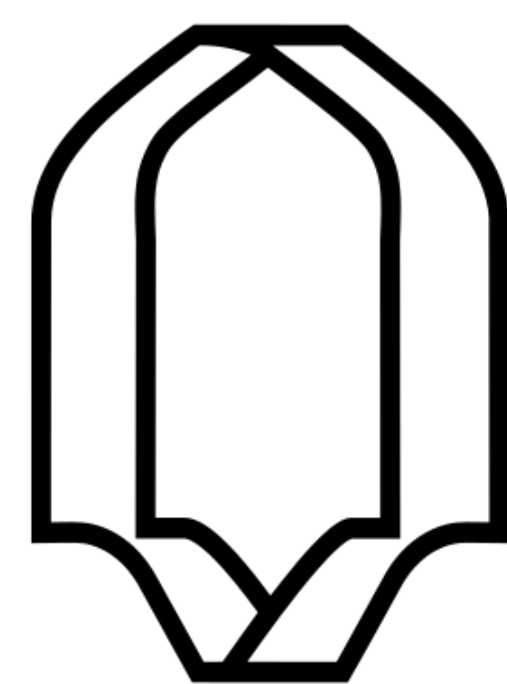




دانشگاه زابل



دانشگاه زابل

به نام خدا

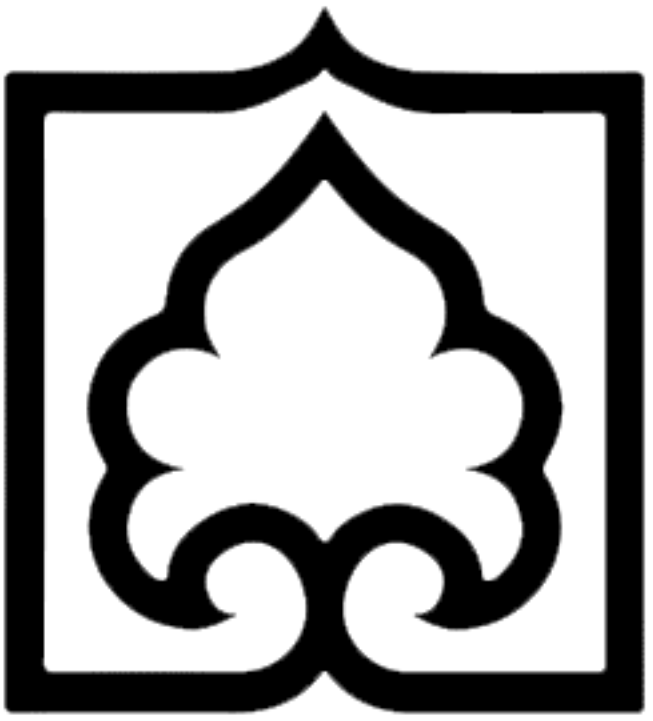
شانزدهمین همایش ملی نجوم و اخترفیزیک ایران

Identification of Active Earthquake Zones

شناسایی مناطق فعال زمین لرزه بر روی کره زمین

فیروزه، زهرا؛ تاران، سمیه؛ اسعدی، نازیلا؛ صفری، حسین^۱

گروه فیزیک، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه زنجان، شماره تماس ۰۰۹۸۹۱۲۴۴۱۸۵۵۰



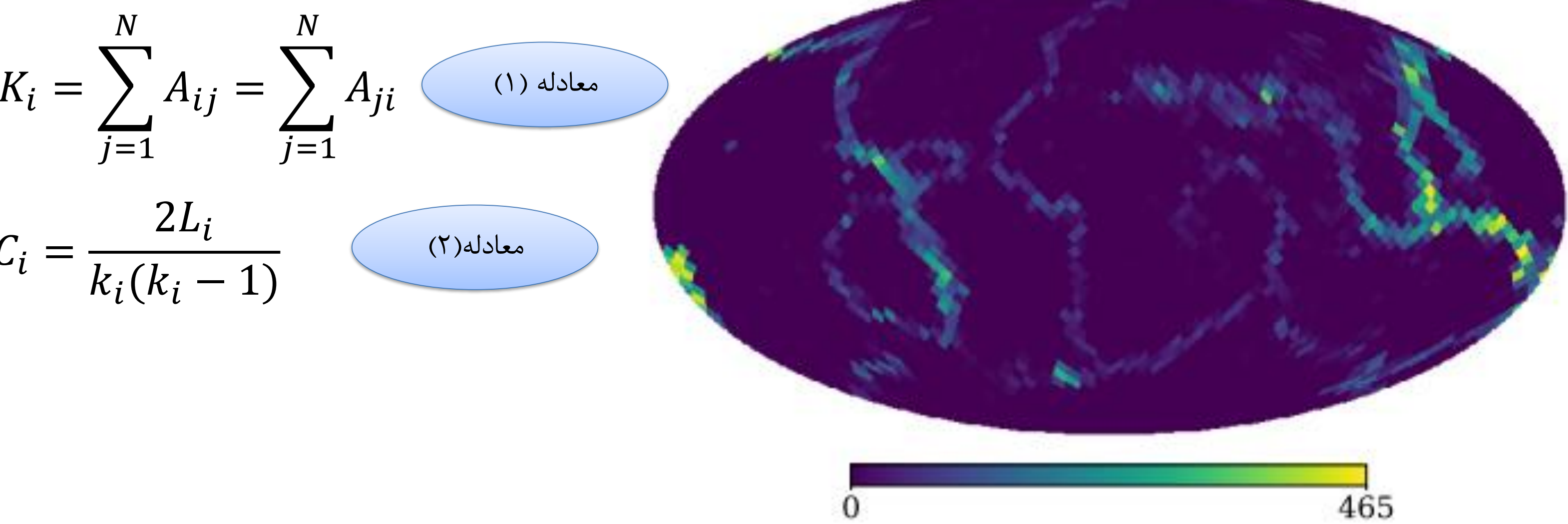
دانشگاه زنجان

بحث و بررسی

ویژگی‌های شبکه

درجه یک گره برای شبکه‌های بدون جهت برابر تعداد یال‌های متصل به آن گره هست. با داشتن ماتریس مجاورت درجه هر گره را می‌توان از طریق معادله ۱ محاسبه کرد که برابر مجموع درایه‌های روی سطر یا ستون آن گره است، پارامتر ضریب خوشه‌بندی بیانگر میزان ارتباطات همسایگان یک گره است و مقداری بین صفر و یک دارد که اگر مقدار این پارامتر برابر صفر باشد یعنی بین همسایگان آن گره ارتباطی وجود نداشته و یا به عبارتی یالی وجود ندارد و اگر مقدار یک را بگیرد یعنی تمام همسایگان آن گره با همدیگر در ارتباط هستند. شکل ۱ گره‌های ساخته شده توسط شبکه زلزله ای را نمایش می‌دهد. ضریب خوشه‌بندی یک گره با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود، که L_i تعداد یال‌های بین همسایگان گره i و k_i درجه گره i را نشان می‌دهد.

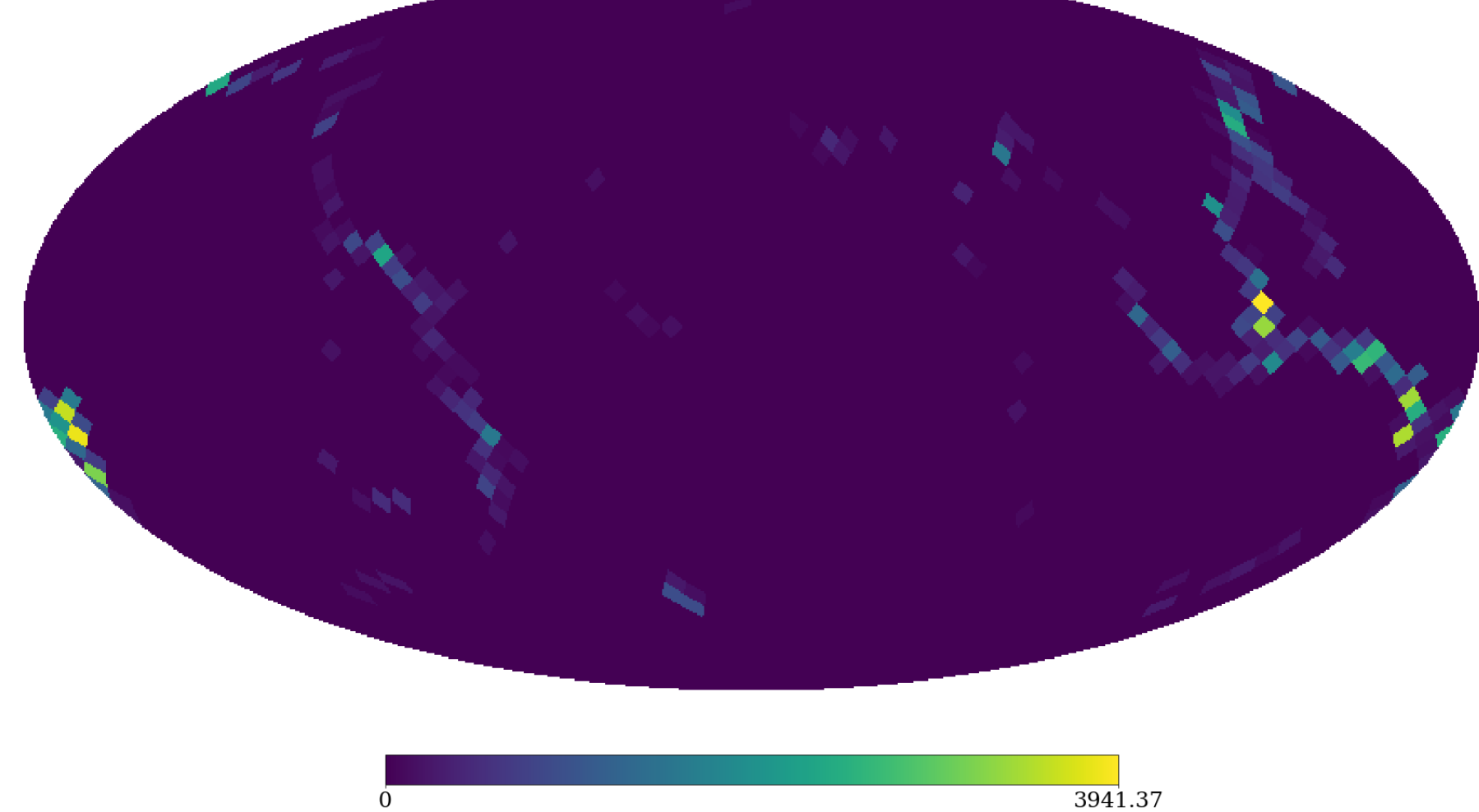
شکل ۱: تصویر کره مولواید با وضوح $N_{side}=16$ و 30.72 سول‌ها، درجه گره‌های شبکه را نمایش می‌دهد.



شناسایی مناطق فعال

در یک شبکه پیچیده، اتصال بین گره‌ها معمولاً به طور یکنواخت در یک شبکه رخ نمی‌دهد. توزیع ناهمگون اتصال در یک شبکه می‌تواند نشان‌دهنده اثر بخشی گره‌هایی با بیشترین اتصال بر روی سایر گره‌های شبکه باشد. با این حال، همیشه داشتن درجه بالایی از یک گره، معیار خوبی برای شناسایی مناطق فعال و گره‌های قدرتمند در یک شبکه نیست. رویکردی مانند اندازه‌گیری مرکزیت گره‌ها در شبکه به همراه درجه گره‌ها می‌تواند معیار خوبی در شناسایی مناطق فعال باشد.

شکل ۲: تصویر کره مولواید با وضوح $N_{side}=16$ و 30.72 سول‌ها، نقاطی که از رنگ زمینه روشن‌تر هستند، به عنوان نقاط فعال شناسایی شدند.



با در نظر گرفتن معیارهای چون درجه گره‌ها و مرکزیت گره‌ها، مناطق فعال را شناسایی کردیم. بنابر شکل ۲ می‌توان ابتدا ادعا کرد که نیم کره شمالی فعالیت بیشتری نسبت به نیمکره جنوبی دارد. نقطه زرد رنگ نیمکره راست که به عنوان فعال‌ترین منطقه شناسایی شد، مربوط به فیلیپین بود. فرریا و همکاران در سال ۲۰۲۰ با درنظر گرفتن تعداد اتصالات بیشتر همین منطقه را بعنوان نقطه‌ای فعال شناسایی کردند [۶]. که این موضوع خود دلیل محکمی برای

اثبات حقانیت روش بکار رفته ما در شناسایی مناطق فعال زلزله‌ای است. همچنین در شکل ۲، با ردیابی مناطق فعال روشن‌تر به راحتی حلقه آتش قابل مشاهده است، این حلقه که به شکل یک نعل اسب است شامل مناطقی ست که در آن تعدادی از زمین‌لرزه‌ها در حوضه اقیانوس آرام رخ می‌دهد و در حدود ۹۰ درصد از زمین‌لرزه‌های دنیا در امتداد همین حلقه به وقوع می‌پیوندد [۷].

نتیجه‌گیری

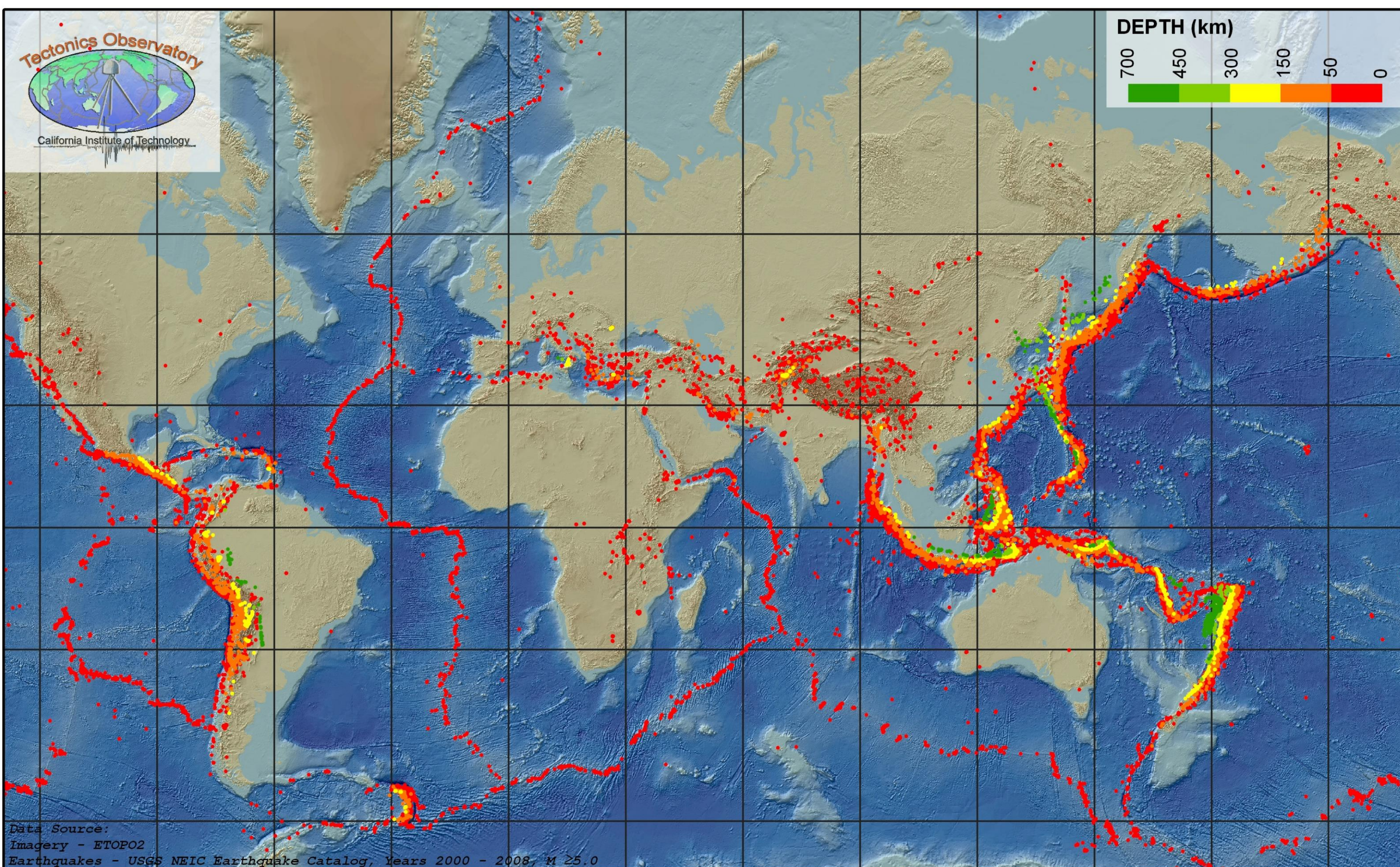
شبکه ساخته شده به طور خاص اطلاعات دینامیکی لرزه‌خیزی را در سطح زمین نشان می‌دهد. با رویکرد جدید تقسیم بندی استفاده شده در ساختار شبکه برای کل سطح زمین، دیدیم که مناطق فعال موثر در رخداد زلزله‌ها در نیمکره شمالی ظاهر می‌شوند. با شناسایی مناطق فعال در شبکه زلزله می‌بینیم که علاوه بر عدم تقارن در عرض‌های جغرافیایی مختلف نیمکره‌های شمالی و جنوبی، منطقه‌ای چون حلقه آتش و نیم‌دایره‌ای که از صفحات زمینی فعال و آتشفشان‌های خروشان در کناره اقیانوس آرام برخوردار است، همان سلول‌هایی هستند که بر روی کره مولواید به رنگ‌های روشن‌تر به نمایش درآمده‌اند (شکل ۱).

مراجع

- Oppenheimer, Clive. *Eruptions that shook the world*. Cambridge University Press, 2011.
- Abe, Sumiyoshi, and Norikazu Suzuki. "Universal clustering structure and $C \approx 0.85$ scaling in complex earthquake networks." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 421 (2015): 343-346.
- He, Xuan, Hai Zhao, Wei Cai, Zheng Liu, and Shuai-Zong Si. "Earthquake networks based on space–time influence domain." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 407 (2014): 175-184.
- Pastén, Denisse, Zbigniew Czechowski, and Benjamin Toledo. "Time series analysis in earthquake complex networks." *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science* 28, no. 8 (2018): 083128.
- Rezaei, Soghra, Amir Hossein Darooneh, Nastaran Lotfi, and Nazila Asaadi. "The earthquakes network: Retrieving the empirical seismological laws." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 471 (2017): 80-87.
- Ferreira, Douglas SR, Jennifer Ribeiro, Paulo SL Oliveira, André R. Pimenta, Renato P. Freitas, and Andrés RR Papa. "Long-range correlation studies in deep earthquakes global series." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 560 (2020): 125146.
- Baker, M. C. W., and P. W. Francis. "Upper Cenozoic volcanism in the Central Andes—ages and volumes." *Earth and Planetary Science Letters* 41, no. 2 (1978): 175-187.

مقدمه

بر اساس پراکندگی کانون‌های زلزله سه سیستم لرزه زمین‌ساختی وجود دارد. منطقه فرورانش، منطقه خط الراس میانی اقیانوسی و منطقه برخورد قاره‌ای بخش‌هایی هستند که بیشترین زلزله‌ها در آن‌ها رخ می‌دهند. توزیع کانون-های زلزله در مناطق لرزه خیز، نشانگر رفتارهای نامتقارن زمین در نیمکره شمالی و جنوبی است که می‌تواند ناشی از خواص فیزیکی متضاد در دو نیمکره باشد. سالانه میلیون‌ها زمین‌لرزه در زمین رخ می‌دهد که اکثر آن‌ها فقط چند ثانیه و برخی زمین لرزه‌های بزرگ نیز ممکن است تا چند دقیقه طول بکشند. ۹۰ درصد زمین لرزه‌ها در مرز صفحه-های تکتونیکی یعنی در جایی که دو صفحه تقریباً به هم برخورد می‌کنند، از هم دور می‌شوند یا در کنار هم می‌لغزند، رخ می‌دهند [۱]. هنگام حرکت ناگهانی صفحه‌ها، مقادیر بسیار زیادی انرژی آزاد و سبب حرکت امواج می‌شود. انرژی آزاد شده در هر زمین لرزه ممکن است به عنوان یک دامنه میدان تعریف شده در یک نقطه فضا-زمان گسسته در نظر گرفته شود. با این حال، بر خلاف نظریه الکترومغناطیسی، دامنه و مکان هردو بصورت ذاتی احتمالی هستند . از آنجایی که ممکن است توزیع گسل از نظر هندسی خود متشابه باشد و همچنین وجود چشم‌اندازی پیچیده برای توزیع تنش، توجه فیزیکدانان نسبت به بررسی زمین لرزه از دیدگاه علم سامانه‌های پیچیده جلب شده است .ما برای بررسی ویژگی‌های شبکه پیچیده زلزله، ابتدا سطح زمین را به سلول‌های لوزی شکل با مساحت‌های مساوی تقسیم می‌کنیم. سپس با بکارگیری گراف پدیداری و یافتن اتصالات زمین لرزه‌ها را در الگوی شبکه پیشنهادی، هر سلول را به عنوان یک گره در شبکه در نظر گرفته و همه پیوندهای دو گره را با یک راس جایگزین می‌کنیم.



روند تحقیق

داده‌ها و ساخت شبکه

در این پژوهش ما از ۲۶۰۸۸ داده زلزله‌ای در سرتاسر زمین که از ۱ ژانویه ۱۹۷۶ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۰ ثبت شده‌اند، استفاده می‌کنیم. کاتالوگ زلزله ما شامل عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، زمان وقوع و M_W (قدر لحظه) از ۲.۸ تا ۸.۹ متغیر است. داده‌ها از بولتن‌های ISC و NEIC و مراکز داده HRVD دریافت شده است.

در روش‌های مختلف ساخت شبکه، شبکه‌های پیچیده متفاوتی را از دیدگاه‌های مختلف تولید کرده و الگوهای مختلفی را در کاتالوگ‌های زلزله به نمایش می‌گذارند .یک روش ساخت و ساز پیچیده‌تر می‌تواند الگوهای لرزه‌خیزی بیشتری را بگذارد .برای توسعه یک شبکه پیچیده، اولین گام، تعریف رئوس و یال‌ها است .محققان از دو روش کلی برای ساخت شبکه‌های زلزله استفاده کرده‌اند. آبه و سوزوکی [۲] که اولین روش ساخت شبکه زلزله را پیشنهاد کردند، حجم سه بعدی منطقه مورد نظر را به سلول‌های کوچک مکعبی با مساحت مساوی تقسیم نمودند. در روش آن‌ها، یک سلول به عنوان یک گره در نظر گرفته شد که حداقل یک زلزله در آن قرار روی داده بود و یک یال دو گره را که دو زلزله متوالی در آن‌ها رخ می‌داد را به هم متصل می‌کرد .در روش دوم، یک رویداد خود یک گره در نظر گرفته شده است و یال‌ها با استفاده از همبستگی بین رویدادها تعریف شده‌اند [۳]، [۴]، [۵].

ما ابتدا سطح کره زمین را به تعدادی سلول لوزی شکل هم مساحت تقسیم کردیم. پیاده‌سازی شبکه با وضوح‌های متفاوت ایجاد می‌شود. آنگاه یک زیر مجموعه تودرتوی $n \times n$ مربعی در درون هر سلول به دست می‌آید. وضوح شبکه توسط پارامتر N_{side} و همچنین تعداد سلول‌های هر کره با وضوح متفاوت از رابطه $N_{pix} = 12N_{side}^2$ بدست می‌آید.

در شبکه ساخته شده در این مقاله، ابتدا هر سلول به عنوان یک گره در نظر گرفته می‌شود، داخل هر سلول امکان وجود چندین زلزله است و این امکان که این زلزله‌ها در داخل سلول نیز ارتباط داشته باشند وجود دارد. تمامی اتصالات داخل هر سلول را صفر و تمامی یال‌های بین سلول‌های مختلف را با یک یال جایگزین می‌کنیم. حال برای ساختن رفتار گرافی شبکه، ماتریس مجاورتی ساختیم که اگر دو سلول با یکدیگر ارتباط داشته باشند، درایه مربوطه ارزش یک و در صورت نداشتن ارتباط درایه مقدار صفر می‌شود. در مرحله بعد پس از ساختن ماتریس مجاورت، ویژگی‌های شبکه را بررسی می‌کنیم.

<http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>

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

<https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>