

## بررسی رفتار لرزه ای سدهای بتنی وزنی تحت شتابهای غیر یکنواخت تکیه گاهی با استفاده از تبدیل هیلبرت

محسن ایثاری<sup>۱\*</sup>، رامتین صبح خیز فومنی<sup>۲</sup>، حامد نوری ناورود<sup>۳</sup>، علیرضا مردوخ پور<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ایران

۴- استادیار، رشته مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ایران

\* [isari.mohsen@tabrizu.ac.ir](mailto:isari.mohsen@tabrizu.ac.ir)

ارسال: اسفند ۹۶ پذیرش: مرداد ۹۷

### چکیده

در پژوهش حاضر یک روش ساده برای تولید تحریک غیر یکنواخت تکیه گاهی با استفاده از یک رکورد ثبت شده روی بستر ساختگاه سد بتنی وزنی با استفاده از تبدیل هیلبرت-هوانگ ارائه شده است. در این روش با استفاده از تبدیل هیلبرت، رکورد ثبت شده به سری زمانی وابسته به دامنه و فاز تبدیل می شود. سپس با استفاده از یک مدل همبستگی موجود و همچنین اعمال تاخیر زمانی بین تکیه گاهها در فواصل مختلف، سریهای زمانی در نقاط تکیه گاهی دیگر تولید می شود. در ادامه سد بتنی وزنی پابین فلت، در نرم افزار آباکوس مدلسازی شده و تحت شتابهای یکنواخت و غیر یکنواخت تولید شده در ایستگاههای مختلف، پاسخ لرزه ای آن مورد مطالعه قرار میگیرد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که، تحلیل های غیر یکنواخت منجر به تفاوت در رفتار لرزه ای سازه در مقایسه با تحلیل یکنواخت می شود. علاوه بر این نشان داده شد که، تحریکهای غیر یکنواخت تکیه گاهی باعث افزایش تنشها و افزایش جابجایی روی تاج سد در مقایسه با تحریک یکنواخت می شود.

کلمات کلیدی: تحریک غیریکنواخت، سد بتنی وزنی، تبدیل هیلبرت، پاسخ دینامیکی، اثرات ساختگاهی.

### ۱- مقدمه

به دلیل نقش بسیار مهم آب در بخشهای مختلف از جمله کشاورزی و صنعت و همچنین در حالت کلی درآمد حیات بشر، از گذشته های بسیار دور تاکنون تلاش های بسیاری برای تامین و ذخیره آن صورت گرفته است. از راههای تامین نیازهای آبی، ساخت سد و آب بند می باشد. از جمله سدهای بتنی بسیار پرکاربرد که تقریباً قابلیت ساخت در اکثر مناطق را دارا می باشد، سد بتنی وزنی است. بررسی دقیق رفتار دینامیکی سدها به دلیل هزینه های بسیار بالای ساخت، نگهداری و بازسازی در صورت نیاز

و همچنین خسارات جانی و مالی فراوان در صورت تخریب، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هست. از گذشته تاکنون توسط محققین بسیاری، مطالعه رفتار سدها مورد توجه بوده و تحقیقات بسیاری برای شناخت و پیش بینی عوامل موثر در طراحی این سازه ها انجام گرفته است. نتایج مطالعات در گذشته ثابت کرده است که اثرات تحریک غیر یکنواخت تکیه گاهی روی رفتار لرزه ای سازه های بزرگ که روی سطح زمین گسترده اند، غیر قابل انکار می باشد. در نتیجه استفاده از تحریک یکنواخت برای چنین سازه هایی همانند سدها، پلها، لوله های انتقال آب و ... چندان منطقی نیست. برای تولید شتابهای غیر یکنواخت تکیه گاهی تاکنون روشهای مختلف بکار گرفته شده اند که از جمله مهمترین آنها که به شکل وسیعی مورد استفاده قرار گرفته روشهای ارتعاش تصادفی میباشند [۱-۵]. از جمله محققینی که در این زمینه تلاش کرده اند می توان به هاریچاندان و ونمارک [۶]، لوکو و وانگ [۷]، آبراهامسون [۸]، در کریقیان و همکاران [۹] و کامینگ بی و هائو [۱۰ و ۱۱] اشاره کرد. هاریچاندان و همکاران [۱۲] به بررسی اثرات تحریک متفاوت تکیه گاهی روی پلها با دهانه های بلند پرداختند. ژانگ و همکاران [۱۳] با استفاده از روش ارتعاش تصادفی، الگوریتمی را برای پاسخ لرزه ای سازه ها که شامل اثرات انتشار موج، تفرق امواج و اثرات ساختگاهی بود را ارائه کردند. در سال ۱۹۷۲ شینوزوکا و جان [۱۴] روش کاربردی را برای تولید شتابهای غیر یکنواخت ارائه کردند. وو و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۱۶ مطالعه پارامتریک گسترده ای را روی دره های مثلثی شکل به صورت دو بعدی تحت امواج برشی انجام دادند. تازی نژاد و همکاران [۱۶] نیز در سال ۲۰۱۷ با استفاده از روش عددی المان مرزی در حوزه فرکانس به بررسی روی رفتار دینامیکی دره های غیر منشوری تحت تحریک غیر یکنواخت تکیه گاهی پرداختند. با توجه به اهمیت سدهای بتنی تاکنون محققین بسیاری مطالعات گسترده ای را برای بررسی رفتار دینامیکی این سازه ها انجام داده اند. در ادامه به مواردی از پژوهش های محققین در این زمینه اشاره می شود.

در سال ۱۹۷۹ کالجیاتی و همکاران [۱۷] جابجایی های ثبت شده تحت اثر زمین لرزه در سه نقطه در پایه و در دو طرف دیواره سد در تراز تاج، را برای بررسی و مطالعه رفتار لرزه ای سد امیستا به طور مستقیم بکار برد. نتایج حاصل شده از این پژوهش به وضوح نشان داد که تحلیل های یکنواخت تفاوت آشکاری با تحلیل های غیر یکنواخت دارند و ضرورت استفاده از تحلیل های غیر یکنواخت را بیان میکند. در سال ۱۹۸۸ نوآک [۱۸] رفتار لرزه ای سد قوسی پاکویما را تحت تحریک های غیر یکنواخت تکیه گاهی مورد مطالعه قرار داد. ایشان برای برآورد میزان جابجایی های سطح آزاد دره، یک مدل دو بعدی از دره را تهیه و تحت امواج برشی قرار داد. در سال ۲۰۰۸ وانگ و چوپرا [۱۹] از طریق توسعه برنامه EACD امکان در نظر گرفتن تحریک غیر یکنواخت را به این کد اضافه کردند. در این برنامه برای در نظر گرفتن اثرات اندرکنش سد و فونداسیون از روش زیر سازه ای و ترکیب المان محدود و المان مرزی استفاده شد. در سال ۲۰۱۱ حریری اردیلی و میرزابزرگ [۲۰] رفتار لرزه ای سد بتنی قوسی دز را تحت تحریک غیر یکنواخت تکیه گاهی با اعمال اثرات مخزن مورد بررسی قرار دادند. ایشان در پژوهش خود نشان دادند که اثرات اندرکنش مخزن بر رفتار لرزه ای سد غیر قابل چشم پوشی است. اکبری و کیهانی [۲۱] در سال ۱۳۹۳ رفتار سد بتنی قوسی دز را تحت تحریک های غیر یکنواخت در ترازهای مختلف ارتفاعی مخزن با در نظر گرفتن اثرات درز بررسی کردند. ایشان با استفاده از روش ارتعاش تصادفی شتابهای غیر یکنواخت را در نقاط مختلف ساختگاه تولید و سپس در راستای فونداسیون بر مدل اعمال کردند. ایشان نشان دادند که میزان جابجایی در تاج سد تحت تحریک غیر یکنواخت نسبت به یکنواخت کمتر می باشد. هر چند تا کنون پژوهش های بسیاری با استفاده از روش های مختلف بخصوص ارتعاش تصادفی برای تولید و شبیه سازی شتاب نگاشت های غیر یکنواخت انجام شده است. اما با این وجود بررسی اثرات تحریک چند تکیه گاهی روی رفتار لرزه ای سدهای بتنی وزنی علاوه بر اهمیت بسیار زیاد، چندان مورد توجه قرار نگرفته است. این روشها حجم بالایی از محاسبات برای تولید شتابهای غیر یکنواخت را لازم دارند. در ضمن برای غیر مانا بودن شتابهای تولیدی از روی شتاب نگاشت واقعی چندان مناسب نمی باشند [۲۲]. در پژوهش حاضر یک روش ساده برای تولید تحریک غیر یکنواخت تکیه گاهی از روی یک رکورد ثبت شده روی بستر یک ساختگاه سد بتنی وزنی با استفاده از تبدیل هیلبرت-هوانگ ارائه شده است. در این روش با استفاده از

تبدیل هیلبرت، رکورد ثبت شده به سری زمانی وابسته به دامنه و فاز تبدیل می شود. از مزایای روش مورد استفاده در این پژوهش، به دلیل اینکه تغییرات در فاز سری زمانی داده می شود، شتابهای تولید غیر مانا بوده و علاوه بر این امکان تولید شتابهای غیر یکنواخت از روی یک رکورد مرجع را فراهم میکند.

## ۲- روش تبدیل هیلبرت

در پردازش سیگنالها از تبدیل هیلبرت به صورت گسترده‌ای استفاده می شود. این تبدیل در تحلیل‌های طیفی برای فرایندهای غیر خطی و غیر مانا از محبوبیت بسیار زیادی برخوردار است. برای تابع حقیقی  $x(t)$  تبدیل هیلبرت،  $Z(t)$  به صورت زیر نوشته می شود.

$$z(t) = H[x(t)] = \frac{1}{\pi} p \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau \quad (1)$$

در این رابطه  $p$  نشان دهنده مقدار اصل کوشی در انتگرال است. با استفاده از تبدیل هیلبرت سیگنال به صورت تحلیلی در آمده  $Z(t)$  که اکنون به شکل یک تابع مختلط شده به صورت معادله ۲ نوشته می شود:

$$z(t) = x(t) + iy(t) \quad (2)$$

که می تواند به صورت معادله ۳ نوشته شود.

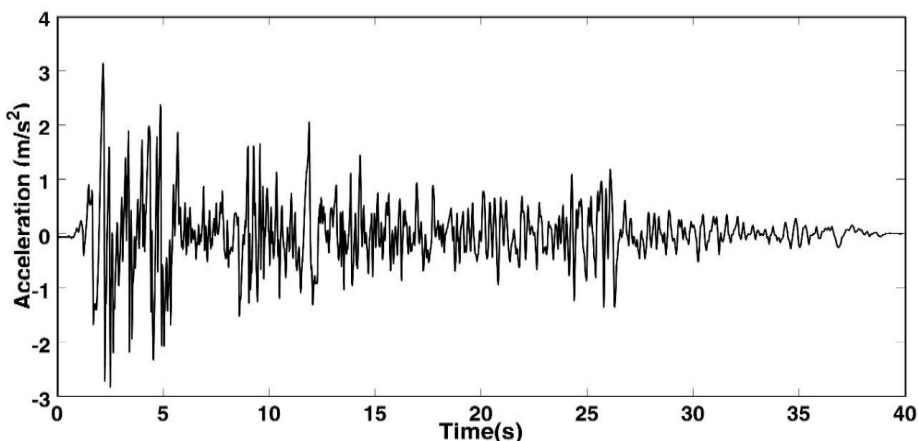
$$z(t) = a(t) \exp(i\theta(t)) \quad (3)$$

در این رابطه،  $\theta(t)$  نشان دهنده فاز سری زمانی و  $a(t)$  دامنه سری زمانی می باشد، که در شکل ۲ برای زلزله السترو ارائه شده اند [۲۲].

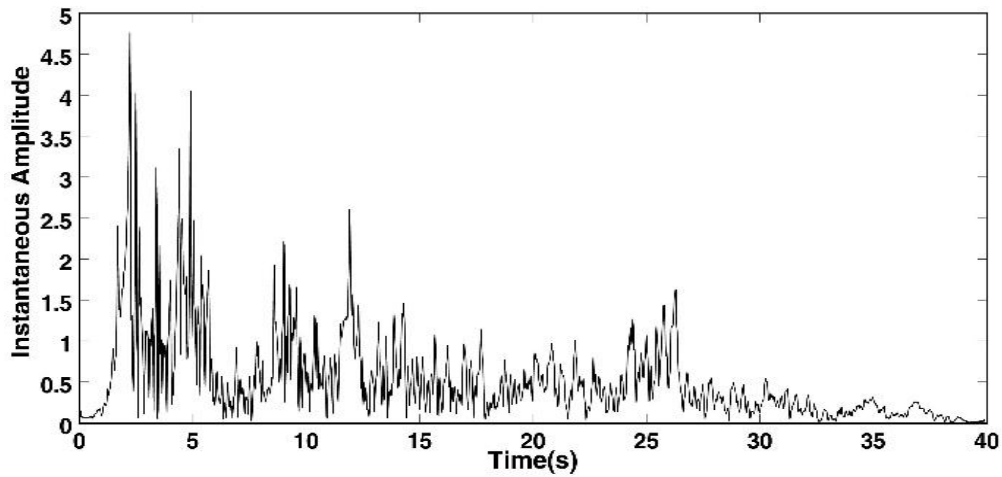
$$\theta(t) = \arctan \frac{y(t)}{x(t)} \quad a(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)} \quad i^2 = -1 \quad (4)$$

در نهایت سری زمانی اولیه به شکل ۴ نوشته می شود، بنابراین با استفاده از تبدیل هیلبرت، تابع اولیه به شکل تابعی وابسته به دامنه و فاز سری زمانی تبدیل می شود [۲۲].

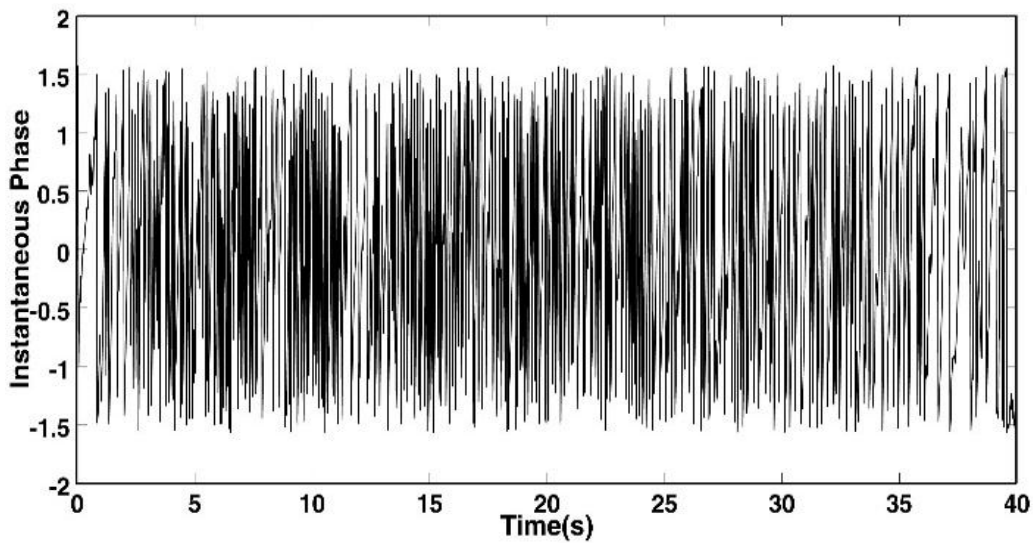
$$x(t) = a(t) \cos[\theta(t)] \quad (5)$$



شکل ۱- شتاب نگاشت زلزله السترو.

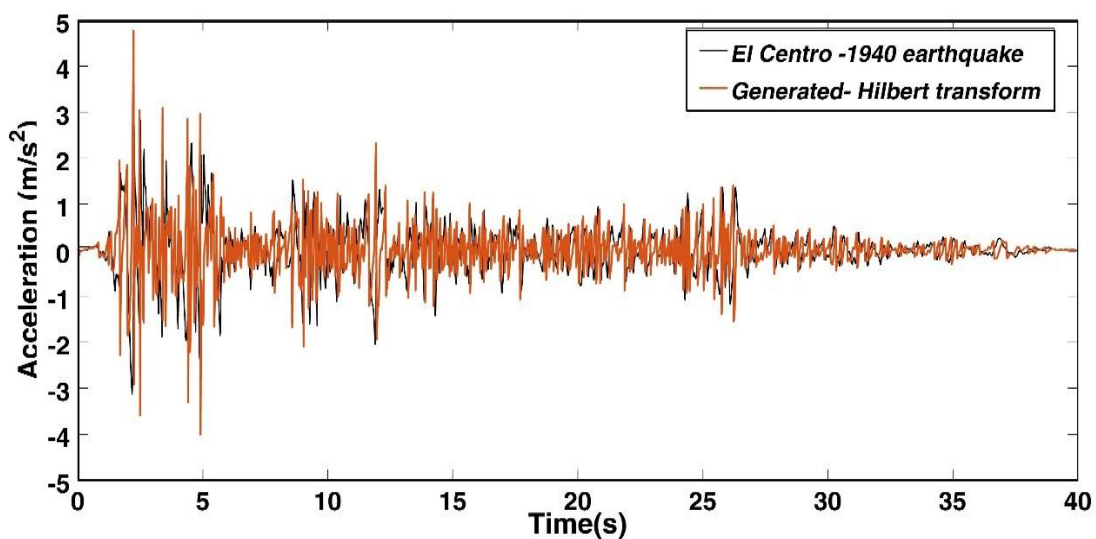


شکل ۲- دامنه زلزله السترو حاصل شده از تبدیل هیلبرت



شکل ۳- فاز زلزله السترو حاصل شده از تبدیل هیلبرت

در شکل ۴ مقایسه بین رکورد ثبت شده زلزله السترو با سری زمانی تبدیل شده توسط رابطه هیلبرت-هوانگ به دست آمده از رابطه ۵ ارائه شده است. چنانکه دیده می شود، انطباق مناسبی بین تبدیل هیلبرت و رکورد مرجع مشاهده می شود.



شکل ۴- مقایسه رکورد واقعی ثبت شده با شتاب تبدیل شده با استفاده از روش هیلبرت

در ادامه تحلیل انجام شده در این بخش، با داشتن سری زمانی وابسته به دامنه و فاز و همچنین با اعمال تاخیر زمانی بین نقاط مختلف از رابطه ۵، شتابهای غیر یکنواخت تکیه گاهی بر روی ساختمان نشان داده شده در شکل ۵ در فواصل مختلف با استفاده از رابطه ۶ تولید می شود [۲۲].

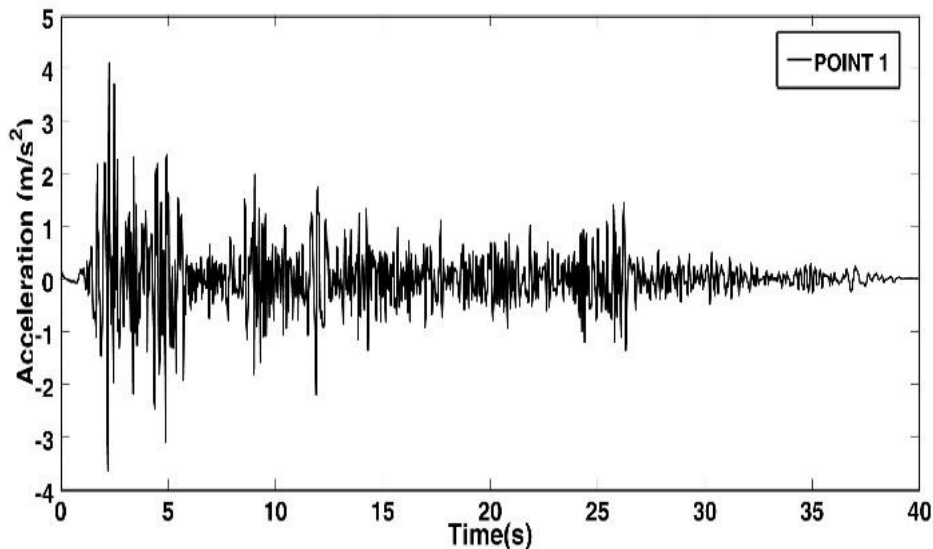
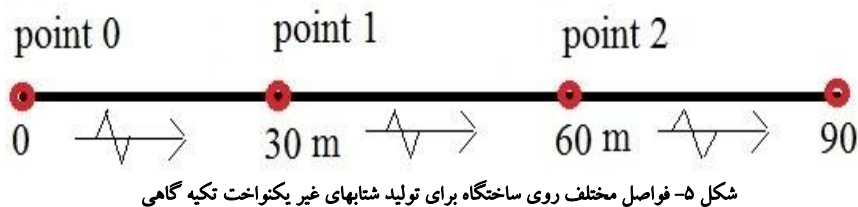
$$\tau_n = \frac{\omega d_{ij}}{V} \quad (6)$$

در این رابطه  $d_{ij}$  فاصله بین نقطه مورد نظر تا محل رکورد مرجع (شکل ۵)،  $V$  سرعت موج برشی در محیط که در تحلیل حاضر برابر  $1500 \text{ (m/s)}$  در نظر گرفته می شود [۲۲].

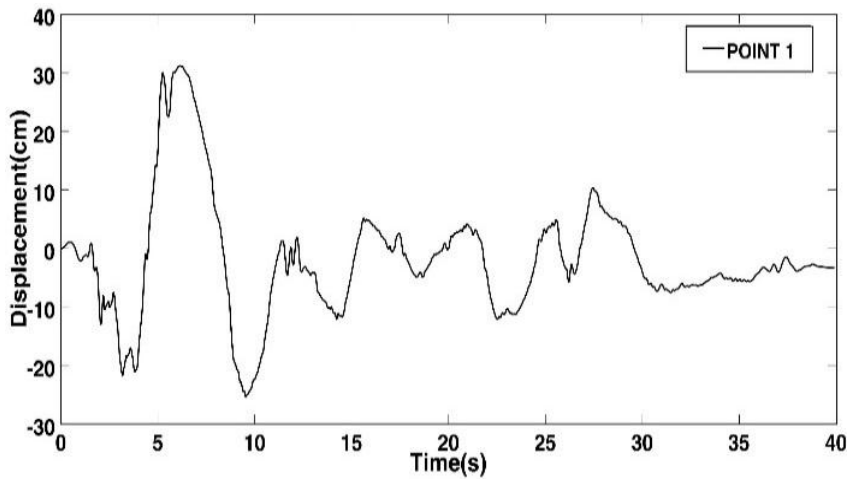
$$x_n(t) = a(t) \cos[\theta(t) + \tau_n + \arccos(\mu_{k,n} \cos(\theta_k(t)))] \quad (7)$$

در این رابطه  $\mu_{k,n}$  نشان دهنده تابع ارتباطی بین فازهای نقاط مختلف. تاکنون مدل‌های مختلفی از توابع ارتباطی توسط محققین ارائه شده است. در پژوهش حاضر برای بیان طیف ارتباطی از رابطه ساینویک استفاده شده است. مقدار  $\beta = 0.0005$  در نظر گرفته شده است.

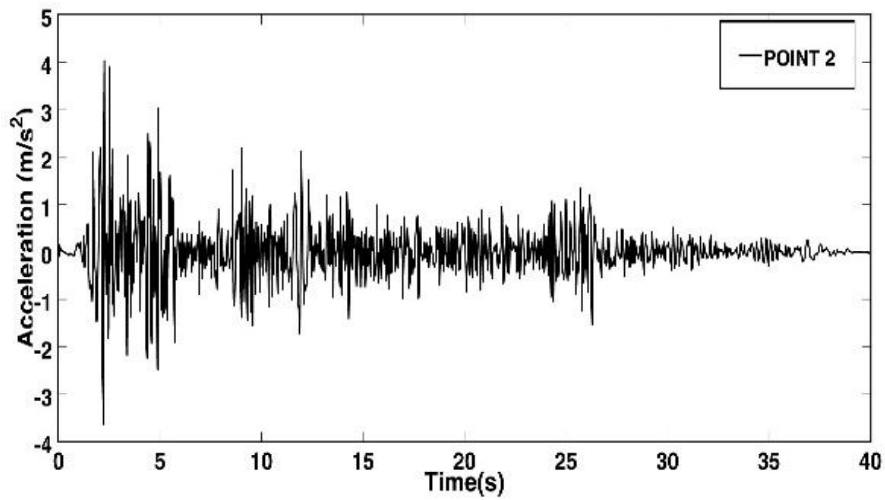
$$\mu_{k,n}(i\omega) = \exp\left(-\frac{\beta \omega d_{k,n}^2}{v}\right) \cdot \exp(-i\omega d_{k,n}) \quad (8)$$



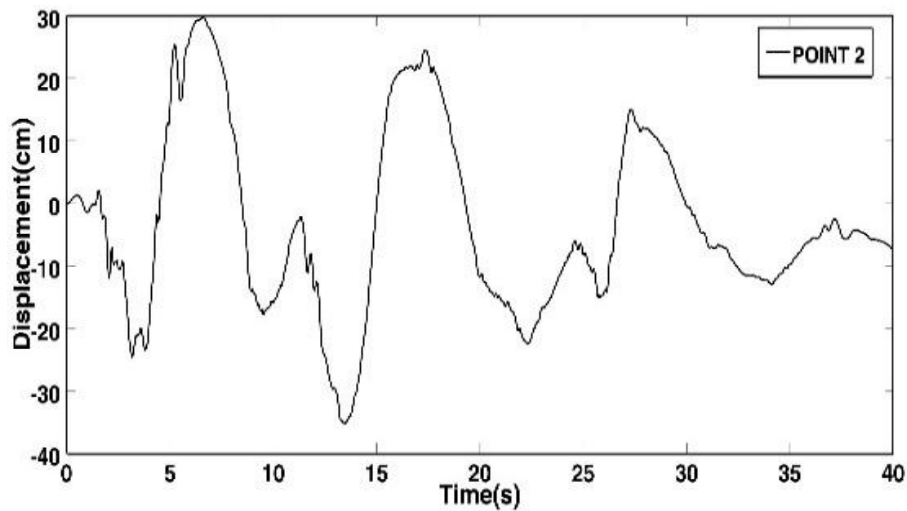
شکل ۶- نمونه شتاب تولید شده روی نقطه ۱



شکل ۷- نمونه جابجایی تولید شده روی نقطه ۱



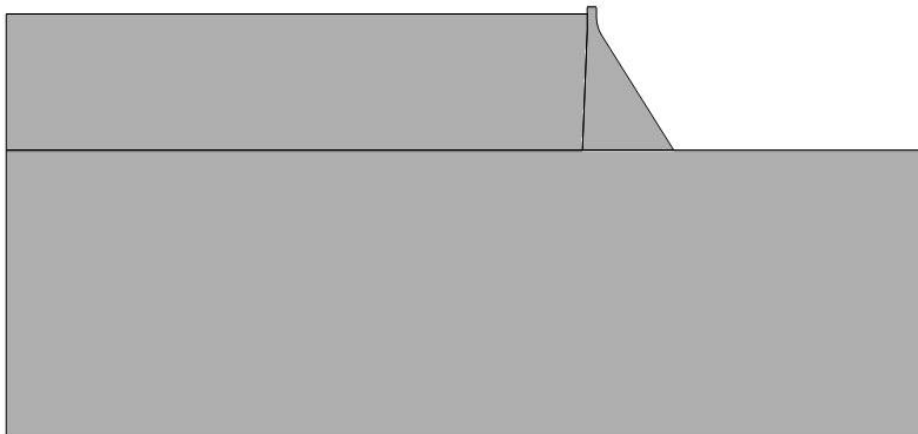
شکل ۸- نمونه شتاب تولید شده روی نقطه ۲



شکل ۹- نمونه جابجایی تولید شده روی نقطه ۲

## ۳- مدل‌سازی سد بتنی در آباکوس

به منظور بررسی رفتار لرزه ای سدهای بتنی تحت اثر بارهای تکیه گاهی یکنواخت و غیر یکنواخت، به مطالعه سد وزنی پایین فلت در آمریکا خواهیم پرداخت. این سد بر روی رودخانه کینگز در ایالت کالیفرنیا قرار گرفته و مخزن پایین فلت را تشکیل می دهد، از ۳۶ مونولیت با عرض ۱۵ متر و یک مونولیت با عرض ۱۲ متر تشکیل شده است. طول تاج سد ۵۵۰ متر و ارتفاع بلندترین مونولیت آن ۱۲۲ متر می باشد. در شکل ۱۰ نمایی از سد مدل سازی شده در آباکوس به همراه فونداسیون و مخزن آن نشان داده شده است. در پژوهش حاضر بلندترین مونولیت سد به ارتفاع ۱۲۲ متر، عرض سد در تراز پایه ۹۷ متر و تراز تاج ۱۰ متر، انتخاب شده است. وجه بالادست سد عمودی نبوده و از پایه تا تراز ۱۰۲ متر، دارای شیب ۵ درصد می باشد. مشخصات مصالح بتن بکار رفته در تحلیل در جدول ۱ دیده می شود. بدنه سد به شکل انعطاف پذیر در نظر گرفته می شود. مصالح بتن در کل مدل به شکل همگن، همسانگرد در نظر گرفته و رفتار بتن الاستیک، خطی فرض می شود [۲۳].



شکل ۱۰- مدل سازی فونداسیون، مخزن و سد بتنی وزنی پایین فلت

جدول ۱- مشخصات مصالح بتن توده سد

مشخصه	مقدار	واحد
مدول الاستیسیته E	۲۷/۵۸	GPa
نسبت پواسون $\nu$	۰/۲	-----
چگالی $\rho$	۲۴۰۰	Kg/m <sup>3</sup>

برای تعیین ضرایب میرایی رایلی ابتدا فرکانس های طبیعی مودهای طبیعی مدل تعیین و سپس مقدار این ضرایب به ترتیب  $\alpha=1.64$  و  $\beta=0.0012$  محاسبه شد. برای مدل‌سازی سد بتنی وزنی از نرم افزار قدرتمند آباکوس استفاده شد. نرم افزار آباکوس مجموعه ای از برنامه های شبیه سازی مهندسی است که از روش عددی المان محدود در مسائل مهندسی ساده تا بسیار پیچیده را شامل می شود. این برنامه توانایی حل محدوده بسیار وسیعی از تحلیل های مهندسی از مسائل خطی گرفته تا شبیه سازی های غیر خطی را با دقت بالا دارا می باشد [۲۳].

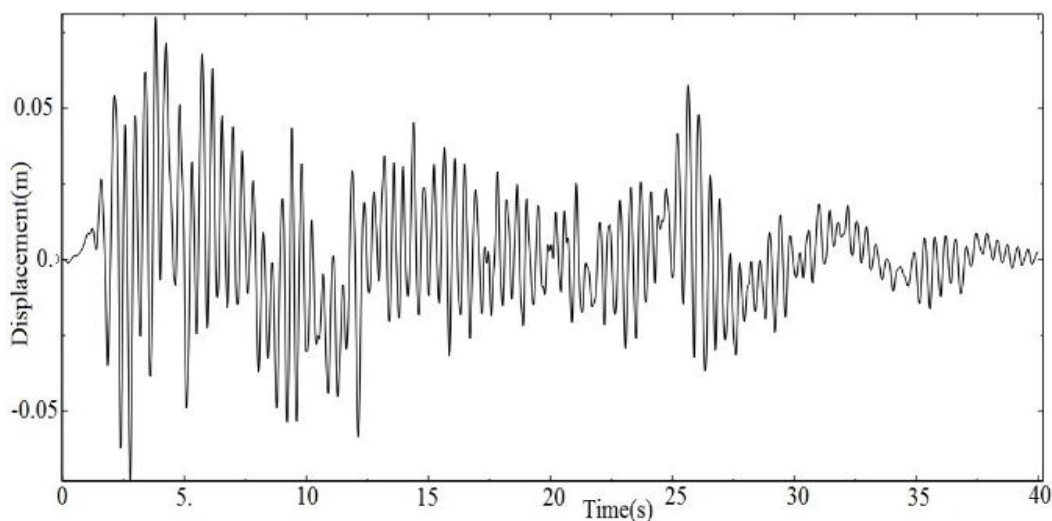
## ۴- نتایج تحلیل

در این بخش، مدل تهیه شده از سد بتنی وزنی پایین فلت تحت شتابهای یکنواخت و غیر یکنواخت مورد مطالعه قرار می گیرد. مش بندی مناسب و انتخاب صحیح المانها از مهمترین مراحل در تحلیل عددی المان محدود می باشد. برای مدل‌سازی المان محدود دو بعدی مونولیت مدل شده، از ۱۶۲ نقطه گرهی و ۱۳۶ المان چهارضلعی استفاده شده است. ۹ نقطه گرهی در کف سد

به فاصله مساوی در نظر گرفته شده اند. در سطح سد-مخزن جریانی در بین سطح مشترک وجود ندارد. بنابراین در جهت عمود بر مرز مشترک سرعت نسبی وجود ندارد. در سطح آزاد مخزن مقدار فشار صفر در نظر گرفته شده است. در این مدل سازی از امواج سطحی صرف نظر شده است. مرز بریده شده در انتهای دور مخزن در مدل المان محدود مخازن با طول بینهایت توسط محققان زیادی تحت بررسی قرار گرفته است. شرط مرزی سامرفیلد یکی از معمولترین آنها می باشد که مبتنی بر فرض انتشار امواج در سیال در فاصله دور از سد می باشد. شرط مرزی انتهای دور مخزن برای در نظر گیری خروج و عدم بازگشت امواج فشاری انتهای دور مخزن باید تعریف شود. برای مدل سازی بهتر لازم است طول مناسبی از مخزن معادل ۵ برابر ارتفاع سد در این مدل در نظر گرفته شده است. برای اختصاص شرایط مرزی غیر بازگشتی به انتهای دور مخزن از گزینه آکوستیک ایمپدانس در نرم افزار آباکوس استفاده می شود [۲۳]. ابتدا نتایج تحلیل های یکنواخت و در ادامه نتایج تحلیل های غیر یکنواخت تکیه گاهی ارائه می شود. برای نشان دادن تغییرات ناشی از تحریک یکنواخت و غیر یکنواخت از دو مفهوم جابجایی در تاج سد و همچنین تنش در بدنه سد استفاده می شود.

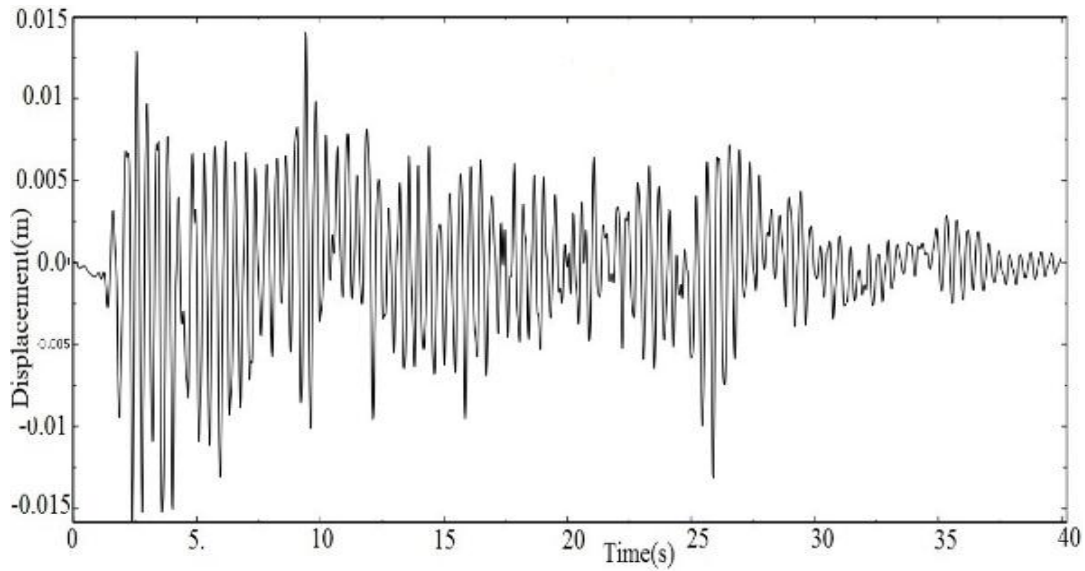
##### ۵- نتایج تحلیل یکنواخت روی سد بتنی وزنی تحت زلزله السترو

چنانکه در شکل ۱۱ نشان داده شده است، سد در این حالت تحت شتابهای یکنواخت تکیه گاهی (زلزله السترو) در تمام نقاط کف سد قرار می گیرد. جابجایی تاج سد در راستای افقی دارای ماکسیمم مقدار ۸ سانتی متر و در راستای عمودی ۱.۵ سانتی متر می باشد. در شکل ۱۲، نحوه توزیع جابجایی روی بدنه سد و پی در حالتی که تحت شتاب یکنواخت قرار گرفته نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می شود، توزیع جابجایی به صورت منظم و یکنواخت در تمام بدنه سد تجربه شده، به گونه ای که نقاط در ارتفاع بالاتر جابجایی بیشتر و به همین ترتیب در طول بدنه سد به سمت کف سد، جابجایی کمتر را تجربه کرده است.

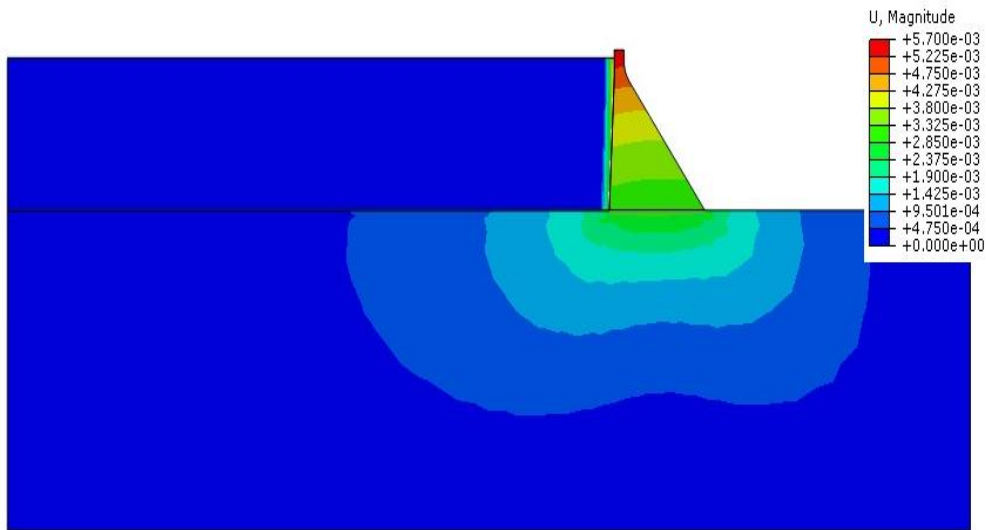


شکل ۱۱ - الف) جابجایی در راستای افقی (جهت اعمال زلزله) روی تاج سد



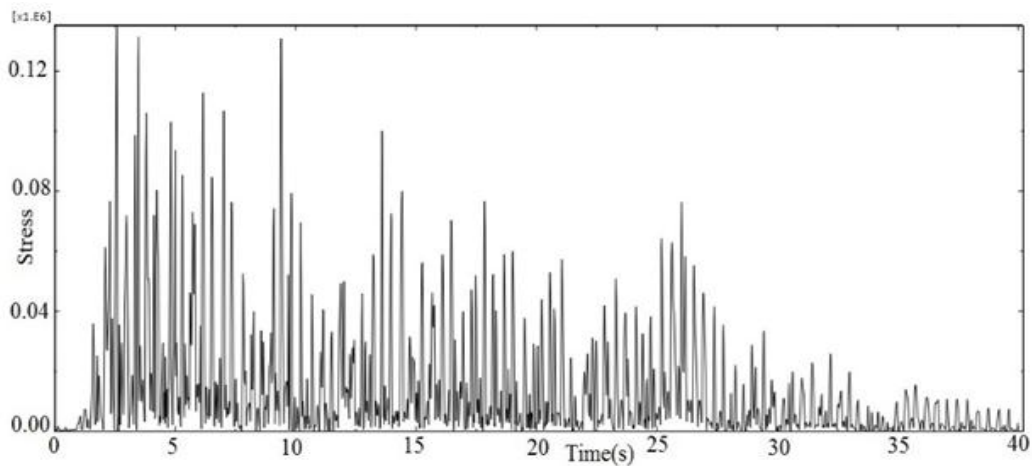


شکل ۱۱- (ب) جابجایی در راستای عمودی تحت تحریک یکنواخت

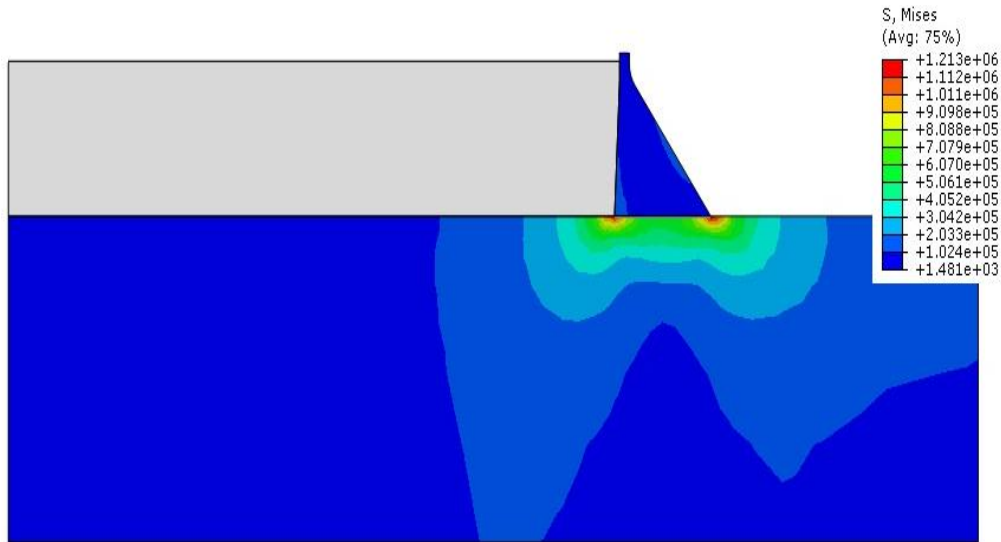


شکل ۱۲- نحوه توزیع جابجایی روی بدنه سد، تحت تحریک یکنواخت تکیه گاهی

شکل های ۱۳ و ۱۴ به ترتیب نشان دهنده تنش روی تاج و توزیع تنش روی بدنه سد تحت تحریک های یکنواخت تکیه گاهی می باشد.



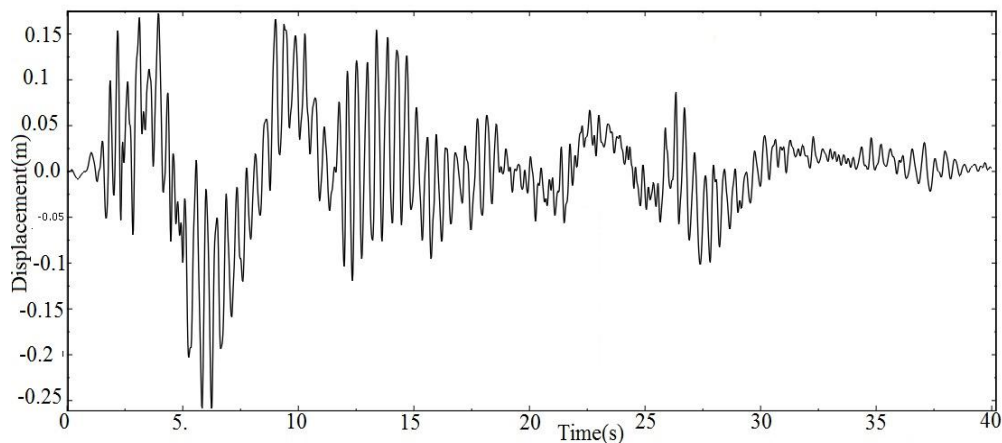
شکل ۱۳- نشان دهنده تنش روی تاج سد



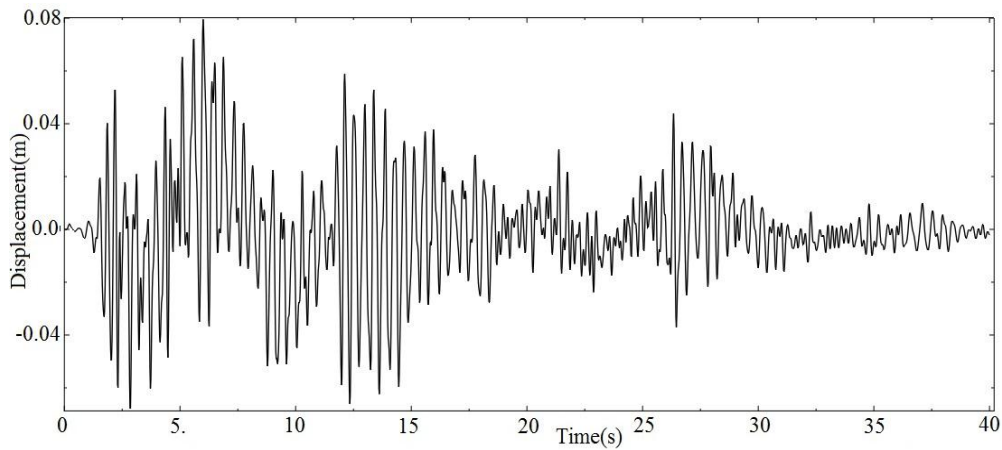
شکل ۱۴- نحوه توزیع تنش روی بدنه سد، تحت تحریک یکنواخت تکیه گاهی

#### ۶- نتایج تحلیل غیر یکنواخت

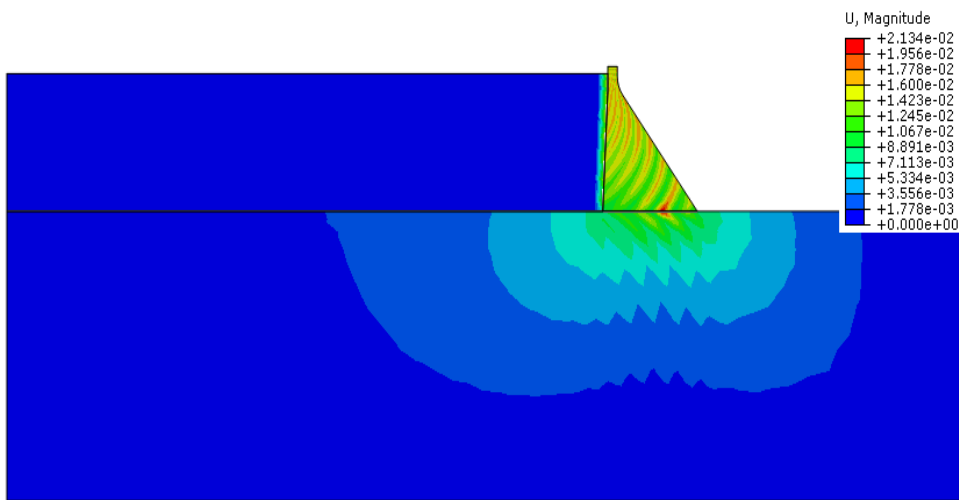
چنانکه در شکل ۱۵ نشان داده شده است، سد در این حالت تحت تحریکهای غیر یکنواخت تکیه گاهی که با استفاده از روش تبدیل هیلبرت در نقاط مختلف کف دره تولید شده، قرار می گیرد. جابجایی تاج سد در راستای افقی دارای ماکسیمم مقدار ۲۶ سانتی متر و در راستای عمودی ۸ سانتی متر می باشد. شکل ۱۶، نحوه توزیع جابجایی روی بدنه سد و پی در حالتی که تحت شتاب غیر یکنواخت تکیه گاهی در کف سد قرار گرفته نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می شود، مقدار ماکسیمم جابجایی در نقطه تاج سد در حالت افقی در حالت تحریک غیر یکنواخت تکیه گاهی ۳.۲۵ برابر نسبت به وضعیت که نمونه تحت تحریک یکنواخت قرار گرفته، افزایش یافته است. علاوه بر این در راستای قائم نیز این نسبت برابر ۵.۳۳ می باشد. بنابراین می توان مشاهده کرد که، تحریک غیر یکنواخت منجر به افزایش جابجایی در تاج سد در هر دو راستا، نسبت به تحریک یکنواخت شده است و در نظر گرفتن تحریک غیر یکنواخت برای طراحی این قبیل سازه ها (سدهای بتنی وزنی) که به طور گسترده در تماس با سطح زمین می باشند، ضروری می باشد.



شکل ۱۵- الف) جابجایی در راستای افقی (جهت اعمال زلزله) روی تاج سد

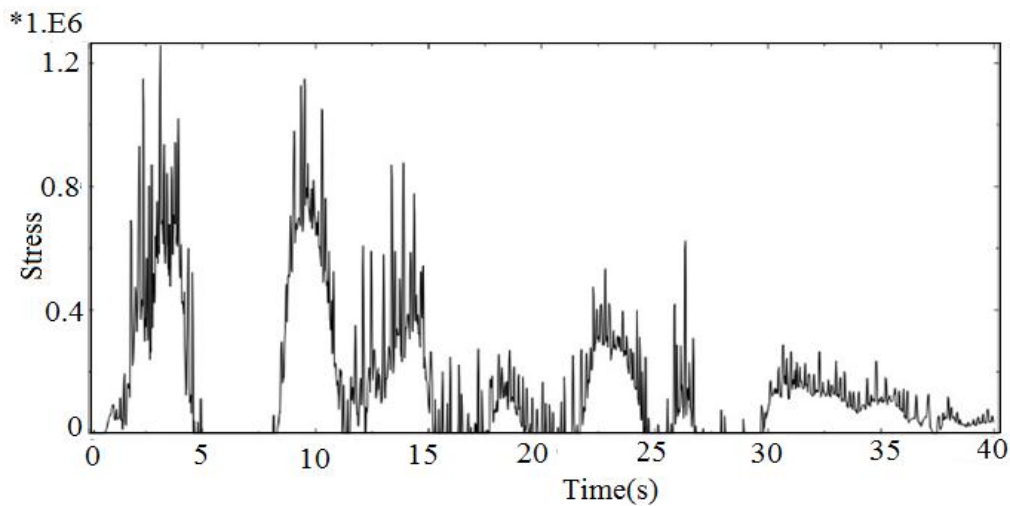


شکل ۱۵- ب)جابجایی در راستای عمودی تحت تحریک غیر یکنواخت.

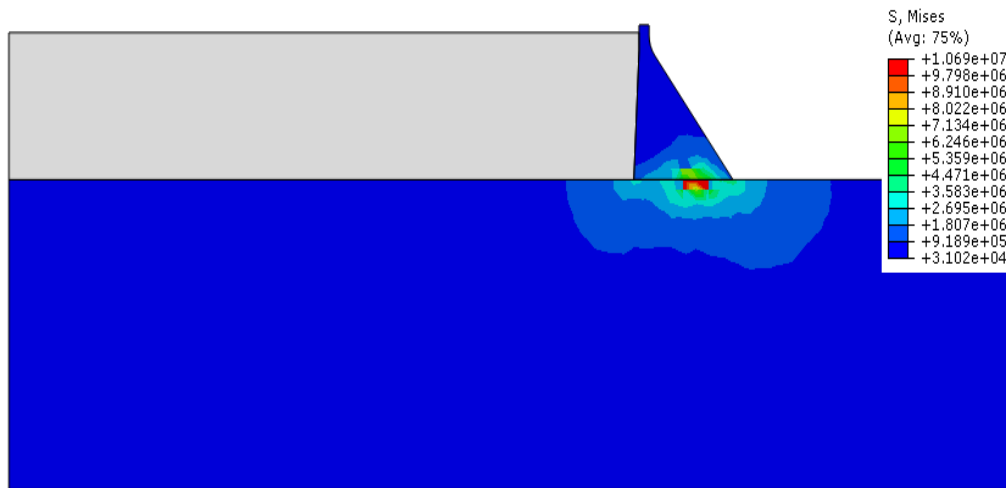


شکل ۱۶- نحوه توزیع جابجایی روی بدنه سد، تحت تحریک غیر یکنواخت تکیه گاهی

چنانکه در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ دیده می شود، مدل تحت تحریک غیر یکنواخت تکیه گاهی، در مقایسه با تحریک یکنواخت، افزایش تنش در نقاط مختلف روی سد را تجربه کرده است.



شکل ۱۷- نشان دهنده تنش غیر یکنواخت روی تاج سد



شکل ۱۸- نحوه توزیع تنش روی بدنه سد، تحت تحریک غیریکنواخت تکیه گاهی

## ۷- جمع بندی و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از روش تبدیل هیلبرت، شتابهای غیر یکنواخت در نقاط مختلف یک ساختمانگاه بر روی بستر سنگی تولید شد. در ادامه با استفاده از نرم افزای المان محدود آباکوس مدل دو بعدی از سد بتنی وزنی، مخزن و فونداسیون آماده شد. شتابهای تولید شده به مدل تهیه شده، برای مقایسه اثرات تحریک غیر یکنواخت و تحریک یکنواخت اعمال شدند. نتایج به دست آمده نشان می دهد که، اعمال تحریکهای غیر یکنواخت منجر به جابجایی بیشتر در تاج سد در هر دو راستا در مقایسه با تحلیل یکنواخت می شوند. علاوه بر این در مقایسه تنش ها نیز در دو وضعیت تحلیل یکنواخت و غیر یکنواخت، مشاهده شد که تحریکهای غیر یکنواخت تکیه گاهی، تنشهای بزرگتری را در روی بدنه سد ایجاد کرده اند. نسبت جابجایی ماکسیمم تحریک غیر یکنواخت نسبت به یکنواخت در راستای افقی برابر ۳.۲۵ و در راستای قائم این نسبت برابر ۵.۳۳ شده است. بنابراین نشان داده شد که تحریک های غیر یکنواخت تکیه گاهی اثرات قابل توجهی روی رفتار لرزه ای سازه دارا می باشند، و برای هر چه واقعی تر کردن طراحی های لرزه ای در تحلیل ها باید در نظر گرفته شوند.

## ۸- مراجع

1. Hindy, A.; and Novak, M. (1980) "Pipeline response to random ground motion," *Journal of Engineering Mechanics ASCE*, vol. 106, no. 2, pp. 339-360.
2. W. L. Liu, X. G. Wu, L. M. Zhang, J. Zheng, and J. Teng, "Global sensitivity analysis of tunnel-induced building movements by a precise meta model," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 31, no. 5, p. 04017037, 2017.
3. A. S. Nazmy and A. M. Abdel-Ghaffar, "Effects of ground motion spatial variability on the response of cable-stayed bridges," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 21, no. 1, pp. 1-20, 1992.
4. R. S. Harichandran, A. Hawwari, and B. N. Sweidan, "Response of long-span bridges to spatially varying ground motion a," *Journal of Structural Engineering*, vol. 122, no. 5, pp. 476-484, 1996.
5. M.-T. Chen and R. S. Harichandran, "Response of an earth dam to spatially varying earthquake ground motion," *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 127, no. 9, pp. 932-939, 2001.
6. Harichandran RS, Vanmarcke EH. (1986) *Stochastic variation of earthquake ground motion in space and time*. Journal of the Engineering Mechanics Division. 112:154-74.
7. Luco, J.E., and Wong, H. L. (1986) *Response of a rigid foundation to a spatially random ground motion*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.14, 891-908.

8. Abrahamson NA. (1993) *Spatial variation of multiple support inputs*. In: *Proceedings of the 1<sup>st</sup> US Seminar on Seismic Evaluation and Retrofit of Steel Bridges*, San Francisco, CA.
9. Der Kiureghian A, Neuenhofer A. (1992) *Response spectrum method for multiple- support seismic excitation*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 21:712–40.
10. Bi, K. and Hao, H. (2011) *Influence of irregular topography and random soil properties on coherency loss of spatial seismic ground motions*, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **40**,1045–1061.
11. Bi, K. and Hao, H. (2012) *Modelling and simulation of spatially varying earthquake ground motions at sites with vary conditions*,” *Probabilistic Engineering Mechanics* 29, 92–104.
12. Harichandran, R. S., Hawwari, A., and Sweidan, B. N. (1996) *Response of long-span bridges to spatially varying ground motion*. *J. Struct. Eng.*, 10.1061/(ASCE)0733-9445(1996)122:5(476), 476–484.
13. Zhang, Y. H., Li, Q. S., Lin, J. H., and Williams, F. W. (2009) *Random vibration analysis of long span structures subjected to spatially varying ground motions*, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **29**(4), 620–629.
14. Shinozuka, M., and Jan, C. M. (1972). *Digital simulation of random processes and its applications*. *J. Sound Vib.*, 25(1), 111–128.
15. Wu, Y., Gao, Y, Zhang, N, Li, D. (2016) *Simulation of Spatially Varying Ground Motions in V-shaped Symmetric Canyons*. *Journal of Earthquake Engineering*, 00:1–19.
16. Tarinejad, R., Isari, M., TaghaviGhalesari, A. (2017) *A new boundary element solution to evaluate the geometric effects of the canyon site on the displacement response spectrum*, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, In press.
17. Calciati, F., Castoldi, A., Ciacci, R. and Fanelli, M., Experience gained during in-situ artificial and natural dynamic excitation of large concrete dams in Italy: Analytic interpretation of result. *Proceeding of ICOLD 13 Congress*, New Delhi, pp.1377-1402,1979.
18. Nowak, P.S, Effect of Non-Uniform Seismic Input on Arc Dam. PhD dissertation report No. EERL. -88-03-California Institute of Technology, Pasadena, California.1988.
19. Wang, J. and Chopra, A. k., A computer program for three-dimensional analysis of concrete dams subjected to spatially ground motion. Report NO. UCB/EERC-2008/04. *Earthquake Engineering Research center*, University of California, Berkeley, California, 2008.
20. Hariri-Ardebili, M.A. and Mirzabozorg, H., (2011), Reservoir Fluctuation Effects on Seismic Response of High Concrete Arch Dams Considering Material Nonlinearity, *Journal of Civil Engineering Research*, 1(1), pp.9-20.
21. Akbari, M. and Keyhani, A. Linear seismic response of arch dams to non-uniform excitations considering load combination effects. 1 Congress, ISEE, 2014, Tehran.
22. Yao, E.; Miao, Y.; Wang., G. Synthesis of Spatially Correlated Earthquake Ground Motions Based on Hilbert Transform. *Modelling and Simulation in Engineering* Volume 2017, Article ID 2614769, 9 pages.
23. Alembagheri, M.; Seyedkazemi, M (2015). Numerical Modeling of Concrete Gravity Dams by ABAQUS. Simayedanesh.