

**האוניברסיטה העברית
המחלקה לגיאוגרפיה**

הצעת מחקר לתואר מוסמך בגיאוגרפיה פיזית

**הערכת תרומתן של מחצבות בית שמש
לריכוזי אבק באזור**

**בהנחיית פרופ' אורי דיין
ד"ר חיים לוריא**

מגיש: אליאב שמואלביץ

036491264

אייר תש"ע

מאי 2010

תוכן עניינים

3	1. מבוא.....
4	2. רקע מדעי.....
4	2.1 הרכב החלקיקים.....
4	2.2 השפעות בריאותיות.....
4	2.3 השפעה על מאזן הקרינה.....
5	2.4 השפעה על הראות.....
5	2.5 זיהוי מקורות.....
5	3. המוטיבציה למחקר.....
5	4. מטרות המחקר.....
6	5. שיטות העבודה.....
6	5.1 סקר מקדים.....
7	5.2 שיטות עבודה להמשך המחקר.....
9	6. סקנות הסקר המקדים.....
11	7. תוכנית עבודה ולוח זמנים.....
12	8. ביבליוגרפיה.....

1. מבוא

אבק - או ליתר דיוק, חומר חלקיקי (PM - Particulate Matter) - הוא ממזהמי האוויר המרכזיים, בעיקר באזורים עירוניים. לחומר החלקיקי השפעה רבה על הסביבה ועל הבריאות. ארגון WHO (World Health Organization) מעריך כי החומר החלקיקי אחראי למותם של כ-800 אלף איש בשנה. החומר החלקיקי מאופיין על פי גודלו (קוטר אווירודינמי) ועל פי מרכיביו הכימיים. נהוג לחלק את החומר החלקיקי לקטגוריות הבאות:

- TSP - כלל החומר החלקיקי המרחף (חלקיקים בעלי קוטר אווירודינמי הקטן מ-30 מיקרומטר).
- PM_{10} - חומר חלקיקי נשים (חלקיקים בעלי קוטר אווירודינמי הקטן מ-10 מיקרומטר).
- $PM_{2.5}$ - חומר חלקיקי נשים עדין (חלקיקים בעלי קוטר אווירודינמי הקטן מ-2.5 מיקרומטר).

לחלקיקים בגדלים שונים יש מקורות טיפוסיים שונים, המובילים להרכבים כימיים שונים וכן לשוני בפיזור המרחבי ולהשפעות שונות על הבריאות.

לא ניתן להגדיר מרכיבים אוניברסליים לסוגי החלקיקים השונים כיוון שיש ביניהם שונות גדולה: המקור של חלקם טבעי, למשל, בהרי געש, בסופות אבק, בשריפות יער, ברסס ים וכדומה; ואילו מקורם של חלקיקים אחרים הוא אנושי, למשל, בשריפת דלקים, בתעשייה, במחצבות ועוד.

חלוקה נוספת בין סוגי החלקיקים היא על פי הפליטה שלהם אל האטמוספירה: ישנם חלקיקים המגיעים מפליטה ראשונית, כגון חלקיקים המגיעים משריפה, מפליטות תעשייה או רכבים, ממחצבות, מרסס ים ועוד; וישנם חלקיקים הנותרים כתוצאה מתהליך משני של הפיכת גזים, כמו גופרית דו חמצנית (SO_2) או תחמוצות החנקן (NO_x), לחלקיקים דוגמת סולפט (SO_4) או ניטראט (NO_3^-). החלקיקים המשניים הם לרוב מהמקטע הקטן יותר של החלקיקים. זמן שהייה של החלקיקים (הזמן שבו הם מרחפים באטמוספירה) משתנה יחסית לגודלם: לחלקיקים הגדולים זמן שהייה ממוצע של דקות עד שעות, לעומת זאת זמן שהייה של חלקיקים מהמקטע העדין נמשך ימים עד שבועות. גם המרחק שאותו עוברים החלקיקים משתנה: המרחק שעוברים החלקיקים הגדולים לא עולה על כמה קילומטרים, ואילו החלקיקים הקטנים עוברים מרחק של מאות ואלפי קילומטרים.

כיום חסר מידע מקיף על אודות המקורות והמרכיבים של החומר החלקיקי, והדבר מקשה על קובעי המדיניות להתמודד בצורה יעילה עם בעיות של חומר חלקיקי באוויר. הבעיה מתעצמת כאשר מדובר בניטור של חומר חלקיקי אנתרופוגני המוסע מקרוב, בהפרדתו מחומר טבעי ובזיהוי המקורות האנתרופוגניים השונים.

2. רקע מדעי

2.1 הרכב החלקיקים

בישראל מקובל כיום לנטר חלקיקים בשלושה מקטעים: TSP, PM₁₀ ו-PM_{2.5}. ברחבי העולם, מסיבות בריאותיות, הנטייה היא להתמקד במדידות של החלקיקים הקטנים יותר: PM_{2.5} ו-PM₁₀. ניתן לחלק את מרכיבי החלקיקים לשש קטגוריות בסיסיות:

1. חומר גיאולוגי (בעיקר תחמוצות של אלומיניום, סיליקון, סידן, טיטניום וברזל).
2. חומר אורגני.
3. היסוד פחמן.
4. סולפאטים.
5. ניטראטים.
6. אמוניום.

חלקיקים גדולים יותר, PM₁₀ ו-TSP, אשר מקורם פעמים רבות בפעולות של שחיקה, מכילים הרבה חומר ממקור גיאולוגי. לעומת זאת החלקיקים הקטנים יותר מכילים מעט חומר ממקור גיאולוגי.

2.2 השפעות בריאותיות

מחקרים אפידמיולוגיים רבים (Pope & Dockery, 2006) הראו קשר בין ריכוז חלקיקים גבוה לבין סכנת מוות ותחלואה גבוהה. ההשפעות הבריאותיות נעות בין גירוי בעיניים או במערכת הנשימה למחלות כרוניות במערכות הנשימה, מחלות לב, סרטן ריאות ומוות. ההשפעות הבריאותיות תלויות בסוג החלקיקים ובריכוזם באטמוספירה. כמו כן, יש קבוצות הנמצאות בסיכון גבוה יותר, כגון קשישים, תינוקות ואנשים הסובלים ממחלות הקשורות במערכת הנשימה.

2.3 השפעה על מאזן הקרינה

אף שמוקד תשומת הלב בעניין השפעת החלקיקים הוא על ההשפעות הבריאותיות, לריכוז החלקיקים באוויר יש השפעות נוספות. אחת ההשפעות העיקריות היא תרומה למאזן הקרינה הגלובלי. כשקרינה אלקטרומגנטית פוגעת בחלקיקים יש פיזור ובליעה שלה. היחס בין הפיזור לבליעה תלוי בגורמים שונים, ביניהם גודל החלקיקים והרכבם.

החלקיקים, אם כן, משפיעים על כמות קרינת השמש אשר מגיעה לפני השטח. על פי IPCC 2001, השפעת החלקיקים באופן כללי היא קירור, אם כי רמת הוודאות בעניין זה קטנה מאשר בעניין השפעת גזי החממה (Penner et al 2001) על התחממות כדור הארץ.

2.4 השפעה על הראות

בשל הבליעה ופיזור קרינת השמש, משפיע ריכוז החלקיקים גם על הראות. במחקר שבו נאספו נתונים במשך שלוש שנים באזור תל אביב (Dayan & Levy 2004), הוערכה ההשפעה של מצבים סינופטיים על ריכוזי האבק והראות. במחקר זה נמצא קשר חזק בין ריכוז אבק גבוה לבין ראות נמוכה.

2.5 זיהוי מקורות

מחקרים רבים ניסו להתחקות אחר המקורות המקומיים של זיהום האוויר על ידי מדידות בתחנות מקומיות (Bruinen de Bruin, Koistinen, Yli-Tuomi, Kephelopoulos, & Jantunen, 2006; Hopke & Song, 1997 and Watson et al., 2002).

הערכת מקורות הזיהום היא מסובכת, מכיוון שהמדידות נעשות בתחנות מדידה שבהן חלקיקים ממקורות שונים. יש דרכים שונות בהן משתמשים לאיתור המקורות השונים:

- התאמה בין מהירויות ועוצמות רוח לכמות החומר החלקיקי הנמדד בתחנה (Henry, Chang, & Spiegelman, 2002).

- התאמות בין מזהמים אחרים לבין כמות החומר החלקיקי הנמדד.

- השוואה בין תחנות מדידה שונות (Lenschow et al., 2001).

- חישוב כמות הרקע והשוואה לריכוז הנמדד (Escudero et al., 2007).

- חישובי פליטות ופיזור בעזרת מודלים נומריים (Eldering & Cass, 1996; Visser, Buring, & Breugel, 2001).

- מודלים סטטיסטיים המתבססים על מידע כימי מתחנות המדידה (Hopke et al., 2006).

3. המוטיבציה למחקר

היישוב בית שמש וסביבתו בנויים על סלעי משקע גירניים. באזור ריכוזי רקע גבוהים שמקורם מדברי, בעיקר בסוף החורף ובאביב. פעילות מחצבות וסמיכותן ליישוב מוסיפות לריכוזי האבק הנמדדים. מערך הניטור והמדידה הקיים תוכנן עבור כל מחצבה ועבור מפעל נשר ללא התחשבות מרחבית, אף שסוגיית האבק היא בוודאי אזורית. ממערך המדידות הקיים לא ניתן להעריך את התרומה היחסית של כל מקור לרמת האבק השוקע והמרחף באזור. כמו כן, לא נעשו מדידות כפולות כדי להעריך את דיוק התוצאות.

4. מטרת המחקר

- אפיון הגודל והרכב הכימי של החלקיקים במוקדי הפליטה באזור בית שמש וביישובים הסמוכים.
- קביעת משטר זרימת הרוח באזור בית שמש במצבים סינופטיים שכיחים וחרגי, וקביעת השפעתם על ריכוזי האבק בסביבה.

- הגדרת "רקע טבעי" וביצוע מדידות לקביעת רמתו עבור מקטעי האבק השונים (שוקע, מרחף ונשים).

- הערכת התרומה של המחצבות נוחם, זנוח ועציונה, מפעל נשר ומקורות אחרים לעומס החלקיקים באזור בית שמש על ידי ניתוח "טבעי" אצבע כימית" והתנאים האטמוספריים הנלווים.

- בחינה מחודשת של התקנים הקיימים לחלקיקים לאור תוצאות הסקר.

- בחינה מחודשת של המיקום האופטימלי לאתרי הדיגום לבדיקת העמידה בתקנים סביב המפעלים, לאור מסקנות המחקר.

- המלצות למגוון אמצעים לשיפור איכות האוויר באזור בית שמש.

5. שיטות העבודה

5.1 סקר מקדים

בסקר המקדים נעשה שימוש בנתונים שהתקבלו מנציגי המשרד להגנת הסביבה, נתוני אבק ומטאורולוגיה שנאספו במשך חמש שנים (2000-2005). אין רצף של זמן בין הנתונים, ועל כן, כדי לקבל תמונה ברורה ככל הניתן, מבוסס חלק גדול מהניתוח על פרק הזמן הרצוף הארוך ביותר - אפריל עד נובמבר 2002. הנתונים שנאספו בתקופה זו נוגעים לאבק שוקע ולכלל האבק המרחף (TSP): אבק שוקע - האבק השוקע נמדד בעזרת דליים שפוזרו באזור בית שמש. הדליים רוקנו פעם בחודש ונשקלו. נוסף לכך, החומר נשרף ונשקל שוב כדי למדוד את תכולת החומר האורגני באבק. כלל האבק המרחף - האבק המרחף נמדד על ידי מדידה שגרתית של 24 שעות שאיבה במכשיר High Volume Sampler.

ניתוח נתוני הסקר המקדים

ניתוח נתוני הסקר המקדים מחולק לשלושה חלקים: תפרוסת אקלימית בזמן, תפרוסת אקלימית במרחב וניתוח מטאורולוגי ספציפי של מקרים שבהם נמדדו ריכוזי אבק גבוהים במיוחד. תפרוסת אקלימית בזמן - ניתוח השינויים בריכוזי האבק המרחף ובכמויות האבק השוקע על בסיס שנתי במטרה לראות את התנהגות ריכוזי האבק במהלך העונות השונות. תפרוסת אקלימית במרחב - ניסיון לבדוק את ההבדלים בריכוזי האבק המרחף ובכמויות האבק השוקע בין היישובים השונים שבהם נערכו מדידות, תוך התחשבות בכיווני רוח ובקרבה אל המחצבות והמפעלים. ניתוח מטאורולוגי ספציפי - כדי לבחון את המקרים השונים שבהם נרשמו ריכוזי אבק גבוהים, נותחו כמה אירועים נקודתיים בעזרת כלים מטאורולוגיים שונים, ובהם:

- נתונים חצי-שעתיים של המשרד להגנת הסביבה אודות ריכוזי PM10 הנמדדים באזור בית שמש. הנתונים מופיעים באינטרנט.
- מפה סינופטית של לחץ בפני הקרקע וגובה גיאופוטנציאלי של 500 מיליבר. הנתונים לקוחים מאתר פרויקט הריאליזציה של ncep\ncar, ומופו בעזרת תוכנת Grads להפקת מפות סינופטיות.
- מודל HYSPLIT מהאתר READY של ARL-Air Resources Laboratory. המודל מתאר את המסלול שעבר גוש אוויר 72 שעות לפני שהגיע לנקודה נמדדת.
- נתוני רדיוסונדה, המופרחת מבית דגן פעמיים ביממה ואוספת מידע על הטמפרטורה, הלחות, כיווני הרוח והיציבות בשכבות השונות באטמוספירה.

5.2 שיטות עבודה להמשך המחקר

בתקופת המחקר (שנתיים) תבוצענה אנליזות פיזיקליות וכימיות של דוגמאות אבק שייאספו באזור המחקר - שטח של כמאה קמ"ר. כמו כן, נשתמש בנתונים המטאורולוגיים שיימדדו בזמן איסוף הדוגמאות כדי לבצע ניתוח מטאורולוגי לבדיקת הקשר בין מיקום המחצבה ועומס האבק ביישובים. כדי לקשור בין תוצאות האנליזה הכימית למידת התרומה של כל מקור זיהום, תפותח שיטה הקושרת בין עומס החלקיקים הנמדד ביישובים לבין מקורות האבק התעשייתיים. שיטה זו תסתמך על קביעת "טביעת אצבע" כימית בשילוב כיוון זרימת הרוח בסביבה. לאחר זיהוי המקורות השונים ומידת תרומתם לריכוזי האבק הנמדדים ביישובים באזור זה, תוגשנה המלצות אופרטיביות לגבי התפעול השוטף של האתרים השונים, שיפור מערך הניטור הקיים ושיפור התקינה הקיימת למען אכיפה יעילה יותר וצמצום המפגע.

ניטור איכות האוויר

האתרים:

לפני תחילת מדידות הניטור נבחרו 12 תחנות במרחב בית שמש. התחנות מוקמו במרחקים שונים מהמחצבות ובצדדים שונים שלהן. בחירת אתרי הדגימה נעשתה על פי מספר שיקולים, ובהם:

- מיקום התחנה לעומת המחצבה - חשוב שיהיו תחנות בצדדים שונים של המחצבות, וכן תחנות נוספות, במרחק גדול יותר מהמחצבות, אשר יהוו רקע.
- זמינות חשמל.
- גישה.
- ביטחון הציוד.

12 התחנות שנבחרו הן: נתיב הל"ה, גבעת יערים, מטע, מחסיה, צרעה, זנוח, מערת הנטיפים, גבעת בית שמש, זכריה, נוחם, בית שמש ואביעזר.

סוגי המדידות

ניטור איכות האוויר מורכב משלוש סוגי מדידות: אבק שוקע, כלל האבק המרחף ואבק נשים (PM10).

אבק שוקע - האבק השוקע נמדד באמצעות הצבת דליים בתחנות הניטור. פעם בחודש מיובש החומר שבדלי ונשקל. כמות האבק השוקע מחושבת בטון למ"ר בחודש.

כלל האבק המרחף - האבק המרחף מנוטר פעם בחודש בעזרת פילטר המותקן על מכשיר High Volume Sampler (Hi-vol) למדידת אבק. את הפילטר שוקלים לפני ואחרי שאיבת האבק, ומחשבים את ריכוז החלקיקים למ"ק. אבק נשים (PM 10) - את האבק הנשים מודדים פעם בשלושה חודשים בעזרת תוסף המתחבר למכשיר הדגימה.

הניתוח הכימי בוצע במעבדה הנקייה בראשות פרופ' יגאל אראל, הנמצאת בגבעת רם.

ריכוז היסודות

האנליזה למדידת ריכוזי היסודות מבוצעת על הדגימות בעזרת מכשיר Inductively Coupled Plasma - ICP OES (Optical Emission Spectrometry).

Perkin Elmer Optima 3000 ICP-OES

טכניקה אנליטית זו משמשת לזיהוי מתכות בדגימות סביבתיות. המטרה העיקרית היא לגרום ליסודות השונים לפלוט אור באורך גל האופייני להם - עוצמת ההחזרה מייצגת את ריכוז המתכות הנמדדות. המתכות הנמדדות הן:

Na (נתרן)	Fe (ברזל)
K (אשלגן)	Al (אלומיניום)
Mg (מגנזיום)	Sr (סטרוניום)
Ca (סידן)	Ma (מנגן)

דגימות מקור

דגימות מקור במחצבות 03/08/2009

סיור בשלושת המחצבות:

נוחם

זנוח

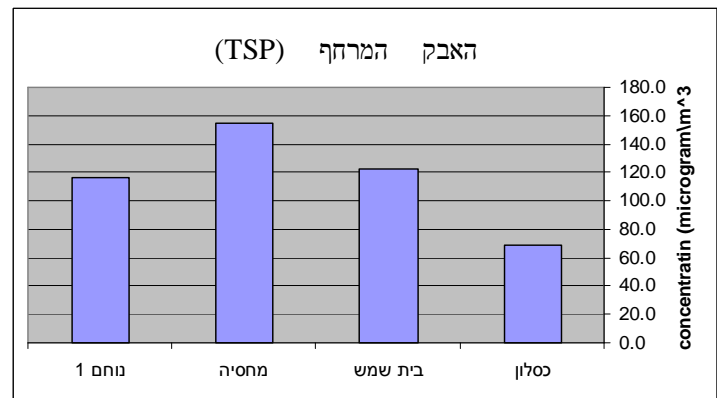
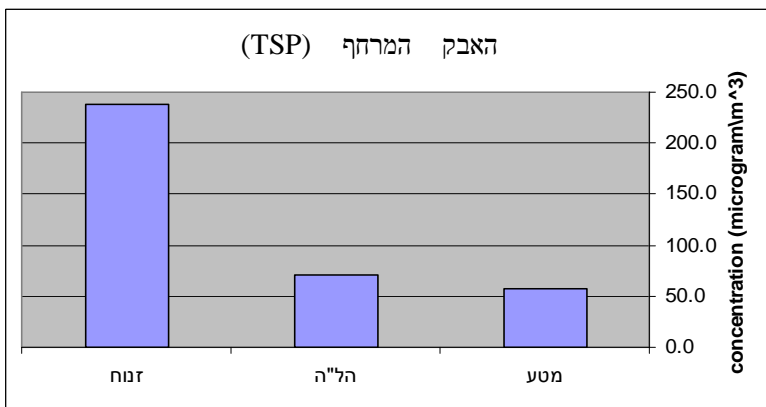
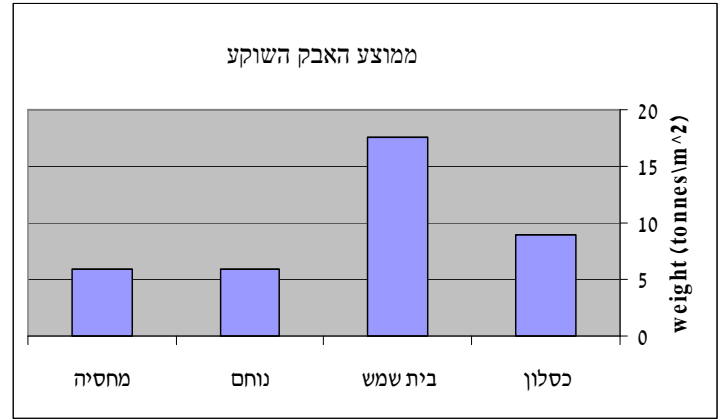
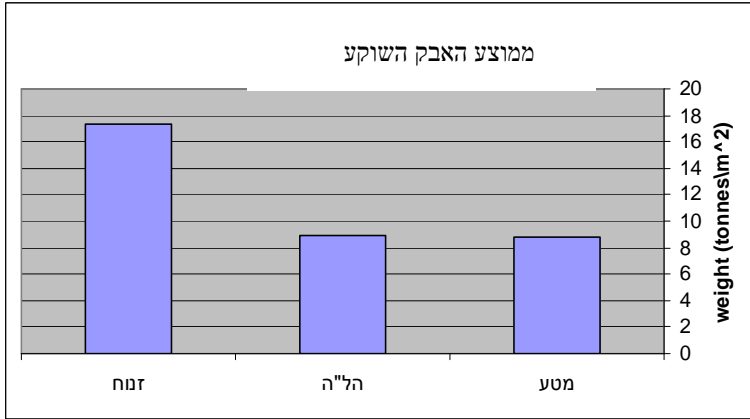
עציונה

במהלך הסיור נלקחו דגימות מהמחצבות השונות, וכן נאסף מידע לגבי פעילות המחצבה (נוחם).

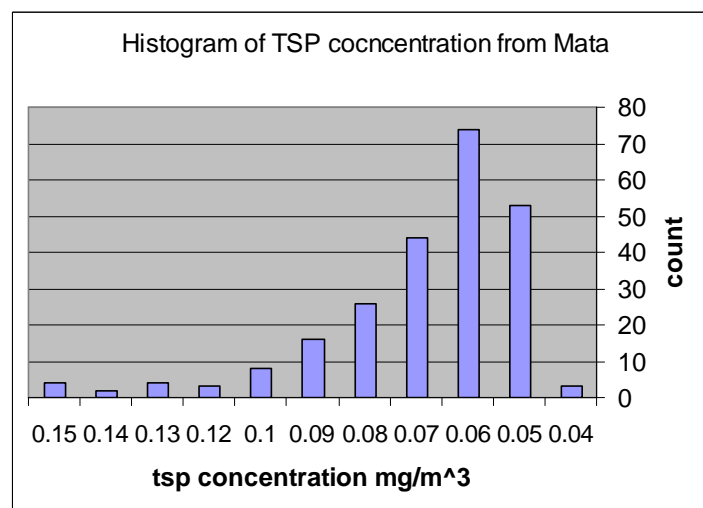
6. סקנות הסקר המקדים

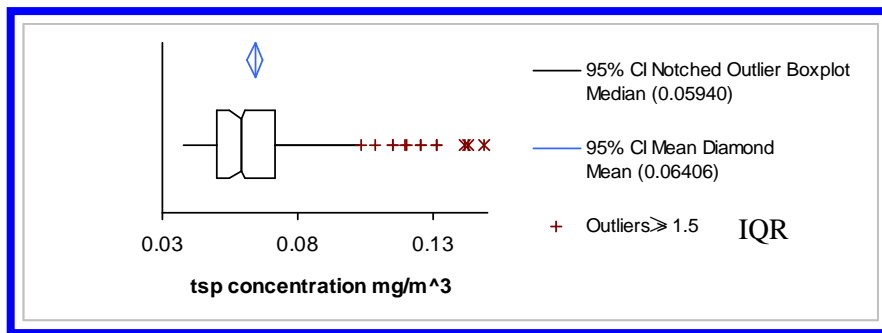
- הכמות השנתית הממוצעת של אבק שוקע באזור בית שמש היא 9.6 טון למ"ר. התקן הישראלי, על פי התקנות למניעת מפגעים 1992, הוא 20 טון למ"ר בממוצע לשלושים יום. כמות האבק השוקע באזור בית שמש אינה גבוהה יחסית לתקן - ברוב הזמן, כמות האבק השוקע היא כחצי מהתקן.
- הממוצע השנתי של אבק מרחף בתחנת כסלון הוא 103.06 מיקרוגרם למטר מעוקב. התקן הישראלי, על פי התקנות למניעת מפגעים 1992, הוא:
 - ממוצע לשלוש שעות: 300 מיקרוגרם למטר מעוקב.
 - ממוצע ל-24 שעות: 200 מיקרוגרם למטר מעוקב.
 - ממוצע שנתי: 75 מיקרוגרם למטר מעוקב.
- כמות האבק השוקע גבוהה יחסית לתקן הישראלי. שלא כמו האבק השוקע, באזור בית שמש יש בעיה של ריכוז גבוה של אבק מרחף.
- קיימת זיקה בולטת בין ריכוז האבק המרחף לבין הקרבה אל המפעלים. לעומת זאת, מקור האבק השוקע הוא, ככל הנראה, הקרבה לעיר.

- צורת התפלגות הדוגמאות אינה נורמלית, והיא בעלת זנב שמאלי ארוך, כפי שניתן לראות בדוגמה להלן, המתארת את כל המדידות בתחנה אחת (מטע):



בגלל הפיזור הלא נורמלי של הנתונים, כדי לקבוע outliers (חריגים) נעשה שימוש במדד הפיזור IQR- Interquartile range (טווח בין רבעוני), $IQR=Q3-Q1$, כאשר Q מייצג את הרבעונים. כלומר, ההפרש בין הרבעון השלישי לראשון. ההגדרה של חריג היא תוספת של 1.5 IQR לחציון.





7. תוכנית עבודה ולוח זמנים

תוכנית עבודה:

- ניטור האבק בתחנות המדידה.
- אנליזות פיזיקליות וכימיות של דוגמאות האבק אשר נאספו באזור המחקר.
- עיבוד הנתונים.
- כתיבת עבודת המחקר והגשתה.

לוח זמנים:

מינואר 2009 עד דצמבר 2010
נערכות במקביל לדגימות האבק
עד סוף אפריל 2011
עד סוף יוני 2011

ניטור האבק
אנליזות לדוגמאות האבק
עיבוד הנתונים
כתיבת עבודת המחקר והגשתה

- Bruinen de Bruin, Y., Koistinen, K., Yli-Tuomi, T., Kephelopoulos, S., & Jantunen, M. (2006). A review of source apportionment techniques and marker substances available for identification of personal exposure, indoor and outdoor sources of chemicals (54p.). JRC—European Commission.
- Eldering, A., & Cass, G. R. (1996). Source-oriented model for air pollutant effects on visibility. *Journal of Geophysical Research*, 101, (D14). doi: 10.1029/95JD02928.
- Escudero, M., Querol, X., Pey, J., Alastuey, A., Pérez, N., Ferreira, F. et al. (2007). A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks. *Atmospheric Environment*, 41, 5516–5524.
- Henry, R. C., Chang, Y. S., & Spiegelman, C. H. (2002). Locating nearby sources of air pollution by nonparametric regression of atmospheric concentrations on wind direction. *Atmospheric Environment*, 36, 2237–2244.
- Hopke, P. K., & Song, X. (1997). The chemical mass balance as a multivariate calibration problem. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 37, 5–14.
- Lenschow, P., Abraham, H. J., Kutzner, K., Lutz, M., Preuß, J. D., & Reichenbacher, W. (2001). Some ideas about the sources of PM10. *Atmospheric Environment*, 35(Suppl. 1), 123–133.
- Levy, I., Dayan, U. and Mahrer, Y. (2008). A five-year study of coastal recirculation and its effect on air pollutants over the East Mediterranean region. [Atmospheric Environment](#), 43, 1991-1999
- Dayan, U. And Levy, I. (2004). The Influence of Meteorological Conditions and Atmospheric Circulation Types on PM10 and Visibility in Tel Aviv. *Journal of Applied Meteorology*, 44, 606-619.
- Penner, J. E., Andreae, M., Annegarn, H., Barrie, L., Feichter, J., Hegg, D., Jayaraman, A., Leitch, R., Murphy, D., Nganga, J., Pitari, G. (2001) Aerosols, their direct and indirect effects. In: Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., and Johnson, C.A. (eds) *Climate change 2001. The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 881
- Pope, C. A., & Dockery, D.W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 56, 709–742.
- Visser, H., Buring, E., & Breugel, P. B. v. (2001). Composition and origin of airborne particulate matter in the Netherlands. National Institute for Public Health and the Environment, RIVM.

- Watson, J. G., Zhu, T., Chow, J. C., Engelbrecht, J., Fujita, E. M., & Wilson, W. E. (2002). Receptor modeling application framework for particle source attribution. *Chemosphere*, 49, 1093–1136.
- Viana, M., Kuhlbusch, T. A. J., Querol, X., Alastuey, A., Harrison, R. M., Hopke, P. K., Winiwarter, W., Vallius, A., Szidat, S., Prevot, A. S. H., Hueglin, C., Bloemen, H., Wahlin, P., Vecchi, R., Miranda, A. I., Kasper-Giebl, A., Maenhaut, W., and Hitzenberger, R.: Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results, *J. Aerosol Sci.* 39(10), 827–849, 2008.