

מספר המחקר במשרד לאיכות הסביבה: 6-801

אוניברסיטת תל-אביב
המחלקה לגיאוגרפיה ולסביבת האדם

The relationships between the synoptic conditions and No_x pollution in the metropolitan area of Tel-Aviv

בחינת הקשר בין התנאים הסינופטיים ורמות זיהום אוויר
מתחמוצות חנקן באזור תל-אביב

דוח מסכם

מוגש ע"י

חוקר ראשי:

דר' הדס סערוני, המחלקה לגיאוגרפיה ולסביבת האדם אוניברסיטת תל אביב

חוקרים משניים:

ד"ר ברוך זיו, האוניברסיטה הפתוחה, רעננה
גב' טטיאנה אומן, המחלקה לגיאוגרפיה ולסביבת האדם אוניברסיטת תל אביב

מוגש למדען הראשי

המשרד לאיכות הסביבה

דצמבר 2007

תודות

תודה למרכז ניטור אוויר במשרד לאיכות הסביבה ובפרט לד"ר לבנה קורדובה על נתוני תחמוצות החנקן.
תודה לחברת החשמל, דר' שמואלי וד"ר אלמוג, על נתוני הרוח מן התחנה המטאורולוגית ברמת השרון.
תודה לאנשי מחלקת האקלים בשרות המטאורולוגי אשר סיפקו את נתוני הרדיוסונדה בבית דגן.

תוכן עניינים

5.....	תקציר בעיברית.....
6.....	תקציר באנגלית.....
8.....	רשימת טבלאות.....
8.....	רשימת איורים.....
10.....	רשימת נספחים.....
	1. מבוא
	1.1 רקע תיאורטי
11.....	1.1.1 תחמוצות חנקן, מקורות, פליטה וניטור.....
13.....	1.1.2 השפעות סביבתיות ובריאותיות של תחמוצות החנקן.....
	1.1.3 תנאים מטאורולוגיים לזיהום אוויר
14.....	1.1.3.1 השפעת מבנה ומאפייני שכבת הגבול האטמוספירית.....
14.....	1.1.3.2 השפעת יציבות אטמוספירית.....
16.....	1.1.4 סקירת המצבים הסינופטיים במזרח הים התיכון על פי המיון הסמי-אובייקטיבי.....
19.....	1.2 סקירת ספרות.....
21.....	1.3 מטרות המחקר.....
	2. מתודולוגיה
23.....	2.1 מרחב המחקר ועיתויו.....
24.....	2.2 בסיס הנתונים.....
25.....	2.3 שלבי עיבוד הנתונים.....
	3. תוצאות ודיון
	3.1 התפלגות כלל ערכי תחמוצות החנקן (NO_x ו- NO_2)
26.....	לפי ערך יומי מקסימאלי בתחנות השונות.....
	3.2 התפלגות ערכי הזיהום היומיים המקסימאליים
30.....	ב-'ימים חורגים' וימים 'חורגים קיצוניים'.....
30.....	3.2.1 חריגות מן התקן: התפלגותן העיתית, משכן ועוצמתן.....
34.....	3.2.2 התפלגות חודשית ובין שנתית של ימים חורגים וימים חורגים קיצוניים.....
	3.3 בחינת המצבים והטיפוסים הסינופטיים באירועי הזיהום
	3.3.1 ההתפלגות הסינופטית של ימים חורגים וימים חורגים קיצוניים
36.....	על פי 5 קבוצות המצבים הסינופטיים.....
	3.3.2 ההתפלגות הסינופטית של ימים חורגים וימים חורגים קיצוניים
39.....	על פי 19 הטיפוסים הסינופטיים.....
43.....	3.3.3 ניתוח הערכים המקסימאליים לפי קבוצות המצבים והטיפוסים הסינופטיים.....
44.....	3.3.4 התפלגות מספר החריגות לפי קבוצות המצבים והטיפוסים הסינופטיים.....
	3.3.5 בחינת הקשר בין מגמת השינוי הבין שנתית ברמת הזיהום לבין מגמת השינוי בשכיחות המצבים הסינופטיים
46.....	ובמשתנים אקלימיים נוספים.....
47.....	3.4 מאפייני שכבת הגבול, האינברסיה והרוח בימים חורגים וחורגים קיצוניים.....
48.....	3.4.1 מאפייני מפל הטמפרטורה (11 גמ"ט) בימים חורגים וחורגים קיצוניים.....
52.....	3.4.2 מאפייני האינברסיה הלילית (00 גמ"ט) בימים חורגים וחורגים קיצוניים.....
54.....	3.4.3 ניתוח היציבות באירועים ארוכים של זיהום.....

57	3.5 מאפייני הרוח בימים חורגים וחורגים קיצוניים
58	3.5.1 מאפייני הרוח בגובה 10 מטר
60	3.5.2 מאפייני הרוח בגובה 65 מטר
	3.6 ניתוח סינופטי של אירועים קיצוניים נבחרים
62	3.6.1 ניתוח יממות חורגות של זיהום
70	3.6.2 בחינת הזיהום בימי כיפור
72	4. סיכום ומסקנות
76	5. רשימת המקורות
81	6. נספחים

תקציר בעיברית:

המחקר בוחן את הקשר בין רמת הזיהום מתחמוצות חנקן בתל-אביב והתפלגותו במרחב העירוני לבין המצב הסינופטי, תוך התמקדות באירועים של חריגה מהתקן. נבחנה תרומתו של כל טיפוס סינופטי לפוטנציאל זיהום האוויר על מנת לשפר את חיזוי התנאים הפוטנציאליים לערכים גבוהים של זיהום ולהקדים ההתרעה בפניהם. המצב הסינופטי נקבע על בסיס המיון הסמי-אובייקטיבי עבור מזרח הים התיכון (Alpert *et al.* 2004) בו הוגדרו 19 טיפוסים המשתייכים לחמש קבוצות מצבים: אפיקי ים סוף (מוגדרים על פי מיקום ציר האפיק), אפיקים פרסיים (מוגדרים על פי עומק האפיק), רמות ברומטריות (מוגדרות על פי מיקומן ביחס לישראל), שקעים חורפיים (מוגדרים על פי עומקם ומיקומם ביחס לקפריסין) ושקעים שרביים (מוגדרים על פי מיקומם ביחס לישראל). נתוני תחמוצות החנקן הנם נתונים חצי שעתיים מ-7 תחנות ניטור באזור תל-אביב, ארבע תחנות תחבורתיות (הממוקמות בסמוך לצירי תחבורה מרכזיים) ושלוש תחנות כלליות (הממוקמות במרחק רב יותר מצירי תחבורה, במפלס הגאות), לתקופה של 7 שנים (1998-2004).

'יום חורג' הוגדר כיום בו זוהתה חריגה חצי שעתית אחת בערכי NO_x מן התקן הישראלי בתחנה אחת מ-7 התחנות לפחות, ו'יום חורג קיצוני' הוגדר כיום בו זוהתה חריגה חצי שעתית אחת לפחות בערכי NO_x , ב-5 מ-7 התחנות לפחות. 'ימים חורגים' היוו 19% מימי המחקר, ו'ימים חורגים קיצוניים' 3% מימי המחקר. מרבית הימים החורגים (85% מימים החורגים ו-89% מן הימים החורגים הקיצוניים) התקבלו בחודשי החורף נובמבר-מרס. עם זאת, % התצפיות החריגות, מכלל המדידות החצי שעתיות הוא נמוך יותר ומהווה 0.6% במוצע לכל התחנות ובתחנה בה מקסימום החריגות כ- 2%.

המצב הסינופטי הבולט ביותר בו מתרחשים אירועי הזיהום בתל אביב הוא אפיק ים סוף שהינו מערכת ציקלונית. יותר ממחצית הימים החורגים היו תחת מצב זה למרות שהשכיחות הממוצעת של המצב לכל תקופת המחקר הייתה 25%. בנוסף, בימים חורגים תחת מצב זה התקבלו ערכי הזיהום הגבוהים ביותר. אחריו נמצאות הרמות ברומטריות, על אף ששכיחותן הכללית גבוהה מזו של אפיק ים סוף (28%). ממצאים אלה מנוגדים לממצאים ממקומות אחרים בעולם המצביעים על כך שהרמות הברומטריות הן השכיחות יותר באירועי הזיהום (Niemeyer 1960, Yu and Pielke 1986, Bower *et al.* 1994, Chung *et al.* 1999, Shahgedanova *et al.* 1998, Greene *et al.* 1999, Sanchez and Andrade 2002, Kassomenos *et al.* 2003, Makra *et al.* 2004). ההסבר לשכיחות הגבוהה של ימי הזיהום תחת מצב ציקלוני ולא רמה ברומטרית נעוץ בתנאים המקומיים המתפתחים במישור החוף תחת השפעת אפיק ים סוף. לרוב, מלווה אפיק זה ברכס רום המגביר את היציבות עקב התמוככות ברום כך ששכבת העירוב דקה יחסית עובדה המגבירה את פוטנציאל הזיהום. בשכבות הנמוכות שליט גרדיאנט דרומי-מזרחי אשר בשעות הצהריים ואחה"צ מנוגד לבריזה הימית המצליחה לרוב לכטל את הזרימה הסינופטית המנוגדת בכיוונה ויוצרת 'צירקולציה חוזרת'. התוצר הוא החלשות הרוחות והתגברות פוטנציאל הזיהום.

תקציר באנגלית:

The objective of this study was to evaluate the role of the synoptic conditions on NO_x concentration in the metropolitan area of Tel-Aviv. This was done using the semi-objective classification by Alpert *et al* (2004), defined 19 synoptic types for the East Mediterranean. The 19 types belong to 5 main synoptic systems: Highs, Persian Troughs, Red Sea Troughs, Lows and Sharav Lows. The data base is 30 minutes NO_x and NO₂ measurements, taken from 7 monitoring stations, for the years 1998-2004. Four stations are located near the main roads and the other three - at some distance on buildings roofs. Because high correlation was found between NO_x and NO₂, and because there is no specific standard in Israel for NO₂, the study focused only on NO_x data. The Israeli standard for NO_x is 500 ppb (for 30 min average). According to this standard we defined an “**exceeding day**”: a day in which at least 1 station recorded, at least once, NO_x concentration above the standard, and an ‘**extensive exceeding day**’: a day in which at least 5 of 7 stations recorded concentration above the standard.

It was found that the monitoring stations located near main roads recorded on average twice the NO_x concentrations measured in stations in a distance from the roads, thus pointing on the influence of the distance from the pollution source on the measured concentrations. There are two hourly picks in exceeding pollution events: first at 7:00 a.m. and second at 7:30 p.m., due to combination between the hours of atmospheric stability and the hours of dense traffic. 19% of the days were found as ‘exceeding days’ and 3% of the days were ‘extensive exceeding days’, although only 0.6% (on average) of the total 30 minutes observations were exceeding. The winter months (Nov-Mar) impart the majority of exceeding days (85%) and the extensive exceeding days (89%). The summer is "clean". The synoptic system that was found to have highest potential for NO_x pollution is a low pressure trough extending from south, known as the Red Sea Trough; its partial contribution to the total number of NO_x pollution events was 51%, while their average occurrence is only 25%. In contrast to expectations, and to the findings in other places in the world (Niemeyer 1960, Yu and Pielke 1986, Bower *et al.* 1994, Chung *et al.* 1999, Shahgedanova *et al.* 1998, Greene *et al.* 1999, Sanchez and Andrade 2002, Kassomenos *et al.* 2003, Makra *et al.* 2004) the partial contribution of high pressure types to the total number of pollution events

was found only 35%, while their average occurrence is higher than of RST- 28%. This is due to the combination between synoptic and mesometeorological conditions at which the RST accompanied by ridge in the higher atmosphere creates the 'ideal' conditions for high pollution. 'Pollution potential' was defined as % exceeding days of the total number of days belonging to each synoptic group or type. Among the 19 types, the type having the highest pollution potential is Red Sea Trough with western axis. This trough induces easterly, offshore, winds and has an 82% probability for NO_x concentration above 500 ppb. Four out of the 6 synoptic types that were found to have the highest potential for NO_x pollution, were cyclonic. 4 types with the highest potential, RST western axis, High from east, RST central axis and High from north, associated with easterly offshore weak flow. Meteorologically, exceeding days were found to be characterized by, high atmospheric stability: night ground inversion and day high inversion (without obvious trend in strength and thickness) and by weak easterly offshore flow (average wind speed in exceeding days is weaker than average wind speed during Nov-Mar months, but the difference between them [avg. 0.4 m/sec] isn't obvious). The pollution potential of winter cyclones (winter lows) is low, but still 10% of the exceeding days were defined by the classification as 'low days'. 76% of exceeding days under winter lows is atmospherically stable, which points to the fact that the definition of synoptic type is sometimes done when Israel is in front of the low system and conditions that encourage high pollution can still occur due to air sinking in the higher atmosphere. Studying the Inter-annual variations of exceeding days revealed an improving trend (~8 day less in a year). The apparent decrease in exceeding days from 1998 to 2004 reflects actually the decrease in synoptic types having high pollution potential: RST+ Highs. The improvement can be also an outcome of better regulations but the influence of variations in the synoptic conditions is obvious.

מלות מפתח: תנאים סינופטיים, רמות זיהום אוויר, תחמוצות חנקן

רשימת טבלאות

- טבלה מס' 1: קטגוריות היציבות על פי Pasquill & Smith (1983)
- טבלה מס' 2: אי היציבות לפי הקטגוריות של Pasquill & Smith (1983)
כפונקציה של הרוח, השמש והעננות
- טבלה מס' 3: חמש קבוצות המצבים הסינופטיים (פירוט הטיפוסים בכל קבוצה)
- טבלה מס' 4: תחנות הניטור שנלקחו למחקר (קורדובה-ביז'ונר, 2001)
- טבלה מס' 5: זמינות נתוני תחמוצות החנקן ב-7 תחנות הניטור
- טבלה מס' 6: ערכי NO_x ו- NO_2 שכיח וקיצוני לתחנות התברותיות (2004-1998)
- טבלה מס' 7: ערכי NO_x ו- NO_2 שכיח וקיצוני לתחנות כלליות (2004-1998)
- טבלה מס' 8: קורלציות בין ערכי NO_x ו- NO_2 (כל המתאמות מובהקים ב-99%)
- טבלה מס' 9: הריכוז המרבי של NO_x , מס' ימים חורגים, סך מספר החריגות ומשך מקסימאלי של חריגה בתחנות התברותיות, בכל שנה משנות המחקר
- טבלה מס' 10: הריכוז המרבי של NO_x , מס' ימים חורגים, סך מספר החריגות ומשך מקסימאלי של חריגה בתחנות הכלליות, בכל שנה משנות המחקר
- טבלה מס' 11: מספר ימים חורגים וחורגים קיצוניים לפי קבוצה סינופטית
- טבלה מס' 12: מספר חריגות חצי שעתיות בתחנות הכלליות ובתחנות התברותיות כפונקציה של מצב סינופטי
- טבלה מס' 13: התפלגות מס' הימים החורגים והחורגים קיצוניים לפי פרמטר יציבות (מספר ושיעור ב-%) כפונקציה של מצב סינופטי
- טבלה מס' 14: התפלגות מס' הימים החורגים והחורגים קיצוניים לפי פרמטר יציבות (מספר ושיעור ב-%) כפונקציה של טיפוס סינופטי
- טבלה מס' 15: 7 ימים חורגים קיצוניים: ערך המקסימום המוחלט של NO_x , הטיפוס הסינופטי, מהירות הרוח היומית הממוצעת, רכיב U ורכיב V יומי ממוצע בגובה 10 מ'
- טבלה מס' 16: ערכים מקסימאליים יומיים בחל"ב של NO_x ב-7 התחנות בכל אחת מיממות הכיפור והטיפוס הסינופטי, בשנים 2004-1998

רשימת איורים

- איור מס' 1: מרחב גוש דן ומיקום תחנות הניטור
- איור מס' 2: המרחב ומיקום נקודות השריג מהן נלקחו הנתונים הסינופטיים לבניית המיון הסינופטי
- איור מס' 3: ערכי NO_x ב-7 תחנות המחקר
- איור מס' 4: ערכי NO_2 בתחנות המחקר
- איור מס' 5: % התצפיות החורגות מכלל התצפיות בתחנות השונות בהשוואה למוצע לכלל התחנות, לתחנות התברותיות ולתחנות הכלליות
- איור מס' 6: התפלגות שעתית של החריגות (ב-%) מכלל היממה ב-4 תחנות תברותיות ותחנה כללית חולון (2004-1998)
- איור מס' 7: רציפות ימים עם חריגות מן התקן ב-7 תחנות המחקר
- איור מס' 8: התפלגות בין שנתית של ימים חורגים וחורגים קיצוניים באחוזים (% הימים בכל שנה)
- איור מס' 9: התפלגות בין חודשית של ימים חורגים וחורגים קיצוניים באחוזים (% הימים החורגים והחורגים קיצוניים מכלל ימי החודש)

- איור מס' 10: התפלגות שבועית של ימים חורגים וחורגים קיצוניים (% ימים חורגים וחורגים קיצוניים בפונקציה של יום בשבוע)
- איור מס' 11: התפלגות 5 קבוצות המצבים סינופטיים לכל תקופת המחקר (2557 ימים) באחוזים
- איור מס' 12: התפלגות הימים החורגים (א) והחורגים קיצוניים (ב) ב- 5 קבוצות המצבים סינופטיים באחוזים
- איור מס' 13: אחוז הימים החורגים והחורגים קיצוניים מכלל הימים של המצב הסינופטי בכל אחד מן המצבים הסינופטיים (= פוטנציאל הזיהום)
- איור מס' 14: התפלגות הימים החורגים (א) והחורגים קיצוניים (ב) ב- 19 הטיפוסים הסינופטיים באחוזים
- איור מס' 15: אחוז ומספר הימים החורגים מתוך סך הימים של הטיפוס בכלל ימי המחקר, לכל אחד מ-19 הטיפוסים הסינופטיים ומספר הימים החורגים לכל טיפוס סינופטי (=פוטנציאל הזיהום של כל טיפוס)
- איור מס' 16: אחוז ומספר הימים החורגים קיצוניים מתוך סך הימים החורגים, לכל אחד מ-19 הטיפוסים הסינופטיים ומספר הימים החורגים קיצוניים לכל טיפוס סינופטי (=פוטנציאל הזיהום הקיצוני של כל טיפוס)
- איור מס' 17: הערך הקיצוני המוחלט בכל אחד מ-49 ימים חורגים שאופיינו באחד מטיפוסי השקע החורפי (העמודות האדומות מציינות ימים בהם ביום קודם גם כן היה שקע קפריסאי)
- איור מס' 18: ערכי המקסימום המוחלט הקיצוני של NO_x ומיצוע המקסימום המוחלט כפונקציה של המצב הסינופטי (טבלה מסכמת של ערכים אלה מוצגת בנספחים)
- איור מס' 19: ערכי המקסימום המוחלט הקיצוני של NO_x ומיצוע המקסימום המוחלט כפונקציה של הטיפוס הסינופטי (טבלה מסכמת של ערכים אלה מוצגת בנספחים)
- איור מס' 20: שיעור ממוצע באחוזים של מספר החריגות ל-4 התחנות התחבורתיות מול ממוצע 2 תחנות כלליות כפונקציה של המצב הסינופטי
- איור מס' 21: שיעור ממוצע באחוזים של מספר החריגות ל-4 התחנות התחבורתיות מול ממוצע 2 תחנות כלליות כפונקציה של הטיפוס הסינופטי
- איור מס' 22: הקשר בין מגמת השינוי הבין שנתית במספר הימים החורגים לבין מגמת השינוי בשכיחות מספר ימי אפיקי ים סוף + רמות, ושקעים
- איור מס' 23: התפלגות האינברסיה גובה בסיס במטרים מהקרקע ועובי במטרים ב-314 ימים חורגים
- איור מס' 24: התפלגות האינברסיה גובה בסיס במטרים מהקרקע ועובי במטרים ב-55 ימים חורגים קיצוניים
- איור מס' 25: התפלגות האינברסיה: עובי במטרים ועוצמה במעלות צלזיוס ב-458 ימים חורגים (א' ו-ג') ו-66 ימים חורגים קיצוניים (ב' ו-ד')
- איור מס' 26: 4 אירועים נבחרים: תאריך, טיפוס סינופטי, התפלגות האינברסיה גובה בסיס במטרים מהקרקע ועובי במטרים בכל אחד מן הימים ברצף
- איור מס' 27: ממוצע מהירות הרוח, רכיב U, רכיב V ומהירות +סטיית תקן אחת בימים חורגים בממוצע שעתי לנוב-מרס, לימים החורגים ולימים החורגים הקיצוניים (גובה 10 מ')
- איור מס' 28: ממוצע מהירות הרוח, רכיב U, רכיב V ומהירות +סטיית תקן אחת בימים חורגים בממוצע שעתי לנוב-מרס, לימים החורגים ולימים החורגים הקיצוניים (גובה 65 מ')
- איור מס' 29: הדגמת 7 יממות קיצוניות נבחרות: 1. מפות לחץ יומיות בגובה פני הים 2. מהלך מהירות הרוח השעתית לאורך היממה בגובה 10 מ' 3. מהלך שעתי של רכיב U ורכיב V בגובה 10 מ' לאורך היממה
- איור מס' 30: ערכים מקסימאליים יומיים בחל"ב של NO_x בתחנת טיפת חלב בכל אחת מיממות הכיפור במהלך תקופת המחקר

רשימת נספחים

- i. טבלת ערכים מסכמת לאיור מס' 18
- ii. טבלת ערכים מסכמת לאיור מס' 19
- iii. טבלת ערכים לאיור מס' 27
- iv. טבלת ערכים לאיור מס' 28
- v. טבלת 21 אירועים עם רצף של מעל 4 ימים חורגים- מצב סינופטי ומאפייני האינברסיה בכל אחד מן הימים (פרק 3.4.3)

1. מבוא

1.1. רקע תיאורטי

1.1.1 תחמוצות חנקן, מקורות, פליטה וניטור

תחמוצות החנקן [NO_x] מופיעות באטמוספירה בעיקר בצורה של חנקן חד חמצני- NO , ודו תחמוצת החנקן- NO_2 . שתי תחמוצות חנקן גזיות אלה הן מזהמים משמעותיים של האטמוספירה התחתונה. בנוסף, תחמוצת חנקן N_2O היא גז החממה (World Bank Group, 1998).

דו תחמוצת החנקן (NO_2) נוצרת ברובה לא מפליטה ישירה, אלא כתוצאה מתגובה פוטוכימית בין חנקן חד חמצני עם אוזון באטמוספירה $\{\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2\}$ (Chen et al, 2002). בעונה החמה אחוז החנקן הדו חמצני מתוך כלל תחמוצות החנקן גבוה יותר מאשר בעונה הקרה, מהסיבה שבעונה החמה קרינת השמש המספקת את האנרגיה ליצירה הפוטוכימית של NO_2 גבוהה יותר (וגנר, 1999, 2000, קורדובה-ביז'ונר, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005). חלק מזו תחמוצת החנקן הופך באטמוספירה לחומצה חנקנית- HNO_3 ולמלחי אמוניה (World Bank Group, 1998).

רק כ-10% מתוך כלל פליטה של תחמוצות חנקן בעולם היא ממקורות אנתרופוגניים. היתר נוצר באופן טבעי בתהליך ביולוגי בקרקע ובמים, על ידי ברקים ופעילות געשית ועל ידי הרס פוטוכימי של תרכובות תחמוצת החנקן באטמוספירה העליונה (World Bank Group, 1998).

המקורות האנתרופוגניים העיקריים של תחמוצות חנקן הם כלי רכב ממונעים, מכשירי חשמל ומקורות תעשייתיים, מסחריים וביתיים אחרים אשר שורפים דלקים (US EPA, 1998). מקורות אנתרופוגניים אחרים הם דודים תעשייתיים, הפקה של חומצות חנקן וכימיקלים חנקניים אחרים, שימוש בחומרי נפץ בכרייה ובקרקע חקלאית וכ"ו (World Bank Group, 1998).

כלית, בעולם, בעיקר באזורים עירוניים ומתועשים, הפליטה של תחמוצות חנקן הולכת וגדלה. מאז 1970 פליטה של תחמוצות חנקן בעולם גדלה ב-10% (US EPA, 1998).

מאחר שפליטה מכלי רכב מתרחשת בגובה פני הקרקע, תרומתה לזיהום אוויר בעייתית יותר מזו של מקורות נקודתיים, זאת כי תחום ההשפעה המרחבי של מקורות נמוכים, כמו פליטות מתנועת כלי רכב, מוגבל יותר מאשר עבור מקורות נקודתיים גבוהים, כמו ארובות תחנות כוח, שעבורם כולל אגן האוויר את שכבת הגבול בתחום של עשרות ק"מ בודדים מהמקור (סתר ולונקה, 1999).

אף שכלי רכב צורכים רק 20% מכלל צריכת האנרגיה בישראל, הם תורמים ישירות ליותר מ-90% מן הפחמן החד-חמצני, אחוז ניכר של תחמוצות החנקן, חלקיקים ותחמוצות פחמן אחרות. מספר הרכבים הממונעים בישראל מטפס בקביעות והגיע ל-1.8 מיליון רכבים בשנת 2000 בהשוואה לקרוב למיליון רכבים ב-1990 (Israel Ministry of the Environment [IMoE], 2002). סטטיסטית, ישראל נמצאת בין המקומות הראשונים בצפיפות מכוניות לכביש, בעולם. בזמן שמספר המכוניות בעשור האחרון גדל ב-80%, אורך הכבישים גדל ב-22%. קצב מנוע הנוכחי עומד על 215 מכוניות פרטיות ל-1000 איש, זה נמוך יחסית בהשוואה לאירופה וארה"ב, אבל קצב זה הכפיל את עצמו מאז 1980 וצפוי להגיע ל-340 עד 2020. גידול באכלוסיה יחד עם גידול במספר המכוניות הפרטיות עלול לגרום להחמרת

העומס בכבישים וזיהום האוויר (Israel Ministry of the Environment [IMoE], 2002). עם זאת, שיפור באיכות הדלק ומדיניות מחמירה יותר בתחבורה יכולות להקטין את רמות זיהום (Boubel *et al*, 1994).

השימוש במתקנים שמטרתם טיפול במזהמים הנפלטים מהמנוע נעשה נפוץ. ערים רבות בעולם (לונדון, ערים רבות בשבדיה, דנמרק, פינלנד וקליפורניה) עברו לסולר בעל תכונות משופרות (מושל, 2001). גם בישראל נעשים מאמצים לשפר את איכות הדלק ולייעל את מערך האכיפה. כך למשל בשנת 2000 עברו קואופרטיבים לתחבורה "דן" ו"אגד" בכמה מן הערים הגדולות, ל"דיזל עירוני" שהוא בעל תכולה נמוכה של דיזל [0.015%]. השינוי גורם להפחתת פליטתם של תחמוצות גופרית, תחמוצות חנקן וחלקיקים (Israel Ministry of the Environment [IMoE], 2002).

ריכוז תחמוצות החנקן הנמדד במרכזים עירוניים משתנה בהתאם לשעת היממה, העונה והתנאים המטאורולוגיים. באופן כללי הריכוזים גבוהים יותר בשעות שיא התנועה: בבוקר ובשעות אחר הצהריים המאוחרות בהן גם היציבות האטמוספרית עדיין גבוהה יחסית. הריכוזים בעונת החורף גבוהים יותר מאשר בעונות אחרות באזורים הקרים של העולם, בגלל השימוש הרב במכשירים לחימום (World Bank Group, 1998).

תקני איכות האוויר בישראל מחולקים לשני סוגים:

א. תקן פליטה- הוא תקן אשר קובע הגבלה לכמות או ריכוז החומרים המזהמים בגזים הנפלטים ממקורות פליטה כגון ארובות, מתקני אוורור של מפעלים ומפלטי כלי רכב (וגנר, 1998). התקן הישראלי לפליטה מכלי רכב מוגבל לפחמן חד-חמצני בלבד. בדיקות נקודתיות הנעשות על ידי תחנות ניטור תנועתיות של המשרד לאיכות הסביבה, גילו ש-40-20 אחוז של מכוניות בכבישים הצפופים לא תואמות את תקני הפליטה (Israel Ministry of the Environment [IMoE], 2002).

ב. תקן סביבה- הוא תקן שמגדיר את ריכוז המזהם המותר באוויר הפתוח ללא התייחסות לגורם מזהם ספציפי. התקן נקבע בעזרת המלצות רפואיות מארגונים כגון ארגון הבריאות העולמי (WHO) ומטרתו לקבוע את הסף של ריכוז המזהם אשר ימנע ככל האפשר השפעות על בריאות הציבור בכלל, ועל אוכלוסיות רגישות בפרט. כל מדינה מגדירה את התקנים הסביבתיים שלה למזוהמי אוויר. חומרת התקן קשורה בדרך כלל למידת הפיתוח של המדינה. מדינות מפותחות יותר נוטות לתקן תקנים מחמירים יותר, בין השאר כיוון שעומדים לרשותן המשאבים הטכנולוגיים והכלכליים על מנת להגביל את הפליטה של מזוהמי אוויר ולפקח עליה. הבדלים בתקנים יכולים גם לנבוע מהתנאים הגיאוגרפיים והמטאורולוגיים השונים מארץ לארץ (וגנר, 1998).

ניטור המזהם באוויר נעשה בצורה רציפה כשהנתונים מתקבלים כל כמה שניות. כדי לראות את ריכוז המזהם בזמן מסוים ובאזור מסוים בהשוואה לתקן, מחשבים ממוצע של כל הנתונים שהתקבלו לפרק הזמן המוגדר בתקן. ההיגיון העומד מאחורי שיטה זו הוא ככל שזמן חשיפה למזהם האוויר ארוך יותר הנזק הבריאותי שהוא גורם גדול יותר, ולכן כאשר קובעים ריכוז תקן יש להגדיר עבורו את פרק הזמן. תקני סביבה בישראל לכלל תחמוצות החנקן עומדים על 940 מיקרוגרם למטר מעוקב של אוויר (שהם 500

חלקיקים (בליליון) בערך חצי שעות, ו-560 מיקרוגרם למטר מעוקב (300 חל"ב) של אוויר בערך היממתי (וגנר, 1998).

1.1.2 השפעות סביבתיות ובריאותיות של תחמוצות החנקן:

ריכוזי תחמוצות החנקן קטנים ככל שהאוויר המזוהם מתרחק ממקור הפליטה (World Bank Group, 1998). עם זאת, תחמוצות חנקן ומזהמים הנוצרים מהן יכולים להיות מוסעים למרחקים ארוכים בהתאם לכיוון הרוח. משמעות הדבר היא שבעיות הקשורות לתחמוצות חנקן אינן מוגבלות רק לאזורי הפליטה שלהן, ותחום השפעתן רחב (US EPA, 1998).

המזהם המזיק ביותר לבריאות הוא החנקן הדו חמצני. מחקרים רבים מראים שחשיפה ארוכת טווח לחנקן דו חמצני מגבירה את הסיכון לחלות במחלות מערכת הנשימה, עקב היחלשות מערכת ההגנה של דרכי הנשימה כנגד זיהומים נשימתיים חידקים ונגיפים, בעיקר בקרב אוכלוסיות הנמצאות בסיכון [ילדים, קשישים, חולים אסטמטיים וכ"ד] (וגנר, 1999, 2000, קורדובה-ביז'ונר, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005). בשני מחקרים, חשיפה קצרת טווח (30-110 דקות) לריכוזים של דו תחמוצת החנקן של ppm 0.3 השפיעה על תפקוד הריאות של חולי אסטמה. אחד מן המחקרים הראה שדו תחמוצת החנקן יכולה לגרום אצל חולי אסטמה להעלאת רגישות של דרכי הנשימה לאוויר הקר (WHO, 2000).

ממחקרים על בעלי חיים נמצא שחשיפה ארוכת טווח (מספר שבועות עד חודשים) לריכוזים של דו תחמוצת החנקן מתחת ל-1 ppm גורמים להשפעה בלתי הפיכה על רקמת הריאה ולשינויים ביולוגיים. בעלי חיים שנחשפו לריכוזי דו תחמוצת החנקן של 0.5 ppm במשך 6 חודשים סבלו מהרס רקמות מערכת הנשימה, החמרה בבעיות במערכת הנשימה ולרגישות מוגברת לזיהומים בקטריאליים של הריאות. התוצאות מצביעות על כך שהשפעה פיסיולוגית של תחמוצות החנקן על בני-אדם ובעלי חיים נובעת יותר מחשיפה קצרת טווח לריכוזים גבוהים מאשר לחשיפה ארוכת טווח, על אף שאורך טווח החשיפה עדיין בעל חשיבות (WHO, 2000).

מבחינה סביבתית, דו תחמוצת החנקן בתגובה עם מוצרי טקסטיל יכול לגרום לדהייה או הצהבה של בדים, וגם לפגוע בחוזקם (World Bank Group, 1998).

תחמוצות חנקן יחד עם גופרית דו חמצנית הם הגורמים הראשוניים ליצירת הגשם החומצי (World Bank Group, 1998). הגשם החומצי גורם לנזק לצמחייה וקרקע, לחומרים שונים ולבריאות האדם (US EPA, 1998). הנזק הגדול ביותר של הגשם החומצי הוא לאגמי מים מתוקים ומערכות אקולוגיות ימיות. זאת על ידי הנמכת רמת ה-pH של המים, מה שפוגע בדגה, בבע"ח וצמחייה (World Bank Group, 1998).

אינטראקציה בין תחמוצות חנקן, תרכובות אורגניות נדיפות, פחמן חד חמצני ומולקולות חמצן בנוכחות קרינת השמש הן הגורם העיקרי ליצרה של המזהם (השניוני) האוזון הטרופוספרי - O₃, אשר יחד עם תחמוצות החנקן ותחמוצות פוטוכימיות גורמים ליצירת הסמוג הפוטוכימי (World Bank Group, 1998). האוזון הטרופוספרי גורם לפגיעה בצמחייה ובריאות האדם [על ידי פגיעה במערכת הנשימה] (דיין ולוי, 2002).

בנוסף, תחמוצות חנקן תורמות להיווצרותם של חלקיקים אטמוספריים הגורמים לבעיות ראות, הן גם מגיבות ויוצרות כימיקלים רעילים (US EPA, 1998).

1.1.3.1 תנאים מטאורולוגיים לזיהום אוויר

1.1.3.1.1 השפעת מבנה ומאפייני שכבת הגבול האטמוספרית:

ריכוז מזהמים באטמוספירה מושפע מן התנועה באטמוספירה (הרוח) וממידת המיחול בתוך שכבת הגבול האטמוספרית, אשר מושפעת מכוח החיכוך עם הקרקע, וממאפייניה התרמיים: החימום הקונבקטיבי של הקרקע במהלך היום וקירורה הקרינתית במהלך הלילה (Dayan & Rodnizki, 1999). שכבת הגבול מתחלקת לשתי תת שכבות: שכבת הקרקע הדיאבטית, הרדודה והרגישה, ושכבת הגבול הקונבקטיבית. מעל שכבת הגבול נמצאת שכבת הערבול ומעליה שכבת הקונבקציה החופשית (Dayan & Rodnizki, 1999). שלוש אלה מרכיבות את הטרופוספירה, והתנאים בהן יקבעו את פוטנציאל פיזור המזהמים.

הטרופוספירה מצטיינת בערבול אנכי חזק יחסית, והטמפרטורה בה יורדת בממוצע עם הגובה, בשיעור של 6.5 מעלות לק"מ (זיו ב' ויאיר י', 1993). עם זאת, השונות הבין שעתית, בין יומית ובין עונתית היא גבוהה, ומכאן שתנאים לפיזור מזהמים משתנים מאד (Boubel *et al*, 1994). עומק שכבת הגבול עולה בתנאים של אי יציבות קונבקטיבית הודות לגראדיינטים אנכיים בטמפרטורה ככל שגדלה היציבות האטמוספרית עומק שכבת הגבול קטן (Olague *et al*, 2003).

משתנה חשוב נוסף המשפיע על פיזור מזהמים הוא כיוון ומהירות הרוח (Incecik, 1996). אירועי זיהום אוויר ופוטנציאל זיהום אוויר מתקשרים בדרך כלל לתנאים של מהירות רוח נמוכה ושכבת גבול רדודה (Sahin *et al*, 2001), הנוצרת כתוצאה מיציבות אטמוספרית, עליה אפרט בסעיף הבא. כמובן שגם לכיוון הרוח חשיבות בקבעו את האזור שיושפע מן הזיהום (גנור וחוב', 1996).

1.1.3.2 השפעת יציבות אטמוספרית:

לואיס ריצ'רדסון (Richardson, 1926) היה החוקר הראשון שציין כי תנועה אטמוספרית מתרחשת על מגוון רחב של סקאלות אופקיות, מאלפי קילומטרים עד מילימטרים. סקאלת התנועה הרחבה ביותר נגרמת מתהליכים תרמיים והבדלי לחץ סביב הגלובוס, הנוצרים בעקבות תנועה של כדור הארץ. אדמה ואוקיינוסים מוסיפים לזרימה הראשונית ויוצרים צירקולציות משניות. טפוגראפיה מקומית מוסיפה לכך צירקולציות שלישוניות וכך הלאה. מתקיים בעצם תהליך בו תנועה בסקאלה גדולה יותר מעודדת תנועה בסקאלה קטנה יותר וכך הלאה עד לתנועה בסקאלה מולקולארית. בהתבסס על תיאוריה זו הוגדרו על ידיו 4 סקאלות של תנועה אטמוספרית (מגדול לקטן): סקאלה פלנטארית (גדול מ-1500 ק"מ), סקאלה גדולה (מ-200 עד 1500 ק"מ), סקאלה מזו-מטאורולוגית (מ-2 עד 200 ק"מ) וסקאלה קטנה (עד 2 ק"מ). תנועה ומיחול אטמוספרי של מזהמים מתנהג בהתאם לקלסיפיקציה זו. מזהמים ממקורות מקומיים\עירוניים (מפעלי תעשייה מבודדים, מכוניות וכ"ו) נמהלים במהירות על ידי תנועות בסקאלה קטנה. מזהמים הנפלטים מאזורי תעשייה גדולים או שריפות יער הם בריכוז גבוה יותר ונמהלים בסקאלה

קטנה ומזו-מטאורולוגית. מזהמים ממקורות בעלי עוצמה גבוהה (פיצוץ מפעל גרעיני, שריפות בבארות נפט וכ"ו) הם בריכוז גבוה מאד ונשארים באטמוספירה לטווח זמן ארוך מאד (Sorbjan, 2003). יציבות האוויר היא פרמטר מרכזי הקובע את פוטנציאל זיהום האוויר באטמוספירה התחתונה. היציבות במטאורולוגיה מתייחסת לפוטנציאל תנועתו האנכית של האוויר. אם בשכבה מסוימת קיימת הגבלה על תנועות אנכיות וכל הפרעה מדוכאת ומוחזרת למצבה ההתחלתי השכבה נקראת יציבה. אם בשכבה מסוימת תנועה אנכית של אוויר אינה נבלמת ואף מואצת אז השכבה היא בלתי יציבה (זיו ב' ויאיר י', 1993).

יציבות שכבה אטמוספרית תלויה בקצב השתנות טמפרטורה עם הגובה בשכבה זו. קצב בו מתקרר האוויר עם הגובה ללא חילופי לחות עם סביבתו נקרא המפל האדיאבטי היבש וערכו כ-9.8 מעלות לקילומטר. מצב אטמוספרי בו הטמפ' יורדת בקצב איטי יותר מהמפל האדיאבטי הוא מצב יציב. כשאטמוספירה יציבה הערבוב האנכי של האוויר הוא מוגבל ביותר. מצב אטמוספרי בו הטמפ' יורדת בקצב מהיר יותר מהמפל האדיאבטי הוא מצב בלתי יציב, והוא מעודד תנועות אנכיות של חבילת אוויר מפני הקרקע למעלה (זיו ב' ויאיר י', 1993). ברגע שהלחות היחסית באוויר מגיעה ל-100% והאוויר רווי, קצב שינוי הטמפרטורה של חבילת האוויר יהיה נתון על ידי המפל האדיאבטי הלה שערכו כ-6 מעלות לק"מ. אוויר רווי הוא בלתי יציב כשמפל טמפ' באטמוספירה גדול יותר מהמפל האדיאבטי הלה, והוא יציב כשמפל טמפ' קטן יותר מהמפל האדיאבטי הלה (זיו ב' ויאיר י', 1993).

שיטה להגדרת מידת היציבות הוצעה על ידי פסקויל ב-1961 (Sorbjan, 2003). שיטה זו מחלקת את מידת העירבוליות לשש קטגוריות של יציבות [טבלה 1] כשהגורמים המשפיעים עלייה הם: עוצמת הרוח כפי שהיא נמדדת בגובה 10 מטר מעל פני הקרקע, עוצמת הקרינה השמשית (ביום) וכסות העננים (בלילה). ככל שהרוח חלשה יותר, קרינת השמש מעטה יותר ושיעור כיסוי העננים נמוך יותר מתפתחים תנאי יציבות גבוהים יותר [ראה טבלה מס' 2], וככל שהיציבות גבוהה יותר, פוטנציאל ריכוזי הזיהום גבוה יותר (Pasquill & Smith, 1983).

טבלה מס' 1: קטגוריות היציבות על פי Pasquill & Smith (1983).

(web.mscc.huji.ac.il/synlab/Glossary/Glossary.htm)

A	אטמוספירה מאוד לא יציבה
B	אטמוספירה לא יציבה
C	אטמוספירה מעט לא יציבה
D	אטמוספירה ניטרלית
E	אטמוספירה מעט יציבה
F	אטמוספירה יציבה

חישוב קטגוריות מצבי אי היציבות האטמוספרית נעשה על פי הטבלה הבאה:

טבלה מס' 2: אי היציבות לפי הקטגוריות של Pasquill & Smith (1983) כפונקציה של הרוח, השמש והעננות. (web.mscc.huji.ac.il/synlab/Glossary/Glossary.htm)

עוצמת הרוח בקרקע (מ' / שני')	עוצמת הקרינה השמשית בשעות היום			כסות העננים בשעות הלילה	
	חזקה	בינונית	מועטה	> 50%	< 50%
< 2	A	B-A	B	E	F
2 - 3	A-B	B	C	E	F
3 - 5	B	C-B	C	D	E
5 - 6	C	D-C	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

אינברסייה (עלייה בטמפ' האוויר עם הגובה), היא מצב היציבות הקיצוני ביותר. היא מגבילה מאד את המיהול האנכי ואת פיזור המזהמים. אינברסיית רום נמוכה כולאת את המזהמים בשכבה שמתחתיה, על כן גובה בסיס האינברסיה, ועוצמתה חשובים בקביעת פוטנציאל הזיהום (Sahin et al, 2001). אינברסיות קרקעיות וכאלה שבסיסן נמוך מאד יכולות להתפתח בעקבות קירור קרינתי של הקרקע (Maybeck, 1996), המתרחש בעיקר בלילות קרים ובהירים המלווים ברוחות חלשות ואף במצבי שקט. תנאים אלה מאפשרים את התפתחותן של אינברסיות קרקע [הנקראות גם אינברסיות קרינתיות] (סתר ולונקה, 1999). אדבקציה של אוויר חם מעל פני שטח קרים יותר, יכולה גם היא לגרום להיווצרותן של אינברסיות נמוכות יחסית. אינברסיות אלה נשברות בהתחזקות הרוחות (Maybeck, 1996), ובהשפעת הקרינה. כך, למשל, בעונת הקיץ בישראל התנאים הסינופטיים אינם תומכים בהיווצרות אינברסיות קרינתיות, בשל הלילה הקצר וקביעותה של הרוח האתזית והבריזה היבשתית. גם אם הן נוצרות הן נשברות מוקדם בבוקר בעקבות זריחת השמש וחימום הקרקע (סתר ולונקה, 1999). מאידך, אינברסיות רום שכיחות מאד, והן תוצר משולב של התמוככות ברום וחדירת האוויר הלח והקריר בשכבות הנמוכות עם הרוח האתזית עקב קיומו של האפיק הפרסי (זיו וחוב', 2006). עם זאת, הקרינה החזקה בקיץ ונשיבת הרוח הקבועה מקטינה את פוטנציאל הזיהום.

תנאי היציבות האטמוספרית שהוצגו לעיל תלויים במצב הסינופטי. כך, למשל, בעת נוכחות של רמה [סובטרופית] מערבית לישראל הרוחות הן צפון מערביות חלשות והשמים בהירים. ברום מלווה הרמה לרוב ברכס המגביר את יציבות האוויר. במקרים אלה התקררות קרינתית לילית מאפשרת התפתחות אינברסייה קרקעית, הגורמת ללכידת המזהמים תחתה והצטברותם לריכוזים גבוהים (Dayan & Levy, 2002). מצב זה אופייני בעיקר בחורף ובעונות המעבר (זיו ויאיר, 1993). הסעיף הבא ידון בשיטות למיון סינופטי ובמערכות ומצבים סינופטיים במזרח הים התיכון על פי המיון הסמי-אובייקטיבי.

1.1.4 סקירת המצבים הסינופטיים במזרח הים התיכון על פי המיון הסמי-אובייקטיבי

השימוש בחיזוי המצב הסינופטי כמנבא את איכות האוויר באזור מסוים, הוא חשוב ושימושי מהסיבה שניתן לחזות את המצב הסינופטי מספר ימים מראש. מדובר בשיטה שימושית, קלה וזולה יחסית העשויה

לתרום גם לחיזוי מהיר של איכות האוויר (Kassomenos *et al*, 2003). בספרות מוכרות גישות שונות למיון הסינופטי: סובייקטיביות ואובייקטיביות.

המיון הסובייקטיבי הוא סיווג "ידני" של הצירקולציה האטמוספרית שנעשה על ידי החוקר עצמו. החוקר מסווג את הצירקולציה האטמוספרית לטיפוסים ואז מקשר אותם לתנאים סביבתיים, כגון פוטנציאל זיהום אוויר, תנאי אי נוחות וכד'. החסרונות הבולטים של שיטה זו היא בכך שזו דורשת כוח אדם רב ולא ניתן לשכפל את השיטה על סט נתונים חדש- כלומר יש צורך לעבד מחדש את הנתונים החדשים ולהעריכם סובייקטיבית (Yarnal, 1993).

המיון האובייקטיבי נעשה על בסיס שיטות עיבוד סטטיסטיות ומתמטיות שונות, המופעלות על ידי המחשב. היתרון הבולט של שיטה זו הוא בכך שאפשר לשכפל אותה על סט נתונים חדש. החיסרון שלה הוא בכך שהיא מתרכזת בסט נתונים מוגבל ומוגדר מראש (Yarnal *et al*, 2001).

Alpert *et al* (2004a) הציעו שיטה למיון סמי-אובייקטיבי יומי של הטיפוסים הסינופטיים במזרח הים התיכון על בסיס discriminate analysis. תקופת הבסיס לקביעה הסובייקטיבית של הטיפוסים הסינופטיים היא התקופה השנתית, שכללה את שנת 1985 וחודשי חורף 1991/2 (עקב מחסור בטיפוסים אופייניים לחורף). המיון בוסס על נתוני הריאליזה של NCAR/NCEP. כל יום אובחן סובייקטיבית על ידי החזאים לאחד מ-19 טיפוסים סינופטיים שהוגדרו מראש והוסכמו על ידי החזאים. טיפוסים אלה הוזנו למחשב ושימשו בסיס לאבחון אובייקטיבי של כל הימים משנת 1948 ועד היום. הפרמטרים האטמוספריים ששימשו בתהליך היו: הגובה הגיאופוטנציאלי, שני רכיבי הרוח האופקית והטמפרטורה במפלס 1000 מיליבר בשעה 12UTC.

19 הטיפוסים הסינופטיים שהוגדרו על ידי Alpert *et al* (2004a) שייכים לחמש קבוצות של מצבים סינופטיים כשכל קבוצה מכילה מספר טיפוסים. חמש הקבוצות הן: 1. שקעים קפריסאים אשר מהווים את עיקר השקעים החורפיים 2. אפיקים פרסיים, האופייניים בעיקר לעונת הקיץ 3. אפיקי ים סוף (אפיק סודני) הבולטים בעונות המעבר אך גם בחורף 4. רמות ברומטריות המופיעות, לפחות חלקן, בכל עונות השנה 5. שקעי צפון אפריקה (שרביים), האופייניים בעיקר לאביב ולסוף החורף. החלוקה לטיפוסים בתוך הקבוצות נעשתה בהתאם למיקום המערכת ו\או עומקה. המיון מתייחס לאגן המזרחי של הים התיכון (טבלה 3).

טבלה מס' 3: חמש קבוצות המצבים הסינופטיים (פירוט הטיפוסים בכל קבוצה).

שקעים קפריסאים	אפיקים פרסיים	אפיקי ים סוף	רמות ברומטריות	שקעים שרביים
שקע עמוק מצפון	אפיק פרס רדוד	אפיק ים סוף עם	רמה מצפון	שקע שרבי ממערב
שקע רדוד מצפון	אפיק פרסי בינוני	ציר מזרחי	רמה ממזרח	שקע שרבי מעל
שקע עמוק מדרום	אפיק פרסי עמוק	אפיק ים סוף עם	רמה ממערב	
שקע רדוד מדרום		ציר מערבי	רמה מעל	
שקע עמוק ממזרח		אפיק ים סוף עם		
שקע רדוד ממזרח		ציר מרכזי		

				שקע קר ממערב
--	--	--	--	--------------

להלן פירוט קצר על 5 הקבוצות הסינופטיות:

שקעים קפריסאיים: השקעים הים תיכוניים הם ביטוי למעברים תכופים של שקעים ניידים, החודרים למזרח הים התיכון ממערב או מצפון מערב או הנוצרים בו. נוכחותם המוגברת של שקעים ניידים בים התיכון, בחורף, מתבטאת בקיומו של לחץ נמוך במפה הממוצעת, ומעידה על היות האזור ציקלוגינטי (זיו ויאיר, 1993). עם זאת קיימים הבדלים במיקומם של השקעים ביחס לישראל ובעומקם, עובדה המשפיעה על תנאי מזג אוויר.

אפיק פרסי: זוהי מערכת סינופטית ניחת למחצה של עונת הקיץ (Saaroni and Ziv, 2000). האפיק הפרסי הוא שלוחה של שקע מונסוני המתפתח בקיץ מעל מרכז אסיה ודרומה עקב התחממות היבשת. השפעתו של שקע מונסוני זה מתבטאת בנוכחותו הקבועה ברוב ימות הקיץ של האפיק הפרסי מעל מזרח הים התיכון ובקיומה של רוח מערבית שלטת (Bitan and Saaroni, 1992). למרות קביעותה של המערכת בקיץ קיימים הבדלים בתוכה הבאים לידי ביטוי בעומקה (שיעור ירידת הלחץ) ומכאן העוצמת הרוח המערבית (זיו ויאיר, 1993).

אפיק ים סוף (RST): זהו מצב בו שקע הנמצא מעל סודן שולח שלוחה לאורך ים סוף המתפשטת עד ישראל ואף צפונה ממנה (דיין ולוי, 2002). מצב סינופטי זה הוא מאפיין בולט המתרחש בעיקר במהלך הסתיו, אך מופיע גם בחורף (Dayan and Levy, 2002). אפיק שהוא שלוחה של השקע הסודני, נוכח כמעט בכל עונה ומידת התקדמותו צפונה תוחמת את גבול השפעתו (זיו ויאיר, 1993). שינויים קטנים במיקומו של ציר האפיק ביחס לישראל יכולים לגרום לשינויים בולטים בכיוון הרוח ומקורות גושי האוויר ומכאן גם בתנאי מזג אוויר (זיו ויאיר, 1993).

רמות ברומטריות: רמה ברומטרית היא אזור שבו הלחץ גבוה מסביבתו. הזרימה ברמה אנטיציקלונית וכרוכה בהתבדרות והתמוככות. ההתמוככות גורמת להתייבשות האוויר ופועלת כמנגנון הורס או מונע עננים (זיו ויאיר, 1993). עם זאת, מיקום הרמה ביחס לישראל גורם להבדל גדול בכיוון הרוח ומכאן במקור גושי האוויר ובתנאי מזג האוויר. אותה רמה גם תסיע גושי אוויר שונים בעונה החמה לעומת העונה הקרה. לדוגמא, רמה קרה מצפון לישראל אופיינית לחורף ומחדירה גושי אוויר קרים ויבשים לישראל (Saaroni et al., 1996).

שקעים שרביים: שקעים אלה הם תופעה ייחודית לאזור הים התיכון. מסלולם לאורך החוף הצפון אפריקאי. הרקע לכך הוא באופיו החזיתי של החוף, שמקורו בהפרש הטמפ' בין הים לבין מדבר סהרה, המתחיל בסוף החורף ומגיע לשיאו באביב ובתחילת הקיץ (זיו ויאיר, 1993). במיון הפנימי מבחינים בין שקע שרבי ממערב לישראל לזה שכבר שוהה מעל ישראל, מכיוון שתנאי מזג האוויר שונים מאד בין שני המצבים (זיו ויאיר, 1993).

על בסיס המיון הסינופטי שתואר מעלה נעשתה גם חלוקה חדשה של עונות השנה המתבססת על המערכות השכיחות והבולטות בכל עונה (Alpert et al., 2004b).

1.2 סקירת ספרות

מחקרים הראו שאירועי זיהום אוויר חריגים בסביבה עירונית לא נגרמים בדרך כלל עקב עלייה פתאומית בפליטת המזהמים, אלא מתרחשים כתוצאה מהתפתחות תנאים מטאורולוגיים אשר משבשים את יכולת האטמוספירה למהול אותם (Ziomas *et al*, 1995). הקשר בין תנאי מזג אוויר והמצבים הסינופטיים לבין ריכוזי המזהמים הנמדדים, נבדק במחקרים רבים בעולם, כולל בישראל, כאשר הגדרתם של התנאים והמצבים הסינופטיים נעשתה באמצעות מיונים סובייקטיביים ואובייקטיביים.

החלק הראשון של הפרק סוקר מחקרים מן העולם, תחילה אלה שהשתמשו במיונים סינופטיים סובייקטיביים ואחר-כך את אלה שהשתמשו במיונים סינופטיים אובייקטיביים. בחלק השני מוצגים מחקרים העוסקים בקשר בין תנאים סינופטיים לזיהום אוויר בישראל.

Niemeyer (1960) מצא שאירועי זיהום אוויר מאופיינים ברוח חלשה, יציבות אוויר ממושכת וערפל, תנאים הנקשרים למערכות אנטיציקלוניות נייחות למחצה. המיון הסינופטי במחקר זה היה סובייקטיבי, כשהתנאים הסינופטיים נבחרו וזוהו על ידי החזאים עצמם והוצלבו עם נתוני איכות האוויר. Yu and Pielke (1986) בדקו את הקשר בין 5 קטגוריות מטאורולוגיות שהוגדרו סובייקטיבית לחודשי אוקטובר-מאי, בין השנים 1976-1980, ובין איכות האוויר באזור אגם פאוול (דרום-מערב ארה"ב). הם מצאו שמצבי יציבות ממושכים בחורף המאפיינים מערכות אנטיציקלוניות נייחות למחצה (רמות פולאריות) מהווים פוטנציאל לזיהום אוויר ממקורות נקודתיים באזור. Bower *et al* (1994) בחנו את התנאים המטאורולוגיים במהלך אירוע עתיר NO_2 , בלונדון, בדצמבר 1991 שנמשך 4 ימים. במהלכו נמדדו ריכוזים שעתיים של NO_2 הגבוהים ביותר מאז שהחלו המדידות ב-1976. הם מצאו ששכיחות גבוהה של רמות ברומטריות במחצית הראשונה של החודש, שהתאפיינו במזג אוויר קר ויציב, ומספר רב של מקרי התפתחות אינברסיה קרינתית, הם אלה שהשפיעו על היווצרות האירוע.

Incecik (1996) חקר ימים עתירי ריכוזים של SO_2 וחלקיקים נשימים במהלך 2 חורפים, 1989 ו-1990 באיסטנבול, ומצא כי מבחינה מטאורולוגית ימים אלה התאפיינו ברוחות חלשות ואינברסיות קרקעיות, תנאים שאפיינו מערכת לחץ גבוה. Chung *et al* (1999) בדקו את קשר בין ארבעה טיפוסים סינופטיים (רמה סיבירית, מעבר חזית קרה, מעבר אפיק ונוכחות של שקע טרופי מזרחית לדרום-מזרח הונג-קונג) שהוגדרו באופן סובייקטיבי, לבין אירועים עתירי CO בתחנה חופית בהונג-קונג במהלך שנת מחקר אחת (1994), ומצאו שרמה סיבירית (המאופיינת ביציבות גבוהה) הייתה אחראית ל-12 מתוך 20 האירועים שנצפו בתחנה. Sanchez and Andrade (2002), בדקו את השפעתם של שישה מצבים סינופטיים שהוגדרו סובייקטיבית, על ריכוז של חלקיקים נשימים לתקופה של קיץ 1994, בעיר סאן פאולו, ברזיל, ומצאו שהריכוזים הגבוהים ביותר מתלווים לשני מצבים סינופטיים: רמה אטלנטית-סובטרופית דרומית ורמה פולארית, מצבים המאופיינים ביציבות גבוהה. Tanner and Law (2002), בדקו את הקשר בין ריכוזי NO , NO_2 ו- SO_2 לתנאים המטאורולוגיים ולסוג המערכת הסינופטית בהונג-קונג, ולצורך זה, סיווגו סובייקטיבית את הימים בין השנים 1995-1996 ל-8 טיפוסים סינופטיים (רק שליש מן הימים סווגו חד משמעית). הם מצאו ש-2 מתוך 8 הטיפוסים הסינופטיים שהוגדרו, ואשר

התאפיינו ביציבות ורוח מכיוון יבשתי, אחראים לריכוזים הגבוהים של המזהמים. נמצא גם כי הגורם המטאורולוגי הראשי המאפיין ימים עם רמות גבוהות של NO , NO_2 ו- SO_2 הוא מהירות רוח נמוכה.

המחקרים הבאים התבססו על מיונים סינופטיים אובייקטיביים: מחקרם של *Shahgedanova et al* (1998), בדק התפלגות תלוית מזג-אוויר של ריכוזי CO ו- NO_2 במוסקבה. המחקר השתמש במיון סינופטי אובייקטיבי שנעשה על בסיס מודל סטטיסטי שהשתמש בשיטת *Principal Component Analysis* (PCA), ומצא שמצבים אנטיציקלונים באביב, בקיץ ובסתיו הם אלה המעודדים ריכוזים גבוהים של המזהמים אלה. *Greene et al* (1999) בהסתמך על מיון סינופטי שנעשה על בסיס אינדקס סטטיסטי אובייקטיבי *Temporal Synoptic Index (TSI)*, בחנו את הקשר בין המצב הסינופטי לבין זיהום אוויר מאוזן וחלקיקים ב-4 ערים בארה"ב, בעונת הקיץ. הם מצאו שקיימים הבדלים משמעותיים בערכי המזהמים תחת השפעתם של דפוסים סינופטיים שונים. הוגדרו 10 דפוסים סינופטיים על סמך התנאים הסינופטיים האופייניים לקיץ (לפי המשתנים: טמפ' האוויר, טמפ' נק' הטל, לחץ האוויר, אחוז כיסוי שמיים, וכיוון הרוח, ב-3 לפנה"צ ו-3 אחה"צ). ערכים הגבוהים ביותר של אוזון וחלקיקים (TSP) נמדדו בקטגוריה הסינופטית בעלת כיסוי שמיים נמוך ביותר וטמפ' נקודות טל הנמוכות ביותר.

Kassomenos et al (2003), בדקו את הקשר בין טיפוסים סינופטיים, שמוינו אובייקטיבית בשיטות *Cluster Analysis* ו-*Factor Analysis*, לרמות זיהום האוויר באתונה (יוון) לעונה הקרה ולעונה החמה (ההפרדה לעונות נעשתה בגלל השוני בדפוסים הסינופטיים ביניהן). לעונה הקרה (אוקטובר-אפריל) הוגדרו 8 טיפוסים סינופטיים, ונמצא שריכוזים של CO , SO_2 , NO וחלקיקים, גבוהים ביותר בימים המאופיינים בצירקולציה אנטיציקלונית. ערכים מקסימאליים של NO התקבלו בימים עם מצב סינופטי אנטיציקלוני (רמה מעל האזור) ורוחות חלשות. לעונה החמה (אפריל-אוקטובר) הוגדרו 6 טיפוסים סינופטיים, והריכוזים הגבוהים ביותר נמדדו במהלך ימים המאופיינים בתנאים של זרימה חלשה. ערכים מקסימאליים של NO התקבלו בימים עם מצב סינופטי המאופיין בגראדינט לחצים חלש מעל אתונה (רמה), רוחות ללא כיוון אחד וקרונה נמוכה. *Makra et al* (2004) בדקו את הקשר בין טיפוסים סינופטיים שהוגדרו בעזרת מיון סטטיסטי, אובייקטיבי, לבין רמות זיהום האוויר בעיר סג'ד (הונגריה) בין השנים 1997-2001. ממצאיהם הראו שהריכוזים הגבוהים ביותר של מזהמים ראשוניים (CO , NO , NO_2 , NO_2 vs NO , TSP) מתקבלים בחודשי החורף, בעת שהשמיים בהירים ומהירות הרוח נמוכה, תנאים המתקיימים כאשר יש רמה מעל ודרומית לאגן הקרפטי.

בישראל התבצעו מספר מחקרים הקושרים בין המצב הסינופטי וזיהום האוויר. מבין מחקרים כאלה אתמקד באלה שהתבצעו בעשור האחרון:

גנור וחוב' (1996) ערכו סקר שמטרתו הייתה למפות מרחבית את האזורים הרגישים לזיהום אוויר בישראל ולמצוא את שכיחותם. הם הגיעו למסקנה שהאזורים הרגישים לזיהום אוויר ממקורות נמוכים בישראל הם אזורים הממוקמים בעמקים או למרגלות ההרים בשפלת החוף. בנוסף, הם מצאו שזיהום אוויר מחלקיקים נשימים בתל-אביב (בשנים 1977-1988) נמצא בהתאמה גבוהה ומובהקת עם תנאי "האוויר העומד", שילוב בו זמני בין רוח חלשה (0-3 מטר לשנייה) ואינברסיית קרקע קרינתית.

סתר ולונקה (1999) בדקו את הקשר שבין 12 המצבים הסינופטיים האופייניים לישראל, שהוגדרו סובייקטיבית בשירות המטאורולוגי, לבין הפוטנציאל לזיהום אוויר ממקורות נמוכים, בהתבסס על ריכוזים של כלל תחמוצות החנקן (NO_x) כפי שנמדדו בתחנות הניטור של חברת החשמל בתל-אביב ורמת גן. במחקרם מצאו שהריכוזים החצי שעתיים המרביים, הגבוהים מהתקן, נמדדו בלמעלה מ-20% מהימים בכל אחת מהשנים. מצבים אלה נמצאו כמאופיינים ברוחות חלשות וגראדינטים חלשים באזורנו (מצב זה קיבל את השם מצב סינופטי מעורפל). מצבים נוספים בהם נמדדו ריכוזים גבוהים של תחמוצות חנקן הם שקע שרבי ורמה צפונית (לא מצוין באיזה עונה אך הכוונה כנראה לעונת החורף ועונות המעבר) בהם מתפתחת לרב אינברסייה קרקעית קרינתית. כמו כן, הוסיפו כי עוצמת המערכת משפיעה באופן ישיר על עוצמת הזיהום. מתוצאות המחקר הסיקו החוקרים שהמצבים הסינופטיים המתאפיינים ביציבות גבוהה יחסית ופוטנציאליים לזיהום אוויר בישראל שכיחים יותר בעונת החורף ובעונות המעבר.

דיין ולוי (2002), ו-Dayan and Levy (2002) בחנו את ההתפלגות בזמן ובמרחב של אירועים עתירי אוזון בישראל והקשרם לצירקולציות סינופטיות עיקריות באזור. מחקר זה, שנעשה על בסיס מיון סינופטי סובייקטיבי, מצא שמתוך תשעת המצבים הסינופטיים בהם אובחנו ערכי קצה של ריכוזי אוזון, רק בארבעה אירעו 76% מהחריגות. מצבים אלה כוללים: רמה במזרח הים התיכון, אפיקים סוף עם ציר מרכזי, אפיק פרסי רדוד ואפיקים סוף עם ציר מזרחי, ואלה מופיעים בעונות המעבר ובעונות הקיץ.

לוי ודיין (2006), ו-Dayan and Levy (2004) בדקו את התלות שבין תנאים מטאורולוגיים עונתיים ודפוסים סינופטיים לבין ריכוזים מאסיביים של PM_{10} (חלקיקים בקוטר של 10 מיקרומטר) וראות בעיר תל-אביב, בשלוש שנות מחקר (2000-2002). הדפוסים הסינופטיים היומיים הוגדרו במיון סינופטי סובייקטיבי ידני. שהגדיר לאזור מזרח הים התיכון, 10 טיפוסים סינופטיים האופייניים על פני השנה. הערכים הממוצעים הגבוהים ביותר של PM_{10} התקבלו בעונת הסתיו בהשפעתו של המצב סינופטי - רמה ממזרח, המאופיינת ברוחות מזרחיות.

לסיכום, המחקרים השונים העוסקים במגוון של מזהמים מתבססים על מיונים סינופטיים, חלקם סובייקטיביים וחלקם אובייקטיביים, ומתמקדים לרב באירועי זיהום נבחרים ובתקופות מחקר קצרות יחסית. בישראל טרם נערך מחקר המתבסס על מיון סינופטי אובייקטיבי.

1.3 מטרות המחקר

- בניית עקומות התפלגות של שכיחות ורמת הזיהום כפונקציה של חמשת הקבוצות הראשיות של המצבים הסינופטיים וכפונקציה של הטיפוס הסינופטי הספציפי, ברמה שנתית, עונתית, חודשית ושעתית.
- אפיון ההתפלגות הסינופטית של הימים בהם רמת הזיהום חרגה מן התקן הישראלי בתחנה אחת לפחות ובמרחב העירוני כולו והשוואת שתי ההתפלגויות.
- בחינת הקשר בין מאפייני אינברסיית הרום בבית דגן, הרוח והמצב הסינופטי לבין רמת הזיהום בימים שחרגו מן התקן.

- הגדרת מצבים סינופטיים המועדים לזיהום אוויר מתחמוצות חנקן בגוש דן.
- בחינת השתנות ערכי הזיהום וחריגות מן התקן לאורך תקופת המחקר והקשרם לשינויים בשכיחות המצבים הסינופטיים.

2. מתודולוגיה

2.1 מרחב המחקר ועיתויו

מרחב המחקר הינו מטרופולין גוש דן, בו ממוקמות תחנות ניטור למדידת תחמוצות חנקן משני סוגים: תחנות תחבורתיות- תחנות הממוקמות בסמוך לצירי תחבורה מרכזיים בעיר בגובה המדרכה, ותחנות כלליות- תחנות הממוקמות באזור מייצג בגובה הגגות, ולא בקרבת מקורות פליטה ספציפיים [איור מס' 1]. טבלה מס' 4 מפרטת את תחנות הניטור, סוגן ומיקומן.

איור מס' 1: מרחב גוש דן ומיקום תחנות הניטור (www.environment.gov.il).



טבלה מס' 4: תחנות הניטור שנלקחו למחקר (קורדובה-ביז'ונר, 2001).

התחנה	סוג התחנה	מיקום
עמיאל	תחבורתית	רח' לחי שכונת התקווה תל-אביב.
עירוני ד'	תחבורתית	רח' ויצמן פינת יהודה המכבי, תל-אביב.
טיפת חלב	תחבורתית	שדרות ירושלים, יפו.
רמז	תחבורתית	רח' ז'בוטינסקי, בני-ברק.
חולון	כללית	רח' הסתדרות, חולון.
יד אבנר	כללית	אוניברסיטת תל-אביב.
גבעתיים	כללית	רח' גולומב, גבעתיים.

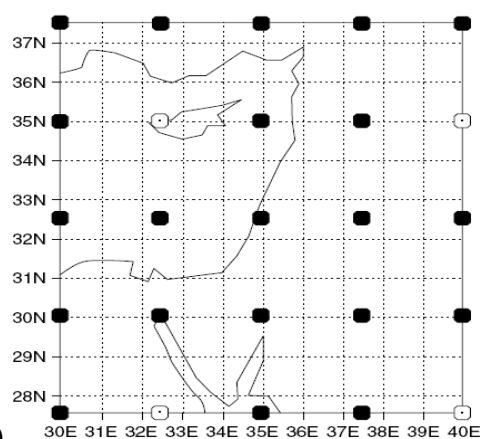
תקופת המחקר: מתייחסת לתקופת המדידות בתחנות הניטור במרחב המחקר בין השנים 1998-2004.

2.2 בסיס הנתונים

בסיס הנתונים כולל: א. נתונים חצי שעתיים של NO_x ו- NO_2 מתחנות הניטור המופעלות במסגרת רשת הניטור הארצית של המשרד לאיכות הסביבה באזור גוש דן, מהן בודד הערך המקסימאלי הנמדד לכל יום, וכן משך זמן החריגה מן התקן בכל יום נמדד.

ב. המיון הסינופטי ע"פ *Alpert et al (2004a)* המבוסס על הנתונים הסינופטיים במרחב המוצג באיור מס' 2, המייצג את האגן המזרחי של הים התיכון.

איור מס' 2: המרחב ומיקום נקודות השריג מהן נלקחו הנתונים הסינופטיים לבניית המיון הסינופטי.



(Alpert et al, 2004a)

ג. מאפייני שכבת העירוב לימים עם חריגות בערכי הזיהום נלקחו מנתוני הרדיוסונדה של בית דגן, תוך התמקדות בגובה בסיס האינברסייה, עובייה ועוצמתה.

ד. מאפייני מהירות הרוח בימים עם חריגות נלקחו מתחנה מטאורולוגית רמת השרון המופעלת על ידי חברת החשמל.

2.3 שלבי עיבוד נתונים

- לכל יום בתקופת המחקר 1998-2004 אותר הערך המקסימאלי החצי שעותי של NO_x ו- NO_2 , ונבנו עקומות התפלגות של הערכים.
- נבדקה קורלציה בין ערכים יומיים מקסימאליים חצי שעותיים של NO_x לבין ערכים מקסימאליים חצי שעותיים של NO_2 .
- לכל אחת מ-7 התחנות, לכל יום 1998-2004 נבדק מס' החריגות בערכי NO_x מן התקן החצי שעותי הישראלי (500 חל"ב), התפלגותן העיתית, משכן ועוצמתן.
- הגדרת יום חורג ויום חורג קיצוני: יום חורג הוגדר כיום בו זוהתה חריגה חצי שעתית אחת לפחות בערכי NO_x , לפחות ב-1 מ-7 התחנות. יום חורג קיצוני הוגדר כיום בו זוהתה חריגה חצי שעתית אחת לפחות בערכי NO_x , לפחות ב-5 מ-7 התחנות.
- בדיקת התפלגות שנתית, עונתית, חודשית ושבועית של ימים חורגים וימים חורגים קיצוניים.
- התאמת הטיפוס הסינופטי בכל אחד מן הימים החורגים לפי המיון הסינופטי ע"פ *Alpert et al.* (2004a), ובחינת שכיחות הופעת הטיפוס הסינופטי והקבוצה הסינופטית בימים החורגים לכל תקופת המחקר 1998-2004.
- בניית מודל מסכם המגדיר את פוטנציאל הזיהום של כל מצב סינופטי ליום חורג וליום חורג קיצוני.
- בחינת מגמת השינוי הבין שנתית בזיהום והקשרה למגמת השינוי בשכיחות המצבים הסינופטיים ולמגמות שינוי אקלימיות נוספות.
- הדגמת ימי שנה נבחרים: יום כיפור ו-7 יממות זיהום קיצוניות.
- בחינת נתוני רדיוסונדה של בית דגן (נתוני השרות המטאורולוגי ונתונים מתוך האתר: weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html): גובה בסיס אינברסיית הרום ועוצמת האינברסייה, לימים חורגים וחורגים קיצוניים.
- בחינת נתוני רוח חצי שעותיים מתחנה המטאורולוגית של חברת החשמל ברמת השרון הממוקמת בצומת הכפר הירוק, בשני גבהים 10 מטר מהקרקע ו-65 מטר מהקרקע לימים חורגים וחורגים קיצוניים.

3. תוצאות ודיון

3.1 התפלגות כלל ערכי תחמוצות החנקן (NO_x ו- NO_2) לפי ערך יומי מקסימאלי בתחנות השונות

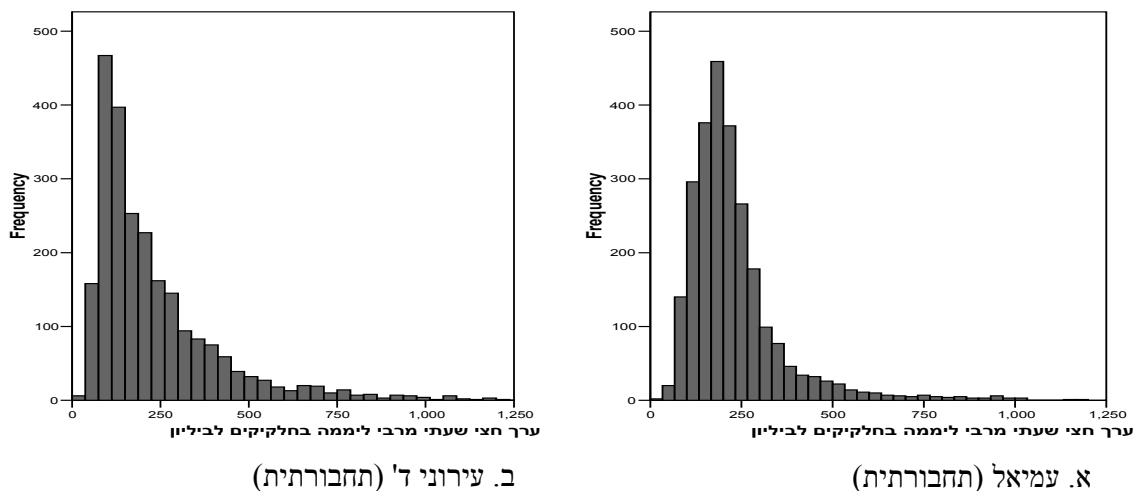
בשלב ראשון אותר הערך המקסימאלי החצי שעתי של תחמוצות החנקן (NO_x ו- NO_2) לכל יום בתקופת המחקר, בכל אחת מ-7 התחנות. יש לציין כי מספר ימי המחקר לא היה זהה לכל התחנות, זאת כי תחילת הפעילות של התחנות הייתה שונה, וזמינות הנתונים השתנתה בין תחנה לתחנה ונעה בין 60% (גבעתיים) ל-99% (עמיאל) [טבלה מס' 5].

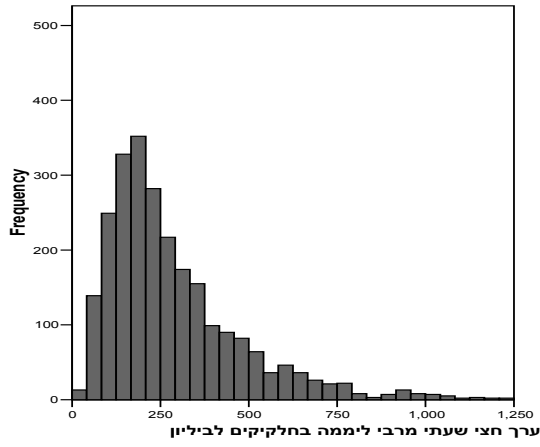
טבלה מס' 5: זמינות נתוני תחמוצות החנקן ב-7 תחנות הניטור

תחנה	סוג תחנה	תחילת פעילות	מספר ימי נתונים	% זמינות נתונים
עמיאל	תחבורתית	8/1997	2539	99
עירוני ד'	תחבורתית	2/1998	2369	93
טיפת חלב	תחבורתית	3/1998	2465	96
רמז	תחבורתית	8/1997	2493	98
חולון	כללית	11/1997	2438	95
יד אבנר	כללית	5/1999	2167	99
גבעתיים	כללית	3/2001	846	60

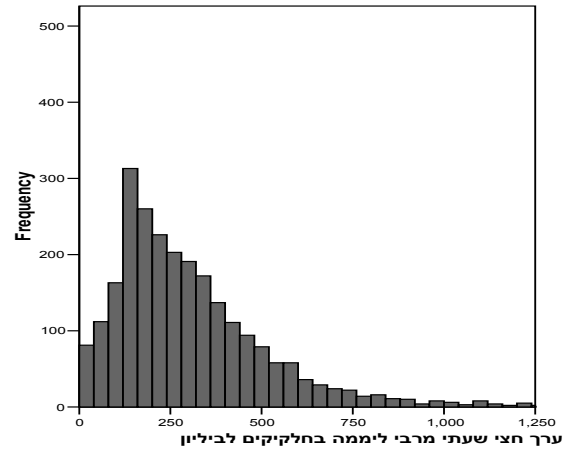
בהתאם לנתונים אלה נבנו עקומות התפלגות של הערך היומי המקסימאלי של NO_x ו- NO_2 לכל תחנה (איור 3 ו-4 בהתאמה).

איור מס' 3: ערכי NO_x ב-7 תחנות המחקר

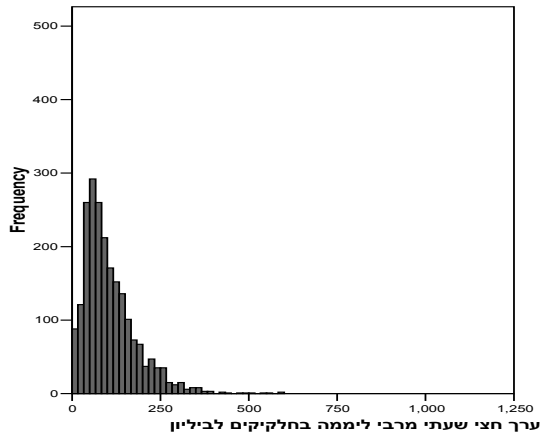




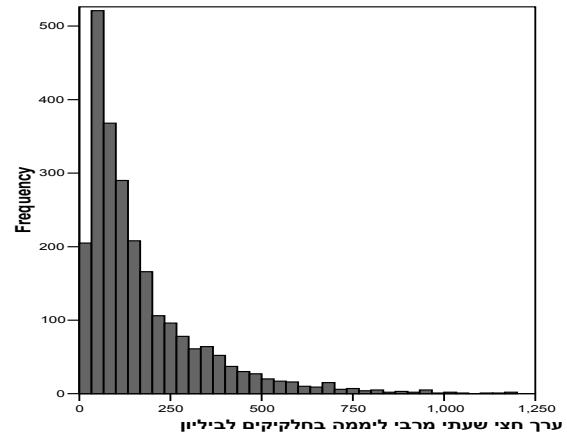
ד. רמז (תחבורתית)



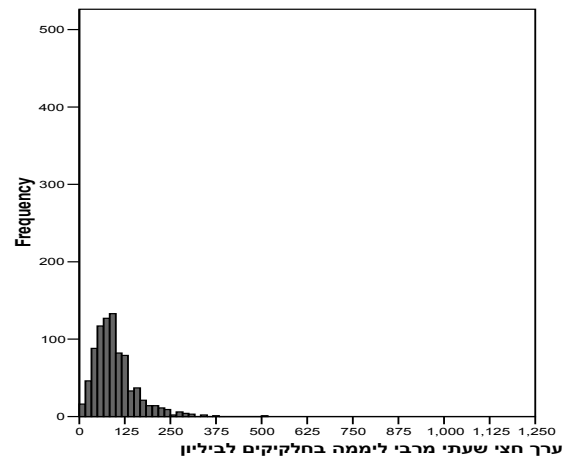
ג. טיפת חלב (תחבורתית)



ו. יד אבנר (כללית)

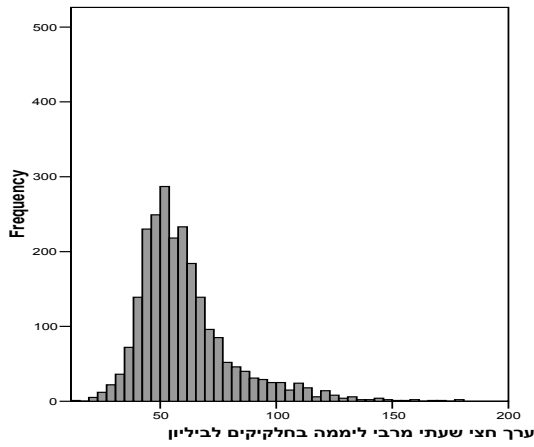


ה. חולון (כללית)

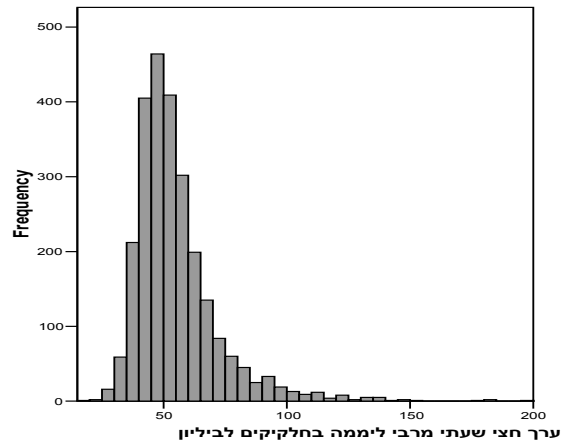


ז. גבעתיים (כללית)

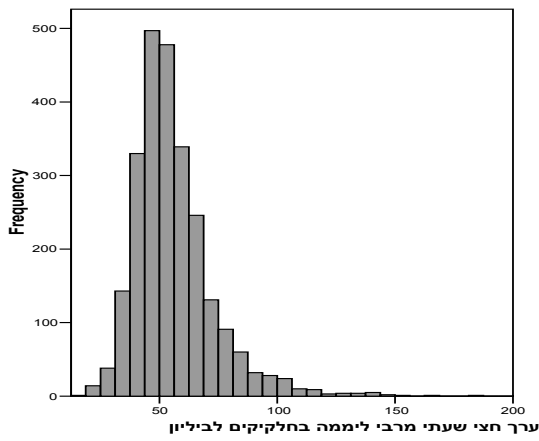
איור מס' 4: ערכי NO₂ בתחנות המחקר



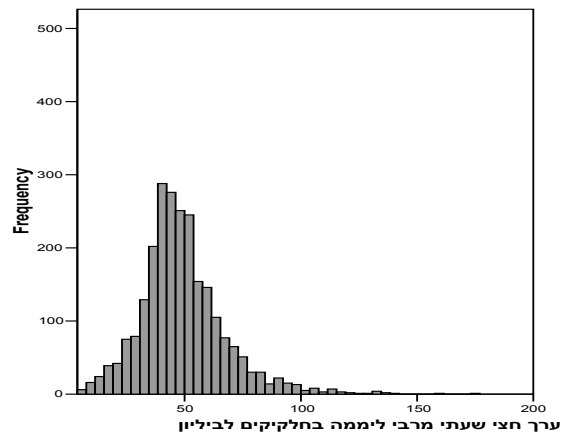
ב. עירוני ד' (תחבורתית)



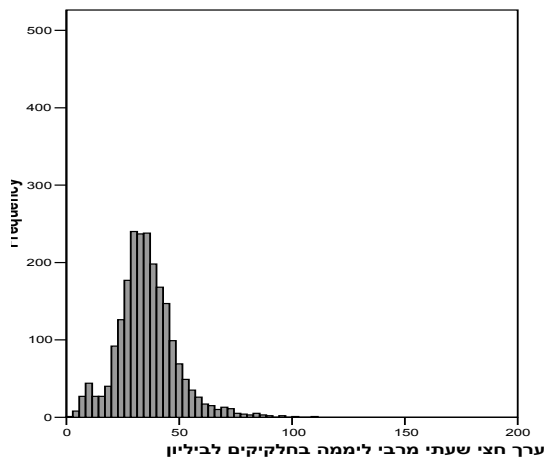
א. עמיאל (תחבורתית)



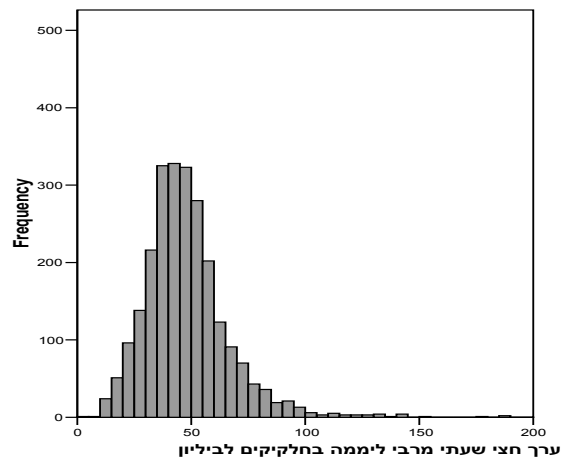
ד. רמז (תחבורתית)



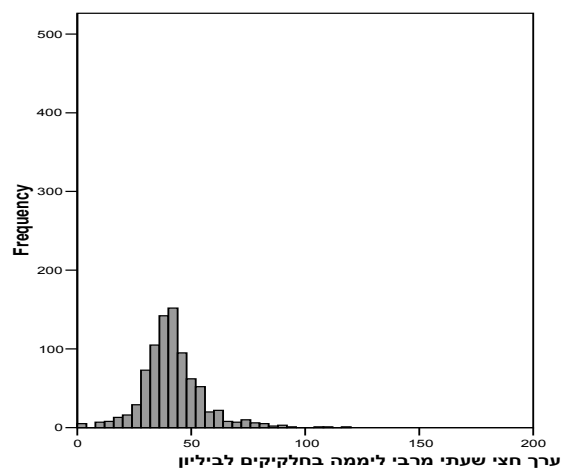
ג. טיפת חלב (תחבורתית)



ו. יד אבנר (כללית)



ה. חלון (כללית)



ז. גבעתיים (כללית)

טבלה מס' 6: ערכי NO_x ו- NO_2 שכיח וקיצוני לתחנות התחבורתיות (2004-1998)

תחנה	ערך שכיח NO_x בחל"ב	ערך קיצוני NO_x בחל"ב	ערך שכיח NO_2 בחל"ב	ערך קיצוני NO_2 בחל"ב
עמיאל	229	1196	55	222
עירוני ד'	232	1431	61	179
טיפת חלב	303	1516	49	174
רמז	287	1445	56	239

טבלה מס' 7: ערכי NO_x ו- NO_2 שכיח וקיצוני לתחנות כלליות (2004-1998)

תחנה	ערך שכיח NO_x בחל"ב	ערך קיצוני NO_x בחל"ב	ערך שכיח NO_2 בחל"ב	ערך קיצוני NO_2 בחל"ב
חולון	171	1174	48	207
יד אבנר	107	597	36	110
גבעתיים	97	515	42	120

מתוך ההשוואה בין ערכי NO_x בתחנות התחבורתיות (איור מס' 3 א'-ד' וטבלה מס' 6) לבין התחנות הכלליות (איור מס' 3 ה'-ז' וטבלה מס' 7) ניתן לראות בבירור שהערכים הנמדדים בתחנות התחבורתיות (השכיח והקיצוני) גבוהים יותר. בין התחנות התחבורתיות עצמן בולטת תחנת טיפת חלב עם הערך השכיח והקיצוני הגבוהים ביותר. הערך השכיח בתחנות התחבורתיות הוא כ-60% מן התקן הישראלי החצי שעתי לכלל תחמוצות החנקן העומד על 500 חל"ב. כמו כן "זנב" הערכים הגבוהים ארוך יותר ושכיח יותר בתחנות התחבורתיות בכלל בתחנות טיפת חלב ורמז בפרט. בין התחנות הכלליות בולטת

תחנת חולון כשהערך הקיצוני הגבוה ביותר שנמדד בתחנה גבוה יותר פי 2 מן הערכים הקיצוניים שהתקבלו בתחנות יד אבנר וגבעתיים.

מבחינת ערכי NO_2 הערכים השכיחים הנמדדים בתחנות התחבורתיות גבוהים אף הם מאלה הנמדדים בתחנות הכלליות, אך, עם זאת הערך הקיצוני שנמדד בחולון (207 חל"ב) מעמיד אותה במקום שלישי לאחר הערכים הקיצוניים של התחנות התחבורתיות רמז ועמיאל.

נבדק הקשר בין הערכים החצי שעתיים היומיים המקסימאליים של NO_x ו- NO_2 , ונמצא שקיימת ביניהם קורלציה מובהקת (0.01 סיכוי לטעות), חיובית וחזקה [טבלה מס' 8]. רמז ראשוני לכך ניתן היה לראות גם על בסיס הדמיון בין עקומות ההתפלגות של ערכי NO_x ו- NO_2 בכל תחנה ותחנה. מסיבה זו, וגם כי לא קיים תקן ישראלי ספציפי ל- NO_2 , המשך המחקר מתייחס לנתוני NO_x בלבד. טבלה מס' 8: קורלציות בין ערכי NO_x ו- NO_2 (כל המתאמות מובהקים ב-99%).

תחנה	עמיאל	עירוני ד'	טיפת חלב	רמז	חולון	יד אבנר	גבעתיים
ערך המתאם (R)	0.61	0.70	0.78	0.71	0.75	0.84	0.92

3.2 התפלגות ערכי הזיהום היומיים המקסימאליים ב-'ימים חורגים' וימים 'חורגים' קיצוניים

התקן החצי שעתי הישראלי לתחמוצות חנקן (NO_x) עומד על 500 חלקיקים לביליון. כל ערך הנמדד גדול או שווה ל-500 חל"ב הוא ערך חורג מן התקן. פרק זה מתייחס לימים בהם, לפחות בתחנה אחת, התרחשה לפחות חריגה אחת מתקן זה במדידות החצי שעתיות.

3.2.1 חריגות מן התקן: התפלגות העיתית, משכן ועוצמתן.

מספר החריגות בערכי NO_x מן התקן החצי שעתי, ריכוז חצי שעתי מרבי, סה"כ החריגות (מספר החריגות החצי שעתיות שנמדדו) ומשך מקסימאלי בשעות של חריגה בכל שנה משנות המחקר מוצגת בטבלה 9 (לתחנות התחבורתיות) ו-10 (לתחנות הכלליות).

טבלה מס' 9: הריכוז המרבי של NO_x , מס' ימים חורגים, סך מספר החריגות ומשך מקסימאלי של חריגה בתחנות התחבורתיות, בכל שנה משנות המחקר.

תחנה	שנה	ריכוז חצי שעתי מרבי בחל"ב	סך מס' חריגות מן התקן	משך מקסימאלי של חריגה בשעות
עמיאל	1998	974	79	10
	1999	1013	89	4.5
	2000	1011	37	4.5
	2001	1196	53	5.5
	2002	1161	74	4.5
	2003	947	36	2
	2004	969	50	9.5
	2004-1998	1196	418	10
עירוני ד'	1998	965	138	8

9	303	1431	1999	
4.5	114	1196	2000	
2.5	87	1217	2001	
5.5	110	1058	2002	
7.5	64	1098	2003	
5	73	1189	2004	
9	889	1431	2004-1998	
7	211	1300	1998	טיפת חלב
8.5	567	1516	1999	
7	208	1221	2000	
8.5	333	1452	2001	
6.5	238	1158	2002	
8.5	192	1088	2003	
5.5	86	894	2004	
8.5	1835	1516	2004-1998	
10	330	1024	1998	
7.5	246	1216	1999	
5	147	1004	2000	
7.5	292	1214	2001	
6	215	1085	2002	
6	181	1445	2003	
9	131	1173	2004	
10	1542	1445	2004-1998	

בין התחנות התחבורתיות קיימת שונות במספר החריגות במשכן ועוצמתן. המספר הגבוה ביותר של חריגות נמדד בטיפת חלב (1835 חריגות המהוות מעל 900 שעות בהן נמדד ערך גבוה מן התקן), שם גם נמדד הריכוז החצי שעתי המרבי - 1516 חל"ב (בשנת 1999) שהוא פי 3 מן התקן.

המשך המקסימאלי של חריגה דומה בתחנות השונות ועמד על 9-10 שעות כשלכל אורך זמן זה הערכים הנמדדים היו גבוהים מן התקן. נתון זה מדגיש את העובדה שגם ביום חורג מאד קיימת הפחתה בזיהום לאורך חלק בשעות היום כפי שידון במהלך היממתי, בהמשך.

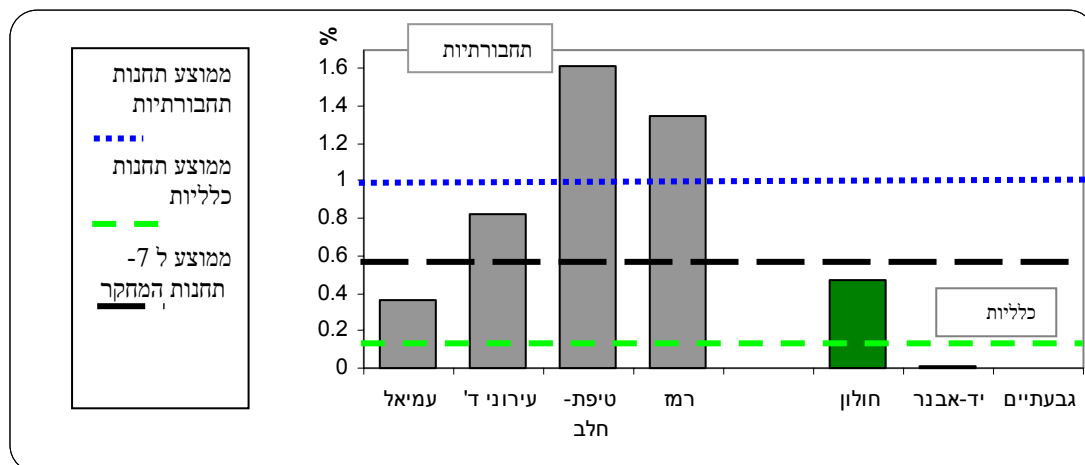
טבלה מס' 10: הריכוז המרבי של NO_x, מס' ימים חורגים, סך מספר החריגות ומשך מקסימאלי של חריגה בתחנות הכלליות, בכל שנה משנות המחקר.

תחנה	שנה	ריכוז חצי שעותי מרבי בחל"ב	סך מס' חריגות מן התקן	משך מקסימאלי של חריגה בשעות
חולון	1998	1014	61	7
	1999	1174	211	8
	2000	1168	36	4
	2001	1021	84	4.5
	2002	875	33	2.5
	2003	1064	54	3.5
	2004	859	44	7.5
	2004-1998	1174	523	8
	יד אבנר	1999	597	6
2000		433	0	0

0	0	435	2001	
0	0	375	2002	
0	0	395	2003	
0	0	391	2004	
0.5	6	597	2004-1999	
0.5	1	515	2001	גבעתיים
0	0	272	2002	
0	0	381	2003	
0	0	293	2004	
0.5	1	515	2004-2001	

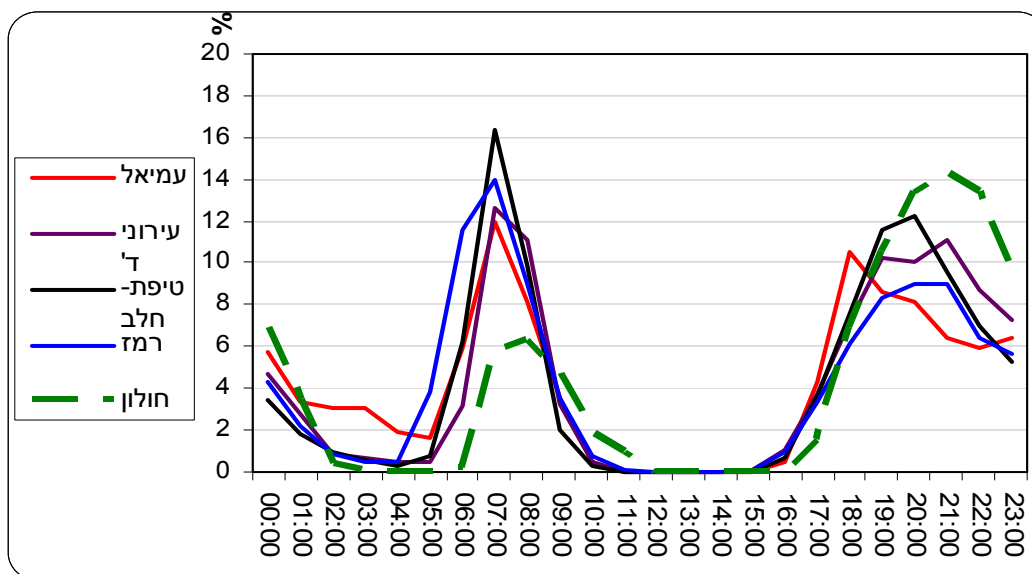
בין התחנות הכלליות ניכרת שונות גבוהה בעיקר בין תחנת חולון לתחנות יד אבנר וגבעתיים. התוצאות שהתקבלו בחולון היו גבוהות בהרבה ודמו מאד למה שהתקבל בתחנות התחבורתיות. באופן כללי ניכר כצפוי שהערכים הנמדדים בתחנות התחבורתיות היו גבוהים מאלה שהתקבלו בתחנות הכלליות. הסיבה לכך נעוצה הן בגובה התחנות המדידה והן במיקום התחנות, בעת שהתחנות התחבורתיות ממוקמות ליד הכבישים הסואנים בתחבורה רגילה וציבורית בגובה המדרכה, תחנות כלליות ממוקמות על גגות בתוך שכונות מגורים במרחק מסוים מן הכבישים ומן הזיהום הנפלט מכלי רכב. מספר החריגות הכולל לתקופת המחקר, המוצג בטבלאות 9 ו-10, אינו מייצג את % התצפיות החריגות, מכלל התצפיות אלא את הנתונים שנמדדו. % התצפיות החריגות מכלל התצפיות חושב כ- % המדידות החצי שעתיות החורגות מתוך כל המדידות החצי שעתיות התקינות (איור מס' 5). בצורה זו נוטרלה השפעת זמינות הנתונים. % התצפיות החריגות נע בין 0.003% בתחנה הכללית גבעתיים עד 1.7% בתחנה התחבורתית טיפת חלב, כשהמוצע לכל התחנות הוא 0.66%. מן הגרף ניכר כי קיימת שונות גבוהה בין התחנות במספר החריגות, אך יחד עם זאת ניכר שיותר חריגות חצי שעתיות מתקבלות בתחנות התחבורתיות, ככל הנראה מהסיבה שהוזכרה לעיל.

איור מס' 5: % התצפיות החורגות מכלל התצפיות בתחנות השונות בהשוואה למוצע לכלל התחנות, לתחנות התחבורתיות ולתחנות הכלליות.



את התפלגותן העיתית של החריגות החצי שעתיות כפונקציה של שעת היממה ניתן לראות באיור 6 המשווה בין ההתפלגות השעתית של אחוז החריגות- ב-4 התחנות התחבורתיות והתחנה הכללית חולון (נתונים של גבעתיים ויד אבנר לא נלקחו בגלל מיעוט החריגות).

איור מס' 6: התפלגות שעתית של החריגות (ב-%) מכלל היממה ב-4 תחנות תחבורתיות ותחנה כללית חולון (1998-2004).

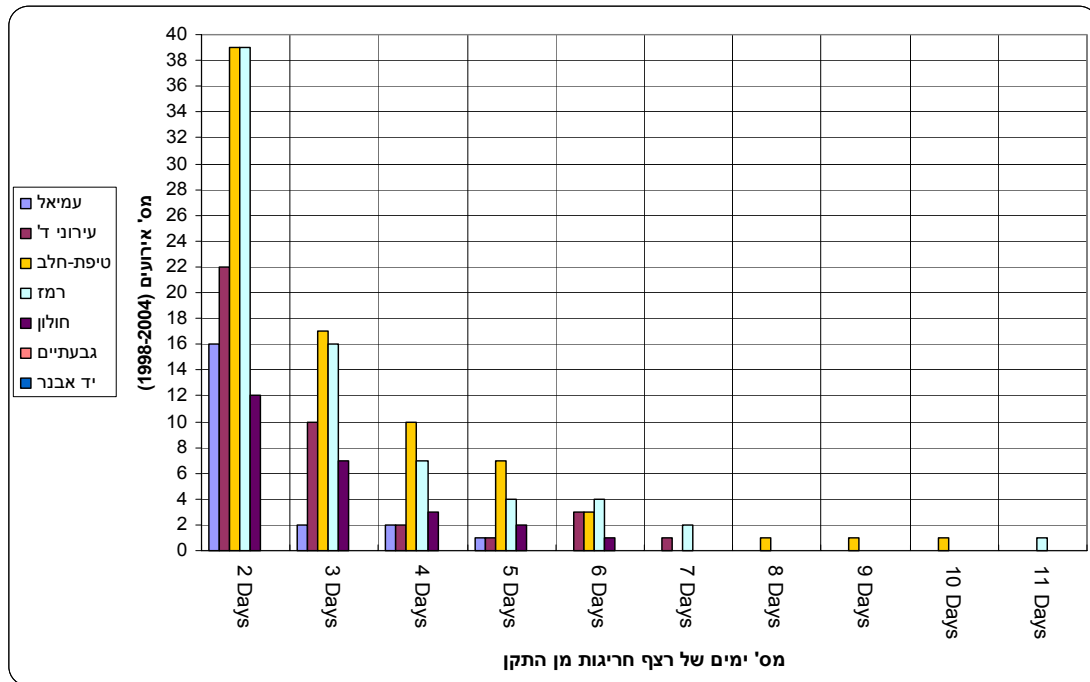


גם בתחנות התחבורתיות וגם בתחנה כללית חולון ניתן לראות שקיימים שני שיאים ביממה בהם % החריגות המתקבל הוא הגבוה ביותר. השיא הראשון תחילתו סביב 4 בבוקר עד 10 בבוקר ראשיתו בשעות שיא היציבות הלילית והמשכו עם התגברות התנועה כשעדיין קיימת יציבות אטמוספרית. בין השעות 10 בבוקר עד 16 אחה"צ נרשם מספר כמעט אפסי של אירועי חריגה גם בתחנות התחבורתיות וגם בתחנה חולון המוסבר על ידי אי יציבות בשעות היום. השיא השני מתחיל ב-16 אחה"צ ונמשך עד לסביבות השעה 1 בלילה אלה הן שוב שעות שיא התנועה ועם החלשת קרינת השמש ושקיעתה גם בניית היציבות הלילית.

אחוז החריגות המתקבל בעת השיא השני (16:00-1:00) בתחנה כללית חולון גבוה פי 2 מאחוז החריגות המתקבל בתחנה בין 4:00-10:00. בכך ניכר השוני של חולון מ-4 התחנות התחבורתיות. שוני נוסף הוא בעיתוי שיא החריגות הראשון. בתחנה הכללית חולון הוא מתאחר בכשעה ביחס לתחנות התחבורתיות (6:00 לעומת 4:00-5:00 בתחנות התחבורתיות). אחוז החריגות הגבוה ביותר התקבל בתחנה תחבורתית טיפת חלב סביב השעה 7:00, 16% מן החריגות. אחוז החריגות השני בגובהו התקבל בתחנת חולון סביב 21:00 עם 14% מן החריגות.

נקודה נוספת שנבדקה הינה מהו משך הימים ברציפות בהם נמדדו חריגות מן התקן (איור מס' 7) הרצפים הארוכים ביותר נמדדו, כצפוי, בתחנות התחבורתיות טיפת חלב ורמז כשהמקסימום היה ברמז עם 11 ימים רצופים בהם הייתה לפחות חריגה אחת (17/10/98-27/10/98). בכל התחנות התחבורתיות היה רצף של לפחות 5 ימים עם חריגות. המאפיינים הסינופטיים של ימים אלה יבדקו בהמשך.

איור מס' 7: רציפות ימים עם חריגות מן התקן ב-7 תחנות המחקר.



3.2.2 התפלגות חודשית ובין שנתית של ימים חורגים וימים חורגים קיצוניים

ההתפלגות החודשית והבין שנתית של הימים החורגים נבדקה לשתי קטגוריות של ימים: יום חורג ויום חורג קיצוני.

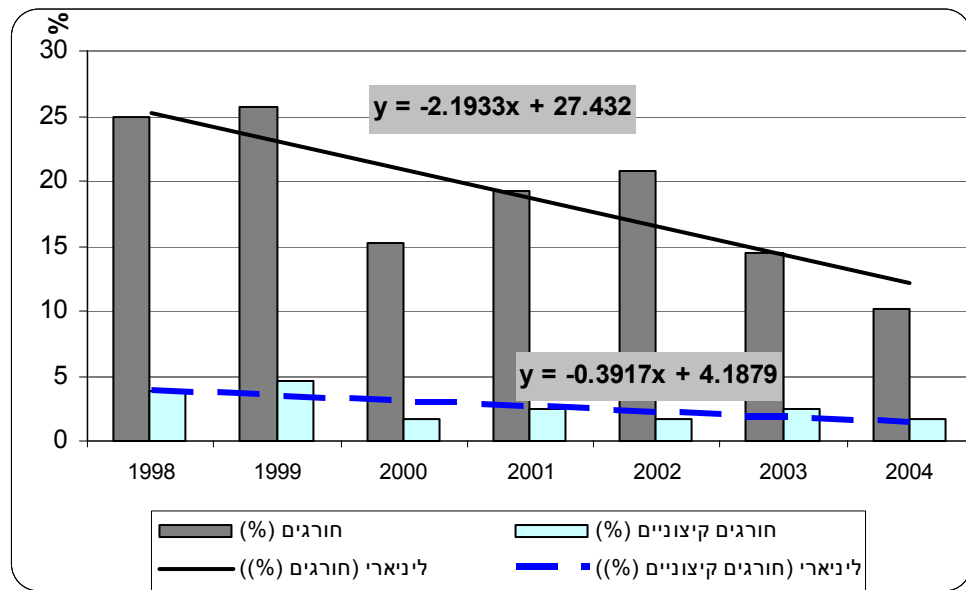
יום חורג הוגדר כיום בו זוהתה חריגה חצי שעתית אחת לפחות בערכי NO_x , לפחות ב-1 מ-7 התחנות. יום חורג קיצוני הוגדר כיום בו זוהתה חריגה חצי שעתית אחת לפחות בערכי NO_x , לפחות ב-5 מ-7 התחנות, כשלרוב היו אלה 4 התחנות התחבורתיות והתחנה הכללית חולון.

על פי סיווג זה אותרו 477 ימים חורגים המהווים 18.6% מימי תקופת המחקר, ו-67 ימים חורגים קיצוניים המהווים 3% מימי המחקר.

נבדקה התפלגות הבין-שנתית, העונתית, החודשית והשבועית בימים החורגים וחורגים קיצוניים (איורים מס' 8-10).

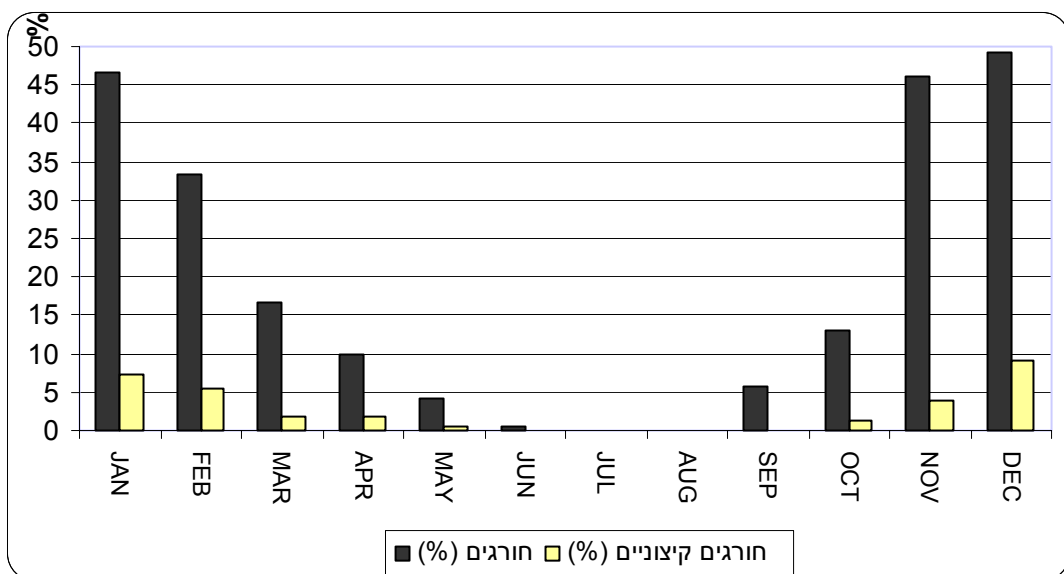
ההתפלגות הבין שנתית של הימים החורגים והחורגים קיצוניים (איור מס' 8) מצביעה על מגמת שיפור לינארית. בין 1998-2004 יש ירידה של כ-2.2% לשנה בימים החורגים, דהיינו ירידה של כ-8 ימים חורגים פחות לשנה. המגמה מובהקת סטטיסטית ב-95% ולא ב-99% מהסיבה שמדובר במדגם קטן מאד, 7 שנים בלבד. זוהי גם הסיבה לכך שמגמת השיפור ב-1% ימים החורגים קיצוניים אינה מובהקת. היא עומדת על ירידה של כ-0.4% לשנה (1-2 ימים חורגים קיצוניים פחות לשנה) שיפור זה יכול לנבוע מהפחתה במקורות הזיהום ו/או שינוי בתנאים סינופטיים. הנקודה השנייה תיבדק בהמשך.

איור מס' 8: התפלגות בין שנתית של ימים חורגים וחורגים קיצוניים באחוזים (% הימים בכל שנה)



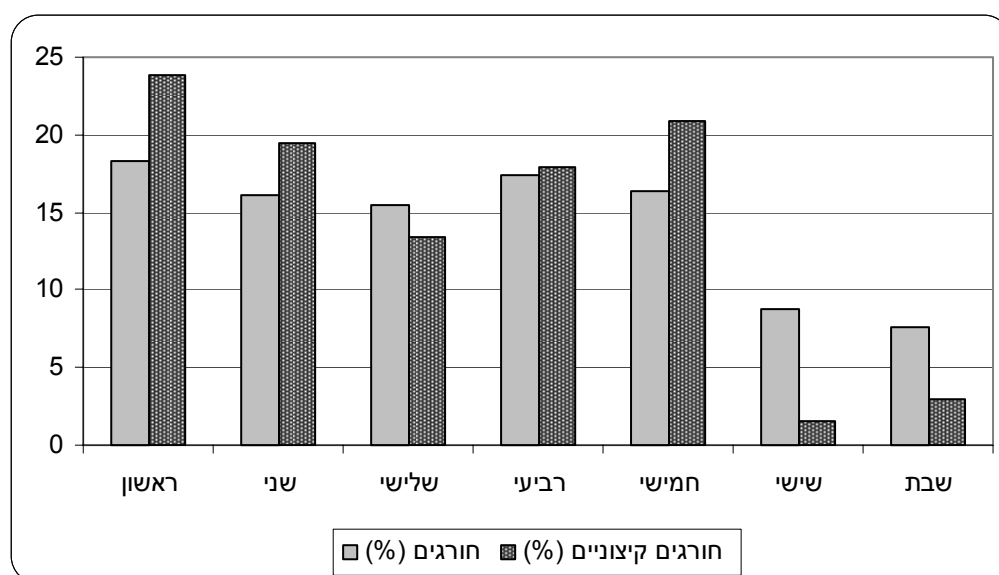
ההתפלגות הבין חודשית של הימים החורגים והחורגים קיצוניים (מתוך סך ימי החודש) המוצגת באיור 9 מצביעה על דומיננטיות של חודשי החורף, כשלדוגמא קרוב ל-50% מימי חודש דצמבר היו במוצע ימים חורגים ו-7% מימים היו חורגים קיצוניים. מרבית הימים החורגים והחורגים קיצוניים מתקבלים בחודשי החורף נוב-מרס, והקיץ, לעומת זאת, כמעט נקי מחריגות, כשבשיא הקיץ יולי ואוגוסט לא נרשמה כל חריגה מן התקן. תוצאה זו מצביעה על דומיננטיות התנאים הסינופטיים כקובעים את פוטנציאל הזיהום (פרק 3.3).

איור מס' 9: התפלגות בין חודשית של ימים חורגים וחורגים קיצוניים באחוזים (% הימים החורגים והחורגים קיצוניים מכלל ימי החודש)



איור מס' 10 מציג את התפלגות הימים החורגים והחורגים קיצוניים כפונקציה של ימי השבוע. העובדה הבולטת היא כי למרות שיש ירידה של כ- 50% במספר ימים חורגים בימי סוף השבוע (שישי ושבת) ושל כ-85% במספר ימים חורגים קיצוניים, עדיין 10% מימי השבוע בהם מתקבלות חריגות מן התקן הם ימי שבת, כש-3% מימים החורגים קיצוניים הם ימי שבת.

איור מס' 10: התפלגות שבועית של ימים חורגים וחורגים קיצוניים (% ימים חורגים וחורגים קיצוניים כפונקציה של יום בשבוע).



3.3 בחינת המצבים והטיפוסים הסינופטיים באירועי הזיהום

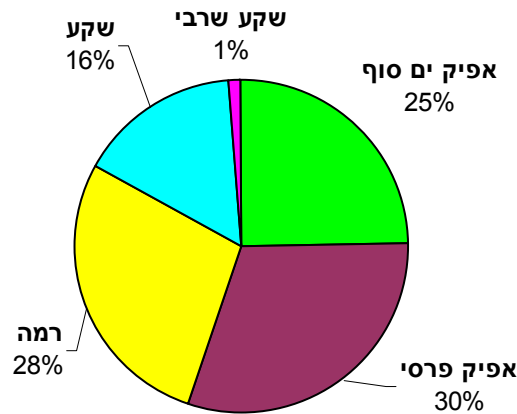
3.3.1 ההתפלגות הסינופטית של ימים חורגים וימים חורגים קיצוניים על פי 5 קבוצות המצבים

הסינופטיים

ההתפלגות הסינופטית של ימי 'הזיהום' (החורגים מן התקן) נבחנה בשלב ראשון כפונקציה של 5 קבוצות המצבים הסינופטיים: אפיקי ים סוף, אפיקים פרסיים, רמות ברומטריות, שקעים חורפיים ושקעים שרביים. בשלב ראשון מוצגת התפלגות כל 2557 ימי תקופת המחקר (1998-2004) לפי הקבוצות הסינופטיות בהתבסס כאמור על המיון הסינופטי ע"פ Alpert et al. (2004a) [איור מס' 11], זאת על מנת להשוותה עם התפלגות 477 הימים החורגים לפי הקבוצות הסינופטיות [איור מס' 12א]. ניתן לראות בבירור כי יותר ממחצית הימים החורגים (51%) הם תחת מצב של אפיק ים סוף לעומת שכיחותם הממוצעת לכל תקופת המחקר שהינה 25% בלבד. במקום השני מבחינת הימים החורגים נמצאות הרמות הברומטריות (35%) למרות ששכיחותן הכללית (28%) גבוהה עוד מאלה של אפיקי ים סוף. תוצאה מעניינת נוספת הייתה היותם של 10% מהימים החורגים ימים של שקע ברומטרי. אפיקים פרסיים מהווים 35% מסך ימי תקופת המחקר היוו רק 3% מימים החורגים, זאת ללא ספק כי מדובר בקבוצה סינופטית דומיננטית בעיקר לקיץ, ומרבית החריגות (כפי שהוצג בפרק הקודם) התקבלו בחודשי החורף.

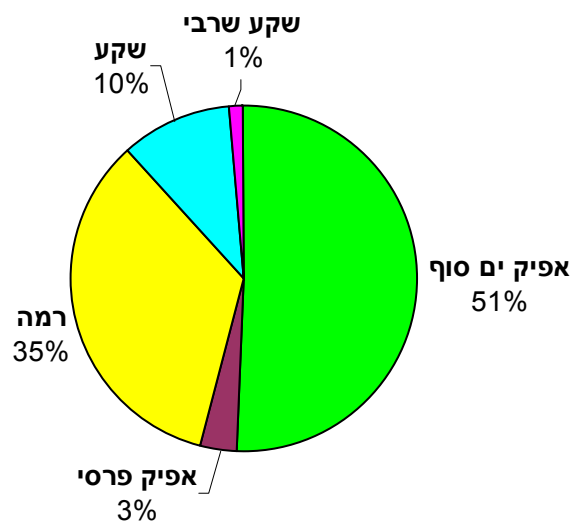
השוואה דומה נעשתה גם עם ההתפלגות הקבוצות הסינופטיות ב-67 הימים החורגים הקיצוניים (איור מס' 12 ב'), ונמצא כי 59% מהימים החורגים קיצוניים הם תחת מצב של אפיק ים סוף, 36% מהימים תחת רמות ברומטריות, 4% תחת שקעים ו-1% תחת שקעים שרביים. לא היו ימים חורגים קיצוניים שהם ימי אפיק פרסי.

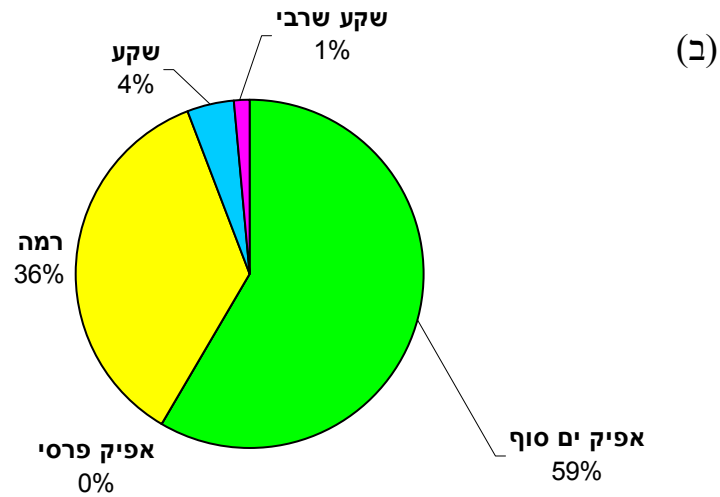
איור מס' 11: התפלגות 5 קבוצות המצבים סינופטיים לכל תקופת המחקר (2557 ימים) באחוזים.



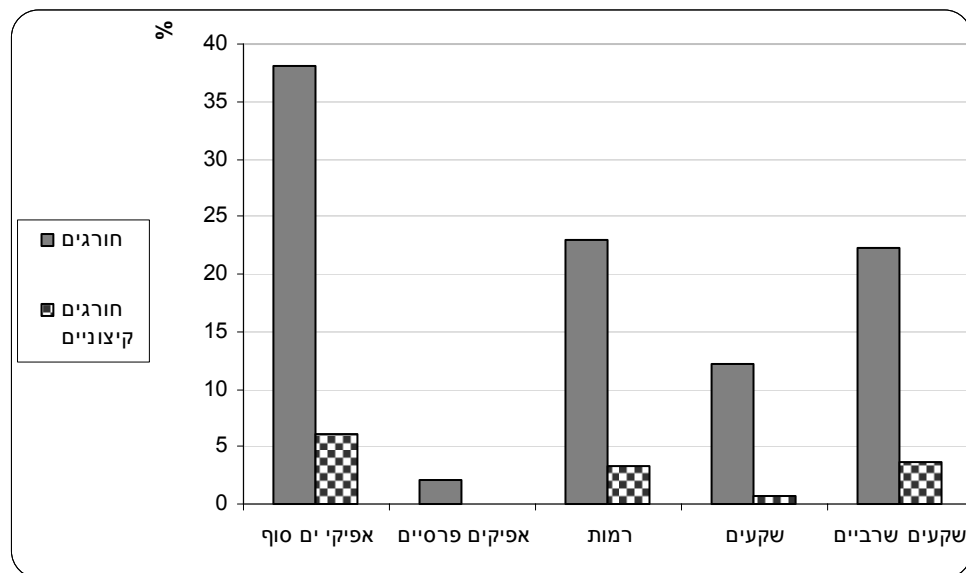
איור מס' 12: התפלגות הימים החורגים (א) והחורגים קיצוניים (ב) ב-5 קבוצות המצבים סינופטיים באחוזים.

(א)





איור מס' 13: אחוז הימים החורגים והחורגים קיצוניים מכלל הימים של המצב הסינופטי בכל אחד מן המצבים הסינופטיים (= פוטנציאל הזיהום).



טבלה מס' 11: מספר ימים חורגים וחורגים קיצוניים לפי קבוצה סינופטית

מצב סינופטי	מספר ימים 2004-1998	מספר ימים חורגים	מספר ימים חורגים קיצוניים
אפיק ים סוף	633	241	39
אפיקים פרסיים	775	16	0
רמות	718	165	24
שקעים	404	49	3
שקעים שרביים	27	6	1
סה"כ	2557	477	67

איור מס' 13 המציג את אחוז הימים החורגים והחורגים קיצוניים מתוך סך הימים (1998-2004) לכל קבוצה סינופטית, ומצביע על כך שיותר משליש ימי אפיק ים סוף היו ימים חורגים (38%). מכאן ניתן להגדיר מושג של "פוטנציאל הזיהום" למצב הסינופטי ועל פיו הפוטנציאל של אפיק ים סוף להתרחשות

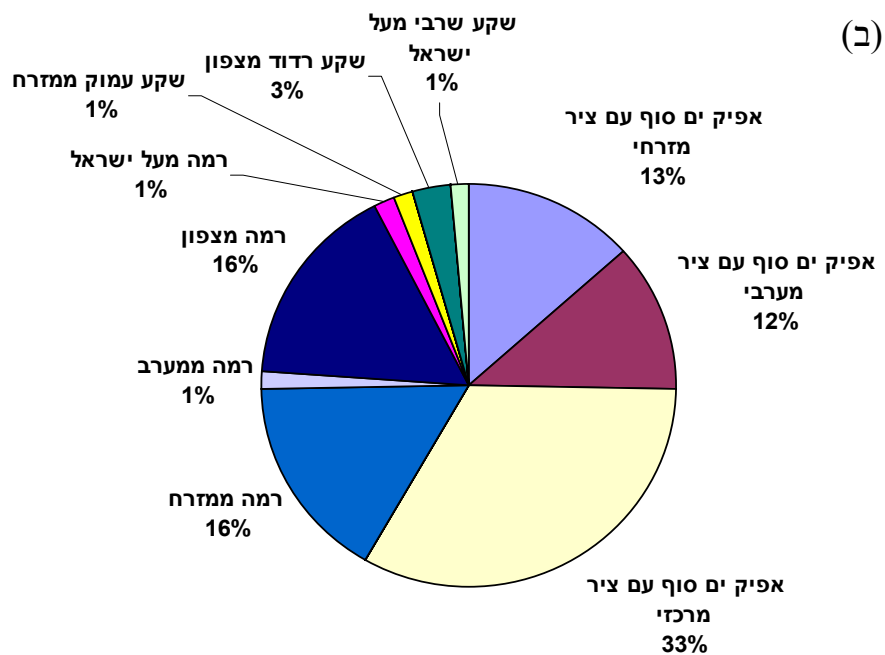
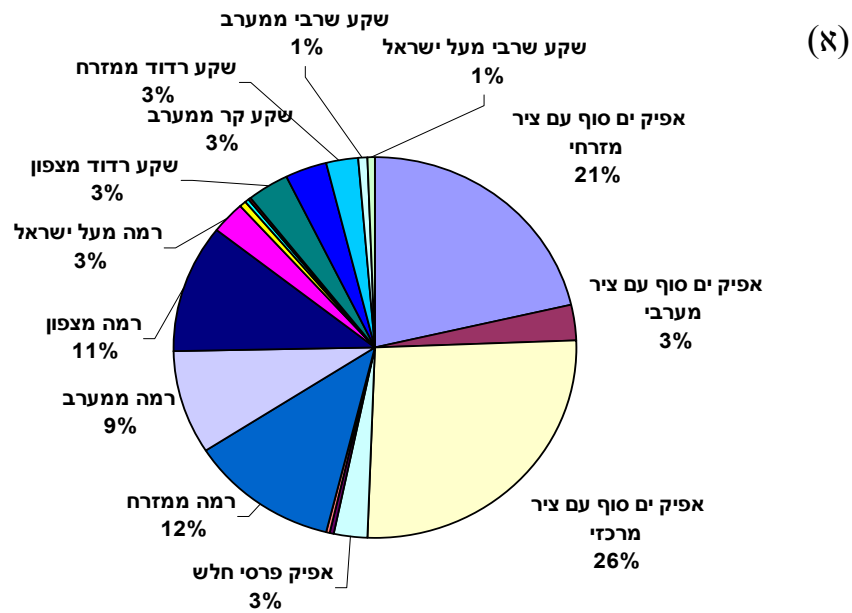
יום חריג הינו 38%. טבלה מס' 11 מציגה את מספר הימים לכל קבוצה סינופטית לכלל ימי המחקר, לימים חורגים ולימים חורגים קיצוניים. אפשר לראות שנמצאו 241 ימים חורגים תחת המצב של אפיק ים סוף מתוך 477 ימים חורגים על פני 7 שנות מחקר כלומר יותר ממחצית של הימים החורגים היו במצב סינופטי זה. עובדה זו מרמזת על פוטנציאל הזיהום הגבוה של מצב זה. הקבוצה הסינופטית השנייה עם פוטנציאל זיהום אוויר גבוה הן הרמות הברומטריות. כמעט 25% מסך הימים שהייתה בהם רמה היו ימים חורגים. מדובר על 165 ימים מתוך 477 הימים החורגים, כלומר, כשליש מן הימים החורגים היו במצב זה. פוטנציאל זיהום גבוה על אף שנמוך יותר מזה של אפיקי ים סוף.

באופן מפתיע 22% מימי שקע שרבי היו ימים חורגים. עם זאת יש להדגיש כי מדובר על 6 ימים חורגים בסה"כ מתוך 27 הימים שהיה בהם שקע שרבי בכל תקופת המחקר. יותר מ-10% של ימי שקע חורפי היו ימים חורגים (49 ימים), ורק כ-3% מימי אפיק פרסי (16 ימים).

כפי שאפשר לראות מאיור 13, התמונה לימים חורגים קיצוניים דומה מבחינת פוטנציאל הזיהום של הקבוצות הסינופטיות. במקום ראשון נמצאים אפיקי ים סוף (6% מימי אפיק ים סוף נמצא כחורגים קיצוניים), שהם 60% (39 מתוך 67) מכלל הימים החורגים. 3.4% מימי הרמות הברומטריות היו חורגים קיצוניים, מדובר בשליש מן הימים החורגים קיצוניים (24 מתוך 67 ימים). פחות מ-1% של ימי השקע החורפי היו חורגים קיצוניים, ו-0% מימי אפיק הפרסי. במקום שני בימים חורגים קיצוניים נמצאים אומנם שקעים שרביים (3.7% מימי המצב הסינופטי) אבל מדובר בסך הכול ביום אחד חורג קיצוני של שקע שרבי.

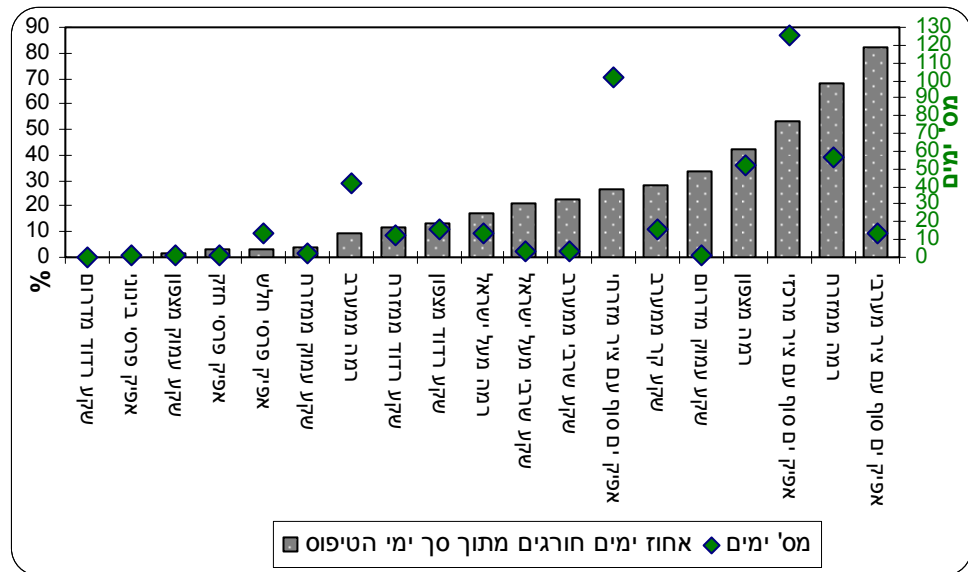
3.3.2 ההתפלגות הסינופטית של ימים חורגים וימים חורגים קיצוניים על פי 19 הטיפוסים הסינופטיים
התפלגות הימים החורגים והחורגים קיצוניים התבצעה בנפרד לכל טיפוס סינופטי מ-19 הטיפוסים שהוגדרו על ידי *Alpert et al.* (2004a) [איור מס' 14 א' ו-ב']. 26% מן הימים החורגים שייכים לטיפוס הסינופטי אפיק ים סוף עם ציר מרכזי, ו-21% לאפיק ים סוף עם ציר מזרחי. אחריהם נמצאים הטיפוסים הסינופטיים רמה ממזרח (12%), רמה מצפון (11%) ורמה ממערב (9%). אחוז הופעת שאר הטיפוסים הסינופטיים בימים החורגים נע בין 0%-3%. מבחינת הימים החורגים קיצוניים, 33% מהם שייכים לאפיק ים סוף עם ציר מרכזי, 13% לאפיק ים סוף עם ציר מזרחי ו-12% לאפיק ים סוף עם ציר מערבי. 16% מהימים שייכים לרמות מצפון ו-16% לרמות מצפון. הופעתם של שאר הטיפוסים הסינופטיים הוא בין 0%-3%. אין הבדלים בולטים מבחינת ההתפלגות הסינופטית בין ימים חורגים וחורגים קיצוניים.

איור מס' 14: התפלגות הימים החורגים (א) והחורגים קיצוניים (ב) ב- 19 הטיפוסים הסינופטיים באחוזים.



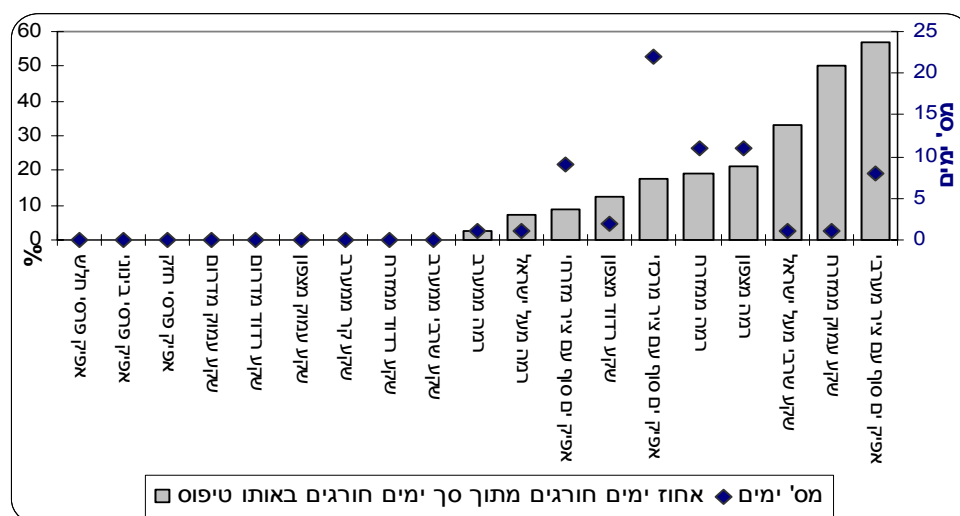
נבדק אחוז הימים החורגים מתוך סך ימי תקופת המחקר בכל אחד מן הטיפוסים הסינופטיים (איור מס' 15) כדי למצוא את המצבים עם פוטנציאל הזיהום הגבוה ביותר. הטיפוס עם פוטנציאל הזיהום הגבוה ביותר הוא אפיק ים סוף עם ציר מערבי. 14 ימים מתוך 17 ימים של אותו מצב (82%) היו ימים חורגים. עם זאת חשוב לציין שמספר הימים החורגים הגבוה ביותר הופיע בטיפוס אפיק ים סוף עם ציר מרכזי (125 ימים) ופוטנציאל הזיהום שלו גבוה אף הוא (53%) יש להדגיש כי ארבעה מתוך שישה הטיפוסים

הסינופטיים עם פוטנציאל הזיהום הגבוה ביותר הם ציקלונים, ורק שני טיפוסים הם רמות, כשאלה תופסות סה"כ כשליש מן הימים החורגים והחורגים קיצוניים. ארבעת הטיפוסים בעלי פוטנציאל הזיהום הגבוה ביותר: אפיק ים סוף עם ציר מערבי, רמה ממזרח, אפיק ים סוף עם ציר מרכזי ורמה מצפון, מאופיינים כולם בזרימה סינופטית מזרחית, לרוב חלשה המנוגדת לפוטנציאל הבריזה הימית. איור מס' 15: אחוז ומספר הימים החורגים מתוך סך הימים של הטיפוס בכלל ימי המחקר, לכל אחד מ-19 הטיפוסים הסינופטיים ומספר הימים החורגים לכל טיפוס סינופטי (=פוטנציאל הזיהום של כל טיפוס).



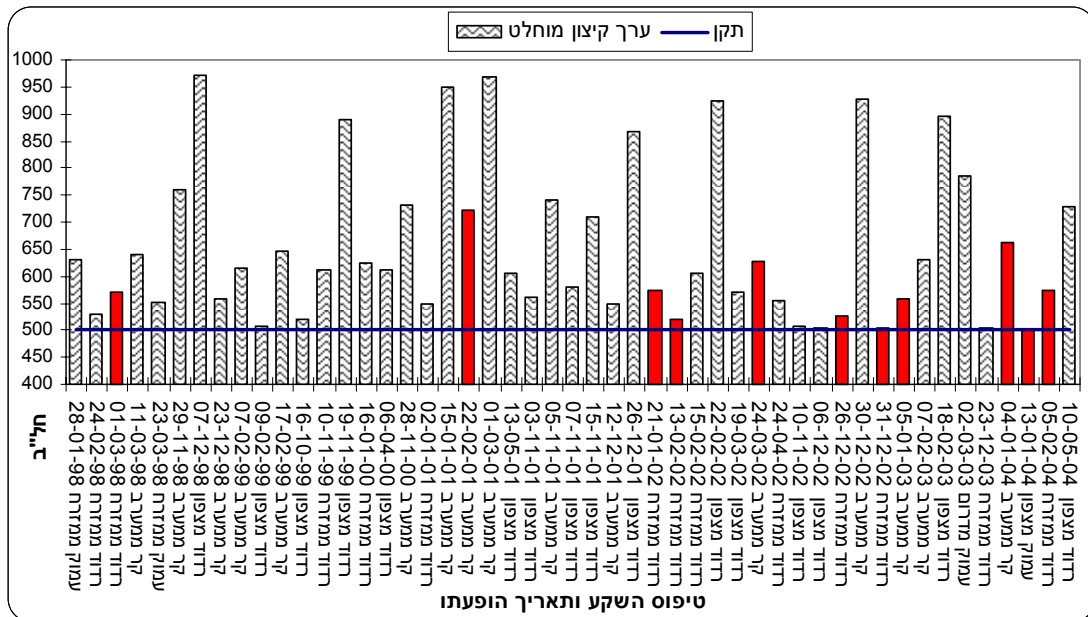
אחוז הימים החורגים קיצוניים מתוך סך הימים החורגים בכל טיפוס סינופטי מוצג באיור מס' 16. בבחינת הימים החורגים קיצוניים נמצא גם כן שאפיק ים סוף עם ציר מערבי הוא בעל פוטנציאל הזיהום הגבוה ביותר. לרמה ממזרח, רמה מצפון ואפיק ים סוף עם ציר מרכזי פוטנציאל זיהום לימים חורגים קיצוניים של מעל 20% מהימים במצב סינופטי זה. על אף פוטנציאל הזיהום הגבוה לימים חורגים קיצוניים בטיפוס של שקע עמוק ממזרח ושקע שרבי מעל ישראל אין לייחס לכך משמעות גדולה, שכן מדובר ביום חורג אחד בלבד (1 מתוך 3 של שקע שרבי מעל ישראל ו-1 מתוך 2 של שקע עמוק ממזרח). חשוב להדגיש כי לא היו ימי חריגה קיצונית ב-9 מתוך 19 המצבים.

איור מס' 16: אחוז ומספר הימים החורגים קיצוניים מתוך סך הימים החורגים, לכל אחד מ-19 הטיפוסים הסינופטיים ומספר הימים החורגים קיצוניים לכל טיפוס סינופטי (=פוטנציאל הזיהום הקיצוני של כל טיפוס).



נושא קיומם של ימים חורגים וחורגים קיצוניים במצב של שקע חורפי (קפריסאי) מחייב התייחסות נוספת. כפי שצוין, 10% מהימים החורגים היו ימים של שקע (49 ימים), מתוכם 20 ימים של שקעים עמוקים. 3 ימים מתוך 49 היו חורגים קיצוניים. סוג הטיפוס הסינופטי, התאריך והערך המקסימאלי המוחלט בחל"ב שנמדד בכל אחד מ-49 הימים מוצגים באיור מס' 17. הרוב המכריע של הערכים המקסימאליים המוחלטים התקבלו בתחנות התחבורתיות 'מזוהמות ביותר', רמז וטיפת חלב. הערכים שהתקבלו נעים בין 501 (שהוא סף התקן) ל-973 חל"ב (07/12/98). ב-67% מן הימים מתקבלים ערכים בין 500-650 חל"ב (33 מתוך 49), ו-27% מן הימים אלה עם ערכים בין 650-973 חל"ב, שהינם ערכי חריגה משמעותיים. הועלתה השערה שהסיבה לכך היא המצב הסינופטי ביום שלפני היום החורג. על כן נבדק הטיפוס הסינופטי יום לפני כל אחד מ-477 הימים החורגים. כשמתמקדים בימים של חריגה שאופיינו במצב של שקע קפריסאי (איור 17), נמצא שלפני 11 מהימים האלה (22%) היה גם כן יום של שקע קפריסאי (ימים אלה מודגשים באדום באיור מס' 17). חשוב לציין שמדובר ב-11 ימים חורגים שאף אחד מהם אינו חורג קיצוני. ערכי המקסימום המוחלט בימים של שקע שעקבו יום של שקע הנעים בין 501 ל-722 חל"ב (איור מס' 17), אינם גבוהים יחסית לערכים המתקבלים בעת מצבים סינופטיים אחרים (ראה איור מס' 18 ו-19). מיצוע ערכי המקסימום המוחלט לכל 49 הימים של שקע קפריסאי מדגיש שהערך נמוך ביחס לערך המתקבל לרמות ואפיקי ים סוף (איור מס' 18).

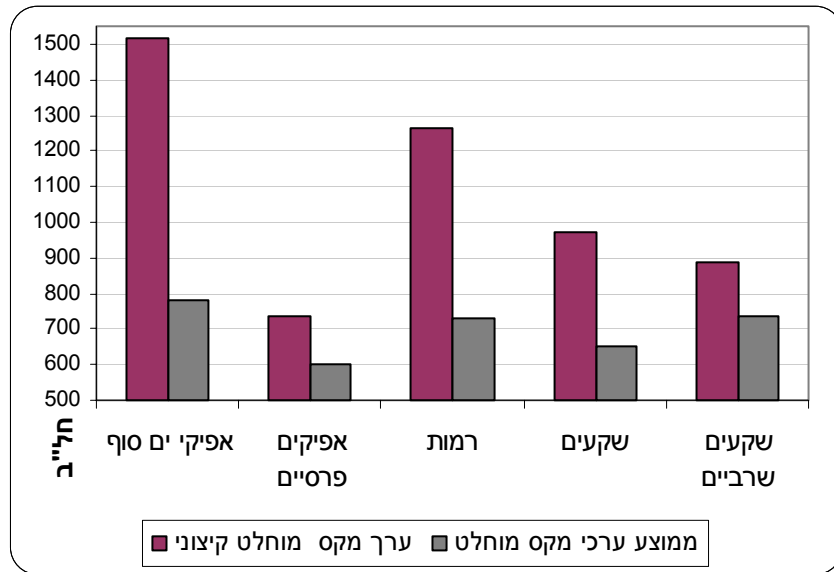
איור מס' 17: הערך הקיצוני המוחלט בכל אחד מ-49 ימים חורגים שאופיינו באחד מטיפוסי השקע החורפי (העמודות האדומות מציינות ימים בהם ביום קודם גם כן היה שקע קפריסאי).



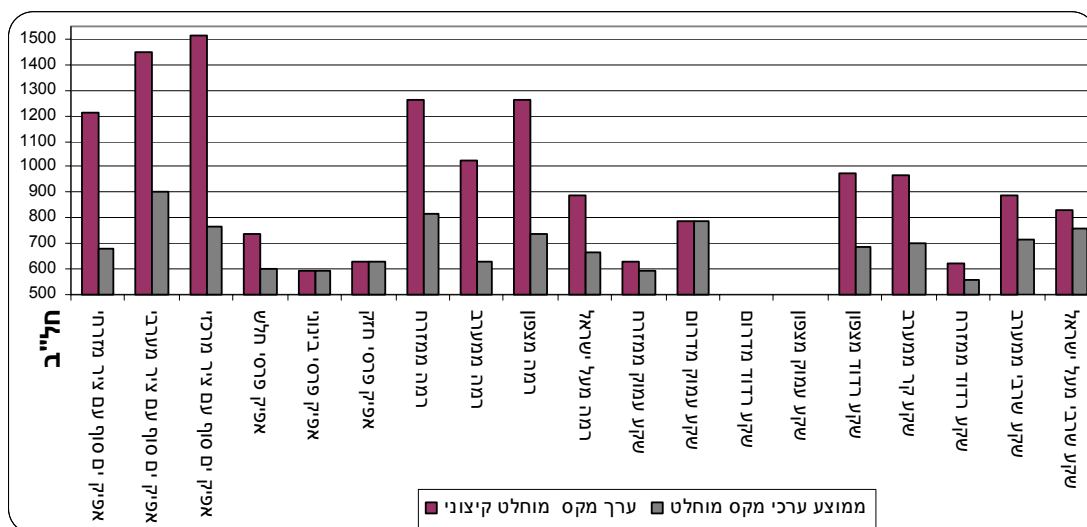
3.3.3 ניתוח הערכים המקסימאליים לפי קבוצות המצבים והטיפוסים הסינופטיים

איור מס' 18 מציג את הערך המקסימאלי הקיצוני ביותר של NO_x שנמדד בכל אחד מן המצבים הסינופטיים (נמדדו לרוב בתחנות רמזו וטיפת חלב), ואת הערך הממוצע מבין ערכי המקסימום המוחלט לכל מצב סינופטי (ערכי סטיית תקן לאיור מס' 18 ולאיור מס' 19 מוצגים בנספח i ו-ii). מתוך האיור עולה שהערכים הגבוהים ביותר נמדדו באפיקי ים סוף וברמות ברומטריות בהבדל קטן בערכים. הערכים המקסימאליים הקיצוניים המתקבלים במצב של שקע חורפי, השקע השרבי ואפיק פרסי נמוכים יותר. באיור מס' 19 ניתן לראות את התפלגות הערכים המקסימאליים המוחלטים כפונקציה של הטיפוס הסינופטי. נמצא כי תחת אפיק ים סוף עם ציר מערבי מתקבלים ערכי המקסימום המוחלט הקיצוניים ביותר מכל 19 הטיפוסים הסינופטיים. טיפוס זה שכיחותו היא רק 3% מן הימים החורגים אך 12% הימים חורגים קיצוניים (איור 14), ופוטנציאל הזיהום של הטיפוס זה הינו הגבוה ביותר (82% איור 15). ערכים מקסימאליים מוחלטים גבוהים מאד מתקבלים גם במצב של אפיק ים סוף עם ציר מרכזי, ששכיחותו היא הגבוהה ביותר: 26% מן הימים החורגים ו-33% מן הימים חורגים קיצוניים (איור 14), עובדה התואמת גם את פוטנציאל הזיהום הגבוה יחסית של טיפוס זה (53%, איור 15). ברמה ממזרח ורמה מצפון, טיפוסים שגם הם בעלי פוטנציאל זיהום גבוה, נמדדו גם כן ערכים הגבוהים מ-1000 חל"ב.

איור מס' 18: ערכי המקסימום המוחלט הקיצוני של NO_x ומיצוע המקסימום המוחלט כפונקציה של המצב הסינופטי (טבלה מסכמת של ערכים אלה מוצגת בנספח מס' i).



איור מס' 19: ערכי המקסימום המוחלט הקיצוני של NO_x ומיצוע המקסימום המוחלט כפונקציה של הטיפוס הסינופטי (טבלה מסכמת של ערכים אלה מוצגת בנספח מס' ii).



3.3.4 התפלגות מספר החריגות לפי קבוצות המצבים והטיפוסים הסינופטיים

בדומה להתפלגות הערכים המקסימאליים נבדק גם מספר החריגות ושיעורן בכל מצב וטיפוס סינופטי תוך השוואה בין התחנות התחבורתיות לכלליות (איור מס' 20 ו-21). המיצוע לתחנות הכלליות נעשה בין תחנות חולון ויד אבנר (גבעתיים לא נלקחה לבדיקה בגלל זמינות הנתונים נמוכה בה). כצפוי בהתאם לשכיחות ימי החריגות גם מס' החריגות הגבוהה התקבל בימים של אפיק ים סוף ורמות ברומטריות גם בתחנות הכלליות וגם בתחבורתיות גבוה (ראה טבלה מס' 12). השכיחות הגבוהה ביותר

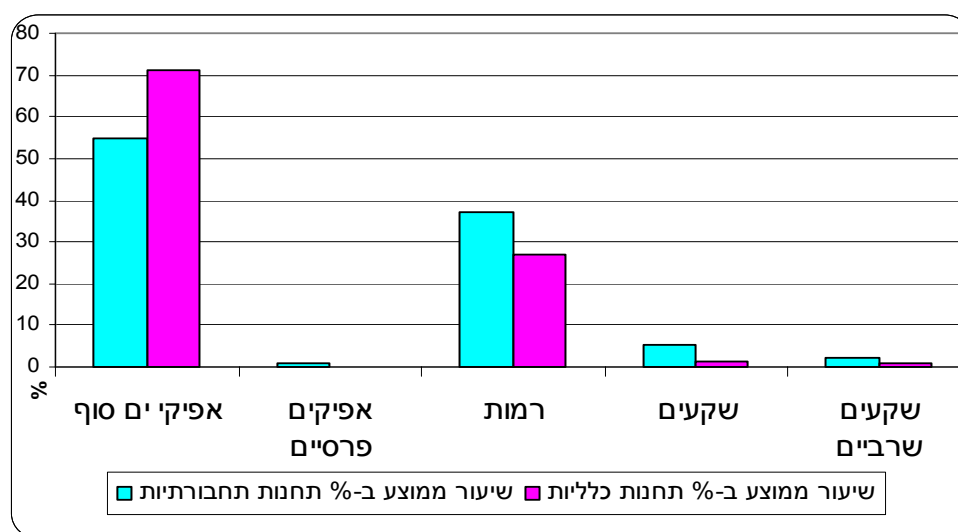
של חריגות היא באפיקי ים סוף הן לתחנות התחבורתיות והן לכלליות, עם זאת, בתחנות הכלליות בולטת יותר הדומננטיות של ימי אפיק ים סוף בהם הנמדדו יותר מ-70% של חריגות מן התקן בתחנות אלה, כשבתחנות התחבורתיות אחוז החריגות שהתרחש בימים של אפיק ים סוף היא 55%. ביתר המצבים מספר הימים החורגים נמוך ועל כן גם שיעורם היחסי של החריגות ומספרן. מגמות אלה בולטות גם בטיפוסים הסינופטיים השונים (איור מס' 21).

טבלה מס' 12: מספר חריגות חצי שעתיות בתחנות הכלליות ובתחנות התחבורתיות כפונקציה של מצב

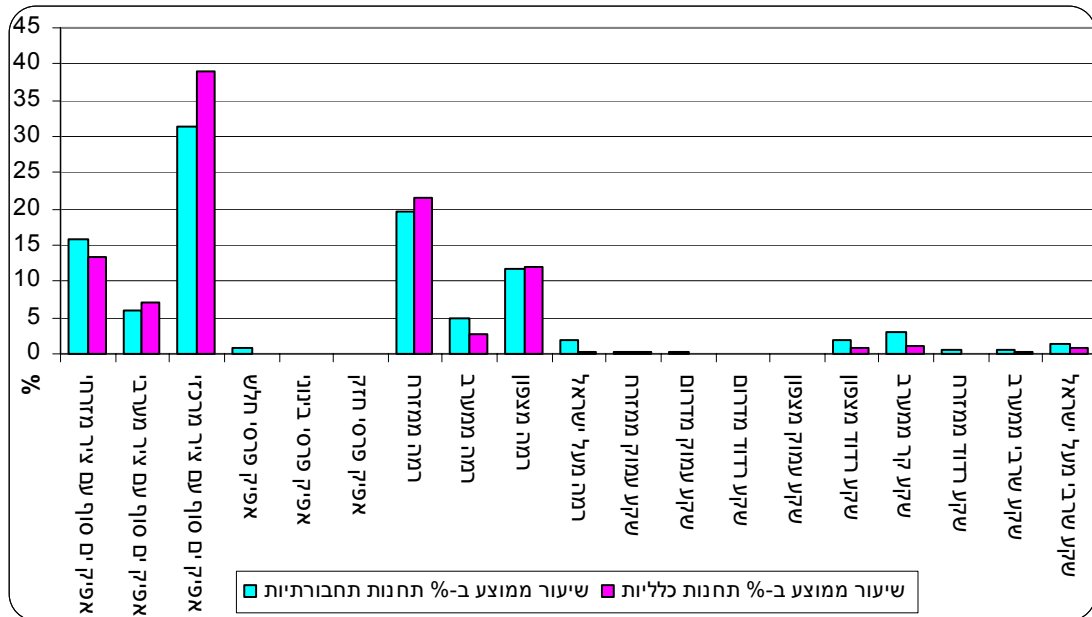
סינופטי

מצב סינופטי	מספר חריגות חצי שעתיות בתחנות תחבורתיות				מספר חריגות חצי שעתיות בתחנות כלליות				
	עמיאל	עירוני ד'	טיפת חלב	רמז	סה"כ	חולון	גבעתיים	יד אבנר	סה"כ
אפיקי ים סוף	265	485	1001	733	2484	309	0	5	314
אפיקים פרסיים	0	1	28	17	46	0	0	0	0
רמות	125	353	670	645	1793	194	0	1	195
שקעים	17	30	114	118	279	13	0	0	13
שקעים שרביים	11	20	22	29	82	7	1	0	8

איור מס' 20: שיעור ממוצע באחוזים של מספר החריגות ל-4 התחנות התחבורתיות מול ממוצע 2 תחנות כלליות כפונקציה של המצב הסינופטי



איור מס' 21: שיעור ממוצע באחוזים של מספר החריגות ל-4 התחנות התחבורתיות מול ממוצע 2 תחנות כלליות כפונקציה של הטיפוס הסינופטי

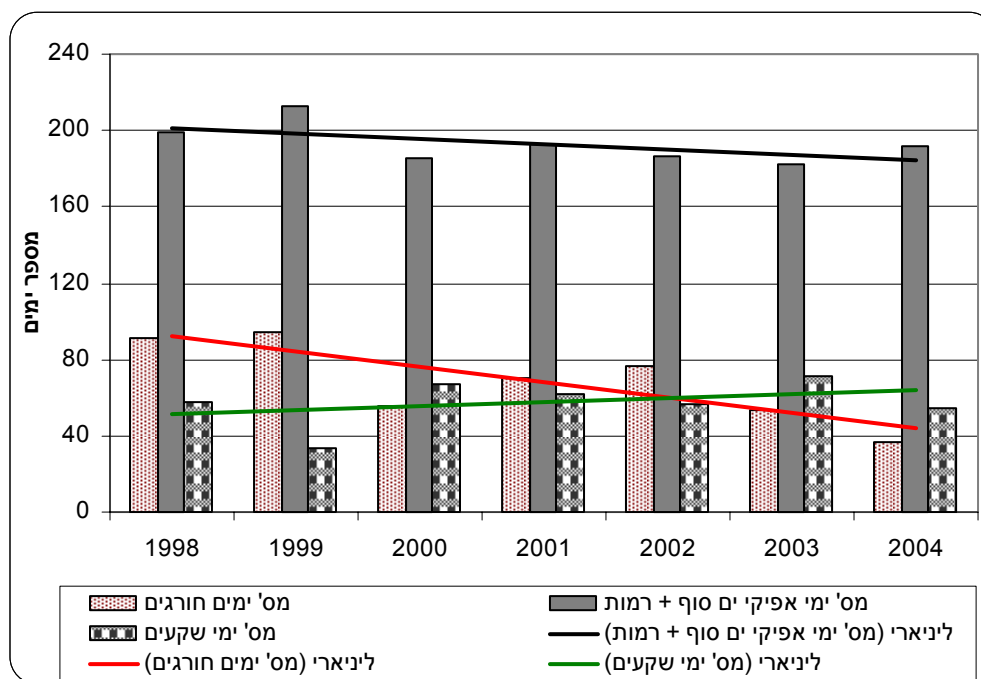


3.3.5 בחינת הקשר בין מגמת השינוי הבין שנתית ברמת הזיהום לבין מגמת השינוי בשכיחות המצבים

הסינופטיים ובמשתנים אקלימיים נוספים

איור מס' 8 (פרק 3.2.2) הציג מגמת שיפור במספר הימים החורגים מ-1998 עד 2004 (ירידה של 8 ימים חורגים לשנה). הסיבות האפשריות לכך יכולות להיות שתיים: שיפור במקורות פליטה המשפיעים על רמת וכמות המזהם, ומגמות שינוי בשכיחות והתפלגות המצבים הסינופטיים כירידה בשכיחות מצבים בעלי פוטנציאל זיהום גבוה. על כן, נבדק הקשר בין מגמת השינוי הבין שנתית במספר הימים החורגים לבין מגמת השינוי בשכיחות המצבים הסינופטיים הפוטנציאליים לזיהום מחד, ובעלי פוטנציאל נמוך לזיהום מאידך (איור מס' 22). נמצאה קיימת קורלציה חיובית ($R = +0.69$) בין מספר ימי חריגה לשכיחות הופעה של ימי אפיקי ים סוף + ימי רמות (כאמור, שנה עם שכיחות גבוהה יותר של ימי רמות ואפיקי ים סוף שהם בעלי פוטנציאל זיהום גבוה היא שנה עם שיעור חריגות גבוהה יותר). קורלציה שלילית ($R = -0.56$) נמצאה עם מס' ימים של שקעים ברומטריים (פוטנציאל הזיהום שלהם נמוך). עם זאת, מדובר בקורלציה שאינה מובהקת משום שמדובר על 7 שנות מחקר בלבד.

איור מס' 22: הקשר בין מגמת השינוי הבין שנתית במספר הימים החורגים לבין מגמת השינוי בשכיחות מספר ימי אפיקי ים סוף + רמות, ושקעים



בנוסף, נבדק הקשר שבין מספר הימים החורגים לבין כמות הגשם השנתית מתוך הנחה שבשנה גשומה יותר, יהיו יותר מצבים סינופטיים עם פוטנציאל זיהום נמוך ולכן היא תתאפיין בפחות ימי זיהום ולהפך. השערה זו הוכחה כנכונה ונמצא שאכן שנה גשומה היא שנה שמתאפיינת בפחות ימי זיהום. נמצאה קורלציה שלילית חזקה ($R=-0.71$) ומובהקת ברמה של 95%, בין כמות הגשם השנתית בתחנת כפר גלעדי (המייצגת כאן את כמות הגשם בישראל וקורלטיבית לכמות הגשם בתחנות אחרות בישראל) לבין מספר הימים החורגים.

עוד היבט שנבדק הינו הקשר שבין מספר הימים החורגים לטמפרטורה הממוצעת בישראל בעונת החורף (נוב-מרס), מתוך הנחה שעונה חמה יותר עתירה באירועי אפיקי ים סוף ורמות ומכאן שתהיה עתירה יותר בזיהום. לשם כך נלקחו נתוני הטמפ' במפלס 850 מ"ב מנקודת השריג של אזורנו מתוך האתר של NCEP/ NCAR, ונבדקה הקורלציה בין הטמפ' העונתית הממוצעת למספר הימים החורגים ב-6 עונות חורף (נוב-מרס) שבין 1998 ל-2004. נמצא כי קיים ביניהם קשר חיובי ($R=+0.45$) המאשש את ההשערה דלעיל, אך קשר זה אינו מובהק בשל מדגם השנים הקטן.

3.4 בחינת אינברסיית הרום ואינברסיה קרקעית בימים חורגים וחורגים קיצוניים

בחינת מפל הטמפרטורה ב-477 הימים החורגים ו-67 הימים החורגים קיצוניים התבצעה על סמך נתוני הרדיוסונדה של בית דגן משעה 11 גמ"ט ו-00 גמ"ט. לשעה 11 גמ"ט- הנתונים היו זמינים ל-476 מתוך 477 ימים חורגים, ולכל 67 ימים חורגים קיצוניים. לשעה 00 גמ"ט- הנתונים היו זמינים ל-464 מתוך 477 הימים החורגים (זמינות נתונים של 97%) ו-66 מתוך 67 הימים חורגים קיצוניים (זמינות של 98.5%).

לצורך הבדיקה הוגדר כי מפל יציב הוא מפל הקטן מ-0.4 מעלות ל-100 מטר ומפל יציב מאוד (אינברסיה) הוא מפל הקטן מ-0 מעלות ל-100 מטר. בימים חורגים וימים חורגים קיצוניים נבדקו מפלי הטמפרטורה עד לגובה 3 ק"מ.

3.4.1 מאפייני מפל הטמפרטורה (11 גמ"ט) בימים חורגים וחורגים קיצוניים

ב-86% מן הימים החורגים (410 ימים) נמצאה יציבות בשעות הצהריים במפלס עד לגובה 3 ק"מ (700 מ"ב). ב-314 (66%) מן הימים החורגים הייתה יציבות קיצונית-אינברסייה. שכיחות ימים חורגים עם אינברסיה גבוהה יותר בהשוואה לשכיחות שנתית ממוצעת של אינברסיות מעל בית דגן [60% מן הימים בשנה (שעיה ויפה, 1976)]. התפלגות גובה בסיס האינברסיה בימים חורגים ועובייה מוצגים באיור מס' 23 א' ו-ב'.

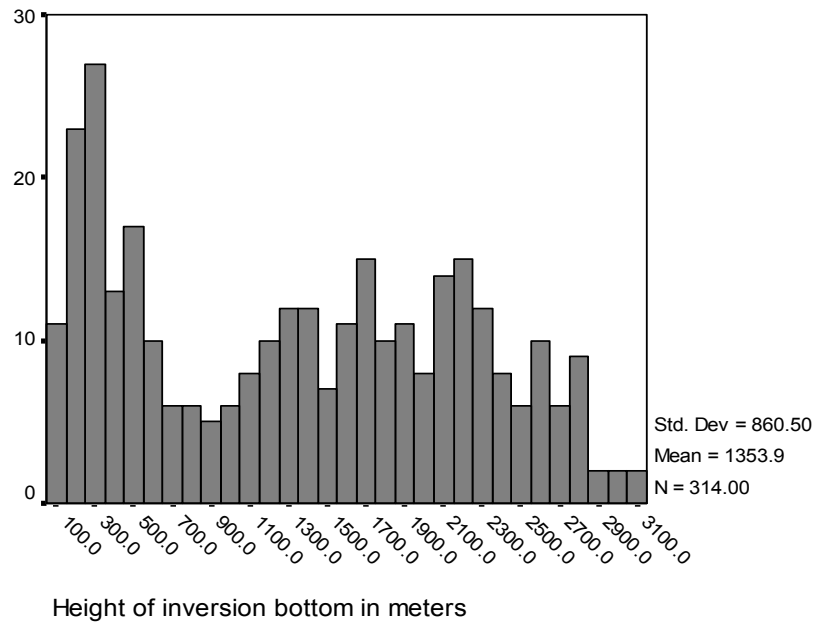
ב-82% מן הימים (55 ימים) החורגים קיצוניים הייתה יציבות. ב-78% מן הימים היציבים הייתה זו יציבות קיצונית (43 מתוך 55 ימים). ממצאים אלה דומים מאד לאלה של כלל הימים החורגים ואינם מצביעים על הקצנה בשכיחות או בגובה האינברסיות בימים הקיצוניים. התפלגות גובה האינברסיות ועובייה מוצגים באיור מס' 24 א' ו-ב'.

יש להדגיש כי כצפוי, כל האינברסיות בצהריים היו אינברסיות רום. גובה בסיס האינברסיה בימים החורגים נע בין 75-3000 מטר והעובי בין 26-757 מטר. ממוצע גובה הבסיס הוא 1353 מ' וסטיית תקן 860 מ', וממוצע עובי הוא 236 מ' עם סטיית תקן של 111 מ'. שכיחות האינברסיות שבסיסן בגובה עד 1.5 ק"מ לעומת אלה שבסיסן מעל 1.5 ק"מ גבוהה יותר (55% לעומת 45%).

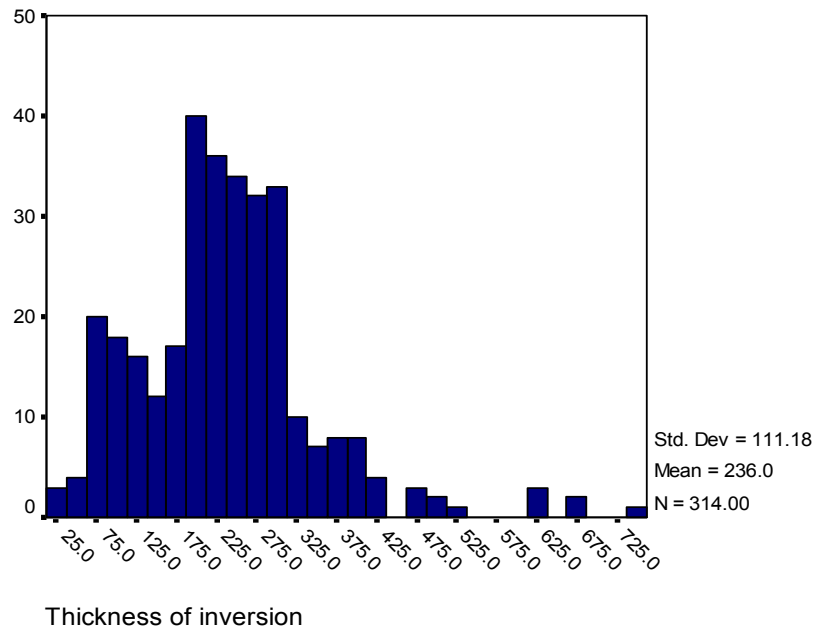
גובה בסיס האינברסיה בימים החורגים קיצוניים נע בין 107-2760 מטר והעובי בין 26-670 מטר. ממוצע גובה הבסיס הוא 1115 מ' וסטיית תקן 938 מ', וממוצע עובי הוא 218 מ' עם סטיית תקן של 103 מ'. גם כאן, כצפוי, שכיחות האינברסיות שבסיסן בגובה עד 1.5 ק"מ לעומת אלה שבסיסן מעל 1.5 ק"מ גבוהה יותר (63% לעומת 37%). בנוסף, שכיחות האינברסיות הנמוכות (גובה בסיס עד 600 מטר) בימים חורגים קיצוניים גבוהה יותר מאשר בימים חורגים (49% לעומת 31%).

איור מס' 23: התפלגות האינברסייה גובה בסיס במטרים מהקרקע ועובי במטרים ב-314 ימים חורגים

א. גובה בסיס



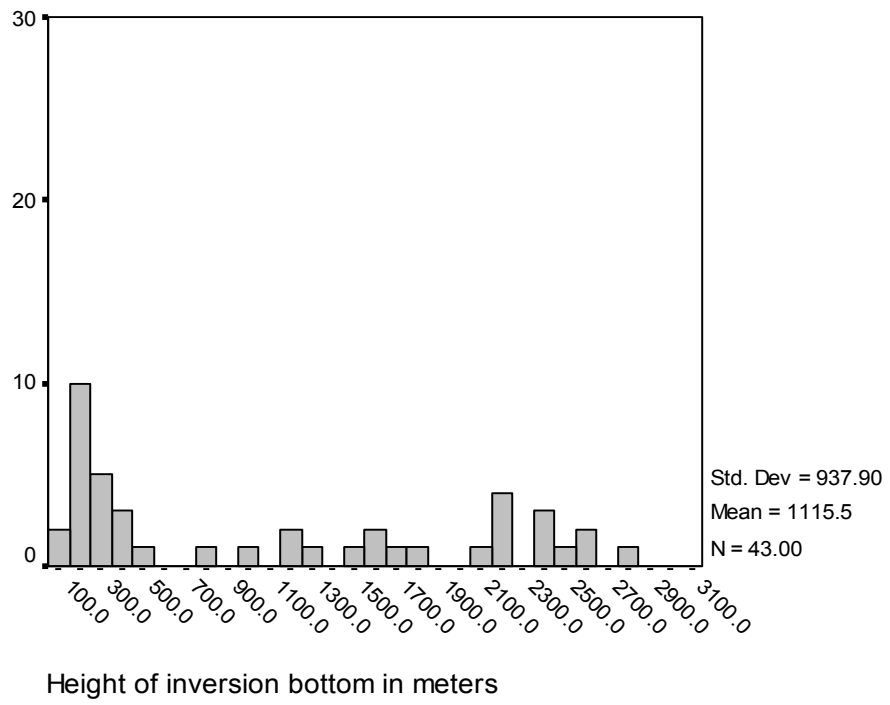
ב. עובי



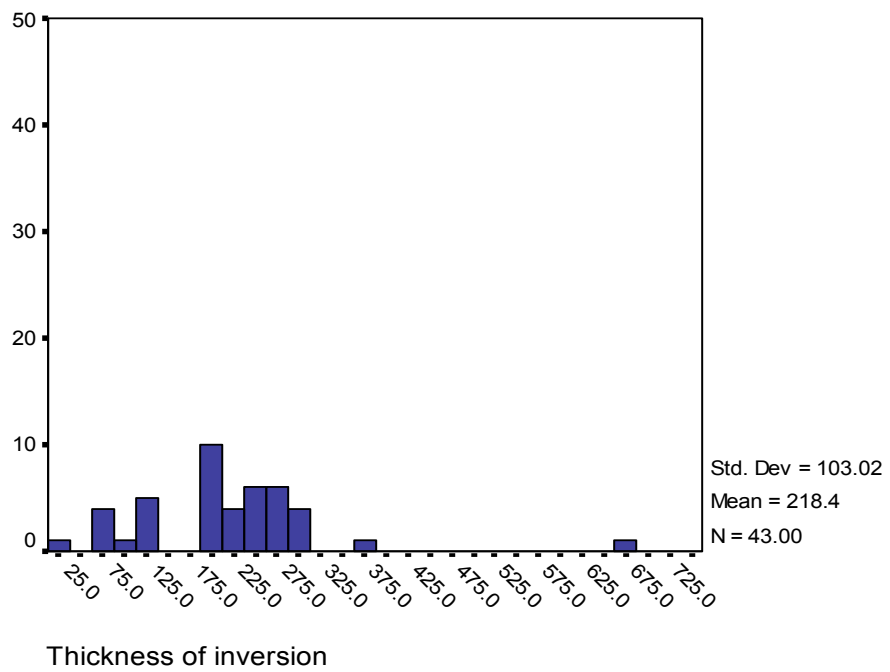
איור מס' 24: התפלגות האינברסייה גובה בסיס במטרים מהקרקע ועובי במטרים ב-55 ימים חורגים

קיצוניים.

א. גובה בסיס



ב. עובי



התפלגותם של 410 ימים חורגים ו-55 ימים חורגים קיצוניים לפי מאפייני השכבה היציבה (האינברסיה) כפונקציה של 5 הקבוצות הראשיות של המצבים הסינופטיים מוצגת בטבלה מס' 13 וכפונקציה של 19 הטיפוסים הסינופטיים בטבלה מס' 14.

אפשר לראות ש-86% מן הימים החורגים תחת אפיק ים סוף היו עם יציבות (207 מתוך 240 יום), ו-85% מן הימים החורגים הקיצוניים (33 מתוך 39 יום). מבחינת הטיפוס הסינופטי תחת אפיק ים סוף עם ציר מערבי (טיפוס שהוגדר כבר עם פוטנציאל זיהום גבוה) היו עם יציבות 71% מימים חורגים ו-75% מימים חורגים קיצוניים. שכיחות ימים עם יציבות תחת אפיק פרסי הינה הגבוהה ביותר 94% זאת כי האינברסיה ברום קבועה במצב סינופטי זה. חשוב לציין שבגלל הטמפרטורות הגבוהות ורוח המערבית החזקה במצב אפיק פרסי, האינברסיה הקבועה ברום אינה בהכרח מתקשרת לזיהום גבוה. מאידך, במצב אפיק ים סוף בחורף ובעונות המעבר הזרימה המזרחית עם התנגדות של בריזה מחלישה ממערב תורמים לפוטנציאל זיהום גבוהה גם אם אין אינברסיה נמוכה, ובנוסף מצבים אלה יכולים להימשך מס' ימים (ראה הרחבה בסעיף מס' 3.4.3). גם ב-76% הימים החורגים ו-67% הימים החורגים הקיצוניים תחת שקעים ברומטריים הייתה יציבות. בהקשר זה חשוב להדגיש שעל אף שבמצב שקע לרוב לא מתפתחת אינברסיה, הגדרת המצב כשקע לעיתים היא כשאנו נמצאים בקדימותו ואז אינברסיה יכולה להתפתח עקב התמוככות ברום. מצב זה לרוב קצר בהמשכו. ב-90% מימים חורגים עם רמות התפתחה יציבות אבל רק ב-79% מימים חורגים קיצוניים. רמה מצב יציב כשלעצמו ופוטנציאלי לזיהום גבוה גם ללא התפתחות אינברסיות נמוכות.

טבלה מס' 13: התפלגות מס' הימים החורגים והחורגים קיצוניים לפי פרמטר יציבות (מספר ושיעור ב- % כפונקציה של מצב סינופטי

מצב סינופטי	מס' ימים חורגים	מס' ימים חורגים עם יציבות	שיעור ב%	מס' קיצוניים קיצוניים	מס' קיצוניים עם יציבות	שיעור ב%
אפיק ים סוף	240	207	86	39	33	85
אפיקים פרסיים	16	15	94	0	0	0
רמות	165	148	90	24	19	79
שקעים	49	37	76	3	2	67
שקעים שרביים	6	3	50	1	1	100

טבלה מס' 14: התפלגות מס' הימים החורגים והחורגים קיצוניים לפי פרמטר יציבות (מספר ושיעור ב- % כפונקציה של הטיפוס הסינופטי

טיפוס סינופטי	מס' ימים חורגים	מס' ימים חורגים עם יציבות	שיעור ב%	מס' קיצוניים קיצוניים	מס' קיצוניים עם יציבות	שיעור ב%
אפיק ים סוף עם ציר מזרחי	101	85	84	9	7	78
אפיק ים סוף עם ציר מערבי	14	10	71	8	6	75
אפיק ים סוף עם ציר מרכזי	125	112	90	22	20	91
אפיק פרסי חלש	14	13	93	0	0	0
אפיק פרסי בינוני	1	1	100	0	0	0
אפיק פרסי חזק	1	1	100	0	0	0
רמה ממזרח	57	51	89	11	8	73
רמה ממערב	42	40	95	1	0	0
רמה מצפון	52	46	88	11	10	91
רמה מעל ישראל	14	11	79	1	0	0

100	1	1	100	2	2	שקע עמוק ממזרח
0	0	0	100	1	1	שקע עמוק מדרום
0	0	0	100	1	1	שקע עמוק מצפון
100	2	2	94	15	16	שקע רדוד מצפון
0	0	0	63	10	16	שקע קר ממערב
0	0	0	62	8	13	שקע רדוד ממזרח
0	0	0	67	2	3	שקע שרבי ממערב
100	1	1	33	1	3	שקע שרבי מעל ישראל

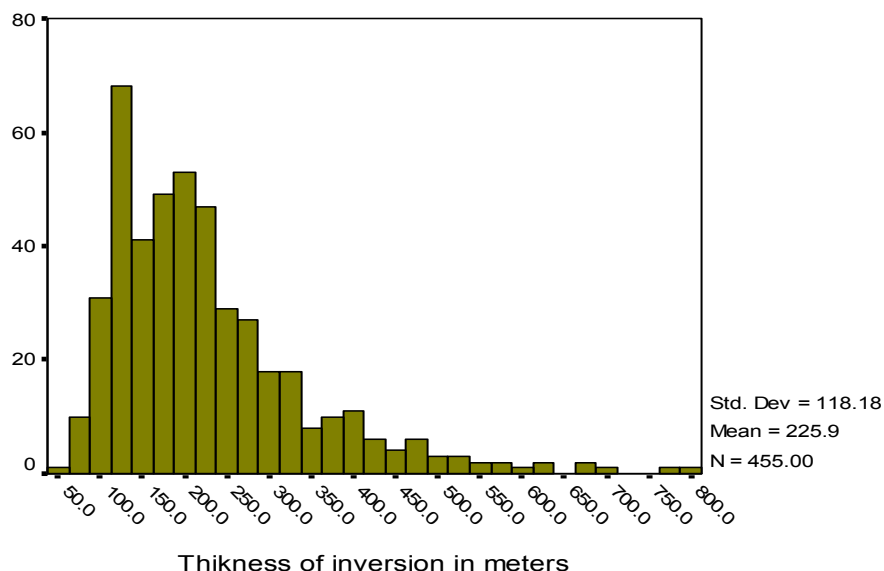
3.4.2 מאפייני האינברסיה הלילית (00 גמ"ט) בימים חורגים וחורגים קיצוניים

לשם בדיקת מאפייני שכבת הגבול הלילית ביממות זיהום חורגות וחורגות קיצוניות נלקחו נתוני הרדיוסונדה של בית דגן בשעה 00 גמ"ט (2 בבוקר לפי שעות ישראל) המבטאת באופן די מתאים את שעת הלילה, אם כי לא את השעה הקרה ביותר. הנתונים הופקו מאתר אוניברסיטת ויומינג (weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html).

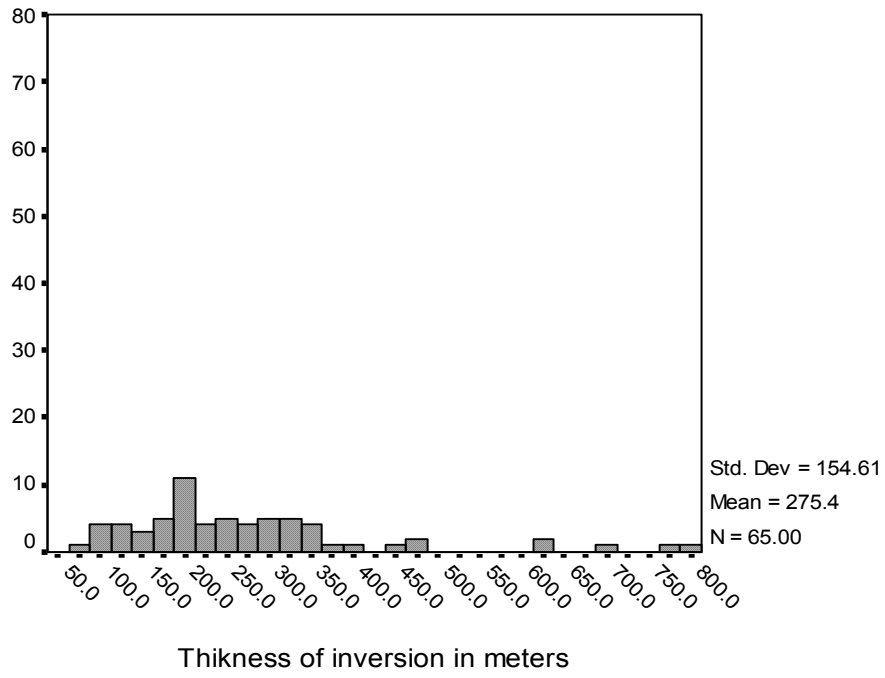
מתוך 464 ימים חורגים קיצוניים ב-458 ימים (98%) התפתחו אינברסיות כבר ב-00 גמ"ט. 99.1% מן האינברסיות היו אינברסיות קרקעיות ורק כ-1% היו אינברסיות רום (עם בסיס עד 3 ק"מ מן הקרקע). בימים חורגים קיצוניים 65 מתוך 66 ימי נתונים היו עם אינברסיה קרקעית (98.5%). נבדקה התפלגות עובי האינברסיה (במטרים) ועוצמתה (הפרש הטמפרטורה במעלות צלזיוס, בין בסיס האינברסיה לפסגתה), והם מוצגים באיור מס' א' ו-ב'.

איור מס' 25: התפלגות האינברסייה: עובי במטרים ועוצמה במעלות צלזיוס ב-458 ימים חורגים (א' ו-ג') ו-66 ימים חורגים קיצוניים (ב' ו-ד')

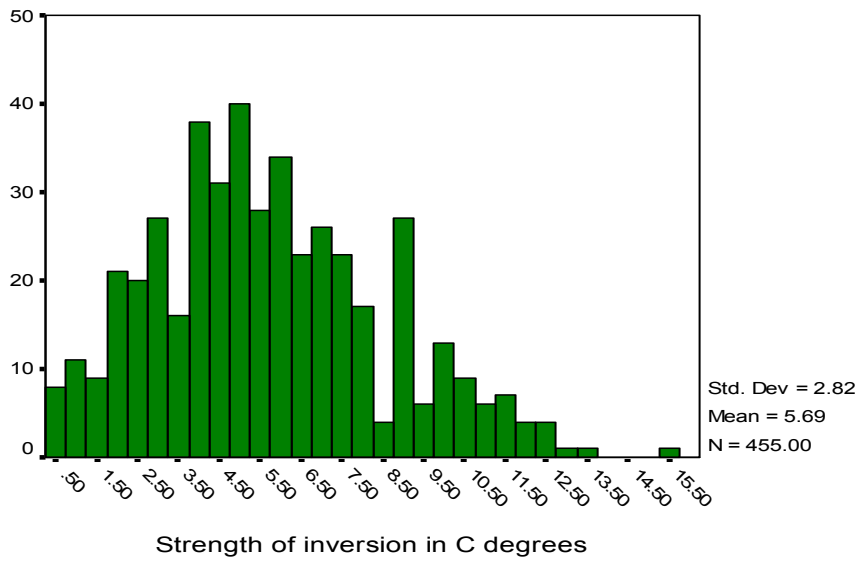
א. עובי בימים חורגים



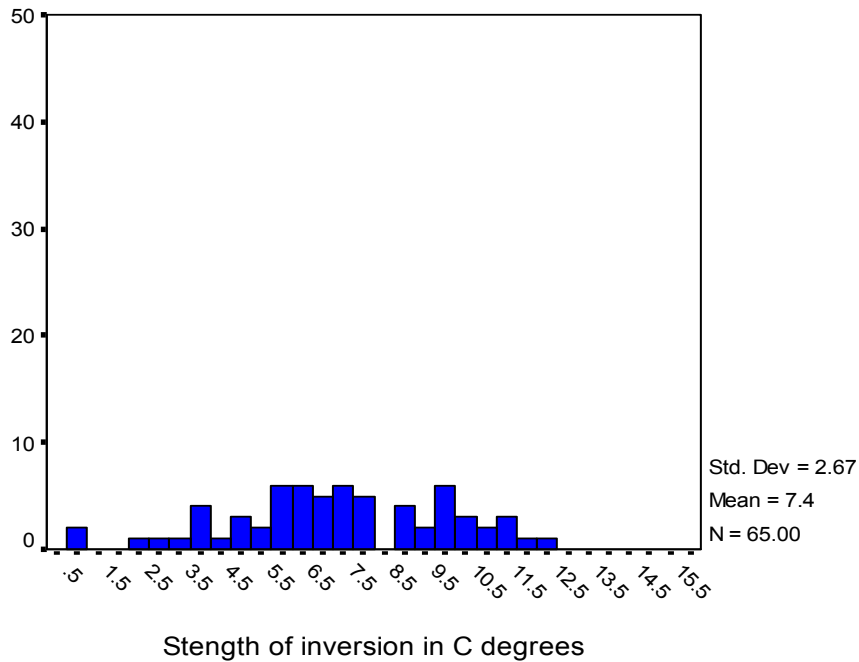
ב. עובי בימים חורגים קיצוניים



ג. עוצמה בימים חורגים



ד. עוצמה בימים חורגים קיצוניים



מן התוצאות עולה כי האינברסיה בימים החורגים קיצוניים הייתה עבה וחזקה יותר מאשר בימים החורגים: עובי האינברסיה בימים חורגים נע בין 58 ל-789 מטר (ממוצע 226 מטר) ובימים חורגים קיצוניים נע בין 70 ל-789 מטר (ממוצע 275 מטר). חשוב לציין שב-50% מימים חורגים וחורגים קיצוניים אינברסיות הקרקעיות התחברו עם אינברסיות הרום ויצרו אינברסיות עבות יחסית (יותר מ-200 מטר). עוצמת האינברסיה בימים חורגים נעה בין 0.4 ל-15.6 מעלות צלזיוס (ממוצע 5.7 מעלות), ובימים חורגים קיצוניים בין 1 ל-12.6 מעלות צלזיוס (ממוצע 7.4 מעלות). יש לציין כי ההבדלים בעובי האינברסיה בין הלילה לצהריים אינם גדולים ואינם מובהקים. בימים חורגים העובי הממוצע של האינברסיות ב-00 גמ"ט קטן מעט מעובי ממוצע של אינברסיות הרום ב-11 גמ"ט, (236 מטר לעומת 226 מטר), ואילו בימים החורגים הקיצוניים גבוה במעט (275 מטר לעומת 218 מטר). קביעות השכבה היציבה במרבית הימים היא המרכיב המרכזי.

3.4.3 ניתוח אירועים ארוכים של זיהום מבחינת היציבות

לצורך ניתוח אירועים ארוכים של זיהום נבחרו אירועים בהם היה רצף קלנדארי של מעל 4 ימים חורגים. נמצא שהיו סה"כ 21 אירועים כאלה לאורך תקופת המחקר (כשהמינום כאמור 5 ימים חורגים ברצף והמקסימום היה 11 ימים). בכל אחד מן האירועים הללו נבדקה השכבה היציבה בצהריים (11 גמ"ט) בכל יום לאורך האירוע ואופיין הטיפוס הסינופטי (טבלה מסכמת של נתונים אלה נמצאת בנספח מס' v). מפתיע לגלות כי לא בכל הימים החורגים אובחנה יציבות ברום. רק ב-10 מתוך 21 האירועים הייתה

יציבות לאורך כל רצף הימים החורגים כשב-4 מתוך 10 אירועים אלה היה רצף יציבות קיצונית (אינברסיה). גובה בסיס אינברסיה ממוצע לימי 21 האירועים הרציפים היה נמוך בכ-60 מ' ביחס לממוצע בסיס האינברסיה בכלל ימים החורגים: 1282 מ' לעומת 1354 מ', עם זאת ב-4 האירועים שנבחרו גובה בסיס האינברסיה היה גבוה מן הממוצע לכלל הימים החורגים (1441 מ' מהקרקע). מבחינת עובי האינברסיה לא נמצאו הבדלים משמעותיים (ממוצע לכלל הימים החורגים ול-21 האירועים כ-236 מ'). ניתוח 4 אירועים שנזכרו מעלה מבחינת הטיפול הסינופטי גובה בסיס האינברסיה עובייה והטיפול הסינופטי בכל אחד מרצף הימים מוצגים באיור מס' 26 א-ד'. ומראה כי כולם התרחשו במצבים אופייניים לזיהום אפיק ים סוף (70%), רמה (27%) ומיקרה אחד של שקע קר.

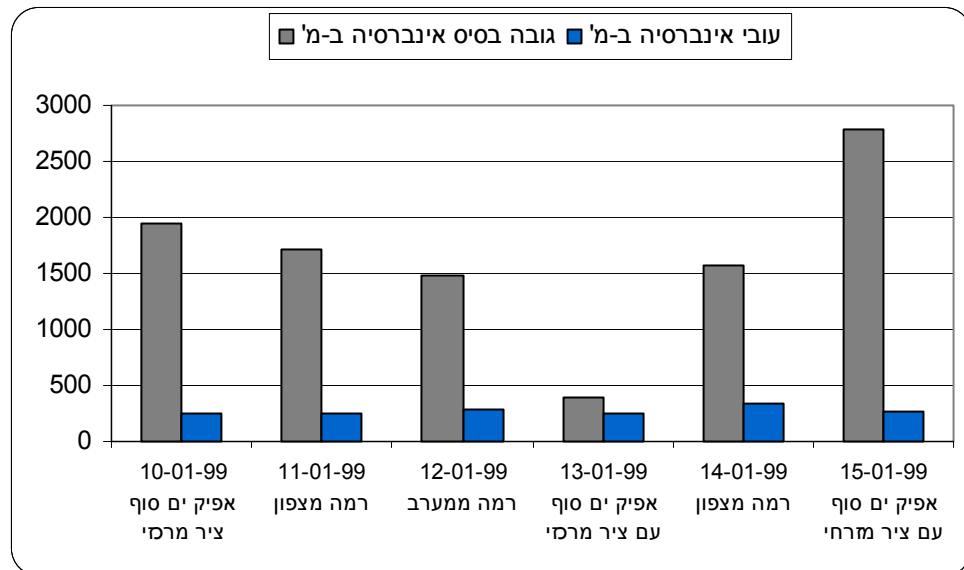
לדוגמא באירוע של 10/01/99-15/01/99 ניתן לראות שהייתה מגמה של הנמכת בסיס האינברסיה מן היום ה-1 ועד ליום ה-4 של האירוע ה-13/01. אך אין מגמה מבחינת עובי האינברסיה. עובי ממוצע של האינברסיה ל-6 הימים גבוה יותר ביחס לממוצע לכלל 21 האירועים- 273 מ'.

בין 5/01/03-9/01/03 היו 5 ימים חורגים, ואחד מהם בו נמדד בסיס אינברסיה הנמוך ביותר (279 מ' מהקרקע 07/01) היה חורג קיצוני. אירוע זה החל תחת מצב סינופטי של שקע קר ממערב אך נראה כי אזורנו היה ממוקם בקדמת השקע עובדה המסבירה את היווצרות האינברסיה ביום זה. המשכו של אירוע ב-4 ימים תחת אפיקי ים סוף ורמה, שהם פוטנציאלים לזיהום. באירוע זה גובה בסיס ממוצע שנמדד היה הנמוך ביותר מבין 4 האירועים, 813 מ' מהקרקע.

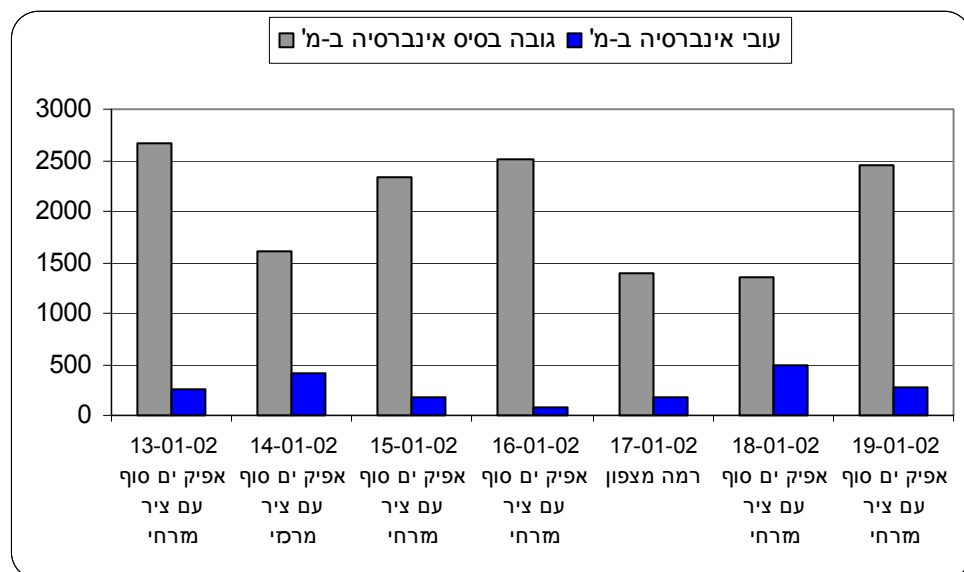
באופן כללי ניתן לומר שכל ארבעת האירועים המודגמים לעיל מאופיינים ברצף של מצבים פוטנציאלים לזיהום גבוה יחד עם רציפות של יציבות קיצונית גרמו לרציפים כה ארוכים של ימים עם חריגות מן התקן. מגמות דומות נצפו גם באירוע שיא של 11 ימים רציפים של זיהום (27/10/98-17/10/98). רצף יציבות קיצונית באירוע זה נמשך לאורך 9 הימים הראשונים של האירוע, ב-7 מן הימים שלטו מצבים הפוטנציאלים לזיהום אפיקי ים סוף ורמות (4 ימים אפיקי ים סוף ו-3 ימי רמות) וב-4 מן 11 הימים שלט מצב סינופטי המאופיין בשכיחות גבוהה של התפתחות אינברסיות האפיק הפרסי. גובה בסיס אינברסיה ממוצע באירוע זה היה נמוך יחסית, 1125 מ' מן הקרקע (לעומת ממוצע ל-21 האירועים- 1282 מ'), ועובי הממוצע גבוה מן הממוצע לכל 21 האירועים- 279 לעומת 237 מ'.

איור מס' 26: 4 אירועים נבחרים: תאריך, טיפוס סינופטי, התפלגות האינברסיה גובה בסיס במטרים מהקרקע ועובי במטרים בכל אחד מן הימים ברצף.

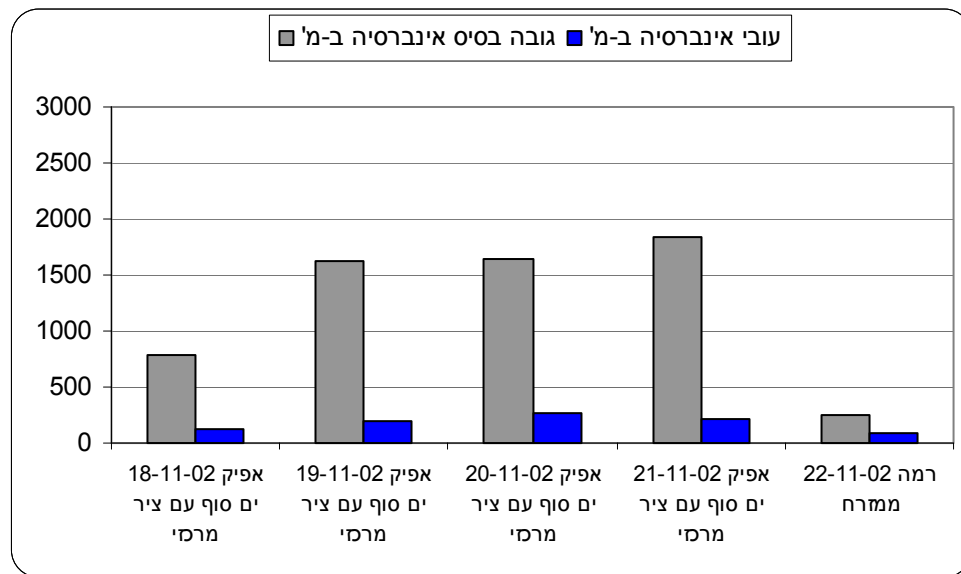
א. 15/01/99-10/01/99



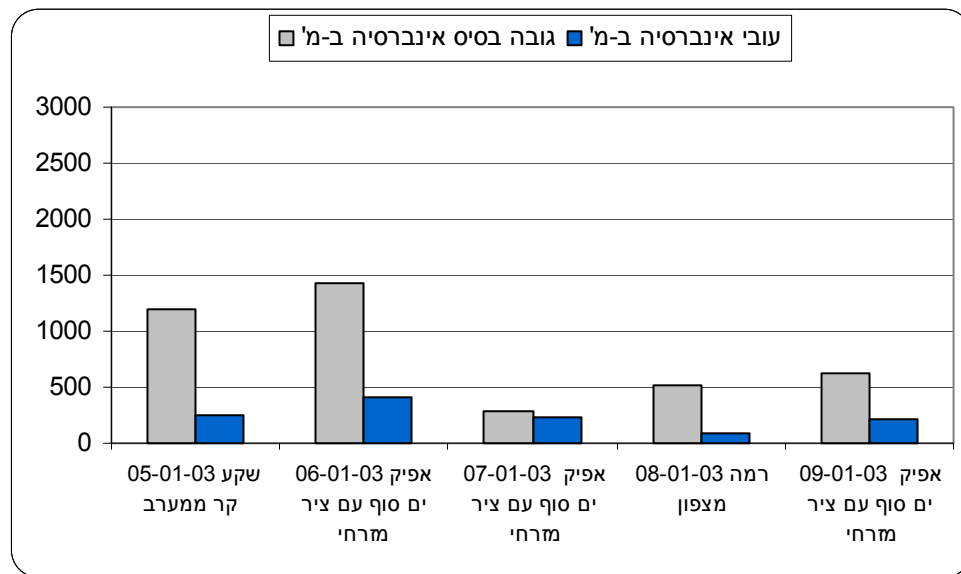
ב. 19/01/02-13/01/02



ג. 22/11/02-18/11/02



ד. 9/01/03-5/01/03



3.5 מאפייני הרוח בימים חורגים וחורגים קיצוניים

לצורך בדיקת מאפייני הרוח בימים חורגים וחורגים קיצוניים נלקחו נתוני רוח חצי שעתיים בגובה 10 מטר מהקרקע ו-65 מטר מהקרקע שהופקו בתחנה המטאורולוגית של חברת החשמל ברמת השרון הממוקמת בצומת הכפר הירוק. נעשתה השוואה של התפלגות חצי שעתית של נתוני מהירות הרוח, רכיב זונאלי (U) של הרוח ורכיב מרדיונאלי (V) של הרוח, בשני הגבהים בחודשים נוב-מרס (נבחרו מהסיבה שמרבית הימים החורגים והחורגים קיצוניים מתקבלים בחודשים אלה) בכל תקופת המחקר, ב-477 הימים החורגים וב-67 הימים החורגים הקיצוניים.

3.5.1 מאפייני הרוח בגובה 10 מטר

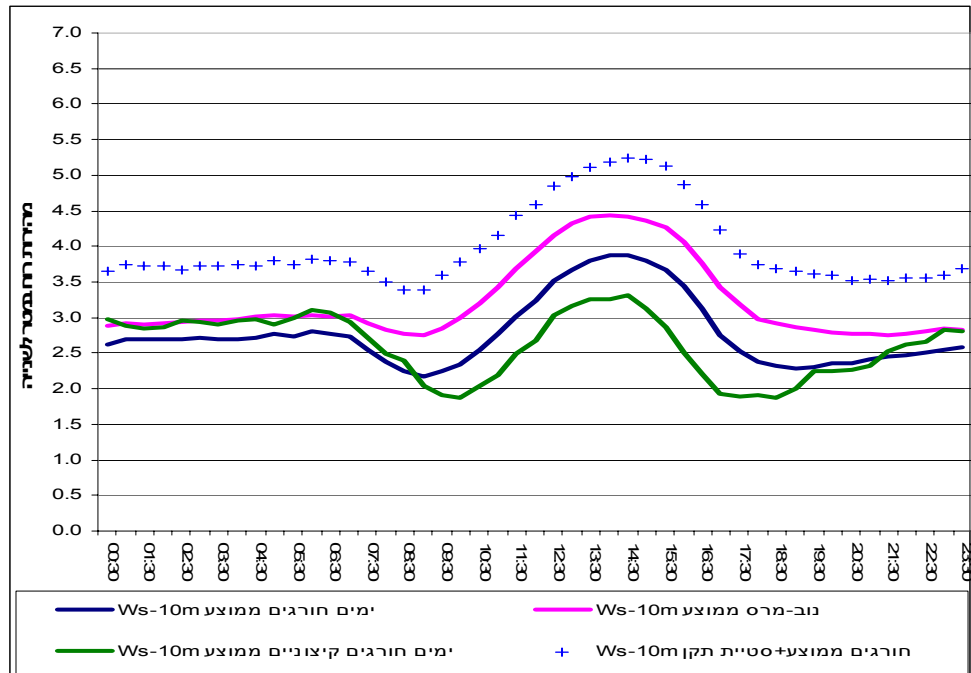
איור מס' 27 א'-ג' מציג את הממוצע מהירות הרוח, רכיב U ורכיב V לפי שעת היממה בממוצע לחודשים נוב-מרס, בממוצע לימים חורגים ובממוצע לימים החורגים הקיצוניים. בנוסף מוצג (בסימן +) הערך של הממוצע +סטיית תקן אחת לימים החורגים.

מן האיור עולה כי מהירות הרוח הממוצעת בשעות היום בימים חורגים נמוכה יותר לאורך כל שעות היממה ממהירות הרוח הממוצעת לכלל הימים (נוב-מרס), וזו של הימים החורגים קיצוניים נמוכה עוד יותר, עובדה התורמת לפוטנציאל זיהום גבוה. עם זאת ערכי סטיית התקן הגבוהים יחסית מצביעים על חוסר מובהקות בהבדל.

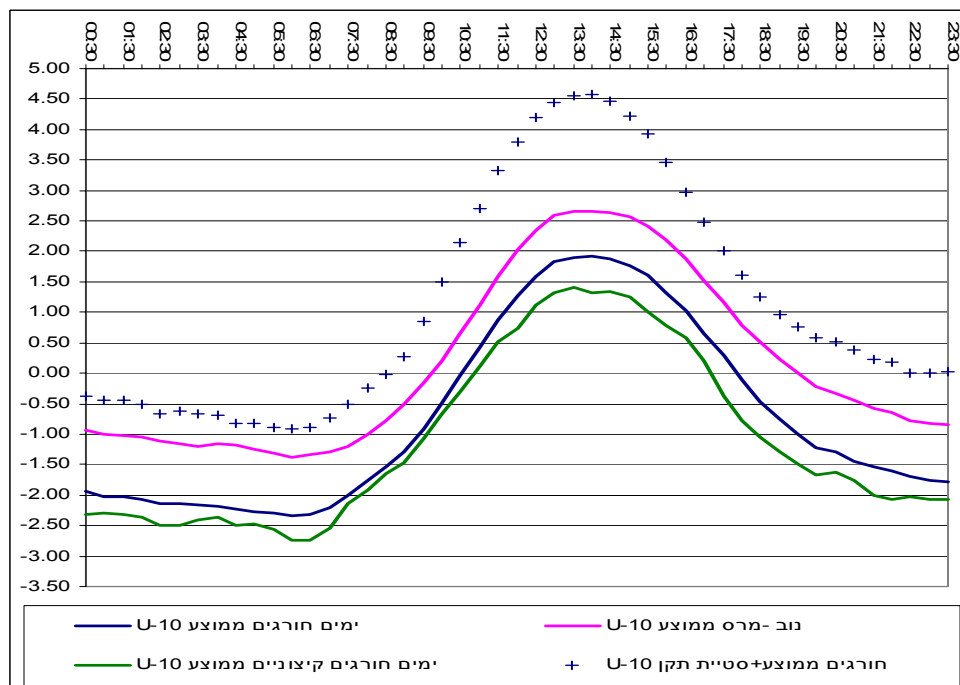
גם בבחינת הרכיב הזונאלי של הרוח (U) נמצא כי בשעות היום הערכים נמוכים בימים חורגים ביחס לכל הימים (נוב-מרס) ובימים חורגים קיצוניים נמוך אף ממנו, עובדה זו מדגישה את הרוח המערבית החלשה יותר בימים המזוהמים ומכאן מגבירה את הפוטנציאל להנמכת בסיס האינברסיה המארינית. סטיות התקן הגבוהות מציינות את השונות בין רוח מזרחית ומערבית המאפיינת ימים אלה של זיהום. בשעות הלילה בולט באופן מובהק הרכיב המזרחי (ערכים שליליים) בימים החורגים והחורגים קיצוניים שמקורו בבריזה היבשתית המנוגדת לרוח האתזית, וכשזו חלשה יותר בימי הזיהום מתפתחת בריזה יבשתית חזקה מעט יותר, אך בהבדל בלתי מובהק. ניגוד זה בין הזרימה הסינופטית (המערבית) והבריזה היבשתית מחליש כאמור את מהירות הרוח בלילה ולפנות הבוקר ומכאן מגביר את פוטנציאל הזיהום.

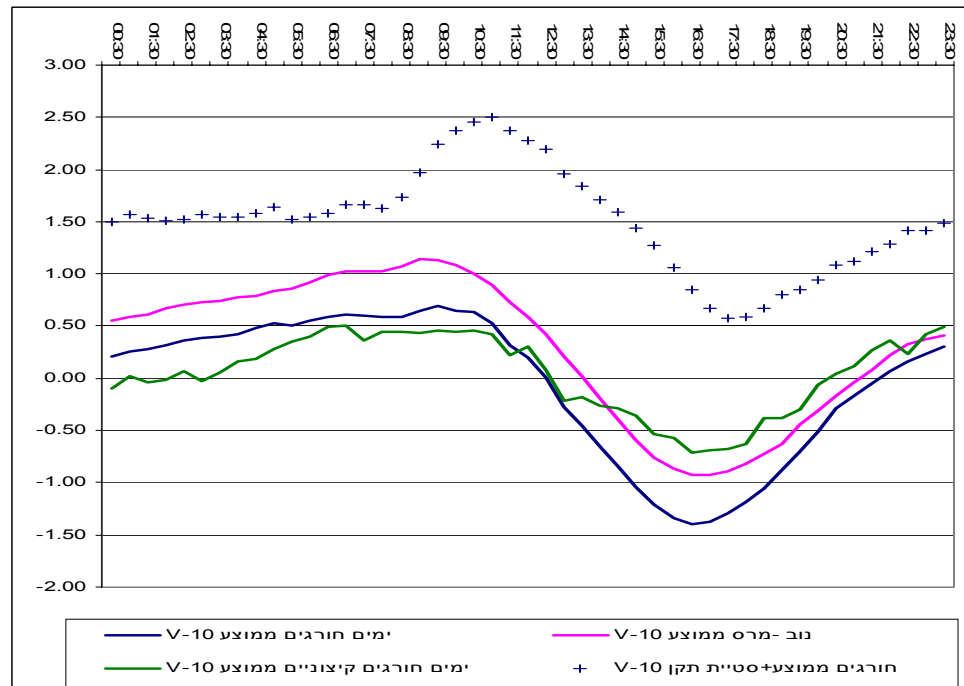
בבחינת הרכיב המרדיאלי של הרוח (V) בולטת העובדה שהרוח היא החלשה ביותר בימים החורגים הקיצוניים לאורך כל היממה, גם ברכיב הדרומי בשעות הלילה והבוקר (ביטוי לבריזה היבשתית והתחלת הבריזה הימית) וגם ברכיב הצפוני בשעות אחר הצהריים (ביטוי לרוח האתזית והבריזה הימית). עם זאת סטיות התקן הגבוהות מבטאות את אי מובהקות השונות בין הימים.

איור מס' 27: ממוצע מהירות הרוח, רכיב U, רכיב V ומהירות +סטיית תקן אחת בימים חורגים בממוצע שעותי לנוב-מרס, לימים החורגים ולימים החורגים הקיצוניים (טבלת הערכים בנספח מס' iii)
 א. מהירות הרוח



ב. רכיב U

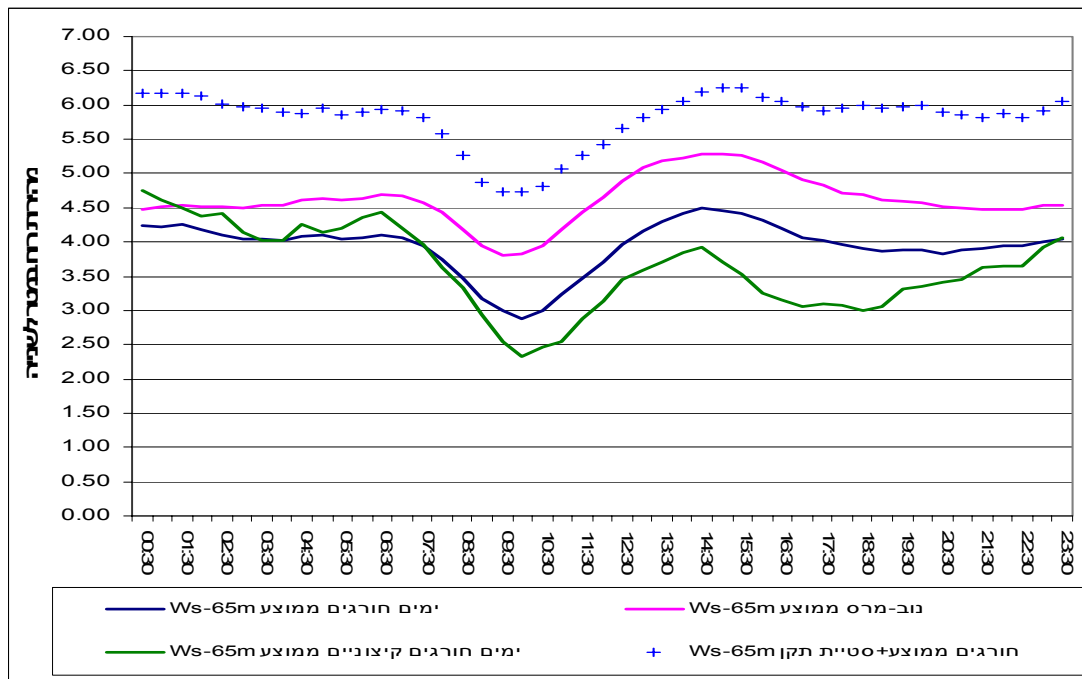




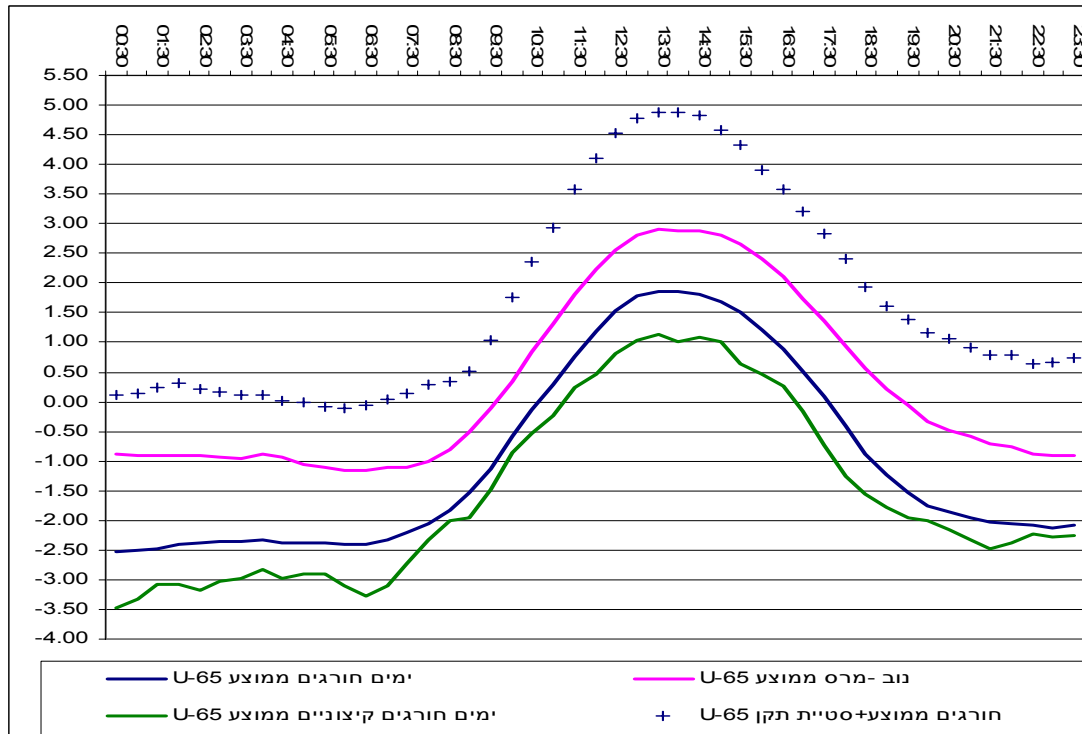
3.5.2 מאפייני הרוח בגובה 65 מטר

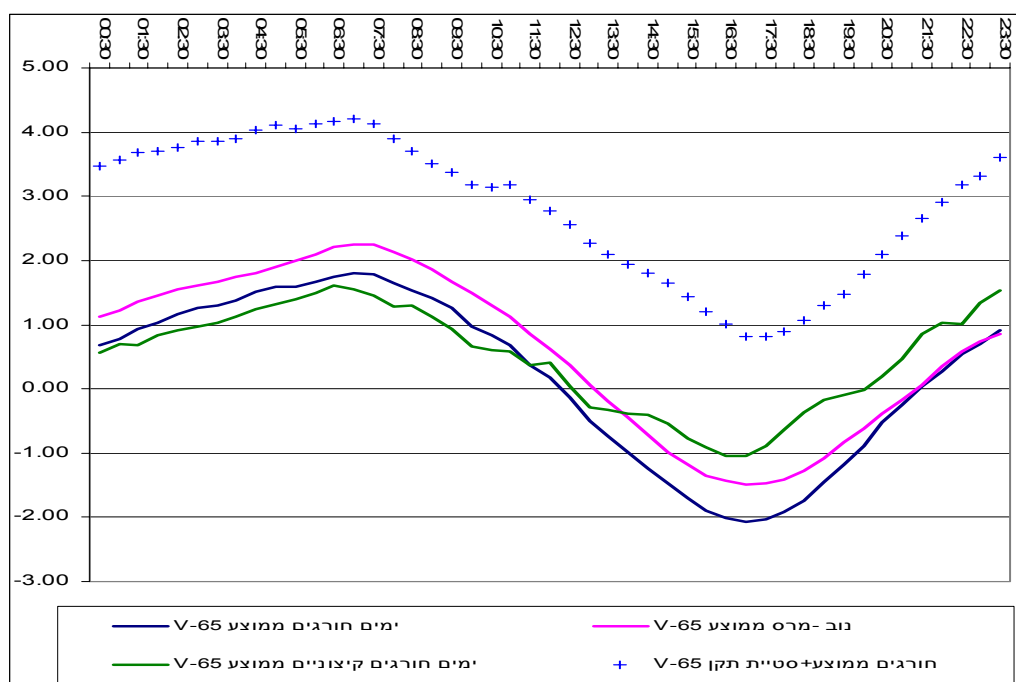
איור מס' 28 א'-ג' מציג את הנראה באיור מס' 27 (גובה 10 מ') אך לגובה 65 מ'. המגמות בגובה 65 מ' דומות מאד לאלה שנמצאו בגובה 10 מ' אלא בעוצמות חזקות יותר. אפשר לראות שמהירות הרוח הממוצעת בימים חורגים קיצוניים היא הנמוכה ביותר בשעות היום (בין השעות 6:30 עד 23:30), כשהרכיב המזרחי בולט בלילה. גם כאן ערכי סטיות התקן גבוהים יחסית ומצביעים על אי מובהקות בהבדלים. ברכיב U של הרוח ההבדל בלילה בין כלל הימים לימים החורגים מובהק עקב קביעות הרכיב המזרחי בשעות אלה בימים החורגים והקיצוניים. עובדה זו מדגישה את הדומיננטיות של הצירקולציה החוזרת עם התפתחות הרוח המערבית בשעות הבוקר.

איור מס' 28: ממוצע מהירות הרוח, רכיב U, רכיב V ומהירות +סטיית תקן אחת בימים חורגים בממוצע שעותי לנוב-מרס, לימים החורגים ולימים החורגים הקיצוניים (טבלת הערכים בנספח מס' iv)
 א. מהירות הרוח



ב. רכיב U





3.6 ניתוח סינופטי של אירועים קיצוניים נבחרים

3.6.1 ניתוח יממות חורגות של זיהום

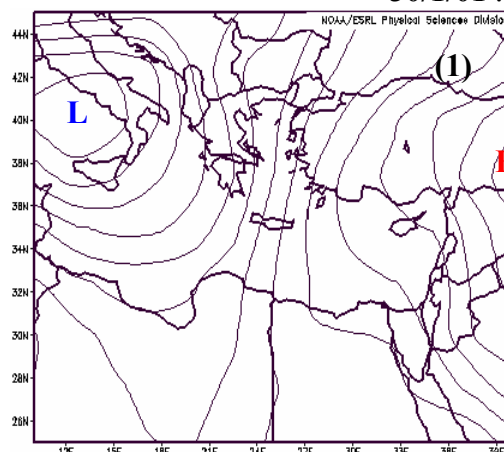
7 היממות הקיצוניות בהן נרשמו ערכי מקסימום של NO_x הגבוהים מ-1250 חל"ב (מעל פי 2.5 מהתקן) נבחרו לבחינה סינופטית. מטבלה מס' 15 נראה כי 4 ימים התאפיינו במצב של אפיק ים סוף שנמצא גם כדומיננטי ביותר ובעל הפוטנציאל הגבוה ביותר לזיהום ושלושה התאפיינו ברמות ברומטריות, מצב שנמצא כשני בפוטנציאל הזיהום. עובדה זו מראה כי אף אחד מן האירועים הקיצוניים לא התרחש תחת מצב של שקע ברומטרי או אפיק פרסי. מהירות הרוח הממוצעת היומית לכל 7 הימים הנבחרים (2.6 מ'/שנ') היא חלשה במעט ממהירות הרוח הממוצעת לכלל הימים החורגים (2.8 מ'/שנ') וחלשה משמעותית בהשוואה למהירות הרוח הממוצעת לכלל הימים בחודשים נוב-מרס (3.2 מ'/שנ'). איור מס' 29 א-ז מציג את הלחץ בגובה פני הים ב-7 התאריכים ואת מהלך הרוח באותם הימים. מפות הלחץ ל-7 התאריכים הופקו מאתר של NCEP/NCAR.

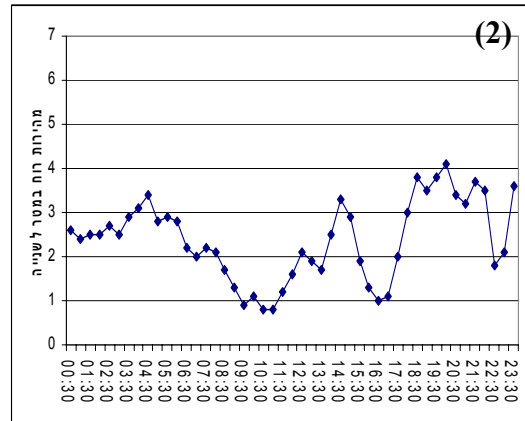
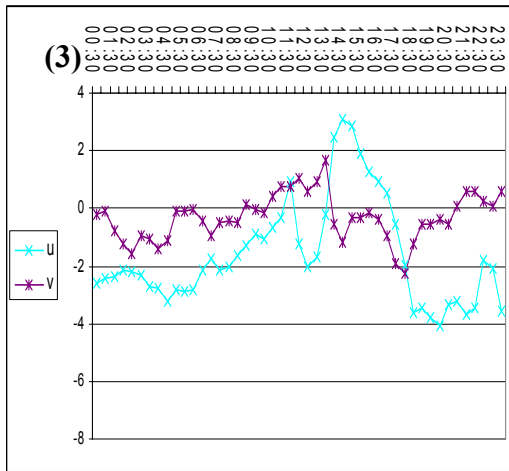
טבלה מס' 15: 7 ימים חורגים קיצוניים: ערך המקסימום המוחלט של NO_x, הטיפוס הסינופטי, מהירות הרוח היומית הממוצעת, רכיב U ורכיב V יומי ממוצע בגובה 10 מ'

תאריך	ערך מקסימום מוחלט NO _x בחל"ב	טיפוס סינופטי	מהירות רוח יומית ממוצעת ב-מ/שנ'	רכיב U ממוצע ב-מ/שנ'	רכיב V ממוצע ב-מ/שנ'
30-01-01	1452.2	אפיק ים סוף עם ציר מערבי	2.4	-1.6	-0.3
07-01-03	1444.9	אפיק ים סוף עם ציר מרכזי	2.6	-1.6	0.3
03-01-99	1303.8	אפיק ים סוף עם ציר מרכזי	2.1	-1.3	0
28-12-98	1300.5	אפיק ים סוף עם ציר מערבי	2.9	-2.2	-0.1
20-11-99	1265.7	רמה ממזרח	2	-0.7	0
18-03-99	1263.3	רמה מצפון	3.6	-2.7	0.3
12-01-03	1259.4	רמה ממזרח	2.8	-0.8	0.6

איור מס' 29 א-ז: הדגמת 7 יממות קיצוניות נבחרות: 1. מפות לחץ יומיות בגובה פני הים 2. מהלך מהירות הרוח השעתית לאורך היממה בגובה 10 מ' 3. מהלך שעתי של רכיב U ורכיב V בגובה 10 מ' לאורך היממה.

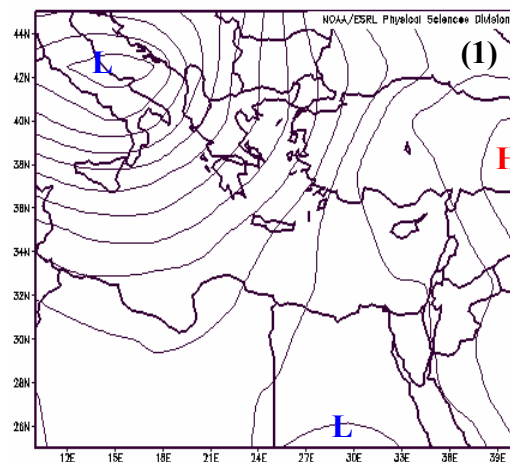
א. 30/1/01

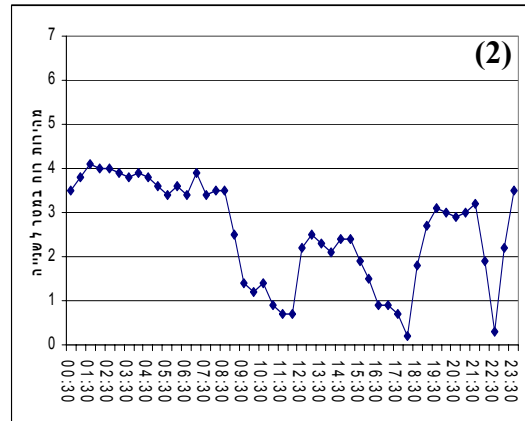
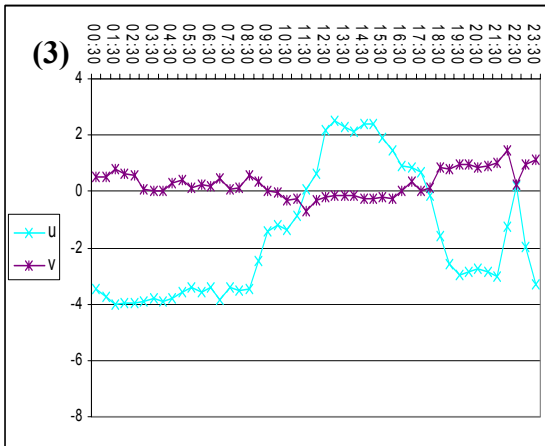




מבחינה סינופטית ביום זה שלט טיפוס עם הפוטנציאל הגבוה ביותר לזיהום- אפיק ים סוף עם ציר מערבי, עם רכס ברום מצפון מזרח נראית הרמה הברומטרית כשהגרדיאנט ביניהם גורם לרוח דרומית מזרחית. ערך המקסימום המוחלט הגבוה ביותר שהתקבל ב-30/01/01 נמדד בשעה 7:30 בבוקר. כפי שאפשר לראות מן הגרף מהירות הרוח נחלשה די בחזות משעה 6:30 עד 9:00 בבוקר. מהירות הרוח בשעה 7:30 נמוכה מן המהירות הממוצעת לאותה היממה (1.9 מ'שנ' לעומת 2.4). כיוון הרוח בשעת הזיהום דרומי-מזרחי. בנוסף, בלילה שקדם הייתה אינברסיה קרקעית בעוצמה של 10.8 מעלות. היציבות הלילית בשילוב עם רוח דרומית מזרחית חלשה בעת האירוע תרמו משמעותית להיווצרות אירוע זיהום כה חמור (ערך מקסימום מוחלט הגבוה ביותר שנמדד ב-7 שנות המחקר).

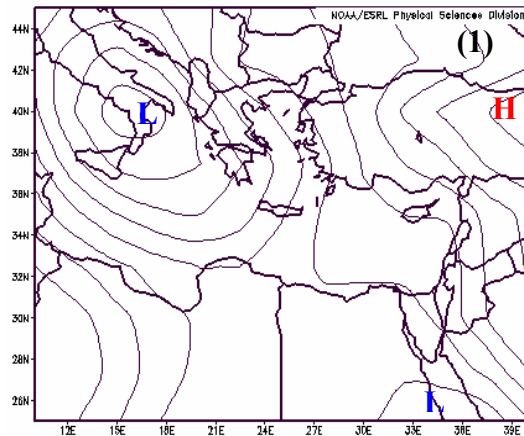
ב. 7/1/03

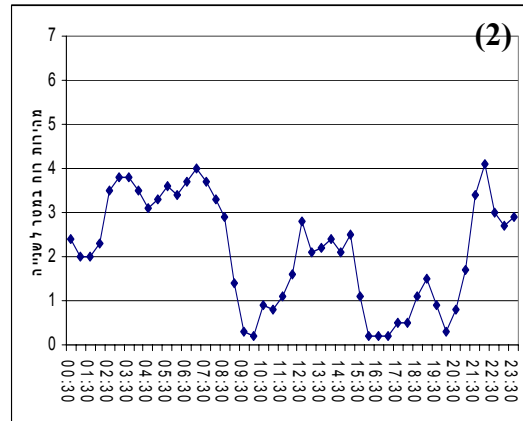
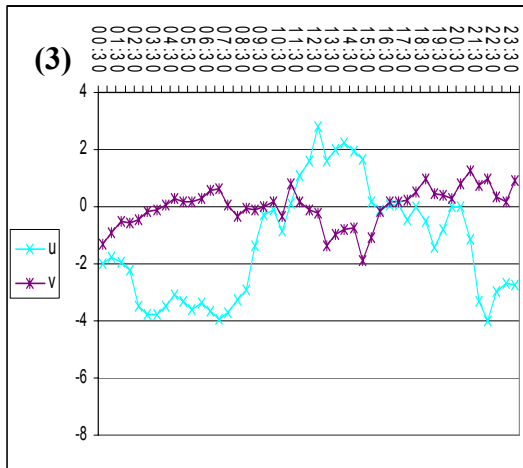




ב- 7/01/03 שלט אפיק ים סוף מדרום, עם רכס ברום גם הוא בשילוב רמה מצפון מזרח שגורמת לגרדיאנט דרומי מזרחי בשכבות הנמוכות. הרוח חלשה מאד ונחלשת אף יותר לקראת שעות אחר הצהריים. בשעות הצהריים יש ביטוי לבריזה הימית (ערכי U חיוביים דהיינו מערביות וערכי V שליליים- רכיב צפוני מערבי) המנוגדת לגרדיאנט הסינופטי ששלט בשארית שעות היממה- דרומי מזרחי ועל כן הניגוד החליש את הרוח. ערך מקסימום בזיהום התקבל ביום זה בשעה 19:00 בסמוך למהירות רוח הנמוכה ביותר באותה היממה (לאחר 18:00). טרם לכך בשעה 11:00 גמ"ט נמדדה יציבות בגובה 622 מ' מהקרקע. גם ביממה לפני וגם ביממה אחרי 7/01/03 התפתחו אינברסיות לילה קרקעיות. השילוב בין היציבות לרוח חלשה מזרחית הוא זה שהביא לזיהום הגבוה.

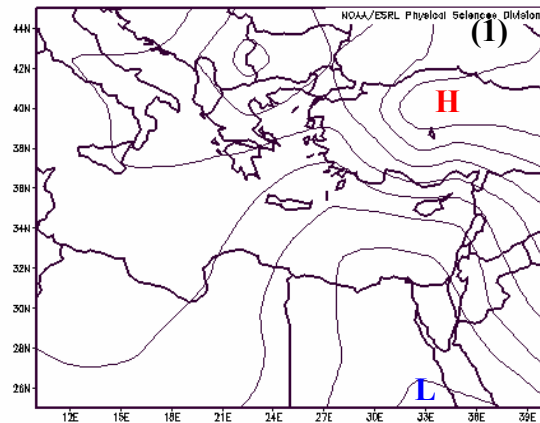
ג. 3/01/99

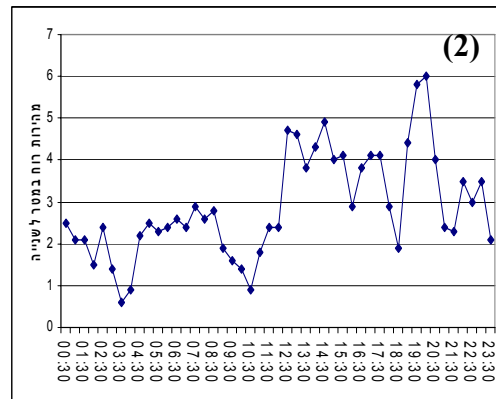
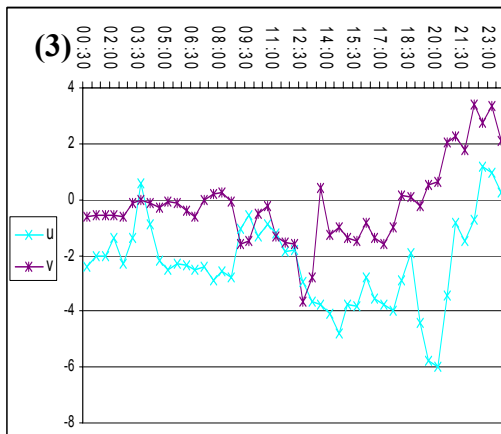




ב- 3/01/99 שלטה רמה מצפון מזרח ואפיק ים סוף מזרח עם רכס ברום וגרדיאנט דרומי מזרחי בשכבות הנמוכות בדומה לאירועים שתוארו מקודם. הרוח השלטת בבוקר הייתה חלשה במהירותה (עד 3 מטר בשנייה) ונחלשה לפרקים לאורך אחר הצהריים, שעות 'המאבק' בין גרדיאנט הסינופטי המזרחי לבריזה הימית (ערכי U חיוביים וערכי V שליליים- רכיב צפוני מערבי). בשארית שעות היממה גרדיאנט הרוח הדומננטי היה הסינופטי, דרומי מזרחי. ערך שיא הזיהום נמדד בשעה 20:30 בעת רוח חלשה מאד עם גרדיאנט דרומי-מזרחי ויציבות חזקה, בצהרי היום התפתחה אינברסיה בגובה 1093 מ' בעובי 670 מ' ובהמשך הלילה התפתחה אינברסיה קרקעית המבטאת את התחזקות היציבות.

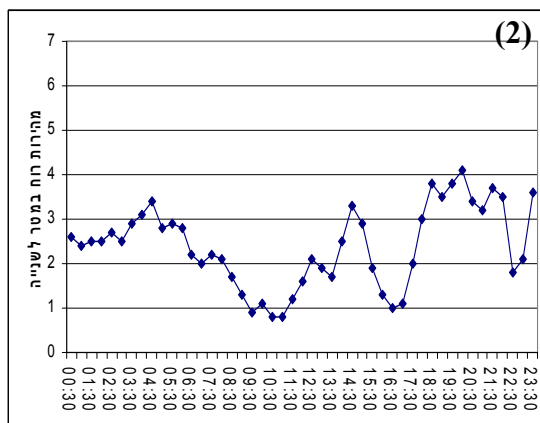
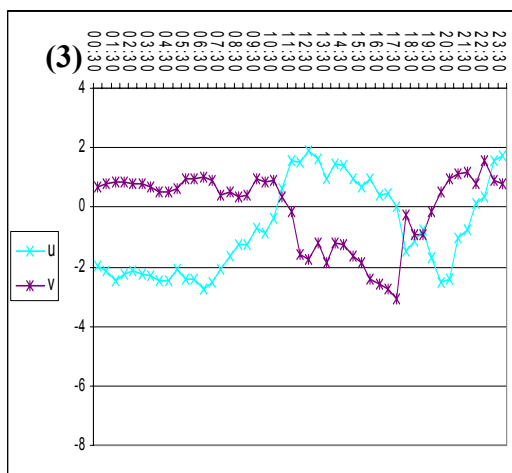
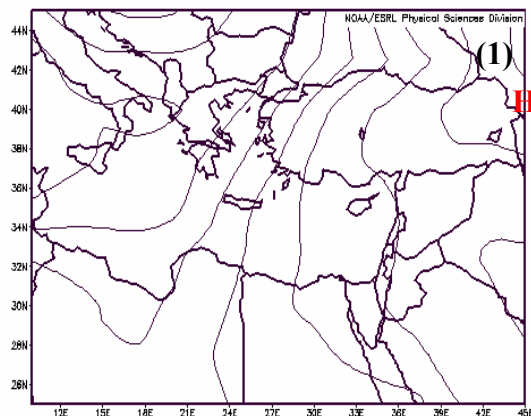
ד. 28/12/98





ב- 28/12/98 שלטה באזורנו רמה מצפון עם אפיק ים סוף מדרום, גרדיאנט דרומי מזרחי, ורכס ברום. מהירות הרוח עד שעות הצהריים נעה מ-0 עד 3 מטר לשנייה ובשעות אחר הצהריים עד שעות הערב (21:00) עלתה עד 6 מטר לשנייה. ביום זה הבריזה הימית לא הצליחה לגבור והרוח המזרחית נשבה כל היממה. בשעות הלילה מהירות הרוח שוב נחלשה. ערך הזיהום המקסימאלי נמדד בשעה 9:00 כשהרוח הייתה חלשה משמעותית מן הממוצע. בלילה לפני האירוע התפתחה אינברסיה קרקעית.

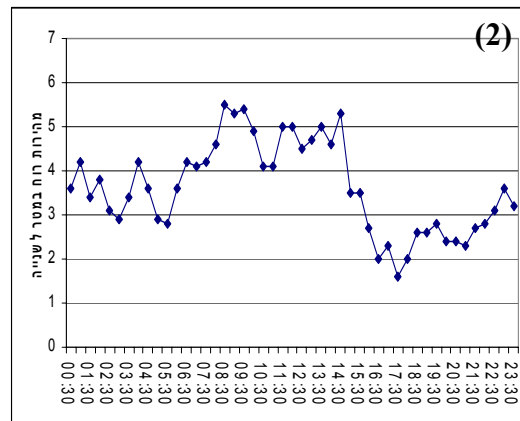
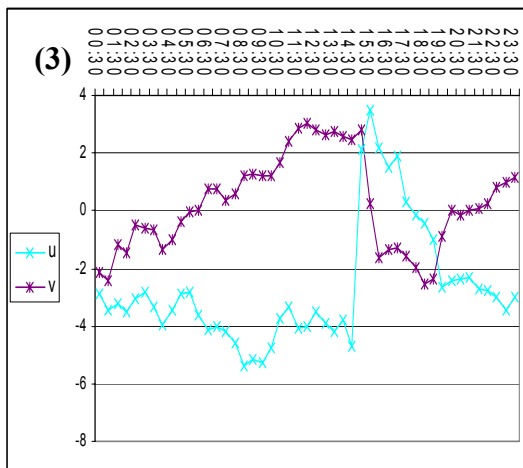
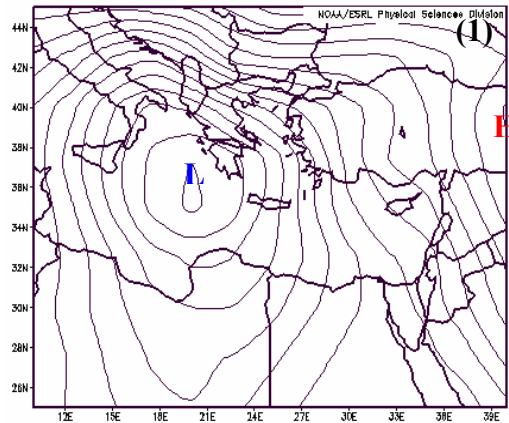
ה. 20/11/99



ב-20/11/99 שולטת רמה מצפון מזרח עם גרדיאנט דרומי מזרחי ורכס ברום. מגמות הרוח דומות למה

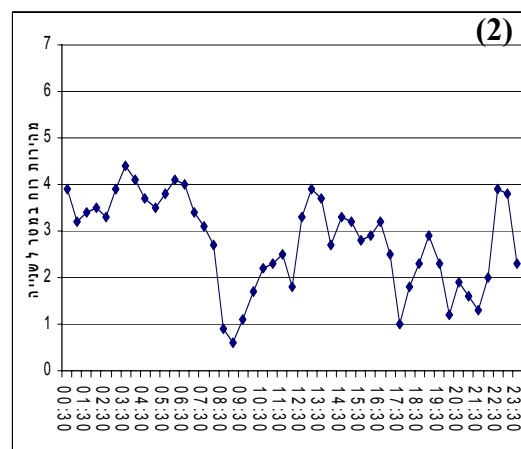
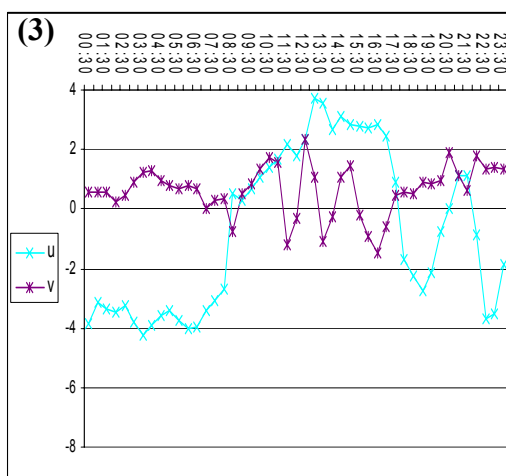
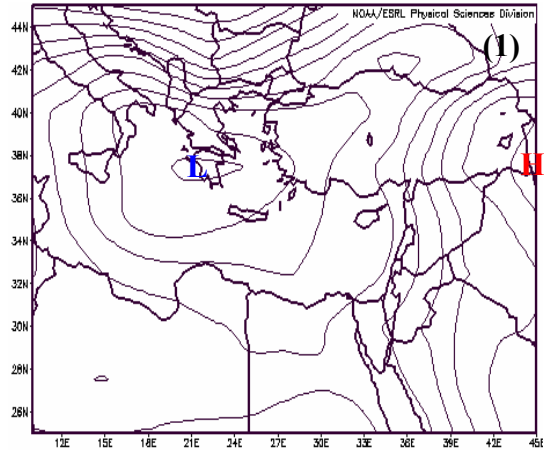
שהיה ב-3/01/99 עם התפתחות בריזה ימית חלשה בשעות אחר הצהריים. ערך המקסימום המוחלט נמדד בשעה 23:30 כשמהירות הרוח חלשה מן הממוצע לאותו היום (1.9 מ'/שנ'). בצהריים התפתחה אינברסיית רום עם בסיס נמוך מאד 231 מטר מהקרקע ועבה (291 מ'), ובלילה התפתחה אינברסיה קרקעית.

1. 18/03/99



ב- 18/03/99 שלטה רמה ממזרח עם גרדיאנט דרומי מזרחי ורכס ברום. מהירות הרוח נחלשת משמעותית בשעות אחר הצהריים (15:30), סביב שעה זו ערכי רכיב הרוח U משתנים בחדות משליליים לחיוביים, וערכי רוח V מחיוביים לשליליים למשך מספר שעות ובולט רכיב צפוני מערבי של הרוח- בריזה ימית (רוח זו חלשה בעוצמתה בשל הניגוד מול הגרדיאנט הסינופטי). עם זאת למעט שעתים אלה במשך כל היממה הגרדיאנט השולט הוא דרומי- מזרחי, הגרדיאנט הסינופטי. ערך מקסימום הזיהום נמדד בשעה 21:30 כשהרוח חלשה מן הממוצע לאותו היום (2.5 מ'/שנ' לעומת 3.6 מ'/שנ'). טרם לכך בצהריים התפתחה אינברסיית רום גבוהה (בגובה 2 ק"מ) בעובי 309 מ' ובלילה אחרי התפתחה אינברסייה קרקעית.

12/01/03 ז.



ב- 12/01/03 הייתה גם כן רמה ממזרח עם גרדיאנט דרומי מזרחי, רכס ברום ושקע מתקרב ממערב שהגביר את הגרדיאנט הדרומי מזרחי. מהירות הרוח חלשה. עם זאת לפי גרף רכיב U ורכיב V אפשר לראות שהיו תנודות משמעותיות בכיוון הבולט של הרוח ועוצמתה כפונקציה של התפתחות בריזה ימית בשעות הצהריים והתגברות על גרדיאנט הסינופטי. ערך המקסימום המוחלט נמדד בשעה 7:00 כשהרוח חלשה ביותר בהשוואה לאורך כל היממה. בלילה לפני מדידת הערך התפתחה אינברסיה קרקעית בעוצמה של 6 מעלות צלזיוס.

לסיכום, ניתן לומר שדומיננטיות של הרכיב הסינופטי הדרומי מזרחי עם רוח חלשה ויציבות הוא המגביר של פוטנציאל הזיהום בימים שהוצגו מעלה. תנאים אלה נוצרים בשילוב רכס רום המגביר את ההתמוככות וגורם ליציבות ברום הנמוך. תופעה בולטת נוספת היא הצירקולציה החוזרת, בה בשעות הצהריים מתקיים 'מאבק' בין הגרדיאנט הסינופטי הדרומי מזרחי לבריזה הימית ובמרבית הימים מצליחה להתפתח בריזה ימית למספר שעות, עם כי עוצמתה חלשה מריזה ימית אופיינית. הזיהום מתפתח לרוב בשעות הבוקר עם היחלשות הגרדיאנט המזרחי והתחלת הפעילות התחבורתית כאשר עדיין היציבות קיימת, או בשעות הערב עם היחלשות הרוח, ההתייצבות וקיומה עדיין של פעילות תחבורתית.

3.6.2 בחינת הזיהום בימי כיפור

אל מול הדגמת אירועים קיצוניים בהם נמדד זיהום אוויר גבוה בחרנו לבחון את ערכי הזיהום בימי כיפור, יממה בה צפויה ירידה חדה בפליטת ה- NO_x לאוויר כתוצאה מהפסקה כמעט מוחלטת בכמות כלי הרכב, עם זאת ברור כי יום כיפור מתרחש תחת טיפוסים סינופטיים שונים ועל כן ניתן לבחון כאן את ההשפעה של ההפחתה בזיהום תחת תנאים סינופטיים שונים.

מחקרם של וגנר וגנור (1999) בחן את ערכי ה- NO_x הנמדדים לפני, בזמן ואחרי יממת החג בשנת 1998 בכדי להמחיש את חומרת זיהום האוויר הנגרם מכלי רכב בגוש דן. הם מצאו כי ישנה ירידה חדה בריכוזים בין יום כיפורים לבין היום שלפניו ואחרי. בדומה למחקרם אנו בחנו את ערכי ה- NO_x החצי שעתיים מקסימאליים ב-7 תחנות המחקר, לפני, בזמן ואחרי יממת צום הכיפורים בשנים 1998-2004, כשיממת הצום הוגדרה כפרק הזמן מ-18:00 (זמן מקומי) בערב יום כיפור ועד 18:00 ביום למחרת. כפי שמוצג בטבלה מס' 16 כל הערכים שנמדדו לפני, בזמן ואחרי הצום נמוכים מן התקן למעט שנת 2002, בשנה זו ביום אחרי יממת הצום- 17/09 (יממת הצום 15-16/09) נמדדו 4 חריגות חצי שעתיות בתחנה תחבורתית טיפת חלב וחריגה אחת בתחנה תחבורתית רמז. יש לזכור ששיעור הימים המזוהמים בספטמבר ואוקטובר נמוך יחסית ונמוך במיוחד במצב של אפיק פרסי שאפיין חלק מימי הכיפור, אך הממצא המעניין יותר היא ההפחתה משמעותית בערכים המקסימאליים היומיים של NO_x (הפחתה בשיעור ממוצע של 10%) בכל התחנות בכל אחת מיממות הכיפור ביחס למה שהיה ביממה לפני ואחרי יום צום כיפורים.

איור מס' 30 מציג את ההפחתה בערכים ספציפית לתחנה התחבורתית טיפת חלב, התחנה המזוהמת ביותר מבין תחנות המחקר. אפשר לראות שבשנת 1998 למשל, הערך המקסימאלי הנמדד בתחנה יממה לפני יום כיפורים היה 377 חל"ב ואחרי יממת הכיפורים 365 חל"ב ואילו ביממת הכיפור עצמה הערך החצי שעתי המקסימאלי שהתקבל היה 13 חל"ב כלומר מדובר בהפחתה של פי 29 בערכי NO_x . אך ההפחתה הגבוהה ביותר ביחס למה שהיה אחרי יממת הצום הייתה בשנת 2002, ביממת הכיפור הערך היה 9 חל"ב ואחרי יום כיפור 706 חל"ב- הפחתה של פי 78 לעומת מה שהיה אחרי יממת הצום.

מבחינת המצב הסינופטי, אפשר לראות שעל אף שבחלק מן השנים ביממות לפני, ואחרי יממת הצום היו תחת אפיקי ים סוף ורמות (המצבים עם הפוטנציאל הגבוה ביותר לזיהום), הערכים שהתקבלו עדיין היו נמוכים מאד (כשליש עד כמחצית מן התקן). סיבה אפשרית לכך היא כאמור הקרינה היחסית חזקה בחודשי ספטמבר ואוקטובר הגורמת גם כן לשכיחות נמוכה של אירועי זיהום (ראה איור מס' 9 והסבר בפרק 1.1.3).

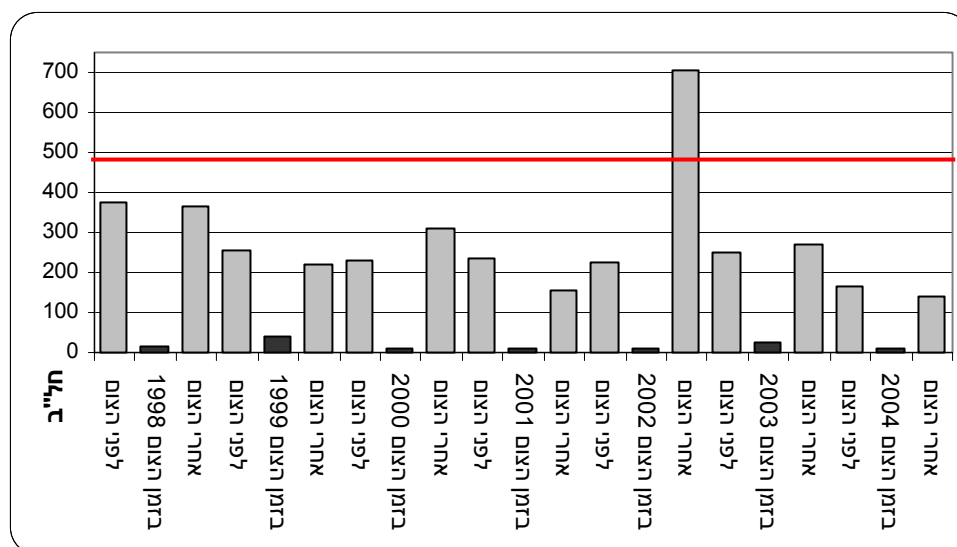
טבלה מס' 16: ערכים מקסימאליים יומיים בחל"ב של NO_x ב-7 תחנות בכל אחת מיממות הכיפור

והטיפוס הסינופטי, בשנים 1998-2004

שנה	הערות	טיפוס סינופטי	עמיאל	עירוני ד'	טיפת חלב	רמז	חולון	יד אבנר	גבעתיים
1998	לפני הצום	אפיק פרסי חלש	280		377	404	165		
	בזמן הצום	רמה ממערב	15		13	45	11		
	אחרי הצום	רמה ממערב	248	144	365	243	148		
1999	לפני הצום	אפיק פרסי חלש	203	164	256	169	136	139	

	41	43	63	38	57	41	אפיק פרסי חלש	בזמן הצום	
	132	90	223	220	165	147	אפיק פרסי בינוני	אחרי הצום	
	74	110	178	231	208	210	רמה ממערב	לפני הצום	
	9	12		10		17	אפיק ים סוף עם ציר מזרחי	בזמן הצום	
	69	75	286	312	194	200	רמה מעל ישראל	אחרי הצום	
2000	95	63	106	242	236	182	אפיק פרסי בינוני	לפני הצום	
	10	15	6	40	11	17	5	אפיק פרסי חלש	בזמן הצום
	75	40	80	147	153	167	193	אפיק פרסי חזק	אחרי הצום
	56	78	151	226	156	125	רמה ממערב	לפני הצום	
	17	14	33	9	17	12	רמה מעל ישראל	בזמן הצום	
	192	196	505	706	263	283	אפיק פרסי חלש	אחרי הצום	
	70	61	123	107	251	112	150	אפיק ים סוף עם ציר מרכזי	לפני הצום
	32	23	14	25	24	20		אפיק ים סוף עם ציר מזרחי	בזמן הצום
	97	118	133	204	272	142	190	רמה ממערב	אחרי הצום
	102	77	100	171	165	107	200	אפיק פרסי בינוני	לפני הצום
	18	18	9	33	11	19	4	רמה ממערב	בזמן הצום
2004	105	90	80	204	141	215	150	אפיק ים סוף עם ציר מזרחי	אחרי הצום

איור מס' 30: ערכים מקסימאליים יומיים בחל"ב של NO_x בתחנת טיפת חלב בכל אחת מיממות הכיפור במהלך תקופת המחקר.



4. סיכום ומסקנות

זיהום אוויר מתחמוצות חנקן היא תופעה מוכרת באזורים עירוניים בעולם. מטרפולין תל-אביב אינו יוצא דופן. צפיפות גבוהה של כלי רכב ממונעים היא המקור העיקרי של זיהום מתחמוצות חנקן במרחב תל-אביב.

מחקרים מראים כי חשיפה ארוכת טווח לריכוזים גבוהים של תחמוצות חנקן בכלל ודו תחמוצות החנקן בפרט יכולה לגרום לבעיות אקולוגיות ובריאותיות (World Bank Group, 1998, WHO, 2000). ריכוז המזהמים באטמוספירה משתנה בהתאם למהירות הרוח וכיוונה וכן בהשפעת מידת היציבות בשכבת הגבול האטמוספירית המושפעים בין היתר גם מן המצב הסינופטי (Niemeyer 1960).

מחקרים רבים בעולם אפיינו את התנאים הסינופטיים להתפתחות אירועי זיהום אוויר ומצאו כי אלה מאופיינים ברוח חלשה, יציבות אוויר ממושכת וערפל, תנאים הנקשרים לרוב למערכות אנטיציקלוניות, נייחות למחצה, כשחלקם הנם מצבים של מערכות פולאריות קרות ויבשות המאפיינות את העונה הקרה ואחרות קשורות דווקא במערכות אנטיציקלוניות בעונות האחרות. במוסקבה, לדוגמא, מצאו שמצבים אנטיציקלוניים באביב, בקיץ ובסתיו הם אלה המעודדים ריכוזים גבוהים של מזהמים מתחמוצות חנקן, ובארבע ערים בארה"ב מצאו את הריכוזים הגבוהים בעונת הקיץ (Niemeyer 1960, Yu and Pielke 1986, Bower et al. 1994, Chung et al. 1999, Shahgedanova et al. 1998, Greene et al. 1999, Sanchez and Andrade 2002, Kassomenos et al. 2003, Makra et al. 2004).

המיון הסמי-אובייקטיבי של Alpert et al (2004a), הגדיר 19 טיפוסים סינופטיים האופייניים לאזור מזרח הים התיכון השייכים ל-5 קבוצות ראשיות של מצבים: שקעים חורפיים, אפיקים פרסיים, אפיקים ים סוף, רמות ושקעים שרביים.

המחקר בחן את הקשר שבין התנאים הסינופטיים, המוגדרים על פי מיון הסמי-אובייקטיבי של Alpert et al (2004a) ותנאי מזג האוויר, לבין ריכוזי תחמוצות חנקן במרחב תל-אביב. בסיס הנתונים לתחמוצות החנקן הן מדידות חצי שעתיות של NO_x ו- NO_2 מ-7 תחנות ניטור: 4 תחנות תחבורתיות הממוקמות ליד צירי תנועה ראשיים, ו-3 תחנות כלליות הממוקמות על גגות מבנים במרחק מסוים מן הכביש. המחקר התמקד ב-7 שנים, 2004-1998.

על אף שהמחקרים השונים מראים כי מתוך כל תחמוצות החנקן המזהם המזיק ביותר לבריאות הוא החנקן הדו חמצני, בישראל לא קיים תקן ספציפי לדו תחמוצות החנקן. מסיבה זו, ומשום שנמצאה קורלציה חזקה ומובהקת בין דו תחמוצות החנקן לכלל תחמוצות החנקן, המחקר הנוכחי התמקד בנתוני כלל תחמוצות החנקן. התקן הסביבתי הישראלי (המגדיר את כמות המזהם המותרת באוויר הפתוח) לתחמוצות חנקן הוא 500 חלקיקים לביליון בערך החצי שעת. בהתאם לתקן זה הוגדרו שני מושגים: 'יום חורג' ו'יום חורג קיצוני', כשיום חורג הוגדר כיום בו זוהתה חריגה חצי שעתית אחת לפחות בערכי NO_x , ב-1 מ-7 התחנות לפחות, ויום חורג קיצוני הוגדר כיום בו זוהתה חריגה חצי שעתית אחת לפחות בערכי NO_x , ב-5 מ-7 התחנות לפחות, כשלרוב היו אלה 4 התחנות התחבורתיות והתחנה הכללית בחולון.

המסקנות העיקריות של המחקר הן:

שכיחות אירועי הזיהום:

- ערך הזיהום המקסימאלי היומי, מספר אירועי חריגה וגובה ערכי החריגה המתקבלים, מושפע ממרחק תחנת הניטור ממקור הפליטה. כצפוי, בתחנות התחבורתיות הממוקמות ליד צירי תנועה, בגובה המדרכה הערכים הנמדדים גבוהים בפי 2 בממוצע מן הערכים הנמדדים בתחנות הכלליות הממוקמות על גגות במרחק מן הכביש.
- ישנם שני שיאים ביממה בהם מתקבל מספר אירועי חריגה הגבוה ביותר (בין 04:00 עד 10:00 כשהשיא סביב 07:00 ובין 16:00 עד 01:00 בלילה כשהשיא סביב 19:30) הנובעים מן השילוב בין שעות יציבות האטמוספירה הלילית ומאפייני הרוח לבין שעות שיא התנועה.
- 'ימים חורגים' היוו 19% מימי תקופת המחקר, והימים החורגים קיצוניים היוו 3% מימי תקופת המחקר. 85% מימים החורגים ו-89% מימים חורגים קיצוניים התקבלו בחודשי החורף נוב-מרס. עם זאת, % התצפיות החריגות, מכלל התצפיות (% המדידות החצי שעתיות החורגות מתוך כל המדידות החצי שעתיות התקינות) הוא נמוך יותר ומהווה 0.6% בממוצע לכל התחנות.

התנאים הסינופטיים בימי הזיהום והגדרת "פוטנציאל הזיהום"

- המצב הסינופטי הבולט ביותר בו מתרחשים אירועי הזיהום הוא אפיק ים סוף. יותר ממחצית הימים החורגים היו תחת מצב זה למרות שהשכיחות הממוצעת של המצב לכל תקופת המחקר הייתה 25%. בנוסף, בימים חורגים תחת מצב זה התקבלו ערכי המקסימום המוחלט הקיצוני והממוצע הגבוהים ביותר. אחריו נמצאות הרמות ברומטריות על אף ששכיחות הכללית שלהם (28%) גבוהה מזו של אפיק ים סוף, זאת בניגוד למצאים ממקומות אחרים בעולם המצביעים על כך שהרמות הברומטריות הן השכיחות יותר באירועי הזיהום (Niemeyer 1960, Yu and Pielke 1986, Bower *et al.* 1994, Chung *et al.* 1999, Shahgedanova *et al.* 1998, Greene *et al.* 1999, Sanchez and Andrade 2002, Kassomenos *et al.* 2003, Makra *et al.* 2004).
- לשקעים חורפיים פוטנציאל זיהום נמוך, אך עם זאת 10% מימים חורגים היו ימים של שקע חורפי. ב-76% מן הימים החורגים תחת שקעים ברומטריים הייתה יציבות, מה שנובע ככל הנראה מן הסיבה שהגדרת המצב כשקע לעיתים נעשית כשאנו נמצאים בקדמתו ואז עדיין יכולים להתפתח תנאים המעודדים זיהום, עקב ההתמוככות ברומ.
- ההסבר לשכיחות הגבוהה של ימי הזיהום תחת מצב אפיק ולא רכס נעוץ בתנאים המקומיים המתפתחים בהם אפיק ים סוף מלווה ברכס רום המגביר את היציבות עקב התמוככות ברומ. בשכבות הנמוכות שליט הגרדיאנט הדרומי מזרחי אשר בשעות הצהריים ואחה"צ מתבטל לעיתים באזור החוף עקב השתלטות הבריזה הימית המנוגדת בכיוונה ויצרת 'צירקולציה חוזרת', התוצר הוא החלשות הרוחות והתגברות פוטנציאל הזיהום. מושג שהוגדר "כפוטנציאל הזיהום", הינו הסיכוי להתרחשות של 'יום חורג' ושל 'יום חורג קיצוני', הוא חושב על פי שיעור

הימים החורגים והקיצוניים לאורך תקופת המחקר. הפוטנציאל הגבוה ביותר נמצא למצב סינופטי של אפיק ים סוף (38% מימי המצב היו חורגים). הטיפוס הסינופטי עם פוטנציאל הזיהום הגבוה ביותר הוא אפיק ים סוף עם ציר מערבי: 82% מימי הטיפוס היו חורגים, על אף ששכיחות הטיפוס לכל תקופת המחקר היא רק 3%. יש להדגיש כי ארבעה מתוך שישה הטיפוסים הסינופטיים עם הפוטנציאל הגבוה ביותר היו ציקלונים בניגוד למצב בעולם. ארבעה הטיפוסים עם הפוטנציאל הגבוה ביותר: אפיק ים סוף עם ציר מערבי, רמה ממזרח, אפיק ים סוף עם ציר מרכזי ורמה מצפון, מאופיינים כולם בזרימה סינופטית מזרחית לרוב חלשה המשתלבת עם הצירקולציה החוזרת עם התפתחות בריזה ימית באזור החוף. מצבים אלה של זרימה דרומית מזרחית הם בעלי טמפ' גבוהה מן הממוצע וללא אירועי גשם, ואכן נמצאה קורלציה חיובית בין טמפ' העונתית הממוצעת לשכיחות ימים חורגים ($R=+0.45$) וקורלציה שלילית בין כמות הגשם העונתית ושכיחות הימים החורגים ($R=-0.71$), קשר זה מובהק ב-95%.

- מאפיינים מטאורולוגיים של ימים עתירי זיהום הם התפתחות של יציבות אטמוספרית המתאפיינת באינברסיה קרקעית בלילה ואינברסיית רום או יציבות בולטת בשעות היום [שכיחות ימים חורגים עם אינברסיית רום גבוהה יותר משכיחותם השנתית הממוצעת של ימים עם אינברסיות רום מעל בית דגן. עם זאת לא נמצאו מגמות מובהקות בעובי שכבת היציבות ועוצמתה בימים חורגים לעומת שאר הימים] וזרימה סינופטית מזרחית חלשה המנוגדת לזו של הבריזה הימית ולכן הרוח חלשה יחסית, עובדה המגבירה את פוטנציאל הזיהום. יש לציין כי אמנם בימים חורגים הרוח חלשה מן הרוח הממוצעת לנוב-מרס, ובימים חורגים קיצוניים חלשה עוד יותר אך השונות ביניהם אינה מובהקת (שונות של 0.4 מ/שנ' בממוצע).

מגמת שינוי בין שנתית:

- בחינת מגמת השינוי הבין שנתית של ימים חורגים מצביעה על מגמת שיפור מובהקת (ירידה של כ-8 ימים חורגים בשנה) משנת 1998 עד 2004. ניתן לייחס זאת לשיפור במזהמים הנפלטים אך אין נתונים אלה בידנו ולכן בדקנו מגמת שינוי זו אל מול שכיחות מצבים סינופטיים בעלי פוטנציאל זיהום גבוה. נמצא קשר, על אף שלא מובהק, בו הירידה ברמות הזיהום קורלטיבית לירידה בשכיחות הופעה של המצבים הסינופטיים הפוטנציאליים לזיהום: אפיקי ים סוף +רמות ($R=+0.69$). בנוסף, נמצא שקיים קשר שלילי בין שכיחות ימים בעלי פוטנציאל נמוך לזיהום (שקעים) ומס' ימים חורגים. עובדות אלה מצביעות על כך שהשיפור אינו רק תוצר של הפחתה בפליטות אלא תלוי בתנאים הסינופטיים המאפיינים את העונה, והרי עונת החורף בה עיקר אירועי הזיהום נתונה, באזורנו במיוחד, לתנודות בין שנתיות גבוהות. על כן, עונות חורף חמות ויבשות בהן שכיחות ימים עם רמות ואפיקי ים סוף גבוהה, הן גם העונות המזוהמות.

לסיכום, מחקר זה מהווה בסיס לפיתוח מנגנון התרעה יעיל נגד ימים עתירי זיהום. על בסיס חיזוי מצבים סינופטיים פוטנציאליים לזיהום ניתן לחזות את הזיהום עצמו ועל כן להתריע בפניו.

המלצות להמשך המחקר:

- שיפור מיון סינופטי לאירועי זיהום אוויר.
- העמקת ניתוח מרחבי של הזיהום באזורי העיר השונים על ידי מערך תחנות ניטור מורחב יותר.
- העמקת הבחינה של משטר הרוח והיציבות על ידי מערך ניטור מדויק יותר במרחב העיר.
- בחינת קשר בין המיון הסינופטי הנוכחי למזהמים נוספים כגון: חלקיקים נשימים, פחמן חד חמצני, גופרית דו חמצנית ואוזון.
- בחינת הקשר בין המיון הסינופטי לאירועי זיהום אוויר באזורים מטרפוליניים נוספים בארץ: חיפה וירושלים.
- בחינת הקשר בין המיון הסינופטי לאירועי זיהום אוויר לתקופת מחקר מורחבת יותר.

5. רשימת המקורות

- גנור א', ברנר ש', אלטשולר ס', וסתר א', 1996. אזורים רגישים לזיהום אוויר ממקורות נמוכים בישראל. הביספרה כ"ד (9-10): 26-23.
- דיין א', לוי א', 2002. היבטים מטאורולוגיים של פיזור והסעת אוזון טרופוספרי מעל ישראל: התפלגות אוזון בזמן ובמרחב מעל ישראל במצבים סינופטיים נבחרים. מתוך: ניטור איכות האוויר בישראל סיכום שנתי לשנת 2000. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים. 70-57.
- וגנר א', (עורך). 1998. ניטור איכות אוויר בישראל סיכום שנתי לשנת 1997. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים.
- וגנר א', (עורך). 1999. ניטור איכות אוויר בישראל סיכום שנתי לשנת 1998. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים.
- וגנר א', (עורך). 2000. ניטור איכות אוויר בישראל סיכום שנתי לשנת 1999. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים.
- וגנר א', גנור א', 1999, יום ללא זיהום אוויר מכלי רכב- יום כיפורים תשנ"ט. מתוך: זיהום אוויר מתחבורה בגוש דן תמונת מצב לשנת 1998. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים. 13-6.
- זיו ב', יאיר י', 1993. מבוא למטאורולוגיה. האוניברסיטה הפתוחה, רמת אביב. יחידות 1, 2, 5.
- זיו ב', סערוני ה', אלפרט, פ', 2006. אקלים הקיץ בישראל והקשר בינו לבין המונסון. מרחבים – קובץ מחקרים בגיאוגרפיה של ארץ ישראל, 6, מוקדשת לאקלים וסביבה. אוניברסיטת תל-אביב, החוג לגיאוגרפיה וסביבת האדם. 331-315.
- לוי א', דיין א', 2006. השפעת התנאים המטאורולוגיים והצירקולציה באטמוספירה על ריכוזי PM_{10} וטווחי ראות אופקית בתל אביב. מרחבים – קובץ מחקרים בגיאוגרפיה של ארץ ישראל, 6, מוקדשת לאקלים וסביבה, אוניברסיטת תל-אביב, החוג לגיאוגרפיה וסביבת האדם. 223-201.
- מושל א', 2001. אמצעים להפחתה של פליטות מזהמי אוויר מאוטובוסים. מתוך: ניטור איכות האוויר בישראל דו"ח שנתי 2000. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים. 55-49.
- סתר א' ולונקה א', 1999, מצבים סינופטיים והשפעתם על פיזור מזהמים ממקורות גבוהים ונמוכים. מתוך: ניטור איכות האוויר בישראל סיכום שנתי לשנת 1998. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים. 41-29.
- קורדובה- ביז'ונר ל' (עורכת), 2001, ניטור איכות האוויר בישראל דו"ח שנתי 2000. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים.
- קורדובה- ביז'ונר ל' (עורכת), 2002, ניטור איכות האוויר בישראל דו"ח שנתי 2001. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים.
- קורדובה- ביז'ונר ל' (עורכת), 2003, ניטור איכות האוויר בישראל דו"ח שנתי 2002. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים.

קורדובה- ביז'ונר ל' (עורכת), 2004, נישור איכות האוויר בישראל דו"ח שנתי 2003. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים.

קורדובה- ביז'ונר ל' (עורכת), 2005, נישור איכות האוויר בישראל דו"ח שנתי 2004. המשרד לאיכות הסביבה, ירושלים.

שעיה י' ויפה ש', 1976, אינברסיות צהרים מעל בית דגן. סדרה א' מס' 33 השירות המטאורולוגי, בית דגן. 9-10.

Alpert P, Osetinsky I, Ziv B, Shafir H., 2004a. Semi-objective classification for daily synoptic systems: application to the eastern Mediterranean climate change. *International Journal of Climatology*, 24:1001-1011.

Alpert P, Osetinsky I, Ziv B, Shafir H., 2004b. A new seasons definition based on classified daily synoptic systems: an example for the eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 24: 1013–1021.

Bitan A, Saaroni H, 1992. The horizontal and vertical extension of the Persian Gulf trough. *International Journal of Climatology*, 12: 733-747.

Boubel R. W, Fox D. L, Turner D.B, Stern A. C., 1994. *Fundamentals of Air Pollution*. Elsevier, USA. 275-286, 523-53

Bower J. S, Broughton G. F. J, Stedman J. R, Williams M. L., 1994. A winter NO₂ smog episode in the U.K. *Atmospheric Environment*, 28: 461-475.

Chen C.-L., Tsuang B.-J, Tu C.-Y., Cheng W.-L., Lin M.-D., 2002. Wintertime vertical profiles of air pollutants over a suburban area in central Taiwan. *Atmospheric Environment*, 36: 2049-2059.

Chung K.K, Chan J.C.L, Ng C.N, Lam K.S, Wang T., 1999. Synoptic conditions associated with high Carbon Monoxide episodes at a coastal station in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 33: 3087-3095.

Dayan U, Levy I., 2002. Relationship between synoptic-scale atmospheric circulation and ozone concentrations over Israel. *Journal of Geophysical Research*, 107(31):1-8.

Dayan U, Levy I., 2004. *The Influence of Meteorological Conditions and Atmospheric Circulation Types on PM10 and Visibility in Tel-Aviv*. Source URL: atar.mscc.huji.ac.il. 1-42.

Dayan U, Rodnizki J., 1999. The temporal behavior of the atmospheric boundary layer in Israel. *Journal of Applied Meteorology*; 38: 830 –836.

- Greene J.S, Kalkstein L.S, Ye H, Smoyer K., 1999. Relationships between synoptic climatology and atmospheric pollution at 4 U.S. cities. *Theoretical and Applied Climatology*, 62: 163-174.
- Incecik S., 1996. Investigation of atmospheric conditions in Istanbul leading to air pollution episodes. *Atmospheric Environment*, 30: 2739-2749.
- Israel Ministry of the Environment (ImoE), 2002. *Implementing Agenda 21 in Israel*. Israel Report to the Economic and Social Council of the United Nations (ECOSOC), Jerusalem. 43-46.
- Kassomenos P. A, Sindosi O. A, Lolis C. J, Chaloulakou A., 2003. On the relation between seasonal synoptic circulation types and spatial air quality characteristics in Athens, Greece. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53: 309-324.
- Makra L, Mika J, Béczi R, Borsos E, Sümeghy Z, Gál A, Vitányi B., 2004. Air pollution related classification of air mass types for Szeged Hungary. Source URL: www.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/Nicosia2004.pdf. 1-8
- Maybeck H. F., 1996. Subsidence Inversions Recognition and Application in Lighter-than-Air Flight. Plymouth State College. Plymouth, New Hampshire. Source URL: www.maybeck.com/inversions/
- Niemeyer L., 1960. Forecasting air pollution potential. *Monthly Weather Review*, 88(3): 88-96.
- Olague E.P, Byun D.W, Dege J.A, Ostrowski P.J., 2003. *Environmental Conditions*. NARSTO Workshop on Innovative Methods for Emission-Inventory Development and Evaluation. University of Texas, Austin. 1-3.
- Pasquill F, Smith F.B., 1983. *Atmospheric Diffusion*. E. Horwood, Chichester.
- Richardson L. F., 1926. Atmospheric Diffusion Shown on a Distance-Neighbour Graph. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 110: 709-737
- Saaroni H, Bitan A, Alpert P, Ziv B., 1996. Continental polar outbreaks into the Levant and eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 16: 1175-1191.
- Saaroni H, Ziv B, 2000, Summer rain episodes in a Mediterranean Climate, the case of Israel: climatological-dynamical analysis. *International Journal of Climatology*, 20: 191-209.

- Sahin M, Selahattin I, Topcu S, Yildirim A., 2001. Analysis of atmospheric conditions during air pollution episodes in Ankara, Turkey. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 51: 972-982.
- Sanchez-Ccoyllo M, de Fatima-Andrade A., 2002. The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in Sao Paulo, Brazil. *Environmental Pollution*, 116: 257-263.
- Shahgedanova M, Burt T.P, Davies T.D., 1998. Synoptic climatology of air pollution in Moscow. *Theoretical and Applied Climatology*, 61: 85-102.
- Sorbjan Z, 2003. Air-Pollution Meteorology, In Zannetti P (Ed.) *Air Quality Modeling - Theories, Methodologies, Computational Techniques, and Available Databases and Software. Vol. I – Fundamentals*. Enviro-Comp Institute and the Air & Waste Management Association. 11-12, 54-58.
- Tanner P.A, Law P-T., 2002. Effects of synoptic weather systems upon the air quality in Asian mega city. *Water, Air, and Soil Pollution*, 136: 105–124.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency) Office of Air Quality Planning & Standards. 1998. *NOx - How Nitrogen Oxides Affect the Way We Live and Breathe*. Source URL: www.epa.gov/air/urbanair/nox/index.htm
- weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html
- web.mscc.huji.ac.il/synlab/Glossary/Glossary.htm
- WHO (World Health Organization). 2000. *Air Quality Guidelines for Europe*. WHO Regional Office for Europe, European Series 91. Copenhagen. 175-179.
- World Bank Group. 1998. *Pollution Prevention and Abatement Handbook, Toward Cleaner Production*. The World Bank Group Washington D.C. 223-226.
- www.cdc.noaa.gov
- Yarnal B, 1993. *Synoptic Climatology in Environmental Analysis*. Belhaven Press, London and Florida. 19-21.
- Yarnal B, Comrie A. C, Frakes B, Brown D. P., 2001. Developments and prospects in synoptic climatology. Review. *International Journal of Climatology*, 21: 1923–1950.
- Yu C. H., Pielke R. A., 1986. Mesoscale air quality under stagnant synoptic cold season conditions in the Lake Powell area. *Atmospheric Environment*, 20: 1751-1762.

Ziomas I. C, Melas D, Zerefos C. S, Bais A. F, Paliatsos A. G., 1995. Forecasting peak pollutant levels from meteorological variables. *Atmospheric Environment*, 29: 3703-3711.

6. נספחים

i. טבלה ערכים מסכמת לאיור מס' 18

ממצב סינופטי	ממוצע ערכי מקס' מוחלט בחל"ב	סטיית תקן	ערך מקס' מוחלט קיצוני בחל"ב
אפיקי ים סוף	782	208	1516
אפיקים פרסיים	604	72	739
רמות	731	197	1266
שקעים	652	142	973
שקעים שרביים	737	110	887

ii. טבלת ערכים מסכמת לאיור מס' 19

טיפוס סינופטי	ממוצע ערכי מקס' מוחלט בחל"ב	סטיית תקן	ערך מקס' מוחלט קיצוני בחל"ב
אפיק ים סוף עם ציר מזרחי	677	59	1209
אפיק ים סוף עם ציר מערבי	901	280	1452
אפיק ים סוף עם ציר מרכזי	767	223	1516
אפיק פרסי חלש	603	77	739
אפיק פרסי בינוני	591	0	591
אפיק פרסי חזק	627	0	627
רמה ממזרח	816	228	1266
רמה ממערב	629	114	1024
רמה מצפון	737	187	1263
רמה מעל ישראל	663	127	886
שקע עמוק ממזרח	591	56	631
שקע עמוק מדרום	785	0	785
שקע רדוד מדרום	0	0	0
שקע עמוק מצפון	501	0	501
שקע רדוד מצפון	684	170	973
שקע קר ממערב	705	137	968
שקע רדוד ממזרח	558	40	623
שקע שרבי ממערב	712	156	887
שקע שרבי מעל ישראל	761	65	831

iii. טבלת ערכים לאיור מס' 27

ימים חורגים קיצוניים סטיית תקן V-10	נוב - מרס סטיית תקן V-10	ימים חורגים סטיית תקן V-10	ימים חורגים קיצוניים ממוצע V-10	נוב - מרס ממוצע V-10	ימים חורגים ממוצע V-10	ימים חורגים קיצוניים סטיית תקן U-10	נוב - מרס סטיית תקן U-10	ימים חורגים סטיית תקן U-10	ימים חורגים קיצוניים ממוצע U-10	נוב - מרס ממוצע U-10	ימים חורגים ממוצע U-10	Ws-10m ימים חורגים קיצוניים סטיית תקן	Ws-10m נוב-מרס סטיית תקן	Ws-10m חורגים סטיית תקן	Ws-10m ימים חורגים קיצוניים ממוצע	Ws-10m נוב-מרס ממוצע	Ws-10m ימים חורגים ממוצע	Time
1.21	1.67	1.29	-0.10	0.55	0.21	1.77	2.64	1.57	-2.31	-0.93	-1.95	1.03	1.62	1.03	2.98	2.88	2.63	00:30
1.03	1.68	1.31	0.02	0.59	0.25	1.82	2.65	1.59	-2.29	-1.00	-2.02	1.16	1.63	1.05	2.88	2.92	2.70	01:00
1.05	1.66	1.25	-0.04	0.62	0.28	1.77	2.62	1.58	-2.31	-1.03	-2.04	1.20	1.63	1.03	2.85	2.90	2.69	01:30
1.03	1.69	1.20	-0.01	0.67	0.32	1.66	2.60	1.58	-2.37	-1.06	-2.08	1.11	1.62	1.02	2.86	2.92	2.70	02:00
0.97	1.67	1.15	0.07	0.71	0.37	1.63	2.58	1.48	-2.50	-1.11	-2.14	1.07	1.58	0.98	2.95	2.95	2.70	02:30
0.97	1.68	1.18	-0.02	0.73	0.39	1.68	2.55	1.51	-2.49	-1.15	-2.14	1.15	1.57	1.01	2.95	2.96	2.72	03:00
1.01	1.68	1.15	0.06	0.74	0.39	1.71	2.51	1.48	-2.41	-1.19	-2.16	1.15	1.54	1.03	2.90	2.95	2.69	03:30
1.08	1.69	1.12	0.17	0.77	0.42	1.75	2.54	1.49	-2.37	-1.17	-2.17	1.08	1.56	1.04	2.96	2.97	2.70	04:00
0.96	1.71	1.10	0.19	0.79	0.48	1.70	2.58	1.41	-2.51	-1.19	-2.23	1.10	1.59	1.00	2.98	3.01	2.72	04:30
0.71	1.66	1.10	0.29	0.84	0.53	1.73	2.56	1.44	-2.48	-1.26	-2.27	1.14	1.57	1.02	2.90	3.02	2.77	05:00
0.69	1.65	1.02	0.35	0.86	0.50	1.74	2.50	1.40	-2.56	-1.32	-2.30	1.10	1.55	1.00	3.00	3.01	2.74	05:30
0.72	1.66	1.00	0.40	0.92	0.55	1.62	2.45	1.43	-2.75	-1.37	-2.35	1.11	1.53	1.01	3.10	3.02	2.80	06:00
0.63	1.67	0.99	0.49	0.99	0.59	1.67	2.42	1.43	-2.75	-1.34	-2.32	1.23	1.51	1.02	3.08	3.02	2.77	06:30
0.69	1.72	1.06	0.50	1.03	0.61	1.74	2.40	1.48	-2.54	-1.29	-2.21	1.22	1.51	1.05	2.95	3.03	2.73	07:00
0.90	1.73	1.06	0.37	1.02	0.60	1.86	2.33	1.49	-2.14	-1.20	-2.00	1.28	1.54	1.09	2.71	2.92	2.55	07:30
0.71	1.79	1.04	0.44	1.03	0.59	1.95	2.30	1.54	-1.92	-1.00	-1.77	1.43	1.60	1.12	2.48	2.83	2.38	08:00
0.90	1.87	1.14	0.44	1.07	0.59	1.98	2.30	1.53	-1.65	-0.78	-1.54	1.39	1.70	1.15	2.39	2.77	2.24	08:30
0.99	2.00	1.32	0.44	1.14	0.65	1.59	2.27	1.55	-1.48	-0.52	-1.29	1.30	1.76	1.21	2.04	2.76	2.18	09:00
1.09	2.17	1.56	0.45	1.13	0.69	1.66	2.32	1.76	-1.07	-0.16	-0.91	1.28	1.83	1.35	1.92	2.84	2.24	09:30
1.23	2.34	1.73	0.45	1.08	0.64	1.77	2.42	1.98	-0.67	0.21	-0.48	1.34	1.88	1.43	1.87	3.00	2.35	10:00
1.32	2.47	1.82	0.46	1.01	0.64	1.93	2.54	2.19	-0.31	0.66	-0.04	1.28	1.93	1.42	2.03	3.20	2.55	10:30
1.52	2.57	1.98	0.42	0.90	0.53	2.03	2.61	2.28	0.12	1.12	0.43	1.35	1.93	1.39	2.19	3.43	2.76	11:00
1.57	2.67	2.06	0.22	0.73	0.32	2.43	2.69	2.45	0.53	1.58	0.88	1.57	1.93	1.42	2.49	3.70	3.02	11:30
1.60	2.64	2.08	0.31	0.59	0.20	2.45	2.76	2.52	0.74	2.02	1.27	1.43	1.87	1.35	2.67	3.94	3.24	12:00
1.72	2.70	2.19	0.08	0.42	0.01	2.64	2.80	2.61	1.13	2.34	1.60	1.43	1.86	1.34	3.03	4.16	3.51	12:30
1.68	2.72	2.23	-0.22	0.21	-0.27	2.66	2.82	2.61	1.32	2.58	1.83	1.27	1.83	1.31	3.17	4.33	3.67	13:00

1.73	2.79	2.30	-0.18	0.02	-0.45	2.72	2.82	2.65	1.41	2.67	1.90	1.36	1.83	1.32	3.25	4.42	3.79	13:30
1.91	2.82	2.36	-0.26	-0.19	-0.65	2.56	2.76	2.66	1.32	2.66	1.92	1.18	1.75	1.31	3.26	4.43	3.88	14:00
1.97	2.82	2.43	-0.29	-0.39	-0.84	2.58	2.73	2.60	1.34	2.64	1.87	1.21	1.74	1.35	3.31	4.41	3.88	14:30
1.94	2.81	2.49	-0.36	-0.60	-1.05	2.37	2.71	2.46	1.25	2.56	1.76	1.11	1.76	1.42	3.13	4.37	3.80	15:00
1.81	2.80	2.48	-0.53	-0.75	-1.21	2.27	2.65	2.33	1.01	2.41	1.60	1.22	1.75	1.44	2.87	4.26	3.68	15:30
1.71	2.76	2.40	-0.57	-0.87	-1.33	1.99	2.58	2.15	0.79	2.18	1.32	1.23	1.80	1.44	2.52	4.06	3.44	16:00
1.54	2.64	2.25	-0.71	-0.93	-1.40	1.78	2.48	1.96	0.58	1.87	1.02	1.24	1.84	1.48	2.20	3.76	3.12	16:30
1.36	2.50	2.04	-0.69	-0.93	-1.37	1.70	2.43	1.83	0.21	1.51	0.64	1.24	1.87	1.48	1.93	3.43	2.76	17:00
1.26	2.37	1.87	-0.68	-0.89	-1.29	1.61	2.43	1.73	-0.37	1.16	0.28	1.10	1.86	1.37	1.89	3.19	2.52	17:30
1.32	2.22	1.77	-0.62	-0.81	-1.18	1.55	2.43	1.72	-0.78	0.78	-0.12	1.21	1.81	1.36	1.91	2.98	2.37	18:00
1.16	2.17	1.73	-0.38	-0.73	-1.05	1.43	2.58	1.70	-1.04	0.51	-0.46	1.05	1.89	1.37	1.88	2.93	2.31	18:30
1.01	2.10	1.68	-0.38	-0.62	-0.88	1.52	2.60	1.71	-1.30	0.22	-0.75	1.07	1.85	1.36	2.00	2.86	2.29	19:00
1.04	2.00	1.54	-0.30	-0.44	-0.70	1.68	2.67	1.78	-1.48	-0.01	-1.01	1.08	1.84	1.30	2.24	2.82	2.31	19:30
0.95	1.93	1.45	-0.06	-0.31	-0.51	1.61	2.66	1.80	-1.67	-0.22	-1.23	1.11	1.79	1.24	2.25	2.78	2.36	20:00
1.06	1.87	1.37	0.04	-0.17	-0.29	1.53	2.67	1.81	-1.63	-0.34	-1.30	0.99	1.77	1.17	2.27	2.76	2.36	20:30
1.01	1.79	1.28	0.11	-0.04	-0.17	1.50	2.70	1.83	-1.75	-0.44	-1.44	0.96	1.74	1.12	2.33	2.77	2.41	21:00
0.92	1.76	1.27	0.27	0.08	-0.05	1.52	2.65	1.77	-2.01	-0.57	-1.55	0.96	1.71	1.09	2.52	2.75	2.44	21:30
0.94	1.71	1.23	0.37	0.23	0.06	1.54	2.66	1.79	-2.08	-0.65	-1.60	0.93	1.67	1.09	2.61	2.77	2.46	22:00
1.05	1.70	1.25	0.24	0.32	0.17	1.58	2.63	1.70	-2.03	-0.78	-1.70	0.87	1.64	1.05	2.65	2.80	2.51	22:30
1.11	1.70	1.18	0.43	0.38	0.24	1.78	2.68	1.75	-2.07	-0.83	-1.75	0.92	1.66	1.05	2.83	2.85	2.55	23:00
1.09	1.64	1.18	0.49	0.42	0.31	1.77	2.67	1.81	-2.07	-0.85	-1.77	0.99	1.65	1.10	2.81	2.83	2.58	23:30

iv. טבלת ערכים לאיור מס' 28

ימים חורגים קיצוניים סטיית V-65	נוב - מרס טיית תקן V-65	ימים חורגים סטיית תקן V-65	ימים חורגים קיצוניים ממוצע V-65	נוב - מרס ממוצע V-65	ימים חורגים ממוצע V-65	ימים חורגים קיצוניים סטיית U-65	נוב - מרס טיית תקן U-65	ימים חורגים סטיית תקן U-65	ימים חורגים קיצוניים ממוצע U-65	נוב - מרס ממוצע U-65	ימים חורגים ממוצע U-65	Ws-65m ימים חורגים קיצוניים סטיית תקן	Ws-65m נוב-מרס טיית תקן	Ws-65m חורגים סטיית תקן	Ws-65m ימים חורגים קיצוניים ממוצע	Ws-65m נוב-מרס ממוצע	Ws-65m ימים חורגים ממוצע	Time
2.27	3.15	2.80	0.56	1.13	0.68	2.99	3.73	2.64	-3.48	-0.88	-2.54	1.97	2.43	1.94	4.76	4.48	4.24	00:30
2.16	3.18	2.79	0.70	1.22	0.78	3.06	3.73	2.64	-3.33	-0.91	-2.50	2.07	2.44	1.95	4.62	4.51	4.22	01:00

2.32	3.15	2.75	0.67	1.37	0.93	3.18	3.70	2.70	-3.09	-0.92	-2.47	2.30	2.42	1.92	4.49	4.53	4.26	01:30
2.15	3.16	2.66	0.84	1.46	1.03	3.13	3.65	2.71	-3.07	-0.91	-2.40	2.33	2.41	1.94	4.37	4.52	4.18	02:00
2.03	3.14	2.61	0.92	1.55	1.16	3.05	3.61	2.60	-3.18	-0.90	-2.37	2.19	2.39	1.91	4.43	4.52	4.11	02:30
1.91	3.12	2.59	0.97	1.60	1.26	2.78	3.57	2.50	-3.03	-0.93	-2.35	2.08	2.38	1.92	4.14	4.50	4.05	03:00
1.78	3.12	2.55	1.02	1.67	1.31	2.85	3.56	2.48	-2.97	-0.96	-2.36	2.25	2.35	1.92	4.02	4.54	4.04	03:30
1.77	3.13	2.53	1.12	1.74	1.37	2.90	3.55	2.46	-2.82	-0.89	-2.33	2.15	2.37	1.87	4.02	4.53	4.03	04:00
1.88	3.15	2.53	1.24	1.81	1.51	2.90	3.60	2.37	-2.97	-0.93	-2.37	2.04	2.38	1.80	4.26	4.62	4.08	04:30
1.69	3.12	2.52	1.32	1.90	1.59	2.85	3.53	2.39	-2.90	-1.05	-2.39	1.98	2.33	1.85	4.15	4.63	4.11	05:00
1.83	3.08	2.45	1.39	2.00	1.60	2.67	3.47	2.31	-2.90	-1.12	-2.39	1.80	2.33	1.83	4.19	4.62	4.03	05:30
1.99	3.07	2.45	1.49	2.10	1.67	2.44	3.41	2.30	-3.11	-1.15	-2.41	1.68	2.29	1.84	4.36	4.64	4.06	06:00
1.74	3.07	2.42	1.61	2.21	1.74	2.59	3.39	2.35	-3.28	-1.15	-2.41	1.86	2.26	1.83	4.43	4.70	4.11	06:30
1.88	3.08	2.41	1.55	2.25	1.80	2.60	3.33	2.35	-3.10	-1.11	-2.32	2.15	2.25	1.85	4.20	4.68	4.06	07:00
1.81	3.03	2.35	1.45	2.24	1.78	2.82	3.28	2.35	-2.74	-1.10	-2.20	2.26	2.27	1.86	3.97	4.58	3.95	07:30
1.81	2.98	2.25	1.29	2.14	1.65	2.72	3.21	2.33	-2.32	-1.00	-2.05	2.13	2.27	1.82	3.63	4.43	3.75	08:00
1.85	2.91	2.17	1.30	2.01	1.53	2.47	3.12	2.19	-2.00	-0.81	-1.84	2.02	2.33	1.80	3.34	4.18	3.46	08:30
1.73	2.87	2.09	1.12	1.86	1.42	1.87	3.02	2.06	-1.95	-0.50	-1.54	1.71	2.36	1.70	2.94	3.94	3.17	09:00
1.61	2.95	2.12	0.93	1.68	1.25	1.85	3.00	2.16	-1.47	-0.11	-1.12	1.62	2.45	1.75	2.54	3.81	2.99	09:30
1.78	3.07	2.21	0.67	1.49	0.97	2.07	3.07	2.35	-0.85	0.35	-0.59	1.80	2.55	1.84	2.32	3.83	2.89	10:00
1.85	3.15	2.30	0.61	1.30	0.83	2.21	3.18	2.51	-0.53	0.83	-0.15	1.71	2.61	1.82	2.46	3.95	3.00	10:30
2.03	3.26	2.51	0.58	1.13	0.68	2.25	3.27	2.64	-0.24	1.32	0.30	1.75	2.61	1.82	2.55	4.18	3.24	11:00
2.08	3.37	2.57	0.36	0.85	0.37	2.76	3.33	2.82	0.24	1.80	0.77	1.96	2.59	1.81	2.88	4.43	3.47	11:30
2.18	3.35	2.60	0.41	0.62	0.18	2.79	3.37	2.91	0.48	2.24	1.19	1.75	2.51	1.72	3.15	4.66	3.70	12:00
2.30	3.41	2.70	0.04	0.36	-0.13	3.11	3.41	3.00	0.82	2.56	1.53	1.93	2.47	1.70	3.45	4.88	3.96	12:30
2.23	3.45	2.76	-0.30	0.06	-0.50	3.11	3.48	3.00	1.04	2.82	1.78	1.71	2.45	1.67	3.59	5.09	4.15	13:00
2.32	3.49	2.82	-0.33	-0.19	-0.74	3.17	3.48	3.03	1.14	2.91	1.85	1.74	2.43	1.64	3.71	5.18	4.29	13:30
2.65	3.54	2.93	-0.39	-0.44	-0.99	3.09	3.41	3.03	1.01	2.89	1.86	1.70	2.33	1.63	3.85	5.23	4.42	14:00
2.69	3.55	3.03	-0.41	-0.71	-1.23	3.07	3.44	3.01	1.09	2.89	1.81	1.62	2.32	1.70	3.93	5.28	4.49	14:30
2.65	3.56	3.12	-0.55	-0.98	-1.48	2.83	3.44	2.89	1.01	2.81	1.69	1.60	2.33	1.79	3.72	5.28	4.46	15:00
2.51	3.57	3.12	-0.78	-1.18	-1.70	2.82	3.44	2.81	0.64	2.66	1.52	1.70	2.33	1.83	3.52	5.26	4.42	15:30
2.40	3.58	3.10	-0.90	-1.35	-1.89	2.58	3.43	2.68	0.45	2.42	1.21	1.69	2.35	1.80	3.25	5.17	4.31	16:00
2.31	3.54	3.01	-1.05	-1.44	-2.00	2.48	3.43	2.69	0.27	2.12	0.90	1.64	2.34	1.84	3.16	5.04	4.21	16:30

2.16	3.50	2.88	-1.04	-1.48	-2.07	2.56	3.49	2.70	-0.15	1.72	0.51	1.74	2.36	1.91	3.05	4.90	4.06	17:00
2.16	3.44	2.84	-0.88	-1.46	-2.03	2.63	3.60	2.74	-0.73	1.36	0.10	1.83	2.35	1.89	3.09	4.82	4.02	17:30
2.19	3.37	2.81	-0.64	-1.40	-1.92	2.60	3.68	2.81	-1.25	0.93	-0.41	2.01	2.37	1.99	3.08	4.71	3.95	18:00
2.01	3.36	2.80	-0.36	-1.28	-1.74	2.39	3.88	2.82	-1.56	0.57	-0.89	1.82	2.51	2.09	3.00	4.69	3.91	18:30
1.79	3.30	2.76	-0.17	-1.09	-1.46	2.47	3.92	2.84	-1.79	0.22	-1.23	1.80	2.49	2.10	3.05	4.61	3.86	19:00
1.86	3.27	2.66	-0.09	-0.83	-1.19	2.68	4.01	2.93	-1.96	-0.06	-1.54	1.88	2.51	2.08	3.31	4.60	3.89	19:30
2.12	3.27	2.67	-0.01	-0.61	-0.89	2.44	4.00	2.91	-2.01	-0.34	-1.76	1.80	2.51	2.11	3.36	4.57	3.88	20:00
2.20	3.22	2.61	0.19	-0.38	-0.52	2.31	4.01	2.90	-2.17	-0.49	-1.85	1.79	2.52	2.08	3.42	4.52	3.82	20:30
1.97	3.16	2.62	0.46	-0.18	-0.24	2.17	4.01	2.87	-2.34	-0.59	-1.96	1.53	2.50	1.98	3.45	4.50	3.88	21:00
1.86	3.16	2.61	0.86	0.07	0.05	2.36	3.95	2.82	-2.48	-0.70	-2.04	1.64	2.47	1.91	3.64	4.47	3.91	21:30
2.03	3.13	2.63	1.03	0.35	0.27	2.31	3.93	2.83	-2.38	-0.76	-2.05	1.70	2.45	1.93	3.65	4.47	3.94	22:00
2.21	3.14	2.65	1.00	0.58	0.54	2.21	3.87	2.71	-2.24	-0.87	-2.09	1.58	2.42	1.88	3.64	4.48	3.94	22:30
2.34	3.15	2.62	1.33	0.73	0.70	2.43	3.90	2.79	-2.28	-0.91	-2.12	1.73	2.44	1.92	3.92	4.53	4.00	23:00
2.32	3.13	2.68	1.53	0.85	0.92	2.61	3.87	2.83	-2.24	-0.90	-2.08	1.76	2.42	2.00	4.06	4.53	4.05	23:30

v. טבלת 21 אירועים עם רצף של מעל 4 ימים חורגים- מצב סינופטי ומאפייני האינברסיה בכל אחד מן

הימים (פרק 3.4.3)

אירוע	תאריך	מצב סינופטי	גובה בסיס אינברסיה במ'	גובה בסיס השכבה היציבה במ'
1	10-10-98	אפיק פרסי	2339	
	11-10-98	אפיק ים סוף		2040
	12-10-98	אפיק ים סוף	2565	
	13-10-98	רמה		
	14-10-98	רמה		
	15-10-98	רמה	473	
	17-10-98	אפיק פרסי	2391	
	18-10-98	אפיק ים סוף	2587	
	19-10-98	רמה	1806	
	20-10-98	אפיק ים סוף	431	
2	21-10-98	אפיק פרסי	281	
	22-10-98	אפיק פרסי	541	
	23-10-98	אפיק פרסי	380	
	24-10-98	אפיק ים סוף	548	
	25-10-98	אפיק ים סוף	1158	
	26-10-98	רמה		1049
	27-10-98	רמה		1546
	16-11-98	רמה	2613	
	17-11-98	רמה	580	
	18-11-98	אפיק ים סוף	1578	
3	19-11-98	רמה	1788	
	20-11-98	רמה		812
	21-11-98	אפיק ים סוף	264	
	22-11-98	אפיק ים סוף	489	
	03-12-98	אפיק ים סוף	2333	
	04-12-98	אפיק ים סוף		1381
	05-12-98	אפיק ים סוף	1589	
	06-12-98	רמה		
	07-12-98	שקע	107	
	21-12-98	רמה	2658	
4	22-12-98	רמה	1749	
	23-12-98	שקע		
	27-12-98	אפיק ים סוף	1977	
	28-12-98	אפיק ים סוף	145	
	03-01-99	אפיק ים סוף	1033	
	04-01-99	אפיק ים סוף		770
	05-01-99	אפיק ים סוף		761
	06-01-99	אפיק ים סוף	2176	
	07-01-99	אפיק ים סוף		
	10-01-99	אפיק ים סוף	1938	
5	11-01-99	רמה	1717	
	12-01-99	רמה	1480	
	13-01-99	אפיק ים סוף	400	
	14-01-99	רמה	1577	328
	15-01-99	אפיק ים סוף	2787	
	17-11-99	אפיק ים סוף		193
	18-11-99	רמה		1468

	1246	שקע	19-11-99	
	231	רמה	20-11-99	
	307	רמה	21-11-99	
	230	אפיק ים סוף	22-11-99	
	174	אפיק ים סוף	23-11-99	
	1717	רמה	24-11-99	
	1658	אפיק ים סוף	07-12-99	
	2060	אפיק ים סוף	08-12-99	
		אפיק ים סוף	09-12-99	
1064		רמה	10-12-99	
	1929	רמה	11-12-99	
2022		רמה	12-12-99	9
	2146	רמה	15-12-99	
	1154	אפיק ים סוף	16-12-99	
	433	רמה	17-12-99	
	557	רמה	18-12-99	
	275	אפיק ים סוף	19-12-99	
	194	אפיק ים סוף	20-12-99	
2049		אפיק ים סוף	21-12-99	
163		אפיק ים סוף	22-12-99	
	737	אפיק ים סוף	23-12-99	
599		אפיק ים סוף	24-12-99	10
	2712	אפיק ים סוף	20-11-00	
	1741	אפיק ים סוף	21-11-00	
	1423	אפיק ים סוף	22-11-00	
		אפיק ים סוף	23-11-00	
		אפיק ים סוף	24-11-00	11
		אפיק ים סוף	05-01-01	
	2765	אפיק ים סוף	06-01-01	
		רמה	07-01-01	
	2352	רמה	08-01-01	
	1330	רמה	09-01-01	12
	419	רמה	14-01-01	
	444	שקע	15-01-01	
	1050	אפיק ים סוף	16-01-01	
	710	אפיק ים סוף	17-01-01	
2827		אפיק ים סוף	18-01-01	13
1527		רמה	25-02-01	
1558		רמה	26-02-01	
	237	רמה	27-02-01	
	248	אפיק ים סוף	28-02-01	
2121		שקע	01-03-01	14
	2547	אפיק ים סוף	01-11-01	
1258		אפיק ים סוף	02-11-01	
2918		שקע	03-11-01	
625		רמה	04-11-01	
		שקע	05-11-01	15
	1424	אפיק ים סוף	22-12-01	16
	1016	אפיק ים סוף	23-12-01	
	2466	רמה	24-12-01	
	1261	רמה	25-12-01	
795		שקע	26-12-01	

		רמה	27-12-01	
	2673	אפיק ים סוף	13-01-02	17
	1600	אפיק ים סוף	14-01-02	
	2325	אפיק ים סוף	15-01-02	
	2512	אפיק ים סוף	16-01-02	
	1389	רמה	17-01-02	
	1344	אפיק ים סוף	18-01-02	
	2454	אפיק ים סוף	19-01-02	
	1128	רמה	30-01-02	
	610	רמה	31-01-02	
309		אפיק ים סוף	01-02-02	
	417	רמה	02-02-02	18
	227	רמה	03-02-02	
	244	רמה	04-02-02	
	2185	רמה	05-02-02	
		אפיק ים סוף	06-02-02	
	267	אפיק ים סוף	07-02-02	
2051		רמה	19-02-02	
	1407	רמה	20-02-02	
		רמה	21-02-02	
1003		שקע	22-02-02	
		אפיק ים סוף	23-02-02	19
	783	אפיק ים סוף	18-11-02	20
	1628	אפיק ים סוף	19-11-02	
	1637	אפיק ים סוף	20-11-02	
	1848	אפיק ים סוף	21-11-02	
	247	רמה	22-11-02	
	1198	שקע	05-01-03	
	1437	אפיק ים סוף	06-01-03	
	279	אפיק ים סוף	07-01-03	
	526	רמה	08-01-03	
	627	אפיק ים סוף	09-01-03	