



תוכנת " ורוניק "

תוכנת תרחישים להערכת נזקי רעידת אדמה

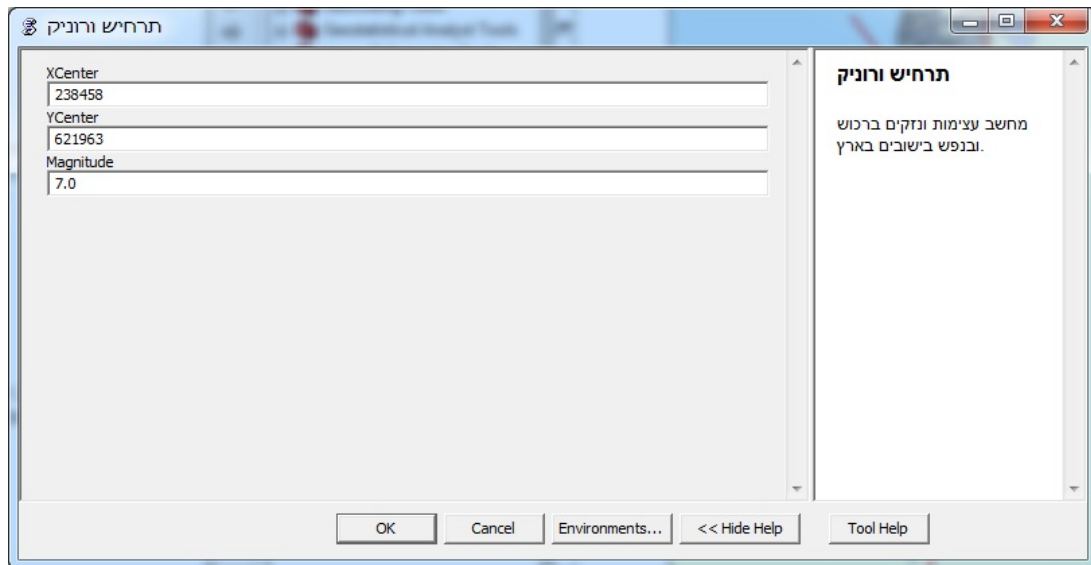
דו"ח מס' 500/635/11

דצמבר 2011

ורוניק אבירב

תוכנת "ורוניק" פותחה ונכתבה לבקשת ועדת ההיגוי הבינמשרדית להיערכות לרעידות אדמה כחלק מהפעילות הקשורה בבניית חדר מצב סיסמולוגי-גיאולוגי ובמטרה לתת פתרון מידי לצורך בהערכת נזקי רעידת אדמה חזקה בישראל לכשתרחש באזורנו.

תוכנת "ורוניק" נכתבה על מנת לחשב עצימות סיסמית (*Seismic Intensity*) ונזקים ברכוש ובנפש בעקבות התרחשותה של רעידת אדמה חזקה. התוכנה עובדת בסביבת העבודה ArcView ונכתבה בשפת Python. התוכנה מקבלת כקלט נתוני נ.צ. של מוקד רעידת האדמה ברשת ישראל חדשה ועוצמת הרעש (המגניטודה M_w).



בסיס נתונים עבור התוכנה:

1. קובץ שכבת ישובים *mnt10.shp* - מכיל שכבה פוליגונאלית כאשר כל פוליגון מציין ישוב (ראה מפה בצירור 1). לכל פוליגון מצורפים הנתונים הבאים:

- סמל ישוב.
- שם ישוב, מספר בניינים.
- מספר תושבים.
- תוספת עצימות סיסמית עקב ציפייה להגברת אתר כתוצאה מהמבנה הגיאולוגי של תת הקרקע.
- תוספת עצימות סיסמית עקב אפשרות של הגברה בגלל התנאים הטופוגרפיים.
- תוספת עצימות סיסמית עקב חשש לגלישות קרקע.
- תוספת עצימות סיסמית עקב חשש מתופעת התנזלות של הקרקע.

התוספות dI לכל ישוב הוערכו מתוך המקורות הבאים:

א. העצימות הנוספת בגין יציבות מדרונות וחשש להתנזלות נקבעה ע"י חוקרי המכון הגיאולוגי לישראל על פי מפות הסיכונים הגיאולוגיים (ראה: מפות המכון הגיאולוגי

www.gsi.gov.il)

ב. ערכי dI בגין אפקט האתר נקבעו ע"י טאטיאנה אקסיננקו מאגף סיסמולוגיה של המכון הגיאופיסי על פי סקרים סיסמולוגיים שבוצעו בישראל להערכת תגובת אתר. באין נתוני מדידה, נאסף מידע מתוך ספרות גיאולוגית-גיאופיסי. נסמן A את מקדם ההגברה המחושב ואז:

$$dI = 1.6 * \log A$$

כאשר A = תגובת האתר (מחושבת) מירבית בתחום תדירויות רלבנטיות לבניה האופיינית בישוב: ישובים כפריים 4-10 הרץ, ישובים עירוניים גדולים 0.2-5 הרץ. (המשוואה ע"פ ד"ר יולי זסלבסקי בירור בעל פה – המכון הגיאופיסי לישראל).

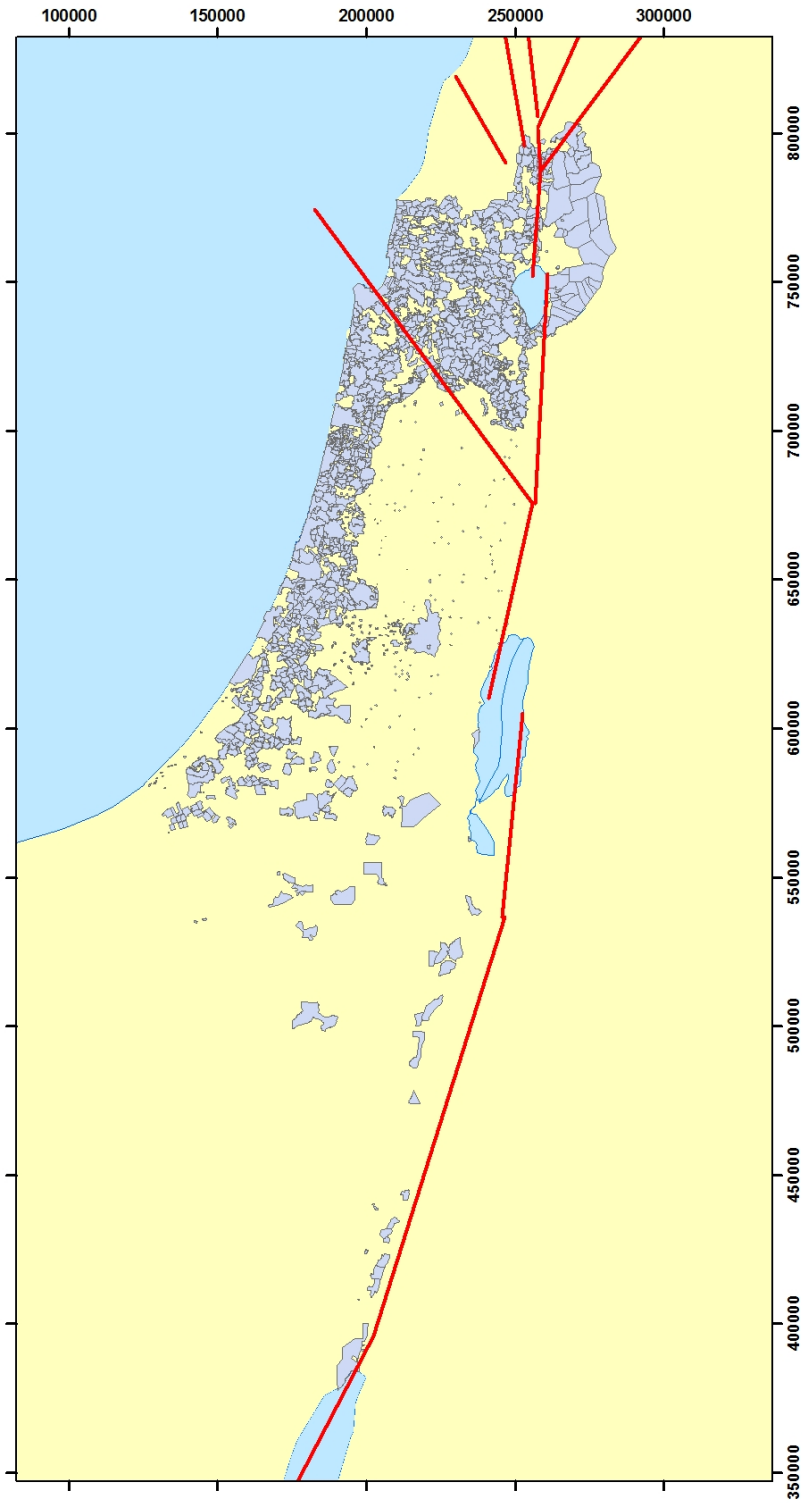
לגבי הגברה טופוגרפית הונח, בהעדר מידע אחר, $dI = 0.5$ ובתנאי שהמבנה הטופוגרפי הוא בגובה העולה על 100 מ' מעל לפני השטח ורוחבו של המבנה הטופוגרפי עד 1500 מ'.

2. שברים פעילים

קובץ *faults.shp* מכיל קואורדינאטות של קצות קטעי העתקים שיחד מהווים תיאור סכמטי של ההעתקים הפעילים (ראה מפה בצירור 1) עליהן תתרחשנה רעידות אדמה חזקות. בשלב זה, בהתחשב במכלול אי הודאוויות האינהרנטיות לחישובים, לא נדרש פירוט ו/או דיוק רב יותר במיפוי העתקים פעילים.

ציור מס. 1 :

מפה של שכבת הישובים ותיאור סכמטי של מקום ההעתקים הפעילים :



3. טבלת פגיעות בנינים :

הטבלה המצורפת מתארת את הפיזור הסטטיסטי של הנזקים הצפויים לבנינים שלודים מבטון מזויין (מרבית בניני במגורים בישראל) כפונקציה של העצימות הסיסמית. הטבלה הועתקה מדו"ח אמריקאי ATC-13 שונות. הטבלה מציגה הערכות סטטיסטיות של השיעור היחסי של הבנינים באזור הפגוע שרמת הנזק בהם דומה. רמת הנזק מתארת את העלות הנדרשת (אחוז מעלות הבניין) להחזיר את הבניין למצבו לפני רעידת האדמה. במילים אחרות, רמת הנזק מתבטאת באחוזים משווי המבנה).

רמת נזק	אחוז הנזק לבנין	עצימות סיסמית						
		VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
אין נזק	0	0.95	0.49	0.3	0.14	0.03	0.01	0.004
מזערי	0.5	0.03	0.38	0.4	0.3	0.1	0.03	0.006
חלש	5	0.015	0.08	0.16	0.24	0.3	0.1	0.01
בינוני	20	0.004	0.02	0.08	0.16	0.26	0.3	0.03
גדול	45	0.001	0.015	0.03	0.1	0.18	0.3	0.18
כבד	80	0.00001	0.01	0.02	0.04	0.1	0.18	0.39
הרס	100	0.000001	0.005	0.01	0.02	0.03	0.08	0.38

השימוש במטריצת נזקים זו מתבסס על שתי הנחות :

- (א) לדרגות העצימות הסיסמית בישראל ובארה"ב נקבעות על פי אותו סולם עצימות סיסמית. הנחה זו נכונה במהותה.
- (ב) התפלגות הנזקים עבור אותה דרגה של עצימות סיסמית שווה בישראל ובארה"ב. אין בידנו שום מידע שיכול לתמוך או לסתור הנחה זו.

4. טבלת הפגיעות בנפש

ההערכות על הפגיעה בנפש מתבססות גם הן על נתוני הדו"ח ATC-13. דו"ח זה מתאר את היקף הפגיעה הצפוי בנפש כתוצאה מרמות נזק שונות בבנינים שלודים אשר בנויים מבטון מזויין. הטבלה להלן שונה מהטבלה המקורית שבדו"ח בכך שקבענו את שיעור הפצועים קשה להיות זהה לשיעור ההרוגים (ע"פ המלצת ד"ר יעקב אדלר יועץ משרד הבריאות)

אחוז נזק לבניין					פגיעה בנפש
100	80	45	20	5	
0.4	0.3	0.03	0.003	0.00033	קלה
0.4	0.04	0.004	0.0004	0.000044	קשה
0.2	0.01	0.001	0.0001	0.000011	הרוגים

נעשו שינויים בטבלה בשל בעיית סטטיסטיקה והטבלה החדשה היא :

פגיעה בנפש		אחוז נזק לבניין			
100	80	45	20	5	
קלה	0.4	0.3	0.03	0.003	0.00033
בינוני	0.2	0.03	0.003	0.0003	0.000033
הרוגים	0.2	0.01	0.001	0.0001	0.000011
קשה	0.2	0.01	0.001	0.0001	0.000011

כאשר אנחנו מפרסמים רק את הפצועים קל ופצועים בינוני.

5. הערכנו את מספר הלכודים מתוך המשוואה :

$$L(\text{Trapped}) = 0.05 * \text{people_80} + 0.2 * \text{people_100}$$

כאשר :

people_45 - הוא מספר האנשים ששהו בבנינים בהם רמת הנזק היתה גדולה (45%).

people_80 - הוא מספר האנשים ששהו בבנינים בהם רמת הנזק היתה כבדה (80%).

people_100 - הוא מספר האנשים ששהו בבנינים שהתמוטטו ונהרסו (100%).

בהערכת מספר האנשים הנחנו שבכל בנין נמצאו בממוצע K אנשים כאשר K הוא היחס בין סה"כ האנשים ביישוב לבין סה"כ המבנים ביישוב.

6. הערכנו את מספר חסרי הדיור מתוך המשוואה :

$$L(\text{evacuated}) = 0.05 * \text{people_20} + 0.5 * \text{people_45} + \text{people_80} + \text{people_100} - \text{Dead}$$

7. טבלת סיווג יישובים typSettHls כפי שהתקבלה מהמרכז למיפוי ישראל :

סוג היישוב	סמל	
צורת יישוב	יישוב עירוני	
	יישובים יהודיים 500,000 תושבים ומעלה	120
	יישובים יהודיים 200,000-499,999 תושבים	130
	יישובים יהודיים 100,000-1,999,999 תושבים	140
	יישובים יהודיים 50,000-99,999 תושבים	150
	יישובים לא יהודיים 50,000-99,999 תושבים	250
	יישובים יהודיים 20,000-49,999 תושבים	160

יישובים לא יהודיים 20,000-49,999 תושבים		260
יישובים יהודיים 10,000-19,999 תושבים		170
יישובים לא יהודיים 10,000-19,999 תושבים		270
יישובים יהודיים 5,000-9,999 תושבים		180
יישובים לא יהודיים 5,000-9,999 תושבים		280
יישובים יהודיים 2,000-4,999 תושבים		190
מושבים 2,000-4,999 תושבים		191
מושבים שיתופיים 2,000-4,999 תושבים		192
קיבוצים 2,000-4,999 תושבים		193
יישובים לא יהודיים 2,000-4,999 תושבים		290
	יישוב כפרי	
מושבים		310
מושבים שיתופיים		320
קיבוצים		330
יישובים מוסדיים, יהודיים		340
יישובים מוסדיים, לא-יהודיים		440
יישובים קהילתיים		370
יישובים כפריים אחרים, יהודיים		350
יישובים כפריים אחרים, לא-יהודיים		450
שבטי בדווים (אוכלוסייתם כלולה ב"גרים מחוץ ליישובים")		460
נקודה שאיננה יישוב (האוכלוסייה כלולה ב"גרים מחוץ ליישובים")	"מקום"	510
מוקד תעסוקה		520
סמל קיבוצי		530

עקרונות החישוב

תוכנת " ורוניק" מחשבת עצימות סיסמית מתוך המשוואה (ל. פלדמן קבלת תואר מוסמך מאונ. ת"א, 1992):

$$I = -0.2 + 1.6M - 2.5 \log(r) - 0.003r$$

כאשר M היא המגניטודה של רעידת האדמה ו R הוא המרחק ההיפוצנטרי ($r^2 = R^2 + 15^2$).

המשוואה מתבססת על ניתוח עדויות מאקרוסייסמיות ומדידות סיסמומטריות של רעידות אדמה שהתרחשו באזורנו במאה ה-20 ועד שנת 1985. בכדי להביא בחשבון את השיפור באיכויות הבניה כיום, נקבע מקדם המשוואה להיות 0.2 - במקום 0.2 + במשוואה המקורית.

להערכת העצימות הסיסמית בישוב כלשהו מרעידת אדמה נתונה, הנחנו

- המגניטודה היא M_w .
- המרחק R הוא המרחק הקצר ביותר מנקודה במרכז הישוב אל קטע ההעתק שעליו התרחשה רעידת האדמה (ליתר דיוק, אל קטע ההעתק שהוא הקרוב ביותר אל מוקד רעידת האדמה).
- אורך ההעתק l שפעל באותה רעידת אדמה נקבע להיות המשוואה (ראה Wells and Coppersmith (1994)

$$\log(l) = -2.57 + 0.62M$$

לעצימות הסיסמית המוערכת מתוך המגניטודה והמרחק יש להוסיף את הנזקים מגורמים ספציפיים לאתר. תוספת זו נקבעה להיות התוספת המירבית (dl) מתוך התוספות המיוחסות לשוב בגין חשש להגברה, לגלישת קרקע או להתנזלות. התחשבו בחשש לגלישת קרקע רק אם העצימות הסיסמית הבסיסית הוערכה כגבוהה מ VII.

הערכת העצימות הסיסמית בכל ישוב שונתה שוב בהתאם למאפיינים גיאוגרפיים של הישוב מתוך התבוננות בבניה אופיינית בישובים שונים, כדלקמן:

כאשר הישוב הוא מסוג כפרי יהודי או מניחים שהבתים בישוב הם בעיקר בתים סדורים נמוכי קומות (1-2) וניתן להקטין את העצימות הסיסמית הצפויה בישוב ב 0.5 דרגות.

כאשר הישוב הוא מסוג כפרי ערבי או מניחים שהבתים בישוב בנויים בניה מסורתית ובחלקם בנויים על מדרונות ועל עמודים דקים וגבוהים. בישובים אלה הוספנו 0.4 יחידות של עצימות סיסמית.

בישובים עירוניים יהודיים נלקחה בחשבון שנת ההקמה של הישוב:

בישובים שנבנו לפני 1980 נוסף 0.5 יחידות עצימות סיסמית ל 20% מהבנינים בהנחה שאלה נבנו שלא על פי תקן. בישובים שנבנו לאחר שנת 1995 (ע"פ תקן ועם ממ"דים) הפחתנו 0.5 יח' עצימות סיסמית.

בישובים עירוניים ערביים הנחנו ש 80% מהבנינים פגיעים יותר (מאופיינים ע"י בניה מסורתית) ובהם הוספנו 0.5 יח' עצימות סיסמית.

חשוב מאד לציין שבחישובים התייחסנו לעצימות הסיסמית כאל פרמטר רציף למרות שאינו כזה (למשל, אין הגדרה ל 0.4 יחידות עצימות סיסמית). את העצימות המחושבת לאחר כל התוספות והחיסורים עיגלנו לערך השלם הקרוב ביותר וזו העצימות הסיסמית שהוערכה כצפויה מרעידת אדמה במגניטודה ידועה על פני העתק נתון.

תוצאות החישובים

תוצאות ההערכה מרוכזות בקובץ השכבה *mnt10_senario.shp* בה כל רשומה מציינת ישוב. תוצאות ההערכה עבור כל ישוב הן:

<i>Intensity</i>	עצימות
<i>noDmg</i>	בנינים ללא נזק (רמות נזק 0%)
<i>mediumDmg</i>	בנינים עם נזק בינוני (רמות נזק 0.5%+5%+20%)
<i>highDmg</i>	בנינים עם נזק גבוה (רמות נזק 45%+80%+100%)
<i>light</i>	פצועים קל
<i>Moderate</i>	מספר פצועים בינוני וקשה
<i>dead</i>	מספר הרוגים
<i>evacuated</i>	מספר תושבים חסרי דיור-עקורים
<i>Trapped</i>	מספר לכודים ברעש

התוכנה מאפשרת, תוך שימוש ב *ArcView*, להפיק מפות המציגות את תפרוסת הנזקים.

כיול

נערכו בדיקות והרצות בכדי לבחון את מידת ההתאמה בין תוצאות ההערכה של תוכנת "ורוניק" לבין מידע אודות רעידות אדמה הרסניות שהתרחשו באזורנו בשנים 1837, 1927, 1984 ו 1995. מטבע הדברים ניתן היה לבדוק ולהתאים את מקדמי התיקון שפורטו לעיל רק לגבי תפרוסת ערכי העצימות הסיסמית שאינם תלויים באיכות הבניה או בצפיפות האוכלוסיה. את מהימנות ההערכות בדבר היקף הנזקים הצפוי מאותן רעידות אדמה אילו התרחשו היום, לא ניתן עדין לקבוע והיא מתבססת בעיקר על שיקולים סובייקטיביים. אנו מנחשים שדיוק ההערכות הוא בתחום אי-ודאות בשיעור של לפחות פקטור 2, לחומרה או לקולה.

מקורות

Wells, D.L. and K.J. Coppersmith (1994). New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement. Bull. Seis. Soc. Am., 84:974-1002.

Lea Feldman and Avi Shapira (1992). Analysis of Seismic Intensities Observed in Israel.