

המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית

**חיזוי ריכוזי רקע של חלקיקים עדינים (חלק טבעי/מנרולוגי)  
בישראל (בפיזור מרחבי) לפי מצבים סינופטיים**

דו"ח מסכם

**מוגש ע"י**

**חוקרים ראשיים:**

	יגאל אראל

**חוקרים נוספים:**

	אורי דיין

מוגש למדען הראשי  
המשרד לאיכות הסביבה

27.6.2010

\*תודות:

מספר עמוד	תוכן עניינים	
5	תקציר בעברית <sup>1,2,3</sup>	
5	תקציר באנגלית <sup>3</sup>	
5	מילות מפתח <sup>2,3</sup>	
6	<b>מבוא</b>	
6		הצגת הנושא <sup>1,2,3</sup>
6		סקר ספרות <sup>2,3</sup>
7	מטרות העבודה <sup>1,2,3</sup>	
7	<b>רקע מדעי<sup>1*,2,3</sup></b>	
8	<b>תיאור העבודה<sup>1,2,3</sup></b>	
		שיטות
	ניסויים ו/או חישובים	
9	<b>תוצאות<sup>1,2,3</sup></b>	
9	<b>דיון בתוצאות<sup>1*,2,3</sup></b>	

<b>18</b>		<b>מסקנות 1*,2,3</b>

1 דו"ח חצי שנתי  
 2 דו"ח שנתי  
 3 דו"ח מסכם  
 \* אופציונאלי

<b>18</b>		<b>אפשרויות יישום תוצאות העבודה בישראל 2*,3</b>
<b>18</b>		<b>המלצות להמשך המחקר 3</b>
<b>18</b>		<b>סיכום 1,2,3</b>
<b>18</b>		<b>רשימת ספרות 3</b>
<b>20</b>		<b>נספחים הימים והמצבים הסינופטיים הראויים לדגימה בין מאי 2008 ומאי 2010</b>

1 דו"ח חצי שנתי  
 2 דו"ח שנתי  
 3 דו"ח מסכם  
 \*אופציונאלי

### \*רשימת טבלאות

<b>מספר עמוד</b>	<b>הטבלה</b>	<b>מספר טבלה</b>
<b>8</b>	ריכוזי המקטע המינרלי (מיקרוגרם למטר מעוקב) של אבק עדין (PM <sub>2.5</sub> ) באתרי דגימה שונים בזמן מצבים סינופטיים שונים	<b>1</b>
<b>8-9</b>	רשימת התחנות המשתתפות המחקר והגוף האחראי להפעלתן.	<b>2</b>
<b>9</b>	המצבים הסינופטיים שאופיינו עבור המחקר הנוכחי ושמהם נבחרו וייבחרו דוגמאות	<b>3</b>
<b>9-10</b>	הימים והמצבים הסינופטיים הראויים לדגימה בין מאי 2008 וינואר 2009	<b>4</b>
<b>12</b>	השוואה בין שתי שיטות המיצוע	<b>5</b>

**\*רשימת תרשימים**

מספר עמוד	התרשימים	מספר התרשים
6	התפלגות שנתית של זרימת אוויר מחמש הגזרות במפה שבמפה 1	<u>1</u>
13	ריכוז אבק עדין ( $PM_{2.5}$ ) כפי שנמדדו בתחנות המחקר עבור הדוגמאות שנבחרו לצורך אנליזה של מתכות בזמן של אפיק פרסי רגיל ורדוד.	<u>2</u>
13	(א) איור עליון, ריכוזי המתכות העיקריות ב $PM_{2.5}$ בתחנות השונות בזמן אפיק פרסי. (ב) ריכוזי מתכות אנתרופוגניות באותן דוגמאות.	<u>3</u>
14	ערכי העשרה (EF) של מספר מתכות אנתרופוגניות בזמן של אפיק פרסי בתחנות השונות	<u>4</u>
14	ערכי העשרה (EF) של וונדיום וניקל	<u>5</u>
15	ריכוזי וונדיום וניקל בתחנות השונות ומקדמי הקורלציה שלהם	<u>6</u>
16	ממוצעים ופיזור של ריכוז $PM_{2.5}$ באפיק פרסי מול רמה ממערב	<u>7</u>
16	יחסי העשרה של מתכות רעילות (אנתרופוגניות) באפיק פרסי מול רמה ממערב	<u>8</u>
17	עוצמת המגנוט של דוגמאות האבק כפונקציה של שדה הדומיננטיזיה	<u>9</u>
17	דעיכת עוצמת המגנוט מנורמלת כפונקציה של עוצמת שדה הדומיננטיזיה	<u>10</u>

**\*רשימת מפות**

מספר עמוד	המפה	מספר המפה
6	חלוקת מקורות גושי אוויר באזורנו לגזרות באמצעות Back Trajectories (Dayan,1986).	<u>1</u>

**\*רשימת תמונות**

מספר עמוד	התמונה	מספר התמונה
11	סרט הדגימה מתחנת רמז בבני ברק	<u>1</u>
11	פילטר טפלון ששימש להשוואה בין שתי שיטות המיצוי	<u>2</u>

## תקציר

המטרה העיקרית של המחקר המוצע היא לחזות את עומס החלקיקים העדינים ( $PM_{2.5}$ ), פיזורם המרחבי, המאפיינים הכימיים שלהם באזורים שונים והיקף התרומה ממקורות זרים לעומת מקומיים במצבים סינופטיים שונים. לצורך כך המחקר מתבסס על תחנות הדגימה של מני"א ושל אגוד הערים לאיכות הסביבה. עד כה הנתונים שנאספו בתחנות (כגון עומס חלקיקים, ריכוז גזים, וכולי) עברו ניתוח חלקי. עשינו ניתוח של המצבים הסינופטיים החל במאי 2008 ובהתאם נבחרו הפילטרים לצורך אנליזה כימית. בחלק מהפילטרים של התחנות המשתתפות במחקר נמדדו ריכוזי מתכות עיקריות (Al, Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K) ומתכות רעילות (Pb, Cu, Cr, Cd, Zn, Ni, Co, V). התחנות הללו נמצאות באזור אשקלון (גברעם, קרית מלאכי), אשדוד (אזור תעשייה, רובע ט"ו, גדרה), גוש דן (חולון, בני ברק – דרך ז'בוטינסקי), וירושלים (כביש בר אילן, כיכר ספרא – לא מוצג בדו"ח משום שדוגם  $PM_{10}$ ) ובאר שבע – לא מוצג בדו"ח משום שדוגם  $PM_{10}$ . פילטרים משאר התחנות יעברו מיצוי ואנליזה בחודשים הקרובים.

החל ממאי 2008 סומנו 92 ימים אפשריים לאנליזה כימית. דוגמאות שנאספו בחלק מימים אלה עברו אנליזה כימית של מתכות עיקריות ומתכות רעילות. תוצאות המחקר עד כה מצביעות על כך שבמצב סינופטי מסוים (במקרה הזה – אפיק פרסי) יש פזור אופייני של חלקיקים אטמוספריים ומתכות עיקריות ומתכות קורט בערים שונות בישראל. ריכוזי המתכות העיקריות הגבוהים ביותר נמדדו בירושלים ובחולון, אולם רמות הזיהום הגבוהות ביותר של מתכות רעילות בכלל ושל וונדיום וניקל בפרט נמדדו באזור התעשייה באשדוד. ריכוזים גבוהים אלה של וונדיום וניקל משקפים את הפליטות המקומיות באשדוד (מפעלי תעשייה, בתי הזיקוק, תחנת כח ואולי אף הנמל).

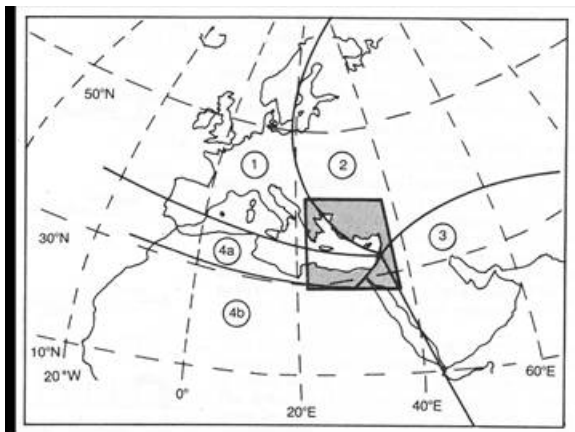
פתוח הפרוטוקול לשימוש בסרטי הדגימה של דוגמי מני"א ואיגודי ערים לאיכות הסביבה אפשרו לנו לקבל מספר גדול של נתונים ממספר רב של תחנות דגימה בפיזור ארצי ובכל מצב אטמוספרי שנראה לנו חשוב ומעניין. זהו כלי יעיל, זמין וזול יחסית שיאפשר לנו בהמשך המחקר לקבל תמונה מלאה לגבי הפזור המרחבי של אירוסולים בישראל במצבים סינופטיים רבים ומגוונים. בסופו של דבר, לאחר מספר קטן של שנים נוספות של דגימה נהיה מסוגלים לבנות מודל לחיזוי זיהום של חלקיקים אטמוספריים בישראל.

**מלות מפתח:** חלקיקים נשימים, ריכוזי רקע, הרכב כימי, מצבים סינופטיים,  $PM_{2.5}$ , אפיון מקורות זהום

**Keywords:** PM, synoptic conditions, background concentrations, chemical composition

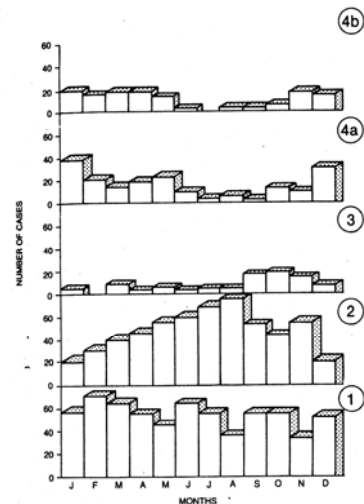
## מבוא

מחקרים רבים מצביעים על כך שבמצבים סינופטיים מסוימים אחוז ניכר מזיהום האוויר בישראל מגיע ממקורות זרים (Luria et al., 1996; Wanger et al., 1999; Erel et al., 1997; 2002; 2006; Dayan (1986) 2007). באמצעות Back Trajectories הוא מצא כי ב- 23% מהתקופה הגיע לישראל אוויר מערב הסעודית וירדן, חופה הצפוני של אפריקה ופנים היבשת של צפון אפריקה. במפה 1 מצוינות, בהתאמה, הגזרות 3, 4a, 4b, המסמנות אזורים אלה. ב- 66% מהזמן הגיע האוויר מצפון מערב אירופה וממזרח (גזרות 1 ו- 2 במפה 1). בעיקר ראוי לציין שאויר המגיע מגזרה 2 שבמפה 1 קשור למצב הסינופטי של אפיק פרסי המתקיים בישראל במשך מרבית חודשי הקיץ (איור 1) ואז יש תרומה משמעותית של זיהום ממזרח אירופה לישראל (Luria et al., 1996; Wanger et al., 1999; Erel et al., 2007; מראה כי המסלולים שעשויים להסיע אבק מתקיימים בעיקר בעונות המעבר ובחורף (איור 1). עוד נמצא כי סופות האבק שמקורן ממדבריות המצויים מזרחית לישראל שונות בתכלית מהסופות שמקורן מדרביות צפון אפריקה. השוני הוא בריכוז האבק, משך הסופה וגובה ההסעה האופיינית באטמוספירה (Dayan et al., 1991). בהקשר הזה נתמקד בקשר בין המצבים הסינופטיים והגעה של מזהמים ממקורות זרים ומידת תרומתם לעומת מקורות הזיהום המקומיים.



איור 1: התפלגות שנתית של זרימת אוויר מחמש הגזרות במפה שבמפה 1. (Dayan, 1986).

מפה 1: חלוקת מקורות גושי אוויר באזורנו לגזרות באמצעות Back Trajectories (Dayan, 1986).



## מטרות העבודה

המטרה העיקרית של המחקר המוצע היא לחזות את עומס החלקיקים העדינים ( $PM_{2.5}$ ), פיזורם המרחבי, המאפיינים הכימיים שלהם באזורים שונים, מידת רעילותם והיקף התרומה של חלקיקים ממקורות זרים לעומת מקומיים במצבים סינופטיים שונים.

לצורך זה נקבעו מטרות הביניים הבאות:

1. קביעת קריטריונים לבחירת הימים בהם תתבצע בדיקה מעמיקה של נתוני זהום אוויר חלקיקי.
2. ניתוח יחסים בין ריכוזי חלקיקים במקטעי גודל שונים ויחס מזהמים בין תחנות תחבורתיות ושכונתיות בימים שנבחרו ובין אזורים שונים בישראל.
3. קביעת ההרכב הכימי של המרכיב המינרלי באירוסולים.
4. קביעת ההרכב הכימי של המרכיב הלא מינרלי במספר מצומצם של דוגמאות.
5. הערכת התרומה ממקורות זרים על פי היחסים האיזוטופים של עופרת בדוגמאות נבחרות.

**הערה: עקב הקיצוץ בתקציב לא ביצענו את סעיפים 4 ו 5.**

## רקע מדעי

נתונים שנאספו על ידינו לאחרונה מצביעים על מספר עובדות חשובות. בראש ובראשונה מתברר

שהכמות הממוצעת של אבק עדין ( $PM_{2.5}$ ) מינרלי באתרי הדגימה השונים גבוהה על פי רוב מחמישה

מיקרוגרם למטר מעוקב אוויר, ובזמן סופות אבק היא יכולה להגיע לערכים גבוהים פי 10 ואף יותר (טבלה 1). כמו כן ישנם הבדלים ניכרים בין אזור ירושלים ואזור גוש דן, כאשר בזמן סופות אבק ריכוזי הרקע של

$PM_{2.5}$  בירושלים גבוהים יותר מאשר בגוש דן ואילו בזמן אפיק פרסי – רוב ימות הקיץ – ריכוזי הרקע של

$PM_{2.5}$  בירושלים נמוכים יותר מאשר בגוש דן (טבלה 1). בנוסף, ניתן להצביע בוודאות על כך שבמשך מרבית

סופות האבק החלקיקים האטמוספריים מזהמים (Rabi et al., 2004). חלק מהזיהום נספח על

החלקיקים תוך כדי הסעתם באטמוספירה, ובנוסף האבק מכיל גם קרקעות מזהמות שהצטרפו לעננת האבק

בדרכה מהמדבר לישראל (Erel et al., 2006). חלק מהמזהמים מגיעים עם האבק מארצות שכנות כגון

מצרים דרכן עוברות סופות האבק בדרכן לישראל וחלקם מגיעים ממקורות זהום מקומיים. עיקר הזהום

המקומי מורגש לפני הגעת עננת האבק. רק בסופות אבק גדולות במיוחד (מעל 1000 מיקרוגרם אבק למטר

מעוקב) הזהום זניח. בנוסף, מרבית חלקיקי האבק נמצאים במקטע הקטן מ 2.5 מיקרון ועקב כך האבק

מהווה סכנה בריאותית גם ללא קשר לדרגת זיהומו.

בזמן בו שורר אפיק פרסי, רמת הזיהום של  $PM_{10}$  גבוהה יותר מאשר בזמן בו שוררות סופות אבק,

אולם האבק העדין ( $PM_{2.5}$ ) מזהם בשני המצבים במידה דומה. בזמן אפיק פרסי החלקיקים האטמוספריים

מכילים כמות ניכרת של מזהמים שמקורם בארצות מזרח אירופה כגון אוקראינה (Erel et al., 2007). גם

באזורים נידחים בישראל, כגון דרום הנגב, מידת הזיהום של האבק אינה נופלת ממידת הזיהום במרכז

הארץ. עובדה זאת מצביעה על חשיבותם של המזהמים המגיעים מארצות אחרות. לדו"ח שהגשנו לאחרונה

למשרד להגנת הסביבה יש מסקנה עיקרית אחת: בשל התרומה הגבוהה של אבק ושל זהום ספוח לאבק

ממקורות זרים (טבעיים ואנתרופוגניים) במספר לא מבוטל של מצבים סינופטיים (Moulin et al., 1998; )

(Dayan et al., 2007) יש לבחון מחדש את יעדי התקינה של זהום אוויר חלקיקי בישראל.

**טבלה 1:** ריכוזי המקטע המינרלי (מיקרוגרם למטר מעוקב) של אבק עדין ( $PM_{2.5}$ ) באתרי דגימה שונים בזמן מצבים סינופטיים שונים.

נאות סמדר	שורש*	ירושלים	בני ברק	ממוצע	
16	1.5	32	12	ממוצע	
20	2.8	68	9	סטיית תקן	
2	<1	0.7	0.8	מינימום	סופות אבק
72	8	280	56	מאקסימום	
17	13	17	57	מספר דגימות	
		4.2	20	ממוצע	
		4.1	13	סטיית תקן	
		0.3	2.6	מינימום	אפיק פרסי
		21	64	מאקסימום	
		34	80	מספר דגימות	

\* הדגימה בשורש נעשתה בזמן שקע קר, לאחר מעבר האבק, תוך כדי הגשם, בזמן שהאוויר היה צלול ונקי מחלקיקים.

### תיאור העבודה

במהלך השנתיים האחרונות רוכזו כל הנתונים (ריכוזי  $SO_2$ ,  $NO_x$ , אוזון, חלקיקים  $PM_{10}$  ו- $PM_{2.5}$ ) בתחנות רבות של מני"א ושל איגודי ערים לאיכות הסביבה (טבלה 2) החל משנת 2000 ועד הווה. נתונים אלה ישמשו אותנו בעתיד הקרוב על מנת לבצע ניתוח מפורט של מאפייני הזיהום החלקיקי (יחסים בין עומס חלקיקים במקטעי גודל שונים) ויחס מזהמים בין תחנות תחבורתיות ושכונתיות ולהשוות אותם עם הנתונים הכימיים המופיעים בדו"ח הנוכחי עבור השנים 2008 – 2010. תוצאות אלה של הניתוח הסטטיסטי ידווחו בנפרד כאשר נסיים את העבודה.

במהלך המחקר קבענו את הקריטריונים לבחירת ימים בהם נעשית אנליזה כימית של האירוסולים בתחנות הדגימה. הקריטריונים שנבחרו הם המצבים הסינופטיים המופיעים בטבלה 3. במהלך השנה הראשונה של המחקר התאמנו ושיפרנו את שיטת המיצוי של הפילטרים שהתקבלו מתחנות הדגימה. כאן ראוי לציין שבזכות היכולת הזאת יש בידינו כלי מחקרי ממעלה ראשונה. היכולת לקבל אנליזה כימית אמינה הכוללת הרכב מתכות עיקריות ואנטרופוגניות ממספר גדול של דוגמים המוצבים כבר בכל תחנות מני"א ואיגודי ערים לאיכות הסביבה אין לה אחר ורע בעולם. לפני שנה פנו אליו חוקרים מארה"ב העוסקים בזיהום אוויר בבקשה לקבל פרטים על השיטה על מנת ליישמה באלפי תחנות הדגימה הנמצאות במרחבי אמריקה ואנו עובדים איתם כרגע על מאמר המתאר את השיטה והכולל אנליזות של דוגמים בישראל ובארצות הברית. בעצם פיתוח היכולת הזאת הפכנו את **סרטי הדגימה מפסולת שהושלכה לפח האשפה למשאב לצורכי ניטור ומחקר סביבתי**.

במהלך המחקר ביצענו אנליזות כימיות בחלק מהתחנות, בעיקר בתחנות מאזור אשקלון, אשדוד, גוש דן וירושלים. במהלך האנליזות נמדדו ריכוזי המתכות העיקריות (Al, Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K) והמשניות (אנתרופוגניות – Pb, Cu, Cr, Cd, Zn, Ni, Co, V).

**טבלה 2:** רשימת התחנות המשתתפות המחקר והגוף האחראי להפעלתן. בכולן (למעט אחת) מתבצע כיום דיגום רציף של PM.

PM	גוף אחראי	מיקום התחנה
10	מני"א	כרמיאל
2.5	מני"א	כפר מסריק
10	איגוד ערים לאיכות הסביבה - חיפה	נשר
10	איגוד ערים לאיכות הסביבה - חיפה	קרית בנימין
10	איגוד ערים לאיכות הסביבה - חיפה	קרית אתא
10	איגוד ערים לאיכות הסביבה - חיפה	קרית חיים
2.5	מני"א	בני ברק – ז'בוטינסקי (רמז)
2.5	מני"א	תל אביב – עירוני ד'
10	מני"א	תל אביב – יד אבנר
2.5	מני"א	חולון
2.5	מני"א – אינה פעילה יותר	ירושלים – כביש בר אילן
10	מני"א	ירושלים – כיכר ספרא
10	מני"א	ירושלים – אפרתה
2.5	איגוד ערים לאיכות הסביבה - אשדוד	אשדוד – אזור תעשייה
2.5	איגוד ערים לאיכות הסביבה - אשדוד	אשדוד – רובע ט"ו



2.5	איגוד ערים לאיכות הסביבה - אשדוד	גדרה
10	איגוד ערים לאיכות הסביבה - אשקלון	אשקלון - מרכז
2.5	איגוד ערים לאיכות הסביבה - אשקלון	אשקלון - בית אחוד
10	אשקלון - הוזה במהלך המחקר	כרמיה
10	איגוד ערים לאיכות הסביבה - אשקלון	ארז
2.5	איגוד ערים לאיכות הסביבה - אשקלון	קרית מלאכי
2.5	איגוד ערים לאיכות הסביבה - אשקלון	גברעם
2.5	איגוד ערים לאיכות הסביבה - אשקלון	שדרות
10	מני"א	באר שבע

**טבלה 3:** המצבים הסינופטיים שאופיינו עבור המחקר הנוכחי ושמהם נבחרו וייבחרו דוגמאות.

Number	Name	Winds in Israel
0	Undefined	Undefined
1	Red Sea Trough with eastern axis	NE-NW winds
2	Red Sea trough with western axis	SE winds
3	Red Sea trough with central axis	E winds
4	weak Persian trough	NW winds
5	median Persian trough	W winds
6	deep Persian trough	W-SW winds
7	high to the east	SE winds
8	high to the west	NW winds
9	high to the north	N-NE winds
10	high over Israel	VRB winds
11	deep low to the east	NW winds
12	deep Cyprus low to the south	SE winds
13	shallow Cyprus low to the south	SE winds
14	deep Cyprus low to the north	W winds
15	shallow Cyprus low to the north	W winds
16	cold low to the west	SW winds
161	Shallow cold low to the west	SW weak
17	shallow low to the east	N-NNW winds
18	sharav low to the west	SE winds
19	sharav low over Israel	SE-SW winds
20	Cole	VRB winds
21	Shallow Syrian low with High to the North	NW winds

### תוצאות ודיון

#### 1. ניתוח המצבים הסינופטיים

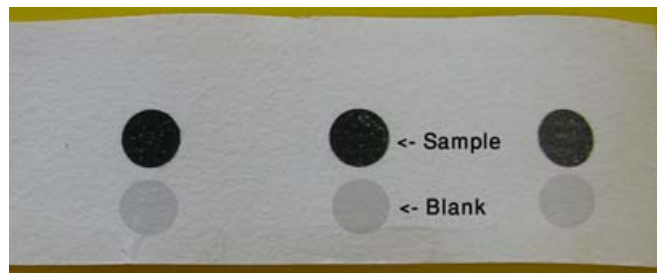
החל ממאי 2008 התבצע ניתוח של המצבים הסינופטיים ונבחרו הימים המתאימים ביותר לאנליזה כימית. הניתוח נעשה על ידי ד"ר אילן לוי מדי חודש, על סמך הנתונים של השרות המטאורולוגי. בסוף כל חודש העביר לנו ד"ר לוי את רשימת הימים השייכים לאחד מהמצבים הסינופטיים המופיעים בטבלה 3 כאשר נמצאו תאריכים רציפים בהם נשמר המצב הסינופטי ומקור גוש האוויר במשך מספר יממות הם קיבלו את העדיפות הגבוהה ביותר לאנליזה (טבלה 4). בתקופה שבין מאי 2008 ועד מאי 2010 נמצאו למעלה ממאה ימים (בין חמישה לחמישה עשר ימים בחודש) הראויים לאנליזה (טבלה 4, נספח 1). תוצאות אלה יידונו בהרחבה בהמשך הדו"ח. חשוב לציין שהפרוטוקול שפיתחנו מאפשר לנו לבחור לאנליזה כל תאריך מעניין ולקבל תוצאות ממספר גדול של תחנות.

**טבלה 4:** בעמוד הבא - הימים והמצבים הסינופטיים הראויים לדגימה בין מאי 2008 וינואר 2009.

Dates	Synop Class	Back Trajectory	Wind in Israel	Description
06-May-08	4	2 W	2 W	גנ מרומניה בולגריה ומערב תורכיה, מעל הים התיכון ומגיע לישראל ממערב
07-May-08	4	2 W	2 W	
08-May-08	4	2 W	2 W	בימים אלו מסלול גוש האוויר מתחיל מעל מרכז ומזרח הים השחור, חולף מעל מערב תורכיה והים התיכון.
09-May-08	5	2 W	2 W	
10-May-08	4	2 W	2 W	
13-May-08	4	2 W	2 W	גוש האוויר משתנה מעל קפריסין לפני שמגיע לישראל. מסלול קצר מעל מקור גוש האוויר מעל יוון, כריתים ומרכז הים התיכון
25-May-08	5	1 W	1 W	מקור גוש האוויר מהים האגאי, כריתים ומרכז הים התיכון
03-Jun-08	4	1 W	1 W	דרום איטליה (סיציליה), כריתים ומרכז הים התיכון
10-Jun-08	6	1 W	1 W	דרום איטליה (מצפון לסיציליה) דרך כריתים ומרכז הים התיכון
16-Jun-08	4	1 W	1 W	
17-Jun-08	4	1 NW	1 NW	
18-Jun-08	4	1 NW	1 NW	
19-Jun-08	4	2 NW	2 NW	
20-Jun-08	4	2 NW	2 NW	מקור גוש האוויר מהים האגאי, בין יוון, מערב תורכיה וכריתים
21-Jun-08	4	1 W	1 W	
22-Jun-08	4	2 W	2 W	
23-Jun-08	4	1 NW	1 NW	
18-Jul-08	4	1 w	1 w	מסלול עובר מעל רומניה-בולגריה בגבהים של 1500 מעפ"י
26-Jul-08	4	1 w	1 w	מסלול מגיע מאלבניה ויוון
27-Jul-08	5	1 w	1 w	מסלול מגיע מדרום איטליה
29-Jul-08	5	1 w	1 w	מסלול ממרכז ים התיכון
31-Jul-08	4	1 w	1 w	מסלול מים שחור בגובה נמוך
04-Aug-08	5	5 w	5 w	
05-Aug-08	5	5 w	5 w	
06-Aug-08	4	5 w	5 w	
07-Aug-08	5	5 w	5 w	מסלול מים שחור מעל צ' תורכיה. מגיע לישראל מעל ים תיכון מהבלקנים
08-Aug-08	5	5 w	5 w	
09-Aug-08	4	5 w	5 w	
10-Aug-08	4	5 w	5 w	
11-Aug-08	4	5 w	5 w	
27-Aug-08	4	6 nw	6 nw	מסלול קצר מעל מזרח ים תיכון - בין קפריסין לישראל. מתקיים עד 1000 מ'
28-Aug-08	4	6 nw	6 nw	
29-Aug-08	4	6 w	6 w	
30-Aug-08	4	5 w	5 w	אפיק "פרסוף" בכל הימים. שילוב של אפיק פרסי ואפיק ים סוף. מקור גוש האוויר מהים השחור (בלשלי בספטמבר) והים האגאי, או מסלול קצר יותר מקפריסין (בחמישי בספט')
31-Aug-08	4	5 w	5 w	
01-Sep-08	4	5 nw	5 nw	
02-Sep-08	4	5 nw	5 nw	
03-Sep-08	4	5 nw	5 nw	מסלול ארוך מים שחור
04-Sep-08	4	6 n	6 n	
05-Sep-08	4	6 nw	6 nw	מסלול קצר מקפריסין
06-Sep-08	4	5 Nw	5 Nw	
07-Sep-08	4	6 w	6 w	
08-Sep-08	4	5 w	5 w	
14-Sep-08	8	5 w	5 w	
15-Sep-08	8	6 nw	6 nw	רמה ממערב גורמת לגושי אוויר להגיע לישראל במסלול קצר מעל מרכז ים תיכון (בקירוב מכריתים)
16-Sep-08	8	6 nw	6 nw	
17-Sep-08	8	6 nw	6 nw	
06-Oct-08	8	1 w	1 w	שילוב של רמה ממזרח (שלוחה של רמה אזורית) עם אפיק ים סוף מקור גושי האוויר מעל מרכז ים תיכון (איטליה - יוון)
07-Oct-08	8	1 w	1 w	
08-Oct-08	8	1 nw	1 nw	
09-Oct-08	4	6 nw	6 nw	
10-Oct-08	4	6 nw	6 nw	אפיק פרסוף, ביומיים ראשונים מקור גושי האוויר ביומיים ראשונים מהים האגאי וביומיים הבאים מסביבות קפריסין
11-Oct-08	4	6 w	6 w	
12-Oct-08	4	6 n	6 n	
18-Oct-08	1	5 n	5 n	
19-Oct-08	1	2 n	2 n	אפיק פרסוף, מקור גושי האוויר מצפון - לבנון וסוריה, ב-20 יתכן מעבר גם מעל ים תיכון
20-Oct-08	4	2 nw	2 nw	
24-Oct-08	1	6 n	6 n	שילוב של אפיק פרסוף עם שקע רדוד מעל קפריסין (נראה על פי ווקטורי רוח)
25-Oct-08	1	2 nw	2 nw	
03-Nov-08	1	2 NW	2 NW	מסלול קצר מתורכיה - סוריה ישראל
04-Nov-08	3	3 E	3 E	איס עם שקע מעל סוריה
05-Nov-08	3	3 E	3 E	איס עם שקע מעל סוריה
06-Nov-08	0	3 N	3 N	איס מדרום עם שקע רדוד מעל סוריה
07-Nov-08	3	3 NW	3 NW	איס רדוד
08-Nov-08	2	3 NE	3 NE	
09-Nov-08	1	3 NNW	3 NNW	
10-Nov-08	1	3 N	3 N	
11-Nov-08	3	3 N	3 N	רוחות חלשות מעל ישראל
12-Nov-08	2	3 W	3 W	רוחות מערביות ערות
19-Nov-08	7	4 sw	4 sw	גוש אוויר מעל הים האדום!!! כל המסלול עובר מעל הים
21-Nov-08	8	1 W	1 W	
22-Nov-08	8	1 W	1 W	רמה ממערב. מסלול גוש אוויר ממרכז הים התיכון
29-Nov-08	8	2 NW	2 NW	רמה ממערב גורמת לרוחות צפ מערביות
30-Nov-08	8	2 N	2 N	מסלול גוש אוויר צפוני
04-Dec-08	9	3 SE	3 SE	
05-Dec-08	9	3 SE	3 SE	רמה מעל מזרח תורכיה. מסלול גוש אוויר ממזרח תורכיה, סוריה/עיראק ירדן
06-Dec-08	7	3 SE	3 SE	ישראל
22-Dec-08	16	4 SW	4 SW	מסלול קצר דרך חופי צ' אפריקה
23-Dec-08	16	4 SW	4 SW	מסלול ארוך מאיטליה, לוב מצרים, סין וישראל. רוחות חזקות
24-Dec-08	14	4 W	4 W	מסלול ארוך ממזרח אירופה, חופי צ' אפריקה - מצרים וישראל. רוחות חזקות
25-Dec-08	15	2 W	2 W	מסלול ארוך מסקנדינביה לישראל
26-Dec-08	8	2 N	2 N	רכס מצפון עם שלוחה למזרח ים תיכון. מסלול ארוך ממזרח אירופה לישראל
03-Jan-09	7	2 SE	2 SE	מסלול מצפון - תורכיה ים תיכון. רצירקולציה לפני ישראל וחזרה לתל אביב
04-Jan-09	7	6 W	6 W	מסלול ים תיכון - ירדן - ים תיכון (רצירקולציה סינופטית)
05-Jan-09	7	6 W	6 W	מסלול קצר מעל ישראל - ירדן
06-Jan-09	7	6 VRB	6 VRB	מסלול קצר מעל ישראל - ירדן
13-Jan-09	9	2 N	2 N	מסלול צפוני ארוך
14-Jan-09	7	2 E	2 E	מסלול ארוך מצפון מגיע לירדן לפונה מערבה לישראל
15-Jan-09	7	3 SE	3 SE	מסלול ארוך ממזרח תורכיה, דרך עיראק, סעודיה ירדן למגיע לישראל מדרום
16-Jan-09	7	3 SE	3 SE	מסלול ארוך ממזרח תורכיה, דרך עיראק, סעודיה ירדן למגיע לישראל מדרום
21-Jan-09	7	6 E	6 E	
22-Jan-09	7	6 E	6 E	רמה מצפון מזרח לישראל
23-Jan-09	7	6 S	6 S	

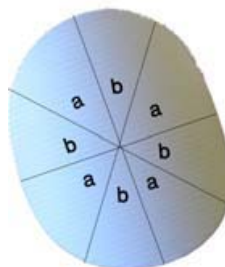
## 2. נסויי המסה של פילטרים מדוגמים של מני"א ושל איגודי ערים (Verewa ו THERMO).

תנאי מקדים לבצוע כל העבודה המתוארת בדו"ח היתה היכולת לקבל תוצאות אמינות של ריכוזי מתכות מהפילטרים של שני סוגי הדוגמים המשמשים את מני"א ואת איגודי הערים לאיכות הסביבה (Verewa ו THERMO). כאמור בדוגמים אלה יש סרט עשוי מסיבי זכוכית הנע בקצב מוכתב מראש ועוצר לפרקי זמן מוגדרים על מנת לאסוף את דוגמת האירוסולים (תמונה 1). כאשר הסרט נעצר והדוגמא נאספת עליו, נוצר כתם כהה המכיל את האירוסולים שנדגמו. הסרט עם הכתם עליו נגזר משאר הסרט ובמהלך העבודה פתחנו שיטה להמיס את המתכות הנמצאות באירוסולים באמצעות חומצה חנקתית. את התרומה של מתכות מהסרט עצמו אותה צריך להפחית מהערך של הדוגמאות קיבלנו באופן הבא. סמוך לכל דוגמא נדגם הסרט על מנת לקבל BLANK (תמונה 1). ריכוז המתכות ב BLANK הופחת מריכוז המתכות בכל דוגמא ודוגמא. ביצענו מספר ניסיונות על מנת לבחור את שיטת הגזירה הטובה ביותר ואת מספר דוגמאות ה BLANK הנמוך ביותר שעדיין אפשר קבלת תוצאות אמינות.



**תמונה 1:** סרט הדגימה מתחנת רמז בבני ברק. כל נקודה כהה היא דוגמת 2.5PM שנדגמה במשך 3 שעות. הנקודות הבהירות מציינות אזור זהה בגודלו של הסרט שנגזר סמוך לכל דוגמא על מנת לשמש כ **BLANK**.

כיוון שהסרט עשוי מסיבי זכוכית לא היה ניתן להשתמש להמסת הדוגמאות בשילוב של חומצה פלואורית וחומצה חנקתית המקובל להמסה כוללת של אירוסולים. לכן אספנו דוגמאות אירוסולים על גבי פילטר טפלון, גזרנו אותו ל 8 גזרות שוות (תמונה 2), ארבע עברו המסה עם חומצה פלואורית + חומצה חנקתית וארבע גזרות עברו המסה זהה להמסה שעוברים הסרטים של מני"א ואיגודי הערים לאיכות הסביבה, באמצעות חומצה חנקתית בלבד. לאחר מכן מדדנו את ריכוזי מתכות בשתי התמיסות (טבלה 5). כפי שניתן לראות, ההמסה בחומצה חנקתית בלבד שחרר ריכוז נמוך יותר של מתכות מהשילוב של חומצה פלואורית וחנקתית, אולם עבור רוב המתכות יש מתאם טוב בין שתי שיטות ההמסה, וההמסה בחומצה חנקתית בלבד שחררה בין 70% ל 100% (ערך השיפוע בטבלה 5) לעומת ההמסה כוללת של הדוגמא.



**תמונה 2:** פילטר טפלון ששימש להשוואה בין שתי שיטות המיצוי (חומצה פלואורית וחומצה חנקתית המקובל להמסה כוללת של אירוסולים וחומצה חנקתית בלבד בה השתמשנו למיצוי הסרטים במחקר זה). חלוקת הפילטר ל 8 גזרות כאשר 4 גזרות (a) נלקחו להמסה הכוללת ו 4 גזרות (b) להמסה השנייה.

ישנן מספר מתכות (קדמיום (Cd), אבץ (Zn) וניקל(Ni)) שעבורן ההמסה בחומצה חנקתית בלבד שחררה רק 11% עד 40% מהריכוז הכולל.

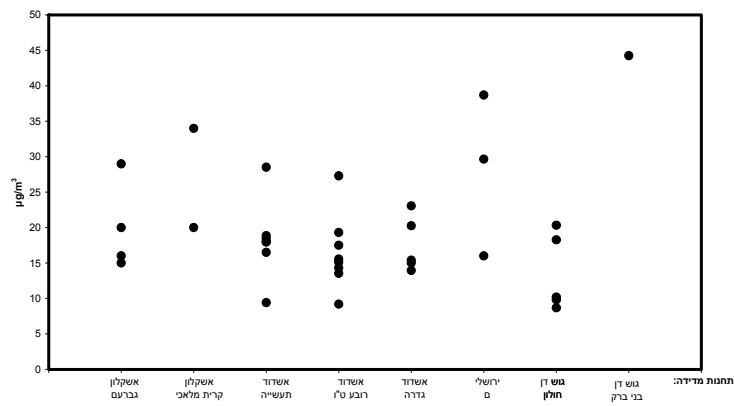
**טבלה 5:** השוואה בין שתי שיטות המיצוי. השיפוע מייצג את ה % שהשתחרר בהמסה עם חומצה חנקתית בלבד לעומת ההמסה הכוללת באמצעות חומצה פלואורית וחומצה חנקתית.  $R^2$  הוא מקדם הקורולציה בין שתי שיטות ההמסה.

Element	Slope	y-intercept	R <sup>2</sup>
Lu	0.969	0.02	0.9489
Th	1.261	0.4	0.9304
Sr	0.782	150.97	0.9043
Pb	0.648	237.9	0.8822
Mg	0.828	16182	0.8813
U	0.656	0.72	0.8469
Yb	0.787	0.18	0.8413
Co	0.958	2.06	0.8349
Mn	0.892	65.2	0.8338
La	0.85	1.6	0.8334
Sm	0.912	0.56	0.8246
Nd	0.912	1.86	0.8137
Zn	0.398	76.16	0.7839
Fe	1.181	278.8	0.7787
Rb	0.804	11.03	0.738
Al	0.826	8045	0.6429
Ca	0.672	494.5	0.5498
Cd	0.241	6.7	0.3985
Cu	0.636	157.7	0.3825
Ni	0.113	351.7	0.178

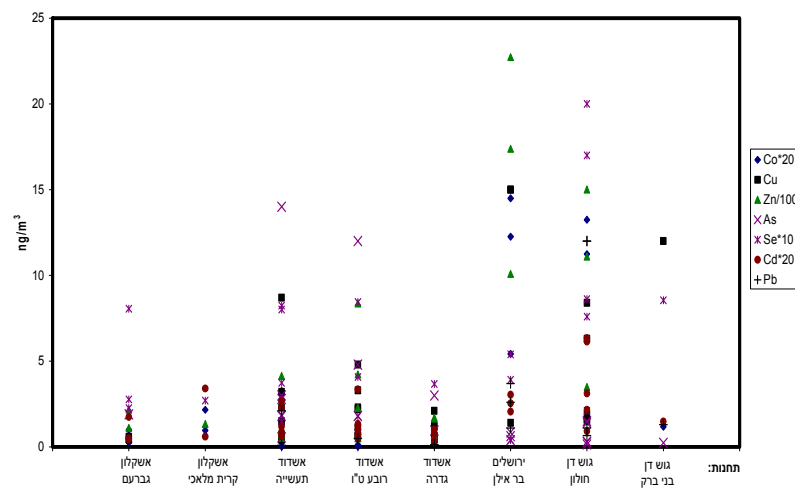
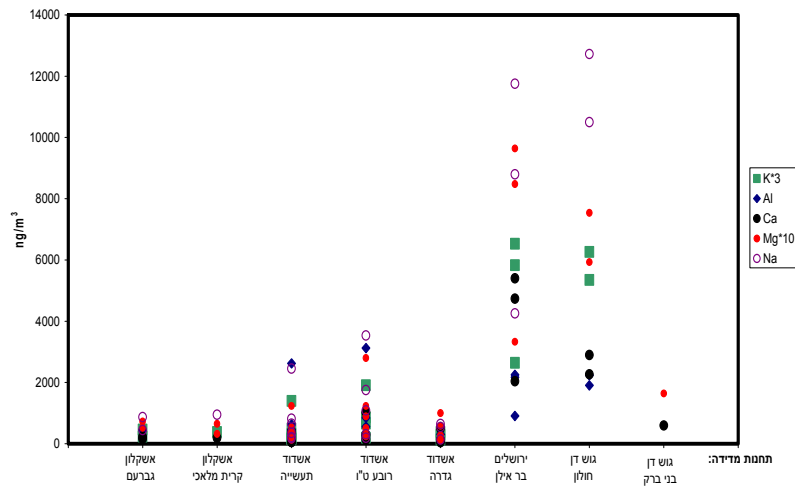
לסיכום, שיטת ההמסה שפיתחנו עבור הסרטים של מני"א ואיגודי הערים לאיכות הסביבה נותנת תוצאות אמינות של מרבית המתכות הנחקרות וניתן להשתמש בה למחקר.

### 3. ריכוזי חלקיקים ומתכות בירושלים, גוש דן, אשדוד ואשקלון במצב סינופטי של אפיק פרסי

במשך כל חודשי הקיץ, מאמצע יוני ועד אמצע ספטמבר שורר בישראל בעיקר מצב סינופטי אחד – אפיק פרסי המתחלק לשלושה מצבים עיקריים: רדוד, בינוני ועמוק. ריכוזי  $PM_{2.5}$  בדוגמאות שנבחרו לאנליזה נעים בין 9 ל 50 מיקרוגרם למטר מעוקב (איור 2). בעוד שטווח ריכוזי החלקיקים ( $PM_{2.5}$ ) בכל התחנות דומים, וקשה לראות הבדלים בין האזורים השונים, יש הבדלים ניכרים בתחולה של מתכות שונות בהתאם לאזור הדגימה. ריכוזי המתכות העיקריות הגבוהים ביותר בדוגמאות של אפיק פרסי נמדדו בחולון ובירושלים (איור 3). ריכוזים נמוכים מאד נמדדו בגדרה ובאשקלון (איור 3). בעבודה שעשינו לאחרונה הסתבר לנו שבזמן אפיק פרסי חלק לא מבוטל של החלקיקים האטמוספריים האי-אורגניים מגיע לישראל מאזור הים השחור (Erel et al., 2007) ומכיל בתוכו אחוז ניכר של מרכיבים אנתרופוגניים. גם המקור של המתכות העיקריות בחלקיקים אלה הוא ברובו מחומרים אנתרופוגניים ואחוז המינרלים הטבעיים כפי שהוא מתבטא בריכוזי המתכות העיקריות נמוך מ 50% (Kalderon et al., 2009). ריכוזי מתכות הקורט ממקור אנתרופוגני בזמן אפיק פרסי מציגים תמונה שונה למדי (איור 3). כאן ריכוזי המתכות בתחנות השונות דומים יותר, כאשר בתחנות התחברותיות בגוש דן (חולון) וירושלים (בר אילן) נמדדו הריכוזים הגבוהים ביותר.

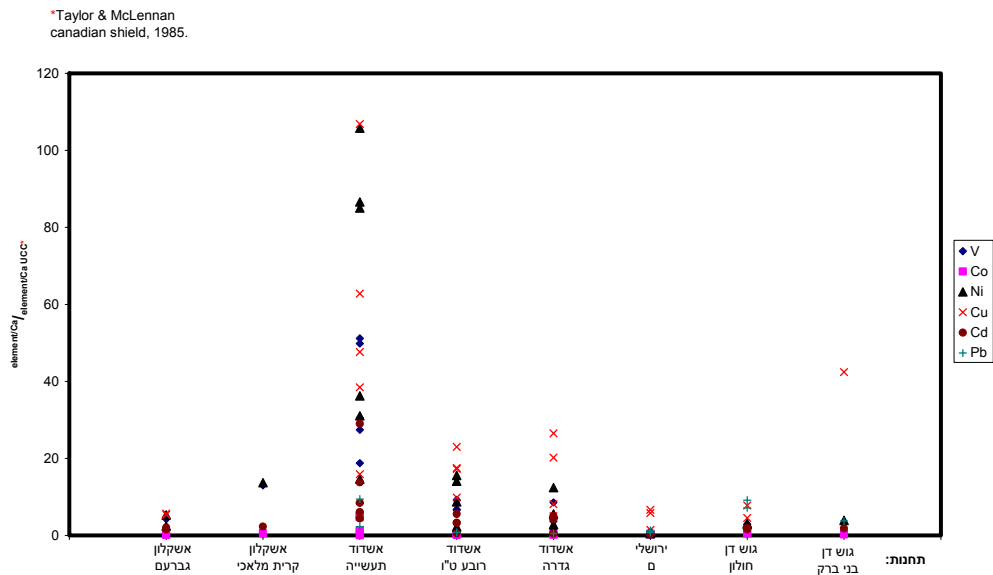


**איור 2:** ריכוז אבק עדין ( $PM_{2.5}$ ) כפי שנמדדו בתחנות המחקר עבור הדוגמאות שנבחרו לצורך אנליזה של מתכות בזמן של אפיק פרסי רגיל ורדוד.

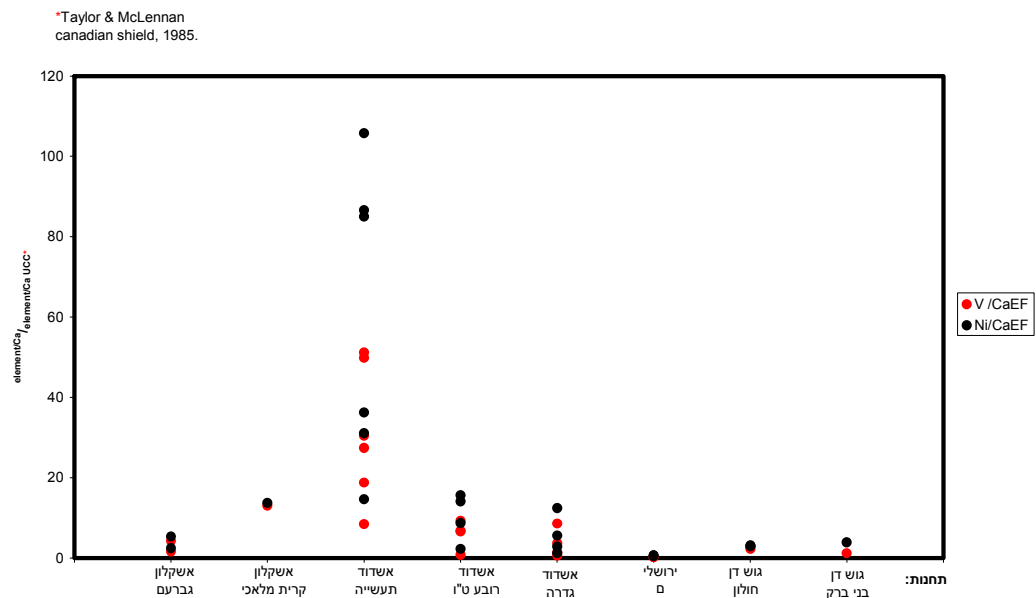


**איור 3:** (א) איור עליון, ריכוזי המתכות העיקריות ב  $PM_{2.5}$  בתחנות השונות בזמן אפיק פרסי. (ב) ריכוזי מתכות אנתרופוגניות באותן דוגמאות.

התמונה משתנה לחלוטין כאשר מסתכלים על יחסי ההעשרה של המתכות האנתרופוגניות לעומת קרום כדור הארץ ( ${}^1EF$ ) באותן דוגמאות (איור 4). כאן בולטת מידת הזיהום של אזור התעשייה באשדוד כאשר נראה כאילו תחנות אחרות באשדוד (רובע ט"ו וגדרה) מקבלות חלק מהזיהום שמקורו באזור התעשייה (איור 4). כאשר בוחנים את ה- $EF$  של וונדיום (V) וניקל (Ni), שתי מתכות הידועות כסמנים של שריפת וזקוק דלקים (איור 5). יתרה מזאת. הריכוזים של שתי המתכות הנפלטות ממקור דומה אמורים להיות קורלטיביים אחד עם השני, כפי שאכן הבחנו במחקר הנוכחי (איור 6). לאור זאת נראה שמקור הזהם יכול להיות מאחד או יותר מהמקורות הבאים: מפעלי התעשייה, בתי הזקוק, תחנת הכח אשכול, או הנמל.

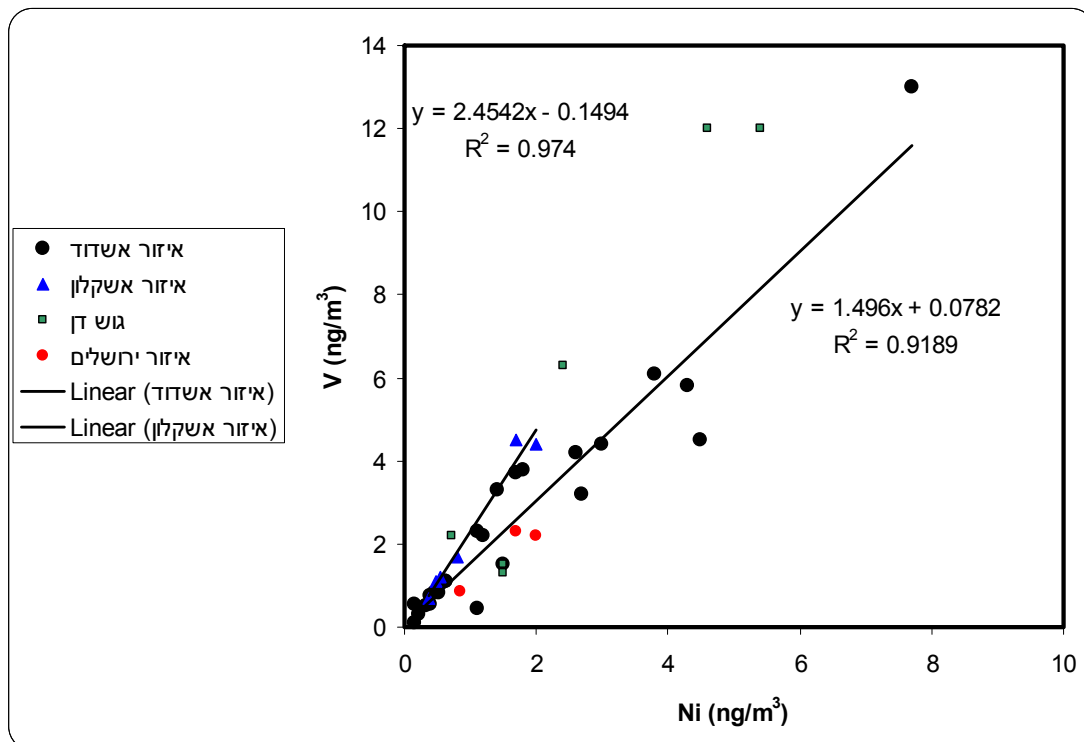


איור 4: ערכי העשרה ( $EF$ ) של מספר מתכות אנתרופוגניות בזמן של אפיק פרסי בתחנות השונות.



איור 5: ערכי העשרה ( $EF$ ) של וונדיום וניקל.

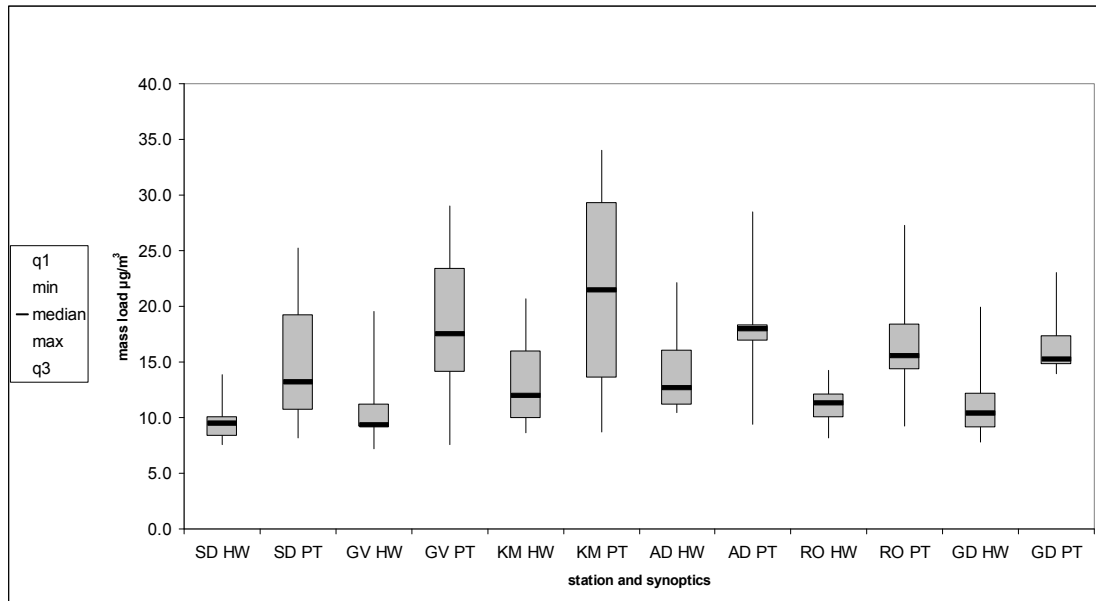
$${}^1 EF = ([\text{metal}]/[\text{Ca}]_{\text{sample}})/([\text{metal}]/[\text{Ca}]_{\text{upper continental crust}}; \text{upper continental crust values from Taylor and McLennan (1985)}$$



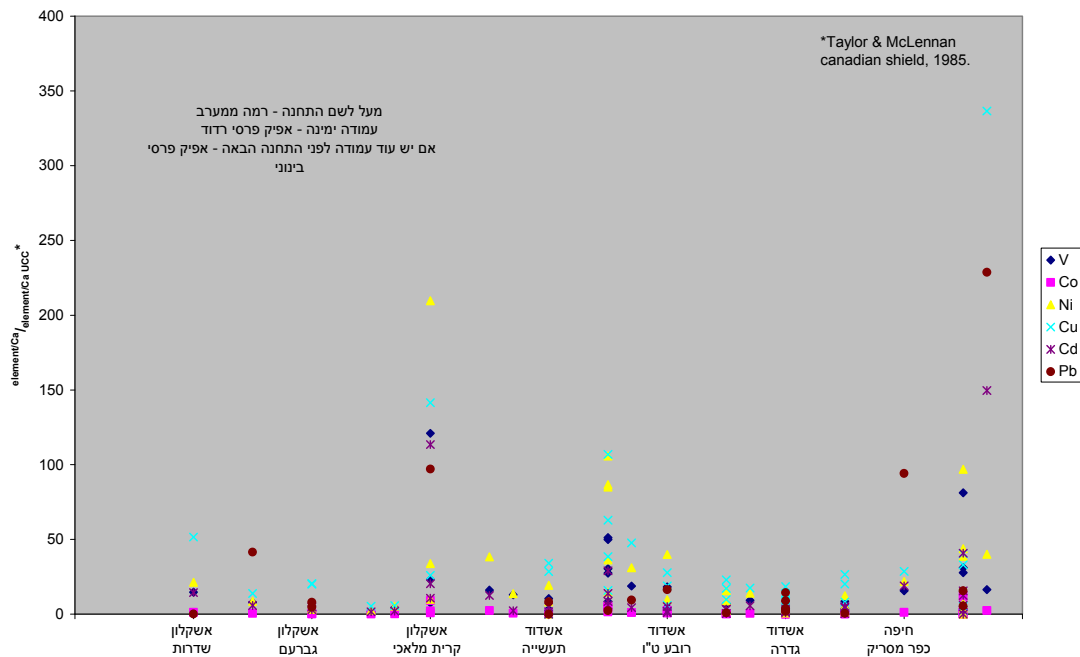
איור 6: ריכוזי וונדיום וניקל בתחנות השונות ומקדמי הקורלציה שלהם.

#### 4. השוואה בין מצב סינופטי של אפיק פרסי רמה ממערב

עד כה, נבחנו זה לצד זה שני מצבים סינופטיים, אשר מהווים את המצבים השכיחים ביותר בתקופת הדגימה שלנו: (1) אפיק הפרסי הרדוד ו (2) רמה ממערב לישראל. במשטר האפיק הפרסי הרדוד, לחץ אוויר נמוך מגיע מאזור המפרץ הפרסי בשכבות הנמוכות באטמוספירה. מערכת זו גורמת להסעת גושי אוויר במסלול ציקלוני בעיקר מאזור מזרח אירופה וטורקיה, ולעתים ממקורות יותר מערביים באירופה. ההתמוככות הסוב טרופית אשר שולטת בשכבות הגבוהות יותר של האטמוספירה גורמת לכליאת חלקיקי הזיהום בגובה נמוך. משטר הרוחות בישראל במצב זה הוא של רוחות צפון מערביות או מערביות, גושי האוויר עוברים מעל לים לפני כניסתם לישראל. כאשר קיימת רמה של לחץ גבוה ממערב לישראל, האוויר נע לעבר ישראל במסלול אנטי ציקלוני ולרוב מגיע מאזורים מערביים יותר של אירופה. הרוחות המנשבות בישראל גם כאן מערביות עד צפון מערביות, אך לרוב מסלול גושי האוויר קצר יותר (מהירות הרוח נמוכה יותר) ובעל רכיב ימי דומיננטי. האוויר המגיע בתנאי רמה ממערב לישראל נקי יותר מחלקיקים נשימים בהשוואה לתנאי האפיק הפרסי, וניתן לראות זאת בכל תחנות המדידה כאשר משווים את ריכוז החלקיקים בשני מצבים אלה (איור 7). מבחינת ריכוזי היסודות השונים הנמדדים בכל אחד מהמצבים הסינופטיים, ישנם הבדלים בין תחנות שונות באשר לרמת הזיהום הנגרמת. לעתים רמת הזיהום ביסודות מסוימים במצב של רמה ממערב גבוהה יותר מאשר באפיק הפרסי הרדוד, למשל קרית מלאכי הנמצאת במורד הרוח מאשדוד (איור 8). את התופעה הזו ניתן כנראה לייחס לעובדה שבמצב של רמה ממערב רוב הזיהום החלקיקי אינו מוסע לישראל ממקורות זרים אלא נתרם ממקורות מקומיים. לכן במצב זה ישנה שונות גדולה יותר בין התחנות, וריכוז גבוה של מזהמים אנתרופוגניים בתחנת אזור התעשייה של אשדוד, למשל, אף על פי שריכוז החלקיקים הכללי בה נמוך יותר (בהשוואה לאפיק הפרסי) כבכל יתר התחנות. כמו כן יש סימנים לכך שתחנות במורד הרוח (קרית מלאכי לעומת אשדוד) מזהמות יותר במצב של רמה ממערב.



איור 7: ממוצעים ופיזור של ריכוז  $PM_{2.5}$  באפיק פרסי (PT) מול רמה ממערב (HW).  $SD =$  שדרות,  $GV =$  גברעם,  $KM =$  קרית מלאכי,  $AD =$  אשדוד תעשייה,  $RO =$  אשדוד רובע ט"ו,  $GD =$  גדרה.



איור 8: יחסי העשרה של מתכות רעילות (אנטרופוגניות) באפיק פרסי מול רמה ממערב.

### 5. תכונות מגנטיות של חלקיקים אנטרופוגניים לעומת אבק מדברי

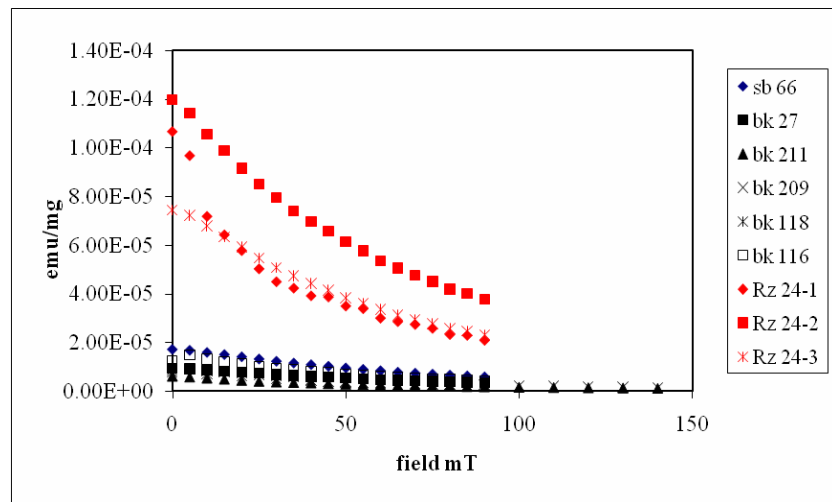
לצורך אפיון התכונות המגנטיות של שני סוגי חלקיקים אטמוספריים. אבק מדברי (דוגמאות BK,

SB) שנאספו בירושלים בזמן סופות אבק במצבים סינופטיים של שקע שרבי ואפיק ים סוף ודוגמאות שנאספו בתחנה התחבורתית בבני ברק (דוגמאות RZ) המכילות ריכוזים גבוהים הרבה יותר של מתכות רעילות וחומר אורגני (BC ו EC). שני סוגי הדוגמאות עברו ניסויי אפיון ראשוניים במעבדה הפלאומגנטית של המכון למדעי כדור הארץ. מאחר והאבק נלכד כחלקיקים בעלי אוריינטציה אקראית לא היה לדוגמאות מגנט שארית טבעי למרות הנוכחות הבולטת של חומר פרומגנטי. לפי כך וע"מ לאפיין את התכונות עברו כל הדוגמאות תהליך של הרוויה מגנטית sIRM בשדה בעוצמה מירבית של T1. בתהליך זה כל החלקיקים הפרומגנטיים עברו אקטיבציה ורכשו מיגנט שיורי.

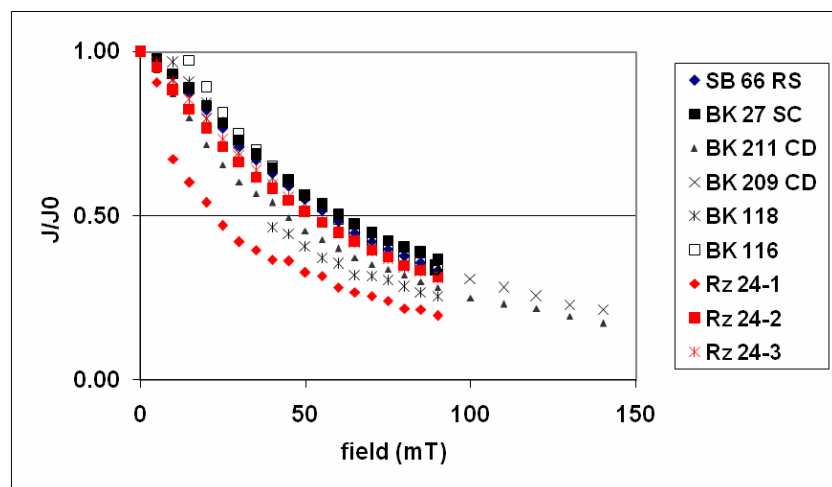


מגנטו הרוויה של כל הדוגמאות נמדד במגנטומטר קריוגני תלת צירי עם סלילי שדה מגנטי מתחלף אינטגרטיביים. כל הדוגמאות הגיעו לרוויה מגנטית בעוצמת שדה של 200 – 300 mT. שדה רוויה כזה אופייני למרכיב פרומגנטי בעל סימטריה קובית ככל הנראה **מגנטיט** ( $Fe_3O_4$ ), אינדיקציה זאת אינה חד משמעית, למרות שנראה שנוכחות המטיט (מינרל מגנטי נוסף בעל סימטריה קובית) בדוגמאות זניחה. עוצמת המגנטו של הדוגמאות שנאספו בבני ברק גבוה בסדר גודל מעוצמת המגנטו של דוגמאות האבק ( $1.1E-05 \text{ emu/mg}$  לעומת  $1 E-06 \text{ emu/mg}$ ) (איור 9).

כל הדוגמאות עברו תהליך של דהמגנטיזציה אינקרמנטלית וכאשר התהליך מנורמל למידת המגנטו הראשונית (איור 10) נראה שאין הבדל בין שני סוגי הדוגמאות בדעיכת עוצמת המגנטו כפונקציה של השדה המושרה. כלומר, האבק שנאסף בבני ברק עשיר בערך פי 10 יותר בחלקיקים מגנטיים מאשר האבק המדברי אולם, רוב המגנטו נובע מסוג דומה של מינרלים, כנראה מגנטיט. בנוסף, לכל הדוגמאות שדה הרס חציוני בעוצמה של כ- 50 mT מה שמראה על קורסיביות גבוהה של חלק מהחלקיקים הפרומגנטיים. המגנטו לא נמחק כליל גם בעוצמת שדה של עד 140 mT תצפית התומכת בנוכחות מרכיב בעל קורסיביות גבוהה הנובעת כנראה מנוכחות של החלקיקים מגנטיים בגודל תת-מיקרוני. חלקיקים כאלה עלולים לגרום לזנק בגוף כאשר האדם מתקרב למקורות מתח גבוה.



איור 9: עוצמת המגנטו של דוגמאות האבק כפונקציה של שדה הדהמגנטיזציה.



איור 10: דעיכת עוצמת המגנטו מנורמלת כפונקציה של עוצמת שדה הדהמגנטיזציה.

## מסקנות

המחקר התמקד בשני המצבים הסינופטיים שהיו השכיחים ביותר בשנתיים האחרונות: אפיק פרסי ורמה ממערב. תוצאות המחקר עד כה מצביעות על כך שבמצב סינופטי של אפיק פרסי רדוד ורגיל יש פזור אופייני של חלקיקים אטמוספריים ומתכות עיקריות ומתכות קורט בערים שונות בישראל. ריכוזי האבק דומים בכל התחנות אולם יש הבדלים ניכרים בהרכבם הכימי בכלל ובריכוזי מתכות רעילות בפרט. ריכוזי המתכות העיקריות הגבוהים ביותר נמדדו בירושלים ובחולון, אולם רמות הזיהום הגבוהות ביותר של מתכות רעילות בכלל ושל וונדיום וניקל בפרט נמדדו באזור התעשייה באשדוד. ריכוזים גבוהים אלה של וונדיום וניקל משקפים את הפליטות המקומיות באשדוד, ממקורות של שריפת דלקים פוסיליים. במצב סינופטי של רמה ממערב יש ריכוזי חלקיקים נמוך יותר מאשר באפיק פרסי רדוד ובינוני, יש לעיתים עליה ברעילות חלקיקים במורד הרוח, ויש שונות גדולה בין אזורי הדגימה השונים, דבר המצביע כנראה על חשיבות המקורות המקומיים של PM. בנוסף, הראנו שאבק במרכזי ערים מכיל פי 10 יותר חלקיקים מגנטיים לעומת אבק מדברי, דבר היכול להוות מקור נוסף לרעילות של החלקיקים האנטרופוגניים בישראל.

## סכום, יישום והמלצות

פתוח הפרוטוקול לשימוש בסרטי הדגימה של דוגמי מני"א ואיגודי ערים לאיכות הסביבה איפשר לנו לקבל מספר גדול של נתונים ממספר רב של תחנות דגימה בפיזור ארצי בשני מצבים סינופטיים חשובים. זהו כלי יעיל, זמין וזול יחסית שיאפשר לנו בהמשך לקבל תמונה מלאה לגבי הפזור המרחבי של אירוסולים בישראל במצבים סינופטיים נוספים. תוצאות המחקר עד כה מהוות שלב ראשוני אך חשוב בהשגת מטרות המחקר. בסופו של דבר, לאחר השלמת הניתוח הסטטיסטי של ריכוזי מזהמים כתלות במצבים הסינופטיים בין שנת 2000 ל 2010 ולאחר מספר שנים נוספות של דגימה נהיה מסוגלים לבנות מודל לחיזוי זיהום של חלקיקים אטמוספריים בישראל ואף לאפיין את פיזורם המרחבי ומידת הרעילות שלהם.

## ביבליוגרפיה

- Dayan U. (1986) Climatology and back trajectories from Israel based on synoptic analysis. *J. Climate Appl. Meteor.* 25, 591-595
- Dayan, U., J. Heffter, J. Miller and G. Gutman. (1991) Dust Intrusion Events into the Mediterranean Basin. *Journal of Applied Meteorology*, 30, August 1991, pp. 1185-1199.
- Dayan, U., and I. Levy (2005): The influence of seasonal meteorological conditions and atmospheric circulation types on PM10 and visibility in Tel-Aviv, Israel. *Journal of Applied Meteorology*, 44, 606-619.
- Dayan, U., B. Ziv, T. Shoop, and Y. Enzel (2007): Suspended Dust over South-Eastern Mediterranean and its Relation to Atmospheric Circulations, *International Journal of Climatology* (In press)
- Erel, Y., Veron, A., and Halicz, L. (1997) Tracing the transport of anthropogenic Pb in the atmosphere and in soils using isotopic ratios, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 4495-4506.
- Erel Y., Axelrod T., Veron A., Mahrer Y., Katsafados P., and Dayan D. (2002) Trans-boundary atmospheric lead pollution. *Environ. Sci. & Technol.*, 36, 3230-3233.
- Erel, Y., Dayan, U., Rabi, R., Rudich, Y., and Stein, M. (2006) Trans boundary transport of pollutants by atmospheric mineral dust. *Environ. Sci. & Technol.*, 40, 2996-3005.
- Erel Y., Kalderon-Asael B., Dayan U., and Sandler A. (2007) European atmospheric pollution imported by cooler air masses to the Eastern Mediterranean during the summer. *Environmental Science & Technology* 41, 5198-5203.
- Kalderon-Asael B., Erel Y., Sandler A., and Dayan U. (2009) Mineralogical and chemical characterization of suspended atmospheric particles over the east Mediterranean based on synoptic-scale circulation patterns. *Atmospheric Environment* 43, 3963-3970.
- Luria M., Peleg M., Sharf G., Siman Tov-Alper D., Spitz N., Ben Ami Y., Gawii Z., Lifschitz B., Yitzchaki A., and Seter I. (1996) Atmospheric sulfur over the east Mediterranean region. *J. Geophys. Res.* 101D, 25,917-25,930.

- Moulin C., C.E. Lamber, U. Dayan V. Masson, M. Ramonet, P. Bousquet, M. Legrand, Y. J. Balkanski, W. Guelle, B. Marticorena, G. Bergametti, and F. Dulac. (1998) Satellite Climatology of African Dust Transport in the Mediterranean Atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, **103**, D11, pp. 13137-13144.
- Rabi R, Erel Y, Dayan U, Stein M. (2004): Tracing natural and anthropogenic contributions to modern dust storms: Sr, Pb isotopes and trace elements in Jerusalem suspended dust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68 (11): A464-A464 Suppl. S, JUN 2004
- Wanger A., Peleg M., Sharf G., Mahrer Y., Dayan U., Kallos G., Kotroni V., Lagouvardos K., Varinou M., Papadopoulos A., and Luria M. (2000) Some observational and modeling evidence of long range transport of air pollutants from Europe towards the Israeli coast. *J. Geophys. Res.* 105, D6, 7177-7186.

# נספח 1: הימים והמצבים הסינופטיים הראויים לדגימה בין מאי 2008 ומאי 2010

Dates	Synop Class	Back Trajectory in Israel	Wind	Description
06-May-08	4	2 W		נע מרומניה בולגריה ומערב תורכיה, מעל הים התיכון ומגיע לישראל ממערב
07-May-08	4	2 W		
08-May-08	4	2 W		בימים אלו מסלול גוש האוויר מתחיל מעל מרכז ומזרח הים השחור, חולף
09-May-08	5	2 W		מעל מערב תורכיה והים התיכון.
10-May-08	4	2 W		
13-May-08	4	2 W		גוש האוויר משתנה מעל קפריסין לפני שמגיע לישראל. מסלול קצר מעל
25-May-08	5	1 W		מקור גוש האוויר מעל יוון, כריתים ומרכז הים התיכון
03-Jun-08	4	1 W		מקור גוש האוויר מהים האגאי, כריתים ומרכז הים התיכון
10-Jun-08	6	1 W		דרום איטליה (סיציליה), כריתים ומרכז הים התיכון
16-Jun-08	4	1 W		דרום איטליה (מצפון לסיציליה) דרך כריתים ומרכז הים התיכון
17-Jun-08	4	1 NW		
18-Jun-08	4	1 NW		
19-Jun-08	4	2 NW		
20-Jun-08	4	2 NW		מקור גוש האוויר מהים האגאי, בין יוון, מערב תורכיה וכריתים
21-Jun-08	4	1 W		
22-Jun-08	4	2 W		
23-Jun-08	4	1 NW		
18-Jul-08	4	1 w		מסלול עובר מעל רומניה-בולגריה בגבהים של 1500 מעפ"י
26-Jul-08	4	1 w		מסלול מגיע מאלבניה ויוון
27-Jul-08	5	1 w		מסלול מגיע מדרום איטליה
29-Jul-08	5	1 w		מסלול ממרכז ים התיכון
31-Jul-08	4	1 w		מסלול מים שחור בגובה נמוך
04-Aug-08	5	5 w		
05-Aug-08	5	5 w		
06-Aug-08	4	5 w		
07-Aug-08	5	5 w		מסלול מים שחור מעל צ' תורכיה. מגיע לישראל מעל ים תיכון מהבלקנים
08-Aug-08	5	5 w		
09-Aug-08	4	5 w		
10-Aug-08	4	5 w		
11-Aug-08	4	5 w		
27-Aug-08	4	6 nw		מסלול קצר מעל מזרח ים תיכון - בין קפריסין לישראל. מתקיים עד 1000 מ'
28-Aug-08	4	6 nw		
29-Aug-08	4	6 w		
30-Aug-08	4	5 w		
31-Aug-08	4	5 w		אפיק "פרסוף" בכל הימים. שילוב של אפיק פרסי ואפיק ים סוף. מקור
01-Sep-08	4	5 nw		גוש האוויר מהים השחור (בשילוב בספטמבר) והים האגאי, או מסלול
02-Sep-08	4	5 nw		קצר יותר מקפריסין (בחמישי בספט')
03-Sep-08	4	5 nw		מסלול ארוך מים שחור
04-Sep-08	4	6 n		
05-Sep-08	4	6 nw		מסלול קצר מקפריסין
06-Sep-08	4	5 Nw		
07-Sep-08	4	6 w		
08-Sep-08	4	5 w		
14-Sep-08	8	5 w		
15-Sep-08	8	6 nw		רמה ממערב גורמת לגושי אוויר להגיע לישראל במסלול קצר מעל מרכז
16-Sep-08	8	6 nw		ים תיכון (בקירוב מכריתים)
17-Sep-08	8	6 nw		
06-Oct-08	8	1 w		שילוב של רמה ממזרח (שלוחה של רמה אזורית) עם אפיק ים סוף מקור
07-Oct-08	8	1 w		גושי האוויר מעל מרכז ים תיכון (איטליה - יוון)
08-Oct-08	8	1 nw		
09-Oct-08	4	6 nw		
10-Oct-08	4	6 nw		אפיק פרסוף, ביומיים ראשונים מקור גושי האוויר ביומיים ראשונים מהים
11-Oct-08	4	6 w		האגאי וביומיים הבאים מסביבות קפריסין
12-Oct-08	4	6 n		
18-Oct-08	1	5 n		אפיק פרסוף, מקור גושי האוויר מצפון - לבנון וסוריה, ב-20 יתכן מעבר
19-Oct-08	1	2 n		גם מעל ים תיכון
20-Oct-08	4	2 nw		
24-Oct-08	1	6 n		שילוב של אפיק פרסוף עם שקע רדוד מעל קפריסין (נראה על פי ווקטורי רוח)
25-Oct-08	1	2 nw		
03-Nov-08	1	2 NW		מסלול קצר מתורכיה - סוריה ישראל
04-Nov-08	3	3 E		איס עם שקע מעל סוריה
05-Nov-08	3	3 E		איס עם שקע מעל סוריה
06-Nov-08	0	3 N		איס מדרום עם שקע רדוד מעל סוריה
07-Nov-08	3	3 NW		איס רדוד
08-Nov-08	2	3 NE		
09-Nov-08	1	3 NNW		
10-Nov-08	1	3 N		
11-Nov-08	3	3 N		רוחות חלשות מעל ישראל
12-Nov-08	2	3 W		רוחות מערביות ערות
19-Nov-08	7	4 sw		גוש אוויר מעל הים האדום!!! כל המסלול עובר מעל הים
21-Nov-08	8	1 W		רמה ממערב. מסלול גוש אוויר ממרכז הים התיכון
22-Nov-08	8	1 W		
29-Nov-08	8	2 NW		רמה ממערב גורמת לרוחות צפ' מערביות
30-Nov-08	8	2 N		מסלול גוש אוויר צפוני
04-Dec-08	9	3 SE		רמה מעל מזרח תורכיה. מסלול גוש אוויר ממזרח תורכיה, סוריה/עיראק ירדן
05-Dec-08	9	3 SE		וישראל
06-Dec-08	7	3 SE		
22-Dec-08	16	4 SW		מסלול קצר דרך חופי צ' אפריקה
23-Dec-08	16	4 SW		מסלול ארוך מאיטליה, לוב מצרים, סיני וישראל. רוחות חזקות
24-Dec-08	14	4 W		מסלול ארוך ממזרח אירופה, חופי צ' אפריקה - מצרים וישראל. רוחות חזקות
25-Dec-08	15	2 W		מסלול ארוך מסקנדינביה לישראל
26-Dec-08	8	2 N		רכס מצפון עם שלוחה למזרח ים תיכון. מסלול ארוך ממזרח אירופה לישראל
03-Jan-09	7	2 SE		מסלול מצפון - תורכיה ים תיכון. רצירקולציה לפנים וחזרה לתל אביב
04-Jan-09	7	6 W		מסלול ים תיכון - ירדן - ים תיכון (רצירקולציה סינופטית)
05-Jan-09	7	6 W		מסלול קצר מעל ישראל - ירדן
06-Jan-09	7	6 VRB		מסלול קצר מעל ישראל - ירדן
13-Jan-09	9	2 N		מסלול צפוני ארוך
14-Jan-09	7	2 E		מסלול ארוך מצפון מגיע לירדן לפונה ממערב לישראל
15-Jan-09	7	3 SE		מסלול ארוך ממזרח תורכיה, דרך עיראק, סעודיה ירדן למגיע לישראל מדרום נ
16-Jan-09	7	3 SE		מסלול ארוך ממזרח תורכיה, דרך עיראק, סעודיה ירדן למגיע לישראל מדרו
21-Jan-09	7	6 E		
22-Jan-09	7	6 E		רמה מצפון מזרח לישראל
23-Jan-09	7	6 S		

Dates	Synop Class	Back Trajectory Wind in Israel	Description
04-Feb-09	7	3 SE	רכס ממזרח גורם לרוחות דרום מזרחיות. מסלול גוש אוויר דרך מרכז ים תיכון, דרום יוון, תורכיה, לבנון, סוריה וירדן וישראל. אפיק ים סוף מלווה ברכס מצפון וברכס מעל לוב. מסלול גוש אוויר דרום צפ' מז' ים תיכון, חוצה את ישראל לעבר ירדן וחוזר לישראל ממזרח. יכול להיות מקרה מעניין לבידוק גוש אוויר שכבר חלף מעל ישראל וחוזר כעבור יממה וחצי
05-Feb-09	2	3 S	רמה ממערב. גוש אוויר יוצא מישראל לעבר ים תיכון וחוזר חזרה.
06-Feb-09	8	6 W	רמה ממזרח. גוש אוויר מגיע ממרכז ים תיכון, חוצה את ישראל לעבר ירדן וחוזר מערבה.
07-Feb-09	10	6 W	רמה ממזרח. גוש אוויר מגיע ממרכז ים תיכון, חוצה את ישראל לעבר ירדן וחוזר מערבה.
08-Feb-09	7	1 E	רמה ממערב מעל מרכז ים תיכון. מסלול גוש אוויר מים שחור, תורכיה ים תיכון וישראל. לא צפויה הסעת מזהמים משמעותית.
01-Mar-09	8	2 NW	רמה מעל מצרים גורמת לרוחות מערביות. מסלול גוש אוויר מעל רומניה, בולגריה, ים שחור, תורכיה ים תיכון וישראל.
02-Mar-09	10	2 W	"
03-Mar-09	10	4 W	"
04-Mar-09	10	4 VRB	רמה מעל ישראל רוחות חלשות. מסלול גוש אוויר קצר מעל חופי צפון אפריקה
05-Mar-09	7	1 VRB	רמה ממזרח גורמת לרוחות משתנות קלות עם רכיב עיקרי דרומי. תכנן רצירקולציה סמוך לחוף.
06-Mar-09	7	4 VRB	רמה מעל מזרח תורכיה, רוחות משתנות קלות מעל ישראל גורמות לגוש אוויר הנמצא מעל קהיר להיות מוסע לעבר סיני ומשם צפונה לישראל. רמה מעל תורכיה גורמת לרוחות דרומיות מעל ים סוף. מקור גוש האוויר בשכבות שמתחת לאלף מטר מעל ים סוף.
07-Mar-09	7	4 S	רמה ממערב. מקור גוש אוויר מעל מצרים, לעבר ים תיכון וישראל.
08-Mar-09	8	4 NW	רמה ממערב מתחזקת יחד עם עצמת הרוחות. מקור גוש אוויר מעל חופי מצרים
09-Mar-09	8	4 W	רמה ממערב. מסלול ימי ממרכז ים תיכון. אין מקורות זיהום לאורך המסלול - האם באמת רמות המזהמים נמוכות?
10-Mar-09	8	1 W	שקע מעל תורכיה עם רמה אזורית ממערב גורמים לרוחות מערביות. מסלול גוש אוויר מחופי צפון אפריקה, לסיני וצפונה לישראל. מסלול דומה ל-6 במרץ
23-Mar-09	15	4 W	רמה אזורית ממערב
24-Mar-09	8	5 W	רמה משתרעת מצפון אפריקה, ישראל וסוריה.
25-Mar-09	10	5 W	רמה מעל ישראל, רוחות מע', מסלול גוש אוויר מים אגאי מעל מזרח ים וישראל. תיכון רצירקולציה
26-Mar-09	10	5 W	רמה מעל מזרח ים תיכון גורמת לרוחות צפוניות והסעת גושי אוויר מצפון איזור לחץ גבוה מצפון עם שקע ממזרח
11-Apr-09	8	2 N	רמה מעל מזרח הים התיכון גורמת להתמוככות ושרב כבד שקע שרבי. מסלול גוש אוויר מעל מרכז ים תיכון
12-Apr-09	9	6 VRB	רמה ממערב
13-Apr-09	10	2 VRB	רמה מעל מזרח הים התיכון גורמת להתמוככות ושרב כבד שקע שרבי. מסלול גוש אוויר מעל מרכז ים תיכון
14-Apr-09	19	1 E	רמה ממערב בשילוב עם שקע מצפון וממזרח גורמים לרוחות ערות מע'. מסלול גוש אוויר מעל מזרח ים תיכון
18-Apr-09	9	2 W	איזור לחץ גבוה מצפון גורם לרוחות מזרחיות. גוש אוויר מגיע מצפון-תורכיה-7
19-Apr-09	9	3 E	איזור לחץ גבוה מצפון גורם לרוחות מזרחיות.
20-Apr-09	9	3 E	איזור לחץ גבוה מצפון גורם לרוחות מזרחיות.
21-Apr-09	8	6 E	אזור לחץ גבוה מעל מזרח ים תיכון גורם לרוחות צפ' מז'. גוש אוויר נע מע
22-Apr-09	8	6 VRB	רמה מעל מזרח ים תיכון, רוחות מע' צפ' מע'. מסלול גוש אוויר מקומי נ
23-Apr-09	8	6 W	רמה ממערב בשילוב עם שקע מצפון וממזרח גורמים לרוחות ערות מע'. מסלול גוש אוויר מעל מזרח ים תיכון
01-May-09	8	1 W	רמה מעל מזרח ים תיכון. רוחות משתנות קלות
02-May-09	8	1 W	רמה מעל מזרח ים תיכון. רוחות משתנות קלות
03-May-09	18	4 VRB	שקע שרבי מעל הראש הלבן. בישראל הרוחות דרום מערביות חמות ויבשות. מ
04-May-09	18	4 SW	שקע שרבי נע מעל קפריסין. בישראל הרוחות דרום מערביות חמות ויבשות. מ
05-May-09	8	4 W	שלוחה של רמה ממערב עם שקע שרבי מעל מזרח תורכיה. מסלול גוש אוויר
06-May-09	8	4 W	שלוחה של רמה ממערב עם שקע שרבי מעל מזרח תורכיה. מסלול גוש אוויר נ
21-May-09	8	4 W	גוש אוויר חולף מול חופי תפן אפריקה. סוכי סביר למדוד זיהום שמקורו ב
22-May-09	8	6 W	מסלול קצר מעל אגן המזרחי של ים תיכון.
23-May-09	8	6 W	מסלול קצר מעל אגן המזרחי של ים תיכון.
02-Jun-09	8	5 W	שילוב של אפיק פרסי רדוד ורמה במזרח י"ת
03-Jun-09	8	5 W	רמה במזרח י"ת - שלוחה של רמה אזורית
04-Jun-09	8	5 W	רמה במזרח י"ת - שלוחה של רמה אזורית
05-Jun-09	8	1 W	רמה מעל מזרח ומרכז י"ת. אפיק פרסי נסוג
11-Jun-09	4	5 W	אפיק פרסי רדוד מאוד עם שקע סגור מעל קפריסין
12-Jun-09	4	5 W	אפיק פרסי רדוד עם גרדיאנט לחצים חלש
13-Jun-09	4	5 W	אפיק פרסי רדוד עם רמה מעל מזרח אירופה הבלקן ותורכיה
14-Jun-09	4	1 W	
15-Jun-09	4	5 W	
16-Jun-09	4	5 W	
17-Jun-09	4	1 W	
18-Jun-09	4	1 W	
19-Jun-09	4	5 W	
20-Jun-09	4	6 W	
23-Jun-09	4	1 W	רוחות מתחזקות
24-Jun-09	4	6 NW	
25-Jun-09	4	6 NW	
01-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. מסלול מדרום איטליה
02-Jul-09	8	5 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. זרימות מערביות חזקות.
03-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. זרימות מערביות חזקות.
04-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. מסלול מדרום איטליה
05-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. מסלול מדרום איטליה
06-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. מסלול מדרום איטליה
07-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. זרימות מערביות חזקות.
08-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. זרימות מערביות חזקות.
09-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. זרימות מערביות חזקות.
10-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. זרימות מערביות חזקות.
11-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. זרימות מערביות חזקות.
12-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. זרימות מערביות חזקות.
13-Jul-09	8	1 W	רמה ממערב - שלוחה של רמה אזורית. זרימות מערביות חזקות.
14-Jul-09	4	2 W	אפיק פרסי רדוד - מסלול גוש אוויר ממזרח אירופה דרך בלקנים ומזרח ים תיכון
15-Jul-09	4	2 W	אפיק פרסי רדוד - מסלול גוש אוויר ממזרח אירופה דרך בלקנים ומזרח ים תיכון
16-Jul-09	4	2 W	אפיק פרסי רדוד - מסלול גוש אוויר ממזרח אירופה דרך בלקנים ומזרח ים תיכון
17-Jul-09	4	2 W	אפיק פרסי רדוד - מסלול גוש אוויר ממזרח אירופה דרך בלקנים ומזרח ים תיכון
25-Jul-09	4	5 W	מסלול גוש אוויר מבלקנים
26-Jul-09	4	5 W	
27-Jul-09	4	5 W	
28-Jul-09	4	5 W	
29-Jul-09	4	5 W	
30-Jul-09	4	5 W	
31-Jul-09	4	5 W	
09-Aug-09	4	5 W	אפיק פרסי רדוד עם צמידוד במסלולי גושי אוויר בבבלים של 200-500 מטר
10-Aug-09	4	5 W	
11-Aug-09	4	5 W	
14-Aug-09	4	5 W	אפיק פרסי רדוד עם צמידוד במסלולי גושי אוויר בבבלים של 200-500 מטר
15-Aug-09	4	5 W	
16-Aug-09	4	5 W	
17-Aug-09	4	5 WNW	
18-Aug-09	4	5 NW	

Dates	Synop Class	Back Trajectory	Wind in Israel	Description
01-Sep-09	4	1	W	
02-Sep-09	4	5	W	
03-Sep-09	4	5	NW	
04-Sep-09	4	6	W	
05-Sep-09	4	5	W	
<b>06-Sep-09</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>W</b>	
13-Sep-09	10	6	NW	רמה מעל ישראל ומזרח ים תיכון
14-Sep-09	10	5	NW	רמה מעל ישראל ומזרח ים תיכון
<b>15-Sep-09</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>NW</b>	<b>רמה מעל ישראל ומזרח ים תיכון</b>
18-Oct-09	18	3	VRB	שקע שרבי מעל מצרים - יתכן שחולף מעל ישראל
19-Oct-09	18	3	S	שקע שרבי מעל מצרים וצפון סיני
20-Oct-09	19	4	W	גבדיאנט לחצים נמוך מעל מזרח ית וישראל. יתכן מעבר של שקע שרב
27-Oct-09	18	3	NW	שקע (שרבי?) מעל צפון סיני.
28-Oct-09	18	6	NW	שקע (שרבי?) רדוד מעל ישראל
30-Oct-09	15	4	W	שקע קפריסאי גורם לרוחות מערביות ערות. מסלול גוש אוויר לאורך ה
03-Nov-09	10	5	SW	רמה מעל מצרים עם שלוחה מעל ישראל
04-Nov-09	7	0	S	רמה ממזרח עם שלוחה מעל ישראל. מסלול גוש אוויר מעל ית לעבר מז
05-Nov-09	7	4	W	רמה ממזרח עם שלוחה מעל ישראל. מסלול גוש אוויר ממצרים לישראל
14-Nov-09	15	1	W	
15-Nov-09	15	1	NW	גבדיאנט לחצים נמוך. יתכן שקע קפריסאי רדוד
<b>16-Nov-09</b>	<b>15</b>	<b>6</b>	<b>W</b>	<b>שקע קפריסאי רדוד. מסלול קצר מזרח תורכיה</b>
17-Nov-09	17	6	NW	שקע ממזרח
18-Nov-09	17	2	N	שקע ממזרח
28-Nov-09	8	6	W	רמה מעל צפ אפריקה. רוחות מערביות
<b>29-Nov-09</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>W</b>	<b>רמה מעל הראש הלבני</b>
30-Nov-09	8	1	W	רמה מעל כל מזרח ית וישראל. מסלול גוש אוויר מרמתם לישראל
18-Dec-09	10	4	W	רכס מזרח לישראל וגבול בישראל עם שקע עמוק מעל הבלקאן.
19-Dec-09	10	4	W	
20-Dec-09	7	4	VRB	
23-Dec-09	8	6	W	רמה
<b>24-Dec-09</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>W</b>	<b>רמה</b>
<b>25-Dec-09</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>VRB</b>	<b>רמה</b>
<b>26-Dec-09</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>VRB</b>	<b>רמה</b>
27-Dec-09	10	6	VRB	רמה
28-Dec-09	9	6	VRB	רמה
31-Dec-09	8	1	W	שלוחה של רמה מצפ אפריקה
01-Jan-10	10	4	S	רמה מעל ישראל עם רוחות דרומיות. מסלול גוש אוויר מזרח לאחז מסלול
02-Jan-10	7	4	SW	שלוחה של אפיק מעל מזרח ית עם רכס מעל חצי האי ערב גורמים לזרימה
03-Jan-10	8	1	W	שלוחה של רמה אזורית. יתכן שקע (שרבי?) סגור מעל ישראל
04-Jan-10	8	1	W	שלוחה של רמה אזורית, עם רמה סגורה מעל יוון. אנוף ממזרח (ירדן)
05-Jan-10	8	1	W	רמה מעל מזרח ית וישראל, מסלול גוש אוויר מאיטליה מעל ים תיכון והבלק
06-Jan-10	9	1	N	רמה מעל מזרח ית נעה צפונה מעט. מסלול גוש אוויר עדין מאיטליה הבלק
<b>07-Jan-10</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>VRB</b>	<b>רמה מעל כל אזור מזרח ית וישראל יורדן. מסלול גוש אוויר ממזרח ים ה</b>
<b>08-Jan-10</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>VRB</b>	<b>רמה מצפון עם רכס ממזרח ומעל מזרח ית. מסלול גוש אוויר מקומי ממ</b>
<b>09-Jan-10</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>VRB</b>	<b>"</b>
10-Jan-10	7	3	VRB	רמה ממזרח עם זרימות דרומיות קלות. מסלול גוש אוויר קצר ממזרח. תית
11-Jan-10	8	6	W	רמה מעל צפון אפריקה (חופי מצרים) גורמת זרימות מערביות ערות. גושי א
12-Jan-10	0	1	VRB	אזור לחץ גבוהה מעל ישראל - כמעט אנוף
13-Jan-10	10	1	W	רמה מעל ישראל - שלוחה של רמה מעל צפון אפריקה. שקע ממזרח.
<b>17-Jan-10</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>VRB</b>	<b>שקע ממערב</b>
<b>18-Jan-10</b>	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>NW</b>	<b>שקע ממערב וממזרח לישראל. רוחות ערות. מסלול גוש אוויר ממזרח</b>
18-Feb-10	8	6	W	שקע ממערב עם רוחות מערביות חזקות. מסלול גוש אוויר מעל צפון סיני וי
19-Feb-10	10	4	W	רמה מעל ישראל
<b>20-Feb-10</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>W</b>	<b>רמה מעל ישראל</b>
22-Feb-10	7	1	W	
23-Feb-10	7	1	W	
24-Feb-10	10	1	W	
<b>28-Feb-10</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>W</b>	<b>שקע קפריסאי</b>
06-Mar-10	8	1	W	רמה מעל צפון אפריקה וישראל
<b>07-Mar-10</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>VRB</b>	<b>רמה רדודה מעל ישראל.</b>
08-Mar-10	9	4	E	רמה מצפון מזרח
<b>14-Mar-10</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>שקע מעל צפון מצרים עם שלוחה לעבר ישראל</b>
<b>15-Mar-10</b>	<b>19</b>	<b>6</b>	<b>W</b>	<b>שקע נע מצפון מצרים לצפון ישראל - לבנון וסוריה</b>
16-Mar-10	8	1	W	שלוחה של רמה מעל מרכז ים תיכון ומזרחיה. רוחות מערביות חזקות
17-Mar-10	0	1	NW	
18-Mar-10	17	1	W	
10-Apr-10	10	5	W	
<b>11-Apr-10</b>	<b>19</b>	<b>4</b>	<b>SW</b>	<b>שקע שרבי</b>
12-Apr-10	0	6	W	רוחות חזקות. ישראל בין שקע ממזרח לרמה ממערב
13-Apr-10	8	5	W	רמה ממערב. זרימות חלשות - כפי הנראה זיהום ממקור מקומי ולא הסעה
14-Apr-10	8	5	NW	
15-Apr-10	8	2	NW	
16-Apr-10	0	6	NW	
17-Apr-10	8	6	W	
18-Apr-10	8	6	W	
19-Apr-10	8	6	W	
20-Apr-10	8	6	W	
24-Apr-10	8	2	NW	
<b>25-Apr-10</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>NW</b>	<b>אפיק ים סוף ציר מזרחי עם רמה ממערב</b>
26-Apr-10	1	6	NW	אפיק ים סוף לא מובהק

<b>Dates</b>	<b>Synop Class</b>	<b>Back Trajectory in Israel</b>	<b>Description</b>
03-May-10	8	5 W	רמה מעל מזרח ית וצפון אפריקה
<b>04-May-10</b>	<b>8</b>	<b>6 W</b>	"
05-May-10	8	6 W	
06-May-10	8	6 W	
07-May-10	8	6 NW	
08-May-10	8	6 N	
09-May-10	8	6 N	
<b>10-May-10</b>	<b>19</b>	<b>6 NW</b>	<b>מסלול גוש אוויר קצר מאוד מעל מצרים וישראל</b>
11-May-10	17	5 W	
17-May-10	8	1 W	שלוחה של רמה עמוקה ממערב - רוחות מערביות חזקות. מסלול גוש אוויר ממי
<b>18-May-10</b>	<b>8</b>	<b>1 W</b>	<b>שלוחה של רמה עמוקה ממערב - רוחות מערביות חזקות. מסלול גוש אוויר ו</b>
<b>19-May-10</b>	<b>8</b>	<b>1 W</b>	<b>שלוחה של רמה עמוקה ממערב - רוחות מערביות חזקות. מסלול גוש אוויר ו</b>
20-May-10	8	1 W	רמה ממערב. רוחות צפ' מער'. מסלול גוש אוויר מים אדריאטי
21-May-10	8	5 NW	
25-May-10	8	5 N	
26-May-10	9	6 N	
<b>27-May-10</b>	<b>18</b>	<b>6 W</b>	<b>שקע שרבי לא מובהק במפות סינופטיות</b>