

מספר המחקר במשרד
לאיכות הסביבה: 510-2

המעבדה לחקר איכות אוויר
בית הספר למדע יישומי
האוניברסיטה העברית בירושלים

מדידת ריכוזי רקע של מזהמי אוויר פוטוכימיים בישראל

Background Concentrations
of Photochemical Air Pollutants in Israel

דו"ח שנתי
שנת מחקר רביעית

מוגש ע"י

חוקרים ראשיים:

פרופסור מנחם לוריא	המכון למדעי כדור הארץ
דר. מרדכי פלג	המכון למדעי כדור הארץ

חוקרים נוספים:

דר. דניאל פדרסן	המכון למדעי כדור הארץ
דר. ולרי מטבייב	המכון למדעי כדור הארץ
ליאור יעקובי	המכון למדעי כדור הארץ

מוגש למדען הראשי
המשרד לאיכות הסביבה

תאריך הגשה: 01.01.2007

עמוד		
4		תקציר בעברית
4		תקציר באנגלית
		מילות מפתח
5	הצגת הנושא	מבוא
5	סקר ספרות	
5	מטרות העבודה	
5		רקע מדעי
6	שיטות	תיאור העבודה
	ניסויים ו/או חישובים	
8		תוצאות ודיון
10		מסקנות
		אפשרויות יישום תוצאות העבודה בישראל
		המלצות להמשך המחקר (חובת מילוי בדוח מסכם בלבד)
		סיכום
10		רשימת ספרות
		נספחים

רשימת טבלאות

מספר עמוד	הטבלה	מספר טבלה
<u>10</u>	List of Monitors and Instruments	<u>1</u>

רשימת תרשימים

מספר עמוד	התרשימים	מספר התרשים
<u>13</u>	Map of Field Site at the Achziv Field School with DOAS Light Path	<u>1</u>
<u>13</u>	Sea Level Mean Pressure, Average, May 7-25, 2006	<u>2</u>
<u>14</u>	Air Mass Back-Trajectories during field campaign	<u>3</u>
<u>14</u>	Wind Patterns vs. Time of Day	<u>4</u>
<u>15</u>	Windrose 7-25 May, 2006 (a) & (b)	<u>5</u>
<u>15</u>	Temperature and Relative Humidity	<u>6</u>
<u>16</u>	Nitrogen Oxide concentrations vs. Time of Day	<u>7</u>
<u>16</u>	SO ₂ concentrations vs. Time of Day	<u>8</u>
<u>17</u>	Ozone concentrations vs. Time of Day	<u>9</u>
<u>17</u>	Comparison of Primary Pollutants	<u>10</u>
<u>18</u>	Comparison of Photochemical Species	<u>11</u>

Background Concentrations of Photochemical Air Pollutants in Israel

Daniel Pedersen, Lior Jacoby, Valeri Matveev, Mordechai Peleg, Menachem Luria

תקציר

מטרת מחקר זה היא לאפיין את רמות הרקע של מזהמים פוטוכימיים המגיעים לישראל ממקורות הנמצאים מחוץ למדינה. בשלב קודמים של המחקר נערכו מדידות בקיבוץ נאות סמדר, אתר מרוחק ברמת הנגב הדרומית. בשלב הנוכחי של המחקר נמדדו ריכוזי המזהמים ב-7 עד ה-24 במאי 2006 בפינה הצפון-מזרחית של ישראל, בין אכזיב לראש הנקרה. שם אפשר לאפיין את איכות האוויר המגיע לישראל ממערב ומצפון, ללא השפעת מקורות בתוך ישראל. רמות רקע ממוצעות של אוזון היו ~ 70 ppb עם רמות מקסימליות של ~ 80 ppb. דו-תחמוצת החנקן נמדד ברמות רקע ממוצעות נמוכות מ- 5 ppb, ואילו חד-תחמוצת החנקן נמדד ברמות רקע ממוצעות מתחת ל- 1 ppb. דו-תחמוצת הגפרית נמדדה בריכוזי רקע ממוצעים של פחות מ- 3 ppb. מצב הסינופטי של אפיק פרסי נמשך לאורך תקופת המדידה, ובמשך היום הרוחות נשבו מכוון מערב ועד צפון. מדידות בשעות 15:00 – 21:00 נבחרו כמייצגות תנאים של הסעה ממרחק רחוק, ללא השפעה של רסירקולציה של פליטות מתוך ישראל. ניתוח של מסלולי הסעה של גושי אוויר בעזרת מערכת HYSPLIT הצביע על הסעה של מזהמים על מרחקים ארוכים ממקורות בטורקיה ובמרכז אירופה דרך האגן הצפון-מזרחי של הים התיכון.

Abstract

The objective of this research project was to characterize the background levels of photochemical air pollutants that arrive in Israel from sources outside of the country. In previous stages of this work, measurements were conducted at Kibbutz Neot Smadar, a remote location in the southwestern Negev Plateau. In the current stage of the research, pollutant concentrations were measured during the period 7-25 of May, 2006, in the northeastern corner of Israel, between Achziv and Rosh HaNikrah. At this location it was possible to characterize the quality of the air arriving in Israel from the North and West, without the influence of sources within Israel. The average background levels of ozone were ~ 70 ppb, with maximal levels of ~ 80 ppb. Background levels NO_2 was measured at average levels lower than 5 ppb, while NO was measured at average levels lower than 1 ppb. SO_2 was measured at background concentrations of less than 3 ppb. The synoptic conditions during the campaign were those typical of a Persian Trough, and during the day the winds came from directions from West through North. Measurements during the hours of 15:000 – 21:00 local time were selected to represent conditions of long range transport of pollutants, without the influence of recirculation of pollutants from emissions within Israel. An analysis of the air mass back trajectories using the HYSPLIT system indicated transport of pollutants over long distances from sources in Turkey and central Europe over the northeastern basin of the Mediterranean Sea.

מבוא

מדינת ישראל ממקמת בצידו המזרחי של הים התיכון, ומושפעת בכ- 70% מימות השנה, בעיקר בקיץ, מרוחות מערביות או צפון מערביות, המסיעות לעברה גושי אויר מאזורים שונים בדרום אירופה ומזרחה (Dayan,1986). גושי אויר אלו מגיעים חלקם ממזרח אירופה, איזור המוגדר כ"יצואן" נטו של מזהמי אויר, כלומר שטף הפליטות היוצא ממנו גדול מהשטף הנכנס לתוכו (ונגר, 1997). מכאן שמדינת ישראל אינה חשופה רק לגזים שמקורם מפליטות מקומיות, אלא גם לגזים אשר עושים דרכם לאורך הים התיכון. בין המזהמים הנפלטים ניתן למצוא את תחמוצות הגופרית (SO_2) ותחמוצות החנקן (NO_x). מזהמים אלו לאחר פליטתם עוברים באטמוספירה תהליכי חמצון פוטוכימיים אשר מובילים להיווצרותם של מזהמים שניוניים כמו אוזון (O_3), חומצה גופריתנית (H_2SO_4) חומצה חנקתית (HNO_3), וחלקיקים של מלחי ניטראטים וסולפאטים. ריכוזם של מזהמים אלו, העלולים להוות סיכון בריאותי וכן לגרום לירידה בראות ולגשם חומצי, תלוי בגורמים מטאורולוגיים כמו קרינת השמש, לחות יחסית, רוחות, תנאי יציבות ועומק שכבת הערבוב. מאחר וידועה התופעה של הסעת מזהמי אויר למרחקים של עשרות ואף מאות ק"מ (ליפשיץ, 1989), התעורר הצורך לאפיין את הסעתם של מזהמי האוויר ממזרח אירופה ודרומה לישראל. מחקר זה מציג נתונים שנאספו בחודש מאי 2006, במחנה מדידות שנערך בחוף אכזיב הנמצא בקצה הצפון-מזרחי של מדינת ישראל לחופי הים התיכון. נציג כאן את ריכוזי הרקע של גזי ה- $NO/NO_x, SO_2, O_3$ המגיעים לחופי הארץ.

סקירת ספרות ורקע מדעי: הסעת מזהמים במזרח הים התיכון

הגזים מרגע היווצרם והגעתם לאטמוספירה ועד שקיעתם, מרחפים באויר לפרק זמן שונה היכול לנוע בין יממה לעשרה ימים. מערכות סינופטיות ורוחות מקומיות כגון בריזה, רוחות אנאבטיות וקטבטיות (רוח הר ורוח עמק), הם למעשה אלה אשר יקבעו את המסלול והמרחק אותו יעבור המזהם בפרק זמן נתון זה.

מדינת ישראל הממוקמת בחלקו המזרחי של הים התיכון, מושפעת ממספר מערכות סינופטיות הכוללות את האפיק הפרסי אשר שולט באזור זה בעונת הקיץ, אפיק ים סוף, שקעים שרבים המופיעים לרוב בעונות המעבר, ומערכות לחץ נמוך הנעות לאורך הים התיכון בעונת החורף.

במחקרו של Dayan. U משנת 1986 בו נמדדו מעל ל-1800 מסלולים שנקבעו לגובה של 850 mb ובעלי נקודת הסיום מעל ישראל, ניתן לראות כי מדינת ישראל מושפעת מגושי אויר המגיעים מחמישה אזורים עיקריים (Dayan,1986). מסקנות המחקר כללו ממצא

שברוב ימות השנה (כ-66%) האויר המגיע לאזור מדינת ישראל מגיע כרוח מערבית אשר נושאת עמה מזהמים שמקורם במדינות מערב ומזרח אירופה. גורם נוסף הפועל באזור מדינת ישראל הוא הבריזה. רוח זו הנושבת מהים ליבשה כרוח מערבית בשעות היום (בריזה ימית) ומהיבשה לים כרוח מזרחית בשעות הלילה (בריזה יבשתית), הינה בעלת מחזור יממתי ומושפעת מהבדלי טמפרטורה שבין היבשה למי הים התיכון. בעקבות פעילות הבריזה באזור מדינת ישראל ניתן לראות סירקולציה של מזהמים אשר יוצאים אל הים התיכון משטח מדינת ישראל בשעות הלילה והבוקר המוקדמות, וחוזרים לשטחה בשעות מאוחרות יותר בסיוע של בריזת הים והמערכת הסינופטית השולטת. בשל תופעה הידועה כרסירקולציה, נצפו ריכוזי אוזון גבוהים עם חזרת גוש האויר לחופי מדינת ישראל (Alper Siman – Tov et al., 1997).

מטרת העבודה

מדינת ישראל השוכנת בחופיו המזרחיים של הים התיכון מושפעת ברוב ימי השנה מרוחות מערביות אשר מקורן הוא ממדינות אירופה ומזרח אירופה. רוחות אלו מסיעות לאזורנו גזים וחלקיקים אשר אוצרים בתוכם סכנות רבות בין עם אקולוגיות, סביבתיות או בריאותיות. יתר על כן, מדינת ישראל כמדינה מערבית מתפתחת תורמת אף היא למצאי הגזים הנמצאים בתחום גבולותיה.

המודעות הגוברת לסכנות הנובעות מזיהום אויר העלתה את הצורך בקביעתם של תקנים אשר יגבילו את החשיפה של אזרחי מדינת ישראל לגזים אלו. בכדי לקיים מצב בו ניתן להמשיך את ההתפתחות התעשייתית של מדינת ישראל ובו בזמן לעמוד בתקני איכות האויר, קיים צורך בתכנון מדויק ובהכרת כל מקורות הגזים והחלקיקים השונים באזורנו.

מטרת עבודה זו היא למדוד את רמות הרקע של גזי ה- NO , NOX , SO_2 , O_3 בחופי מדינת ישראל, וזאת בכדי לדעת מהם ריכוזי הגזים השונים אליהם נחשפים אזרחי מדינת ישראל ללא השפעת הפליטות המקומיות. תוצאות אלו יהוו בסיס להשוואה של מדידות אחרות בישראל כדי להעריך את תרומתם של מקורות פליטה בתוך ישראל לזיהום האויר, בנפרד ממקורות של הסעה ממרחק רחוק (Long Range Transport, LRT). את נתוני ה-LRT אפשר להשליך על אתרים מחוץ למדינת ישראל כיוון שהם מושפעים על ידי אותם תהליכים.

שיטת עבודה

בתאריכים 7/5/06-25/5/06 מוקמה המעבדה הניידת לאיכות אוויר של האוניברסיטה העברית בראשותו של פרופ' מנחם לוריא, בבית ספר שדה אכזיב. באמצעות מכשירי הניטור המותקנים בה נעשה ניטור רציף של גזי ה- NO , NOX , SO_2 , O_3 .

בשלב ניתוח התוצאות, נעשה שימוש במודל ה-HYSPLIT על מנת לשחזר את המסלול אותו עבר גוש האוויר במשך 48 - 72 שעות עד אשר הגיע לחופי מדינת ישראל. מסלולי גושי אוויר שימשו מחקרים בעבר כדי להעריך את מקורות הזיהום המגיע לישראל (למשל: Robinsohn, et al., 1992; Peleg, et al., 1994; Luria, et al., 1996; Alper-Siman Tov, et al., 1997; Wanger, et al., 2000; Ranmar, et al., 2001; Erel, et al., 2002; Ranmar, et al., 2002).

מיקום המדידה בחוף אכזיב

במחקר זה נמדדו מזהמי אוויר אשר עושים דרכם מאירופה לחופי ישראל, ולכן מוקמה תחנת המדידה בבית ספר שדה אכזיב השוכן לחופי הים התיכון, במרחק אווירי של כ- 3.5 ק"מ דרומה למעבר גבול ישראל לבנון בראש הנקרה (איור 1).

אזור זה ניבחר לצורך מחקר זה ממספר סיבות עיקריות:

- 1) מיעוט באזורי תעשייה ותנועת כלי רכב, מקטינים את הסיכוי שגוש האוויר הנמדד יהיה חשוף למקורות פליטה מקומיים.
- 2) אתר המדידה שוכן קרוב לים התיכון, באופן שכזה שבינו לבין הים נמצא כביש שירות יחד שהתנועה בו דלה. מצב זה מגביר את הסיכוי כי אוויר אשר יימדד יגיע ישירות מכיוון הים התיכון וזאת מבלי לאסוף מזהמים שמקורם בפליטות מקומיות.
- 3) המדידה מתרחשת בגבולה הצפון מערבי של מדינת ישראל. מיקום זה מוביל לכך שגם במידה ותנשוב רוח בעלת רכיב צפון מערבי ניתן יהיה להתייחס למזהמים שימדדו, כאל רמות רקע שמקורם מחוץ לגבולות ישראל. זאת בניגוד למחקרים קודמים שנערכו באזורים כמו קיסריה, שבהם רוח שכזו, ייתכן ונשאה איתה מזהמים שמקורם בסירקולציה מצפון הארץ.

מכשור

המעבדה הניידת הכילה את המכשור הבא:

מס' סידורי	מזהם	סמל	תוצרת ודגם המכשיר	רגישות	עקרון הפעלה
1	גופרית דו חמצנית	SO ₂	TEII 43S	1 חל"ב	Pulsed fluorescence
2	חנקן חד חמצני	NO/NOx	TEII 42C	0.5 חל"ב	Chemiluminescence
3	אוזון	O ₃	Dasibi 1008-AH	2 חל"ב	U.V. photometric
4	כיוון רוח	WDD	MET-ONE 24A	°5	Wind vane
5	עוצמת רוח	WDS	MET-ONE 21A	0.5 מ/ש	3-cup anemometer
6	טמפרטורה	T	MET-ONE 60A	°0.5	Thermistor
7	לחות יחסית	RH	MET-ONE 83A	3%	Capacitance
8	לחץ ברומטרי	Pres	MKS-Baratron	0.2 טור	Transducer
9	קרינה סולרית	Rad	Li-corr LI200S	50 וואט/מ ²	Silicone pyranometer

תוצאות ודין:

בהמשך לתוצאות מדידות רקע בקיבוץ נאות סמדר בדרום הארץ עליהם דווחנו בשנים שעברו, נערכה סדרת מדידות נוספת בעונת הקיץ. המעבדה הניידת הוצבה בחוף אכזיב (33.25°N , 35.15°E , איור 1) בתאריכים 24.05.06 - 07.05.06. SO_2 , O_3 , NO , NO_x , $\text{NO}_x\text{-NO}$ נמדדו ע"י מכשירים סטנדרטיים. טמפרטורה, לחות יחסית, מהירות וכיוון רוח וקרינה סולרית נמדדו גם כן. כל המידע נקלט ועבר ממוצע במרווחים של 5 דקות.

נתונים מטאורולוגיים. התנאים הסינופטיים לתקופת המדידה הוגדרו כמצב של אפיק פרסי (איור 2). מצב משטר הרוחות היה יציב ביותר לאורך כל התקופה, עם גושי אויר שהגיעו מאזור טורקיה המערבית דרך קפריסין לאורך מישור החוף, או מאזור יוון מעל הים התיכון (איור 3). מסלולים מייצגים אלו התקבלו ממודל HYSPLIT (<http://www.noaa.gov>). כווני הרוחות ומהירות הרוח הנקודתיים שנמדדו באתר אכזיב הראו גם הם עקביות רבה (איורים 4-5). משעה 22:00 עד 08:00 למחרת בבוקר, נשבה הרוח בעיקר ממזרח או מצפון, ונשאה עמה מזהמים שנפלטו ממקורות מקומיים. בבוקר הרוח התחלפה והגיעה מכוון מערב כבריזה ימית. בין השעות 08:00 – 21:00 הגיעה הרוח ממערב עד צפון, ובשעות הבוקר התרחשה סירקולציה חוזרת אל החוף של מזהמים שהוסעו בלילה מישראל אל מעל לים. לפי חישובי מרחקי הסעה של הרוח ובדיקה של רמות זיהום, נבחרו השעות 15:00 – 21:00 כמייצגות תנאים שלא הושפעו מסירקולציה זו. כווני הרוחות העיקריים בתקופה היו מצפון-מערב וממזרח (איור 5a), ובשעות של רמות הרקע (איור 5b) הרוחות הגיעו מצפון מערב. הטמפרטורות היו רגילות לעונה, עם טמפרטורות שיא של עד כ-30 מעלות ומינימום של כ-13 מעלות. בשעות היום הלחות ירדה עד 40%, ובלילה נעה בין 50% ל-95% (איור 6).

ריכוזי רקע. כאמור, נתונים שנמדדו בין השעות 15:00 – 21:00 נבחרו כמייצגים רמות רקע כיוון שבשעות אלו לא היתה צפויה השפעה של מזהמים מישראל שעברו תהליך של סירקולציה מעל הים ובחזרה לחוף. כחיזוק להערכה מחושבת זו, ניתן לראות שריכוזי המזהמים הראשוניים נמצאו במינימום בשעות אלו (איורים 7-8), ואילו בריכוזי האוזון, המזהם השניוני, לא נצפתה ירידה כתוצאה של תגובה עם מזהמים אחרים (איור 9). אוזון היה המזהם היחידי אשר הראה ריכוזים גבוהים יחסית למקומות אחרים במישור החוף, בטווח של 5-80 חל"ב. ריכוזים גבוהים אלו נובעים כנראה מהשילוב של קרינת שמש, זמן הסעה מספיק ממקור הפליטה ומחסור של ריכוזים משמעותיים של NO , אשר יכולים לטטר את האוזון ולהפחית את ריכוזו. ל- SO_2 נצפו ריכוזים שבדרך כלל היו נמוכים מ-5 חל"ב, גם לריכוזי רקע וגם בשעות אחרות. ריכוזי רקע של NO היו לרוב נמוכים מאוד, עם ממוצע של

0.5 חל"ב ורמות שיא של עד 50 חל"ב שנגרמו מפליטות מקומיות חריגות. ריכוזי רקע של NOx היו נמוכים מ- 10 חל"ב עם ערך ממוצע של כ- 5 חל"ב.

לסיכום כל תקופת המדידות במאי 2006, רמות הרקע הממוצעות (איורים 10-11):

NO – 0.5 חל"ב

NOx – 4.2 חל"ב

SO₂ – 2.5 חל"ב

O₃ – 70 חל"ב

אנליזת שעות יום. איור 4 מראה את התפלגות מהירות הרוח וכוונה עם שעות היום, ואיור 6 מראה את הטמפרטורה והלחות. איורים 7-9 מראים את ריכוזי המזהמים מול שעות היממה בהן נמדדו. איור 7 מציג את תחמוצות החנקן; איור 8 את ריכוזי ה-SO₂, ואיור 9 את ריכוזי האוזון עם עוצמת קרינת השמש.

ניתן לראות את רמות הרקע היציבות והנשנות בין השעות 12:00 עד 21:00 – נמוכות עבור תחמוצות החנקן והגפרית, וגבוהות עבור האוזון. כאשר הרוח התחלפה למזרחית בסביבות 21:00, ניכרת העלייה בריכוזי תחמוצות החנקן והירידה בריכוזי האוזון. בשעות הבוקר ניכרת העלייה בריכוזי האוזון אחרי הזריחה, והרמות הנמוכות מאד של NO המצביעות על פליטות שאינן טריות ממקורות מקומיים.

ריכוזי מזהמים באכזיב שאינם רמות רקע. כהשוואה ראשונית לרמות הרקע, חושבו הריכוזים של המזהמים באכזיב בשעות שבהן היתה השפעה של פליטות מקומיות בזמן בריזת היבשה, וכן בזמנים שבהן היתה סבירות של הסעה חוזרת של מזהמים מישראל שהוסעו לים עם רוח מזרחית והוחזרו אל החוף בשעות הבוקר והצהריים. את טווחי הריכוזים והתפלגותם ניתן לראות באיורים 7-9. הערכים הממוצעים של המזהמים הראשוניים היו גבוהים משמעותית מרמות הרקע, גם תחמוצת חנקן וגם דו-תחמוצת הגפרית (איור 10). האוזון היה נמוך משמעותית (50 חל"ב מול 70 חל"ב) אך כללו גם את ריכוזי הלילה, שמטבע הדברים נמוכים יותר בלילה (איור 11). מתוך ממצאים אלו ניתן לראות בבירור שאפילו באתר חוף מרוחק ממרכזי האוכלוסיה והתעשייה בישראל, עדיין יש השפעה ניכרת של מקורות פליטה מקומיים על ריכוזי המזהמים.

השוואה עם ריכוזי מזהמים מגוש דן. אחת ממטרות המחקר היתה לספק בסיס להשוואה של ריכוזי המזהמים שנמדדים בישראל, ביניהם מרכזי הערים. נתונים של מדידות מזהמים פוטוכימיים באותם תאריכים התקבלו מאתר האינטרנט של המשרד להגנת הסביבה עבור תחנת הניטור בגבעתיים. תחנה זו נבחרה כדי לייצג רמות זיהום באזור מגורים בגוש דן שאינו

בתוך אזורי הפליטה של תל אביב. ואכן, הריכוזים של המזהמים הראשוניים בתחנת יד-אבנר באותם ימים היו גבוהים יותר. ריכוזי תחמוצות החנקן בגבעתיים באותם שעות בהם נמדדו רמות הרקע באכזיב (15:00 – 21:00) היו גבוהות משמעותית ב- 2 עד 11 חל"ב (פי 3 עד 5) מרמות הרקע שנמדדו באכזיב (איור 10). רמות ה- SO_2 בגבעתיים היו מעט נמוכות יותר, אך הפרש זה עדיין נמצא בתוך טווח השונות המקובל של כיולי המכשירים השונים, וכפי הנראה, הפרש זה אינו מייצג הפרש אמיתי בין הריכוזים של ה- SO_2 . ריכוזי האוזון בגבעתיים באותן שעות היו נמוכות משמעותית מרמות הרקע (45 חל"ב מול 70), תופעה המצביעה על תגובה של האושון עם NO טרי הנפלט ממקורות מקומיים בגוש דן (איור 11).

כאשר משווים לממוצע הכולל של כל המדידות בגבעתיים בתקופת מחנה המדידות, הכוללת גם שעות שיא של התחבורה האזורית בגוש דן, העלייה בריכוזים מעבר לרמות הרקע היא משמעותית עוד יותר עבור תחמוצות החנקן, תוספת של 6 חל"ב ל-NO, וכ- 20 חל"ב ל- NO_x . רמות ה- SO_2 לא הראו עלייה (איור 10). רמות האוזון הראו ירידה נוספת המייצגת טיטור של NO לעומת הריכוזים שנמדדו באכזיב, גם אלו שכללו את שעות הלילה (איור 11). מכאן אפשר לראות שרמות הרקע שנמדדו באכזיב הן נמוכות בצורה משמעותית מתחנת אוכלוסיה איזורית במרכז הארץ במישור החוף, וההשוואה מול תחנות תחבורתיות או תעשייתיות צפויה להראות עליה גדולה אף יותר.

מסקנות:

ריכוזי NO_x ו- SO_2 אשר נמדדו במהלך הקיץ באתר המדידה באכזיב, ואשר סווגו כמדידות רקע, הראו ריכוזים נמוכים מאוד, בממוצע 2.5 חל"ב SO_2 ו- 4.2 חל"ב NO_x , וריכוזי אוזון גבוהים שהגיעו עד כ- 70 חל"ב בממוצע. המדידות שסווגו כרמות רקע הראו התאמה ניכרת למדידות שערכה מעבדתנו בקיבוץ נאות סמדר 2003 – 2005. משטר הרוחות היה עקבי ויציב מאד לאורך כל תקופת המדידה, עם רוחות מצפון וצפון-מערב, ומסלולי הסעה של 72 שעות מאיזור טורקיה, יוון ודרום מרכז אירופה. תוצאות אלו יכולות לשמש כבסיס להשוואה למדידות איכות אויר בקיץ בשאר חלקי הארץ, כפי שהראנו בהצלחה עבור פליטות מקומיות באזור אכזיב, ואיכות האויר בתחנת אוכלוסיה אזורית במרכז הארץ. מתוך השוואה זו ניתן לראות תרומה נכבדת של תחמוצות חנקן ממקורות מקומיים, אך לא בכל האתרים שנבדקו היתה עלייה משמעותית בריכוזי תחמוצות גפרית. כמו כן ניתן ללמוד על מקורות פליטה רחוקים באגן המזרחי של הים התיכון התורמים לזיהום האויר בישראל.

רשימת ספרות

Al-Momani, I. F., G. Gullu, U. Eler, E. Ortel, G. Sirin and G. Tuncel (1999). Long range transport of pollutants from Europe to the Eastern Mediterranean. *Fresenius Environ. Bull.* **8**(5-6): 249-256.

- Alper-Siman Tov, D., M. Peleg, V. Matveev, Y. Mahrer, I. Seter and M. Luria (1997). Recirculation of polluted air masses over the east Mediterranean coast. *Atmos. Environ.* **31**(10): 1441-1448.
- CDC Interactive Plotting and Analysis Pages (Online)
<http://www.cdc.noaa.gov/Composites/day/>
- Chin, M. A., D. J. Jacob, G. M. Gardner, M. S. Foreman-Fowler, P. A. Spiro and D. L. Savoie (1996). A global three-dimensional model of tropospheric sulfate. *J. Geophys. Res.-Atmos.* **101**(D13): 18667-18690.
- Dayan U., Climatology of Back Trajectories from Israel Based on Synoptic Analysis. *Journal of Climatology and Applied Meteorology*, 25, May 1986, pp. 591-595.
- Draxler and Rolph, 2003 R.R. Draxler and G.D. Rolph, HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model Access via NOAA ARL READY Website, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD (2003)
 (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>).
- Eatough, D. J., F. M. Caka and R. J. Farber (1994). The Conversion of SO₂ to Sulfate in the Atmosphere. *Isr. J. Chem.* **34**(3-4): 301-314.
- Erel, Y., T. Axelrod, A. Veron, Y. Mahrer, P. Katsafados and U. Dayan (2002). Transboundary atmospheric lead pollution. *Environ. Sci. Technol.* **36**(15): 3230-3233.
- Finlayson-Pitts and Pitts. (2000), Chemistry of the upper and lower atmosphere, Academic press publication, USA.
- Hammed S. and Digon J., 1992, Global emissions of nitrogen and sulfur oxides in fossil fuel combustion 1970-1986 , *J Air pollut Control Assoc.*, 42, 159-163
- Hubert B.J. and Robert C.H., 1985, The dry deposition of nitric acid to grass, *J Geophys. Res.*, 90, 2085-2090
- Jenkin, M. E. and K. C. Clemitshaw (2000). Ozone and other secondary photochemical pollutants: chemical processes governing their formation in the planetary boundary layer. *Atmos. Environ.* **34**(16): 2499-2527.
- Lamarque J. F., Brasseur G.P., Hess P.G. and Muller J.F. (1996). Three dimensional study of the reactive contributions of the differential nitrogen sources in the troposphere, *J. Geophys. Res.*, 101, D17, 22955-22968
- Luria, M., B. Lifschitz and M. Peleg (1989). Particulate Sulfate Levels At a Rural Site in Israel. *J. Atmos. Chem.* **8**(3): 241-250.
- Luria, M., M. Peleg, G. Sharf, D. Siman Tov-Alper, N. Spitz, Y. BenAmi, Z. Gawii, B. Lifschitz, A. Yitzchaki and I. Seter (1996). Atmospheric sulfur over the east Mediterranean region. *J. Geophys. Res.-Atmos.* **101**(D20): 25917-25930.
- Matveev, V., U. Dayan, I. Tass and M. Peleg (2002a). Atmospheric sulfur flux rates to and from Israel. *Sci. Total Environ.* **291**(1-3): 143-154.
- Matveev, V., M. Luria, D. Alper-Siman Tov and M. Peleg (2002b). Long-range transportation of air pollutants from Europe to Israel. *Isr. J. Earth Sci.* **51**: 17-28.
- Matveev, V., M. Peleg, D. Rosen, D. Alper-Siman Tov, K. Hebestreit, J. Stutz, U. Platt, D. Blake and M. Luria (2001). Bromine oxide - ozone interaction over the Dead Sea. *J. Geophys. Res.-Atmos.* **106**(D10): 10375-10387.
- Okowa P.N., (2000). "State Responsibility for Transboundary Air Pollution in International Law" .Oxford University Press. New York.
- Olszyna, K. J., E. M. Bailey, R. Simonaitis and J. F. Meagher (1994). O₃ and NO_y Relationships At a Rural Site. *J. Geophys. Res.-Atmos.* **99**(D7): 14557-14563.
- Peleg, M., M. Luria, I. Seter, D. Perner and P. Russell (1994). Ozone Levels in Central Israel. *Isr. J. Chem.* **34**(3-4): 375-386.

- Ranmar, D. O., M. Luria, J. Kaplan and Y. Mahrer (2001). Utilization and integration of interdisciplinary computer models into a tool for analysing ozone production from transportation sources. *Int. J. Environ. Pollut.* **16**(1-6): 191-203.
- Ranmar, D. O., V. Matveev, U. Dayan, M. Peleg, J. Kaplan, A. W. Gertler, M. Luria, G. Kallos, P. Katsafados and Y. Mahrer (2002). Impact of coastal transportation emissions on inland air pollution over Israel: Utilizing numerical simulations, airborne measurements, and synoptic analyses. *J. Geophys. Res.-Atmos.* **107**(D17): art. no.-4331.
- Robinson, J., Y. Mahrer and E. Wakshal (1992). The Effects of Mesoscale Circulation On the Dispersion of Pollutants (SO₂) in the Eastern Mediterranean, Southern Coastal-Plain of Israel. **26**(3): 271-277.
- Van Grieken, R. "influence of atmospheric pollutants on the deterioration of monuments and museum collections" (Online).
<http://alpha1.infim.ro/cost/pagini/Workshop%20Abstracts2.doc> (downloaded, 2/8/05)
- Wanger, A., M. Peleg, G. Sharf, Y. Mahrer, U. Dayan, G. Kallos, V. Kotroni, K. Lagouvardos, M. Varinou, A. Papadopoulos and M. Luria (2000). Some observational and modeling evidence of long-range transport of air pollutants from Europe toward the Israeli coast. *J. Geophys. Res.-Atmos.* **105**(D6): 7177-7186.
- אפשטיין מ., זיהום אוויר ובריאות הציבור בישראל, הספרייה הווירטואלית של מטח, (2001), עמ' 13-58. באתר הספרייה הווירטואלית של מטח [http:// lib.cet.ac.il](http://lib.cet.ac.il)
- "דו"ח איכות אוויר-חודש אפריל 2006", אגף איכות אוויר- מרכז ניטור ארצי, מדינת ישראל המשרד לאיכות הסביבה. אתר המשרד לאיכות הסביבה [http:// www.environment.gov.il/](http://www.environment.gov.il/)
- "דו"ח שנתי של איכות האוויר בישראל 2001", עמ' 1-85. אתר המשרד לאיכות הסביבה - [http:// www.environment.gov.il/](http://www.environment.gov.il/)

Figures

Figure 1: Map of Field Site at the Achziv Field School with DOAS Light Path (eMap & Google Earth)

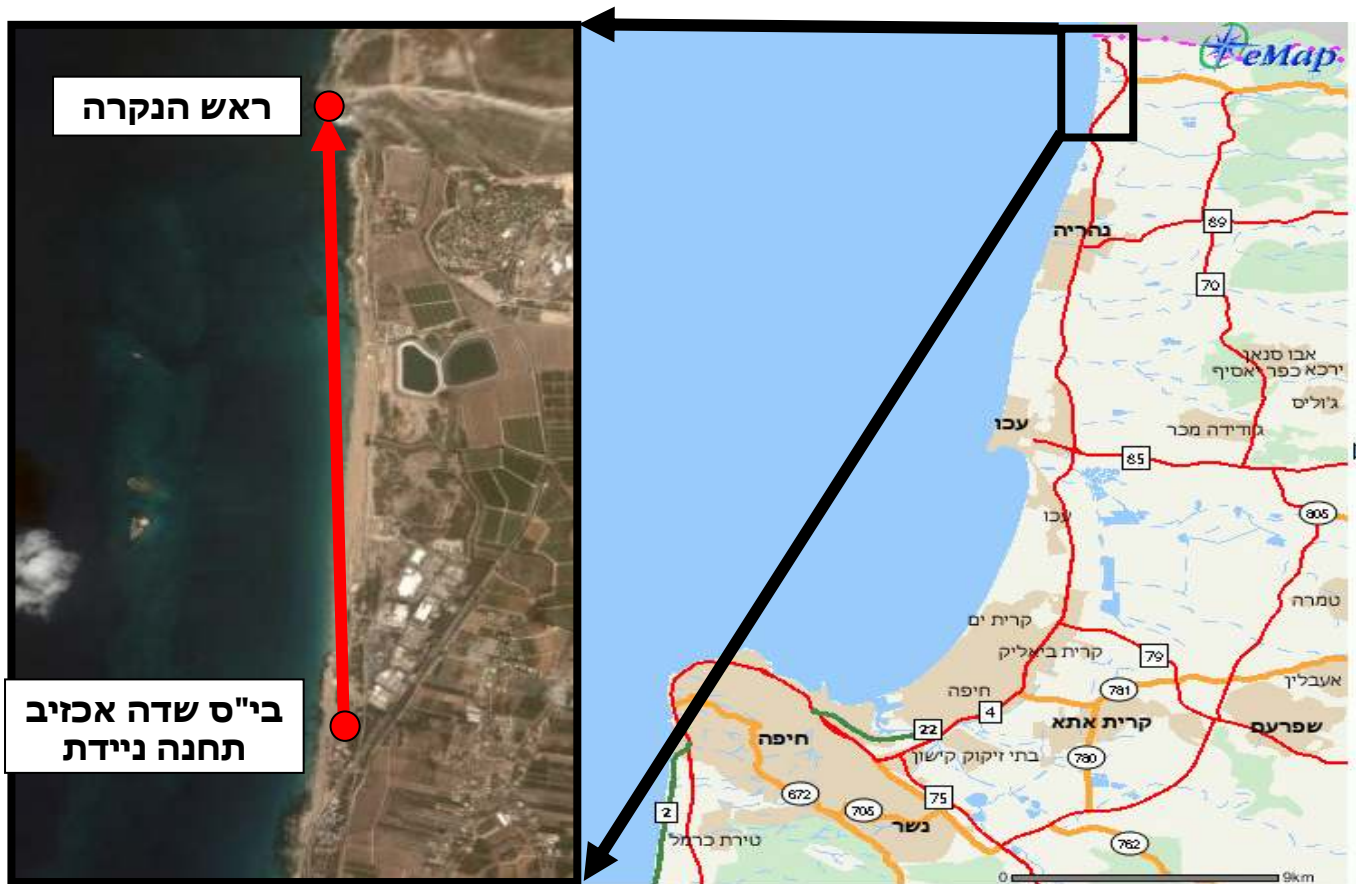


Figure 2: Sea Level Mean Pressure, Average, May 7-25, 2006

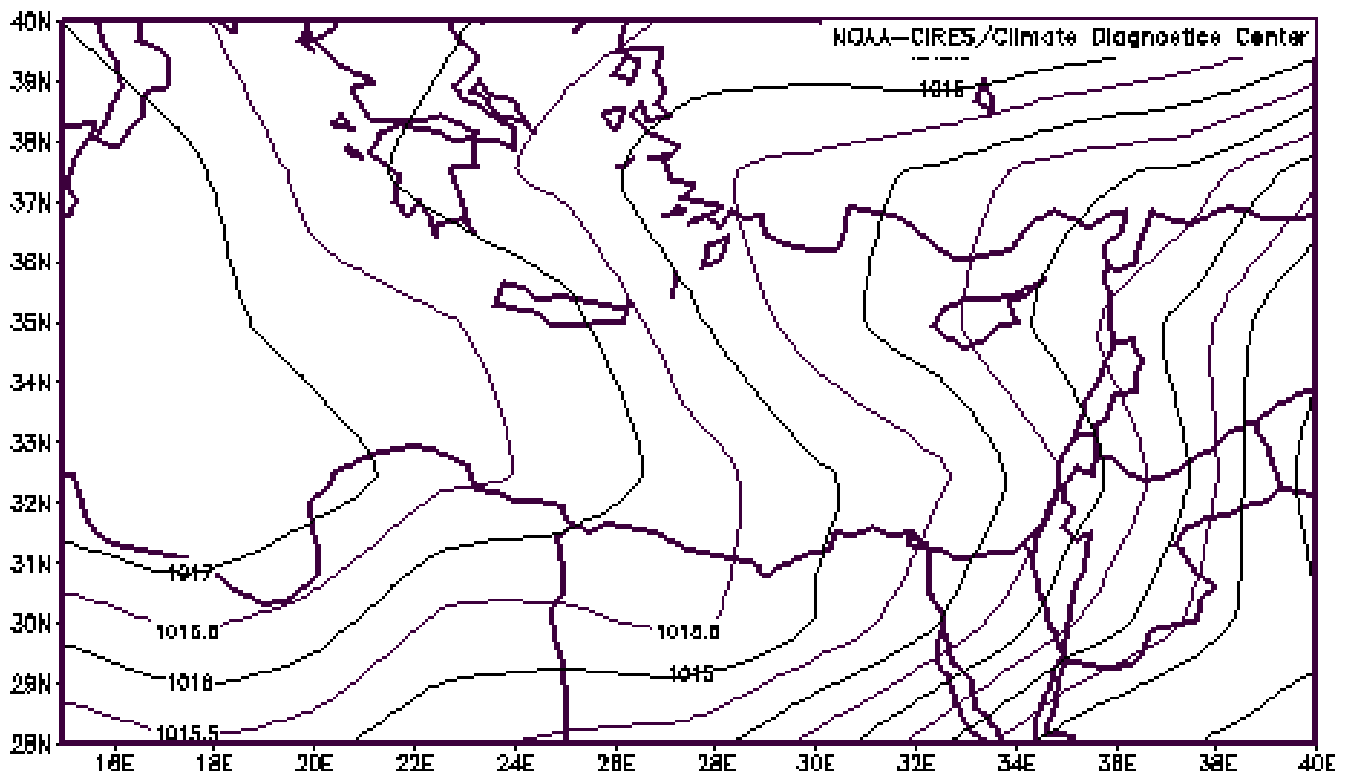


Figure 3: Air Mass Back-Trajectories during field campaign

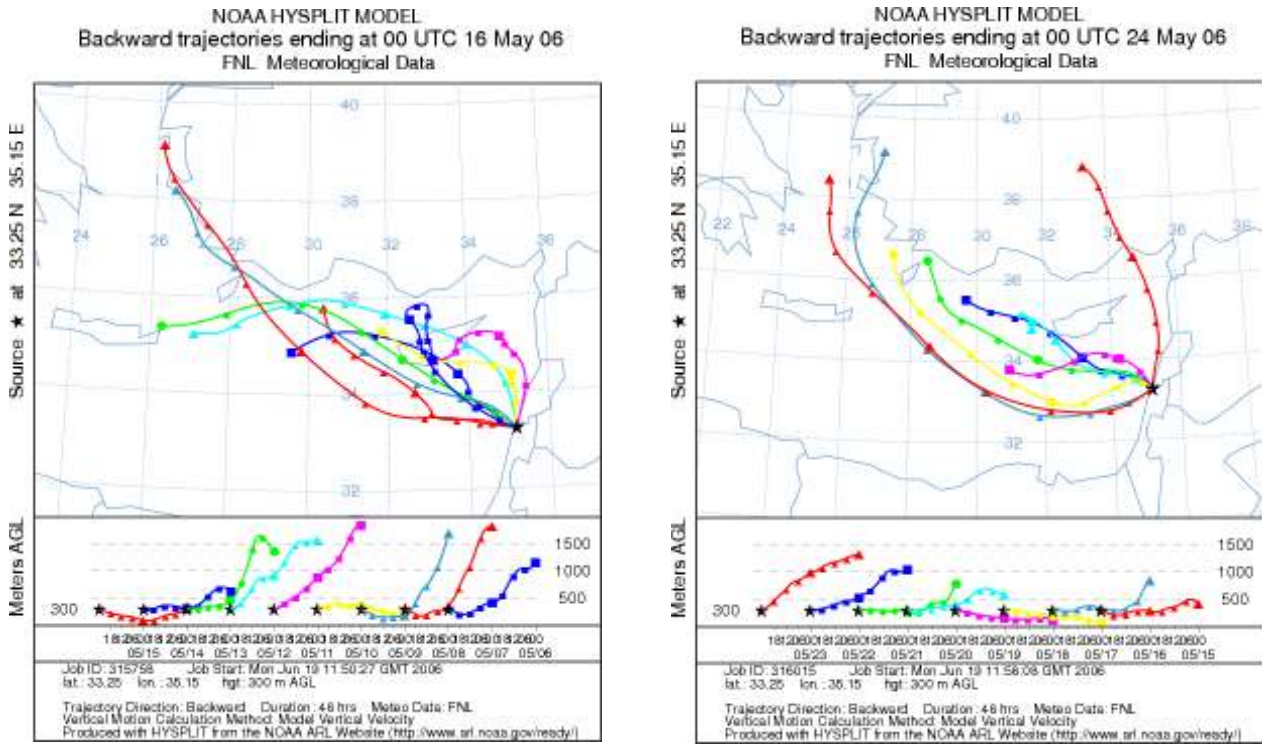


Figure 4: Wind Patterns vs. time of day

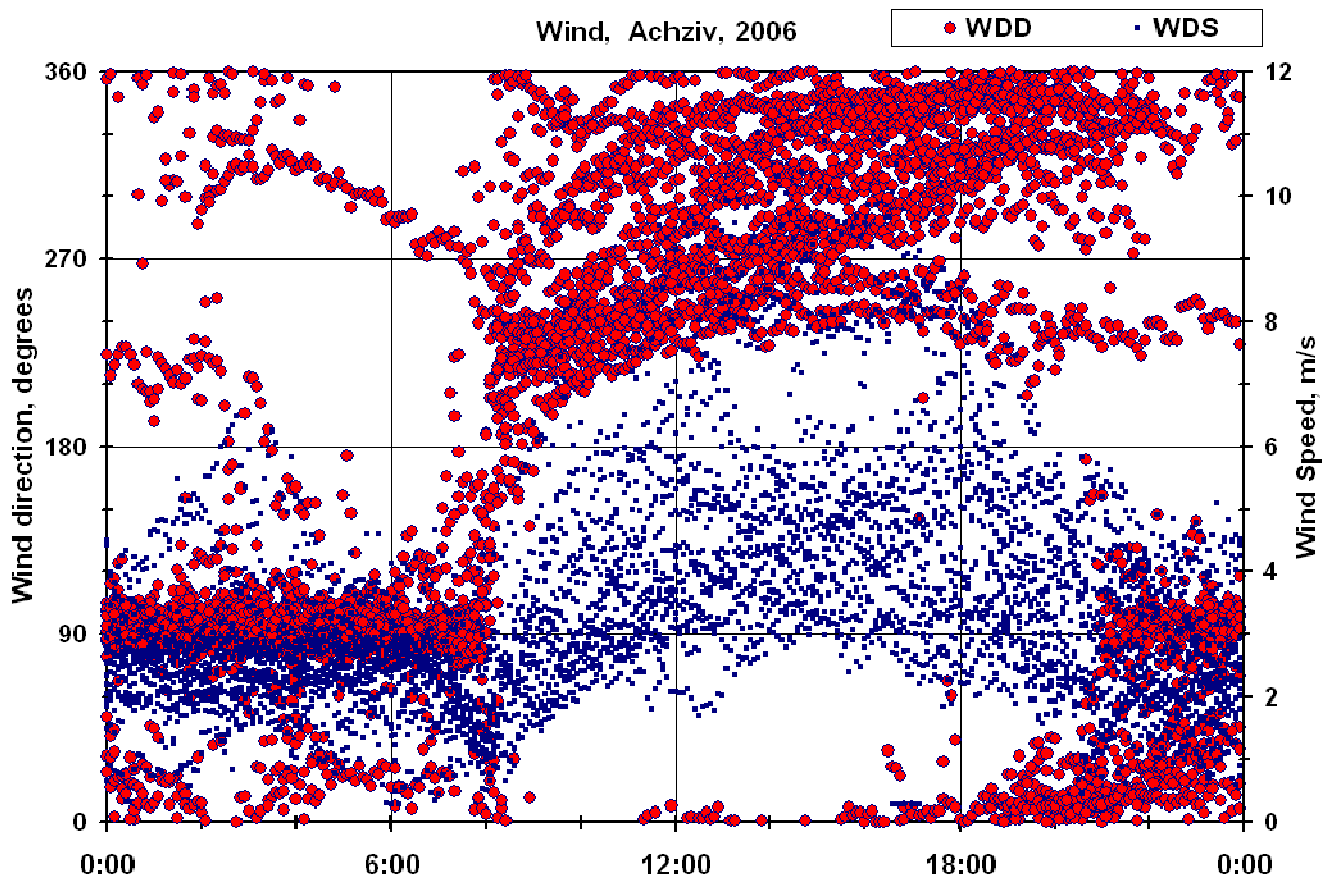


Figure 5a: Windrose 7-25 May, 2006:

(a) All data

(b) Background (Hours 15:00 – 21:00)

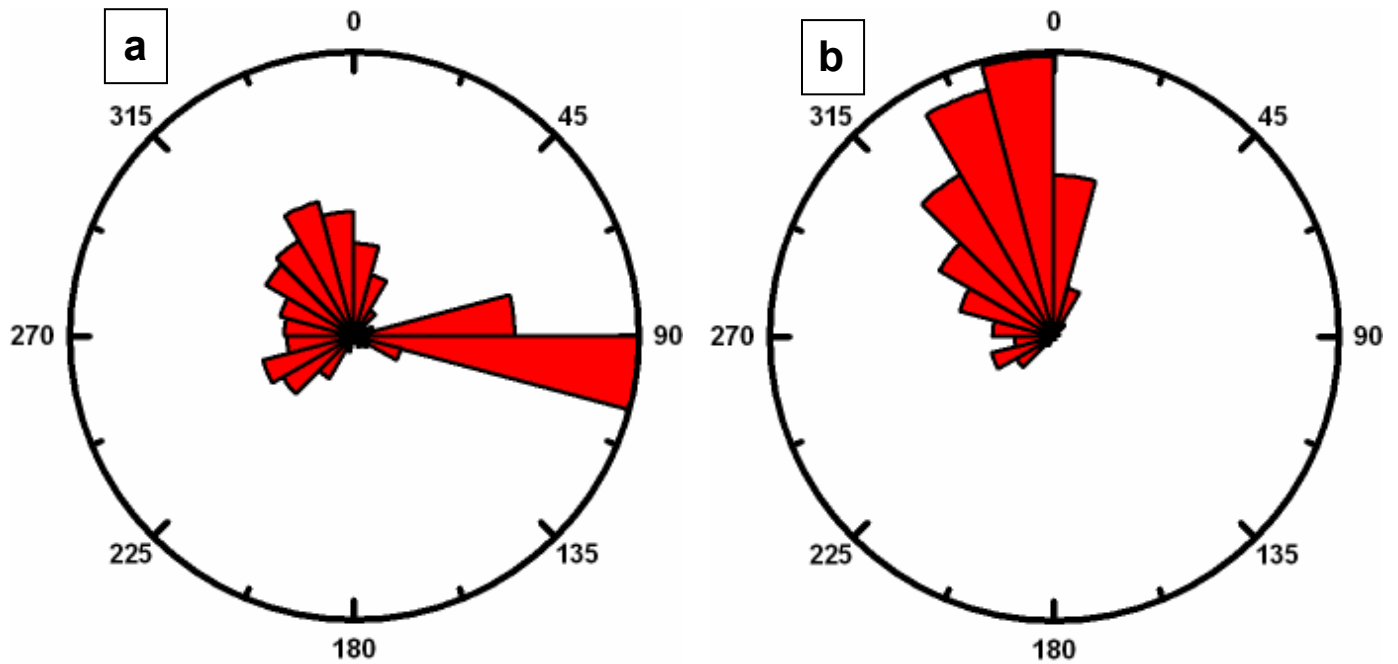


Figure 6: Temperature and Relative Humidity

Achziv, May 2006

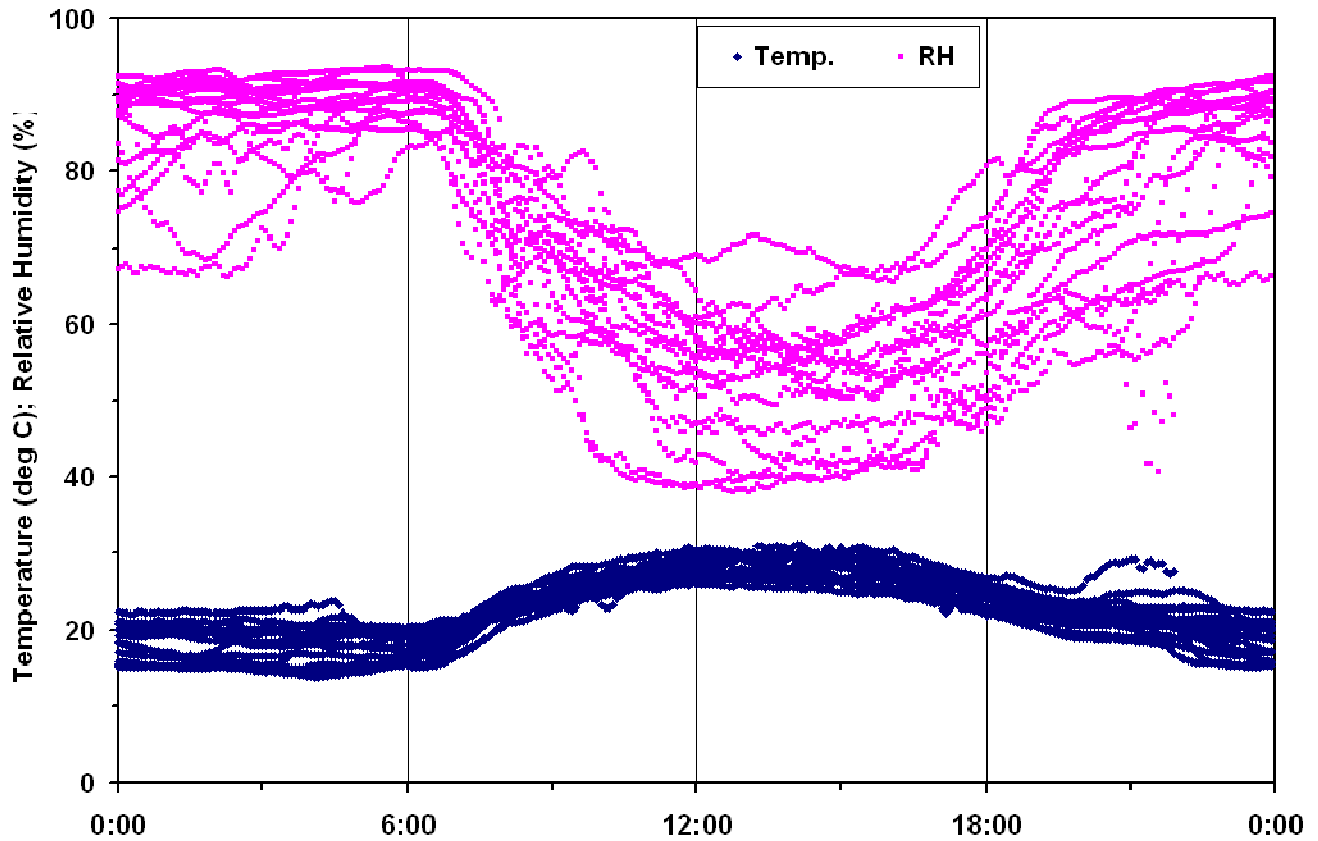


Figure 7: Nitrogen Oxide concentrations vs. Time of Day

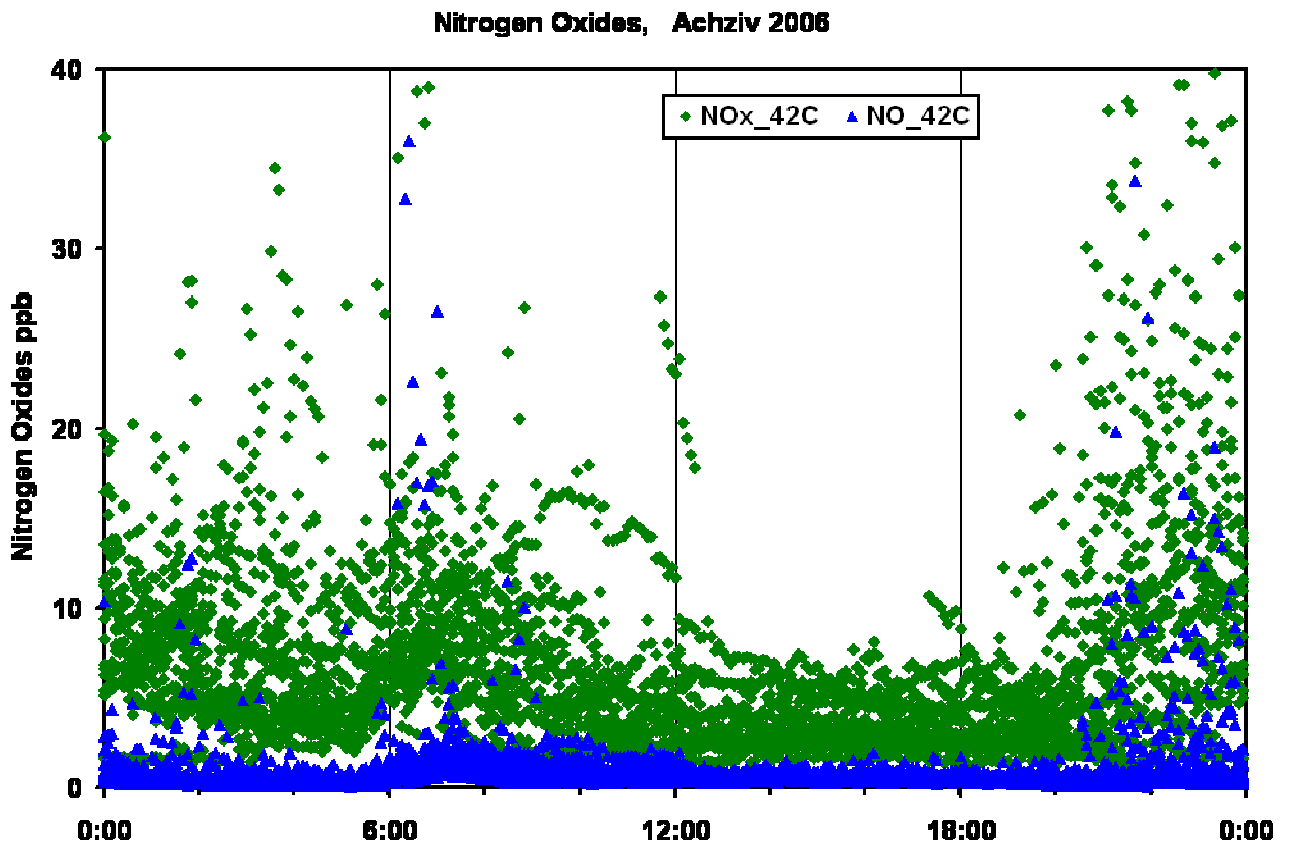


Figure 8: SO₂ concentrations vs. Time of Day

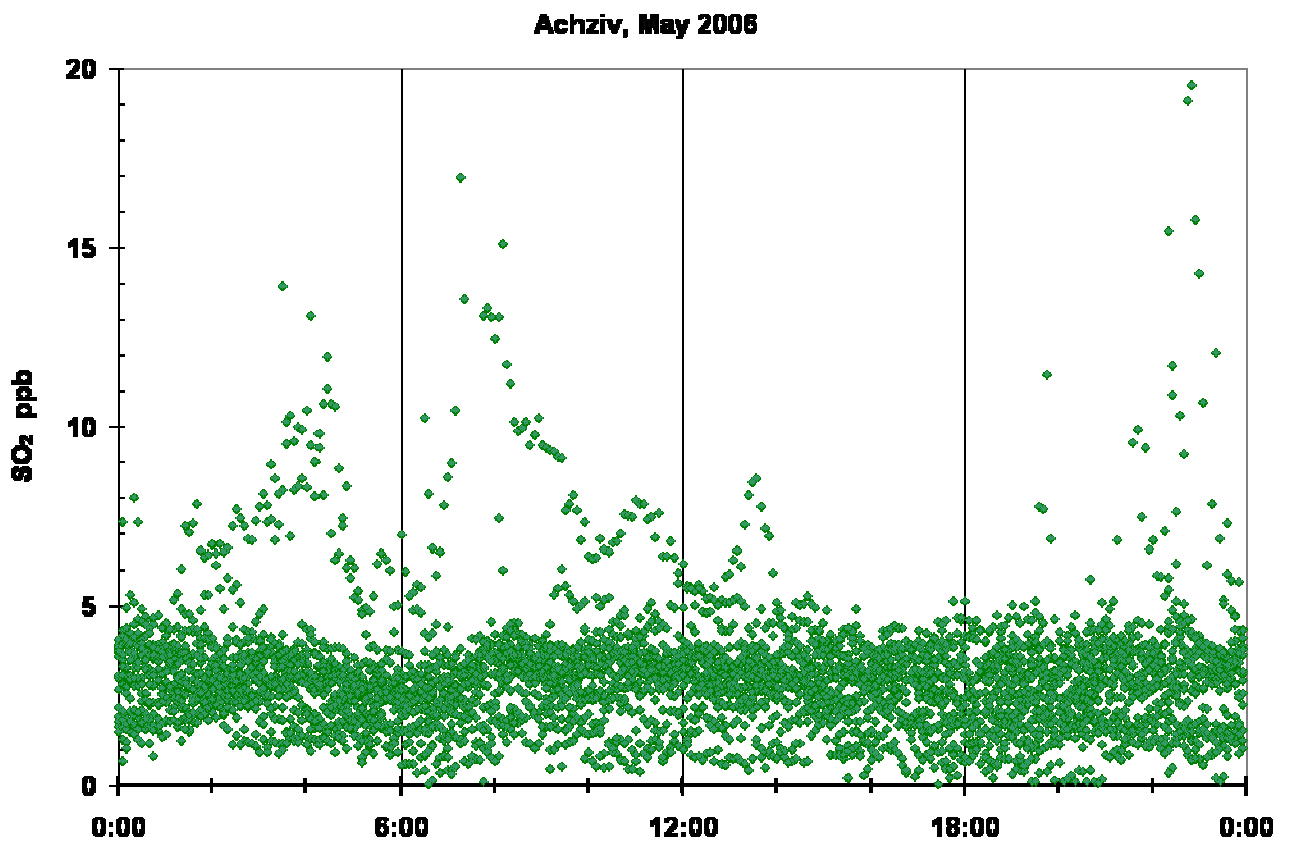


Figure 9: Ozone concentrations vs. Time of Day

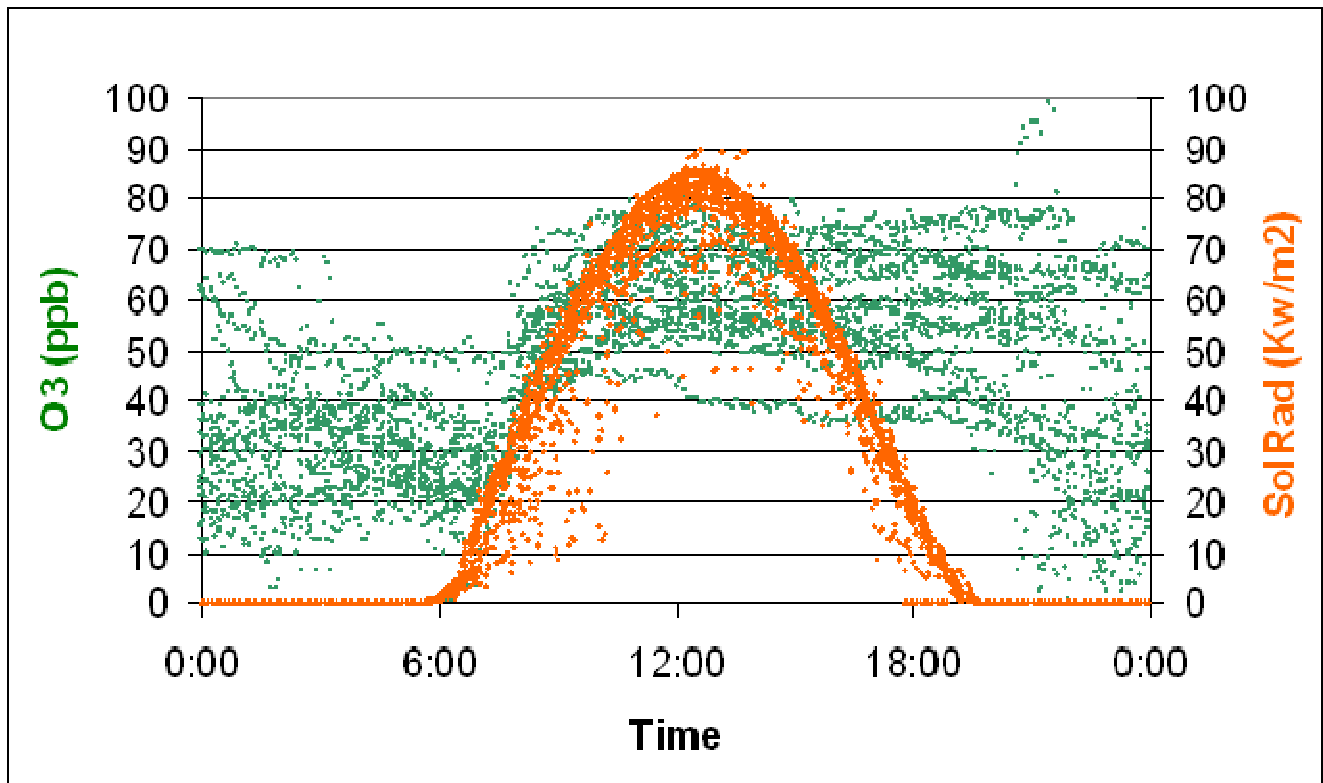


Figure 10: Comparison of Primary Pollutants

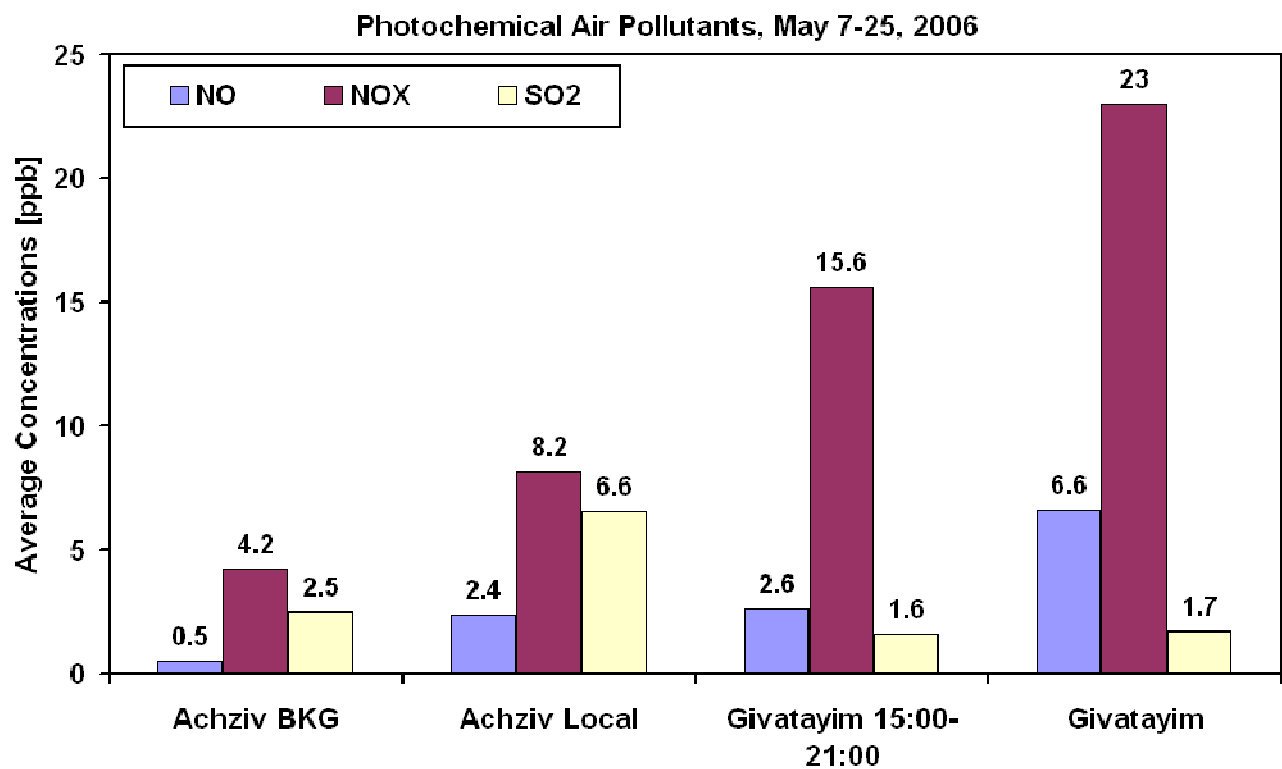


Figure 11: Comparison of Photochemical Species

