



משרד התשתיות הלאומיות
המכון הגיאולוגי

זיהוי של מוקדי זיהום במתכות קורט באזור עמק זבולון בכלים גיאוכימיים

משה שירב-שורץ, שמעון אילני, לודביג הליץ, אולגה יפה





משרד התשתיות הלאומיות
המכון הגיאולוגי

זיהוי של מוקדי זיהום במתכות קורט באזור עמק זבולון בכלים גיאוכימיים

משה שירב-שורקן, שמעון אילני, לודביג הליץ, אולגה יפה

תקציר

סקרים גיאוכימיים שבהם נדגמו ונבדקו דוגמאות סחף נחלים, היוו נדבך חשוב בחיפוש אחר מחצבים החל מסוף שנות הששים של המאה הקודמת. בסוף שנות השמונים החלה להתברר חשיבותם של סקרים אלו גם בתחום הנרחב של מדעי הסביבה, כסמנים של זיהום אנתרופוגני וכאחד הכלים להסברת תחלואה בבני אדם, בחיות ובצומח. שיטת הדיגום הנקוטה בסקרים אלו ממצעת את התרומה הטבעית של הסלע והקרקע באגני הניקוז, ובאיזורים אורבניים – גם את אבק הרחוב ("street dust") הנשטף אל מערכות הניקוז הטבעיות והעירוניות. בכל סביבות הדיגום, תרומת האבק לסוגיו (סערות אבק ו-"Fugitive dust" – אבק מרחף ממקור בלתי ממוקד), כולל זיהומים הספוחים אליו, מהווה חלק מן הפרקציה הדקה של הקרקע המגיעה אל נקודת הדיגום.

באזור המשתרע מן המורדות הצפון מזרחיים של הכרמל ועד לכביש עכו-צפת בצפון ועד למורדות הרי הגליל התחתון המערבי נדגמו יותר מ-800 דוגמאות קרקע וגדות מערכות הניקוז המקומיות. בתחום העיר חיפה נדגמו כ-20 דוגמאות של אבק רחוב. כל אלו עברו אנליזה לשלושים יסודות קורט ויסודות ראשיים.

ניתוח מרחבי של תפוצת יסודות הקורט בדוגמאות מצביע על שלשה מוקדים נקודתיים עיקריים של ריכוזים חריגים המוסברים על ידי פעילות אנתרופוגנית: גדותיו של נחל גדורה, מקרית ביאליק ועד לקישון מזהמים בריכוזים גבוהים במיוחד של יסודות מתכתיים רבים שמקורם בתעשיות המגוונות השוכנות באזור. בסמיכות מיידית למפעל של קיבוץ אלונים נדגמו דוגמאות עשירות בכרום וביסודות אחרים. באזור שמדרום לנמל הקישון, כנראה בהקשר של פעולת פינוי בוצת הנחל, הקרקע מכילה ריכוזים חריגים של מספר יסודות, הבולט בהם אורניום. ריכוזים הגבוהים מן הרקע הטבעי של מספר יסודות קורט נמצאו באזור טבעון ובאזור המצוי מזרחית לקריית ביאליק וכפר מסריק, עובדה העשויה להעיד על שקיעה ארוכת שנים של אבק ופליטות תעשייתיות המועשרים ביסודות מתכתיים. ריכוזי הכספית (ויסודות נוספים) הגבוהים במידה משתנה מן הרקע הטבעי לאורך נחל גדורה ומזרח לכביש הקריות לכל אורכו מעידים גם הם על מגמה של זיהום שמקורו במקורות תעשייתיים.

אבק הרחוב מהווה מוקד לריכוז גבוה של יסודות קורט שמקורם בזיהום אנתרופוגני, ונחקר בשנים האחרונות בהרחבה בהקשר לבריאות הציבור. ריכוזים גבוהים של עופרת, אבץ, מוליבדן, אנטימון ונחושת נתגלו בדוגמאות אבק רחוב שנאספו בצמתים ובעורקי תחבורה ראשיים בחיפה. יסודות אלו מקורם ככל הנראה בתחבורה (פליטות ושחיקת צמיגים ומתכת) והריכוזים שנמדדו בדוגמאות דומים לאלו שדווחו מערים אחרות בעולם. הדוגמאות שנבדקו הכילו גם ריכוזים של פלטינה שמקורה בממירים הקטליטיים של מכוניות.

הנתונים שנאספו והמרוכזים במערכת מידע גיאוגרפית מהווים בסיס נתונים המאפשר לימוד מגמות השינויים הסביבתיים בשנים הבאות, נדבך בהבנת קשרים אפשריים לתחלואה וכלי עזר בידי הרשויות לביצוע פעילות ניקוי או אכיפה. הדיגום הראשוני של דוגמאות אבק רחוב בחיפה והריכוזים הגבוהים של מתכות שנמצאו בדוגמאות אמורים להסב את תשומת ליבן של הרשויות להיבטים הבריאותיים של הממצאים ולהמשך המחקר בתחום זה.

המחברים מודים למר יעקב רפאל שנשא בנטל הטכני של העבודה ולד"ר זאב לוי על הערותיו לנוסח הסופי של הדו"ח.

המחקר בוצע בהזמנת ובמימון המדען הראשי של המשרד להגנת הסביבה.

תוכן העניינים

תקציר

1	.....	מבוא
2	.....	שיטות המחקר
5	.....	הצגת הנתונים
26	.....	אנליזות בחברת "בקטוכם"
31	.....	אבק רחוב Street Dust
40	.....	סיכום
41	.....	ספרות מצוטטת

מבוא

סקרים גיאוכימיים של סחף נחלים שימשו כשיטה מקובלת בחיפוש אחר מחצבים החל משנות הששים של המאה הקודמת. עם התגברות המודעות הסביבתית החלה להתברר חשיבותם של סקרים אלו גם בתחום הנרחב של מדעי הסביבה, כסמנים של זיהום אנתרופוגני וכאחד הכלים להסברת תחלואה בבני אדם, בחיות ובצומח [1].

המכון הגיאולוגי ערך במשך כעשור (1987-1996) סקרים גיאוכימיים מסוג זה הן באזורים בהם היה סיכוי (מן ההיבט הגיאולוגי) לגלות תופעות מינרליזציה, והן באזורים אורבניים, במטרה לבחון האם ניתן לזהות באמצעות כלי זה תרומה אנתרופוגנית משמעותית למרקם הגיאוכימי של האזור. הסקרים התבססו על דגימת סחף נחלים בצפיפות של עד שתי דוגמאות לקמ"ר, ואנליזה של הפרקציה הדקה מ-150 מיקרון. האנליזה המלאה של הדוגמאות כללה מעל שלוש יסודות עיקריים (majors) וקורט (traces). שיטת הדיגום שנבחרה ממצעת את התרומה הטבעית של הסלע והקרקע באגני הניקוז, ובאזורים אורבניים – גם את אבק הרחוב ("street dust") הנשטף אל מערכות הניקוז הטבעיות והעירוניות. אבק הרחוב מהווה מוקד לריכוז גבוה של יסודות קורט שמקורם בזיהום אנתרופוגני [2], ונחקר בשנים האחרונות בהקשר לבריאות הציבור [3]. בכל סביבות הדיגום מהווה תרומת האבק לסוגיו (סערות אבק ו-"Fugitive dust" – אבק מרחף ממקור בלתי ממוקד), כולל זיהומים הספוחים אליו, חלק מן הפרקציה הדקה של הקרקע [4] המגיעה אל נקודת הדיגום.

באזורי הסקר אשר בהם נכללים מוקדים אורבניים ותעשייתיים גדולים (חיפה [5], ירושלים [6]), אזור הקריות, מורדות השומרון [7], אגן הקישון [8,9]), אפשר השימוש במערכת מידע גיאוגרפית והפעלת שיטות סטטיסטיות מסוג Principal Component Analysis; Factor Analysis; Cluster Analysis להגדיר את רמת הרקע הטבעי ולהבדיל בין תרומת יסודות קורט שמקורה במסלע הטבעי לבין תרומה אנתרופוגנית. בכל אחד מן האזורים הללו קיימת העשרה משמעותית ביסודות כגון קדמיום, עופרת, אבץ, אנטימון, כספית ובדיל מעבר לרקע ובלא קשר למקור טבעי, המוסברת כזיהום אנתרופוגני.

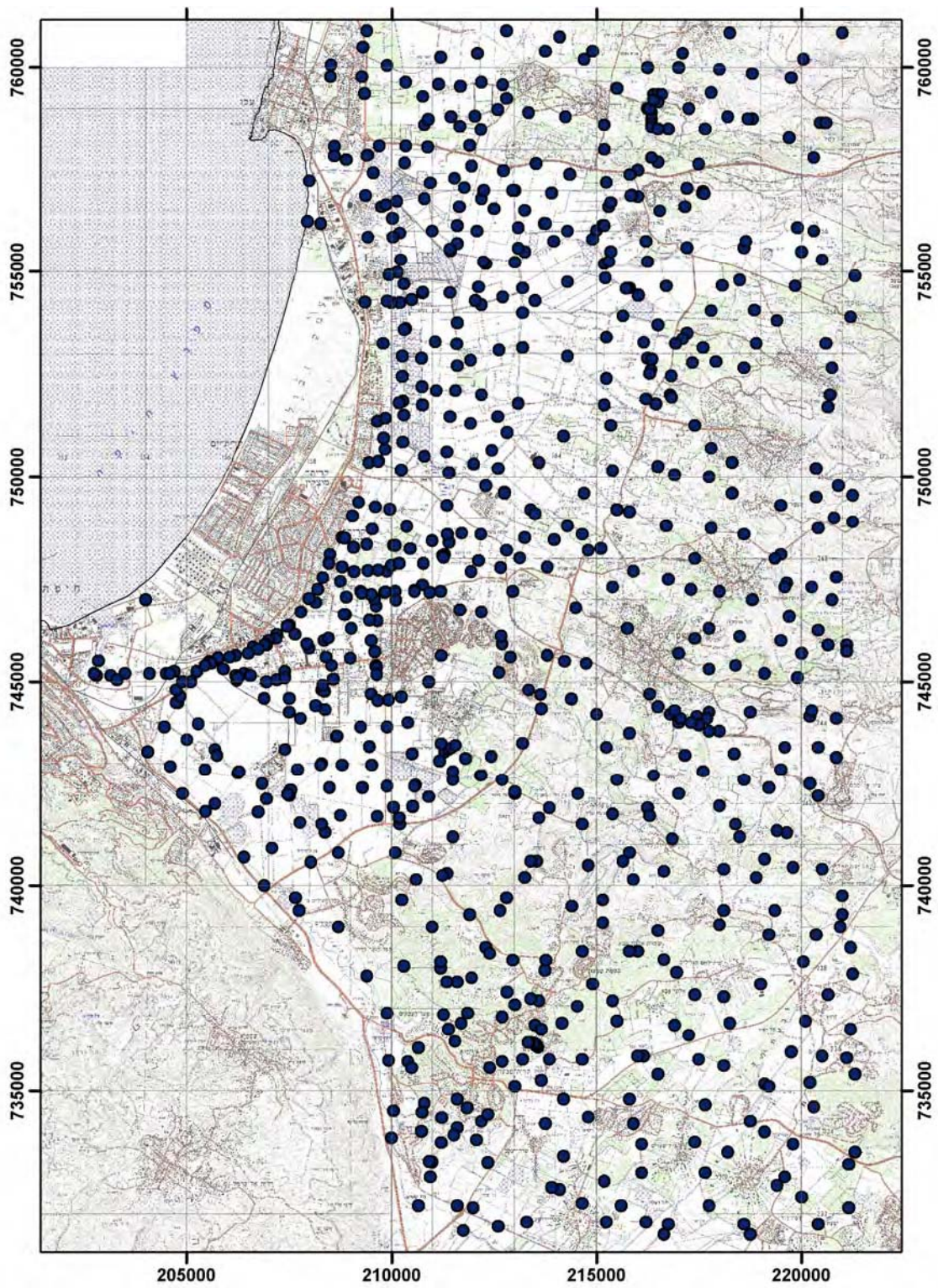
בסקרים שנערכו באזור הכולל את הגליל המערבי, נצרת והכרמל, נתגלו מספר מוקדים בהם ריכוזי מתכות הקורט מצביעים על זיהום אנתרופוגני. אזור זה הוא שנחקר במסגרת מחקר זה, בנסיון לאשש את הממצאים הראשוניים, זיהוי מקורות הזיהום והעמדת בסיס נתונים גיאוגרפי-גיאוכימי לרשות רשויות בריאות הסביבה לצורך העמקת הידע אודות זיהומים סביבתיים של מתכות והקשר האפשרי שלהם לתחלואה.

שיטות המחקר

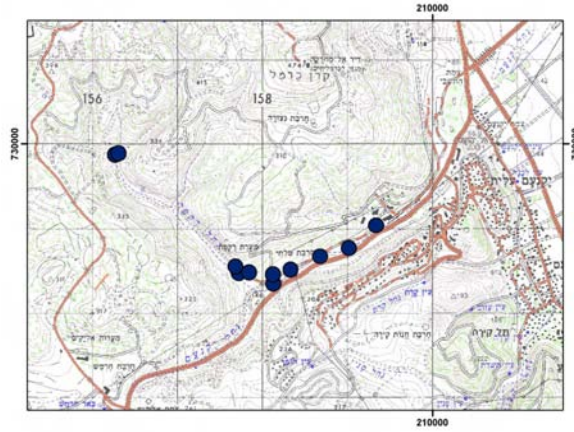
המחקר שבוצע במסגרת המכון הגיאולוגי בהזמנת ובמימון המדען הראשי של המשרד להגנת הסביבה, התרכז באזור שממזרח לקריות ומסביב לטבעון (ציור 1). בנוסף, על פי בקשת המשרד להגנת הסביבה, נדגמו באופן פרטני גם הנחלים המנקזים את איזור בית החרושת סולתם ביוקנעם (נחל רקפת, ציור 2), אזור התעשייה ציפורית (ציור 3) והאזור שמסביב למפעל של קיבוץ אלונים (ציור 4). שלבי המחקר היו כדלהלן:

- א. דיגום סחף נחלים מאגני הניקוז שנבחרו למחקר מפורט.
- ב. דיגום קרקעות באגני הניקוז – נדגמו קרקעות בקרבת פני השטח (5-10 הסנטימטרים העליונים). סך הכל נדגמו כ-800 מדגמים.
- ג. אנליזה של הדוגמאות לתכולת יסודות ראשיים ויסודות קורט, בהתאם לשיטות שנקטו בסקרים הקודמים (ראה בהמשך). בנוסף נבדקה גם תכולת הכספית.
- ד. אזור חיפה שימש כמודל ללימוד הרכב אבק רחוב (Street Dust) ותרומתו לרקע הגיאוכימי הסביבתי. אבק הרחוב נדגם בשיטה המתוארת על ידי Charlesworth et al. [2] ועל ידי McAlister et al. [3] – איסוף דוגמאות על ידי טאטוא שטח של כ-100 מ"ר כביש ומדרכה מאגני הניקוז הנסקרים. הדוגמאות נופו והפרקציה הקטנה מ-64 μ m נבדקה לתכולת יסודות קורט ופלטינה. יסודות השייכים לקבוצת הפלטינה החלו להופיע כגורם משמעותי בסביבות עירוניות עם הכנסת ממירים קטליטיים בכלי רכב מודרניים, והשפעתם על בריאות הציבור נחקרת בהרחבה בשנים האחרונות [10].
- ה. ניתוח התוצאות והעמדת בסיס נתונים ממוחשב לרשות המשרד להגנת הסביבה.

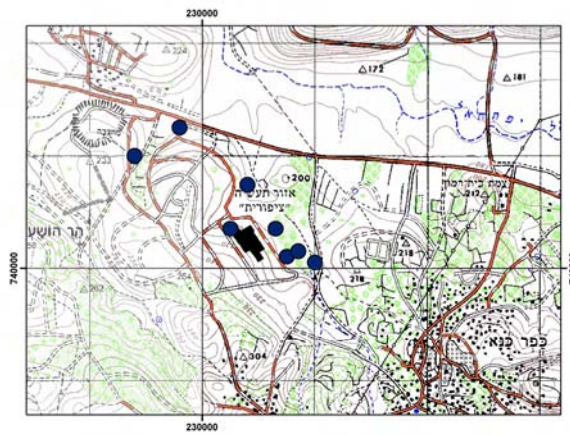
לצורך האנליזות לתכולת יסודות הקורט עורבבו 500 מ"ג מן הדוגמא עם 2 גר' של Na_2O_2 בתוך כורית זירקון וחוממו ל- 500°C למשך 40 דקות. אחרי קירור, מועבר הנתך לכלי פלסטיק עם מים מזוקקים בתוספת 20 מ"ל של HNO_3 ומעורבב עד להמסה שלמה. התמיסה מועברת לכלי מדידה (100 מ"ל) עם מים מזוקקים ו-HCl על מנת לקבל תמיסה צלולה. סקנדיום בריכוז של 5 ppm מוסף כסטנדרט פנימי. האנליזות בוצעו במכשיר ICP-AES תוך שימוש בסטנדרטים סינטטיים וטבעיים שלתכולת היסודות בהם קיים certificate value בינלאומי. לצורך השוואה, הועברו כ-60 דוגמאות למעבדות "בקטוכם" לאנליזה בשיטה הסטנדרטית המקובלת על המשרד לשמירת הסביבה בבדיקת קרקעות מזוהמות. התוצאות ומשמעותן לגבי ערכי סף של יסודות קורט בקרקעות [12] תנוחנה בהמשך.



ציור 1: מיקום נקודות הדגימה



ציור 2: מיקום הדגימות בנחל רקפת



ציור 3: מיקום הדגימות באזור "ציפורית"

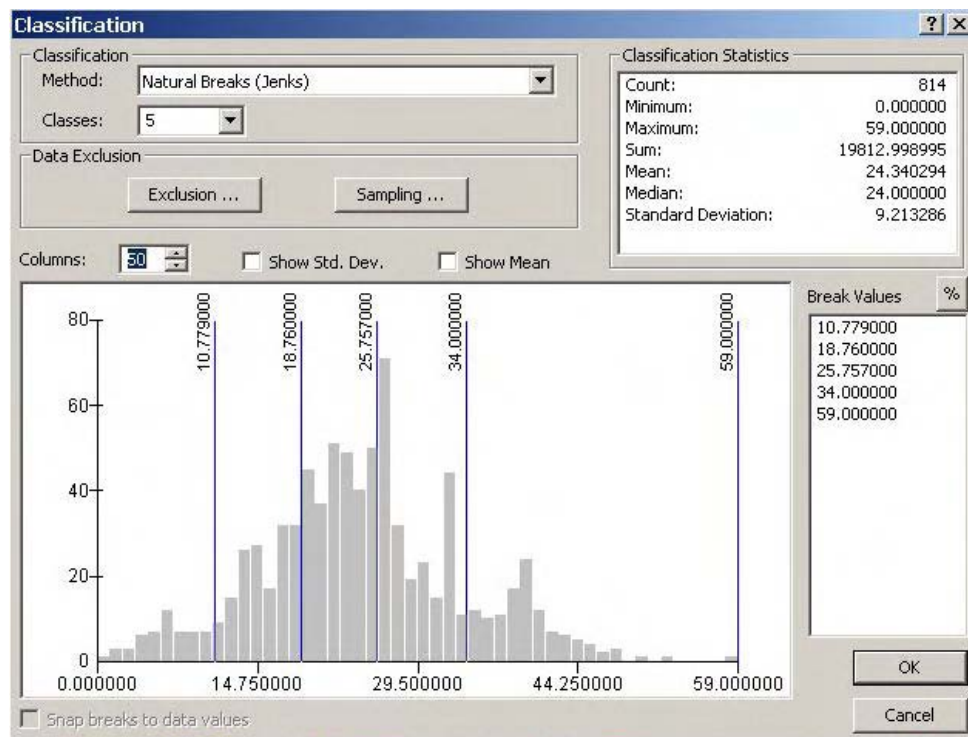


ציור 4: מיקום הדגימות באזור אלונים

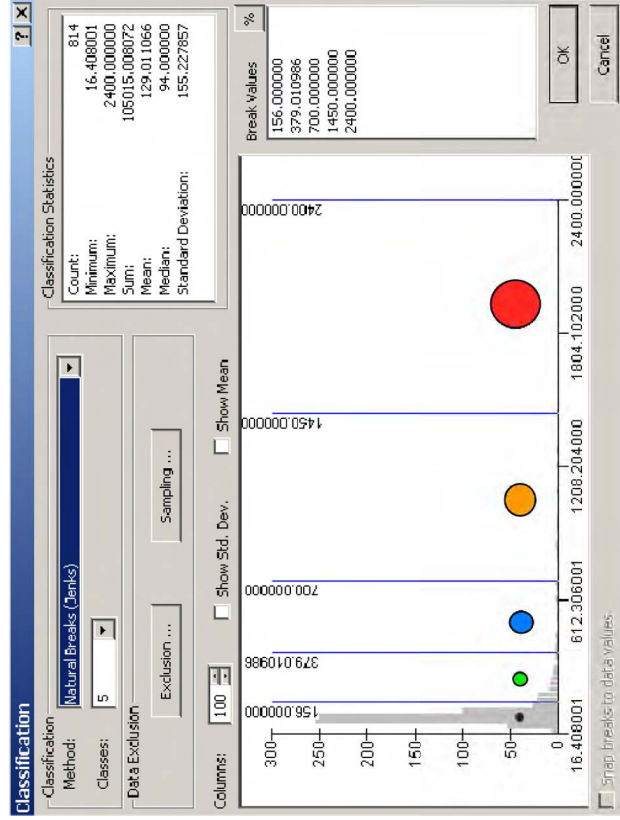
הצגת הנתונים

כל נתוני הדגימות – מיקום ותכולת יסודות ראשיים וקורט – הוזנו למערכת מידע גיאוגרפית (GIS) הנמצאת בשימוש במכון הגיאולוגי (ESRI ArcInfo). תצוגת ההתפלגות של ריכוזי היסודות במפות המופיעות בציורים 7 עד 22 מבוססת על שיטת ה- "מעברים טבעיים" (Natural Breaks) שפותחה ע"י Jenks, 1977 [11]. על פי שיטה זו מבוססת חלוקת הנתונים על קבוצות "טבעיות" אותן מזהה האלגוריתם במידע. הבחירה במעברים (breaks) בין הקבוצות מתבצעת בעזרת ניתוח פיזור הנתונים בהיסטוגרמה, והערכים מחולקים לקבוצות שגבולותיהן ממוקמים במקומות בהם מובחנות "קפיצות" חדות בין הערכים. על פי שיטה זו, מרחב הערכים בתוך כל אחת מן הקבוצות הינו יחסית המוגני, ואילו בין הקבוצות השונות הינה גדולה יותר. להלן מודגמת חלוקת נתוני שני יסודות: הקובלט, אשר על פי פיזור הנתונים ברור כי תכולתו בדוגמאות הינה טבעית, ללא תרומה אנתרופוגנית משמעותית (ציור 5) והאבץ (ציור 6) אשר דוגמאות המכילות כמויות גבוהות של אבץ והמיוצגות בחלקה הימני של ההיסטוגרמה מקורן באתרים בהם קיים מרכיב אנתרופוגני משמעותי.

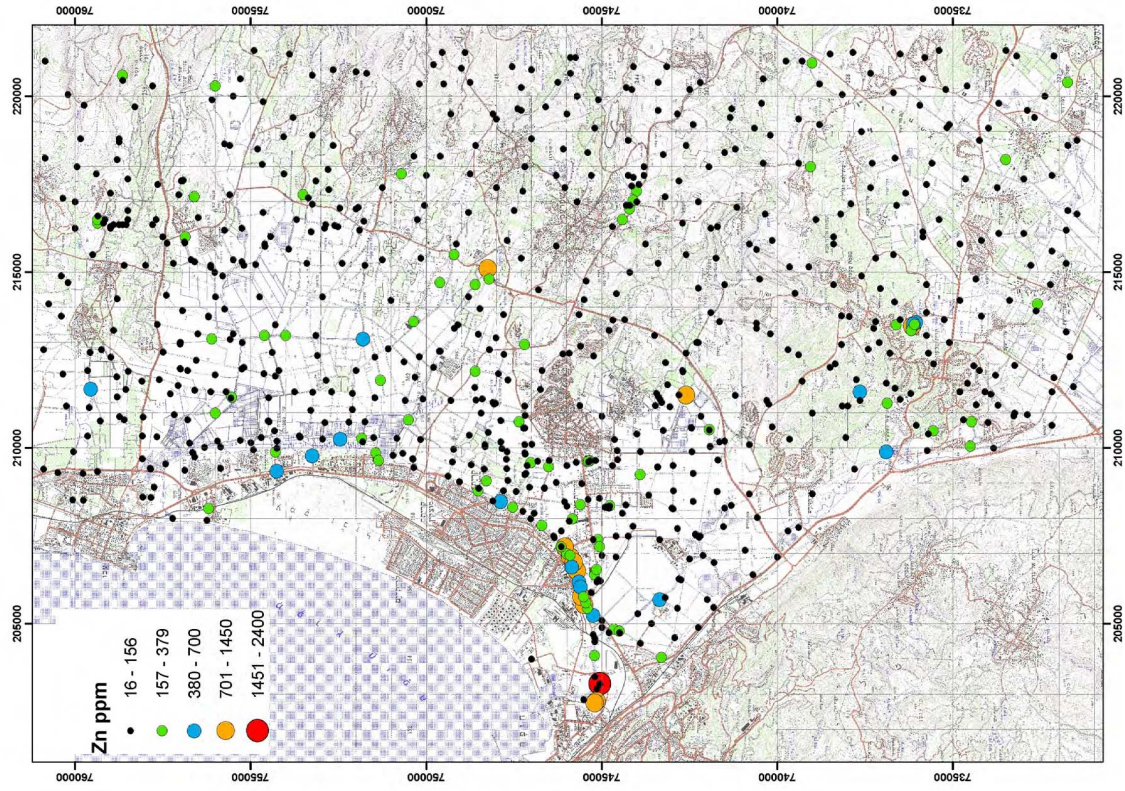
בציורים 7 עד 21 (עמודים 7-21) מוצגות מפות תפוצה של 15 יסודות. בציור מספר 22 (עמ' 22) מוצגים ריכוזי קדמיום, כרום ובדיל בקרבת המפעל של קיבוץ אלונים. זהו האתר היחיד מבין שלושה האתרים התעשייתיים שנתבקשו לדגום ע"י המדען הראשי של המשרד להגנת הסביבה בו נתגלו ריכוזים גבוהים של חלק ממתכות הקורט.

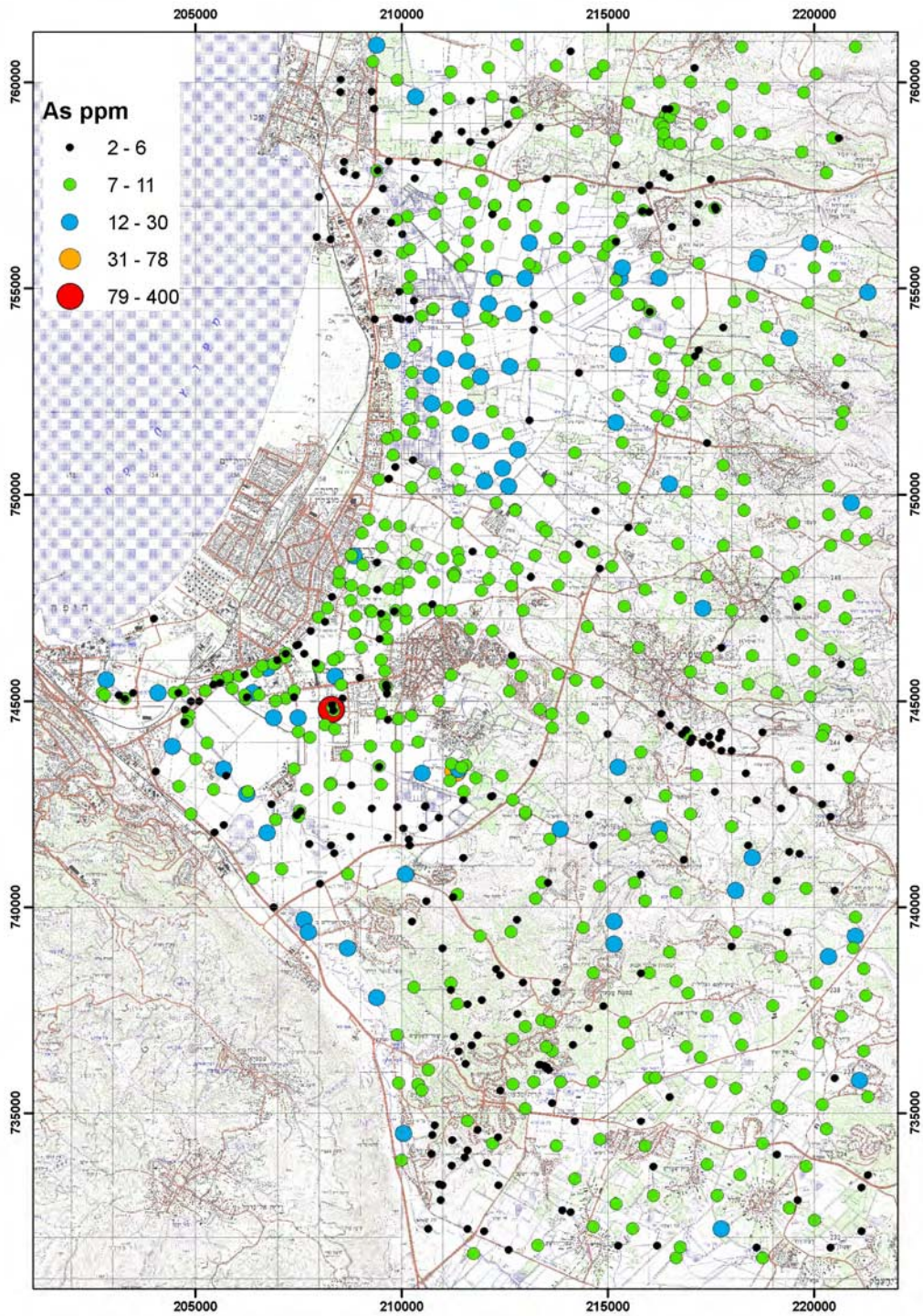


ציור 5: הדגמת חלוקת נתוני הקובלט לקבוצות בשיטת ה- Natural Breaks במערכת המ"ג.

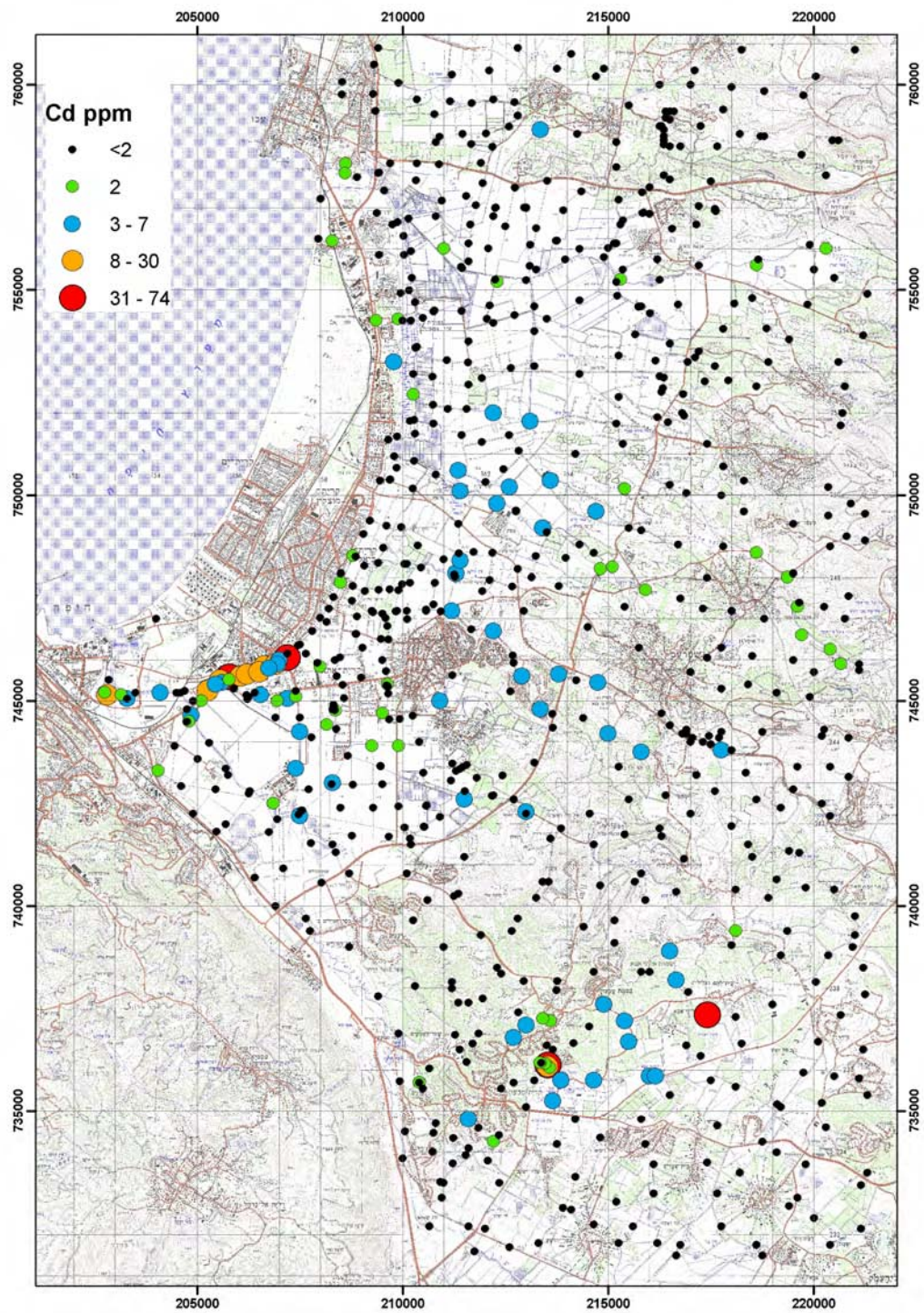


צור 6: חלוקת נתוני תכולת האבץ לקבוצות בשיטת ה- Natural Breaks, על רקע ההיסטוגרמה של הנתונים. לכל אחת מחמש הקבוצות הוסף הסימן הגרפי המופיע על מפת התפוצה משמאל. החלוקה מאפשרת זיהוי קל של נחוני הרקע הטבעי לעומת חריגים שמקורם בזיהום אנתרופוגני.

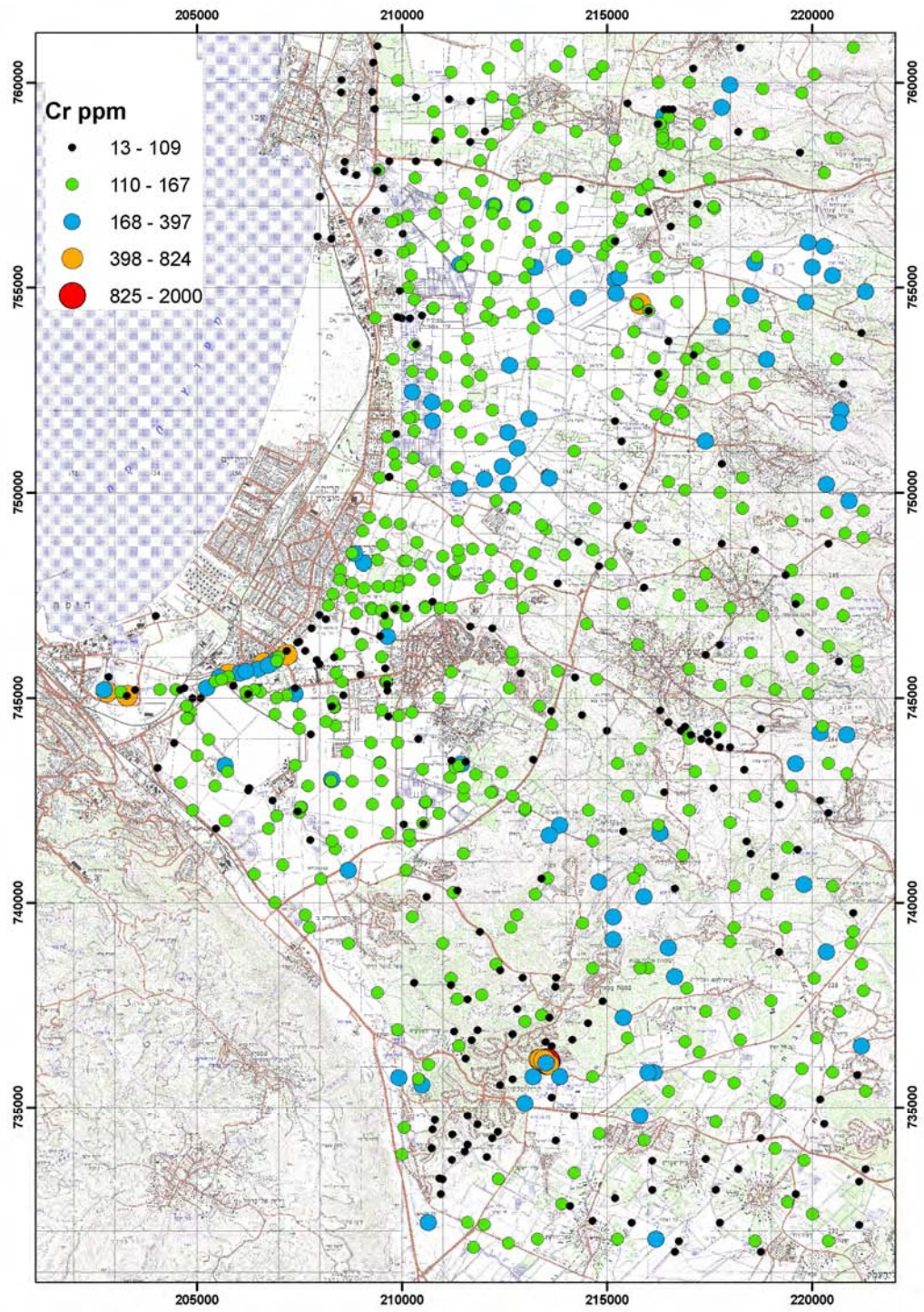




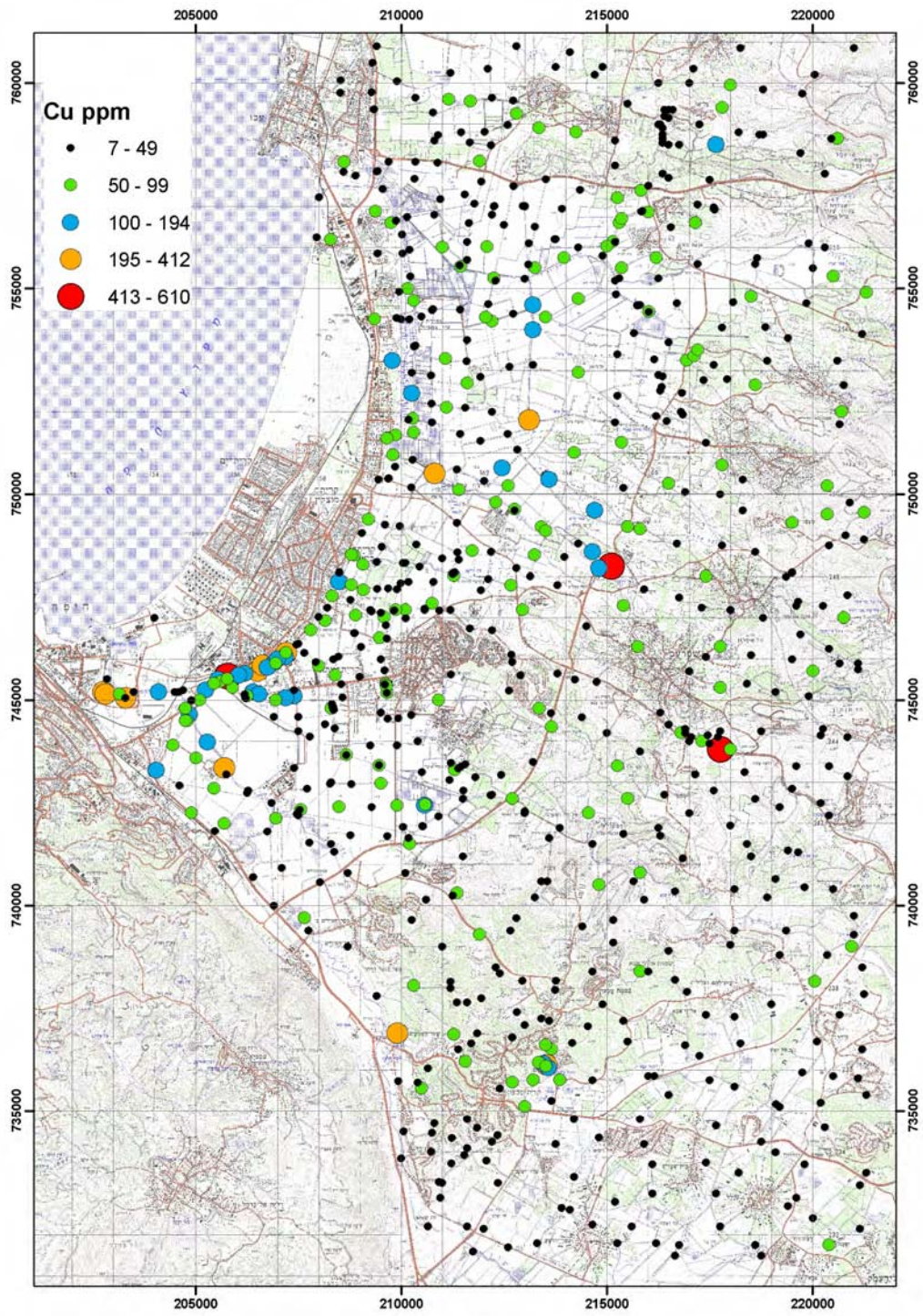
ציור 7: מפה של תפוצת ארסן.



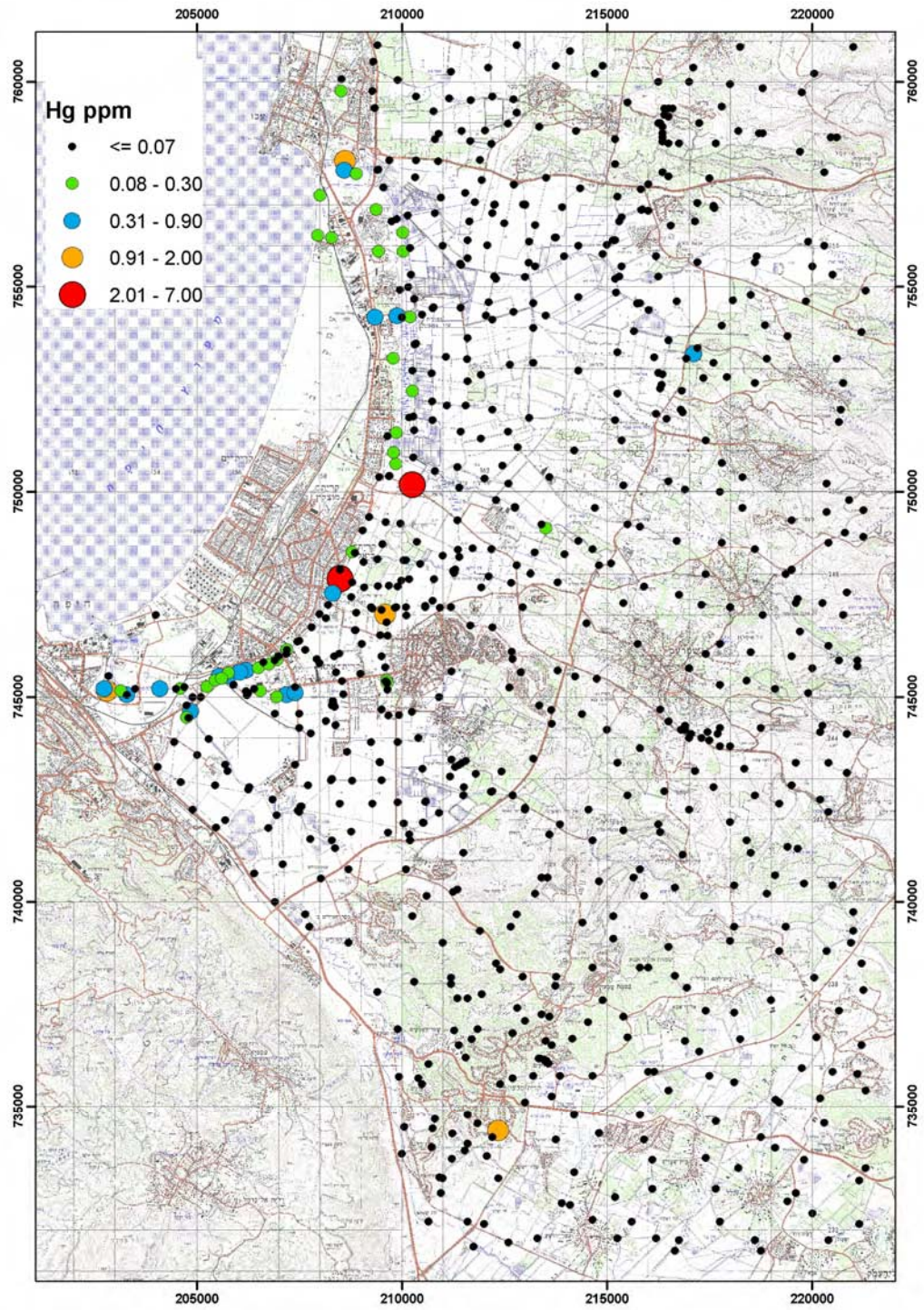
ציור 8: מפה של תפוצת קדמיום.



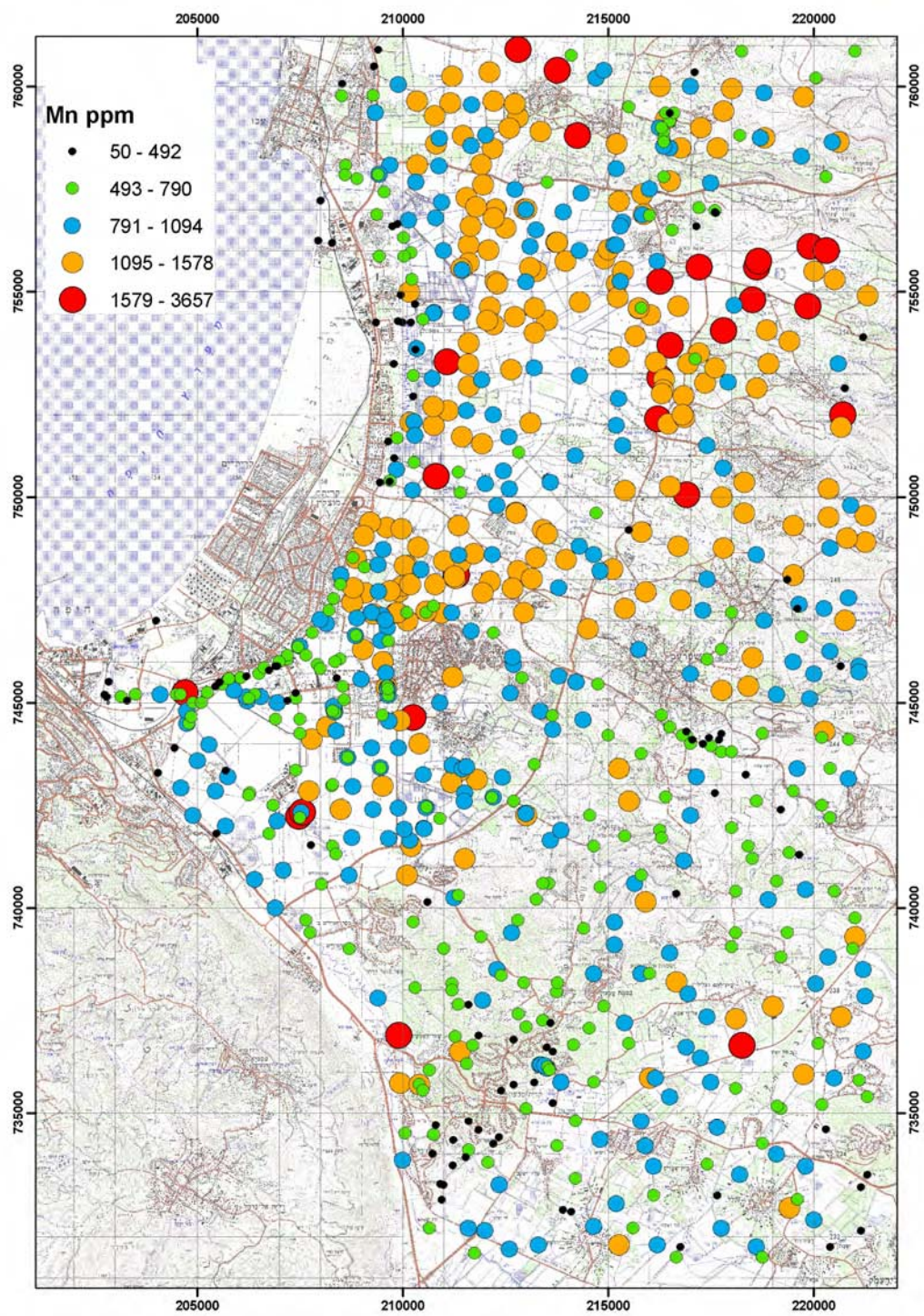
ציור 9: מפה של תפוצת כרום.



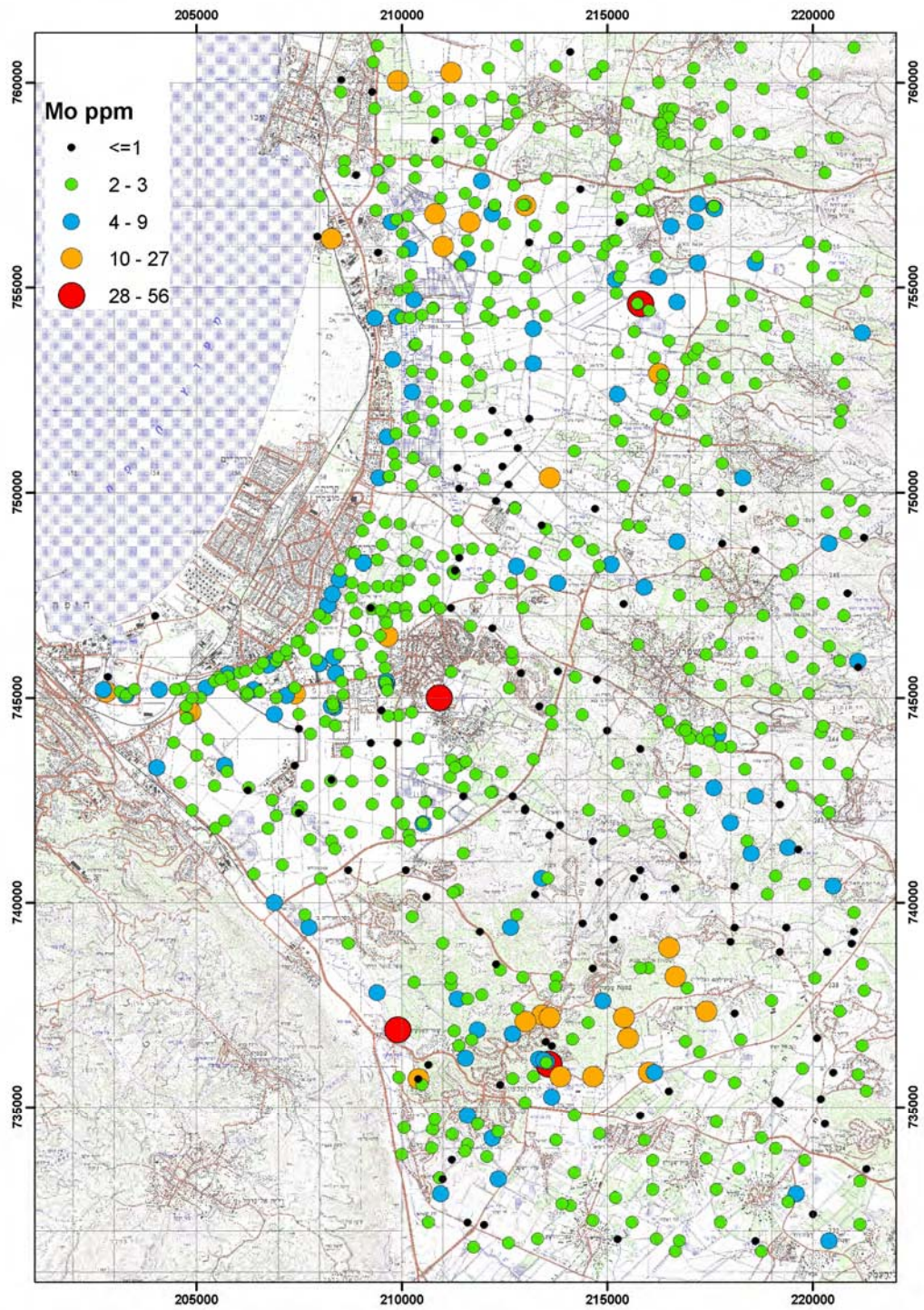
ציור 10: מפה של תפוצת נחושת.



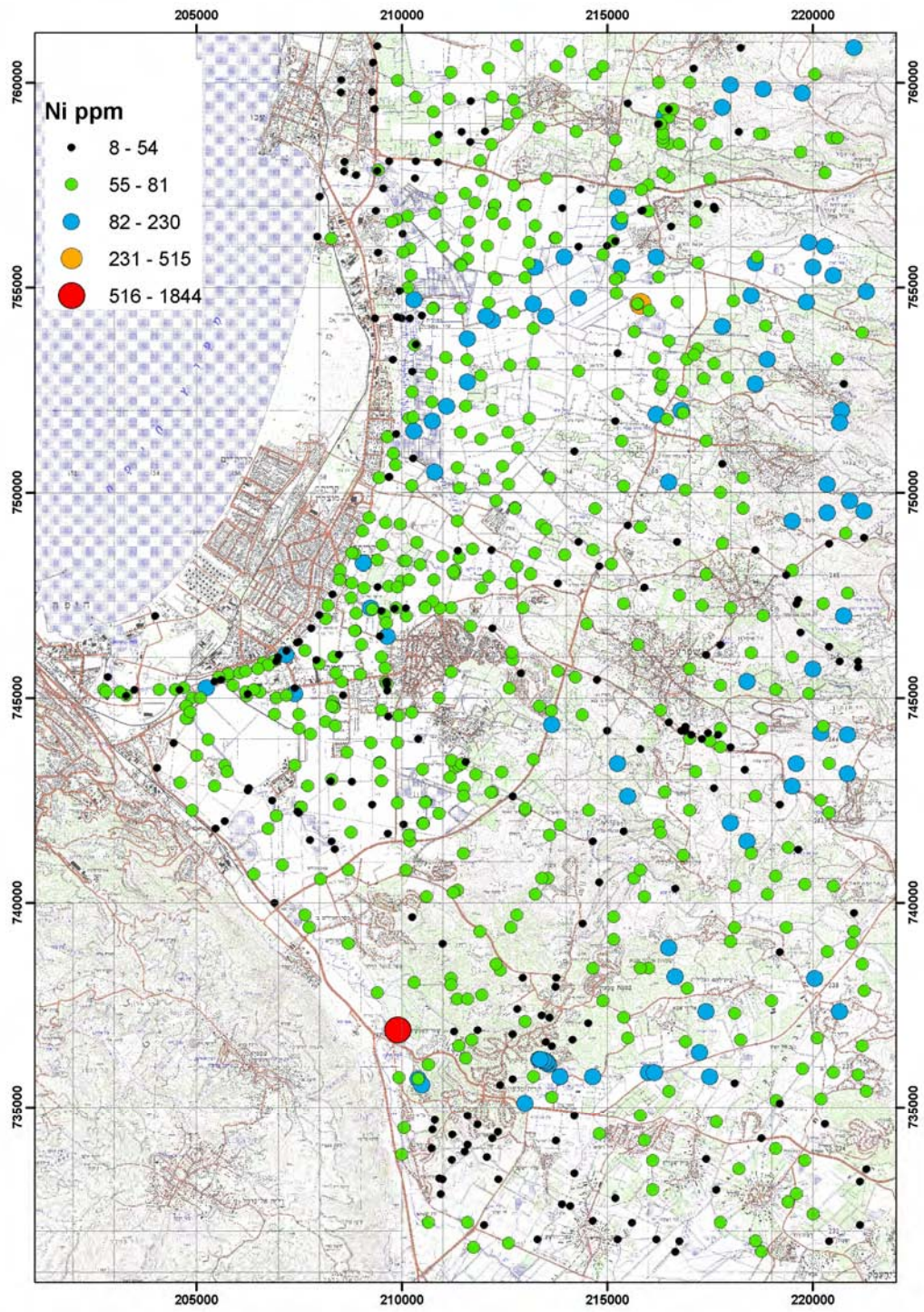
ציור 11: מפה של תפוצת כספית.



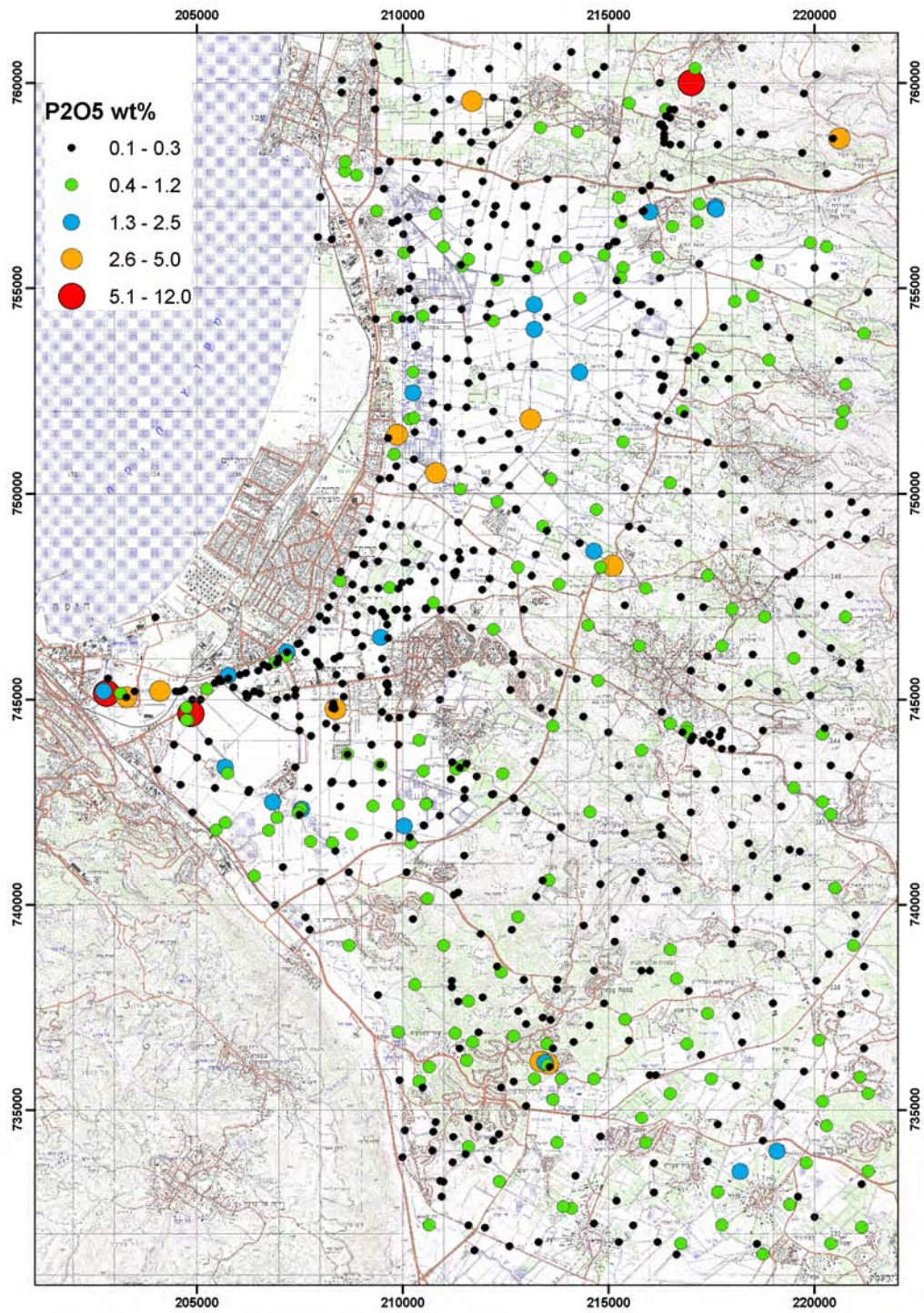
ציור 12: מפה של תפוצת מנגן.



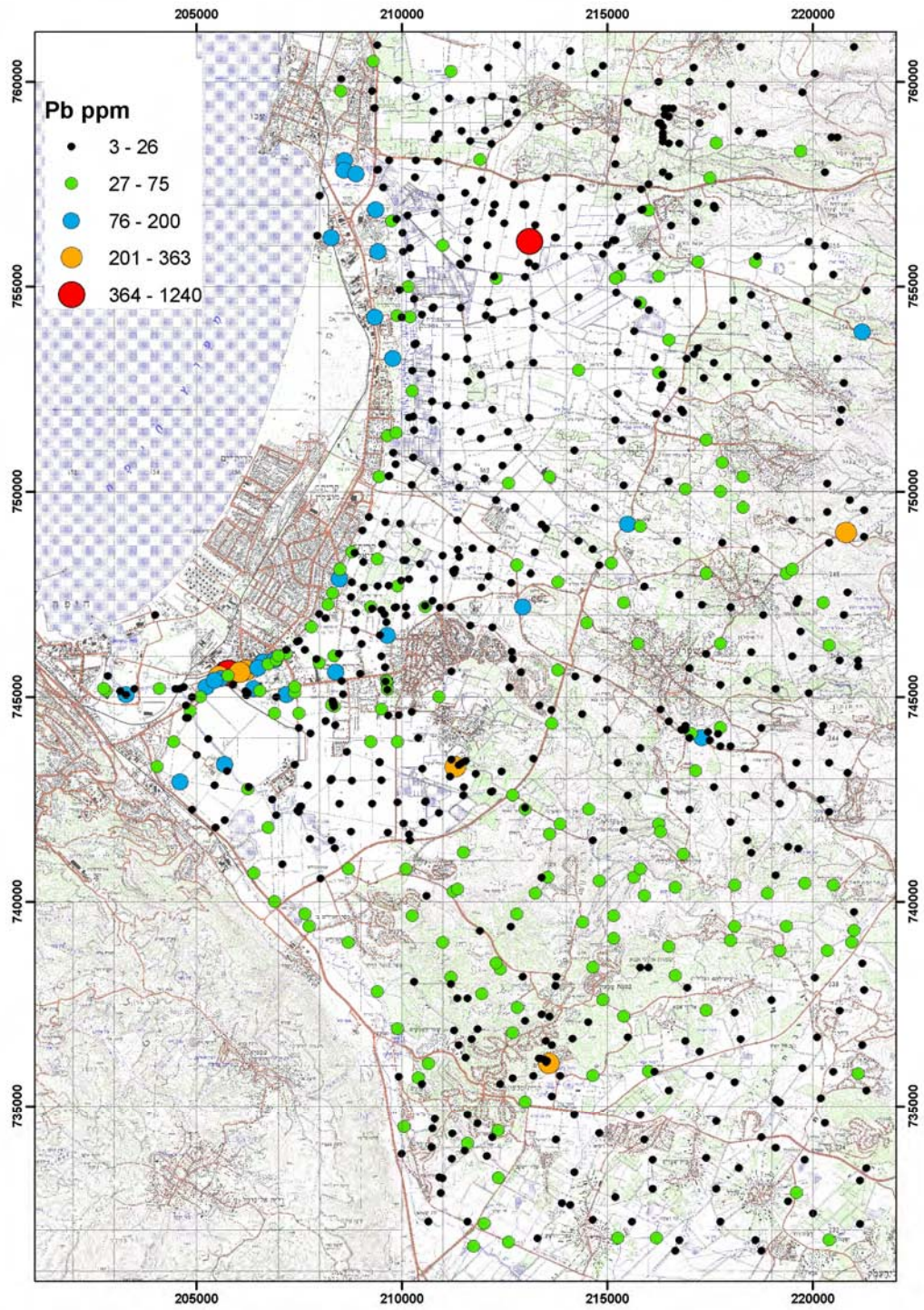
ציור 13: מפה של תפוצת מוליבדן.



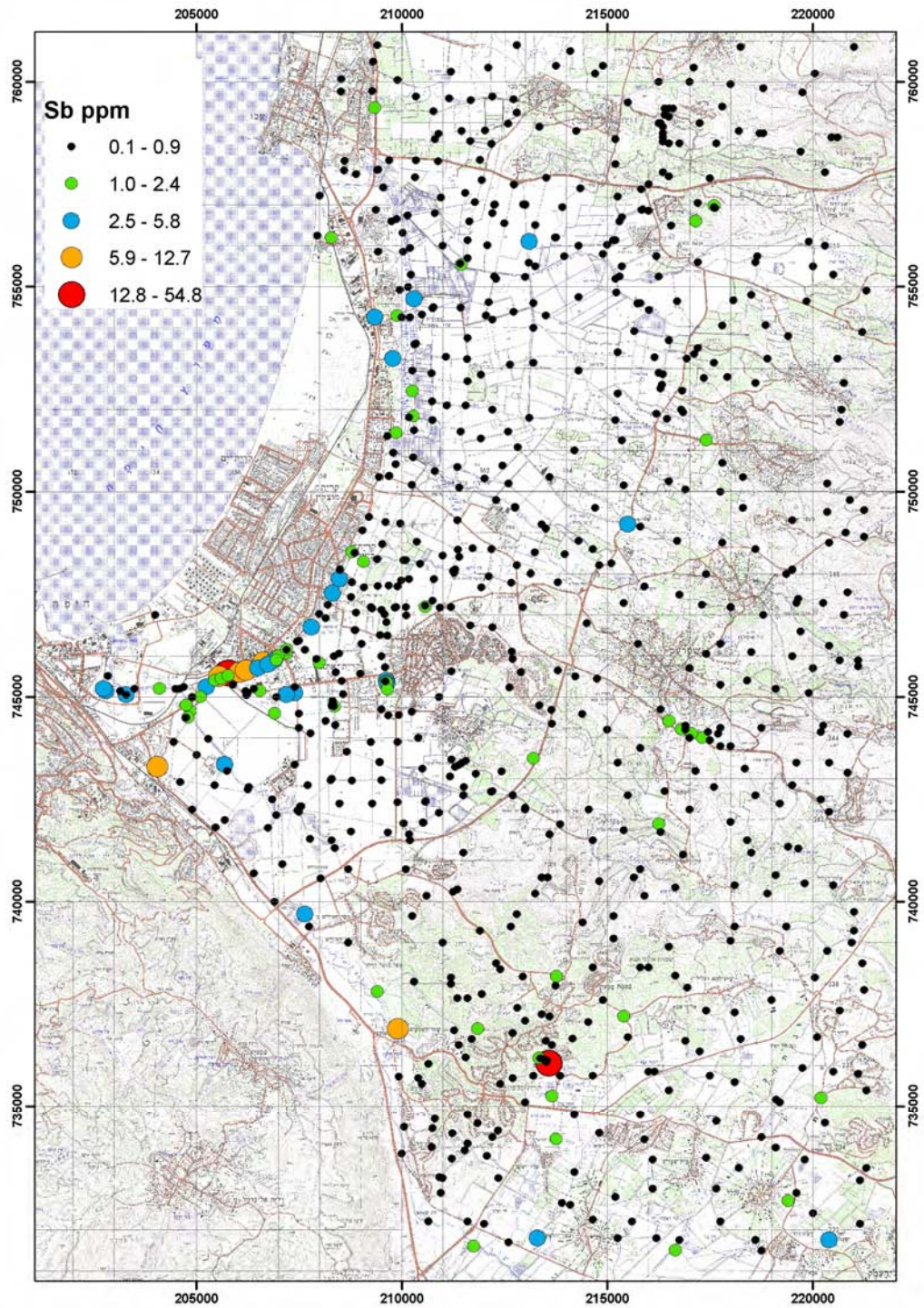
ציור 14: מפה של תפוצת ניקל.



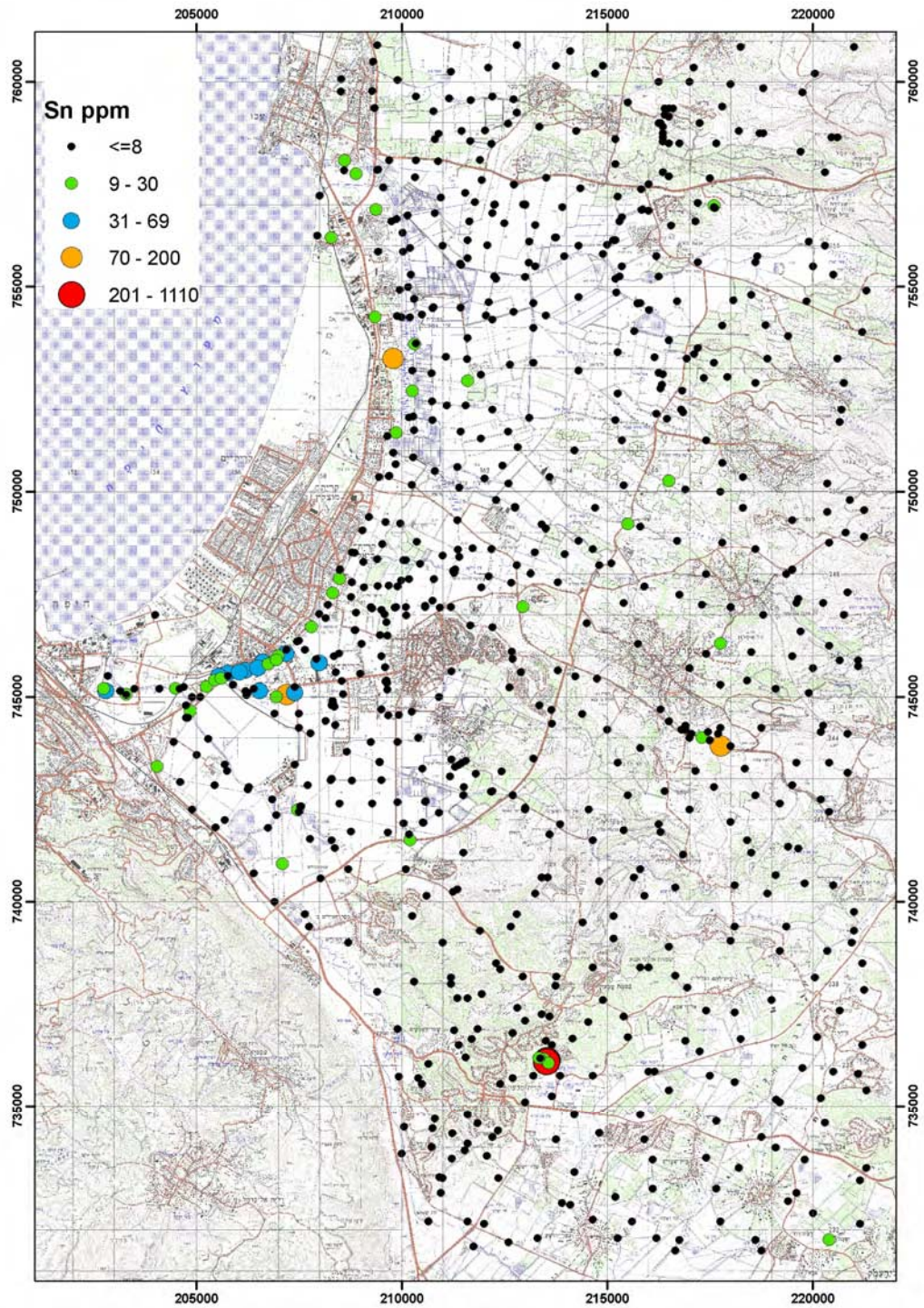
ציור 15: מפה של תפוצת תחמוצת זרחן.



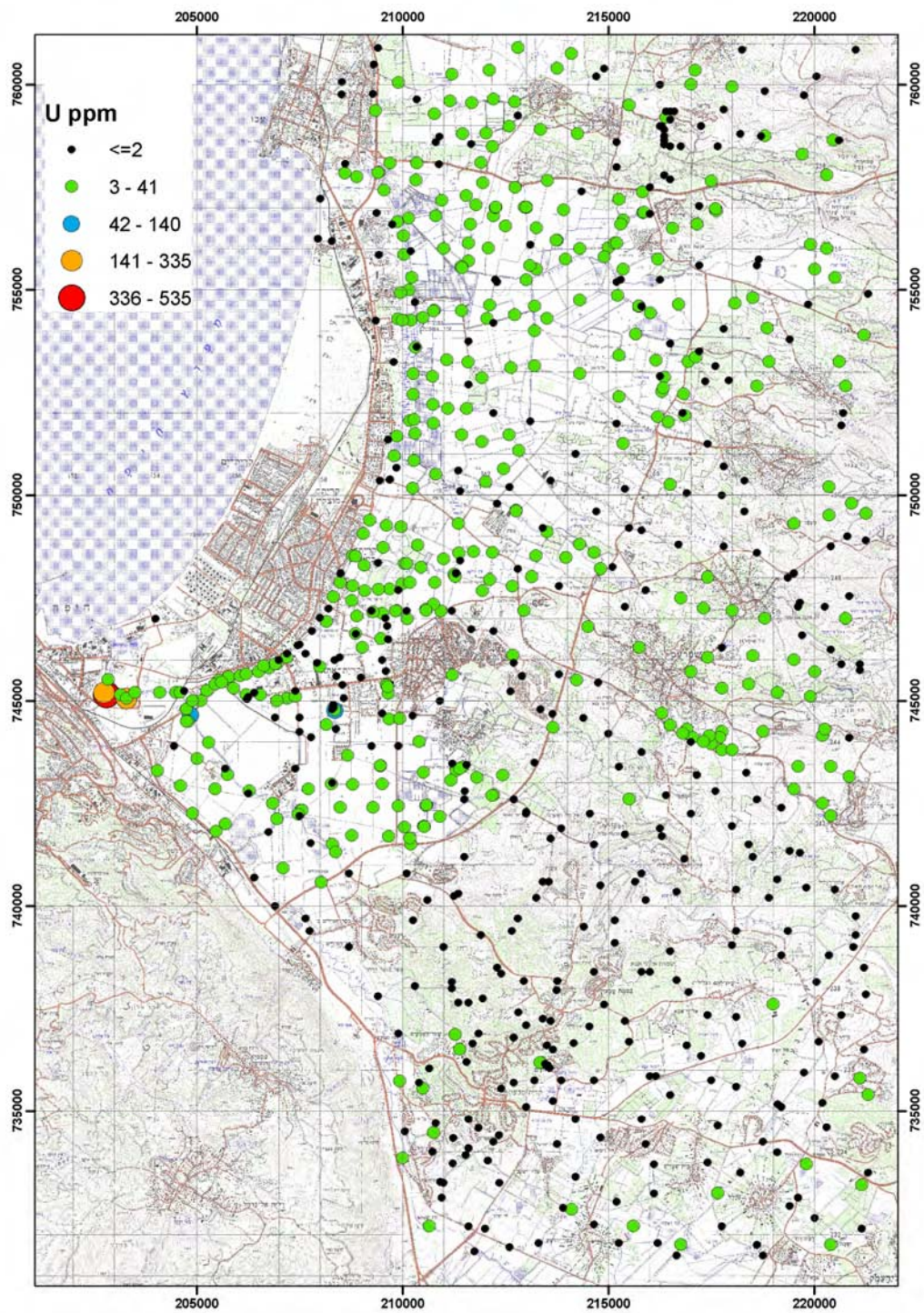
ציור 16: מפה של תפוצת עופרת.



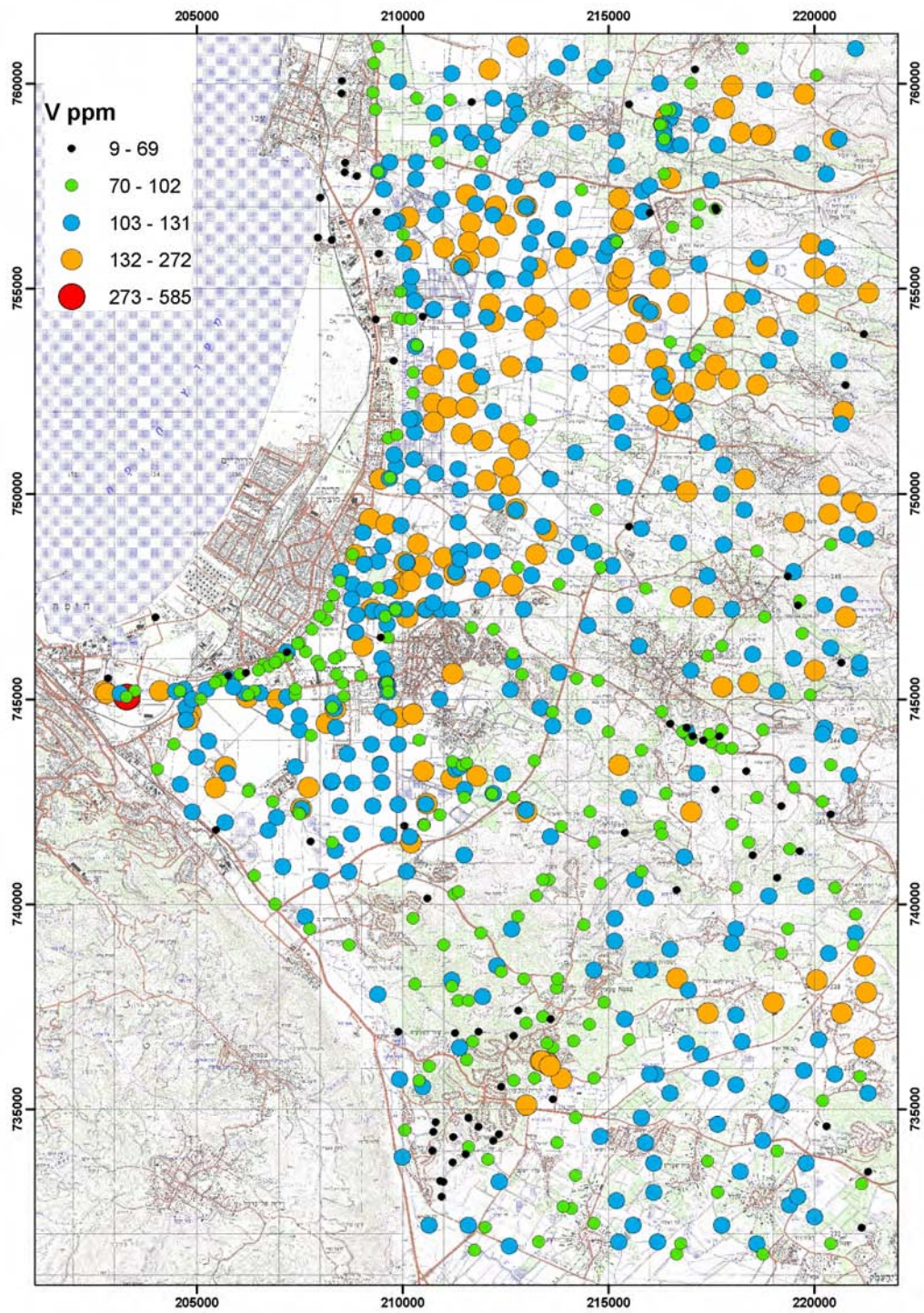
ציור 17: מפה של תפוצת אנטימון.



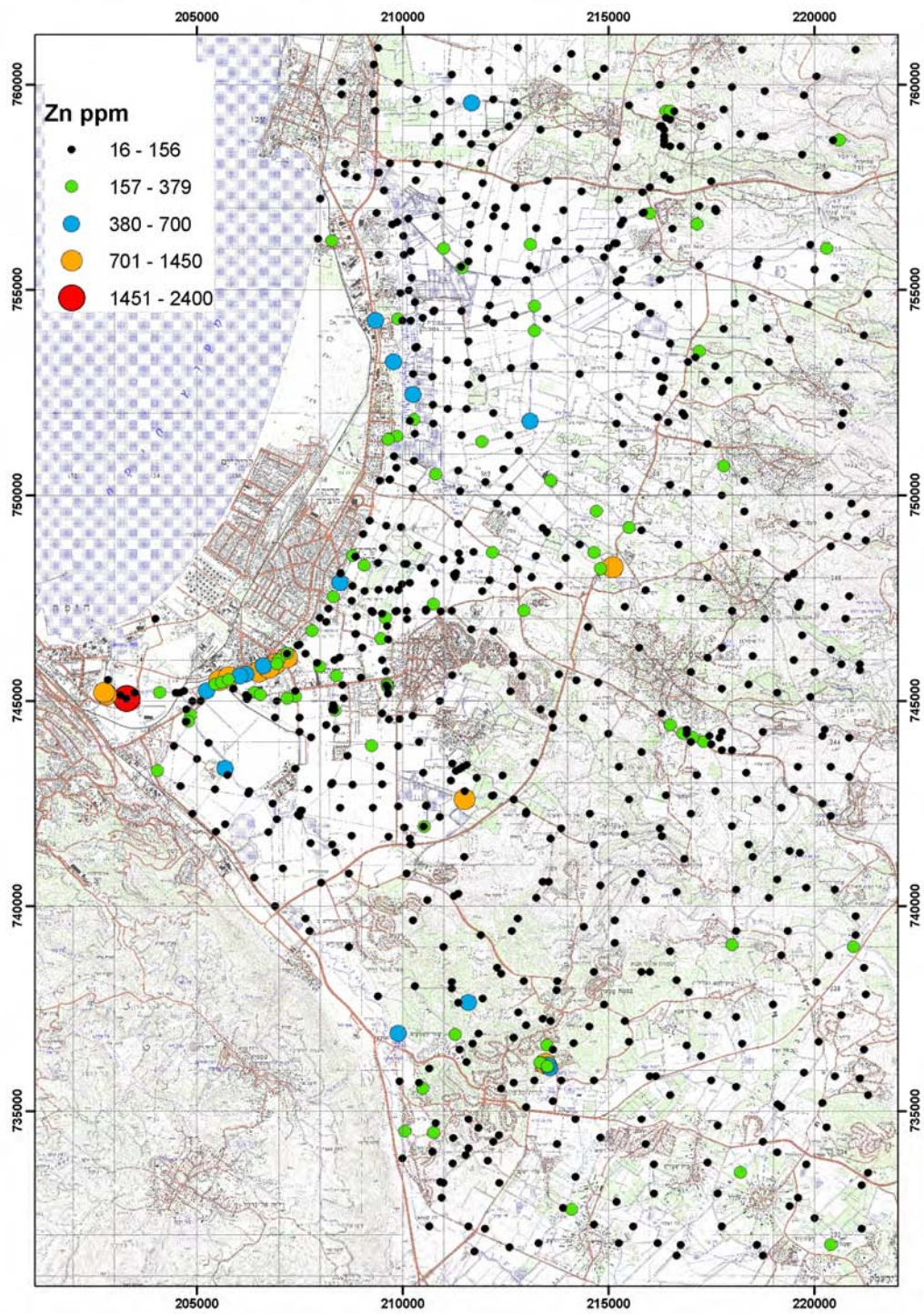
ציור 18: מפה של תפוצת בדיל.



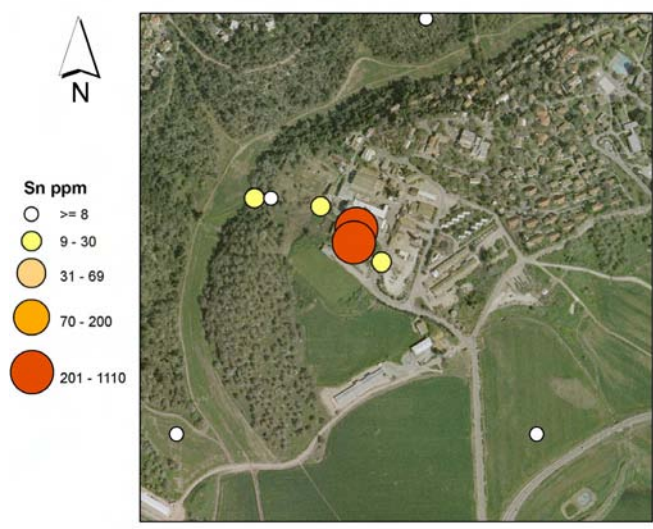
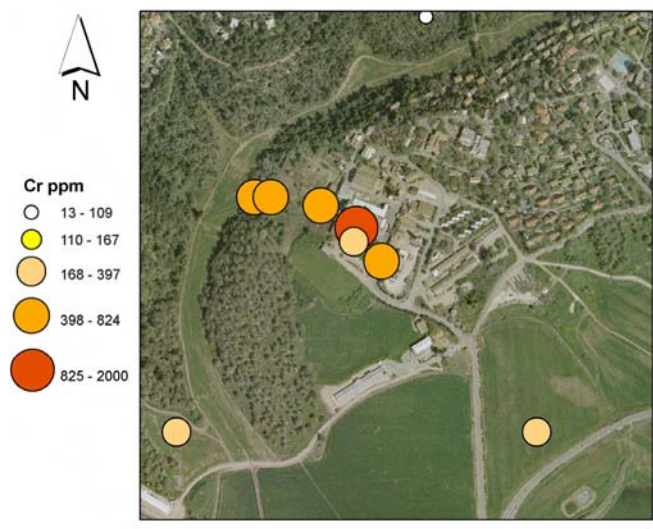
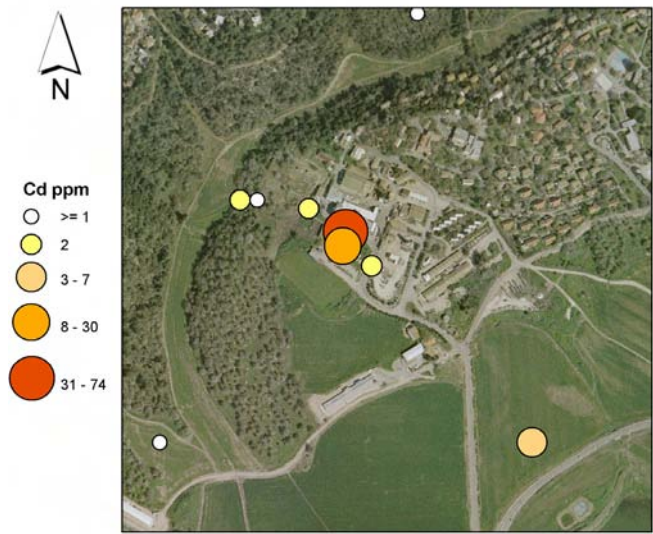
ציור 19: מפה של תפוצת אורניום.



ציור 20: מפה של תפוצת ונדיום.



ציור 21: מפה של תפוצת אבץ.



ציור 22: ריכוזי קדמיום, כרום ובדיל בקרבת אלונים.

ניתוח מרחבי של תפוצת יסודות הקורט בדוגמאות מצביע על מספר מוקדים שבהם קיים ריכוז חריג של חלקם, שמקורו בפעילות אנתרופוגנית. גדותיו של נחל גדורה, מקרית ביאליק ועד לקישון מזהמים בריכוזים גבוהים במיוחד של יסודות מתכתיים רבים שמקורם בתעשיות המגוונות השוכנות באזור. באזור טבעון קיים ריכוז מעט גבוה של יסודות מסויימים, חלקם כנראה ממקור טבעי (מוליבדן מועשר בסלעים וולקניים הנחשפים במקומות ספורים באזור), וחלקם ממקור שלא ניתן לעמוד על טבעו. באזור זה נדגמו דוגמאות עשירות בכרום וביסודות אחרים בקרבה המיידית למפעל של קיבוץ אלונים (ציור 22). באזור שמזרחית לקריית ביאליק וכפר מסריק, כמו גם לאורך כביש הקריות, מצידו המזרחי, מסתמנת עלייה בתכולת יסודות אחרים בקרקע, ייתכן כזו הקשורה בפליטת ארוכת שנים של יסודות וולטיליים מהתעשיות באזור (למשל: מוליבדן מתעשיית הפלדה). באזור שמדרום לנמל הקישון, בשטחים שבהם כנראה פוזרה בוצה שהוצאה מן הנחל (ציור 23) מועשרת הקרקע במספר יסודות בריכוזים חריגים, הבולט שבהם אורניום שתכולתו מגיעה עד כדי 0.5%!! (נראה כי תרומה עיקרית לשאריות הבוצה באה ממפעלי הדשנים, על פי תכולת ה-P₂O₅ הגבוהה; ציור 15).

גם ניתוח סטטיסטי של התוצאות באמצעות factor analysis מראה מגמות זהות: כ-24% מן השונות בדוגמאות (טבלה 1) מוסברת על ידי הרכבים טבעיים של מינרלים מתכתיים ותכולת הקרבונט (פקטור 1 בטבלה 2), 16% מהשונות מוסברת על ידי דוגמאות המועשרות במגוון מתכות (פקטור 2 בטבלה 2) – קדמיום, כרום, נחושת, מוליבדן, ניקל, עופרת, אנטימון, אבץ – שמקורן בזיהומים שונים, ו-13% מהשונות מוסברת על ידי ריכוזים גבוהים של אורניום ומתכות אחרות באזור הקישון (פקטור 3). ציור 24 מראה את מיקום הדוגמאות אשר להן קשר חזק לזיהומים מתכתיים, בהסתמך על הניתוח הסטטיסטי.

טבלה 1: שונות מוסברת על ידי הפקטורים העיקריים.

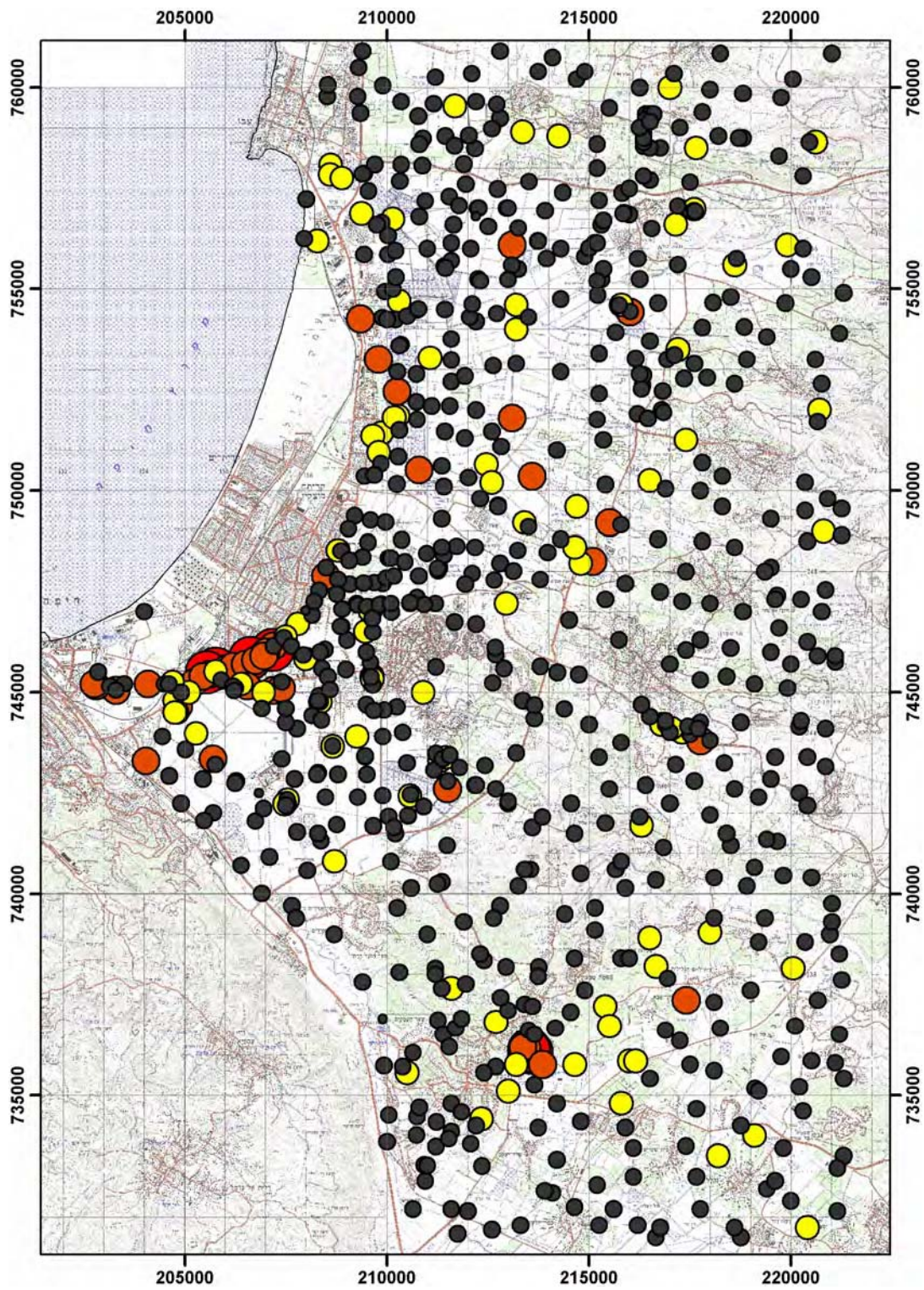
Eigenvalues				
Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	7.171373	23.90458	7.17137	23.90458
2	4.965695	16.55232	12.13707	40.45689
3	3.896474	12.98825	16.03354	53.44514
4	1.955056	6.51685	17.98860	59.96199
5	1.592278	5.30759	19.58088	65.26959



ציור 23: אזור הקישון – מיקום דוגמאות עשירות באורניום וביסודות אחרים

טבלה 2: ערכי loading עבור הפקטורים העיקריים.

Variable	Factor Loadings (Varimax raw) Extraction: Principal components (Marked loadings are >.500000)				
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
As	0.113082	0.164170	-0.008684	0.084270	-0.022196
Ba	-0.029725	0.407677	-0.197102	0.030393	0.365531
Be	0.669496	-0.109977	0.528473	0.011229	0.167599
Cd	-0.235687	0.460083	0.239196	0.055672	-0.121848
Ce	0.192977	-0.034272	0.210037	-0.032622	0.901698
Co	0.842123	0.147077	0.025780	0.316408	0.170915
Cr	0.122250	0.720187	0.208318	-0.022745	-0.105326
Cu	-0.117750	0.691364	0.270398	0.046862	-0.113702
Eu	0.270964	-0.082599	0.357446	0.187721	0.816197
La	0.007329	0.017222	0.310317	0.008195	0.902948
Mn	0.743405	0.231050	-0.020738	0.029137	0.084531
Mo	0.065598	0.762643	-0.094019	0.026416	0.124300
Ni	0.401622	0.585123	0.036792	0.069640	-0.011421
Pb	-0.015457	0.804163	-0.066620	0.043701	-0.086517
Sb	-0.169670	0.746871	-0.146468	-0.033994	0.134079
Sr	-0.652436	0.267578	0.381813	-0.067125	0.155644
Th	0.374239	-0.061601	0.187716	-0.442323	0.308564
U	-0.286834	0.120790	0.836357	0.010186	0.259799
V	0.498060	0.085087	0.732361	-0.089681	0.139274
Y	0.010256	0.039387	0.850981	0.023256	0.446008
Yb	0.315705	-0.042863	0.772002	0.221179	0.398073
Zn	-0.225101	0.694321	0.496171	0.044846	-0.128968
SiO2	0.749294	-0.242187	0.014610	-0.044034	0.169498
Al2O3	0.789845	-0.152276	0.149790	0.219302	0.161675
Fe2O3	0.670394	0.560267	0.026653	-0.056981	-0.004996
CaO	-0.832474	0.078901	-0.034777	0.123110	-0.120705
MgO	-0.006263	0.017373	0.009519	-0.184542	-0.035098
TiO2	0.592880	-0.045623	0.038162	-0.015740	0.117265
P2O5	-0.096778	0.054314	-0.073362	-0.862297	-0.067477
SO3	-0.118701	-0.097306	-0.057749	-0.874475	-0.070599
Expl.Var	5.862673	4.624837	3.815334	2.030686	3.247346
Prp.Totl	0.195422	0.154161	0.127178	0.067690	0.108245



ציור 24: תפוצת הדוגמאות (בצבעים "חמים") בהן מרכיב של זיהום אנתרופוגני על פי אנליזת גורמים (factor Analysis).

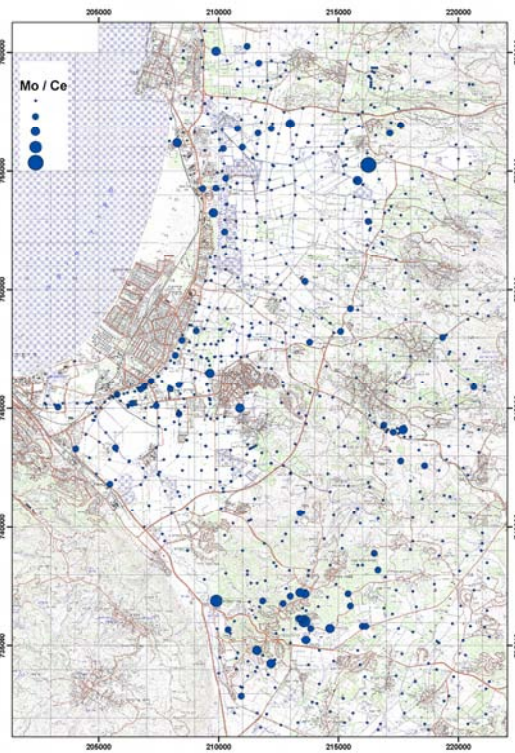
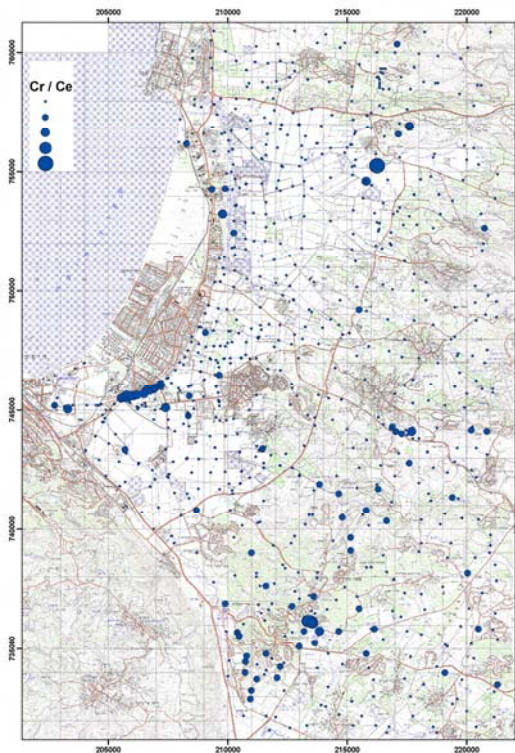
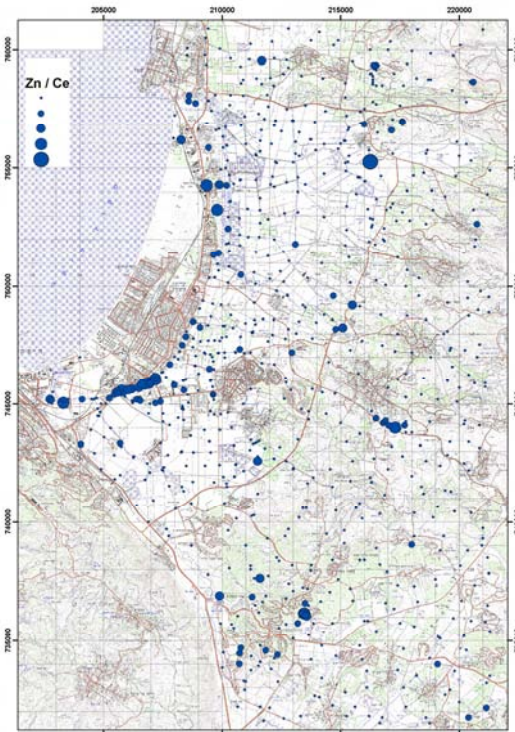
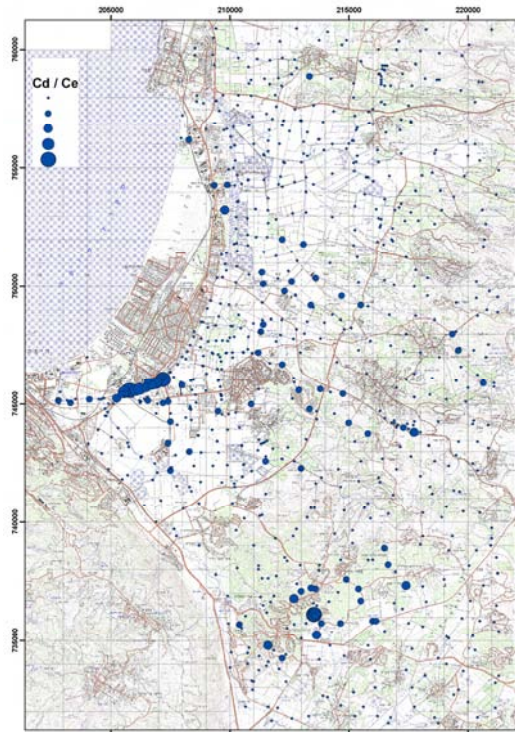
אחת הדרכים המקובלות לבדיקת תרומה "חיצונית" (במקרה זה – אנתרופוגנית) של יסוד קורט מסויים בדוגמאות קרקע, סלע או סדימנט, היא "נירמול" של אותו יסוד כנגד תחמוצות ברזל הידועות כ- Scavenger ("סופח כל"). בכל אותן דוגמאות בהן היחס גבוה – עודף של יסוד הקורט – יש להניח כי קיימת תרומה חיצונית שאיננה קשורה ברקע הגיאוכימי הטבעי. האנליזות שבוצעו בדוגמאות הסקר מאפשרות לבצע את הנירמול גם לגבי היסוד צריום (Ce) המהווה קירוב מעולה (proxy) הן לתכולת תחמוצות הברזל והן לתכולת החרסיות שגם הן מכילות יסודות קורט רבים שמקורם טבעי. בציור 25 מודגם היחס בין מספר יסודות קורט לצריום, והמתכונת שהתקבלה בניתוח המרחבי והניתוח הסטטיסטי (ציור 24) חוזרת גם כאן: ניתן לראות בבירור את מוקדי הזיהום הנקודתיים בנחל גדורה, אזור מוצא הקישון ואלונים, כמו גם את ריכוז הדוגמאות שבהן ערכים גבוהים מן הרקע הטבעי באזור טבעון ועורף הקריות.

אנליזות בחברת "בקטוכם"

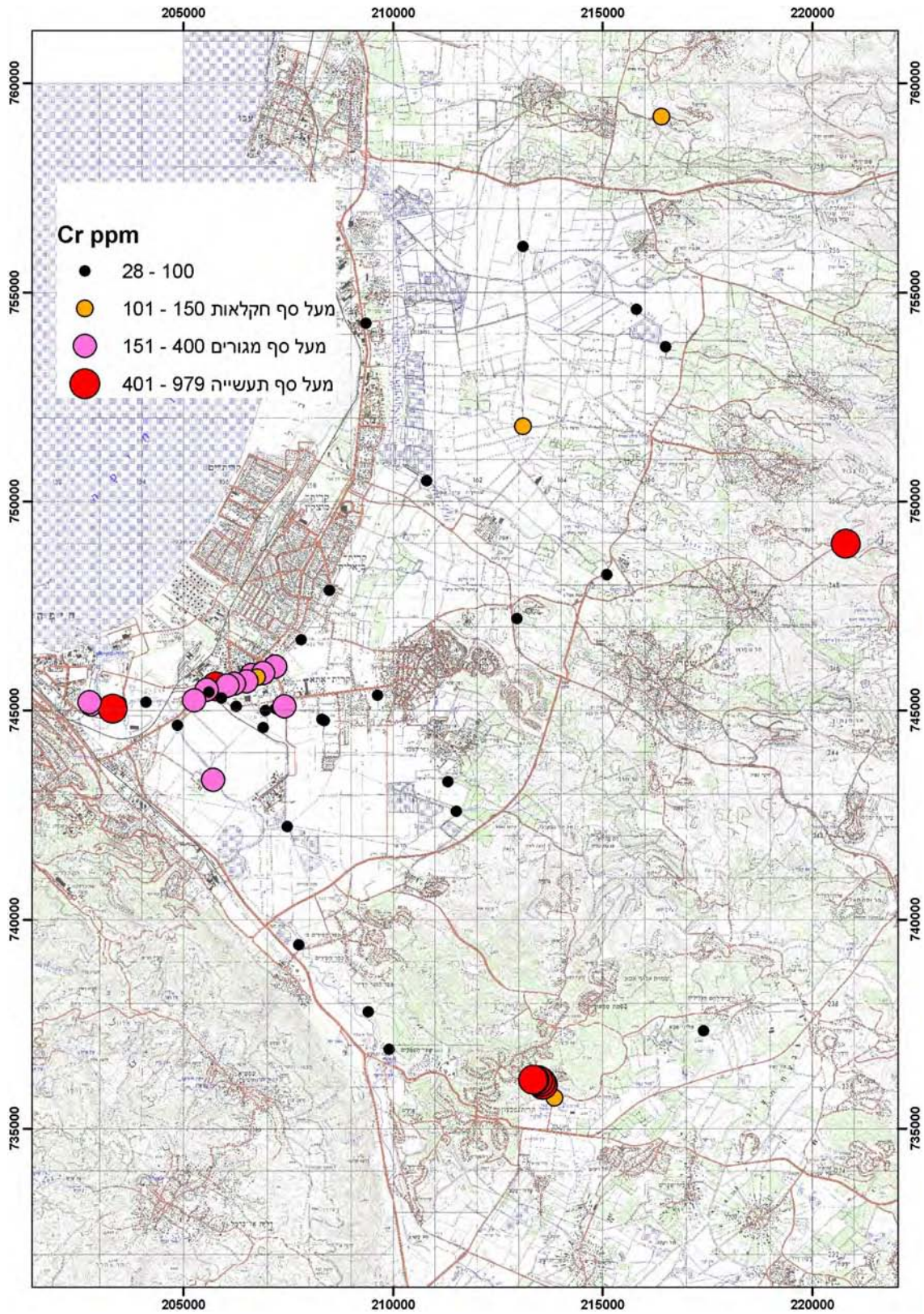
על פי בקשת המשרד להגנת הסביבה, הועברו 59 דוגמאות (שנבחרו על ידי מר אורי שלהב) לאנליזה בחברת בקטוכם. האנליזה בוצעה על פי השיטה המקובלת על המשרד בבדיקת קרקעות, ושאל תוצאותיה אפשר להתייחס לצורך השוואה לערכי הסף של מזהמים בקרקעות המקובלים על המשרד. השיטה מבוססת על עיכול הדוגמאות בחומצה חנקתית ומי-חמצן.

תוצאות האנליזות לגבי רוב היסודות הראו כי בשיטה אנליטית זו התוצאות שהתקבלו היו ב-20 עד 30 אחוזים נמוכות מאלו שבוצעו בשיטה הנקוטה על ידי המכון הגיאולוגי. כדוגמא, בציור 26 מובא מיקום הדוגמאות שנבדקו על ידי בקטוכם ותכולת הכרום. אותן דוגמאות היו בכ-22% נמוכות יותר מתוצאות המכון הגיאולוגי, אך גם תוצאות אלו מורות על מוקדי הזיהום הנקודתיים בגדורה, אלונים והקישון, כאשר תכולת הכרום בהן עולה על ערכי הסף למגורים ובחלק מהדוגמאות גם מאלו של קרקעות לתעשייה. בציור 27 מובאות כל דוגמאות הסקר, כאשר מתוצאות המכון הגיאולוגי הופחתו 25% מתכולת הכרום. מוקדי הזיהום העיקריים כמובן נראים, אולם דוגמאות רבות במרחב שנבדק מראות ערכים הגבוהים מערכי הסף לחקלאות. נראה לנו כי תכולת הכרום בחלק הארי של דוגמאות אלו הינה טבעית ועל כן יש אולי לבדוק מחדש ולשקול את קביעת ערכי הסף לגבי כרום. יש להדגיש בהקשר זה כי גם באזורים אחרים בחלקה המרכזי והצפוני של הארץ (פרוזדור ירושלים, מודיעין, מורדות השומרון, אגן הניקוז של הכנרת; שירב וחובריו, בהכנה) נצפו ערכים גבוהים יחסית של כרום כרקע טבעי.

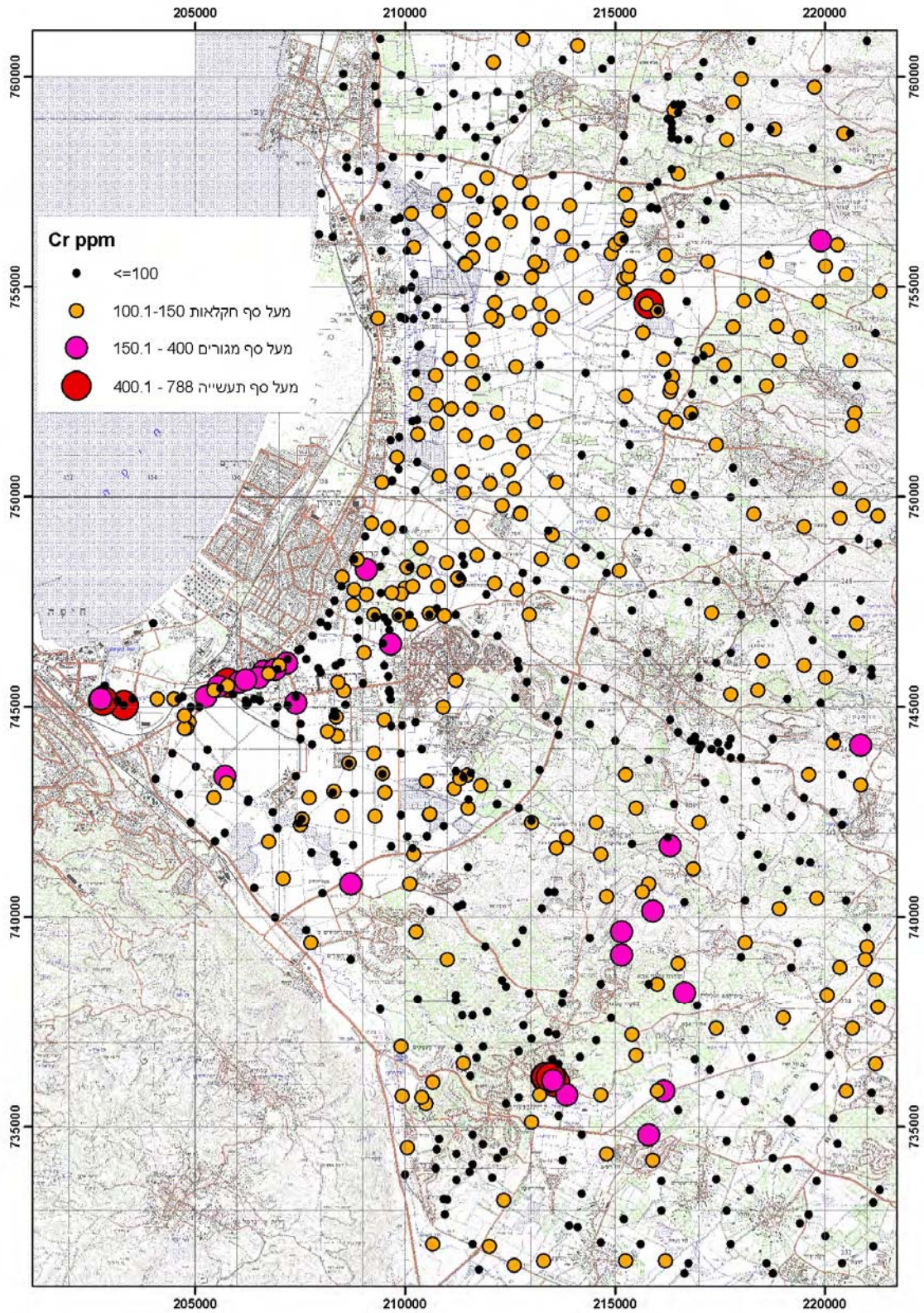
בציור 28 מוצגת תכולת הקדמיום בכל דוגמאות הסקר, כאשר מתוצאות מעבדות המכון הגיאולוגי הופחתו 25%. גם כאן נשמרת המגמה המרחבית – זיהום במוקדי גדורה, הקישון ואלונים, וריכוזים מעט גבוהים מן הרקע באזור טבעון ועורף הקריות.



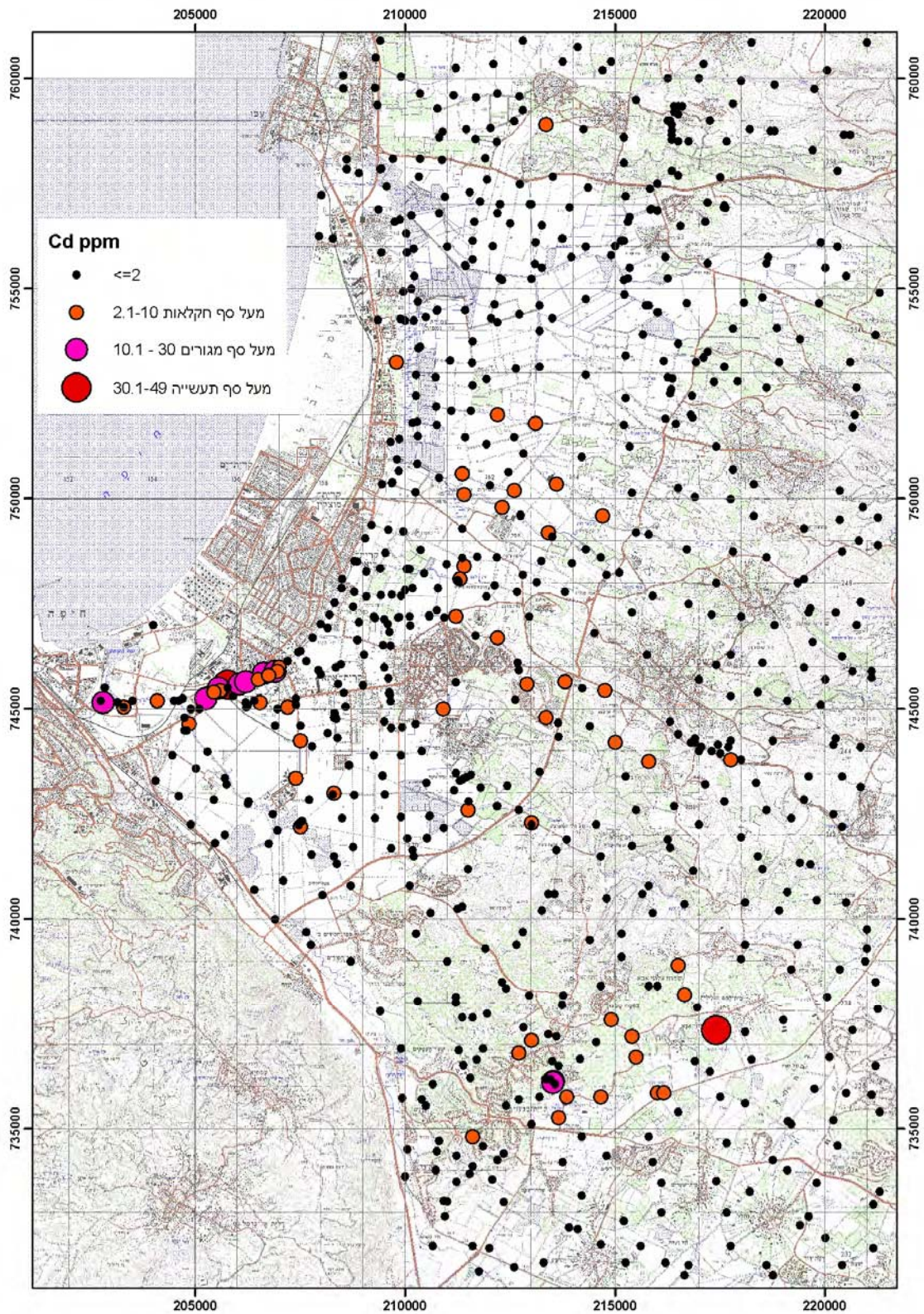
ציור 25: יחסי ריכוז קדמיום, אבץ, כרום ומוליבדן כנגד ריכוז צריום.



ציור 26: מיקום הדוגמאות שנבדקו על ידי חברת בקטוכם ותכולת הכרום בהן.



ציור 27: תכולת כרום מחושבת בכל דוגמאות הסקר, על פי היחסים שהתקבלו באנליזות בקטוכם.



ציר 28: תכולת קדמיום מחושבת בכל דוגמאות הסקר, על פי היחסים שהתקבלו באנליזות בקטובם.

אבק רחוב – Street Dust

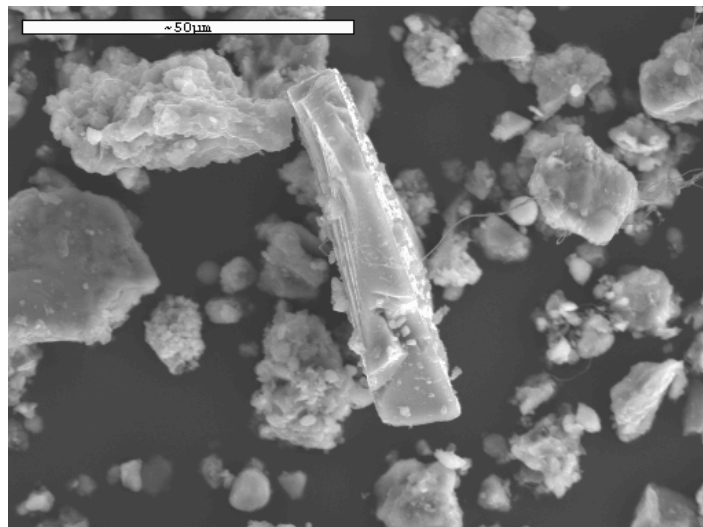
חלקיקים מוצקים המצטברים מחוץ למבנים על גבי משטחים בסביבה העירונית מכונים בשם הכולל "אבק רחוב" (street dust). שני המקורות העיקריים לאבק זה הם שקיעה של חומר מרחף המצוי באבק האטמוספרי המוסע ממקום למקום וקרקעות המצויות בתחומי העיר ובשוליה. בנוסף, מקורות מקומיים נקודתיים – פליטות כלי רכב, בליית מבנים, פעילות בנייה, פליטות תעשייתיות, קורוזיה של מתכות וכיו"ב – תורמים באתרם חלקיקים (ואיתם יסודות מתכתיים) לכמות הכוללת של אבק הרחוב. אבק רחוב איננו נשאר בדרך כלל באתרו זמן רב: הוא נישא ברוח חזרה אל הארוסול האטמוספרי ותורם לו כמות נכבדה של יסודות קורט [13], או שהוא נשטף במשקעים היורדים ומהווה מרכיב חשוב בתשטיפי הכבישים המתנקזים למערכות ניקוז טבעיות או עירוניות. הסיבה למחקר היחסית אינטנסיבי בנושא זה בשלושה העשורים האחרונים היא המודעות להשפעה האפשרית של החשיפה לחומר זה בדרך של נשימה, עיכול או מגע, במיוחד אצל ילדים הנמצאים "קרוב" יחסית למקומות בהם מצטבר אבק הרחוב.

במרחב העיר חיפה נדגמו 18 דגימות של אבק רחוב על ידי טאטוא כ-100 מ"ר של כביש בכל נקודה. פיזור הנקודות מופיע בציורים 33-42, המתעדים תכולה של 10 יסודות קורט מתוך אלו שנבדקו. הדיגום בוצע בסוף הקיץ, עונה בה הצטברות אבק הרחוב הינה מקסימלית. דוגמא אחת נדגמה בצומת נשר-דליית אל כרמל, אזור המצוי בלב יערות הכרמל, מחוץ לתחום האורבני של חיפה. שאר הדוגמאות נלקחו בצמתים ראשיים של העיר והכביש המוליך אל הקריות. לצורך המחקר הנוכחי הגדרנו "אבק רחוב" את הפרקציה הקטנה מ-64 מיקרון, כיוון שחלקיקים בגודל זה עוברים בקלות רבה לתרחיף בהשוואה לחלקיקים גדולים יותר הזזים בדרך כלל בדרך של סלטציה (saltation) או זחילה (creep) ונכנסים בקלות יחסית לאף ולפה תוך כדי נשימה. מקובל להניח כי הסכנה הגדולה ביותר בשאיפת חלקיקים טמונה בחלקיקים שגדלם 10 מיקרון ומטה, אך מנגד פורסמו מחקרים [14] הטוענים כי יש להרחיב את טווח הקוטר האירודינמי של חלקיקים נשמים המהווים סיכון בריאותי פוטנציאלי. לפיכך, דוגמאות אבק הרחוב נופו למינוס 64 מיקרון ועברו אנליזה בדומה לדוגמאות הקרקע, כולל אנליזה לפלטינה.

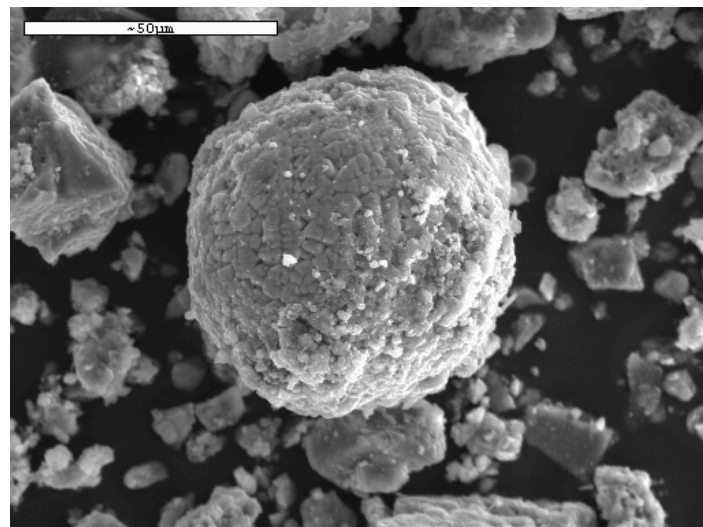
ריכוזים גבוהים של נחושת, מוליבדן, עופרת, אנטימון ואבץ נתגלו בדוגמאות אבק הרחוב, כאשר פקטור ההעשרה שלהם לעומת קרקעות אופייניות מאזור חיפה נע בין 3 ועד 100 (טבלה 3). על פי הספרות שנסקרה, עיקר העשרתם של יסודות אלו באבק הרחוב מקורה בתחבורה – הן פליטות מכלי הרכב והן שחיקת צמיגים ומתכות. היסוד המועשר ביותר באבק הרחוב הוא אנטימון – יסוד בעל תכונות רעילות בדומה לקדמיום. תצפית זהה לזו מדווחת על ידי Manno et al., 2006 [15]. תחת מיקרוסקופ אלקטרוני סורק ניתן להבחין כי אבק הרחוב מורכב מגרגרי חומר מינרלי שמקורו בסביבה הקרובה ובאבק נישא (ציור 29), וחלקיקים בגדלים שונים, שבהם המרכיב המתכתי הינו בריכוזים ברי גילוי באנליזה נקודתית (ציורים 30-32).

טבלה 3: ריכוזי מתכות באבק רחוב ובקרקעות בתחום חיפה

פקטור העשרה	ריכוז ממוצע בקרקעות הכרמל (ppm) [5]	ריכוז ממוצע באבק רחוב (ppm)	יסוד
0.7	5.2	3.6	As
2	0.8	1.7	Cd
1	127	136	Cr
12	45	544	Cu
3	5	14	Mo
5.5	36	200	Pb
100	0.3	34	Sb
10	57	555	Zn



ציור 29: חלקיקים מינרליים אופיניים לאבק רחוב



ציור 30: חלקיק מורכב תחמוצת ברזל

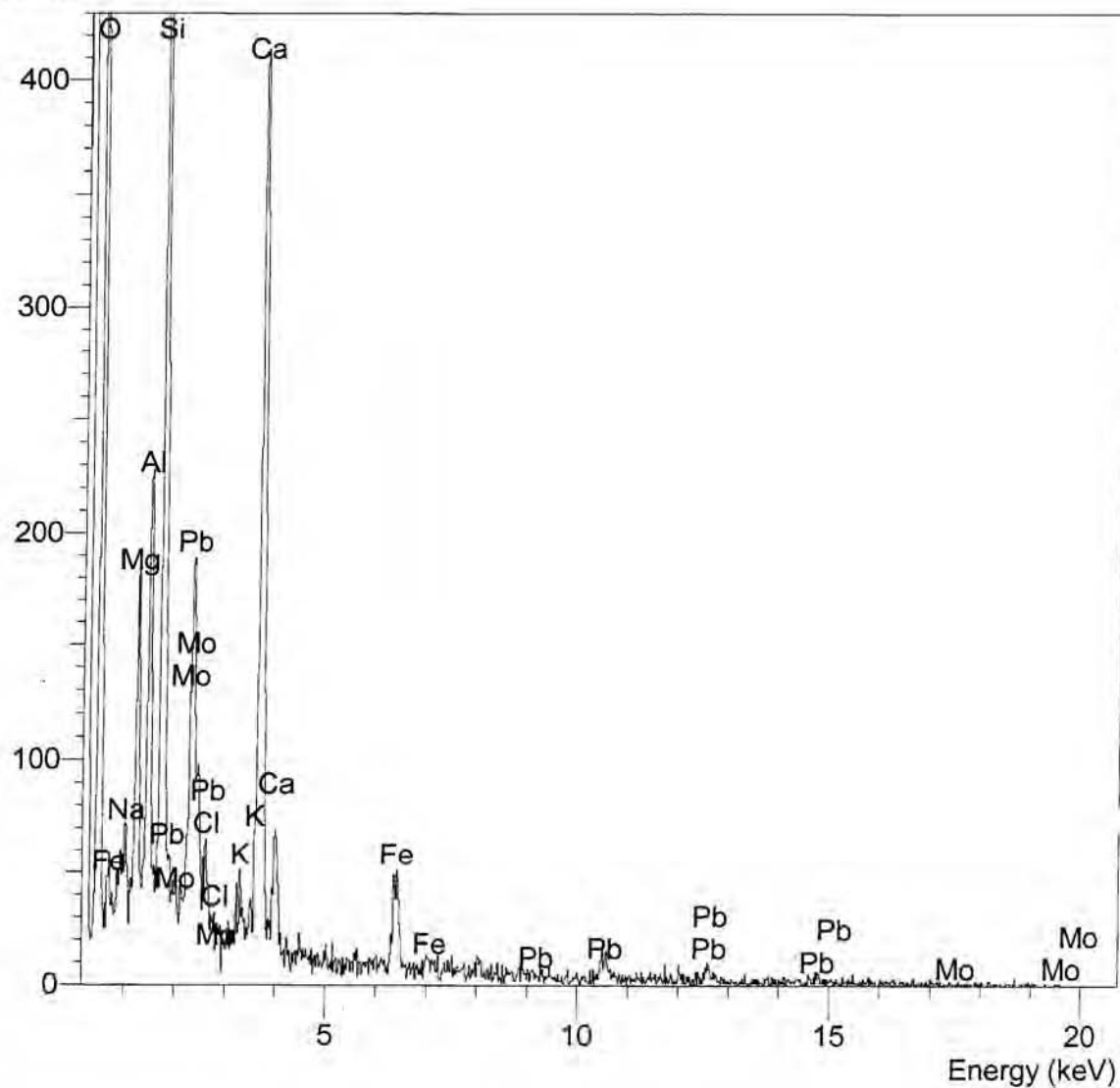
Operator : MICHAEL DVORACHEK

Client : GSI

Job : 20 KV standards

(10/02/2008 11:20)

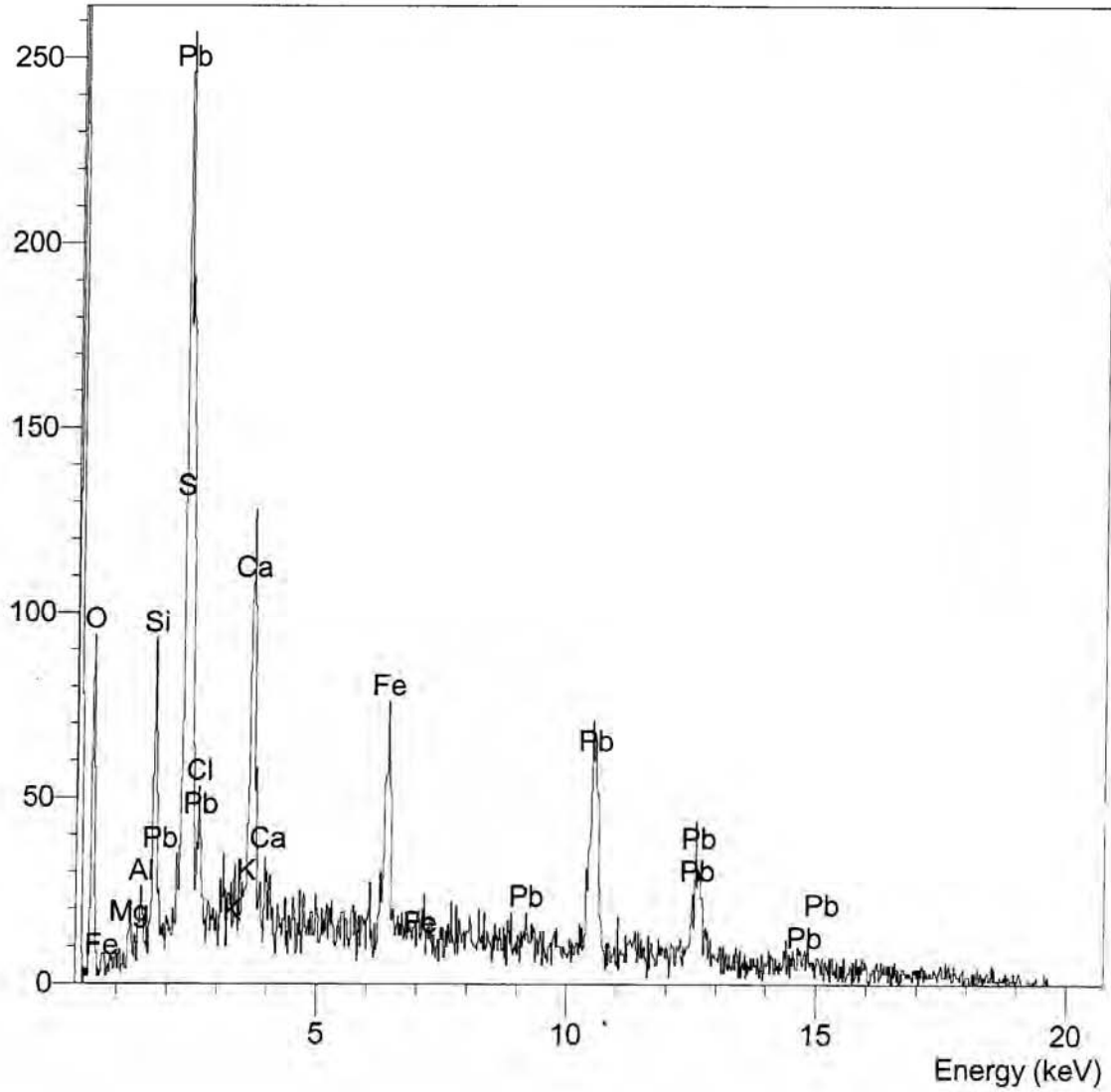
Counts



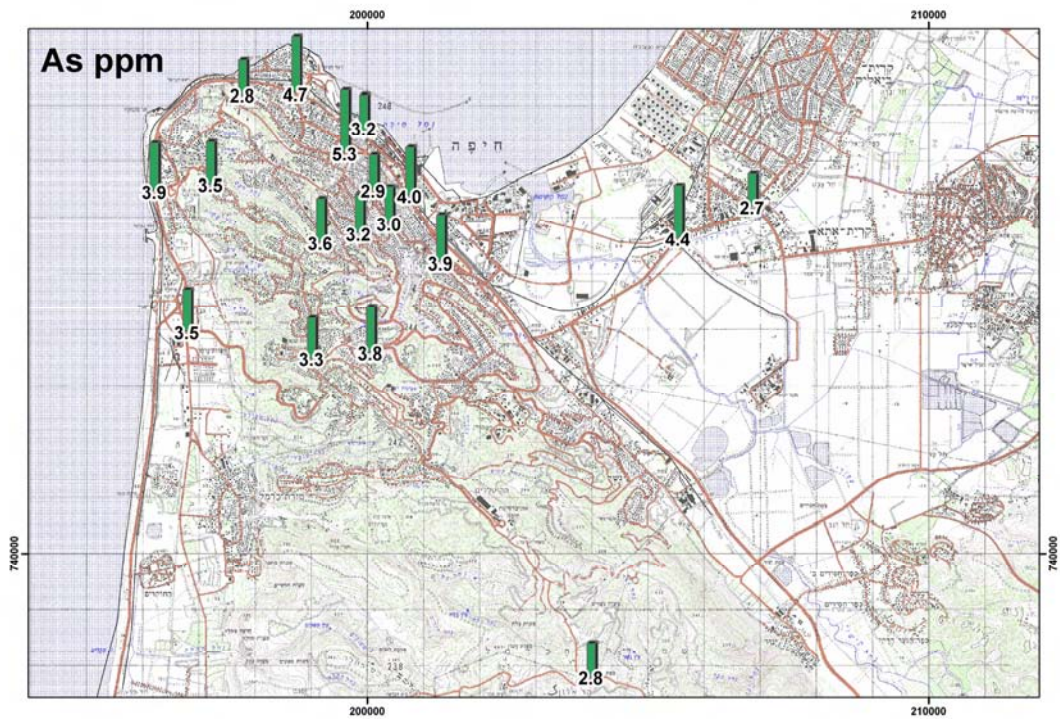
ציור 31: אנליזה במיקרוסקופ אלקטרוני סורק של גרגר בגודל 0.5 מיקרון המכיל ריכוזים גבוהים של עופרת ומוליבדן.

Operator : MICHAEL DVORACHEK
Client : GSI
Job : 20 KV standards
(10/02/2008 11:10)

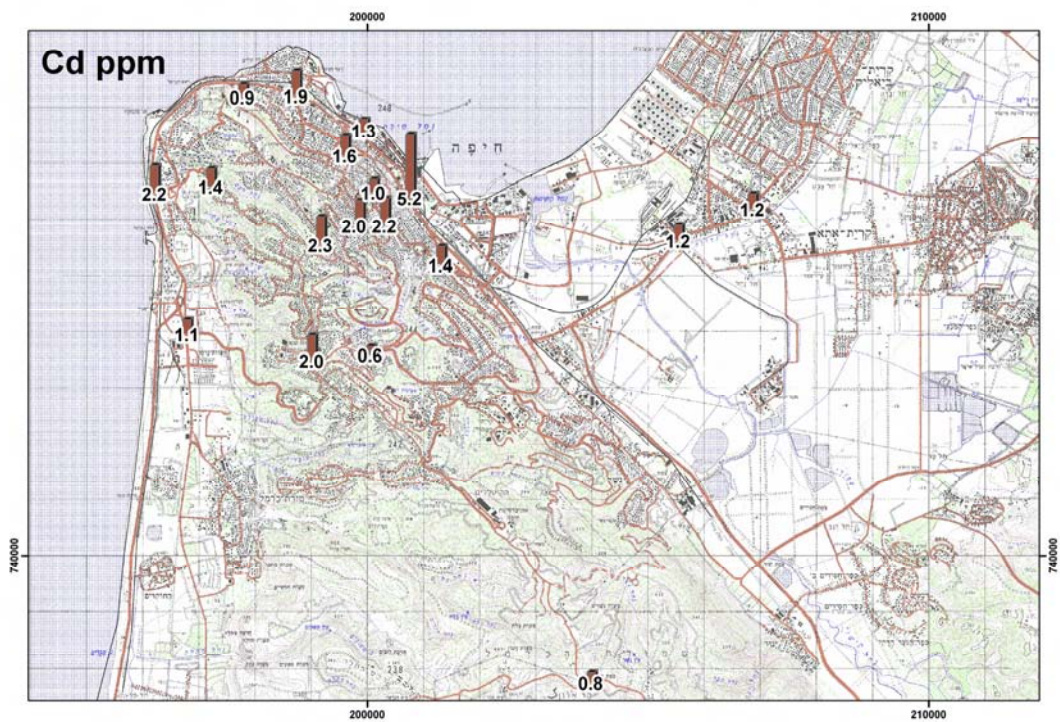
Counts



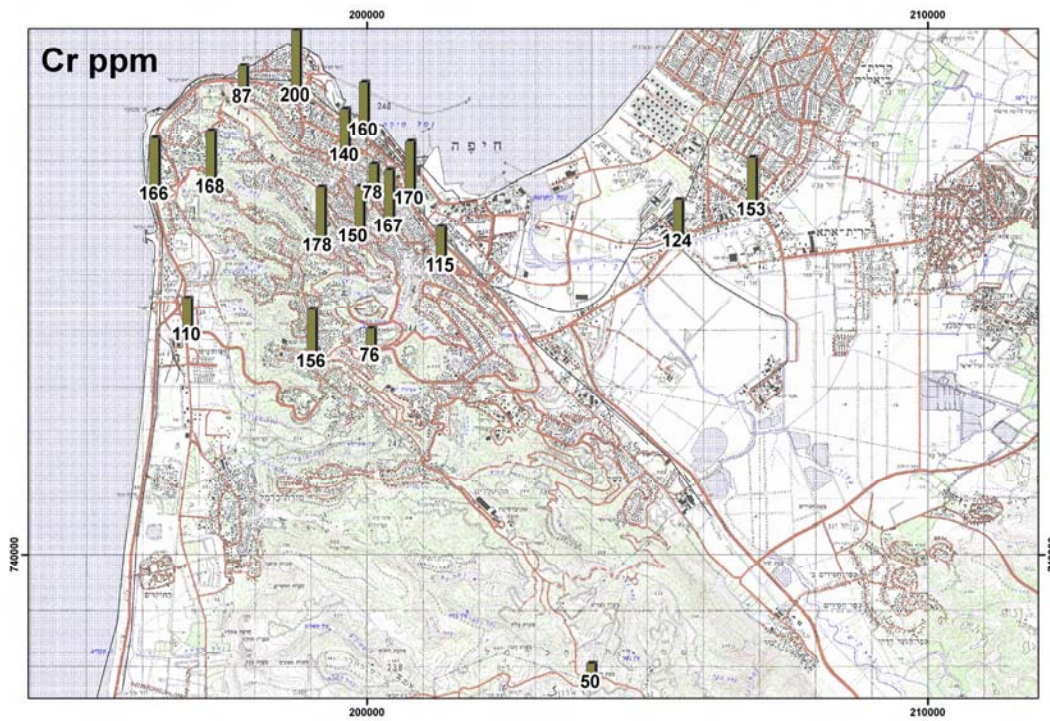
ציור 32: אנליזה במיקרוסקופ אלקטרוני סורק של גרגר באורך 3 מיקרון המכיל ריכוז גבוה של עופרת.



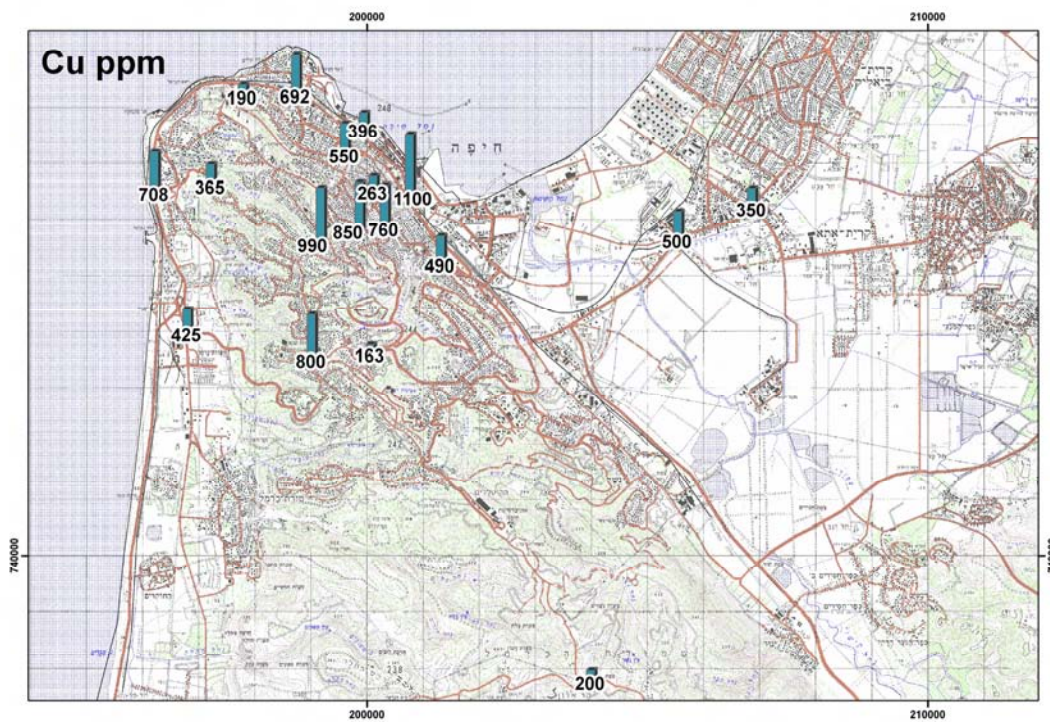
ציור 33: ריכוזי ארסן בדוגמאות אבק רחוב



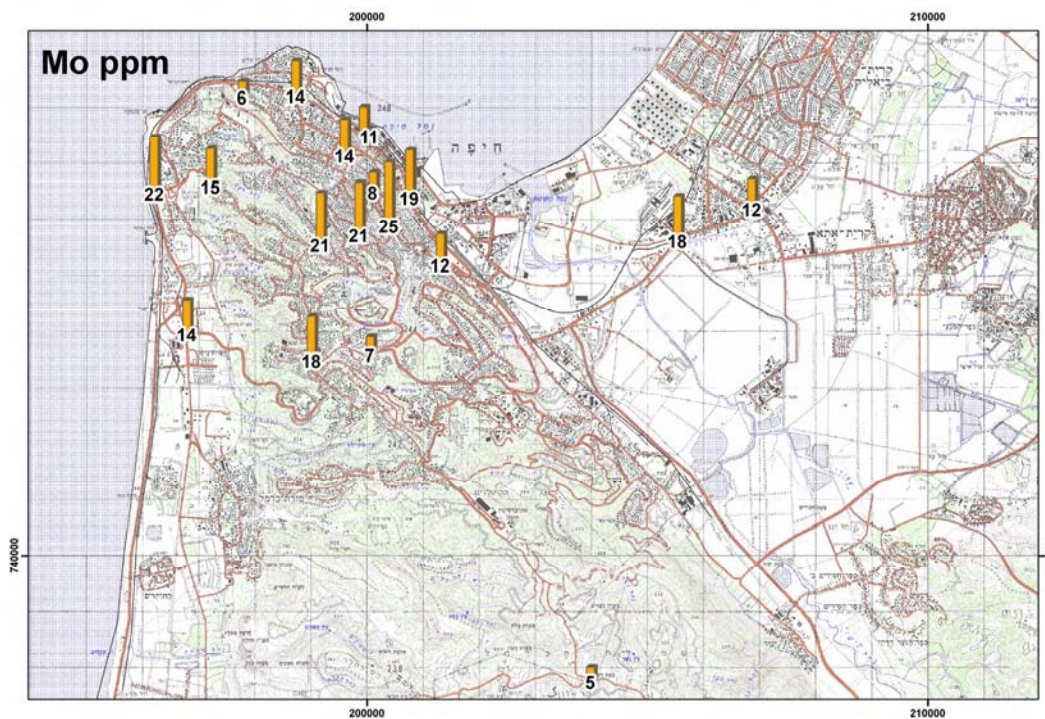
ציור 34: ריכוזי קדמיום בדוגמאות אבק רחוב



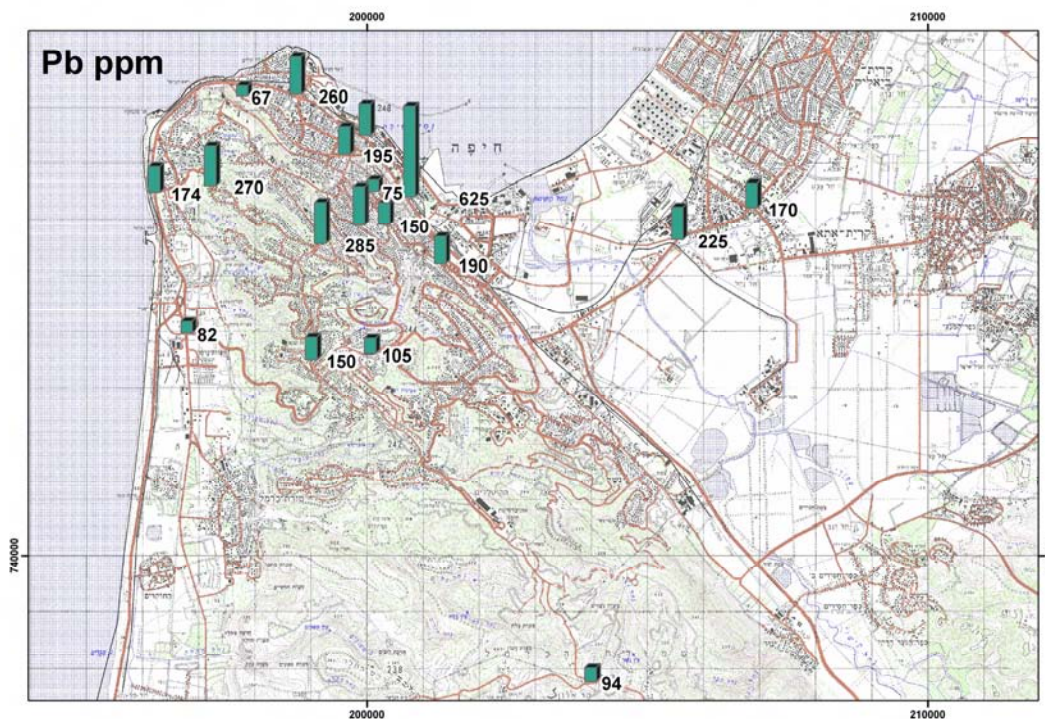
ציור 35: ריכוזי כרום בדוגמאות אבק רחוב



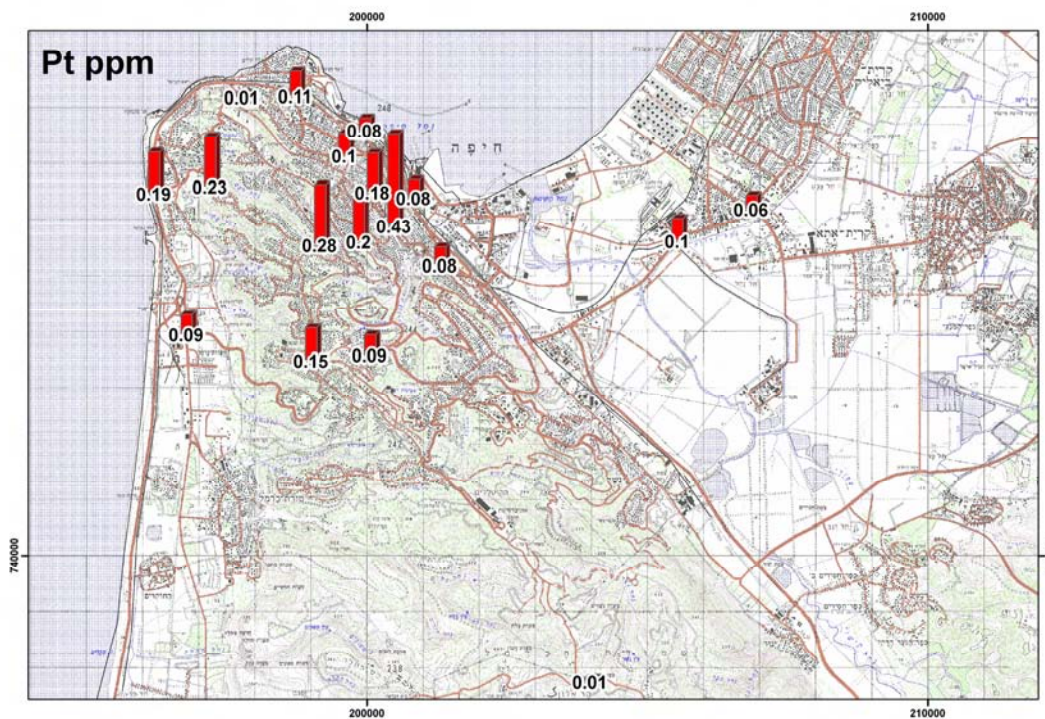
ציור 36: ריכוזי נחושת בדוגמאות אבק רחוב



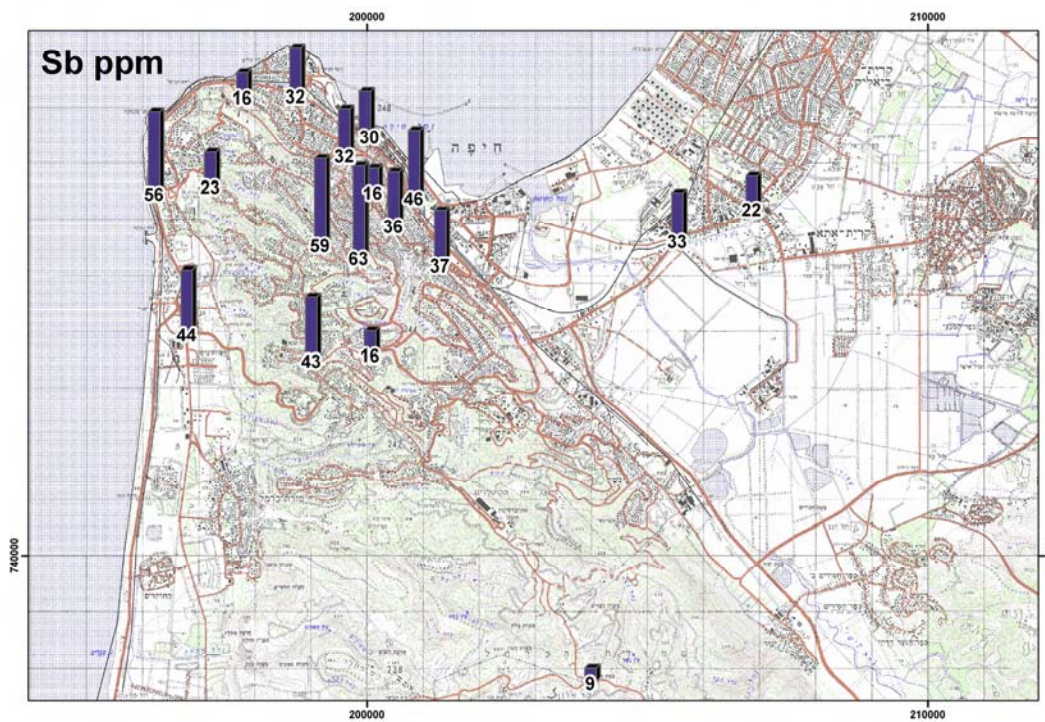
ציור 37: ריכוזי מוליבדן בדוגמאות אבק רחוב



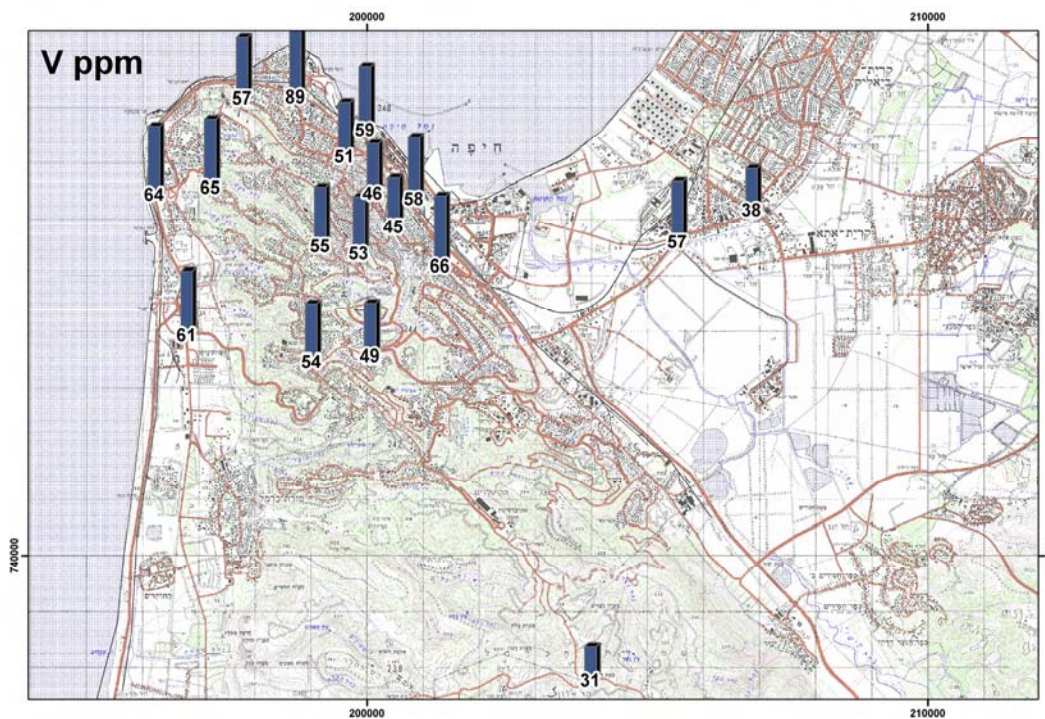
ציור 38: ריכוזי עופרת בדוגמאות אבק רחוב



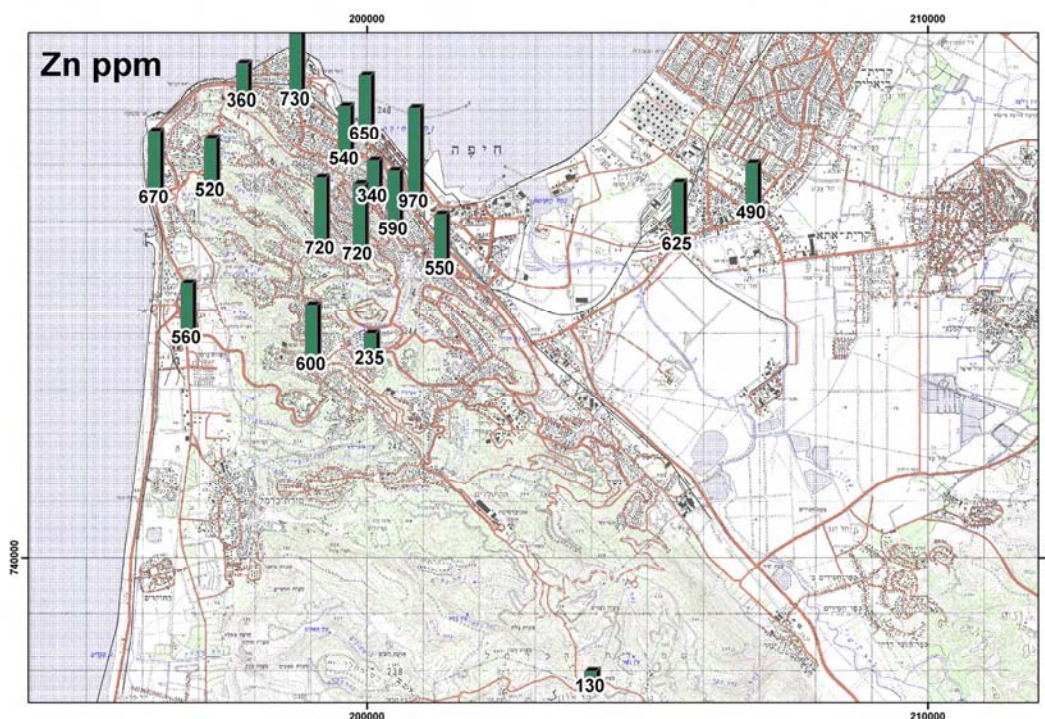
ציור 39: ריכוזי פלטינה בדוגמאות אבק רחוב



ציור 40: ריכוזי אנטימון בדוגמאות אבק רחוב



ציור 41: ריכוזי ונדיום בדוגמאות אבק רחוב



ציור 42: ריכוזי אבץ בדוגמאות אבק רחוב

ריכוזי המתכות שנמצאו בדוגמאות אבק הרחוב דומים לאלו המדווחים מערים אחרות בעולם [2,3]. וחלקם מגיע לכדי 0.5wt%. הריכוזים הגבוהים ביותר של רוב היסודות נמצאו בדוגמאות שנדגמו במרכז העיר – מהדר הכרמל לכיוון העיר התחתית – אזור בו נפחי התחבורה הינם גדולים וצפיפות הבנייה איננה מאפשרת הרחקה או מיהול של אבק הרחוב. ריכוזי הפלטינה בדוגמאות מגיעים עד לכ- 500 ppb ומקורם בממירים הקטליטיים שנכנסו לשימוש בכלי הרכב בשני העשורים האחרונים. הופעת הפלטינה בסביבה האורבנית מהווה כיום מוקד למחקר רב תחומי העוסק בשאלת זמינות תרכובותיה לחי ולצומח והשפעתן הבריאותית.

סיכום

השימוש בכלים גיאוכימיים מהווה כלי אינטגרטיבי לזיהוי מקורות זיהום, הן נקודתיים והן נרחבים יותר בהם מתפתחות מגמות זיהום במשך זמן ארוך. המחקר הנוכחי מצביע על אזור נחל גדורה, האזור שמדרום לנמל הקישון והאזור הקרוב לקיבוץ אלונים כעל אתרים מקומיים שבהם ריכוזים חריגים של מתכות קורט, ועל האזורים שממזרח לקריית ביאליק - כפר מסריק וכן אזור טבעון ככאלה שבהם קיים ריכוז עודף של יסודות מתכתיים מסויימים, כנראה כתוצאה מפעילות ארוכת שנים של התעשייה. הנתונים שנאספו והמרוכזים במערכת מידע גיאוגרפית מהווים בסיס נתונים המאפשר לימוד מגמות השינויים הסביבתיים בשנים הבאות, נדבך בהבנת קשרים אפשריים לתחלואה וכלי עזר בידי הרשויות לביצוע פעילות ניקוי או אכיפה.

הדיגום הראשוני של דוגמאות אבק רחוב בחיפה והריכוזים הגבוהים של מתכות שנמצאו בדוגמאות אמורים להסב את תשומת ליבן של הרשויות להיבטים הבריאותיים של הממצאים ולהמשך המחקר בתחום זה.

- [1] Painter, S., Cameron, E.M., Allan, R., & Rouse, J., 1994. Reconnaissance geochemistry and its environmental relevance. *Jour. Geochemical Exploration*, Vol. 51, Issue 3, pp. 213-246.
- [2] Charlesworth, S., Everett, M., McCarthy R., Ordonez, A., de Miguel, E., 2003. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environ. Int.*, 29, 563-573.
- [3] McAlister, J.J., Smith, B.j., Baptista, J., Simpson, J.K., 2005. Geochemical distribution of heavy metals and oxalate in street sediments from Rio de Janeiro, Brazil: a preliminary investigation. *Environ. Geochem. and Health*, 27, 429-441.
- [4] Yaalon, D.H., 1997. Soils in the Mediterranean region: what makes them different? *Catena* 28, pp. 157-169.
- [5] Ilani, S., Shirav, M. & Halicz, L., 1992. Geochemistry of stream sediments in the Mount Carmel area, Israel. *GSI Report* No. 15/92, 22 p., pts., tabs.
- [6] Shirav, M., Wolfson, N., Ilani, S. & Halicz, L., 1997. A tale of two cities – urban geochemistry of Jerusalem and Haifa. *18th Int. Geochemical Exploration Symp.*, Jerusalem, Israel. pp. 40.
- [7] Gilat, A., Shirav, M., Halicz, L., 2002. Geochemical mapping of the eastern Hashefela - western Shomeron mountain regions. *Geol. Surv. Isr., Current Research.*, Vol. 13, pp. 38-46.
- [8] Herut, B., Shirav, M., Kress, N., Hornung, H., Ilani, S. & Yaffe, O., 1993. Sediment composition and pollution levels along the Kishon River and its drainage basin. *Isr. Oceanogr. Limnol. Res. Rep. IOLR H25/93 & GSI Report* No. GSI/23/93, 66 pp.
- [9] Herut, B., Shirav, M., Kress, N. & Hornung, H., 1994. Trace metals contamination in sediments from the Kishon river, its drainage basin and estuary, Mediterranean coast of Israel. *Int. Symp. on Pollution of the Mediterranean Sea, Nicosia, Cyprus*, pp. 457-464.

- [10] Ravindra, K., Bencs, L., Van Grieken, R., 2004. Platinum group elements in the environment and their health risk. *Sci. Total Environ.*, 5;318(1-3): 1-43
- [11] Jenks, G. F., 1977. Optimal Data Classification for Choropleth Maps'. Occasional Paper No.2, Department of Geography. University of Kansas.
- [12] ערכי סף ראשוניים למזהמים בקרקעות. המשרד להגנת הסביבה, מרץ 2004.
- [13] Maxwell, C.M., Nelson, D.W., 1978. Development of lead emission factor for reentrained dust from paved roadways. 71st Ann. Meet. Air Pollution Control Ass., Huston, TX, June 1978.
- [14] Kennedy, N.J., Hinds, W.C., 2002. Inhalability of large solid particles. *Jour. Aerosol Sci.*, 33, 237-255.
- [15] Manno, E., Varrica, D., Dongarra`, G., 2006. Metal distribution in road dust samples collected in an urban area close to a petrochemical plant at Gela, Sicily. *Atmospheric Environment*, 40, 5929-5941.

