

In the  
Between  
Ayalon  
book  
Farkon and  
David Grossman

Aspects of urban climatology in  
Gush-Dan  
Yair Goldraich

General introductory passage  
Urbanization rate in Israel was pretty high  
comparing to other countries. Predicted for the  
eighties: 5000 capita per km<sup>2</sup>. Although Tel-Aviv's  
population in its municipal area has been decreased  
in the last decade, Gush-Dan's population has  
been increased. It was 850,000 at the end of  
1977. Although Israel's cities are not as big as  
other cities the air pollution problem at the present is  
pretty severe.

The present study deals with temperature and  
precipitation. Other indices which have been learned  
in the last years are mixing depth, potential  
air pollution, Concentration of gase and solid  
contaminators and effects of air pollution on <sup>solar</sup> radiation decrease.

Effects of urbanization on regional distribution of  
temperature

In order to examine whether temperature distribution in the  
city is different than outside the city two methods can  
be used:

- Comparison of temperature means from stations in and  
outside the city.
- Use of a vehicle equipped with electric thermometers.  
The first method is not simple to apply since it is  
hard to find two stations with the same topographical  
conditions. However <sup>in many cities it</sup> was found that urban temperatures  
are higher than these in the rural environment, but in  
Tel-Aviv this difference could not be proved from  
data obtained by stations. Primary data obtained from  
vehicle show a 3-5°C difference (winter inversion nights  
between 10:00<sup>PM</sup> and 12:00 AM. The measurements were taken

in the  
commercial  
center of  
Tel-Aviv

from 2 m height. The heat in the city does not drive only from antropogenic source, but also from a high heat capacity of the urban industry and its buildings, i.e. the heat source is in the urban surface. In order to examine the surface temperature <sup>variation</sup> two devices were used <sup>in a plane</sup>. ABA thermovision (description) and radiometer for infra-red radiation. (details of the flight [...]). The result: A heat concentration in another place in the city, not the commercial center. This result is different than the results obtained from the radiometer and with temperature distribution at 2 m.

### Influence of urbanization on precipitation Comparison of rain normals

by Bitan

Studies made in 1901 - 1930 and 1931 - 1960 compared perenial means for 30 years of Tel-Aviv with Jerusalem. Results: In the first period: rains in Jerusalem higher than in Tel-Aviv in 4.8%. In the second period: rain in Tel-Aviv higher in 14.6% than in Jerusalem. A statistic analysis made by the present article <sup>author</sup> shows a 95% of security level. Studies made by Albarshan show an increase of 28% in rains in Kfar Sabra area in the second period compared to the first period. (Kfar Sabra is located north east to Tel-Aviv, i.e. at the decline of wind from Tel-Aviv. This result agrees with the literature on the subject.

In normals analysis for 18 stations in Gush Dan and the vicinity it was shown that there was a 7% increase in the second period comparing to the first one, but in urban stations and in stations located at the decline of the wind - the increase was 2.5% whereas in the other - there was a decrease of 1.9%. The difference was significant in 95%. The main problem

\*



\* for comparing normals to rain stations' data is that the data are reconstructed from other stations.

Katz and Gagin, who analysed 5 rain years (1958-1963) did not find any urban influence on rain amounts in Gush Dan's cities and their winds declines area. Eshbal mentioned that rain intensities differed in Nov. and Dec. This intensity increase is affirmed from rain detectors. The highest intensities on the coast are in Tel-Aviv. Table 1 p. 13: Percentages of rain amount above a certain intensity.

### Analysis of Remainings map

The problem in presenting the urbanization influence on the spacial distribution of rain means in one period is in isolation of the urban factor from other spacial factors (topography and distance from the sea).

Three studies have been done in the last decade, for a statistical analysis of the relationship between the annual precipitation amount in the different stations and the spacial factors. The mutual elements for these 3 studies:

- study method - use of multiplied regression
- The dependent variable is the standard rain mean for the years 1931-1960. (Details about the problems in this method.)

Diskin solved most of the problems by dividing the country to two parts, north and south. In the north the factors of northing, distance from the sea and absolute height are significant (91%) whereas in the south only the first two are significant.

The multiplied correlation coefficient for the north - 0.88%. Rozenberg entered 3 additional factors: 1) The influence of the mountain blockage 2) The slope 3) spacial regions' index. The coefficient was very high (0.945).

Wolfson divided the country to 10 regions and made the regression for each part. Coefficients

were lower than the <sup>Rozenberg</sup> uniform formula of

The first attempt to apply the spacial analysis method with multiplied regression for the urban climate was done by Robinson for the northern part of the country.

p. 14 - Diskin's formula. (1)

The remainings = the difference between the measured precipitation amount and the calculated p. were mapped. In Petach Tikva - Kfar Sabla region - the remainings exceed 100 mm. This shows the influence of urbanization.

Drawing no 1. p. 15 is based on Wolfson. The regression formula was calculated according to 37 stations of the central coast. The formula is a little bit different than Wolfson's formula. (2) (see p. 13). Coefficient is 0.59.

From the map it is possible to see that the sea's influence does not start at the coast line, except for Tel-Aviv.

Another attempt was done to present the influence of distance from the sea on precipitation distribution in a non linear form. (Reversed hyperbole) Details [...]. The main result did not change.

The fact that the influence of the distance from the sea was not significant except for one region was explained by Wolfson by the fact that the regions are too small for finding such an influence. It seems that Drawing no 1 expresses the non linear form of the effect of distance from the sea. Deviations and their causes [...].

Why the remaining map is better than Robinson's remaining map [...].



Trend tests

As mentioned above, the disadvantage of the above methods is that part of the data is reconstructed and not measured. In contrast, in trend tests a pair of stations is compared only to years in which data is available, and thus unmeasured data is not used.

One method for test trend (Mann Kendall) showed that in Tel-Aviv and in the wind's decline area there is an increase in rain amounts comparing to non-urban stations.

Another method - double mass + drawing no 2 p. 17. (Details...) Results - similar to the Mann-Kendall. Ramat-Hasharon's rain amount increased in contrast to Mikveh-Israel. (Details...) The difference between the two methods [...].

The reason for the great amount of precipitation in Gush Dan

Increase in precipitation<sup>in cities</sup> amount is related to 4 factors [...]. There is no agreement about the dominant factor, however in the last years it is thought to be factors increasing convection. Indeed, there is increase in rain amount in the fall [...].

Table no 2. p. 19.

There is evidence for increase in fall rains in urban areas. It implies that the urban heat-area and the urban topography are the <sup>main</sup> factors affecting increase in precipitation in the city. Air pollution cannot be the main factor since it exists all over the year and not only during the fall.

Summary

The problems of measuring climate in Tel-Aviv: the proximity to the sea, the lack of successive measuring in Tel-Aviv's station, and the fact that

in the early sixties a series of artificial rain experiments was conducted. However, an urban influence on Tel-Aviv and its wind-decline area was found. There is a heat-center which is most prominent in quiet inversion nights, without clouds, especially in the spring, when the sea is colder than the land.

During 3 decades the precipitation has been increased in 5-17% comparing to non-urban stations. The main factor seems to be the heat center + the topographic urban factor. The author advocates for adding the urban factor as a fifth factor affecting rain distribution in Israel: (northing, night, distance from the sea and the height.



כלל קשה למצוא ולו זוג אחד של תחנות, האחד במרכז העסקים הראשי (המע"ר) של העיר והשני מחוץ לעיר, כששתי התחנות נמצאות באותם תנאים טופוגרפיים ושייצגו נאמנה את הפרש השפעת העיור.<sup>10</sup> על אף קושי זה נמצא בערים רבות כי בעיר (בדרך כלל במע"ר) הטמפרטורות גבוהות מאלו שבסביבתה הכפרית ("אי החום" העירוני). דוגמה לקשיים הללו ניתן למצוא בניתוח נתונים של שלוש תחנות מטאורולוגיות (הקריה, נמל תל-אביב ורידינג), שפעלו ברומנית במשך עשר שנים.<sup>11</sup> למרות שתל-אביב שוכנת במישור קיימים הבדלים טופוגרפיים בין שלוש התחנות ובמרחקן מן הים. לכן לא היתה כל הפתעה בכך שמסקנת העבודה הנ"ל<sup>12</sup> היתה שמהשוואת נתוני טמפרטורות המינימום הממוצעים בתחנות השונות לא ניתן להוכיח מציאותו של אי חום. כל שלוש התחנות המטאורולוגיות הללו אינן פועלות כיום באותו אתר בו פעלו באותן שנים.

במחקר משותף של המחלקה לגיאוגרפיה של אוניברסיטת בר-אילן והמכון המטאורולוגי, נערכה השוואת ממוצעים בין תחנת הקריה (שהיא התחנה הקרובה ביותר למע"ר של תל-אביב) לבין תחנות אחרות מחוץ לעיר ובתנאי מזג-אוויר מיוחדים, ולא נמצא כל הפרש טמפרטורות ניכר. במקביל לבדיקות אלו נערכה קדרה של מדידות טמפרטורה ולחות בעזרת ניידת מטאורולוגית המצוידת בתרמוקפלים ומכשור רושם. ממצאים ראשוניים מצביעים כי קיים אי חום במע"ר של תל-אביב (רחובות אלנבי-לילינבלום),<sup>13</sup> והפרש הטמפרטורה בינו לבין חוץ העיר הוא 3°C-5. המדובר כלילת אינברסיה חורפית נעדרת רוח בין השעות 22-24.

הטמפרטורות שנמדדו בעזרת הניידת מתייחסות לגובה של כ-2 מ' מעל פני הקרקע. עודף החום בעיר בגובה זה אינו רק ממקור אנתרופוגני (הסקה ביתית, תעשייה, רכב וכד') אלא בעיקר מפזר קיבול החום הגבוה של התשתית העירונית ומבניה; כלומר, מקור החום הוא בפני השטח העירוניים. כדי לבדוק את טמפרטורת פני השטח השתמשנו בשני מכשירים לחישה מרחוק שהותקנו במטוס: • AGA Thermovision, שהיא מערכת טלוויזיה הסוקרת בתחום האינפרא-אדום הקרוב (אורכי גל 2.0-5.3 מיקרון). התמונה שהתקבלה על המסך צולמה מיידית ונתקבל רצף של תמונות של טמפרטורת פני-השטח.

• רדיומטר רושם המודד קרינה בתחום האינפרא-אדום הרחוק (8-13 מיקרון). הטיסה נערכה בלילה שבין ה-20 ל-21 בנובמבר 1975 בשעות 2300-0200, כשהמטוס טס בפסים לסירוגין ממזרח למערב ומערב למזרח מכילומטר אחד בתוך הים ועד לכביש גהה ומרמת-אביב בצפון ועד בתים בדרום, ובגובה של 3,000 מ'.<sup>14</sup> ספיסת תמונות הטלוויזיה מראה אי חום מצפון לרחובות קפלן - בוגרשוב ומערב לרחוב ויצמן.<sup>15</sup> תוצאות אלו אינן זהות עם אלו שהתקבלו מן הרדיומטר הרושם ולא עם התחלקות הטמפרטורות בגובה של 2 מ'. דיון על אי התאמה זו מצוי בדו"ח המחקר הנ"ל.<sup>16</sup>

השפעת העיור בגוש דן על המשקעים

השוואת נורמלים של גשם

הבדיקה הראשונה של השתנות ממוצעי הגשם הרב-שנתיים נעשתה על-ידי ביתן,<sup>17</sup> אשר השווה נורמלים (ממוצעים רב-שנתיים ל-30 שנה) של גשמי תל-אביב (תחנת הקריה, שרונה לשעבר) עם אלה של ירושלים. חלוקה לשתי התקופות הבין-לאומיות 1901-1930 ו-1931-1960, הראתה כי בעת שבתקופה הראשונה כמות גשמי ירושלים היתה גבוהה מזו של תל-אביב ב-4.8% הרי שבתקופה השנייה עלה הממוצע של תל-אביב (נתוני תחנת הקריה) ביחס לזה של ירושלים ב-14.6%.

מבדיקה סטטיסטית שערך כותב שורות אלו מסתבר, כי ההפרש בין שתי התחנות לשתי התקופות מובהק ברמת ביטחון של 95%.<sup>18</sup> השוואת נורמלים תקינים נעשתה גם על-ידי אלבשן<sup>19</sup> בעזרת מפות גשם לשתי התקופות הללו לאיזור מישור החוף המרכזי. השוואתו של אלבשן הראתה, כי באיזור כפר-סבא היתה עליה של 28% בכמות הגשמים בתקופה התקינה השנייה לעומת הראשונה. איזור כפר-סבא נמצא צפונית-מזרחית מתל-אביב, כלומר במורד הרוח של תל-אביב.<sup>20</sup> ממצא זה מתאים למצוי בספרות העוסקת בהשפעת העיור על המשקעים, המציינת על-פירוב, כי ההשפעה העירונית על כמיות הגשם מתבטאת על פני העיר או במורד הרוח שלה. בבדיקה של נורמלים לשנים הנ"ל עבור 18 תחנות באיזור גוש דן הסביבה<sup>21</sup> מתברר, כי היתה עליה ב-7% בתקופה השנייה בהשוואה לראשונה בכל האיזור אולם ביחס לאותה תוספת הרי שבתחנות עירוניות ואלו שבמורד הרוח של הערים היתה עליה ב-2.5% ואילו באחרות היתה ירידה של 1.9% כשההפרש ביניהן מובהק ב-95%. הקושי העיקרי לגבי השוואת נורמלים לנתוני תחנות גשם בארץ הוא שסדרות רוב התחנות אינן מלאות ומתבססות על נתונים משחזרים בעזרת נתונים מתחנות סמוכות. באחדות מהתחנות שחזור הנתונים נעשה לתקופה 1930-1931 כולה.

כך וגאניק,<sup>22</sup> שניתחו חמש שנות גשם (1958-1963), לא מצאו כל השפעה עירונית על כמיות הגשם בערי גוש דן ובמורד הרוח שלהן, פרט לעליה קלה במספר ימי הגשם.<sup>23</sup> לעומת זאת מציינ אשבל,<sup>24</sup> כי מספר ימי הגשם לא גדל אולם עוצמות הגשם נשתנו מאוד במיוחד בחודשים נובמבר ודצמבר.

עובדת הגידול בעוצמות הגשם בתל-אביב עשויה לקבל חיזוק מניתוח נתונים של רושמי גשם. מתברר שעוצמות גשם גבוהות השכיחות ביותר במישור החוף גבוהות במיוחד בתל-אביב (תחנת רידינג).<sup>25</sup> בטבלה 1 מופיעים אחוזי המקרים בהם העוצמה השנתית היתה גבוהה מכל נתון. נתונים אלה, המתייחסים לשנים 1965-1974, מוסיפים למכלול עובדות המצביעות על האפשרות של השפעת העיור על כמיות ועוצמות הגשם. 1965-1974

Table 1: Percentage of rain amount above a certain intensity  
טבלה מס' 1: אחוזי כמות הגשם, שירדה מעל לעוצמה מסוימת בכל השנה.<sup>24</sup>

											mm/h	מ"מ לשעה	station
120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	מעל 10	תחנה	
											above		
0.9	1.6	1.9	2.5	3.0	4.2	6.2	9.0	14.5	23.2	36.2	54.9	ת"א (רידינג)	
1.8	1.0	1.4	1.9	2.4	3.7	5.0	7.7	10.8	18.0	28.2	49.0	נהריה	
0.6	1.0	1.4	1.8	3.0	4.4	6.1	8.7	13.7	19.7	31.1	49.6	עין החורש	
0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.8	2.1	2.9	5.5	11.4	21.2	41.6	דורות	
1.0	1.0	1.2	1.2	2.2	2.5	3.4	4.9	7.8	13.5	22.8	44.7	בארי	

Based on H. Yekutieli: "The statistical and spacial distribution of rain intensities in Israel. An M.A. thesis Hebrew University 1973"

ניתוח מפת השאריות

הקושי בהצגת השפעת העיור על התפוצה המרחבית של ממוצעי הגשם לחקופה אחת (לשנה או לפרק גשם בודד) הוא בבידודו של הגורם העירוני מגורמים מרחביים אחרים כמו הטופוגרפיה והמרחק מן הים. בעשור האחרון פורסמו שלושה מחקרים במטרה לנסח סטטיסטית את הקשר בין

כמות המשקעים השנתית בתחנות השונות לבין משתנים מרחביים. המשוותף לכל שלושת המחקרים הוא:

- בשיטת המחקר — השימוש ברגסיה מרובה.<sup>27</sup>
- המשתנה התלוי הוא ממוצע גשם תקני (נורמלי) לשנים 1931—1960.<sup>28</sup> הקושי העיקרי בשיטה זו הוא כיצד להעריך את האזורים החסויים מגשם, כמו שקע הירדן. גם המדד של המרחק מן הים קשה להגדרה חד-משמעית. קושי לא מבוטל קיים בעובדה שהקשרים בין המשתנים אינם תמיד ליניאריים.

דיסקין<sup>29</sup> פתר את מרבית הבעיות בכך שחילק את הארץ לשני חלקים, צפון דרום, ומצא כי בצפון הארץ גורמי ההצפנה, המרחק מן הים (קו אורך) והגובה המחולט מובהקים ברמת ביטחון של 91% בעוד שבדרום הארץ רק שני הראשונים מובהקים. מקדם המתאם המרובה עבור צפון הארץ הוא 0.88. רחנברג<sup>30</sup> התגבר על הקשיים הנ"ל בכך שהכניס שלושה משתנים נוספים והם: (1) השפעת המחסום ההררי. (2) שיפוע המדרון. (3) אינדקס לאזורים מיוחדים. משתנה קו הרוחב (השפעת ההצפנה) לא הופיע בצורה ליניארית אלא השורש הרבועי שלו. בצורה זו התקבלה נוסחה אחת עם מקדם מתאם גבוה ביותר (0.945). וולפסון<sup>31</sup> נקט בדרך שונה בכך שחילק את הארץ לעשרה אזורים וריגס כל איזור בנפרד, כשמקדמי המתאם נופלים בדרך כלל מהנוסחה האחידה של רחנברג. מסתבר כי ברוב האזורים רק משתנה אחד משפיע בצורה מובהקת על כמות המשקעים הרבי-שנתית הממוצעת. אין מקדמי המתאם שנחבלו גבוהים אולם וולפסון השתמש גם בתחנות שחלק מנתונין משוחזר.

הניסיון הראשון ליישם את שיטת הניתוח המרחבי של הגשם בעזרת רגרסיה מרובה לנושא אקלים העיר נעשה על-ידי רובינון<sup>32</sup> אשר השתמש בנוסחה של דיסקין<sup>33</sup> עבור צפון הארץ. משוואת הרגרסיה היא כדלקמן:

$$P = 0.311H - 288E + 211N + 3760 \dots (1)$$

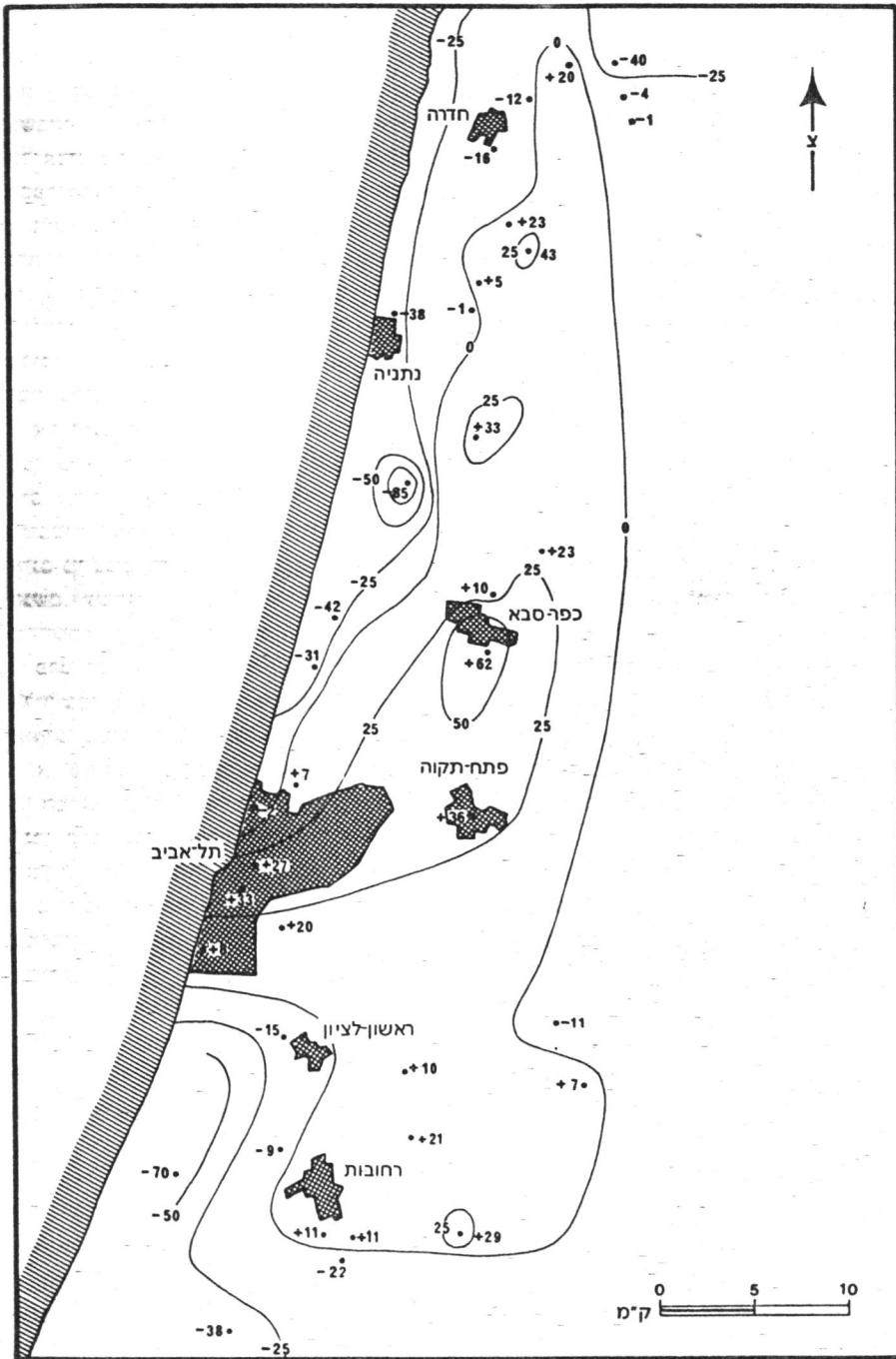
כאשר P — כמות המשקעים השנתית הממוצעת (במילימטרים).  
 H — הגובה הטופוגרפי (במטרים).  
 E — קו האורך (במעלות).  
 N — קו הרוחב (במעלות).

השאריות — ההפרש בין P מחושב לבין כמות המשקעים המדודה — מופו<sup>35</sup> ונמצא כי עבור איזור פתח-תקוה-כפר-סבא, הנמצא במורד הרוח של תל-אביב רבתי, הן עולות על 100 מ"מ. כלומר, לאחר ניפוי ההשפעות הגיאוגרפיות נותרו שאריות המגלות גורם נוסף הכולל בתוכו כנראה גם את השפעת העיר על תחומו ועל האיזור שבמורד הרוח שלו.

ציור 1<sup>36</sup> דומה לזה של רובינון אלא שהוא מבוסס על הצעתו של וולפסון. משוואת הרגרסיה חושבה על-פי 37 תחנות של מישור החוף המרכזי<sup>37</sup> בהן שנות המדידה היו לפחות 18 שנים. התקבלה משוואת רגרסיה שונה מעט מזו של וולפסון כיוון שוולפסון שינה במעט את תיחום האזורים ומאחר שהשתמשנו ברשת הקואורדינטות הישראלית במקום מדד המרחק מן הצפון. המשוואה היא:

$$P = 0.96N + 378 \dots (2)$$

מקדם המתאם הוא 0.59 (אצל וולפסון התקבל מקדם מתאם 0.64).  
 בדומה למפת רובינון גם בציור 1 מופיעות שאריות חיוביות לאורך טור גבעות הכורכר השלישי מהחוף, כשליד הים ובמרבית המזרחית המשקעים פחותים. אין זו השפעת הגובה המחולט או היחסי שלא נכנסו למשוואת הרגרסיה אלא כנראה שההשפעה של עליית גוש האוויר על היבשה ניכרת



ציור מס 1: מפת שאריות הגשם השנתי הממוצע (במ"מ) מהערכים המחושבים של משוואה 2.

Drawing no 1 - Map of the average annual rain remainings (mm) from the values of formula 2

Average Annual precipitation amount (mm)  
 P = 0.311H - 288E + 211N + 3760 ... (1)  
 H — Topographic height in degrees  
 E — longitude (in degrees)  
 N — latitude (in degrees)  
 P = 0.96N + 378 ... (2)



במרחק של כ-10 ק"מ מקו החוף. במלים אחרות, השפעת המרחק מן הים לא מתחילה כנראה בקו החוף. לא כן הדבר באיזור תל-אביב רבתי, שבו השאריות השליליות בקו החוף הופכות לחיוביות כשבתחנת הקריה בתל-אביב השארית היא 27 מ"מ, ובתחנת רחוב נחמני<sup>38</sup> 33 מ"מ. איזור תל-אביב מתחבר עם האיזור שבמורד הרוח של גוש דן לכיוון פתח-תקווה וכפר-סבא כשהשארית בכפר-סבא היא הגבוהה ביותר (62 מ"מ).

נעשה גם ניסיון להציג את השפעת המרחק מן הים על תפרוסת המשקעים בצורה לא ליניארית. נבחרה צורת היפרבולה הפוכה כששיאה הוא במרחק של 10 ק"מ מקו החוף. השאריות הוצגו על גרף כנגד המרחק מן הים, כשעליו מועלית ההיפרבולה ההפוכה, אולם הפיזור מסביב לקו ההיפרבולה היה רב. גם כאשר נלקחו רק 15 תחנות שעבורן לא נערך שחזור ערכים שנתיים חסרים, כלומר תחנות שפעלו לפחות 27 שנים, התמונה לא השתנתה, אם כי מקדם המתאם היה מעט יותר גבוה כתוצאה מהקטנת מספר דרגות החופש.

את חוסר המובהקות של השפעת המרחק מן הים בכל אזורי הארץ (פרט לאחד) מסביר וולפסון בכך שהאזורים קטנים מדי במקדיהם מכדי לאתר השפעה מעין זו. נראה לנו, כי השפעת המרחק מן הים כפי שתוארה בצורה הבלתי ליניארית מתבטאת בציור 1 למרות המספר הרב של סטיות הנובעות מאופיו של משתנה הגשם ושיטת המדידה. מדגמי כמיות-הגשם המתקבלים במד הגשם אינם מייצגים כהלכה את הסביבה. גם השפעות מיקרוטופוגרפיות, כמו מבנים ועצים בסביבת תחנת הגשם, עשויות לגרום לסטיה לשני הכיוונים. סטיות אלו הן לעתים גדולות מהסטיות כתוצאה מההשפעה הטופוגרפית או מהמרחק מן הים במישור החוף של ישראל.

פרט לכך שבציור 1 מתקשר איזור תל-אביב עם האיזור במורד הרוח שלו ובתל-אביב ניכרת עליה בכמות המשקעים (כפי שהדבר מובא בסעיפים הבאים) נראה לנו כי מפת השאריות כפי שהיא מופיעה בציור 1 עדיפה על מפת השאריות של רובינזון מהטעמים הבאים:

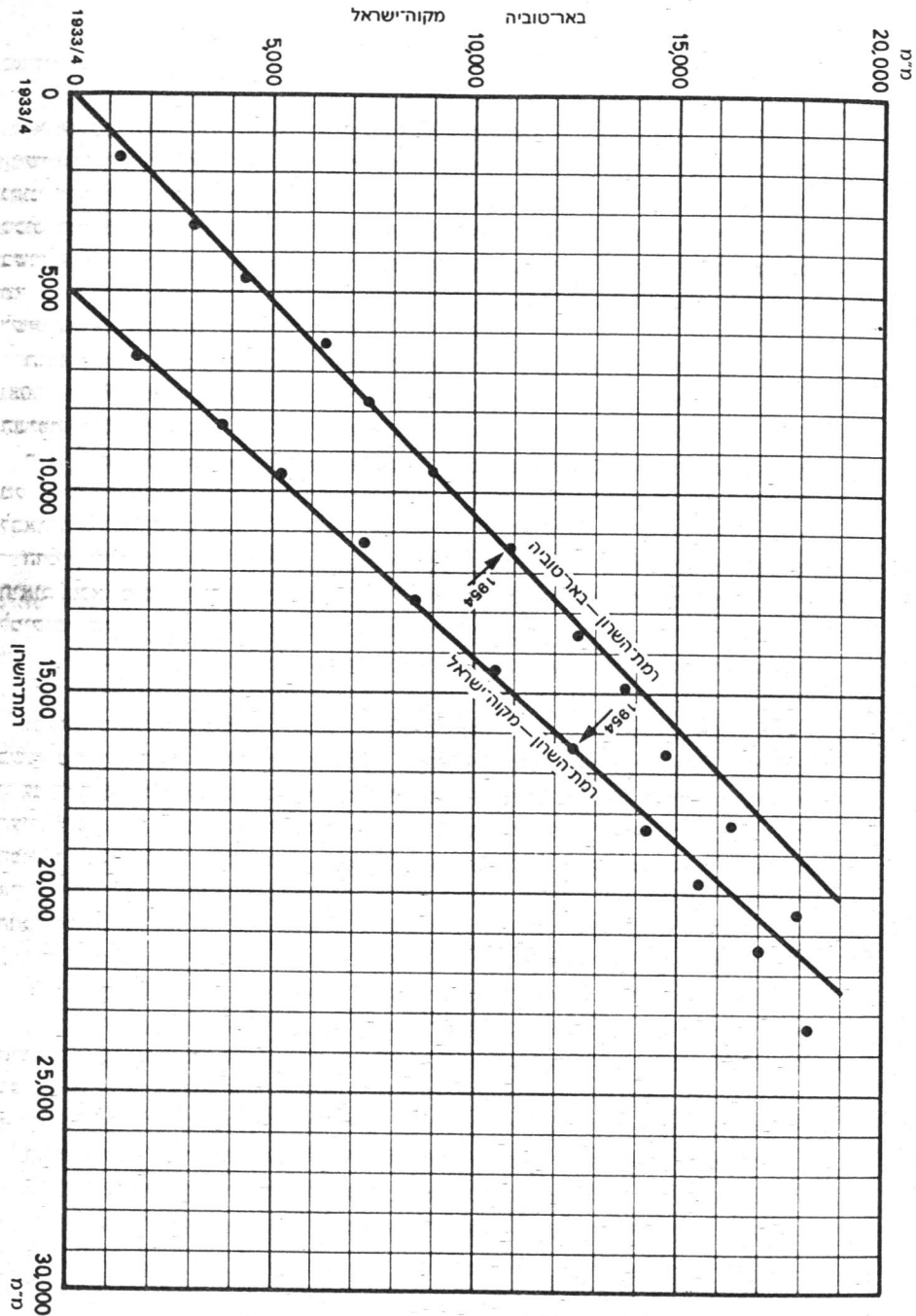
א. מאחר ש"משוואת דיסקין" מתייחסת לכל הארץ (בלי הנגב) ומישור החוף הוא רק חלק קטן מן המדגם לכן לא מפליא הדבר כי "מפת רובינזון" יש לרוב השטח שאריות חיוביות. לעומת זאת, לגבי תחנת רמת-השרון, שבה השפעת העיור נמצאה מְרִבִּית (ראה בפרק הבא), השארית במפת רובינזון היא שלילית. בציור 1 מופיעה אמנם רמת-השרון בשארית חיובית.

ב. מפת רובינזון לוקחת בחשבון גם את השפעת המרחק מן הים ואת הגובה למרות שכאמור במישור החוף אין משתנים אלה מובהקים כלל. מסיבה זו השארית של רמת-השרון היא כאמור שלילית.

ג. אמנם מקדם המתאם במשוואת דיסקין הוא גבוה יותר מאשר ב"משוואת וולפסון", אולם בגלל סטיית התקן הגדולה של המדגם הארצי, אומדן שגיאת התקן במדגם שלנו הוא  $\pm 31$  מ"מ, לעומת  $\pm 57$  מ"מ במשוואת הרגרסיה של דיסקין. הבדל זה מסביר גם מדוע משרע השאריות שבציור 1 קטן מזה של מפת רובינזון.

**מבחני מגמתיות**

כאמור, חסרונן של השיטות שהוצגו כאן לבדיקת השאריות ולהשוואת נורמלים משתי תקופות תקניות, נערץ בעובדה שחלק מהנתונים אינם מדודים אלא משחזורים. לעומת זאת, במבחני מגמתיות (trend tests) ניתן להימנע משימוש בנתונים אלה על-ידי כך שמשוים זוגות של תחנות רק לשנים בהן יש נתונים בשתי התחנות. במאמר הקודם<sup>39</sup> השתמשנו בעקרון מגמתיות של מן קנדל (Mann Kendall) המומלץ על-ידי הארגון המטאורולוגי הבינלאומי.<sup>40</sup> התוצאות הראו כי



ציור מס' 2: עקומות המצטבר הכפול לתחנת רמת-השרון כנגד מקוה-ישראל ובאר-טוביה (ציר ה-X הוסט ימינה עבור נתוני מקוה-ישראל).

Drawing no 2 - The double mass' curves for Ramat Hasharon in contrast to Mikveh-Israel and Beer Tuvia.

באיזור תל-אביב ובמורד הרוח של העיר ישנה עליה בכמויות הגשם לעומת תחנות גשם בלתי עירוניות. לדוגמה, ברמת-השרון נמצאה מגמת עליה כנגד כל 11 התחנות האחרות ונמצאה מובהקת (ב-95%) כנגד שש תחנות וקרובה למובהקת בשלוש נוספות.

שיטה אחרת להצגת מגמתיות היא שיטת המצטבר הכפול (double mass). בצירוף 2 מוצגים נתוני רמת-השרון כנגד נתוני באר-טוביה ומקוה-ישראל. על מנת לייצב את הקו, כל נקודה מצינת סכום מצטבר של שלוש שנים, החל בשנת הגשם 1933/4 ועד ל-1968/9. בשני הקווים נראה, כי בשנת 1954 חל המפנה, שהנקודות של הכמות המצטברת נוטות להתרחק מקו הממוצע עד לאותו תאריך. לבדיקת המובהקות של "השבירה" בוצית הקו המצטבר השתמשנו במבחן שונות חד-צדדי לשיפועים של הקטעים בני שלוש השנים של שתי התקופות.<sup>41</sup>

תוצאות הבדיקה מורות, כי בצמד רמת-השרון—באר-טוביה השתנות השיפוע קרובה למובהקת ( $F = 4.08$ , לעומת  $F(95\%) = 4.96$ ), בעוד שבצמד רמת-השרון—מקוה-ישראל השתנות השיפוע מובהקת ( $F = 7.57$ ).

תוצאות אלו דומות לאלו שהתקבלו במבחן מן קנדל. רמת-השרון עלתה בכמות הגשם לעומת מקוה-ישראל בצורה מובהקת (1.56, כשהגבול ברמת ביטחון מקודדת של 95% הוא 1), וביחס לבאר-טוביה היתה רק קרובה לכך (0.91).

הדמיון הרב שבין שתי השיטות הללו אינו מקרי, אולם כדאי לזכור כי אין זה הכרחי שיהיה תיאום מלא, מאחר שיש הבדל עקרוני בין שני המבחנים. בעוד שבמבחן המגמתיות יש משמעות למיקומה של כל שנת גשם בתוך סדרת השנים, הרי שבמבחן השונות, הבודק את המצטבר הכפול, מיקום השיפוע של כל קטע של שלוש שנים בתוך הקבוצה (לפני או אחרי התפנית) אינו חשוב כל עיקר.

למעשה משתמשים בשיטת המצטבר הכפול לבדיקת הומוגניות של קדרות גשם כאשר ידוע, כי בשנה מסוימת שונתה ההצבה של מד-הגשם, הוחלף המכשיר וכדומה. ניתן אמנם להשתמש בשיטה זו גם לקביעת מגמתיות כאשר נקודת התפנית נקבעת בדיעבד. לדוגמה, נמצא כי השפעת האיזור העירוני של בומביי על הגברת המשקעים במורד הרוח של העיר<sup>42</sup> החלה בשנת 1941 עם התחלת הפיתוח המואץ של התעשייה בעיר. לגבי גוש דן קשה לקבוע מדוע שנת 1954 היא שנת תפנית, אולם ניתן לייחס את התפנית לתנופת הבניה באיזור, הקשורה עם גל העליה בראשית שנות החמישים.

### הסיבה לריבוי משקעים בגוש דן

- תוצאות דומות לאלו שהוצגו בעברתו זו, עליה בכמות המשקעים, נתקבלו בערים רבות. תופעת גידול כמות הגשם בערים ובמורד הרוח שלהן, קשורה כנראה בארבעה גורמים:
- זיהום האוויר הרב באזורים העירוניים כשחלקיקי הזיהום עשויים לשמש כנבטי התעבות או כנבטי קיפאון (בדומה לשיטות להגברת הגשם).
  - אי החום העירוני מגביר את אי היציבות.
  - הטופוגרפיה המיוחדת של המבנים בעיר עשויה לצרבל את האוויר וכך להגדיל את הקונוקציה בעת הגשם.
  - לחות האוויר המוחלטת בעיר, גבוהה כמעט מוז שמחרץ לעיר.
- אין כיום הסכמה בין החוקרים מהו, מבין הארבעה, הגורם הדומיננטי. קשה להניח כי תוספת הלחות הקטנה המצויה בעיר משפיעה באופן משמעותי. בשנים האחרונות קיימת נטיה למעבר

מדגש על זיהום אוויר לשני הגורמים המגבירים את אי יציבות האוויר. הדבר בולט במיוחד במציאת הוכחות לריבוי משקעים באזורים עירוניים דווקא בחודשי הקיץ, כאשר מרובים המשקעים הקונוקטיביים.

קיימת אפשרות לקשור את ריבוי המשקעים בגורמים המגבירים את הקונוקציה בעובדה שקיימת עליה בכמות הגשם בחודשי הסתיו בתל-אביב בשנים האחרונות. השוואת כמות הגשם הממוצעת לחודש נובמבר מתוך הסך השנתי (אזומר), מראה כי ב-1931—1960 בהשוואה לשנים 1901—1930 גדלה הכמות ב-4.6%<sup>43</sup> בתל-אביב (בקריה) בקירוב. גידול דומה, אם כי קטן מזה, חל גם בישובים שאינם עירוניים. הרעיון לבדוק את השתנות האזומר של חודש נובמבר נולד מניתוח התהליך השנתי של כמויות הגשם החדשיות בישראל, בעזרת אנליזה הרמונית, המראה כי תל-אביב מקדימה ומגיעה למחצית כמות המשקעים השנתית שלה בתחילת ינואר, בעוד שבתחנות ההר, אמצע העונה הוא במחצית השנייה של ינואר. גם בהשוואה לתחנות שכקרבתה חורגת תל-אביב ומקדימה במספר ימים.<sup>44</sup> אם נשווה את נתוני תל-אביב הקריה<sup>45</sup> עם נתוני שרונה<sup>46</sup> (טבלה 2), ניווכח כי בשנים האחרונות החדש הגשום ביותר נדד מינואר לדצמבר.

טבלה מס' 2: כמות המשקעים החדשית הממוצעת בתל-אביב הקריה (שרונה) במ"מ

rel-Aviv

שנים	ספטמבר	אוקטובר	נובמבר	דצמבר	ינואר	פברואר	מרס	אפריל	מאי	סך הכל
	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Total
1880 - 1889	1	17	84	137	145	92	37	27	7	547
1901 - 1917	3	37	60	128	144	75	50	21	2	520
1931 - 1960	2	20	98	158	138	80	50	16	3	565

העובדה כי שנות השמונים של המאה הקודמת היו יותר גשומות מהבאות אחריהן נמצאה גם במקומות אחרים בארץ. גם אם נבדוק את תאריך שיא עונת הגשם (פסגת גל הסינוס של ההרמוניה הראשונה) ניווכח כי בתל-אביב (הקריה-שרונה), התאריך מקדים בשישה ימים בממוצע לתקופה 1931—1960 לעומת התקופה 1901—1930, בעוד שרק שלושה ימים בנס-ציונה ובבאר-טוביה.<sup>47</sup> גם כאן לא הסתמכנו על ממוצעים רב-שנתיים הכוללים גם ערכים משוחררים, אלא בדקנו את מגמתיות התופעה בשיטת מן קנדל. כאשר נבחנו תאריכי אמצע עונת הגשם בתל-אביב (הקריה) ובפתח-תקה לעומת נס-ציונה, ראשון-לציון ובאר-טוביה נמצא, כי קיימת הקדמת התאריך בתל-אביב ובפתח-תקה, לעומת המקומות האחרים. אולם רק בהשוואה לנתוני נס-ציונה נתוני תל-אביב מובהקים (ב-95%), ונתוני פתח-תקה קרובים לכך.<sup>48</sup>

אם אכן קיימת הקדמה בעונתיות המשקעים, כלומר שמשקל גשמי הסתיו נמצא בעליה לעומת תחנות נעדרות השפעה עירונית, יתכן שעובדה זו מורה על הסיבה לעליה בכמות המשקעים. ריבוי המשקעים בחודשי הסתיו, שבהם מרובים המשקעים הקשורים בתנאי אי-יציבות אטמוספירית, מצביע על האפשרות ששני הגורמים הקשורים בתהליך זה הם אי החום העירוני וה"טופוגרפיה העירונית". זיהום האוויר, הנמצא אמנם בעליה מתחדת באיזור, לא יכול להיות הגורם העיקרי מאחר שהוא קיים במשך כל עונת הגשם ולא רק בסתיו.



- A. Manes, Y. Goldreich, M. Rindsberger, D. Guetta, "Inadvertant Modification of the Solar Radiation Climate at Bet-Dagan", in: Y. Goldreich and A. Manes, *Urban Effects on Local Climate at the Greater Tel-Aviv Area* (Bet-Dagan, 1975) Part I. A. Manes, Y. Goldreich, M. Rindsberger, "Global Radiation Measurement Reveal Long-Term Trends in Urban Air Pollution, *Proc. IPC IV & RPC III* 1975.
- 10 Y. Goldreich, "Computation of the Magnitude of Johannesburg Heat-Island", *Notos*, 19, 1970, pp. 95 - 106.
- 11 ד' אלבשן, "בעיות בחקר אקלימה העירוני של תל-אביב", *מטאורולוגיה בישראל*, 3, חשכ"ו, עמ' 88-99.
- 12 שם, עמ' 95.
- 13 A. Manes and Y. Goldreich, *Urban Effects on Local Climate at the Greater Tel-Aviv Area*, Part 2, in preparation.
- 14 *Ibid.*
- 15 ב' רביב, ר' רביב, השימוש בצילומי אינפרא-אדום כאמצעי לחישה מרחוק, המחלקה לגיאוגרפיה אוניברסיטת בר-אילן, 1977 (בכתב-יד).
- 16 A. Manes and Y. Goldreich, *op. cit.*
- 17 A. Bitan-Buttenwiesser, "Comparison of Sixty Years' Rainfall between Jerusalem and Tel-Aviv", *I.E.J.* 13, 1963, pp. 242 - 246.
- 18 במכתבן 1, 29 דרגות חופש וסטיות תקן שוות ל-169 ± מ"מ, שהיא סטיית התקן של סדרת תל-אביב לשנים 1960 - 1931.
- 19 ד' אלבשן, "שינויים בממוצע הכמות השנתית של גשם", *מטאורולוגיה בישראל*, 2, חשכ"ה, עמ' 42 - 43.
- 20 כיוון הרוח השכיח בעת ירידת גשם בתל-אביב הוא דרום-מערבי, לכן האזור שמצפון-מזרח לעיר נמצא ב"מורד הרוח" (Leeward).
- 21 Y. Goldreich and A. Manes, "Urban Effect on Precipitation Pattern of the Greater Tel-Aviv Area" in: Y. Goldreich and A. Manes, *op. cit.*
- 22 E.J. Katz and A. Gagin, "Evaluation of Convection Theory for the Inducement of Rain in Israel", Dept. of Meteor., Hebrew University (Jerusalem, 1964), Typescript.
- 23 יום גשם מוגדר כיום שבו כמות המשקעים היתה לפחות 0.1 מ"מ בין שעה 0800 (לפי השעון המקומי) ביום מסויים לבין שעה 0800 ביום המחרת.
- 24 ד' אשבל, אקלימה של תל-אביב—יפו, האוניברסיטה העברית, 1969, מופיע גם בקובץ מאמרים של המחבר: תנאי אקלימה של תל-אביב רבתי (ירושלים, ללא תאריך).
- 25 ח' קותיאל, הפרוס הסטטיסטי והמרחבי של עוצמות גשם בארץ-ישראל, עבודת מסטר, האוניברסיטה העברית (ירושלים, 1978).
- 26 שם, עמ' 45.
- 27 Multiple Linear Regression.
- 28 ד' אלבשן, "ממוצעים אקלימיים תקינים של כמות-גשם 1960 - 1931", רשימות מטאורולוגיות, סדרה א', 1967, 21.
- 29 M.H. Diskin, "Factors Affecting Variations of Mean Annal Rainfall in Israel", *Bull. Int. Ass. Sci. Hydrol.*, 15, 1970, pp. 41 - 49.
- 30 M. Rosenberg, "Hydrologie — Choix d'um Modèle régional Expliquant la Répartition des Précipitations Annals dans l'Espace en Fonction des Facteurs Climatiques et Topographiques", *C.R. Acad. Sc.* 268, 1969, pp. 2761 - 2764.
- 31 N. Wolfson, "Topographical Effects on Standard Normal of Rainfall over Israel", *Weather*, 30, 1975, pp. 138 - 144.
- 32 י' רובינוב, "מיפוי שאריות כאמצעי לאבחון השפעת העיר על גשמים", *מטאורולוגיה בישראל*, 14, חשכ"ח, עמ' 83 - 85.
- 33 Diskin, *op. cit.*
- 34 דיסקין מצא כי השימוש במדד קו אורך במקום במרחק מן הים אינו משנה את טיב התוצאות (במכתב לכותב שורות אלו).

## סיכום

ערי גוש דן אינן האזור האידיאלי לחקר אקלים העיר. הקרבה לים חוסר תחנות בעלות תצפיות לזמן ארוך ורצוף, מקשים מאוד על ניתוח הנתונים האקלימיים. למעשה לא קיימת היום בתל-אביב אף לא תחנה אחת (!) אשר פעלה במשך יותר מעשרים שנה באותו מקום וללא הפסקה. הדבר נובע לא רק מקשיים תצפיתיים של הפעלת רשת התחנות אלא גם מתהליכי העירור המואצים ומשינויים תכופים בשימושי הקרקע באזורים השונים של העיר. גם תחנות אקלימיות מחוץ לעיר אינן ברזכות במשך ארוך ורצוף. נוסף לכך את העובדה שהחל בראשית שנות השישים החלה סדרה של נסיונות תכופים לזריעת עננים לשם הגברת הגשם, העשירים לשנות את הפרוס המרחבי של הגשמים באזור. יחד עם זאת, נראה לנו, כי בעזרת השיטות הסטטיסטיות המגוונות שהובאו בעבודות קודמות ומאלו שהוצגו לראשונה בחיבור זה, ניתן למצוא השפעה עירונית על אקלים המקום בתל-אביב רבתי ובמורד הרוח שלה. קיים כנראה אי חום הבולט במיוחד בלילות אינוורסיה שקטים ונעדר עננות במיוחד באביב בעת שהים קר מן היבשה. במשך שלושה עשורים עלתה כמות המשקעים ב-5%—17%, בהשוואה לתחנות שאינן עירוניות מובהקות. הגורם התורם במיוחד להגברת הגשם ולשינויי המהלך השנתי של עונת הגשם בתל-אביב הוא כנראה אי-החום בתוספת הגורם הטופוגרפי העירוני, אולם בעוד משקלם היחסי של הגורמים התורמים להגברת הגשם עדיין לא ברור כל צרכו, הרי שלדעתנו יש מקום להוסיף את הגורם האורבני כגורם חמישי לארבעת הגורמים המשפיעים על תפוסת הגשמים בארץ (הצפנה, גובה, מרחק מן הים ואזורים חסויים מגשם). אם נניח שתוספת המשקעים השנתית הממוצעת באזור היא 50 מ"מ (כ-10%), הרי שהיא שוות-ערך לכ-25 ק"מ הצפנה. מאחר שתהליכי העירור לא פסקו באזור תל-אביב רבתי, יש להניח כי נתוני התקופה הבין-לאומית הבאה (1961—1990), יראו על גידול ההשפעה העירונית על הקדדים שנדונו בעבודה זאת.

## הערות ומקורות

- 1 על אקלים העיר ראה: י' גולדרייך, "אקלים העיר", *מדע*, י"ט, חשכ"ה, עמ' 298—302.
- 2 רק לשש הערים: תל-אביב, רמת-גן, חולון, בת-ים, גבעתיים ובני-ברק. השנתן הסטטיסטי לישראל, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (ירושלים, חשכ"ט).
- 3 המדידות בשכונת הטמפלרים שרונה (הקריה כיום), החלו עוד בסוף המאה הקודמת מטעם הקרן הבריטית לחקירת ארץ-ישראל (Palestine Exploration Fund — P.E.F.) ופורסמו ב: J. Glaisher, "Zum Klima Von Saroná bei Jaffa", *Meteor. Zeitschr.*, 1893, S. 259.
- 4 א' ברוך (רוזנשטיין), האקלים של יפו — תל-אביב — שרונה (תל-אביב, חרפ"ב). א' ברוך, האקלים של תל-אביב (תל-אביב, חרפ"ה). א' ברוך, "אקלימה של תל-אביב", *ספר תל-אביב*, בעריכת א' דריונוב (תל-אביב, חרפ"ו), עמ' 411—434.
- 5 "כצלוסוק", קורס מיוחדים באקלימה של תל-אביב—יפו, ידיעות החברה לחקירת ארץ-ישראל ועתיקותיה, כ"ד, 1960, עמ' 166 - 169. (יצא לאור גם בכתבים מטאורולוגיים, השירות המטאורולוגי, סדרה ה', 12).
- 6 M. Rindsberger, "Analysis of Mixing Depth over Tel-Aviv", *Isr. J. Earth Sci.*, 23, 1974, pp. 13—18.
- 7 מ' רינדסברגר, "אספקטים מטאורולוגיים של זיהום אוויר פוטנציאלי באזור תל-אביב רבתי", כתבים מטאורולוגיים, השירות המטאורולוגי, סדרה ה', 16. (בית-דגן, 1975). ש' יפה, "תנאים סינופטיים הגורמים לזיהום אוויר פוטנציאלי באזור תל-אביב רבתי", נוספים, 2, חשכ"ו, עמ' 19—2.
- 8 פרסומים של א' דונגי, א' גנור ואחרים, משרד הבריאות.

- 35 רובינות, שם.  
 Y. Goldreich, The Urban Effect as an Additional Factor Determining Rainfall 36  
 Spatial Distribution in Israel. *Isr. Met. Res. Papers* 3, 1981, pp. 193 - 202.  
 37 לפי חלוקת השירות המטאורולוגי, ראה אלבשן, שם.  
 38 חנה שהפעיל ד"ר ברוך המנוח.  
 Y. Goldreich and A. Manes, *op.cit.* 39  
 W.M.O. "Climatic Changes", *WMO 195*, TP. 100, 1966. 40  
 L.L. Weiss and W.T. Wilson "Evaluation of Significance of Slope changes in Double-Mass Curves" *Tran. Amer. Geophys. Union*, 34, 1953, 41  
 pp. 893 - 896.  
 L.T. Kemani and Bh.V. Rama-Murty, "Rainfall Variation in an Urban Industrial 42  
 Region", *J.App. Meteor.*, 12, 1973, pp. 187 - 194.  
 Y. Goldreich and A. Manes, "Urban Effect on Precipitation Patterns in the 43  
 Greater Tel-Aviv Area", *Arch. Meteor. Geophys. Bioclim. Ser. B.*, 27, 1979, pp.  
 213 - 224.  
 Y. Goldreich, "The Harmonic Analysis of the Annual march of Rainfall over 44  
 Israel", *Isr. J. Earth Sci.* 25, 1976, pp. 133 - 137.  
 45 אלבשן, שם.  
 46 ברוך, חרס"ב, שם.  
 Goldreich and Manes *op. cit.* 47  
*Ibid.* 48  
 Goldreich Y. 1981 *op. cit.* גם ראה גם "משוואת דיסקין". ראה גם 49  
 לפי משוואה (1) —