



Uzroci oštećenja zgrada usled nedavnih zemljotresa u Turskoj

Pouke za građevinsku praksu u Srbiji

doc. dr Marko Marinković, Građevinski fakultet u Beogradu

- 06.02.2023. at 04:17 am
- **Mw 7.8**, epicentar blizu grada Pazarcik (AFAD)
- Plitak zemljotres na dubini **od 17.9 km**
- Najviše pogođena Sirija i 10 pokrajina u Turskoj (13.5 milliona ljudi)
- Potvrđeno smrtnih slučajeva 58,976: 50,500 u Turskoj, i 8,476 u Siriji **???**
- **Najsmrtonosniji zemljotres** u Turskoj još od **zemljotresa u Antiohiji (526 godine)**
- **160 hiljada objekata** se srušilo ili je teško oštećeno
- Oko 1.5 million ljudi je raseljeno
- Oko 1.5 million ljudi živi u šatorima
- Gubici su oko **\$120 milijardi**



- **SUZI-SAE i ETH Zurich**
- Članovi tima:
- Marko Marinković (SUZI-SAE i Faculty of Civil Engineering University of Belgrade)
- Nikola Blagojević (SUZI-SAE i ETH Zurich)
- Safak Arslantürkoglu (ETH Zurich)
- Nemanja Krtinić (SUZI-SAE i University of Ljubljana)
- Michalis Vassiliou (ETH Zurich)

- Şerife Özata (AFAD)
- Zeynep Ünsal Aslan (AFAD)

- Christoph Butenweg (RWTH Aachen University)

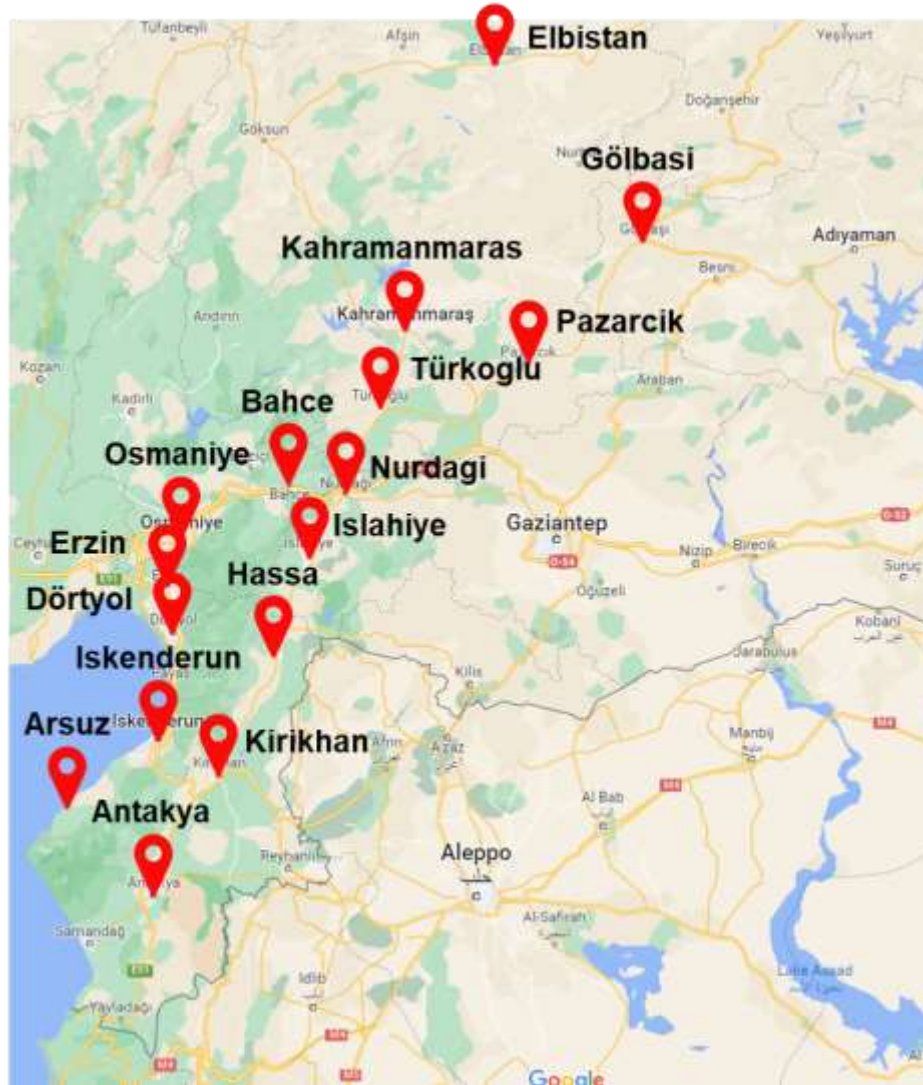
- Marko Marinković (with ACI 133 Committee)



SUZI i ETH

ACI 133





SUZI i ETH



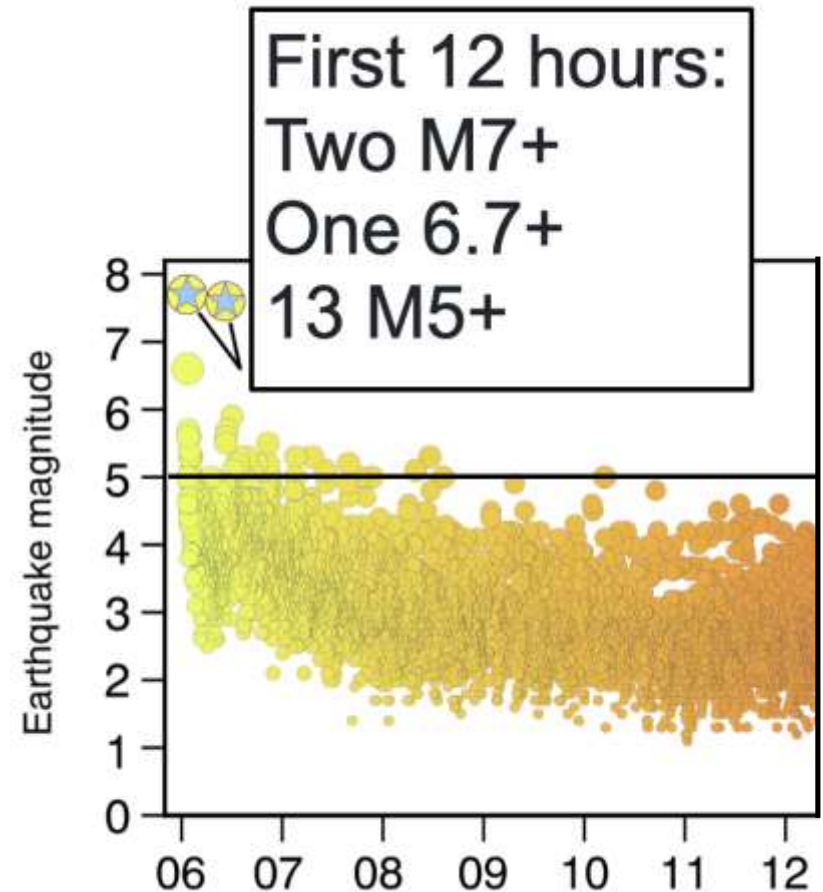
ACI 133

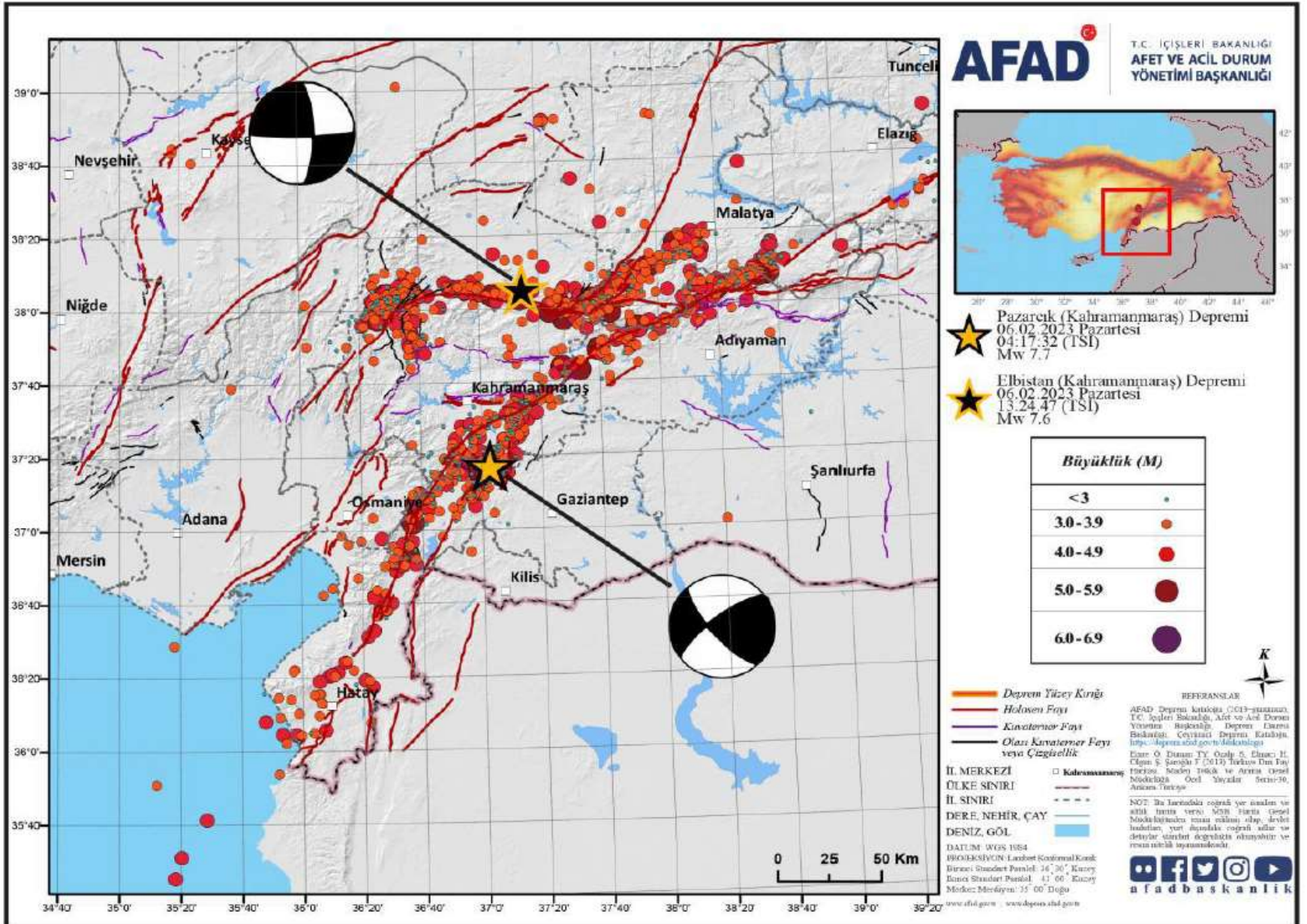
Seizmološki aspekti

- **Mw 7.8**, epicentar blizu grada Pazarcik
- Na lokaciji Istočnog Anatolijskog raseda
- „Basin effects“ i amplifikacija usled tla →
Izuzetno Velika ubrzanja (čak do **1.3g PGA i 170 cm/s PGV**)
- **Spektar odgovora** za nekoliko lokacija je premašio projektne vrednosti
- **Puno naknadnih potresa**: 3 magnitude veće od 6 i 30 magnitude veće od 5

Seizmološki aspekti

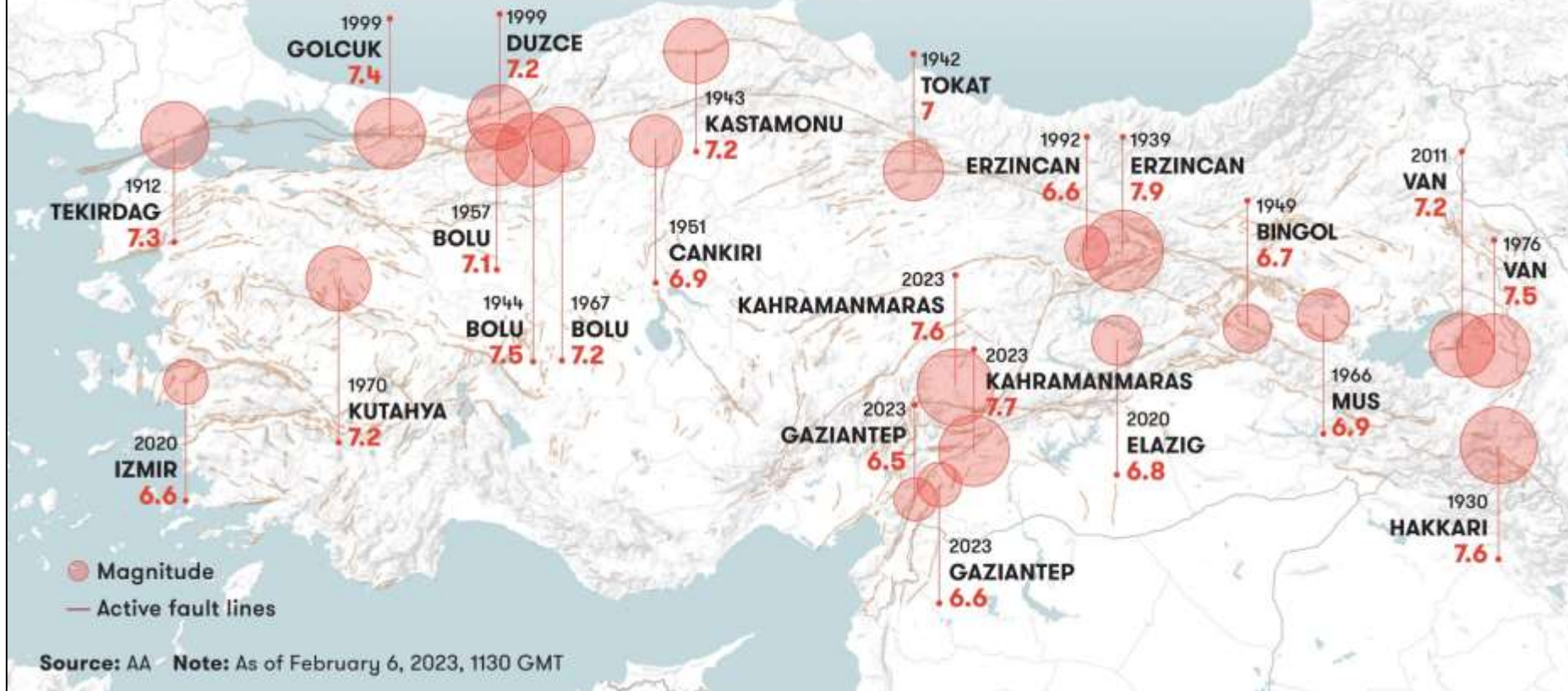
- 9 sati kasnije (13:24), **Mw 7.5** na dubini od 10 km, sa epicentrom blizu grada Elbistan (AFAD)
- Kahramanmaras **PGA: 0.63g, PGV: 170 cm/s**; Malatya PGA: 0.47g, Adana PGA: 0.4g.
- Pokrajina Hatay, **Mw 6.4** zemljotres **Februar 20**, dve nedelje nakon prva dva velika zemljotresa.





Istorija zemljotresa u Turskoj

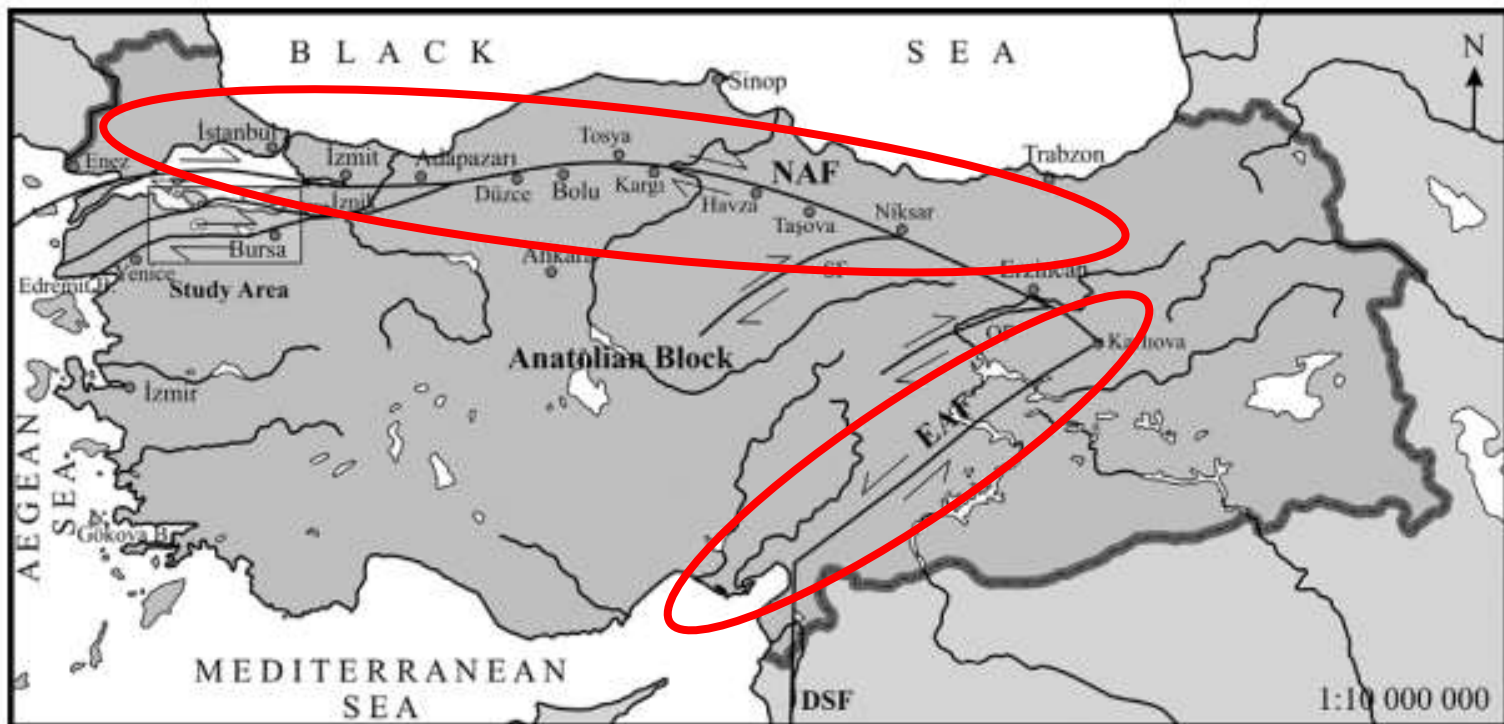
MAJOR EARTHQUAKES IN TÜRKİYE'S RECENT HISTORY



Seizmološki aspekti

- Anatolijska ploča
- Između Evroazijske i Arapske
- Zemljotres generisan na transkurentnom rasedu

Strike-slip
earthquake



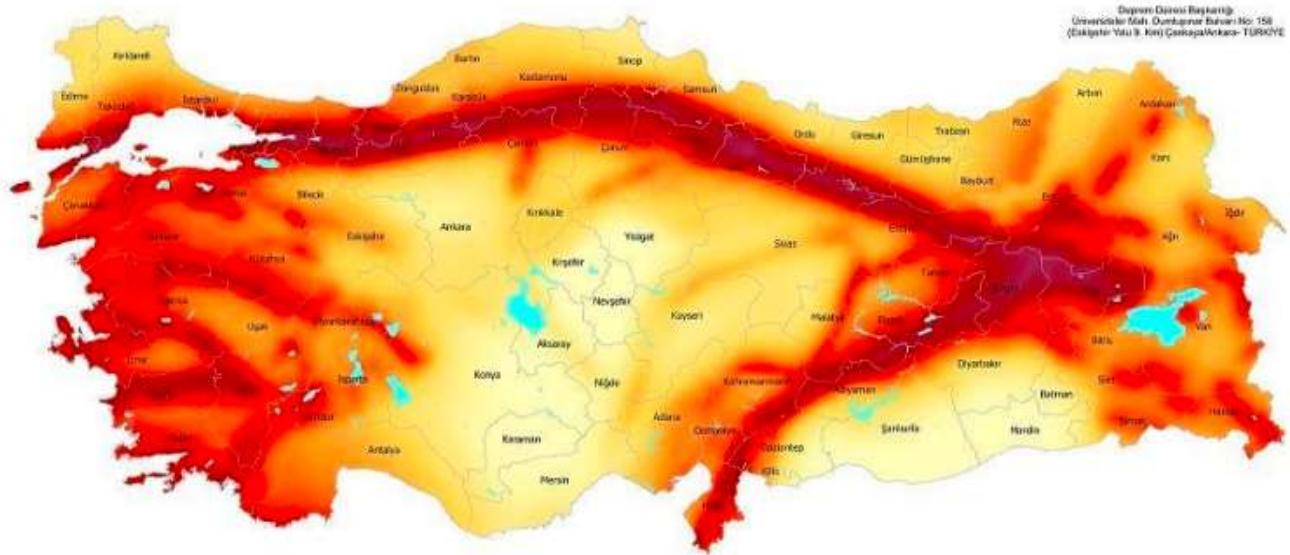
Seizmološki aspekti

- Dužina raseda oko 300 km
- 3m pomerenje



Seizmički hazard

- Mapa ubrzanja (PGA) za povratni period od 475 years (AFAD 2023)



Bu harita, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) kapsamında gerçekleştirilen UDAP-Ç-13-08 kod no'lu "Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi" başlıklı projesinin sonuçları kullanılarak hazırlanmıştır.

Bu harita, zemin koşulu (Vs) = 780 m/s esas alınarak hazırlanmıştır. Yerel zemin koşullarının neden olabileceği sivilşma, büyütme, farklı oturma gibi tehlikeleri içermemektedir.

Kaynak Gösterme; Bu haritanın kullanılması AFAD, 2018, Türkiye Deprem Tehlike Haritası şeklinde kaynak belirtilmesi gerekmektedir.

20180 Haritanın telif ve iznbas hakkı AFAD Başkanlığına aittir. AFAD'ın yazılı izni alınmadan elektronik, optik, mekanik veya diğer yollarla çoğaltılması, dağıtılması, basılması, yayımlanması durumunda gerekli hukuki yollara başvurulacaktır.



DD-1: 2% in 50 years (2475 years)

DD-2: 10% in 50 years (475 years)

DD-3: 50% in 50 years (72 years)

DD-4: 68% in 50 years (43 years)

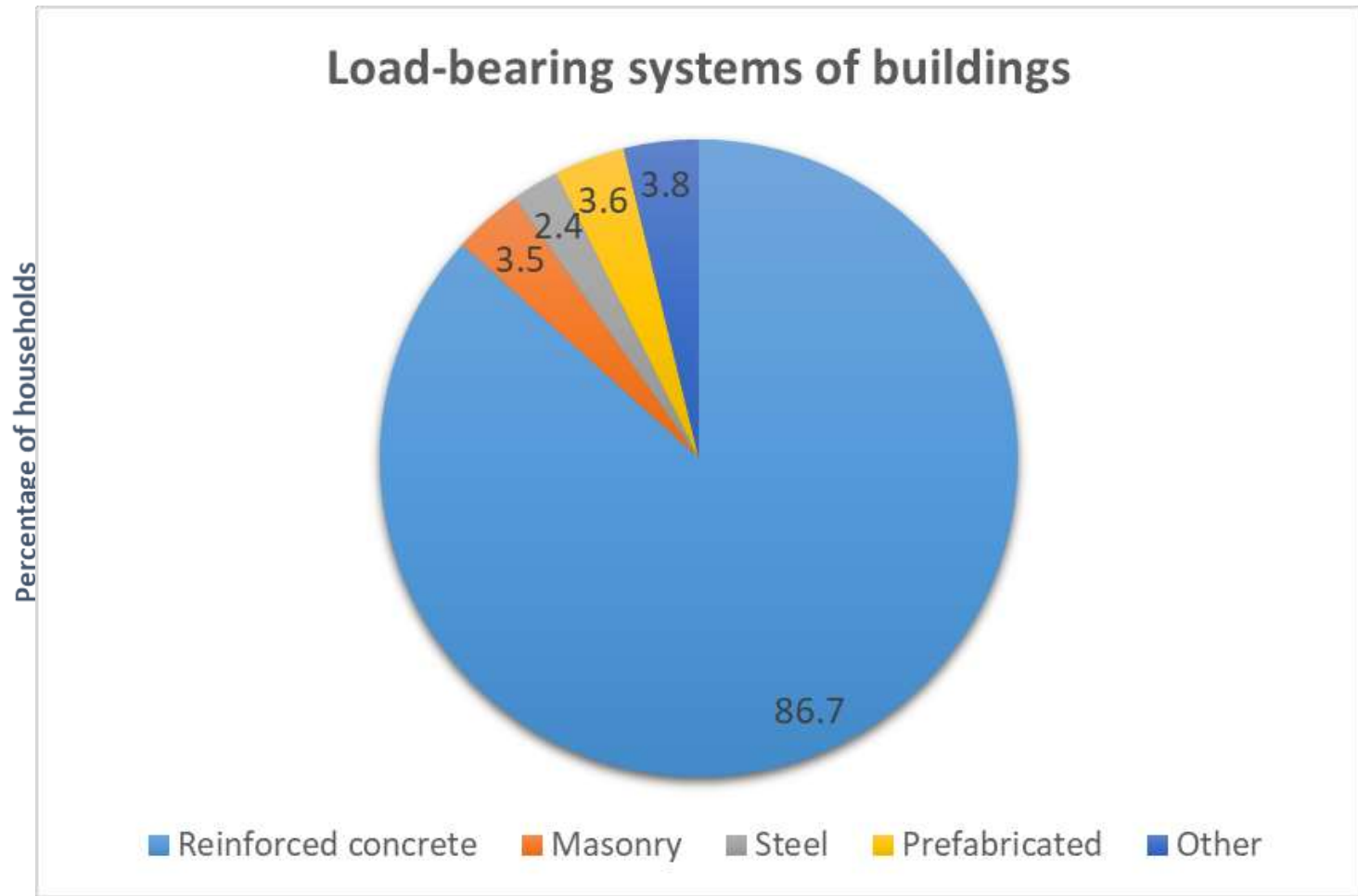
Prihvatljivi kriterijumi ponašanja konstrukcije

- Obnova do funkcionalnosti (Functional recovery)???

| | | Design Performance Level | | |
|-------------------------|---|---|--|---------------------------------------|
| | | Operational performance level | Life safety performance level | Collapse prevention performance level |
| Earthquake Hazard Level | 50% / 50years (mean return period 72 years) | Performance Objectives for New Buildings | Unacceptable Performance for New Buildings | |
| | 10% / 50years (mean return period 475 years) | Performance Objectives for Standard Occupancy Buildings | | |
| | 2% / 50years (mean return period 2475 years) | Response Objectives for Emergency | Performance Objectives for Emergency Buildings | |

Građevinski objekti

Load-bearing systems of buildings



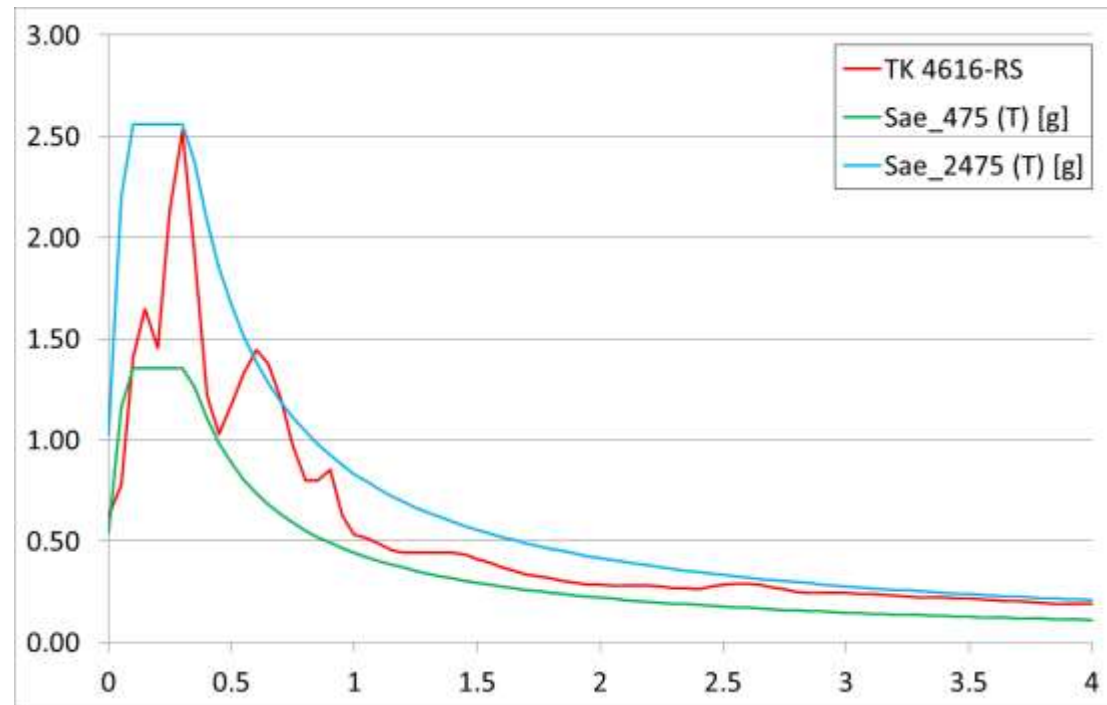
Ta
Pro
Şan
Diy
K.M
Adı
Kilis
Gaz
Hata
Mal
Osn
Adana

2023).
nknown
14.9
8.8
3.3
15.4
14.9
15.9
3.9
9.5
17.3
13.5

Nove zgrade ≥ 50%

Turkoglu

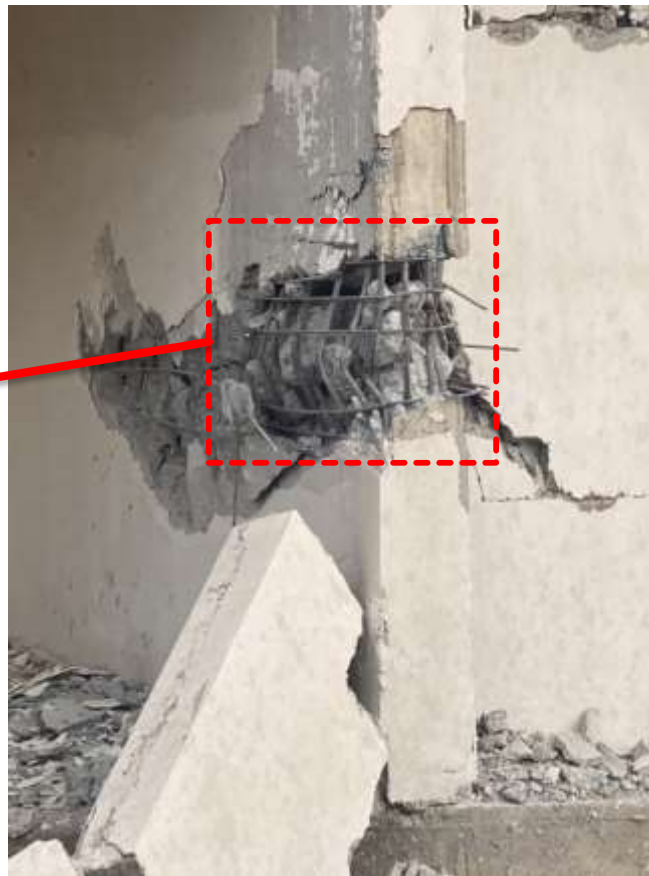
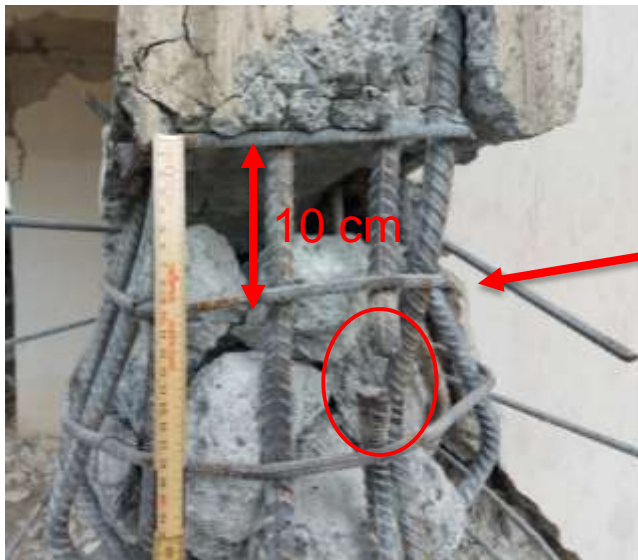
- AB zidovi i stubovi
- Izgradnja počela pre 5 godina
- P+6
- Ispuna jako oštećena (ispala van ravni)



TK 4616 (PGA=0.665 g; PGV=98.03 cm/s)

Turkoglu

- Uzengije sa kukama pod 90°
- Uzengije na 10cm
- Otvaranje uzengija
- Lom podužne armature



Turkoglu

- AB zidovi i stubovi, 2019
- Uzengije sa kukar
- Zgrada pored ove
- „Kratki stub“ - Lon



Pre



Posle

Turkoglu

- AB zidovi (30 cm) + ispuna
- Lom ispune van ravni



Turkoglu

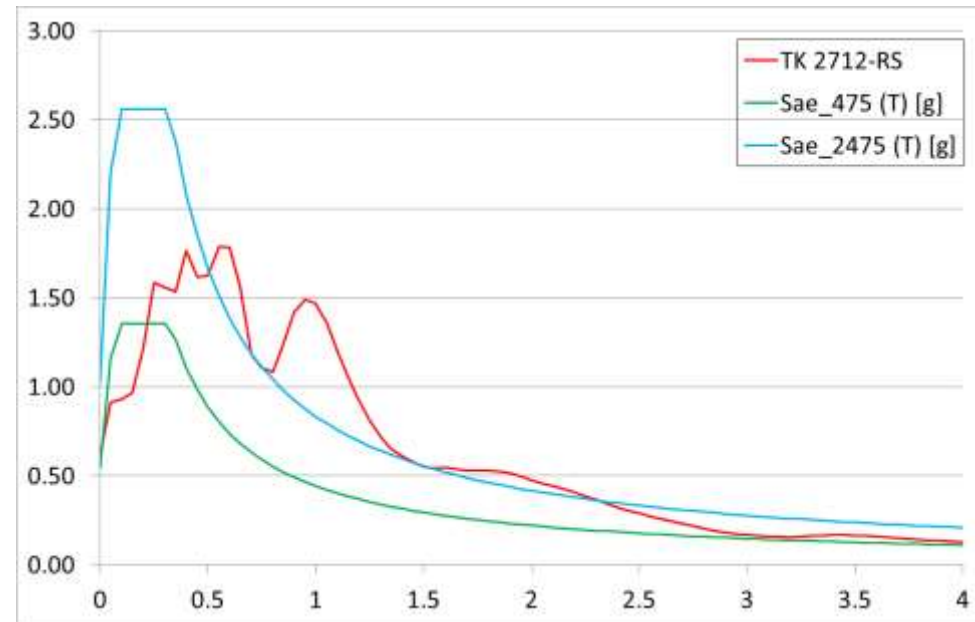
- 1mm pukotine u AB zidu



Nurdagi

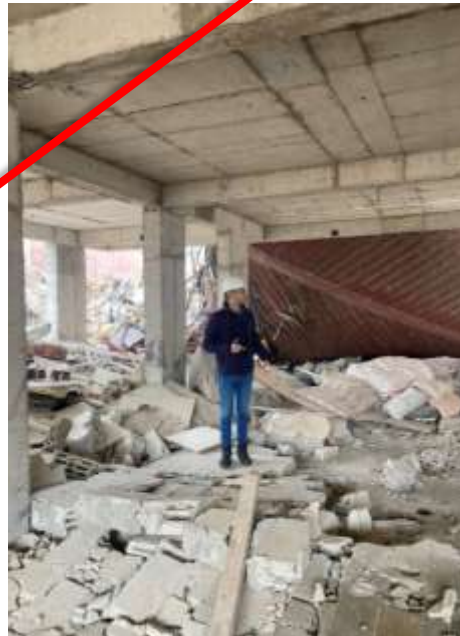
- Jako oštećen
- Skoro celo mesto je pod procesom rušenja zgrada
- Izgrađena u poslednjih 10-15 godina
- Većina srušenih objekata usled fleksibilnog sprata

TK 2712 (PGA=0.615 g; PGV=110.93 cm/s)



Nurdagi

- AB ramovska
- P + 4 floors (u izgradnji)
- Nedovoljne dužne preklapanja
- Infill damage and collapse
- Izvijanje armature



Nurdagi

- Škola (AB, 35 godina)
- Preko puta ulice
- Bez konstruktivnih oštećenja



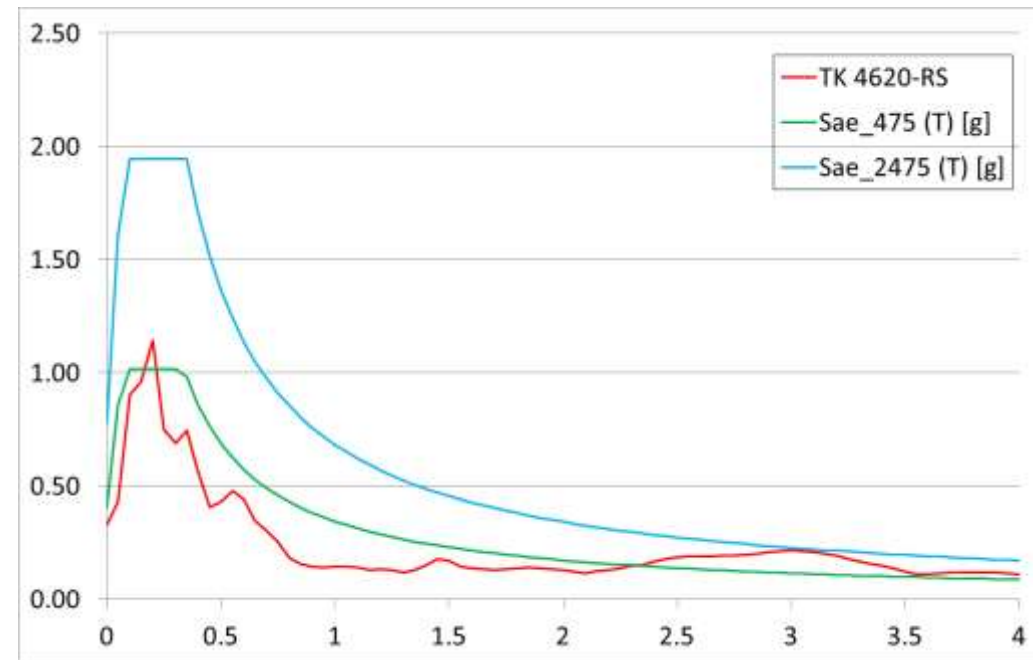
Blizu Nurdaži

- Fabrika suncokretovog ulja
- Lom „kratkog stuba“
- Stub dimenzija 70x50 cm
- Uzengije sa kukama na 135°



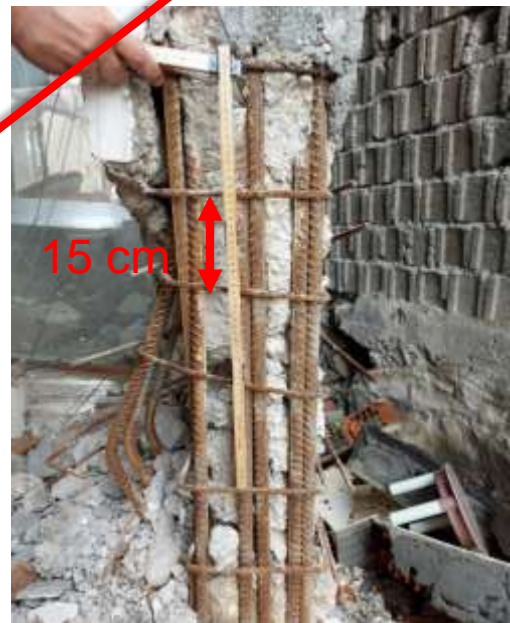
Kahramanmaras

- AB ramovska sa AB platnima, oko 2000 god.
- P + 8



TK 4620 (PGA=0.33 g; PGV=37.40 cm/s)

Kahramanmaras



Kahramanmaras Trabzon bulevar

- Jedna strana ulice – sve strane srušene
- Na drugoj strani ulice – jedna zgrada se srušila („pancake“)



Kahramanmaras Trabzon bulevar

- Ulica ispod nema srušenih zgrada
- Glatka armatura
- Tlo



Kahramanmaras

- AB zidovi, 2008
- Dve identične zgrade jedna pored druge – Prva se srušila!



Kahramanmaras – druga zgrada jako oštećena



Kahramanmaras

- Lom AB zidova u slabijem pravcu
- 20 cm debljina AB zidova
- Ispuna na nižim spratovima ispala van ravni



Kahramanmaras

- Srbija!!!



Turska



Srbija



Srbija

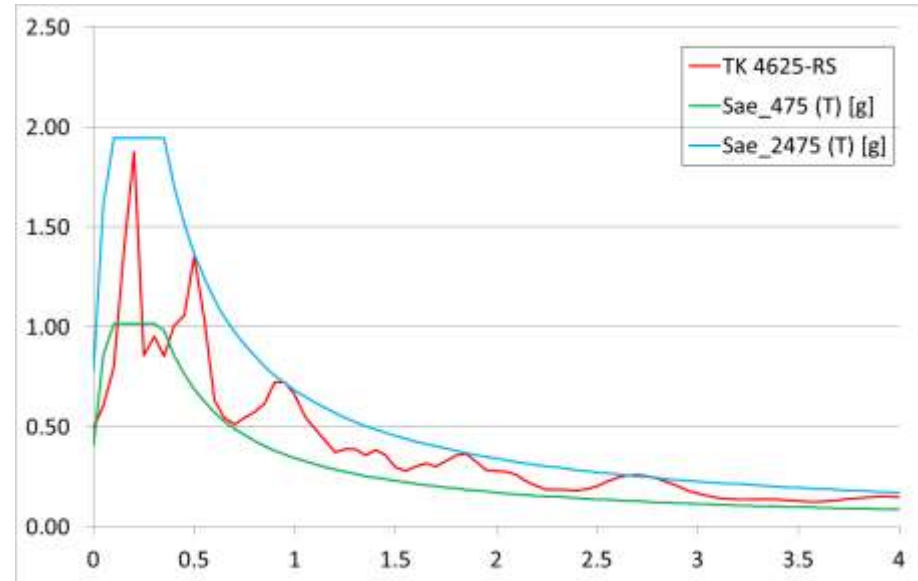
U blizini Kahramanmaraş

- AB ramovska
- Fleksibilni sprat

Pre



Posle



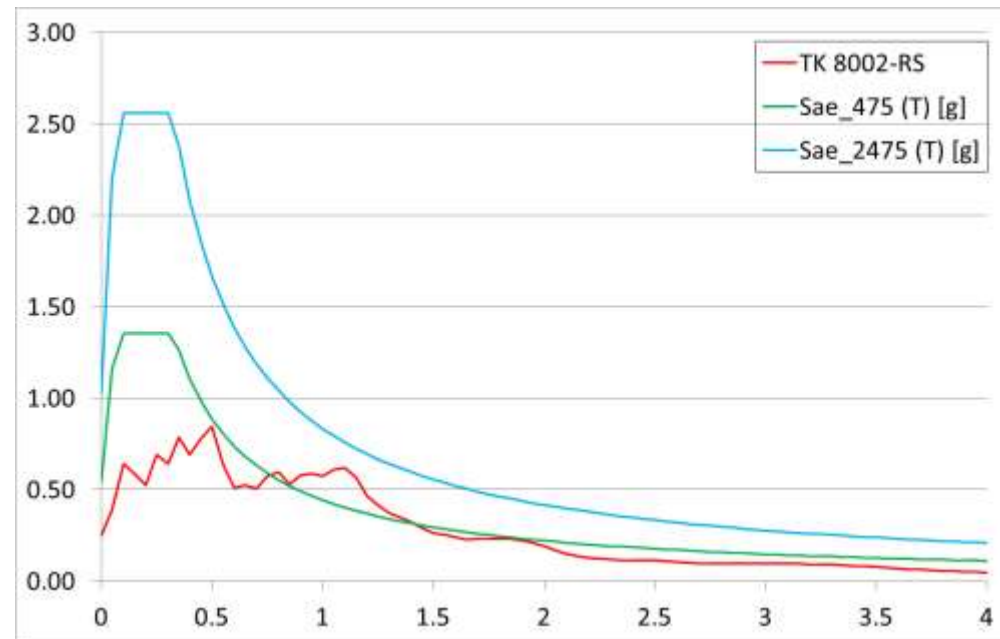
TK 4625 (PGA=0.49 g; PGV=67.12 cm/s)

Posle



Bahce

- AB ramovska – 2020 god. (**mala konstruktivna oštećenja**)
- P + 5 (Nekoliko identičnih zgrada)
- Nema AB zidova i mali broj zidova ispune u prizemlju
- Otvoreno prizemlje za parking!



TK 8002: (N-S) PGA=0.25 g, PGV=45.0 cm/s

(U-D) PGA=0.34 g, PGV=18.41 cm/s

Bahce

- Stubovi – 50x50 cm, 30x80 cm



Bahce



Bahce

- AB srušene („pancaked“)
- Nearmirana zidarija



Gölbasi

- Likvefakcija, blizu jezera
- Nagnute zgrade (5 to 10°)
- Velika sleganja

Pre



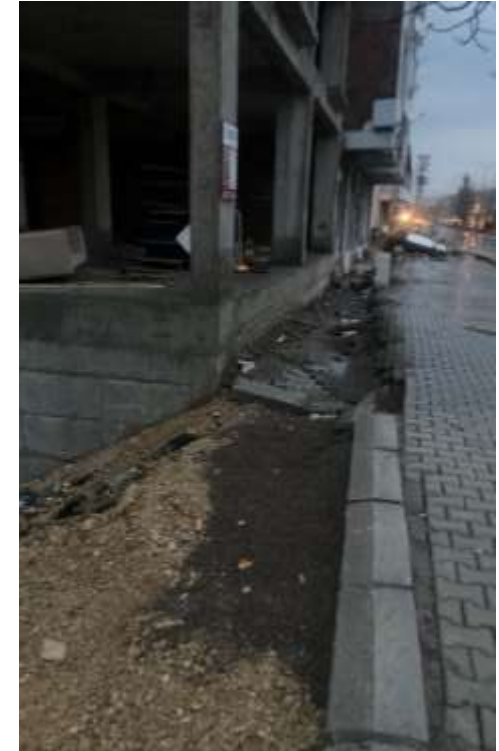
Posle



Gölbasi



Nagnuta: 7°



Gölbasi

- Pukotine na ulici



Iskenderun

- AB ramovske, 1965-1975
- P+3 (zbog lifta)



Iskenderun

- AB ramovska, Centar za dijalizu
- P+4
- Glatka armature
- Neadekvatno sidrenje armature

Pre

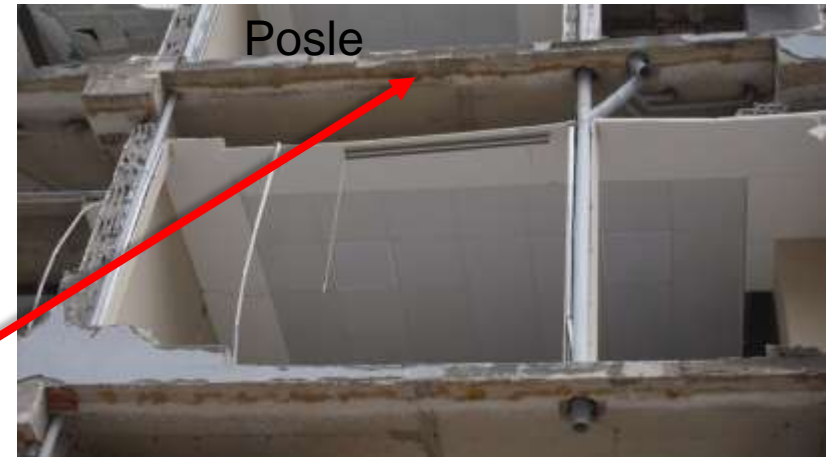


Posle



Iskenderun

- AB ramovska, Bolnica
- P+4
- Pur pena za vezu ispune i rama



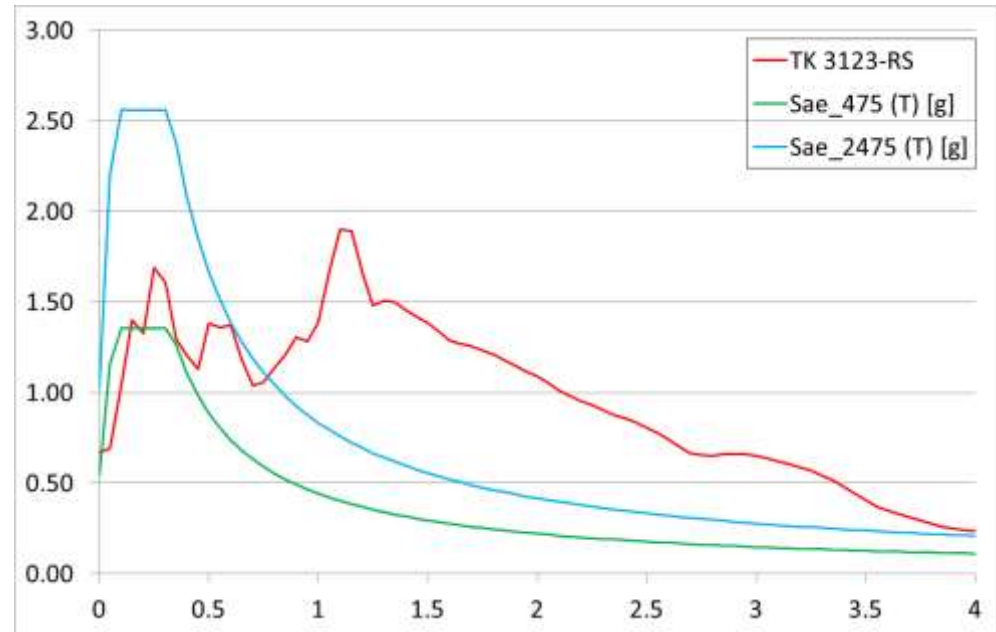
Pur pena

- Popularna u Srbiji



Antakija (Antiohija)

- Najteže pogođena
- Intenzivna rušenja u toku – totalna promena grada
- Meko tlo pored reke
- Na brdu daleko manja oštećenja



TK 3123 (PGA=0.667 g; PGV=188.82 cm/s)

Antakija (Antiohija)

- AB ramovska, 8-10 godina stara
- P+7, jedna od najskupljih
- Preturanje (u toku Mw 7.8)
- Izazvano fleksibilnim spratom



Antakija (Antiohija)

- AB ramovska, oko 3 godine stara
- P+7
- Preturanje
- Fleksibilni sprat



Antakija (Antiohija)

- Hotel Saray***
- P + M + 3
- Blizu reke

Pre



Posle



Antakija (Antiohija)

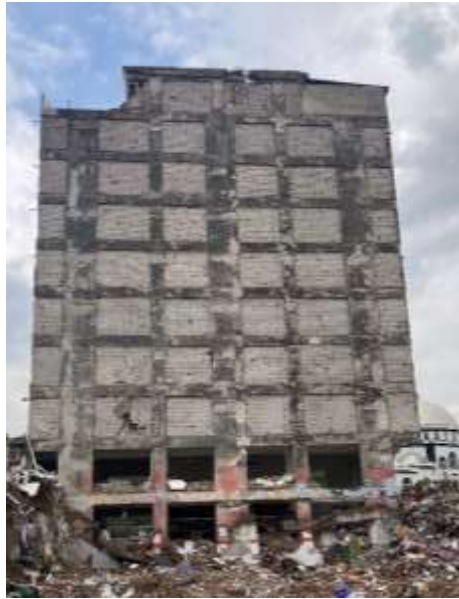
- Lom ispune
- Ispadanje van ravni
- Najdominantniji tip oštećenja
- Uglavnom na nižim spratovima
- Kombinacija opterećenja u ravni i upravno na ravan zida ispune
- Neadekvatna veza rama i ispune



Antakija (Antiohija)



Antakija (Antiohija)



Svi tipovi blokova su se loše ponašali kao ispuna

- Briket (betonski blokovi)
- Šuplji opekarski blokovi



Svi tipovi blokova su se loše ponašali kao ispuna

- Briket (betonski šuplji blokovi)



Svi tipovi blokova su se loše ponašali kao ispuna

- AAC



Svi tipovi blokova su se loše ponašali kao ispuna

- Horizontalno orijentisani blokovi od opeke



Unutar domova

- Stanari ne žele da se vrate u domove
- Ne veruju tim zgradama



Erkeri

- Zabraniti
- Ne postojanje veze sa konstrukcijom
- Svi su popadali



Erkeri i zidana ispuna

- Popularno i u Srbiji!!!
- Beograd



Erkeri i zidana ispuna

- Popularno i u Srbiji!!!
- Novi Sad



Male dimenzije AB zidova (Wallumns) ili nepostojanje AB zidova



Turska



Srbija



Fleksibilni sprat

- AB ramovska – fleksibilni sprat
- P + 2 floors
- Srušila se pri Mw 6.4 (oštećena u Mw 7.8 i Mw 7.5)

- AB ramovska – 1972
- P + 4 floors

Pre



Pre



Posle



Posle



Fleksibilni sprat



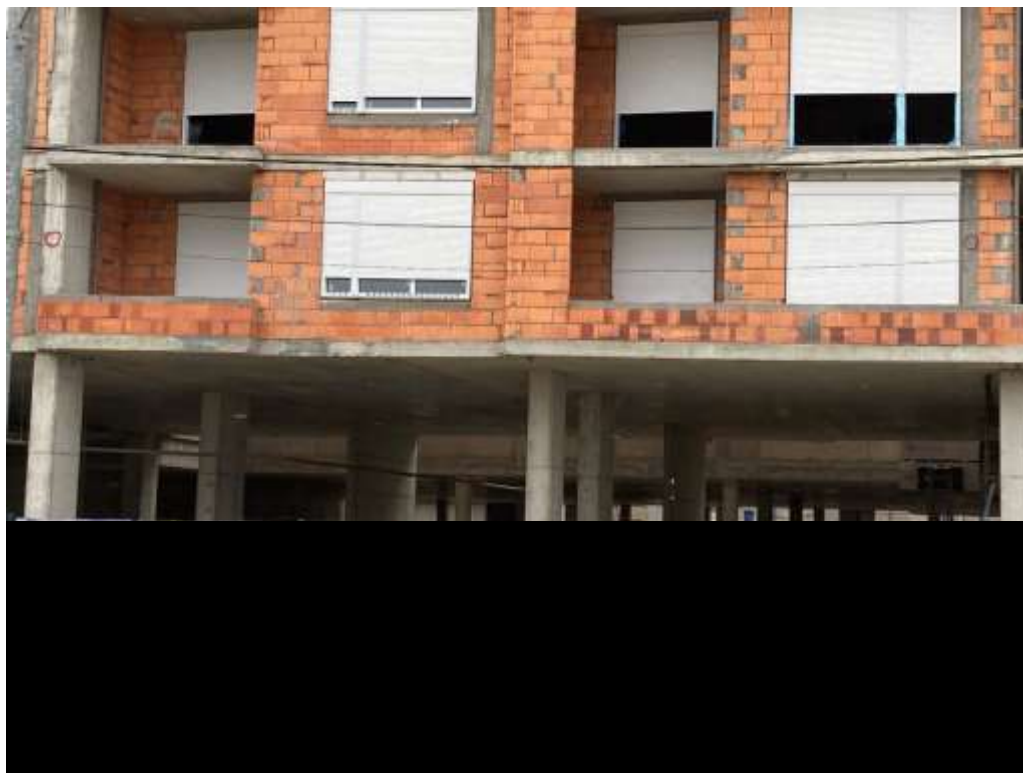
P+1



P+3

Fleksibilni sprat

- Srbija
- Beograd



Fleksibilni sprat

- Srbija



Kraljevo



Beograd

Neadekvatan preklop armature

- Na dnu zidova
- Uzengije?
- Detalji armiranja



Smičući lom AB zidova

- X pukotina



Detalji armiranja

- Uzengije sa kukama na 90°



Asmolen (lake betonske tavanice sa blokovima ili stirporom)

- U kombinaciji sa pločama direktno oslonjenim na stubove
- “Plitke” grede
- Loše ponašanje



Asmolen (lake betonske tavanice sa blokovima ili stirporom)



Instalacije kroz noseće elemente



Turska



Turska



Srbija

Antakija (Antiohija)

- Zgrada otporna na zemljotrese - reklama



Deponije šuta

- Nova brda



Tunnel form

- AB zidovi, liveni na licu mesta, jednostavna oplata (kao tunel)
- Za siromašne, masovna gradnja
- Jako dobro ponašanje
- Jedna se srušila
- Lom veznih greda („coupling beams“)



Tunnel form

- Bez AB zidova u drugom pravcu (ili mali broj)
- Tanki AB zidovi i loši detalji armiranja
- Neadekvatan preklop armature



Bolnice

- 12 bazno izolovanih bolnica
- **Od 2013** seizmička izolacija bolnica sa **100+ kreveta** je obavezna po zakonu
- Neizolovane bolnice – **jako velika oštećenja i rušenja**
- **Sve operativne** nakon zemljotresa u toku zemljotresa
- Malatya bolnica nije prekinuta ni operacija
- **Stotine** zdravstvenih ustanova je oštećeno
- **15** bolnica je **jako oštećeno ili se srušilo**
- **Neke čak sa doktorima i pacijentima unutar objekata**
- **30% bolnica je oštećeno van granice popravljivanja (Srušene ili jako oštećene)**

Bolnice

- Iskenderun bolnica
- Glavni centar za obuku i istraživanje
- **Prestanak funkcionisanja usled rušenja ispune van ravni (veza uz pomoć pur pene).**



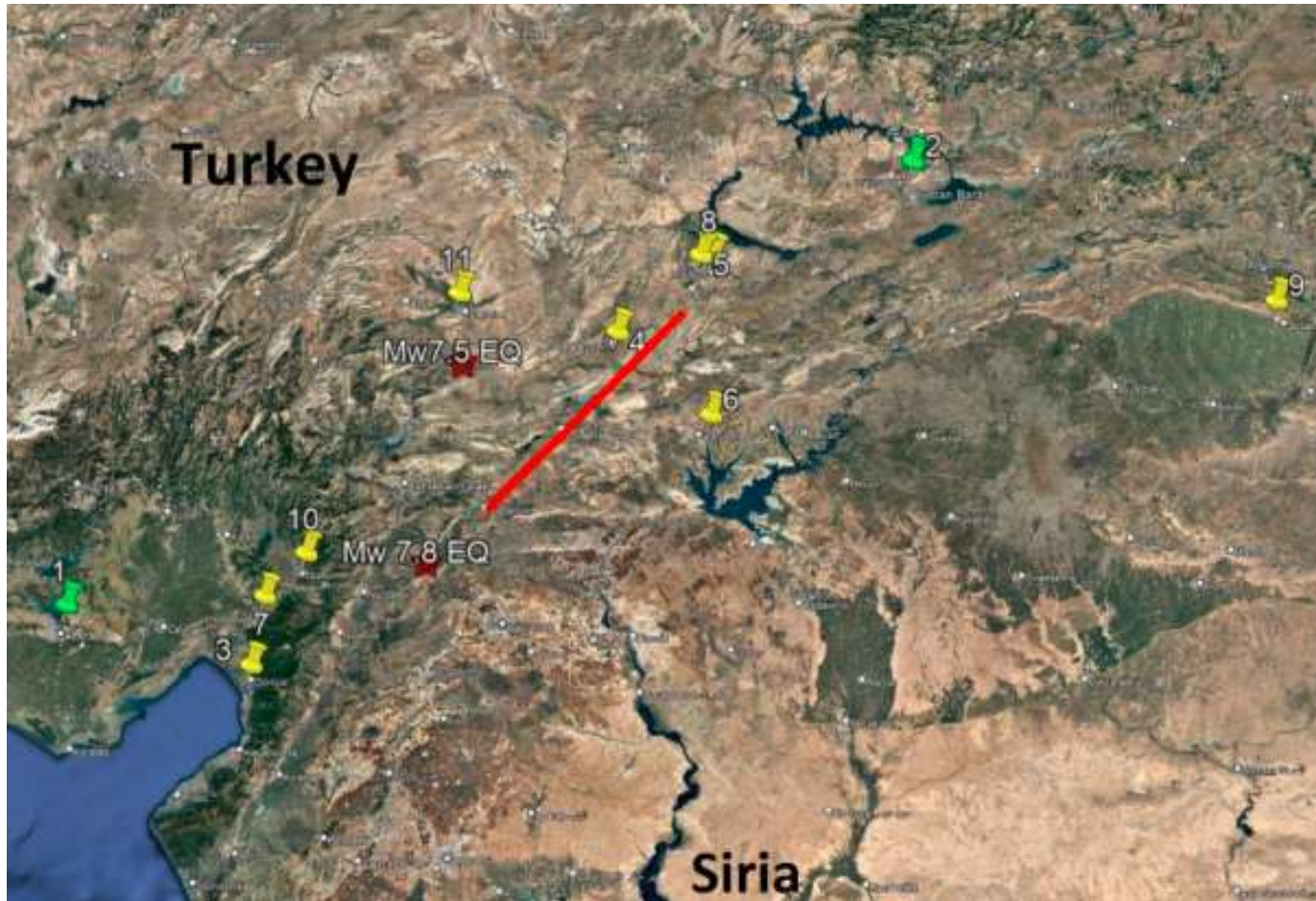
Bolnice

- Pazarcik državna bolnica
- Nema oštećenja konstruktivnih elemenata
- Velika oštećenja nekonstruktivnih elemenata → ispune
- Veliko oštećenje gipsanih pregradnih zidova
- Zdravstvena usluga u šatorima ispred bolnice



Bazno izolovane bolnice

- Lokacije



Elbistan

- 600 kreveta, 540 SIP izolatora



Osmaniye

- 600 kreveta, 540 izolatora



Blizu Kahramanmaras

- Curved surface slider (CSS)
- U izgradnji



Rezime

- Serija jakih zemljotresa
- Kvalitet materijala i detalji izvođenja
- Fleksibilni sprat → preturanje
- Nelegalna nadogradnja
- Neadekvatni detalji armiranja (kuke, razmak uzengija, sidrenje, preklopi)
- Oštećenja zidane ispune (iako su date smernice u TBDY 2018 propisu)
- „Kratki stub“
- **Koncept i dispozicija objekta**
- **Više AB zidova adekvatnih dimenzija i detalja armiranja**
- **Rešenje za zidanu ispunu**
- **Bazna izolacija za objekte od značaja**
- **Projektovanje i izvođenje u skladu sa propisima!!!**
- **Turska ima dobro znanje o zemljotresima ali nedostaje veza između nauke i prakse**
- **Capacity design approach failed on a big scale!!!**

ETH/SUZI Reconnaissance Mission

- Zahvalnica:
 - Zahvaljujemo se pojedincima i organizacijama koji su nam pomogli u različitim fazama naše misije
 - AFAD i Dr. Recep Cakir, Prof. Orhan Tatar, and Filiz Tuba Kadirioğlu, koji su nam omogućili pristup pogođenim regionima.
 - Prof. Svetlana Brzev, Prof. Ayhan Irfanoglu, Prof. Polat Gulkan, Prof. Alper Ilki, Prof. Murat Altuğ Erberik, Dr. Kurtuluş Atasever, Gözde Özgün za pomoć u planiranju misije
 - Nursen Büyükasik, Fuat Büyükaşık, Murat Akpınar za saradnju i pružanje informacija na terenu.
- **Studijska poseta je finansijski podržana:**
- SIKA d.o.o. Srbija
- Chair of Structural Dynamics and Earthquake Engineering, ETH Zurich
- Chair of Seismic Design and Analysis at ETH Zurich
- Fakultet za gradbeništvo in geodezijo, Univerzitet u Ljubljani
- SUZI-SAAE

Svetske organizacije koje su poslale svoje timove u Tursku:

- EERI, USA
- GEER, USA
- StEER, USA
- ACI, USA
- ASCE, USA
- SMIS, Mexico
- EEFIT, UK
- NTUA, Greece
- EUCENTRE, Italy
- ETH, Swiss
- **SUZI-SAAE, Serbia**



BUILDING TRUST

SU | SA
ZI | EE

ETH zürich

Univerza v Ljubljani



THANK YOU!

