****

**دانشگاه آزاد اسلامی**

**واحد تهران جنوب**

**دانشکده فنی و مهندسی**

**پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “M.Sc”**

**مهندسي عمران – سازه های هیدرولیکی**

**عنوان :**

**تحلیل تراوش در سد خاکی با پی نفوذپذیر و پرده آببند**

**استاد راهنما :**

**استاد مشاور :**

**نگارش:**

|  |  |
| --- | --- |
| **فهرست مطالب** | |
| **عنوان** | **شماره صفحه** |

|  |  |
| --- | --- |
| **چکیده** | **1** |
| **مقدمه** | **2** |
| **فصل اول : کلیات** |  |
| **1-1) هدف** | **5** |
| 1-2) پیشینه تحقیق | 6 |
| 1-3) روش کار و تحقیق | 8 |
| **فصل دوم : روش های تحلیل ترا وش در سد های خاکی** |  |
| **2-1) قوانین حاکم بر حرکت آب در خاک** | **11** |
| 2-1-1) قانون دارسی | 11 |
| 2-1-1-1) خط جریان | 11 |
| 2-1-1-2) خط هم پتانسیل | 11 |
| 2-1-1-3) شیب خطوط جریان و هم پتانسیل | 12 |
| 2-1-2) معادله لاپلاس | 12 |
| 2-1-3) شبکه جریان | 13 |
| **2-2) تراوش از بدنه سد های خاکی روی پی غیر قابل نفوذ** | **13** |
| 2-3-1) مصالح همگن و همروند | 13 |
| 2-3-2) مصالح همگن و غیر همروند | 15 |
| 2-3-3) مصالح غیر همگن و همروند | 15 |
| **2-3) تراوش از بدنه سد های خاکی بر روی پی نفوذپذیر** | **16** |
| 2-3-1) پی با نفوذپذیری کم (در مقایسه با نفوذ پذیری بدنه سد) | 16 |
| **عنوان** | **شماره صفحه** |
|  |  |
| 2-3-2) بدنه با نفوذپذیری کم (در مقایسه با نفوذ پذیری پی) | 16 |
| **2-4) تراوش در سدهای خاکی** | **16** |
| 2-4-1) تراوش از بدنه سدهای خاکی | 16 |
| 2-4-2) تراوش از پی سدهای خاکی | 17 |
| 2-4-3) نمونه ای از تخریب شدن سد خاکی (سد Grand Teton) | 18 |
| **2-5) راهکارهای مقابله با تراوش در سدهای خاکی** | **20** |
| 2-5-1) روش های کاهش نشت از بدنه و پی در سدهای خاکی | 20 |
| 2-5-1-1) استفاده از هسته با نفوذپذیری بسیار کم در بدنه سد | 21 |
| 2-5-1-2) استفاده از رویه آب بند در سطح بالادست | 21 |
| 2-5-1-3) استفاده از پرده آب بند در پی | 22 |
| 2-5-1-4) استفاده از پرده تزریق در پی | 23 |
| 2-5-1-5) استفاده از رویه با نفوذ پذیری بسیار کم در کف مخزن | 24 |
| 2-5-1-6) استفاده از ازدیواره آب بند(دیافراگم) (Diaphragm wall cut-off) | 25 |
| 2-5-2) روشهای کنترل و جمع آوری آب نشتی | 25 |
| **فصل سوم : معرفی نرم افزار و معرفی سدهای مورد مطالعه** |  |
| **3-1) معرفی نرم افزار plaxis** | **28** |
| 3-1-1) کلیات مدل کردن در برنامه plaxis | 29 |
| 3-1-2) مدل سد علویان در برنامه plaxis | 30 |
| 3-1-3) مدل Taleghan earth dam | 30 |
| **3-2) معرفی سدهای مورد مطالعه و استفاده برای تحلیل تراوش** | **37** |
|  |  |
| **عنوان** | **شماره صفحه** |
|  |  |
| 3-2-1) سد سیمینه­رود | 37 |
| 3-2-1-1) طراحی بدنه سد سیمینه­رود | 37 |
| 3-2-2) سد دویرج | 39 |
| 3-2-2-1) طراحی بدنه سد دویرج | 39 |
| 3-2-3) سد طالقان | 40 |
| 3-2-3-1) طراحی بدنه سد طالقان | 40 |
| **3-3) بررسی صحت نتایج تحلیل (Validation) و ارائه نتایج** | **42** |
| 3-3-1- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج داده­ های محلی | 42 |
| 3-3-2- بررسی صحت نتایج تحلیل با روابط ارائه شده توسط استلو و داکلر | 43 |
| 3-3-2-1- روابط استلو جهت محاسبه تراوش در بدنه سدهای خاکی | 43 |
| 3-3-2-2- روابط داکلر جهت محاسبه تراوش در پی سدهای خاکی | 47 |
| **3-4) مش بندی** | **52** |
| **فصل چهارم : مدلسازی و نتایج عددی** |  |
| **4-1- محاسبه دبی تراوش با استفاده از نرم ­افزار plaxis** | 54 |
| **4-2- پیش فرض های تحقیق** | 54 |
| **4-3- نمودارهای کاربردی جهت تعیین تراوش در سدهای خاکی** | 54 |
| **فصل پنجم : نتيجه‌گيري و پيشنهادات** |  |
| **نتيجه‌گيري** | 158 |
| **پيشنهادات** | 159 |
| **منابع و ماخذ** |  |
| **فهرست منابع فارسي** | 160 |
| **عنوان** | **شماره صفحه** |
|  |  |
| **فهرست منابع لاتين** | 161 |
| **سايت هاي اطلاع رساني** | 163 |

**چکیده**

سدخاكي همواره يكي از تاسيسات مناسب و در دسترس) ازجهت نوع مصالح( در بحث ذخيره آب و یا ایجاد مخازن تغذیه سفره­های زیرزمینی بوده است. دراینگونه سدها به دلیل پیوسته نبودن مصالح تنها راه مقابله با نیروهای وارده بر بدنه سد وزن سد می­باشد. بنابراین سدهای خاکی با مقطع ذوزنقه­ای ساخته می­شوند. درکنار مزایای سدهای خاکی مشکل اساسی دربهره­برداری ازاین سدها نفوذ آب در بدنه سد می­باشد که این امر می­تواند درشرایطی موجب بروز خسارات و صدمات جبران­ناپذیر بر بدنه سد شده تخریب آنرا باعث گردد. لذا لازم است مهندسین مربوطه اطلاع کافی از این موضوع و خصوصاً میزان نشت در بدنه سدها داشته باشند). در این تحقیق سعی شده است بدون رسم شبکه جریان با داشتن عرض سد و ارتفاع آب در پشت آن با کمک نرم­افزار المان محدود plaxis نمودارهایی کاربردی بدست آورده و دبی تراوش با دقت نسبتاً قابل قبولی محاسبه شده است. به این ترتیب نیاز به زمان زیادی که باید صرف محاسبات مربوط به اندازه­گیری دبی نشت شود، مرتفع خواهد شد، یکی از راهکارهای کاهش نشت در سد خاکی و مقابله با آن به کار بردن پرده آب­بند (غشاء نفوذناپذیر) در پی سد خاکی است، در بررسی چگونگی مکانیزم نشت در نمونه­های مختلف سد دو پارامتر (ارتفاع و نفوذپذیری) که تاثیر مهمی در این موضوع دارند با وجود پرده آب­بند جهت کنترل نشت بکار برده شده­اند و بهترین وضعیت (کمترین میزان نشت) به منظور یک طراحی بهینه جهت سد را ارائه می­دهند.

**مقدمه**

آب مهمترین منبع طبیعی در روی زمین است و به مصداق آیه شریفه "و من الماء کل شیئی حی" کلیه موجودات از آب است که زنده­اند و کلیه گیاهان و جانوران جهت حیات و بقاء خود نیاز به استفاده از آب دارند. شاید در زمانهای گذشته چندان مسئله­ای به نام آب جز در برخی نواحی وجود نداشته است ولی با بالا رفتن سطح بهداشت و افزایش یکباره جمعیت و گسترش روزافزون صنایع کشاورزی نیاز به آب فراوان­تر شده و در سراسر جهان از مسائل حیاتی گردیده است.

سرزمين ايران در منطقه­اي خشك و نيمه­خشك قرار گرفته، و توزيع ناموزون جريان­هاي سطحي محدوديت­هاي عمده­اي را در امر استفاده از اين عنصر حياتي به وجود آورده است و به علاوه قسمت اعظم اين جريان­ها قبل از اينكه مورد استفاده قرار گيرند از دسترس خارج و به سوي دريا سرازير مي­گردند. به همین لحاظ طرح و اجرای سدهای ایمن و اقتصادی که بتوانند آبهای سطحی و اضافی را مهار نمایند از اهمیت خاصی برخوردار است] 3[.

یک سد ممکن است به منظور یک یا چند مورد از موارد ذیل ساخته شود. این موارد می­توانند آبیاری-تامین آب آشامیدنی- تولید برق- کنترل سیلاب- حفاظت آب و خاک- پرورش ماهی- ایجاد فضای تفریحی و غیره باشند. سد خاكي، ساختمان يا تأسيساتي است كه بر روي رودخانه يا مسيل و با استفاده از مصالح بدون ملات به منظور ذخيره و بالا آوردن سطح آب در پشت آن ساخته مي­شود.

یک سد می­تواند از نوع مخزنی یا انحرافی باشد:

سدهای مخرنی آب­های اضافی را در فصلهائی که آب زیادتر از مقدار نیاز است کنترل و در مخزن سد ذخیره می­نمایند تا در فصلهائی که به آب بیشتری نیاز است از آن استفاده شود، وظيفۀ اصلي يك سد مخزني در درجۀ اول ذخيرۀ آب و جلوگيري از نفوذ آن به بدنه و پي و در درجۀ دوّم پايداري در مقابل نيروهاي وارده است.

سدهای انحرافی سطح آب را تا حد مورد لزوم بالا آورده آب را از مسیر اصلی به کانالهای آبیاری یا آبرسانی منحرف می­نمایند.

در سدهاي خاكي به دليل پيوسته نبودن مصالح معمولاً تنها راه مقابله با نيروهاي وارد بر بدنۀ سد استفاده از وزن است، بنابراين سد خاكي به ناچار بايد به صورت وزني و با مقطع ذوزنقه­اي شكل ساخته شود. امّا از نظر نفوذ آب، چون بدنۀ سد از مصالح خاكي يعني از ذرات جدا از هم و بدون ملات ساخته مي­شود، از اين رو در مقابل آب نفوذپذير خواهد بود و بايد براي جلوگيري از نشت و تلفات آب تدابير لازم اتخاذ گردد

]3[.

سوابق بروز خسارت ناشی از انهدام سدهای خاکی در ایران و جهان نشان از نتایج ناخوشایند و بروز اثرات مخرب زیست محیطی داشته است. لذا نگاه همه جانبه، بررسی تکمیلی، اصرار بر محکم سازی و هر گونه تدابیری که به نوعی این احتمال را کاهش دهد مهم بوده باید به آن به چشم نوعی سرمایه گذاری نگریسته شود. این تحقیق سعی دارد در همین راستا، قدمی هر چند کوچک جهت استفاده محققانی باشد که در آینده به عنوان طراح سدهای خاکی فعالیت خواهند داشت .

* **1-1- هدف**

شاید هیچ نوع سازه­ای که توسط انسان ساخته شود به اندازه سد بزرگی که که دارای دریاچه وسیعی بوده و در پائین­دست آن منطقه پرجمعیتی وجود دارد دارای زمینه خطر برای جان و مال افراد نباشد. و با توجه به اینکه بعد از انقلاب تعداد زیادی سد خاکی درکشور ساخته شده است کهاکثراً از نظر موقعیت مکانی مشرف به روستاها و شهرها یا مراکز پراهمیت کشاورزی قرارگرفته­اند و اینگونه سدها اکثراً نیازمند مهندسی مجدد و بررسی کیفیت ایمنی بدنه بوده و می­بایست مشکلات احتمالی ساخت آنها مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته، و درصورت امکان تمهیدات جدیدی درنظر گرفته شود.

در اکثر موارد منظور از ایجاد سد ذخیره مقدار مشخصی آب در پشت سد و استفاده از آن در مواقع ضروری است. اگر میزان تراوش از اطراف دریاچه سد زیاد باشد نمی­توان آب مورد نظر را ذخیره نمود. یافتن میزان تراوش و یا چاره­جوئی در مورد آن در بعضی مواقع بسیار مشکل و گاهی غیرعملی است. لذا تراوش از طریق دریاچه سد یکی از مسائل عمده­ای است که باید در نظر داشت.

در این پروژه (تحقیق) سعی بر این است تا با بررسی نمونه­های مختلف سدهای خاکی مقدار تراوش را در حالتهای مختلف با استفاده از یکی از روشهای کنترل تراوش که وجود پرده آب­بند است (یکی از راهکارهای مهم جهت کنترل تراوش وجود پرده آب­بند می­باشد) با استفاده از نرم افزار المان محدود بدست آورده و از طریق نمودار نشان داده، و به بهترین حالت کاهش نشت رسید. و هدف کلی از انجام این تحقیق بر این است تا شرایط مناسب جهت توجه بیشتر و بهتر به اینگونه پروژه­­ها را موجب گردد.

بدیهی است آنچه به آن پرداخته می­شود گوشه­هایی از مباحث پیچیده و گسترده سدهای خاکی و موضوع نشت در بدنه آنها می­باشد.

**1-2- پیشینه تحقیق**

چشمگیرترین پیشرفت در زمینه رفتار سدها در ارتباط با مسئله تراوش در سد خاکی و تاثیر آن بر پایداری سد است. خرابیهائی که در پی سدها بر اثر تراوش و به دلیل شسته شدن دانه­های خاک (Piping) بوقوع پیوسته برای اولین بار توسط ترزاقی (Terzaghi) بدرستی توضیح داده شده است. سپس، ترزاقی به اهمیت نیروهایی که بر اثر نشت آب در سدهای خاکی و بتنی بوجود می­آیند توجه نمود. از سالهای 1930 به بعد، پیشرفت­های عمده­ای درباره حل مسئله تراوش و جریان آب در خاک، با سطح آزاد، جریان آب در مصالح غیرایزوتروپیک و خصوصیات جریان در مرز دو مصالح مختلف، انجام گرفت]1[.

در سال 1856، دارسی رابطه ساده خود را برای جریان آب در خاک تا آنجا که مربوط به مسئله تراوش در سد خاکی می­شود، ارائه نمود]2[.

در سال 1931، کوزنی (kozeny) برای جریان در یک قشرنفوذناپذیر افقی منتهی به یک قشر نفوذپذیر افقی دیگر (نظیر زهکش افقی در سد خاکی) راه حلی تئوری برای مسئله تراوش با سطح آزاد ارائه نمود]3[.

در این زمینه به تحقیق آقای مطهری­نژاد می­توان اشاره نمود که بر روی سد خاکی همگن انجام شده و با مطابقت فرمولهای کوزنی با نتایج حاصل از تحلیل plaxis به نتایجی جهت محاسبه دبی تراوش پرداخته است]7[.

در تحقیقی که توسط آقایان ذکریا زورسنا، امیر حمیدی، علی قنبری بر روی سد مخزنی کرخه با هسته رسی صورت گرفته است می­توان مشاهده نمود که مقدار نشت با متغییر قرار دادن ضریب نفوذپذیری پرده آب­بند محاسبه شده است و در نموداری دیگر با تغییر در میزان ضخامت پرده آب­بند میزان نشت بدست آمده است]13[.

می­توان یک نمونه تحقیق که بر روی سد خاکی کالسیک ترکیه توسط دپارتمان مهندسی زمین­شناسی دانشگاه مرسین ترکیه برای بررسی و ارائه راهکارهای جلوگیری از تراوش در پی سد انجام شده است را نام برد. این سد به ارتفاع 77 متر جهت آبیاری قسمت پائین­دست سد ساخته شده بود، در قسمت راست فنداسیون سد شکافهایی در پی سد، از جنس کنگلومرا (سنگ آهک) مربوط به دوره سوم زمین­شناسی ایجاد شده بود. شکافها به سمت داخل سد در حال گسترش بودند، بعد از ذخیره آب در پشت سد، روزنه­های جدیدی در اطراف ناحیه نشت دیده می­شد. بررسی­ها نشان می­داد که تراوش در امتداد دیوار اصلی سد بوده و سوراخ­هایی که موجب نشت گردیدند تا ارتفاع ((Elevation 442 متری توسعه پیدا کردند. جهت کاهش نشت ملات رقیق گروت بین دریچه آبریز و بدنه سد و زیر دریچه آبریز تزریق گردید. نتیجه این امر کاهش نسبتاً مناسب نشت از محل چشمه­های موجود بود. البته نشت اندکی کماکان در بدنه سد وجود دارد که نیازمند بررسی­های بیشتر و کاملتری می­باشد [10].

تحقیق دیگری بر روی سد سنگ­ریزه ای با هسته رسی روی رودخانه ناک دنگ کره توسط Jin-yong Lee و Hyoung-soo و همکاران در سال 2006 برای تعیین مسیرهای تراوش آب انجام گرفت. آبگیری این سد در آگوست 1994 آغاز و در آوریل 1998 پر شد. هنگامی­که ارتفاع آب در پشت سد به 150 متر رسید، سه حفره نشت در پوسته سد مشاهده شد. برای تعیین کردن مسیرهای ممکن تراوش در نواحی آسیب دیده بالقوه در سد، از تست تراسر) (tracer استفاده شده است .

زمانی که ارتفاع آب در پشت سد 142 و 145 متر رسید، 15 تست تراسر) (tracer در طی دو دوره انجام شد. از یون بروماید (اسید هیدرو برومیک) به عنوان ماده ردیاب ) (tracer استفاده شده بود.برای هر تست، 1800تا 4000 لیتر از محلول فوق برای حدود 5 ساعت در ریپ رپ تزریق شد. ماده ردیاب ((tracer در 26 چاه گمانه مشاهده گردید. این چاهها در چهار گروه قرار گرفته بودند: 1- جناح چپ پوسته. 2- جناح راست پوسته. 3- جناح راست پنجه پوسته. 4- جناح چپ پنجه پوسته . برای هر تست تراسر) (tracer، بیش از 30 نمونه آب در یک دوره 96 ساعته در هر چاه مشاهده گرفته شده بودند، نتیجه آزمایشات نشان از تراوش در میزان بالادر جناح چپ پوسته و به میزان کمتر در جناح راست پوسته بود [9].

**1-3- روش کار و تحقیق**

هدف از این تحقیق و روش کار حول محور شناخت وضعیت نشت در سدهای خاکی می­باشد. یکی از راهکارهای کاهش نشت در سد خاکی و مقابله با آن به کار بردن پرده آب­بند (غشاء نفوذناپذیر) در پی سد خاکی است، در بررسی چگونگی مکانیزم نشت در نمونه­های مختلف سد دو پارامتر که تاثیر مهمی در این موضوع دارند با وجود پرده آب­بند به شرح ذیل مورد تفسیر و ارزیابی قرار گرفته­اند.