



تعیین ابعاد و زاویه بهینه برای زهکش پنجه ای در سد های خاکی همگن با استفاده از مدل

فیزیکی و نرم افزار PLAXIS

نویسنده نجف پور^۱، محمد شایان نژاد^۲

۱- دانشجوی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

navideh_najafpour@yahoo.com

shayannezhad@yahoo.com

خلاصه

از مهمترین ویژگی ها یا کمیت های مورد نیاز در بررسی ها و تحلیل های یک سد خاکی ، اندازه گیری فشار آب منفذی ، میزان نشت و زه خروجی از بدنه و پی آن است که اندازه گیری این کمیت ها از همان شروع ساخت سد آغاز می گردد . در این مقاله مدلی فیزیکی از یک سد خاکی همگن در فلوم آزمایشگاهی تحت سه زاویه مختلف زهکش پنجه ای اجرا و میزان دبی نشت به صورت حجمی اندازه گیری گردید. و در آخر با توجه به نتایج مدل آزمایشگاهی و نرم افزار PLAXIS بهترین زاویه و شاخص پی بعد با عنوان p/h برای زهکش پنجه ای تعیین شد.

کلمات کلیدی: سد خاکی همگن ، نشت ، زهکش پنجه ، مدل فیزیکی

۱. مقدمه

طراحی و ساخت سد های خاکی از جمله مواردی است که قدمت آن به چندین هزار سال می رسد و در بسیاری از کشورهای خشک و نیمه خشک از جمله کشورمان ایران در این زمینه تجربیات زیادی موجود است. علی رغم تمام تجربیات و پیشرفت در طراحی و ساخت این سدها، بدلیل اثر قابل توجه عوامل و پدیده های مختلف طبیعی بر روی رفتار این سدها از جمله شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیک، شرایط هیدرولوژیک و ژئوهیدرولوژیک و شرایط اقلیمی این علم با مشکلات زیادی مواجه است که نادیده گرفتن آن موجب شکست پروژه و خسارات جانی و مالی فراوانی می شود. طراحی و ساخت اولین سد های خاکی مدرن در ایران به اواسط سال های ۱۳۲۰، یعنی خاتمه ی جنگ جهانی دوم بر می گردد. در آن سال ها کار های مطالعاتی در زمینه ی ذخیره سازی و انحراف آب جهت استفاده در پروژه های آبیاری مدرن و نیز احداث شبکه های آبیاری مدرن در پایین دست سد های مخزنی مورد توجه قرار گرفت. این مطالعات که در دهه ی ۴۰ - ۱۳۳۰ شدت گرفت و وارد مرحله ی اجرا گردید بدو "توسط بنگاه مستقل آبیاری و بعد ها توسط وزارت آب و برق و سرانجام وزارت نیروی فعلی پیگیری و هدایت شد. اولین سد خاکی مدرن ساخته شده در ایران، سد گلپایگان به ارتفاع نهایی ۵۴ متر است. پس از این، تعداد زیادی سد خاکی مطالعه، طراحی و اجرا گردید. سیستم های زهکشی در بدنه و پی سد های خاکی، تمهیداتی هستند که برای جمع آوری و هدایت آب های نشت یافته به نواحی پایین دست طراحی و به اجرا در می آیند. این سیستم ها اصولا شامل قرار دادن یک لایه مصالح درشت دانه با نفوذپذیری خیلی زیاد و ابعاد معین در قسمت خاصی از بدنه و پی سد است، به گونه ای که لایه ی مذکور در مقابل جریان آب نشتی مقاومت نموده و بتواند کل دبی نشت را جمع آوری و به خارج هدایت کند. بدیهی است که سیستم های زهکشی لازم است علاوه بر قدرت جمع آوری و تخلیه آب نشتی، در مقابل جریان پایدار بوده و دچار فرسایش یا آب شستگی درونی نشوند. انواع سیستم های زهکش قابل کاربرد در بدنه سد های خاکی همگن عبارتند از: زهکش پنجه، زهکش افقی و زهکش دود کشی؛ که زهکش های پنجه معمولا در سد های با ارتفاع کمتر از ۲۰ متر به کار می رود.

ابعاد و نفوذپذیری مصالح سیستم های زهکش باید به گونه ای انتخاب شود که سیستم قادر به تخلیه ی مطمئن کلیه ی آبهای ورودی بر اثر پدیده ی نشست از بدنه ، پی باشد ، در ضمن قادر به تخلیه ی زه آب های پیش بینی نشده نیز باشد . مدل فیزیکی یک سد خاکی همگن رو پی نفوذ ناپذیر یک نمونه آزمایشگاهی بوده که ارتفاع ، عرض و شیب بدنه آن مشخص و مصالح ساخت آن به خاطر همگن بودن ، دارای دانه بندی و جنس یکنواخت است .

برای حل جریان نشست از بدنه سد های خاکی از معادله لاپلاس استفاده شده و از آن جا که حل معادله لاپلاس از طریق رسم شبکه جریان به روش ترسیمی و یا حل عددی دستی فرآیندی پیچیده و وقت گیر است، طی دهه های اخیر تلاش های زیادی برای تهیه نرم افزارهای رایانه ای مناسب برای محاسبه و رسم شبکه های جریان صورت گرفته است. پس از گسترش رایانه های با قدرت پردازش و حافظه بالا تحقیقات زیادی برای استفاده از شیوه های محاسباتی برای رسم شبکه های جریان در سدهای خاکی انجام گرفته است. اساس کار بیشتر این نرم افزارها استفاده از روش های مختلف مانند تفاضلات محدود (Finite differences) یا اجزاء محدود (Finite elements) و یا روش های جدیدتری مانند المان های مرزی است. امروزه برنامه های متعددی متناسب با نیازها و شرایط مختلف به بازار ارائه شده است. بدیهی است که استفاده از این نوع نرم افزارها بدلیل توانایی و سرعت بسیار زیاد قدرت تحلیل یک مهندس طراح را افزایش می دهد ولی یک طراح باید اصول اولیه را که بعنوان مبنای علمی مسئله است به خوبی بشناسد تا بتواند نکات مبهم و خطاهای احتمالی ایجاد شده را تشخیص داده و برطرف نماید.

۲. بررسی منابع :

قانون حرکت آب در محیط های متخلخل در حالت اشباع توسط داریسی بصورت روبرو بیان شده است:

$$Q = k.i.A \quad (1)$$

که در آن Q دبی آب عبوری، k هدایت هیدرولیکی خاک، A سطح مقطع جریان و i شیب هیدرولیکی است که از رابطه زیر به دست می آید: $i = \frac{\partial h}{\partial s}$ که در آن s طول مسیر حرکت آب درون محیط متخلخل است. بر همین اساس معادله حرکت آب در خاک بوسیله فرمول لاپلاس بصورت زیر ارائه شد:

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

که در آن h کل بار هیدرولیکی در نقطه مورد نظر است. این معادله برای شرایط خاک ناهمگن ارائه شده است. که در شرایط خاک همگن $K_x = K_y = K_z$ بوده و معادله لاپلاس به شکل زیر است :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (3)$$

حل ترسیمی این معادله در حالت دو بعدی منتهی به رسم دو سری خطوط عمود بر هم می گردد که خطوط جریان و هم پتانسیل نام دارند. این خطوط شبکه جریان را تشکیل می دهند . روش دیگر حل معادله لاپلاس حل عددی آن است. امروزه بسته های نرم افزاری قدرتمندی برای تحلیل شرایط محیط متخلخل ارائه شده است که مبنای کار آن ها استفاده از روش های عددی مختلف مانند تفاضلات محدود (Finite difference) و اجزاء محدود (Finite element) است.

سینگ (۲۰۰۸) روند نشست در یک سد خاکی همگن دارای فیلتر پاشنه ای افقی را با استفاده از روش اجزاء محدود مورد بررسی قرار داد. برای آسان سازی مسئله او سد را ایزوتروپیک و واقع شده بر روی یک پی نفوذناپذیر و شرایط نشست را پایدار فرض نمود. برای حل مسئله با روش عددی از برنامه های ANSYS، PLAXIS و SEEP-W استفاده شد. آنالیز عددی فشار پیرومتریک در درون فیلتر یک روند کاهشی را در آن نشان داد در حالیکه مدل تحلیلی یک خط هم پتانسیل صفر را در درون فیلتر نمایش می داد، که البته این نتیجه صحیح نبود چون خط هم پتانسیل صفر به معنای عدم وجود جریان در درون فیلتر است اما همان گونه که مشخص است آب نشستی از بدنه سد خاکی از درون فیلتر به بیرون جریان می یابد و جریان نشست ناشی از وجود یک گرادیان هیدرولیکی و عدم تساوی هد پیرومتریک در فیلتر است. بنابراین نتیجه حاصله از آنالیز اجزاء محدود جواب صحیح تری را بدست داد.

عطایی آشتیانی و شریفی (۱۳۸۳) یک مدل عددی را براساس روش المان های مرزی جهت تحلیل تراوش در سدهای خاکی همراه با پی لایه ای و سپری ارائه دادند. برای تعیین صحت نتایج بدست آمده از مدل دو مثال برای دو حالت پی لایه ای (پی شامل دو لایه با نفوذپذیری متفاوت) و پی همگن

همراه با پی سپری بتنی حل نموده و نتایج حاصل را با نتایج بدست آمده از نرم افزار MSEEP که از روش اجزاء محدود برای رسم شبکه جریان استفاده می نماید مقایسه نمودند که نتایج حاصله صحت مدل ارائه شده را تأیید نمود. نورانی و باباخانی (۱۳۸۸) با استفاده از روش بدون شبکه RBF میزان تراوش سد خاکی ستارخان را مورد بررسی قرار دادند و در این مطالعه برآورد میزان تراوش از طریق محاسبه پتانسیل آبی نقاط مختلف صورت گرفته است. نتایج مدلسازی با روش RBF حاکی از آن است که در مقایسه با روش تفاضلات محدود، این روش از درصد دقت خوبی برخوردار بوده و حجم محاسبات کمتر خواهد بود. ارومیهی و بزرگر (۲۰۰۷) میزان نشت را برای سد خاکی چپرآباد قبل از ساخت پیش بینی کرده و مناسب ترین راه را برای کنترل نشت ارائه کردند. در این طرح با استفاده از نرم افزار PLAXIS شرایط پی و بدنه مدل شد و در نهایت با توجه به نتایج حاصله، روش تزریق برای آب بندی پی آبرفتی سد پیشنهاد شد.

۳. مواد و روش ها :

آزمایشات در یک فلوم (Flume) آزمایشگاهی به طول ۶ متر، عرض ۶۰ سانتی متر و ارتفاع ۱/۲ متر واقع در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه شهرکرد، انجام گرفت. برای ساخت مدل سد خاکی از مصالح ماسه و رس به طور یکنواخت خاکریزی با شیب بالادست و پایین دست 2H:1V، ارتفاع ۱ متر، عرض ۶۰ سانتی متر و عرض بالا دست ۲۰ سانتی متر استفاده شد (شکل ۱). برای اندازه گیری فشار آب منفذی در داخل بدنه ی سد از ۳۰ عدد پیزومتر به صورت شبکه بندی شده، روی دیواره ی پلکسی گلاس فلوم که از وسط به سمت انتهای فلوم تعبیه و آب بندی شده بود، استفاده شد (شکل ۲).

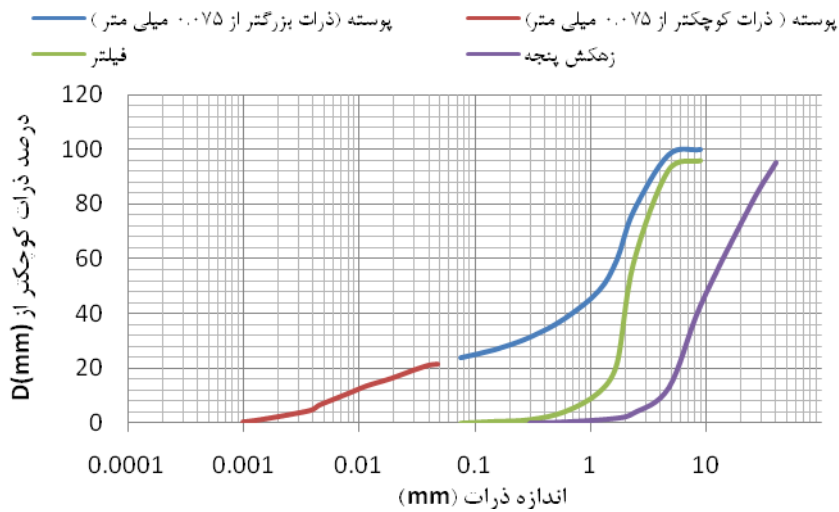
دانه بندی خاک مورد استفاده برای پوسته سد از نوع SC (ماسه و رس) بود و منحنی دانه بندی پوسته، فیلتر و زهکش با استفاده از الک های استاندارد و هیدرومتری انجام شد که در شکل ۳ نتایج آن قابل مشاهده است. قابل ذکر است که این نوع دانه بندی بر اساس منابع برای ساخت سد های خاکی همگن مناسب است.



شکل ۱: مدل آزمایشگاهی سد خاکی همگن در فلوم آزمایشگاهی



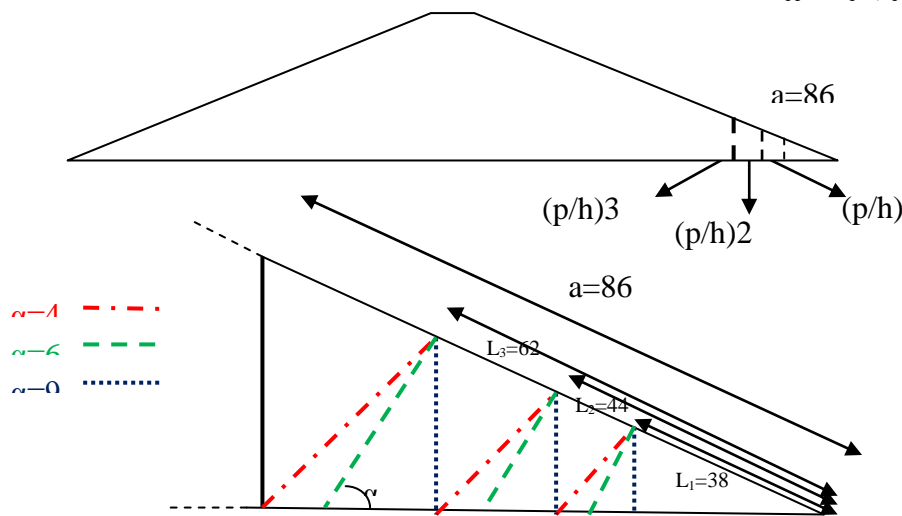
شکل ۲: پیزومترها نصب شده روی بدنه فلوم برای اندازه گیری فشار



شکل ۳: منحنی دانه بندی پوسسته، فیلتر و زهکش در مدل آزمایشگاهی

برای تراکم مدل آزمایشات تراکم آزمایشگاهی (پراکتور استاندارد) و تراکم صحرائی انجام شد و بر اساس نتایج آن، لایه های ۵ سانتی متری خاک با ۲۰ دور رفت و برگشت غلطک دستی ۳۰ کیلوگرمی به تراکم بالای ۹۰ درصد رسید. برای اندازه گیری زه آب رد شده از زهکش پنجه ای از شیر کنترلی که در زیر فلوم نصب شده بود استفاده شد.

برای بررسی روند نشت و کنترل آن با حضور زهکش پنجه ای که هدف اصلی این تحقیق است و با توجه به اینکه با حداکثر ارتفاع آب در بالادست (۸۰ سانتی متر) خط فریاتیك شیب پایین دست را در ۸۶ سانتی متری پایین دست قطع نمود، سه نسبت p/h با سه زاویه مختلف برای اجرای زهکش پنجه که مقادیر آنها در جدول ۲ ذکر شده، انتخاب گردید، در این نسبت پارامتر p ، معرف ارتفاع زهکش پنجه و h ، ارتفاع آب در مخزن می باشد. علت انتخاب این نسبت بی بعد در این تحقیق به عنوان یک پارامتر در طراحی زهکش پنجه، رابطه ی مستقیم سطح آب در مخزن (h) با موقعیت خط فریاتیك و محل خروج آن از شیب پایین دست و هم چنین تغییر در ارتفاع زهکش پنجه، است. قابل توجه است که زاویه ۴۵ درجه برای زهکش پنجه زاویه ای مناسب بوده که در تحقیقات زیادی به آن اشاره شده است، در این تحقیق ۳ زاویه ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه، برای بررسی اثرات مختلف زاویه بر عملکرد زهکش پنجه و مقایسه این زوایا با هم و همچنین سه شاخص p/h مختلف به منظور تعیین و ارائه ی یک شاخص بهینه ی بی بعد p/h برای طراحی زهکش های پنجه ای در سد های خاکی همگن، انتخاب گردید. انتخاب شاخص های بی بعد p/h بر اساس این بود که در یک طول بهینه از زهکش، خط فریاتیك از داخل سیستم زهکش عبور کند. زهکش های پنجه در این مدل آزمایشگاهی نهایتاً به صورت شکل شماتیک ۴ اجرا گردید و مشخصات هر کدام در جدول ۱ آورده شده است.



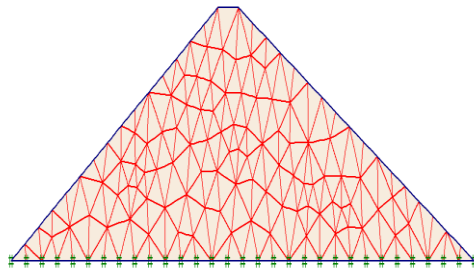
شکل ۴: شکل شماتیک اجرای زهکش پنجه ای در سه شاخص (p/h) و ۳ زاویه

جدول ۱: مشخصات زهکش پنجه در حالات مختلف

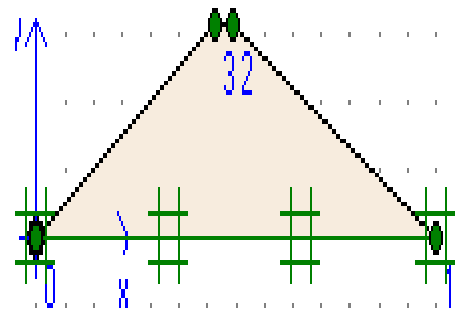
حالت ها	۱	۲	۳
ارتفاع آب در مخزن (cm)	80	80	80
ارتفاع زهکش (cm)	17	20	28
طول زهکش (cm)	38	44	62
شاخص p/h	0,2125	0,25	0,35

برای شروع آزمایش مخزن سد تا ارتفاع ۰,۸ متر به صورت تدریجی پر و در این ارتفاع ثابت شد. بعد از یک روز با اشباع شدن محیط متخلخل خاک، ارتفاع آب در پیژومترها و دبی زه آب خروجی از مدل سد خاکی اندازه گیری شد.

پس از برداشت و بررسی داده های حاصل از آزمایشات نوبت به مدل سازی مسئله در نرم افزار PLAXIS می رسد. در ابتدا باید یک مدل هندسی از مقطع سد ایجاد گردد. برای این کار بر اساس مقطع اجرایی مدل آزمایشگاهی در فلوم، مدل هندسی در برنامه PLAXIS ایجاد شد. در مرحله دوم نیاز به داده های مربوط به مصالح به کار رفته در بدنه سد می باشد. بدلیل عدم اندازه گیری چنین داده هایی از داده های موجود در مقالات معتبر که قبلاً پژوهش هایی بر روی سدهای خاکی انجام داده بودند استفاده شد. چون در طی آنالیز بازگشتی مقادیر این داده ها دچار تغییر خواهند شد مقادیر بسیار دقیق برای داده ها مورد نیاز نیست و تنها این داده ها باید در محدوده قابل قبول برای شروع آنالیزها باشند. لازم به ذکر است که تنها پارامترهای γ_{dry} ، γ_{sat} ، k_y ، k_x در محاسبات نشست از بدنه سد خاکی موثرند و باید به صورت دقیق وارد شوند که میزان وزن مخصوص خشک و اشباع در آزمایشگاه تعیین و محاسبه و میزان نفوذ پذیری با توجه به نتایج نرم افزار و اندازه گیری های آزمایشگاهی مقادیر دبی نشست و سطح فریاتیک، در PLAXIS کالیبره شد. لازم به ذکر است به دلیل اهمیت پارامتر k در محاسبات نشست، مقدار آن با محاسبات دستی و ترسیم شبکه جریان در داخل بدنه ی سد کنترل شد. نمونه ای مدل ایجاد شده و مش بندی مدل در نرم افزار PLAXIS در شکل ۵ و ۶ قابل رؤیت است.



شکل ۶: مش بندی ایجاد شده در نرم افزار PLAXIS



شکل ۵: مدل ایجاد شده در نرم افزار PLAXIS

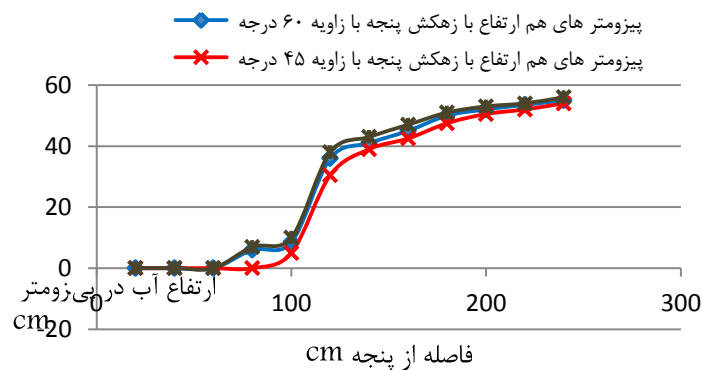
۴. بحث و نتایج:

نتایج نشان داد که با اجرای زهکش پنجه در هر شاخص به ترتیب سطح فریاتیک افت و همچنین فشار آب در پیژومترها کاهش و جریان نشست افزایش پیدا می کند. در شاخص های $(p/h)_1$ و $(p/h)_2$ با وجود زهکش پنجه باز هم سطح فریاتیک شیب پایین دست بدنه سد را قطع کرده که در جدول ۴ فواصل a) فاصله محل برخورد خط فریاتیک با شیب پایین دست از پنجه سد) برای نسبت های مختلف قابل مشاهده است. به همین منظور شاخص p/h بزرگتری نسبت به دو شاخص قبلی تحت ۳ زاویه اجرا شد که در زاویه ۹۰ درجه سطح فریاتیک به طور مماس با شیب پایین دست از داخل زهکش پنجه عبور و در زوایای ۶۰ و ۴۵ درجه سطح فریاتیک کاملاً شکسته شده و از داخل زهکش پنجه ای عبور کرد که صفر شدن سطح آب در پیژومترهای نزدیک به زهکش و افت سطح آب در چاهک های مشاهده ای، بیان گر این مطلب بود. در جدول ۲ موقعیت عبور خط نشست آزاد از زهکش پنجه با شاخص $(p/h)_2$ آورده شده است. بر اساس ارزیابی این سه شاخص بی بعد در آزمایشگاه مقدار $p/h=0,35$ برای طراحی زهکش پنجه مناسب و این شاخص تحت زوایای ۶۰ و ۴۵ درجه بهینه است.

جدول ۲: فاصله a در حالت های مختلف عبور نشت از بدنه مدل سد خاکی همگن (ارتفاع آب در مخزن ۸۰ سانتی متر)

حالات آزمایش	بدون زهکش	پنجه (۹۰و۱)	پنجه (۶۰و۱)	پنجه (۴۵و۱)	پنجه (۹۰و۲)	پنجه (۶۰و۲)	پنجه (۴۵و۲)	پنجه (۹۰و۳)	پنجه (۶۰و۳)	پنجه (۴۵و۳)
طول زهکش*(cm)	۰	۳۸	۳۸	۳۸	۴۴	۴۴	۴۴	۲۶	۲۶	۲۶
نسب p/h	۰	۰,۲۱۲۵	۰,۲۱۲۵	۰,۲۱۲۵	۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۳۵	۰,۳۵	۰,۳۵
$a(cm)$	۸۶	۸۲	۷۹	۷۷	۷۳	۷۰	۶۸	۰	۰	۰

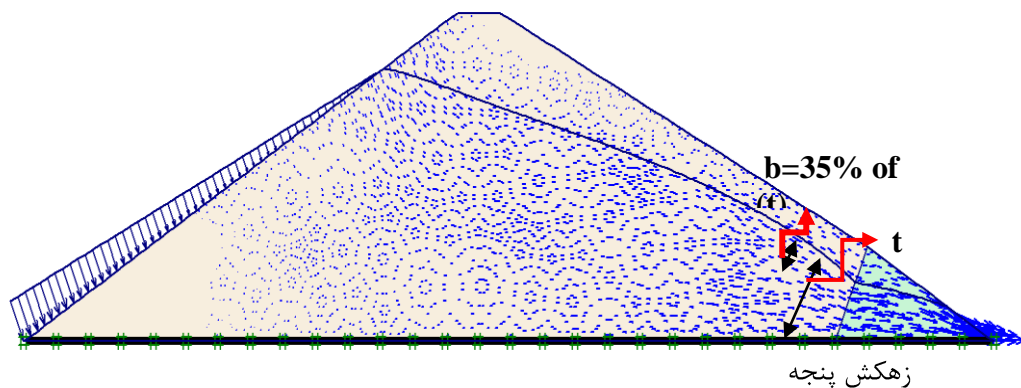
* طول زهکش در راستای شیب پایین دست



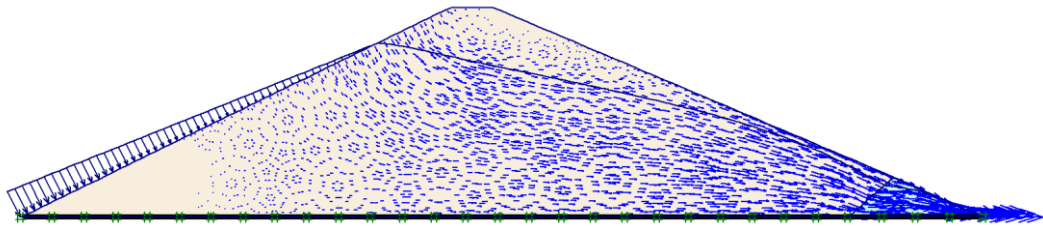
شکل ۷: ارتفاع آب در پیزومتر های نصب شده در ارتفاع ۱۰ سانتی متر از کف فلوم در شاخص $(p/h)_b$ با سه زاویه زهکش پنجه ای

همانطور که از شکل ۷ معلوم است در حالت زهکش پنجه با زاویای ۴۵ و ۶۰ درجه میزان فشار آب منفذی در داخل بدنه سد کاهش یافته و در این حالت ها بر طبق مشاهدات آزمایشگاهی و PLAXIS سطح آزاد نشت به طور ایمن از داخل زهکش پنجه عبور کرده است.

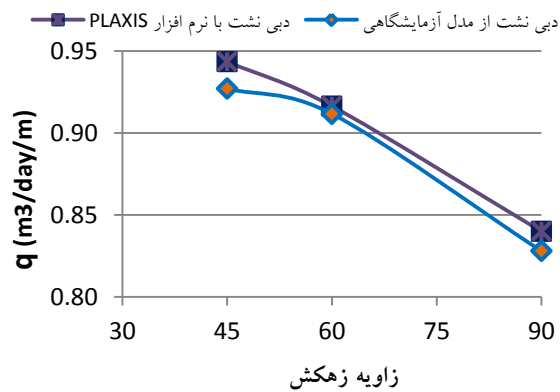
در PLAXIS نیز در شاخص $(p/h)_b$ با زاویه ۴۵ درجه (شکل ۹)، خط فریاتیگ نزدیک به شیب پایین دست از داخل زهکش پنجه عبور کرد و در حالت $(p/h)_b$ این خط به طور کامل شکسته شد و با میانگین فاصله ۱۱,۵ سانتی متر (b) از شیب پایین دست که حدود ۳۵ درصد از زهکش را پوشش داده، از داخل زهکش عبور کرد که در شکل زیر نشان داده شده است. بنابراین، با آنالیز توسط نرم افزار PLAXIS شاخص $p/h=0.3$ برای طراحی زهکش پنجه تحت زوایای ۶۰ و ۴۵ درجه بهینه است.



شکل ۸: عبور خط فریاتیگ از زهکش پنجه با شاخص $(p/h)_b$



شکل ۹: مدل سازی عبور جریان نشت از بدنه مدل در شاخص $(p/h)_p$ با زاویه ۴۵ درجه



شکل ۱۰: نتایج دبی نشت از مدل آزمایشگاهی و نرم افزار PLAXIS در شاخص $(p/h)_p$

۵. نتیجه گیری :

با آنالیز داده های حاصل از آزمایشگاه و نرم افزار PLAXIS نتایج زیر حاصل شد:

۱- بر طبق مشاهدات آزمایشگاهی زاویه ۴۵ درجه برای زهکش پنجه، زاویه بهینه بوده که در این زاویه سطح آزاد نشت با ایمنی کاملتری نسبت به سایر زوایا از داخل زهکش پنجه عبور می کند که با نتایج سایر محققان مطابقت دارد. با این حال در سد های خاکی که میزان نشت آب اهمیت داشته باشد، برای کاهش نشت، زاویه ۶۰ درجه نیز در طول مناسبی از پایین دست برای اجرای زهکش پنجه مناسب است.

۲- ابعاد بهینه ی انتخابی در این مطالعه برای اجرای زهکش پنجه ای از بین ابعاد مختلف (طول های متفاوت زهکش) بوده ، به گونه ای که از اثرات مخرب نشت (جوشش در شیب پایین دست) جلوگیری و هم چنین میزان نشت و فرار آب کنترل شود.

۳- نتایج آنالیز نشت توسط نرم افزار PLAXIS نشان داد که در شاخص بی بعد دوم $(p/h)_p = 0,25$ خط فریاتیك نزدیک به شیب پایین دست از داخل زهکش پنجه عبور کرد ولی برای عبور ایمن این خط با فاصله ای مناسب از شیب پایین دست شاخص بی بعد $(p/h)_p = 0,35$ مناسب تر بود و با توجه به نتایج این نرم افزار مقدار p/h را تا ۰,۳ نیز می توان در نظر گرفت.

۵- بهینه بودن شاخص $(p/h)_p = 0,35$ در نتایج آنالیز نشت با PLAXIS و آزمایشگاه نشانگر برازش تقریبی روش آزمایشگاهی و نرم افزاری در پیش بینی و طراحی زهکش پنجه است.



۶. مراجع:

۱. رحیمی ح. ۱۳۸۲. سدهای خاکی. انتشارات دانشگاه تهران
 ۲. عطایی آشتیانی، ب.، شریفی، ا.، ۱۳۸۳. مدل المان مرزی در تحلیل تراوش در بدنه سد خاکی به همراه پی لایه ای و سپری، اولین کنگره ملی مهندسی عمران.
 ۳. وفاپیان م. ۱۳۷۷. سدهای خاکی. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
- 2008(b): Horizontal deflection analysis of a . Gikas.V., and M.Sakellariou5. Gikas.V., and M.Sakellariou, large earth dam by means of geodetic and geotechnical methods. Symposium on deformation measurement and analysis. 13th FIG.
- N. Y.. John Wiley & Sons inc., New York. Earth and Earth Dams: 1963 ..Sherard.J.L
- . Uromeihy A. and Barzegari G. 2007: Evaluation and treatment of seepage problem at Chapar-Abad dam, 6 Iran. Engineering Geology 91:219-228.
- . G. C. Mishra, M.ASCE,1 and A. K. Singh2, 2005 : Seepage through a Levee , INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMECHANICS
- 8.Plaxis Version8. 2006. General information. <http://www.plaxis.nl>.
- 9.Plaxis Version8. 2006. Tutorial manual. <http://www.plaxis.nl>.