

Primljen / Received: 3.9.2021.

Ispravljen / Corrected: 13.7.2022.

Prihvaćen / Accepted: 1.2.2023.

Dostupno online / Available online: 10.6.2023.

Oštećenja AB zgrada u İzmiru nakon potresa u Egejskom moru 30. listopada 2020.

Autori:

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

Sveučilište Atilim, Ankara, Turska

Odjel za građevinarstvo

cenar.mertol@atilim.edu.tr

Autor za korespondenciju

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

Sveučilište Atilim, Ankara, Turska

Odjel za građevinarstvo

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

Sveučilište Atilim, Ankara, Turska

Odjel za građevinarstvo

tolga.akis@atilim.edu.tr

Prethodno priopćenje

Halit Cenar Mertol, Gokhan Tunc, Tolga Akis

Oštećenja AB zgrada u İzmiru nakon potresa u Egejskom moru 30. listopada 2020.

Potres magnitude $M_w = 6,6$ i dubine od približno 16,5 km dogodio se 30. listopada 2020. uz obalu grčkog otoka Samosa, 35 km jugozapadno od grada Seferihisara u İzmiru. Potres je prouzročio nekoliko urušavanja i teška oštećenja približno 6000 zgrada, posebice onih u četvrti Bayraklı u Izmirskom zaljevu. U radu su prikazana zapažanja i nalazi tehničkog tima koji je neposredno nakon potresa obišao potresom pogođena područja. Istraženo je jedanaest djelomično ili potpuno urušenih zgrada i nekoliko teško oštećenih armiranobetonskih zgrada. Na temelju zapažanja na mjestu događaja, uočeno je da su gotovo sve urušene ili teško oštećene armiranobetonske zgrade u regiji izgrađene u periodu između 1975. i 2000. godine. Promatranja su također potvrdila da gradnja tih urušenih ili oštećenih zgrada nije bila u skladu sa zahtjevima navedenima u turskim potresnim normama koje su se tada primjenjivale. Otkazivanja konstrukcija i teška oštećenja zgrada u potresom pogođenim područjima prije svega su povezana s neadekvatnim oblikovanjem armature, lošom kvalitetom materijala, nedostatkom geotehničkih istraživanja i problemima ostvarivanja okvira kao bočnih nosivih sustava. Stoga se preporučuje da se nosiva konstrukcija svih zgrada koje se nalaze u Izmirskom zaljevu i oko njega, posebno onih izgrađenih između 1975. i 2000., procijeni kako bi se spriječio daljnji gubitak života i imovine tijekom budućih potresa.

Ključne riječi:

otkazivanje konstrukcije, armiranobetonske zgrade, potres u Egejskom moru 2020., İzmir

Research Paper

Halit Cenar Mertol, Gokhan Tunc, Tolga Akis

A site survey of damaged RC buildings in İzmir after the Aegean sea earthquake on October 30, 2020

An earthquake with a magnitude of $M_w = 6.6$ and a depth of approximately 16.5 km occurred on 30 October 2020 off the coast of Samos, a Greek island 35 km southwest of Seferihisar, a town in İzmir. The earthquake caused several collapses and severe structural damage in approximately 6,000 buildings, specifically in the Bayraklı District in İzmir Bay. This paper presents the observations and findings of a technical team that visited the earthquake-affected areas immediately after an earthquake. Eleven partially or fully collapsed buildings and several severely damaged reinforced concrete buildings were investigated. Based on the site observations, we observed that almost all of the collapsed or severely damaged reinforced concrete buildings in the region were built between 1975 and 2000. Site observations also confirmed that the construction of these collapsed or damaged buildings did not conform to the requirements outlined in the Turkish Earthquake Codes used at the time. The failures and severe damage to buildings in earthquake-affected areas are primarily related to inadequate reinforcement configuration, poor material quality, the absence of geotechnical studies, and framing problems related to their lateral load-carrying systems. Therefore, it is recommended that all the buildings located in and around İzmir Bay, particularly those built between 1975 and 2000, be structurally evaluated to prevent any further loss of life and property during future earthquakes.

Key words:

structural failure, reinforced concrete buildings, 2020 Aegean Sea earthquake, İzmir

1. Uvod

Turska se nalazi u jednoj od najaktivnijih seizmičkih zona u svijetu. Prema statističkim istraživanjima, u Turskoj se jak potres magnitude M_w između 6,0 i 6,9 bilježi svake dvije godine, a snažan potres magnitude M_w iznad 6,9 bilježi se svake tri godine. Otprilike 98 % turskog stanovništva živi u područjima sa značajnim rizikom od potresa. Od uspostave Republike Turske 1923. do 2022. godine oko 80.000 ljudi izgubilo je živote u potresima. Ukupni približni izravni i neizravni troškovi štete od potresa između 1980. i 2022. procijenjeni su na 40 milijardi USD [1, 2].

Na području Turske nalazi se nekoliko rasjednih linija koje mogu izazvati jake potrese. To uključuje sjevernoanatolijsku rasjednu liniju (NAF) i istočnoanatolijsku rasjednu liniju (EAF) (slika 1., preuzeta iz Turske glavne uprave za istraživanje i istraživanje minerala (Turkish General Directorate of Mineral Research and Exploration - MTA), i prilagođena [3]). U zapadnom dijelu zemlje nalazi se nekoliko rasjednih linija koje mogu izazvati jake potrese. Sve te rasjedne linije mogu se svrstati pod zapadnoanatolijsku rasjednu liniju (WAF) (slika 1). NAF se u sjevernoj Turskoj proteže u duljini od približno 1500 km u smjeru od istoka prema zapadu. U istočnim i jugoistočnim dijelovima zemlje EAF se u obliku luka proteže od zaljeva Iskenderun do grada Hakkari. U zapadnom dijelu zemlje, WAF obuhvaća područje od približno 45.000 km² (gotovo 6 % ukupne površine Turske).



Slika 1. Turska područja aktivnih rasjednih linija [3]



Slika 2. Mjesto potresa u Egejskom moru (30. listopada 2020.)

Bayraklı, İzmir, koji se nalazi u zapadnom dijelu Turske, 30. listopada 2020. pretrpio je snažan potres magnitude $M_w = 6,6$ [4]. Hipocentar se nalazio 16,5 km ispod epicentra. Potresom je pogođeno više od četiri milijuna ljudi koji uglavnom žive u gradu Izmiru i okolnim gradovima i selima, kao i stanovnike otoka Samos u Grčkoj. Fokus ovog rada je na zgradama od armiranog betona (AB) koje se nalaze u Izmiru i oko njega. Stoga oštećenja zgrada uočena na Samosu nisu uključena u ovo istraživanje.

Izmir je treći grad po broju stanovnika u Turskoj, s ukupnom populacijom od gotovo 4,4 milijuna ljudi. Također ima treći najveći bruto domaći proizvod (BDP) u zemlji od ukupno 6,3 % [5]. Središte grada nalazi se otprilike 67 km sjeveroistočno od epicentra potresa, kao što je prikazano na slici 2. Prema vladinim podacima, u potresu je život izgubilo 117 osoba, a oko 32.000 ih je ozlijeđeno. Potres je uzrokovao urušavanje 11 armirano betonskih zgrada odmah nakon glavnog udara. Prema detaljnim istragama koje je provela vlada, približno 6000 zgrada pretrpjelo je umjerenu do manju štetu. Od toga je 511 zgrada imalo srednje, a 5119 manje oštećenje. Više od 500 zgrada imalo je neadekvatnu nosivu konstrukciju te je srušeno nakon potresa [6].

Provedeno je nekoliko znanstvenih istraživanja o potresu u Egejskom moru 2020. Dok su se neka istraživanja usredotočila na geotehničke i seizmičke aspekte potresa

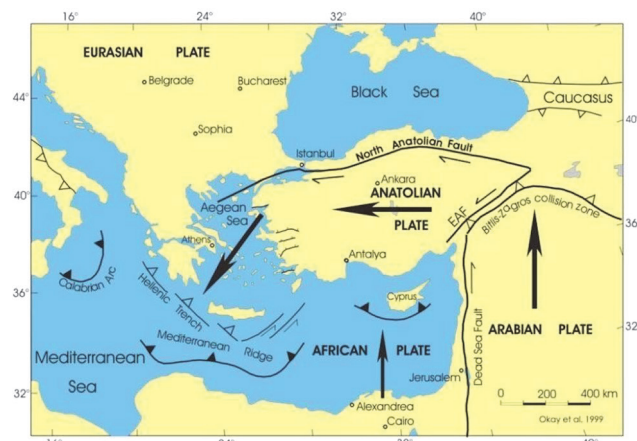
[7-10], druga su se usredotočila na oštećenja zgrada [11-14]. Ukupni izravni troškovi štete od potresa procijenjeni su na približno 400 milijuna USD [15].

Važno je vizualno zabilježiti štetu uzrokovanu potresom neposredno nakon potresa. To može pružiti vrijedne informacije stručnjacima prije nego što dođe do rušenja konstrukcija i preinaka. Izvidnički tim obavio je tehnički obilazak potresom pogođenog područja unutar 24 sata od potresa. Ovaj rad, koji detaljno opisuje zapažanja i rezultate tog obilaska, pruža nove informacije o potresu u Egejskom moru 2020. navodeći vrijedne podatke o seizmičkim karakteristikama potresa zabilježene na mjestu događaja. Ove se karakteristike temelje na podacima dobivenima iz različitih postaja za snažna gibanja tla, počevši od najbliže turske postaje u blizini epicentra do okruga Bayraklı gdje su se neke AB zgrade urušile, a druge su pretrpjele umjerenu do veću štetu. Zapažanja i nalazi obilaska AB zgrada navedeni su u ovom radu.

2. Seizmičnost i tektonika

2.1. Povijest

Tijekom neotektonskog doba (otprilike 12 milijuna godina pr. Kr.) pomicanje ploča počelo je u smjeru sjever-jug zbog sudara veće arapske i manje anatolske ploče [16] (slika 3.). Zbog sudara tih ploča zapadni dio Anatolije kreće se brzinom od 40 mm/godišnje u smjeru suprotnom od kazaljke na satu [17]. Postoje dva važna tektonska rova velikih razmjera (Gediz-GG i Büyükenderes-BMG) u regijama s normalnim mehanizmima rasjeda [18]. Radi se o mladim geološkim strukturama nastalima tijekom neotektonizma zapadne Anatolije koje imaju potencijal izazivanja razornih potresa. Prema geološkim istraživanjima provedenim u ovoj regiji, mehanizmi rasjeda s pomakom po pružanju (*eng. strike-slip faulting*) identificirani su između ova dva važna tektonska rova u smjerovima NS, SZ-JI i SI-JZ [19-21].



Slika 3. Interkontinentalno pomicanje ploča [16]

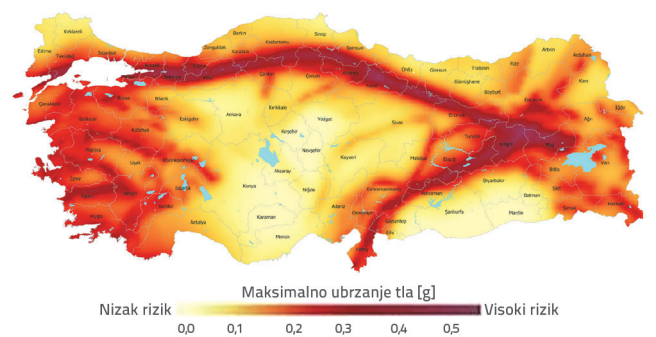
Seizmičnost u Izmiru i oko njega općenito je uvjetovana i normalnim mehanizmima rasjeda i mehanizmima s pomakom po pružanju koji se nalaze između i paralelno s tektonskim rovovima Büyük Menderes i Gediz (slika 4.). Te seizmičke aktivnosti uglavnom kontroliraju rasjedne linije Izmir, Tuzla, Karaburun, Yenifoča, Manisa, Kemalpaša, Seferihisar, Menemen, Gülbahçe i Dağkızılca te rasjed Gediz Graben [22]. Rasjednim linijama Izmir i Manisa, koje se nalaze južno i istočno od područja Izmirskog zaljeva, upravljaju normalni rasjedi. To područje također uključuje tuzlanski i yenifoča rasjed, čiji su mehanizmi s pomakom po pružanju smješteni u smjeru sjeveroistok–jugozapad u odnosu na područje zaljeva [23]. Formiranje Izmirskog zaljeva počelo je normalnim rasjedima koji su nastali tijekom ranog pliocena u zapadnom dijelu Turske [24, 25]. U kasnom je kvartaru došlo do rane delta progradacije sedimenata u području zaljeva [26]. Stoga se lokalna geologija obale područja Izmirskog zaljeva sastoji od kvartarnog aluvija okruženog paleocenskom flišnom zonom (vapnenci) i miocenskim pješčenjacima/muljnjacima [27-29]. Dubina matične stijene u području zaljeva varira od 900 do 1200 m, a razina podzemne vode je između 1,0 i 10,0 m [30, 31].



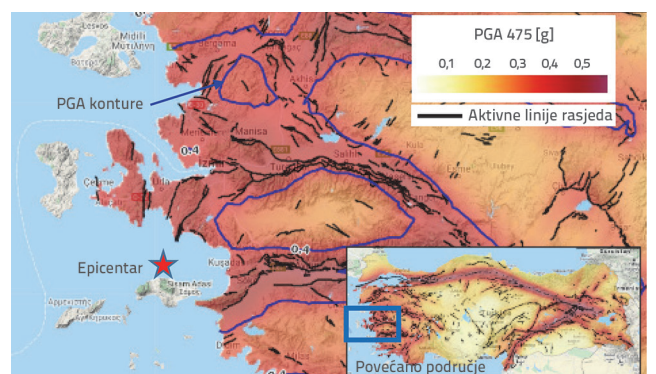
Slika 4. Aktivni rasjedi u području Izmira [3, 22]

2.2. Karta potresnog hazarda

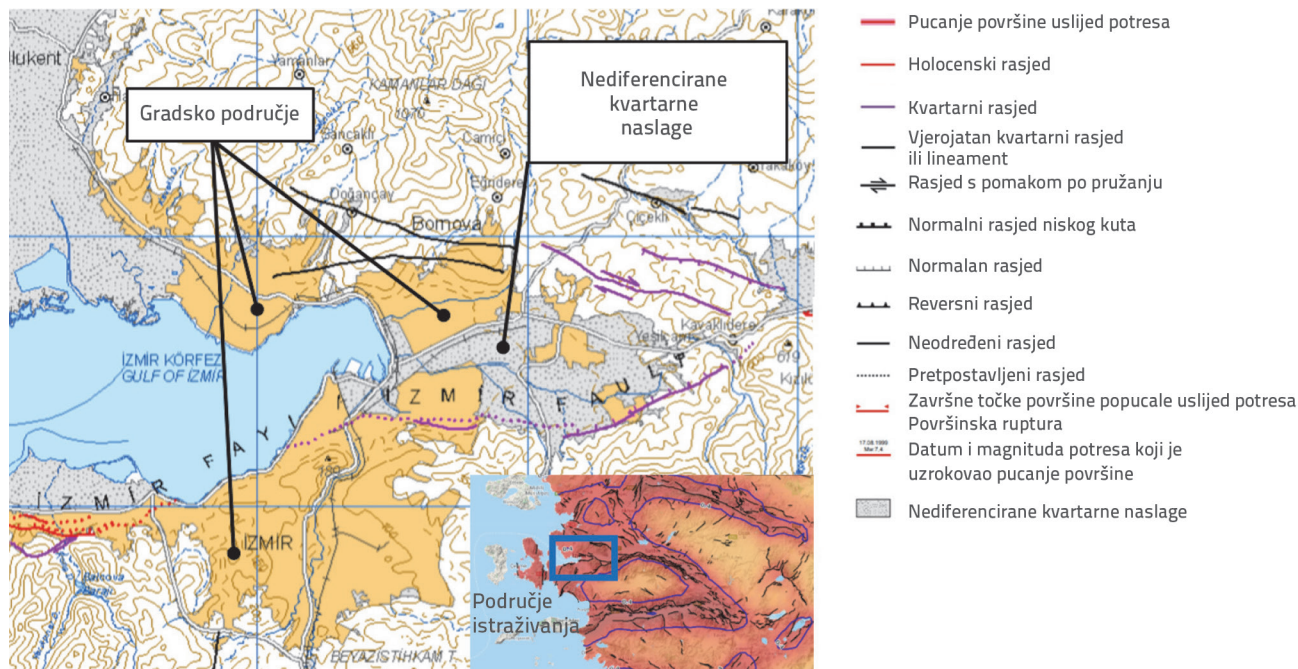
Karta potresnog hazarda u Turskoj, koja je izrađena na temelju potresa s vjerojatnošću prekoračenja od 10 % u 50 godina, ili ekvivalentnog povratnog perioda od 475 godina, prikazana je na slici 5. [32].



Slika 5. Karta potresnog hazarda u Turskoj (povratni period od 475 godina) [32]



Slika 6. Očekivane vrijednosti vršnog ubrzanja tla (u g) za potrese s povratnim periodom od 475 godina u zapadnom dijelu Turske [32]



Slika 7. Aktivne rasjedne linije i opći tip tla u području Izmirskog zaljeva [3]

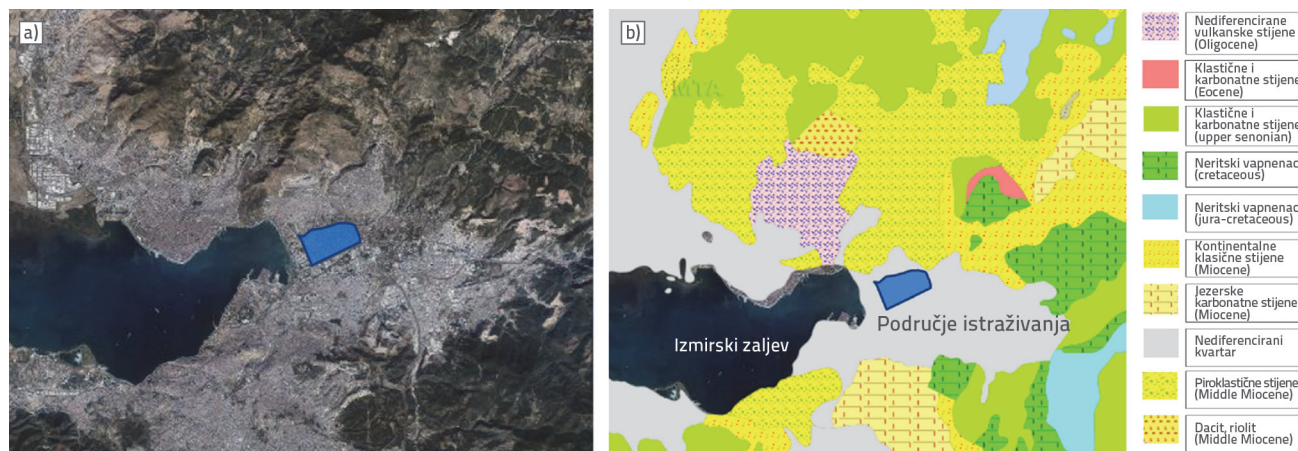
Na temelju vršnih ubrzanja tla prikazanih na karti, područja s najjačim potresima su sjeverni, istočni i jugoistočni dijelovi Turske, uključujući područje u blizini Egejskog mora, unutarnji jugozapadni dio Turske i područje oko jezera Van. Slika 6. prikazuje detaljniju kartu hazarda za područje zapadne Turske, s očekivanim vrijednostima vršnih ubrzanja tla izračunanim na temelju istog povratnog perioda od 475 godina, zajedno s aktivnim rasjednim linijama [32]. Na temelju podataka na slici 6., najveće vrijednosti vršnog ubrzanja tla u regiji su približno 0,4 g.

Budući da se ovaj rad fokusira na AB zgrade koje se nalaze u istočnom dijelu Izmirskog zaljeva, važno je istaknuti aktivne rasjedne linije i uvjete tla u regiji. Karta na slici 7. prikazuje aktivne rasjedne linije i mehanizme rasjeda u području Izmirskog zaljeva, uključujući dominantni tip tla [3]. Prema

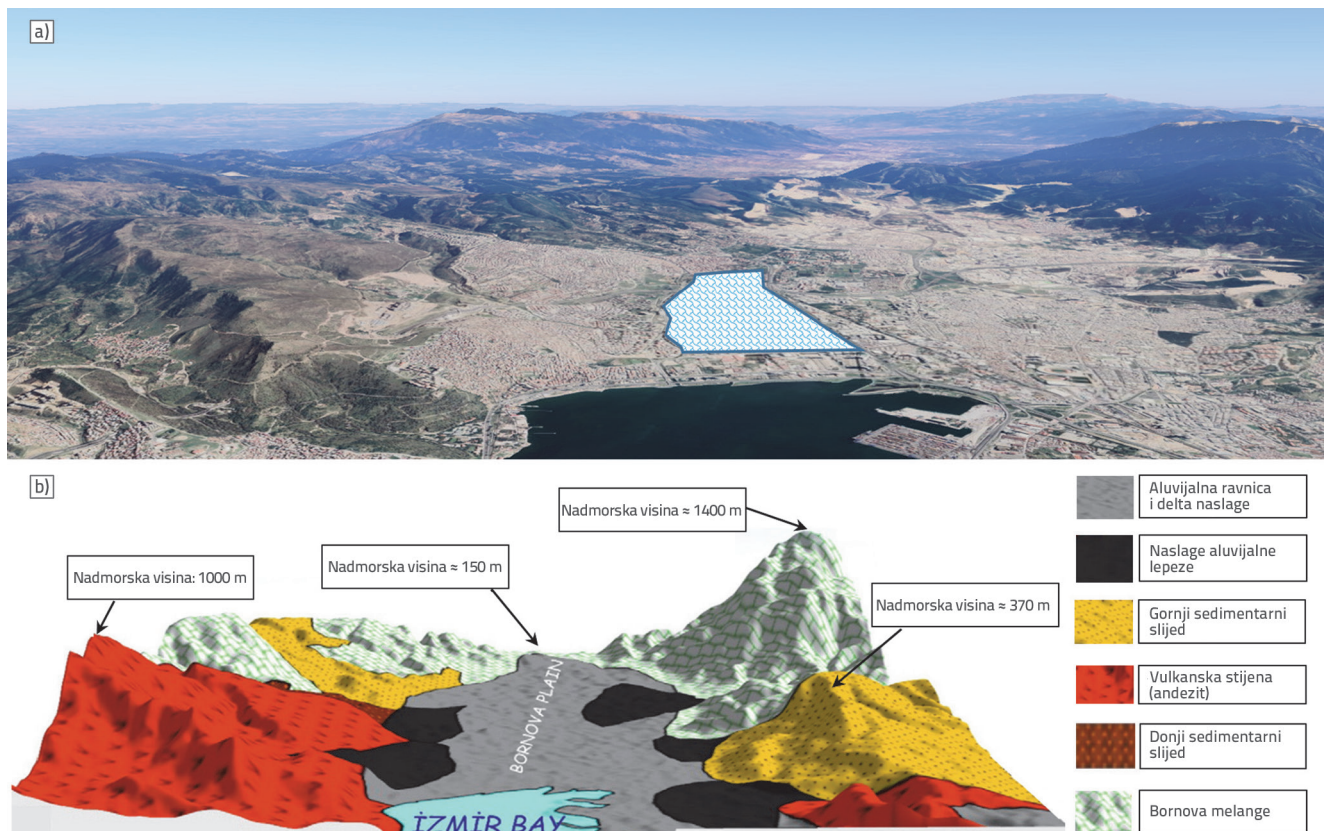
karti, dominantan tip tla su nediferencirane kvartarne naslage. U sljedećem se poglavlju detaljno opisuju tipovi tla.

2.3. Lokalni uvjeti tla

Slika 8.a prikazuje pogled iz zraka na područje Izmirskog zaljeva i regiju koja je pretrpjela najveća oštećenja, a koja je osjenčana plavom bojom. Slika 8-b pruža informacije vezane uz detaljno opisane tipove tla u području zaljeva i oko njega. Prema karti, dominantan tip tla područja zaljeva su nediferencirane kvartarne naslage, što je tip tla koji sadrži siliciklastične organske tvari i slatkovodne karbonate. Međutim, regije sjeverno, južno i zapadno od područja istraživanja, svaka udaljena otprilike 15 km, imaju mnogo bolja svojstva tla.



Slika 8. Područje Izmirskog zaljeva: a) pogled iz zraka; b) uvjeti tla [33]



Slika 9. Područje Izmirskog zaljeva: a) 3D pogled iz zraka; b) uvjeti tla [34]

Na slikama 9.a i 9.b prikazan je 3D prikaz područja istraživanja i uvjeta tla. Uvjeti tla pokazuju da naslage aluvijalne ravnice i delte pokrivaju cijelo područje istraživanja i gotovo cijelo područje zaljeva [34].

2.4. Potres u Egejskom moru

Potres u Egejskom moru dogodio se 30. listopada 2020. u 14:51:23 po lokalnom vremenu [4]. Epicentar potresa bio je uz obalu otoka Samos u Grčkoj, koji se nalazi 35 km od jugozapadnog dijela grada İzmir. Najbliži naseljeni turski grad epicentru je selo Payamlı. Nalazi se u Seferihisar, gradu u provinciji İzmir, koji je bio 23,4 km udaljen od epicentra. Potres je imao dubinu žarišta od 16,5 km, a izmjerena magnituda bila

je $M_w = 6,6$ [4]. Tablica 1. navodi vrijeme, lokaciju, magnitudu i dubinu potresa prema podacima različitih agencija.

Potres se dogodio zbog normalnog pomicanja rasjeda na maloj dubini unutar euroazijske tektonske ploče istočnog Egejskog mora. Prema USGS-u, žarišni mehanizam pokazuje da se potres dogodio na normalnom rasjednom mehanizmu umjerenog pada, a to upućuje na proširenje u smjeru sjever-jug, što je prilično uobičajeno u Egejskom moru [36]. Na temelju drugog istraživanja koje je proveo MTA, otprilike 40 km duga rasjedna linija na Samosu puknula je tijekom potresa [39]. Također je navedeno da se energija deformacije vjerojatno prenijela na zapadni dio rasjeda Samos, koji se proteže od sjeveroistoka prema jugozapadu. Rezultati inverzije seizmičkog tenzora momenta, koje su pripremile različite agencije, navedeni su u tablici 2.

Tablica 1. Karakteristike potresa u Egejskom moru 30. listopada 2020.

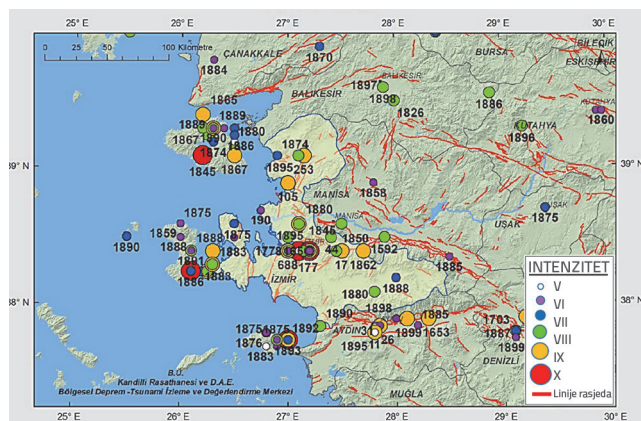
Izvor*	Lokalno vrijeme	GPS koordinate	Magnituda	Dubina [km]
AFAD [4]	14:51:23	37,879 N - 26,703 E	6,6 (M_w)	16,5
KOERI [35]	14:51:26	37,902 N - 26,794 E	6,9 (M_w)	12,0
USGS [36]	14:51:27	37,918 N - 26,790 E	7,0 (M_w)	21,0
CMT [37]	14:51:35	37,760 N - 26,680 E	7,0 (M_w)	12,0
GFZ [38]	14:51:27	37,900 N - 26,820 E	7,0 (M_w)	15,0

* AFAD: Uprava za katastrofe i hitne slučajeve u Turskoj; KOERI: Zvezdarnica Kandilli i Institut za istraživanje potresa; USGS: Geološka služba Sjedinjenih Američkih Država; CMT: Projekt „Centroid-Moment-Tensor“; GFZ: GeoForschungsZentrum, Njemačka

Tablica 2. Rezultati inverzije seizmičkog tenzora prema različitim izvorima

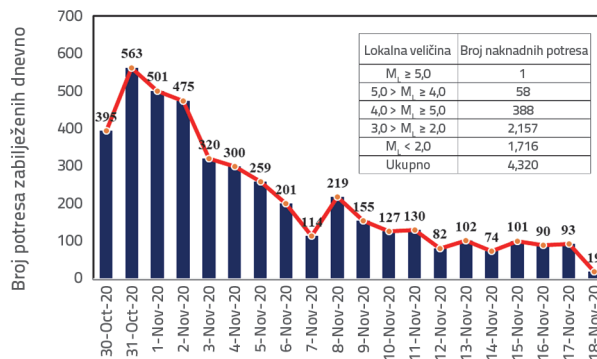
Izvor	Tenzor momenta	Pružanje 1	Nagib 1	Kut relativnog pomaka 1	Pružanje 2	Nagib 2	Kut relativnog pomaka 2
AFAD [4]		95	43	-87	270	46	-91
KOERI [35]		97	34	-85	272	55	-93
USGS [36]		93	61	-91	276	29	-88
CMT [37]		96	53	-86	270	37	-95
GFZ [38]		97	41	-85	272	48	-93

Povijesno gledano, regija Izmir bila je vrlo aktivno područje u kojem su se zabilježili brojni potresi velike magnitude. Od 1900. godine u razdoblju mjernih uređaja zabilježeno je ukupno 695 potresa s magnitudama većim ili jednakim 4,0. Od tih 695 potresa najveći je bio magnitude 6,8, a dogodio se 1955. godine. Također, prije 1900. zabilježena su ukupno 332 potresa u razdoblju bez mjernih uređaja, slika 10., prema [4, 35].



Slika 10. Potresi prije 1900. u Izmiru i oko njega (na temelju Mercallijeve ljestvice intenziteta) [4, 35]

Nakon glavnog udara potresa 2020. godine, u regiji se pojavio tsunami s maksimalnom visinom vala od 3,82 m [39]. Valovi u sjevernom smjeru udarili su u obalu zaljeva Siğaçık, četvrti u Seferihisar, a u južnom smjeru, u sjevernu obalu otoka Samos [40]. Na temelju autorova pregleda na terenu, valovi su ušli čak 200 do 250 m u unutrašnjost, u okrug Siğaçık.



Slika 11. Ukupan broj naknadnih potresa zabilježenih u regiji između 30. listopada i 18. studenog 2020.

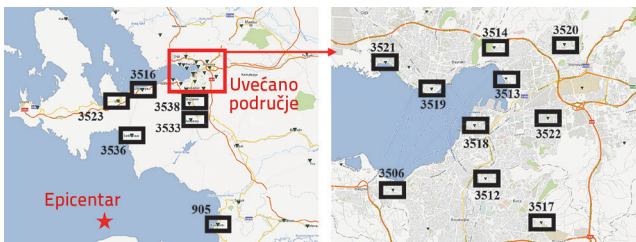
Prema podacima o potresima prikupljenima između 30. listopada 2020. i 18. studenog 2020. (20 dana), na tom je

Tablica 3. Podaci o potresima dobiveni od 16 postaja za bilježenje snažnih gibanja tla

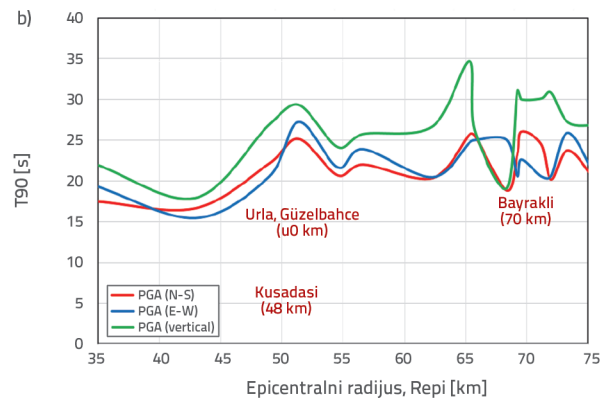
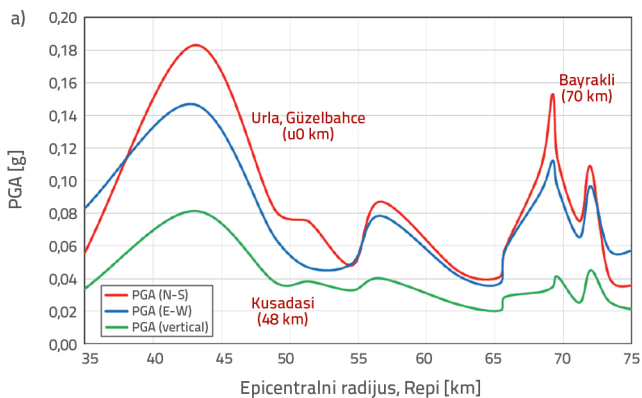
Br.	Postaja Broj	Grad	Mjesto	Zemljopisna širina [°]	Zemljopisna dužina [°]	Vršno ubrzanje tla [Gal], Gal = 10 ⁻² m/s ²			R _{epi} [km]
						SJ	IZ	Vertikalno	
1	3536	Izmir	Seferihisar	38,1968	26,8384	50,220	79,139	31,315	34,745
2	0905	Aydın	Kuşadası	37,8560	27,2650	179,314	144,017	79,839	42,948
3	3523	Izmir	Urla	38,3282	26,7706	80,320	63,572	36,899	48,940
4	3533	Izmir	Menderes	38,2572	27,1302	73,635	45,899	37,460	51,380
5	3516	Izmir	Güzelbahçe	38,3706	26,8907	47,291	48,356	32,082	54,565
6	3538	Izmir	Gaziemir	38,3187	27,1234	85,484	76,953	39,264	56,665
7	3506	Izmir	Konak-1	38,3944	27,0821	43,879	41,039	23,587	62,304
8	3517	Izmir	Buca-1	38,3756	27,1936	40,099	36,136	19,816	65,316
9	3512	Izmir	Buca-2	38,4009	27,1516	57,541	56,746	28,158	65,761
10	3518	Izmir	Konak-2	38,4312	27,1435	106,103	91,449	31,143	68,365
11	3519	Izmir	Karşıyaka-1	38,4525	27,1112	150,089	109,975	34,173	69,225
12	3521	Izmir	Karşıyaka-2	38,4679	27,0764	110,844	93,986	40,312	69,581
13	3522	Izmir	Bornova-1	38,4357	27,1987	73,721	63,941	24,647	71,182
14	3513	Izmir	Bayraklı-1	38,4584	27,1671	106,281	94,667	44,186	72,002
15	3514	Izmir	Bayraklı-2	38,4762	27,1581	39,421	56,024	25,148	73,388
16	3520	Izmir	Bornova-2	38,4780	27,2111	36,112	58,549	19,367	75,777

području zabilježeno ukupno 4320 naknadnih potresa, s lokalnim magnitudama od 0,8 do 5,2 [35]. Slika 11. prikazuje dnevnu distribuciju učestalosti naknadnih potresa. Kako bi se odredile karakteristike naknadnih potresa, njihov ukupan broj također je razvrstan prema njihovoj magnitudi, kao što je prikazano na toj slici.

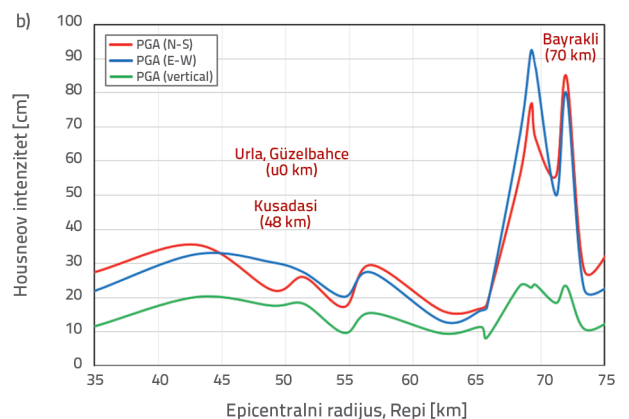
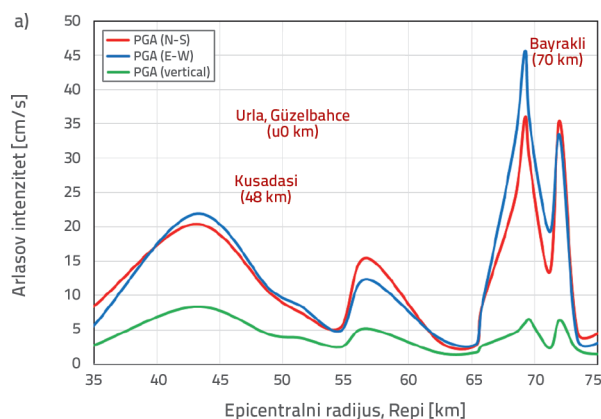
Tablica 3. navodi vrijednosti vršnog ubrzanja tla koje je zabilježio AFAD na najbližih šesnaest postaja za jaka gibanja tla [32]. Lokacije tih postaja ucrtane su na karti na slici 12. Postaja najbliža potresu bila je postaja Seferihisar (postaja broj 3536), udaljena 35 km od epicentra. Najudaljenija postaja bila je postaja Bornova (postaja broj 3520), udaljena 76 km od epicentra. Maksimalno vršno ubrzanje tla zabilježeno na postaji Kuşadası (postaja broj 0905) bilo je u smjeru istoka s magnitudom od 0,179 g.



Slika 12. Lokacije 16 postaja za bilježenje snažnih gibanja tla



Slika 13. Potres u Egejskom moru: a) PGA; b) efektivno trajanje



Slika 14. Potres u Egejskom moru: a) Ariasov intenzitet; b) Housnerov intenzitet

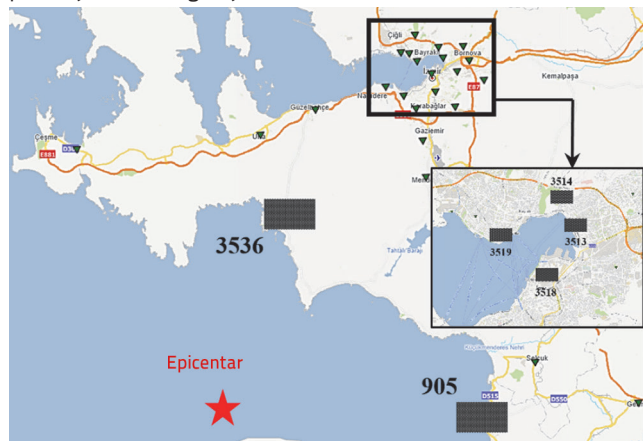
2.5. Ariasov i Housnerov intenzitet i vrijednosti spektralnog ubrzanja potresa u Egejskom moru

Slika 13.a prikazuje varijacije u horizontalnim i vertikalnim vršnim ubrzanjima tla od najbliže postaje (postaja Seferihisar 3536) do najudaljenije postaje (postaja Bornova 3520). Slika prikazuje ukupno tri ekstrema na epicentralnim udaljenostima od 40 km (Kuşadası, postaja broj 0905), 55 km (Urla i Güzelbahçe, postaje broj 3523 i 3516) i 70 km (područje izmirskog zaljeva, uključujući Bayrakli i Karşıyaku, postaje broj 3513 i 3519), koje su bile povezane s lokalnim uvjetima područja. Vršno ubrzanje na epicentralnoj udaljenosti od 70 km bilo je mnogo izraženije od druga dva ekstrema. To je dovelo do trenutačnog urušavanja jedanaest zgrada i ozbiljnih oštećenja konstrukcija u četvrti Bayrakli. Slika 13.b prikazuje varijaciju u efektivnom trajanju potresa. Na temelju podataka, efektivno trajanje se povećavalo kako se potres kretao u područje Izmirskog zaljeva, što je dovelo do povećanja s prosječnih 16 na 23 s u vodoravnom smjeru. Taj je porast bio izraženiji u vertikalnoj komponenti potresa.

Varijacije u Ariasovom i Housnerovom intenzitetu potresa u Egejskom moru prikazane su na slici 14.a i 14.b u smjerovima S-J, I-Z i vertikalnim smjerovima na temelju podataka o gibanju tla zabilježenih na 16 postaja (slika 12. prikazuje njihove lokacije). Podaci korišteni u ovim prikazima jasno pokazuju da je intenzitet potresa bio veći u regijama oko Izmirskog zaljeva, Bayraklija i Karşıyaka.

3. Procjena podataka o snažnom gibanju tla

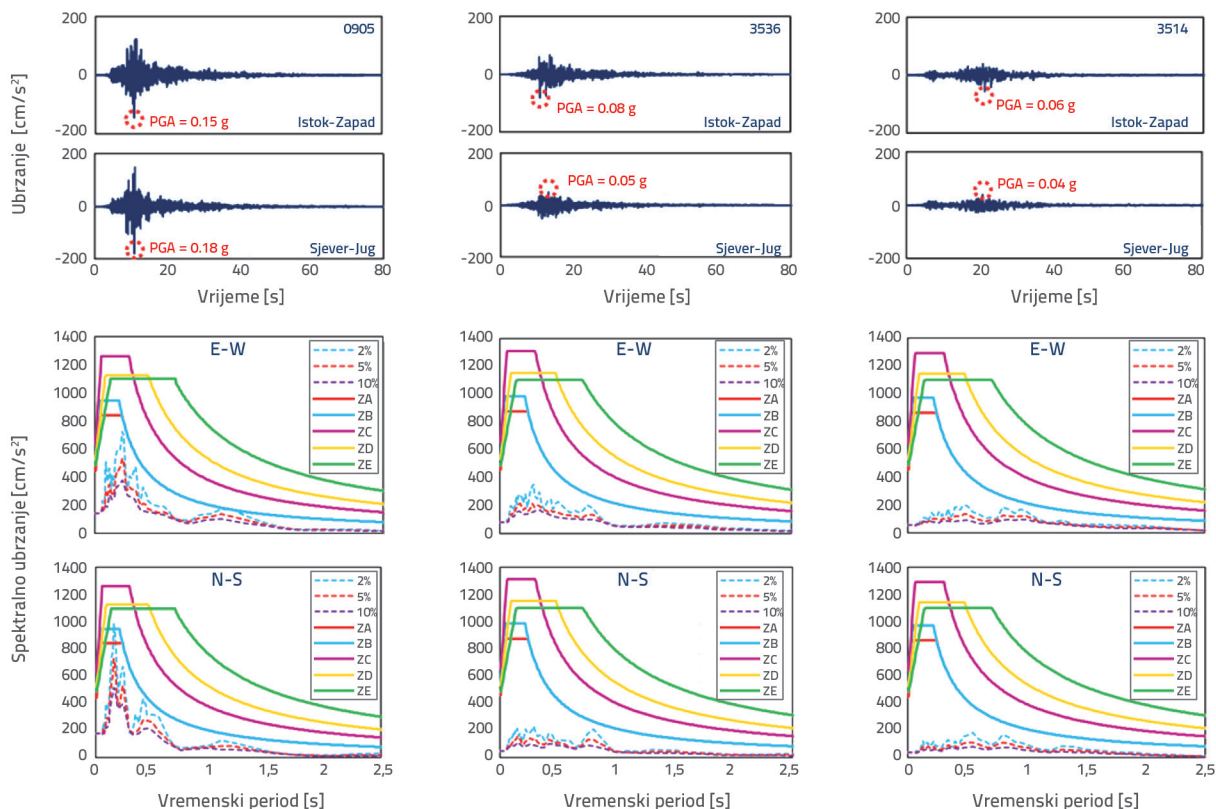
Podaci o snažnom gibanju tla procijenjeni su na šest postaja kako bi se bolje razumjeli utjecaj i karakteristike potresa, posebice u području zaljeva (slika 15.). Te se postaje nalaze duž smjera kretanja potresa, počevši od Kuşadasıja (postaja broj 0905) do postaje u najpogođenijem području, Bayraklı (postaja broj 3513), sljedećim redoslijedom: 0905, 3536, 3518, 3513, 3519 i 3514. Međutim, naglasak je stavljen na rezultate dobivene iz sljedeće tri postaje u gradu Bayraklı i oko njega, koji okružuje područje Izmirskog zaljeva: 3513, 3518 i 3519.



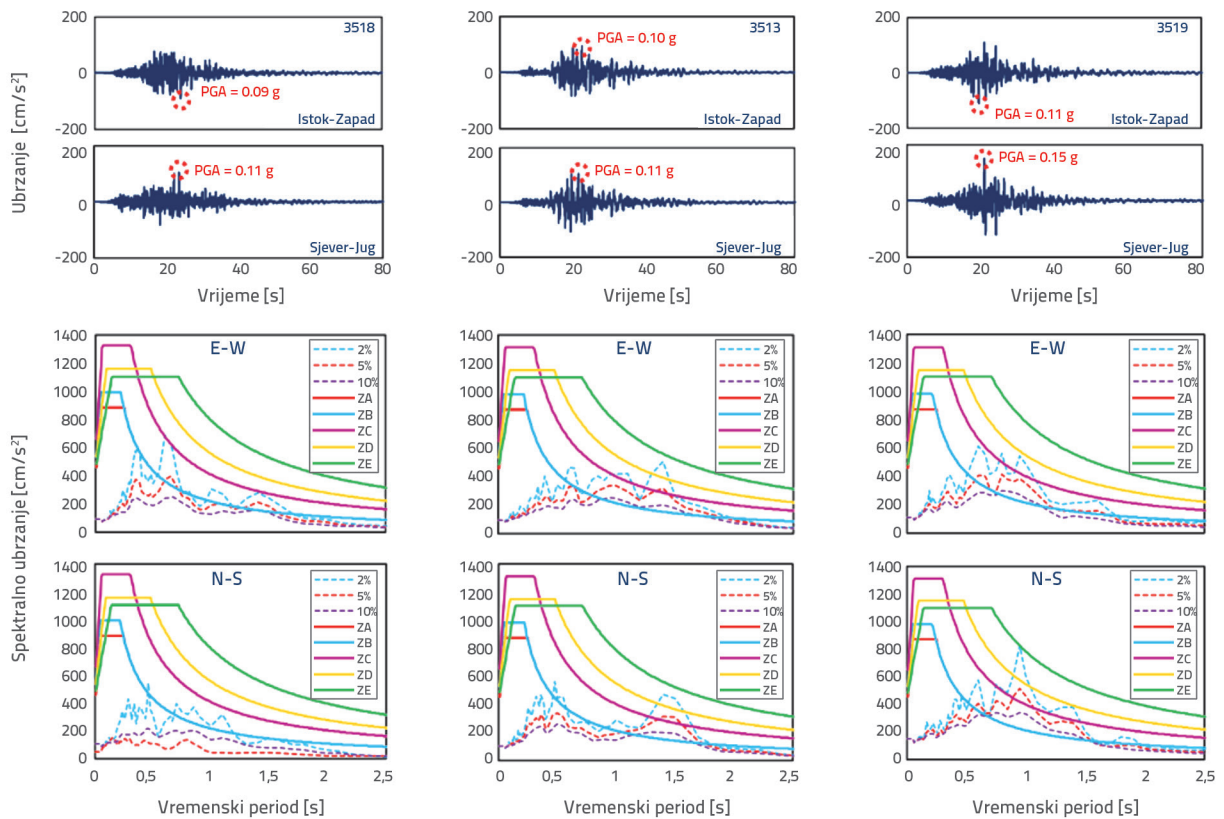
Slika 15. Lokacije šest postaja za mjerenje snažnog gibanja tla koje se primjenjuju za procjenu podataka o potresu u Egejskom moru

Slika 16. prikazuje vrijednosti vršnog ubrzanja tla potresa u Egejskom moru u smjerovima sjever-jug i istok-zapad zabilježene na šest postaja. Prema podacima, najveće vrijednosti vršnog ubrzanja tla zabilježene su na postaji broj 0905 (koja se nalazi u gradu Kuşadası). Vrijednosti na toj postaji u oba smjera iznosile su 0,18g odnosno 0,15g. Vrijednosti ubrzanja također su navedene za četvrt Bayraklı, gdje su uočena urušavanja zgrada i ozbiljna oštećenja konstrukcija. Postaja najbliža četvrti Bayraklı je broj 3513; zabilježila je vršna ubrzanja tla od 0,11g i 0,10g u smjeru sjever-jug odnosno istok-zapad.

Proračunske spektralne krivulje sadašnjih turskih potresnih normi (TBEC, 2018.) [41] uspoređene su s izmjerenim podacima o spektralnom ubrzanju, koji su dobiveni iz šest postaja u smjerovima sjever-jug i istok-zapad, kao funkcija varijacija umjera prigušenja (slika 16.). Norme TBEC (2018.) [41] definiraju ukupno šest lokalnih klasa tla, označenih slovima od ZA do ZF, pri čemu ZA označava tip tvrde stijene, a ZF označava izrazito rahli tip tla, što zahtijeva daljnje ispitivanje tla i procjenu lokacije. U ovom su istraživanju proračunske spektralne krivulje prvih pet klasa tla (isključujući tip tla ZF) primijenjene za procjenu komponenti vršnog ubrzanja tla u smjeru sjever-jug i istok-zapad potresa u Egejskom moru. Na temelju spektralnih vrijednosti, vrijednosti vršnog ubrzanja tla na postajama 3536 i 3514 bile su znatno niže od zahtjeva povezanih s pet klasa tla. Stoga su oštećenja konstrukcija na tim lokacijama bila umjerena do mala. Međutim, kako su seizmički valovi putovali duž postaja 0905, 3518, 3513 i 3519, odgovarajući periodi vršnih ubrzanja tla



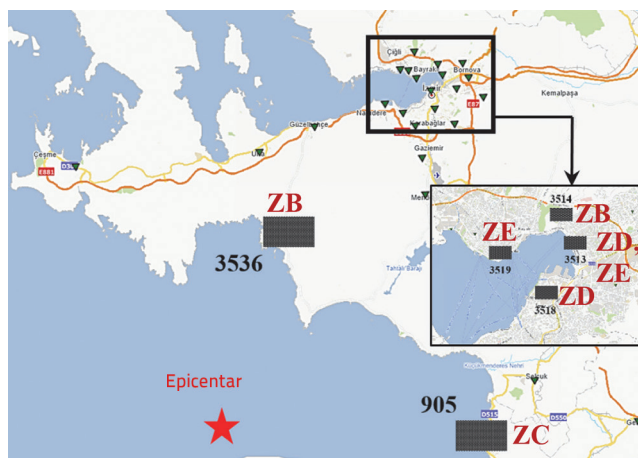
Slika 16. Vrijednosti vršnog ubrzanja tla i spektralnog ubrzanja te projektirane vrijednosti spektra za potres u Egejskom moru 30. listopada 2020. - I dio



Slika 16. Vrijednosti vršnog ubrzanja tla i spektralnog ubrzanja te projektirane vrijednosti spektra za potres u Egejskom moru 30. listopada 2020. - II dio

povećali su se s 0,2 na 1,5 s. To je povećanje premašilo normom generirane vrijednosti proračunskog spektralnog odziva, a posebice na postajama 3513 i 3519, za sva četiri tipa tla osim za tip ZE. Kao posljedica ovog prekoračenja, stupanj oštećenosti konstrukcije varirao je od umjerenog do jakog u AB zgradama od 8 do 15 katova.

Kako bi se dodatno procijenio utjecaj potresa u Egejskom moru, uzete su u obzir lokalne klase tla odabranih postaja. Slika 17. prikazuje klase tla na ovim postajama [42].



Slika 17. Lokalne klase tla za šest odabranih postaja

Na temelju ovih podataka čini se da su svojstva tla područja Izmirskog zaljeva najslabija jer se gotovo sve postaje nalaze u klasama tla ZD ili ZE, što potvrđuje svojstva tla objašnjena u poglavlju 2.3. Kao što je i očekivano, meko tlo pojačalo je vršno ubrzanje tla i produžilo stvarno trajanje uzrokujući urušavanje zgrada i teško oštećenje konstrukcija. Iako su postaje 3518 i 3519 pokazivale uzorke ubrzanja vrlo slične postaji 3513, oštećenja zgrada u blizini tih dviju postaja nisu bila tako ozbiljna kao ona kod postaje 3513. Ozbiljna oštećenja zgrade u blizini postaje 3513 uvelike su pripisana lokalnom tipu tla u regiji (aluvijalna ravnica i naslage na delti) (slika 8.b). Drugi razlog za ovaj problem je nedostatak geotehničkih istraživanja koja nisu bile obvezna u vrijeme izgradnje (za dodatne informacije, vidi poglavlje 4.5.5).

4. Ponašanje armiranobetonskih zgrada tijekom potresa

Izrada učinkovitog okvira za opsežnu procjenu štete na konstrukcijama uzrokovane potresom vrlo je važan koncept za procjenu postojećih normi i propisa za projektiranje zgrada otpornih na potrese. Znanstvenici su u ovom području predložili brojne metode. Neke su od njih izrazito orijentirane na detalje i uključuju proces koji zahtijeva potpuni pristup konstrukcijama na potresom pogođenom području. Druge su brže i općenitije

i često se svrstavaju u vizualni pregled konstrukcija. Detaljna procjena štete izazvane potresom provedena je odvojeno za armiranobetonske i zidane konstrukcije. Najčešće primjenjivani sustavi za procjenu oštećenja konstrukcija temelje se na europskoj makroseizmičkoj ljestvici (EMS-98), talijanskoj GNDT metodi i njezinom američkom ekvivalentu Vijeća za primijenjenu tehnologiju (ATC)-20 [43-45]. Međutim, u Europi se često primjenjuju druge metode, poput grčkih kriterija [46], koji su dodatno razrađeni na temelju opsežnog iskustva iz prošlih potresa [47]. Ova je metoda primijenjena i u drugim zemljama s mogućnošću potresa poput Hrvatske [48].

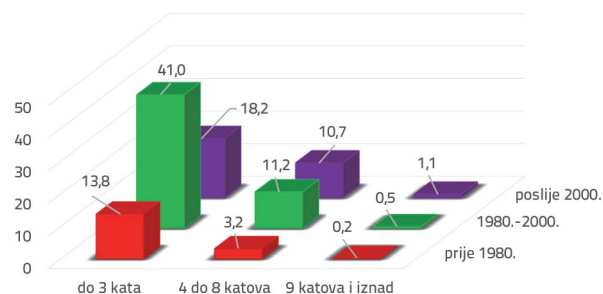
U Turskoj se procjena štete na AB zgradama izloženima potresima provodi prema smjernicama [49] koje je odredila Turska komora građevinarstva. Na temelju ovog dokumenta oštećenja su razvrstana u tri skupine: manje, umjereno i teško. Manje oštećene građevine mogu se koristiti odmah nakon potresa, umjereno oštećene zgrade potrebno je popraviti i pojačati prije useljenja, a teže oštećene zgrade potrebno je srušiti iz ekonomskih razloga. Procjena se provodi u dvije faze (ocjenjivanje izvana i ocjenjivanje iznutra). Ako se zgrada djelomično ili potpuno urušila, ako je međukatni pomak veći od 0,02 ili ako je zgrada nagnuta za više od 3°, zgrada se klasificira kao teško oštećena. Procjena iznutra se za te zgrade ne provodi. Ako u fazi procjene izvana zgrada nije klasificirana kao teško oštećena, provodi se unutarnja procjena oštećenja i stanja svih greda i stupova kritičnog kata (često prizemlja). Na temelju numeričke procjene postotka oštećenosti okomitih (stupovi) i horizontalnih (grede) elemenata, zgrada se može klasificirati u bilo koju od tri razine oštećenja. Tijekom postupka vanjske procjene, zgrade navedene u ovom radu klasificirane su kao teško oštećene.

S napretkom tehnologije došlo je do razvoja metoda procjene oštećenja nakon potresa. Jedna takva metoda zahtijeva opsežnu seizmičku instrumentaciju zgrada putem brzih analiza podataka dobivenih iz senzora [50]. Druga uključuje primjenu tehnika strojnog učenja za brzo određivanje oštećenja zgrade izazvanog potresom pomoću značajki kao što su: spektralno ubrzanje pri periodu od 0,3 s, udaljenost rasjeda, starost zgrade, tlocrt i prisutnost nepravilnosti [51]. Uz ove vrste resursno intenzivnih metoda koje pružaju detaljne tehničke informacije o utjecaju potresa, metoda neposredne procjene štete mogla bi biti praktičnija za ispunjavanje hitnih zahtjeva za organiziranje pomoći u slučaju potresa i operacija spašavanja. Najpraktičnija metoda je vizualni pregled potresom oštećenog područja na terenu. Ona pruža vrijedne tehničke informacije o potresima prije nego što dođe do ljudskog uplitanja. Taj je pristup upotrijebio naš tehnički tim za procjenu oštećenja na AB zgradama u Izmiru. Tehnički tim obišao je potresom pogođene lokacije 10 sati nakon

potresa kako bi se izbjeglo propuštanje bilo kakvih podataka vezanih uz stanje zgrada tijekom akcija potrage i spašavanja. Tijekom četverodnevnog boravka tehničkog tima obavljena su detaljna promatranja i istraživanja urušenih, djelomično urušenih i oštećenih građevina. Nalazi i procjene objašnjeni u ovom odjeljku rezultati su podataka i dokaza prikupljenih tijekom brojnih obilazaka povezanim lokacijama u različitim vremenima. Najprije se objašnjava cjelokupni učinak potresa, a potom se raspravlja o nalazima obilaska lokacije kako bi se utvrdili razlozi oštećenja konstrukcije. Uz iznimku slika s Google karata, sve fotografije prikazane u ovom odjeljku snimili su autori i njihovo su vlasništvo.

4.1. Inventar zgrada i statistika štete u Izmiru

U siječnju 2019. ukupan broj zgrada u Izmiru bio je 830.447 [52]. Na temelju podataka Turskog zavoda za statistiku, gotovo 70 % zgrada u Izmiru su armiranobetonske zgrade; ostatak su zidane konstrukcije [14]. Stambene zgrade čine oko 90 % svih zgrada. Slika 18. prikazuje raspodjelu AB zgrada u Izmiru.



Slika 18. Raspodjela AB zgrada u Izmiru po postotcima, prema [14]

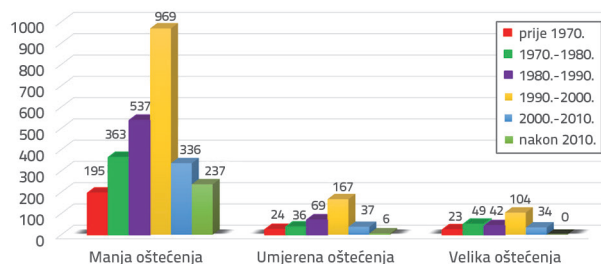
Kao što je prikazano na slici 18., 73 % AB zgrada ima do tri kata, 25 % ima četiri do osam katova, a preostalih (gotovo 2 %) ima devet i više katova. 70 % tih AB zgrada izgrađeno je prije 2000. godine. U to su vrijeme na snazi bila dva glavna zakona o potresima: zakoni o potresima iz 1975. i 1998. godine. Na temelju godina i izgrađenih zgrada može se reći da je od 70 % zgrada, gotovo 60 % njih izgrađeno prema pravilima i propisima Turskih potresnih normi iz 1975. godine.

Samo je nekoliko institucija koje je odobrila vlada imalo dopuštenje za istraživanje zgrada (AB i zidane konstrukcije) na područjima pogođenima potresom. U tablici 4. navedeni su nalazi jedne od tih institucija [14, 53]. Prema podacima, 0,81 % zgrada pretrpjelo je umjerenu do veću štetu, a 4,23 % pretrpjelo je manju štetu. Ukupan broj zgrada bez oštećenja činio je 95 %

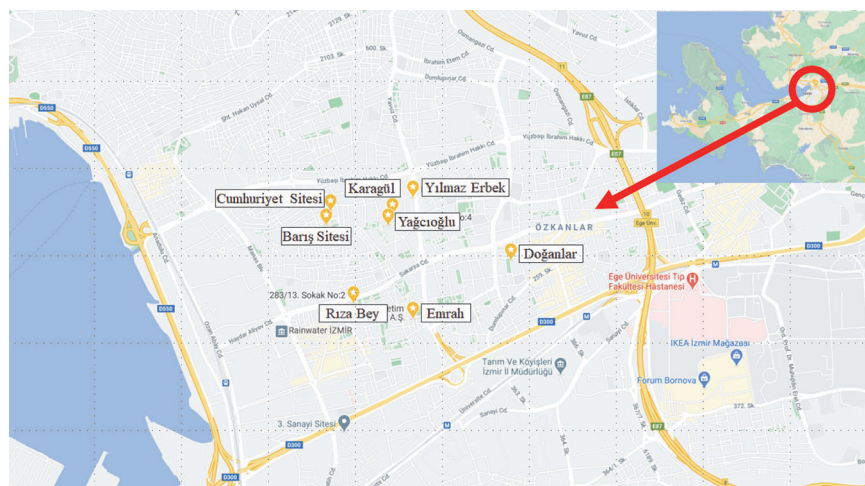
Tablica 4. Procjena štete nastale 20. listopada 2020. na zgradama u Izmiru nakon potresa u Egejskom moru 2020. (prilagođeno iz [14])

Zgrade \ Oštećenje	Urušeno	Srušeno	Teško oštećenje	Umjereno oštećenje	Manje oštećenje	Bez oštećenja	Ukupno
Broj zgrada	50	35	581	688	6.683	150.084	158.121
Postotak ukupnog broja	0,03	0,02	0,37	0,44	4,23	94,92	100,00

ukupnog inventara zgrada. Sve zgrade s velikim oštećenjima i one koje su se urušile ili su srušene bile su u okrugu Bayraklı. Raspodjela razina oštećenosti AB zgrada u Izmiru također je prikazana na slici 19. kao funkcija godina njihove izgradnje. Prema podacima, većina umjerenih do većih oštećenja uočena je na zgradama izgrađenima između 1990. i 2000. godine. Razina štete na zgradama izgrađenima nakon 2000. je smanjena.



Slika 19. Raspodjela štete AB zgrada u Izmiru po brojevima (prilagođeno iz [14])



Slika 20. Lokacije urušenih zgrada u četvrti Bayraklı

Tablica 5. Opće informacije vezane uz urušene zgrade

Naziv kompleksa	Broj katova	Početak izgradnje	Kraj izgradnje	Primjena	Urušavanje
Rıza Bey	9	1993.	1994.	32 stana i 5 trgovina	Potpuno
Doğanlar	8	1990.	1992.	21 stana i 4 trgovina	Potpuno
Emrah	8	1990.	1993.	28 stana i 6 trgovina	Potpuno
Yağcıoğlu Sitesi (2 bloka)	8	1993.	-*	14 stanova i 4 trgovine u svakom bloku	Blok B Potpuno
Yılmaz Erbek	10	Krajem 1990-ih	-*	2 trgovine	Djelomično (polovica zgrade)
Karagül	8	1990-ih	-*	28 stanova	Djelomično (četvrtina zgrade)
Barış Sitesi (4 bloka)	8	1992.	-*	-*	Djelomično (3 bloka)
Cumhuriyet Sitesi (3 bloka)	8	1990-ih	-*	-*	Djelomično (2 bloka)

* Podaci nisu bili dostupni.

4.2. Urušene zgrade

Kao što je navedeno u poglavlju 1., potres je uzrokovao iznenadno urušavanje 11 AB zgrada. Tijekom potresa, od tih 11 AB zgrada, četiri (Rıza Bey, Doğanlar, Emrah i blok B stambenog kompleksa Yağcıoğlu) potpuno su se urušile, a sedam djelomično (stanovi Yılmaz Erbek i Karagül, tri bloka u stambenom naselju Barış i dva bloka u stambenom kompleksu Cumhuriyet) u četvrti Bayraklı. Sve urušene zgrade imale su konstrukcijske sustave okvira koji su se sastojali od AB stupova i greda. Ti su okviri bili ispunjeni opekama na svim katovima osim u prizemlju. Većina je u prizemlju imala trgovine koje su možda bile uzrok mekog prizemlja. Opći podaci vezani uz urušene zgrade prikazani su u tablici 5. Položaj tih zgrada prikazan je na slici 20.

Stambena zgrada Rıza Bey s devet katova u potpunosti se urušila tijekom potresa. Izgradnja zgrade završena je 1994. godine. Sastojala se od 32 stana i pet trgovina u prizemlju. Na temelju videozapisa snimljenih tijekom urušavanja, urušavanje je započelo otkazivanjem stupova u prizemlju. Nakon što je

ostatak zgrade propao za jedan kat, svi ostali katovi počeli su se postupno urušavati jedan na drugi bez ikakvog pomicanja u horizontalnom smjeru. Fotografije zgrade prije i poslije potresa prikazane su na slici 21.

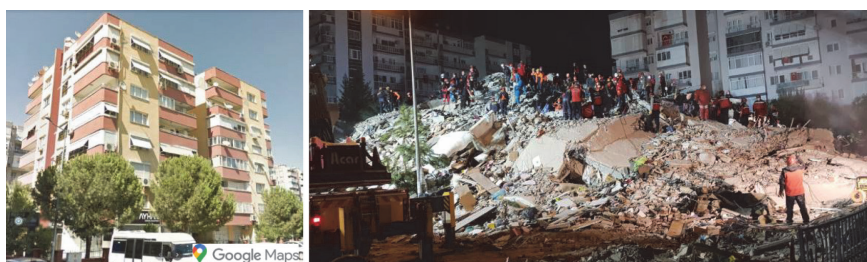
Stambena zgrada Doğanlar, sa 21 stanom i četiri trgovine u prizemlju, urušila se približno minutu nakon potresa. Izgradnja te osmerokatnice dovršena je 1992. godine. Jedna strana zgrade bila je uz drugu zgradu, s malim razmakom između njih. Tijekom urušavanja stambena zgrada Doğanlar odmaknula se od susjedne zgrade. Fotografije zgrada prije i poslije potresa prikazane su na slici 22.



Slika 21. Fotografije stambene zgrade Rıza Bey prije i poslije potresa



Slika 22. Fotografije stambene zgrade Doğanlar prije i poslije potresa



Slika 23. Fotografije stambene zgrade Emrah prije i poslije potresa



Slika 24. Fotografije bloka B stambenog kompleksa Yağcıoğlu prije i poslije potresa



Slika 25. Fotografije stambenog kompleksa Yılmaz Erbek prije i poslije potresa

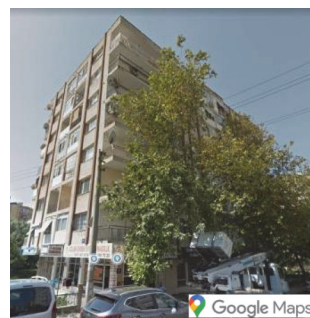
Još jedna urušena zgrada bila je osmokatna stambena zgrada Emrah, izgrađena 1993. godine. U toj se zgradi nalazilo 28 stanova i šest trgovina u prizemlju. Fotografije

zgrade prije i poslije potresa prikazane su na slici 23.

Blok B stambenog kompleksa Yağcıoğlu u potpunosti se urušio nakon potresa, a blok A imao je velika oštećenja. Oba bloka tog stambenog kompleksa sastojala su se od zgrade s 8 katova s 14 stanova i četiri trgovine smještene u prizemlju. Obje su zgrade izgrađene 1993. godine. Fotografije zgrada prije i poslije potresa prikazane su na slici 24.

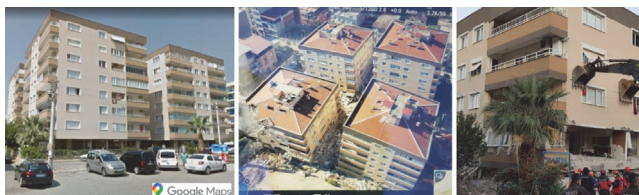
Stambeni kompleks Yılmaz Erbek sastojao se od dva susjedna bloka s deset katova. Zgrada je izgrađena krajem 1990-ih. Prizemlje se sastojalo od trgovina, a ostale katove činili su stanovi. Prva dva kata jednog od blokova srušila su se tijekom potresa. Djelomično urušena zgrada odvojena je od ostalih zgrada, a ukupna je visina smanjena. Fotografije zgrade prije i poslije potresa prikazane su na slici 25.

Osmerekatna stambena zgrada Karagül, s 28 stanova i trgovinama u prizemlju, teško je oštećena tijekom potresa. Zgrada je izgrađena početkom 1990-ih. Svaka stambena etaža sastojala se od četiri stana, a samo se jedna četvrtina građevinske površine (što odgovara jednom stanu) djelomično urušila nekoliko minuta nakon potresa. Fotografije zgrade prije i poslije potresa prikazane su na slici 26.



Slika 26. Fotografije stambene zgrade Karagül prije i poslije potresa

Stambeni kompleks Barış, koji se sastojao od četiri bloka sa po osam katova, izgrađen je 1992. godine. Tri zgrade su se djelomično urušile, a jedna je pretrpjela veliku štetu bez urušavanja. Prva četiri kata dvaju blokova i prva tri kata drugog bloka urušili su se jedan na drugi. Katovi iznad urušenih dijelova zgrada preživjeli su potres naginjući se na jednu stranu zgrada. Fotografije stambenog kompleksa Barış prije i poslije potresa prikazane su na slici 27.



Slika 27. Fotografije stambenog naselja Barış prije i poslije potresa

Sličan način otkazivanja konstrukcija primijećen je u stambenom kompleksu Cumhuriyet izgrađenom početkom 1990-ih. Kompleks se sastojao od tri bloka od po osam katova. Jedan blok preživio je potres s velikim oštećenjima. Međutim, prvi katovi druga dva bloka su se urušili, uzrokujući da se neurušeni dijelovi zgrada pomaknu za jedan kat. Fotografije stambenog kompleksa Cumhuriyet prije i poslije potresa prikazane su na slici 28.



Slika 28. Fotografije stambenog kompleksa Cumhuriyet prije i poslije potresa

4.3. Teško oštećene zgrade

Tijekom potresa u Egejskom moru brojne su zgrade u gradu Izmiru teško oštećene. Oštećenja stupova u nekim zgradama također su bila značajna, kao što je prikazano na slici 29.



Slika 29. Dijagonalne pukotine na nosivim i nenosivim elementima

Tipična vrsta oštećenja bile su dijagonalne pukotine na nosivim (grede, stupovi i zidovi) i nenosivim (pregradni zidovi) elementima, kao što je prikazano na slici 30. Međutim, neke od zgrada koje su izgrađene jedna do druge bile su odvojene zbog sudara (učinak udara, *eng. hammering effect*) tih zgrada koje su se tijekom potresa kretale u suprotnim smjerovima. Ova vrsta gibanja oštećuje nosive elemente zgrada. Primjer takvog ponašanja prikazan je na slici 31.



Slika 30. Teško oštećenje stupa



Slika 31. Odvojene zgrade sagrađene jedna pored druge

Tablica 6. Usporedba posljednje četiri Turske potresne norme za AB zgrade

Opis	Turske potresne norme			
	1975. [55]	1998. [56]	2007. [57]	2018. [41]
Minimalna čvrstoća betona [MPa]	Bez ograničenja*–22,5**	16*–20***	20*	25*
Minimalna granica popuštanja čelika [MPa]	Nije specificirano	Nije specificirano	Nije specificirano	420 ili veća
Dopuštena vrsta armaturne šipke	Glatka	Glatka/deformirana	Deformirana	Samo deformirana
Kuke na sponama od 135°	Da	Da	Da	Da
Ovijeno područje na krajevima greda	Da	Da	Da	Da
Ovijeno područje na krajevima stupova	Da	Da	Da	Da
Slabe grede, jaki stupovi	Ne	Da	Da	Da

* Za sve zgrade u svim potresnim područjima, ** Zgrade koje se nalaze u prvom i drugom potresnom području s faktorom važnosti većim od jedan, *** Zgrade koje se nalaze u prvom i drugom potresnom području s faktorom važnosti većim od jedan ili s duktilnim ponašanjem

4.4. Razvoj potresnih normi u Turskoj

Prve Turske potresne norme, TEC (1940.), [54], objavljene su 1940. godine i izvorno su izrađene prema Talijanskim potresnim normama koje su u to vrijeme bile na snazi. Do danas su norme izmijenjene devet puta. Posljednje četiri verzije objavljene su 1975. [55], 1998. [56], 2007. [57] i 2018. [41].

AB zgrade koje su se djelomično i potpuno urušile u ovom potresu izgrađene su 1990-ih (između 1990. i 1998.) kada je na snazi bio TEC (1975.) [55]. TEC (1975.) [55] je nakon izrade smatran uspješnim. Prema TEC-u (1975.) [55], potresna opterećenja na zgrade izračunana su množenjem koeficijenta potresnog opterećenja sa seizmičkom težinom (izračunanom pomoću vlastite težine i dijela pokretnog opterećenja) zgrade. Za određivanje tog koeficijenta primjenjuju se čimbenici kao što su potresne zone (četiri zone), faktori važnosti zgrade (dva faktora), tipovi tla (12 tipova), prvi period zgrade, proračunski spektri ubrzanja (četiri vrste) i razine duktilnosti zgrade (dvije vrste). Na temelju ovih normi, izračunani posmik u podnožju zgrade za stambene zgrade iznosio je približno 8 % do 15 % seizmičke težine zgrade. Primijenjen je postupak ekvivalentne bočne statičke sile za raspodjelu ukupnog posmika na katove. U spomenutom pravilniku nije definirana minimalna tlačna čvrstoća betona za stambene zgrade. Međutim, minimalna tlačna čvrstoća betona od 22,5 MPa određena je za zgrade koje se nalaze u prvoj i drugoj potresnoj zoni, s faktorom važnosti većim od jedan. Ne postoje odredbe vezane uz vrstu (ravne ili deformirane šipke) i minimalnu granicu popuštanja čeličnih armaturnih šipki. Poznato je da se najveće presječne sile razvijaju na krajevima greda i stupa. Stoga su odredbe koje se odnose na ovijanje krajeva greda i stupova te savijanje kraja spona u betonsku jezgru (kuke od 135°) također uključene u TEC (1975.) [55]. Odredbe koje se odnose na kratke stupove također su uključene u ovu normu.

Počevši od TEC-a (1998.) [56], metodologija slaba greda – jaki stup uvedena je u projektiranje AB zgrada u Turskoj. To je zahtijevalo da nosivost na moment savijanja stupova u čvoru bude veća (najmanje 20 %) od nosivosti greda u istom čvoru

i u istoj ravnini. Kada je zgrada izložena potresnim silama, oštećenje (plastični zglob) se najprije javlja pri dnu stupova prvoga kata. Nakon toga, plastični zglobovi uvijek će se formirati na krajevima greda, ako je zgrada izgrađena na temelju kriterija slaba greda – jaki stup. Urušavanje zgrade zahtijeva formiranje zgloba na oba kraja grede, što rezultira najvećim mogućim kapacitetom trošenja energije prije otkazivanja. Taj je kriterij naveden u kasnijim normama.

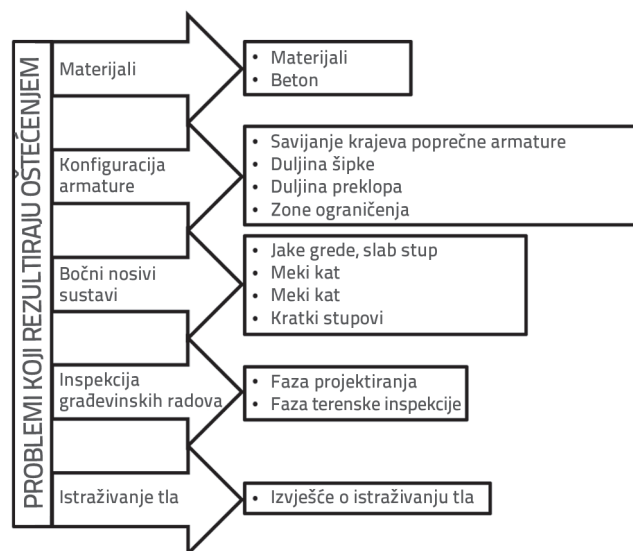
Ostale odredbe TEC-a (1975.) [55], kao što je ovijanje betona na krajevima grede i stupa te savijanje krajeva spona u sredinu presjeka, detaljnije su objašnjene u TEC-u (1998.) [56], TEC-u (2007.) [57] i Turskim potresnim građevinskim normama [41]. Izračunani posmik na dnu za stambene zgrade iznosio je približno 12,5 % do 25 % seizmičke težine zgrade za ove tri kasnije norme. Usporedba zadnje četiri Turske potresne norme za AB zgrade prikazana je u tablici 6.

4.5. Procjena urušenih i teško oštećenih zgrada

Sve potpuno i djelomično urušene zgrade u ovom istraživanju projektirane su i izgrađene prije implementacije TEC-a (1998.) [56]. Stoga će se odredbe TEC-a (1975.) [55] primijeniti za procjenu projektiranja, izvedbe i ponašanja ovih zgrada tijekom ovog potresa.

Ponašanje nekih urušenih ili teško oštećenih zgrada procijenjeno je zbog rizika od urušavanja tijekom potresa posljednjih godina (između 2012. i 2018.). Odgovarajuća izvješća o procjeni konstrukcije (engl. *Structural Evaluation Reports* - SER) [58, 59] pripremljena su i dostavljena stanovnicima ovih zgrada prije potresa u Egejskom moru 2020. godine. U svrhu procjene ponašanja zgrada, u ovom su dijelu primijenjeni podaci iz SER izvješća [58, 59].

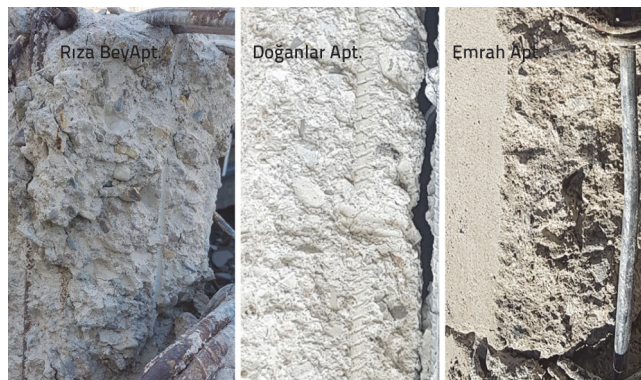
Sažetak problema koji su rezultirali oštećenjem i urušavanjem prikazan je na slici 32. Važno je napomenuti da ti problemi nisu uobičajeni samo za AB zgrade u Turskoj, već i za druge vrste zgrada, kao što su zidane i drvene zgrade, što je posljedica prošlih potresa koji su se dogodili u regiji i širom svijeta [60–62]. Pojednosti ovih problema razmatraju se u sljedećim poglavljima.



Slika 32. Sažetak problema koji rezultiraju oštećenjem

4.5.1. Problemi vezani uz materijale

U TEC-u (1975.) [55] nije navedena minimalna tlačna čvrstoća betona za stambene zgrade koje su se urušile tijekom ovog potresa. Prema SER-u, u izgradnji ovih zgrada primijenjen je beton tlačne čvrstoće u rasponu od 10 do 17 MPa [58, 59]. Ove su vrijednosti određene ultrazvučnim ispitivanjem i ispitivanjem površinske tvrdoće na zgradama. Međutim, ove rezultate treba tumačiti s oprezom jer je nedestruktivno ispitivanje tlačne čvrstoće betona nepouzđano i treba ga primjenjivati u kombinaciji s tradicionalnom tehnikom vađenja jezgri (*eng. coring technique*). Tlačne čvrstoće betona dobivene ovim ispitivanjima bile su niže od onih navedenih u izvedbenim nacrtima zgrada. Na temelju promatranja betonskih elemenata srušenih zgrada na mjestu događaja, utvrđeno je da se beton upotrijebljen u tim zgradama sastoji od okruglih krupnih zrna agregata promjera 30–50 mm. Okrugli i veliki agregati rezultirali bi lošim uklještenjem i slabim prijanjanjem između betona i čelične armature. Fotografije nekih od uzoraka betona prikazane su na slici 33.



Slika 33. Kvaliteta betona urušenih zgrada

U TEC-u (1975.) [55] nije navedena vrsta čelične armature koja bi se trebala primjenjivati u AB zgradama. Početkom 1990-ih u Turskoj su bile dostupne samo glatke uzdužne i poprečne armaturene šipke. Čelične armaturene šipke pokazale su minimalnu granicu popuštanja od 220 MPa. Deformirane armaturene šipke dostupne su od sredine 1990-ih. Vizualni pregled urušenih zgrada potvrdio je da su tijekom gradnje primijenjene kombinacije tih vrsta armature. Na primjer, u izgradnji stambenog kompleksa Emrah primijenjene su glatke šipke, i to kao uzdužna i poprečna armatura. Uzdužna i poprečna armatura primijenjena u gradnji stambenog kompleksa Rıza Bey bila je deformirana i glatka. U slučaju stambenog kompleksa Yılmaz Erbek kao armatura su primijenjene samo deformirane šipke. Fotografije armature prikazane su na slici 34.



Slika 34. Vrste armature primijenjene u gradnji urušenih zgrada

Većina zgrada na tom području imala je problem s vlagom zbog vlažne klime, visoke razine podzemnih voda i nedovoljne hidroizolacije, osobito u prizemlju. Zato je armatura nosivih elemenata tih zgrada u velikoj mjeri korodirala, što je rezultiralo značajnim smanjenjem površine poprečnog presjeka armature. Primjeri korodirane armature prikazani su na slici 35. Važno je napomenuti da se te pogreške ponavljaju kada se istražuju oštećenja zgrada tijekom većine potresa. Primjer su terenska istraživanja nakon potresa u Sivriceu, Elaziğ, u Turskoj.



Slika 35. Korozija armature uslijed vlage

4.5.2. Problemi povezani s pojedinostima armature

Kao što je prethodno navedeno, TEC (1975.) [55] je zahtijevao upotrebu usko postavljenih spona (zbog ovijanja) na krajnjim područjima (kritično područje) greda i stupova. Duljina ovog područja bila je minimalno jedna šestina visine stupova, odnosno 450 mm za stupove. U TEC-u (1975.) [55] naveden je maksimalni razmak spona od 100 mm u kritičnom području. Opažanja na terenu pokazala su da na krajevima greda i stupova nije primijenjeno nikakvo ovijanje. Primjeri detalja armiranja stupova i greda urušenih zgrada prikazani su na slici 36. Ovaj je nalaz također potkrijepljen raznim SER izvješćima [58, 59] koja su pripremljena za te urušene zgrade.



Slika 36. Detalji armiranja stupova i greda urušenih zgrada

Iako je jedan od zahtjeva TEC-a (1975) [55] savijanje krajeva spona u betonsku jezgu (kuke od 135°), krajevi spona bili su savijeni samo za 90°, što je rezultiralo otvaranjem spona nakon odlamanja zaštitnog sloja greda i stupova. Fotografije tih spona u urušenim

zgradama prikazane su na slici 37. Kao i u slučaju opažanja u odjeljku o materijalima, problemi povezani s pojedinostima armiranja često se uočavaju u Turskoj nakon potresa.



Slika 37. Krajevi stremena (savijeni za 90°) urušenih zgrada

4.5.3. Problemi povezani s bočnim nosivim sustavima

TEC (1975.) [55] ne definira nepravilnost zgrade po visini na temelju razlike u krutostima katova. Učinci ove vrste nepravilnosti prvi su put uvedeni u Potresne norme iz 1998. [56]. Zahtjev slaba greda – jaki stup prvi put se spominje u TEC-u (1998) [56]. Tijekom potresa, prvih se nekoliko katova nekih zgrada urušilo poput sendviča. Te su zgrade bile nepravilne po visini zbog male krutosti u prizemlju, što je vjerojatno bio glavni razlog njihova urušavanja. Fotografije ovih zgrada prikazane su na slici 38.



Slika 38. Zgrade koje su se urušile zbog otkazivanja stupova prizemlja

Prema TEC-u (1975) [55], uzdužna armatura bila je ovijena duž duljine kratkih stupova. Primjer oštećenja na kratkim stupovima nakon potresa prikazan je na slici 39. Ovijanje armature nije uočeno u kratkim stupovima.



Slika 39. Kratki stup teško oštećene zgrade

4.5.4. Problemi povezani s inspekcijskim nadzorom građevinskih radova

Prije početka ovog tisućljeća građevinski radovi u Turskoj nisu bili propisno kontrolirani. Izvješća koja se odnose na istraživanja tla i konstrukcijske nacрте nije pregledala niti jedna institucija. Tijekom izgradnje nije ispitivana čvrstoća ugrađenih materijala (beton i čelik) te nije potvrđena točnost izvedbe prema izvedbenim nacртima u pogledu detalja armiranja i dimenzija elemenata konstrukcije. U nekim srušenim i teško oštećenim zgradama, SER izvješće pripremljeno prije potresa pokazalo je da se detalji armiranja na izvedbenim nacртima razlikuju od onih u izgrađenim zgradama. Nadalje, veličine izgrađenih konstrukcijskih elemenata nisu odgovarale onima na izvedbenim nacртima nekih zgrada [58, 59]. Na primjer, stup veličine 250 × 800 mm u nacртima izgrađen je 1988. godine u dimenzijama od 250 × 500 mm uzduž visine zgrade od devet katova.



Slika 40. Greda oštećena prilikom ugradnje vodovoda (Karşıyaka, Izmir)

Način provedbe kontrole prije (faza projektiranja) i tijekom procesa izgradnje značajno se promijenio tijekom 2000-ih. Nakon potresa, stanje brojnih oštećenih zgrada u Izmiru istražili su stručnjaci turskog Ministarstva okoliša i urbanizacije. Na

temelju njihovih nalaza, utvrđeno je da neke zgrade nisu sigurne za stanare te su ili odmah srušene ili su popravljene i/ili pojačane. Tijekom ovog procesa procjene nakon potresa uočili smo da su elementi konstrukcije nekih zgrada bili iz različitih razloga oštećeni ili uništeni prije potresa. Primjeri ove vrste oštećenja i uništenja prikazani su na slici 40. Donja uzdužna armatura podrumске grede prikazana na toj slici bila je presječena na sredini raspona, a gornja uzdužna armatura je oštećena u području oslonca u svrhu postavljanja komunalnih cijevi unutar zgrade. Spone su također izrezane iz oštećenih dijelova.

4.5.5. Problemi vezani uz ispitivanje tla

U Turskoj su prva geotehnička istraživanja lokacija započela 1986. kao dio zahtjeva za prostorne planove [63]. Međutim, tek kada su se dogodila dva velika potresa – potres u Kocaeli u kolovozu 1999. i potres u Düzceu u studenom 1999. – postojeći zakon je izmijenjen kako bi zahtijevao izvješća o geološkim lokacijama kao dio procesa dobivanja građevinske dozvole [64]. Zbog problema u vezi sa sadržajem geotehničkih izvješća, vlada je intervenirala i dostavila detalje tipičnog izvješća o području. Kao dio ovih nastojanja, u siječnju 2000. godine, Ministarstvo javnih radova izdalo je memorandum kako bi se geotehnička izvješća o lokaciji postavila kao zahtjev za projektiranje. Kao što sugerira povijesni razvoj izvješća o geotehničkim izvješćima u Turskoj, parametri projektiranja povezani s tlom nisu bili prioritetni sve do ranih 2000-ih. To ističe probleme u zgradama izgrađenima prije 2000. Najvjerojatnije je ovaj problem imao značajnu ulogu u zgradama u okrugu Bayraklı koje su se urušile i pretrpjele umjerenu do veću štetu [7, 11].

5. Zaključak

Na temelju opažanja tehničkog tima na lokaciji mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- Lokalna klasa tla (utjecaj lokacije) važan je parametar koji treba uključiti u analizu potresa i projektiranje zgrade. Ova je pojava najčešća u slučaju zgrada u Bayraklıu. Stoga je potrebno napraviti temeljite analize potresa za sve postojeće građevine na tom području.
- TBEC (2018) [41] zahtijeva spektar elastičnog ubrzanja specifičan za lokaciju samo za lokalnu klasu tla ZF. Iako norme dopuštaju projektantima da zatraže slična istraživanja za druge klase tla, ne postoji jasno opravdanje za ovaj zahtjev. Stoga bi dodavanje izjave normi koja zahtijeva spektar elastičnog ubrzanja specifičan za lokaciju u područjima kao što je Bayraklı pomoglo u ispunjavanju zahtjeva projektiranja zgrada otpornih na potres.
- Kako bi se spriječio daljnji gubitak života i imovine tijekom budućih potresa, potrebno je pripremiti detaljnu procjenu rizika od potresa, posebno za zgrade koje se nalaze u području Izmirskog zaljeva.
- Potpuno i djelomično urušene zgrade u Izmiru tijekom potresa u Egejskom moru izgrađene su kada je na snazi

bio TEC (1975.) [55]. Međutim, mnogi zahtjevi normi nisu ispunjeni tijekom faza projektiranja ili izgradnje.

- Nadzor u fazi projektiranja i izgradnje nije pravilno obavljen za zgrade izgrađene prije 2000. godine. Stoga bi sve AB

zgrade izgrađene u Turskoj prije 2000. trebale biti ponovno procijenjene u pogledu njihovog ponašanja.

- Potrebno je poduzeti administrativne mjere opreza kako bi se održala nosivost AB zgrada tijekom njihova roka trajanja.

LITERATURA

- [1] Sahin, B.E., Tunc, G., Ozsarac, E.: Disaster Management and Public-Private Partnership in Turkey, International Civil Engineering and Architecture Conference, ICEARC19, Trabzon, Turkey, 17-20 April 2019.
- [2] Aral, M., Tunc, G.: A Proposal for the Establishment of Building Identity Numbers in Turkey Based on the Performance of Buildings During Earthquakes, *Journal of Disaster and Risk*, 4 (2021) 1, pp. 20-41.
- [3] MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration), <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari>, 01.04.2022 (in Turkish).
- [4] AFAD (Disaster and Emergency Management Authority): Preliminary evaluation report of October 30, 2020 Mw 6.6 Aegean Sea, Seferihisar (İzmir) Earthquake. Turkish Ministry of Interior, Department of Earthquake, Ankara, Turkey, 2020 (in Turkish).
- [5] TÜİK (The Turkish Statistical Institute), <https://www.tuik.gov.tr/>, 01.04.2022 (in Turkish).
- [6] AA (Anadolu Agency), <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/bakan-kurum-izmirde-tum-hasar-tespit-calismalar-tamamlandi/2039895>, 01.04.2022 (in Turkish).
- [7] Nuhoglu, A., Eren, M.F., Hizal, Ç., Kincal, C., Erdoğan, D.Ş., Özdağ, Ö.C., Akgün, M., Ercan, E., Kalfa, E., Köksal, D., İpek, Y., Sezer, A.: A reconnaissance study in Izmir (Bornova Plain) affected by October 30, 2020 Samos earthquake, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 63 (2021), 102465, doi: 10.1016/j.ijdr.2021.102465
- [8] Cetin, K.O., Altun, S., Askan, A., Akgün, M., Sezer, A., Kincal, C., Özdağ, Ö.C., İpek, Y., Unutmaz, B., Gülerce, Z., Özacar, A., Ilgac, M., Can, G., Cakir, E., Söylemez, B., El-Sayeed, A., Zazour, M., Bozyigit, İ., Tuna, Ç., Köksal, D., Karimzadeh, S., Uzel, B., Karaali, E.: The site effects in Izmir Bay of October 30 2020, M7.0 Samos Earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 152 (2022), 107051, doi: 10.1016/j.soildyn.2021.107051
- [9] Akinci, A., Cheloni, D., Dindar, A.A.: The 30 October 2020, M7.0 Samos Island (Eastern Aegean Sea) Earthquake: effects of source rupture, path and local-site conditions on the observed and simulated ground motions, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19 (2021), pp. 4745-4771, doi: 10.1007/s10518-021-01146-5
- [10] Makra, K., Rovithis, E., Riga, E., Raptakis, D., Ptilakis, K.: Amplification features and observed damages in Izmir (Turkey) due to 2020 Samos (Aegean Sea) earthquake: identifying basin effects and design requirements, *Bulletin of Earthquake Engineering* 19 (2021), pp. 4773-4804, doi: 10.1007/s10518-021-01148-3
- [11] Demirci, H.E., Karaman, M., Bhattacharya, S.: A survey of damage observed in Izmir due to 2020 Samos-Izmir earthquake, *Natural Hazards*, 111 (2022), pp. 1047-1064, doi: 10.1007/s11069-021-05085-x
- [12] Binici, B., Yakut, A., Canbay, E., Akpinar, U., Tuncay, K.: Identifying buildings with high collapse risk based on samos earthquake damage inventory in Izmir, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20 (2022), pp. 7853-7872, doi: 10.1007/s10518-021-01289-5
- [13] Demir, A., Altioek, T.Y.: Numerical assessment of a slender structure damaged during October 30, 2020, Izmir earthquake in Turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19 (2021), pp. 5871-5896, doi: 10.1007/s10518-021-01197-8
- [14] Yakut, A., Sucuoğlu, H., Binici, B., Canbay, E., Donmez, C., İlki, A., Caner, A., Celik, O.C., Ay, B.Ö.: Performance of structures in Izmir after the Samos island earthquake, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20 (2022), pp. 7793-7818, doi: 10.1007/s10518-021-01226-6
- [15] EON-Global Catastrophe Recap: November 2020, http://thoughtleadership.aon.com/Documents/20201210_analytics-if-november-global-recap.pdf, 01.04.2022.
- [16] Okay, A.I., Zattin, M., Cavazza, W.: Apatite fission track data for the Miocene Arabia-Eurasia collision, *Geology*, 38 (2010), pp. 35-38.
- [17] Kuruoglu, M., Eskisar, T.: Effect of local soil conditions on dynamic ground response in the southern coast of Izmir Bay, Turkey, *Russian Geology and Geophysics*, 56 (2015), pp. 1201-1212.
- [18] Drahor, M.G., Berge, M.A.: Integrated geophysical investigations in a fault zone located on southwestern part of Izmir city, Western Anatolia, Turkey, *Journal of Applied Geophysics*, 136 (2017), pp. 114-133.
- [19] Emre, Ö., Barka, A.: Active faults between Gediz Graben and Aegean Sea (Izmir Region), *Earthquake Symposium for Western Anatolia, Izmir, Turkey*, (2000), pp. 131-132 (in Turkish).
- [20] Ocakoğlu, N., Demirbağ, E., Kuşçu, İ.: Neotectonic structures in the area offshore of Alaçati, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): Evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province, *Tectonophysics*, 391 (2004), pp. 67-83.
- [21] Ocakoğlu, N., Demirbağ, E., Kuşçu, İ.: Neotectonic structures in Izmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime, *Marine Geology* 219 (2005), pp. 155-171.
- [22] Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C., Göktaş, F.: Active faults in the vicinity of Izmir and their earthquake potential, Report No: 10754, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey, 2005 (in Turkish).
- [23] Altun, S., Sezer, A., Göktepe, A.B.: A preliminary microzonation study on Northern Coasts of Izmir: Investigation of the local soil conditions, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 39 (2012), pp. 37-49.
- [24] Ketin, İ.: Türkiye'nin genel tektonik durumu ile baslıca deprem bölgeleri arasındaki ilişkiler, *Bulletin of Mineral Research and Exploration*, 71 (1969), pp. 129-134 (in Turkish).
- [25] Bozkurt, E.: Neotectonics of Turkey - A Synthesis, *Geodinamica Acta*, 14 (2001), pp. 3-30.
- [26] Aksu, A.E., Piper, D.J.W., Konuk, T.: Late Quaternary tectonic and sedimentary history of outer Izmir and Candarli bays, Western Turkey, *Marine Geology*, 76 (1987), pp. 89-104.

- [27] Sozibilir, H., Uzel, B., Sumer, O., Inci, U., Ersoy, E., Kocer, T., Demirtas, R., Ozkaymak, C.: Data about coordinated working of the E-W oriented Izmir Fault and the NE-SW oriented Seferihisar Fault: Kinematical and paleoseismological studies on active faults occurring gulf of Izmir, Western Anatolia, *Bulletin of Turkish Geology*, 52 (2008), pp. 91-114 (in Turkish).
- [28] Sozibilir, H., Sumer, O., Uzel, B., Ersoy, E., Erkul, F., Inci, U., Helvacı, C., Ozkaymak, C.: Seismic geomorphology of October 17–20, 2005 Sigacık Bay earthquakes and relation with stress areas in region, Western Anatolia, *Bulletin of Turkish Geology*, 53 (2009), pp. 217-238 (in Turkish).
- [29] Uzel, B., Sozibilir, H., Ozkaymak, C.: Evolution of an actively growing superimposed basin in Western Anatolia: The Inner Bay of Izmir, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21 (2012), pp. 439-471.
- [30] Kincal, C.: Evaluation of geological units in İzmir inner bay and its vicinity by using GIS and remote sensing systems in terms of engineering geology, PhD Thesis, Dokuz Eylül University, 2004 (in Turkish).
- [31] Pamuk, E., Özdağ, Ö.C., Akgün, M.: Soil characterization of Bornova Plain (Izmir, Turkey) and its surroundings using a combined survey of MASW and ReMi methods and Nakamura's (HVSr) technique, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78 (2019), pp. 3023-3035.
- [32] AFAD (Disaster and Emergency Management Authority), Turkish Ministry of Interior, Ankara, <https://tdth.afad.gov.tr/>, 01.04.2022 (in Turkish).
- [33] MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration), <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, 01.04.2022 (in Turkish).
- [34] Pamuk, E., Akgün, M., Özdağ, Ö.C., Gönenç, T.: 2D soil and engineering-seismic bedrock modeling of eastern part of Izmir inner bay/Turkey, *Journal of Applied Geophysics*, 137 (2017), pp. 104-117.
- [35] KOERI (Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute): October 30, 2020 Aegean Sea Earthquake Press Bulletin, Boğaziçi University, Istanbul, Turkey, 2020 (in Turkish).
- [36] USGS (The United States Geological Survey) <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000c7y0/executive>, 01.04.2022.
- [37] CMT (Harvard), <https://www.globalcmt.org/>, 01.04.2022.
- [38] GFZ, <https://geofon.gfz-potsdam.de/>, 01.04.2022.
- [39] METU (Middle East Technical University): Seismic and structural damages related to site observations for the October 30, 2020 Samos Island (off the coast of Seferihisar, İzmir) Earthquake, Report No: ODTÜ/DMAM 2020-03, Ankara, 2017 (in Turkish).
- [40] MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration): Field Observations and Evaluation Report of October 30, 2020 (Mw=6.6) Aegean Sea Earthquake, Turkish Ministry of Energy and Mineral Resources, Ankara, Turkey, 2020 (in Turkish).
- [41] Ministry of Environment and Urban Planning: Turkish Building Earthquake Code (TBEC), Ankara, Turkey, 2018 (in Turkish).
- [42] AFAD (Disaster and Emergency Management Authority): Turkish Ministry of Interior, Ankara, Turkey <https://depem.afad.gov.tr/istasyonlar>, 01.04.2022 (in Turkish).
- [43] Grünthal, G.: European Macroseismic Scale, *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 15 (1998) (in French).
- [44] GNDT-SSN, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Scheda di esposizione e vulnerabilità e di rilevamento danni di primo livello e secondo livello (muratura e cemento armato), Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti: Roma, Italy, 1994, (in Italian).
- [45] Applied Technology Council (ATC) ATC-20 Procedures for Post-Earthquake Building Safety Evaluation Procedures. Redwood, CA: Applied Technology Council, 1995.
- [46] Anagnostopoulos, S.A., Moretti, M., Panoutsopoulou, M., Panagiotopoulou, D., Thoma, T.: Post earthquake damage and usability assessment of buildings: Further development and applications, Final report, European Commission - D.G. Environment, Civil Protection - EPPO, 2004.
- [47] Anagnostopoulos, S., Moretti M.: Post-earthquake emergency assessment of building damage, safety and usability - Part 2: Organisation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 28 (2008), 3, pp. 233-244, doi: 10.1016/j.soildyn.2006.05.008
- [48] Uroš, M., Šavor Novak, M., Atalić, J., Sigmund, Z., Baniček, M., Demšić, M., Hak, S.: Post-earthquake damage assessment of buildings – procedure for conducting building inspections, *GRAĐEVINAR*, 72 (2020) 12, pp. 1089-1115, doi: 10.14256/JCE.2969.2020
- [49] Turkish Chamber of Civil Engineers: Damage Evaluation of Reinforced Concrete and Masonry Buildings Affected by Earthquake, Ankara, Turkey, 72 p., 2016 (in Turkish).
- [50] Naeim, F., Lee, H., Hagie, S., Bhatia, H., Alimoradi, A., Miranda, E.: Three-dimensional analysis, real-time visualization, and automated post-earthquake damage assessment of buildings, *Structural Design of Tall and Special Buildings*. 15 (2006), 1, pp. 105-138, doi: 10.1002/tal.345
- [51] Mangalathu, S., Nweke, C.C., Yi, Z., Burton, H.V., Sun, H.: Classifying earthquake damage to buildings using machine learning, *Earthquake Spectra*, 36 (2020), 1, pp. 183-208, doi: 10.1177/8755293019878137
- [52] Metropolitan Municipality of Izmir, Izmir City Guide Building Count Distribution Map, <https://kentrehberi.izmir.bel.tr/izmirkentrehberi#>, 01.04.2022 (in Turkish).
- [53] METU, The Samos (Izmir-Seferihisar Offshore) Earthquake [30 October 2020 Mw=6.6] Field Observations On Seismic and Structural Damage, Earthquake Engineering Research Center, Middle East Technical University, Report No: METU/EERC 2020-03, November 2020.
- [54] Ministry of Public Works and Settlement: Italian building instructions in earthquake districts (TEC), Ankara, Turkey, 1940 (in Turkish).
- [55] Ministry of Public Works and Settlement: Specification for structures to be constructed in disaster areas (TEC), Ankara, Turkey, 1975 (in Turkish).
- [56] Ministry of Public Works and Settlement: Specification for structures to be constructed in disaster areas (TEC), Ankara, Turkey, 1998 (in Turkish).
- [57] Ministry of Public Works and Settlement: Specification for buildings to be constructed in earthquake areas (TEC), Ankara, Turkey, 2007 (in Turkish).
- [58] Bayraklı Municipality, Earthquake Investigation Center, İzmir, Turkey, <https://bayrakli.bel.tr/Sayfa/80/depem-etud-merkezi-baydem>, 01.04.2022 (in Turkish).

- [59] AA (Anadolu Agency) Ankara, Turkey, <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/bayrakli-belediye-baskani-sandalan-rizabey-vedoganlar-apartmanlari-raporuyla-ilgili-aciklama/2030535,01.04.2022> (in Turkish).
- [60] Radnić, J., Grgić, N., Buzov, A., Banović, I., Smilović Zulim, M., Baloević, G., Sunara, M.: Mw 6.4 Petrinja earthquake in Croatia: Main earthquake parameters, impact on buildings and recommendation for their structural strengthening, *GRAĐEVINAR*, 73 (2021), 11, pp. 1109-1128, doi: 10.14256/JCE.3243.2021
- [61] Mertol, H.C., Tunc, G., Akis, T.: Evaluation of masonry buildings and mosques after Sivrice earthquake, *GRAĐEVINAR*, 73 (2021), 9, pp. 881-892, doi: 10.14256/JCE.3101.2021
- [62] Šavor Novak, M., Uroš, M., Atalić, J., Herak, M., Demšić, M., Baniček, M., Lazarević, D., Bijelić, N., Crnogorac, M., Todorčić, M.: Zagreb earthquake of 22 March 2020 – preliminary report on seismologic aspects and damage to buildings, *GRAĐEVINAR*, 72 (2020), 10, pp. 843-867, doi: 10.14256/JCE.2966.2020
- [63] Mertol, H.C., Tunc, G., Akis, T.: Damage Observation of Reinforced Concrete Buildings after 2020 Sivrice (Elazığ) Earthquake, Turkey, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 35 (2021), 5, 04021053, doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001619
- [64] Karakus, K: Geological soil reports and legal regulations. Ankara, Turkey: Chamber of Geological Engineers, 2009.