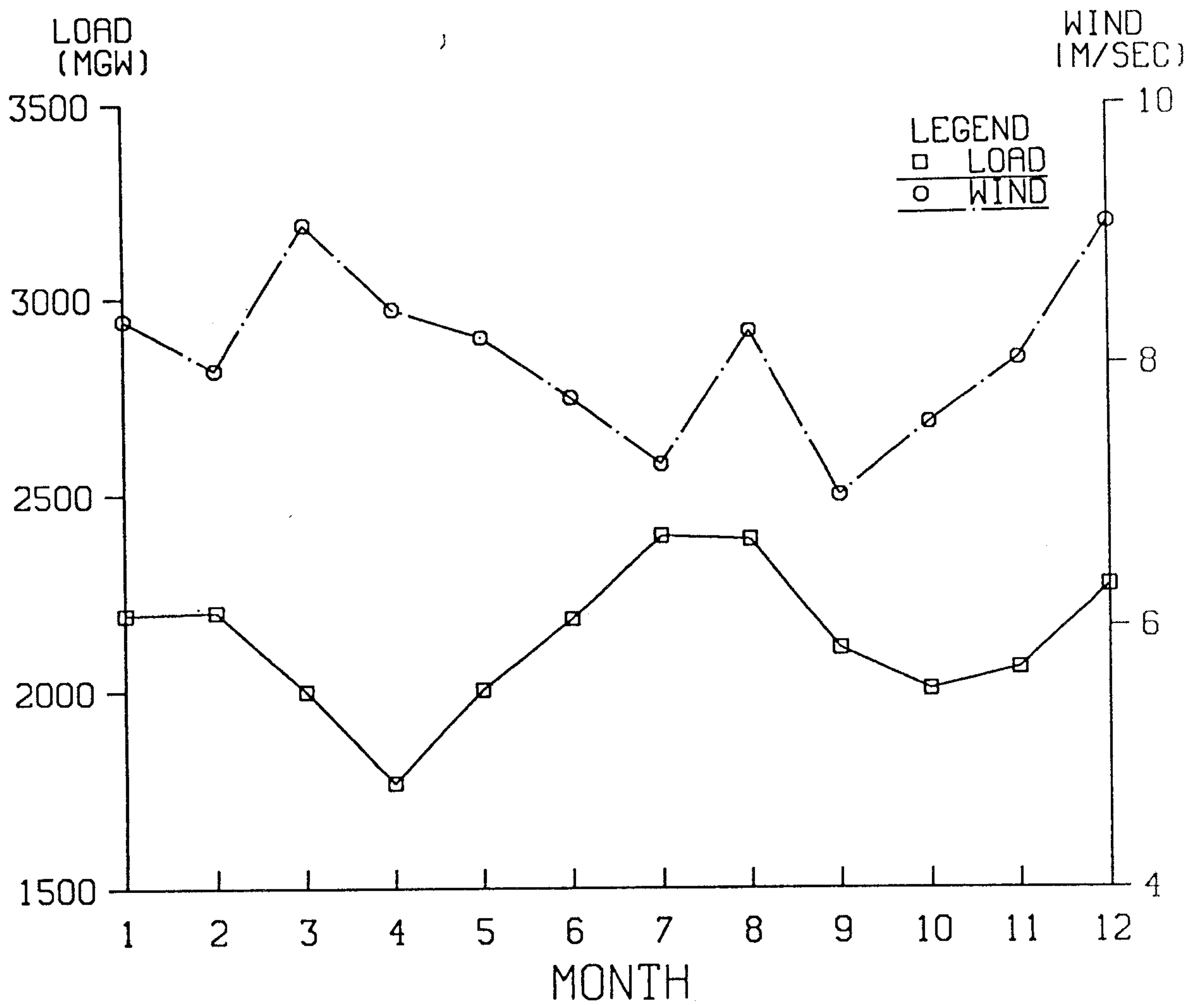


איור b6: כמו איור a6 אך עבור קיץ 1987.

עומס חשמל לעומת עוצמת הרוח

א. כללי

נתוני הרוח הנידונים הם מתל קטיף ברמת הגולן, שכאמור הינו אתר המיועד לבנית חוות רוח. איור 7 מראה את ההשתנות השנתית של הממוצע היומי של עוצמת הרוח באתר זה, כאשר לעומתו מוצגת השתנות ממוצע עומס החשמל בשנת 1988. באופן כללי ניתן להיווכח כי עוצמת הרוח (ולפיכך אנרגיית הרוח) גבוהה בחורף לעומת שאר העונות. חשיבות כלכלית רבה יש להימצאות אנרגיית רוח דווקא בשעות בהן עומס החשמל מקסימלי. לפיכך, ביצענו בדיקת מיתאם בין העומס המקסימלי היומי לעוצמת הרוח באותן שעות מקסימום.



איור 7: ההשתנות השנתית של ממוצע עוצמת הרוח היומי בתל קטיף לעומת הממוצע היומי של עומס החשמל בשנת 1988.

ב. חורף

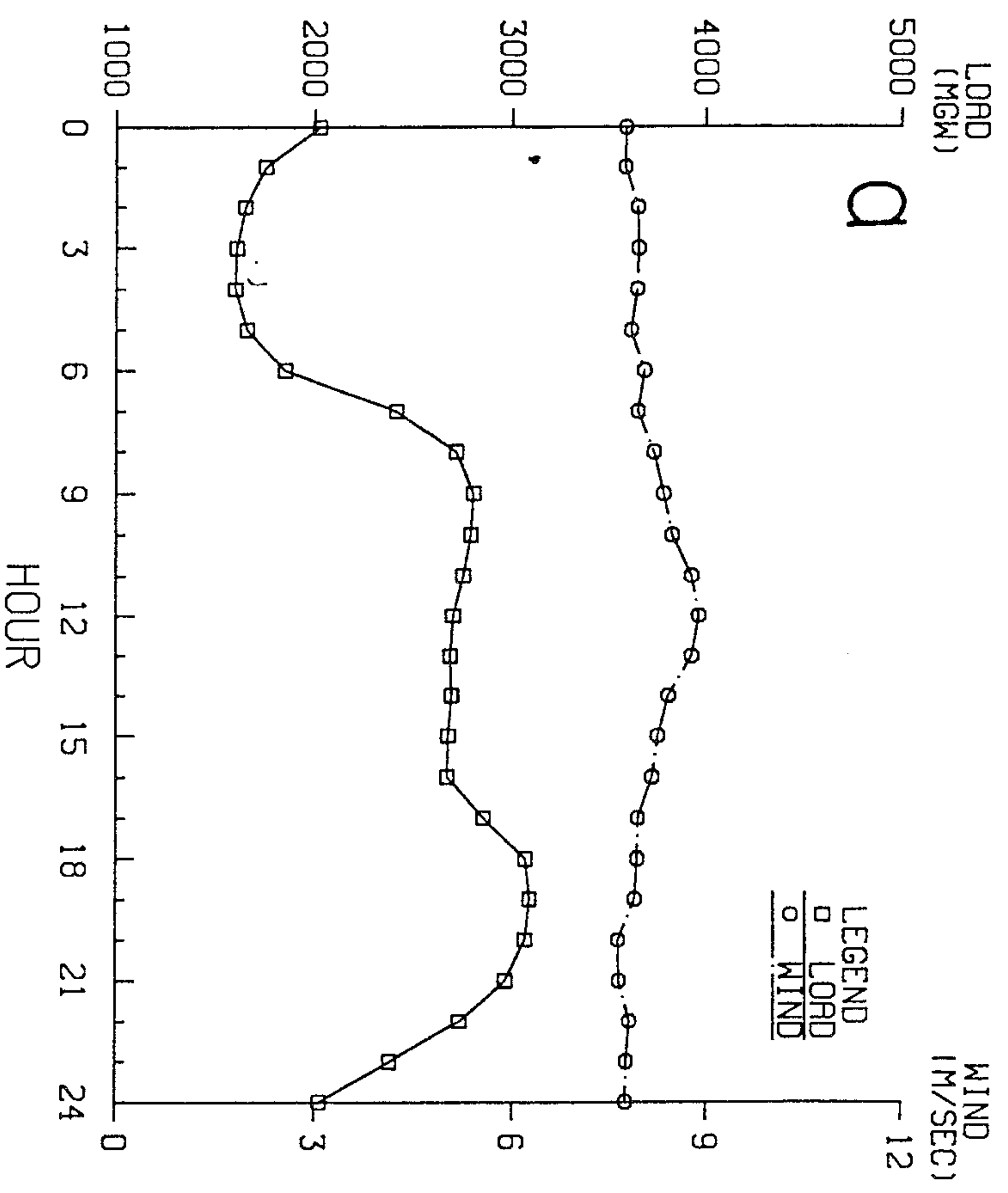
שעות מקסימום העומס בחורף הן שעות הערב, לפיכך בצענו את בדיקת המתאם בין העומס הממוצע בשעות 18-20 לבין עוצמת הרוח הממוצעת בשעות אלה. המתאם שנמצא הוא 0.10- עבור 53 יום (טבלה 1). מקדם מיתאם נמוך זה מורה שאין קשר מובהק בין שני הגורמים. טבלה 5 מציגה את מספר הימים עבור צירופים שונים של עוצמת רוח ועומס החשמל, שאופיינו ע"י מצבי מזג אויר שונים. מוצע כי הקשר בין אנרגיית רוח - המצב הסינופטי - עומס החשמל בשעות השיא הינו אקראי ביותר בחורף. לפיכך, לא הוערך אם אנרגיית הרוח גבוהה בשעות השיא של צריכת החשמל בחורף (המוגברת במיוחד). בדיקת מיתאם שבוצעה בין העומס לעוצמת הרוח הממוצעת היומית בחורף נתנה גם היא מיתאם נמוך של 0.17-. איור 28 מראה את ההשתנות היומית של הרוח הממוצעת בחורף לעומת עומס החשמל. ממנו אנו למדים, שהשינויים היממתיים בעוצמת הרוח הממוצעת קטנים בחורף.

טבלה 5: הקשר בין שיא עומס החשמל היומי Lm (מג"ו) ועוצמת הרוח U (מ"שני) בתל קטיף בשעות שיא העומס בחורף 1988 (שעות 18-20). מספר ימים מתוך מדגם של 53 יום עבור צירופים שונים של עומס חשמל ועוצמת רוח.

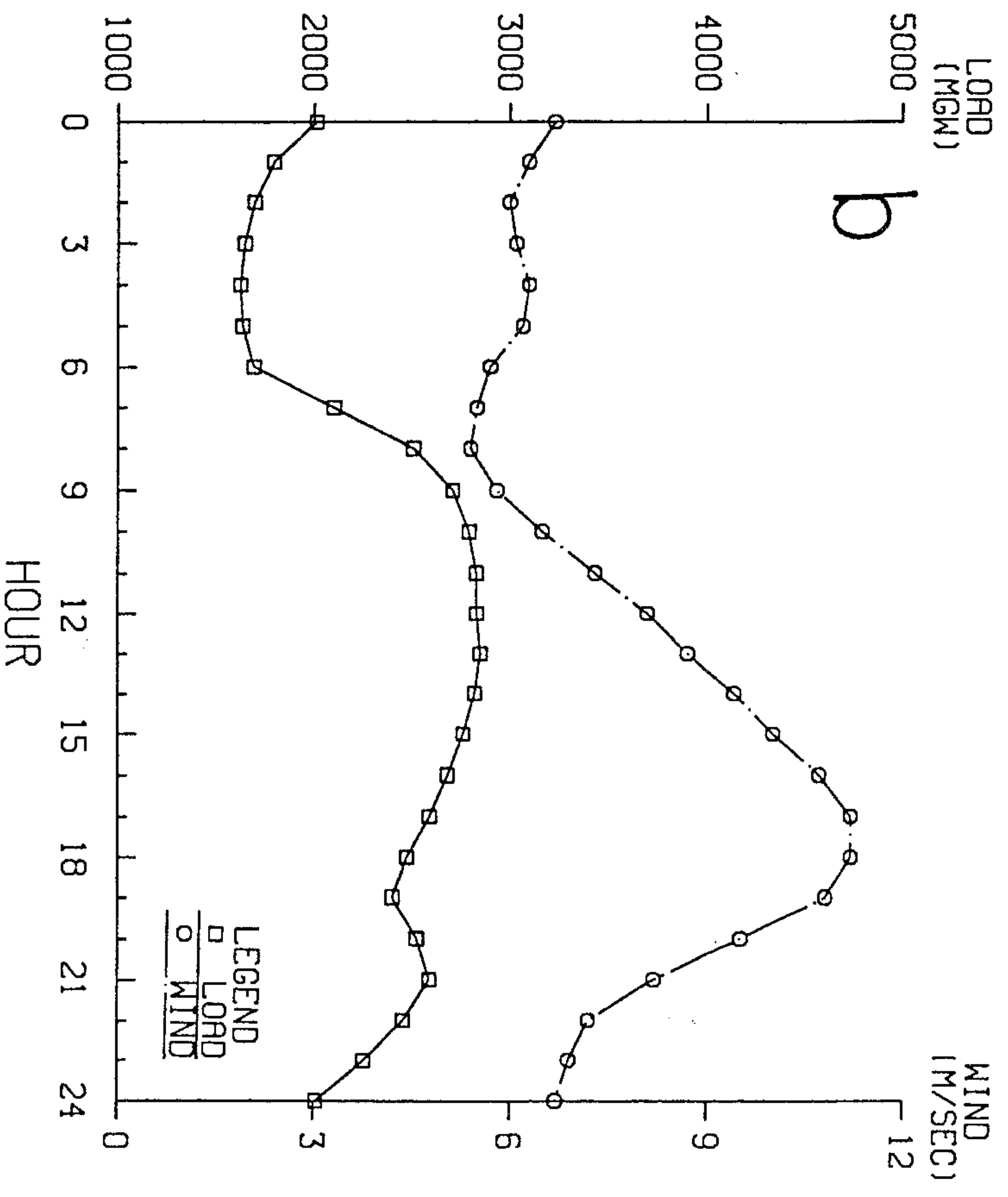
3051 -3300	2801 -3050	2551 -2800	2300 -2550	Lm U
1	5	3	4	5-1
5	8	9	1	9-5
2	3	3	1	13-9
1	1	3	3	17-13

טבלה 6: הקשר בין שיא עומס החשמל היומי Lm (מג"ו) ועוצמת הרוח U (מ"שני) בתל קטיף בשעות שיא העומס בקיץ 1988 (שעות 12-14). מספר ימים מתוך מדגם של 63 יום עבור צירופים שונים של עומס חשמל ועוצמת רוח.

3001 -3200	2801 -3000	2601 -2800	2400 -2600	Lm U
-	2	2	2	6-3
12	8	2	2	9-6
14	13	-	1	12-9
2	3	-	-	15-12



איור 28: ההשתנות היממיתית של עוצמת הרוח הממוצעת לעומת עומס החשמל הממוצע בחורף 1988.



איור 28ב: כמו איור 28 אך עבור קיץ 1988.

בדומה לחורף ביצענו בדיקת מיתאם בין העומס המקסימלי היומי לעוצמת הרוח בשעות המקסימום (שעות 12-14). המיתאם שנמצא 0.38 לפי 63 יום (טבלאות 3 ו-6). מיתאם נמוך זה מראה שקיים קשר חיובי חלש בין אנרגית הרוח לעומס החשמלי המקסימלי בקיץ. טבלה 6 מראה כי ברוב ימי הקיץ בשנת 1988 העומס החשמלי בשעות הצהריים הוא של 3000-3200 מג'יו כאשר עוצמת הרוח בתל קטיף היא 9-12 מ' לשני. איור b8 מראה את השתנות הרוח היממתית ברמת הגולן בקיץ לעומת העומס החשמלי, מתוכו נראה כי עוצמת הרוח מגיעה לשיא בשעות אחה"צ המאוחרות. התחזקות הרוח בשעות אלו מיוחסת לחדירת בריזת הים התיכון לרמת הגולן, וכתוצאה מכך מתקבל מקור לאנרגיה יציבה יחסית מדי יום. להתחזקות עוצמת הרוח ברמת הגולן מאחרת לפיכך לעומת שיא עומס החשמל הקורה בשעות הצהריים. מעניין לציין כי, מבחינת העיתוי, זמינות אנרגית הרוח בהרי הגליל תהיה כנראה טובה מאשר ברמת הגולן בקיץ, משום שחדירת הבריזה הים-תיכונית באזור זה מוקדמת ותואמת יותר לשעות מקסימום העומס. מאידך, נראה כי עוצמת הרוח בהרי הגליל הינה נמוכה מזו שברמת הגולן (ראה לדוגמא ממוצעים אקלימיים רב שנתיים, רוחות, 1956).

סיכום ומסקנות

1. רגישות שיא עומס החשמל היומי למשתנים מטאורולוגיים בחורף ובקיץ גבוהה. המיתאמים הטובים ביותר למשתנים מטאורולוגיים גבוהים מ-0.8 בחורף ומ-0.9 בקיץ.
2. ניתן לחזות את עומס החשמל המקסימלי בחורף (שהוא בשעות הערב) על פי טמפרטורת בית דגן בשעות הצהריים במיתאם של 0.85, עם שגיאת חיזוי ממוצעת של כ-4%. טמפרטורת הצהריים כפרדיקטור לשיא העומס בחורף טובה מטמפרטורת הערב.
3. ניתן להעריך בצורה טובה ביותר את שיא עומס החשמל היומי בקיץ על פי עומס החום החזוי במיתאם של 0.92-0.93 ושגיאת חיזוי ממוצעת של 1.5%-2%. טמפרטורת התרמומטר הלח בקיץ הינה פרדיקטור טוב יותר לעומס החשמל מאשר הטמפרטורה היבשה.
4. מבחינת העיתוי היומי ניצול אנרגית הרוח מוצע להיות טוב יותר כלכלית בקיץ מאשר בחורף. אנרגית רוח גבוהה בחורף מתקבלת באופן אקראי ולכן לא ניתן להשתמש באופן אפקטיבי בחוות רוח כתחליף ליחידת יצור חשמל בתנאי עומס גבוהים. מאידך, בקיץ, כמעט מדי יום קיימת בשעות אחר הצהריים רוח חזקה ויציבה, בעיקר כתוצאה מחדירת בריזת הים התיכון, המסוגלת לתרום ליצירת אנרגית חשמל בזמן הנדרש.

הבעת תודה

תודתנו נתונה למרכז גורדון ללימודי אנרגיה על תמיכתו ומימונו של מחקר זה. כמו כן אנו מודים ליעקב בלמור מחברת החשמל עבור נתוני צריכת החשמל של ישראל ועזרתו למחקר, לעידו הראל מחברת מי-גולן עבור נתוני הרוח מתל קטיף, ולשרות המטאורולוגי וביחוד לציפורה גת עבור הנתונים המטאורולוגיים.

אלפרט, פ.; זיק, ר.; גטניו, ב.; סתר, א. ודקר, ד. 1987 : חיזוי שדה הרוחות על פני הקרקע באמצעות מודל חד-
רמתי מלווה במיון מצבים סינופטיים בעונות הקיץ והחורף. אוניברסיטת תל אביב והשרות המטאורולוגי,
(דוח למשרד האנרגיה והתשתית), 59 עמ'.

ממוצעים אקלימיים רב-שנתיים, רוחות, 1956 : רשימות מטאורולוגיות, סידרה א', מס' 15, השרות
המטאורולוגי, 77 עמ'

סגל, מ.; אלפרט, פ. 1990 : צריכת החשמל בשעות השיא היומי בישראל ותלותה בתנאי מזג אויר לעומת אנרגיית
הרוח הזמינה - הערכה איכותית. מטאורולוגיה בישראל, 3-4/89: 29-40.

Segal, M. and Alpert, P. 1991. Scheme for evaluating usage of wind energy by electric utilities.
Applied Energy, 39: 235-240.

Segal, M.; Shafir, H.; Mandel, M.; Alpert, P. and Balmor, Y. 1992. Climatic related evaluations of the
summer peak hours electric load in Israel. *Journal of Applied Meteorology* (in press).