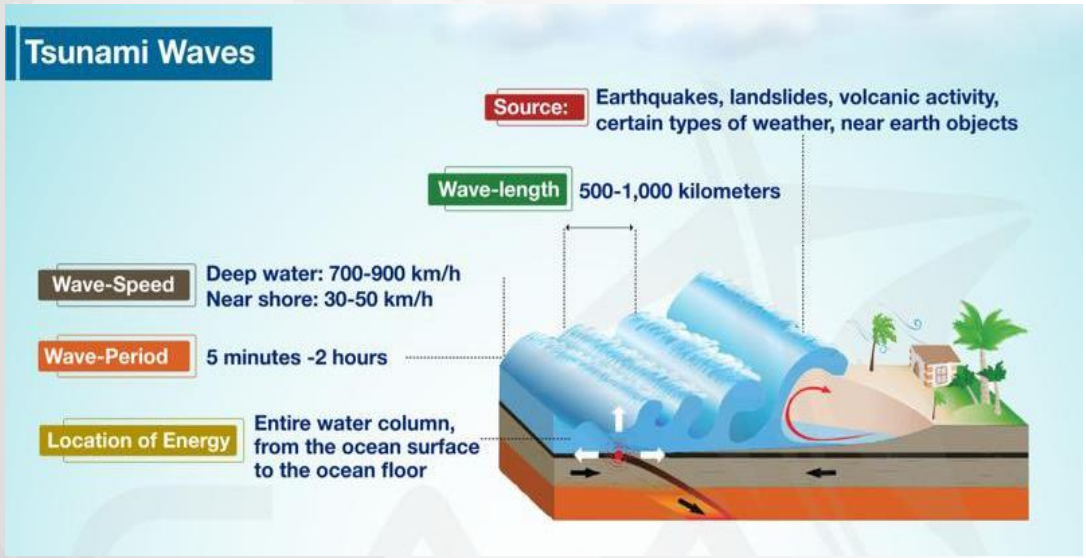
The Fundamental Geophysics of Tsunamis and Early Warning Systems

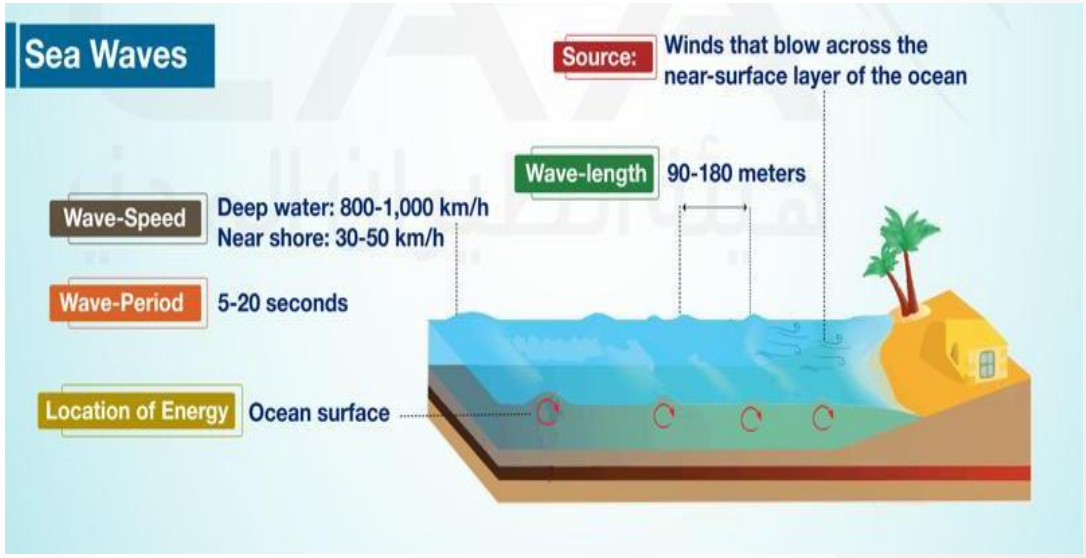
Lecturer: *Ahmed Al Balushi*

2 October,2024

Introduction

Tsunamis are giant waves caused by earthquakes or volcanic eruptions under the sea.
Out in the depths of the ocean, tsunami waves do not dramatically increase in height. But as the waves travel inland, they build up to higher and higher heights as the depth of the ocean decreases.





The difference between Tsunami waves and the common sea waves

Tsunami Characteristics

Tsunamis are characterized as shallow-water waves. Shallow-water waves are different from wind-generated waves.

Wind-generated waves usually have period (time between two successional waves) of five to twenty seconds and a wavelength (distance between two successional waves) of about 50 to 200 meters. A tsunami can have a period in the range of ten minutes to two hours and a wavelength in excess of 500 km.

Causes of Tsunami

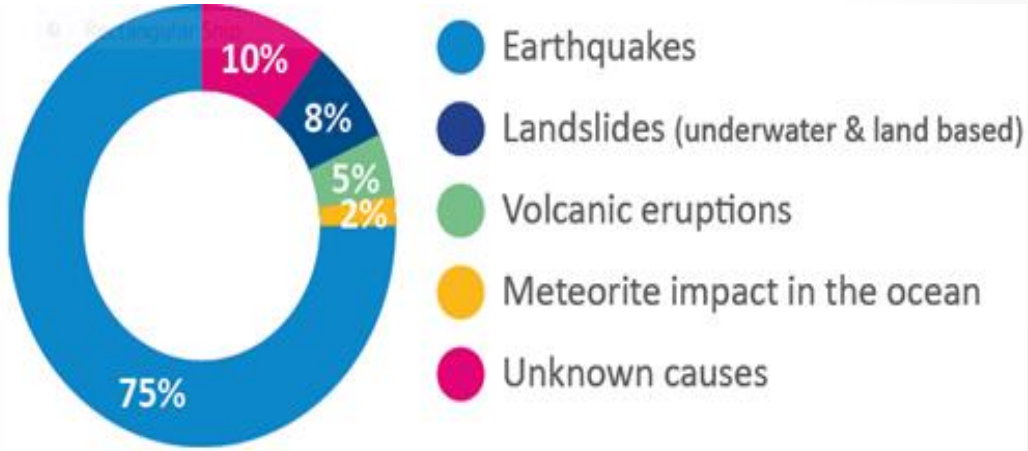
Earthquakes

Volcanic eruptions

Submarine landslides or Coastal landslides

large asteroid impacting the ocean

Other



The structure of the Earth

The crust is composed of two rocks. The continental crust is mostly granite. The oceanic crust is basalt. Basalt is much denser than the granite. Because of this the less dense continents ride on the denser oceanic plates.

The Mantle is the largest layer of the Earth. The middle mantle is composed of very hot dense rock that flows like asphalt under a heavy weight. The movement of the middle mantle (asthenosphere) is the reason that the crustal plates of the Earth move.

The core of the Earth is like a ball of very hot metals. The inner core of the Earth has temperatures and pressures so great that the metals are squeezed together and are not able to move about like a liquid but are forced to vibrate in place like a solid. The outer core is so hot that the metals in it are all in the liquid state. The outer core is composed of the melted metals of nickel and iron.

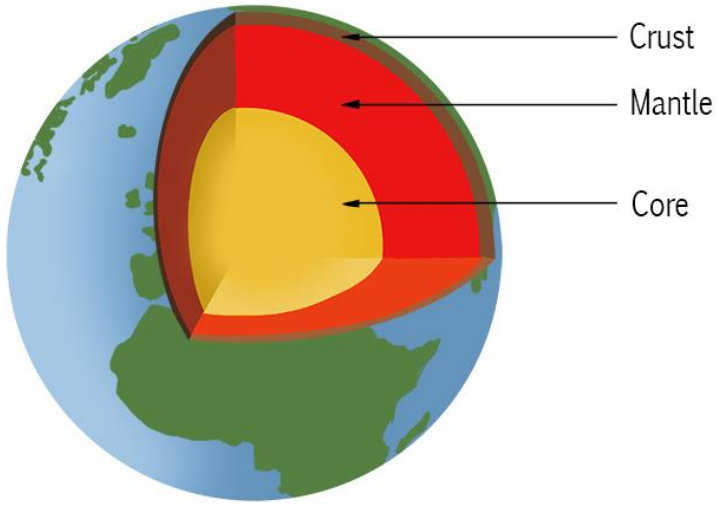


PLATE TECTONICS

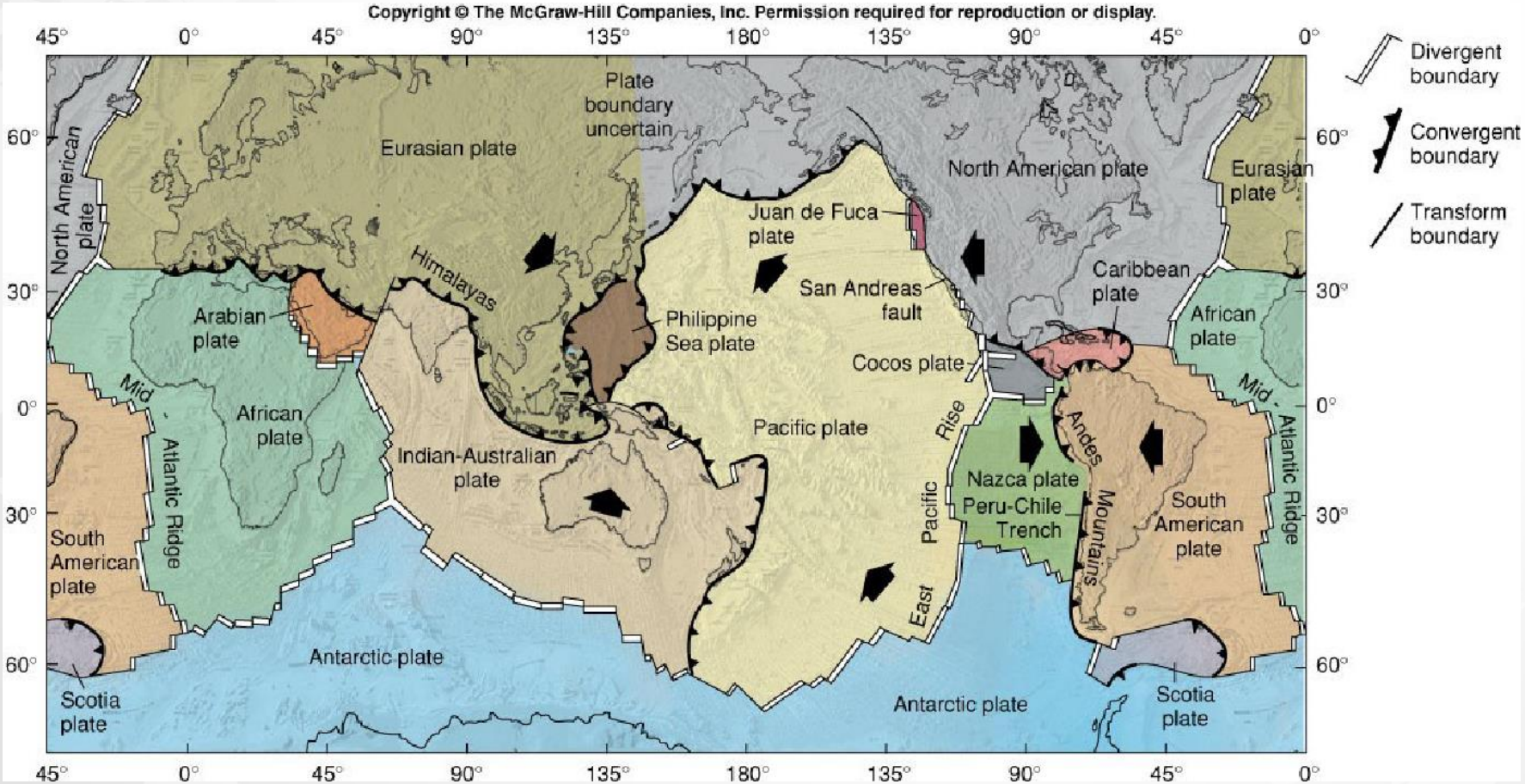
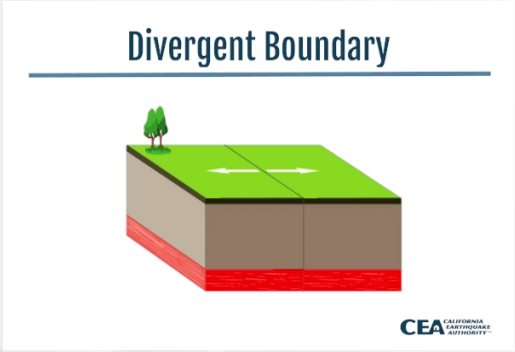
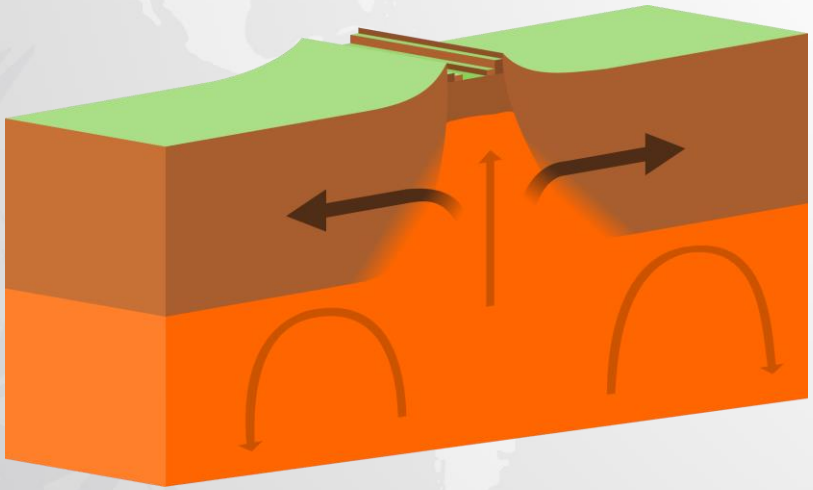


Plate Boundaries

A divergent boundary occurs when two tectonic plates move away from each other





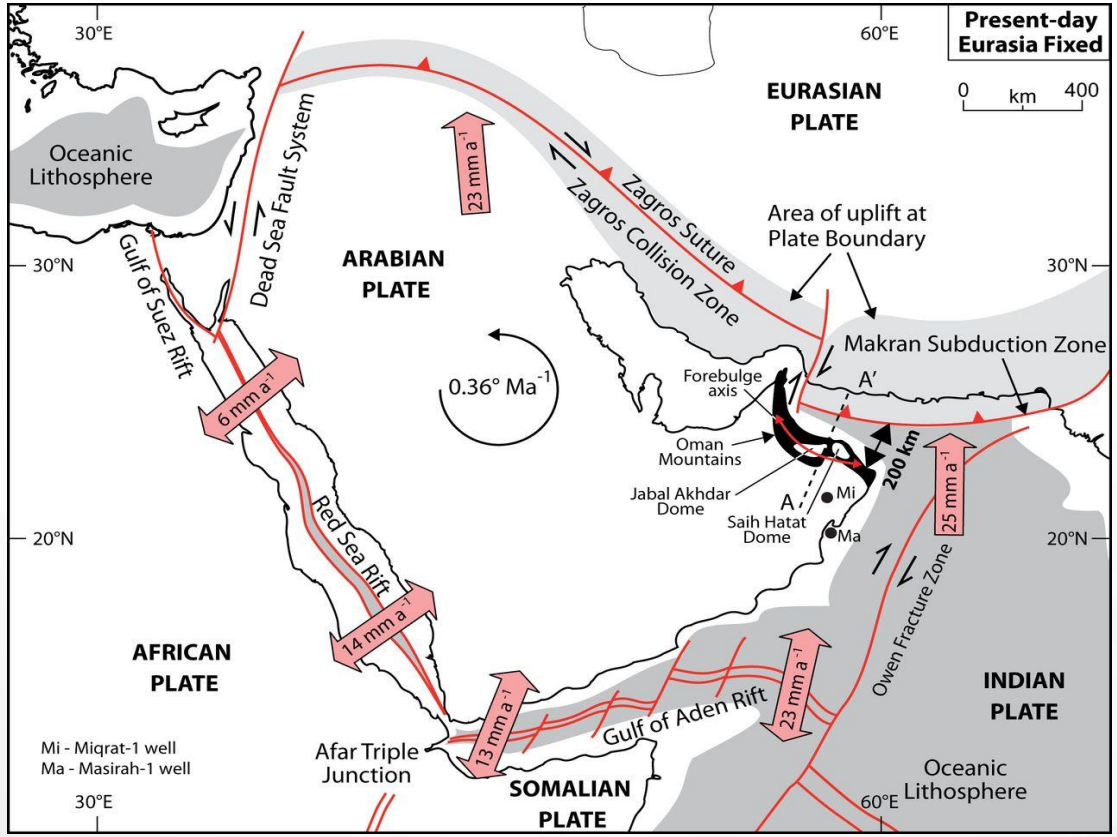
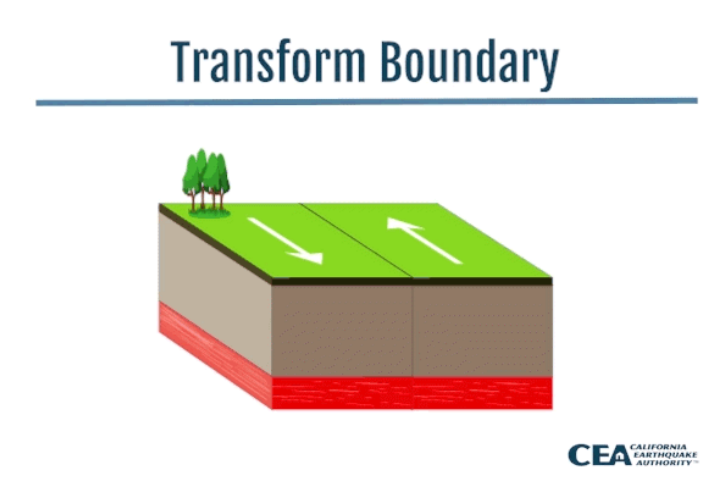


Plate Boundaries

Two plates sliding past each other forms a transform plate boundary



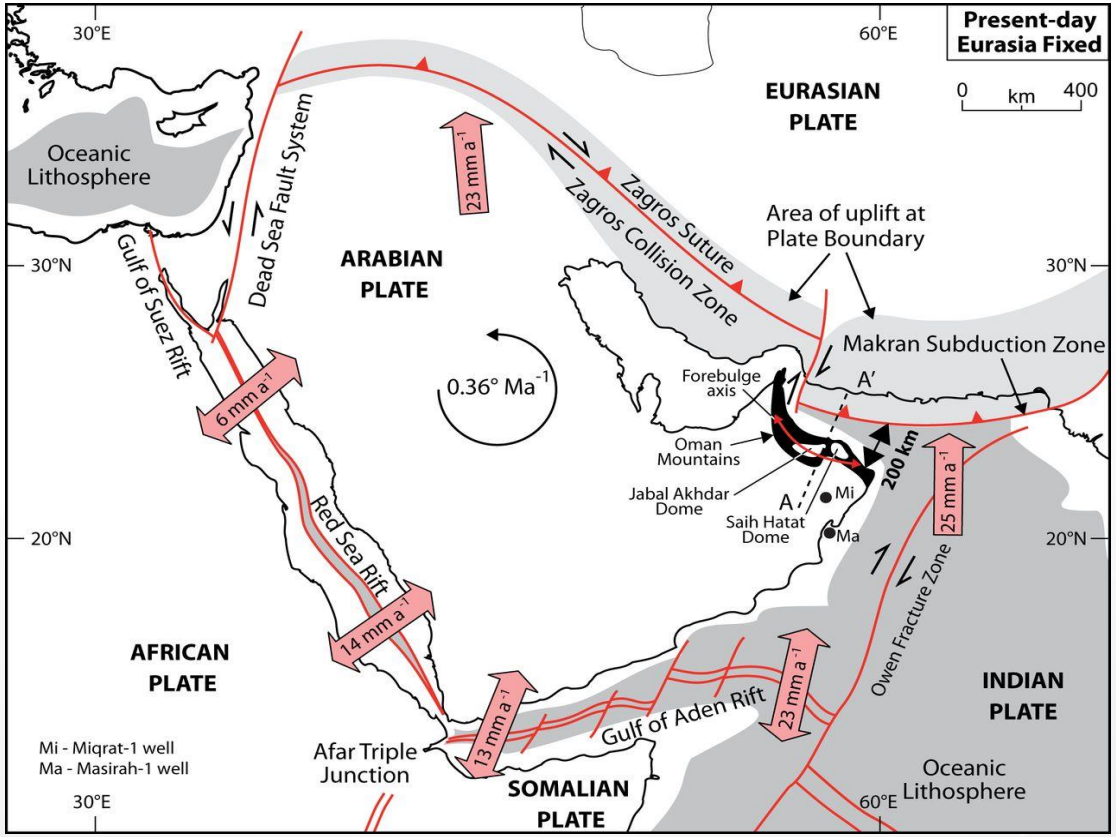
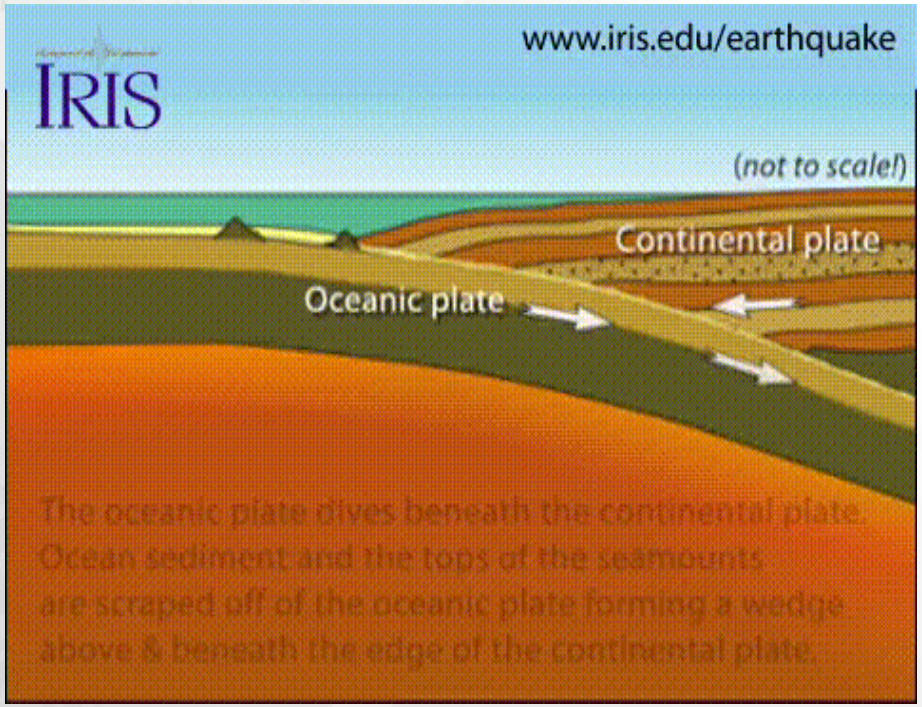
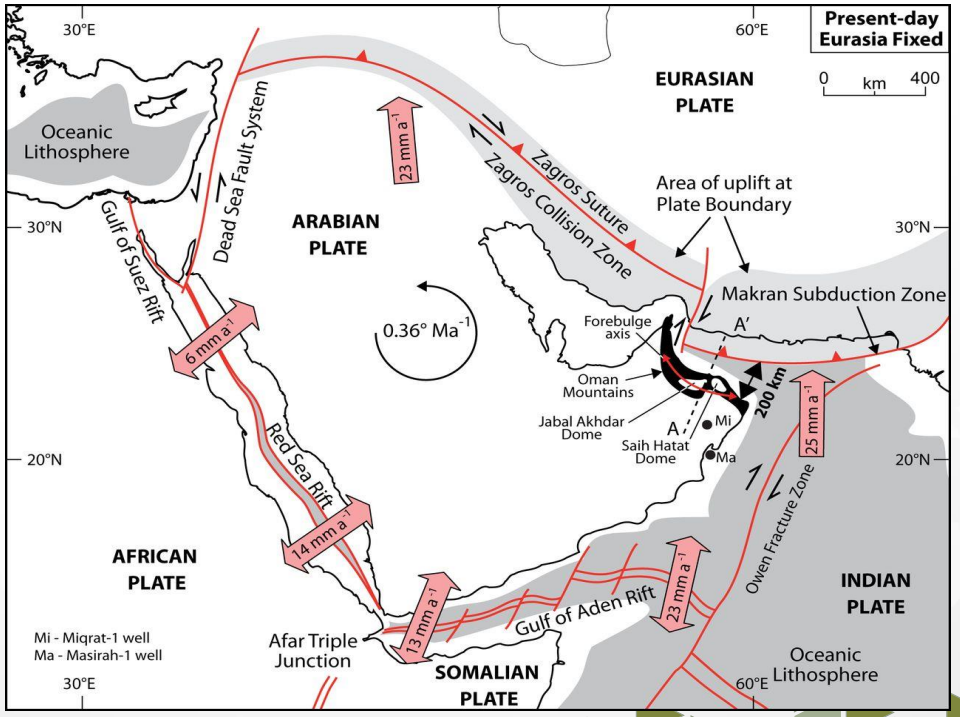


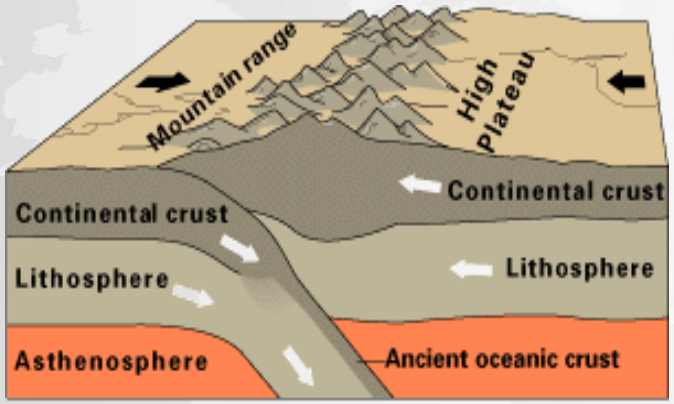
Plate Boundaries

When two plates come together, it is known as a convergent boundary. The impact of the colliding plates can cause the edges of one or both plates to buckle up into a mountain ranges or one of the plates may bend down into a deep seafloor trench.

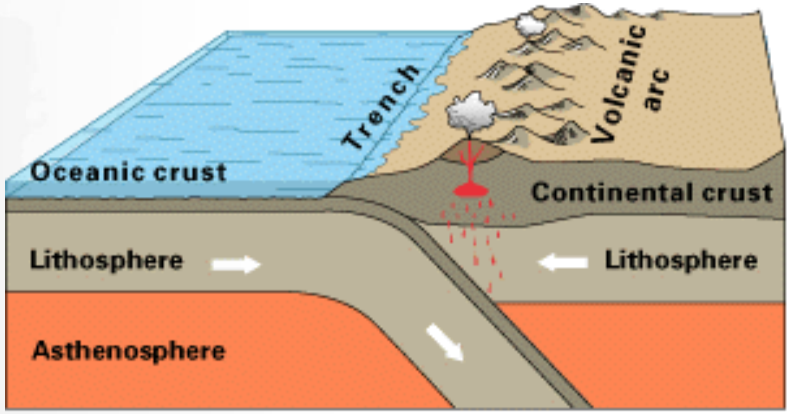




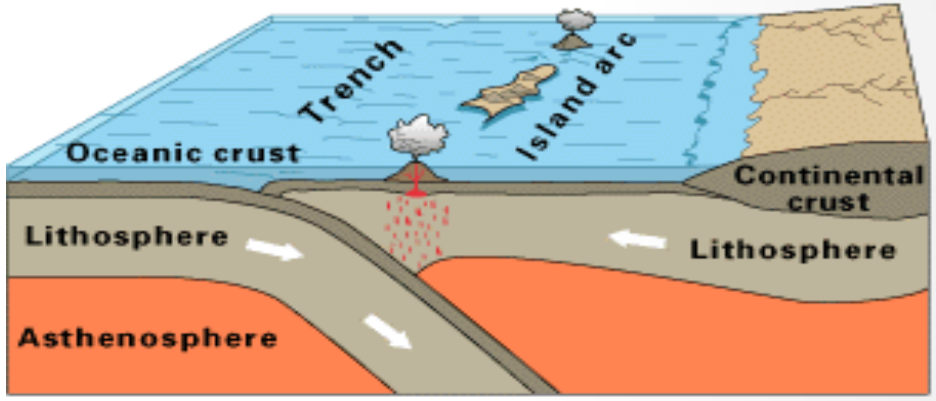
Convergent Boundaries



Continental-continental convergence



Oceanic-continental convergence



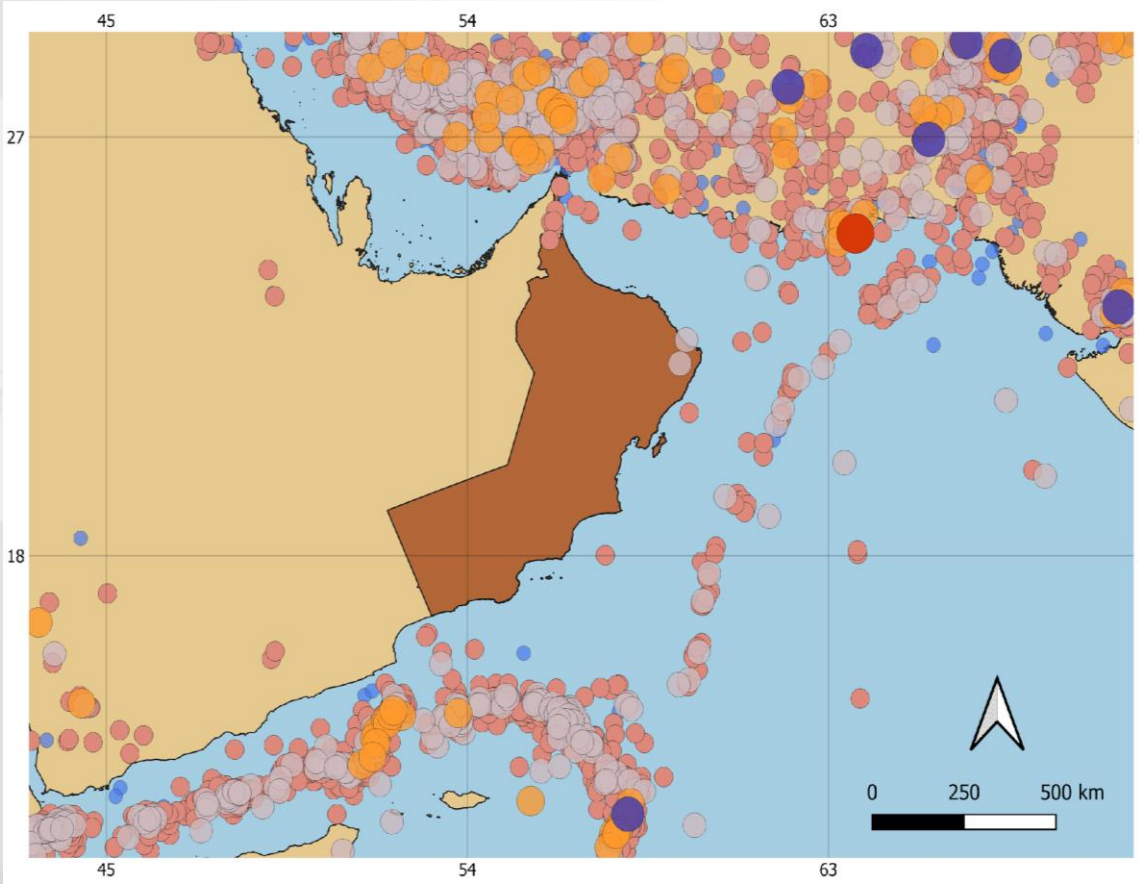
Oceanic-oceanic convergence

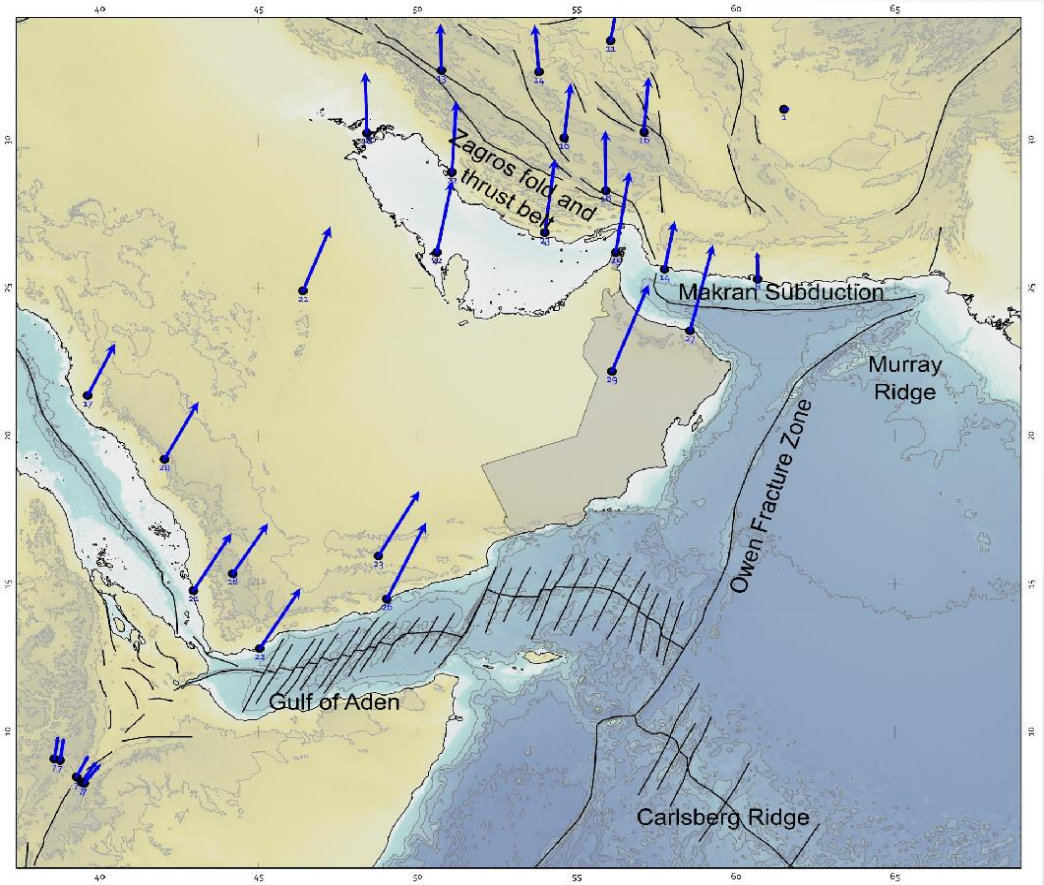
•Continent-Continent Collision Forms mountains, e.g. European Alps, Himalayas

- Oceanic lithosphere subducts underneath the continental lithosphere.
- Oceanic lithosphere heats and dehydrates as it Subsides.
- The melt rises forming Volcanism.

- When two oceanic plates collide, one runs over the other which causes it to sink into the mantle forming a subduction zone.
- The subducting plate is bent downward to form a very deep depression in the ocean floor called a trench.
- The worlds deepest parts of the ocean are found along trenches. E.g. The Aleutian Trench

Plate Tectonics and Seicmity around Oman

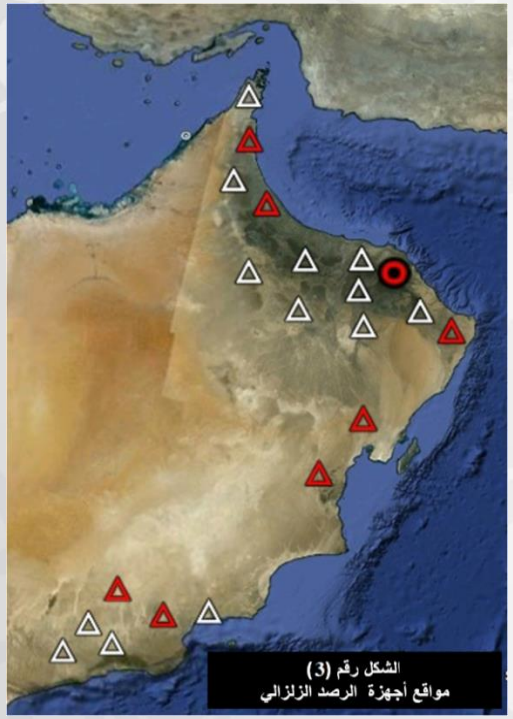


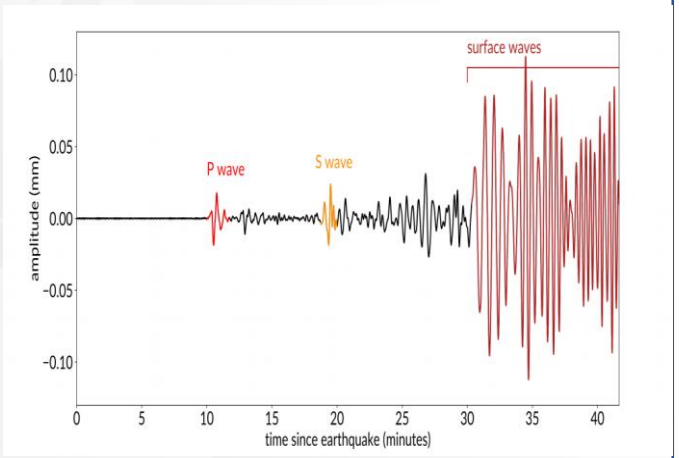


since 1/Jan/1975 until 1/Aug/2023

DGMET Tsunami Observation System

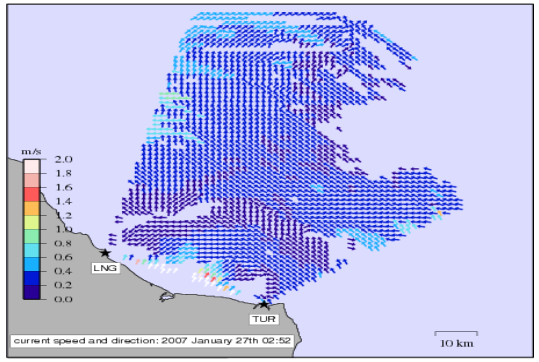
Seismic Stations





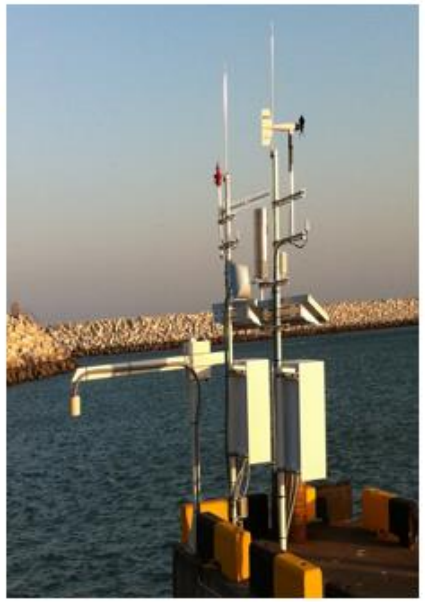
21 seismic stations

Wave Radars



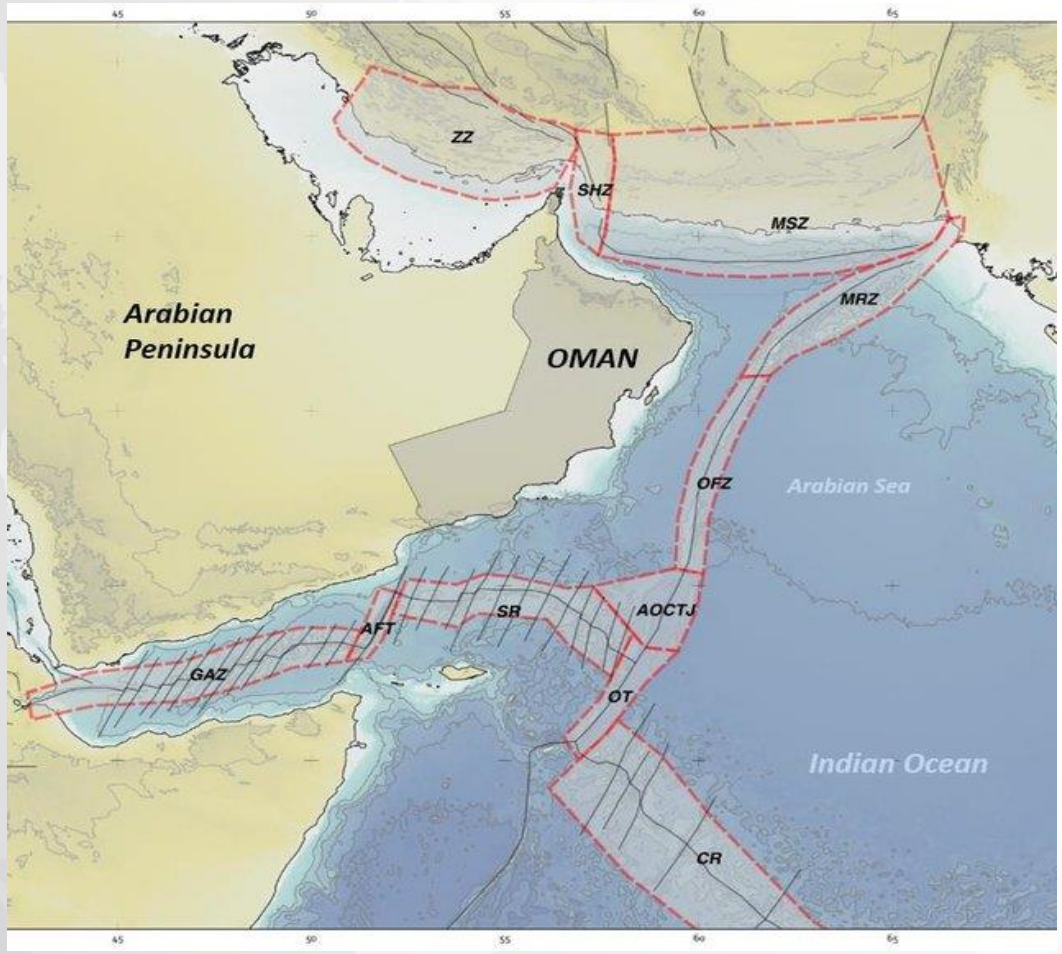
DGMET Tsunami Observation System

Tide Guage Stations

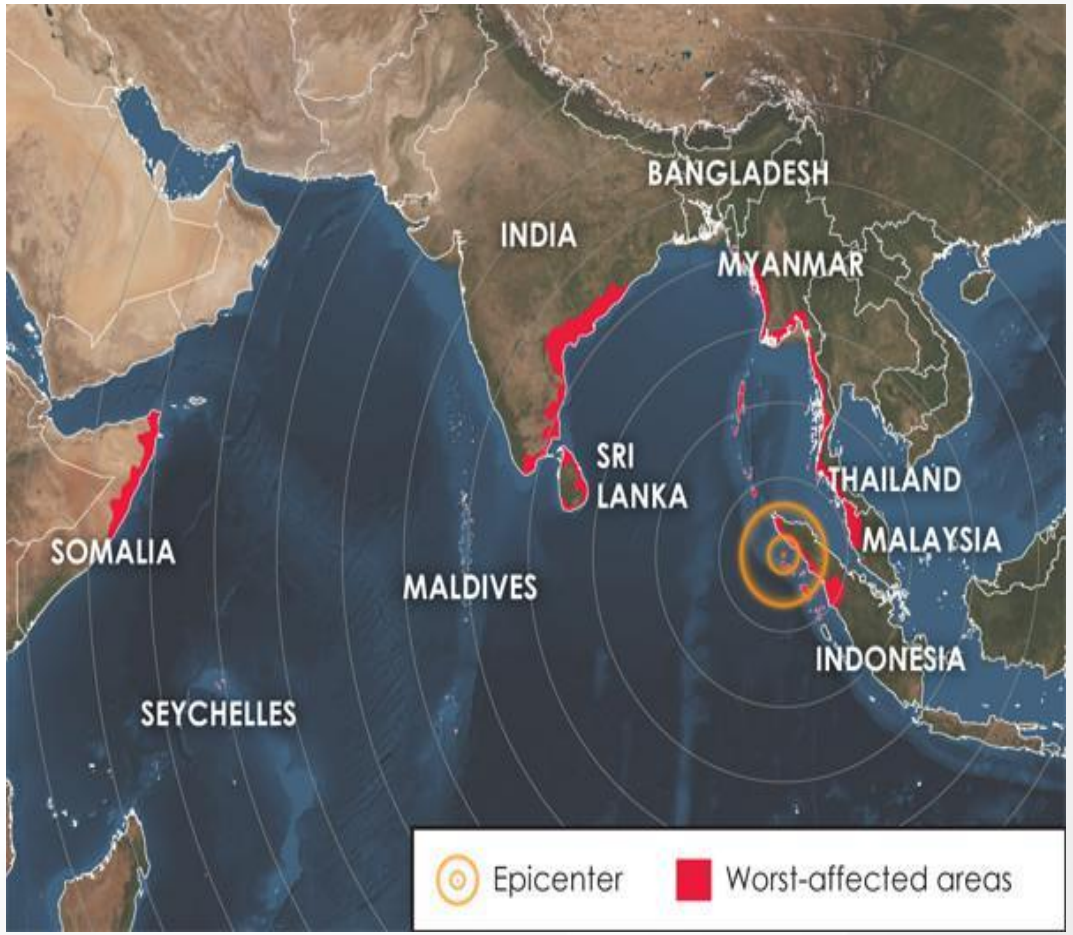


10 stations to measure sea level

Oman Tsunami Sources



Near Field Tsunami Source < 30 minutes



Far Field Tsunami Source 6 – 7 hours

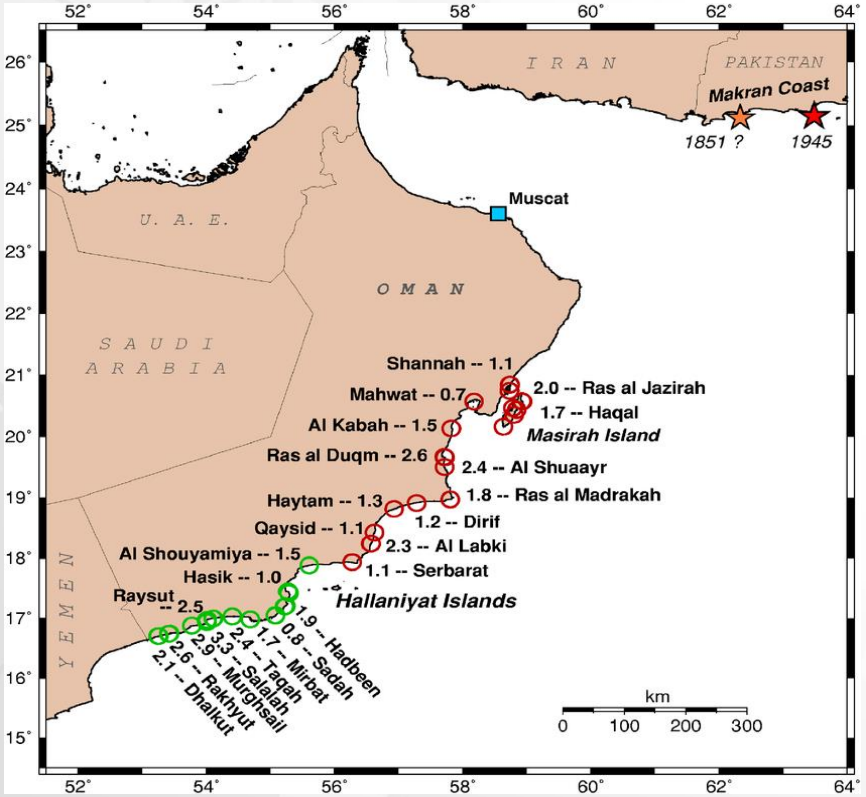
Distant Tsunami Sources

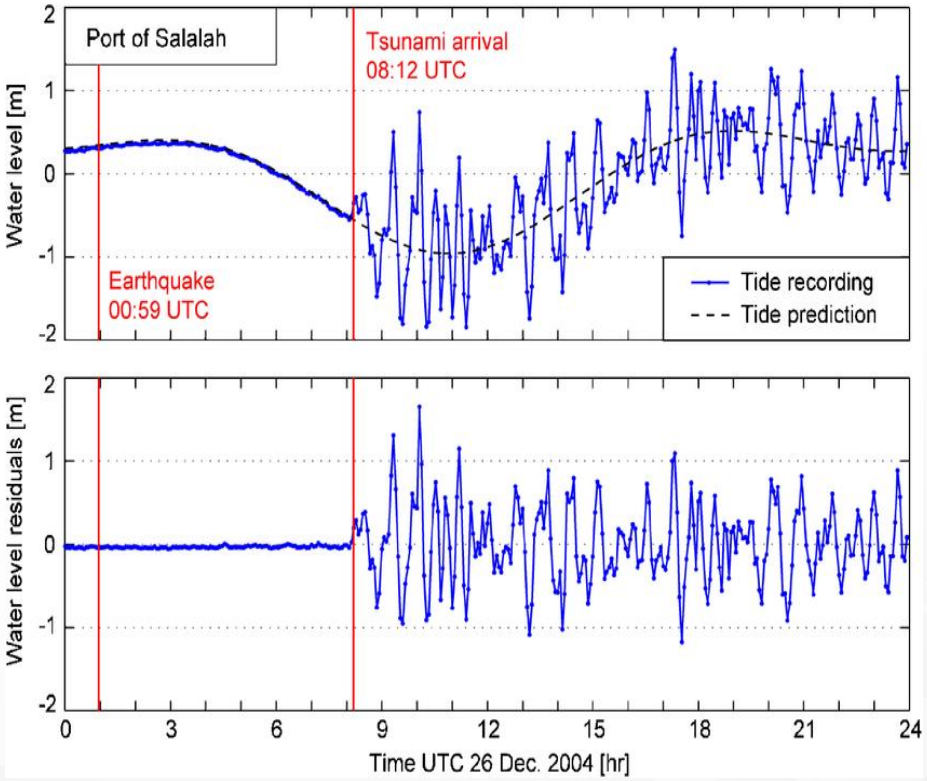
2004 Sumatra Tsunami

- An earthquake off the coast of Sumatra Island, Indonesia, measured 9.1
- The Sunda fault, 1500 km long
- The height of the waves reached 30 meters
- The tsunami formed within 20 minutes of the earthquake
- Deaths reached 227,898 from 14 countries in the Indian Ocean
- Losses amounted to 14 billion US dollars

2004 Tsunami Reaches Oman Coasts

Oman Field Survey after the December 2004 Indian Ocean Tsunami





Local Tsunami

عمان

▪ قريات

عبد الله بن سعيد السناتي
عمره عند المقابلة أكثر من ٨٥ عاماً

عندما كنت بين الثامنة والعاشرة من العمر، حدث فيضان كبير بسبب أمواج قدمت من الهند. وقد زرع ذلك القلق في نفس والدي فلم يسمحا لي بأن أصبح بحّاراً، لكي أظل بعيداً عن الهند إلى أقصى حد ممكن. ولذلك اخترت في سن الثانية عشرة من عمري مهنة الصيد في البحر بالقرب من الساحل، لكنني وصلت في أسفاري إلى البحرين والكويت.
وأتذكر أنني تعرضت في حياتي لأربع عواصف هوجاء، كانت إحداها قبل فترة طويلة من زواجي، وأخرى بعد زواجي، وعاصفة أخرى بعد أن كان جميع أطفالي قد وُلدوا.

أجرى كل من نورا من. البلوشي وعوسنا هوفمان وآن رويبرت هذه المقابلة، في قريات، بتاريخ ١٠ نيسان/أبريل ٢٠١٢.

▪ قرية "ضباب"

راشد ناصر
عمره عند المقابلة أكثر من ٧٠ عاماً

حدث هنا فيضان جاءت أمواجه من الهند، لكن المياه لم تدمر أي شيء. وقد ارتفع مستوى المياه إلى مستوى سطح المنزل (حوالي ٣ أمتار) لكنها انحسرت بعد ذلك بدون أن تسبب أي أضرار.

أجرى كل من نورا من. البلوشي وعوسنا هوفمان وآن رويبرت هذه المقابلة، في قرية "ضباب"، بتاريخ ١٠ نيسان/أبريل ٢٠١٢.

▪ يمنة

حمد خَلَفان جمعة الحسيني
عمره عند المقابلة أكثر من ٧٥ عاماً

سافرت من عمان إلى الهند ذهاباً وإياباً. وكانت الريح تهب أحياناً بقوة بحيث أنها كانت تعيدنا إلى رأس الحد في ستة أيام. وكانت سفرة العودة هذه يمكن أن تستغرق في الأحوال العادية شهراً.
وقد يلغني أن أجدادي كانوا يتحدثون عن عاصفة هبت قبل ٢٠٠ أو ٣٠٠ عاماً وكانت بقوة إعصار "جونو"[١]. لكنني لم أشهد في حياتي عاصفة بهذه القوة.
بيد أن فيضاناً كبيراً حدث في عمان وكانت أمواجه قادمة من ناحية الهند، فعبرّت البحر إلى أن بلغت الساحل العماني. وخلال ١٥ يوماً بعد الفيضان، كانت مياه الأودية مختلطة بمياه البحر وكنا نجد بعض أسماك البحر في أخاديد هذه الأودية.

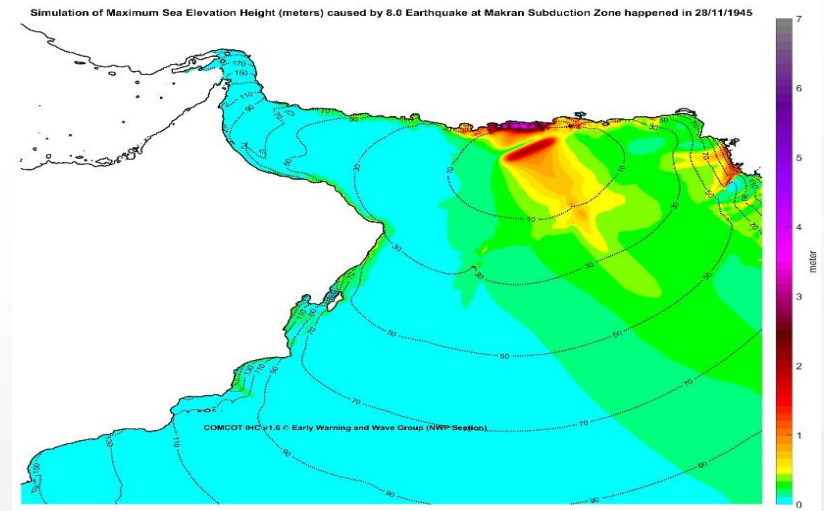
أجرى كل من نورا من. إستوانتي وعوسنا هوفمان وآن رويبرت هذه المقابلة، في يمنة، بتاريخ ١٠ نيسان/أبريل ٢٠١٢.
(١) إعصار "جونو" الذي هبّ خلال الفترة من ١ إلى ٧ حزيران/يونيو ٢٠٠٧، هو أقوى إعصار استوائي سُجل في بحر العرب.

▪ فنس

سهيل موسى
عمره عند المقابلة قريب من ٧٠ عاماً

أجمل في ذاكرتي صورة مياه تتقدم بدون أن تكون هناك عاصفة. وقد كنا نسحب في الليل قواربنا ونتركها على الشاطئ خشية أن نفقدها في حالة هبوب عاصفة أثناء نومنا. وكنا نياماً في القوارب عندما ارتفع مستوى مياه البحر بدون أن تكون هناك عاصفة أو رياح. وتقدمت المياه على اليابسة وغمر الفيضان المقبرة الموجودة أمامنا الآن، ووصلت المياه إلى مكان جلوسنا هذا (قرب المقهى).

أجرى كل من نورا من. إستوانتي وعوسنا هوفمان وآن رويبرت هذه المقابلة، في فنس، بتاريخ ٩ نيسان/أبريل ٢٠١٢.



▪ صور

سعيد الحميدي
عمره عند المقابلة ٨٦ عاماً

كان عمري ١٦ عاماً وكانت أعيش في صور عندما حدثت موجة التسونامي. وقد أمضيت وقتاً طويلاً من عمري أعمل كغيطان سفينة تحمل التمور من عمان إلى كراتشي وبومباي.
وربما كان الوقت هو الشهر الحادي عشر أو الثاني عشر من السنة. وأتذكر أن موجة التسونامي بدأت في الساعة الرابعة صباحاً. فقد انحسرت المياه في البداية إلى مسافة ٥٠ أو ٦٠ متراً، ثم أعقبت ثلاث موجات تفصل بين كل واحدة منها والثانية مدة نصف ساعة. وكان ارتفاعها يبلغ مترين أو ثلاثة أمتار.
وكانت القوارب الصغيرة تطفو على المياه التي غطت المكان بين هنا ومنزلنا، وكان مستوى المياه في داخل المنازل يصل إلى نصف متر. وعندما انحسرت الموجة الأولى ركضتُ نحو شاطئ البحر، إلا أن الوضع كان مخيفاً جداً فعدت راكضاً إلى منزلي، ثم أعقبت الموجة الثانية. فقد كانت موجة غير عادية حقاً ولم أر لها مثيلاً لا قبل ذلك ولا بعده. وأتذكر أن المنطقة كانت تتعرض لعواصف كل ١٠ سنوات أو ١٥ سنة.
ولم تحدث خسائر هنا في صور. وقد تأثرت قلهات أيضاً، ولكن ليس بنفس القدر الذي تأثرت به صور.

أجرى كل من دين محمد كاظم وعزالة نعيم هذه المقابلة باللغة الأوردية، في مسقط، بعمان.

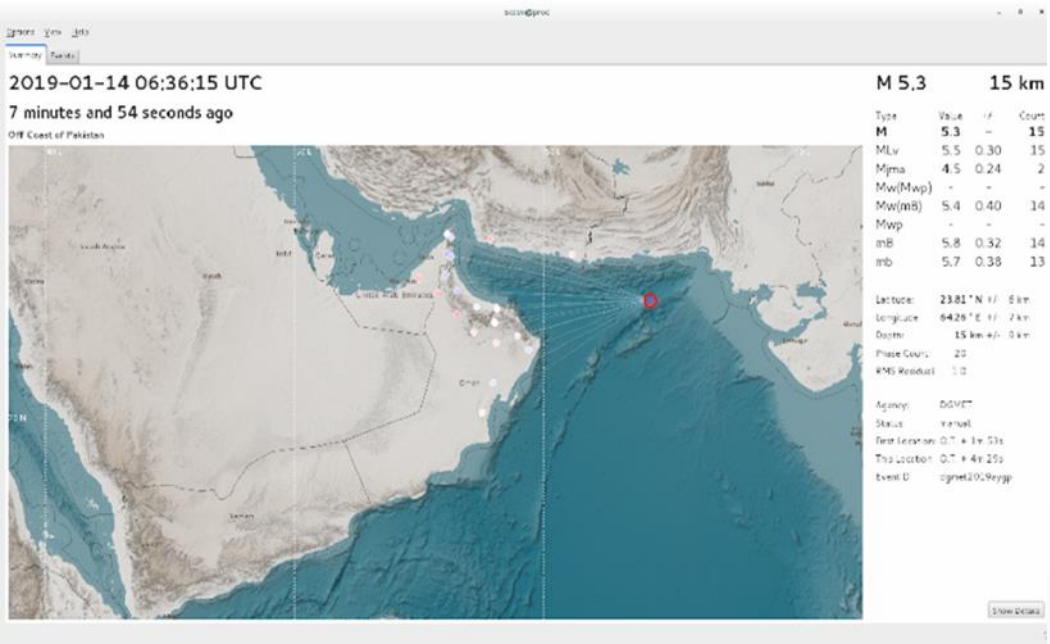
سبيت بن حميس بن فرج العلوي
عمره عند المقابلة قريب من ٧٥ عاماً

تلقينا في بومباي برقية من صور أرسلها تجار هنود كانوا يقيمون هناك (ويدعون Baniyan)، ذكروا فيها أن موجتين اكتسحتا اليابسة في صور.
ثم علمت بعدئذ أن موجة اندفعت من البحر في الساعة الثانية بعد منتصف الليل وأيقظت الناس من نومهم فأسرعوا يتراكضون هرباً نحو الجبال قبل أن تغلق الموجة الثانية. وقد جرفت هذه الموجة الثانية القوارب الخشبية المتوسطة الحجم من نوع dhows وألقت بها في المنازل الداخلية من اليابسة.
وأتذكر أن الناس تحدثوا عن جفاف البحر، كما أتذكر شخصياً أن مياه البحر كانت أبعد بكثير عن اليابسة مما هي عليه اليوم. وكانت طبقة الترسبات المحيطة بالمنازل والقريبة من الساحل والتي كنا نستطيع اقتراشها للنوم بدون الحاجة إلى استخدام حصران وهي، طبقة أقل صلابة مما هي عليه حالياً، إذ إن الأمر قد تغير منذئذ. وكان بإمكان الناس في ذلك الوقت أن يروا بوضوح في عتمة الظلام الدامس لليلة التاسعة والعشرين من الشهر (الليلة قبل الأخيرة من الأشهر القمرية والتي لا يكون فيها القمر ظاهراً) هي مطلع الشهر الجديد).
ولا أتذكر ما إذا تحدث الناس عن هطول مطر خلال اندفاع الموجات، إلا أنهم كانوا يقيمون في أكواخ من سعف النخيل وكان بإمكانهم التنبؤ بقدوم أي عاصفة. كما كان بإمكانهم أن يروا تلك الغيوم العاصفة حتى في الليل، وأن يسمعوا صفير الريح قبل وصولها إليهم فكانوا يسرعون عندئذ بأخذ مواشيهم إلى الجبال.
واستغرب جداً أن الناس كانوا لا يزالون نائمين في الساعة الثانية بعد منتصف الليل عندما أقبلت الموجة الأولى، وإذا كان البعض يحفظ عددٍ لكنوا قد استيقظوا بالفعل وتوجهوا مباشرة نحو الجبال طلباً للسلوى.

أجرى كل من نورا من. البلوشي وعوسنا هوفمان آن رويبرت هذه المقابلة بتاريخ ٦ مايو ٢٠١١.

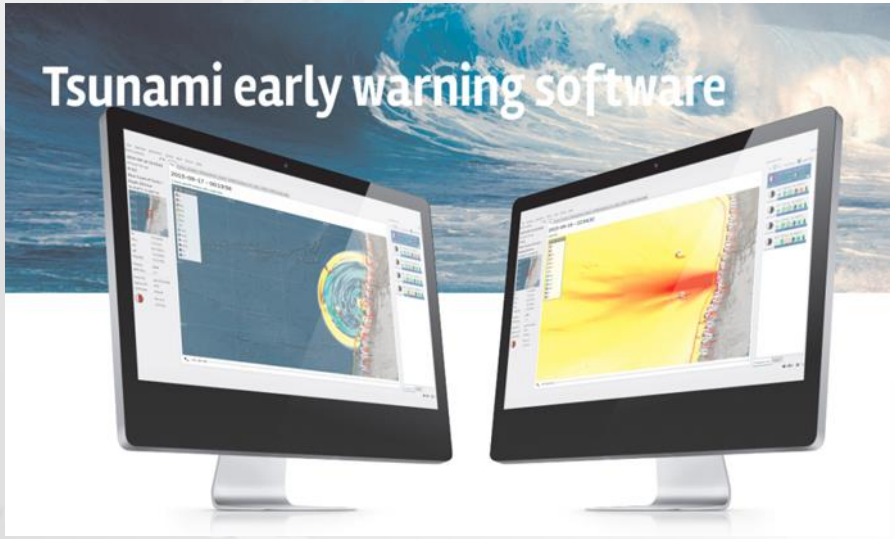
Tsunami Early Warning System

Earthquake Analysis using seiscomp5



Tsunami Early Warning System

Tsunami Simulation and Observation using TOAST



TOAST (Tsunami Observation And Simulation Terminal) is a software for tsunami simulation and verification giving a quick hazard assessment

FEATURES

- Direct connectivity to SeisComP
- Automatic reception of earthquake parameters
- Calculation of SSH, SSHMax, isochrones, arrival times, coastal wave heights
- Calculation of warning levels for forecast zones
- Automatic and interactive rupture generation
- GPU based "on the fly" simulation
- Pre-calculated simulation databases
- Worst-case scenario aggregation
- Integration of oceanographic sensor data
- Template-based bulletin generation

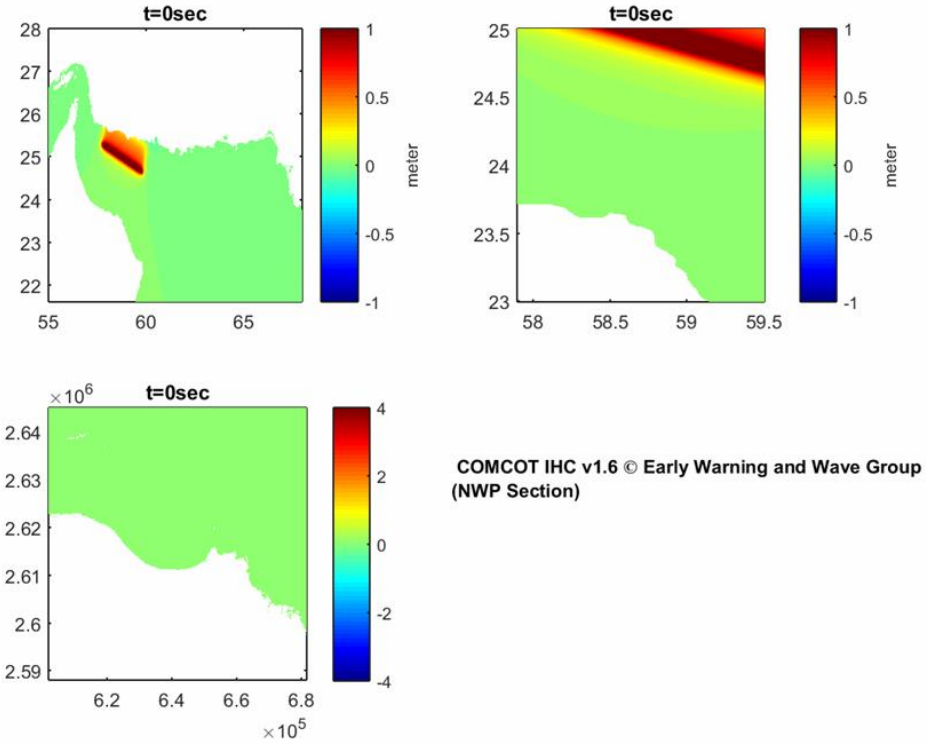
Tsunami Early Warning System

Tsunami Simulation and Observation using TOAST

Numerical models of tsunamis simulate the wave from the deformation through propagation until it reaches the coasts. Th models can calculate:

- Wave height at the coast
- Inundation Area/distance
- The arrival time of the wave

- Generate initial surface deformation
- Propagate the wave from source to coast of Oman
- Inundate the coast



Tsunami Early Warning System

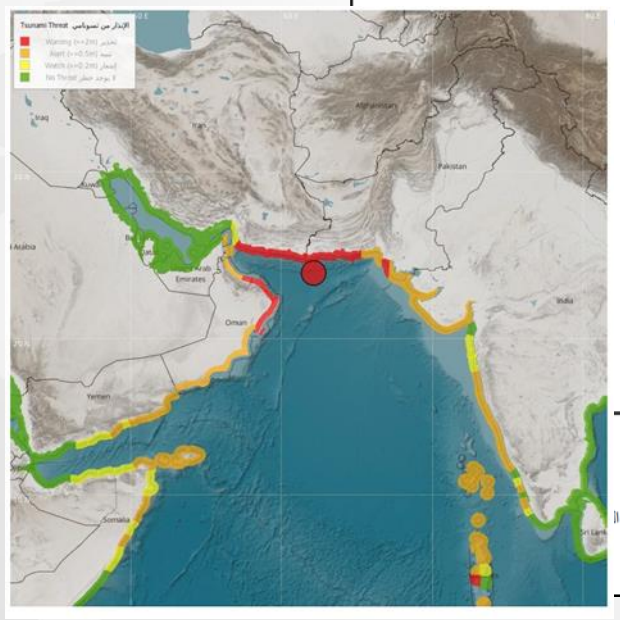
Social media

fax

Email

website

SMS



المديرية العامة للأرصاد الجوية
هيئة الطيران المدني

أصدرت في 10:30 GST, Tuesday, 20 October 2023
نشرة - 3

تحديث بيانات الزلزال:

القوة	9.0 M
التاريخ	20/10/2023
وقت الحدوث	10:00:00 (GST)
دائرة العرض	24.80 N
خط الطول	62.2 E
العمق	10 km
الموقع	قبالة سواحل باكستان

المديرية العامة للأرصاد الجوية
هيئة الطيران المدني

أصدرت في GST, Tuesday, 20 October 2023
نشرة – 4

تحديث بيانات الزلزال:

القوة	9.0 M
التاريخ	20/10/2023
وقت الحدوث	10:00:00 (GST)
دائرة العرض	24.80 N
خط الطول	62.2 E
العمق	10 km
الموقع	قبالة سواحل باكستان

زوال الخطر.

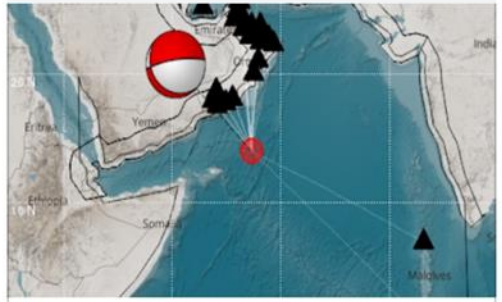
هذه آخر معلومات تصدر من المركز الوطني للإنذار المبكر من المخاطر ا

Tsunami Early Warning System

Title	Message	Communication Method	Expected stakeholder
0-5 Min	Bulletin 1 (Earthquake info.)	Cell Broadcast	NCEM, ROP & TV
5-10 Min	Bulletin 2 (First Tsunami warning)	Email	Podcast Bulletin 2 to NCEM, ROP, TV & Public
10-30 Min	Bulletin 3 (Tsunami warning update)	Social Media	Podcast Bulletin 3 to NCEM, ROP, TV & Public
30-120 Min	Updated Bulletin 3.1 (Tsunami warning update)	Fax	Podcast Bulletin 3.1 to NCEM, ROP, TV & Public
2-48 Hours	Bulletin 4 (Tsunami warning end)	TV	Podcast Bulletin 4 to NCEM, ROP, TV & Public
		Sirens	
		Other	

Examples of SMS

Potential tsunami. Earthquake: magnitude 5.5, Owen Fracture Zone R, depth 8km, 2021-04-24 22:00:34 GST, met.gov.om/e/dgmet2021hzvm



CAA - DSS Earthquake Catalog

met.gov.om

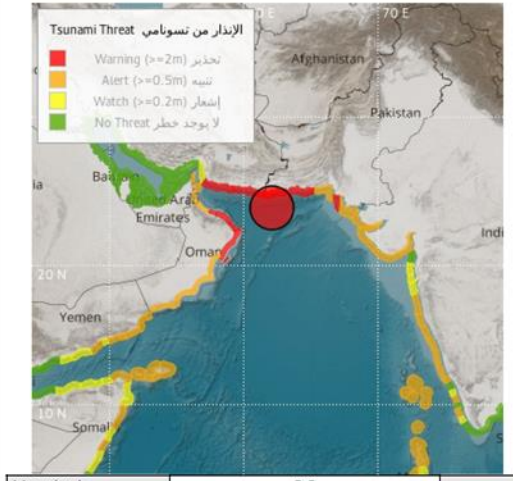
لا توجد احتمالية تسونامي. انظر: https://dss.met.gov.om/b2/21hzv

Social Media

TV and Radio

زلزال مع إحتمالية تأثير أمواج تسونامي على سواحل السلطنة

Earthquake with potential tsunami along Oman coasts



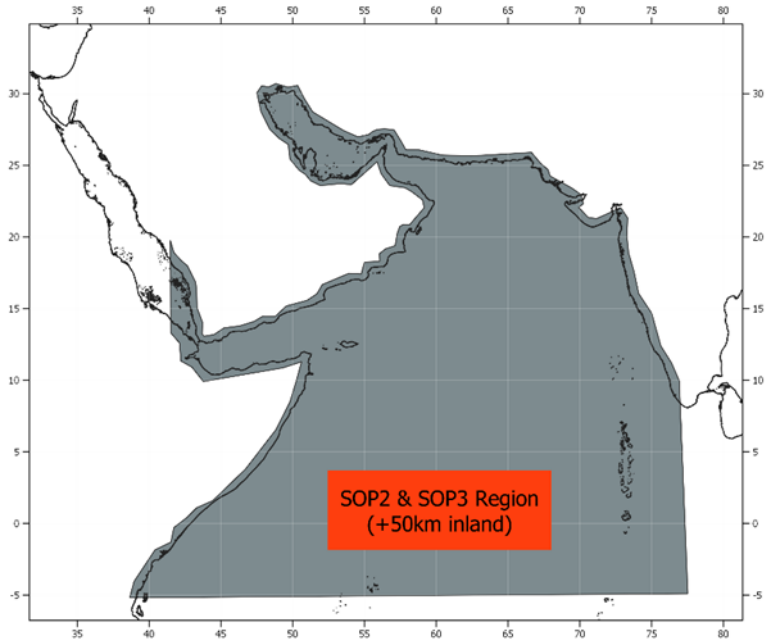
Magnitude	8.8	قوة الزلزال
Region	قبالة ساحل باكستان	المنطقة
Region	Off Coast of Pakistan	المنطقة
Depth	11 km	العمق
Date	12/14/2023	التاريخ
Time (MCT)	13:55:15	التوقيت المحلي

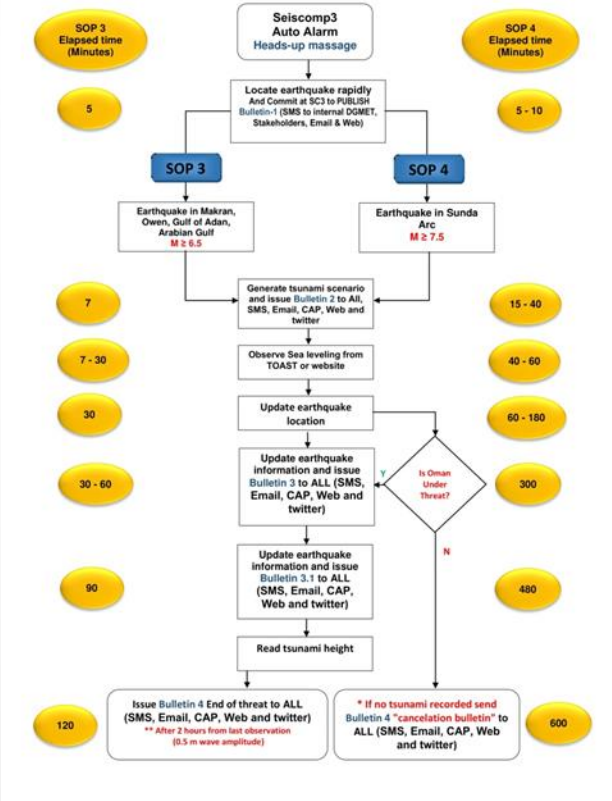
Place Name	Warning Level	مستوى الإنذار	اسم المنطقة
SOUTH AL SHARQIYAH (OMAN SEA)	Warning	تحذير	الشرقية جنوب - بحر عمان
MUSCAT	Warning	تحذير	محافظة مسقط
SOUTH AL SHARQIYAH (ARABIAN SEA)	Warning	تحذير	الشرقية جنوب - بحر العرب
SOUTH AL BATINAH	Warning	تحذير	الباطنة جنوب
AL WUSTA	Alert	تنبيه	المنطقة الوسطى
NORTH AL BATINAH	Alert	تنبيه	الباطنة شمال
DHOFAR	Alert	تنبيه	محافظة ظفار
MUSANDAM	Alert	تنبيه	محافظة مسندم

هيئة الطيران المدني، المديرية العامة للأرصاد الجوية

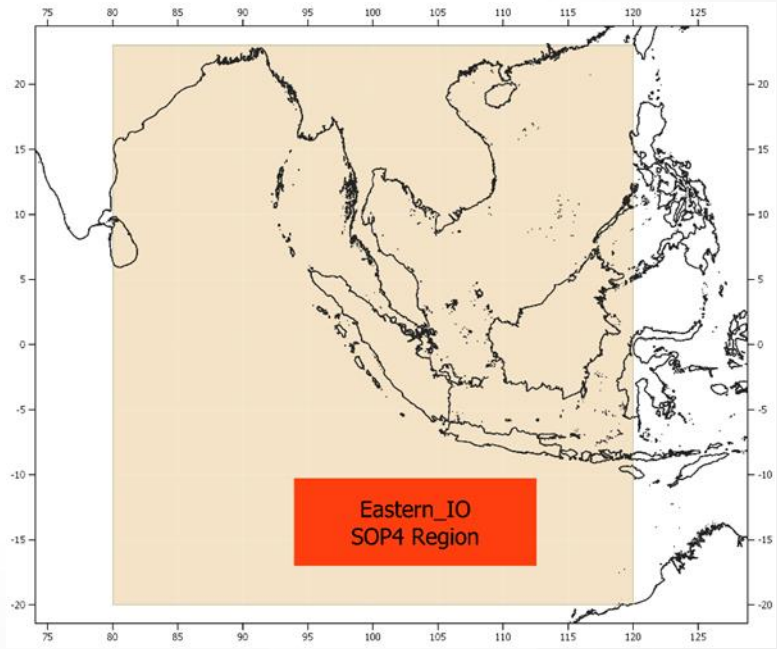
Standards Operating Procedures

SOP3
EQ >= 6.5
Near Field

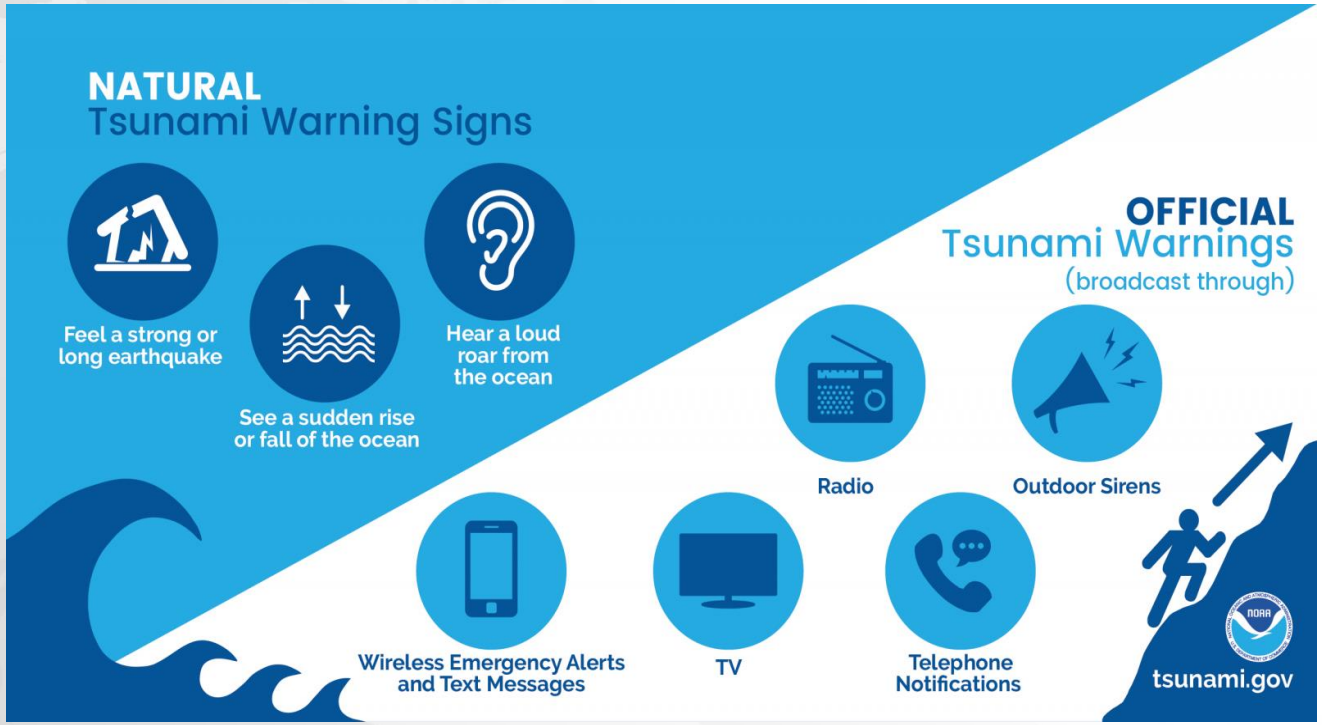


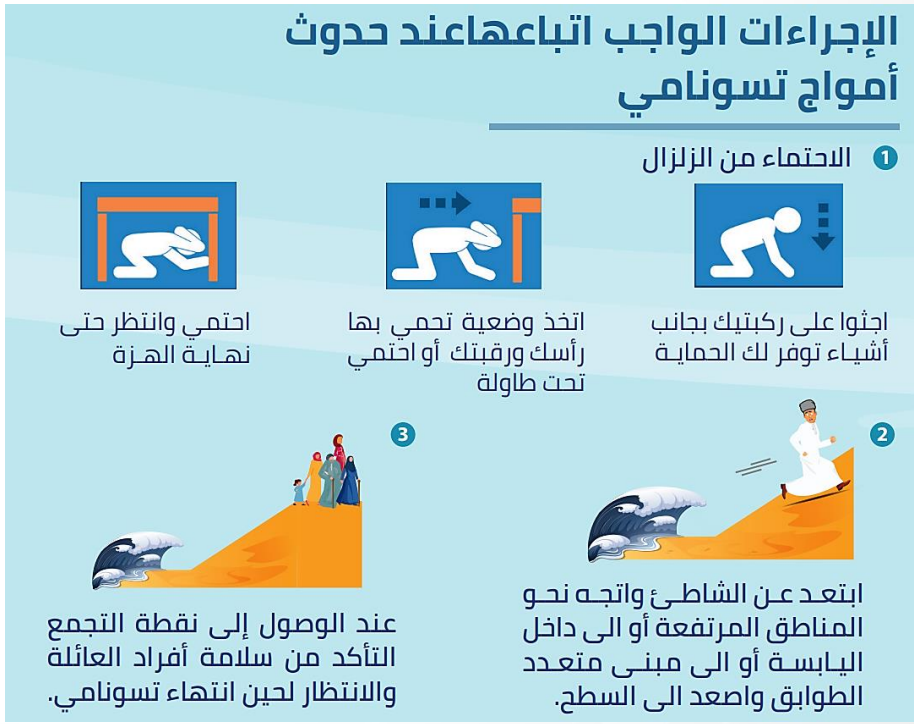


SOP4
EQ >= 7.5
Far Field



Tsunami Safety | onshore





IOWave18

Public Awareness through drills is the essential for the community readiness and resilience

Tsunami Safety | offshore

You may feel the earthquake through the hull of your ship

You may see a rapid or extreme shift in currents and simultaneous changes in wind wave heights

You may receive official warning

What to do

- If you are on land or tied up at the dock: Do not attempt to take your vessel offshore. Leave your boat and go to high ground on foot as soon as possible.
- If you are in deep water or close to deep water: Take your vessel further offshore beyond the “minimum offshore safe depth”. Typically, this depth is 50 to 100 fathoms (90 to 180 meters), then you are safe from tsunamis.
- If you are on the water but near shore: Use your best judgment to decide between the two options: safely beach/dock the vessel and evacuate to high ground or get to the minimum offshore safe depth.

Thanks