



دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی عمران - آب

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران - آب

عنوان

شبیه سازی انتقال رسوب در دلتای ورودی مخزن سد علویان

با مدل CCHE2D

استاد راهنما:

دکتر محمد تقی اعلمی

استاد مشاور:

دکتر وحید نورانی

پژوهشگر:

حبیبه دینی

آبان ماه ۸۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نام خانوادگی دانشجو: دینی	نام: حبیبه
عنوان پایان نامه: شبیه سازی انتقال رسوب در دلتای ورودی مخزن سد علویان با مدل CCHE-2D	
استاد راهنما: دکتر محمد تقی اعلمی	
استاد مشاور: دکتر وحید نورانی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی عمران
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	گرایش: آب
دانشکده: مهندسی عمران	تاریخ فارغ التحصیلی: آبان ۸۸
تعداد صفحات: ۱۰۰	دانشگاه: تبریز
کلید واژه ها: رسوبگذاری در مخازن، مدل ریاضی رسوبگذاری، سد مخزنی علویان	
<p style="text-align: right;"><b>چکیده</b></p> <p>سدها به منظور ذخیره نمودن آب برای استفاده شرب یا کشاورزی، تولید انرژی برقی، کنترل سیلاب و جلوگیری از خسارات ناشی از آن، ایجاد فضاهای تفریحی و ... احداث می شوند. رسوبگذاری در مخازن سدها این قابلیت ها را از بین برده به علاوه باعث زیانهای دیگر از جمله تغییر رژیم کلی جریان، اختلال در دریچه های تخلیه کننده، بالا آمدن بستر رودخانه، افزایش تبخیر از سطح دریاچه و ... می شود. از اینرو تخمین صحیح و بررسی رسوبگذاری نه تنها قبل از ایجاد سد، بلکه در دوران بهره برداری نیز امری ضروری به حساب می آید. عمر مفید مخازن بسته به میزان رسوبات وارده، راندمان تله اندازی و نحوه رسوبگذاری متفاوت است. بنابراین در مطالعات رسوبگذاری علاوه بر مقدار رسوبات وارده، نحوه نشست رسوبات و نرخ پیشروی آن به سمت بدنه سد نیز مهم است.</p> <p>در سال های اخیر مدل های ریاضی متعددی برای بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه ها و سدهای مخزنی ارائه شده که از جمله این مدل ها، CCHE-2D می باشد. نسخه جدید این مدل قادر به شبیه سازی جریان غیر دایمی کوتاه و بلند مدت و انتقال رسوب غیر یکنواخت در رودخانه هاست. این مدل انتقال رسوب را با استفاده از روش های غیر تعادلی محاسبه می کند.</p> <p>در پایان نامه حاضر، ابتدا اطلاعات توپوگرافی و هیدرولوژیکی و رسوبی سد علویان جمع آوری شده است. اطلاعات حاصل از هیدروگرافی سد علویان نیز جمع آوری شده است. پس از انتقال نقشه های مربوط به زمان ساخت سد و پس از هیدروگرافی مخزن به مدل و رسم پروفیل های عرضی و طولی در مقاطع مختلف از مخزن نحوه رسوبگذاری مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه این پروفیل ها حاکی از این است که علاوه بر اینکه تراز بستر به مقدار قابل توجهی بالا می آید بستر رودخانه در اثر رسوبگذاری و آبستگي به سمت راست جابجا شده است که این مسئله ناشی از وجود انحنا در مسیر جریان می باشد.</p> <p>سپس با استفاده از نرم افزار CCHE-2D مدلسازی بر اساس ورودی مخزن انجام شده است. نتایج بدست آمده از مدل با هیدروگرافی مخزن مقایسه و میزان دقت مدل ارزیابی شده است.</p>	

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

.....

### فصل اول :

مقدمه و مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه رسوبگذاری در دلتای مخازن

۱-۱-۱ مقدمه ..... ۱۰

۱-۲-۱ مدل‌های عددی انتقال رسوب در مخازن ..... ۲۰

۱-۲-۱-۱ مدل Fluvial 12 ..... ۵۰

۱-۲-۲-۱ مدل HEC-6 ..... ۵۰

۱-۲-۳-۱ مدل SSIIM ..... ۶۰

۱-۲-۴-۱ مدل GSTARS ..... ۸۰

### فصل دوم :

#### مدل انتقال رسوب CCHE-2D

۲-۱-۱ مقدمه ..... ۱۰

۲-۲-۱ توانایی‌های مدل انتقال رسوب ..... ۱۰

۲-۳-۱ CCHE-MESH ..... ۱۳۰

۲-۳-۱-۱ مقدمه ..... ۱۳۰

۲-۳-۲-۱ ایجاد مش جبری ..... ۱۴۰

۲-۳-۲-۱-۱ روش دو مرزی ..... ۱۴۰

۲-۳-۲-۲-۱ تابع کشیدگی ..... ۱۵۰

- ۱۷۰..... ۲-۳-۳ ایجاد مش عددی
- ۱۷۰..... ۲-۳-۴ ارزیابی مش
- ۱۸۰..... ۲-۳-۵ میانبایی بستر
- ۱۹۰..... ۲-۴ مدل جریان CCHE-2D
- ۲۰۰..... ۲-۴-۱ مدل ویسکوزیته آشفتگی
- ۲۱۰..... ۲-۴-۲ مدل دو بعدی
- ۲۲۰..... ۲-۵ شرایط مرزی و معادلات حاکم در مدل انتقال رسوب C CHE2D
- ۲۲۰..... ۲-۵-۱ مفهوم بار رسوب
- ۲۳۰..... ۲-۵-۲ معادلات حاکم بر مدل انتقال رسوب
- ۲۳۰..... ۲-۵-۲-۱ معادله انتقال رسوبات در عمق متوسط
- ۲۶۰..... ۲-۵-۲-۲ فرمول مدل انتقال بار بستر غیر تعادلی
- ۲۷۰..... ۲-۵-۲-۳ تغییر مورفولوژی کانال
- ۲۸۰..... ۲-۵-۲-۴ طبقه بندی مواد بستر
- ۲۹۰..... ۲-۵-۳ روشهای مدلسازی انتقال بار کل
- ۳۰۰..... ۲-۵-۴ شرایط مرزی و شرایط اولیه
- ۳۲۰..... ۲-۶ روشهای عددی
- ۳۲۰..... ۲-۶-۱ گسسته سازی معادلات انتقال رسوب
- ۳۴۰..... ۲-۶-۲ گسسته سازی معادله تغییر بستر
- ۳۴۰..... ۲-۶-۳ گسسته سازی معادله لابندی مواد بستر
- ۳۵۰..... ۲-۶-۴ روش محاسبه
- ۳۵۰..... ۲-۷ فرمولهای تجربی انتقال رسوب غیر چسبنده
- ۳۶۰..... ۲-۷-۱ ظرفیت انتقال رسوب غیر چسبنده

- ۳۶۰..... ۲-۷-۲ طول انطباق غیر تعادلی و ضریب  $\alpha$
- ۳۸۰..... ۲-۷-۳ زبری بستر متحرک
- ۳۹۰..... ۲-۸ فرمولهای تجربی برای انتقال رسوب چسبنده
- ۴۰۰..... ۲-۸-۱ انتقال رسوب با ویژگی چسبندگی ضعیف
- ۴۰۰..... ۲-۸-۲ انتقال رسوب با ویژگی چسبندگی قوی
- ۴۰۰..... ۲-۸-۲-۱ فلو که شدن و نشست فلو که ها
- ۴۲۰..... ۲-۸-۲ میزان تغییر شکل بستر
- ۴۳۰..... ۲-۸-۲-۳ تحکیم: پروسه تراکم مواد ته نشسته تحت اثر نیروهای ثقل

## فصل سوم:

### شبیه سازی رسوبگذاری در دلتای ورودی مخزن سد علویان

- ۴۵۰..... ۳-۱ مشخصات عمومی سد و مخزن علویان
- ۴۶۰..... ۳-۲ هیدرولوژی
- ۴۶۰..... ۳-۲-۱ مشخصات هواشناسی و جغرافیایی منطقه
- ۴۷۰..... ۳-۲-۲ سیستم تشکیل رودخانه صوفی چای
- ۴۸۰..... ۳-۲-۳ هیدروگراف سیلاب ها
- ۵۰۰..... ۳-۳ مشخصات رسوب رودخانه
- ۷۳۰..... ۳-۴ مشخصات هیدرولیکی مدل
- ۷۴۰..... ۳-۴-۱ هیدروگراف دبی ورودی به مخزن
- ۷۵۰..... ۳-۴-۲ مقادیر ترازهای ماهانه سطح آب
- ۷۶۰..... ۳-۴-۳ دبی رسوب ورودی به مخزن
- ۷۷۰..... ۳-۴-۴ دانه بندی مواد کف بستر و مواد معلق



## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان شکل
.....	.....
۴۰.....	شکل ۱-۱ نحوه تشکیل دلتا در مخازن
۱۸۰.....	شکل ۱-۲ ساختار یک بلوک منفرد
۱۹۰.....	شکل ۲-۲ توزیع گره ها روی یک خط
۲۰.....	شکل ۲-۳ اثر پارامترهای E,D,S
۲۲.....	شکل ۲-۴ شبکه مثلث بندی برای میانبایی در روش مسطح
۲۵.....	شکل ۲-۵ نحوه انتقال رسوب
۲۶.....	شکل ۲-۶ وضعیت انتقال رسوب
۳۲.....	شکل ۲-۷ طبقه بندی لایه های بستر
۳۵.....	شکل ۲-۸ شرایط مرزی برای شبیه سازی دو بعدی رسوب
۳۶.....	شکل ۲-۹ ترکیب المانهای محاسباتی
۴۵.....	شکل ۲-۱۰ رابطه غلظت رسوب و سرعت نشست فلوک ها
۵۳.....	شکل ۳-۱ هیدروگراف سیل حداکثر محتمل و سیل ۱۰۰۰۰ ساله رودخانه صوفی چای در محل سد
۵۸.....	شکل ۳-۲ هیدروگراف دبی ورودی به مخزن
۵۹.....	شکل ۳-۳ هیدروگراف خروجی از مخزن
۶۰.....	شکل ۳-۴ منحنی دانه بندی بستر سد علویان
۶۲.....	شکل ۴-۱ نقشه های توپوگرافی مخزن سد علویان
۶۳.....	شکل ۴-۲ نقشه DEM مربوط به قبل از ساخت سد



- شکل ۳-۴ مش بندی مخزن سد علویان قبل از احداث سد ..... ۶۴۰
- شکل ۴-۴ نقشه های توپوگرافی انتقال یافته به مدل CCHE-GUI ..... ۶۴۰
- شکل ۴-۵ پروفیل عرضی مقطع ۱ به فاصله ۳۵۶۴ متر از دهانه سد ..... ۶۷۰
- شکل ۴-۶ پروفیل عرضی مقطع ۵ به فاصله ۳۴۲۰ متر از دهانه سد ..... ۶۷۰
- شکل ۴-۷ پروفیل عرضی مقطع ۱۰ به فاصله ۳۲۴۰ متر از دهانه سد ..... ۶۸۰
- شکل ۴-۸ پروفیل عرضی مقطع ۱۵ به فاصله ۳۰۷۵ متر از دهانه سد ..... ۶۸۰
- شکل ۴-۹ پروفیل عرضی مقطع ۲۰ به فاصله ۲۸۹۸ متر از دهانه سد ..... ۶۹۰
- شکل ۴-۱۰ پروفیل عرضی مقطع ۲۵ به فاصله ۲۷۱۲ متر از دهانه سد ..... ۶۹۰
- شکل ۴-۱۱ پروفیل عرضی مقطع ۳۰ به فاصله ۲۵۳۳ متر از دهانه سد ..... ۷۰۰
- شکل ۴-۱۲ پروفیل عرضی مقطع ۳۵ به فاصله ۲۳۵۶ متر از دهانه سد ..... ۷۰۰
- شکل ۴-۱۳ پروفیل عرضی مقطع ۴۰ به فاصله ۲۱۷۲ متر از دهانه سد ..... ۷۱۰
- شکل ۴-۱۴ پروفیل عرضی مقطع ۴۵ به فاصله ۱۹۹۰ متر از دهانه سد ..... ۷۱۰
- شکل ۴-۱۵ پروفیل عرضی مقطع ۵۰ به فاصله ۱۸۸۲ متر از دهانه سد ..... ۷۲۰
- شکل ۴-۱۶ پروفیل عرضی مقطع ۵۵ به فاصله ۱۶۲۷ متر از دهانه سد ..... ۷۲۰
- شکل ۴-۱۷ پروفیل عرضی مقطع ۶۰ به فاصله ۱۴۵۱ متر از دهانه سد ..... ۷۳۰
- شکل ۴-۱۸ پروفیل عرضی مقطع ۶۵ به فاصله ۱۲۸۲ متر از دهانه سد ..... ۷۳۰
- شکل ۴-۱۹ پروفیل عرضی مقطع ۷۰ به فاصله ۱۰۹۴ متر از دهانه سد ..... ۷۴۰
- شکل ۴-۲۰ پروفیل عرضی مقطع ۷۵ به فاصله ۹۱۲ متر از دهانه سد ..... ۷۴۰
- شکل ۴-۲۱ پروفیل عرضی مقطع ۸۰ به فاصله ۷۳۷ متر از دهانه سد ..... ۷۵۰
- شکل ۴-۲۲ پروفیل عرضی مقطع ۸۵ به فاصله ۵۴۱ متر از دهانه سد ..... ۷۵۰
- شکل ۴-۲۳ پروفیل عرضی مقطع ۹۰ به فاصله ۳۴۷ متر از دهانه سد ..... ۷۶۰
- شکل ۴-۲۴ پروفیل عرضی مقطع ۹۵ به فاصله ۱۶۶ متر از دهانه سد ..... ۷۶۰



## فهرست جداول

صفحه

عنوان جدول

.....

۵۲.....	جدول ۳-۱ مشخصات هیدروگراف های طرح سیل و هیدروگراف بی بعد سد علویان
۵۴.....	جدول ۳-۲ مشخصات ایستگاه های هیدرومتری منطق
۵۵.....	جدول ۳-۳ مقادیر رسوب معلق سالانه بر حسب هزار تن
۵۷.....	جدول ۳-۴ مقادیر دبی ماهانه بعنوان داده ورودی مدل
۵۸.....	جدول ۳-۵ مقادیر ترازهای ماهانه سطح آب
۵۹.....	جدول ۳-۶ مقادیر دبی رسوب ورودی به مخزن
۶۶.....	جدول ۴-۱ مقادیر تغییرات حجم آبشستگی و رسوبگذاری در فواصل مختلف از سد

فصل اول :

مقدمه و مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه

رسوبگذاری در دلتای مخازن

بشر برای استفاده از آب جهت مصرف شرب یا کشاورزی و استفاده از نیروی برقابی اقدام به احداث سدها بر روی بستر رودخانه ها کرده است. به دنبال توسعه سریع ساخت و بهره برداری از سدها در کشور مساله رسوبگذاری بیش از پیش مورد توجه قرار می گیرد. با تبدیل رژیم جریان رودخانه به دریاچه، تغییرات عمده ای بوجود می آید که نتیجه آن ترسیب و بر جای ماندن مواد جامد معلق و بار کف جریانهای آبی در مخازن می باشد. اثرات ناشی از فرسایش و رسوبگذاری در مخازن، کاهش راندمان و بی نتیجه ماندن سرمایه گذاریهای کلان انجام شده در صنعت آب را به دنبال دارد [۱۴, ۱۵, ۲۱].

کاهش ظرفیت سدها بر اثر انباشته شدن رسوب در آنها سالانه حدود یک درصد تخمین زده شده است بعضی سدها درصد بیشتری از حجم مخزن خود را از دست می دهند به طور مثال مخزن سانمزیا در چین حدود ۱.۷٪ از حجم خود را سالانه از دست می دهد [۱۰].

در پدیده رسوبگذاری مخازن شرایط آب و هوایی، جنس زمین، پوشش گیاهی، شیبهای ناحیه ای، مدیریت حوضه آبریز، نحوه بهره برداری و ... به عنوان پارامترهای موثر در میزان رسوب انتقالی به مخزن به شمار می رود. با در نظر گرفتن این واقعیت که سد سازی از جمله پروژه های بسیار پر هزینه است باید راهکارهایی نیز برای حفظ، نگهداری و افزایش کارایی آنها در نظر گرفت. رسوبگذاری علاوه بر آنکه ظرفیت در نظر گرفته شده برای دریاچه را تحت تاثیر قرار داده و باعث کاهش آن می شود ممکن است کارکرد برخی از تاسیسات سدها مثل برخی دریاچه ها را نیز دچار اختلال کند بنابراین لازم است که میزان و توزیع رسوبگذاری دقیقا معین گردد [۱۰].

تاکنون مطالعات فراوانی در زمینه روشهای مختلف تجربی، نیمه تجربی و مدلسازی تعیین حجم و نحوه ته نشست رسوبات در مخازن انجام شده است که در کنار آنها مباحثی از جمله تغییرات وزن مخصوص رسوبات در اثر مرور زمان، ضریب به دام افتادن رسوبات و پارامترهای موثر در آن، تغییرات پروفیل طولی و عرضی کف مخزن خصوصا در نواحی نزدیک بدنه و همچنین تاثیر جریان غلیظ مورد توجه ویژه قرار گرفته است. این مطالعات تا آنجا گسترش یافته که کشورهای نظیر چین، هند، ژاپن، امریکا، رومانی و آفریقای جنوبی تحقیقات جداگانه ای در این زمینه انجام داده اند و اغلب فرمول های خاصی را برای حوضه های مختلف مخازن خود کالیبره نموده اند. فرض تجربی تشکیل دلتا یا گوه در مخازن از اولین پیش بینی های مکانیزم شکل گیری ته نشست رسوبات در مخازن می باشد. در این روش فرض می شود رسوبات به فرم یک دلتا یا گوه بزرگ با شیب عمومی خاص نسبت

به شیب بستر اولیه در مخزن ته نشین می شوند و هرچه رسوبگذاری در مخزن ادامه یابد دلتا یا گوه گسترش یافته و پیشانی دلتا به سمت سد حرکت خواهد کرد [۷].

ناحیه ته نشینی رسوبات به اندازه و توزیع ذرات مواد رسوبی حمل شده، اندازه و شکل مخزن، روش بهره برداری از مخزن و نسبت ظرفیت مخزن به جریان رسوب ورودی بستگی دارد. موقعیت این ناحیه در مدیریت مخازن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای مثال تعیین رقوم کف مخزن برای مشخص شدن فاصله رسوبات تا دریچه های تخلیه کننده تحتانی و دریچه های توربین ها کاربرد دارد. همچنین تخمین ظرفیت مخزن در رقوم مختلف به منظور مشخص نمودن میزان بالا آمدن سطح دریاچه در مواقع سیلابی ضروری است [۶].

ذرات معلق رسوب که وارد یک مخزن می شوند تحت اثر نیروهایی در دو جهت می باشند یکی مولفه قائم نیروی ثقل و دیگری مولفه افقی بزرگی که در جهت جریان عمل می کند. همانطور که سرعت جریان ورودی با مواجه شدن با یک سطح مقطع عریض تر در محل مخزن سد کاهش می یابد مولفه نیروی افقی ضعیف تر شده و قدرت آن برای نگه داشتن ذرات رسوب به صورت معلق کاهش می یابد و به این ترتیب ته نشینی آغاز می شود. در ابتدای مخزن رسوبات درشت دانه ته نشین شده و تشکیل دلتا را می دهند. تشکیل دلتا در قسمت فعال و مورد استفاده مخزن رخ می دهد لذا نیاز به مدیریت و کنترل دارد به همین دلیل تحقیقات وسیعی در مورد آن توسط یانگ، یوسل و گراف، چانگ، ایتو، ماتياس و روتبرگ، اسلاف و غیره [نقل از منبع شماره ۱۱] انجام شده است. در کارهای آنها پیچیدگی رسوبگذاری دلتا در مخازن و نیز مشکل بودن پیش بینی نحوه پیشروی آن مشخص شده است [۱۱].

### شکل گیری دلتا

قسمت های مختلف دلتا عبارتند از:

بخش بالایی دلتا (topset beds)

رسوباتی که ابعاد آنها به اندازه ماسه و یا بزرگتر از آن است معمولاً بعد از ورود به مخزن خیلی زود و در ابتدای ورود ته نشین می شوند و بخش بالایی دلتا را تشکیل می دهند. حد آخرین جایی که در مخزن رسوب نشسته است شروع بخش بالایی دلتا است [۱۳].

پیشانی دلتا (foreset deposits)

نمایانگر منطقه پیشروی دلتا به داخل مخزن است و با توجه به افزایش شیب ناگهانی از منطقه topset قابل تشخیص است در صورتیکه غلظت رسوبات باعث بالا آمدن کف مخزن شود این قسمت با کم کردن شیب خود تعادل را ایجاد می کند مهمترین ویژگی پیشانی دلتا افزایش سریع عمق آب و کاهش شدید سرعت جریان می باشد.

### بخش پایینی دلتا (bottomset beds)

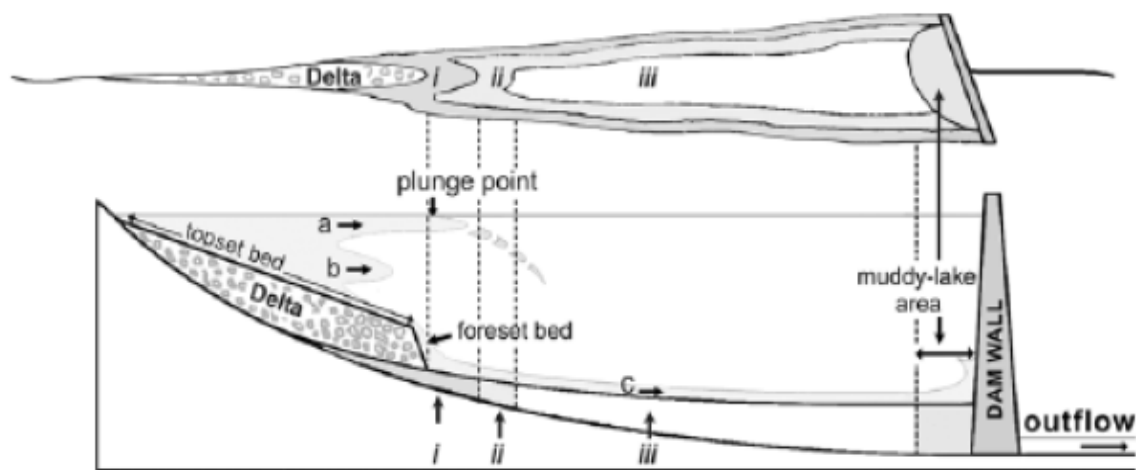
شیب این قسمت تقریباً صاف است. بعد از منطقه دلتا شکل گرفته و به کمک جریان غلیظ و یا سیال لایه بندی نشده به این محل منتقل می شوند رسوباتی که به این منطقه آورده می شوند اکثراً ریزدانه هستند.

### نقطه محوری (pivot point)

این نقطه در واقع جدا کننده بخش بالایی و پیشانی دلتا است که به عنوان نقطه تعیین کننده در پیشروی دلتا مورد بررسی قرار می گیرد موقعیت نقطه محوری بستگی به عملکرد مخزن و شیب کانال در منطقه تشکیل دلتا دارد.

رسوبات پیشانی دلتا دارای دانه بندی ریزتر و زاویه شیب تعادلی بزرگتر از بخش بالایی دلتا هستند. تغییر ناگهانی در اندازه ذرات رسوبات در این دو بخش باعث ایجاد ناپایداری و پایین افتادن شدیدتر سطح بستر در foreset می شود و دلتا با این شکل در مخزن پیش می رود.

همانطور که در شکل (۱-۱) می بینید در دلتا مشاهده شده است که شیب بستر قسمت فوقانی ثابت و معمولاً کمتر از شیب بستر اصلی می باشد. تغییر ناگهانی در اندازه ذرات رسوبات، topset را از قسمت پیشانی جدا می کند. رسوبات foreset دارای دانه بندی ریزتر و زاویه شیب تعادل بزرگتر از رسوبات topset می باشند و این منجر به ایجاد ناپایداری و پایین افتادن شدیدتر سطح بستر در foreset می شود. و دلتا با حفظ این شکل در مخزن پیش می رود. رسوبگذاری در ناحیه دلتا لایه بندی مشخصی را خصوصاً در انتهای پایین دست آن ایجاد می کند. به طور مثال جریانهای شدید موجب ایجاد لایه های رسوب درشت دانه می شود و لایه های رسوب ریز دانه تر موجود در ناحیه دلتا مربوط به زمانهایی است که جریان ورودی ضعیف تر بوده است. از آنجاییکه دلتاهای مخازن سد نسبت به تغییرات جریان ورودی و تراز سطح آب در مخزن حساس می باشند تحت تاثیر دوره های مختلف رسوبگذاری و فرسایش قرار می گیرند [۱۱].



a = overflow b = interflow c = underflow

i = marginal zone ii = transportational zone iii = accumulating zone

شکل ۱-۱ نحوه تشکیل دلتا در مخازن [۱۱]

ذرات ریزدانه تر که معلق شده اند پس از عبور از روی ناحیه دلتا به صورت یک جریان شبه همگن (غیر لایه لایه) جریان می یابند و بر اثر کاهش تدریجی سرعت جریان که ناشی از افزایش سطح مقطع عرض رود در محل مخزن می باشد در طول آن به تدریج ته نشین می شوند ناحیه جریان شبه همگن در صورتی که دبی جریان کمتر بوده یا غلظت رسوب بیشتر باشد در فاصله کوتاهتری خواهد بود و بر عکس در صورتی که دبی جریان بیشتر و غلظت رسوب آن کمتر باشد این فاصله طولانی تر می شود و در این صورت این جریان تا زمانی که عدد فرود غلظت میانگیری شده در مقطع حدود ۰.۶-۱ شود ادامه می یابد. در این صورت جریان مملو از رسوب در مخزن آب سقوط (پلانج) کرده و در روی سطح بستر تشکیل جریان گل آلود (یا جریان سنگین) را می دهد. لی و یو [نقل از منبع شماره ۱۲] نواحی رسوبگذاری را به چهار ناحیه تقسیم کردند: (۱) رسوبگذاری ذرات درشت دانه در ناحیه دلتا، (۲) رسوبگذاری ذرات ریز در ناحیه جریان شبه همگن، (۳) رسوبگذاری ریزترین ذرات در ناحیه دلتای دریاچه گل آلود و (۴) در مقاله خود به بررسی آزمایشگاهی نواحی ۲ و ۳ پرداختند [۱۲].

در مخازنی که دارای طول زیادی می باشند جریان گل آلود حاوی رس و لای می تواند دهها کیلومتر به سمت پایین دست حرکت کند. سقوط جریان گل آلود توسط چندین محقق از جمله فورل، گروور و هوراد، بل، لین، نورمارک و دیکسون، لمبرت چیکیتا، فن و موریس، کساق و همکاران [نقل از منبع شماره ۱۲] مشاهده شده است [۱۲].



اگر جریان غلیظ بطور پیوسته وارد یک مخزن شود، ساختار خود را حفظ کرده و تا پای سد پیش می رود و اگر این جریان به سد برسد و از دریچه ای سرریز نکند تراز آن در مقابل سد بالا می آید و تشکیل یک موج متحرک به عقب را می دهد این موج در نهایت به صورت یک پرش هیدرولیکی مستغرق به حالت پایدار می رسد که در پایین دست آن دریاچه گل آلود مستغرق تشکیل شده است. بل ، موریس و فن هر دو به تشکیل دریاچه های گل آلود مستغرق در مخازن سدها اشاره کرده اند [۱۵].

### موقعیت مکانی ، شکل و نحوه نشست رسوبات در مخازن

در مخازن بنا به مشخصات آنها سه نوع پروفیل طولی به نام های دلتایی، گوه ای و نواری ممکن است بوجود بیاید شکل دلتایی در اکثر مخازنی که نسبت حجم مخزن به حجم سالیانه ورودی رسوبات به مخزن بزرگ است تشکیل می شود. در این فرم معمولا سطح دریاچه در تراز بالایی است و بار رسوبی وارده نسبتا درشت دانه است. فرم گوه ای در مخازن باریک با دره های باریک که در آن حجم مخزن به حجم سالیانه ورودی به مخزن کوچک است تشکیل می شود. در این فرم رسوبات ورودی اکثرا ریزدانه هستند و سریعتر به بدنه سد می رسند لذا ضخیمترین لایه انباشت رسوبی در نزدیکی بدنه سد تشکیل می شود. شکل نواری در مخازن با دره های باریک که در آن نسبت حجم مخزن به حجم سالیانه ورودی بزرگ و رسوب ورودی ریزدانه است شکل می گیرد. در این فرم مواد رسوبی به آهستگی به طرف سد حرکت می کنند [۶].

روابطی برای تشخیص شکل رسوبگذاری در مخازن توسط برخی از دانشمندان و محققین ارائه شده است. LUO

[نقل از منبع شماره ۱۰] در سال ۱۹۹۷ نتایج بررسی خود را با معرفی رابطه (۱-۱) نشان داد:

$$L = \frac{W_s}{V \gamma_s} \quad (1-1)$$

که در آن  $W_s$  حجم ورودی رسوب به مخزن در زمان  $\Delta t$  بر حسب متر مکعب،  $V$  متوسط ظرفیت مخزن در زمان  $\Delta t$  بر حسب متر مکعب و  $\gamma_s$  وزن مخصوص رسوبات ( $\text{ton/m}^3$ ) است.

Delta  $0.7 < L < 1.7$

Narrow band  $1.1 < L < 3.9$

Wedge  $4.32 < L < 5.2$

همچنین Jiao [نقل از منبع شماره ۱۰] در سال ۱۹۸۰ مشخص کرد که در صورتیکه نسبت ظرفیت متوسط مخزن در زمان به حجم رسوب ورودی در  $\Delta t$  بزرگتر از ۲ باشد دلتا نمی تواند تشکیل شود.

پروژه پیش بینی تشکیل دلتا توسط آسادا و ایشیکاوا [نقل از منبع شماره ۶] در مخزن سد lwashimizu توسعه پیدا کرد. سپس در سال ۱۹۷۳ توسط Szechowyez , Qureshi [نقل از منبع شماره ۶] در مخزن سد Mangla پاکستان به کار گرفته شد. این روش به واسطه در نظر گرفتن ملاحظات هیدرولوژیکی محلی دارای محدودیت های فراوانی است.

طبق مطالعاتی که گراف و یوسل [نقل از منبع شماره ۶] با استفاده از کارهای آزمایشگاهی و نتایج هیدروگرافی دریاچه ها انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مقدار شیب پیشانی دلتا با گذشت زمان نسبت به شیب حدی افزایش می یابد.

در سال ۱۹۷۹ هم یک رابطه نمایی توسط Lapshenkove [نقل از منبع شماره ۱۳] برای محاسبه حجم رسوبات جمع شده در فاصله X از بدنه سد پس از t سال بر اساس حجم نهایی رسوبات و یک شاخص بی بعد مرتبط با مورفولوژی بستر و هیدرولیک جریان ارائه شد.

Ren ,Ning [نقل از منبع شماره ۱۳] در سال ۱۹۸۵ یک روش ترسیمی برای مشخص کردن موقعیت دلتا در مخازن سدها ارائه دادند. در این روش شیب قسمت فوقانی دلتا در مخازن فاقد جریان غلیظ از رابطه (۱-۲) به دست می آید.

$$S_f = \frac{v}{V} \quad (1-2)$$

که در آن  $v$  سرعت متوسط ته نشینی رسوباتی است که وارد منطقه می شوند و  $V$  متوسط سرعت جریان در آن منطقه است اگر جریان غلیظ یا سیلابی وارد شود foreset شیبی ملایم تر از رابطه (۱-۲) پیدا می کند این روش در چین بطور موفقیت آمیزی برای فواصل زمانی کوتاه (فصل سیلاب) بکار گرفته شد و شکل ژئومتری دلتا را پیش بینی کرد. ولی دیده شد که این روش برای پیش بینی بلند مدت و برای مخازن با نوسانات زیادتر از سطح آب نمی تواند مفید باشد.

برلند در سال ۱۹۷۳ [نقل از منبع شماره ۱۳] با استفاده از الگوی نشست رسوب در ۲۷ سد مخزنی در اروپا به نتایج زیر رسید.

شیب foreset تقریباً ۶.۵ برابر شیب topset است. (با این حال دیگر محققین در چند مخزن شیب بزرگتر از این را هم گزارش کرده اند مثل دریاچه Mead در آمریکا که شیب foreset تقریباً ۱۰۰ برابر شیب topset است.

ارتفاع نقطه pivot point تقریباً معادل با تراز میانگین سطح آب در دریاچه است مخصوصاً زمانی که آب مخزن در اکثر مواقع در این تراز باشد.

دلته از نقطه تقاطع ماکزیمم سطح آب با بستر اولیه شروع می شود.

بر پایه اطلاعات جمع آوری شده از مخازن ۲۲ سد در چین Jiao , Lin [نقل از منبع شماره ۱۷] در سال ۱۹۷۸ به این نتیجه رسیدند که علاوه بر شیب کانال، مصالح بستر نیز در به تعادل رسیدن شیب دلته موثر است و نسبت قطر ذرات topset به قطر ذرات اولیه با نسبت شیب topset به شیب اولیه متناسب است. همچنین بر پایه این اطلاعات شیب foreset حدود ۱/۶ شیب اصلی است [۱۷].

بهرنگی و همکارانش [۲۷] روند رسوبگذاری و پیشروی دلتای رسوبی به سمت بدنه سد لتیان را مورد مطالعه قرار دادند. آنان در راستای بررسی رسوبگذاری در مخزن سد لتیان ابتدا به بررسی روند رسوبگذاری در مخزن سد و تخمین آورد رسوب در این حوضه بر اساس روشهای تجربی پرداختند. سپس به بررسی روند رسوبگذاری و پیشروی دلتای رسوبی بر اساس آنچه در واقعیت در مخزن سد در سالهای بهره برداری اتفاق افتاده است. پرداختند. همچنین خسروپور و همکارانش [۲۶] پیشروی دلتای رسوب در مخزن سد را در مدل آزمایشگاهی با مدل عددی مشابه با استفاده از نرم افزار HEC-RAS مقایسه کرده اند.

## ۲-۱ مدل‌های عددی انتقال رسوب در مخازن

تاکنون مدل های عددی زیادی برای انتقال رسوب بوجود آمده اند. همه مدل های عددی توسعه یافته می تواند در یکی از سه گروه یک بعدی، دوبعدی و یا سه بعدی قرار گیرد. شماری از مدل های عددی که در ارتباط با رسوبگذاری مخازن مورد استفاده قرار می گیرند در زیر آمده است:

### ۱-۲-۱ Fluvial 12

تاریخ ایجاد مدل کامپیوتری Fluvial به سال ۱۹۷۲ بر می گردد که توسط پروفیسور Howard H.Chang

[۱۶] نوشته و سپس بسط داده شد.

مدلهای تحت نام های Fluvial 7، Fluvial 8، Fluvial 11، Fluvial 12 و ... در این سالها توسط ایشان عرضه گشته است که از بین آنها مدل Fluvial 12 از طرف آکادمی ملی علوم آمریکا به عنوان یک استاندارد ملی در مهندسی رودخانه شناخته شده است که هم اکنون متخصصین زیادی از این مدل برای شبیه سازی رسوبگذاری و فرسایش بستر آبراهه ها استفاده می کنند. برنامه کامپیوتری Fluvial 12 یک مدل ریاضی است که روندیابی جریان رسوب در آبراهه، تغییرات عرض و تغییرات توپوگرافی بستر در نتیجه اثر انحنا توسط این مدل شبیه سازی می شود.

ویژگی اصلی مدل های chang که در این مدل نیز به چشم می خورد این است که نه تنها فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه را محاسبه می کند بلکه تغییرات عرض آبراهه های فرسایش پذیر با جریان تدریجی و غیر دائمی را نیز پیش بینی می کند.

با وجود این که این مدل برای آبراهه های فرسایش پذیر است محدودیت های فیزیکی از قبیل حفاظت دیواره ها، سازه های کنترل سطح آب و رخنمون سنگ نیز می تواند در آن اعمال شود. جهت محاسبه تغییرات عرض یک شرط اضافی بر اساس اصل حداقل قدرت جریان، ارائه شده توسط chang مورد استفاده قرار می گیرد. کاربرد این مدل برای ارزیابی فرسایش عمومی در مقطع پل، حمل رسوب، عکس العمل آبراهه به برداشت شن و ماسه، کانالیزه کردن و ... می باشد.

این مدل برای رودخانه های فصلی نیز همانند رودخانه های دائمی قابل استفاده است. همچنین باید خاطر نشان ساخت که این مدل با داده های صحرایی مربوط به چندین رودخانه در نواحی مرطوب و نیمه خشک آزمایش و کالیبره شده است. برای استفاده از این مدل در رودخانه های فصلی به دلیل رفتار گذرا در تغییرات دینامیکی آنها به تکنیک های پیچیده تری در فرمولاسیون مدل نیاز است [۱۶،۲۲].

مدل دارای ۵ بخش اساسی زیر است: