

Primljen / Received: 15.1.2018.

Ispravljen / Corrected: 8.10.2018.

Prihvaćen / Accepted: 3.11.2018.

Dostupno online / Available online: 10.6.2019.

# Ocjena seizmičkog rizika primjenom novih podataka o rizicima i stambenom fondu

## Autori:



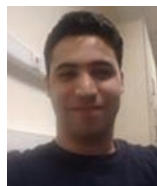
Doc.dr.sc. **Ferhat Pakdamar**, dipl.ing.građ.  
Tehničko sveučilište Gebze, Turska  
Arhitektonski fakultet  
[pakdamar@gtu.edu.tr](mailto:pakdamar@gtu.edu.tr)



Dr.sc. **Fatma İlknur Kara**, dipl.ing.građ.  
Tehničko sveučilište Gebze, Turska  
Arhitektonski fakultet  
[figokce@gtu.edu.tr](mailto:figokce@gtu.edu.tr)



Dr.sc. **Yaşasin Eryılmaz**, dipl.ing.građ.  
Tehničko sveučilište Gebze, Turska  
Arhitektonski fakultet  
[eyasasin@gtu.edu.tr](mailto:eyasasin@gtu.edu.tr)



**Ali Yeşilyurt**, dipl.ing.građ.  
Tehničko sveučilište Gebze, Turska  
Arhitektonski fakultet  
[aliyesilyurt@gtu.edu.tr](mailto:aliyesilyurt@gtu.edu.tr)

Prethodno priopćenje

**Ferhat Pakdamar, Fatma İlknur Kara, Yaşasin Eryılmaz, Ali Yeşilyurt**

## Ocjena seizmičkog rizika primjenom novih podataka o rizicima i stambenom fondu

U ovom se radu analizira potencijalno seizmičko djelovanje dvaju aktivnih segmenata sjevernoanatolijskog rasjeda u Mramornom moru. Istražena su dva seizmička scenarija pojedinačnih magnituda 6,9 i 6,7 za slučaj pojedinačnih aktivacija rasjeda, te treći scenarij magnitude 7,2 za slučaj istovremene aktivacije oba rasjeda. Skupina postojećih građevina sastavljena od 15.871 zgrade svrstana je u deset osnovnih kategorija. Svako je kategoriji pripisana odgovarajuća krivulja otpornosti i niz krivulja oštjetljivosti koje određuju vjerojatnost prekoračenja jednog od pet stupnjeva oštećenja: nikakvo, neznatno, manje, srednje, jako i potpuno.

### Ključne riječi:

seizmički scenarij, ocjena seizmičkog rizika, oštećenje zgrade, krivulja otpornosti, krivulja oštjetljivosti

Research paper

**Ferhat Pakdamar, Fatma İlknur Kara, Yaşasin Eryılmaz, Ali Yeşilyurt**

## Seismic risk assessment using updated hazard and building inventory data

This study focuses on the assessment of potential seismic impacts from two active segments of the North Anatolian Fault running across the Sea of Marmara. Two seismic scenarios with moment magnitudes of  $M_w$  6.9 and  $M_w$  6.7 were developed for individual segment rupture, and the third one with the magnitude of  $M_w$  7.2 was developed for simultaneous activation of both segments. 15,871 existing buildings were grouped into 10 main classes. Each class was assigned a respective capacity curve and a set of fragility curves that determine the probability of exceeding one of the following five damage states: none, slight, moderate, extensive, and complete.

### Key words:

seismic scenario, seismic risk assessment, building damage, capacity curve, fragility curve

Vorherige Mitteilung

**Ferhat Pakdamar, Fatma İlknur Kara, Yaşasin Eryılmaz, Ali Yeşilyurt**

## Bewertung der seismischen Risiken durch Anwendung neuer Daten über Risiken und den Wohnungsfond

In dieser Abhandlung wird die potenzielle seismische Auswirkung zweier aktiver Segmente in der nordanatolischen Verwerfung im Marmarameer analysiert. Für den Fall einzelner Aktivierung der Verwerfungen wurden zwei seismische Szenarien einzelner Magnituden 6,9 und 6,7 untersucht, und das dritte Szenario der Magnitude 7,2 für den Fall einer gleichzeitigen Aktivierung beider Verwerfungen. Die Gruppe der bestehenden Gebäude besteht aus 15.871 Gebäuden in zehn Grundkategorien eingeteilt sind. Jeder Kategorie wird eine entsprechende Widerstandskurve und eine Reihe von Beschädigungskurven zugeordnet, welche die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung einer der fünf Beschädigungsstufen festlegen: keine, gering, weniger, mittel, schwer und vollständig.

### Schlüsselwörter:

seismisches Szenario, Bewertung des seismischen Risikos, Gebäudebeschädigung, Widerstandskurve, Beschädigungskurve

## 1. Uvod

Prirodne katastrofe poput potresa, poplava, oluja, suša i požara svake godine uzrokuju brojne žrtve i materijalne štete. Tako je na primjer nekoliko velikih potresa zabilježeno u posljednje vrijeme u Kini, Pakistanu, Čileu, Afganistanu, Tadžikistanu, Turskoj te u nekim drugim državama. Potres od 7,8 Mw koji je 2015. godine zadesio Nepal imao je katastrofalne posljedice: 8.831 poginuli i otprilike 100.000 osoba s tjelesnim ozljedama za koje je bilo potrebno bolničko liječenje. Što se tiče materijalne štete, otprilike 500.000 zgrada je uništeno, a 269.000 pretrpjelo je znatna oštećenja. Nakon potresa, naknadni su udari doveli do otvaranja klizišta zbog čega je broj žrtava porastao za dodatnih 218 osoba. Ukupan gubitak za gospodarstvo procjenjuje se na otprilike 4,8 milijardi američkih dolara [1]. Šire istambulsko područje (eng. *Istanbul Metropolitan Municipality* - IMM) također je poznata seizmički aktivna zona koju su do sada pogodili brojni snažni potresi. Jedan od njih je i potres magnitude 7,4 koji je 1999. godine zadesio Kocaeli i u kojem je uništeno otprilike 250.000 građevina [2]. Iako je epicentar potresa bio udaljen čak 85 km od središta Istantula, 3.073 građevine potpuno su uništene, 13.339 građevina pretrpjelo je srednje teška oštećenja, a lakše je oštećeno 12.455 građevina. U tom su potresu živote izgubile 454 osobe, a ozlijeđeno je 1.880 osoba [3]. Objavljeno je da su ukupni gospodarski gubici zbog tog potresa bili od 16 do 20 milijardi američkih dolara [4].

Ocjena seizmičkog rizika, u ovom radu uključuje ocjenu seizmičnosti, ocjenu ugrožene imovine te ocjenu oštećenja i smatra se stoga faktorom koji u velikoj mjeri pridonosi pokušajima da se na minimum svedu seizmički gubici, jer prije svega pruža spoznaje koje su potrebne za pravilno donošenje odluka [5]. Ocjenjivanje rizika u seizmički aktivnim područjima prvi je korak prema opsežnom planiranju hitnih mjera kao što su definiranje točaka za pružanje prve pomoći i lokacija skloništa, a također i prema dugoročnom planiranju mjera za zaštitu od potresa. Ocjenjivanje potencijalnih seizmičkih utjecaja na neko područje, u smislu fizičkih šteta i gubitaka za gospodarstvo i društvo u cjelini, nikako se ne može smatrati egzaktnim procesom. Razlog tome su značajne nesigurnosti kako epistemičke tako i aleatoričke naravi. Epistemička nesigurnost odnosi se na nedostatak spoznaje o veličini seizmičkog rizika u nekoj regiji, o lokalnim uvjetima tla te o dinamičkom odzivu građevina i to u svakoj fazi ocjenjivanja seizmičkih rizika [6]. Primjer aleatoričke nesigurnosti mogu biti dvije stambene jedinice istog konstrukcijskog tipa koje su izvedene na isti način, a pretrpjele su bitno različita oštećenja iako se nalaze u istom području i bile su izložene praktički istom intenzitetu podrhtavanju tla. Svi ti faktori koji se odnose na potencijalni seizmički udar i na karakteristike konstrukcije trebaju se uzeti u obzir i sustavno analizirati u postupku ocjenjivanja rizika. Zbog toga se seizmičko ponašanje postojećih građevina treba odrediti što je točnije moguće kako bi se u analiziranom području dugoročno umanjila opasnost od seizmičkog udara. Taj spori proces učenja i prilagodbe pridonosi ukupnom smanjenju rizika te povećanju svijesti o mogućim posljedicama potresa.

Ocjenjivanje seizmičkog rizika do sada je provedeno za mnoge gradove uključujući Solun [7], Barcelonu [8], Alžir [9], Lorcú [10], Bishkek [11], Byblos [12], Tabriz [13], Quebec [14] itd. [15, 16]. U literaturi se također mogu pronaći regionalna ocjenjivanja seizmičkog rizika u kojima se opisuju različite metode za ocjenu potresa na temelju definiranih scenarija, uz primjenu determinističkih i probablističkih metoda za ocjenu seizmičke opasnosti [23-28]. Procjene seizmičkih šteta i gubitaka provedene su i za IMM, gdje je utvrđena visoka razina opasnosti od seizmičkog udara [17-19]. Prvi veći opsežni projekt u sferi ocjene seizmičkog rizika i mogućnosti smanjenja očekivanih šteta bila je studija koju su zajednički izradili IMM i Japanska agencija za međunarodnu suradnju (eng. *Japan International Cooperation Agency* - JICA) [18]. Cilj toga projekta, kojim je obuhvaćeno čitavo istambulsko područje, sastojao se u izradi karata za seizmičko mikrozoniranje koje bi se mogle koristiti kao osnova za izradu plana za prevenciju seizmičkih katastrofa i smanjenje šteta koje bi mogao pretrpjeti grad Istanbul i okolna područja. U projektu se također daju preporuke za urbanistički razvoj baziran na seizmički otpornoj gradnji. Sličnu studiju za Istanbul izradili su Opservatorij Kandilli i Institut za seizmička istraživanja [17]. S otprilike 14 milijuna stanovnika, IMM nije samo najnapučenije urbano središte u Turskoj već i urbanizirano područje s najvećom stopom razvoja.

Osnovni cilj ovog istraživanja sastoji se u ažuriranju podataka o mogućim utjecajima seizmičkog udara na grad Tuzlu. Taj grad, koji u ovom radu predstavlja područje analize slučaja, ubraja se u nekoliko visoko industrijaliziranih i gusto naseljenih dijelova IMM-a. Razumljivo je da se u takvim brzo rastućim područjima graditeljski fond kontinuirano mijenja. Osim toga, spoznaje o seizmičkom riziku postaju sve kvalitetnije jer se u obzir uzimaju nove informacije koje se prikupljaju tijekom praćenja aktivnosti na liniji sjevernoanatolijskog rasjeda (eng. *North Anatolian Fault Line* - NAF line) koja je od središta Tuzle udaljena samo 10-15 km. Stoga potencijalni fizički i društveni gubici u slučaju jakog potresa mogu biti izuzetno veliki te znatno utjecati kako na lokalnu industrijsku proizvodnju tako i na sveukupnu ekonomiju Turske. Uzimajući u obzir te činjenice, utvrđena je potreba za redovnim i konzistentnim ažuriranjem ocjene mogućih utjecaja u slučaju seizmičkog udara. Još jedan značajan cilj ovog istraživanja jest i analiza nesigurnosti za dva segmenta rasjeda koji čine dio NAF-a.

U prvom se poglavlju prikazuje cilj istraživanja, iskazuju se opće značajke analiziranog problema, te se daje prikladan prikaz literature. Podaci o analiziranom području izloženi su u drugom poglavlju. U trećem i četvrtom poglavlju prikazuju se metode ocjenjivanja seizmičkog rizika i seizmičke opasnosti. Detaljan prikaz stambenog fonda u analiziranom području daje se u petom poglavlju. Kratak opis metode za ocjenjivanje seizmičke štetnosti s postupkom za ocjenu šteta izložen je u šestom poglavlju. U sedmom se poglavlju iskazuju podaci o softverskoj podršci, te se prikazuju karte seizmičke aktivnosti, karte raspodjele oštećenih građevina, postoci štete na građevinama i broj ozlijeđenih prema pojedinim seizmičkim scenarijima. Postignuti rezultati razmatraju se u osmom poglavlju.

## 2. Analizirano područje

Grad Tuzla smješten je na krajnjem istočnom rubu IMM-a na azijskoj strani, uz grad Kocaeli (slika 1.). Tuzla zauzima obalno područje Mramorne regije u dužini od 13 km, a nalazi se otprilike 10-15 km od aktivne zone NAF. Sa svojim lukama, brodogradilištima i brojnim dobro organiziranim industrijskim zonama Tuzla značajno pridonosi ekonomskom razvoju kako IMM-a tako i čitave Turske. Osnovne industrijske zone prikazane su tirkiznom bojom na slici 1. Velike mogućnosti zapošljavanja u industrijskim zonama pridonose atraktivnosti tog područja, gdje se bilježi značajan priljev stanovništva iz drugih dijelova istambulske regije te iz ostalih gradova. U posljednjih 15 godina urbano područje Tuzle znatno je poraslo kao rezultat gradnje novih stambenih područja. To se vidi i kroz povećanje broja stanovnika, pri čemu stopa rasta iznosi otprilike 4,3 % godišnje. Ako usporedimo podatke popisa stanovništva iz 2000. i 2016. godine, vidimo da je broj stanovnika porastao s 123.716 na 242.232 stanovnika [20]. Sada u Tuzli živi 1,64 % ukupnog stanovništva IMM-a. Predviđa se da će se i u idućim godinama broj stanovnika povećavati istom stopom, te da će usporedno s time rasti i broj stambenih gradnji u ovom području [21].

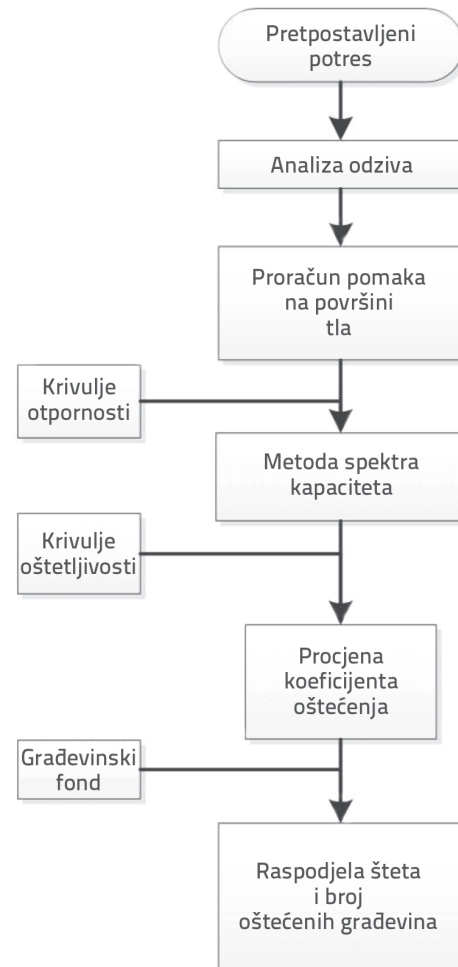
Grad Tuzla dio je zapadnog produženja planinskog lanca Kocaeli na istambulske obale Anatolije. Na južnim obroncima tog lanca nalaze se brojne doline i vododjelnice iz kojih voda dopire do Mramorne regije. One također dijele urbano područje Tuzle koje se stoga može opisati kao slabo povezana urbana sredina. U obalnom dijelu, grad je također dosta razveden, s brojnim zaljevima i rtovima od kojih su najudaljeniji Rt Tuzla i Rt Sarp. Teren u kojem dominiraju brežuljci s blagim padinama lagano se spušta prema morskoj obali, pri čemu kosine padina variraju od 2 do 4 %. Visina se povećava usporedno s povećanjem udaljenosti od obale. U sjeveroistočnom dijelu područja nalazi se najviša zona gdje visina doseže do otprilike 90 metara iznad razine mora. Područja s kosinom manjom od 10 % smatraju se pogodnima za razvoj urbanih naselja, prometnica i industrijske infrastrukture [21].



Slika 1. Prikaz lokacije grada Tuzle [22]

## 3. Metoda ocjenjivanja seizmičkog rizika

U ovom radu za ocjenu seizmičkog rizika primjenjuje se metoda ocjenjivanja utemeljena na standardnom programu HAZUS [6]. Postupak se sastoji od šest osnovnih koraka (slika 2.).



Slika 2. Shematski prikaz ocjene oštećenja građevina [27]

**Prvi korak:** U ovom se koraku ocjenjuje seizmički rizik u regiji. Seizmički scenariji mogu se razmatrati kao deterministički potres ili kao probabilistički rizik u određenom razdoblju povrata. To ovisi o pretpostavljenoj geološkoj strukturi, o seizmološkim podacima za dotičnu regiju, seizmičkim izvorima i o očekivanoj seizmičkoj aktivnosti [23-26].

**Drugi korak:** U ovom se koraku razmatra potencijalno pojačanje seizmičkog podrhtavanja zbog lokalnih uvjeta tla. Utjecaj lokalnih uvjeta tla može se izvesti iz podataka zabilježenih tijekom proteklih potresa. Kretanje tla počinje na granici



između stijene i čvrstog tla s brzinom posmičnih valova od  $V_s = 760$  m/s (teren B/C), nakon čega dolazi do pojačanja na osnovi lokalnih parametara tla i tada se doseže intenzitet podrhtavanja na površini tla [6].

**Treći korak:** Fond građevina u regiji može se analizirati kao ukupna vrijednost raspoređena na geografske jedinice (popis ili raspoređene jedinice, jedinice s pravilnom rešetkom itd.) ili na detaljnoj razini što uključuje analizu pojedinačnih zgrada. Građevine su kategorizirane u opće kategorije prema nosivom sustavu, godini gradnje, broju katova, vrsti materijala, kvaliteti građenja i razini seizmičkog projektiranja. Fond građevina definira se pomoću programa GIS (sustav geografskih informacija) koji pohranjuje i iskazuje raspodjelu kategorija građevina u određenoj regiji.

**Četvrti korak:** U ovom se koraku izrađuju krivulje otpornosti građevine kojima se određuje ponašanje građevine pri djelovanju osnovne posmične sile. Krivulje otpornosti izrađuju se za svaku kategoriju građevina, a služe se za određivanje ciljnog pomaka. Metoda spektra otpornosti (eng. *Capacity Spectrum Method - CSM*) primjenjuje se za kombiniranje krivulje otpornosti sa seizmičkim ulazom (spektrom odziva). Točka u kojoj se vrijednosti sijeku naziva se ciljnim pomakom.

**Peti korak:** Krivuljama oštećljivosti građevina određuje se mogućnost prekoračenja različitih razina ponašanja u nekoj kategoriji građevina pod utjecajem seizmičkog opterećenja. U ovom slučaju radi se o spektralnom pomaku točke ciljnog pomaka dobivene u prethodnom koraku. Definirana su četiri praga oštećenja: manje oštećenje, srednje oštećenje, znatno oštećenje i potpuno oštećenje.

**Šesti korak:** U zadnjem se koraku izrađuje karta prostorne raspodjele tj. karta koeficijenta oštećenosti na kojoj se vidi stupanj oštećenosti građevina.

Navedeni koraci ukratko opisuju pristup provedbi ocjenjivanja seizmičkog rizika u gradu Tuzli.

#### 4. Ocjena seizmičke opasnosti

Sjeverni dio Turske nalazi se u vrlo aktivnom i složenom geografskom području. Regija u kojoj je provedena analiza seizmičke opasnosti proteže se djelomično kroz zonu NAF u Mramornom moru. NAF se smatra jednim od najpokretnijih i najaktivnijih pružnih rasjeda na svijetu [28]. Aktivnost NAF-a posljedica je međusobnih djelovanja arapske ploče na jugu (s brzom kompresijskom aktivnošću koja dostiže i do 25 mm godišnje) i euroazijske ploče

na sjeveru (koja je gotovo posve neaktivna). Zbog te interakcije, NAF je seizmički vrlo aktivan i brzo se kreće prema zapadu [29]. Turski direktorat za istraživanje i korištenje mineralnih resursa (MTA) objavio je 2017. godine *Kartu aktivnih rasjeda u Turskoj* [30]. Prema toj karti, u Mramornom moru postoje dva osnovna segmenta rasjeda koji su povezani sa zonom NAF. Radi se o segmentima Adalar i Avcilar (slika 3.).

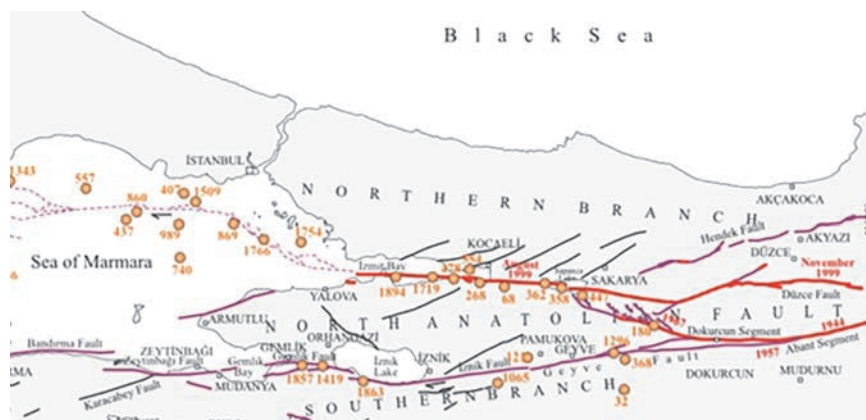
Na slici 4. prikazana je karta [31] s raspodjelom seizmičkih magnituda ( $M_s > 6,8$ ) zabilježenih u posljednje dvije tisuće godina duž zone NAF u području Mramornog mora. Iz te se karte može vidjeti da su segmenti Adalar i Avcilar uzrokovali potrese koji su pogodili Istanbul 1509. i 1766. godine. Nije poznato kada bi se ti rasjedi mogli ponovno aktivirati, tj. hoće li se aktivirati pojedinačno ili istovremeno. U svakom slučaju, moglo bi se očekivati da će sljedeći jaki potres/potresi koji bi se mogli aktivirati na segmentima Avcilar i Adalar nanijeti velike štete u regiji. Jedna od vrućih znanstvenih tema koja danas itekako zaokuplja pozornost javnosti u Turskoj može se sažeti u dva pitanja:

- Kada će se aktivirati segmenti Avcilar i Adalar?
- Hoće li se ta dva segmenta aktivirati istovremeno?

Za ovo su istraživanje generirana tri različita scenarija utemeljena na pretpostavci bilo pojedinačne ili kombinirane aktivacije rasjeda. Prema prvom scenariju (S1), aktivirat će se

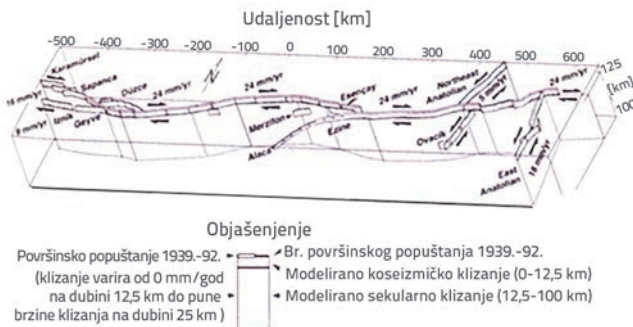


Slika 3. Linija aktivnog rasjeda u Mramornom moru i položaj Tuzle [30], područje u crvenom krugu predstavlja grad Tuzlu koji je odabran kao područje ispitivanja



Slika 4. Aktivni rasjedi u području Mramornog mora s raspodjelom epicentara velikih potresa ( $M_s > 6,8$ ) za koje postoje podaci, crvenom su bojom označeni rasjedi koji su se aktivirali u 20. stoljeću [30]

samo segment Adalar u dužini otprilike 41,3 km. Prema drugom scenariju, aktivirat će se segment Avcilar (S2) u dužini od 25 km. Za treći je scenarij usvojena pretpostavka da će se segmenti S1 i S2 aktivirati istovremeno. U radu Steina i dr. [32] navodi se da dubina rasjeda za sva tri scenarija varira od 12,5 do 25 km, kao što je i prikazano na slici 5.



Slika 5. Model sekularnog klizanja koji služi za izračunavanje opterećenja sustava NAF – duboko kontinuirano klizanja na dubini većoj od 12,5 km, zabilježeno pomoću sustava GPS [32]

Na temelju nekoliko empirijskih jednadžbi predloženih u literaturi može se izvesti korelacija između magnitude potresa i dimenzije segmenta aktivnog rasjeda (zona popuštanja). Tu se u obzir uzima kretanje ploče i dinamika klizanja, pri čemu se dužina rasjeda označava slovom "L" a površina slovom "A". Maksimalne magnitude potresa koje se za scenarije S1, S2 i S3 mogu postići primjenom spomenutih empirijskih jednadžbi prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Pretpostavljene magnitude potresa za tri scenarija

Literatura	Empirijske formule	S1 ( $M_w$ )	S2 ( $M_w$ )	S3 ( $M_w$ )
Hanks i Bakun [33]	$M_w = 4/3 \log(A) + (3,07 \pm 0,04)$	6,8	6,7	7,3
Field i dr. [34]	$M_w = 4,2775 \times A^{0,0726}$	6,8	6,7	7,2
Wesnousky [35]	$M_w = 5,56 + 0,87 \log(L)$	7,0	6,8	7,2
	Srednja vrijednost	6,9	6,7	7,2

Magnitude prikazane u tablici 1. procijenjene su različito zbog drugačijih pristupa pri pretpostavljanju tektonske strukture NAF-a. U empirijskim jednadžbama koje u studiji UCERF2 predlažu Hanks i Bakun [33] te Field i dr. [34] u obzir se uzima površina segmenta rasjeda. Za razliku od spomenutog pristupa, Wesnousky [35] izračunava magnitudu samo na temelju pretpostavljene dužine popuštanja. Jednostavnim aritmetičkim uprosječivanjem možemo zaključiti da pretpostavljene maksimalne magnitude iznose:  $M_w = 6,9$  za scenarij S1,  $M_w = 6,7$  za scenarij S2, te  $M_w = 7,2$  za scenarij S3

prema kojem dolazi do zajedničkog popuštanja segmenata S1 i S2 (tablica 1.). Za određivanje seizmičkih šteta primijenjen je deterministički pristup, tj. probabilistički pristup nije razmatran u ovom radu.

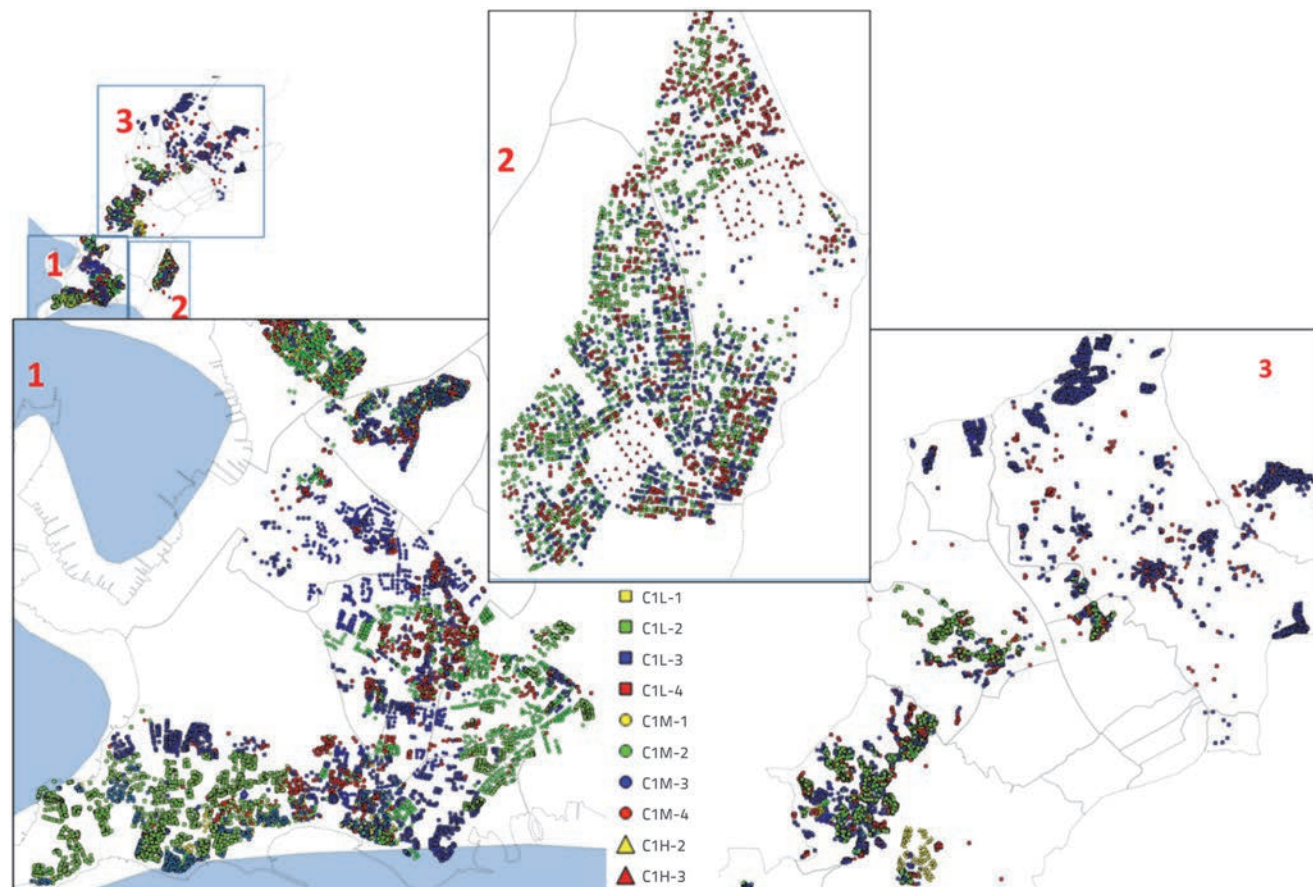
## 5. Građevinski fond

U ovom su radu analizirane samo stambene zgrade. Ostale građevine poput industrijskih postrojenja, prometnica (cesta, autocesta i željeznica), cjevovoda i ostalih infrastrukturnih građevina, nisu razmatrane i ne ulaze u okvir ovog istraživanja. Provedena je detaljna analiza građevinskog fonda te su ulazni seizmički podaci o građevinama pohranjeni u digitalnu bazu podataka. Uz ostale informacije, u bazu podataka uvršteni su i parametri kao što su broj katova, namjena zgrade (stambene, komercijalne, obrazovne, industrijske građevine itd.), vrsta konstrukcije, kvaliteta izvođenja (propisana razina) itd. Najprije su zabilježene koordinate centroida svake zgrade. Zatim su vrijednosti zemljopisne dužine i širine pretvorene u svjetski koordinatni sustav (WCS) pomoću sustava GIS. Od ukupno otprilike 30.000 postojećih zgrada, u analizu ih je uključeno 15.871. Raspodjela stanovnika određena je na bazi broja stanova po građevini i ukupnog broja stanara, pri čemu su korišteni podaci iz popisa stanovništva u 2016. godini [20]. Stambeni prostori su definirani i kao zemljišne parcele, a svaka je parcela obilježena posebnim identifikacijskim brojem. Bilježeni su svi geološki, geotehnički i geofizički podaci potrebni za mikrozoniranje i analizu potencijalnog pojačanja seizmičkog podrhtavanja.

Odabrane su zgrade kategorizirane u 10 općenitih kategorija u skladu s postupkom koji se primjenjuje u HAZUS-u [6]. Građevine su prvo odabrane po namjeni. Stambene su zgrade u građevinskom fondu zastupljene s 52 %. Zatim su analizirani tipovi konstrukcija prema dominantnom materijalu i sustavu za preuzimanje horizontalnih opterećenja. U ovom je radu usvojena klasifikacijska shema koja se koristi u programu HAZUS [6]. Prema toj klasifikaciji, konstrukcijski materijal koji je dominantno zastupljen u razmatranom području je C: beton. Sustavi za preuzimanje horizontalnog opterećenja su "momentni okviri" ili "posmični zidovi". Zgrade su po visini svrstane u sljedeće kategorije: niske zgrade s  $\leq 3$  etaže (L), zgrade srednje visine s 3-7 etaža (M) i visoke zgrade s  $\geq 8$  etaža (H). Kvaliteta izvođenja je: vrlo niska razina (P), tj. prije propisivanja razine, niska propisana razina (L), srednja propisana razina (M) i visoka propisana razina (H). Na primjer, C1L\_3 znači da se radi o niskoj armiranobetonskoj građevini s momentnim okvirom niske propisane razine izvođenja. Kako bi se pojednostavnila analiza, konstrukcijski sustavi koji se rjeđe koriste, kao što su čelične građevine, nisu razmatrani u ovom radu. Razmatrane kategorije s odgovarajućim brojem građevina iskazane su u tablici 2. Raspodjela kategorija građevina po analiziranom području prikazana je na slici 6.

Tablica 2. Kategorije građevina i broj građevina u analiziranom području

Kategorija građevina	Betonski momentni okvir	Betonski posmični zidovi	Niske zgrade	Zgrade srednje visine	Visoke zgrade	Kvaliteta izvođenja	Broj zgrada	Odnos od ukupnog fonda [%]
C1L_1	X		X			Prije prop. razine	633	3,99
C1L_2	X		X			Niska prop. razina	3788	23,87
C1L_3	X		X			Srednja prop. razina	4854	30,58
C1L_4	X		X			Visoka prop. razina	2402	15,13
C1M_1	X			X		Prije prop. razine	204	1,29
C1M_2	X			X		Niska prop. razina	2603	16,40
C1M_3	X			X		Srednja prop. razina	753	4,74
C1M_4	X			X		Visoka prop. razina	475	2,99
C1H_2	X				X	Niska prop. razina	88	0,55
C2H_3		X			X	Srednja prop. razina	71	0,45



Slika 6. Raspodjela kategorija građevina po analiziranom području



## 6. Metode provođenja analize oštećenosti

Preciado Orduna [36] dijeli metode za ocjenjivanje seizmičke osjetljivosti na tri osnovne kategorije: analitičke metode, empirijske metode i hibridne metode. Ta se klasifikacija temelji na porijeklu podataka o šteti. Ako su podaci preuzeti iz upitnika sastavljenog nakon potresa, radi se o empirijskoj metodi. Metoda se smatra analitičkom ako su podaci dobiveni analitičkom simulacijom. I, na kraju, hibridna metoda je postupak koji je zapravo kombinacija prethodna dva postupka. Empirijske metode za seizmičko ocjenjivanje temelje se na promatranju i na postupcima za prikupljanje podataka [37]. Analitičke se metode temelje na složenijim istraživanjima kao što je nelinearno modeliranje konstrukcijskog sustava, probabilistička ocjena seizmičkih podataka itd. Zbog primjene tih koncepcija, postupak je skup pa je prikladniji za manja područja ili za analizu pojedinačnih građevina. U ovom se radu za analizu oštećenosti primjenjuje analitička metoda. Ako se radi o složenijoj numeričkoj simulaciji, potrebna je kalibracija rezultata analitičke metode s podacima dobivenima empirijskom metodom. Isto tako, ako empirijska metoda nije dovoljna za seizmičko ocjenjivanje, tada se treba razmotriti svrhovitost primjene numeričkih simulacija. U takvim se slučajevima može primijeniti hibridna metoda [38].

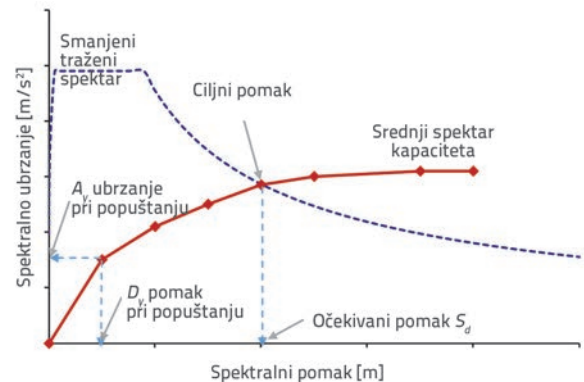
### 6.1. Metoda spektra kapaciteta

Za određivanje ciljnog pomaka, tj. konstrukcijskog odziva građevine, primijenjena je metoda spektra kapaciteta (eng. *Capacity Spectrum Method - CSM*) koja se često koristi u sličnim analizama. Metoda CSM razvijena je u sedamdesetim godinama prošlog stoljeća kao standardan postupak za uspostavljanje odnosa između ponašanja/učinkovitosti građevina i pomicanja tla [39]. Ta metoda služi za određivanje ponašanja pojedinačnih novih građevina u okviru postupka projektiranja ili za brzu procjenu regionalnog seizmičkog rizika za više građevina [40]. Metoda također služi i za određivanje stupnja oštećenosti postojećih građevina te za ocjenjivanje štete na temelju prostorne raspodjele amplitude pomicanja tla [41-43]. Seizmički utjecaj na pojedinu građevinu ili niz građevina određuje se na temelju spektra odziva te prema usvojenom scenariju seizmičkog djelovanja, a to uključuje i lokalne uvjete tla te koeficijent prigušenja koji je obično veći od 5 % zbog nelinearnog odziva građevina na seizmičko opterećenje. Sjecište krivulje otpornosti i spektra odziva, koje nazivamo ciljnim pomakom pojedine vrste građevina, prikazano je na slici 7.

U HAZUSU su predložene vrijednosti krivulja otpornosti za 128 različitih tipova građevina [6]. One se mogu mijenjati kako bi što bolje odražavale načine i postupke građenja koji su primijenjeni u analiziranoj regiji.

Na slici 7. prikazani su parametri krivulja otpornosti koje je detaljno opisao Erdem [43] za kategorije zgrada za koje se u ovom radu provodi analiza seizmičkog rizika.  $D_v$  predstavlja spektralnu točku pomaka, a  $A_v$  predstavlja spektralnu točku ubrzanja krivulje otpornosti. Vrijednosti popuštanja ( $D_v$ ) za

deset različitih kategorija konstrukcija definirane su u tablici 3., a iskazane su u centimetrima. Vrijednosti popuštanja i graničnog spektralnog ubrzanja iskazane su u g. Osnovni period osciliranja iskazan je za kategorije konstrukcija u sekundama, a visina je zgrade iskazana u metrima. Vrijednost  $S_d$  predstavlja odziv spektralnog pomaka kod kojeg građevina doseže prag oštećenja. Ta je veličina poznata i pod nazivom ciljni pomak ili točka ponašanja.



Slika 7. Primjer krivulja otpornosti građevine i spektra odziva

Krivulje traženog spektra u ovom su radu dobivene pomoću analize seizmičkog rizika prilagođene području istraživanja. Karte seizmičkog rizika za analizirano područje prikazane su na slici 10.

### 6.2. Krivulje oštećenosti

Dva su osnovna pristupa za izradu krivulja oštjetljivosti građevina. Prvi pristup, koji se ovdje spominje kao pristup za određivanje oštećenja na bazi intenziteta, temelji se na statističkim analizama oštećenja zabilježenih tijekom prijašnjih potresa. U tom se empirijskom pristupu za mjerenje intenziteta kretanja tla obično koristi modificirana Merkalijeva ljestvica (MMI) i/ili europska makroseizmička ljestvica (EMS'98) [44]. Rezultati oštećenja se zatim dobivaju uspostavljanjem izravnog odnosa između intenziteta trešnje i razine oštećenja. Ocjena oštećenja na bazi intenziteta odraz je stvarne situacije na terenu i može se smatrati najtočnijom. Međutim, takva istraživanja osjetljivosti provode se u raznovrsnim regijama. Uz intenzitet potresa, u njima se u obzir uzima i građevinska praksa dotične regije, kategorija konstrukcije, te lokalni uvjeti tla. Pod takvim okolnostima, rezultati oštećenja područno su ograničeni i ne mogu se djelotvorno primjenjivati u drugim regijama jer se teško može pretpostaviti da bi uvjeti koji u njima prevladavaju mogli biti potpuno podudarni. Osim toga, podaci o prijašnjim oštećenjima ne mogu se primijeniti na nove generacije građevina jer se u njima obično koriste napredniji postupci.

Drugi pristup, koji se ovdje naziva spektralnim pristupom, temelji se na krivuljama oštjetljivosti kojima se ocjenjuju moguća oštećenja u nekom zadanom scenariju seizmičkog udara. Koncepcija tih krivulja ključna je za analizu oštjetljivosti jer se tim krivuljama određuju

vjerojatnosti prekoračenja određenog stupnja oštećenja neke građevine ili kategorije građevina. Kako bi se predvidjelo seizmičko ponašanje skupine konstrukcija izloženih kretanju tla, krivulje oštećljivosti kombiniraju se s krivuljom otpornosti građevine kojom se definira odziv građevine na seizmičko opterećenje. Krivuljama oštećljivosti predviđaju se sljedeća stanja: nema oštećenja, malo oštećenje, srednje oštećenje, jako oštećenje i potpuno oštećenje. Takva se stanja definiraju pod pretpostavkom lognormalne raspodjele oštećenja [45]. Analitički iskaz svake krivulje oštećljivosti temelji se na pretpostavci standardne kumulativne lognormalne raspodjele stanja seizmičkog oštećenja [6]. Za procjenu ljudskih žrtava koristi se KOERI model žrtava [17]. Ovaj se model temelji na broju stanovnika u zgradi, broju oštećenih zgrada i broju unesrećenih osoba. Za slučaj jakog i potpunog oštećenja usvojeno je 5 % za slučaj "smrti" i 0,01 % za slučaj "ozbiljne ozljede".

U ovom se radu kao reprezentativne vrijednosti za postojeće niske i srednje visoke zgrade koriste parametri krivulja oštećljivosti koje predlaže Tüzün [46] za armiranobetonske građevine u središtu mjesta Bolu u Turskoj. Te su krivulje oštećljivosti dobivene na temelju oštećenja građevina u potresu magnitude 7,2 koji je 1999. pogodio mjesto Düzce. Horizontalne osi koje na kartezijskom koordinatnom sustavu opisuju krivulje oštećljivosti predstavljaju kumulativnu vjerojatnost postizanja ili prekoračenja određenog stanja oštećenja. Drugim riječima, krivulje oštećljivosti koriste se za izračunavanje vjerojatnosti da će građevina postići ili prekoračiti neko definirano stanje oštećenja uzrokovano nelinearnim spektralnim pomacima, kao posljedica određenog intenziteta pomaka tla. Prema središnjem graničnom teoremu, ako se pretpostavi kako su sposobnost konstrukcije da izdrži seizmički udar te seizmičko podrhtavanje slučajne varijable za koje su primjenjive normalne

ili lognormalne raspodjele vjerojatnosti, može se prihvatiti da će složeni učinak biti unutar lognormalne raspodjele. Stoga se probabilistička raspodjela oštećenja konstrukcije može izraziti u obliku lognormalne kumulativne funkcije vjerojatnosti koja se naziva krivuljom oštećljivosti.

Dva osnovna parametra potpuno definiraju krivulje oštećljivosti: srednja vrijednost pomaka i standardno odstupanje traženog parametra (PGA ili  $S_d$ ). Potrebna su dakle četiri niza parametara kako bi se definirala vjerojatnost male, srednje, jake ili potpune štete. Krivulje oštećljivosti definiraju se za razne stupnjeve oštećenja kako slijedi [26]:

$$S_d = \bar{S}_{d,ds} \times \varepsilon_{ds} \quad (1)$$

gdje je  $\bar{S}_{d,ds}$  (cm) srednja vrijednost spektralnog pomaka za neki stupanj oštećenja dok je  $\varepsilon_{ds}$  lognormalna slučajna varijabla s jediničnom srednjom vrijednosti. Krivulje oštećljivosti za postizanje ili prekoračenje neke razine oštećenja ( $d_s$ ) pri određenom seizmičkom intenzitetu (npr. spektralni pomak) definirane su prema izrazu (2):

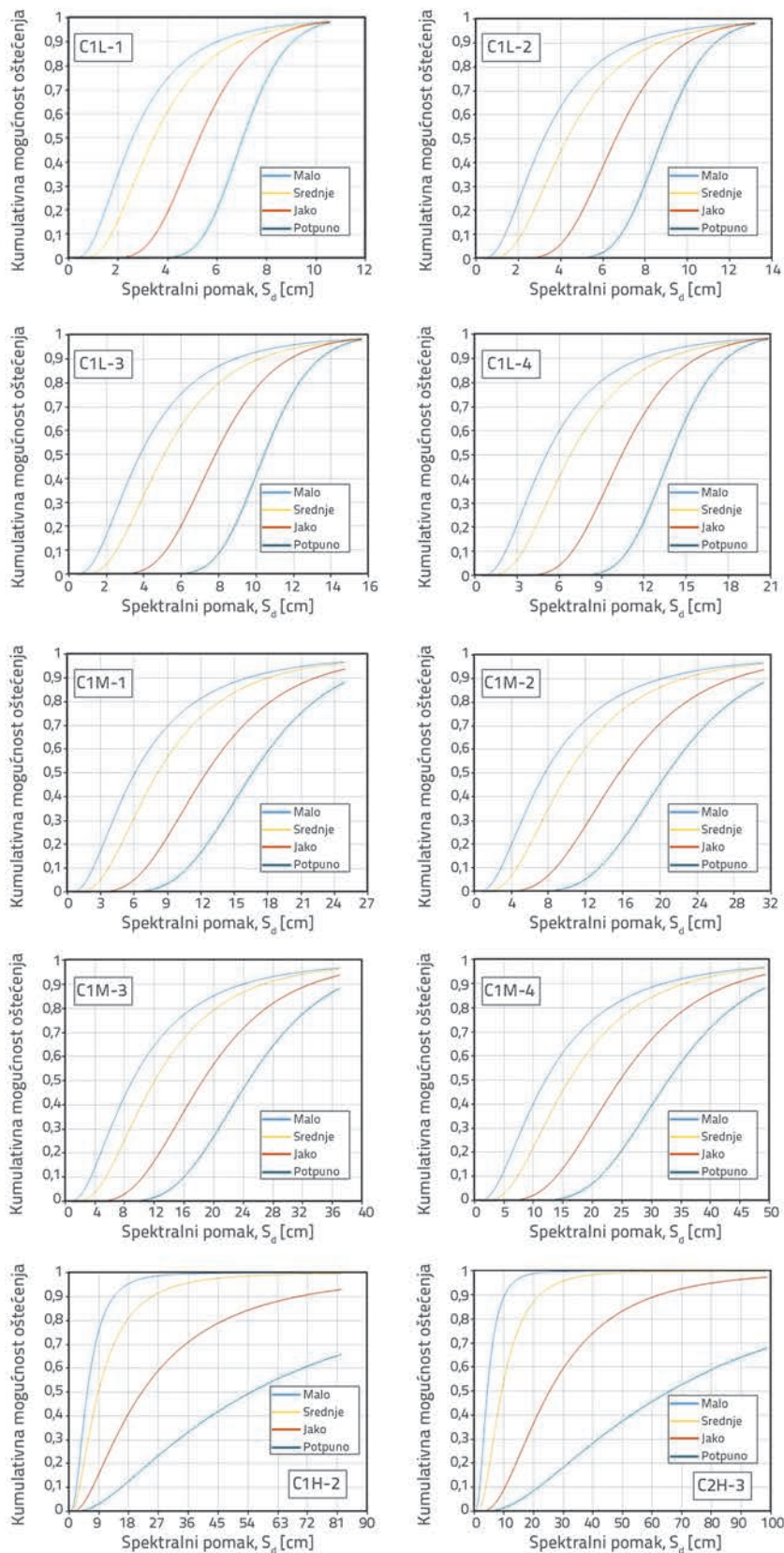
$$P[ds | S_d] = \Phi \left[ \frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left( \frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}} \right) \right] \quad (2)$$

gdje  $S_d$  označava ciljni pomak,  $\bar{S}_{d,ds}$  je srednji spektralni pomak za određeni stupanj oštećenja,  $\beta_{ds}$  je logaritamsko standardno odstupanje spektralnog pomaka za dotični stupanj oštećenja, dok je  $\Phi$  standardna funkcija kumulativne normalne raspodjele. Slike 8.a do 8.j prikazuju krivulje oštećljivosti za svaku kategoriju građevina (tablica 3.) na bazi  $S_d$  (spektralnog pomaka) i  $d_s$  (praga odgovarajućeg stupnja oštećenja). Pomaci su iskazani u cm.

Tablica 3. Spektralni pomak na bazi parametara krivulje oštećljivosti [6, 46]

Kategorija građevine	Malo oštećenje (s)		Srednje oštećenje (m)		Jako oštećenje (e)		Potpuno oštećenje (c)		Otpornost na popuštanje		Razdoblje T[s]
	$\bar{S}_{d,s}$ [cm]	$\beta, s$	$\bar{S}_{d,m}$ [cm]	$\beta, m$	$\bar{S}_{d,e}$ [cm]	$\beta, e$	$\bar{S}_{d,c}$ [cm]	$\beta, c$	$D_v$ [cm]	$A_v$ [g]	
C1L_1	2,6	0,7	3,4	0,5	5,3	0,3	7,0	0,2	0,25	0,06	0,41
C1L_2	3,2	0,7	4,3	0,5	6,6	0,3	8,8	0,2	0,25	0,06	0,41
C1L_3	3,8	0,7	5,1	0,5	7,8	0,3	10,4	0,2	0,51	0,13	0,40
C1L_4	5,1	0,7	6,8	0,5	10,4	0,3	13,9	0,2	0,99	0,25	0,40
C1M_1	6,1	0,8	8,1	0,6	12,5	0,5	16,6	0,3	0,74	0,05	0,77
C1M_2	7,6	0,8	10,1	0,6	15,6	0,5	20,8	0,3	0,74	0,10	0,55
C1M_3	9,0	0,8	12,0	0,6	18,5	0,5	24,7	0,3	1,47	0,21	0,53
C1M_4	12,0	0,8	16,0	0,6	24,7	0,5	32,9	0,3	2,92	0,24	0,70
C1H_2	5,5	0,7	8,8	0,8	22,0	0,9	54,9	1,0	1,27	0,02	1,60
C2H_3	4,4	0,7	9,3	0,7	25,4	0,7	65,8	0,9	3,73	0,13	1,07





Slika 8. Prilagodene krivulje oštećljivosti za kategorije zgrada u ovom istraživanju

U ovom se radu koriste krivulje oštećljivosti koje je predložio Tüzün [46] za predstavljanje niskih i srednje visokih zgrada s niskom propisanom razinom oštećenja. Kako u Turskoj nije provedeno istraživanje o određivanju krivulja oštećljivosti za visoke zgrade, te pod pretpostavkom da su te zgrade izvedene prema praksi koja se primjenjuje u Sjevernoj Americi, u radu se koriste krivulje oštećljivosti predložene u HAZUS-u za predstavljanje seizmičke oštećljivosti visokih zgrada (visokogradnja) [6]. Pragovi koji se predlažu u HAZUS-u za oštećenja u niskogradnji iznose 63 % od pragova za visokogradnju, a kod srednje propisane razine taj postotak iznosi 75 % od pragova za visokogradnju. Parametri za krivulje oštećljivosti bazirane na spektralnom pomaku prikazani su u tablici 3. za građevinski fond u gradu Tuzli.

## 7. Ocjena oštećenja

### 7.1. Računalni program AFAD-RED

Ocjnjivanje seizmičkog rizika provedeno je za stambene zgrade u Tuzli pomoću računalnog programa AFAD-RED razvijenog za Turski direktorat za upravljanje u kriznim i izvanrednim situacijama [47]. U tom se programu u obzir uzimaju zapisi sa stvarnih potresa i podaci s pretpostavljenih potresa. Program se bazira na HAZUS-ovoj [6] procjeni odziva konstrukcija i u njemu se primjenjuje standardni postupak za klasifikaciju građevina i metoda spektra kapaciteta (CSM). Program AFAD-RED predviđa razinu oštećenja primjenom krivulja oštećljivosti razvijenih pomoću metode intenziteta ili spektralne metode (slika 9.). Primijenjen je za ocjenu šteta nastalih u potresima koji su pogodili gradove Kocaeli i Gebze [48]. U analizi je korišten scenarij potresa magnitude 7,4 koji je zabilježen u gradu Kocaeli. U analizi je taj potres korišten za definiranje pretpostavljenog seizmičkog scenarija. Zaključeno je da je ocjena štete podudarna s iskazima štete iz 1999. godine te da se program AFAD-RED

može smatrati pouzdanim sredstvom za analizu seizmičkih rizika u raznim scenarijima seizmičkog djelovanja.



Slika 9. Operativni postupak programa AFAD-RED

U program su integrirani odnosi prigušivanja pomaka koji se predlažu u literaturi i koji se mogu primijeniti za visoku seizmičku aktivnost u zoni djelovanja rasjeda NAF:

- Boore i dr. [49]:  $10 < R < 100 \text{ km}; 5,5 < M_w < 7,5$
- Sadigh i dr. [50]:  $10 < R < 300 \text{ km}; 4,0 < M_w < 8,0$
- Ambraseys i dr. [51]:  $10 < R < 40 \text{ km}; 4,0 < M_w < 7,5$

Ta tri odnosa prigušivanja odražavaju mehanizam djelovanja rasjeda S1 i S2 te ne izlaze iz granica procijenjenih magnituda potresa. Program AFAD-RED također omogućuje odabir jednog od spomenuta tri odnosa prigušivanja te zadavanje različitih odnosa kako bi se u analizu uključio statistički pristup u ocjenjivanju nesigurnosti. Sve tri jednadžbe prigušivanja razmatraju se uz primjenu istih ponderiranih faktora.

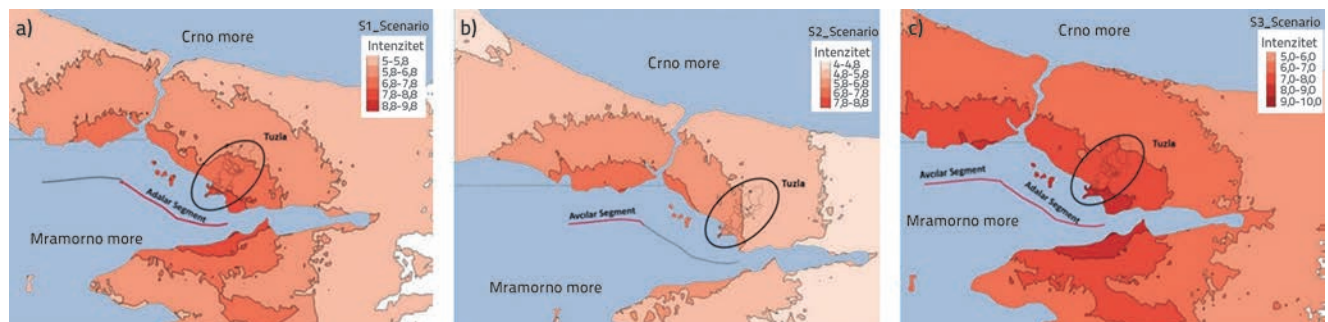
### 7.2. Stupanj oštećenja građevina

Postupak ocjenjivanja oštećenosti građevina počinje s izradom karata seizmičkog rizika. Te su karte izrađene za scenarije S1, S2 i S3 uzimajući u obzir nesigurnosti u aktivnim segmentima rasjeda NAF u zoni Mramorne regije, kao što je već opisano.

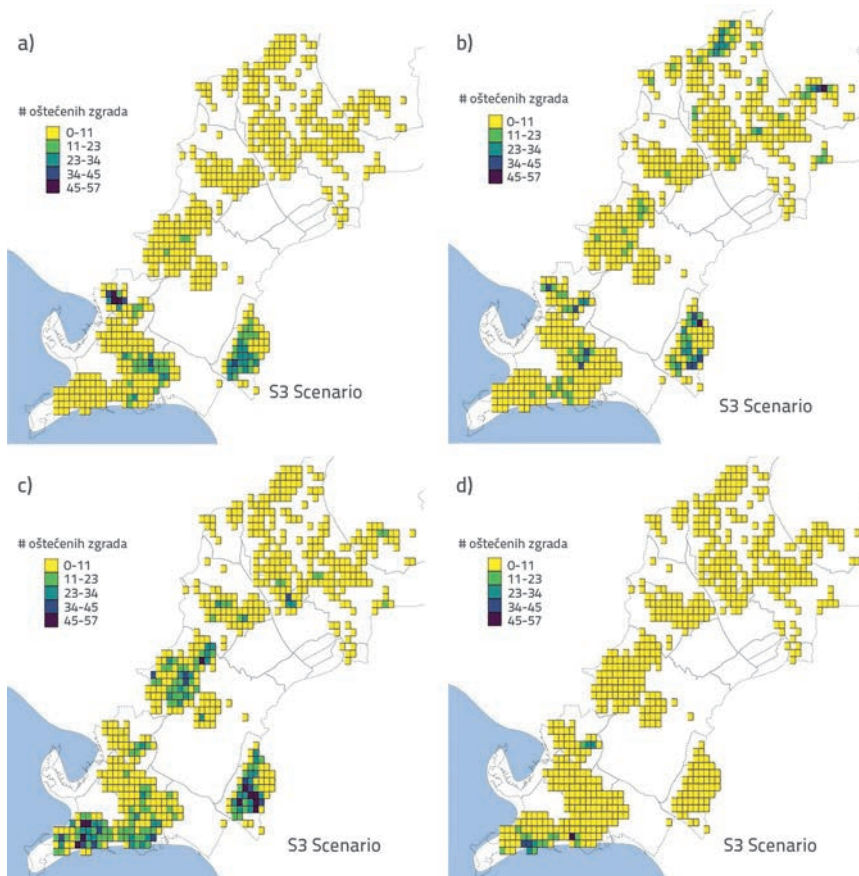
Prema slikama 10.a do 10.c, potresom bi uglavnom mogli biti pogođeni gradovi Tuzla, Bakirköy i Adalar (Prinčevi otoci). Na slikama se također može uočiti da je najugroženije šire područje grada Tuzle.

Ubrzanje i spektralni pomaci koji će utjecati na analizirano područje definirani su na temelju karata rizika koje su prikazane na slici 10. Ti su pomaci uspoređeni s pomakom uslijed seizmičkog spektralnog odziva. Iako su analize provedene zasebno za svaku zgradu, u ovom je radu primijenjena rasterska metoda kako bi se ilustrirale vjerojatnosti stupnja oštećenja analiziranog građevinskog fonda. Prema toj metodi, analizirano je područje podijeljeno u pravilnu rešetku s poljima veličine 280 x 370 m. Karte raspodjele štete za najopasniji scenarij (S3) prikazane su na slikama 11.a do 11.d. Broj oštećenih zgrada na kartama je prikazan raznim bojama, od kojih svaka odgovara nekom broju zgrade. Rizik zgrada određen je pomoću dvije osnovne varijable. Prva je magnituda seizmičkog rizika, a druga je oštetljivost građevinskog fonda u svakom polju. Te dvije varijable su "diskretne varijable" koje nisu uzajamno povezane. Dakle, teška se oštećenja mogu zabilježiti u područjima koja su udaljena od rasjeda, a manja oštećenja mogu se zamijetiti i u zonama smještenima u blizini rasjeda. Stoga rizik nije samo proporcionalan stupnju opasnosti već i oštetljivosti građevina. Takva objašnjenja razlog su za određivanje koeficijenta oštećenja na područjima u blizini rasjeda i na područjima koja su udaljena od rasjeda (slika 11.).

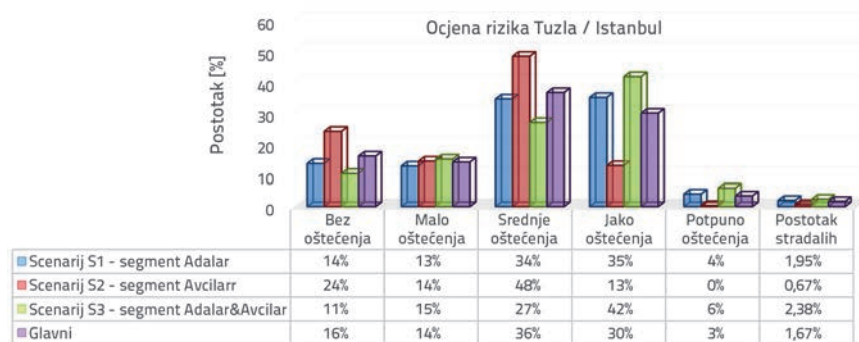
Kako preostala dva scenarija (S1 i S2) nisu prikazana na slikama zbog ograničenog prostora, usporedba postotaka predviđenih oštećenja zgrada daje se za sva tri scenarija u obliku histograma (slika 12.). Kao što se i vidi na toj slici, najveći broj zgrada bez oštećenja i sa srednjim oštećenjima ulazi u scenarij S1. Kod scenarija S3 uočava se najveći broj zgrada s malim, srednjim, jakim i potpunim štetama. U scenariju S3 bilježi se i najviši postotak građevina s jakim i potpunim štetama. Nakon snažnog potresa, stanovništvo ne smije boraviti u zoni potresa. Zapravo, većina osoba koje traže sklonište dolazi iz takvih jako oštećenih građevina jer nisu dovoljno sigurne za stanovanje, te bi se lako mogle srušiti u naknadnim udarima koji obično slijede nakon glavnog udara. Kao što je već rečeno, za procjenu ljudskih žrtava korišten je model KOERI [17]. Na bazi tog pristupa, prikaz teško ozlijeđenih i smrtno stradalih osoba daje se kao postotak od ukupnog broja stanovnika (slika 12.).



Slika 10. Karte intenziteta potresa za scenarij: a) S1; b) S2; c) S3



Slika 11. Scenarij S3: Prostorna raspodjela oštećenih građevina za polja veličine 280 x 370 m: a) malo oštećenje; b) srednje oštećenje; c) jako oštećenje; d) potpuno oštećenje



Slika 12. Šteta na stambenim zgradama izražena u postocima za scenarije S1, S2 i S3

## 8. Zaključak

Grad Tuzla udaljen je otprilike 10 do 15 km od linije sjevernoanolijskog rasjeda (NAF) koji se smatra jednim od najaktivnijih seizmičkih zona u Turskoj. Kako je Tuzla najnaseljenije industrijsko područje u širem istambulskom području (IMM), njena rekonstrukcija nakon mogućeg jakog potresa bila bi od ključnog značenja za brz oporavak turske ekonomije. U radu se analizira seizmički rizik i negativni utjecaji na građevinski fond u gradu Tuzla. 15.871 postojeća zgrada svrstana je u deset osnovnih kategorija na bazi njihovog konstrukcijskog sustava, visine i kvalitete izvedbe. Na liniji rasjeda NAF generirana su dva seizmička

scenarija za dva aktivna segmenta rasjeda s magnitudama od 6.9 (scenarij S1) tj. 6,7 (scenarij S2). Generiran je i treći scenarij S3 u kojem se pretpostavlja istovremeno aktiviranje oba spomenuta segmenta, pri čemu bi magnituda iznosila 7,2. Izrađene su karte seizmičkog intenziteta i pritom su korištena tri proporcionalno različita odnosa prigušenja. U analizu je uključeno i potencijalno pojačanje na bazi lokalnih uvjeta kako bi se definirao intenzitet seizmičkog kretanja na površini tla. Krivulje otpornosti građevina kombinirane su sa spektrom odziva kako bi se dobio dinamički odziv u obliku ciljnog pomaka. Zatim su primijenjene krivulje oštećljivosti bazirane na pomaku građevina kako bi se odredila vjerojatnost prekoračenja za pet stupnjeva oštećenja: bez štete, mala šteta, srednja šteta, velika šteta i potpuna šteta. Izračun je proveden pomoću računalnog programa AFAD-RED koji služi isključivo za ocjenu seizmičkih rizika. Rezultati pokazuju da broj zgrada s crvenom oznakom iznosi otprilike 39 % za scenarij S1, 13 % za scenarij S2 te 385 za scenarij S3. Odgovarajući postoci teško ozlijeđenih i smrtno stradalih osoba iznosili su 1,95 % za S1, 0,67 % za S2 te 2,38 % za S3, pri čemu je srednja vrijednost iznosila 1,67 %.

Ti rezultati pokazuju da scenarij u kojem bi Tuzla i IMM bili najviše pogođeni podrazumijeva istovremeno aktiviranje oba segmenta rasjedne linije NAF. Predložena metoda je brza i učinkovita te može poslužiti kao primjer za pripremu istraživanja o ocjenjivanju rizika u drugim seizmički aktivnim područjima u svijetu. Predviđene ekonomske posljedice i broj stradalih u mogućim scenarijima seizmičkog udara ne smiju se zanemarivati. Jaki potresi dogodili su se u prošlosti, poput potresa magnituda 7,4 koji je 1999. godine

zadesio Kocaeli, pa stoga postoji velika vjerojatnost da će se slični potresi ponoviti u gusto naseljenim područjima IMM-a. Ovo i slična istraživanja za druge regije unutar IMM-a značajan su doprinos naporima koje kontinuirano ulažu središnje i lokalne vlasti u svrhu smanjenja seizmičkog rizika i planiranja mjera za ublažavanje posljedica budućih seizmičkih udara.

## Zahvale

Autori zahvaljuju prof. dr. Yasinu Fahjanu, koji je izradio program AFAD-RED, na kontinuiranoj pomoći i potpori za vrijeme pripremanja ovog rada.



## LITERATURA

- [1] Re, M.: Topics GEO. Natural Catastrophes 2015: Analyses, assessments, positions. Munich Re Group, Munich. 2016.
- [2] Holzer, T.L.: Implications for earthquake risk reduction in the United States from the Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999. Vol. 1193. 2000: US Government Printing Office.
- [3] Özmen, B.: Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi'nin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle), Ankara, Türkiye Deprem Vakfı. 2000.
- [4] Erdik, M.: Report on 1999 Kocaeli and Duzce (Turkey) Earthquakes. Structural control for civil and infrastructure engineering: World Scientific, pp. 149-186, 2001.
- [5] Šipoš, T.K., Hadzima-Nyarko, M.: Rapid seismic risk assessment. International journal of disaster risk reduction, 24 (2017), pp. 348-360, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.06.025>
- [6] FEMA, H.M.M.: Multi-hazard Loss Estimation Methodology/ Earthquake Model/Technical Manual. 2010: Wasington, D.C.
- [7] Riga, E., Karatzetou, A., Mara, A., Ptilakis, K.: Studying the uncertainties in the seismic risk assessment at urban scale applying the Capacity Spectrum Method: The case of Thessaloniki. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 92 (2017), pp. 9-24, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2016.09.043>
- [8] Barbat, A.H., Pujades, L.G., Lantada, N.: Seismic damage evaluation in urban areas using the capacity spectrum method: application to Barcelona. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28 (2008) 10, pp. 851-865.
- [9] Remki, M., Kehila, F., Bechtoula, H., Bourzam, A.: Seismic vulnerability assessment of composite reinforced concrete-masonry building. Earthquakes and Structures, 11 (2016) 2, pp. 371-386.
- [10] Salgado-Gálvez, A.M., Barbat, H.A., Cardona, D.O., Carreño, L.M.: Comparing observed damages and losses with modelled ones using a probabilistic approach: The Lorca 2011 case. International Journal of Disaster Risk Reduction, 19 (2016), pp. 355-365, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.09.008>
- [11] Erdik, M., Rashidov, T., Safak, E., Turdukulov, A.: Assessment of seismic risk in Tashkent, Uzbekistan, Bishkek, Kyrgyz Republic, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25 (2005) 7, pp. 473-486.
- [12] Makhoul, N., Navarro, C., Lee, J.S., Abi-Youness, A.: Assessment of seismic damage to buildings in resilient Byblos City, International journal of disaster risk reduction, 18 (2016), pp. 12-22, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.05.007>
- [13] Karimzadeh, S., Miyajima, M., Hassanzadeh, R., Amiraslanzadeh, R.: A GIS-based seismic hazard, building vulnerability and human loss assessment for the earthquake scenario in Tabriz, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 66 (2014), pp. 263-280, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.06.026>
- [14] El Ezz, A.A., Nollet, M.J., Nastev, M.: Assessment of earthquake-induced damage in Quebec city, Canada. International journal of disaster risk reduction, 12 (2015), pp. 16-24, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.11.004>
- [15] Isik, E., Kutanis, M., Bal, I.E.: Estimated loss and rating of earthquake risk in eastern Turkey, Građevinar, 69 (2017) 7, pp. 581-592, <https://doi.org/10.14256/GJE.1242.2015>
- [16] Kalman Sipos, T., Hadzima-Nyarko, M.: Seismic Risk of Croatian Cities Based on Building's Vulnerability. Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette, 25 (2018) 4, pp. 1088-1094.
- [17] Erdik, M., Rashidov, T., Safak, E., Turdukulov, A.: Earthquake risk assessment for Istanbul metropolitan area. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2 (2003) 1, pp. 1-23, <https://doi.org/10.1007/BF02857534>
- [18] IMM, I.M.M.: The study on a disaster prevention/mitigation basic plan in Istanbul including seismic microzonation in the Republic of Turkey. 2002.
- [19] Konukcu, B.E., Karaman, H., Şahin, M.: Building damage analysis for the updated building dataset of Istanbul. Natural Hazards, 84 (2016) 3, pp. 1981-2007.
- [20] TUIK. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları. Ankara, Turkey 2017 [cited 2017 23.04.2017]; Available from: <https://biruni.tuik.gov.tr/>.
- [21] TBSP, Tuzla Belediyesi, Stratejik Plan 2015 - 2019. 2015 15.03.2017].
- [22] Openstreetmap, Map of Tuzla district 2017 15.03.2017]; Available from: <https://www.openstreetmap.org/#map=11/40.8323/29.3156>.
- [23] Erdik, M.: Deprem Risk Belirlemesi in İstanbul Bülten 2011, TMMOB- İMO: İstanbul. pp. 8-20.
- [24] Marulanda, M.C., Carreño, M.L., Cardona, O.D., Ordaz, M.G., Barbat, A.H.: Probabilistic earthquake risk assessment using CAPRA: application to the city of Barcelona, Spain. Natural hazards, 69 (2013) 1, pp. 59-84.
- [25] Razeghi, H.R., Ghodrati Amiri, G., Razavian Amrei, S.A., Rahimi, M.A.: Probabilistic seismic hazard analyses and obtaining Uniform haard spectra of Tabriz, Iran. Ksce Journal of Civil Engineering, 20 (2016) 5, pp. 1813-1823.
- [26] Sedan, O., Negulescu, K., Terrier, M., Roulle, A., Winter, T., Bertil, D.: Armagedom - a tool for seismic risk assessment illustrated with applications. Journal of earthquake engineering, 17 (2013) 2, pp. 253-281.
- [27] Miura, H., Midorikawa, S., Fujimoto, K., Pacheco, B., Yamanaka, H.: Earthquake damage estimation in Metro Manila, Philippines based on seismic performance of buildings evaluated by local experts' judgments. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28 (2008) 10, pp. 764-777.
- [28] Tari, U., Tüysüz, O.: The effects of the North Anatolian Fault on the geomorphology in the Eastern Marmara Region, Northwestern Turkey. Geodinamica Acta, 28 (2016) 3, pp. 139-159.
- [29] Barka, A.: The north Anatolian fault zone. Annales tectonicae, 6 (1992) Suppl, pp. 164-195.
- [30] MTA. Yenilenmiş diri fay haritaları, 2017 [cited 2017 23.04.2017]; Available from: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari>.
- [31] Özalp, S., Emre, Ö., Doğan, A.: The segment structure of southern branch of the North Anatolian Fault and paleoseismological behaviour of the Gemlik fault. NW Anatolia Bulletin of MTA, 147 (2013), pp. 1-17.
- [32] Stein, R.S., Barka, A.A., Dieterich, J.H.: Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. Geophysical Journal International, 128 (1997) 3, pp. 594-604.
- [33] Hanks, T.C., Bakun, W.H.: M-logA observations for recent large earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America, 98 (2008) 1, pp. 490-494.



- [34] Field, E.H., Dawson, T.E., Felzer, K.R., Frankel, A.D., Gupta, V., Jordan, T.H., Parsons, T., Petersen, M.D., Stein, R.S., Weldon, R.J., Wills, C.J.: Uniform California earthquake rupture forecast, version 2 (UCERF 2). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99 (2009) 4, pp. 2053-2107.
- [35] Wesnousky, S.G.: Displacement and geometrical characteristics of earthquake surface ruptures: Issues and implications for seismic-hazard analysis and the process of earthquake rupture. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98 (2008) 4, pp. 1609-1632.
- [36] Preciadoa, A., Orduña, A., Bartoli, G., Budelmann, H.: Façade seismic failure simulation of an old Cathedral in Colima, Mexico by 3D Limit Analysis and nonlinear Finite Element Method. *Engineering Failure Analysis*, 49 (2015), pp. 20-30, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.12.003>
- [37] Hadzima-Nyarko, M., Mišetić, V., Morić, D.: Seismic vulnerability assessment of an old historical masonry building in Osijek, Croatia, using Damage Index. *Journal of Cultural Heritage*, 28 (2017), pp. 140-150, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.05.012>
- [38] NDMA, N.D.M.A.: *Seismic Vulnerability Assessment of Building Types in India*. N.D.M.A.G.o. India, Editor. 2013: India.
- [39] Freeman, S., Nicoletti, J., Tyrell, J.: Evaluations of existing buildings for seismic risk—A case study of Puget Sound Naval Shipyard, Bremerton, Washington. in *Proceedings of the 1<sup>st</sup> US National Conference on Earthquake Engineering*. 1975. Earthquake Engineering Research Institute Oakland, CA.
- [40] Freeman, S.A.: Review of the development of the capacity spectrum method. *ISET Journal of Earthquake Technology*, 41 (2004) 1, pp. 1-13.
- [41] Freeman, S.A.: Development and use of capacity spectrum method. in *Proceedings of the 6<sup>th</sup> US national conference on earthquake engineering*. 1998. EERI Seattle, WA.
- [42] Freeman, S.A.: The capacity spectrum method. in *Proceedings of the 11<sup>th</sup> European conference on earthquake engineering*. 1998. Paris.
- [43] Erdem, T.: Performance evaluation of reinforced concrete buildings with softer ground floors, *Građevinar*, 68 (2016) 1, pp. 39-49, <https://doi.org/10.14256/JCE.1133.2014>
- [44] Lazzali, F.: Seismic vulnerability of Algerian reinforced concrete houses. *Earthquakes and Structures*, 5 (2013) 5, pp. 571-588.
- [45] Masi, A., Digrisolo, A., Manfredi, V.: Fragility curves of gravity-load designed RC buildings with regularity in plan. *Earthquakes and Structures*, 9 (2015) 1, pp. 1-27.
- [46] Tüzün, C.: *A Seismic Vulnerability Analysis Procedure For Urban Loss Assessment*. 2008, Boğaziçi University: Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, İstanbul, Turkey.
- [47] Fahjan, Y.: AFAD-RED software. 2013, AFAD - Disaster and Emergency Management Presidency of R.T.: Turkey.
- [48] Fahjan, Y., Pakdamar, F., Eryılmaz, E., Kara, F.I.: Afet planlamasında deprem riski belirsizliklerinin değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1 (2015) 1-2, pp. 21-39, <https://doi.org/10.21324/dacd.61132>
- [49] Boore, D.M., Joyner, W.B., Fumal, T.E.: Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: a summary of recent work. *Seismological research letters*, 68 (1997) 1, pp. 128-153.
- [50] Sadigh, K., Chang, C.Y., Egan, J.A., Makdasi, F., Youngs, R.R.: Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seismological research letters*, 68 (1997) 1, pp. 180-189.
- [51] Ambraseys, N.N., Simpson, K.U., Bommer, J.J.: Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 25 (1996) 4, pp. 371-400.