

נייר עמדה על הערכת סיכונים של רעשי אדמה ותכנון מתאים לבטיחות הציבור
 נכתב ע"י
הארגון הבינ"ל לבטיחות סייסמית (ISSO)
 6 באוגוסט 2012

מבוא

שיעור האבדות וההרס העצום שנגרמו עקב רעשי אדמה קשים הותירו צלקות עמוקות במדינות הנפגעות ובקרב אוכלוסיות רבות ברחבי העולם. בין רעידות האדמה הקטלניות ניתן למנות את רעשי האדמה באוקיאנוס ההודי (2004), סצ'ואן-סין (2008), האיטי (2010) ויפן (2011). רעידות אדמה אלו והשלכותיהן הקשות מחייבים היערכות חדשנית בשלל תחומים על מנת למנוע הישנות אסונות בהקף כזה.

בראש ובראשונה נדרש סטנדרט גבוה יותר לתכנון ובנייה, כך שמבנים ותשתיות יוכלו לעמוד בפני רעשי אדמה בעוצמה מירבית שהתרחשה, בשטח נתון, בעבר (MCE-Maximum Credible Earthquake). הואיל ומדובר באסונות קטלניים והרסניים ביותר, חרף שכיחותם הנמוכה יחסית, רשויות מדינה חייבות להיערך מראש לאירועים בסדר גודל של MCE. הצלחת המהלך תלוייה במודעות גבוהה, היערכות מתאימה ושכנוע הציבור בפוטנציאל הסכנה הגלום באירועים מעין אלו בעתיד.

במבחן המציאות, שיטות הערכת סיכונים של רעשי אדמה הננקטות בקליפורניה מתחילת שנות ה-70 ויותר מעשור באיטליה (DSHA+NDSHA)¹ הוכחו כמוצלחות. עדות אחרונה לכך, הצלחה בהערכת עוצמת הרעש בצפון איטליה בשנת 2012. שיטות אלה לוקחות בחשבון היתכנותם של MCEs לעומתם, מודל הערכת סיכונים הסתברותי (PSHA-Probabilistic Seismic Hazard Analysis) אינו מוכיח את עצמו ככלי מעשי להבטחת בטיחות הציבור, וזאת מהסיבות הבאות:

1. מספרם הגבוה של רעשי אדמה הרסניים שעלו בעוצמתם ובהיקפם על הערכות המתבססות על מודלים של PSHA.
2. מנגד, רגישותם היתרה של חיישנים שנועדו לעקוב אחר רעידות בגין פיצוצים גרעיניים תת-קרקעיים נוטים להפריז באומדן עוצמתם של רעשים עתידיים; מהם מקישים גם ביחס לתחומים אחרים.
3. המודלים המתמטיים עליהם מתבסס מודל PSHA אינם מאומתים מול מודלים בפיזיקה, ועל כן הם אינם מדויקים באופן האומדן שלהם.

הנקודות לעיל מצביעות על בעיות אינהרנטיות במודל ה-PSHA, בהיותו בלתי-אמין, לא-עקבי ונטול ביסוס פיזיקלי. לעומתו, מודל ה-DSHA עומד במבחן התוצאה לאורך זמן כשהוא מפיך הערכות מדויקות, עקביות ומשמעותיות יותר. לאור זאת, ראוי כי מודל ה-DSHA וכן המודל המתקדם יותר (NDSHA) ישולבו כדרך שיגרה במערך בטיחות הציבור הקיים, לרבות שילובם במערכי תכנון ובנייה של תשתיות.

הגנת הציבור מחייבת הישענות על כל הידע הסייסמי ההיסטורי, בכלל זה בתכנון מבני ציבור 'רגילים', ולא רק למבנים בעלי רגישות או חשיבות 'קיומית'. בהמשך, תפורטנה דוגמאות מרעידות אדמה אחרונות.

הערכת סיכונים ותדרוך רשויות המדינה והאוכלוסייה

באומדן סיכונים יש לתכלל כלל ההשלכות הישירות והעקיפות שמחוללת רעידת אדמה בכלל זה: שריפות, הרעלה מחומרים מסוכנים, תסונמי, הרעה מתפרצת בבריאות הציבור, קריסה של מערכות קיומיות ועוד. בתרחיש ייחוס של רעש אדמה בסדר גודל של MCE יש לקחת בחשבון את 'אפקט הדומינו', כדי לצמצם קורבנות ולמזער נזקים.

¹ Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) and Neo-Deterministic Seismic Hazard Analysis (NDSHA)

ערך ה-MCE לפי מודל ה-DSHA אדיש לתכיפות רעידות האדמה, 'תקופת החזרה' על ציר הזמן או הקשר יחסי. עצם היותן בלתי-תלויות במשתנים אחרים מבליט את יתרונן על פני מודל ה-PSHA הן בתכנון מבנים ותשתיות רגילות, הן בתחומי הכלכלה וכמובן התכן של תשתיות קיומיות.

רעש אדמה חזק מחולל קורבנות, הרס ושיבושים חריפים בכל מערכות החיים שמאפילים על השאלה עד כמה הרעש שכיח או נדיר. לפיכך, יעדי ההיערכות לא צריכים להיות תלויים בשאלה של תדירות או עיתוי הרעש, אלא די בעצם התרחשותו, קטלניותו ונזקיו הפוטנציאליים על בסיס ידע הסטורי וניתוח מורפוסטרוקטורלי.

ניתוח סיכון סייסי צריך להתאפיין בשקיפות ובפשטות יחסית. עליו לאפשר התחקות אחר שלביו ולהתריע על סכנות רלוונטיות בפני מנהיגים ובפני הציבור הרחב. כאשר המסקנה המדעית מהמודל עמומה (למשל, תצפית בסדרת רעשים חלשים כסימן מקדים לרעש חזק) יש להתייחס לסכנה באופן שמרני, כזה שיימנע אובדן חיי אדם מתוך גישה אנתרופוצנטרית ופרספקטיבה של עלות-תועלת. אומדן סיכונים, מצד אנשי המקצוע, צריך להיות מקצועי, ללא רבב וללא 'הנחות'. מנהיגים והציבור הרחב מצידם, חופשיים לשקול שיקולים מקיפים, בכלל זה נטילת סיכונים גדולים במיוחד. אין ספק שגישה זו חשופה להיערכות מופרזת, בפרט אם רעידת אדמה חזקה תתעכב. המחברים גורסים שנוכח קטלניות המקרים יש להעדיף הפרזה לחומרה מאשר לקולה. כך היה ברעידת האדמה בלאקילה (L'Aquila) איטליה ב-2009 וביפן ב-2011, כאשר ניתן היה להתריע לציבור מרעש אדמה בסבירות נמוכה, ולהציל חללים רבים.

יש לאמץ מדיניות עיקבית של דריכות גבוהה והכנת הציבור להיתכנות רעש אדמה בעוצמה גבוהה. הסתמכות על הנחות עבודה לפיהן קיימת סבירות נמוכה לרעש חזק או שאנו בעיצומו של מרווח זמן בין רעשים עלולות ליצור תחושת ביטחון מופרזת, מופרכת, ורפיון מבצעי.

יש להפיץ מידע ברור, תוך הסתמכות על מודלים של DSHA, שהינם פשוטים ללמידה ולהבנה; זאת לעומת מודל ה-PSHA המופשט והנומרי. כשלים בהתרעה אמנם בלתי נמנעים לעתים, אך ניתן לשפר את המצב בעזרת טכנולוגיה חדשה ועל סמך ניסיון עבר.

דוגמאות הממחישות את יתרון השימוש במודלים של DSHA או NDSHA:

1. רעש האדמה בלאקילה (L'Aquila) איטליה, 6.4.2009 (עוצמה 6.3)

ההאשמות שהוטחו ב'ועדה להערכת סיכונים של איטליה' (CGR-Commissione Grandi Rischi) בגין קורבנות ונזק שנגרמו עקב רעש אדמה בעוצמה מתונה (6.3) הן תוצאה של הערכת-חסר של עוצמת הרעש והשלכותיו, ולא כשל בזיהוי הרעש עצמו. למרות שהיה צפי לרעש אדמה באזור והייתה מודעות לסכנות הגלוות בלאקילה, ה-CGR פרסם טרם הרעש שהסבירות לרעש חזק נמוכה מאד, תוך התעלמות, שלא לומר בגידה מדעית, בידע הקיים בידי חברי הוועדה.

לעולם יש לקחת בחשבון את השלכותיו של רעש חזק, אם הוא אפשרי על פי הניסיון ההיסטורי וכלי האומדן המודרניים. יש ליידיע את הציבור באומדן; זכותו להיות שותף. לוא השתמשו במודל ה-NDSHA עבור רעשים מסוג MCE תוך התבססות על גיאולוגיה אזורית, היסטוריה סייסמית וניתוח מורפוסטרוקטורלי, ניתן היה למנוע חלק ניכר מהקורבנות כתוצאה מרעש זה.

2. רעש האדמה טוהוקו (Tohoku), יפן, 11.3.2011 (עוצמה 9)

הכור הגרעיני בפוקושימה ספג נזק ניכר כתוצאה מגלי צונאמי בגובה 14 מטר. המתקן עצמו תוכנן לעמוד מול גלים בגובה 5.2 מטר. גלי צונאמי בגובה של 40 מטר שנגרמו מרעש זה ורעשים היסטוריים היו אמורים להוות התראה לאורך חופם המזרחי של איי יפן. מתכנני תחנות הכוח העריכו הערכת-חסר את רמת הסיכון. במקרה זה היה הכרח להתבסס על הנחת עבודה מדעית של רעש האדמה החזק ביותר האפשרי בתנאים הקיימים בעת תכנון הכור בפוקושימה, וזאת כדי למנוע את האפשרות לאסון בקנה-מידה כה חמור, כפי שלבסוף אכן אירע. שימוש בהערכה

של MCE והכנה לגלי צונאמי באופן שתואם רעש בעוצמה 9 תוך התבססות על מודלים של DSHA או NDSHA' היה מפחית באופן ניכר את רמת הנזק שגרם אותו רעש.

3. רעש האדמה אמיליה, איטליה, 20.5.2012 (עוצמה 5.9)

לפי מפת ה-PSHA שעליה מבוסס קוד הבניה האיטלקי מוקד הרעש הפוטנציאלי עומד בקטגוריה שלישית עם PGA של 0.175g. לעומת זאת, מפת ה-NDHA שפורסמה לראשונה ב-2001 קובעת PGA גבוה בהרבה, בטווח של 0.15g-0.30g, תוך לקיחה בחשבון של נתוני עבר בשיעור 0.25g. לאור האמור לעיל מפת ה-NDSHA מהווה כלי יעיל הרבה יותר לקוד הבנייה באיטליה, כמו גם אזורים אחרים ברחבי העולם. יש לציין כי סדרת רעשים עוקבים שאירעו 9 ימים לאחר מכן והיו בעוצמה 5 ומעלה הובילה להרס רב יותר, כנראה כתוצאה מהפגיעה הקודמת במבנים וביסודות וגורמים נוספים.

סיכום

על מנת להבטיח את בטיחות הציבור ואת עמידותם של מבנים בפני רעשים בעתיד יש להעריך למצבי חירום על בסיס תרחישי MCE, תוך התבססות על מודלים לאומדן מסוג DSHA ו-NDSHA. מודלים אלו אמינים, ברורים ושקופים יותר, ועומדים במבחן המציאות. מנגד, מודל מסוג PSHA אינו בא בחשבון; על בסיס מודל זה הופקו תחזיות לא מדויקות על בסיס נומרי וללא תימוכין פיזיקליים. מודלים מסוג DSHA ו-NDSHA הינם שקיפים ונהירים לציבור, בעוד שמודל PSHA הינו מורכב, מופשט, מעורפל ואינו ברור דיו. מודל ה-NDSHA הוכיח את יעילותו ועליונותו על מודל ה-PSHA במהלך רעשי האדמה בצפון איטליה בחודש מאי 2012, ועשוי להפוך לכלי מרכזי בפיתוח קוד הבנייה האיטלקי, כמו גם אזורים אחרים בעלי רגישות סייסמית בעולם. כשלים במתן התראה בעת חירום הם אמנם בלתי נמנעים, אך ניתן לשפר את המצב תוך התבססות על ניסיון עבר ואמצעים טכנולוגיים.

פרטי וחתימות חברי הארגון הבינ"ל לבטיחות סייסמית (ISSO)
Names (alphabetical) with selected particulars and country
for the International Seismic Safety Organization (ISSO)

Signature

Benedetto De Vivo

Professor of Geochemistry, Dept. of Earth Sciences

University of Naples Federico II

ITALY

Adjunct Professor - Department of Geosciences

Virginia Polytechnic Institute & State University (Virginia Tech), Blacksburg, Virginia

USA

Chief Editor of Journal of Geochemical Exploration;

Associate Editor of Mineralogy and Petrology;

Fellow of the Mineralogical Society of America;

Southern Europe Councillor of the Association of Applied Geochemists (AAG)

Signature

Indrajit K. Ghosh

Structural Design Engineer

USA

Signature

Allen W. Hatheway

International Consultant on Geological Site-Risk Engineering;

Professor of Geological Engineering (retired)

Missouri University of Science & Technology, Rolla

USA

Signature

Dr.-Ing. Jens-Uwe Klügel
Member, Seismological Society of America;
Nuclear Engineer & Risk Analyst, Frick
SWITZERLAND



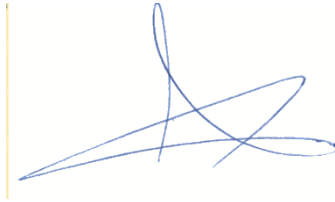
Signature

Vladimir G. Kossobokov
Vice President, International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) *GeoRisk* Commission
(IUGG Commission on Geophysical Risk and Sustainability)
Chief Scientist and Professor
Institute of Earthquake Prediction Theory and
Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Moscow
RUSSIAN FEDERATION
Institut de Physique du Globe de Paris
FRANCE



Signature

Ellis L. Krinitzky
Senior Research Scientist, Geosciences, Emeritus
Engineer Research and Development Center
US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi
USA



Signature

Dr. Efraim Laor

Founder & Senior Lecturer, Masters' & Ph.D. Program in
Confronting Large-Scale-Sudden-Disasters [LSSDs], University of Haifa;
 Former Chairperson, Govt. of Israel Steering Committee for Disaster Reduction, Jerusalem;
 Chairman, Fast Israeli Rescue & Search Team (F.I.R.S.T.)

ISRAEL

Team Member, United Nations Disaster Assessment and Coordination (UNDAC) and
 Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), Field Coordination Support
 Section (FCSS), Geneva

SWITZERLAND



Signature

Alessandro Martelli

Director, Bologna Research Centre of Italian National Agency for New Technologies,
 Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), Bologna;
 Coordinator, promotion, transfer and technological development activities,
 Northern Italian ENEA Centres, Bologna;
 President, Isolation and Other Anti-Seismic Design Strategies (GLIS);
 Founding President and present Vice-President, ASSISi);

Professor, PhD School on

Civil Engineering, Environment and Territory, Building and in Chemistry, Polytechnic of Bari;

ITALY



Signature

Lalliana Mualchin
 Chief Seismologist (retired),
 California Dept. of Transportation
 USA
 Former Visiting Professor, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
 JAPAN


Signature

Giuliano Panza
 Beno Gutenberg Medalist of the European Geophysical Society;
 Professor of Seismology & Head of Structure and Non-Linear Dynamics of the Earth Group,
 University of Trieste & The Abdus Salam International Centre of Theoretical Physics;
 Linceo Prize, Accademia Nazionale dei Lincei;
 ITALY
 Honorary professor Institut of Geophysics China Earthquake Administration, Beijing
 CHINA
 Project Leader, Several International Lithosphere Program (ILP), United Nations Educational,
 Scientific and Cultural Organization (UNESCO)-International Union of Geological Sciences
 (IUGS)-International Geoscience Programme (IGCP), North Atlantic Treaty Organization
 (NATO), Italian Ministry of Foreign Affairs (MAE) and European Union (EU) projects dealing
 with seismic hazard assessment and geodynamics


Signature

Antonella Peresan
 Research Scientist, Dept. Geosciences and Structure and Non-Linear Dynamics of the
 Earth Group,
 University of Trieste & The Abdus Salam International Centre of Theoretical Physics
 ITALY



Signature

Mark R. Petersen
Consulting Geotechnical Engineer and Engineering Geologist
USA



Signature

Francesco Stoppa
Director, Geological Risk Mitigation School (SISMA) and
Full Professor of Geochemistry and Volcanology,
Earth Science Dept., Gabriele d'Annunzio University, Chieti
ITALY



Signature

Augustin Udias
Professor Emeritus
Department of Geophysics and Meteorology, Universidad Complutense, Madrid
SPAIN