تحلیل دینامیکی سرریز نیلوفری با در نظر گرفتن اندرکنش سرریز، مخزن و پی

علیرضا صناعیها*، بابک امیدوار** و محمد رحیمیان*** دانشکدهٔ مهندسی عمران، پردیس، دانشکدههای فنی دانشگاه تهران دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران





*** – استاد

<u>** –</u> دانشیار

Dynamic Analysis of Morning Glory Spillways Considering Foundation and Reservoir Interaction

A. Sanaeiha, B. Omidvarand M. Rahimian

Faculty of Civil Engineering, University of Tehran Faculty of Environment, University of Tehran

Abstract: Experience of the past earthquakes indicates that topographic magnification and surroundings of structure contribute to the destruction of structures after the earthquake. In this article, the dynamic interaction formulation of structures is presented. The method is based on the boundary element method in frequency domain. In order to assess the accuracy and efficiency of the proposed formulations for the dynamic interaction of structures, several problems are considered. Also, the structural analysis of morning glory spillway of Barzu dam located in Shirvan was investigated. For this purpose, every domain placed around the structure was modeled and analyzed separately, and then a model incorporating all the domains was presented. For realistic analysis, the problems were modeled and analyzed three-dimensionally. In this study, the effects of parameters such as shape irregularities, mechanical properties of materials (density, Poisson coefficient, shear modulus), stimulation frequency, incident wave type (P, SH, SV), azimuth and angle of incident wave on dynamic analysis of mentioned structure were considered. The results show that the foundation flexibility causes stiffness reduction and thus reduction of frequency vibrational modes of the system. The fluid-structure interaction brings about a high change in seismic response of the system in a way that the values of the displacements increase at frequencies lower than the 1.5 times of the first vibration frequencies of the system.

Keywords: Dynamic interaction, Boundary element method, Morning glory spillways, Frequency domain.

این حالت نه تنها پی بلکه آب به عنوان محیط نامحدود دیگر، بر روی رفتار لرزهای سازه اثر زیادی می گذارد. تیسای و لی [۹] در مطالعاتشان نشان دادهاند که در فرکانسهای بالاتر از فرکانس طبیعی مخزن، معادلات دینامیکی حاکم بر سیستم کاملاً درگیر بوده و تأثیر تراکمپذیری سیال قابل توجه خواهد بود. لذا در ایـن گونـه مسائل، مـدلهای رفتاری ساده شـده در برخی از فرمولبندیهای مورد استفاده با استفاده از روش اجـزای محـدود، مانند روش جرم افزوده، کارایی خود را از دست خواهند داد. نظر گرفتن مدلی که اندرکنش سه محیط را در کنار هم داشـته باشد الزامی است. هنگامی که زلزلهای اتفاق میافتـد محیطهای کنار هم تشکیل سیستمی را میدهند، که نباید برای تحلیل، آنها تغییرات خصوصیات پی یا شکل مخـزن اثـر مهمی بـر پاسـخ لرزهای سازه داشته باشد.

سازههای با شکل دلخواه و با شرایط مرزی وابسته به زمان به دلیل پیچیدگی زیاد، نیازمند تحلیل با روشهای عددیانـد. ۱- مقدمه
۱۰ مقدمه
۱۰ ملورکلی هرگاه زلزلهای به وقوع پیوسته، سازه های قرار
گرفته در مجاورت نامنظمیهای سطح زمین تحت اثر حرکات
شدیدتر قرار گرفتهاند. از جمله زلزله های مخرب می توان به
زلزله های ۱۹۰۹ فرانسه در لمبسک، ۱۹۷۶ و ۱۹۸۰ ایتالیا در
فریولی و ایرپینیا، ۱۹۸۵ مکزیک در میچوکان، ۱۹۸۵ شیلی،
۱۹۹۴ نرتریج، ۱۹۹۵ ژاپین در کوبه و ۱۹۹۵ یونان در اگیون

مراجع فوق حاوی نمونههایی هستند که در آنها بزرگنمایی حاصل از توپوگرافی و جنس خاک اطراف سازه، در خرابیهای مشاهده شده در اثر زلزله نقش زیادی داشتهاند. در واقع حرکت امواج در یک محیط علاوه بر خواص مکانیکی آن، تا حد زیادی به شرایط مرزی موجود بستگی دارد. در راستای کاهش خطرات ناشی از زلزله، بررسی اثر محیط اطراف سازه بر روی پاسخ دینامیکی آن الزامی به نظر می رسد. از طرف دیگر بررسی پاسخ لرزهای سازههایی که در تماس با آب هستند (مانند سدها)،

بررسی نحوه مدلسازی اندرکنش دینامیکی سازه ها با محیط اطرافشان از دیرباز مورد توجه محققان بوده است. روشهای مختلفی توسط پژوه شگران برای در نظر گرفتن اثر محیط اطراف سازه بر روی رفتار دینامیکی آنها به کار گرفته شده است که در میان آنها، روشهای اجزای محدود و اجزای مرزی فراگیرترند.

از جمله سازه هایی که در تماس با آب هستند، سدهای وزنی اند که تا حد خیلی زیادی سیستم سازه – آب – خاک به شکل یک مسئله دو بعدی عمل می کند. در بیشتر حالات می توان مدل آن را به صورت دو بعدی در نظر گرفت. در مورد کارهایی که در این زمینه انجام شده است می توان به کارهای چپرا و همکارانش [۱۰ – ۱۳] اشاره کرد. همچنین لطفی و همکارانش [۱۴] با استفاده از روش اجزای مدلی را ارائه کردند که اثرات اندرکنش در این مدل، دقیقتر از روشهای قبلی در نظر گرفته شده است و پی به صورت محیط لایه بندی شده مدل شده است. در حالی که چپرا محیط خاک را به عنوان یک محیط همگن در نظر گرفته بود.

روش اجزای مرزی برای مدلسازی اندرکنش مایع - جامد در حالت دو بعدی توسط بعضی از محققان به کار گرفته شده است. کاکودا و توساکا[۱۵] اندرکنش سیستم مایع - جامد را در فضای فرکانسی بررسی کردند در حالی که انتس و ون استورف[۱۶] اندرکنش خاک - مایع و سد - مایع را در فضای زمانی مطالعه کردند. مدینا و دومینگواز[۱۷–۱۹] در فضای فرکانسی با استفاده از روش اجزای مرزی، مدل دو بعدی از سدهای وزنی را ارائه کردند. در این مدل معادلات تعادل و شرایط سازگاری به طور کامل در نظر گرفته شده است که در این روش نامنظمیهای خاک بستر و ناهمسانی لایه ای خاک زیر زمینی قابل اعمال است.

با توجه به هندسه سدهای قوسی، نمی توان آنها را به صورت دو بعدی مدل کرد و نیازمند مدلسازی سه بعدی است. تحقیقات بسیاری بر روی رفتار لرزهای این نوع سازهها انجام گرفته است که در اکثر این تحقیقات فشار هیدرودینامیکی وارد

بر دیواره سدها با استفاده از روشهای عددی مختلف به دست آمده است. هال و چپرا[۲۰] از روش اجزای محدود، تیسای ولی[۲۱] از روش اجزای مرزی و همچنین وانگ و هونگ[۲۲] از روش تفاوتهای محدود برای ارزیابی این نوع سازهها استفاده کردهاند. فوک و چپرا [۳۳ و ۲۴] مدل سهبعدی را ارائه کردند که در آن سه محیط خاک-آب- سد در نظر گرفته شده بود. با این حال این مدل حاوی بعضی سادهسازیها بود که باعث میشد مدل غیر واقعی باشد. بعضی از این ساده سازیها شامل: پی بدون جرم، سطح مقطع یکنواخت مخزن از نزدیکی سد تا منامل سه محیط بود را ارائه کردند. با توجه به خصوصیات شامل سه محیط بود را ارائه کردند. با توجه به خصوصیات روش اجزای مرزی مدل ارائه شده شامل: توپوگرافی واقعی مخزن و پی، مدلسازی پی به عنوان جسم ویسکو الاستیک و اثرات اندرکنش بود.

مااسو و همکاران[۲۷] روشی را برای بررسی مسئله اندرکنش سد، مخزن و پی با در نظر گرفتن اثرات جذب انرژی مابین سیال و رسوبات زیرین ارائه کردهاند. آزنارز و همکاران[۲۸] مدل کاملی از اندرکنش سازه-پی-سیال را ارائه کردند که در آن به بررسی اثرات لایههای رسوبی بر پاسخ دینامیکی سدهای قوسی پرداخته شده است. همچنین اخیراً تحلیل سهبعدی دینامیکی سد کرج با استفاده از روش اجزای مرزی و با در نظر گرفتن اندرکنش سازه با آب و محیط لایهای خاک اطراف سازه توسط مصاحبی و همکاران[۲۹-۳۰] صورت گرفته است.

در روش اجزای مرزی معادلات دیفرانسیلی حاکم به معادلات انتگرالی تبدیل میشود که روی مرز اعمال میشود. سپس مرز به قطعات مرزی (اجزای های مرزی) تقسیم بندی میشود و انتگرال گیری عددی روی اجزای مرزی انجام میشود. همانند روشهای عددی دیگر، با ارضای شرایط مرزی، سیستم معادلات خطی جبری حاصل میشود که از حل آن جواب یکتای مسئله به دست میآید.

مزیت اصلی استفاده از روش اجزای مرزی در مسائل

۲- فرمولبنــدی روش اجــزای مــرزی در فــضای فرکانسی

در این قسمت خلاصهای از فرمولبندی روش اجزای مرزی در فضای فرکانسی ارائه می شود. روش اجزای مرزی استفاده شده در این تحقیق با استفاده از حل اساسی استوکس در محیط بینهایت الاستودینامیک با فرض خطی و همگن بودن محیط به دست آمده است. در حل مسائل الاستودینامیک معادله حاکم بر محیط معادله ناویر است[۳].

$$(\lambda + \mu)\mathbf{u}_{i,ij} + \mu \mathbf{u}_{j,ii} + \rho \mathbf{b}_j = \rho \mathbf{u}_j \tag{1}$$

معادله فوق، معادله حاکم بر رفتار یک جسم الاستیک ایزوتروپ با حجم V و سطح Γ است. در ایـن معادلـه λ و μ ضـرایب لامه، u تغییر مکان، d نیرو در واحد حجم و ρ چگالی مـصالح است با تعریف سرعت انتشار موج فـشاری (طـولی) بـه شـکل $\rho / (\mu + 2\mu) = C_1^2 = (\lambda + 2\mu)$ معادله

$$(C_1^2 - C_2^2)u_{i,ij} + C_2^2 u_{j,ii} + b_j = u_j$$
(Y)

حال حجم V را که در قسمت قبل فرض شد، با سطح ۲ در نظر بگیرید. با استفاده از قضیه تقابل بتی، معادله حاکم بر حجم مسئله (۷) را میتوان به معادله حاکم بر مرز محیط(۲) تبدیل کرد. معادلـه (۳) نشان دهنده معادله حاکم بر مرز مسائل فیزیکی است[۳۱].

$$\mathbf{c}^{i}\mathbf{u}_{s}^{i} + \int_{\Gamma} \mathbf{u}_{s} \mathbf{t}^{*} d\Gamma = \int_{\Gamma} \mathbf{t}_{s} \mathbf{u}^{*} d\Gamma$$
(r)

در این معادله Γ مرز مسئله، *** u** و *** t** به ترتیب پاسخهای اساسی جابهجایی و بردار تنش و $u_s u_s$ به ترتیب بردار جابهجایی و بردار تنش مرزی برای هر نقطه روی مرز حوزهاند. در روش اجزای مرزی ابتدا مرز Γ به NE جزء مرزی تقسیم می شود. هر جزء مرزی از *n* گره تشکیل شده است و تعداد کل رهها N است. با استفاده از روش روی هم گذاری ['] نقاط، معادله انتگرال مرزی (۳) برای نقطه i ام به صورت زیر در می آید:

$$\mathbf{c}^{i}\mathbf{u}_{\boldsymbol{s}}^{i} + \sum_{j=1}^{NE} \{ \int_{\Gamma_{j}} \mathbf{u}_{\boldsymbol{s}} \boldsymbol{t}^{*} \, \mathrm{d}\Gamma \} = \sum_{j=1}^{NE} \{ \int_{\Gamma_{j}} \mathbf{t}_{\boldsymbol{s}} \boldsymbol{u}^{*} \, \mathrm{d}\Gamma \}$$
(°)

که در این معادله Γ_j سطح اجزای jام، **u** و **t** به ترتیب ماتریس پاسخهای اساسی جابهجایی و بردار تنش و $u_s u_s$ به ترتیب بردار جابهجایی و بردار تنش مرزی برای هر نقطه روی مرز حوزهاند.

برای هر مؤلفه k، مقادیر u_k و t_k و t_k در هر نقطه از جزء مرزی بر حسب مقادیر گرهی u_k^j و u_k^j تعیین می شود. بدین منظور از توابع شکلی Φ که بر حسب مختصات طبیعی ا^ع و 52 است ($1 \ge 4$ که این توابع در مرجع [۳۱] ارائه شدهاند.

در شکل (۱) تبدیل سیستم مختصات کلی x - y - z به مختصات طبیعی $\xi_2 - \xi_2$ نشان داده شده است. با استفاده از توابع شکلی درجه دو، u_s و t_s روی هر اجزای برحسب مقادیر گرهی آن جزء در سه جهت دستگاه مختصات به صورت زیر تقریب زده می شوند: که در این معادله M تعداد گرههای جزء *زاست*. به این ترتیب انتگرالهای معادله (۴) روی اجزای *j* به صورت زیر محاسبه خواهند شد:

$$\int_{\Gamma_j} \mathbf{t}_s \, \mathbf{u}^* \, \mathrm{d}\Gamma = \left\{ \int_{\Gamma_j} \boldsymbol{\Phi} \, \mathbf{u}^* \, \mathrm{d}\Gamma \right\} \mathbf{t}_s^{\ j} \tag{9}$$

در معادله فوق انتگرالهای داخل آکولاد به روش عـددی گـوس محاسبه میشوند. در نهایت معادله انتگرالمرزی تغییرمکانی (۴) با استفاده از تقریبهای فوق به صورت زیر در میآید:

$$\mathbf{c}^{i}\mathbf{u}_{s}^{i} + \sum_{j=1}^{NE} \{ \int_{\Gamma_{j}} \boldsymbol{\Phi} \mathbf{t}^{*} d\Gamma \} \mathbf{u}_{s}^{j} = \sum_{j=1}^{NE} \{ \int_{\Gamma_{j}} \boldsymbol{\Phi} \mathbf{u}^{*} d\Gamma \} \mathbf{t}_{s}^{j} \quad (\mathsf{V})$$

u_s^j و t_s¹ در معادله فوق بردارهای تغییرمکان و تنش مرزیاند. به دلیل آنکه فرمولبندی عددی بر حسب مختصات طبیعی ا^یم و 2³ است، تبدیل دیفرانـسیل سطح در مختصات کـارتزین یعنی dΓ به سیستم مختصات طبیعی لازم است:

$$d\Gamma = \left| \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \xi_1} \times \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \xi_2} \right| d\xi_1 d\xi_2 = \left| \mathbf{J} \right| d\xi_1 d\xi_2 \qquad (A)$$

در این معادله J، ژاکوبین تبدیل مختصات محلی به کلی و اندازه آن یعنی |J|، اندازه بردار عمود بر سطح در نقطه مورد نظر است. همچنین جزییات محاسبه معادله (۸) به تفصیل در مرجع [۳۱] ارائه شده است. درنهایت معادله انتگرال مرزی تغییرمکانی (۷) با استفاده از فرمولبندیهای عددی فوق، به صورت زیر در میآید:

$$\begin{aligned} c^{i}u_{s}^{\ i} + \sum_{j=l}^{NE} \left\{ \int_{-1}^{1} \int_{-1}^{1} \mathbf{\Phi} t^{*} |J| \ d\xi_{1} \ d\xi_{2} \right\} \ u_{s}^{\ j} \\ &= \sum_{j=l}^{NE} \left\{ \int_{-1}^{1} \int_{-1}^{1} \mathbf{\Phi} u^{*} |J| \ d\xi_{1} \ d\xi_{2} \right\} \ t_{s}^{\ j} \end{aligned} \tag{9}$$

. روی کو کو کو کو کو کوی، معادلات انتگرال مرزی . انتگرالگیری عددی روی اجزای مرزی، معادلات انتگرال مرزی . به سیستم معادلات جبری خطی تبدیل می شوند:

$$\mathbf{H} \mathbf{u}_{\mathbf{s}} = \mathbf{G} \mathbf{t}_{\mathbf{s}} \tag{(1 \circ)}$$



$$\times \begin{cases} u_{2}^{i} \\ u_{3}^{i} \\ \vdots \\ u_{1}^{M} \\ u_{2}^{M} \\ u_{3}^{M} \end{cases} = \mathbf{\Phi} u_{s}^{j}$$

$$t_{s} = \begin{cases} t_{1} \\ t_{2} \\ t_{3} \end{cases} = t_{s}^{i} = t_{s}^{i} \\ t_{1}^{i} \\ t_{2}^{i} \\ t_{1}^{i} \\ t_{2}^{i} \\ t_{3}^{i} \\ \vdots \\ t_{1}^{M} \\ t_{2}^{M} \\ t_{3}^{M} \end{cases} = \mathbf{\Phi} t_{s}^{j}$$

$$(\Delta)$$

 S_4 مرز مشترک سازه – پی $^{+}$ S_5 مرز مشترک سیال – پی S_5 اگر بردار تنش و تغییرمکان در مرز S_a از محیط V_b را به ترتیب با علامتهای T_a^b و U_a^b نشان دهیم، برای هر یک از محیطها، متغیرهای مسئله به شرح زیر قابل بیان میباشند: برای سازه (حجم V_I): $\mathrm{U}_{1}^{\mathrm{I}},\mathrm{T}_{1}^{\mathrm{I}}\,:\mathrm{S}_{1}$ تغییرمکانها و بردار تنشها مربوط به سطح $\mathrm{U}_2^{\mathrm{I}},\mathrm{T}_2^{\mathrm{I}}:\mathrm{S}_2$ تغییرمکانها و بردار تنشها مربوط به سطح $\mathrm{U}_{4}^{\mathrm{I}},\mathrm{T}_{4}^{\mathrm{I}}:\mathrm{S}_{4}$ مربوط به سطح S_{4} : تغییرمکانها و بردار تنشها مربوط به سطح برای سیال (حجم V_{II}): تغییرمکانها و بردار تنشها مربوط به سطح S₂ : U^{II}₂, T^{II}₂ : S $\mathrm{U}_{3}^{\mathrm{II}},\mathrm{T}_{3}^{\mathrm{II}}\,:\mathrm{S}_{3}\,$ تغییرمکانها و بردار تنشها مربوط به سطح S_{3} تغییرمکانها و بردار تنش ها مربوط به سطح S₅ : S₅ تغییرمکانها و برای حجم (پی VIII): تغییرمکانها و بردار تنشها مربوط به سطح S₄ : S₄ تغییرمکانها و بردار تنشها مربوط به سطح S₅ : S₅ به منظور محاسبه هر یک از متغیرهای مرزی ابتدا باید روابط حاکم بر هر محیط به طور مجزا نوشته شود. سپس با استفاده از معادلات سازگاری و شرایط تعادل حاکم بـر مرزهـا معادلات مجزا در هر محيط به يک رابطه کلي حاکم بر سيستم درگیر^۴ سازه – سیال – پی تبدیل شود. معادلات حاکم بر محیط I، II و III به ترتیب در معادلات (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) ارائه شده است. $\begin{bmatrix} \mathbf{H}_{11}^{\mathrm{I}} & \mathbf{H}_{12}^{\mathrm{I}} & \mathbf{H}_{13}^{\mathrm{I}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_{1}^{\mathrm{I}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{11}^{\mathrm{I}} & \mathbf{G}_{12}^{\mathrm{I}} & \mathbf{G}_{13}^{\mathrm{I}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{T}_{1}^{\mathrm{I}} \end{bmatrix}$ $\mathbf{H}_{21}^{\mathrm{I}} \quad \mathbf{H}_{22}^{\mathrm{I}} \quad \mathbf{H}_{23}^{\mathrm{I}} \parallel \mathbf{U}_{2}^{\mathrm{I}} \mid = \begin{vmatrix} \mathbf{G}_{21}^{\mathrm{I}} & \mathbf{G}_{22}^{\mathrm{I}} & \mathbf{G}_{23}^{\mathrm{I}} \parallel \mathbf{T}_{2}^{\mathrm{I}} \end{vmatrix} \quad (17)$ $\begin{bmatrix} \mathbf{H}_{31}^{\mathrm{I}} & \mathbf{H}_{32}^{\mathrm{I}} & \mathbf{H}_{33}^{\mathrm{I}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_{3}^{\mathrm{I}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{31}^{\mathrm{I}} & \mathbf{G}_{32}^{\mathrm{I}} & \mathbf{G}_{33}^{\mathrm{I}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{T}_{3}^{\mathrm{I}} \end{bmatrix}$

و برای محیط V_{II}:

 $\begin{bmatrix} \mathbf{H}_{22}^{\mathrm{II}} & \mathbf{H}_{23}^{\mathrm{II}} & \mathbf{H}_{25}^{\mathrm{II}} \\ \mathbf{H}_{32}^{\mathrm{II}} & \mathbf{H}_{33}^{\mathrm{II}} & \mathbf{H}_{35}^{\mathrm{II}} \\ \mathbf{H}_{52}^{\mathrm{II}} & \mathbf{H}_{53}^{\mathrm{II}} & \mathbf{H}_{55}^{\mathrm{II}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_{2}^{\mathrm{II}} \\ \mathbf{U}_{3}^{\mathrm{II}} \\ \mathbf{U}_{5}^{\mathrm{II}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{22}^{\mathrm{II}} & \mathbf{G}_{23}^{\mathrm{II}} & \mathbf{G}_{25}^{\mathrm{II}} \\ \mathbf{G}_{32}^{\mathrm{II}} & \mathbf{G}_{33}^{\mathrm{II}} & \mathbf{G}_{35}^{\mathrm{II}} \\ \mathbf{G}_{52}^{\mathrm{II}} & \mathbf{G}_{53}^{\mathrm{II}} & \mathbf{G}_{55}^{\mathrm{II}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{T}_{2}^{\mathrm{II}} \\ \mathbf{T}_{3}^{\mathrm{II}} \\ \mathbf{T}_{5}^{\mathrm{II}} \end{bmatrix} (1\%)$ e cr time: where the second secon S_3 S_1 S_2 V_1 V_1 S_2 V_1 S_4 V_1 S_4 S_1 S_4 S_1 S_4 S_1 S_1 S_2 S_4 S_1 S_1 S_2 S_4 S_1 S_2 S_1 S_2 S_1 S_2 S_2 S_1 S_2 S_2

 \mathbf{u}^* ماتریسهای تأثیر \mathbf{H}^* و \mathbf{G} شامل انتگرالهایی با هسته های \mathbf{t}^* و \mathbf{u}^* هستند. به تعداد نقاط رویهم گذاری (گره های مرزی) معادل ه خواهیم داشت. با مرتب سازی معادله ماتریسی فوق یعنی قرار دادن تمامی مقادیر معلوم در سمت راست و بردن مجه ولات گرهی به سمت چپ، دستگاه معادلات زیر حاصل می شود: $\mathbf{A}\mathbf{X} = \mathbf{B}$ (11)

۳- فرمولبندی اندرکنش دینامیکی سازهها با محیط اطرافشان با استفاده از روش اجزای مرزی

به منظور تحلیل اندرکنش دینامیکی سازه ها با محیط اطرافشان باید روابط تعادل و سازگاری در مرز محیطهای مسئله اعمال شود. در این تحقیق فرض شده است که سازه کاملا در آب مستغرق نیست و آب به داخل سرریز جریان ندارد. با توجه به اینکه سه محیط وجود دارد، برای هر محیط باید مقادیر بردار تنش و جابه جایی در مرز آن مشخص شد. بر این اساس اگر سه محیط مطابق با شکل (۲) با علامت I برای سازه، علامت II برای سیال و علامت III برای پی، در کنار هم قرار گیرند، می توان پنج مرز به شرح زیر در نظر گرفت: ۱. مرز آزاد سازه ا ۲. مرز مشترک سازه – سیال2 ۳. مرز آزاد سیال د

روشهای عددی در مهندسی، سال ۳۰، شمارهٔ ۲، زمستان ۱۳۹۰

99

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla p^{W} \tag{1A}$$

که p دانسیته آب است. با ضرب طرفین معادله (۱۸) در بردار عمود بر سطح جامد n و با جایگذاری مشتق u^w نسبت به زمان در معادله (۱۸) شرط اصلی سازگاری جامد و سیال حاصل می شود.

$$u_{n}^{W} = \frac{1}{\rho\omega^{2}} \frac{\partial p^{W}}{\partial n}$$
(14)

با توجه به معادلات (۱۶) و (۱۹) در مرز S₂ ، معادله (۲۰) بر قرار است.

$$\begin{split} T_{2}^{I} &= -P_{2}^{II} = -T_{2}^{II} = T_{2} \\ U_{2}^{I} &= -\frac{q_{2}^{II}}{\rho\omega^{2}} = U_{2}^{II} = U_{2} \end{split} \tag{(7 \circ)}$$

شرط مرزی برای سطح آزاد سیال در مرز
$$S_3$$
:
P $_{\!3}^{\rm II}=0$ (۲۱)

معادلات سازگاری و شرط تعادل در مرز
$$S_4$$
:
$$T_4^{I} = -T_4^{III} = T_4$$
$$U_4^{I} = U_4^{III} = U_4$$

معادلات سازگاری و شرط تعادل در مرز ۶۶: بـر اسـاس معـادلات (۱۶) و (۱۹) در مـرز ۶۶ معـادلات سازگاری و شرط تعادل به صورت زیر نوشته می شود:

$$U_{5}^{III} = -\frac{q_{5}^{II}}{\rho\omega^{2}} = U_{5}^{II} = U_{5}$$
(YT)

$$\begin{split} T_5^{III} &= -P_5^{II} = -T_5^{II} = T_5 \\ \text{ Solve for a starter of the set of the$$

- $T_{S} = T_{0} T \tag{(YF)}$
- $U_{\rm S} = U_0 U \tag{70}$

در این معادلات T بردار تنش کل بوده که با استفاده از اصل جمع آثار قوا از مجموع T_0 بردار تنش حاصل از حرکت آزاد زمین در محیط نیمهبینهایت و T_s بردار تنش حاصل از امواج



$$\begin{bmatrix} \mathbf{H}_{44}^{\text{III}} & \mathbf{H}_{45}^{\text{III}} \\ \mathbf{H}_{54}^{\text{III}} & \mathbf{H}_{55}^{\text{III}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (\mathbf{U}_{S})_{4}^{\text{III}} \\ (\mathbf{U}_{S})_{5}^{\text{III}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{44}^{\text{III}} & \mathbf{G}_{45}^{\text{III}} \\ \mathbf{G}_{54}^{\text{III}} & \mathbf{G}_{55}^{\text{III}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (\mathbf{T}_{S})_{4}^{\text{III}} \\ (\mathbf{T}_{S})_{5}^{\text{III}} \end{bmatrix}$$
(14)
c. list on a solution of the set of the

 $T_{1}^{I} = 0$

شرط مرزی برای سازه در مرز اS: (۱۵)

با توجه به اینکه آب غیرلزج فرض شده است، بردار تنش برشی در سطح مشترک آب و سازه صفر می شود. همچنین شرط اصلی تعادل دو محیط سیال و سازه برابر بودن فشار سیال با بردار تنش عمود بر جامد است. این شرط با توجه به شکل (۳) عبارت است از :

$$-p^{w} = p^{s}n \tag{19}$$

از طرفی تغییرمکان عمودی سطح جامد و مایع برابر است:
$$u_n^w = u^s n \eqno(10)$$

در این معادلات n بردار واحد نرمال عمود بر جامد، τ بردار واحد مماس بر سطح جامد، p^w فشار آب، u_n^w تغییرمکان سیال در جهت n و p^s و s^p به ترتیب بردار تنش و تغییرمکان جامدند. ارتباط سرعت سیال با مشتق فشار به صورت معادله (۱۸) تعریف می شود[۳۱]:



بر اساس فرمولبندی ارائه شده نرم افزاری توسط مؤلفان مقاله به زبان فورترن نوشته شده است و به منظور تأیید نتایج، مثالهایی مورد بررسی و نتایج تحلیل با نتایج سایر مراجع مقایسه شده است.

۴-۱- تأیید نتایج تحلیل الاستودینامیک سه بعدی
 محیطهای محدود در فضای فرکانسی
 ۴-۱-۱- تیر طره در معرض حرکت واحد تکیه گاهی

در این مثال تیر طرهای به طول ۲۰ متر و سطح مقطع ۲×۴ متر مربع که در معرض حرکت واحد تکیهگاهی در راستای قائم است، مورد بررسی قرار می گیرد. هندسه مسئله و نحوه جزءبندی این تیر در شکل (۴) نشان داده شده است. مشخصات مصالح به کار رفته به شرح مقابل است: دانسیته=۰۰۸۷ کیلو گرم بر متر مکعب، نسبت پواسون= ۲/۰، مدول برشی=^{۱۱}۰۱×۸ نیوتن وزن بر متر مربع، نسبت میرایی=۵۰/۰. تغییر مکانهای نقطه میانی در مقطع انتهایی کنسول بر حسب فرکانسهای بی بعد شده نسبت به فرکانس طبیعی ($^{1-2} S - 526 = 10$) در شکل (۵) رسم شده است. در این مثال نتایج به دست آمده در تحقیق موجود با نتایج مرجع [۳1] مقایسه شده است.

۲-۴-تأیید نتایج اندرکنش محیط محدود و محیط
 نیمه بینهایت در تفرق امواج
 ۲-۴- انتشار امواج در دره رسوبی نیم کره با یک لایه
 رسوبی

در این مثال اثر لایهبندی خاک و ضخامت و جنس خاک هر لایه بر روی تشدید امواج زلزله، مورد بررسی قرار می گیرند. هندسه و نحوه جزءبندی این مثال در شکل (۶) نشان داده شده است. شعاع داخلی این دره رسوبی 1= a و ضخامت لایه رسوبی آن 4.0= t /ست. این دره رسوبی تحت برخورد قائم امواج SH ، P و SV قرار داده می شود. مشخصات مکانیکی



تفرق یافته، به دست می آید. همچنین U میدان جابه جایی کل بوده که از مجموع U_0 ، جابه جایی ناشی از حرکت آزاد زمین در محیط نیمه بینهایت و U_s ، جابه جایی ناشی از امواج تفرق یافته، به دست می آید. با جایگذاری دو معادله (۲۴) و (۲۵) در معادله (۱۴) و با استفاده از شرایط مرزی، معادلات (۱۵) و (۲۱)، و معادلات تعادل و سازگاری حاکم بر مرزهای مسئله، معادلات (۲۰)، (۲۲) و (۲۳)، رابطه حاکم برای سیستم درگیر سازه، سیال و پی به صورت زیر حاصل می شود:

11 1 21 1 41 0 0 0 0 0 0 0	$\begin{array}{c} H_{12}^{\rm I} \\ H_{22}^{\rm I} \\ H_{42}^{\rm I} \\ H_{42}^{\rm II} \\ H_{32}^{\rm II} \\ H_{32}^{\rm II} \\ H_{52}^{\rm II} \\ 0 \\ 0 \end{array}$	0 0 H ^{II} ₂₃ H ^{II} ₃₃ H ^{II} ₅₃ 0 0	H_{14}^{I} H_{24}^{I} H_{44}^{I} H_{44}^{I} H_{44}^{I} H_{44}^{I} H_{44}^{I} H_{44}^{I} $-H_{444}^{III}$ $-H_{54}^{III}$	H H H 	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ I_{25}^{II} \\ I_{35}^{II} \\ I_{45}^{II} \\ H_{55}^{III} \\ H_{55}^{III} \end{array}$	$\begin{array}{c} -G_{12}^{\rm I} \\ -G_{22}^{\rm I} \\ -G_{42}^{\rm I} \\ G_{22}^{\rm I} \\ G_{32}^{\rm II} \\ G_{52}^{\rm II} \\ 0 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} -G_{14}^{I} \\ -G_{24}^{I} \\ -G_{44}^{I} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -G_{44}^{III} \\ -G_{54}^{III} \end{array}$	$\begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ G_{25}^{II} \\ G_{35}^{II} \\ G_{55}^{II} \\ G_{45}^{III} \\ G_{55}^{III} \end{matrix}$	$\begin{bmatrix} U_1^I \\ U_2 \\ U_3^I \\ U_4 \\ U_5 \\ T_2 \\ T_4 \\ T_5 \end{bmatrix}$	
$ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -H_{2}^{1} \\ -H_{3}^{1} \end{array} $	III - 14 - 111 - 54 -	0 0 0 0 0 $-H_{45}^{III}$ $-H_{55}^{III}$	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ G_{44}^{111} \\ G_{54}^{111} \end{array}$	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ G_{45}^{III} \\ G_{55}^{III} \\ \end{array}$		$_{0}^{0})_{4}^{III}$ $_{0}^{0})_{5}^{III}$ $_{1}^{0})_{4}^{III}$ $_{1}^{0})_{5}^{III}$			(19)



شکل ۵– تغییرمکانهای نقطه میانی در مقطع انتهایی کنسول در معرض حرکت واحد تکیهگاهی



شکل ۶- نمایش جزءبندی دره(محیط نیمه بینهایت) و رسوب(محیط محدود)



شکل ۷ - بزرگنمایی مؤلفههای میدان جابهجایی سطحی دره رسوبی تحت برخورد قائم موج SH با زاویه صفر درجه و فرکانس بی بعد η_s = .75 برای ضخامت t = .4 نتایج تحقیق حاضر و مرجع[۳۲] به ترتیب با خطوط ممتد و نقاط مربع شکل نشان داده شده است

برای این دره رسوبی در شکلهای (۷)، (۸) و (۹) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده با نتایج مرجع[۳۲] مقایسه شده است. همچنان که مشاهده می شود، نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر تطابق خوبی با نتایج مرجع[۳۳] دارد. محیط نیمیهبینهایت $v_{\rm hs} = \rho_{\rm hs} = 0$ و مقادیر $v_{\rm hs} = 1/3$ و $\mu_{\rm hs} = \rho_{\rm hs} = 1$ و مقادیر مربوط به لایه رسوبی $v_{\rm v} = 1.7$, $\rho_{\rm v} = 1$, $\mu_{\rm v} = 1.5$ است. مؤلفه های جابه جایی سطحی برای نقاط در راستای محور x برای فرکانس بی بعد 7.5 = η_p (نیسبت به a) و ضخامت t = 0.4



شکل ۸- بزرگنمایی مؤلفههای میدان جابهجایی سطحی دره رسوبی تحت برخورد قائم موج SV با زاویه صفر درجه و فرکانس بی بعد η_s = .75 برای ضخامت 4. = t. نتایج تحقیق حاضر و مرجع[۳۲] به ترتیب با خطوط ممتد و نقاط مربع شکل نشان داده شده است



شکل ۹- بزرگنمایی مؤلفههای میدان جابهجایی سطحی دره رسوبی تحت برخورد قائم موج P با زاویه صفر درجه و فرکانس بی بعد η_s = .75 برای ضخامت t = .4 نتایج تحقیق حاضر و مرجع[۳۲] به ترتیب با خطوط ممتد و نقاط مربع شکل نشان داده شده است



شکل ۱۰- نمایی از سد با دیوارههای صلب

هیدرودینامیک به صورت $p^* = p/(\rho H)$ بی بعد شده است. همچنین مقدار فرکانس نیز با مقدار $m_l = \pi c/2H$ ، بی بعد شده است. در این معادله ω_l فرکانس طبیعی اول سد است.

۵– تحلیل دینامیکی مدل سرریز نیلوفری سد بارزو شیروان ۵–۱– تحلیل دینامیکی مدل سرریز نیلوفری بدون در نظر گرفتن محیط اطراف

در این مثال تحلیل دینامیکی مدل سرریز نیلوفری بدون در نظر گرفتن محیط اطراف آن در فضای فرکانسی مورد بررسی قرار می گیرد. هندسه مسئله و نحوه جزءبندی این سرریز در شکل (۱۳) نشان داده شده است. مشخصات مصالح به کار رفته بدین شرح است: دانسیته=۰۲۰ کیلو گرم بر متر مکعب، نسبت پواسون= ۲/۰، مدول برشی=۰۱^۹ × ۵/۷ نیوتن وزن بر متر مربع، نسبت میرایی=۵۰/۰.

به منظور بررسی محیط اطراف سرریز نیلوفری بر پاسخ دینامیکی آن، قسمتی از سرریز که در داخل خاک قرار دارد در دو راستا (y,z) کاملاً مقید میشود و در راستای سوم(x) تغییرمکان واحد اعمال میشود. تغییرمکان بالاترین نقطه سرریز در راستایی که تغییرمکان واحد اعمال شده است(x)، در فرکانسهای مختلف بررسی میشود. تغییرمکانها بر حسب فرکانس بیبعد شده نیسبت به فرکانس طبیعی 4-۳- تأیید نتایج اندر کنش محیط محدود، محیط نیمه بینهایت بی و محیط نیمه بینهایت سیال در تفرق امواج نیمه بینهایت سیال در تفرق امواج ۴-۳-- فشار هیدرودینامیکی وارد بر سد با دیواره های صلب ۴-۳-- فشار هیدرودینامیکی وارد بر سد با دیواره های صلب ۴-۳-- فشار هیدرودینامیکی وارد بر سد با دیواره های صلب محیط سازه، آب و خاک، همچنان که در شکل (۱۰) نیشان داده شده است، سد با دیواره صلب مدل شده و نتایج به دست آمده شده است، سد با دیواره صلب مدل شده و نتایج به دست آمده شده است، سد با دیواره صلب مدل شده و نتایج به دست آمده شده است، سد با دیواره صلب مدل شده و نتایج به دست آمده شده است. محیط سازه، آب و خاک، همچنان که در شکل (۱۰) نیشان داده شده است، سد با دیواره صلب مدل شده و نتایج مرجع [۳۳] مقایسه شده است. محق آب در این سد 100m = H بوده و عرض دیواره سد نیز Model است. در این مثال چگالی آب و دیواره سد نیز Model و 80m است. در این مثال چگالی آب و مسرعت موج در آب به ترتیب براب m مصالح به کار رفته به منظور مدلسازی به گونهای انتخاب شده که بیان کننده دیواره ملب برای سد و مخزن باشد. مشخصات مصالح به کار رفته به مورت زیر است:

دانسیته=۰۰۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب، نسبت پواسون= ۰/۲، مدول برشی=^{۱۳} ۱۰ × ۰/۹ نیوتن وزن بر متر مربع و نسبت میرایی=۰/۵۵.

موج SV با زاویه صفر درجه و دامنه واحد به این سد تابیده شده است. فشار هیدرودینامیکی وارد بر خط مرکزی دیواره سد که ناشی از زمینلرزه در راستای جریان بالادست به پاییندست سد است، همچنانکه در شکلهای (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است، در بعضی از فرکانسها محاسبه شده است. مقادیر فشار



شکل ۱۱– فشار هیدرودینامیکی وارد بر سد با دیوارههای صلب، ناشی از زمین لرزه در راستای جریان بالادست به پاییندست(موج SV فرکانس بیبعد fr=0.8)



شکل ۱۲ – فشار هیدرودینامیکی وارد بر سد با دیوارههای صلب، ناشی از زمین لرزه در راستای جریان بالادست به پاییندست(موج SV فرکانس بی بعد fr=2.4)



شکل ۱۳- هندسه و نحوه جزءبندی سرریز نیلوفری در معرض حرکت واحد تکیهگاهی



شکل ۱۴– تغییرمکان نقطه بالای سرریز در معرض حرکت واحد تکیهگاهی در مقابل فرکانسهای بیبعد شده



شکل ۱۵- نمایی از تغییر شکل مد اول سرریز مدل شده در نرم افزار ANSYS

پس از آن قطر داخلی سرریز ثابت و برابر ۸ متر می شود و به همین شکل تا رقوم ۱۵۱/۸۵ متر ادامه داشته و سپس با یک قوس دایروی به شعاع ۱۶ متر به تونل انحراف متصل می شود. هندسه مدل تهیه شده برای سیستم ترکیبی سازه، پی و آب در شکل (۱۷) نشان داده شده است.در برنامه نوشته شده اجزای مربوط به مرز سازه و پی، اجزای ایزوپارامتریک ۹ گرهای اند. همچنین اجزای مربوط به مرز سیال اجزای ثابت ۱ گرهای اند. شکل (۱۸) هندسه و جزءبندی سیال اطراف سرریز را نشان می دهد. مشخصات مصالح در نظر گرفته شده در مدلسازی به شرح زیر است:

بتن با دانسیته=• ۲۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب، نـسبت پواسـون=

(ω_l =15.386 s⁻¹) در شکل (۱۴) رسم شده است. همچنین لازم به ذکر است که فرکانس طبیعی اول سازه مطابق شکل (۱۵) از نرمافزار ANSYS به دست آمده است.

۵–۲– تحلیل دینامیکی سرریز نیلوفری با در نظر گـرفتن اندرکنش سرریز با مخزن و پی

در این مثال به بررسی تحلیل دینامیکی مدل سرریز نیلوفری سد بارزو شیروان با در نظر گرفتن اندرکنش خاک، سازه و آب در فضای فرکانسی پرداخته شده است. همچنانکه در شکل (۱۶) نشان داده شده است، تاج این سرریز در رقوم ۱۸۸ متر بوده و دارای قطر دهانه ۲۳ متر است و پروفیل قیف سرریز تا تراز ۱۷۱/۵ متر ادامه دارد و



شکل ۱۶– نمایی از پروفیل سرریز نیلوفری سد بارزو شیروان



شکل ۱۷ – نمایش تلفیق سه محیط و محل قرارگیری گره شماره ۱



شکل ۱۸ – جزءبندی سیال اطراف سرریز



شکل ۱۹– بزرگنمایی مؤلفه X میدان جابهجایی سطحی سرریز نیلوفری با در نظر گرفتن اندرکنش سرریز با شالوده و آب در گره ۱ تحت برخورد موج SV با زاویه و آزیموت صفر درجه



شکل ۲۰ – بزرگنمایی مؤلفه Y میدان جابهجایی سطحی سرریز نیلوفری با در نظر گرفتن اندرکنش سرریز با شالوده و آب در گره ۱ تحت برخورد موج SV با زاویه و آزیموت صفر درجه

برشی=۱۴۴۰ متر بر ثانیه، تراکم پذیر و غیرلزج. مدل تهیه شده تحت برخورد امواج SH ، P و SV با زاویه صفر درجه مورد بررسی قرار گرفته است. مؤلفه های جابه جایی سطحی برای نقطه بالای سرریز در دو حالت مخزن پر و خالی بهدست آمده و با هم مقایسه شده که در شکلهای (۱۹) الی بهدست آمده و با هم مقایسه شده که در شکلهای (۱۹) الی (۲۷) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در این شکلها فرکانسهای موج تابیده شده است. همچنان که در این شکلها ۰/۳، مدول برشی=^۹ ۱۰ × ۷/۵ نیوتن وزن بر متر مربع و نسبت میرایی=۵۰/۰. **شالوده** سنگ آهک دارای لایههای شیلت با دانسیته=۰۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، نسبت پواسون= ۲/۰، مدول برشی=۱۰۰× ۹ نیوتن وزن بر متر مربع و نسبت میرایی=۵۰/۰. **سیال** آب با دانسیته=۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، سرعت موج



شکل ۲۱ – بزرگنمایی مؤلفه Z میدان جابهجایی سطحی سرریز نیلوفری با در نظر گرفتن اندرکنش سرریز با شالوده و آب در گره ۱ تحت برخورد موج SV با زاویه و آزیموت صفر درجه







برخورد موج P با زاویه و آزیموت صفر درجه

شکل ۲۳ – بزرگنمایی مؤلفه Y میدان جابهجایی سطحی سرریز نیلوفری با در نظر گرفتن اندرکنش سرریز با شالوده و آب در گره ۱ تحت برخورد موج P با زاویه و آزیموت صفر درجه



شکل ۲۴ – بزرگنمایی مؤلفه Z میدان جابهجایی سطحی سرریز نیلوفری با در نظر گرفتن اندرکنش سرریز با شالوده و آب در گره ۱ تحت برخورد موج P با زاویه و آزیموت صفر درجه



شکل ۲۵ – بزرگنمایی مؤلفه X میدان جابهجایی سطحی سرریز نیلوفری با در نظر گرفتن اندرکنش سرریز با شالوده و آب در گره ۱ تحت برخورد موج SH با زاویه و آزیموت صفر درجه



شکل ۲۶ – بزرگنمایی مؤلفه Y میدان جابهجایی سطحی سرریز نیلوفری با در نظر گرفتن اندرکنش سرریز با شالوده و آب در گره ۱ تحت برخورد موج SH با زاویه و آزیموت صفر درجه



شکل ۲۷ – بزرگنمایی مؤلفه Z میدان جابهجایی سطحی سرریز نیلوفری با در نظر گرفتن اندرکنش سرریز با شالوده و آب در گره ۱ تحت برخورد موج SH با زاویه و آزیموت صفر درجه

بعدی پرداخته شد.

به منظور بررسی صحت تحقیق حاضر، مثالهایی ارائه شد. سرریز نیلوفری سد بارزو شیروان به عنوان مثال موردی استفاده شد. سپس به منظور بررسی سازه مذکور در ابتدا فرکانس طبیعی این سازه به دست آمد و پاسخ این سازه در اثر حرکت تکیهگاه صلب مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت پاسخ سازه با در نظر گرفتن اندرکنش سه محیط مورد بررسی قرار گرفت.

لازم به ذکر است که در تمامی مثالهای ارائه شده در این تحقیق محیط سازه و شالوده به صورت همگن، خطی و الاستیک فرض شد. همچنین محیط مخزن با فرض تراکمپذیر و غیرویسکوز بودن سیال و با صرفنظر از امواج سطحی به صورت محیط نیمه بینهایت مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین اثرات ناشی از توپوگرافی و نامنظمی زمین و تفرق امواج نیز در روند حل این مسئله در نظر گرفته شده است.

به دلیل وقوع پدیده میرایی تشعشعی و تغییرات در مشخصههای دینامیکی سیستم، پاسخها در حالت وجود بستر نیمهنامحدود همگن در مقایسه با حالت بستر صلب عموما کاهش مییابند. انعطاف پذیری بستر باعث کاهش سختی سیستم و در نتیجه کاهش در فرکانسهای مدهای ارتعاشی سیستم میشود. مشاهده می شود، مقادیر پاسخها در زمانی که مخزن پر است و اندرکنش آب با سازه درنظر گرفته شده است در فرکانسهای پایینتر از ۱/۵ برابر فرکانس مد اول ارتعاش سرریز، افزایش یافته و در فرکانسهای بالاتر از آن، کاهش یافته است. همچنین فرکانس تحریک سازه در زمانی که مخزن پر است کمتر از حالتی است که مخزن خالی است. همچنین در این شکلها اثرات مدهای ارتعاشی محیطهای سازه- سیال- یی مشاهده می شود.

جهت محورهای مختصات درنظر گرفته شده در این مسئله مطابق آنچه که در شکل (۱۵) نشان داده شده است. بر این اساس زمانی که موجهای SH ،SV و P با زاویه صفر به سازه برخورد می کنند به ترتیب پاسخها در راستای Y، X و Z بیشترین مقادیر را خواهند داشت. همچنین در برخورد موجهای SV و SH به سازه، فرکانس اول سازه بیشتر تحریک شده درحالی که در برخورد موج P، تحریکات فرکانس اول و دوم سازه نسبت به یکدیگر تفاوت کمتری دارند.

۶- نتيجه گيري

در این تحقیق با استفاده از روش اجزای مرزی در فضای فرکانسی به بررسی پاسخ لرزهای سازه ها با درنظر گرفتن اندرکنش سازه- پی، پی- سیال و سیال- سازه به صورت سه

- 1. method of collocation
- 2. collocation point
- 1. Angat, A., "Le tremblement de Terre de Province, Annals du Bureau Centeral Meterologique de France," Memories, pp. 37-93, 1909.
- Brambati, A., Faccioli, E., Carulli, E. B., Culchi, F., Onofri, R., Stefanni, S., and Ulcigrai, F., "Studio de Microzonizzaione Sismica Dell'area di Tarcento (Friuli)," Edito da Regiona Autonoma Friuli Venesia Giulia, 1980.
- 3. Siro, L., "Southern Italy November 23 1980 earthquake," *Proceeding of the* 7th *European conference on earthquake engineering*, Athens, Greece, pp. 20-25, September 1982.
- 4. Singh, S. K., Lermo, J., Dominguez, T., Ordaz, M., Espinosa, J. M., Mena, E., and Quaas, R., "The Mexico earthquake of September 19, 1985, A Study of Amplification of Seismic Waves in the Valley of Mexico with Respect to a Hill Zone Site," *Earthquake Spectra*, Vol. 4, pp. 653-673, 1988.
- 5. Celebi, M., and Hanks, T., "Unique Site Response Condition of Two Major Earthquakes of 1985: Chile and Mexico," *Proceedings of the International Symposium of Engineering Geology Problems in Seismic Areas, Bari, Italy*, 4 April 1986.
- Finn, W. D. L., Ventura, C. E., and Schuster, N. D., " Ground motions during the 1994 Northridge Earthquake," *Canadian Journal of Civil Engineering* , Vol. 22, No. 2, pp. 300-315, 1995.
- Hiroshi, K., "The Cause of the Damage Belt in Kobe: the Basin-Edge Effect Constructive Interference of the Direct S-Wave with the Basin-Induced Diffracted/Rayleigh Waves," *Seis. Res. Lett.*, Vol. 67, No. 5, pp. 25-30, 1996.
- Athanasopoulos, G. A., Pelkis, P. C., and Leonidou, E. A., "Effect of Surface Topography on Seismic Ground Response in the Egion (Greece) 15 June 1995 Earthquake," Int. Journal of Soil Dynamics and

اندرکنش سیال با سازه، تغییرات اساسی در پاسخ لرزهای سیستم خواهد گذاشت. به گونهای که مقادیر پاسخها در فرکانسهای پایینتر از ۱/۵ برابر فرکانس بیبعد سازه، حدود ۱۵ درصد افزایش یافته ودر فرکانسهای بالاتر از ۱/۵ برابر فرکانس بیبعد سازه، بین ۵ تا ۱۵ درصد کاهش یافته است. همچنین وجود سیال در تماس با بدنه سازه باعث افزایش جرم مؤثر و

واژه نامه

- 3. influence matrices
- 4. coupled system

مراجع

Earthquake Engineering, Vol. 18, pp. 135-149, 1999.

- Tsai, C. S., and Lee, G. C., "Time Domain Analysis of Dam-Reservoir System. II: Substructure Method," *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 117, pp. 2007-2026, 1991.
- Chopra, A. K., and Chakrabarti, P., "Earthquake Analysis of Concrete Gravity Dams Including Dam-Water-Foundations Rock Interaction," Earthquake Eng. and Struct. Dyn., Vol. 9, pp. 363-383, 1981.
- Hall, J. F., and Chopra, A. K., "Two-Dimensional Dynamic Analysis of Concrete Gravity and Embankment Dams Including Hydrodynamic Effects," *Earthquake Eng. And Struct.Dyn.*, 10, pp. 305-332, 1982a.
- Hall, J. F., and Chopra, A. K., "Hydrodynamic Effects in the Response of Concrete Gravity Dams," *Earthquake Eng. And Struct. Dyn.*, Vol. 10, pp. 333-345, 1982b.
- 13. Fenves, G., and Chopra, A. K., "Effects of Reservoir Bottom Absorption and Dam-Water-Foundation Rock Interaction on Frequency Response Functions for Concrete Gravity Dams," *Earthquake Eng. and Struct. Dyn.*, Vol.13, pp. 13-31, 1985.
- 14. Lotfi, V., Roesset, J. M., and Tassoulas, J., "A Technique for the Analysis of the Response of Dams to Earthquakes," *Earthquake Eng. And Struct.Dyn.*, Vol. 15, pp. 463-490, 1987.
- 15. Kakuda, K., and Tosaka, N., Numerical Analysis of Coupled Fluid-Elasticity Systems using the BEM, in Boundary Elements, Springer-Verlag, Berlin.
- 16. Antes, H., and Von Estorff, O., "Analysis of Absorption Effects on the Dynamic Response of Dam Reservoir Systems by Element Methods," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.15, pp. 1023-1036, 1987.

- Medina, F., and Dominguez, J., "Boundary Elements for the Analysis of the Seismic Response of Dams Including Dam-Water-Foundation Interaction Effects. I," *Eng.Analysis with B.E.*, Vol.6, pp. 151-157, 1989.
- Dominguez, J., and Medina, F., "Boundary Elements for the Analysis of the Seismic Response of Dams Including Dam-Water-Foundation Interaction Effects. II," *Eng. Analysis with B.E.*, Vol.6, pp. 158-163, 1989.
- 19. Medina F., Dominguez J., and Tassoulas J. L., "Response of Dams to Earthquakes Including Effects of Sediments," *Journal of Struct. Eng. ASCE*, Vol. 116, pp. 3108-3121, 1990.
- 20. Hall, J. F., and Chopra, A. K., "Dynamic Analysis of Arch Dams Including Hydrodynamic Effects," *Journal of. Eng. Mech. Div., ASCE*, Vol. 109, pp. 149-163, 1983.
- 21. Tsai, C. S., and Lee, G. C., "Arch Dam-Fluid Interactions by FEM-BEM and Substructure Concept," *Int. Journal of Num. Meth. Eng.*, Vol. 24, pp. 2367-2388, 1987.
- Wang, M. H., and Hung, T. K., "Three-Dimensional Analysis of Pressures on Dams," *Journal of of Eng.Mech.*, ASCE., Vol.116, pp. 1290-1304, 1990.
- 23. Fok, K., and Chopra, A. K., "Hydrodynamic and Foundation Flexibility Effects in Earthquake Response of Arch Dams," *Journal of Struct. Eng. ASCE*, Vol.112, pp.1810-1828, 1986c.
- 24. Fok, K., and Chopra, A. K., "Water Compressibility in Earthquake Response of Arch Dams," *Journal of Struct. Eng.*, Vol.113, pp. 958-975.
- Maeso, O., and Dominguez, J., "Earthquake Analysis of Arch Dams. I: Dam-Water-Foundation Interaction," *Journal of Eng. Mech.*, ASCE, Vol. 119, pp. 496-512, 1993.
- 26. Dominguez, J., and Maeso, O., "Earthquake Analysis of Arch Dams. II: Dam-Water-Foundation

Interaction," *Journal of Eng. Mech., ASCE*, Vol. 119, pp. 513-530, 1993.

- 27. Maeso, O., Aznarez, J. J., and Dominguez, J., "Three-Dimensional of Reservoir Sediment and Effects on the Seismic Response of Arch Dams," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 33, pp. 1103 – 1123, 2004.
- Aznarez, J. J., Maeso, O., and Dominguez, J., "BE Analysis of Bottom Sediments in Dynamic Fluid-Structure Interaction Problems," Engineering Analysis with Boundary Elements, Vol. 30, pp. 124– 136, 2006.
- 29. Mosahebi, P., Noorzad, A., Rahimian, M., and Omidvar, B., "The Effect of Interaction between Reservoir and Multi-Layer Foundation on the Dynamic Response of a Typical Arch Dam (Karaj Dam) to "P" and "S" Waves," *The Arabian Journal For Science and Engineering*, Vol. 34, pp. 91-107, 2009.

۳۰. مصاحبی، پ.، "تحلیل دینامیکی سدهای دوقوسی بتنی با درنظر گرفتن اندرکنش مخزن و پی لایهای با استفاده از روش اجزای مرزی،" رساله دکتری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.

- 31. Dominguez, J., "Boundary Elements in Dynamics," Computational Mechanics Publications, Southampton, U.K., 1993.
- 32. Reinoso, E., "Scattering of seismic waves: applications to the Mexico City valley," WIT Press: London, 2002.
- 33. Fahjan, Y. M., Borekci, O. S., and Erdik, M., "Earthquake-Induced Hydrodynamic Pressures on a 3D Rigid Dam–Reservoir System using DRBEM and a Radiation Matrix," Int. *Journal of Numer. Meth. Engg.*, Vol. 56, pp. 1511–1532, 2003.