

Primljen / Received: 17.11.2020.

Ispravljen / Corrected: 15.3.2021.

Prihvaćen / Accepted: 4.8.2021.

Dostupno online / Available online: 10.10.2021.

Procjena stanja zidanih građevina i džamija nakon potresa u Sivricu

Autori:

Doc.dr.sc. **Halit Cenar Mertol**, dipl.ing.građ.

Sveučilište Atılım, Ankara, Turska

Odjel za građevinarstvo

cenar.mertol@atilim.edu.tr

Autor za korespondenciju

Doc.dr.sc. **Gokhan Tunc**, dipl.ing.građ.

Sveučilište Atılım, Ankara, Turska

Odjel za građevinarstvo

gokhan.tunc@atilim.edu.trProf.dr.sc. **Tolga Akis**, dipl.ing.građ.

Sveučilište Atılım, Ankara, Turska

Odjel za građevinarstvo

tolga.akis@atilim.edu.tr

Prethodno priopćenje

Halit Cenar Mertol, Gokhan Tunc, Tolga Akis

Procjena stanja zidanih građevina i džamija nakon potresa u Sivricu

U radu je prikazana procjena stanja zidanih građevina i džamija nakon potresa u gradu Sivricu u Turskoj. Zidane kamene građevine pretrpjele su razna oštećenja kao što su pojava vertikalnih pukotina i razdvajanja u kutovima, klinasta popuštanja u kutovima, otvaranje dijagonalnih pukotina na zidovima, otkazivanje zidova izvan ravnine i odvajanje zidova od katnih ili krovnih sustava. S druge strane, odvajanje stošca i alema minareta karakterističan je primjer oštećenja džamija. Buduća oštećenja izazvana potresom mogu se spriječiti primjerenim poštivanjem propisa o projektiranju i odgovarajućim nadzorom tijekom građenja novih građevina, dok se za postojeće građevine preporučuju prikladne mjere pojačanja.

Ključne riječi:

potres u Sivricu, opasnost, oštećenje konstrukcije, zidana građevina, džamija, pojačanje

Research Paper

Halit Cenar Mertol, Gokhan Tunc, Tolga Akis

Evaluation of masonry buildings and mosques after Sivrice earthquake

The evaluation of masonry and mosque type structures after the Sivrice Earthquake is presented in this study. Stone masonry buildings exhibited damage such as vertical cracks and splitting at corners, wedge shaped corner failures, diagonal cracking on walls, out-of-plane splitting of walls, and separation of walls from flooring/roofing systems. On the other hand, the separation of flags and caps of minarets was a common example of damage in mosques. Future earthquake damage can be prevented by following design codes and providing adequate supervision for new structures, while strengthening measures are recommended for the existing buildings.

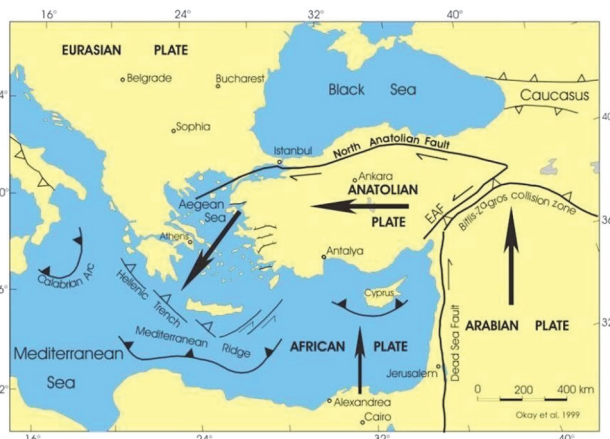
Key words:

Sivrice earthquake, hazard, structural damage, masonry building, mosque, strengthening

1. Uvod

Turska se nalazi u jednoj od najaktivnijih seizmičkih zona. Prema statističkim se analizama svake dvije godine u toj državi bilježi pojava jakoga potresa (magnituda M_w od 6,0 do 6,9), dok se vrlo jaki potresi (magnituda M_w veće od 6,9) bilježe svake tri godine. Jaki potresi javljaju se uzduž nekoliko rasjednih linija. Najznačajnije su sjevernoanatolijska rasjedna linija (eng. *North Anatolian Fault Line* - NAF), istočnoanatolijska rasjedna linija (eng. *East Anatolian Fault Line* - EAF) te zapadnoanatolijske rasjedne linije (eng. *West Anatolian Fault Lines* - WAF) (slika 1.). Na sjeveru Turske linija NAF prostire se u duljini od gotovo 1500 km, a pruža se od istoka prema zapadu. U istočnim i jugoistočnim dijelovima države EAF se prostire u obliku luka od zaljeva Iskenderun do grada Hakkarija. U zapadnom dijelu države WAF pokriva prostor koji omeđuju rasjedne doline Bakırçay, Gediz, Küçük i Büyük Menderes. U gradu Sivricu, smještenom u istočnom dijelu Turske u pokrajini Elazig, zabilježen je 24. siječnja 2020. godine snažan potres magnituda 6,8 [2]. Hipocentar se nalazio 8,06 kilometara ispod epicentra (u blizini Sivrica). Tim je potresom pogođeno više od dva milijuna ljudi koji uglavnom žive u dva grada, u Elazigu i Malatyai, te u obližnjim mjestima i selima. Elazig se nalazi 37,5 km sjeveroistočno od epicentra potresa, dok je Malatya smještena 65 km zapadno od epicentra. Lokacija epicentra prikazana je na slici 2. U tom je potresu život izgubila četrdeset i jedna osoba, dok su stotine stanovnika pretrpjele tjelesne ozljede. Srušeno

je više od šest stotina armiranobetonskih i zidanih građevina, a teško je oštećeno više od deset tisuća građevina. Preko dvadeset tisuća građevina pretrpjelo je srednje ozbiljna ili manja oštećenja. Osim toga, utvrđeno je da je više od osamsto građevina u konstrukcijskom smislu nepodobno za stanovanje, zbog čega su iste srušene u razdoblju nakon potresa [3]. Tim stručnjaka obišao je pogođenu regiju 24 sata nakon potresa. U ovoj su studiji prikazani podaci prikupljeni tijekom obilaska koji se odnose na zidane građevine i džamije.



Slika 3. Interkontinentalna pomicanja ploča [4]

2. Seizmička aktivnost i tektonika

2.1. Povijesni prikaz

Zbog sudara veće arapske i manje anatolijske ploče u neotektonskom je razdoblju (otprilike 12 milijuna godina pr. n. e.) došlo do pomicanja ploča u u smjeru sjever-istok [4]. Istočno anatolijsko područje sastoji se od lijevih bočnih rasjeda pružnoga tipa koji se prostiru od grada Bingola do Antakyae, mjesta u blizini grada Hatay. To područje i njemu pridružene rasjedne linije poznato je kao istočnoanatolijska rasjedna zona (EAFZ ili EAF) [5] (slika 3.). Godišnji pomak te rasjedne zone iznosi otprilike $7,9 \pm 0,3$ mm [6]. EAF obuhvaća područje od otprilike 145 kilometara, od jezera Hazar (Elazig) do Sincika (Adiyaman). Ta rasjedna zona prolazi kroz Sivrice (Elazığ) i Doğanyol (Malatya) te se nastavlja do rijeke Şilo u Pütürgu (Malatya) [7].



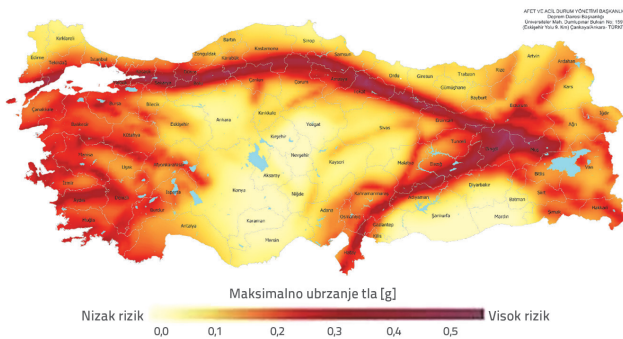
Slika 1. Aktivne rasjedne linije u Turskoj [1]



Slika 2. Lokacija epicentra potresa (Sivrice)

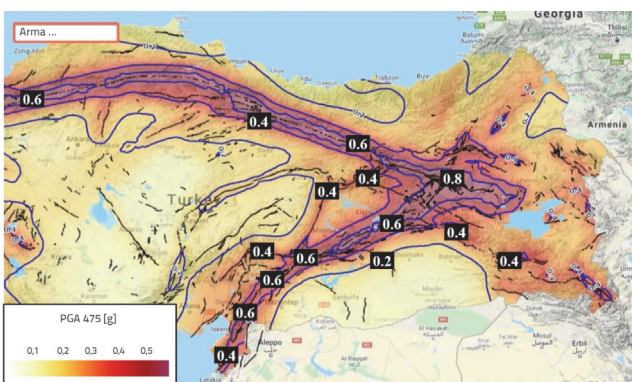
2.2. Karta potresne opasnosti

Sadašnja karta potresne opasnosti u Turskoj, pripremljena na temelju potresa s vjerojatnošću prekoračenja od 10 % u 50 godina, to jest za povratno razdoblje od 475 godina, prikazana je na slici 4. [8].

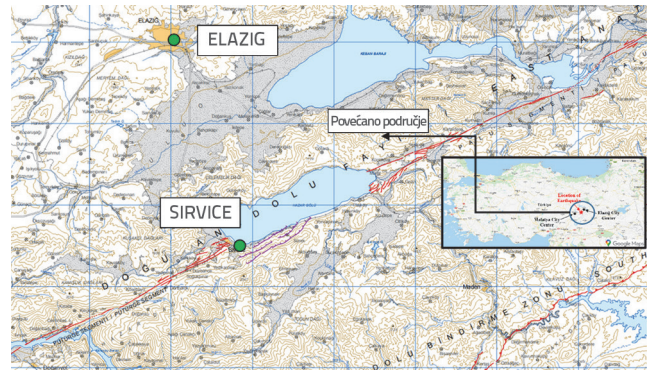


Slika 4. Karta potresne opasnosti u Turskoj (vjerojatnost prekoračenja od 10 % u 50 godina) [8]

Prema toj karti područja najveće seizmičke aktivnosti sjeverni su, istočni i jugoistočni dijelovi Turske, područje u blizini Egejskog mora te unutarnji jugozapadni dio Turske, uključujući i područje okruženo jezerom Van. Detaljnija karta potresne opasnosti za središnje i istočne dijelove Turske, s očekivanim vrijednostima seizmičkoga ubrzanja tla izračunanih na temelju prekoračenja od 10 % u 50 godina, prikazana je na slici 5. [8]. Linije aktivnih rasjeda u epicentru i oko epicentra potresa u Sivricu, koje se pružaju uzduž linije EAF, prikazane su na slici. 6 [1]. Prema podacima koji su prikazani na slikama 5. i 6. najmanje i najveće vrijednosti vršnoga ubrzanja zla u seizmičkom području Sivrice iznose 0,2 g i 0,8 g. Prosječne vrijednosti vršnoga ubrzanja tla jednake su za Sivrice i Doganyol te iznose 0,63 g [8].



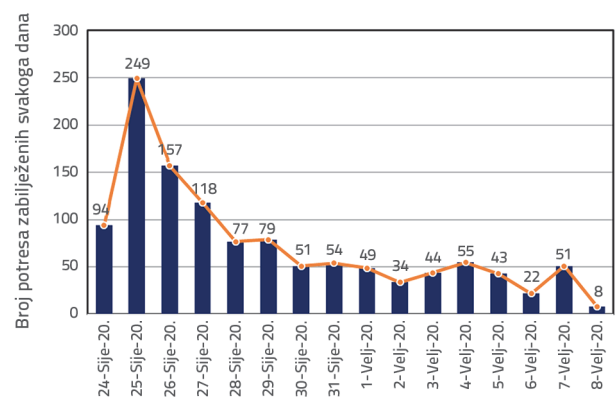
Slika 5. Očekivane vrijednosti vršnoga ubrzanja tla (u g) za potrese (vjerojatnost prekoračenja od 10 % u 50 godina) uzduž sjeverne i istočne anatolijske rasjedne zone [8]



Slika 6. Linije aktivnih rasjeda oko Elaziğa [1]

2.3. Potres Sivrice

Potres je pogodio Sivrice 24. siječnja 2020. godine u 8:55:11 navečer po lokalnom vremenu [2]. Epicentar potresa nalazio se u Çevrimtaşu, selu u području Sivrice, koje se udaljeno 37 kilometara od grada Elaziğa, a sjeveroistočnom dijelu te regije. Hipocentar potresa nalazio se na dubini od 8,06 km, a magnituda potresa iznosila je $M_w = 6,8$ [2]. Potres se dogodio u segmentu Pütürge, a radi se o dijelu istočnoanatolijske rasjedne linije s lijevim bočnim rasjedom pružnoga tipa. Prema raznim izvorima, [9, 10], potres je uzrokovao površinski lom u području od gotovo 50 do 55 km². Iako potres nije uzrokovao vidljive lomove na površini tla, stručnjaci koji su pregledali to područje utvrdili su daljinskim analizama pomak od otprilike 50 cm [9, 11]. Parametri žarišnoga mehanizma, određeni inverzijom seizmičkoga tenzora momenta, dani su u tablici 1.



Slika 7. Ukupan broj naknadnih udara zabilježen u regiji u vremenu od 24. siječnja do 8. veljače 2020. godine

Prema seizmičkim podacima koji su prikupljeni u razdoblju od 24. siječnja do 8. veljače 2020. godine (16 dana) u tom je

Tablica 1. Mehanizam žarišta potresa Sivrice, Elaziğ [2]

	Pružanje 1	Nagib 1	Kut relativnoga pomaka 1	Pružanje 2	Nagib 2	Kut relativnoga pomaka 2
		248	76	1	158	89

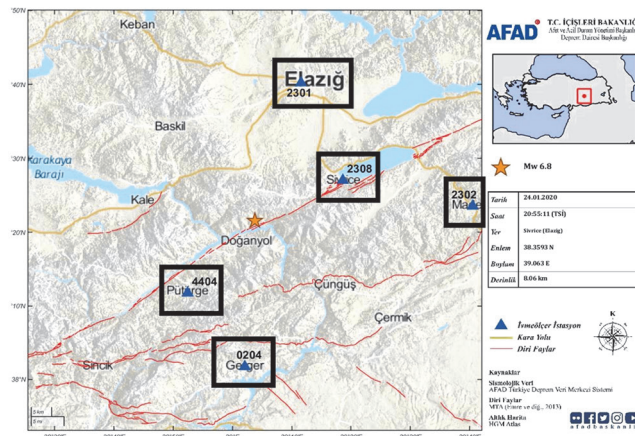
području zabilježeno ukupno 1185 naknadnih udara, pri čemu su lokalne magnituda varirale od 1,2 do 5,1. Na slici 7. prikazana je dnevna raspodjela frekvencija za ukupno 1185 potresa koji su uslijedili nakon glavnoga udara. Kako bi se odredile karakteristike naknadnih udara, njihov je ukupan broj kategoriziran i po njihovim magnitudama (tablica 2.).

Tablica 2. Broj naknadnih udara kategoriziran prema njihovim lokalnim magnitudama (od 24. siječnja do 8. veljače 2020.)

Lokalna magnituda	Broj naknadnih udara
$M_L \geq 5,0$	1
$5,0 > M_L \geq 4,0$	34
$4,0 > M_L \geq 3,0$	133
$3,0 > M_L \geq 2,0$	611
$M_L < 2,0$	406
Ukupno	1185

Vrijednosti vršnoga ubrzanja tla, zabilježene na pet najbližih AFAD-ovih postaja za mjerenje jakih pomaka tla, prikazane su u tablici 3. Lokacije tih postaja označene su i na odgovarajućoj karti (slika 8.). Najbliža postaja, udaljena 24 km od epicentra, nalazi se u Sivricu (postaja br. 2308), a udaljenija je postaja Maden (postaja br. 2302), koja je smještena na udaljenosti od 53

kilometra od epicentra. Maksimalno ubrzanje tla zabilježeno je na postaji Sivrice (usmjerenje: istok-zapad, magnituda: 0,293 g).



Slika 8. Lokacije pet najbližih postaja za mjerenje jakih pomaka tla [2]

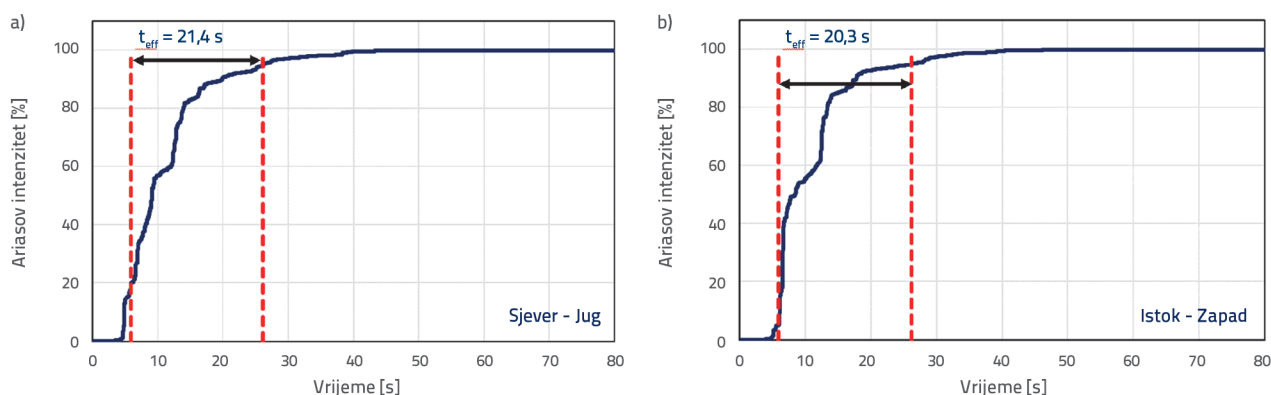
2.4 Ariasov intenzitet potresa u Sivricu

Na slici 9. prikazan je Ariasov intenzitet (eng. *Arias Intensity - AI*) potresa u Sivricu za usmjerenja Sjever-Jug i Istok-Zapad, prema podacima o pomacima tla zabilježenima na postaji Sivrice.

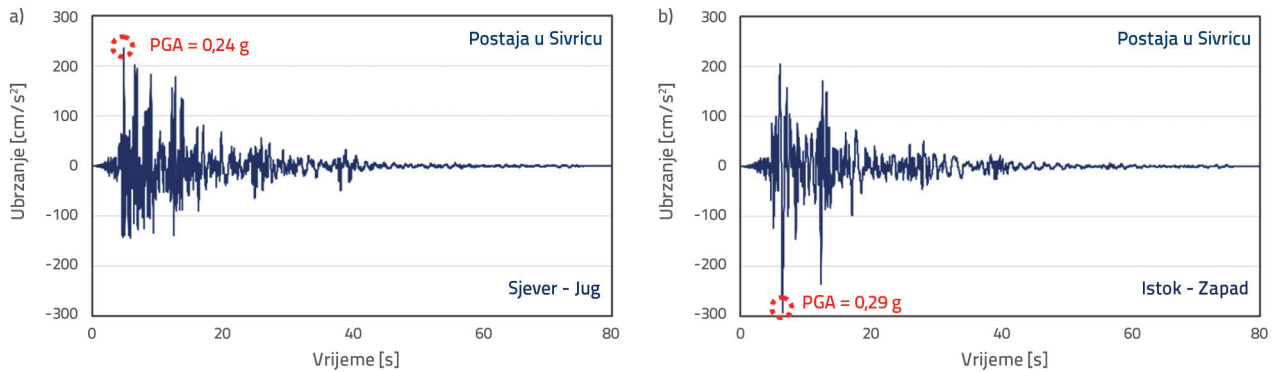
Tablica 3. Podaci o potresu zabilježeni na pet najbližih postaja za mjerenje pomaka tla

No	Lokacija		Broj postaje	Zemljopisna širina i dužina [°]	Vršno ubrzanje tla [Gal]			Najkraća udaljenost od epicentra [km]
	Grad	Regija			sjever-jug	istok-zapad	Vertikalno	
1	Elazığ	Sivrice	2308	38,4506 39,3102	237,99 (0,24 g)	292,77 (0,30 g)	190,09 (0,19 g)	24
2	Malatya	Pütürge	4404	38,1959 38,8738	206,91 (0,21 g)	239,24 (0,24 g)	153,87 (0,16 g)	25
3	Elazığ	Merkez	2301	38,6704 39,1927	119,28 (0,12 g)	140,73 (0,14 g)	66,31 (0,07 g)	36
4	Adıyaman	Gerger	0204	38,0290 39,0347	94,03 (0,10 g)	110,11 (0,11 g)	60,75 (0,06 g)	37
5	Elazığ	Maden	2302	38,3923 39,6754	26,29 (0,03 g)	33,97 (0,03 g)	22,78 (0,02 g)	53

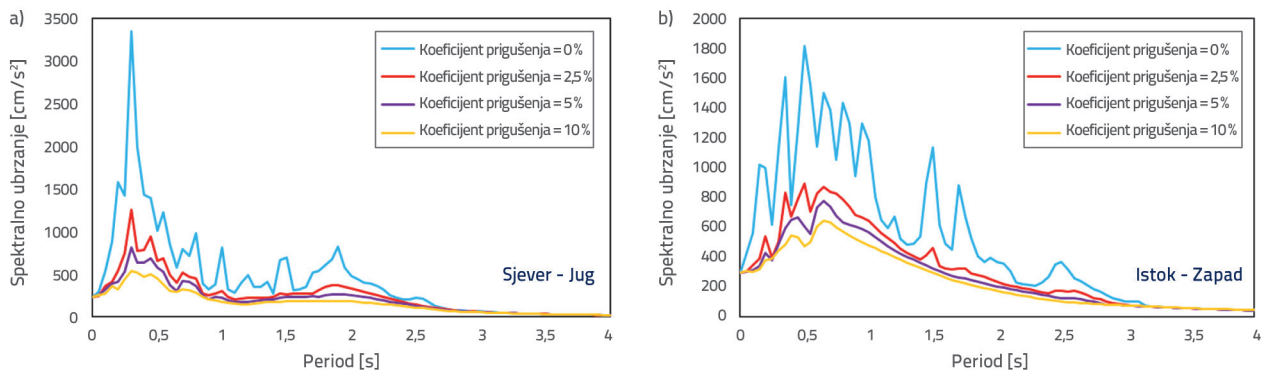
1 Gal = 0,01 m/s², 1 g = 981 Gal



Slika 9. Stvarno trajanje potresa u Sivricu: a) Smjer Sjever-Jug; b) Smjer Istok-Zapad



Slika 10. Vršna ubrzanja tla za potres Sivrice: a) Smjer Sjever-Jug; b) Smjer Istok-Zapad



Slika 11. Vrijednosti spektralnog ubrzanja za potres Sivrice: a) Smjer Sjever-Jug; b) Smjer Istok-Zapad

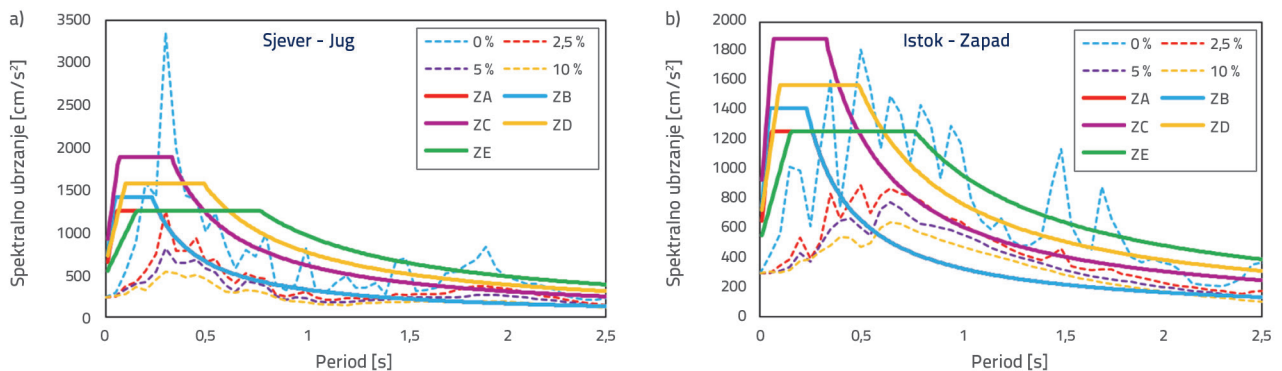
Stvarno trajanje potresa je razlika u vremenu između vrijednosti AI od 5 % do 95 %. Prema podacima koji su prikazani na slici 9. stvarno trajanje potresa u smjeru Sjever-Jug iznosilo je 21,4 sekunde, a 20,3 sekunde za smjer Istok-Zapad.

3. Analiza podataka o snažnim pomacima tla

Slika 10. prikazuje ubrzanja tla u smjerovima Sjever-Jug i Istok-Zapad za potres u Sivricu prema podacima iz postaje Sivrice. Prema tim podacima vršno ubrzanje tla u oba smjera iznosi 0,24 g i 0,29 g. U krivuljama spektralnog ubrzanja upotrijebljene su vrijednosti vršnog ubrzanja zabilježene na postaji Sivrice

u smjerovima Sjever-Jug i Istok-Zapad u funkciji raznih koeficijenata prigušenja (slika 11.).

Proračunske spektralne krivulje iz važećeg turskog Zakona o protupotresnoj zaštiti građevina (TBEC) uspoređene su s podacima o spektralnog ubrzanju (slika 12.). U TBEC-u [12] je definirano ukupno šest kategorija lokalnoga tla koje se označavaju slovima od ZA do ZF, gdje ZA označava čvrstu stijenu, a ZF izuzetno rastresito tlo za koje su potrebna dodatna ispitivanja tla i procjena lokacije. U ovoj se studiji proračunske spektralne krivulje za prvih pet vrsta tla (bez kategorije ZF) upotrebljavaju za ocjenjivanje komponenata ubrzanja Sjever-Jug i Istok-Zapad za potres Sivrice. Kao što se može vidjeti na



Slika 12. Vrijednosti spektralnog ubrzanja i proračunske spektralne vrijednosti za potres Sivrice: a) Smjer Sjever-Jug; b) Smjer Istok-Zapad

slici 12., u usporedbi s komponentom Sjever–Jug, komponenta potresa Istok–Zapad nešto je jače utjecala na građevine locirane u kategorijama tla ZC, ZD i ZE, s periodom većom od 0,5 sekundi. To upućuje na utjecaj lokacije na seizmičke pomake tla.

Prema podacima Savezne direkcije za istraživanje i eksploataciju minerala (MTA) tlo na lokaciji postaje Sivrice sastoji se od stijene tipa gabro [13]. Gabro je krupnozrnata i obično tamna magmatska stijena, a uglavnom je zastupljena u kategorijama tla ZB i ZC. Međutim, u blizini te postaje zastupljene su četiri različite vrste tla, a to su nediferencirani kvartar, klastične i karbonatne stijene, nediferencirane kontinentalne klastične stijene te aluvijalno tlo i nanosi (ZC, ZD, ZE i ZF). Utjecaj tla može se vidjeti iz porasta koji se bilježi u smjeru S–J, a naročito I–Z u spektru Sivrice iznad 1,5 sekundi (slika 12.a, b). Vjeruje se da to povećanje negativno utječe na građevine, jer ih pomiče u neelastično područje u rasponu perioda od 1,5 do 2 sekunde. Stoga se može zaključiti da su lokalni uvjeti tla znatno utjecali na promjenu obrasca ubrzanja tla.

4. Šteta na zidanim građevinama

Stručnjaci su obišli brojna sela i gradove kako bi se ocijeni utjecaj potresa na zidane građevine. Tipične zidane građevine koje nalazimo u selima i općinama regije prikazane su na slici 13. Neke od tih zidanih građevina izgrađene su u pedesetim godinama prošloga stoljeća. Zidani kamen uglavnom se rabio kao element nosivih sustava oštećenih i srušenih građevina, koje po visini imaju najviše jedan kat iznad prizemlja. U tom se tipu gradnje zidovi izvode od prirodnoga kamena raznih veličina (50–400 mm) koji se vezuje glinenim mortom (slika 14.a). Debljina nosivih zidova varira od 500 do 800 mm. Građevine su pojačane horizontalnim drvenim serklažima (veznim gredama) koje se izvode na raznim visinama po obodu građevine (slika 14.b). Vertikalna udaljenost između dvije susjedne vezne grede varira od 500 do 1500 mm. Vezne se grede rabe i na mjestima na kojima se zidovi povezuju s krovnim sustavom. Drvene vezne grede postavljene izvan ravnine osiguravaju izvanravnsku stabilnost tih širokih nosivih zidova (slika 14.c). Drvene daske postavljene iznad drvenih greda čine pod/dijafragmu tih građevina (slika 14.d).



Slika 13. Tipične zidane građevine u području pogođenom potresom



Slika 14. Detalji zidanih građevina tipičnih za to područje: a) presjek zida, b) drvene vezne grede, c) izvanravnske vezne grede, d) katna konstrukcija

Stanje armiranobetonskih i zidanih građevina oštećenih u potresima u Turskoj ocjenjuje se pomoću priručnika [14] koji je objavila Turska komora građevinskih inženjera. Procjena stanja provodi se u dvije faze. Prva je "procjena izvana", a druga "procjena iznutra". U okviru procjene izvana određuje se je li došlo do djelomičnoga ili potpunoga rušenja, ima li trajnih međukatnih pomaka te je li došlo do oštećenja uzrokovana stanjem tla. Ako se tijekom te procjene ustanovi da građevinu treba rušiti, tada daljnje ocjenjivanje nije potrebno. U suprotnom, pokreće se procjena iznutra u okviru koje se provodi kategorizacija pukotina na temelje mjesta na kojima se nalaze te na temelju širine pukotina. Nakon procjene, konstruktivna oštećenja mogu se kategorizirati kao manja oštećenja (građevina se odmah može koristiti), umjerena oštećenja (građevina se može koristiti nakon popravka ili pojačanja) te teška oštećenja (građevina se treba srušiti, jer popravak ili pojačanje nisu ekonomski isplativi ili izvedivi).

Mehanizmi oštećenja ili rušenja zidanih građevina mogu se povezati s jednim ili nekoliko od sljedećih tipova sloma: vertikalne pukotine i pucanje u kutovima, klinasta popuštanja u kutovima, pojava dijagonalnih pukotina na zidovima, pucanje zidova izvan ravnine te odvajanje zidova od katnih ili krovnih sustava. U narednim se poglavljima objašnjavaju opažanja koja se odnose na te vrste oštećenja zabilježeni nakon potresa Sivrice, kao i odgovarajuće metode pojačanja.

4.1. Vertikalne pukotine i pucanje u kutovima

Takva se oštećenja javljaju zbog nedostatne povezanosti veznih nosivih zidova u kutovima. Na slici 15. prikazane su dvije građevine na kojima se mogu uočiti takve vrste oštećenja. Građevina u Aktarlı izgrađena je šezdesetih godina prošloga stoljeća. Godina gradnje kuće u Doğanyolu nije poznata.



Slika 15. Vertikalne pukotine i pucanje u kutovima

Takva se oštećenja mogu popraviti na više načina i to lokalnim učvršćivanjem oštećenih dijelova zidova. Povezivanje kamenom metoda je u okviru koje se skidaju dijelovi zidova koji su u kontaktu te se zamjenjuju samo jednim novim velikim kamenom koji je upotrijebljen za oba zida. Takvo se pojačanje može provesti na raznim visinama uzduž razdvojenih kutnih dijelova zidova. Sljedeća moguća metoda za popravljivanje razdvojenih dijelova zidova uključuje uvođenje novih veznih šipaka/greda (drvo, armirani beton ili čelik). Zatezanjem tih veznih elemenata smanjuje se ili čak zatvara otvor između razdvojenih zidova [15].

4.2. Klinasto popuštanje u kutovima

Tijekom pregleda na terenu ustanovljeno je da ima dosta slučajeva klinastoga popuštanja u kutovima. To popuštanje uzrokovano je neodgovarajućim spojevima drvenih veznih greda koje se rabe u kutovima po visini građevine, kao i na krovu. Primjeri takvih oštećenja prikazani su na slici 16.

Takvo oštećenje može se sanirati rekonstrukcijom kutnoga područja te odgovarajućim povezivanjem novododanoga zidnog elementa s postojećim zidovima. Mogu se dodati i novi vezni elementi kako bi se kompenzirao gubitak monolitnosti u oštećenom dijelu. Alternativni postupak pojačanja ugradnja

je armiranobetonskoga stupa u oštećeni kut po visini zida. U tom postupku preostali se dio zida obnavlja zidanjem sličnim kamenim materijalom [15].



Slika 16. Klinasta oštećenja u kutovima

4.3. Pojava dijagonalnih pukotina na zidovima

Tijekom terenskih procjena stanja građevina također je uočena i česta pojava dijagonalnih pukotina koje nastaju zbog jakoga djelovanja posmičnih i vlačnih sila. U nekim je zidanim građevinama širina tih pukotina vrlo mala; međutim, njihovo je širenje dovelo u nekim kućama do popuštanja konstrukcije. Primjeri takve vrste oštećenja prikazani su na slici 17.



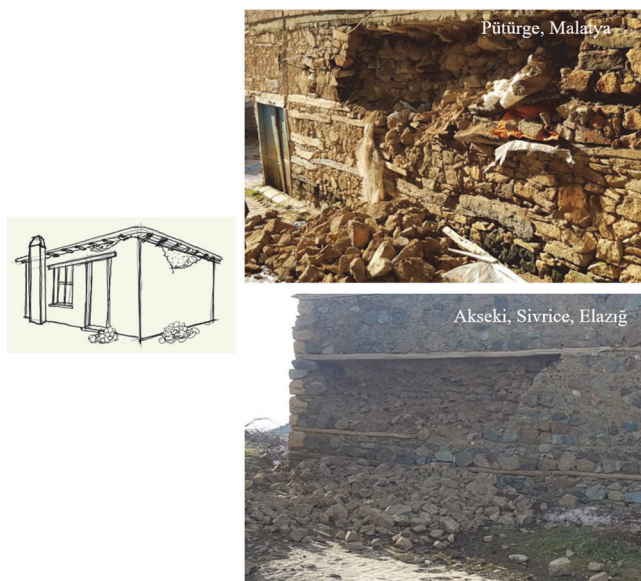
Slika 17. Pojava dijagonalnih pukotina na zidovima

Kada se radi o pukotinama čija širina ne prelazi 10 mm takva se oštećenja mogu popraviti injektiranjem tekućega cementnog morta, cementne injekcijske smjese ili materijala na bazi epoksidne smole. Armiranobetonska obostrana obloga zidova također je dobro rješenje za pojačanje teško oštećenih zidova na kojima su se pojavile pukotine šire od 10 mm. Djelomično ili potpuno uklanjanje i ponovno izvođenje dijelova zidova smatra se opravdanim u slučaju velikih oštećenja, kad je narušena stabilnost čitavoga sustava [15].

4.4. Pucanje zidova izvan ravnine

Takva oštećenja nastaju kad izvanravninske drvene vezne grede ne mogu izdržati pomake zidova u izvanravninskim smjerovima. Neki dijelovi zidova ruše se bilo prema van ili prema unutra.

Primjeri takvih oštećenja prikazani su na slici 18. Takva se oštećenja mogu sanirati djelomičnim ili potpunim uklanjanjem i rekonstrukcijom oštećenih dijelova zida. U postupku sanacije oštećeni segment treba poduprijeti pomoću privremenih podupora [15].



Slika 18. Popuštanje zidova izvan ravnine

4.5. Odvajanje zidova od katnih ili krovnih sustava

Terenskim je pregledima ustanovljeno da je odvajanje nosivih zidova i katnih ili krovnih sustava glavni uzrok rušenja ili teškoga oštećivanja građevina. Razlog tome nedostatak je odgovarajućih spojeva između nosivih zidova i katnih ili krovnih sustava. Dodatni je razlog za pojavu takvih oštećenja i nedovoljna čvrstoća i krutost katnih ili krovnih sustava (elastična dijafragma). Primjeri takvih oštećenja prikazani su na slici 19.



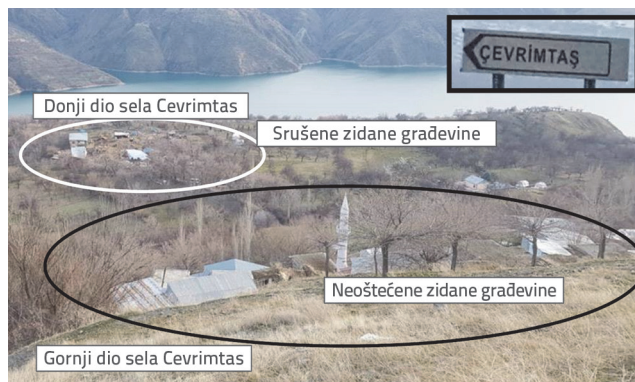
Slika 19. Popuštanje zbog odvajanja zidova

Sanacija te vrste oštećenja počine rekonstrukcijom oštećenih zidova. Katni ili krovni sustav treba potom prikladno povezati

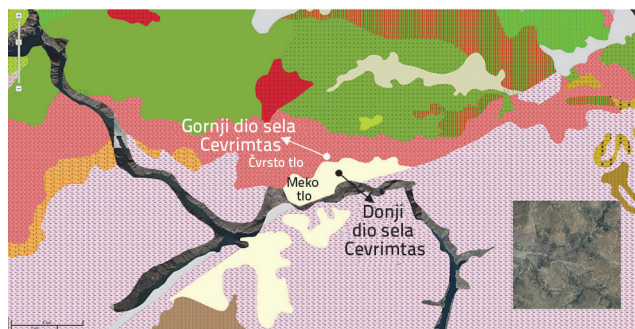
kako bi se omogućilo ravnomjerno pomicanje zidova i katnih ili krovnih sustava tijekom potresa. Takvo se povezivanje može postići ugradnjom novih veznih greda (drvenih, armiranobetonskih ili čeličnih) na vrh nosivoga zida. U okviru toga postupka postojeći katni ili krovni sustav treba adekvatno povezati s novougrađenim gredama [15].

4.6. Uvjeti tla (selo Çevrimtaş)

Tijekom terenskih pregleda posebna je pozornost posvećena selu Çevrimtaş koje je udaljeno približno jedan kilometar od epicentra potresa. U tom su selu najveća oštećenja pretrpjele zidane građevine. Slika 20. prikazuje fotografiju sela Çevrimtaş. Za potrebe ovoga rada selo je podijeljeno u dvije zasebne cjeline, to jest na gornji i donji Çevrimtaş. Prema podacima Savezne direkcije za istraživanje i eksploataciju minerala (MTA) [13] donji dio sela leži na mekome tlu (vrlo gusti pijesak, slojevi tvrde gline i/ili jako raspucana meka stijena) i smješten je neposredno uz akumulaciju brane Karakaya. Gornji se dio sela nalazi obroncima obližnjega brežuljka, a leži na čvrstome tlu (jaka i čvrsta stijena) [13]. Geološka karta tla na lokaciji sela Çevrimtaş prikazana je na slici 21. Tijekom potresa srušile su se skoro sve zidane kuće u donjem dijelu sela, dok je većina zidanih kuća u gornjem dijelu ostala neoštećena. Fotografije nekih od srušenih zidanih kuća lociranih u donjem dijelu sela Çevrimtaş prikazane su na slikama od 22. do 25. Primjer tipične neoštećene zidane kuće locirane u gornjem dijelu sela Çevrimtaş prikazan je na slici 13. (dolje desno).



Slika 20. Pogled na selo Çevrimtaş



Slika 21. Geološka karta tla na lokaciji sela Çevrimtaş [13]



Slika 22. Srušena zidana kuća u donjem dijelu sela Cevrimtaş (građevina br. 1)



Slika 23. Srušena zidana kuća u donjem dijelu sela Cevrimtaş (građevina br. 2)



Slika 24. Srušena zidana kuća u donjem dijelu sela Cevrimtaş (građevina br. 3)



Slika 25. Srušena zidana kuća u donjem dijelu sela Cevrimtaş (građevina br. 4)

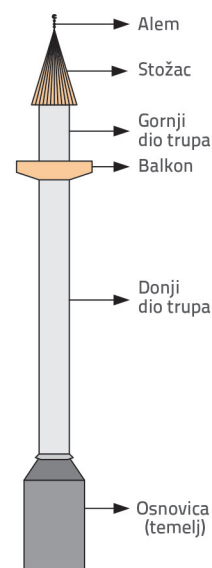
Prema terenskim ispitivanjima provedenima u tom području, uzduž obale susjednoga jezera, rijeke i akumulacije brane (jezero Hazar, rijeka Firat i akumulacija brane Karakaya) utvrđena je

pojava likvefakcije i bočnoga širenja [16, 17]. Tim stručnjaka koji je bio uključen u pripremu ove studije utvrdio je u toku obilaska terena da su se na asfaltnoj cesti na nekim mjestima otvorile pukotine širine i do 10 cm. Međutim, oštećenja uzrokovana likvefakcijom i bočnim širenjem nisu utvrđena niti u jednom od tih terenskih pregleda građevina koje se nalaze u području pogođenom potresom.

Utjecaj seizmičkih sila na zidane građevine u Turskoj ispituje se na temelju Zakona o protupotresnoj zaštiti građevina (TBEC). Kao što je ranije navedeno, analizirane građevine leže na dvije vrste tla, a to su čvrsto tlo i meko tlo. Na slici 12. prikazani su proračunski spektri horizontalnoga elastičnog odziva tih dviju vrsta tla, definirani u skladu s TBEC-om [12] primjenom dinamičkoga koeficijenta tla. Na slici se može uočiti da su kuće smještene na mekom tlu (kategorija tla ZC) podložne većim ubrzanjima u duljem vremenu, ako se usporede s kućama koje leže na čvrstom tlu (kategorija tla ZA). Stoga se veća seizmička opterećenja mogu očekivati na zidanim kućama koje leže na mekom tlu. Smatra se da je ta činjenica, tojest lokalna kategorija tla, glavni razlog rušenja zidanih građevina u donjem dijelu sela Cevrimtaş.

5. Konstruktivna oštećenja na džamijama

Tijekom terenskih je istraživanja utvrđeno da su i neke od džamija smještene u području potresa također pretrpjele određena oštećenja, a u nekim je slučajevima zabilježeno njihovo djelomično rušenje. Džamije uglavnom sadrže kupolastu konstrukciju koja pokriva glavnu dvoranu za molitve i susjednu građevinu u obliku tornja (minaret) koja je smještena uz spomenutu kupolu (slika 26.).



Slika 26. Dijelovi minareta

Minareti su uske i visoke građevine. Minaret se kao građevina može podijeliti na donji dio, takozvanu osnovicu, na kojem leže

gornji i donji dio trupa valjkastoga oblika. Balkon je smješten između gornjega i donjega dijela trupa. Na vrhu minareta nalazi se stožasti završetak, a njegov se najviši dio naziva alemom (obično je to dekoracija u obliku mladoga mjeseca). Osnovice, trupovi i stošci džamija koje nalazimo o ovoj regiji obično su izvedeni od kombinacije armiranobetonskih i zidanih dijelova. Stošci su obično zidani, a alemi se izvode od bakra, mjedi ili kroma. Visina minareta varira ovisno o visini susjedne kupolaste građevine. Općenito uzevši, u ovom su području minareti otprilike dva puta viši od susjedne kupole. Visina alema u ovom području varira od 1,2 do 2,2 m, ovisno o visini minareta. Džamije su u ovom potresu pretrpjele razna oštećenja koja su navedena u tablici 4., a detaljno opisana u sljedećem poglavlju.

Tablica 4. Vrste oštećenja na džamijama

Ime džamije	Vrsta oštećenja
Yolüstü	Rušenje stošca
Yeşil Yurt	Odvajanje stošca i alema
Furkan	Rušenje stošca
Sivrice	Teška oštećenja konstrukcijskih elemenata
Koçharmanı	Odvajanje stošca i alema
Aktarla	Odvajanje stošca i alema
Pütürge	Odvajanje stošca i alema
Koldere	Rušenje gornjega dijela trupa

5.1. Popuštanje alema i gornjega dijela trupa

Tijekom terenskih istraživanja uočena su oštećenja minareta i to obično na razini stošca. Tijekom potresa stožac ne može izdržati bočna opterećenja uzrokovana pomicanjem alema. Zbog toga se alem i neki dijelovi stošca odvajaju od preostalog dijela stošca. Ravnina sloma obično prolazi kroz mort između opeka, gdje se nalazi najslabija ravnina. Fotografije ove vrste oštećenja na slici su 27.



Slika 27. Oštećenje minareta zbog odvajanja alema od stošca

Ako se alem potpuno ne odvoji od stošca, onda ne dolazi do dodatnih oštećenja u okolnim dijelovima građevine. Međutim, ako se alem sruši, to može dovesti do velikih šteta zbog pada materijala s minareta. Takva vrsta oštećenja zabilježena je u nekim džamijama koje su stradale u ovom potresu (slika 28.). Tako je primjerice u selu Koldere djelovanjem potresa srušen alem, stožac i gornji dio trupa minareta. Sve se to srušilo na džamiju, koja je pretrpjela velike štete – probijen je krov džamije i u velikoj je mjeri oštećena njezina glavna dvorana za molitve. Takva oštećenja nastaju zbog diskontinuiteta u krutosti, jer je tlocrtna ploština gornjega dijela trupa obično manja od ploštine donjega dijela. Razlog popuštanju može biti i utjecaj drugoga oblika vibracija, jer je gornji dio izložen manjemu tlačnom naprezanju u usporedbi s donjim dijelom. Džamije Yolüstü i Furkan također su pretrpjele štete zbog rušenja alema i djelomičnoga popuštanja stošca. Materijal koji je pao s džamije Yolüstü ošteti je tako automobile parkirane u ulici. Međutim, u slučaju džamije Furkan nisu zabilježena dodatna oštećenja.



Slika 28. Oštećenje zbog pada odlomljenoga materijala

Takva se oštećenja i popuštanja minareta mogu očekivati i tijekom budućih potresa ako se ne provedu odgovarajuća pojačanja. Polimer ojačan vlaknima može se upotrijebiti za sanaciju i pojačanje zidane konstrukcije minareta koja tako postaje otpornijom na posmik i savijanje [18, 19]. U novim se gradnjama takva oštećenja mogu spriječiti gradnjom zidova armiranih po cijeloj visini minareta.

5.2. Armiranobetonska izvedba džamije u Sivricu

Džamija Sivrice izgrađena je 2000. godine. U njezinoj je gradnji upotrijebljen armirani beton. Unatoč tome, ta je džamija pretrpjela znatna oštećenja tijekom analiziranoga potresa. U prizemlju su smještene trgovine, a sama se džamija nalazi na prvom katu. Iako prizemlje nije oštećeno, znatne su štete zabilježene na prvom katu, u džamiji. Na slici 29. prikazane su fotografije oštećene džamije. Na toj se slici vidi i detalj oštećenoga stupa. Na temelju vizualnoga pregleda oštećenja može se zaključiti da su štete uzrokovane lošom kvalitetom betona, primjenom glatke (a ne rebraste) armature te



Slika 29. Džamija Sivrice nakon potresa

nedovoljnom uporabom poprečne armature. Vjeruje se da su ti nedostaci nastali zbog neodgovarajućega nadzora tijekom građenja, jer je projekt građevine temeljen na vrlo detaljnom i sveobuhvatnom zakonu. Riječ je o Zakonu o protupotresnoj zaštiti (TEC) [20], koji je u to vrijeme bio na snazi. Prema tom zakonu nije bilo dopušteno upotrebljavati beton tlačne čvrstoće manje od 20 MPa. Trebala se upotrijebiti rebrasta armatura te odgovarajuća poprečna armatura, posebno u područjima učvršćenja stupova i na krajevima greda. Minaret džamije ostao je neoštećen. Ipak, zbog ozbiljnih je oštećenja zabilježenih u konstrukciji džamije minaret srušen tjedan dana nakon potresa.

6. Zaključak

Na temelju pregleda na terenu može se zaključiti sljedeće:

- Zbog loše kvalitete zidanih građevina zabilježena su sljedeća oštećenja: vertikalne pukotine i pucanje materijala u kutovima, klinasta oštećenja u kutovima, pojava dijagonalnih pukotina na zidovima, popuštanje zidova izvan ravnine i odvajanje

zidova od katnih ili krovnih sustava. Takva se oštećenja mogu sanirati primjenom odgovarajućih tehnika pojačanja.

- Prema današnjim se spoznajama zidane građevine smještene u seizmičkim područjima mogu projektirati i izvoditi kao sigurne građevine. Pritom treba naglasiti da postojeće građevine treba sanirati uz primjenu odgovarajućih postupaka pojačanja. Danas dostupna znanja o projektiranju i građenju kvalitetnih zidanih građevina treba prenositi lokalnim graditeljima i to organizacijom

odgovarajućih obrazovnih seminara, što uključuje i adekvatnu certifikaciju. Prilikom pojačavanja postojećih zidanih građevina, treba poduzimati sve potrebne mjere kako bi se spriječio gubitak života te materijalne štete u budućim potresima.

- Najčešća su oštećenja na minaretima odvajanje alema od stošca te rušenje gornjega dijela trupa. Kako bi se izbjegla slična oštećenja i rušenja uzrokovana potresom postojeće minarete treba prikladno pojačati, a nove treba izvoditi adekvatnim armiranjem ziđa.

Zahvala

Autori se zahvaljuju na podršci tehničkoga tima sa Sveučilišta Atılım. Posebno se zahvaljuju docentu Cerenu Demirciju Kini te gospodinu Tolgi Kini na uputama u toku obilaska u Malatyi te predstavniku Turske Komore građevinskih inženjera u Elazigu, gospodinu Kidiru Kayi, za pomoć u Elazigu. Autori se također zahvaljuju gospodinu R. Güneşu Gökçeku na pomoći pri izradi dijagrama koji su objavljeni u radu.

LITERATURA

- [1] General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), 2020, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-dirifay-haritalari>, 10.11.2020 (in Turkish).
- [2] Disaster and Emergency Management Authority (AFAD): Preliminary Evaluation Report of January 24, 2020 M_w 6.8 Sivrice (Elazığ) Earthquake, Turkish Ministry of Interior, Department of Earthquake, Ankara, Turkey, 2020 (in Turkish).
- [3] Disaster and Emergency Management Authority (AFAD), <https://www.afad.gov.tr/elazig-ve-malatyada-iyilestirme-calismalari-devam-ediyorkampanya>, 10.11.2020, Turkish Ministry of Interior, Department of Earthquake, 2020 (in Turkish).
- [4] Okay, A.I., Zattin, M., Cavazza, W.: Apatite fissiontrack data for the Miocene Arabia-Eurasia collision, *Geology*, 38 (2010), pp. 35–38.
- [5] Arpat, E., Şaroğlu, F.: The East Anatolian Fault System: Thoughts on its development, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 78 (1972), pp. 1–12.
- [6] Herece, E.: The Atlas of North Anatolian Fault Lines, General Directorate of Mineral Research and Exploration, MTA, Special Publication Series-13. Ankara, Turkey, 2008 (in Turkish).
- [7] Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A.: Turkey's Active Fault Lines and their Seismic Behaviours, General Directorate of Mineral Research and Exploration, MTA, Report No: 8174, Ankara, Turkey, 1987 (in Turkish).
- [8] Disaster and Emergency Management Authority (AFAD), <https://tdth.afad.gov.tr/>, 10.11.2020, Turkish Ministry of Interior, Department of Earthquake, 2020 (in Turkish).
- [9] Aksoy, E., <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/depemin-merkezinde-yuzey-kiriklari-inceledi-1727259>, 10.10.2020 (in Turkish).
- [10] Mertol, H.C., Akış, T., Tunç, G.: 24 January 2020 dated Sivrice-Elazığ, Earthquake Report, Civil Engineering Department of Atılım University, Ankara, Turkey, 2020 (in Turkish).
- [11] Pousse-Beltran, L., Nissen, E., Bergman, E.A., Cambaz, M.D., Gaudreau, E., Karasozen, E., Tan, F.Z.: The 2020 M_w 6.8 Elazığ (Turkey) earthquake reveals rupture behaviour of the East Anatolian Fault, *Geophysical Research Letters*, 47 (2020) 13, e2020GL088136.

- [12] Republic of Turkey Ministry of Environment and Urban Planning: TBEC-Turkish Building Earthquake Code, Ankara, Turkey, 2018 (in Turkish).
- [13] General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) 2020, <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, 10.11.2020 (in Turkish).
- [14] IMO (Turkish Chamber of Civil Engineers): Damage Evaluation of Reinforced Concrete and Masonry Buildings Subjected to Earthquake Loads, Disaster Preparation and Intervention Committee, Turkish Chamber of Civil Engineers, Ankara, Turkey, 2016 (in Turkish).
- [15] UNDP/UNIDO: Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick-Masonry Buildings, Vienna, 1983.
- [16] Middle East Technical University, Earthquake Engineering Research Centre: The Elâzığ-Sivrice Earthquake [24 January 2020 Mw=6.8] Field Observations on Seismic and Structural Damage, Report No: METU/EERC 2020-01, Ankara, Turkey, March 2020.
- [17] Temür, R., Damcı, E., Öncü-Davas, S., Öser, C., Sarğın, S., Şekerci, Ç.: Structural and geotechnical investigations on Sivrice earthquake (Mw = 6.8), January 24, 2020, *Natural Hazards*, 106 (2021), pp. 401–434.
- [18] Valluzzi, M.R., Tinazzi, D., Modena, C.: Shear behaviour of masonry panels strengthened by FRP laminates, *Construction and Building Materials*, 16 (2002) 7, pp. 409-416.
- [19] Shrive, N.G.: The use of fibre reinforced polymers to improve seismic resistance of masonry, *Construction and Building Materials*, 20 (2006) 4, pp. 269-277.
- [20] Ministry of Public Works and Settlement: TEC-Specification for structures to be constructed in disaster areas, Ankara, Turkey, 1998 (in Turkish).