



دانشگاه صنعت آب و برق
اشهره هارود

مهندسی سدهای خاکی

تالیف:

سعید خرقانی

عضو هیات علمی - صنعتی دانشگاه صنعت آب و برق

ناصر فخاری

دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

۱۳۸۳

خرقانی، سعید، ۱۳۲۹ -

مهندسی سد های خاکی / تألیف سعید خرقانی، ناصر فخاری. -

تهران: دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور، ۱۳۸۳.

۴۰۲ ص: مصور، جدول، نمودار + یک دیسک فشرده نرم افزار

ISBN: 964-8348-00-6

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.

"IDE Dams" [آی. دی. ای. دی. ای. ام. اس.].

۱. سد های خاکی. ۲. سد های خاکی - طرح و ساختمان. ۳. سد

سازی. الف. فخاری، ناصر، ۱۳۵۱- ب. عنوان. دانشگاه صنعت

آب و برق (شهید عباسپور). ج. عنوان.

۶۲۷/۸۳.

م ۴ خ / ۵۴۳ TC

م ۸۳-۸۰۱۳

کتابخانه ملی ایران



مهندسی سد های خاکی

تألیف: دکتر سعید خرقانی - مهندس ناصر فخاری

ناشر: انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

شمارگان: ۲۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول / ۱۳۸۳

طرح روی جلد: مصطفی فخاری

امور فنی و نظارت چاپ: نشر شیوه ۶۴۶۱۰۷۷

چاپ: خورشید

صحافی: شکیب

شابک: ۹۶۴-۸۳۴۸-۰۰۰-۶

مراکز پخش:

۱- فلک چهارم تهرانپارس - بزرگراه وفادار - بلوار شهید عباسپور - دانشگاه صنعت آب و

برق (شهید عباسپور)، تلفن: ۷۲۹۳۲۳۷۳، داخلی ۲۳۷۲، دورنگار: ۷۳۱۰۴۲۵

۲- انقلاب - خ اردیبهشت - بعد از لبافی نژاد - روبروی املاک مجیدیان - پلاک ۱۲۶،

تلفن: ۶۴۶۵۸۳۱

پیشگفتار ناشر

در سال ۱۳۵۱ به منظور افزایش مهارت فنی تکنسین‌های شاغل در صنعت برق، مرکز آموزش تخصصی برق در شمال شرق تهران فعالیت خود را آغاز کرد.

در سال ۱۳۵۹، توجه خاص شهید دکتر حسن عباسپور وزیر وقت نیرو به آموزش و تربیت نیروی انسانی، منجر به تبدیل مرکز آموزش تخصصی برق به مجتمع آموزشی و پژوهشی (شهید عباسپور) شد که علاوه بر برگزاری دوره‌های کوتاه مدت، برگزاری دوره‌های بلندمدت‌ کاردانی و مهندسی کاربردی آب و برق در مقطع کارشناسی را نیز در برنامه خود داشت.

این مجتمع در کمتر از ده سال و با توسعه کمی و کیفی دامنه فعالیت‌های آموزشی، تجهیزات آزمایشگاهی و کارگاهی و با درخشش فارغ‌التحصیلان خود در صنعت، در سال ۱۳۷۰ مجوز تبدیل به دانشکده صنعت آب و برق و در سال ۱۳۸۳ مجوز تبدیل به دانشگاه صنعت آب و برق را از وزارت فرهنگ و آموزش عالی دریافت داشت و با پذیرش ۲۵۰ دانشجوی کارشناسی در پنج رشته مهندسی بهره‌برداری از سد و شبکه‌های آبیاری، سازه‌های آبی، آب و فاضلاب، مکانیک نیروگاه و توزیع و انتقال برق، مرحله جدیدی از فعالیت خویش را پی‌گرفت.

با توجه به مطالب ارزشمندی که براساس تجربه طولانی اعضای هیأت علمی این دانشگاه در موضوعات تخصصی مورد نیاز صنعت آب و برق کشور جمع‌آوری شده، انتشارات دانشگاه شروع به نشر این مطالب در قالب کتاب نمود که پس از انتشار چند اثر قبلی که لیست آنها در انتهای این اثر آمده، کتاب حاضر گام دیگری در راه رشد و استقلال علمی کشور است که به جامعه دانش‌پژوهان تقدیم می‌گردد.

انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق

(شهید عباسپور)

فهرست مطالب

۱۲

پیش گفتار

فصل اول

مقدمه

مشخصات یک محل مناسب برای سد

طبقه بندی سدها

تناسب سدهای صلب و خاکریز

تاریخچه اجرای سدهای خاکی

طرح ایمن در سدهای خاکی

سدهای ساخته شده در قرن نوزدهم و روشهای احداث آنها

سدهای خاکی هیدرولیکی

سدهای سنگین

سدهای خاکی و سنگریز مدون

انتخاب شکل سد خاکی

مشخصات بهترین نوع خاک

۱۶

۱۶

۱۸

۱۸

۱۸

۲۰

۲۱

۲۲

۲۳

۲۳

۲۴

۲۴

۲۴

فصل دوم

نیازهای اساسی طرح

مسائل مربوط به سدهای خاکی

مدل های کنترل تراوش

اجرای ساختمان سد

تراوش در سدهای خاکی

رابطه ریاضی تراوش آب در سدها

تراوش از درون بدنه سدهای خاکی

اصل تبدیل سازگار

حرکت آب در خاک های غیر ایزوتروپ

برنامه کامپیوتری رسم شبکه جریان

ضریب آبگذری در خاکهای غیر همگن

عبور جریان از مرز مشترک دو خاک

روش عددی حل معادله جریان آب در خاک های اشباع

برنامه کامپیوتری حل عددی معادله جریان

۳۶

۳۶

۳۷

۳۸

۳۹

۴۳

۴۸

۵۱

۵۵

۵۹

۶۳

۶۶

۶۸

۷۱

فصل سوم

اشکال مختلف خرابی یک سد خاکی

۷۸

۷۹	تشریح مکانیسم‌های مختلف خرابی یک سد
۸۱	فرسایش درونی (رگاب)
۸۲	زهکشی در بدنه سد
۸۲	زهکش لایه ای افقی
۸۵	زهکش مایل
۸۶	زهکش پنجه سنگی
۸۹	شرایط صافی‌ها و طراحی فیلتر
۹۴	تعیین ضخامت زهکش
۹۶	معاسبه و برآورد ضخامت لایه‌های زهکش
۹۷	برنامه کامپیوتری طراحی فیلتر
۱۰۱	روش‌های کنترل تراوش
۱۰۶	کنترل تراوش در فونداسیون و دیوارهای جانبی سد
۱۰۷	کنترل نشست از پی سد

فصل چهارم

۱۱۴	نقش آب بندها
۱۱۴	تزریق
۱۱۴	اهداف دوغاب ریزی (مزایا و معایب)
۱۱۴	معایب تزریق در آب‌رفت
۱۱۴	موارد توصیه تزریق (مزایا)
۱۱۶	عوامل مؤثر در تزریق
۱۱۸	اجرای تزریق و روش‌های آن
۱۲۶	ترانشه ی آب بند
۱۲۶	آب بند ناقص
۱۲۷	آب بند سپری
۱۲۷	آب بند سیمانی و پرده بتنی درجا
۱۲۸	پوشش بالا دست
۱۲۹	تعیین ابعاد پوشش بالا دست
۱۳۰	مزایا و معایب آب بندها
۱۳۲	پدیده روباه
۱۳۴	روش مبارزه با خطر پدیده روباه

فصل پنجم

۱۵۴	مقدمه
۱۵۴	حفاظت دامنه پایین دست
۱۵۶	حفاظت دامنه بالا دست
۱۵۷	مشخصات امواج
۱۵۸	سنگ چینی

۱۶۲	وزن قطعات سنگ چینی
۱۶۸	بررسی دوام و علل آسیب پذیری لایه سنگ چینی
۱۶۹	مطالعه تجربی و دوام سنگ چین در چند سد
۱۷۲	حفاظت دامنه های خاکی به وسیله سیمان
۱۷۵	بازرسی کیفیت اجرا
۱۷۷	حفاظت دامنه سدها بوسیله پوشش بتنی
۱۸۰	پوشش بتنی آسفالتی
۱۸۱	پوشش بتنی آسفالتی در خاکریز سرریز
۱۸۲	انواع دیگر پوششها و مقایسه نسبی اقتصادی

فصل ششم

۱۸۶	ارتفاع آزاد سد
۱۹۲	توضیح برنامه برآورد شیب طرفین سد و عرض تاج
۱۹۳	محاسبه عرض تاج سد
۱۹۳	برنامه کامپیوتری محاسبه ابعاد سد
۱۹۵	برآورد تقریبی حجم خاک مصرفی در واحد طول سد

فصل هفتم

۲۰۰	مقدمه
۲۰۲	کلیات پایداری سطوح شیبدار
۲۰۳	ضریب اطمینان
۲۰۵	پایداری سدهای خاکی
۲۰۷	آزمایش برش مستقیم
۲۰۸	روش محاسبه ضریب اطمینان
۲۰۹	پایداری شیروانی
۲۱۱	روش محاسبه پایداری شبیها
۲۱۳	روش ساده برای خاکهای چسبنده
۲۲۱	روش دایره ϕ در تعیین ضریب پایداری
۲۲۶	راه حل فنئیسوس یا روش سوئدی در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۳۱	روش تیلور در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۳۲	روش برشها در تحلیل شیب در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۳۵	روش بیشاپ در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۳۷	حالت توقف آب در مقابل شیب
۲۳۹	روش سطح غیر مشخص لغزش در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۴۱	روش تیلور اصلاح شده در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۴۲	روش بیشاپ اصلاح شده در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۵۰	روش لغزش قطعه ای در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۵۱	روش مرگنسترن در شرایط تخلیه سریع مخزن

۲۵۴	برآورد مقدار فشار حفره ای در تخلیه سریع مخزن
۲۶۱	تعیین مرکز سطح لغزش بحرانی
۲۶۳	لغزش انتقالی
۲۶۵	لغزش گوه ای
۲۶۹	پارامترهای پایداری سدهای خاکی
۲۷۲	برنامه کامپیوتری روش فلتیوس
۲۷۵	برنامه اول روش بیشاپ
۲۷۸	برنامه دوم روش بیشاپ
۲۸۱	برنامه روش جداول بیشاپ و مرگسترن
۲۸۴	برنامه روش تیلور
۲۸۹	برنامه ششم
۲۹۲	برنامه کامپیوتری دایره ϕ
۲۹۸	برنامه کامپیوتری لغزش قطعه

فصل هشتم

۳۰۴	مقدمه
۳۰۴	محاسبه گسترش تنش در خاک
۳۰۴	روش بوسینسک
۳۰۲	بار نقطه ای
۳۰۹	بار یکنواخت خطی
۳۱۱	بار یکنواخت مستطیلی
۳۱۳	بار یکنواخت دایره ای
۳۱۶	برنامه کامپیوتری تنش در عمق

فصل نهم

۳۲۲	مقدمه
۳۲۳	محاسبه فشارهای جانبی خاک
۳۲۳	تئوری رانکین
۳۲۳	فرضیات تئوری رانکین
۳۲۸	تئوری کولمب
۳۳۴	ارزیابی و مقایسه روشهای رانکین و کولمب
۳۳۷	دیوارهای سپری
۳۳۹	برنامه کامپیوتری رانکین
۳۴۲	برنامه کامپیوتری کولمب
۳۴۴	برنامه کامپیوتری دیوار سپری

فصل دهم

۳۴۸	تحکیم در خاک
۳۴۸	عوامل مؤثر در سرعت تحکیم
۳۴۸	تحکیم یک بعدی
۳۴۸	محاسبه نشست ناشی از تحکیم
۳۴۹	محاسبه تحکیم یک بعدی
۳۵۰	رابطه توزاقی و یک
۳۵۱	معادله یک بعدی تحکیم
۳۵۵	حل تحلیلی معادله تحکیم
۳۶۱	حل عددی معادله تحکیم
۳۶۶	برنامه کامپیوتری حل عددی معادله تحکیم

منابع و مؤاخذ ۳۷۱

فهرست برنامه های کامپیوتری

۵۹	رسم شبکه جریان
۷۱	حل عددی معادله جریان
۹۷	طراحی فیلتر
۱۹۳	محاسبه ابعاد سد
۲۲۶	راه حل فلوئید در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۷۲	روش بیشاب در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۷۷	روش قطعات در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۸۰	بیشاب مرگنستون در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۸۳	روش تیلور در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۸۸	روش تیلور اصلاح شده در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۹۱	روش دایره ϕ در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۲۹۸	روش لغزش قطعه در محاسبه ضریب اطمینان سطوح شیبدار
۳۱۶	تنش در عمق
۳۳۹	فشار جانبی خاک بر روش واکین
۳۴۲	فشار جانبی خاک بر روش گولمب
۳۴۴	دیوار سبری و میله مهار
۳۶۶	تحکیم

پیش گفتار

افزایش سریع جمعیت در دنیا و نیاز روز افزون بشر به فراورده‌های کشاورزی و دامی و منابع انرژی موجب شده است که تا حد امکان از هر قطره آب استفاده صحیح و بهره‌برداری کامل به عمل آید.

اهمیت آب با داستان زندگی بشر شروع می‌شود؛ زندگی با آب معنا می‌یابد، به طوری که خداوند در آیه ای شریفه می‌فرماید:

«مِنَ الْمَاءِ كُلِّ شَيْءٍ حَيٍّ»

یعنی زندگی همه چیز از آب است و در آیه ای دیگر می‌فرماید:

«إِنَّا أَنْزَلْنَا الْمَاءَ وَاحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا»

یعنی ما آب را نازل کردیم و بوسیله آن زنده نمودیم زمین را بعد از مردن

چنانچه می‌دانیم وسعت اراضی مستعد به کشاورزی در کشور ایران قابل توجه می‌باشد ولی به علت کمبود آب و آشنا نبودن کشاورزان به روش بهره‌برداری صحیح از آن، کشاورزی کم رونق است و همچنین چشم انداز رشد جمعیت خبر از بحران آب در زندگی شهری می‌دهد. و لذا باید چاره‌ای اندیشید. اولین گام برای رسیدن به شرایط مطلوب مصرف بهینه آب فرهنگ سازی مصرف و گام بعدی استفاده از تکنولوژی در مهار و استفاده از آب.

مفهوم سد در فرهنگ ما چنان گویا است که هم در جامعه مهندسی و هم در عرف اجتماع بی نیاز از توضیح می‌باشد. به طوری که حتی مشتقات آن در فرهنگ ما کاملاً مأنوس است، مانند سد معبر، سد راه، مسدود، انسداد و غیره. به هر حال، معنای خاص آن عبارت است از بنایی که بخشی را از بخش دیگر جدا می‌کند و غالباً به مفهوم دیوار یا سازه‌ای است که از حرکت آب (کلاً یا جزئاً) جلوگیری می‌کند تا آب ذخیره شود یا انحراف بیابد. برای معادل فارسی این واژه گاه «بند» به کار برده شده است.

انواع سد را می‌توان از دیدگاه مصالح، فرم ساختمانی، هدف از احداث سد، نوع سرریز و یا ویژگی‌های دیگری رده بندی کرد. آنچه معمولاً در نامگذاری‌ها مشاهده می‌شود عبارت است

از: سد بتنی وزنی که پایداری آن بر اساس وزن آن است، سد بتنی قوسی که ممکن است تک قوسی یا دو قوسی باشد. سد بتنی پایه دار و پشت بند دار، سد پاره سنگی (که سنگی و سنگریزه ای هم گفته می شود) و سد خاکی که عمده مصالح آن مواد خاکی و پاره سنگی است. سدهای خاکی بیش از سد بتنی در معرض تخریب بوده اند. و بر اساس گزارش های ICOLD (مثلاً گزارش a, 1983) از میان ۱۴۷۰۰ سد بررسی شده، ۱۱۵۰ سد (یعنی ۷/۵ درصد) دارای نواقص جدی بوده اند و ۱۰۷ مورد (یعنی ۰/۷ درصد) تخریب شده اند. بیش از ۵۰٪ خرابی ها یا آسیب دیدگی سدهای خاکی در ضمن ساخت یا در اولین پر شدن بوده است.

با علم به موارد فوق، تکنولوژی طراحی و ساخت سدهای خاکی روز به روز در حال پیشرفت در دقت و ملاحظه بیشتری می باشد. یکی از موارد حضور چشمگیر تکنولوژی در طراحی سدها بهره گیری از کامپیوتر در طراحی اولیه سدها و مدل کردن سد و نیروهای وارده بر آن و کنترل بخش ها و اجزای مختلف یک سد می باشد. در اینجا ما قصد داریم نرم افزاری برای طرح اولیه و کنترل در طرح اولیه ارائه دهیم؛ گرچه برنامه های خارجی با خصوصیات متفاوت در دسترس طراحان داخلی می باشد. ولی شروع یک حرکت نرم افزاری داخلی را در این زمینه لازم دیده ایم. گرچه سال ها از متخصصان خارجی در طراحی نرم افزار عقب هستیم ولیکن باید شروعی برای این اقدام باشد گرچه در حد ابتدایی و ناقص، در عین حال لازم الاجرا، و بدین وسیله تفکر در این مرحله را آغاز کرده ایم.