

# Poređenje rezultata interferometrijske analize za zemljotrese na istočnom anatolijskom rasedu od 2020. i 2023. godine

Dragan Živković



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Poređenje rezultata interferometrijske analize za zemljotrese na istočnom anatolijskom rasedu od 2020. i 2023. godine | Dragan Živković || 2024 ||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0008843>



**Univerzitet u Beogradu**  
**Rudarsko-geološki fakultet**



**Završni rad**

**Master akademske studije**

**POREĐENJE REZULTATA  
INTERFEROMETRIJSKE ANALIZE ZA  
ZEMLJOTRESE NA ISTOČNOM ANATOLIJSKOM  
RASEDU OD 2020. I 2023. GODINE**

Kandidat

Dragan Živković G601/23

Mentor

dr Dragana Đurić, van. prof.

Beograd, septembar, 2024. godine

**Komisija:**

1. dr Dragana Đurić, vanredni profesor, mentor

---

Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

2. dr Snežana Ignjatović, vanredni profesor, član

---

Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

3. dr Uroš Stojadinović, vanredni profesor, član

---

Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

**Datum odbrane:** \_\_\_\_\_



## Rezime

Ovaj rad se bavi analizom površinskih deformacija izazvanih zemljotresima u Turskoj iz 2020. i 2023. godine korišćenjem diferencijalne satelitske radarske interferometrije (DInSAR tehnike). Cilj istraživanja bio je da se kvantifikuju i uporede deformacije terena izazvane ovim seizmičkim događajima i da se razumeju mehanizmi koji stoje iza oslobađanja seizmičke energije u regionu.

Analizom DInSAR snimaka, identifikovane su različite deformacije duž rasednih zona za svaki zemljotres. Dok je zemljotres iz 2020. godine (M 6,7) izazvao lokalizovane deformacije duž Istočno anatolijskog raseda, zemljotres iz 2023. godine (M 7,8 i M 7,5) pokazao je složenu sekvencu rupture koja je obuhvatila više rasednih segmenata u blizini Kahramanmaraškog trostrukog spoja. Migracija ovog trostrukog spoja i redistribucija stresa tokom vremena verovatno su uticali na kompleksnu dinamiku raseda u regionu.

DInSAR tehnika se pokazala kao efektivna metoda za otkrivanje površinskih pomeranja i kvantifikaciju deformacija, pružajući uvid u tektonske procese i omogućavajući bolju procenu seizmičkog rizika u seizmički aktivnim regionima. Ovi nalazi su ključni za razumevanje interakcija između tektonskih ploča i unapređenje strategija za smanjenje rizika od budućih zemljotresa.

*Ključne reči: DInSAR, Istočno anatolijski rased, Kahramanmaraški trostruki spoj*



## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. KARAKTERIZACIJA PODRUČJA I ZEMLJOTRESA .....	2
2.1 Trostruki spoj .....	3
2.1.1 Konvergentni trostruki spojevi.....	4
2.1.2 Kahramanmaraški trostruki spoj (MTJ) .....	6
2.2 Istočno anatolijski rased .....	8
2.3 Zemljotres u Turskoj (24.01.2020) .....	11
2.4 Zemljotres u Turskoj (06.02.2023).....	13
3. METODOLOGIJA.....	16
3.1 Diferencijalna satelitska radarska interferometrija (DInSAR) .....	16
3.2 Podaci .....	19
3.3 Obrada podataka.....	21
4. REZULTATI I DISKUSIJA .....	26
5. ZAKLJUČAK .....	30
LITERATURA.....	31



## UVOD

Istočno anatolijski rased (EAFZ) predstavlja jednu od najaktivnijih seizmičkih zona na svetu i značajnu granicu između Anatolijske i Arabijske tektonske ploče. Ovaj rased je odgovoran za mnoge razorne zemljotrese koji pogađaju milione ljudi u Turskoj i okolnim regijama. Seizmička aktivnost na EAFZ-u direktno utiče na dinamiku Zemljine kore, čineći praćenje i analizu deformacija tla ključnim za razumevanje mehanike raseda i procenu budućih seizmičkih rizika (Güvercin et al., 2022).

Diferencijalna interferometrijska sintetička radarska apertura (DInSAR) je tehnika koja omogućava precizno praćenje pokreta tla pre, tokom i nakon seizmičkih događaja. DInSAR koristi višestruke radarske snimke istog područja uzete u različitim vremenskim intervalima da bi se izračunale promene u visini tla s milimetarskom preciznošću. Ova tehnika je posebno korisna za detekciju suptilnih pomeranja tla koja se ne mogu lako uočiti tradicionalnim metodama, što je od suštinskog značaja za unapređenje seizmičkih modela i smanjenje rizika od budućih zemljotresa (Ansari et al., 2023)

Poređenje DInSAR podataka iz različitih godina pruža dragocene uvide u razvoj seizmičkih događaja i njihovu međusobnu povezanost. Posebno, poređenje deformacija tla između zemljotresa iz 2020. godine u Elazigu (M 6,7) i velikog zemljotresa iz 2023. godine u Malatyi (M 7,8) omogućava analizu akumulacije i oslobađanja stresa duž raseda. Ovakva analiza pomaže u boljem razumevanju kako prethodni seizmički događaji utiču na naknadnu aktivnost i razvoj seizmičkih modela (Zaccarelli et al., 2019)

Kombinovanje podataka iz različitih perioda pruža mogućnost za razvoj preciznijih modela seizmičkog rizika, što je od ključnog značaja za planiranje zaštite infrastrukture i smanjenje gubitaka u seizmički aktivnim regionima. Ovi modeli nisu korisni samo za Tursku, već i za globalnu naučnu zajednicu jer pružaju uvid u ponašanje sličnih tektonskih raseda širom sveta. Razumevanje i predikcija seizmičkih događaja direktno utiču na živote miliona ljudi u blizini seizmički aktivnih regiona, omogućavajući bolje planiranje civilne zaštite i jačanje otpornosti zajednica na prirodne katastrofe (Kotha et al., 2020).



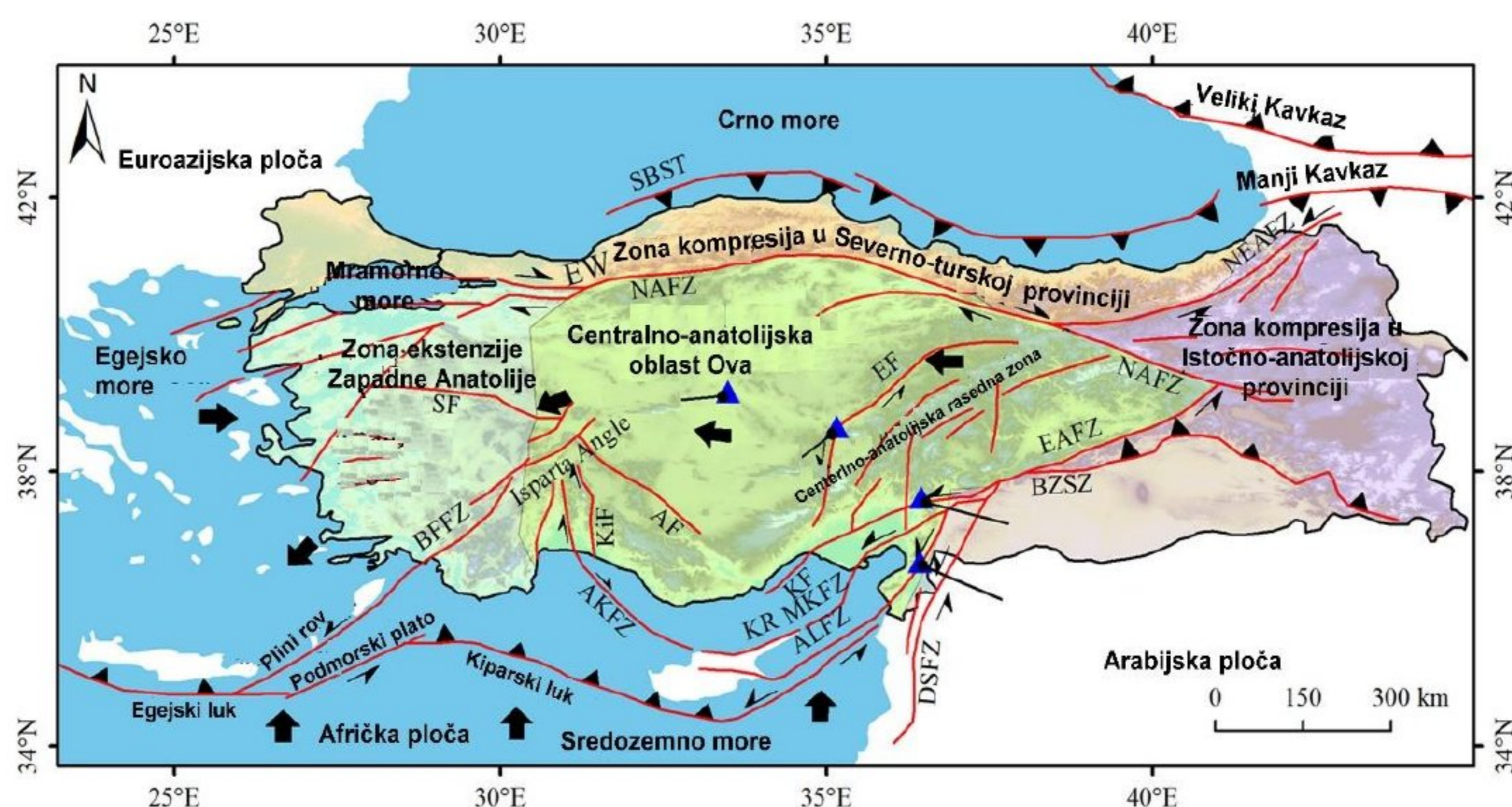
## KARAKTERIZACIJA PODRUČJA I ZEMLJOTRESA

Turska, sa svojom osnovom koja obuhvata Anatolijsko poluostrvo, nalazi se na tektonski aktivnom području. Ima istorijski zabeležene značajne zemljotrese zbog kontinuiranog sudaranja Afričke, Arabijske i Evroazijske ploče (Slika 1). Neotektonski period u Turskoj započeo je tokom srednjeg miocena (pre oko 13 miliona godina), kada je došlo do zapadnog tektonskog pomeranja Anatolijske ploče, što je dovelo do diferencijalnog izdizanja između južnog i zapadnog dela poluostrva (Şengör, 1980; Şengör et al., 1985). Deformacioni obrazac Anatolije proizilazi iz interakcije fragmenata kore, ograđenih različitim rasednim zonama (Sançar et al., 2019). Međutim, mehanizam ekstruzije Anatolije i dalje je predmet rasprave, sa različitim hipotezama koje pokušavaju da objasne zapadno pomeranje Anatolijske ploče (McKenzie, 1972; Özeren and Holt, 2010; Reilinger et al., 2006; Şengör et al., 1985). Od kasnog miocena, u Turskoj je došlo do sveobuhvatne reorganizacije reljefa, kao rezultat sudara između Arabijske i Anatolijske ploče, što je dovelo do raznovrsnih geomorfoloških pejzaža koji su danas prisutni. Kao jedno od seizmički najaktivnijih područja na svetu, Turska obuhvata značajan deo Anatolijske ploče.

Subdukcija Afričke ploče pod zapadnu Tursku i Egejski region uzrokuje ekstenziju kontinentalne kore duž Egejske ekstenzione provincije. Usled kretanja Arabijske ploče ka severu, u odnosu na Evroazijsku ploču, istočni deo Turske trpi skraćanje i zadebljanje kontinentalne kore. Kombinacija sila koje vuku Anatolijsku ploču od zone subdukcije ka zapadu i sile, koje je guraju od zone konvergencije ka zapadu, izazivaju kretanje ploče ka zapadu. Anatolijska ploča je ograničena transkurentnim rasednim zonama: Severnom anatolijskom rasednom zonom na severu i Istočno anatolijskom rasednom zonom na jugu. Uzajamno kretanje pomenutih ploča konroliše deformacije kore i povezana je sa seizmičkom aktivnošću u Turskoj (Taymaz et al., 2004).

Glavni granični rasedi su Severno anatolijski rased (NAFZ) i Istočno anatolijski rased (EAFZ), duž kojih su se 6. februara 2023. godine dogodila dva snažna zemljotresa magnitude 7,8 i 7,5 na Kahramanmaraškom trostrukom spoju (MTJ)(Gokkaya, 2016; Kuzucuoğlu et al., 2019; Chadha, 2023).





Slika 1. Glavne regionalne aktivne tektonike i neotektonske provincije Turske

Oznake na slici: AF—Akşehir rased, AKFZ—Aksu-Kirena rasedna zona, ALFZ—Amanos-Larnaka rasedna zona, BFFZ—Burdur-Fetija rasedna zona, BZSZ—Bitlis-Zagros sutura zona, DSFZ—Rasedna zona Mrtvog mora, EAFZ—Istočno anatolijska rasedna zona, EF—Ečemiš rased, KF—Kozan rased, KiF—Kirkavak rased, KR—Kirena planinski venac, KyFZ—Kirena rasedna zona, MKFZ—Misis-Kirena rasedna zona, NAFZ—Severno anatolijska rasedna zona, NEAFZ—Severoistočna anatolijska rasedna zona, SF—Simav rased, SBST—Južna crnomorska potisna zona (Modifikovano prema A. Gürbüz , 2020; A.E. Aksu et al., 2014a, Aksu et al., 2014b; Akbulut, N. et al. ,2009).

## 2.1 Trostruki spoj

Trostruki spojevi, ili tzv. eng. "triple junctions", predstavljaju tačke gde se spajaju tri različite tektonske ploče ili raseda. Ove tačke su ključne za razumevanje dinamike tektonskih ploča i njihovih interakcija. Postoji nekoliko različitih tipova trostrukih spojeva, u zavisnosti od tipa i konfiguracije ploča:

**Konvergentioni Trostruki Spojevi** (eng. *Convergent Triple Junctions*): Ovi spojevi nastaju kada se tri ploče koja se kreću jedna prema drugoj sreću. Ovi spojevi često rezultiraju u složenim geološkim strukturama i mogu uključivati procese kao što su subdukcija i kolizija. Primer konvergentnog trostrukog spoja je Kahramanmaraški



trostruki spoj (eng. Kahramanmaraş Triple Junction) (MTJ) u Turskoj, gde se spajaju Arabijska, Africka i Evroazijska ploča. Ovaj spoj igra značajnu ulogu u geološkoj aktivnosti u regionu, uključujući seizmičke aktivnosti i vulkanske procese (Şengör et al., 1985).

**Ekstenzioni Trostruki Spojevi** (eng. *Divergent Triple Junctions*): Na ekstenzionim trostrukim spojevima, sve tri granice ploča su divergentne, što znači da se ploče povlače jedna od druge, stvarajući riftove i okeanske grebene. Ovakve strukture su primarni izvori formiranja nove okeanske kore, jer se magma iz gornjeg omotača izdiže na površinu kroz pukotine u litosferi, hladi se i stvara nove segmente zemljine kore (Menard, 1971). Tipičan primer divergentnih trostrukih spojeva uključuje interakciju između srednjeokeanskih grebena i riftnih sistema. Jedan od najpoznatijih primera divergentnih trostrukih spojeva je Afarski trostruki spoj u istočnoj Africi, gde se susreću Afrička, Somalijska i Arapska ploča (Mohr, 1983).

**Transformacioni Trostruki Spojevi** (eng. *Transform Triple Junctions*): Ovi spojevi nastaju na Zemljinoj površini gde se sastaju tri tektonske ploče, a svaka granica između ploča je transformni rased. U transformnim trostrukim spojevima, granice ploča se međusobno kreću lateralno, što rezultira visokom seizmičkom aktivnošću jer se ploče neprestano kreću jedna pored druge uz snažno međusobno trenje. Zbog ovog karaktera, transformni spojevi često postaju žarišta za zemljotrese koji mogu biti snažni, ali obično nisu povezani s vulkanskom aktivnošću kao kod konvergentnih ili ekstenzionih spojeva. Jedan od poznatih primera transformnog trostrukog spoja je eng. Rivera–San Andreas–East Pacific Rise Triple Junction, gde se transformne granice susreću u blizini zapadne obale Meksika. Ovaj spoj povezuje San Andreas transformnu granicu sa srednjeokeanskim grebenom istočnog Pacifika (Nicholson et al., 1994).

### 2.1.1 Konvergentni trostruki spojevi

Konvergentni trostruki spojevi predstavljaju geološki izuzetno značajna mesta na Zemljinoj površini gde se susreću tri različite litosferne ploče, pri čemu sve tri granice međusobno konvergiraju, odnosno kreću se jedna prema drugoj. Ovi spojevi su dinamične i kompleksne zone koje se karakterišu jakim geološkim procesima kao što su subdukcija, formiranje planinskih lanaca, intenzivan vulkanizam i česta seizmička



aktivnost, čineći ih ključnim mestima za proučavanje geodinamičkih procesa (Searle, 1986; McKenzie & Morgan, 1969).

Takođe, tu su i kolizije kontinentalnih ploča koje dovode do formiranja velikih planinskih lanaca, kao što su Himalaji, dok su transformne granice prisutne između subdukcijskih zona, gde ploče klize jedna pored druge (DeMets et al., 1990).

Intenzivni geološki procesi, kao što je subdukcija, u ovim zonama uzrokuju značajne topografske promene, formiranje vulkana i razvoj seizmičke aktivnosti. Subdukcija, kao proces u kojem se jedna ploča subdukuje ispod druge, vodi stvaranju značajnih vulkanskih lukova i planinskih lanaca, dok naprezanja usled sudara i subdukcije izazivaju akumulaciju, kao i oslobađanje seizmičke energije, što često rezultira snažnim zemljotresima, ali i intenzivnom vulkanskom aktivnošću (Bird, 2003; Stern, 2002).

Primeri konvergentnih trostrukih spojeva su brojni i pokazuju različite geološke karakteristike zavisno od lokalnih tektonskih uslova. Jedan od značajnih primera je Tonga-Kermadec-Fiji Triple Junction, gde se susreću Pacifička, Indo-Australijska i Tonga ploča, pri čemu Pacifička ploča subdukuje ispod ostalih, što uzrokuje vrlo brzu konvergenciju i intenzivan vulkanizam (Bevis et al., 1995). Još jedan važan primer je Kahramanmaraški trostruki spoj u Turskoj, gde se susreću Anatolijska, Arabijska i Evroazijska ploča. Ovo područje je poznato po složenoj tektonici i visokim nivoima seizmičke aktivnosti zbog sudara i lateralnog kretanja ploča (Şengör et al., 1985). Konvergentni trostruki spoj predstavlja spoj Arabijske, Evroazijske i Indijske ploče, gde subdukcija Arabijske ploče ispod Evroazijske uzrokuje intenzivne seizmičke aktivnosti i vulkanizam (Byrne et al., 1992).

Konvergentni trostruki spojevi imaju značajne geodinamičke implikacije jer utiču na regionalnu tektoniku i igraju ključnu ulogu u oblikovanju Zemljine površine kroz cikluse subdukcije i reciklaže litosfere. To doprinosi razvoju planinskih lanaca, okeanskih rovova i tektonskih basena, a takođe značajno utiče na globalne geodinamičke procese, kao što su tektonika ploča, stvaranje kontinenata i vulkanska aktivnost (Silver et al., 1983). Uprkos njihovom značaju, istraživanje ovih spojeva je izazovno zbog složenih interakcija između više ploča, što zahteva korišćenje naprednih



geofizičkih, geoloških i geodetskih metoda, uključujući seizmologiju, interferometrijsku radarsku analizu (npr. DInSAR) i detaljna terenska istraživanja (Masson et al., 1990).

Posebna pažnja se posvećuje istraživanju seizmičke i vulkanske aktivnosti ovih spojeva jer predstavljaju područja visokog rizika za pojavu prirodnih katastrofa. Zbog čestih i intenzivnih seizmičkih i vulkanskih događaja, konvergentni trostruki spojevi su od kritičnog značaja za procenu prirodnih rizika i razvoj strategija za zaštitu od katastrofa (Molnar & Tapponnier, 1975).

Trostruki spojevi su ključne tačke za proučavanje i razumevanje geoloških i atmosferskih procesa. Njihova istraživanja omogućavaju bolje razumevanje tektonskih aktivnosti, vulkanskih erupcija i seizmičkih fenomena, kao i meteoroloških i klimatskih obrazaca koji utiču na naše okruženje.

### 2.1.2 Kahramanmaraški trostruki spoj (MTJ)

Kahramanmaraški trostruki spoj (MTJ) nalazi se na mestu gde se spajaju tri tektonske ploče: Anatolijska, Arabijska i Afrička. Anatolijska ploča se pomera prema zapadu usled konvergencije između Afrike i Evroazijske ploče, dok Arabijska ploča pritiska Anatolijsku ploču prema severu (McKenzie, 1972; Şengör et al., 1985; Chorowicz et al., 1994). Ova interakcija stvara složenu dinamiku stresa i deformacije, što rezultira intenzivnom seizmičkom aktivnošću u regionu (Lyberis, 1982).

Kahramanmaraški trostruki spoj odgovoran je za mnoge velike zemljotrese, uključujući katastrofalne događaje iz februara 2023. godine. Dana 6. februara 2023. godine, dogodila su se dva velika zemljotresa magnitude M 7,8 i M 7,5, koja su uzrokovala ogromne štete u Turskoj i Siriji (Toda et al., 2023; Ni et al., 2023). Ovi zemljotresi su ukazali na složenost rasedanja u regionu, gde dolazi do kretanja višestrukih rasednih sistema istovremeno ili sekvencijalno (Barbot et al., 2023).

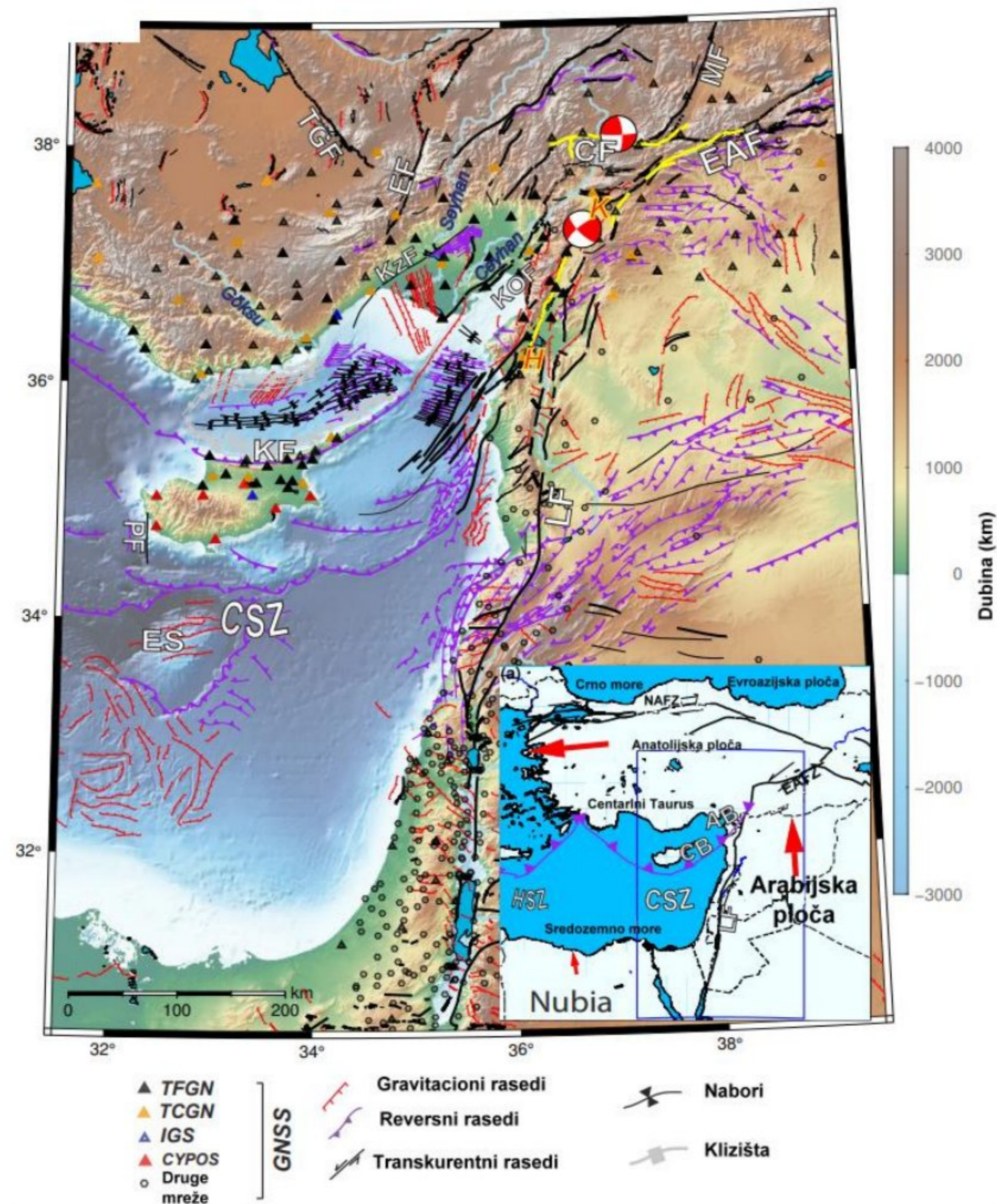
MTJ je područje intenzivne deformacije usled interakcije između ploča, gde horizontalno kretanje Anatolijske ploče prema zapadu nailazi na vertikalna kretanja Arapske ploče prema severu (Gülen et al., 1987; Perinçek and Çemen, 1990). Ova složena kretanja dovode do pojave višestrukih segmenata raseda, koji mogu biti aktivirani tokom zemljotresa, kao što je bio slučaj sa zemljotresima iz 2023. godine



(Zilio and Ampuero, 2023). Uloga MTJ-a u generisanju velikih seizmičkih događaja je ključna, jer on funkcioniše kao mehanizam za redistribuciju stresa na regionalnom nivou (Stein et al., 2023).

Tektonika istočnog Mediterana, uključujući MTJ, rezultat je interakcije između ploča Arabije, Afrike i Evroazije još od miocena (McKenzie et al., 1970; Şengör, 1979). Glavne tektonske strukture u ovom području su Istočno anatolijski rased (EAFZ), Severno anatolijski rased (NAFZ), i Levantski rased (LF) (slika 2). EAFZ je levo-lateralni transkurentni rased koja odvaja Anatolijsku ploču od Arabijske ploče, dok NAFZ prolazi duž severne granice Anatolijske ploče. LF je desno lateralni transkurentni rased između Afričke ploče i Levantske mikroploče (Aksu et al., 2014a; Şengör i Zabcı, 2019). Kiparska zona subdukcije (CSZ) predstavlja mesto gde se Afrička ploča subdukuje ispod Evroazijske ploče, a Helenska zona subdukcije (HSZ) označava mesto gde se Afrička ploča subdukuje ispod Egejske mikroploče, što doprinosi čestoj seizmičkoj aktivnosti i vulkanizmu (Aksu et al., 2005; Aksu et al., 2021). Kahramanmaraški trostruki spoj identifikovan je kao područje visokog seizmičkog rizika zbog svoje istorije velikih zemljotresa i uloge u širenju tektonskih deformacija duž Istočno anatolijskog raseda (EAFZ) i Mrtvomorskog raseda (DSF) (Chorowicz et al., 1994; Balkaya et al., 2023). Potrebno je pažljivo praćenje ove regije zbog njenog potencijala za generisanje budućih velikih zemljotresa, koji bi mogli imati značajne posledice po stanovništvo i infrastrukturu (Karabulut et al., 2023).





**Slika 2.** Tektonske strukture i GNSS stanice u regionu, sa prikazanim fokalni mehanizmi za zemljotrese iz 6. februara 2023. godine ( $M_w=7.8$  i  $M_w=7.6$ ) zajedno sa geometrijom površinskog prekida preuzetom iz U.S. Geological Survey (doi: 10.5066/P985I7U2). (Emre et al. (2013, 2018); Şengör i Zabcı (2019);

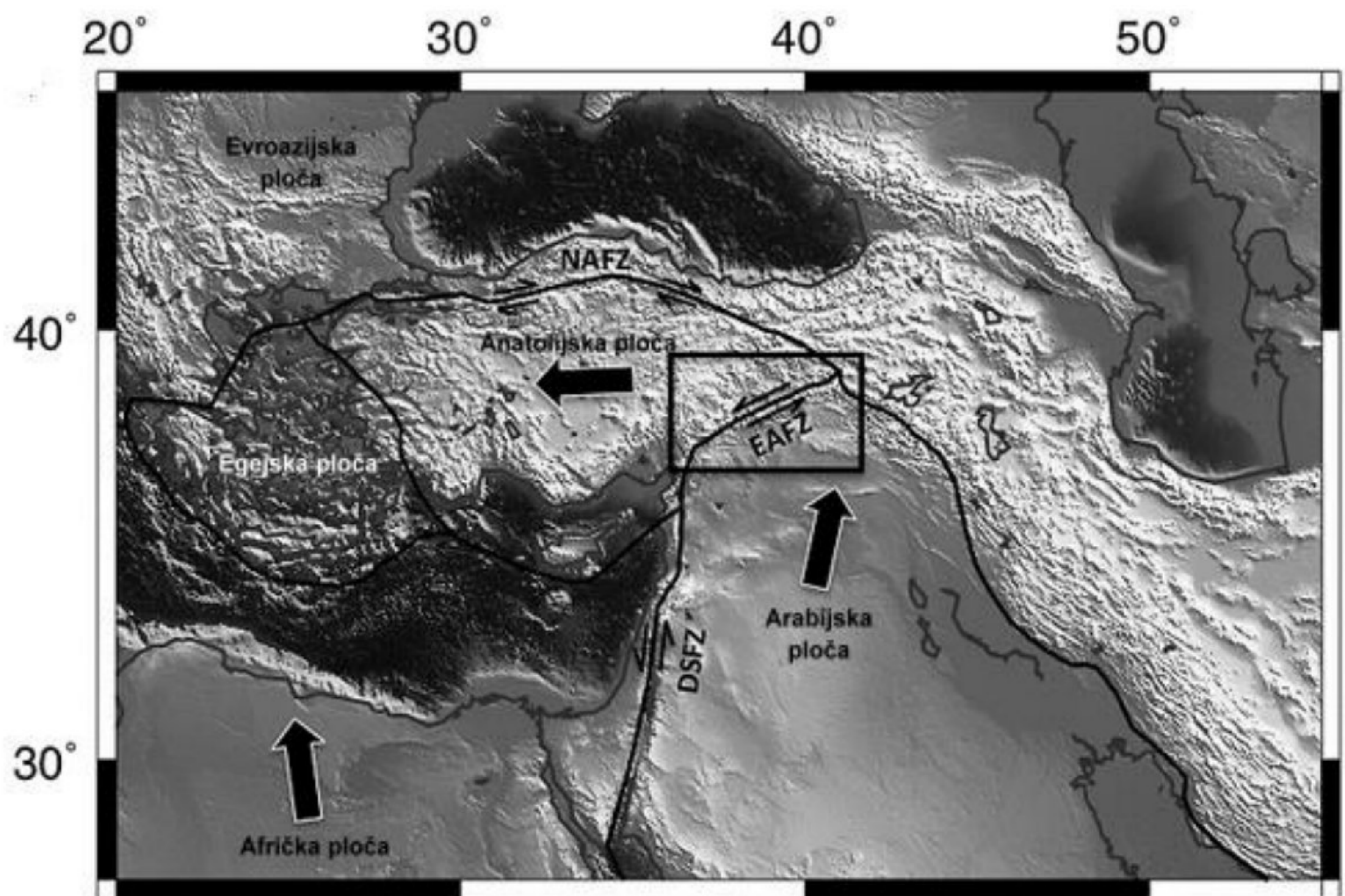
a) Tektonska postavka istočnog Mediterana- glavne tektonske strukture u ovom području su Istočno anatolijski rased (EAFZ), Severno anatolijski rased (NAFZ), Levantski rased (LF), Kiparsku zonu subdukcije (CSZ) i Helensku zonu subdukcije (HSZ)(McKenzie et al., 1970; Aksu et al., 2005; Şengör i Zabcı, 2019).

## 2.2 Istočno anatolijski rased

Istočno anatolijski rased (EAFZ) predstavlja granicu između tektonskih ploča koja se proteže između Arabijske i Anatolijske ploče. Relativno kretanje ploča odvija se sa brzinama kretanja od 6 do 10 mm/god., i rezultiralo je razornim zemljotresima u istočnoj Turskoj, što je dokumentovano u istorijskim zapisima.



Zapadno kretanje Anatolijske ploče razvilo se u okviru severnog pomeranja Arabijske ploče i južnog povlačenja Helenskog subdukcijskog sistema, gde se Afrička litosfera podvlači ispod Egejske ploče (Slika 2a). Istočno anatolijski rased je jedan od glavnih elemenata ovog tektonskog okvira, predstavljajući levo-lateralnu rasednu granicu između Arabijske i Anatolijske ploče, koja se proteže preko ~500 km u istočnoj Turskoj (Slika 3). Kontinuirana migracija Arabijske ploče prema severu u odnosu na stabilnu Evroazijsku ploču od miocena rezultirala je zapadnim pomeranjem Anatolijske ploče duž Severno anatolijskog i Istočno anatolijskog raseda (NAFZ i EAFZ) (Slika 2a) (e.g., McKenzie, 1972, 1978; Şengör, 1979; Dewey and Şengör, 1979; Şengör and Yilmaz, 1981; Şengör et al., 2005). Međutim, trenutno se čini da Arabijska ploča ne igra glavnu ulogu u pokretanju zapadnog kretanja Anatolijske ploče, što je utvrđeno na osnovu GPS merenja i kinematike raseda u okruženju Arabijske ploče (Bulut et al., 2012).



Slika 3. Tektonska postavka i topografska karta šireg regiona Istočnog Mediterana – Anatolije – Severne Arabijesa fokusom na Istočno anatolijsku rasednu zonu (EAFZ), koja predstavlja geološku granicu između Arabijske ploče i Anatolijske ploče koja se kreće ka zapadu (Crne linije predstavljaju glavne granice između ploča) (prema Birdu, 2003).



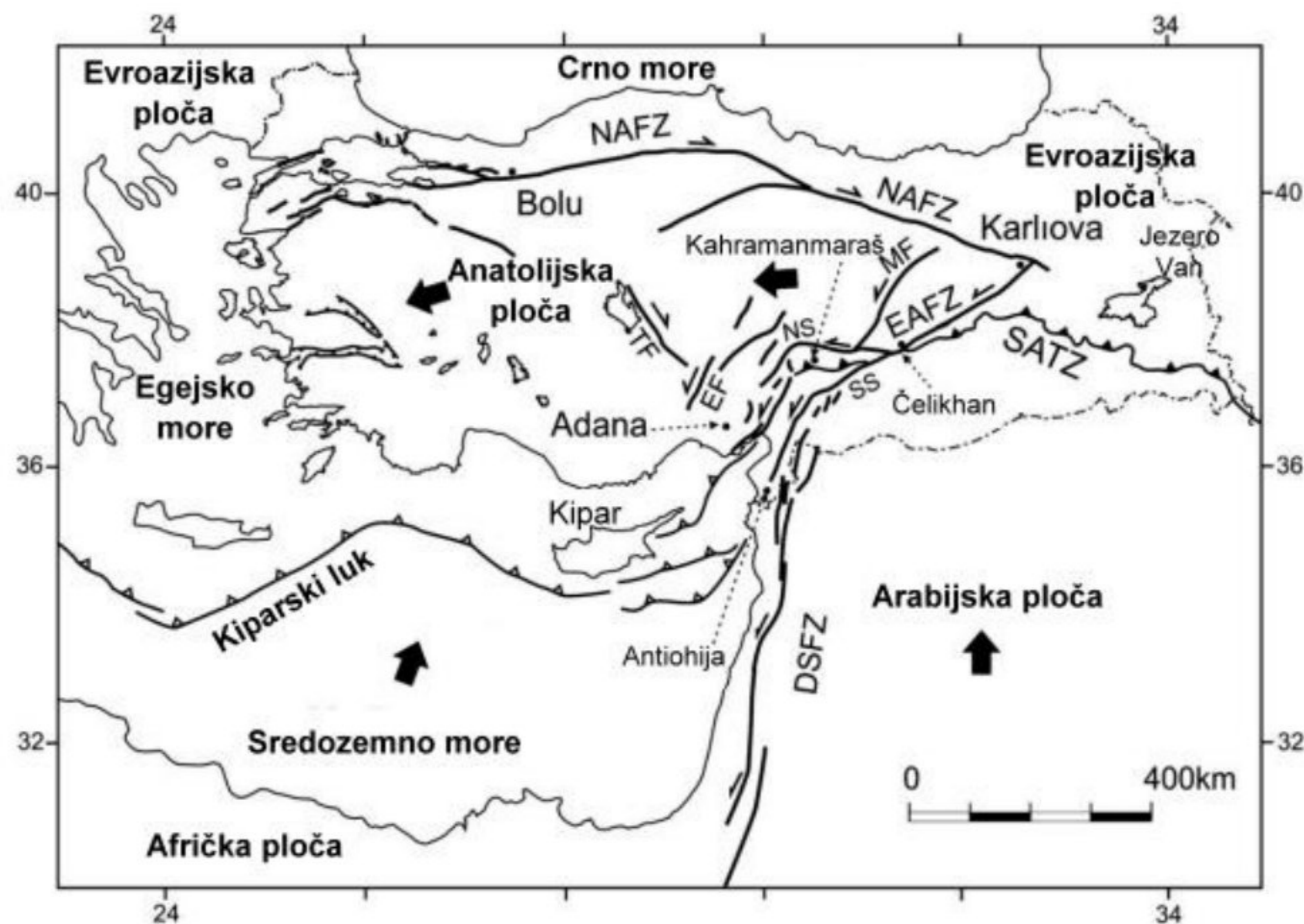
Istočno anatolijski rased (EAFZ) prvi je opisao Allen (1969), a kartirali su ga Arpat i Şaroğlu (1972), ali njegova tačna dužina još uvek nije precizno određena. Prema Over et al. (2004) i Yilmaz et al. (2006), EAFZ se proteže od trostrukog spoja Karliova, gde se povezuje sa Severno anatolijskim rasedom (NAFZ), ka jugozapadu oko 600 km do Kahramanmarškog trostrukog spoja blizu Antakije, gde se spaja sa rasedom Mrtvog mora (DSFZ na Slici 3) (Şengör et al., 1985; Westaway, 2004).

Pretpostavlja se da je ova rasedna zona formirana pod uticajem kompresionih sila koje su stvorile pojas navlaka u jugoistočnom delu Turske. Između jezera Hazar i Genç-a, rasedna zona prati primarnu oslabljenu zonu. Segment rasedne zone između Karilova i Bingöl-a nastao je kao posledica rasedanja tektonske ploče. Segment između Bingöl-a i Genç-a smešten je između dva glavna segmenta. Transkurentne karakteristike raseda povezane sa zemljotresom iz 1971. godine i ukazuju na to da je područje pod uticajem kompresionih sila usmerenih sever-jug (Arpat i Şaroğlu, 1972).

Istočno anatolijska rasedna zona se sastoji od nekoliko paralelnih i subparalelnih levih transkurentnih raseda sa značajnim normalnim i reversnim komponentama. Prema pravcu pružanja segmenata, Istočno anatolijska rasedna zona može se podeliti na 6 segmenata (Bulut et al., 2012 i reference koje se citiraju). Međutim, Hempton et al. (1981) definišu samo 5 segmenata na osnovu njihove geometrije i ponašanja, dok Barka i Kadinsky-Cade (1988) predlažu podelu na 14 segmenata, zavisno od geometrije i seizmičke aktivnosti (Bulut et al., 2012 i reference koje se citiraju). Distribucija hipocentara sugerise da Istočno anatolijska rasedna zona karakterise segmentacija orijentisana severoistok-jugozapad i istok-zapad, koji su subparalelni uobičajenom pravcu rasedne zone. Mehanizam rasedanja je pretežno levi transkurentni, što je u skladu sa mehanizmom deformacija dobijenim GPS podacima (Bulut et al., 2012). Normalni (gravitacioni) rasedi su orijentisani sever-jug, dok su navlake ograničene na orijentaciju istok-zapad. Na osnovu višednevnog praćenja progresivne interakcije između glavnog segmenta Istočno anatolijskog raseda i okolnih struktura, primećena je vremenska i prostorna evolucija hipocentara koja ukazuje na sistematsku migraciju manjih i srednjih zemljotresa sa glavnog raseda na susedne segmente (Bulut et al., 2012).



Starost Istočno anatolijske zone predmet je naučnih rasprava. Predlaže se da je nastala na prelazu između gornjeg miocena i donjeg pliocena, u gornjem pliocenu, pre 1,8 miliona godina, pre 3 miliona godina ili pre 4 miliona godina. Yilmaz et al. (2006) su na osnovu terenskih posmatranja zaključili da je Istočno anatolijski rased nastao nakon procesa ubiranja i navlačenja, koji su bili aktivni sve do pliocena (Yilmaz et al., 2006).



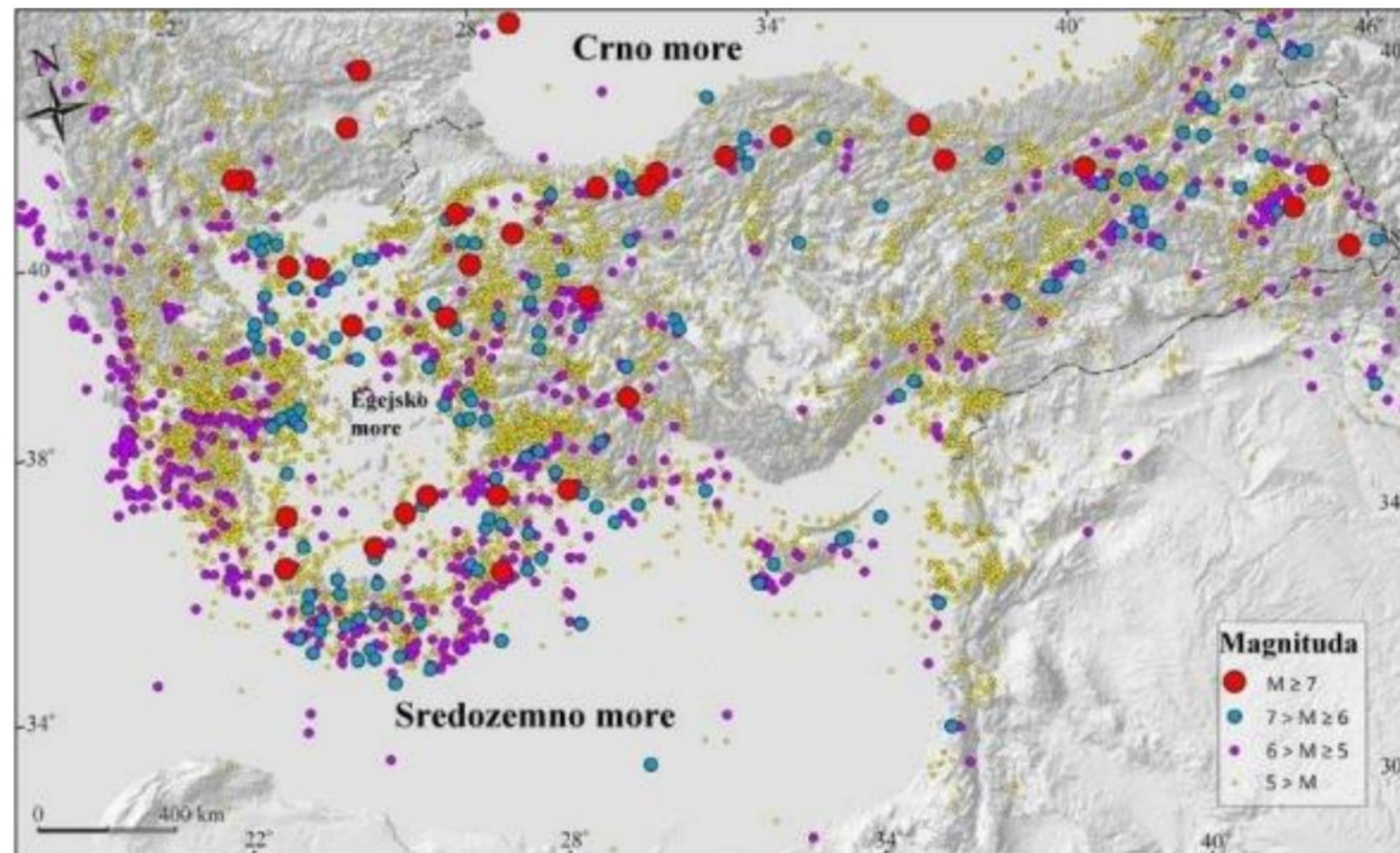
Slika 4. Glavni rasedni sistemi između Anatolije i Afrike, kao i između Afrike i Arabije ploče -Strelice ukazuju na relativno kretanje ploča (skraćenice: AN-Anatolijska mikroploča; AF-Afrička ploča; AR-Arabijska ploča; EU-Evroazijska ploča; NAFZ-Severno anatolijska rasedna zona; EAFZ- Istočno anatolijska rasedna zona; DSFZ- Rasedna zona Mrtvog mora; MF-Malatya rased, TF-Tuzgölü rased; EF-Ecemiş rased; SATZ-Jugoistočno-Anatolijska zona navlaka; SS- južni obod EAFZ; NS- severni obod EAFZ) (Duman and Emre, 2013)

### 2.3 Zemljotres u Turskoj (24.01.2020)

Analizom tektonskih karakteristika Turske može se zaključiti da je ovaj region veoma seizmički aktivan. U krugu od 250 kilometara od epicentra zemljotresa koji se



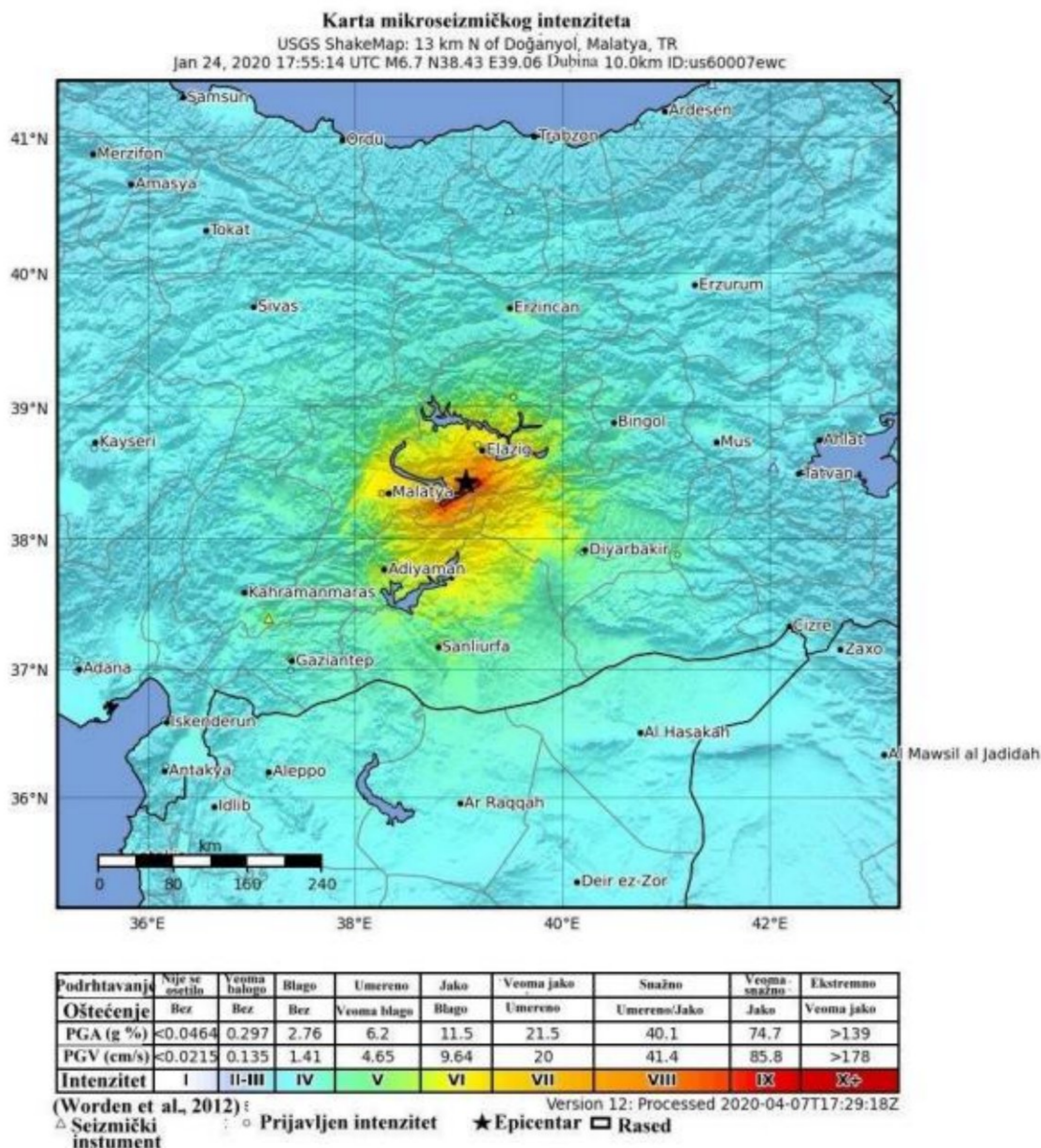
desio 24. januara 2020. godine, tokom poslednjih 50 godina zabeleženo je 7 zemljotresa magnitude 6 ili više (Slika 5). Ovi zemljotresi su prouzrokovali veliku štetu, uništivši brojne objekte i izazvavši brojne ljudske žrtve. (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>).



Slika 5. Distribucija zemljotresa u Turskoj u periodu od 1900 do 2018 (Izmenila: Prpa, M., 2020, preuzeto iz: Caglayan et al., 2018 )

Zemljotres magnitude 6,8 dogodio se u blizini grada Doganyol (Slika 6) u istočnom delu provincije Elazig, 24. januara 2020. godine u 20:55 časova po lokalnom vremenu, na dubini od 10 kilometara (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>). Na slici 6 prikazana je karta mikroseizmičkog intenziteta u blizini epicentra zemljotresa, uključujući zone sa različitim nivoima intenziteta. U epicentralnoj oblasti, intenzitet zemljotresa bio je između VII i IX. Nakon glavnog potresa usledio je veliki broj naknadnih zemljotresa (oko 1500) sa magnitudama između 5.4 i 3.3. Zemljotres se osećao sve do južnog dela provincije Andana i severnog dela provincije Samsun u Turskoj, kao i u severnim delovima Sirije i Iraka (Turkish Red Crescent Society, 2020). Povređeno je više od 1600 ljudi, dok je 41 osoba izgubila život. Više od 70 objekata je potpuno uništeno, a preko 1600 je pretrpelo značajna oštećenja (Turkish Red Crescent Report, 2020). Ovaj zemljotres pogodio je 19 gradova i više od 200 sela (International Blue Crescent, 2020).





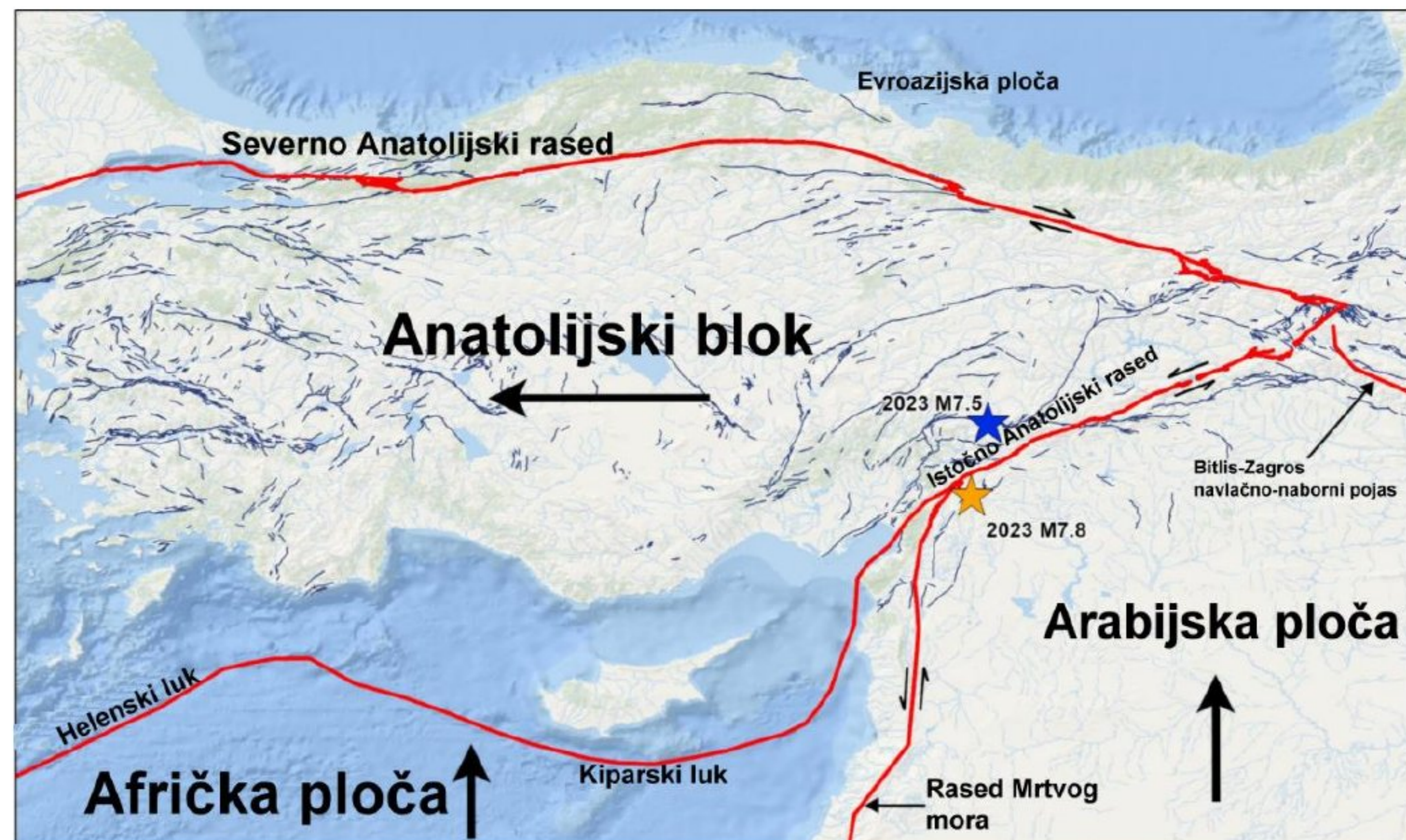
Slika 6. Karta inteziteta seizmičnosti zemljotresa u okolini epicentra (Izmenila : Prpa, M., 2020, preuzeto sa: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquakes>)

## 2.4 Zemljotres u Turskoj (06.02.2023)

Zemljotres magnitude 7,8 (slika 7) dogodio se u 4:17 ujutru po lokalnom vremenu. Njegovo epicentar se nalazio otprilike 24 km južno od Kahramanmaraša i približno istu udaljenost severozapadno od Gaziantepa, u jugozapadnom delu Turske. Fokus zemljotresa bio je na dubini od samo 10 km ispod površine. Nakon glavnog potresa je usledio naknadni zemljotres magnitude 6,7, koji se dogodio otprilike 11



minuta kasnije u blizini iste lokacije. Drugi veliki seizmički događaj, zemljotres magnitude 7,5, desio se oko devet sati kasnije, u 13:24, 48,3 km severozapadno od Kahramanmaraša i oko 32 km jugoistočno od grada Elbistana. Ovaj zemljotres bio je dublji od prvog, sa hipocentrom na dubini od 12 km ispod površine (<https://www.britannica.com/science/earthquake-geology>).



Slika 7. Mapa lokacije zemljotresa magnitude 7,8 (narandžasta zvezda) i 7,5 (plava zvezda) koji su se dogodili 6. februara 2023

(<https://earthquake.usgs.gov/storymap/index-turkey2023.html>)

Oba glavna seizmička događaja dogodila su se unutar Istočno anatolijske rasedne zone, koja prolazi kroz jugoistočnu Tursku i razdvaja Arabijsku i Evroazijsku ploču, što je prikazano na slici 7, gde su crvenim linijama prikazani aktivni rasedi, a crnim strelicama smer kretanja Afričke, Arabijske i Anatolijske ploče. Na mestu epicentra zemljotresa, ravan raseda bila je gotovo vertikalna. Kompresivna sila izazvala je pomeranje stenske mase sa jedne strane raseda za oko 8 metara duž raseda koji se proteže otprilike 300 kilometara. Naknadni zemljotres magnitude 7,7 dogodio se duž raseda Cardak i Dogansehir severnije i pomerio je tlo za do 11 metara duž raseda otprilike 180 km. (<https://www.britannica.com/science/earthquake-geology>)

U zoni zemljotresa, koja je prema procenama obuhvatala područje od oko 350.000 kvadratnih kilometara, šteta je bila ogromna. Prema nekim procenama oko 9,1



miliona ljudi bilo je direktno pogođeno zemljotresom, uključujući nekoliko miliona koji su ostali bez doma. U Turskoj je gotovo 46.000 ljudi poginulo zbog zemljotresa, pri čemu su najteže pogođene provincije Hatay i Kahramanmaraš, gde je poginulo oko 21.900 i 12.600 ljudi. Turska uprava za katastrofe i hitne situacije (AFAD) je zabeležila da je oko 280.000 zgrada ozbiljno oštećeno ili srušeno (Slika 8), dok je dodatnih 710.000 objekata pretrpelo teška oštećenja.

U poređenju sa zemljotresima u severnoj Turskoj, oni u južnim delovima države magnitude 6 ili više su bili retki od 1970. godine, što je verovatno doprinelo lošoj gradnji i slabo sprovođenju građevinskih propisa u regionu tokom tog perioda. U centralnom Kahramanmarašu, ovi nedostaci u gradnji su bili očigledni: osmospratnice, uključujući stanbene i poslovne zgrade, srušile su se. Van urbanih centara, desetine hiljada kuća se srušilo ili je pretrpelo ozbiljna oštećenja širom regiona, uključujući oko 50 procenata svih kuća u Nurdağiju i 90 procenata u Sakçagözü (<https://www.britannica.com/science/earthquake-geology>).



Slika 8. Štete na zgradama usled zemljotresa u gradu Diyarbakır, Turska (<https://www.britannica.com/science/earthquake-geology>)



### 3. METODOLOGIJA

U cilju analize koseizmičkih deformacija tla izazvanih zemljotresima u Turskoj, primenjena je metodologija koja uključuje diferencijalnu satelitsku radarsku interferometriju (DInSAR). Ova metoda omogućava precizno mapiranje deformacija tla koristeći satelitske radarske slike. Za izradu karte deformacija tla korišćeni su podaci sa Sentinel-1 platforme. U ovom radu upotrebljeni su parovi SAR snimaka, i to po jedan par snimaka za zemljotres iz 2020. godine i jedan par snimaka za zemljotres iz 2023. godine. U oba slučaja su par činili snimak neposredno pre samog zemljotresa i jedan snimak neposredno nakon zemljotresa. Ovi snimci su dostupni besplatno preko zvaničnog sajta Kopernikus programa, koji je i razvio Sentinel misiju. Proces obrade snimaka realizovan je uz pomoć softverskih alata SNAP i SNAPHU, koji su besplatni i otvoreni za upotrebu.

Kopernikus je evropski program za posmatranje Zemlje iz satelita, dizajniran da pruža sveobuhvatne podatke i informacije o različitim aspektima naše planete. Sistem obuhvata prikupljanje podataka iz više izvora, uključujući satelite za osmatranje Zemlje, in situ senzore (na zemlji), kao i senzore smeštene u moru/okeanu i u vazduhu. Program uključuje niz misija sa različitim senzorskim tehnologijama, uključujući radar i multispektralne instrumente, koji omogućavaju detaljno praćenje tla, vodenih površina i atmosfere (<https://www.esa.int>).

#### 3.1 Diferencijalna satelitska radarska interferometrija (DInSAR)

Diferencijalna satelitska radarska interferometrija (DInSAR) je napredna tehnika u oblasti daljinske detekcije koja omogućava praćenje površinskih deformacija sa izuzetnom preciznošću, u opsegu od centimetra do milimetra. Ova metoda koristi razlike u fazi između dva SAR snimka snimljena iznad iste oblasti u različitim vremenskim trenucima. Rezultati DInSAR tehnike predstavljaju kartu površinskih deformacija projektovanih duž pravca pogleda radara (LOS - Line of Sight) (Lanari et al., 2007).

DInSAR se koristi za merenje deformacija Zemljine površine koje mogu biti uzrokovane različitim faktorima, uključujući tektonske pokrete (npr. koseizmička i



postseizmička pomeranja, vulkanske aktivnosti), antropogene uticaje (npr. rudarstvo i podzemna eksploatacija), kao i klizanja i sleganje tla (Đurić i Ilić, 2018).

Postoji nekoliko metoda za generisanje diferencijalnog interferograma. Prvi metod, koji je korišćen u ovom istraživanju, uključuje upotrebu jednog para SAR snimaka sa baznom linijom koja je bliska nuli. Drugi metod podrazumeva upotrebu dva SAR snimka sa baznom linijom koja nije jednaka nuli. Treći metod koristi tri SAR snimka, pri čemu jedan od njih služi kao "master" snimak za poređenje. Četvrti metod zahvata četiri SAR snimka (dva para), pri čemu dva snimka služe kao master i imaju svoje podređene ("slave") snimke (Ferretti et al., 2007). Kada se koriste četiri snimka, moguće je analizirati deformacije u horizontalnoj i vertikalnoj komponenti kretanja, kao i u LOS pravcu.

Obradom svakog snimka mogu se prikupiti neophodne informacije za izradu digitalnog elevacionog modela (DEM) područja koje pokriva snimak. Pored DEM podataka, DInSAR omogućava računanje deformacija tla jer interferometrijska faza sadrži:

$$\Delta\Phi=(4\pi/\lambda)\Delta R$$

gde  $\Delta R$  predstavlja relativnu deformaciju tačaka projektovanih na LOS pravac (Ullo et al., 2019).

U idealnim uslovima, DInSAR tehnika omogućava merenje deformacija u LOS pravcu sa preciznošću od nekoliko milimetara, ako je koherencija između dva SAR snimka dovoljno visoka. Naime, deformacija od  $\lambda/2$  (2,8 cm) odgovara diferencijalnoj promeni faze od  $2\pi$ . S obzirom na to da greška u proceni faze može biti jedan deo  $\pi$ , a talasna dužina iznosi nekoliko centimetara (5,6 cm), deformacije u LOS pravcu mogu se meriti sa milimetarskom preciznošću. Međutim, u stvarnim uslovima, diferencijalni interferogram može sadržavati i neželjene komponente usled lošeg poznavanja topografije ili parametara putanje satelita. Varijacije u interferogramskoj fazi mogu se izraziti pomoću jednačine:

$$\Delta\Phi=\Delta\Phi_d+\Delta\Phi_{topo}+\Delta\Phi_{orb}+\Delta\Phi_{atm}+\Delta\Phi_n,$$



gde  $\Delta\Phi_d$  predstavlja moguću deformaciju između dve opservacije;  $\Delta\Phi_{topo}$  je rezidualna topografija zbog lošeg poznavanja topografije;  $\Delta\Phi_{orb}$  uključuje netačne informacije o putanji satelita u kombinaciji sa topografskom fazom;  $\Delta\Phi_{atm}$  ukazuje na faznu komponentu nastalu usled promene dielektričnih konstanti atmosfere i jonosfere između glavnog i podređenog snimka;  $\Delta\Phi_n$  uzima u obzir fenomen dekorelacije (Ullo et al., 2019).

Korišćenjem referentnih distanci između satelita i objekta na Zemlji, kao i DEM-a, može se izračunati fazna razlika između dva SAR snimka (Vollrath et al., 2017). SAR signal sadrži informacije o amplitudi i fazi. Amplituda odražava jačinu odziva radara, dok faza predstavlja deo kompletnog ciklusa sinusnog talasa. Faza SAR snimka je prvenstveno određena distancom između antene satelita i objekta na zemlji. Kombinovanjem faza dva snimka nakon koregistracije, može se izraditi interferogram. Amplituda interferograma odgovara umnošku amplituda oba snimka, dok faza (interferometrijska faza) predstavlja razliku faza između dva snimka (Ferretti et al., 2007). Interferogram tako predstavlja deformacije između dva akviziciona perioda i dobija se računajući razliku u fazi između dva snimka (<https://rus-copernicus.eu>).

Koherencija je ključna za kvalitet interferograma. Ona se meri u opsegu od 0 do 1, gde 0 označava potpuno neupotrebljiv interferogram, dok 1 označava savršen interferogram bez šumova. Na koherenciju mogu uticati različiti faktori, kao što su lokalni nagib terena, karakteristike površine, vremensko kašnjenje između ciklusa obrade, veličina bazne linije, i tehnički detalji generisanja interferograma (<https://earth.esa.int>). Koherencija, takođe, može služiti kao mera kvaliteta interferograma i može pružiti uvid u prisustvo vegetacije, stena ili promene koje nisu odmah vidljive (<https://earth.esa.int>).

Lokalna koherencija predstavlja kros-korelaciju koeficijenata između dva SAR snimka iznad malog prozora (par piksela u razdaljini i azimutu), kada su sve fazne komponente kompenzovane. Ova metoda omogućava precizno merenje deformacija i identifikaciju potencijalnih problema u analizi (Ferretti et al., 2007).



## 3.2 Podaci

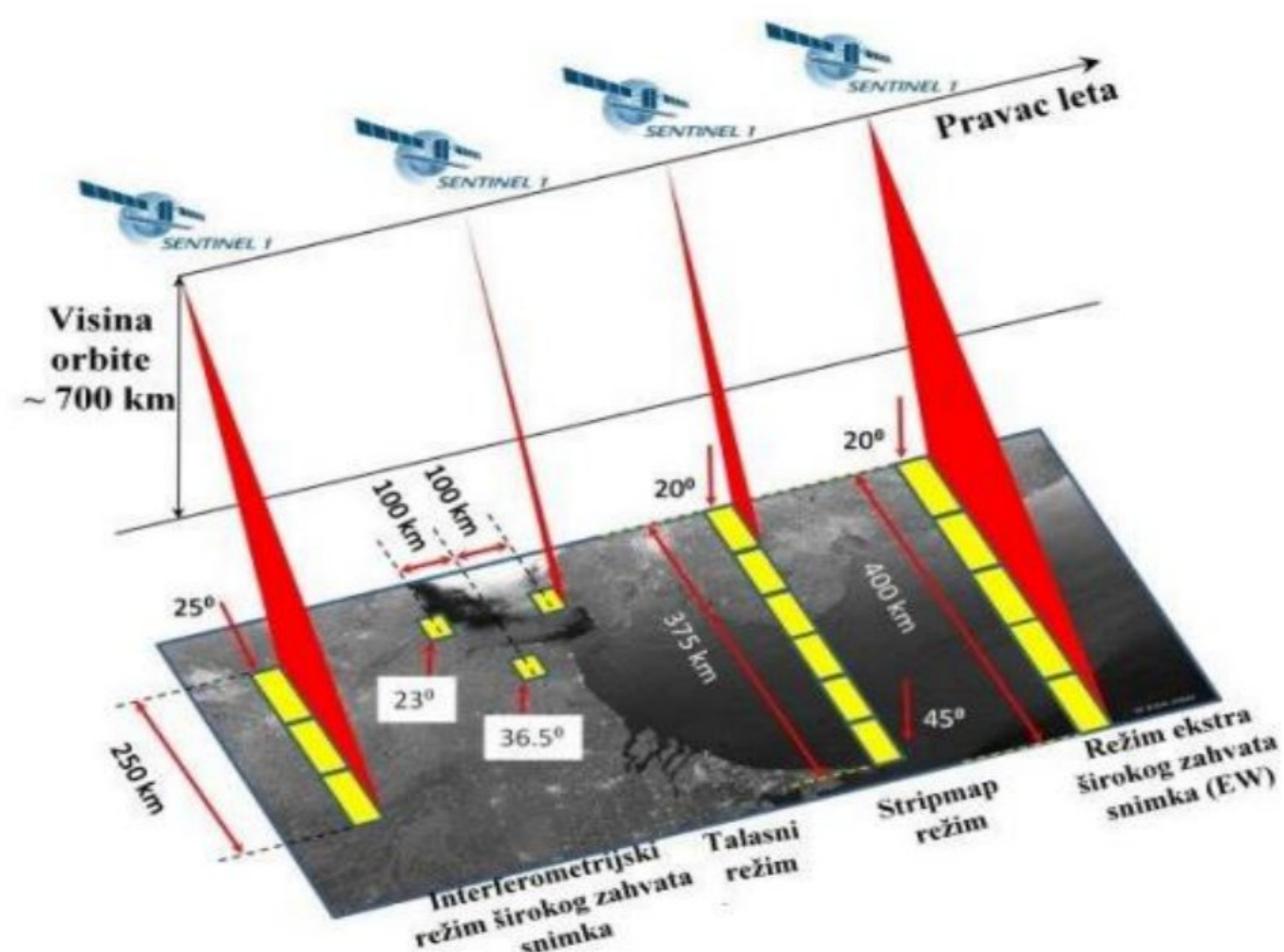
U ovom istraživanju korišćeni su podaci sa Sentinel-1 satelita za analizu deformacija tla uzrokovanih zemljotresima. Snimci su preuzeti u Interferometrijskom režimu širokog zahvata (IW), koji je najpogodniji za kopnena područja i omogućava visokokvalitetne interferometrijske analize. Sentinel-1 misija omogućava snimanje iste površine svakih 12 dana, dok par satelita omogućava dvostruko snimanje istog područja svakih 6 dana.

Sentinel-1 sateliti se kreću u polarnoj orbiti na visini od 700 km i snimaju površinu Zemlje pod različitim uglovima u odnosu na pravac putanje, omogućavajući akviziciju podataka sa različitom geometrijom i u različitim vremenskim intervalima (Mora et al., 2016). Koriste radar u C-opsegu sa frekvencijom od 5,404 GHz i talasnim dužinama između 3,75 i 7,5 cm. Ovi radari omogućavaju snimanje u bilo kojem delu dana ili noći, nisu pogođeni atmosferskim uslovima i mogu snimati kroz oblake i kišu, ali ne prodiru duboko kroz gustu vegetaciju.

Instrument Sentinel-1 snima površinu pod upadnim uglom ( $\theta$ ) između  $20^\circ$  i  $46^\circ$ , definišući pravac akvizicije (line of sight - LOS) (Mora et al., 2016; <https://sentinel.esa.int>). Misija Sentinel-1 pruža četiri režima akvizicije: Stripmap (SM), IW, Extra-wide (EW) i Talasni režim. IW režim obuhvata širinu od 250 km sa prostornom rezolucijom od 5x20 m (single look - SL), koristeći TOPSAR tehniku skeniranja (<https://sentinel.esa.int>).

SAR instrument Sentinel-1 radi u jednostrukoj (HH ili VV) i dvostrukoj (HH+HV ili VV+VH) polarizaciji, koristeći jedan predajni lanac i dva paralelna prijemna lanca za horizontalnu (H) i vertikalnu (V) polarizaciju. Generisani proizvodi uključuju različite nivoe: Level-0, Level-1 SLC (Single-Look Complex), Level-1 GRD i Level-2 OCN (<https://sentinel.esa.int>).





Slika 9. Režimi akvizicije Sentinel-1 misije (Prpa, M., 2020)

U radu su korišćena četiri snimka (Tabela 1) koja su zabeležena tokom uzlazne (ascending) orbite. Upotrebljena je VV polarizacija (vertikalno emitovana i vertikalno primljena). SLC proizvod pokriva ukupnu površinu od 250 kilometara, a jedan podsnimak obuhvata oko trećinu tog područja.

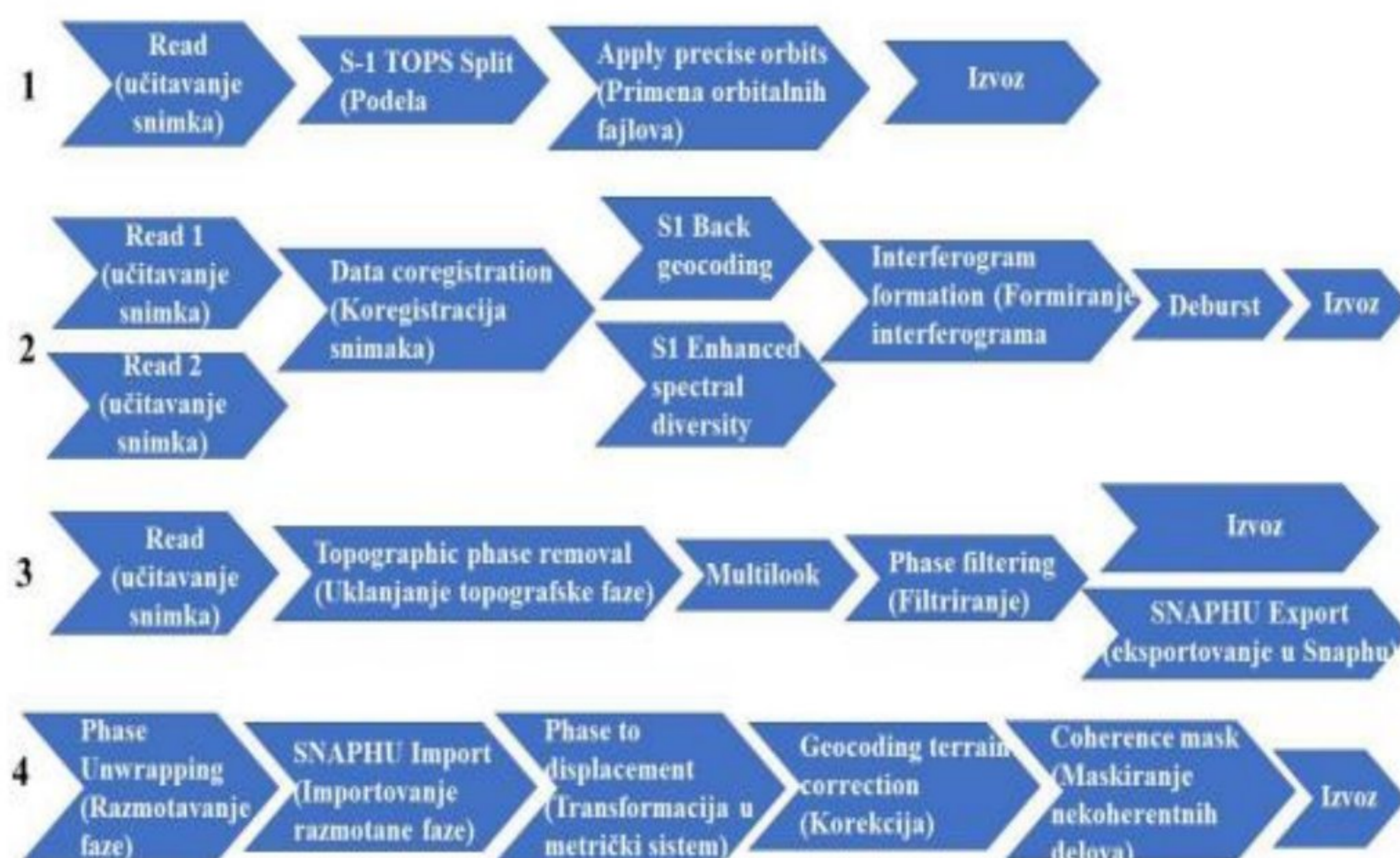
Tabela 1- Karakteristike korišćenih snimaka IW, Level-1, SLC proizvoda

Naziv snimka	Datum	Uloga	Upadni ugao (°)
S1A_IW_SLC__1SDV_20200115T152550_20200115T152618_030813_0388EA_9B20	15.01.2020	Master	43,8
S1A_IW_SLC__1SDV_20200127T152550_20200127T152618_030988_038F14_4686	27.01.2020	Slave	43,8
S1A_IW_SLC__1SDV_20230204T152607_20230204T152635_047088_05A621_4129	04.02.2023	Master	43,8
S1A_IW_SLC__1SDV_20230228T152607_20230228T152635_047438_05B1F8_D724	28.02.2023	Slave	43,8



### 3.3 Obrada podataka

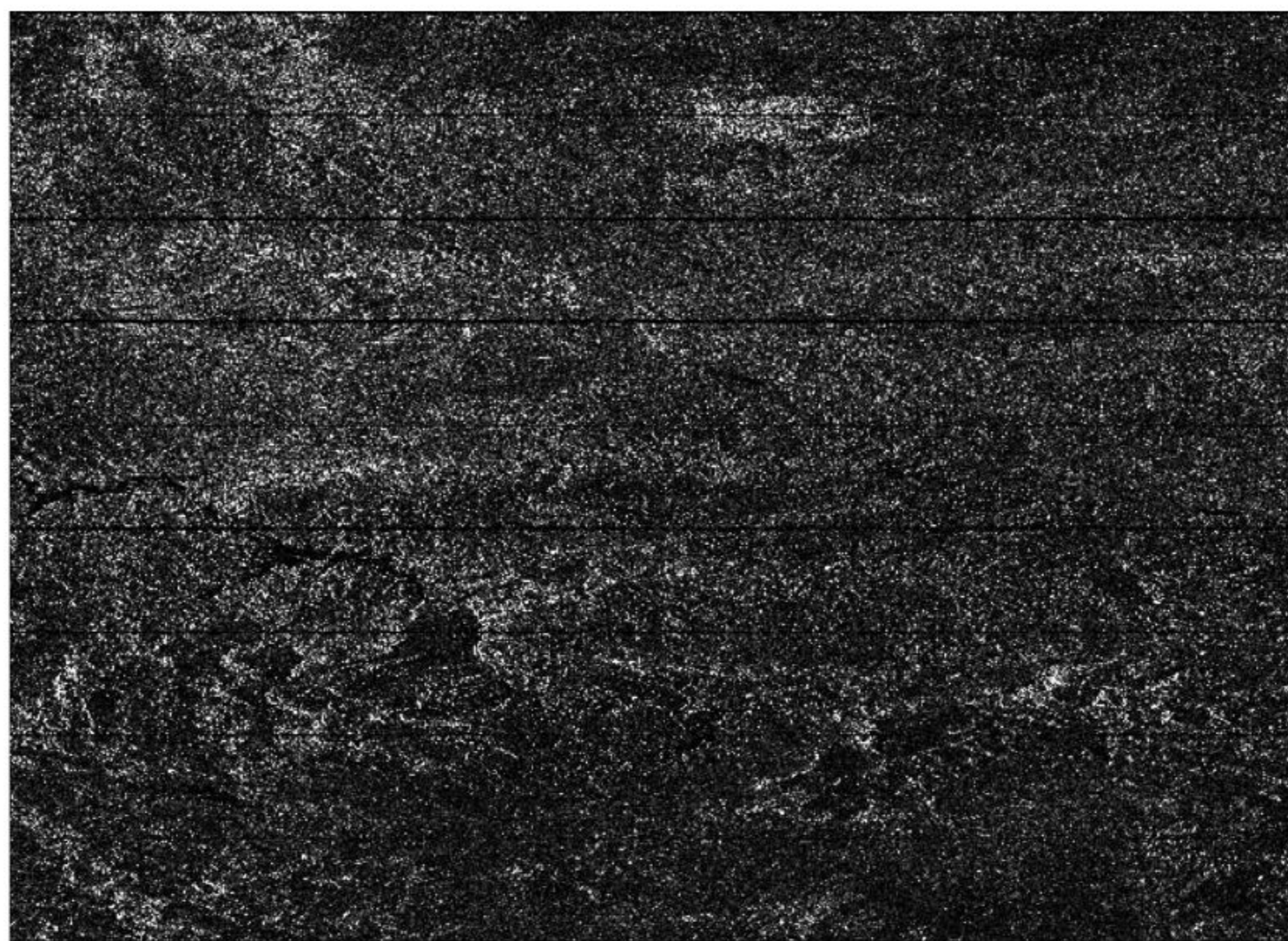
Detaljan postupak obrade i objašnjenje svakog postupka dali su Ferretti et al. (2007) u „Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation” i Veci (2015) u „SAR Basic Tutorial”. Platforma za obradu Sentinel podataka naziva se Sentinel aplikaciona platforma (SNAP). Šema obrade snimaka prikazana je na slici 10. U prvom koraku se obrađuju pojedinačni snimci.



Slika 10. Šema obrade snimaka (Prpa, M., 2020)

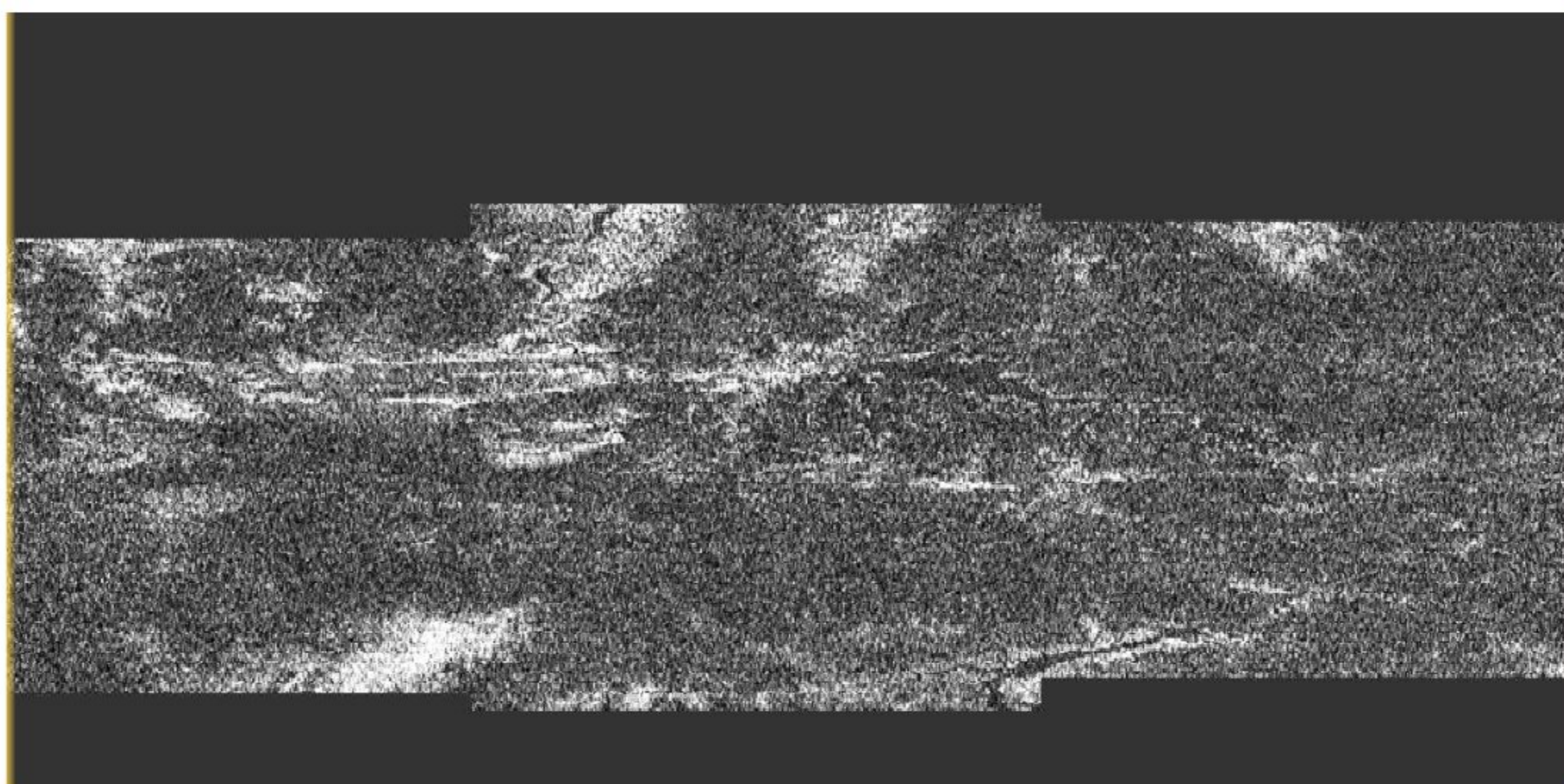
Nakon primene koraka 1 dobijaju se dva snimka (master i slave), koja sadrže područje od interesa. Svaki satelitski snimak može se podeliti na tri celine IW1, IW2, IW3, radi lakše obrade snimaka, ali u ovom radu to nije bilo moguće, i zato se koristio ceo snimak kako bi se obuhvatila oba područja koja su zahvaćena zemljotresom iz 2020. i 2023. godine što je dovelo do duže i zahvtevnije obrade snimka. Primenivši korak 1 sa slike 10 dobili smo snimak VV polarizacije sa preciznim podacima o visini, brzini i pravcu kretanja satelita (Slika 11).





Slika 11. Master snimak nakon postupka obrade 1 na slici 10 (zemljotres 2023)

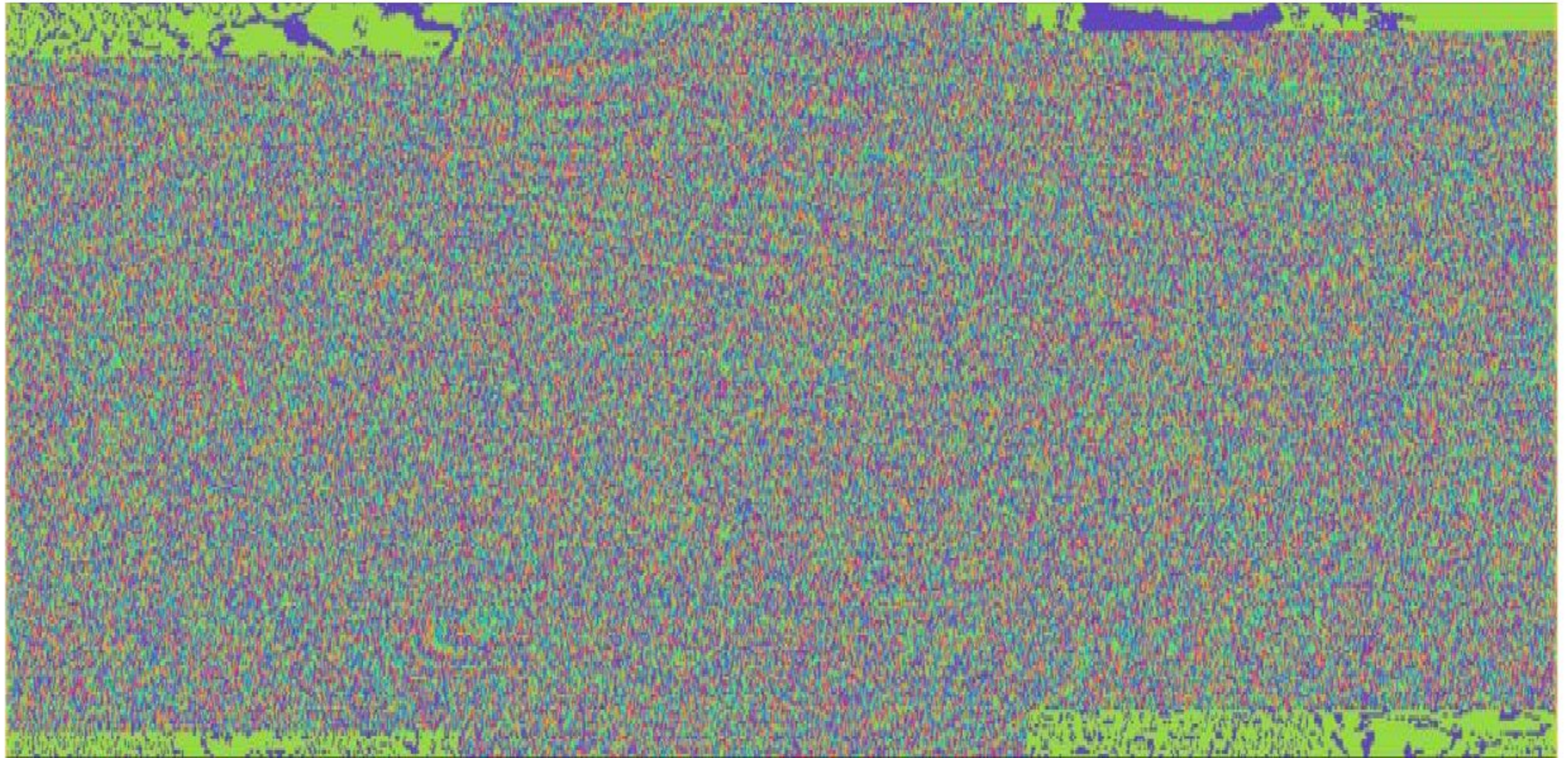
Kod drugog koraka koristi se snimak pre zemljotresa (master) i nakon zemljotresa (slave), koji su prošli korak obrade 1. Na ovaj način se formira interferogram i računa se interferogramska koherencija dva snimka (Slika 12). Koherencija se kreće u vrednostima od 0 (crna boja) do 1 (bela boja). Što je veća koherencija snimaka, pouzdanija je i interpretacija. Nakon koraka 2, dobijen je snimak koherencije dva snimka (Slika 12).



Slika 12. Koherencija interferograma (crno - niska koherencija, belo - visoka koherencija) (zemljotres 2023)



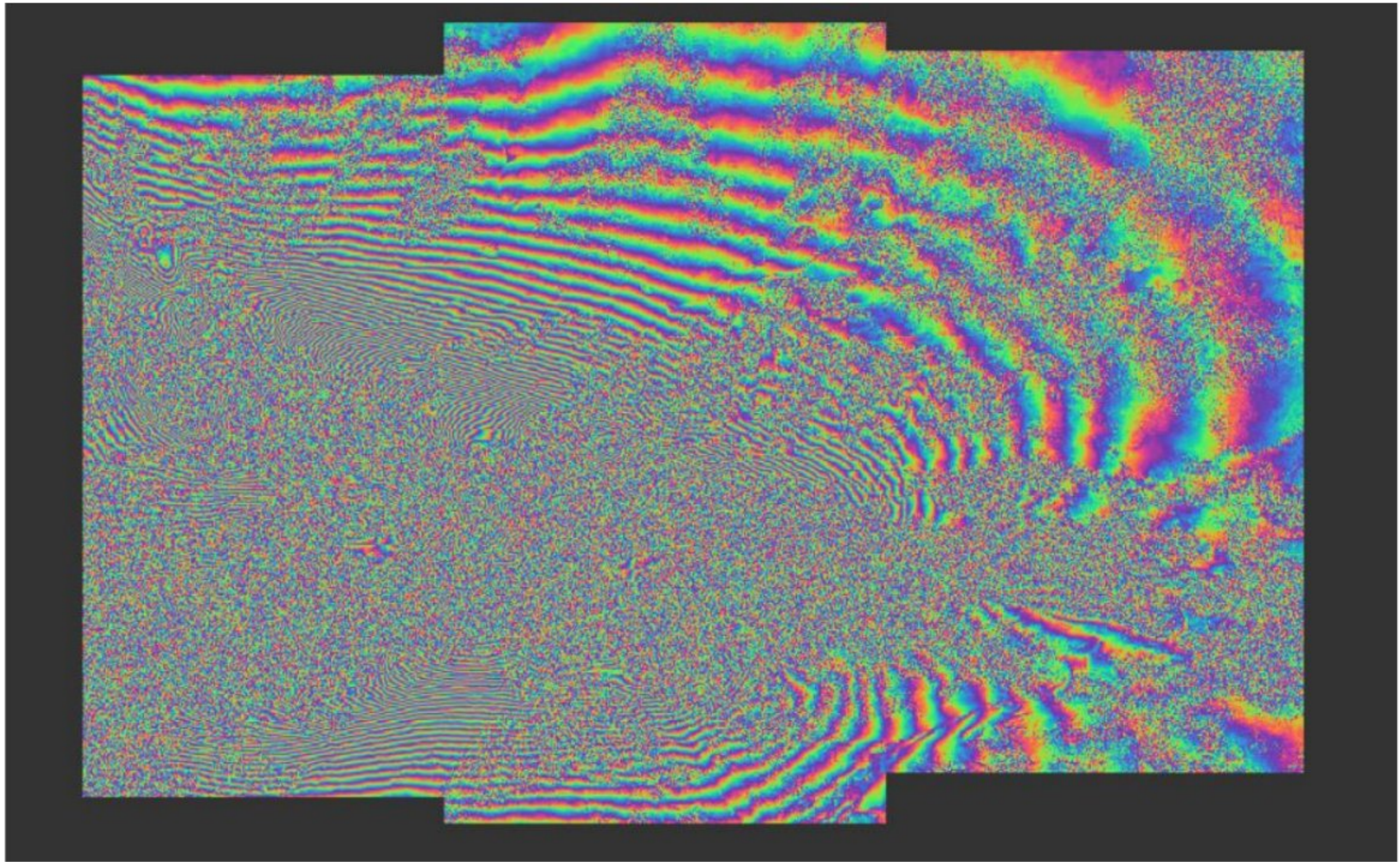
Izlaz procesa obrade 2 je jedan snimak, čija je amplituda proizvod amplituda master i slave snimka (početnih snimaka), a faza je ustvari razlika u fazi početnih snimaka (Slika 13). Na slici 13 je prikazana faza interferograma.



Slika 13. Interferogram zemljotresa u Turskoj 2023. godine

U koraku obrade broj 3, na sirovom interferogramu uvodi se topografska korekcija, odnosno uklanja se topografska faza i šumovi. Slika 14, rezultat obrade koraka 3, pokazuje interferometrijske „otiske” (fringes), gde svaki ciklus boje odgovara faznoj razlici snimaka. Jedan kompletan „otisak“, odnosno ciklus od plave do crvene odgovara deformaciji u LOS pravcu u jedinicama radarske talasne dužine ( $\pm 2.8$  cm). Korak obrde 3 predstavlja pripremu za izvoženje interferograma u program SANPHU, u kom se vrši razmotavanje faze, kako bi se deformacije mogle odrediti.

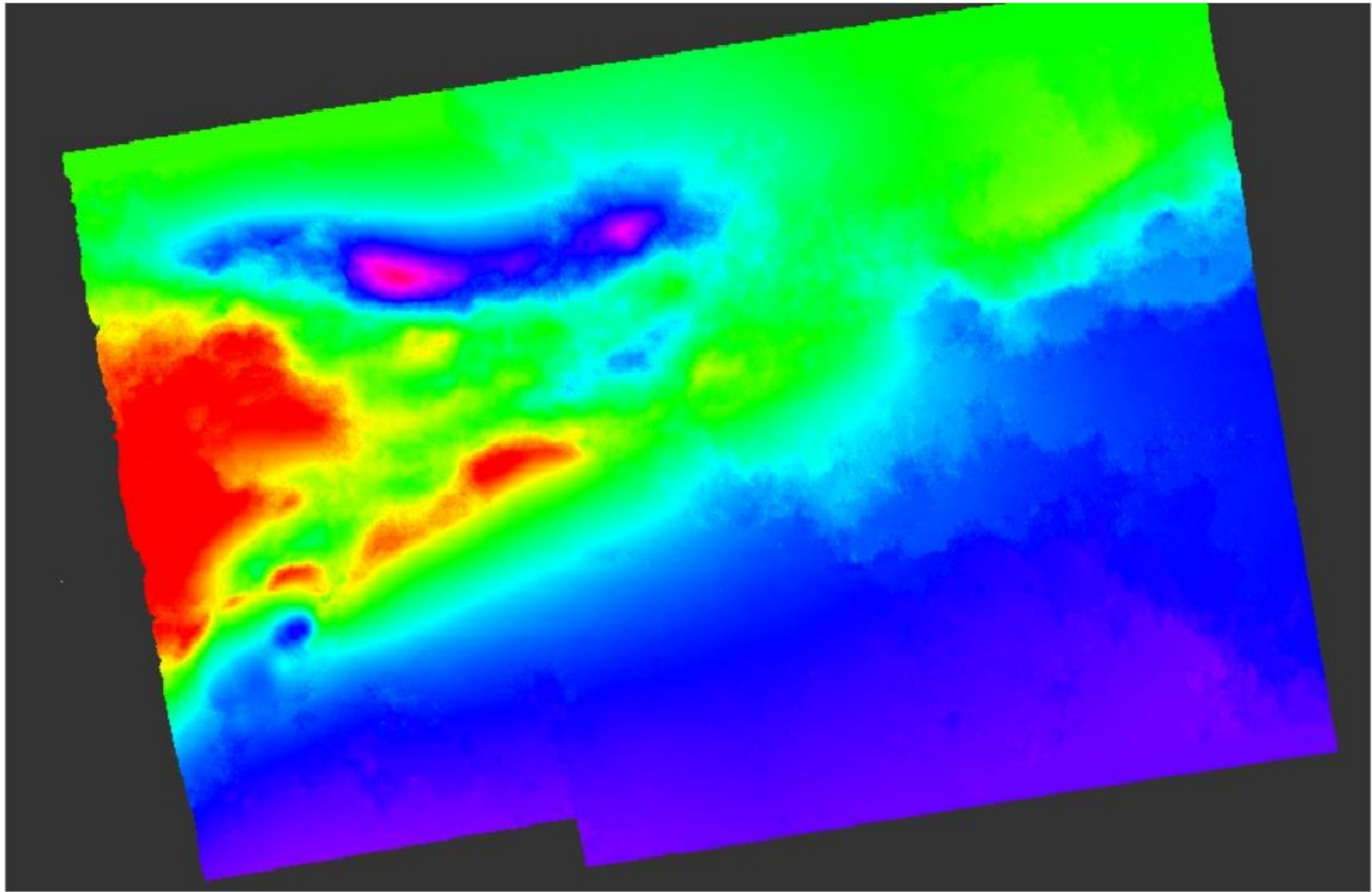




Slika 14. Interferogram nakon filtriranja i uklanjanja topografske faze

Razmotana faza (Slika 15) se uvozi u SNAP i nakon toga se vrši prevođenje faznih vrednosti u metričke i vrši se uklanjanje topografske faze. Cilj obrade je da se na kraju dobije karta deformacija u LOS pravcu, koja ima geografsku projekciju. Kako bi se izvršila što preciznija analiza i tumačenje dobijenih rezultata primenjuje se postupak maskiranja područja sa niskom koherencijom. Na slici 15 prikazan je razmotan interferogram nakon uklanjanja nekoherentnih delova. Vrednost koherencije koja je uzeta kao granična vrednost je 0,2 iz razloga što omogućava detekciju deformacija i u područjima gde signali mogu biti manje stabilni, kao što su vegetacijom pokrivena ili urbana područja. Ova vrednost predstavlja kompromis između zadržavanja dovoljne količine podataka i osiguravanja pouzdanosti rezultata, omogućavajući identifikaciju ključnih deformacija čak i u složenim terenima. Pri višim pragovima koherencije, značajan deo podataka bi bio izgubljen, što bi umanjilo tačnost analize deformacija na seizmički aktivnim područjima.



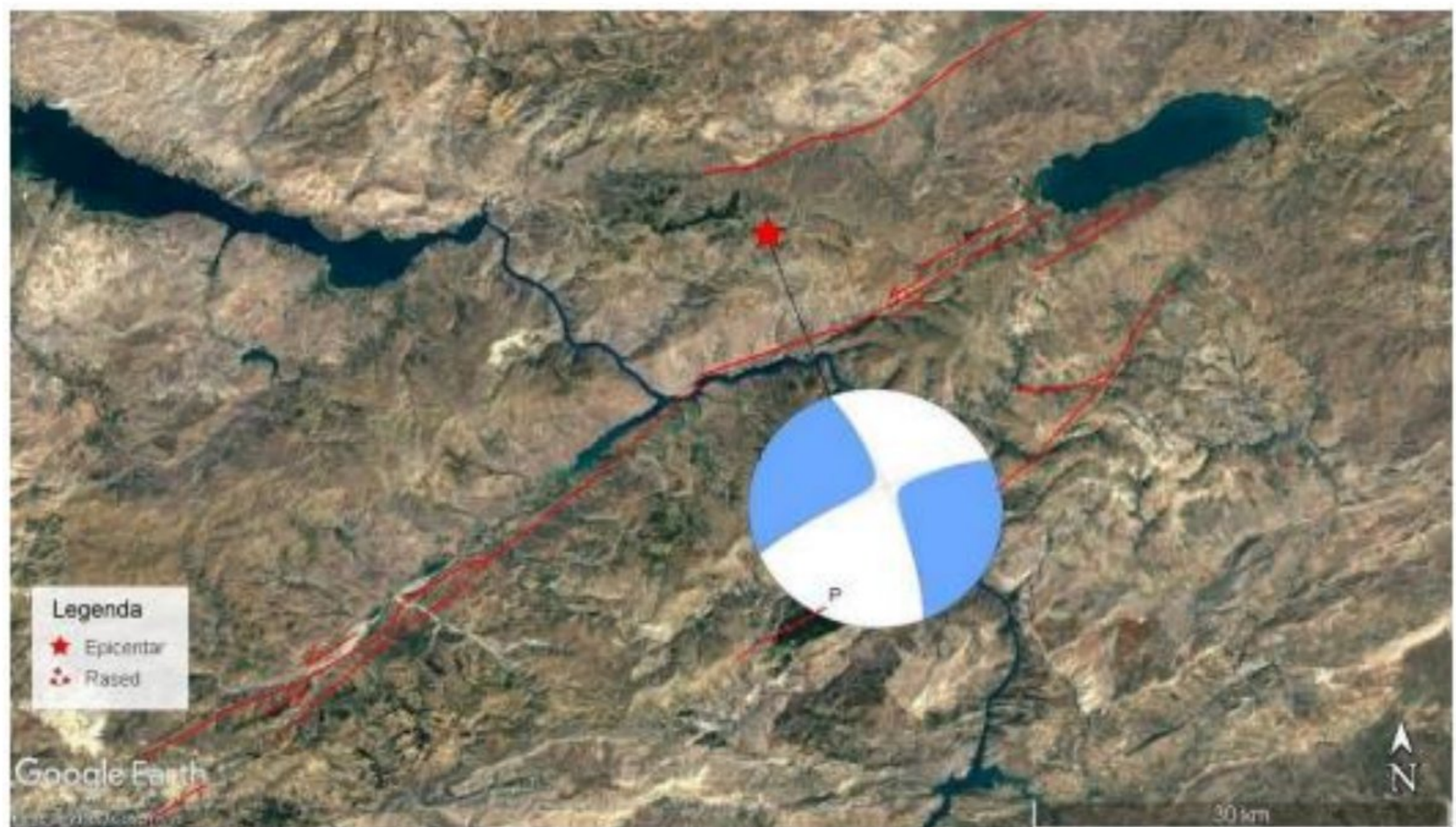


Slika 15. Razmotana interferogramska faza nakon uklanjanja nekoherentnih delova



## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

Zemljotres iz 2020. godine dogodio se na tektonskoj granici između Arabijske ploče i Anatolijskog bloka, koji je deo šireg tektonskog sistema Evroazijske ploče. Fokalni mehanizam zemljotresa (Slika 16) ukazuje na rasedanje duž levog transkurentnog raseda orijentisanog jugozapad-severoistok ili desnog transkurentnog raseda orijentisanog severozapad-jugoistok, što je u skladu s regionalnim karakteristikama rasedanja (Emre et al., 2018). Pokretanje Arabijske ploče prema sever-severozapadu u odnosu na Evroazijsku ploču, brzinom od 21 mm/god, i istovremeno pomeranje Anatolijskog bloka prema zapadu uzrokuje kretanje duž raseda kao što su Istočno anatolijski i Severno anatolijski rased. Ovi procesi naglašavaju kompleksnu dinamiku tektonskih interakcija u regionu, koja rezultira jakim zemljotresima i značajnim promenama na površini zemlje (Emre et al., 2018).

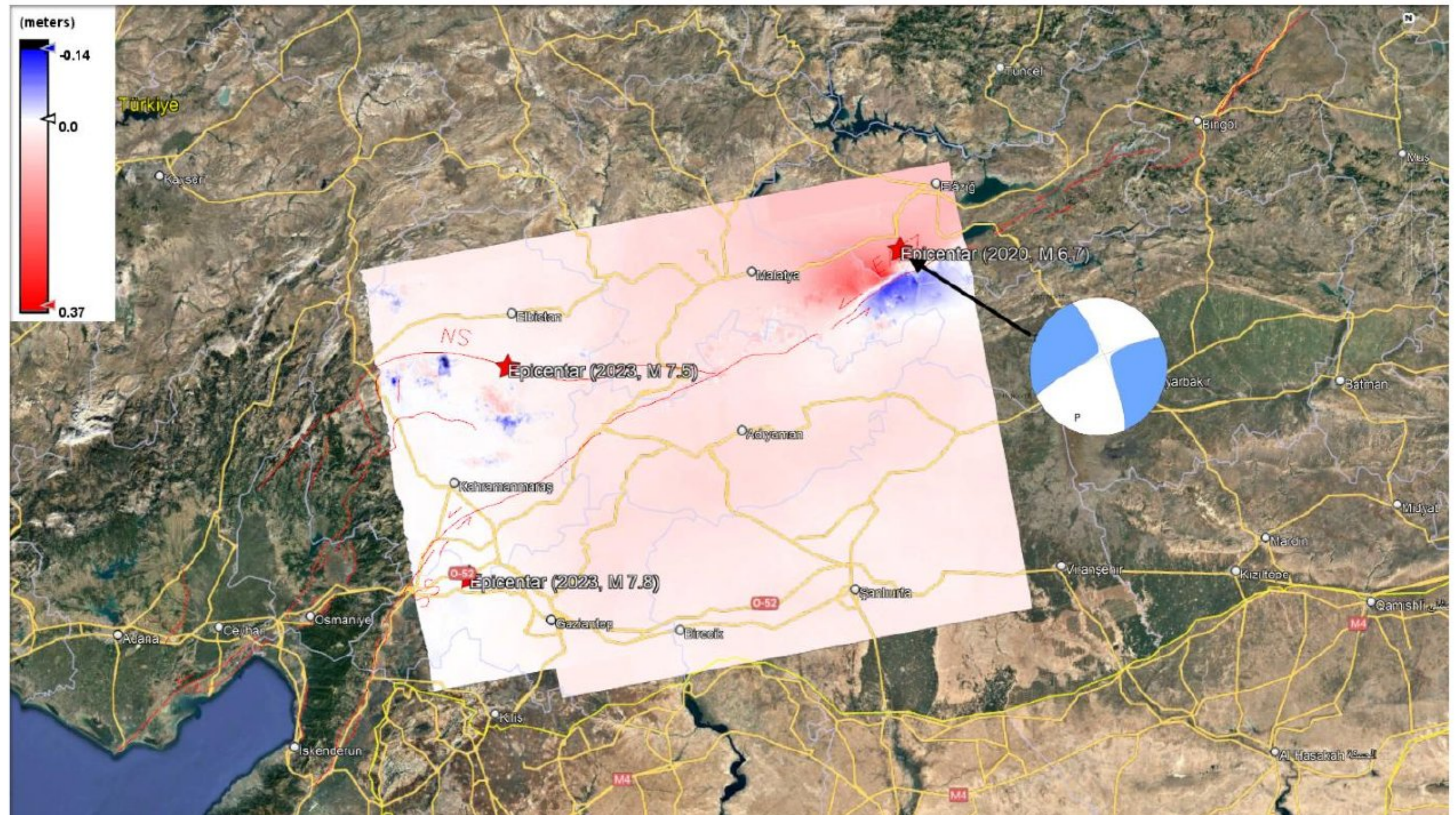


Slika 16. Fokalni mehanizam raseda duž kojeg je došlo do kretanja (Prpa, M., 2020)

Rezultati primene DInSAR tehnike nad Sentinel 1 SAR snimcima je karta deformacija u LOS pravcu, odnosno preračunata faza u metričko pomeranje iz 2020. godine (Slika 17). Na slici 17 prikazana je deformacija u LOS pravcu kao i Istočno anatolijskom rasedu, koji je referenciran u WGS 84 sistemu zajedno sa položajem



epicentra zemljotresa iz 2020. godine kao i položajima epicentra iz 2023. godine. Položaj epicentra zemljotresa preuzet je sa zvaničnog sajta (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>).



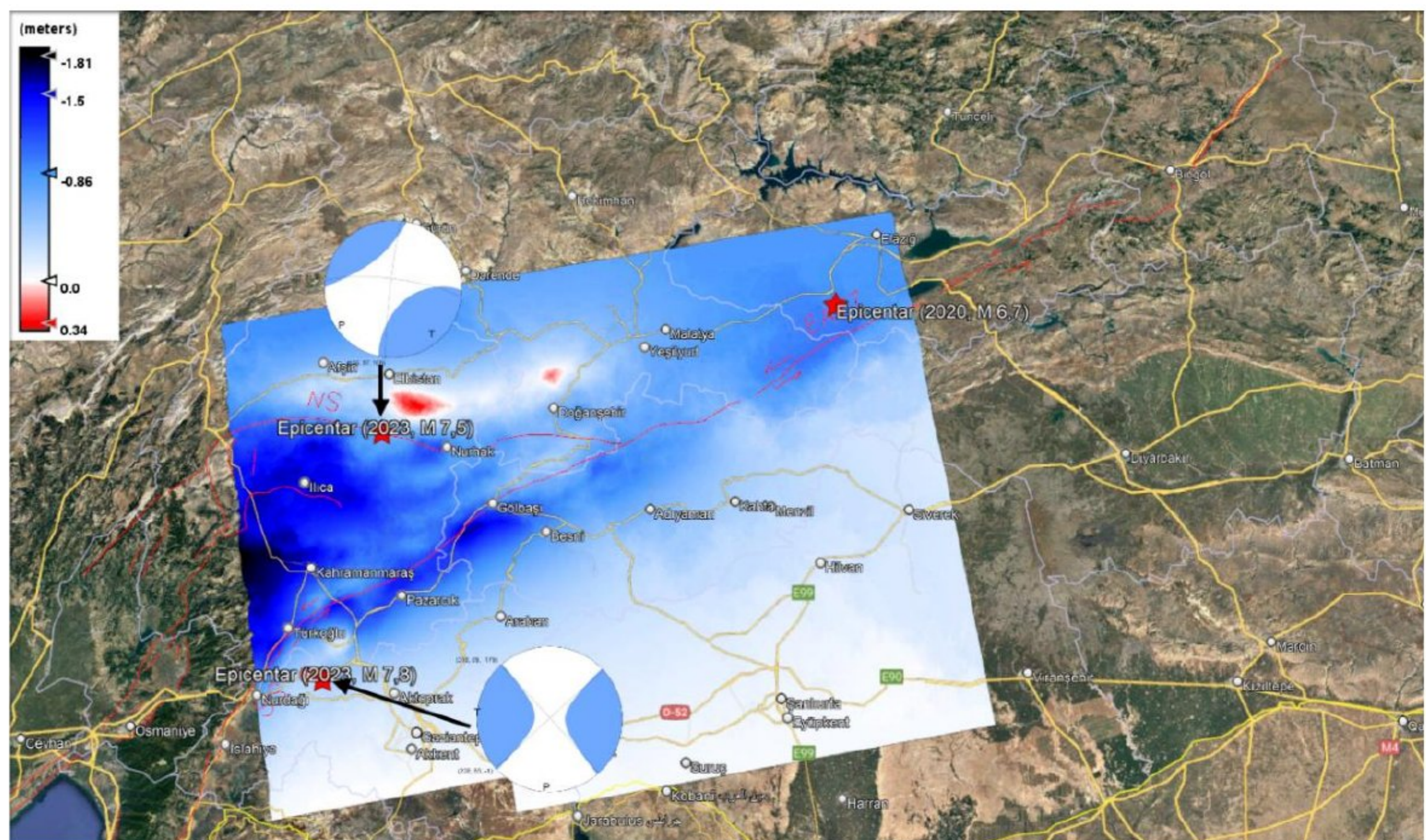
Slika 17. Karta deformacija u LOS pravcu, nakon uklonjenih nekoherentnih delova snimka(zemljotres 2020)

Istočno anatolijski rased, poznat po levostrano transkurentnim pokretima, igra ključnu ulogu u tektonskoj dinamici regiona. Deformacioni procesi zabeleženi DInSAR tehnikom nad Sentinel 1 SAR snimcima iz 2020. godine (Slika 17) jasno ukazuju na značajno pomeranje duž ovog raseda. Prikazana deformacija u LOS pravcu pokazuje da se levo krilo raseda pomerilo ka senzoru za 37 cm (negativne vrednosti), dok se desno krilo pomerilo od senzora za 14 cm (pozitivne vrednosti). Ovi rezultati potvrđuju dominantno horizontalno kretanje uz minimalne vertikalne komponente, što je tipično za transkurentne rasede.

Analizom seizmičkih podataka i deformacija, zaključuje se da su kretanja ploča u velikoj meri doprinela aktivaciji levog transkurentnog rasedanja, što je dodatno potkrepljeno rezultatima dobijenim iz DInSAR podataka. Kretanje ploča duž Istočno anatolijskog raseda dovelo je do značajnih pomeranja u regionu, što je zabeleženo kroz promene na površini tla (Emre et al., 2018).



Zemljotres iz 2023. godine pokazuje sličan obrazac. Prvobitno je došlo do rasedanja duž severnog segmenta raseda Mrtvog mora, nakon čega se širenje nastavilo severoistočno duž Istočno anatolijskog raseda, uzrokujući dodatna oštećenja (Reitman et al., 2023). Sekvenca događaja aktivirala je složene tektonske interakcije u blizini Kahramanmaraškog trostrukog spoja, uključujući nove rupture na susednim rasedima kao što je Sürgü rased. Na slici 18 prikazana je deformacija u LOS pravcu za zemljotres iz 2023. godine, pri čemu se primećuje da su deformacije izraženije kod zemljotresa magnitude 7,5 nego kod zemljotresa magnitude 7,8.



Slika 18. Karta deformacija u LOS pravcu, nakon uklonjenih nekoherentnih delova snimka (zemljotres 2023)

Deformacije izazvane zemljotresom iz 2020. godine su jasnije vidljive u DinSAR analizi, što može biti posledica jednostavnije strukture raseda u poređenju sa složenijim rasednim sistemima aktiviranim u 2023. godini. Zemljotres iz 2020. godine dogodio se duž jasno definisanog segmenta Istočno anatolijskog raseda, što je omogućilo preciznije mapiranje deformacija. U tom slučaju, deformacija je bila lokalizovana i koncentrisana duž jedne rasedne površine, što je olakšalo interpretaciju satelitskih snimaka.

Suprotno tome, sekvenca zemljotresa iz 2023. godine uključivala je aktivaciju više rasednih segmenata, uključujući i one u blizini Kahramanmaraškog trostrukog



spoja, što je dovelo do širenja deformacija na veću površinu sa preklapanjem efekata različitih raseda. Ovo je otežalo izdvajanje jasnih obrazaca deformacija na satelitskim snimcima. Blizina i brzo uzastopno dešavanje dva velika zemljotresa dodatno su zakomplikovali detekciju specifičnih deformacija za svaki pojedinačni događaj.

Geomorfološke i geološke karakteristike terena, takođe, igraju ključnu ulogu u vidljivosti deformacija. Prisustvo složenih geoloških jedinica i različitih vrsta stena može doprineti smanjenoj jasnoći deformacija na interferogramima u slučaju zemljotresa iz 2023. godine. Uz to, zemljotresi visoke magnitude često izazivaju velike pomeraje tla koji mogu dovesti do saturacije DInSAR signala, što je dodatno izraženo u 2023. godini zbog intenzivnog i širokog deformisanja duž više rasednih površina.

Ovi faktori ukazuju na to da se jasnije deformacije iz 2020. godine mogu bolje korelisati s jednostavnijom geometrijom rasedanja i manjim brojem aktiviranih raseda, dok sekvenca iz 2023. godine predstavlja složeniji scenario sa višestrukim seizmičkim interakcijama.

Uloga trostrukog spoja (MTJ) u redistribuciji stresa istaknuta je kao ključan faktor u kompleksnosti deformacija uzrokovanih zemljotresima iz 2023. godine. Aktivacija više rasednih segmenata oko Kahramanmaraškog trostrukog spoja ukazuje na značajan uticaj geometrije rasedanja i kretanja ploča na obrasce površinskih pomeranja. Pokreti Arabijske ploče prema sever-severozapadu i Anatolijskog bloka prema zapadu uzrokuju kretanje duž desnog transkurentnog raseda između Evroazijske ploče i Anatolijskog bloka. U jugoistočnom delu Turske, levostrano transkurentno pomeranje odvija se između Arabijske ploče i Anatolijskog bloka duž Istočno anatolijskog raseda. Kompleksna dinamika ovih pokreta doprinosi generisanju jakih zemljotresa i promenama na površini tla.

Korišćenjem DInSAR tehnike moguće je identifikovati glavne pravce deformacija i njihovu korelaciju s regionalnim tektonskim procesima, pružajući uvid u dinamiku kretanja ploča i njihovu ulogu u generisanju seizmičkih aktivnosti. Ovi rezultati naglašavaju značaj integrisane analize geoloških, geofizičkih i satelitskih podataka za razumevanje mehanizama zemljotresa i njihovih uticaja na regionalnu geodinamiku



## ZAKLJUČAK

U radu su analizirane površinske deformacije uzrokovane zemljotresima u Turskoj iz 2020. i 2023. godine primenom DinSAR tehnologije. Cilj istraživanja bio je kvantifikovati i uporediti deformacije, te ih povezati s mehanizmima oslobađanja stresa i njihovim uticajem na regionalnu seizmotektoniku.

Rezultati su pokazali da zemljotresi iz 2020. i 2023. godine imaju različite obrasce deformacija. Zemljotres iz 2020. godine (M 6,7) izazvao je lokalizovane deformacije duž Istočno anatolijskog raseda, dok su zemljotresi iz 2023. godine (M 7,8 i M 7,5) doveli do složenijih i rasprostranjenih deformacija, naročito u blizini Kahramanmaraškog trostrukog spoja (MTJ). Ovi obrasci ukazuju na redistribuciju stresa usled interakcije ploča i migracije trostrukog spoja, što je uticalo na aktivaciju višestrukih rasednih segmenata.

Analiza je pokazala da se DinSAR tehnika može uspešno koristiti za precizno mapiranje pomeranja tla tokom seizmičkih događaja, otkrivajući linearne prekide koji ukazuju na aktivne rasede. Pomeranja tla u LOS pravcu su omogućila kvantifikaciju intenziteta deformacija i pružila uvid u dinamiku tektonskih procesa.

Iako zemljotres iz 2020. godine nije direktno uzrokovao sekvencu zemljotresa iz 2023. godine, redistribucija stresa iz prethodnih događaja može povećati verovatnoću za buduće zemljotrese, posebno u seizmički aktivnim zonama sa kompleksnim tektonskim granicama, kao što je područje Istočno anatolijskog raseda. To naglašava potrebu za kontinuiranim praćenjem i analizom kako bi se poboljšale procene rizika od zemljotresa.

Zaključci ovog istraživanja potvrđuju važnost integrisanja geofizičkih i satelitskih podataka za bolje razumevanje dinamike zemljotresa. Rezultati doprinose ne samo naučnoj zajednici, već i praktičnim primenama u proceni seizmičkih rizika i planiranju zaštite u područjima sklona zemljotresima.



## LITERATURA

Akbulut, N., Bayarı, S., Akbulut, A., & Şahin, Y., 2009, "*Rivers of Türkiye*", in *Rivers of Europe*, vol. 2009, Academic Press, London, 643-672.

Aksu, A. E., Calon, T., Hall, J., Kurtboğan, B., Gürçay, S., & Çifçi, G., 2014a, "*Complex Interactions of Fault Fans Developed in a Strike-Slip System: Kozan Fault Zone, Eastern Mediterranean Sea*", *Marine Geology*, 351, 91-107.

Aksu, A. E., Walsh-Kennedy, S., Hall, J., Hiscott, R. N., Yaltrak, C., Akhun, S. D., & Çifçi, G., 2014b, "*The Pliocene–Quaternary Tectonic Evolution of the Cilicia and Adana Basins, Eastern Mediterranean: Special Reference to the Development of the Kozan Fault Zone*", *Tectonophysics*, 622, 22-43.

Aksu, A., Calon, T., Hall, J., Mansfield, S., & Yaşar, D., 2005, "*The Cilicia–Adana Basin Complex, Eastern Mediterranean: Neogene Evolution of an Active Fore-Arc Basin in an Obliquely Convergent Margin*", *Marine Geology*, 221, 121–159.

Aksu, A., Hall, J., & Yaltrak, C., 2021, "*Miocene–Quaternary Tectonic, Kinematic, and Sedimentary Evolution of the Eastern Mediterranean Sea: A Regional Synthesis*", *Earth-Science Reviews*, 220, 103719.

Ansari, R., et al. (2023). "*Advances in DinSAR Technology for Monitoring Tectonic Deformations.*" *Remote Sensing Letters*.

Arpat, E., & Şaroğlu, F., 1972, "*Some Observations and Thoughts on the East Anatolian Fault*", *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 73, 44–50.

Balkaya, C., et al., 2023, "*Multi-fault Rupture During the 2023 Kahramanmaraş Earthquake Sequence*", *Geophysical Research Letters*.

Barbot, S., et al., 2023, "*Insights from Stress Transfer and Fault Interaction During the February 6, 2023 Earthquake*", *Journal of Geophysical Research*.

Barka, A. A., 1988, "*The North Anatolian Fault Zone*", *Annales Tectonicae*, Special Issue 2, 56–67.



Bevis, M., et al. (1995). "Geodetic observations of very rapid convergence and back-arc extension at the Tonga Arc." *Nature* 374, 249-251.

Bird, P., 2003, "An Updated Digital Model of Plate Boundaries", *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(3), 1027.

Bulut, F., Bohnhoff, M., Ellsworth, W. L., Aktar, M., & Dresen, G., 2012, "Microseismicity at the North Anatolian Fault in the Marmara Sea Region, Turkey: Seismicity-Clustering and Seismotectonics", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B9), B09312.

Bulut, F., Korkmaz, S. Y., & K1sa, S. A. (2012). "The East Anatolian Fault Zone: Seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations". *Tectonophysics*, 530-531, 120-131

Burton-Ferguson, R., Aksu, A., Calon, T., & Hall, J., 2005, "Seismic Stratigraphy and Structural Evolution of the Adana Basin, Eastern Mediterranean", *Marine Geology*, 221, 189–222.

Byrne, D. E., Sykes, L. R., & Davis, D. M. (1992). "Great thrust earthquakes and aseismic slip along the plate boundary of the Makran subduction zone." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 97(B1), 449-478.

Caglayan A., Isik V., and Saber R., 2018, Mapping Active Faults and Establishing Fault Avoidance Zones: Applications for Disaster Risk Reduction in Urban Planning in Turkey, Conference: The 36th National and the 3rd International Geosciences Congress, At Iran

Chadha, R. K., 2023, "An Mw 7.8 Earthquake on 6 February 2023 on the East Anatolian Fault, Türkiye", *Journal of the Geological Society of India*, 99(4), 449-453.

Chorowicz, J., et al., 1994, "Oblique Collision and Continental Subduction in the Eastern Mediterranean: Implications for the Tectonics of the Region", *Tectonophysics*, 235(1-2), 15-40.

DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., & Stein, S. (1990). "Current plate motions." *Geophysical Journal International*, 101(2), 425-478.



Dewey, J. F., & Şengör, A. M. C., 1979, "*Aegean and Surrounding Regions: Complex Multiplate and Continuum Tectonics in a Convergent Zone*", Geological Society of America Bulletin, 90, 84–92.

Duman, Y. T., & Emre, O., 2013, "*The East Anatolian Fault: Geometry, Segmentation and Jog Characteristics*", Geological Society, London, Special Publications, 372, 495-529.

Đurić, D., & Ilić, D., 2018, "*Utvrđivanje koseizmičkih deformacija tla upotrebom DInSAR tehnike*", TEHNIKA – RUDARSTVO, GEOLOGIJA I METALURGIJA, 69, 1-14, UDC: 621.396.965.4, DOI: 10.5937/tehnika1804503D.

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Şaroğlu, F., & Olgun, Ş., 2018, "*Active Fault Map of Turkey with an Explanatory Text*", General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series.

Emre, O., Duman, T., Özalp, S., Elmacı, H., & Olgun, Ş., 2013, "*Active Fault Map of Turkey with Explanatory Text*", General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series 30.

Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., & Rocca, F., 2007, "*InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*", ESA Publications, ISBN: 92-9092-233-8, ISSN: 1013-7076.

Gokkaya, K., 2016, "*Geographic Analysis of Earthquake Damage in Türkiye Between 1900 and 2012*", Geomatics, Natural Hazards and Risk, 7(6), 1948-1961.

Gülen, L., et al., 1987, "*The Geometry of the East Anatolian Fault and Its Extension into the Mediterranean*", Tectonophysics, 141(1-4), 133-146.

Gürbüz, A., 2020, "*Quaternary Tectonics as the Neotectonics in Türkiye*", Geotectonics, 54(6), 797-806.

Güvercin, S., et al. (2022). "*Seismic Activity and Tectonic Behavior of the East Anatolian Fault.*" Journal of Seismology.



Hempton, M. R., Dewey, J. F., & Şaroğlu, F., 1981, "*The East Anatolian Transform Fault: Along-Strike Variations in Geometry and Behaviour*", *Eos Transactions AGU*, 62, 393.

Karabulut, H., et al., 2023, "*Seismic Hazard Assessment of the East Anatolian Fault Zone*", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*.

Kotha, S. R., et al. (2020). "*Probabilistic Hazard Assessment Models for European Seismic Activity*." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*.

Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., & Kazancı, N., 2019, "*Landscapes and Landforms of Türkiye*", Springer Berlin Heidelberg.

Lanari, R., Casu, F., Manzo, M., Zeni, G., Berardino, P., Manunta, M., & Pepe, A., 2007, "*An Overview of the Small Baseline Subset Algorithm: A DInSAR Technique for Surface Deformation Analysis*", *Pure and Applied Geophysics*, 164, 637–661, DOI 10.1007/s00024-007-0192-9.

Lyberis, N., 1982, "*Tectonic Evolution of the East Anatolian Plateau*", *Geological Society of America Bulletin*, 93(11), 1265-1275.

Masson, D. G., Miles, P. R., & Parson, L. M. (1990). "*The Tonga-Kermadec triple junction*." *Tectonophysics*, 174(2-4), 271-278.

McKenzie, D. P., 1972, "*Active Tectonics of the Mediterranean Region*", *Tectonophysics*, 14(2), 145-172.

McKenzie, D., & Morgan, W. J. (1969). "*The evolution of triple junctions*." *Nature*, 224(5215), 125-133.

McKenzie, D., Weiss, N., & Sage, R., 1970, "*The Evolution of Triple Junctions*", *Journal of Geophysical Research*, 75(11), 2164-2172.

Menard, H. W. (1971). "*The East Pacific Rise*." *Science*, 166(3913), 549-555.

Mohr, P. A. (1983). "*The Afar Triple Junction*." *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 11, 145-173.



Molnar, P., & Tapponnier, P. (1975). "*Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision.*" *Science*, 189(4201), 419-426.

Mora, O., Ordoqui, P., Iglesias, R., & Blanco, P., 2016, "*Earthquake Rapid Mapping Using Ascending and Descending Sentinel-1 TOPSAR Interferograms*", *Procedia Computer Science*, 100, 1135-1140.

Ni, S., et al., 2023, "*The February 6, 2023, Mw 7.8 Earthquake in Southeastern Turkey*", *Seismological Research Letters*.

Nicholson, C., et al. (1994). "*Microplate capture, rotation of the western transverse ranges, and initiation of the San Andreas transform as a low-angle fault system.*" *Geology*, 22(6), 491-495.

Over, S., Özden, S., & Yilmaz, H., 2004, "*Late Cenozoic Stress Evolution Along the Karasu Valley*", *SE Turkey*, *Tectonophysics*, 380, 43–68.

Özbey, V., Şengör, A. M. C., Henry, P., Özeren, M. S., Haines, A. J., Klein, E. C., Tarı, E., Zabcı, C., Chousianitis, K., Güvercin, S. E., & Öğretmen, N., 2024, "*Kinematics of the Kahramanmaraş Triple Junction and of Cyprus: Evidence of Shear Partitioning*", *BSGF - Earth Sciences Bulletin*, 195, 15.

Özeren, M. S., & Holt, W. E., 2010, "*The Dynamics of the Eastern Mediterranean and Eastern Türkiye*", *Geophysical Journal International*, 183(3), 1165-1184.

Perinçek, D., & Çemen, I., 1990, "*The East Anatolian Fault Zone: Seismotectonics and Seismic Hazard*", *Tectonophysics*, 177(1-2), 127-144.

Prpa, M., (2020), "*ZEMLJOTRES U TURSKOJ (2020): KOSEIZMIČKE DEFORMACIJE TLA NA OSNOVU SAR SNIMAKA*"

Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Özener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., Ar-Rajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, M., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., & Karam, G., 2006, "*GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia*



*Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions*", Journal of Geophysical Research, 111(B5), B05411.

Reitman, N. G., Barnhart, W. D., Briggs, R. W., Gomez, F., & Salvi, S., 2023, "Geodetic Imaging of the 2023 Kahramanmaraş Earthquake Sequence, Turkey", Geophysical Research Letters.

Sançar, T., Zabcı, C., Karabacak, V., Yazıcı, M., & Akyüz, H. S., 2019, "Geometry and Paleoseismology of the Malatya Fault (Malatya-Ovacık Fault Zone), Eastern Türkiye: Implications for Intraplate Deformation of the Anatolian Scholle", Journal of Seismology, 23(2), 319-340.

Searle, M. P. (1986). "Structural evolution and sequence of thrusting in the High Himalayan, Tibetan-Tethys, and Indus suture zones of Zaskar and Ladakh, Western Himalaya." *Journal of Structural Geology*, 8(8), 923-936.

Şengör, A. M. C., & Yılmaz, Y., 1981, "Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach", *Tectonophysics*, 75, 181–241.

Şengör, A. M. C., & Yılmaz, Y., 1985, "The Geology of the Eastern Mediterranean: A Review", *Tectonophysics*, 119(1-4), 1-35.

Şengör, A. M. C., & Zabcı, C., 2019, "The North Anatolian Fault and the North Anatolian Shear Zone", in: Kuzucuoglu, C., Çiner, A., & Kazancı, N. (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey*, Springer International Publishing, Cham, pp. 481–494.

Şengör, A. M. C., 1979, "The Cenozoic Tectonic Evolution of the Central and Eastern Mediterranean Region", *Geological Society of America Bulletin*, 90(11), 1424-1440.

Şengör, A. M. C., et al. (1985). "Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study." In *Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation* (Vol. 37, pp. 227-264).

Şengör, A. M. C., et al., 1985, "Tectonic Evolution of the Anatolian Plateau", *Geological Society of America Bulletin*, 96(11), 1351-1374.



Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, E., Görür, N., Le Pichon, X., & Rangin, C., 2005, "*The North Anatolian Fault: A New Look*", Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33, 37–112.

Silver, E. A., Reed, D. L., McNeil, J. D., & McHugh, C. M. (1983). "*A sedimentary basin analysis of the evolution of the Sunda trench.*" *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 88(B9), 6875-6888.

Stein, R., et al., 2023, "*Multiple Mainshock Triggering in the 2023 Kahramanmaraş Earthquake Sequence*", Geophysical Research Letters.

Stern, R. J. (2002). "*Subduction zones.*" *Reviews of Geophysics*, 40(4), 3-1.

Taymaz, T., Tan, O., & Yolsal, S., 2004, "*Active Tectonics of Turkey and Surroundings and Seismic Risk in the Marmara Sea Region.*"

Toda, S., et al., 2023, "*Stress Transfer and Fault Interaction During the February 6, 2023 Earthquake*", Nature Geoscience.

Turkish Red Crescent Society, 2020, "*Elazığ/Turkey: Earthquake*"; *Situation Report No: 01 / 24 January 2020.*

Turkish Red Crescent, 2020, "*Elazığ/Turkey: Earthquake*"; *Situation Report No: 010/31 January 2020.*

Ullo, S., Addabbo, P., Martire Di, D., & Sica, S., 2019, "*Application of DInSAR Technique to High-Coherence Sentinel-1 Images for Dam Monitoring and Result Validation Through In Situ Measurements*", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 99, 1-16, DOI: 10.1109/JSTARS.2019.2896989.

Veci, L., 2015, "*SAR Basics Tutorial*", Array Systems Computing Inc.

Vollrath, A., Zucca, F., Bekaert, D., Bonfirte, A., Guglielmino, F., Hooper, J. A., & Stramondo, S., 2017, "*Decomposing DInSAR Time-Series into 3-D in Combination with GPS in the Case of Low Strain Rates: An Application to the Hyblean Plateau, Sicily, Italy*", *Remote Sensing*, 9(1), 10.3390/rs9010033.



Westaway, R., 2004, " *Kinematic Consistency Between the Dead Sea Fault Zone and the Neogene and Quaternary Left-Lateral Faulting in SE Turkey*", *Tectonophysics*, 391, 203–237.

Yilmaz, H., Över, S., & Özden, S., 2006, " *Kinematics of the East Anatolian Fault Zone Between Turkoglu (Kahramanmaras) and Celikhan (Adiyaman), Eastern Turkey*", *Earth, Planets and Space*, 58, 1463–1473.

Zaccarelli, L., et al. (2019). " *Source Scaling and Ground-Motion Variability along the East Anatolian Fault*." *The Seismic Record*, GeoScienceWorld. Retrieved from GeoScienceWorld

Zilio, L., & Ampuero, J., 2023, " *Seismogenic Characteristics of the 2023 Kahramanmaraş Earthquake Sequence*", *Earth and Planetary Science Letters*.

Tectonic Summary,URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage>

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>

<https://sentinel.esa.int>

<https://www.copernicus.eu>

<https://rus-copernicus.eu>

<https://www.esa.int>

<https://earth.esa.int>

<https://www.britannica.com/science/earthquake-geology>



# IZJAVA

Izjavljujem da sam samostalno izradila završni rad koji mi je odobrila  
Katedra \_\_\_\_\_  
Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu sa komisijom u  
sastavu:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

na temu \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

datum

potpis studenta



## ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ ЗАВРШНОГ РАДА

Име и презиме студента Драган Живковић \_\_\_\_\_

Број индекса Г601/23 \_\_\_\_\_

### И з ј а в љ у ј е м

да је завршни рад под насловом

Поређење резултата интерферометријске анализе за земљотресе на Источном анатолијском раседу из 2020.  
и 2023. године

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да завршни рад у целини ни у деловима није био предложен за стицање друге дипломе на студијским програмима Рударско-геолошког факултета или других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, 13.09.2024 \_\_\_\_\_

**Потпис студента**

\_\_\_\_\_



## ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ЗАВРШНОГ РАДА

Име (име родитеља) и презиме студента Драган Синиша  
Живковић \_\_\_\_\_

Број индекса Г 6 0 1 / 2 3 \_\_\_\_\_

Студијски програм Г е о ф и з и к а \_\_\_\_\_

Наслов рада П о р е ђ е њ е р е з у л т а т а  
и н т е р ф е р о м е т р и ј с к е а н а л и з е з а  
з е м љ о т р е с е н а И с т о ч н о м а н а т о л и ј с к о м  
р а с е д у о д 2 0 2 0 . и 2 0 2 3 . г о д и н е \_\_\_\_\_

Ментор проф. Др Драгана Ђурић \_\_\_\_\_

Изјављујем да је штампана верзија мог завршног рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради одлагања у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити у електронском каталогу и у публикацијама Рударско-геолошког факултета.

У Београду, 13.09.2024 \_\_\_\_\_

**Потпис студента**

\_\_\_\_\_



## ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ ЗАВРШНОГ РАДА

Овлашћујем библиотеку Рударско-геолошког факултета да у Дигитални репозиторијум унесе мој завршни рад под насловом:

Поређење резултата интерферометријске анализе за земљотресе на Источном анатолијском раседу из 2020.  
и 2023. године

---

који је моје ауторско дело.

Завршни рад са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Мој завршни рад одложен у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета је *(заокружити једну од две опције)*:

I. редуковано доступан кроз наслов завршног рада и резиме рада са кључним речима;

II. јавно доступан у отвореном приступу, тако да га могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се уз сагласност ментора одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

*(Заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве.)*

У Београду, 13.09.2024\_\_\_\_\_

**Потпис ментора**

**Потпис студента**

---

---



1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
  2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
  3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
  4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
  5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
  6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.
-



