



طراحی و راه‌اندازی شبکه‌ی لرزه‌نگاری نیروگاه اتمی دارخوین (IR360)

محمدرضا آرام*

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران - ایران

چکیده: مطالعات ریز لرزه‌خیزی و پایش ریزلرزه‌ها به منظور بررسی هرچه دقیق‌تر رفتار گسل‌های موجود و شناسایی گسل‌های پنهان و دیگر ساخت‌های زمین‌ساختی فعال در مراحل مختلف احداث سازه‌های مهم، به ویژه نیروگاه‌های اتمی اجتناب‌ناپذیر است. براساس استانداردهای IAEA و NRC تجهیزات مناسب لازم برای ثبت فوری پاسخ لرزه‌های سازه‌های نیروگاه اتمی که از لحاظ ایمنی اهمیت دارند، باید تهیه شوند و براساس دستورالعمل RG. 1.165 پایش لرزه‌ای محدودی سایت به وسیله‌ی ایستگاه‌های لرزه‌نگاری باید تا حد امکان به محض انتخاب محل سایت انجام گیرد. هم‌چنین فعالیت نیروگاه اتمی در مواردی که لرزش زمین از حد زلزله‌ی مبنا (OBE) تجاوز می‌کند، باید متوقف شود. در این تحقیق، شرح مطالعات و عملیات صحرائی برای جانمایی ایستگاه‌های شبکه‌ی لرزه‌نگاری محلی ساخت‌گاه نیروگاه اتمی دارخوین ارائه شده است. پس از مطالعات دفتری و بازدید اولیه از محل لرزه‌نگارهای قدیمی موجود در منطقه مشخص شد که شبکه‌ی مذکور به طور کامل ساختارهای زمین‌شناسی اطراف نیروگاه را پوشش نمی‌دهد. با بررسی‌های صحرائی و روش‌های محاسباتی بهینه‌سازی، محل‌های جدیدی معرفی شد. در تعیین ایستگاه‌های جدید مکان‌هایی با کم‌ترین نوفه و بهترین پوشش برای چشمه‌های لرزه‌ای منطقه انتخاب شد. مدل‌سازی با در نظر گرفتن یک ایستگاه فرضی در محل‌های انتخابی، نشان می‌دهد که آستانه‌ی ثبت کامل زمین‌لرزه‌ها در نواحی اطراف محل نیروگاه دارخوین زیر مقدار ۱ (حدود ۰٫۸) می‌باشد.

کلید واژه‌ها: شبکه‌ی لرزه‌نگاری، نوفه، نیروگاه اتمی، گسل، زمین‌ساختی

Design and commissioning of the Seismicity Network of Darkhovein Nuclear Power Plant (IR360)

M.R. Aram*

Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 14395-836, Tehran – Iran

Abstract: The study of micro seismicity and monitoring the micro seismic for the purpose of surveying the existing faults treatments and recognition of blind faults and other active tectonic structures in various phases of constructing the important structures, specially nuclear power plants, is unavoidable. According to IAEA safety guides and US-NRC regulatory guides, suitable instrumentation must be provided so that the seismic response of nuclear power plant features importantly from the safety point of view. According to R.G. 1.165 seismic monitoring by a network of seismic stations in the site area should be established as soon as possible after the site selection. Also, it is necessary to shutdown the nuclear power plant if vibratory ground motion exceeds the operating basis earthquake (OBE). The current research demonstrates the field works and studies for locating the local seismograph network in Darkhovein nuclear power plant. After the official studies and the primary visit of the old seismograph stations it was found that the mentioned network doesn't cover completely the geological structures around the power plant. Therefore, new locations have been introduced through the field investigation and computational methods of optimization. In positioning the new stations, places with the least amount of noise and the best coverage for seismic sources were selected. The modeling with considering an imaginative station at the selected places shows that the thresholds of the complete records of earthquakes around Darkhovein site is under the magnitude 1 (about 0.8).

Keywords: Seismic Network, Noise, Nuclear Power Plant, Fault, Tectonic



۱. مقدمه

بر اساس استاندارد 10 CFR Part 50، تجهیزات مناسب برای تعیین پاسخ لرزه‌ای عارضه‌های مهم نیروگاه‌های اتمی با هدف ارزیابی ایمنی اولیه بعد از هر زمین‌لرزه، باید تأمین گردد تا در صورت فراتر رفتن شتاب و بزرگای زمین‌لرزه از حد مبنای فعالیت نیروگاه، اقدامات مقتضی برای توقف فعالیت نیروگاه در حالت ایمن به عمل آید [۱، ۲ و ۳]. بر اساس دستورالعمل RG. 1.12، فرایند پردازش هر زمین‌لرزه تا ۴ ساعت بعد از هر رخداد باید انجام گرفته و لزوم تصمیم‌گیری در مورد توقف سطح فعالیت نیروگاه باید مورد بررسی دقیق قرار گیرد [۴]. مطالعات انتخاب محل ایستگاه‌های لرزه‌نگاری (جانمایی) شامل مطالعات دفتری^(۱) و مطالعات صحرائی^(۲) است. مطالعات دفتری شامل مطالعه‌ی نقشه‌ها و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به محل‌های دارای پتانسیل لازم و سپس انتخاب مناسب‌ترین آن‌ها از بین محل‌های انتخاب شده است. به این ترتیب از نظر اقتصادی، مطالعات دفتری باعث کاهش و صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود. معیارهایی که به طور معمول در مطالعات دفتری مورد بررسی قرار می‌گیرند عبارت‌اند از:

- وضعیت جغرافیایی منطقه،
- شرایط زمین‌شناسی - لرزه‌ای،
- توپوگرافی،
- راه‌های دسترسی،
- منابع نوفه‌ی لرزه‌ای در منطقه،
- انتقال اطلاعات و دسترسی به نیروی برق،
- مالکیت اراضی و کاربری زمین در آینده،
- شرایط اقلیمی منطقه.

پس از انجام مطالعات دفتری، تعداد نقاط مناسب برای ایستگاه‌ها به طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافته و در بین نقاط دارای پتانسیل لازم نقاطی که نسبت به بقیه دارای برتری هستند مشخص می‌شوند.

مواردی که در طول مطالعات صحرائی به طور دقیق باید مورد بازدید و بررسی قرار گیرند عبارت‌اند از:

- موقعیت لرزه‌ی زمین‌ساختی،
- تعیین سطح نوفه،
- بررسی امکان استقرار ایستگاه از نظر برقراری ارتباط و تأمین نیروی برق،
- بررسی امکان دسترسی به ایستگاه،

پس از مطالعات دفتری و بررسی وضعیت لرزه‌خیزی منطقه و همچنین بررسی‌ها و بازدیدهای صحرائی بهترین نقاط برای ساخت ایستگاه معرفی می‌شوند.

۲. روش کار

ساخت‌گاه نیروگاه اتمی دارخوین در مجاور ساحل جنوبی رود کارون در بخش جنوب‌خاوری دشت بین‌النهرین واقع شده است. ساخت‌گاه در یک دشت کم‌ارتفاع و کم و بیش هموار بین رشته‌کوه زاگرس و شبه‌جزیره‌ی عربی قرار گرفته است. نیم‌رخ خاک در ساخت‌گاه را آبرفت‌های دانه‌ریز شامل رس سیلتی، سیلت رسی همراه با میان‌لایه‌های ماسه‌ی سیلتی و ماسه تشکیل می‌دهد. لایه‌ها در زیر دشت بین‌النهرین به صورت کم و بیش دگرریخت نشده با شیب یک سویه و به میزان ۱/۵ درجه به طرف شمال‌خاوری قرار گرفته‌اند. هیچ گسل فعال پوشیده شده به وسیله‌ی نهشته‌های آبرفتی در زیر این دشت تاکنون شناسایی نشده است.

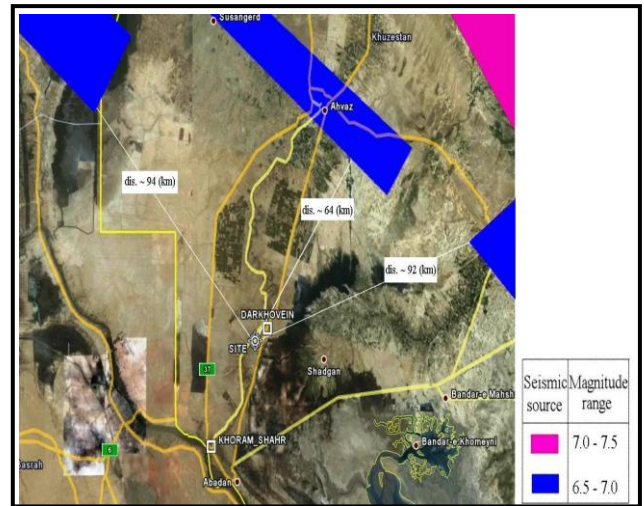
این ساخت‌گاه بنا بر تقسیم‌بندی زمین‌ساختی ایران توسط بربریان (۱۹۷۶) در دشت ساحلی خوزستان - بخشی از بلندبگاه^(۳) عربی - قرار گرفته است [۵]. ساختار زمین‌شناختی بلندبگاه عربی بسیار ساده بوده و منعکس‌کننده‌ی نبود رویداد کوه‌زایی مهم و اصلی در این بلندبگاه از زمان پرکامبرین تاکنون است. اما این گستره، متأثر از جنبش‌های زمین‌ساختی در ایالت لرزه‌زمین ساختی زاگرس می‌باشد، که دارای گسل‌های فعال بسیاری بوده و از توان لرزه‌خیزی بالایی برخوردار است.

۳. چشمه‌های لرزه‌زا در حوالی دارخوین

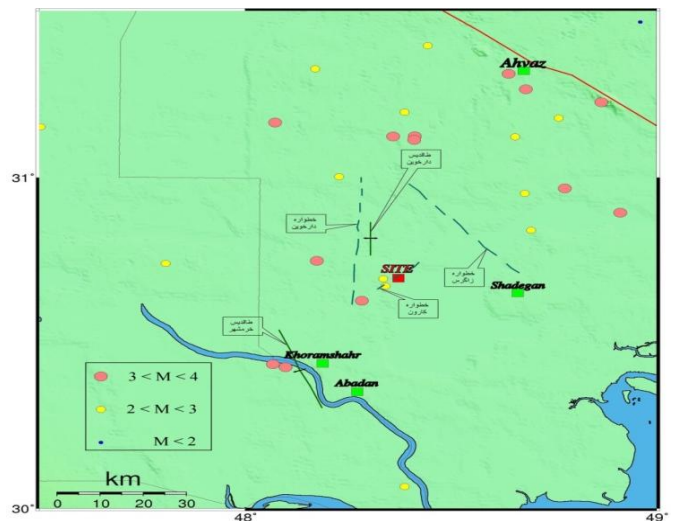
مراکز لرزه‌زا در گستره‌ی ساخت‌گاه دارخوین در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، نزدیک‌ترین مرکز لرزه‌زا به ساخت‌گاه نیروگاه اتمی دارخوین مرکز لرزه‌زای اهواز است که توانایی ایجاد زمین‌لرزه به بزرگی ۶/۵ تا ۷/۰ در مقیاس امواج سطحی را دارا است. کم‌ترین فاصله‌ی این چشمه تا ساخت‌گاه نیروگاه دارخوین حدود ۶۴ کیلومتر است. از دیگر عوارض زمین‌شناسی نزدیک به ساخت‌گاه می‌توان به طاقدیس‌های دارخوین و خرمشهر و نیز خطواره‌های زاگرس، کارون و دارخوین اشاره کرد که موقعیت آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.



نیروگاه دارخوین فاصله دارد. براساس دستورالعمل 1.12.RG، مهم‌ترین مقوله در این ارتباط نگاشت تمامی رخداد‌های لرزه‌ای می‌باشد. در این رابطه، در شکل ۴ زمین‌لرزه‌های روی داده در اطراف ساخت‌گاه بر پایه‌ی کاتالوگ سازمان زمین‌شناسی آمریکا از سال ۱۹۷۳ تا اول ژوئیه‌ی ۲۰۰۹ میلادی آورده شده‌اند. بزرگ‌ترین زمین‌لرزه در این شکل با بزرگی ۶٫۲ در مقیاس امواج سطحی در سال ۱۹۷۸ در فاصله‌ی ۲۰۰ کیلومتری از ساخت‌گاه و نزدیک‌ترین زمین‌لرزه به آن با بزرگی ۳٫۷ در مقیاس امواج درونی در سال ۲۰۰۷ میلادی در ۵۹ کیلومتری ساخت‌گاه نیروگاه دارخوین روی داده است. در حوالی کانون زمین‌لرزه‌ی تاریخی اهواز ۲ زمین‌لرزه‌ی روی داده به بزرگی ۴ و ۴٫۴ در مقیاس امواج درونی در سال‌های ۱۹۸۲ و ۲۰۰۷ جلب توجه می‌کند (شکل‌های ۳ و ۴). در بولتن مرکز بین‌المللی زلزله‌شناسی (ISC) در تاریخ ۱۹۸۱/۱۰/۲۷ زمین‌لرزه‌ای به بزرگی ۴٫۶ در مقیاس امواج درونی در فاصله‌ی ۱۴ کیلومتری ساخت‌گاه نیروگاه دارخوین ثبت شده است که در کاتالوگ سازمان زمین‌شناسی آمریکا ثبت نگردیده است. در مورد تعیین محل این زمین‌لرزه، با توجه به این که نزدیک‌ترین ایستگاه مورد استفاده در تعیین محل، ایستگاه کرمانشاه، بیش از ۳۶۰ کیلومتر با کانون زمین‌لرزه فاصله داشته و گاف زاویه‌ی سمتی ایستگاه‌های تعیین محل، ۲۲۷ درجه می‌باشد، نوع و موقعیت مکانی این زمین‌لرزه از اطمینان بسیار پایینی برخوردار است.



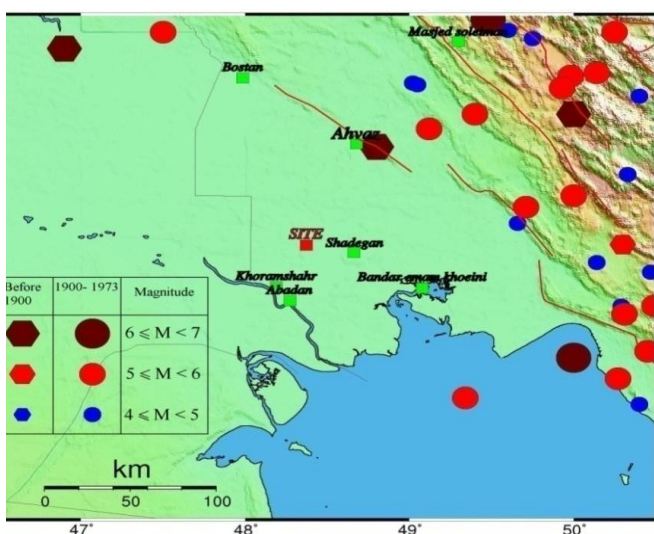
شکل ۱. مراکز لرزه‌ای اطراف ساخت‌گاه نیروگاه دارخوین [۶ و ۷].



شکل ۲. خطواره‌های حوالی دارخوین و زمین‌لرزه‌های ثبت شده به وسیله‌ی شبکه‌ی لرزه‌نگاری کشوری مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران از ژانویه ۲۰۰۶ تا ژانویه ۲۰۰۹ [۶ و ۷].

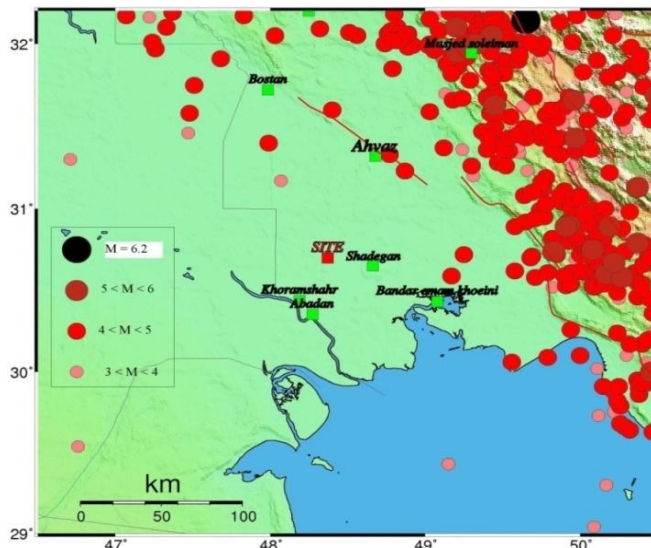
۴. لرزه‌خیزی

موقعیت مکانی زمین‌لرزه‌های تاریخی (قبل از سال ۱۹۰۰ میلادی) و زمین‌لرزه‌های دوره‌ی نخست دستگاهی (زمین‌لرزه‌هایی که قبل از استقرار شبکه‌ی لرزه‌نگاری استاندارد جهانی، با استفاده از دستگاه از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۷۳ به ثبت رسیده‌اند) پیرامون ساخت‌گاه در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، نزدیک‌ترین رویداد تاریخی به محل ساخت‌گاه، زمین‌لرزه‌ی تاریخی سال ۸۴۰ میلادی با بزرگی ۶٫۵ در مقیاس امواج سطحی در حوالی اهواز است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲) که کانون^(۴) آن حدود ۷۷ کیلومتر تا محل ساخت‌گاه



شکل ۳. زمین‌لرزه‌های تاریخی و ثبت شده‌ی دستگاهی قبل از سال ۱۹۷۳ در اطراف ساخت‌گاه نیروگاه دارخوین [۸].

نصب ایستگاه‌های قدیمی که اکثراً در حیاط خانه‌های مسکونی و یا در محل پر رفت و آمد قرار دارند، نصب و راه‌اندازی تجهیزات جدید در محل‌های قدیمی باعث هدر رفتن هزینه‌های انجام شده برای به روز رسانی شبکه و ناکارآمدی آن خواهد گردید. لذا جانمایی جدید و بهینه برای شبکه‌ی لرزه‌نگاری دارخوین امری ضروری بود. از دیگر مسایل مهم که در شبکه‌ی قدیمی مدنظر قرار نگرفته است، پوشش مناسب خط‌واژه‌ی دارخوین است. برای رفع این مشکل در آرایش اولیه، ایستگاه شماره ۵ در نزدیکی محل پاسگاه مرزی پیشنهاد شده است. با توجه به همگرا شدن خط‌واژه‌های زاگرس و دارخوین در شمال سایت در صورت فراهم شدن امکان افزایش تعداد ایستگاه‌ها از ۵ به ۶، می‌توان ایستگاه مورد بحث را در حوالی روستاهای رحمانیه، ناره، درسیه و تابان، یک ایستگاه دیگر برای بهبود تعیین محل و تفکیک رویدادهای احتمالی این دو خط‌واژه، نصب و راه‌اندازی کرد. محل تقریبی این ایستگاه با شماره‌ی ۶ در شکل ۵ مشخص شده است. لازم به ذکر است که با توجه به دستورالعمل RG. 1.12، که پردازش رخدادهای لرزه‌ای باید تا ۴ ساعت بعد از هر رخداد انجام گیرد، سیستم انتقال داده‌ها به صورت پیوسته از طریق سیستم ارتباط رادیویی برقرار شده و امکانات لازم برای دسترسی سریع به داده‌ها توسط کارشناس مجرب فراهم می‌گردد. هم‌چنین برای ایمن بودن و جلوگیری از توقف تجهیزات لرزه‌نگاری، از سیستم تأمین برق مستقل خورشیدی استفاده می‌شود.

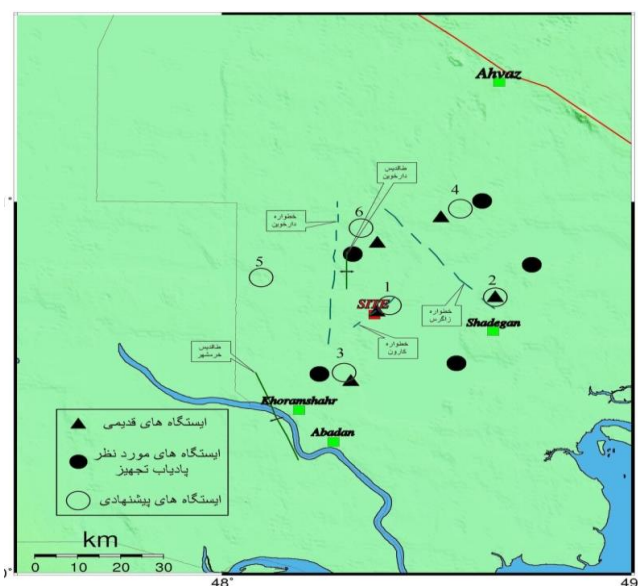


شکل ۴. زمین لرزه‌های ثبت شده‌ی دستگاهی از سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۹، ۰۷ تا ۲۰۰۹ در اطراف ساخت‌گاه نیروگاه دارخوین (NEIC) [۸].

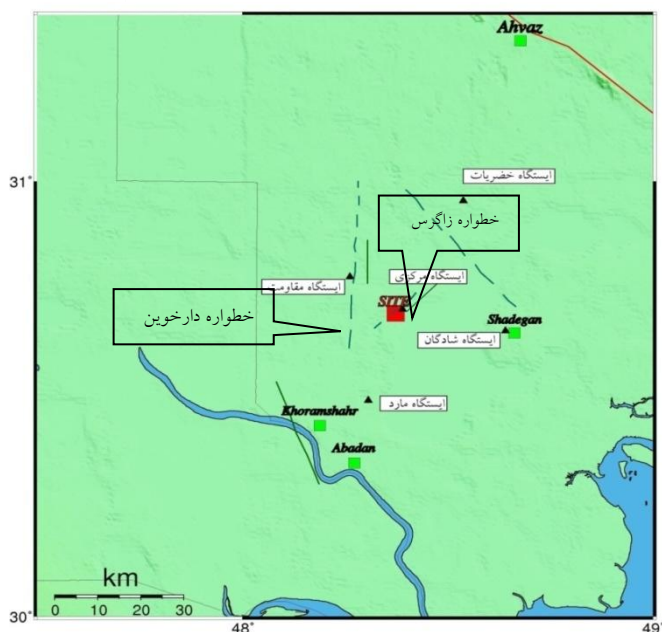
با توجه به تراکم شبکه‌ی لرزه‌نگاری کشوری وابسته به مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران، این شبکه قادر است زمین لرزه‌های کوچک‌تر از ۳ در مقیاس امواج درونی در این منطقه را ثبت نماید. در شکل ۲ کانون زمین لرزه‌های ثبت شده در ناحیه‌ی موردنظر از ابتدای سال ۲۰۰۶ تا ژوئیه‌ی ۲۰۰۹ میلادی نشان داده شده است. مهم‌ترین رویدادها در این شکل با توجه به موقعیت ساخت‌گاه نیروگاه دارخوین، زمین لرزه‌هایی با بزرگی بین ۳ تا ۴ در مقیاس امواج درونی در حوالی خط‌واژه‌ی دارخوین است.

۵. شبکه‌ی لرزه‌نگاری ساخت‌گاه نیروگاه دارخوین

یک شبکه‌ی محلی لرزه‌نگاری قدیمی با ۵ ایستگاه در اطراف سایت نیروگاه اتمی دارخوین وجود دارد که در آن از لرزه‌سنج‌های تک مؤلفه‌ای کوتاه دوره‌ی S-500 برای ثبت جنبش زمین بهره گرفته می‌شود. لرزه‌سنج‌ها در تعدادی از ایستگاه‌ها تنها با دو مؤلفه و برخی دیگر با سه مؤلفه تجهیز شده‌اند که یکی از مؤلفه‌ها در تمامی ایستگاه‌ها به صورت قائم می‌باشد. در شکل ۵ محل ایستگاه‌های این شبکه‌ی قدیمی با مثلث توپر نمایش داده شده است. دایره‌های توپر مشکی در این شکل محل ایستگاه‌های جدید پیشنهادی از طرف شرکت فراهم‌کننده‌ی تجهیزات لرزه‌نگاری جدید، دوایر شماره‌دار، نشان‌دهنده‌ی آرایش پیشنهادی برای شبکه‌ی لرزه‌نگاری دارخوین بر پایه‌ی مراکز لرزه‌زای موجود و لرزه‌خیزی مشاهده شده، می‌باشد. با توجه به حساسیت بیش‌تر لرزه‌سنج‌های جدید و هم‌چنین مکان نامناسب



شکل ۵. ایستگاه‌های موجود و آرایش پیشنهادی اولیه برای ایستگاه‌های شبکه‌ی لرزه‌نگاری دارخوین.



شکل ۶. آرایش ایستگاه‌های انتخابی شبکه لرزه نگاری دارخوین و موقعیت آن‌ها نسبت به ساختارهای زمین‌شناختی منطقه.

جدول ۱. نقاط انتخابی برای ساخت ایستگاه‌های شبکه لرزه نگاری

دارخوین

نام ایستگاه	شناسه ایستگاه	ارتفاع (متر)	مختصات جغرافیایی (درجه)		فاصله از مرکز شبکه (کیلومتر)
			عرض شمالی	طول شرقی	
خضریات	SKHZ	۶	۳۱٫۰	۴۸٫۵	۳۰
مارد	SMRD	۵	۳۰٫۵	۴۸٫۳	۲۵
شادگان	SSHD	۵	۳۰٫۷	۴۸٫۶	۲۵
مقاومت	SMGH	۴	۳۰٫۸	۴۸٫۳	۱۵
مرکزی	SCNT	۱	۳۰٫۷	۴۸٫۴	۰

۱.۶ ایستگاه خضریات

این ایستگاه در شمال شرق ساخت گاه نیروگاه دارخوین و در فاصله‌ی حدود ۳۰ کیلومتری از آن قرار دارد. این ایستگاه در نزدیکی روستای بسیار کم جمعیت خضریات باوی قرار دارد. نزدیک‌ترین خانه‌ی روستایی تا محل انتخاب شده برای این ایستگاه اندکی بیش از ۵۰ متر فاصله دارد. مهم‌ترین عامل نوفه در این ایستگاه، جاده‌ی مواصلاتی اهواز- خرمشهر است. فاصله‌ی ایستگاه خضریات از این جاده اندکی بیش از ۸۰۰ متر است. این ایستگاه، از کانال آب مربوط به مزارع نیشکر در حدود ۱۲۰ متر فاصله دارد.

لرزه‌سنج‌ها و رقمی‌کننده‌های جدید، ساخت شرکت گورالپ انگلستان و به ترتیب از نوع CMG-3ESPC و DM24 هستند. لرزه‌سنج‌ها از نوع بانده متوسط ۳۰ ثانیه و رقمی‌کننده‌ها از نوع ۲۴ بیتی می‌باشند. در هر ایستگاه، لرزه‌سنج و رقمی‌کننده به وسیله‌ی دستگاه سریال سرور که نقش منبع تغذیه‌ی اضطراری را ایفا می‌کند به باطری ۴۸ ولتی و پانل خورشیدی متصل می‌شوند.

داده‌های ایستگاه‌ها به صورت کاملاً پیوسته به وسیله‌ی رادیومودم با بسامد ۵/۸ گیگاهرتز به مرکز شبکه در سایت اصلی منتقل می‌شوند و در آن‌جا به وسیله‌ی نرم‌افزار scream در کامپیوتر اصلی ذخیره می‌شوند. این نرم‌افزار قادر است از طریق اینترنت داده‌ها را به هر آدرس دلخواهی ارسال نماید تا در آن‌جا قابل مشاهده بوده و مورد استفاده قرار گیرد. اکتساب داده‌های همه‌ی ایستگاه‌ها با بسامد نمونه‌برداری ۱۰۰ هرتز انجام می‌شود.

۶. بازدید محلی برای انتخاب محل ایستگاه‌های جدید

براساس دستورالعمل‌های فنی ذکر شده و با توجه به اهمیت نگاهت زمین لرزه‌ها، مطالعه‌ی دقیق طیف پاسخ لرزه‌ای ساخت گاه و پردازش به موقع و در نهایت تصمیم‌گیری در ارتباط با فعالیت نیروگاه در زمان بهره‌برداری، این مسئله که بستر لازم به نحو مناسب فراهم آورده شود، حایز اهمیت است. با توجه به محدودیت‌های محلی برای ساخت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری، سایت دارخوین و نواحی اطراف آن مورد بازدید و مطالعات صحرایی قرار گرفت. در این بازدید پس از مدنظر قرار دادن منابع نوفه‌ی محلی، راه‌های دسترسی و امنیت ایستگاه‌ها، بهترین محل‌های ممکنه انتخاب گردید. تلاش بر این بود که محل‌های انتخابی، همانند پیشنهاد اولیه، تمامی مراکز لرزه‌زای اطراف سایت را دربر گیرد تا کوچک‌ترین ریزلرزه‌های محل نیز قابل ثبت و تعیین محل باشند. در شکل ۶ مکان ایستگاه‌های انتخابی و آرایش شبکه‌ی لرزه‌نگاری دارخوین پس از بازدید و مطالعه‌ی تمامی نقاط ممکن ارایه شده است. مشخصات نقاط انتخاب شده در جدول ۱ آورده شده است.



۲.۶ ایستگاه مارد

این ایستگاه در جنوب غربی ساخت گاه نیروگاه دارخوین و در فاصله‌ی حدود ۲۵ کیلومتر از آن قرار دارد. مهم‌ترین عامل نوفه در این منطقه رود کارون است که در فاصله‌ی حدود ۷۰۰ متر از این ایستگاه قرار دارد. هم‌چنین یک راه خاکی بسیار کم رفت و آمد در فاصله‌ی ۱۰۰ متری از آن قرار دارد.

۳.۶ ایستگاه شادگان

ایستگاه شادگان در جنوب شرقی ساخت گاه نیروگاه دارخوین و در فاصله‌ی حدود ۲۵ کیلومتری از آن قرار دارد. با توجه به محدودیت‌های محیطی و امنیتی بهترین محل برای این ایستگاه، درون محوطه‌ی ایستگاه هواشناسی شهر شادگان تشخیص داده شد. مهم‌ترین عامل نوفه در این ایستگاه، جاده‌ی اصلی شهر شادگان است که در فاصله‌ی حدود ۱۸۰ متری محل ایستگاه قرار دارد.

۴.۶ ایستگاه مقاومت

این ایستگاه در شمال غربی ساخت گاه نیروگاه دارخوین و در فاصله‌ی حدود ۱۵ کیلومتری از آن قرار دارد. با توجه به وجود خط‌واره‌ی دارخوین ابتدا تلاش شد این ایستگاه در غرب این خط‌واره و تا حد امکان نزدیک به مرز باشد. مناسب‌ترین محل در نزدیکی نگهبانی تأسیسات نفتی دارخوین قرار داشت که به دلیل حضور نگهبانان شرکت نفت از امنیت خوبی نیز برخوردار است. مهم‌ترین عامل نوفه در این ایستگاه تردد در جاده‌ی اختصاصی شرکت نفت است که در فاصله‌ی ۷۰ متری ایستگاه قرار دارد.

۵.۶ ایستگاه مرکزی

این ایستگاه در مرکز شبکه و در داخل محل نیروگاه قرار دارد. مهم‌ترین عوامل نوفه در این محل رودخانه‌ی کارون با فاصله‌ی ۱۰۰۰ متر و جاده اختصاصی سایت با فاصله‌ی ۴۰۰ متر می‌باشند. سعی شد مکانی برای این ایستگاه انتخاب شود که بیش‌ترین فاصله را از محوطه‌ی ساخت و ساز و رفت آمد در کارگاه داشته باشد.

۷. مدل‌سازی آستانه‌ی ثبت زمین‌لرزه‌ها

برای مدل‌سازی محاسبه‌ی آستانه‌ی ثبت کامل و قابل قبول زمین‌لرزه‌ها در نواحی اطراف سایت دارخوین، ابتدا نسبت به

تعیین چشمه‌های لرزه‌زا اقدام شد. سپس با استفاده از روابط بزرگی و میرایی مربوط به چشمه‌ها، شدت کمینه‌ی زمین‌لرزه‌ای که در یک چشمه‌ی لرزه‌زا رخ دهد و در حداقل ۳ ایستگاه شبکه‌ی موردنظر، دامنه‌ی امواج زلزله‌ی حاصل از آن از سطح نوفه‌ی موجود در ایستگاه بزرگ‌تر شده و قابل تفکیک باشد، محاسبه گردید. با در نظر گرفتن یک ایستگاه فرضی در نقاط انتخابی، مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار Matlab نشان داد که آستانه‌ی ثبت کامل زمین‌لرزه‌ها (به وسیله‌ی حداقل سه ایستگاه) در نواحی اطراف سایت دارخوین به زیر ۱ (حدود ۰/۸) می‌رسد. نتیجه‌ی مدل‌سازی محاسبه‌ی آستانه‌ی ثبت کامل بزرگی زمین‌لرزه‌های دریافتی به کمک ایستگاه‌های انتخابی در شکل ۷ آمده است.

۸. آماده‌سازی داده‌ها

در کامپیوتر مستقر در مرکز محل نیروگاه داده‌های خام در فرمت Guralp Compact File (GCF) ذخیره می‌شوند. با توجه به این که داده‌ها به صورت پیوسته به تهران منتقل نمی‌شوند، به منظور یافتن رویدادهای لرزه‌ای در داده‌های خام جمع‌آوری شده، مراحل زیر که عملاً بسیار وقت‌گیر می‌باشند، انجام می‌شود:

- ابتدا داده‌های ایستگاه‌های مختلف به صورت چشمی مورد بازبینی قرار گرفته و فهرست رویدادها ذخیره می‌گردد.
- با تغییر فرمت (قالب) داده‌ها به "SEISAN" (هاوسکف و اتمولر، ۲۰۰۵) برای هر ایستگاه یک بانک داده ساخته می‌شود. سپس به کمک روش نسبت متوسط دامنه‌ی بازه‌های زمانی کوتاه و بلند (STA/LTA) رویدادهای احتمالی تک‌تک ایستگاه‌ها استخراج می‌شود. واضح است که به دلیل وجود نوفه، بسیاری از نگاهش‌ها حکایت از رویدادهای زمین‌لرزه ندارند.
- پس از استخراج رویدادهای لرزه‌ای مشاهده شده و رویدادهای احتمالی خروجی از برنامه، تمامی رویدادها توسط کارشناس به صورت چشمی کنترل شده و زمین‌لرزه‌ها تفکیک می‌شوند.
- در نهایت، بانک داده‌های لرزه‌ای ثبت شده در شبکه‌ی لرزه‌نگاری دارخوین تشکیل می‌گردد.



جدول ۲. مدل سرعتی پوسته‌ی استفاده شده در تعیین محل زمین‌لرزه‌های

منطقه‌ی دارخوین [۱۰]

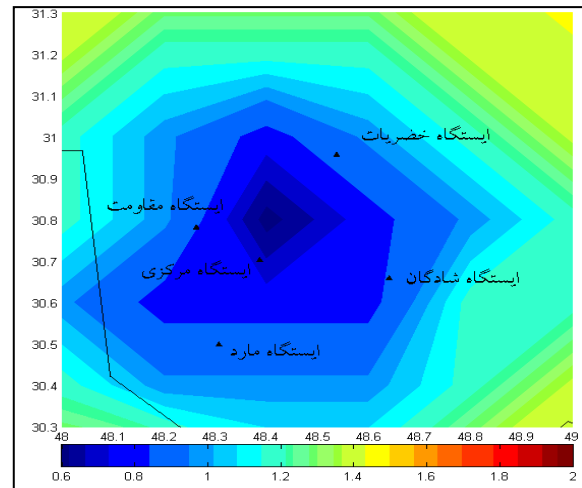
Layer	Depth (km)	P-wave Velocity (km s ⁻¹)	S-wave velocity (km s ⁻¹)
Sediments 1	0.0-4.0	3.75	1.80
Sediments 2	4.0-8.0	4.76	2.75
Upper crust	8.0-25.0	5.89	3.40
Middle Crust	25.0-34.0	6.41	3.70
Lower Crust	34.0-45.0	6.95	3.90
Upper mantle	45.0-∞	7.84	4.40

۱۰. نتیجه‌گیری

با توجه به ساختارهای شناخته شده در محدوده‌ی ساخت‌گاه نیروگاه، به ویژه طاق‌دیس و خط‌واره‌ی دارخوین، ایستگاه‌های جدید به نحوی انتخاب شد که شبکه، پوشش کامل بر روی چشمه‌های لرزه‌ای منطقه را داشته باشد. مدل‌سازی نرم‌افزاری در محیط Matlab نشان داد که آستانه‌ی ثبت کامل زمین‌لرزه‌ها در نواحی اطراف سایت دارخوین از مرتبه‌ی زیر ۱ (حدود ۰٫۸) می‌باشد.

از دیگر عوامل مهم در انتخاب مکان ایستگاه‌ها دارا بودن فاصله‌ی مناسب از منابع نوفه‌ی مصنوعی و طبیعی بود. هم‌چنین با نصب تجهیزات پیشرفته و حساس‌تر، کیفیت ثبت و در نتیجه پردازش داده‌های لرزه‌ای افزایش یافته و در هنگام بهره‌برداری نیروگاه به عنوان شبکه‌ی هشدار اولیه^(۵) نیز قابل استفاده می‌باشد. برای این منظور سیستم انتقال داده‌ها به صورت پیوسته از طریق سیستم ارتباط رادیویی برقرار شده و امکان دسترسی سریع به داده‌ها برای کارشناس مجرب فراهم می‌گردد. برای ایمنی و عدم توقف تجهیزات لرزه‌نگاری از سیستم تأمین برق مستقل خورشیدی بهره‌جسته می‌شود.

با استفاده از داده‌های تاکنون ثبت شده، احتمال شناسایی گسل‌های جدید فعال در منطقه زیاد است. لذا به منظور افزایش دقت مکان‌یابی زلزله‌ها و امکان ردیابی ریززلزله‌های حاشیه‌ی گسل‌های فعال ناشناخته، افزایش تعداد لرزه‌نگارها و کاهش نوفه‌ی تحمیل شده بر ایستگاه‌ها و هم‌چنین انجام عملیات ژئوفیزیک لرزه‌نگاری بازتابی و مغناطیس‌سنجی در دستور کار قرار گرفته است.



شکل ۷. نتیجه‌ی مدل‌سازی محاسبه‌ی آستانه‌ی ثبت کامل بزرگی زمین‌لرزه‌های دریافتی به کمک ایستگاه‌های انتخابی.

۹. خواندن داده‌ها

پس از آماده شدن بانک داده‌ها، از برنامه‌ی "SEISAN" برای خواندن داده‌ها استفاده می‌شود. برای تعیین محل، از نرم‌افزار "Hypocenter" [۹] استفاده می‌شود. با توجه به این که منطقه‌ی دارخوین در بلندبندگاه عربی قرار دارد، برای تعیین محل زمین‌لرزه‌ها از آخرین مدل پوسته‌ای (جدول ۲) به دست آمده برای کویت [۱۰] که جای‌گاه زمین‌ساختی مشابه دارد، استفاده می‌شود.

لازم به ذکر است که در صورتی که رویدادهای لرزه‌ای با کیفیت و با تعداد مناسب ثبت شده باشند، مدل پوسته‌ای خاص منطقه با وارون‌سازی زمان رسید امواج لرزه‌ای به دست خواهد آمد و تمامی رویدادها با مدل به دست آمده تعیین محل مجدد خواهند شد.

برای محاسبه‌ی بزرگی رویدادها به کمک مشخصات ارسالی از کارخانه‌ی سازنده‌ی سنسورها و رقمی‌کننده‌ها (Zeros and normalization factor Poles) پاسخ هر لرزه‌سنج به دست آمده و در هر رویداد به کمک این پاسخ بزرگی موضعی (ML) محاسبه می‌گردد. برای تعیین بزرگی از رابطه هوتون و بور (۱۹۸۷) استفاده می‌شود [۱۱]

$$ML = \log_{10}(\text{amp}) + 1.11 \log_{10}(\text{dist}) + 0.00189 \text{ dist} - 2.09$$

که در آن amp دامنه‌ی بیشینه (صفر تا بیشینه) برحسب نانومتر و dist فاصله‌ی ایستگاه تا کانون زمین‌لرزه برحسب کیلومتر است.



۱. Offsite Studies
۲. Fieldwork
۳. Platforme

۴. Epicenter
۵. Early Warning

References:

1. "A performance based approach to define the site specific earthquake ground motion," US NRC Regulatory Guide, 1.208 (March 2007).
2. "Identification and Characterization of Seismic Sources and Determination of Safe Shutdown Earthquake Ground Motion," US NRC Regulatory Guide, 1.165.
3. Geologic and Seismic Criteria, US NRC, 10 CFR Parts 50, Appendix S, Earthquake Engineering Criteria for Nuclear Power Plants.
4. "Nuclear Power Plant Instrumentation for Earthquakes," US NRC, RG. 1.12.
5. M. Berberian, "Active faulting and tectonics of Iran, In: Gupta, H.K. and Delany, F.M. (eds.), Zagros-Hindukush-Himalaya Geodynamic Evolution, Am. Geophys. Union and Geol. Soc. Am., Geodyn. Ser. 3, 33-69 (1981).
6. N. Mirzaei, M. Gao, Y.T. Chen, "Delineation of potential seismic sources for seismic zoning of Iran," Journal of Seismology, 3, 17-30 (1999).
7. M. Alavi, "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations," Tectono-Physics, 229, 211-238 (1994).
8. N.N. Ambraseys and C.P. Melville, "A history of Persian earthquakes," Cambridge University Press, Cambridge, 219 (1982).
9. B.R. Lienert, E. Berg, L.N. Frazer, "Hypocenter: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares," Bull. Seism. Soc. Am., 76, 771-783 (1986).
10. M.E. Pasyanos, H. Tkalcic, R. Gok, A. Al-Enezi, A.J. Rodgers, "Seismic structure of Kuwait," Geophys. J. Int., 170, 299-312 (2007).
11. L.K. Hutton and D. Boore, "The MI scale in Southern California," Bull. Seism. Soc. Am., 77, 2074 (1987).