



مدلسازی گسله مسبب زمین لرزه ۲۹ فروردین ۱۴۰۰ بندر گناوه با بزرگای ۵/۸ با استفاده از مشاهدات اینسار

مهین جعفری



دکتر زهرا موسوی



دکتر مهتاب افلاکی



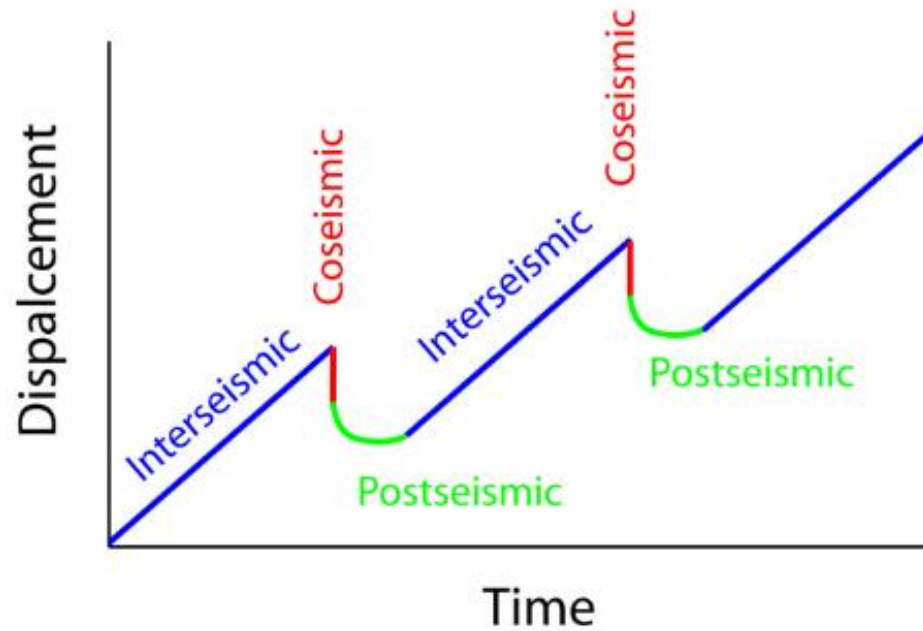
دکتر خلیل متقی



دکتر آندرا والپرز دورف







Interseismic

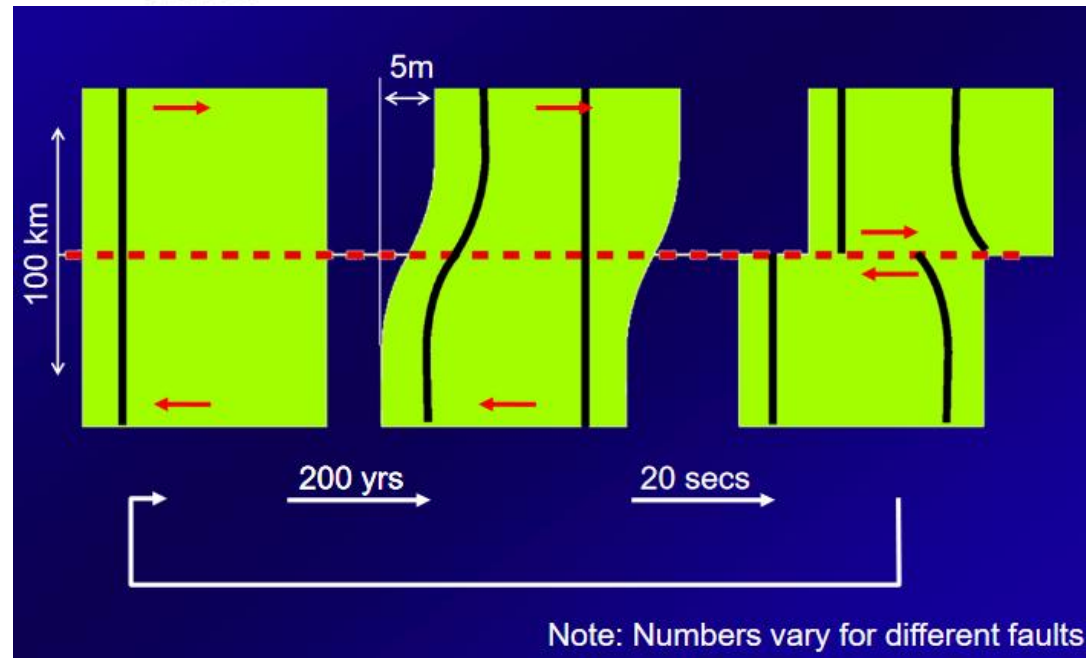
بین لرزه‌ای

Coseismic

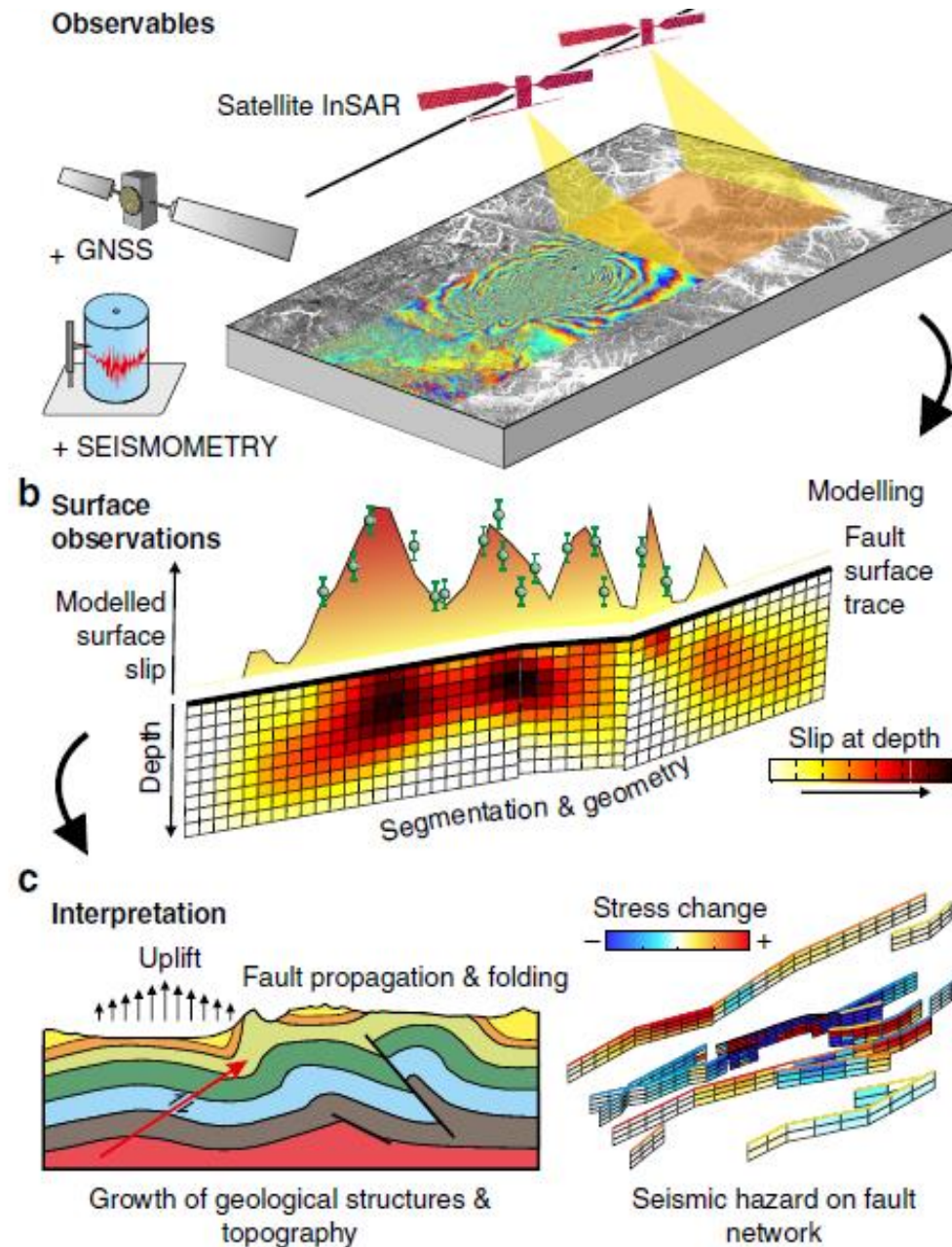
حین زلزله

Postseismic

پس‌لرزه‌ای

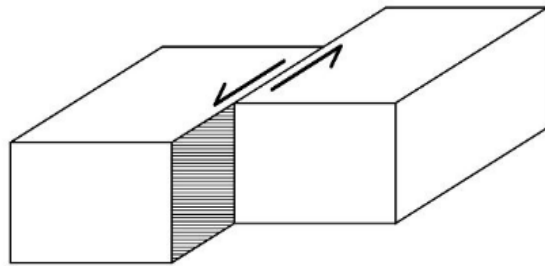


Note: Numbers vary for different faults

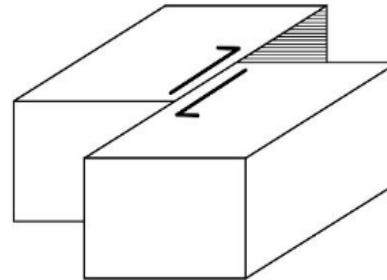




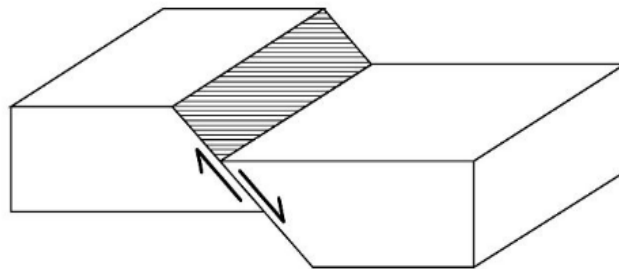
λ : rake angle, i.e., direction of slip on plane



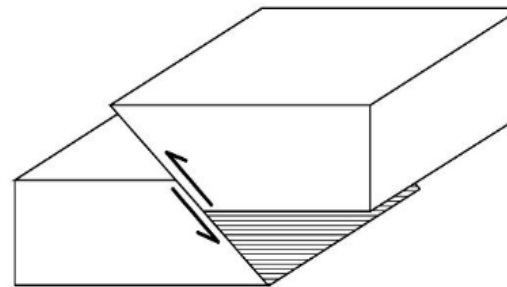
Left-lateral strike-slip fault
($\lambda = 0^\circ$)



Right-lateral strike-slip fault
($\lambda = 180^\circ$)

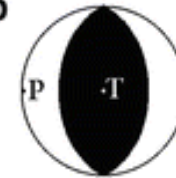


Normal dip-slip fault
($\lambda = -90^\circ$)



Reverse dip-slip fault
($\lambda = 90^\circ$)

b



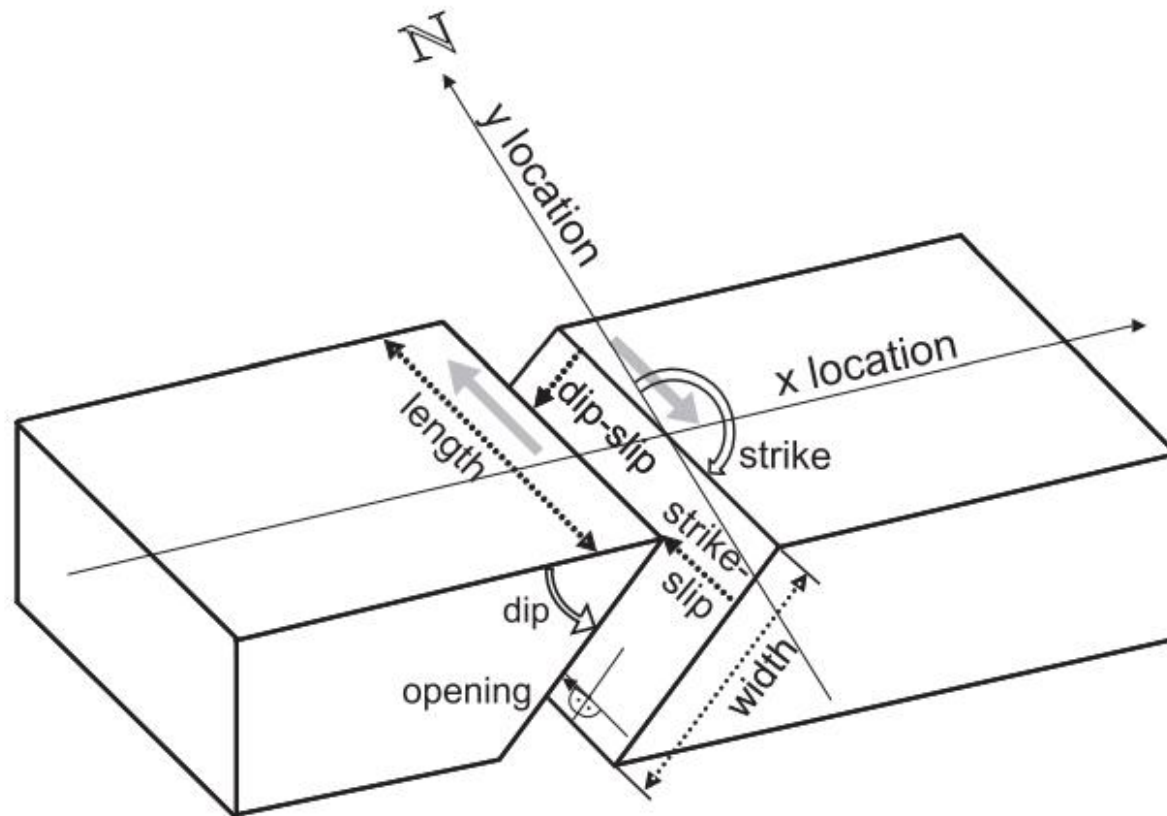
Reverse fault



Normal fault



Strike-slip fault



Dimension

- ① length [km]
- ② width [km]
- ③ depth [km]

Orientation

- ④ dip from hor. [°]
- ⑤ strike from North [°]

Location

- ⑥ x/East [km]
- ⑦ y/North [km]

Slip

- ⑧ strike slip [m]
- ⑨ dip slip [m]
- ⑩ opening [m]



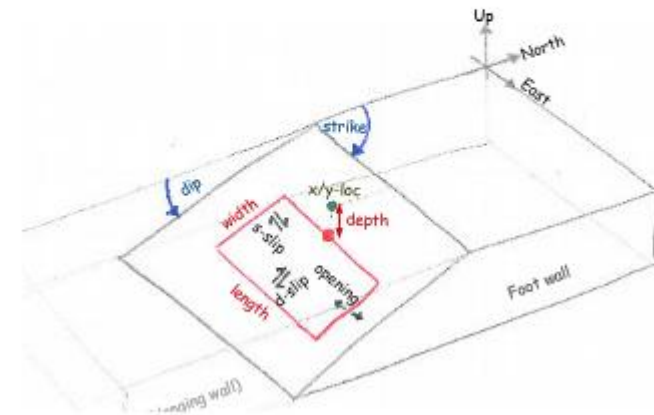
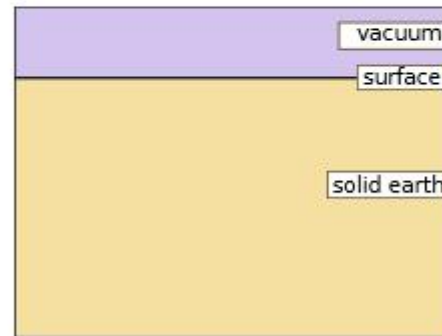
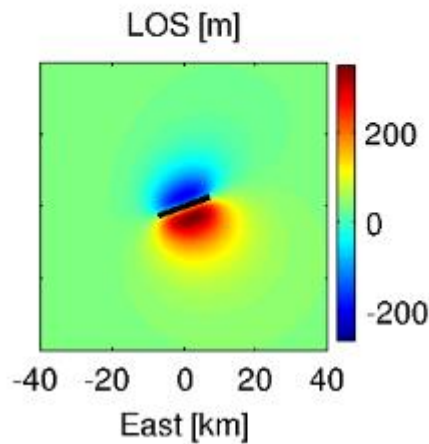
synthetic data

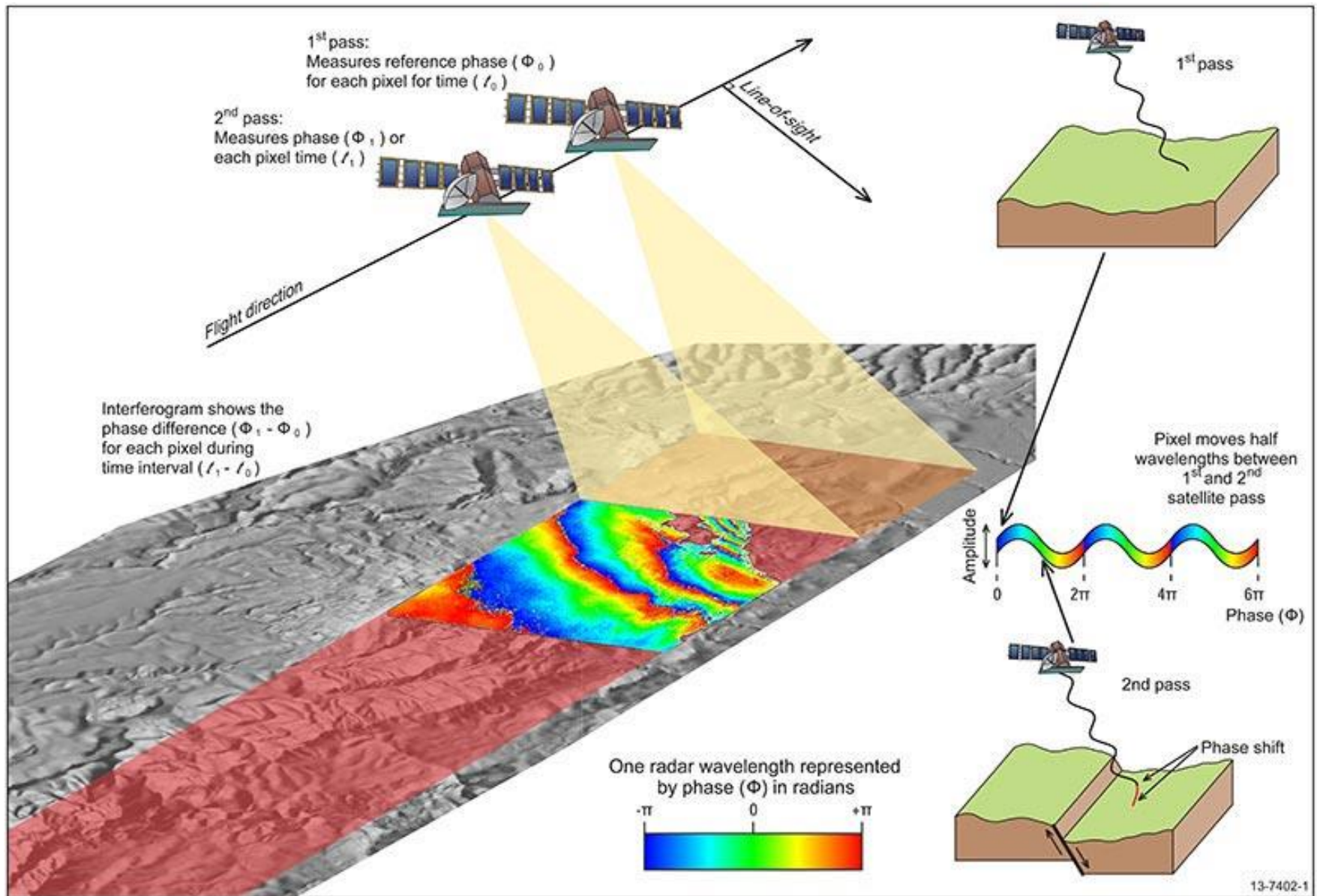
=

medium model

*

source model

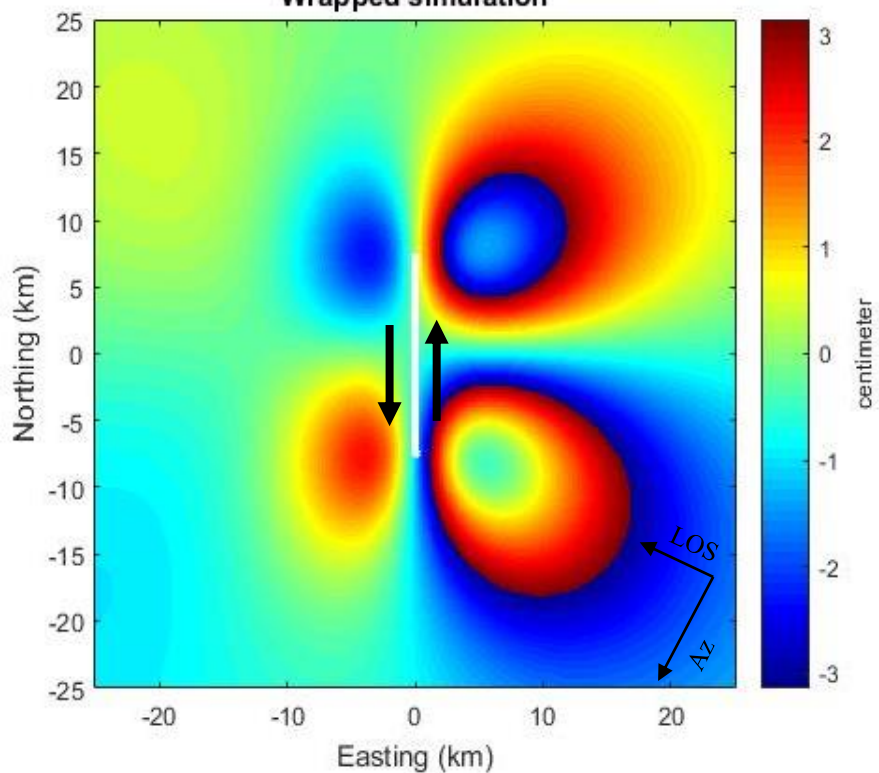






Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	90	0	15	10	5	15	1

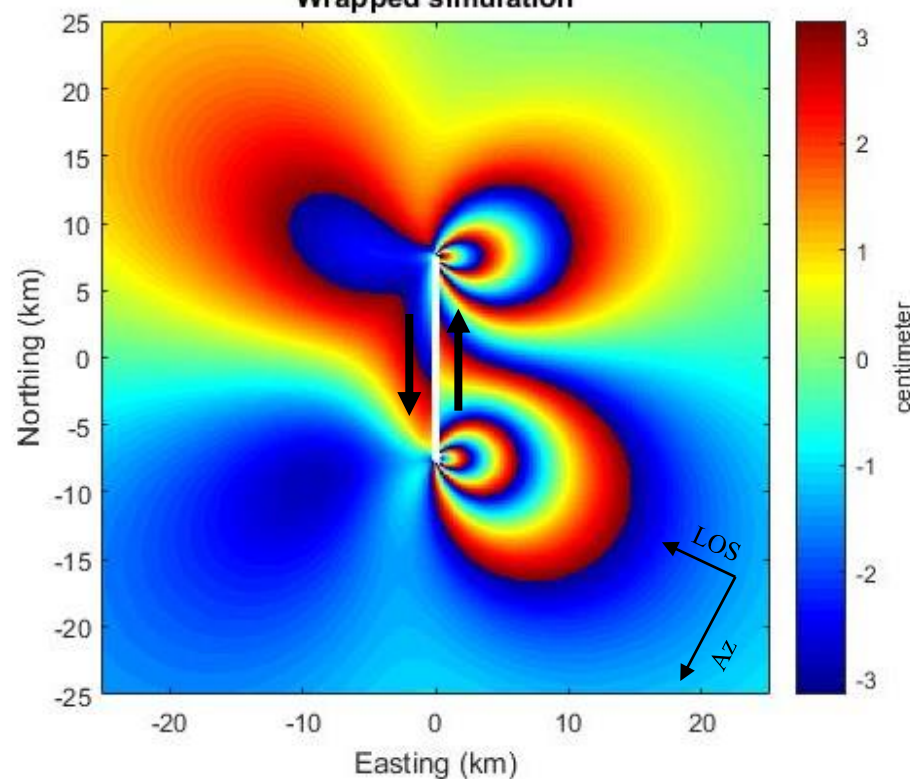
Wrapped simulation



Without surface rupture

Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	90	0	15	10	0	10	1

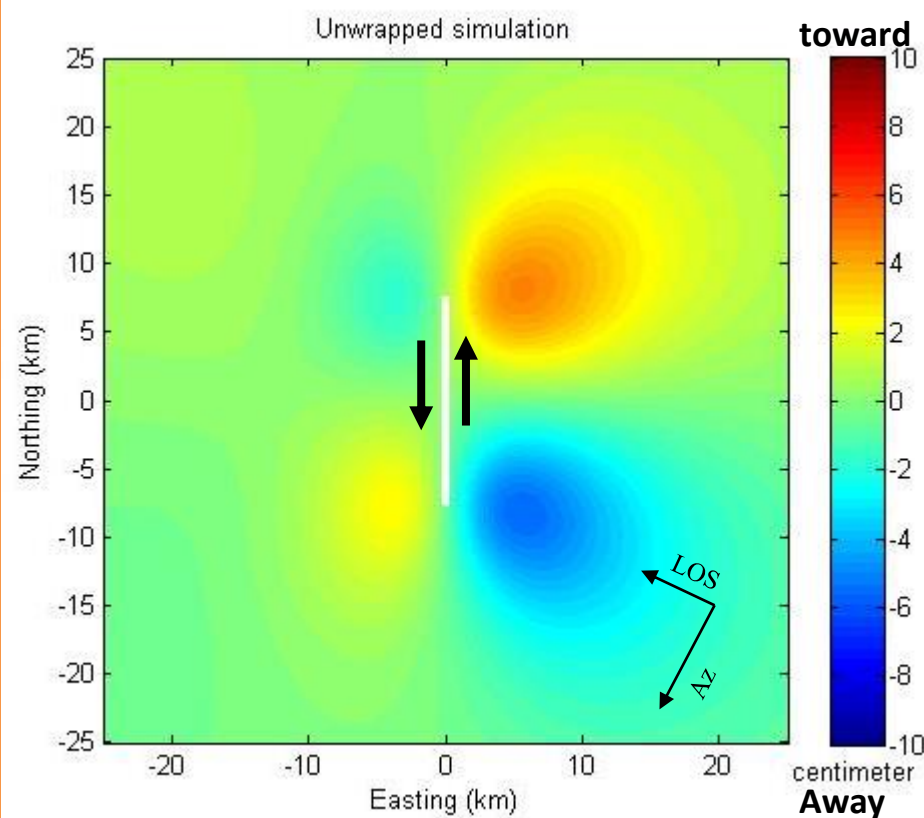
Wrapped simulation



With surface rupture

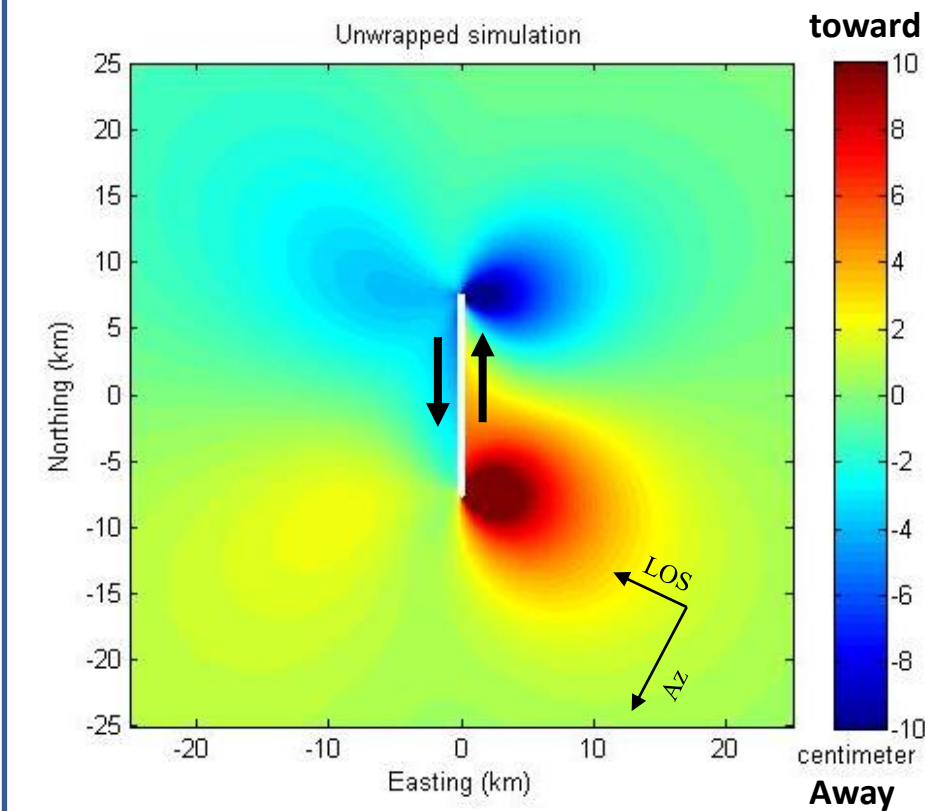


Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	90	0	15	10	5	15	1



Without surface rupture

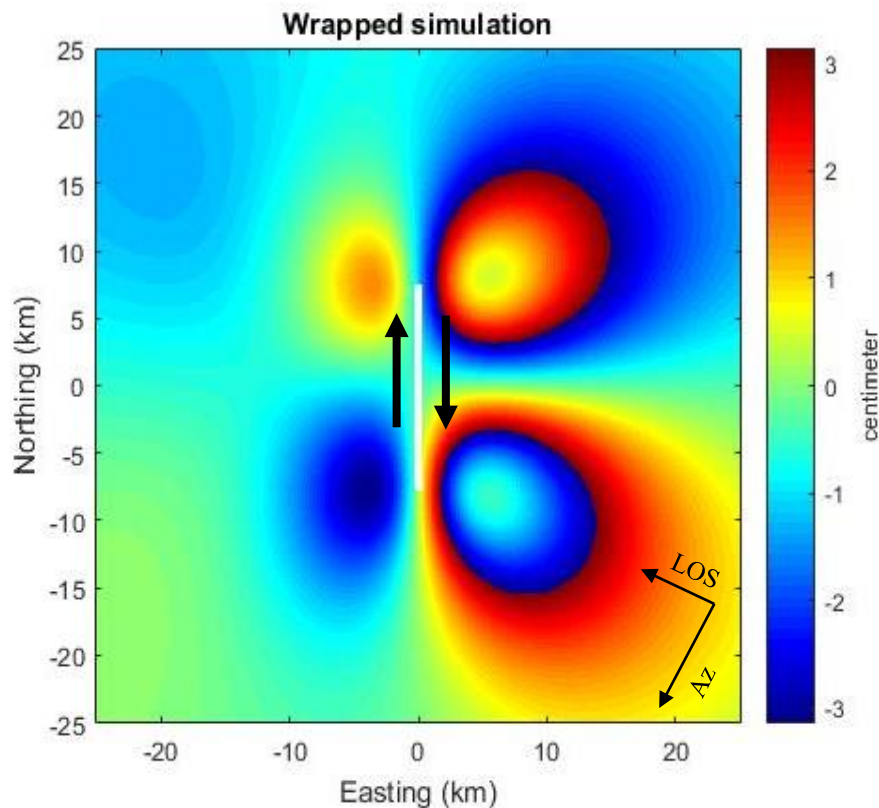
Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	90	0	15	10	0	10	1



With surface rupture

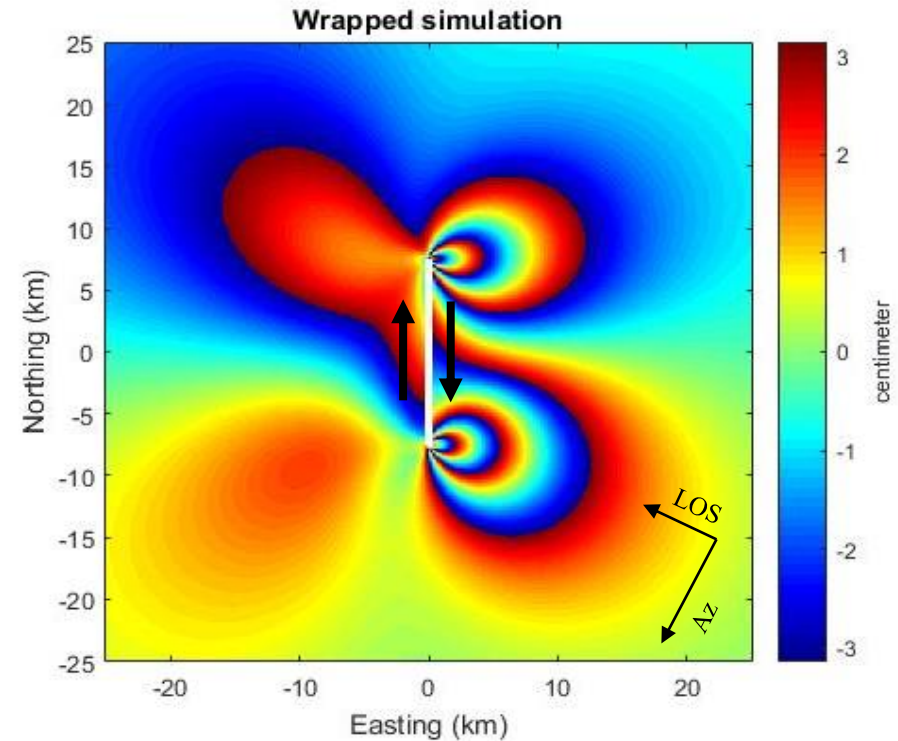


Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	90	180	15	10	5	15	1



Without surface rupture

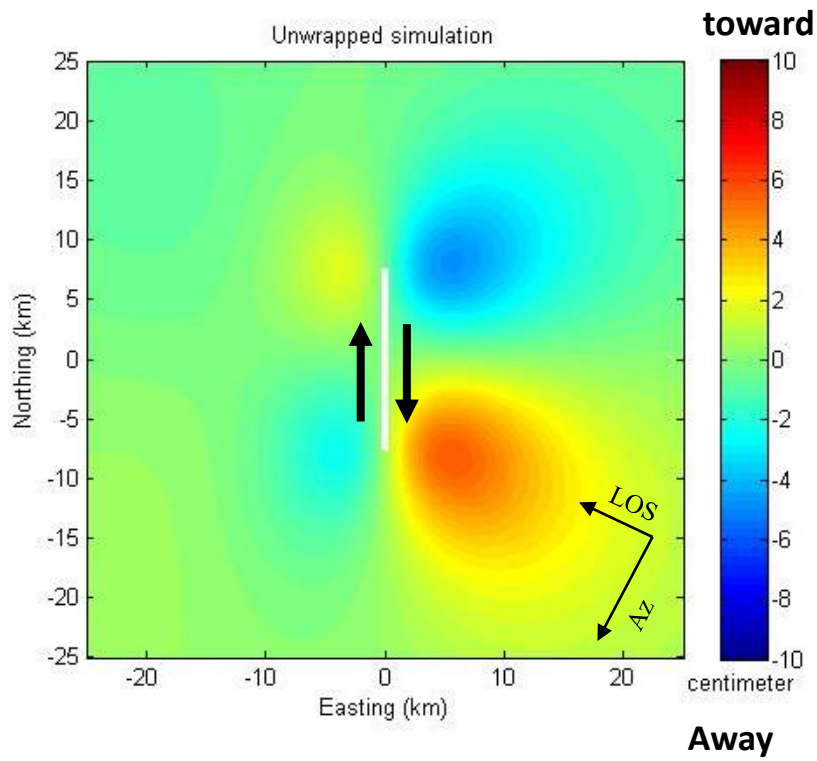
Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	90	180	15	10	0	10	1



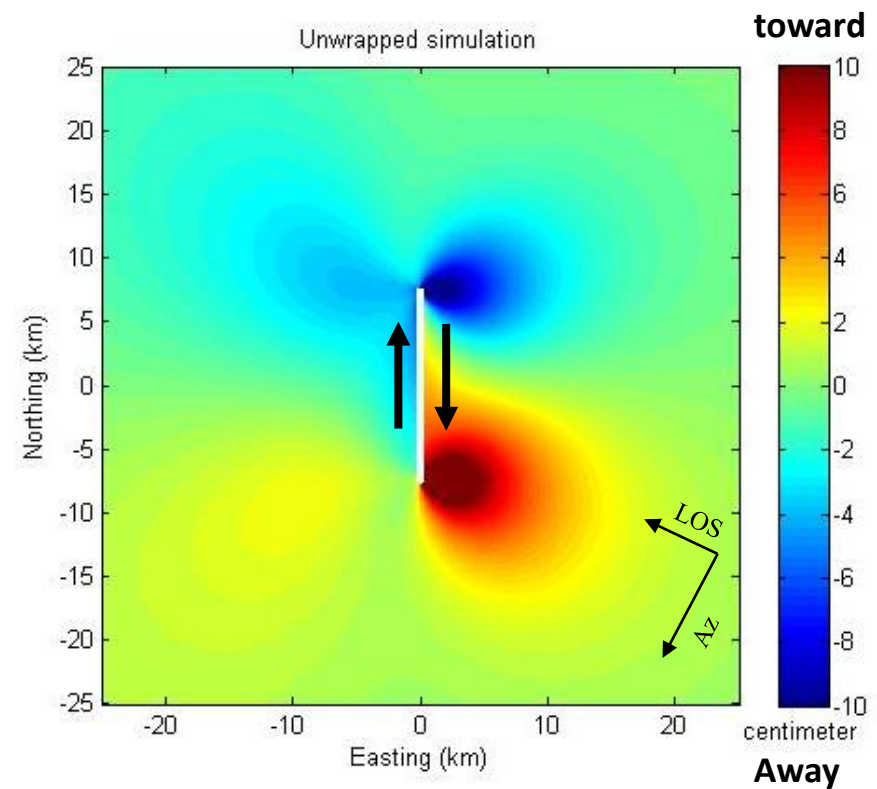
With surface rupture

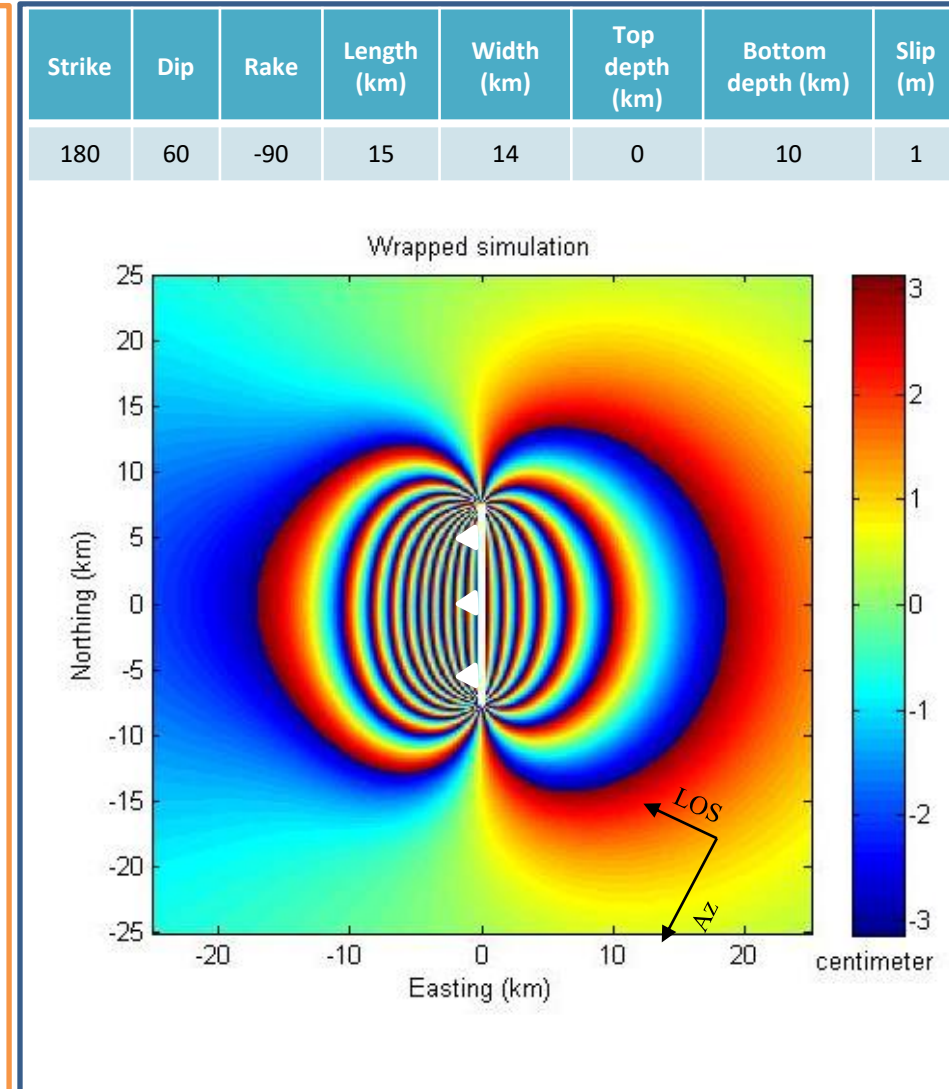
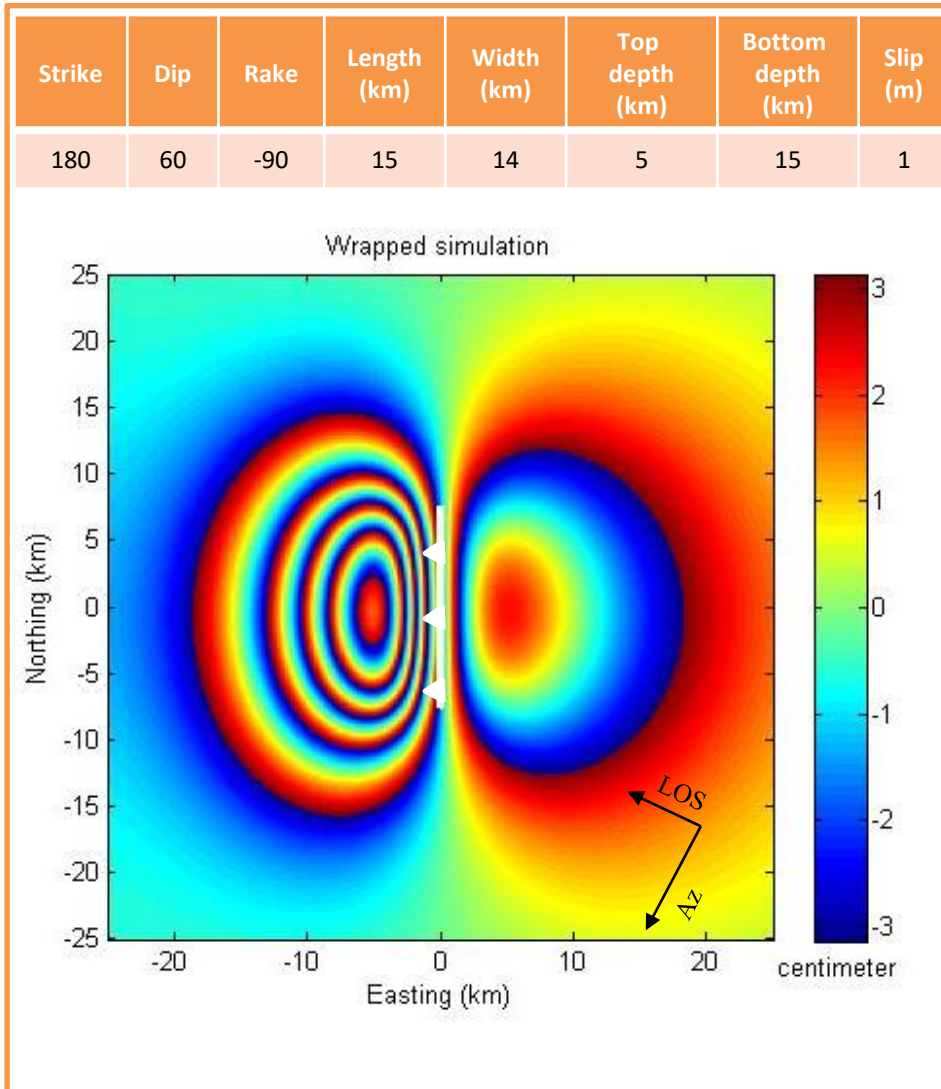


Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	90	180	15	10	5	15	1



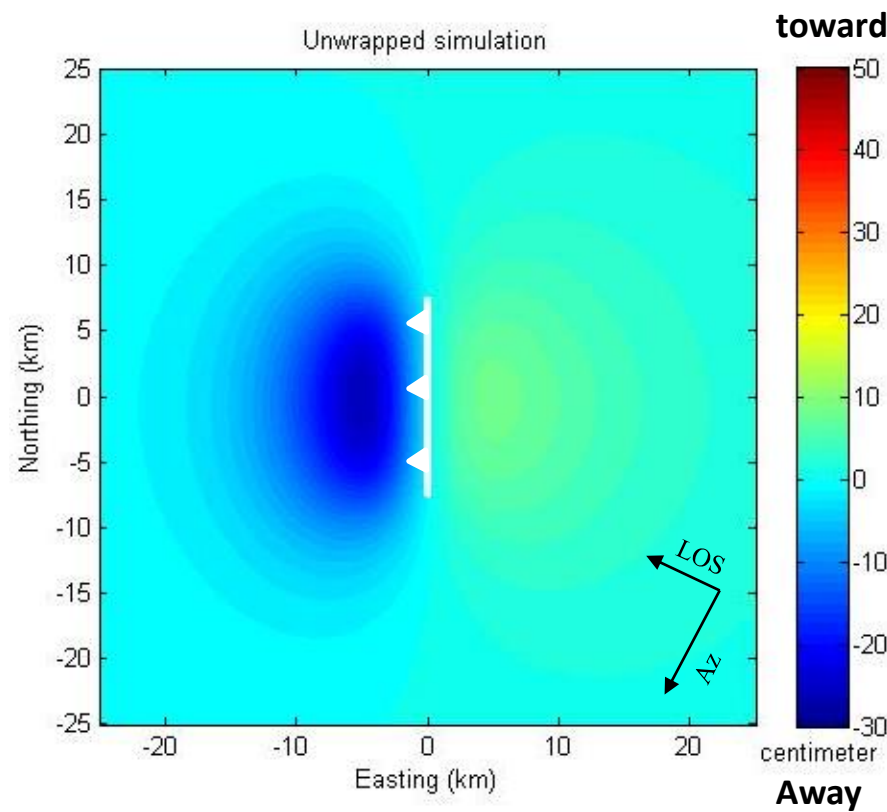
Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	90	180	15	10	0	10	1



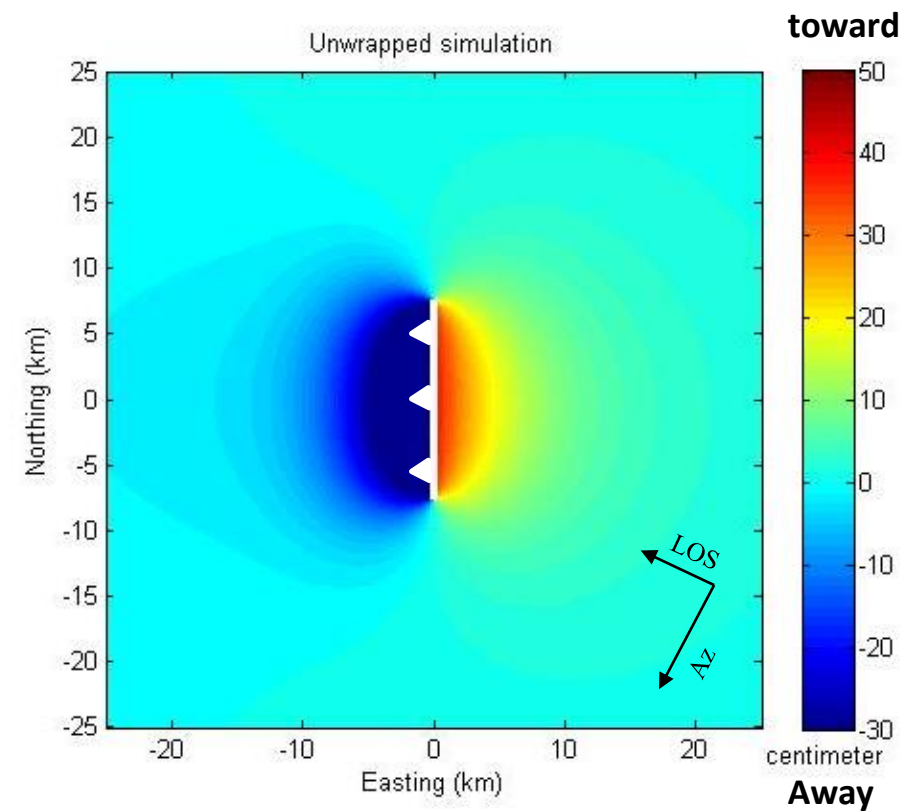


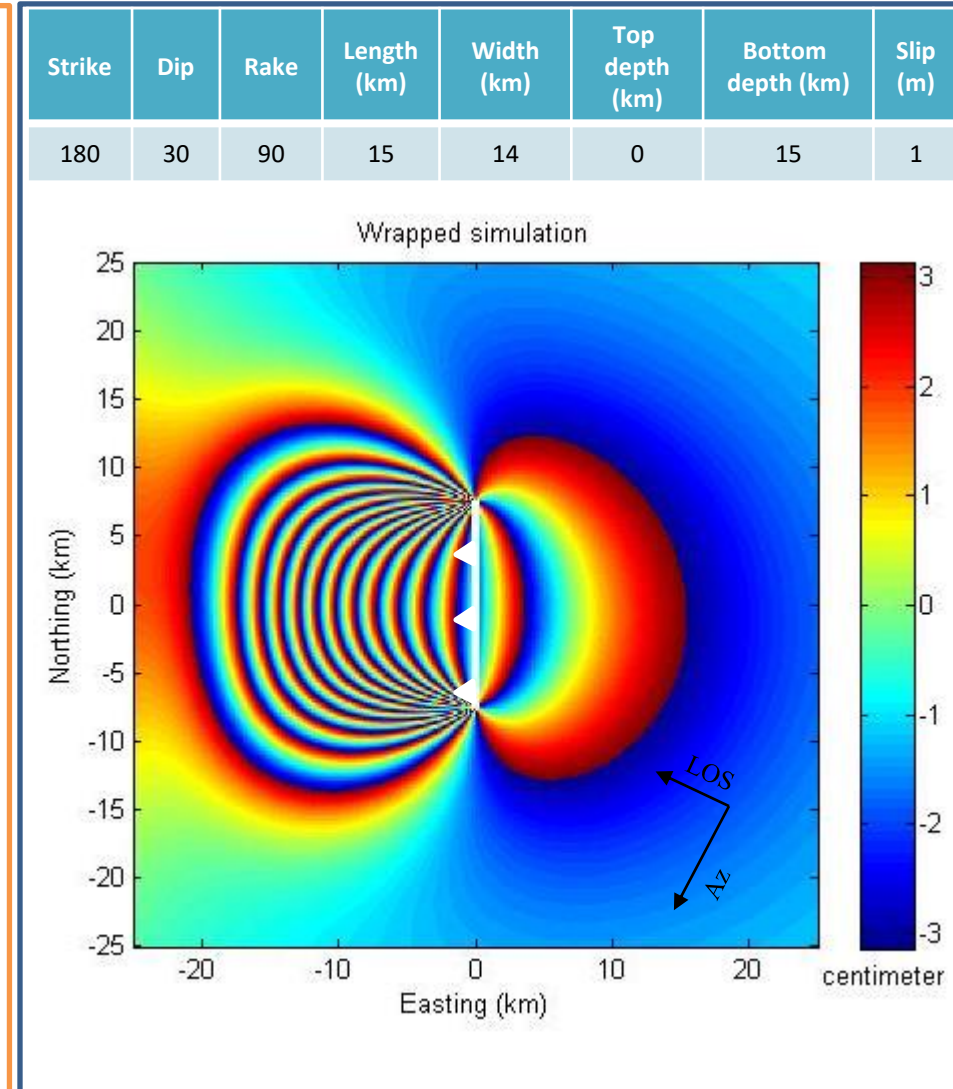
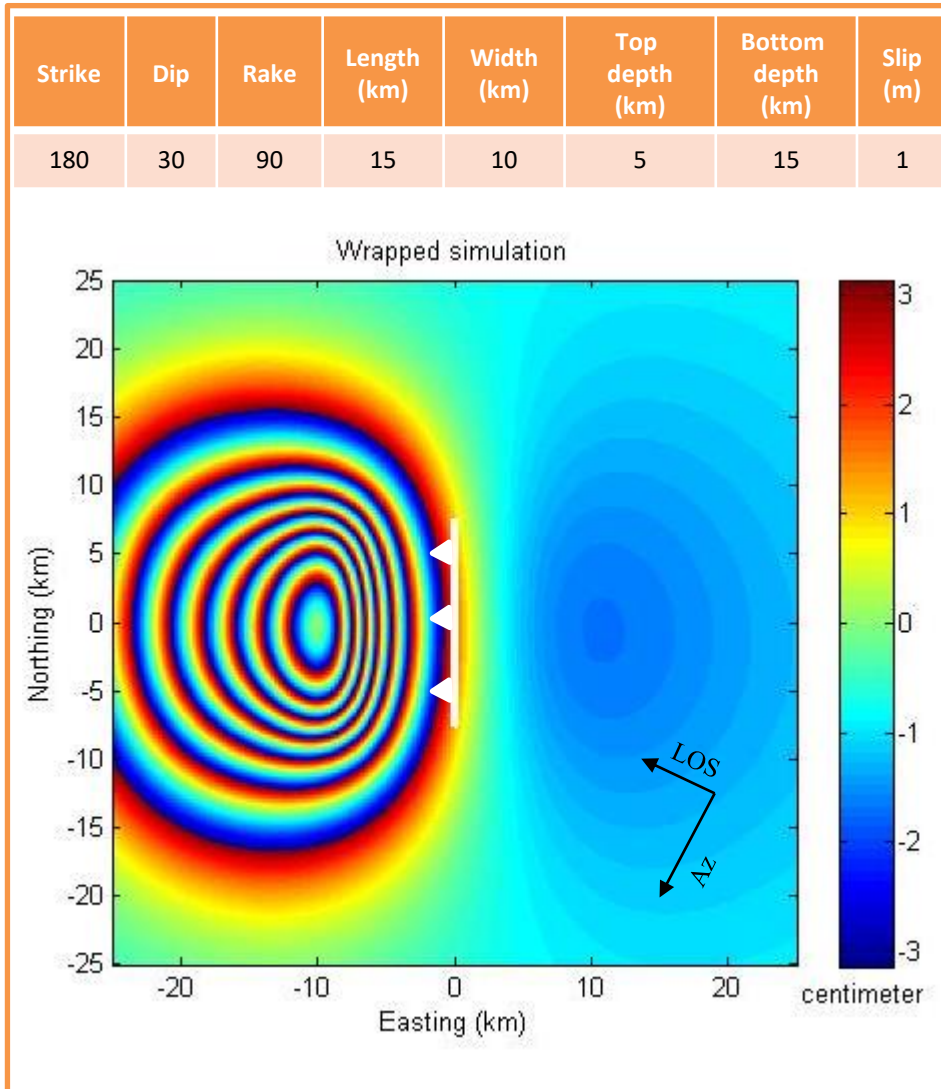


Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	60	-90	15	14	5	15	1



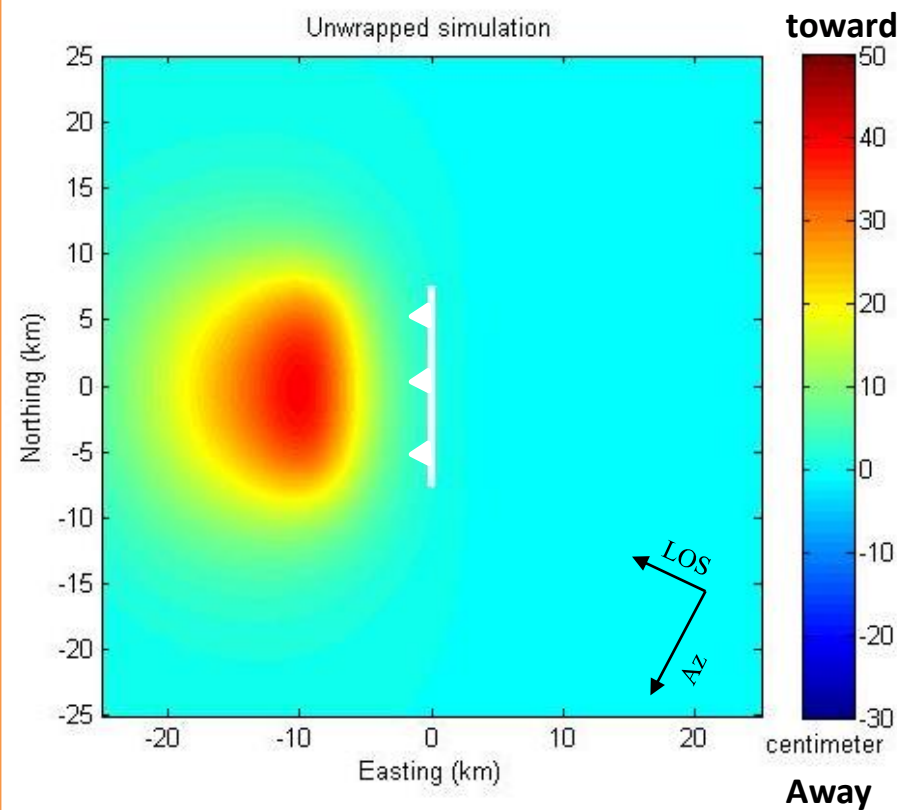
Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	60	-90	15	14	0	10	1





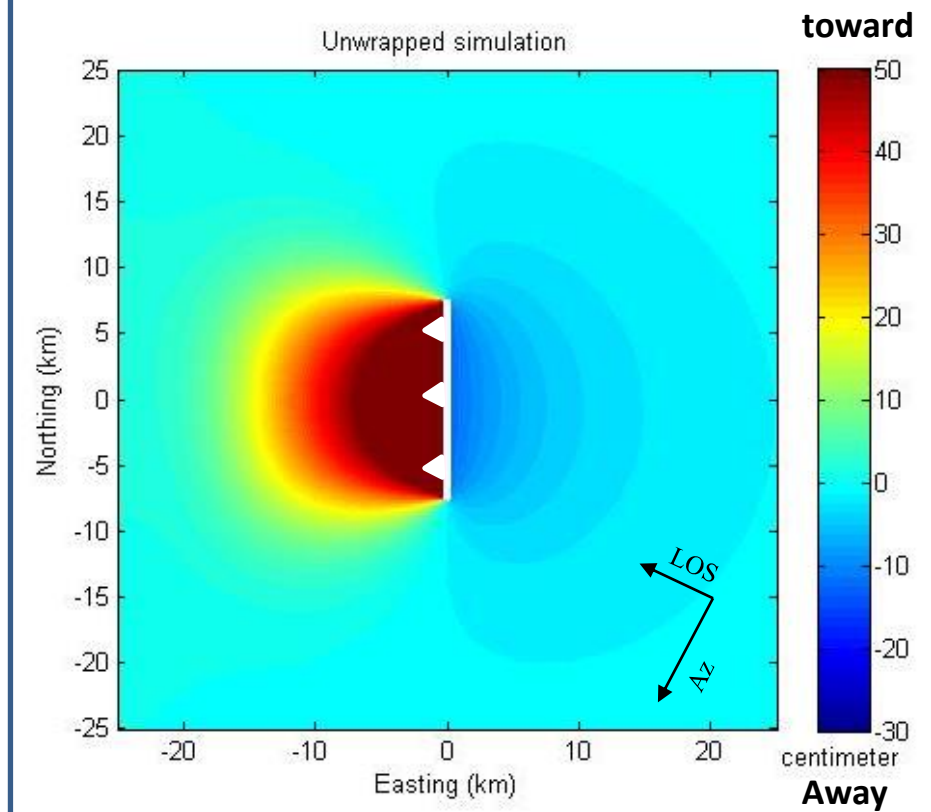


Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	30	90	15	14	5	15	1



Without surface rupture

Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
180	30	90	15	14	0	10	1

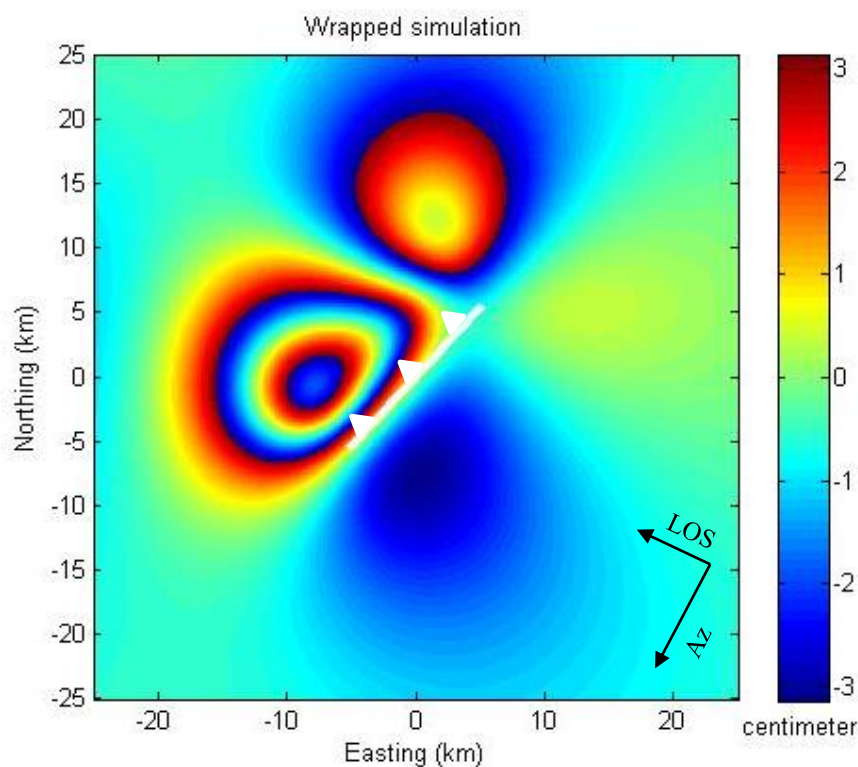


With surface rupture

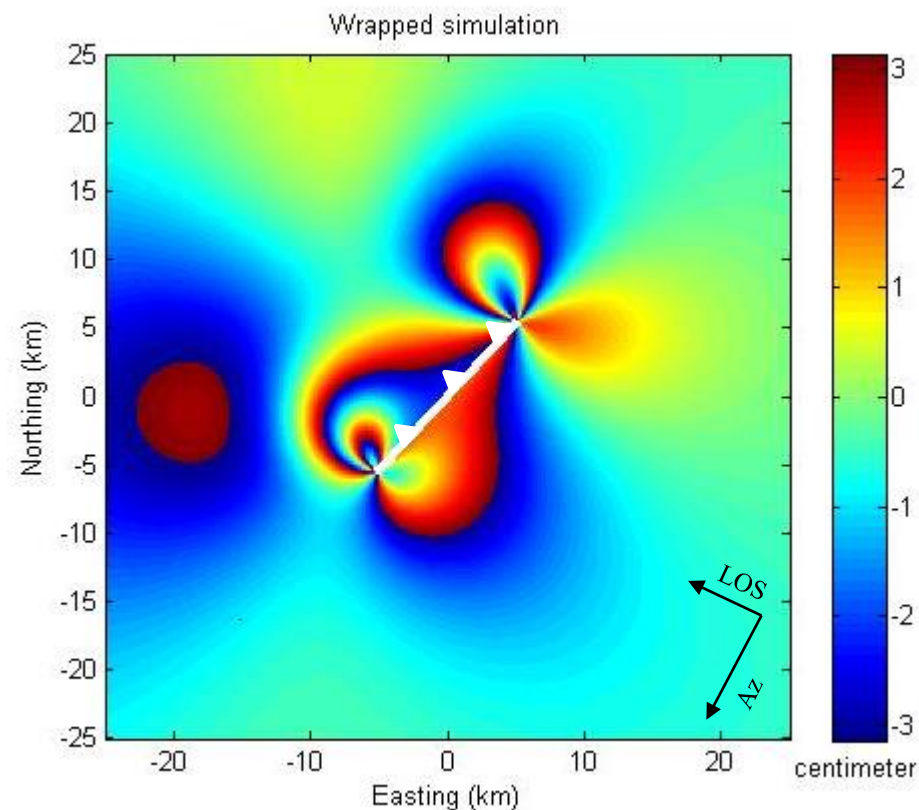


Left-lateral with minor reverse component

Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
223	60	17	15	11	5	15	1



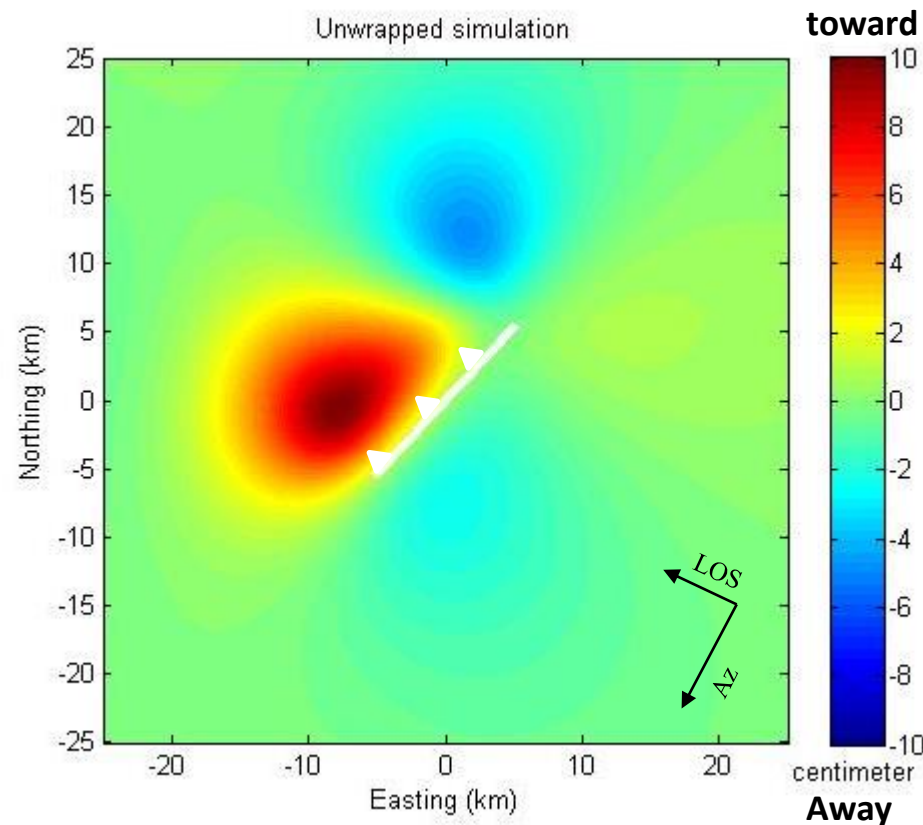
Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
223	60	17	15	11	0	10	1



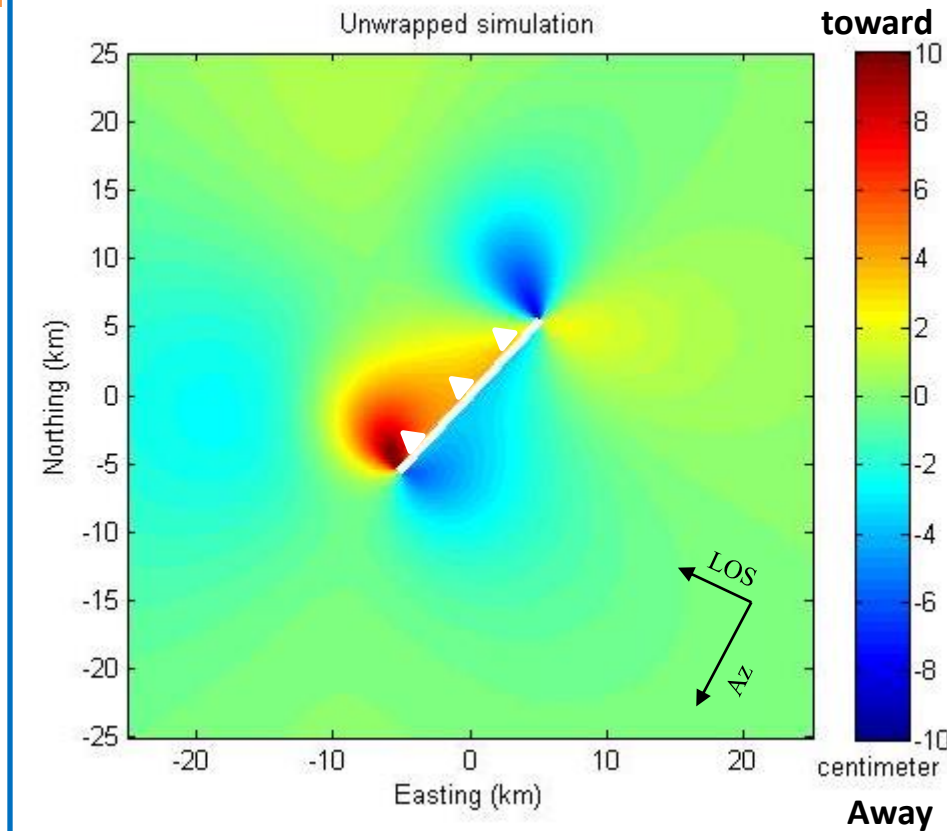


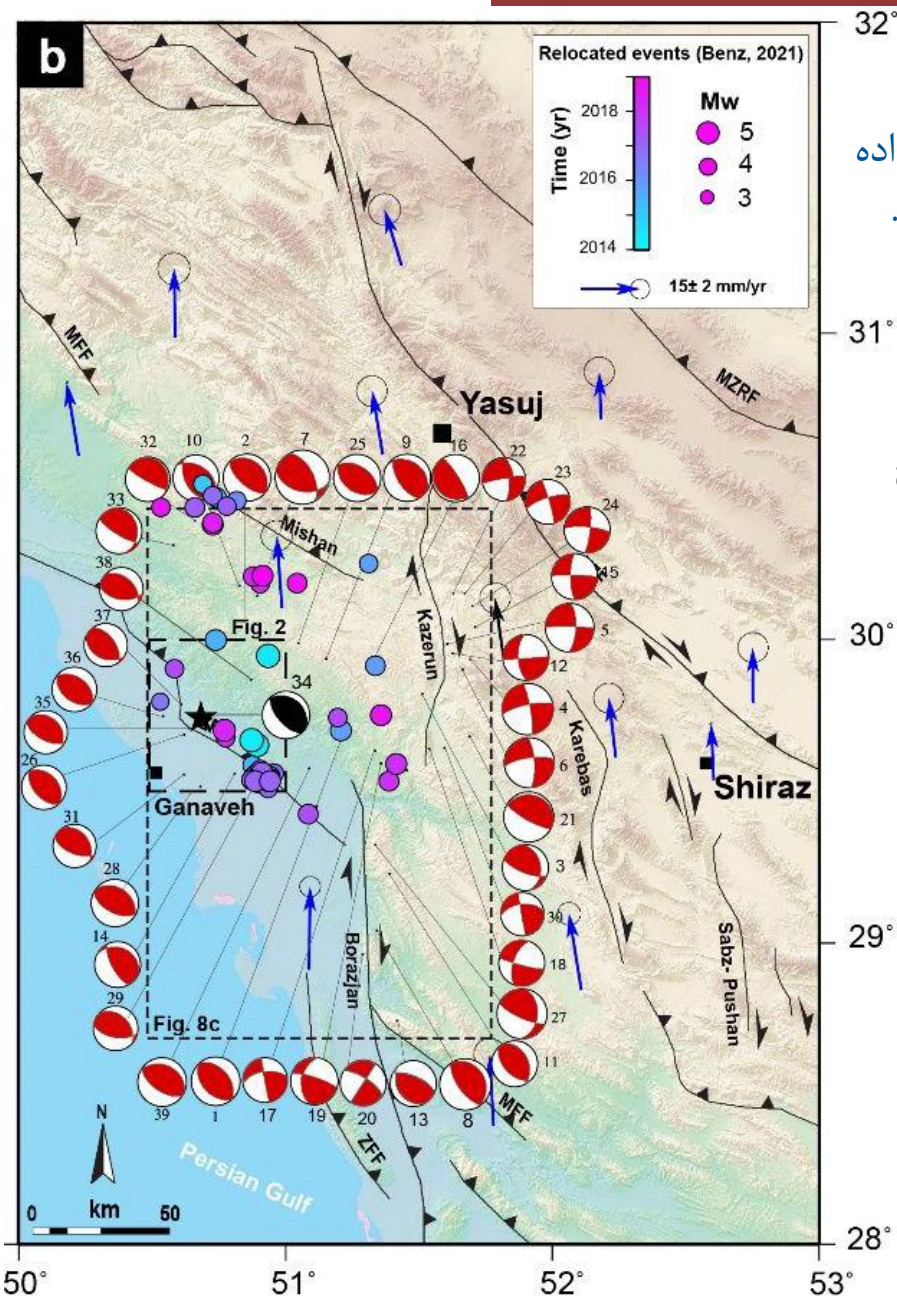
Left-lateral with minor reverse component

Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
223	60	17	15	11	5	15	1



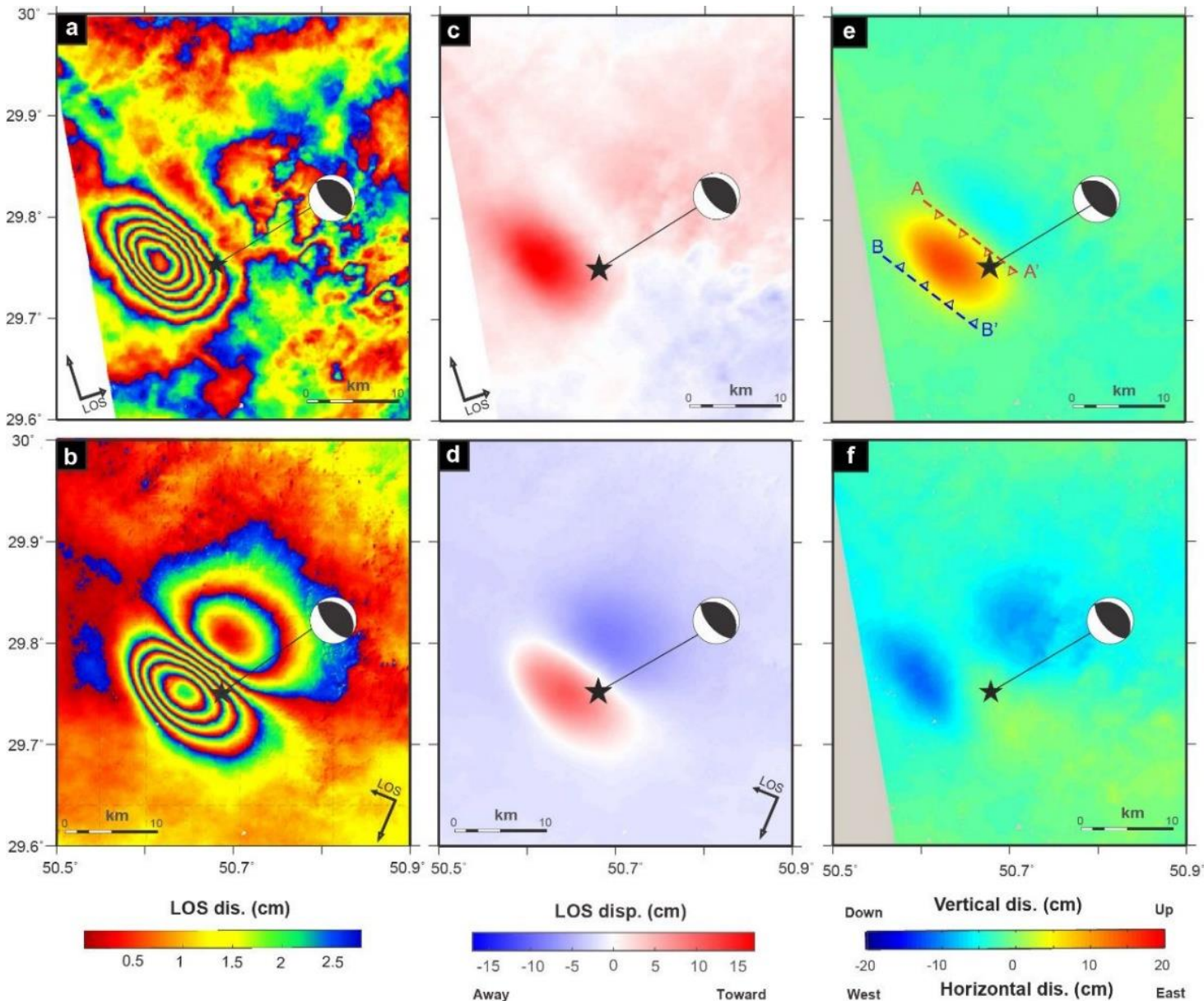
Strike	Dip	Rake	Length (km)	Width (km)	Top depth (km)	Bottom depth (km)	Slip (m)
223	60	17	15	11	0	10	1





زمین لرزه گناه هرچند بزرگای متوسطی دارد اما در منطقه ای رخ داده است که به طور معمول، زمین لرزه ها، بزرگای کم تا متوسط دارند.

- زمین لرزه منجر به چه میزان جابه جایی سطحی شده است؟
- آیا زمین لرزه گسیختگی سطحی داشته است و گسله به سطح رسیده است؟
- گستره متاثر از زلزله چه میزان است؟
- اندازه گسیختگی ناشی از زمین لرزه چه مقدار بوده است؟
- بیشترین گسیختگی در چه عمقی قرار گرفته است؟
- گسله مدلسازی شده با گسله های شناخته شده در منطقه همخوانی دارد؟

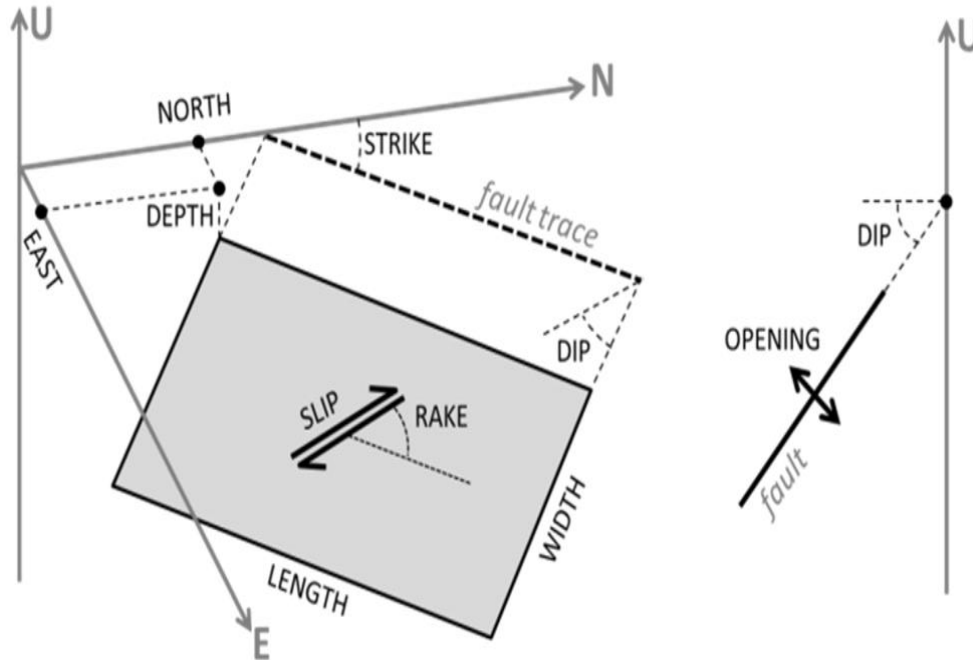


■ ماکزیمم جابه جایی در راستای خط دید ماهواره برای گذر بالا و گذر پایین به ترتیب ۱۷ و ۱۵ سانتی متر است.

■ جابه جایی در راستای عمودی ۱۶ سانتی متر و به سمت بالا است.

■ جا به جایی در راستای افقی ۱۱ سانتی متر و به سمت غرب می باشد.

■ گسیختگی سطحی وجود ندارد و گسله به سطح زمین نرسیده است.



(Atzori and Salvi, 2014)

- موقعیت یک نقطه از گسله
- طول گسله
- عرض گسله
- عمق قفل شدگی گسله
- شیب گسله
- راستای گسله
- لغزش گسله
- زاویه لغزش گسله
- بازشدگی

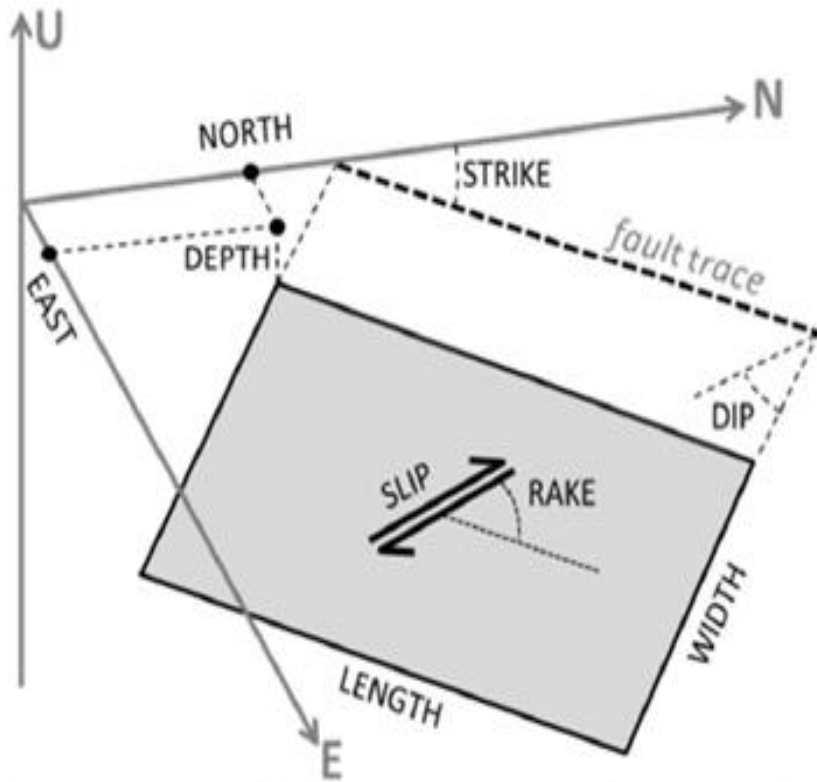
$$d_{\text{mod}}(x, y) = \text{func}(m_1, m_2, \dots, m_n, \dots)$$

مدل اکادا ۱۹۸۵

مرحله اول: مدلسازی صفحه گسل با لغزش یکنواخت

مرحله دوم: مدلسازی صفحه گسل با لغزش متغیر

مدلسازی چشمه زمین لرزه

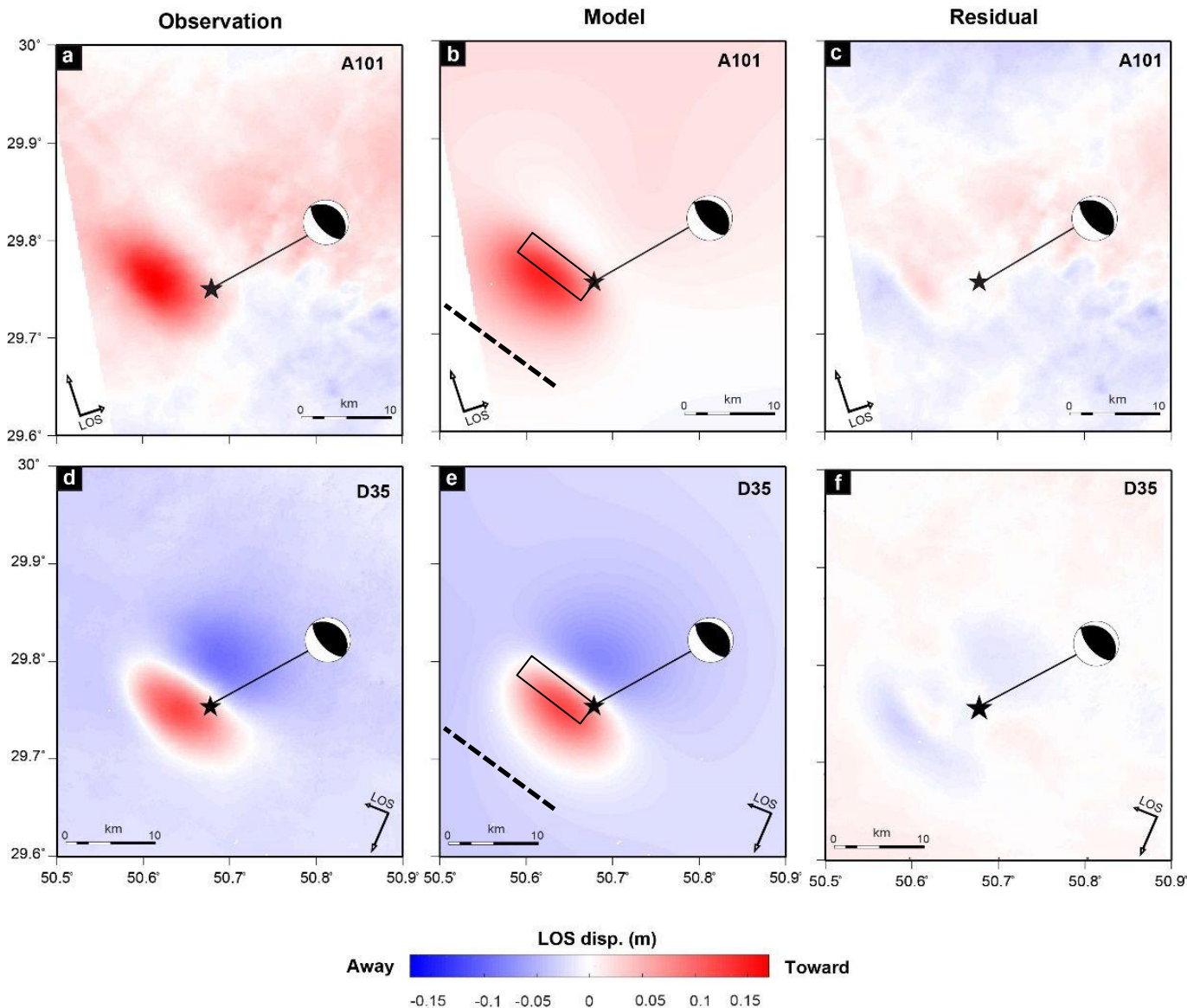


(Atzori and Salvi, 2014)

- در این مرحله تمامی پارامترهای گسله مجهول هستند.
- مقدار لغزش برآورد شده در این مرحله بر روی تمامی صفحه گسله یکنواخت در نظر گرفته می شود.
- در این مرحله برای پارامترهای گسله محدوده در نظر گرفته می شود.

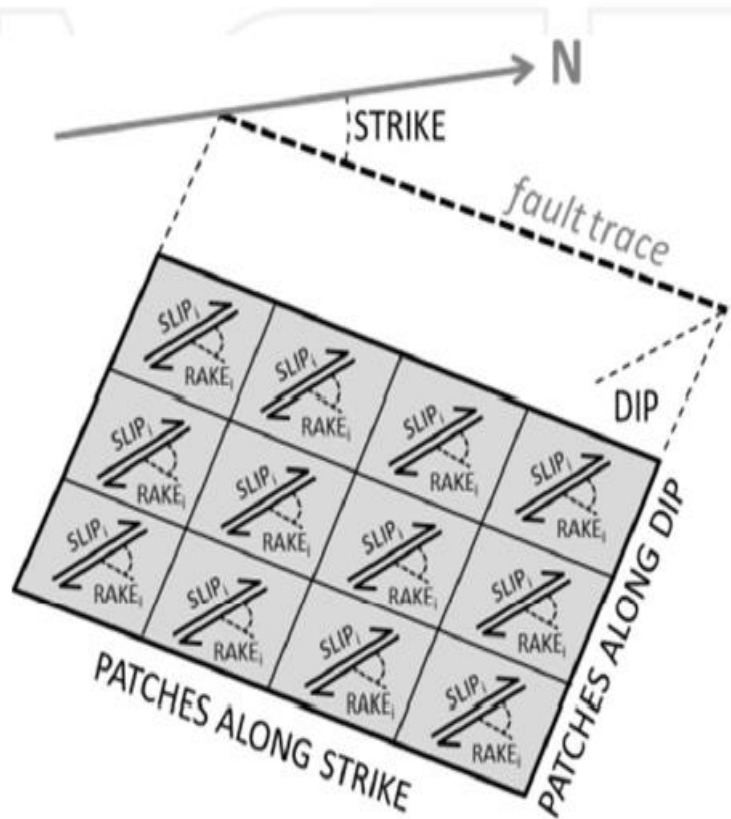
$$d_{\text{mod}}(x, y) = \text{func}(m_1, m_2, \dots, m_n, \dots)$$

$$m_{\text{est}} : \min(\text{func}(\sqrt{(d_{\text{obs}} - d_{\text{mod}})^2}))$$



■ بازه پارامترهای گسله با استفاده از اطلاعات زمین شناسی و زلزله شناسی و الگوی اینترفروگرام زلزله مقداره‌ی شده و در مدلسازی مستقیم استفاده می شود.

■ نتایج حاصل از مدلسازی نشان دهنده صفحه گسله با شیب کم ۲۳ درجه و رو به سمت شمال شرق است.



- استفاده از پارامترهای هندسی به دست آمده از نتایج مدل سازی غیرخطی به عنوان مقادیر معلوم

$$d_{obs} = Gm$$

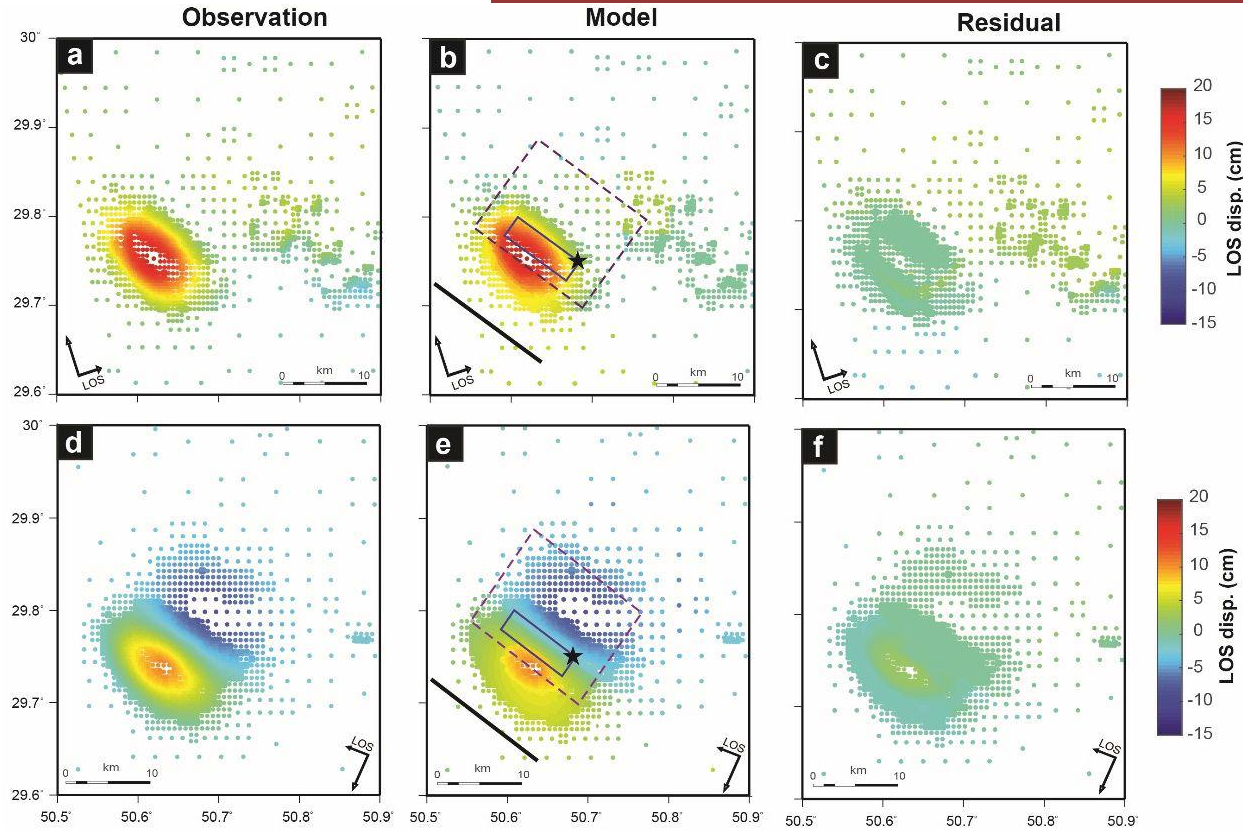
$$\begin{pmatrix} d_{obs} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G \\ \varepsilon \nabla^2 \end{pmatrix} m$$

G = ماتریس تابع گرین

d_{obs} = مشاهدات حاصل از InSAR

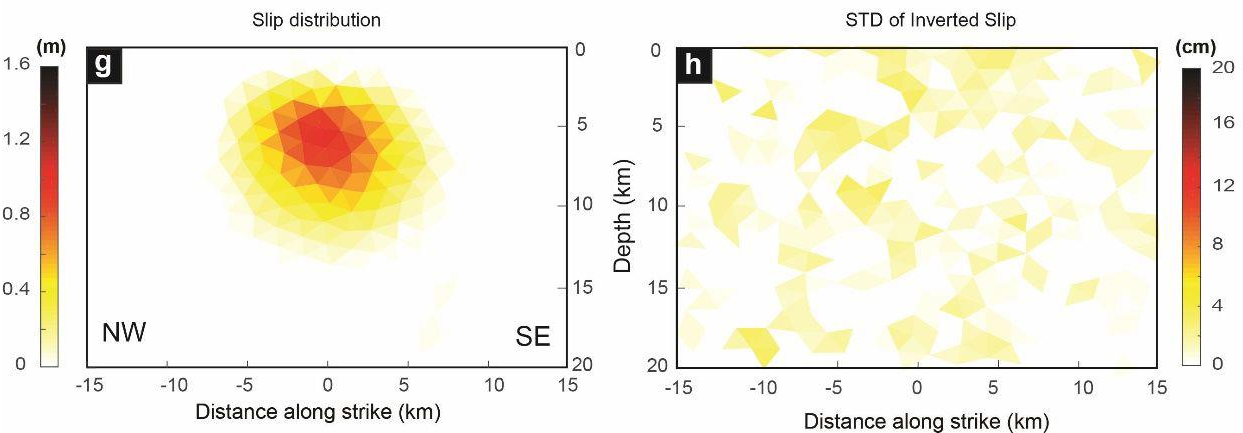
m = مقادیر لغزش بر روی هر تکه

Atzori and Salvi, 2014

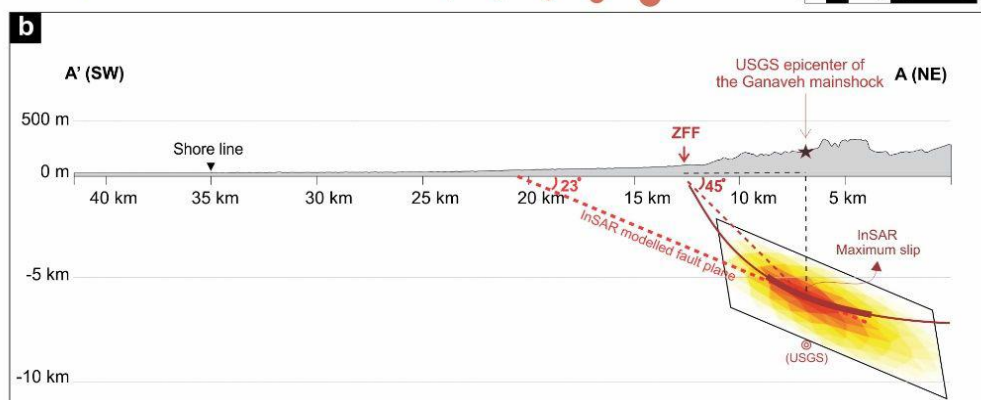
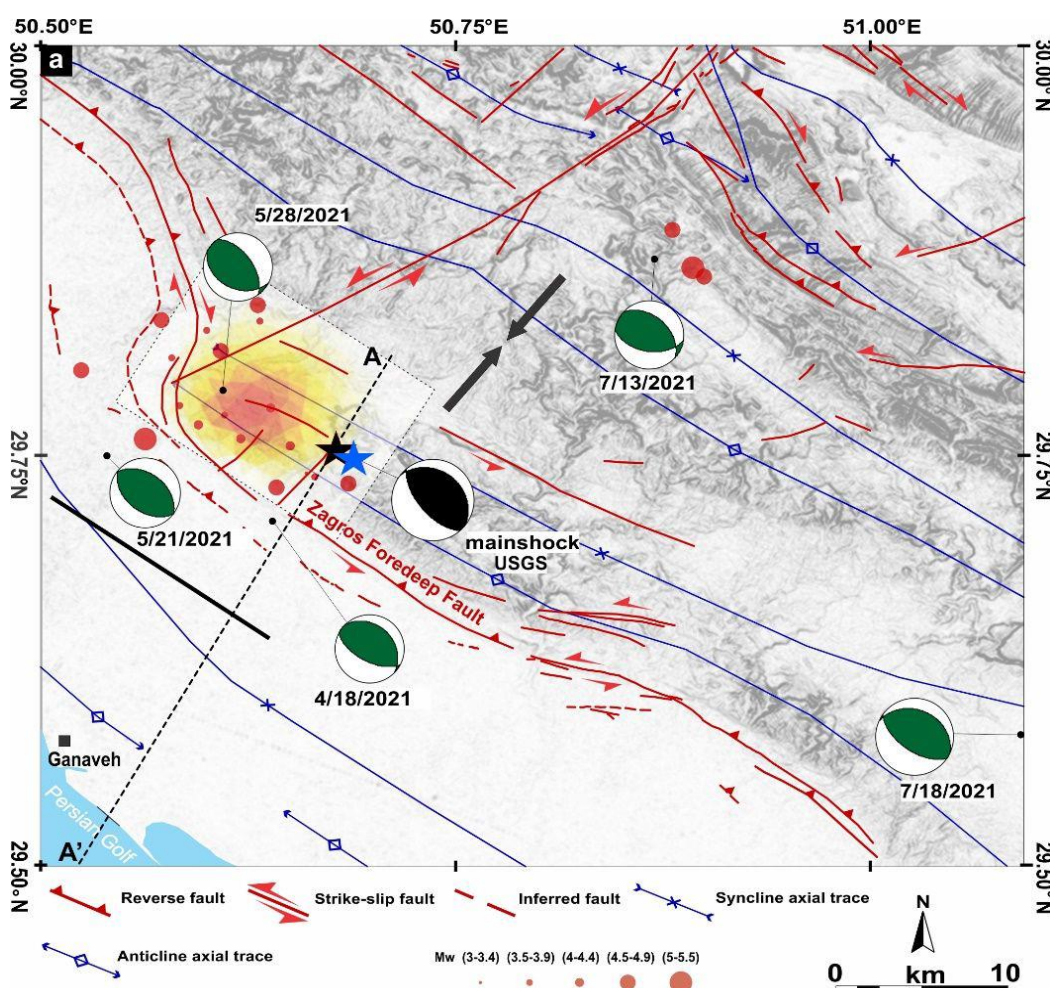


■ مقادیر باقیمانده در مرحله دوم مدل سازی نسبت به مرحله اول کاهش پیدا کرده است و این مدل با مشاهدات انطباق بهتری دارد.

■ مقادیر RMS برای مدل سازی مرحله اول ۴ سانتی متر است که این مقدار در مرحله دوم به ۲ سانتی متر کاهش پیدا کرده است.



■ نتایج مدل سازی مرحله دوم نشان می دهد بیشترین میزان لغزش و گسیختگی در عمق حدود ۶.۵ کیلومتری و در حدود ۹۵ سانتی متر است.



با توجه به:

- موقعیت زمین لرزه
- تمرکز پس لرزه ها
- موقعیت میدان جا به جایی حین لرزه

می توان گسله مسبب زمین لرزه گناوه را
گسله پیشانی زاگرس یا Zagros
Foredeep Fault معرفی کرد.

- با استفاده از نتایج حاصل از مدل سازی
اثر سطحی گسله در فاصله دورتری از
ZFF تصویر می شود.

- پیشنهاد می شود صفحه گسله به
صورت صفحه منحنی مدل سازی گردد.



بر اساس اطلاعات زمین شناسی وجود دو مرز افقی در عمق ۲ و ۱۰ کیلومتری از سطح زمین باعث می شود که گسل در بین این دو عمق قرار بگیرد.

همچنین بر اساس اطلاعات ژئوفیزیکی، گسله های با سازوکار معکوس زمانی که به سطح میرسند شیب حدود ۵۰ درجه دارند.

بیشترین میزان لغزش و گسیختگی در عمق نزدیک به ۶ کیلومتری و در حدود ۹۰ سانتی متر است.

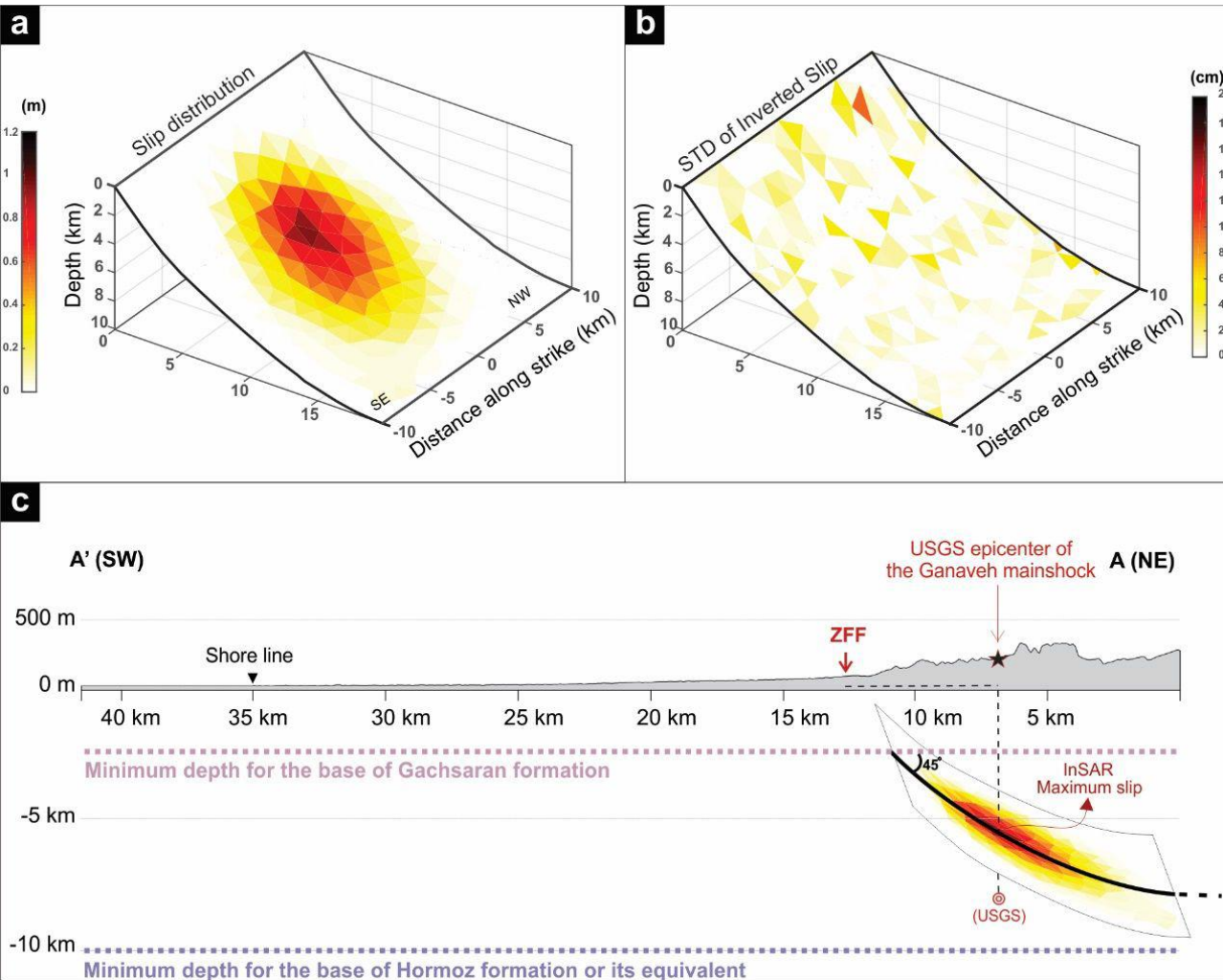
مقادیر RMS به ۱ سانتی متر کاهش پیدا کرده است.

$$f = \frac{2a}{\pi} \arctan\left(\frac{x}{b}\right) \quad (\text{Tao et al. 2015})$$

f = عمق صفحه گسله

x = فاصله افقی از گسله

a, b = پارامترهای مربوط به انحنا





- ماکزیمم جابه جایی در راستای خط دید ماهواره برای گذر بالا و گذر پایین به ترتیب ۱۷ و ۱۵ سانتی متر است.
- گسیختگی سطحی وجود ندارد و گسله به سطح زمین نرسیده است.
- بر اساس نتایج حاصل از مدلسازی مرحله دوم بر روی گسله با صفحه تخت بیشترین میزان لغزش و گسیختگی در عمق حدود ۶.۵ کیلومتری و در حدود ۹۵ سانتی متر است.
- در صورتی که گسله پیشانی زاگرس (ZFF) گسله مسبب زمین لرزه گناوه باشد، صفحه گسله یک صفحه منحنی است.
- بر اساس نتایج حاصل از مدلسازی مرحله دوم بر روی گسله با صفحه منحنی بیشترین میزان لغزش و گسیختگی در عمق حدود ۶ کیلومتری و در حدود ۹۰ سانتی متر است.



Geophys. J. Int. (2023) 234, 1125–1142
Advance Access publication 2023 March 23
GJI Geodynamics and Tectonics

<https://doi.org/10.1093/gji/ggad127>

Coseismic and post-seismic characteristics of the 2021 Ganaveh earthquake along the Zagros foredeep fault based on InSAR data

Mahin Jafari,¹ Mahtab Aflaki,¹ Zahra Mousavi¹ ,¹ Andrea Walpersdorf² and Khalil Motaghi¹

¹*Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan 45137-66137, Iran E-mail: zahra.mousavi@gmail.com*

²*Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, IRD, Univ. Gustave Eiffel, ISTerre 38000 Grenoble, France*

Accepted 2023 March 16. Received 2023 March 13; in original form 2022 September 15



- Atzori, S., Salvi, S., 2014. Land Applications of Radar Remote Sensing-Chapter 9 SAR Data Analysis in Solid Earth Geophysics: From Science to Risk Management. AvE4EvA.
- Bagnardi, M. & Hooper, A., 2018. Inversion of surface deformation data for rapid estimates of source parameters and uncertainties: a Bayesian approach, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 19(7), 2194–2211.
- Barnhart, W.D., Lohman, R.B. (2010) Automated fault model discretization for inversions for coseismic slip distributions, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/2010JB007545.
- Elliott, J.R., Walters, R.J., Wright, T.J., 2016. The role of space-based observation in understanding and responding to active tectonics and earthquakes. *nature*.
- Jónsson, S., Zebker, H., Segall, P. and Amelung, F., 2002. Fault slip distribution of the 1999 M w 7.1 Hector Mine, California, earthquake, estimated from satellite radar and GPS measurements. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(4), pp.1377-1389.
- Massonnet, D., Feigl, K.L., 1998. Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Reviews of geophysics* 36(4), 441-500.
- Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K.L., Rabaute, T., 1993. The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. . *Nature* 364,, 138–142.
- Menke, W., 1989. *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*. Academic Press., San Diego,.
- Minson, S.E., Simons, M., Beck, J.L., 2013. Bayesian inversion for finite fault earthquake source models I—theory and algorithm. *Geophys. J. Int.* 194, , 1701–1726.
- Okada, Y., 1985. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America* 75(4), 1135–1154.
- Tikhonov, A.N., Leonov, A.S. & Yagola, A.G., 1998. *Nonlinear Ill-Posed Problems*, Chapman & Hall.
- Wessel, P. & Smith W.H.F., 1995. New version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, 76, 329.



از توجه شما سپاسگزارم