



بررسی رفتار زهکشهای عمقی در کاهش نیروهای بالابرنده در پی سدهای بتنی وزنی به کمک حل سه بعدی معادله تراوش

بهزاد ملوندی، کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی، مهندسین مشاور آب پوی

تلفن: ۰۵۱۱-۸۶۷۱۰۵۶، نمابر: ۰۵۱۱-۶۰۴۷۷۰۰، پست الکترونیکی: behzad-malvandi@yahoo.com

جلیل ابریشمی، دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

تلفن: ۰۹۱۵۵۰۹۴۹۲۲، نمابر: ۰۵۱۱-۸۷۶۳۳۰۱، پست الکترونیکی: j-abrighami@ferdowsi.um.ac.ir

علی اکبر اختری، دانشجوی دکتری آب دانشگاه فردوسی مشهد، عضو هیات علمی دانشگاه رازی

تلفن: ۰۵۱۱-۶۰۶۳۰۴۴، نمابر: ۰۵۱۱-۶۰۴۷۷۰۰، پست الکترونیکی: akhtari63@yahoo.com

چکیده:

یکی از عوامل موثر در کاهش نیروی مخرب بالابرنده در سدهای بتنی وزنی، ایجاد زهکشهای عمقی است، همچنین با احداث پرده های آب بند که معمولا بعد از تزریق آب بندی پی ایجاد می شود می توان نیروی بالابرنده را کاهش داد.

در این تحقیق با فرض فضای سه بعدی، معادله تراوش در حالت پایدار به کمک روش المانهای محدود و با استفاده از نرم افزار ANSYS 5.4 حل گردیده، سپس رفتار زهکشهای عمقی برای سد بتنی وزنی زاوین به عنوان مطالعه موردی بررسی شده است. از جمله عوامل موثر در بررسی اثرات زهکشها، قطر، ارتفاع و فاصله آنها از یکدیگر است. همچنین زاویه و موقعیت حفاری زهکش در مقاطع سد نقش بسزایی در مقدار نیروی بالابرنده دارد. در این مقاله ضمن بررسی پارامترهای موثر در نیروی بالابرنده، به بهینه سازی هرکدام از فاکتورها در کاهش این نیرو پرداخته شده است. در نتیجه مشخص شد که افزایش قطر زهکش اثر کمی در کاهش نیروی بالابرنده دارد. اما افزایش عمق، موقعیت، زاویه حفاری و کاهش فاصله زهکش ها از بالادست، می تواند نقش بسزایی در کاهش نیروی بالابرنده داشته باشد.

واژه های کلیدی: سد بتنی وزنی، زهکش عمقی، پرده تزریق، المانهای محدود، سد زاوین، ANSYS

مقدمه

برای کنترل سیلابها و بهره برداری از آبهای سطحی، احداث سد به عنوان یکی از بهترین راه حلها معرفی می شود. سدها بدلیل هزینه بالای عملیات اجرایی و همچنین از جهت پیچیدگی تحلیل و طراحی، سازه هایی مهم به شمار می روند و از این رو شناخت و برآورد دقیق نیروهای وارده به آنها باید مورد توجه قرار گیرد. یکی از نیروهای

Computer For Civil Software Engineering Group : www.civil-iran.com , www.ccsofts.com ,
www.AnjomanElmi.com

مخرب وارده به سدها ناشی از فشار بالابرنده است که به دلیل وجود آب در بالادست سد و نفوذ آن در بدنه سد و پی، در مقاطع مختلف می تواند نیروی رو به بالایی را بوجود آورد که باعث کاهش مقاومت برشی مقاطع مختلف سد و پی، ایجاد تنش کششی و واژگونی سد شود. با توجه به آنچه گفته شد، بمنظور رسیدن به یک طراحی بهینه و کاهش ابعاد سد، اقداماتی جهت کاهش نیروی بالابرنده انجام می شود که از جمله آنها ایجاد زهکش های قائم می باشد.

بررسی رفتار زهکشها در اثر تغییر پارامترهای مختلف آنها

در اثر عبور آب از داخل خلل و فرج بدنه و پی سدهای بتنی و بواسطه افزایش فشار هیدرواستاتیک که تابع عمق آب می باشد، نیرویی مخالف با وزن سد حادث می شود که به آن نیروی بالابرنده یا نیروی برخاستی می گویند. واضح است این نیرو به دلیل طبیعت آن به صورت یک نیروی مخرب و بر هم زننده پایداری بر بدنه سد وارد می شود. عوامل موثر در این نیرو، خصوصیات سنگ پی، پرده های آب بند، شرایط و موقعیت زهکش ها و چگونگی ساخت سد و دقت در این مساله است [۱].

زهکش های عمقی معمولا در سنگ های ترک خورده برای کاهش نیروی بالابرنده حفر می شوند. احداث زهکشها در سنگهایی که تزریق آنها از مشکلاتی برخوردار است، می تواند کمک شایان توجهی در کاهش این مشکلات و حفظ پتانسیل هیدرولیکی در مقدار مناسب کند. چنانچه نفوذپذیری سنگ بستر کم باشد، فاصله زهکشها از یکدیگر نیز باید کمتر باشد. چاههای زهکش معمولا در راستای قائم حفر می شوند، البته هنگامی که نزدیک پرده آب بند حفر شوند، باید به سمت پایین دست متمایل شده یا از پرده تزریق دور شوند. گرچه در مورد سدهای قوسی، برخی مهندسان ترجیح می دهند زهکش ها را به سمت بالادست مایل کنند [۲].

در مورد اثر چاههای زهکش در کاهش فشار بالابرنده، نظریات مختلفی وجود دارد که بر اساس یکی از قدیمی ترین آنها، تئوری براتز، بیشترین کاهش فشار بالابرنده مربوط به حالتی است که زهکش ها به پاشنه سد نزدیکتر شوند [۳].

پژوهشی که توسط گروهی به نمایندگی از ده کشور بر اساس مدل سازی عددی، بر روی سدهای موجود در سرتاسر دنیا انجام گرفت، زهکش های عمقی را موثرترین روش کاهش فشار بالابرنده نشان داد. بر اساس تحقیقات گروه مزبور، در وجه مشترک سد و پی، پراکندگی و شکست نیروهای بالابرنده در سدهای وزنی بوضوح نمایش داده شده است، حال آنکه برای سدهای قوسی پراکندگی بسیار بزرگتر و کاهش فشار با شدت کمتری همراه بود، که علت این اختلاف بین سدهای وزنی و قوسی، قرارگرفتن زهکش ها در بیشتر سدهای وزنی، بلافاصله پایین دست پرده آب بند و قرارگرفتن آنها در سدهای قوسی در بخش پایین دست سد است [۴].

در شکل ۱ نمودار توزیع فشار بالابرنده که مورد قبول بیشتر طراحان می باشد نشان داده شده است. مطابق این شکل مقدار فشار در پاشنه و پنجه سد به ترتیب برابر با ارتفاع سراب و پایاب است و در خط زهکش ها نیز با رابطه $\gamma_w [h_2 + b(h_1 - h_2)]$ بدست می آید که h_1 و h_2 به ترتیب برابر با ارتفاع آب در سراب و پایاب، γ_w وزن مخصوص آب و b ضریبی است که مقادیر متفاوتی را به خود اختصاص می دهد. تغییرات فشار در حد فاصل این نقاط نیز خطی فرض شده است. انجمن آبادانی ایالات متحده (USBR)، ضریب b را با فرضیاتی، معادل $1/3$ در

سه نمایندگی فدرال ایالات متحده شامل دسته مهندسی ارتش ایالات متحده، USBR و کمیسیون تنظیم انرژی، آیین نامه ای برای ارزیابی پایداری سدهای وزنی تهیه نمودند که بر مبنای استفاده از آنالیز متداول تعادل دیگرام آزاد مقاطع سد بتنی وزنی می باشد. گروه های مزبور، در حالت بدون زهکش، توزیع خطی را برای گرادیان هیدرولیکی از سراب در پاشنه تا پایاب در پنجه سد، فرض می کنند. همچنین در حالت وجود زهکش، با تعریف کارایی زهکش E، مقدار فشار منفذی را در مقطع پی سد زیر خط زهکش ها نشان می دهند [۵].

معادلات حاکم

معادله عمومی جریان آب در محیط های متخلخل همان معادله پیوستگی است که در تلفیق با رابطه داری برای دبی عبوری از یک محیط متخلخل به شکل زیر تبدیل می شود:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \rho \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) \right] \quad (1)$$

که در آن چگالی سیال، M جرم عبوری، h پتانسیل هیدرولیکی و k_i ضریب هدایت هیدرولیکی (نفوذپذیری) محیط متخلخل در جهت محور i می باشد ($i = x, y, z$). در محیط های اشباع و در حالت تراوش دائم، میزان تغییرات آب موجود در واحد حجم نسبت به زمان برابر صفر است. به عبارت ساده تر $\frac{\partial M}{\partial t} = 0$ و در محیط های همگن و دارای خواص یکنواخت در همه جهتها ضریب نفوذپذیری یکسان بوده و در این صورت رابطه بالا به شکل زیر تبدیل می شود که به معادله لاپلاس مشهور می باشد [۳و۶]:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (2)$$

برای حل معادله حاکم، در این پژوهش از روش المانهای محدود استفاده شده است. در این روش با توجه به نامشخص بودن تغییرات واقعی تابع اصلی (میدان) مانند جابجایی، تنش، حرارت، فشار و یا سرعت در داخل جسم، یک تابع ساده برای تغییر میدان فرض می گردد. این تابع که باید معادلات دیفرانسیل تعادل، روابط تنش- کرنش و شرایط سازگاری را در هر نقطه از محیط برقرار کند، بر حسب مقادیر اصلی در گره ها نوشته می شود و در زمان نوشتن معادلات حاکم بر جسم، مجهولات جدید همان مقادیر گرهی خواهند بود. با حل این معادلات، مقادیر مجهول در گره ها و از آنجا توابع فرض شده کاملاً معین می شود [۷].

به منظور دستیابی به رفتار و شرایط بهینه زهکشها از جمله قطر، عمق، فاصله از بالادست، مقدار زاویه و غیره در راستای کمینه کردن نیروی بالابرنده، مدل المان محدود به کمک نرم افزار ANSYS5.4 و سد بتنی وزنی زاوین به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد.

سد زاوین، سدی بتنی وزنی با ارتفاع تقریبی ۵۵ متر، بزرگترین عرض در پی معادل ۵۰ متر و طول تاج ۱۲۰ متر است که در ۹۵ کیلومتری شمال شهر مشهد در بخش زاوین شهرستان کلات و در ۱/۵ کیلومتری روستای زاوین علیا، در محلی به نام دوآبی بر روی رودخانه زاوین از سرشاخه های رودخانه قره تیکان احداث شده است. نما و مقطعی از این سد به همراه دستگاههای مختصات کلی و محلی (در هر مقطع سد) بکار رفته و پارامترهای بررسی شده زهکش ها در این پژوهش، در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای ایجاد مدل هندسی المان محدود، سد به همراه بخشی از سنگ بستر که در پلان از هر طرف سد به مقدار $H_{max}/2$ در اطراف آن و در عمق به مقدار H_{max} واقع است، انتخاب شد که در آن H_{max} ارتفاع بلندترین مقطع سد است. سنگ بستر همگن فرض گردید، گرچه با توجه به بررسی نمونه های بدست آمده از گمانه های اکتشافی، سنگ بستر همگن نبوده و برای دستیابی به نفوذ پذیری معادل از میانگین وزنی در عمق سنگ با توجه به ضخامت لایه ها استفاده شد.

در این تحقیق، پارامترهای مربوط به زهکش های عمقی به طور مجزا مورد بررسی قرار گرفت. سپس با تغییر این پارامترها و انجام تحلیل سه بعدی سد و پی، تغییرات کارایی زهکش در مقابل پارامتر مورد نظر بررسی گردید. انتخاب مقدارهای متغیر برای هر پارامتر، تابع موارد کاربردی و محدودیت اعمال شده توسط هندسه سد زاوین است که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است.

شایان ذکر است که کارایی در این تحقیق به دو مفهوم تعریف شده است، اول کارایی زهکش در کاهش نیروی بالابرنده که معادل با نسبت کاهش نیروی بالابرنده در شرایط جدید به نیروی بالابرنده بدون زهکش است. دوم، کارایی زهکش در افت فشار که به مفهوم کاهش نسبی فشار بالابرنده در راستای گالری (نسبت به همان فشار بدون وجود زهکش و گالری) می باشد.

قطر زهکش

اولین پارامتر مورد بررسی در این تحقیق، قطر زهکش است. بمنظور پی بردن به میزان تاثیر قطر زهکش در کارایی آن، سیستم برای قطرهای مختلف زهکش تحلیل گردید. بر اساس نتایج تحلیل که در جدول ۱ نمایش داده شده (L ضخیم ترین مقطع سد و r قطر زهکش می باشد)، کارایی زهکش در کاهش نیروی بالابرنده و افت فشار، تقریباً مستقل از قطر نشان داده شد و لذا قطر زهکش در کاهش اثرات نیروی بالابرنده نقشی نداشته، عامل تعیین کننده آن مسائل اجرایی می باشد. شایان توجه است که در جدول مزبور، مقاطع ۱ تا ۴ به شکل دلخواه از مناطق مختلف سد انتخاب شده اند و سایر مقاطع نیز نتایجی مشابه آنها را نشان می دهند.

عمق زهکش در بستر

نتایج این پژوهش که در شکل ۳ آمده است (d عمق زهکش در پی می باشد)، نشان می دهد که عمق زهکشا تاثیر شایان توجهی در کارایی آنها دارد. مقدار افزایش کارایی زهکش ها با افزایش عمق آنها تا عمقی معادل ۰/۸ ارتفاع سد در محل زهکش ها، بسیار روشن است اما افزایش بیشتر آن تاثیر چندانی در افزایش کارایی آنها ندارد.

زاویه زهکش

مایل کردن زهکش ها به سمت بالادست سد با توجه به نزدیک کردن آنها به سراب می تواند تاثیر زیادی بر کاهش بیشتر نیروی بالابرنده داشته باشد. مطابق شکل ۴، میزان تاثیر افزایش زاویه زهکش با راستای قائم و متمایل کردن آن به سمت بالادست برای زهکش ها و بر حسب عمق آنها متفاوت است. بدین مفهوم که در زهکش های کناری و در اعماق زیاد، مایل کردن هر چه بیشتر زهکش ها به سمت بالادست، کارایی آنها را افزایش می دهد و برای زهکش های میانی، بهترین زاویه، بیشترین مقدار آن نخواهد بود. به عنوان نمونه در این سد که بیشترین زاویه ممکن از لحاظ اجرایی برای زهکش ها حدود ۲۳ درجه با راستای قائم است، در زهکش های واقع در کنسول مرکزی، زاویه ۱۵ درجه بهترین کارایی زهکش ها را نشان می دهد.

کاهش فاصله زهکش ها از بالادست سد، همچون مایل کردن آنها می تواند کارآیی زهکش ها را در کاهش نیروی بالابرنده تحت تاثیر قرار دهد.

نتایج بدست آمده که در شکل ۵ ارائه شده است (1) عرض سد در پایین ترین ارتفاع مقطع دارای زهکش و s فاصله زهکش از بالادست در پایین ترین تراز سد در مقطع مزبور می باشد، نشان می دهد که در زهکش های کناری، نزدیک شدن گالری و زهکش ها به بالادست سد تا حد ممکن، کارآیی آنها را تا بیشترین مقدار ممکن افزایش می دهد. اما در زهکش های میانی موقعیت یافته شده برای بهترین کارآیی زهکش، نزدیکترین محل به بالادست نمی باشد.

نتیجه گیری

بررسی رفتار زهکش ها در اثر تغییرات پارامترهای مختلف آنها که در این مقاله به آن پرداخته شد، نتایج زیر را در بر دارد:

- افزایش قطر زهکش ها کارآیی آنها را به مقدار بسیار ناچیزی افزایش می دهد، به عبارت دیگر عملا قطر زهکش ها در کارآیی آنها تاثیر چندانی ندارد، بگونه ای که با تغییر قطر آنها به میزان حدودا ۴ برابر، کارآیی آنها کمتر از ۱٪ تغییر می کند. بنابراین انتخاب قطر زهکش ها تابع ملاحظات اجرایی است.
- عمق زهکش ها اثر شایان توجهی در کارآیی آنها دارد، بدین ترتیب که افزایش عمق زهکش ها کارآیی آنها را افزایش می دهد. شدت این افزایش برای مقاطع واقع در اعماق پایین بیشتر است و حد اکثر عمق موثر زهکش ها معادل $0.8H$ می باشد که H ارتفاع سد در محل زهکش است.
- زاویه دار کردن زهکش ها به سمت بالادست، در مقاطع و ترازهای مختلف نتایج متفاوتی به دنبال دارد. چنانچه در مقاطع کنسول مرکزی، مناسب ترین زاویه زهکش نسبت به راستای قائم برای این سد، زاویه ۱۵ درجه است. اما در مقاطع کناری معمولا ایجاد زهکش ها با بزرگترین زاویه های ممکن، کارآیی زهکش ها را بیشتر افزایش می دهد.
- موقعیت زهکش ها و گالری نسبت به بالادست، در مقاطع مختلف اثرات متفاوتی دارد. به طور کلی می توان گفت که با نزدیک کردن زهکش ها و گالری تا مقداری مشخص و حدی به بالادست، کارآیی آنها افزایش می یابد اما نزدیک شدن بیش از آن مقدار به بالادست اثر معکوس دارد.

فهرست منابع:

[۱] ابریشمی، جلیل. وهاب رجایی، ناصر. (۱۳۸۰). "سدهای بتنی طرح و اجرا"، چاپ اول انتشارات آستان قدس رضوی.

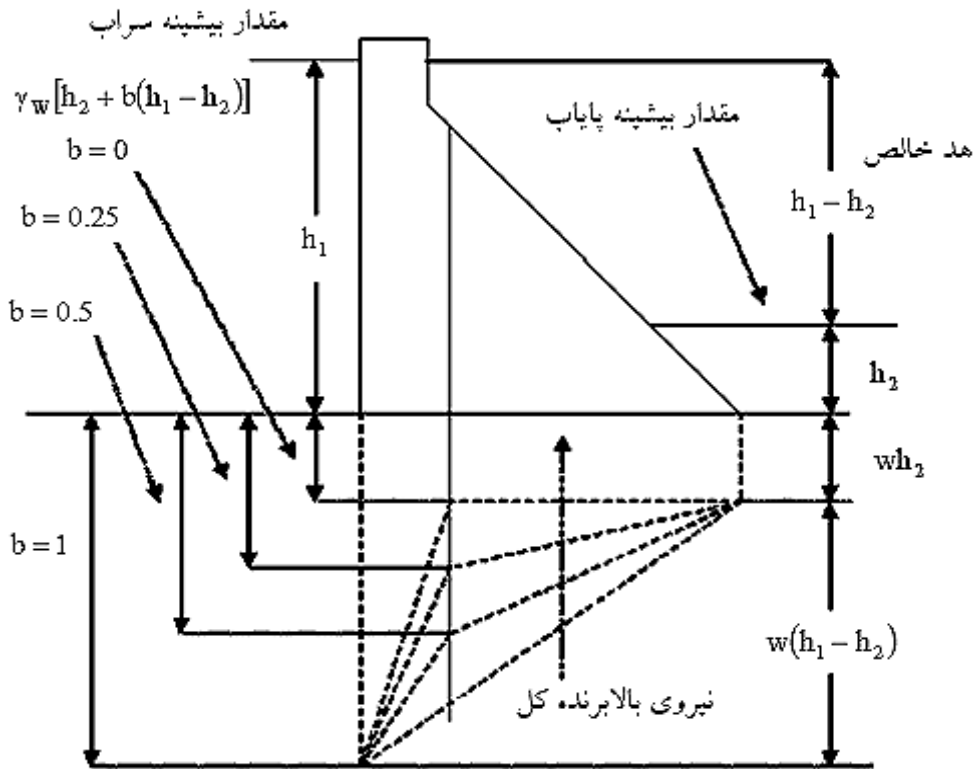
[2] Varshney, R.S.(1982) "Concrete Dams", Oxford & IBH Publishing Co.

[۳] یقینی، امیر. (۱۳۷۹). "منطقه بهینه زهکشها در سدهای بتنی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

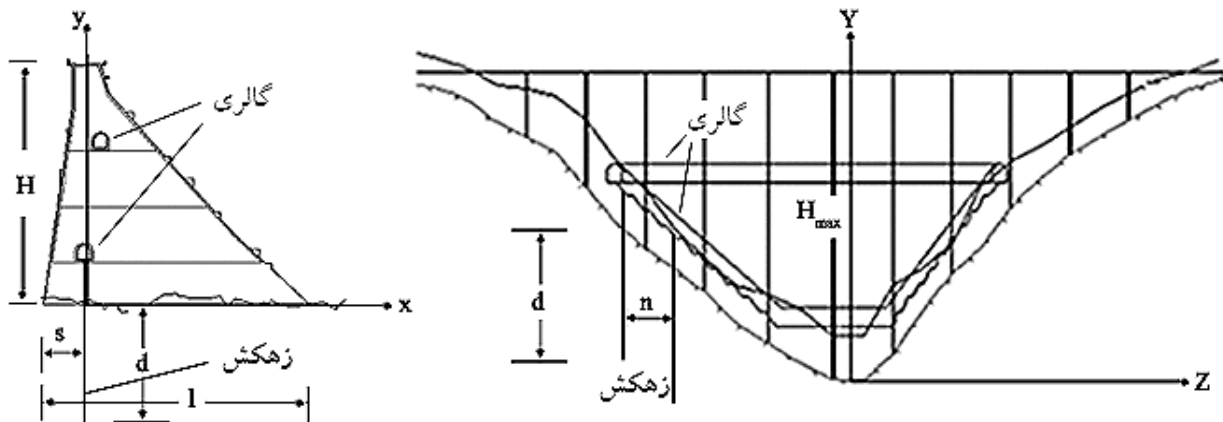
[4] Ruggeri, G.(2004) "Working Group on Uplift Pressures under Concrete Dams", ICOLD European Club .

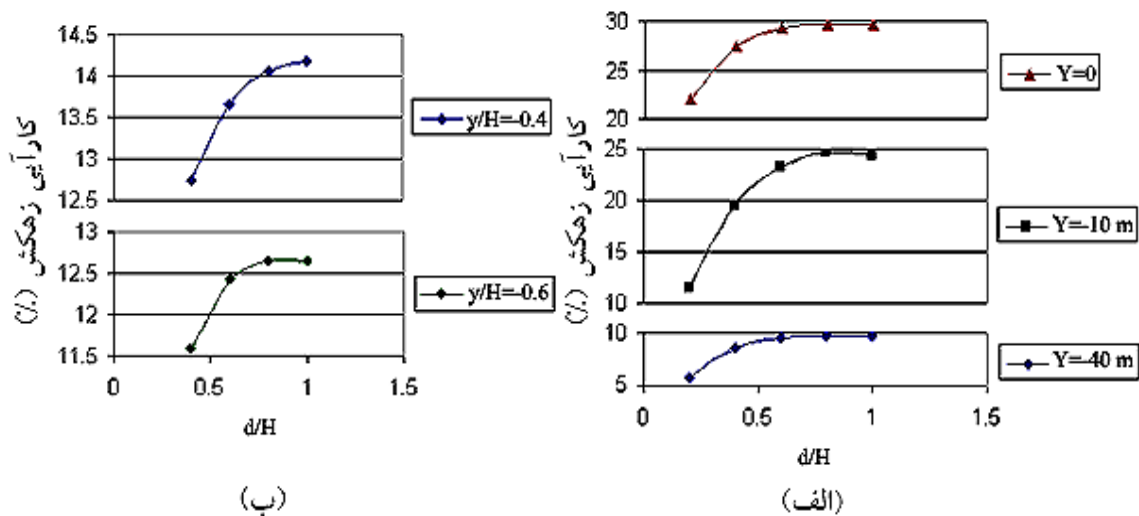
[5] Ebeling, R.M., Nuss, L.K., Tracy, F.T., Brand, B.(2000) "Evaluation and Comparison of Stability Analysis and Uplift Criteria for Concrete Gravity Dams by Three Federal Agencies", US Army Corps of Engineers.

[۶] کریزیگ، ایروین. (۱۳۸۱). "ریاضیات مهندسی پیشرفته"، چاپ چهارم انتشارات ارگ.
[۷] طاحونی، شاپور. (۱۳۷۵). "اجزای محدود برای تحلیل سازه ها"، چاپ دوم انتشارات علم و ادب.

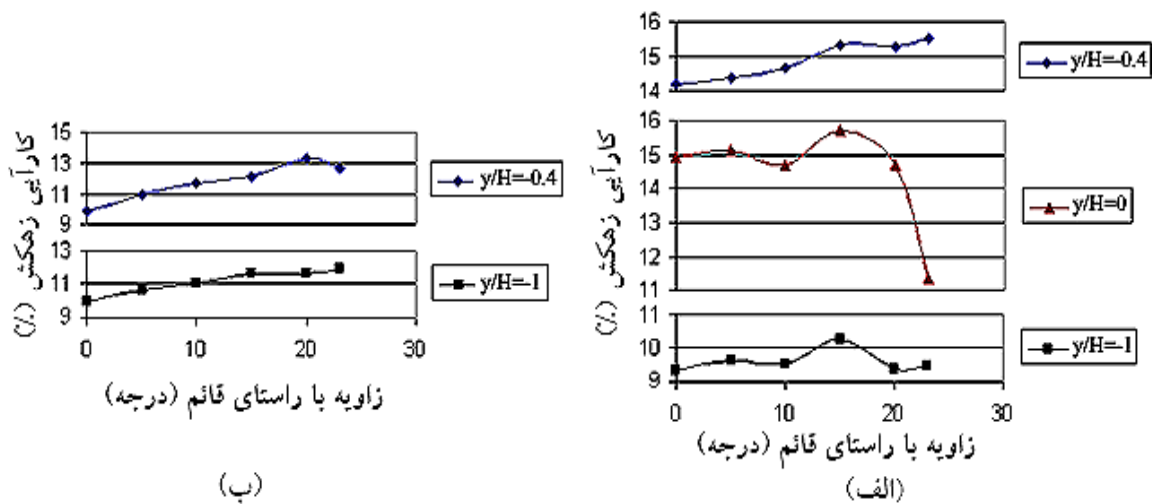


شکل ۱- نمودار توزیع فشار بالا برنده در کف سدها [۳]

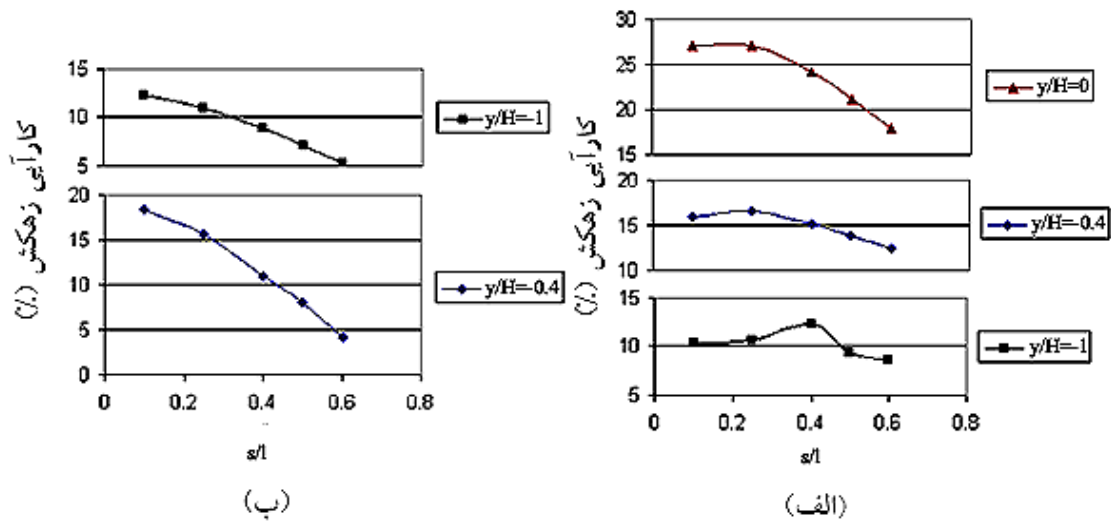




شکل ۳- الف- کارآیی زهکش ها در کاهش فشار بالابرنده برای عمق های مختلف (d) ب- کارآیی زهکش کناری در کاهش نیروی بالابرنده برای عمق های مختلف



شکل ۴- کارآیی زهکش ها در کاهش نیروی بالابرنده برای زاویه های مختلف (الف) زهکش میانی (ب) زهکش کناری



شکل ۵- کارایی زهکش ها در کاهش نیروی بالابرنده برای فاصله های مختلف آنها از بالادست (س)
(الف) زهکش میانی (ب) زهکش کناری

جدول ۱-الف- کارایی زهکش ها در کاهش نیروی بالابرنده برای قطرهای مختلف (2r)

$10^4 * \frac{2r}{L}$	کارایی زهکش (%)			
	مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳	مقطع ۴
۵/۰۸	۱۷/۶۱	۲۱/۴۷	۱۴/۰۶	۱۲/۹۷
۱۱/۲	۱۷/۷۸	۲۱/۸۴	۱۴/۳۲	۱۳/۱
۱۵/۲	۱۷/۸	۲۱/۸۶	۱۴/۳۳	۱۳/۱۱
۲۰/۲	۱۷/۸	۲۱/۸۷	۱۴/۳۴	۱۳/۱۲

جدول ۱-ب- کارایی زهکش ها در کاهش فشار بالابرنده برای قطرهای مختلف

$10^4 * \frac{2r}{L}$	کارایی زهکش (%)		
	Y=0	Y=-10 m	Y=-40 m
۵/۰۸	۲۷/۸۶	۲۱/۳۲	۶/۵۶
۱۱/۲	۲۸/۸۹	۲۲	۶/۶۲
۱۵/۲	۲۸/۹۱	۲۲/۰۳	۶/۶۳
۲۰/۲	۲۸/۹۷	۲۲/۰۷	۶/۶۳