استفاده از رسوبات دریاچه‌های مصنوعی (سدها) به عنوان شواهد زیست محیطی ورودی‌های حوضه آبریز و آلاینده جوّی

مؤلفین: ال.ای.شوت بلت، ای.دی.توماس، اس.ام.هوشین سن.

مترجم: فرهاد جعفری

کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)

چکیده

دریاچه‌های طبیعی و مخازن مصنوعی[1] (سدها) به عنوان چاله‌هایی برای نگاهداشت آب حوضه آبخیز و همچنین برای تجمع رسوبات ریزمشتق از جوّ محسوب می‌شود و بنابراین، اطلاعات با ارزشی از تغییرات زمانی در این ورودی‌ها[2] وجود دارد. در حالی که استفاده از رسوبات دریاچه‌های طبیعی به عنوان اسناد زیست محیطی ثابت شده است، کاربرد رسوبات سدها (دریاچه‌های مصنوعی) به عنوان رکوردهای زمانی کمتر بوده است. اما ظاهراً برای بررسی گذشته‌ی آلودگی‌ها، منابع آبی مصنوعی دارای جاذبه بیشتری است: این ذخایر بیشتر در مجاورت با شهرها و آلاینده‌های صنعتی قرار گرفته‌اند و رسوبات سریعاً و همزمان با انتشار آلودگی، انباشته می‌شود. فقدان علاقه به رسوبات مخازن مصنوعی ناشی از این ادراک است که احتمالاً تغییر سطح اساس آب این ذخایر، باعث آشفتگی قابل توجه رسوبات مخازن می‌گردد. شاید این ادراک با نبود تحقیق در سیستم‌های رسوبی مخازن مصنوعی تقویت گردد. بنابراین با زنگری پژوهش‌های منتشر شده (مطالعات نسبتاً اندکی که از رسوبات ذخایر آبی مصنوعی و از مطالعات مربوط با ادبیات رسوبات دریاچه‌های طبیعی استفاده شده است) در مورد الگوها و فرآیندهای رسوبی ذخایر مصنوعی وجود دارد و بنابراین بطور حیاتی پتانسیل و مشکلات استفاده از رسوبات ذخایر آبی را بعنوان رکوردهای زمانی آلودگی ارزیابی می‌کند. درک فعلی فرآیندهای رسوبگذاری و توزیع رسوبات ناشی از آن فرآیندها، بازنگری می‌شود. برخی تفاوت‌های مهم بین دریاچه‌های مصنوعی و طبیعی مورد تأکید بیشتر قرار می‌گیرند و الزامات نمونه گیری و تفسیر داده‌های رسوب‌شناسی مورد بحث قرار داده می‌شوند. پیشنهاد می‌شود که فعلاً منبع با ارزشی در حال استفاده است و همچنین نشان داده می‌شود که داده‌های رسوبی ذخایر مصنوعی قادرند داده‌های مهمی را برای فهم و بازسازی آلودگی‌های جوی و حوضه آبخیز این منابع، مهیا نمایند.

واژه‌های کلیدی: پسروی آب[3]، ذخایر مصنوعی آب (سد)، رسوبگذاری[4]، نمونه گیری رسوبات[5]، رکوردهای زمانی[6]

مقدمه

اسناد زیست محیطی مانند تورب باتلاق‌ها، یخ قطبی، رسوبات مربوط به دشت‌های رسوبی، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها و دهانه رودخانه‌ها، برای بررسی تغییرات محیط زیستی که این رسوبات در آن زیستگاه‌ها انباشته می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرند. رسوبات دریاچه‌ای همراه با تغییرات مربوط به ترکیب رسوبات (که نوسانات مربوط به دروندادهای جوّی و حوضه‌ای را منعکس می‌کند) ثابت نموده‌اند که اسناد زیست محیطی مهمی باشند. *(الدفیلد، ۱۹۹۷؛ اسمول، ۲۰۰۲)* مغزه‌هایی که از رسوبات دریاچه‌ای گرفته شده‌اند، برای محاسبه تغییر بار رسوبات حوضه آبریز *(لاک وام، سی، ۱۹۹۰؛ دیرینگ، ۱۹۹۲؛ فوستر، ۱۹۹۵)*، احیا و بازسازی میزان اسید شدگی دریاچه‌ای *(باترایی و دیگران، ۱۹۸۵)* و تعیین تغییرات زمانی در ته نشست فلزات سنگین *(رتبرگ و دیگران، ۱۹۹۲؛ فارمر و دیگران، ۱۹۹۶؛ بویل و دیگران، ۱۹۹۸؛ هرمانسون، ۱۹۹۳)* مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در ارزیابی آلودگی زیست محیطی، پرسپکتیو زمانی، که توسط رسوبات دریاچه‌ای تهیه می‌شود، دارای اهمیت ویژه‌ای است. رکوردهای رسوبات دریاچه‌ای قادرند تغییرات تاریخی مربوط به آلاینده‌ها را (جایی که انتشار آلودگی رصد نمی‌شوند) تهیه کنند. چنین اطلاعاتی در کمیت و دوام ته نشست آلوده کننده، برای ارزیابی زمان بازسازی ضروری است و بهترین عمل برای محدود کردن تخریب زیست محیطی است. اما احتمالاً انتشار آلودگی‌ها بیشتر داخل و یا نزدیک نواحی شهری - صنعتی صورت می‌گیرد، در حالی که همیشه دریاچه طبیعی در این موقعیت‌ها وجود ندارد. شق ممکن دیگر برای اکثر نواحی آلوده، رکورد رسوبی دریاچه‌های مصنوعی است. اما در حالی که دریاچه‌های طبیعی به عنوان منبع مهمی برای بررسی آلودگی‌های گذشته شناخته می‌شوند، ذخایر آب مصنوعی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در حقیقت پیشنهاد می‌شود که ذخایر مصنوعی (سدها)، به علت توربولانس رسوبات ناشی از تغییر سطح آب، نامناسب‌اند *(آندرسون و دیگران ۱۹۸۸، بوچه و دیگران ۱۹۹۳)*. معهذا مطالعات اخیر نشان داده است که ذخایر مصنوعی آب می‌توانند رکوردهای بسیار دقیقی از ورودی‌های جوّی و حوضه‌ای دربرداشته باشند *(فوستر و دیگران، ۱۹۹۱؛ هوچنسون ۱۹۹۵؛ وان متروکالندر ۱۹۹۷)*.

اهداف و موضوعات

نیاز فرآینده‌ای وجود دارد که اسناد زیست محیطی بهتری مورد استفاده قرار گیرد تا بتواند اطلاعات مربوط به آلودگی‌های گذشته را تهیه کند. بنابراین این مقاله قصد دارد که به طور جدی، پتانسیل و مسائل مربوط به رسوبات ذخایر مصنوعی (سدها) را به عنوان اسناد زیست محیطی مورد ارزیابی قرار دهد. تأکید بر استفاده از رسوبات به عنوان رکوردهای زمانی آلوده کننده‌هاست اما به تساوی عمده شرح مطالب، برای دیگر عناصر همراه با ذرات ریز یا ویژگی‌های رسوبات بکار برده می‌شود.

به منظور ارزیابی ذخایر مصنوعی آب به عنوان اسناد زیست محیطی، استفاده از رسوبات این منابع به عنوان آرشیوهای زیست محیطی و مطالعات مرتبط با ادبیات رسوبات دریاچه‌های طبیعی، با ملاحظات ذیل مرور خواهند شد:

۱- تفاوت هیدرولوژی، مرفولوژی و مدیریت ذخایر مصنوعی (سدها) نسبت به دریاچه‌های طبیعی و استنباط‌های مرتبط با رسوبگذاری آن‌ها.

۲- فرآیندهای رسوبگذاری اولیه و ثانویه و الگوهای ته‌نشینی این رسوبات. فرآیند رسوبگذاری اوّلیه، ته نشست رسوباتی هستند که به ذخایر مصنوعی وارد می‌شوند. فرآیند رسوبگذاری ثانویه، به تعلیق و انتشار مجدد رسوبات ته‌نشین شده قبلی اطلاق می‌گردد.

۳- استنباط‌ها از مجموعه مغزه‌های رسوبی و تفسیر آن.

تفاوت هیدرولوژی، مورفومتری و مدیریت ذخایر مصنوعی با دریاچه‌های طبیعی

درک توزیع رسوب در مطالعات مربوط به دیرینه دریاچه‌شناسی برای تعیین موقعیت مکان‌های نمونه گیری و تفسیر مغزه‌های رسوبی **(ماکانسون ۱۹۹۷؛ بلایس وکالف، ۱۹۹۵)** دارای اهمیت است. برخی از تفاوت‌های اصلی بین دریاچه‌های طبیعی و ذخایر مصنوعی وجود دارند. تفاوت‌های اصلی بین این دو منبع آبی در جدول یک خلاصه گردیده است. تعدادی از این‌ها بر رسوبگذاری تأثیر می‌گذارد که مهمترین آن‌ها عبارتند از سن ذخیره آبی، بار رسوبی و اندازه هیدرولوژیکی، ژئومتری حوضه، نوسان سطح آب و کنترل ورود آب و رسوب.

۱- سن

سن دریاچه‌های طبیعی از هزار تا صدها هزار سال در نوسان است در حالی که ذخایر مصنوعی دارای سن ده‌ها تا صدها سال‌اند. اگرچه استثنائاتی نیز وجود دارد: یکی از قدیمی‌ترین منابعی که هنوز در حال بهره‌برداری است منابع آبی افنگ‌تانگ[۷] است که بین سال‌های ۵۸۹ و ۵۸۲ قبل از میلاد ساخته شده است.

۲- بار رسوبات و اندازه هیدرولوژیکی

میزان جابجایی آب در میان ذخایر مصنوعی، معمولاً سریعتر از دریاچه‌های طبیعی است زیرا که معمولاً ذخایر مصنوعی در کنار حوضه‌های بزرگ آبریز و یا در مناطقی که ریزش‌های جوّی فراوانند، قرار گرفته‌اند. میزان رسوب ورودی به ذخایر مصنوعی بسیار بیشتر از میزان ورودی رسوب به دریاچه‌هاست **(ثرونتون، ۱۹۹۰؛ کالندر، ۲۰۰۰)** ون متر و کالندر (۱۹۹۷) میزان رسوبگذاری خطی برای اکثر دریاچه‌های طبیعی را بین ۰/۰۵ تا ۱۰ میلی‌متر در سال می‌دانند. (در واقع میزان رسوبگذاری طی هزاران سال، بسیار اندک است) در مقابل مولهولند و الوود (۱۹۸۲) معتقدند میزان متوسط رسوبگذاری در ذخایر مصنوعی حدود ۲۰ میلی‌متر در سال است. ون متر و دیگران (۲۰۰۱) پی بردند که میزان رسوبگذاری در هشت ذخیره مصنوعی آب در آمریکا بین ۶ تا ۶۶ میلی متر در نوسان است و نویسندگان این مقاله نیز در انگلستان پی به میزان مشابهی از رسوبگذاری در این منابع (بین ۳ تا ۵۵ میلی‌متر) برده‌اند.

ورود فراوان رسوبات از حوضه آبخیز به معنای این است که امکان دارد، رکورد رسوبگذاری با ورود آلاینده‌ها از حوضه آبخیز نسبت به جوّ، تفوق یابد (خواه این آلاینده‌ها از جوّ منشاء گرفته باشد خواه از جوّ منشاء نگرفته باشند.)

۳- شکل هندسی حوضه

دریاچه‌های طبیعی در مناطق پست تشکیل می‌گردند. این منابع بیضوی و دایره‌ای شکل هستند **(موریس و فن، ۱۹۹۷؛ و ابراهام و دیگران، ۱۹۹۹)**. اطراف این دریاچه‌ها کم عمق اما در مرکز دارای حداکثر عمق هستند. برعکس ذخایر مصنوعی معمولاً یا با سدسازی بر روی رودخانه و یا با بالا بردن خروجی یک دریاچه طبیعی ایجاد می‌گردند. **(بروک، ۱۹۸۵)**

ذخایر آبی دره‌ای اغلب با داشتن رودخانه‌های متعدد، باریک و دراز هستند. این منابع در بالادست رودخانه‌ها کم عمق‌اند و بسمت سازه سد عمیق می‌گردند. در این ذخایر، گرادیان‌های طولی در کیفیت آب، خصوصیات بیولوژیکی و نیز تقسیمات رسوبی ایجاد می‌گردد در حالی که در دریاچه‌های طبیعی موارد فوق وجود ندارد. **(ابراهام و دیگران، ۱۹۹۹)** ژئومتری دریاچه‌های تحت سیلاب پیچیده است زیرا آنها ویژگیهای مربوط به دریاچه‌های طبیعی و نیز ذخایر مصنوعی دره‌ای را دارا می‌باشند. تمام منابع مصنوعی دارای خط ساحلی نسبتاً طویلی هستند: نسبت مساحت سطح به همراه تأثیر تغییر سطوح آب، ساحل را فرسایش داده و منبع قابل توجهی از رسوب را در اختیار این منبع می‌گذارد. **(وایب و درن تان، ۱۹۳۷؛ فوستر و دیگران، ۱۹۸۵؛ کالندر و روبیس، ۱۹۹۳)** علاوه بر این منابع دره‌ای مصنوعی تحت سیلاب دارای کناره‌های پرشیبی هستند که طی نوسانات مربوط به سطح آب، حرکات بیشتر را باعث می‌گردد.

۴- نوسان سطح آب

دریاچه‌های مصنوعی دارای کارکردهای مختلف از جمله ذخیره نمودن آب، تولیدنیرو، تنظیم آب، کنترل سیلاب و بازسازی است. به استثنای بازسازی، دیگر کارکردها؛ نوساناتی به مراتب بزرگ‌تر نسبت به اکثر دریاچه‌های طبیعی ایجاد می‌کنند.

جدول ۱: مقایسه خصوصیات اصلی بین دریاچه‌های طبیعی و دریاچه‌های مصنوعی

پارامترها	دریاچه‌های طبیعی	دریاچه‌های مصنوعی
سن	۱۰۰۰ سال	۱۰ سال
اندازه هیدرولوژیکی (حوضه‌آبریز و میزان ورودی)	بزرگ	کوچک
رسوب و بارمواد	کم	زیاد
شکل	دایره/بیضی	خطی/شاخه‌ای
خط ساحلی(نسبت سطح)	کم	زیاد
آبخیز(نسبت مساحت دریاچه)	کم	زیاد
نوسان سطح آب	کوچک	متوسط تا حداکثر
سطح تخلیه(برون ریزی)	سطحی	سطحی و عمقی
کنترل ورودآب ورسوب	کم	زیاد
محصول اولیه	کمتر	زیادتر
تنوع گونه‌ها	زیادتر	کمتر
پیری	کند	سریعتر
شفافیت	بالاتر	پایین‌تر
تأثیر فعالیت‌های آبخیز	پایین‌تر	بالاتر

۵-کنترل ورودآب و رسوب

مقدار و اندازه ذرات ورودی به دریاچه‌های طبیعی به لحاظ زمانی (یعنی در طول حوادث ناشی از بارش یا در واکنش به تغییر کاربری اراضی، اقلیم و پوشش گیاهی) و مکانی (همانگونه که منابع رسوب در حوضه‌های آبریز تغییر می‌کند) متفاوت است اما امکان دارد ورود رسوبات بداخل دریاچه‌های مصنوعی، با ساخت سازه‌های کنترل کننده رسوبات در حوضه بالادست این منابع، متأثر شود *(گوت شالک، ۱۹۶۴)* چنین سازه‌های معمولی در مناطقی که بار رسوب حوضه‌ها زیادند، وجود دارند. در حالی که دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی سهم نسبتاً بالایی از رسوبات ریز فرسایش یافته از حوضه آبریز خود را در برمی‌گیرند، سیستم‌های کنترل رسوب ممکن است رسوبات ریز را؛ همانطور که رسوبات درشت‌تر پشت سازه‌های کنترل به دام افتاده یا در طول حوادث طبیعی نظیر طوفان و سیل کنار گذاشته می‌شوند؛ افزایش دهد.

فرآیندهای رسوب‌گذاری اولیه و ثانویه و الگوی ته‌نشینی رسوبات

اگرچه استثناتاتی نظیر کارهای فوستر و چارلس ورث(۱۹۹۴)، کالندر و روبین (۱۹۹۳)، ابراهام و دیگران (۱۹۹۹) و ون‌مرتر و دیگران (۲۰۰۱) وجود دارد اما پژوهش‌های منتشر شده علاقمند به توزیع رسوبات دریاچه‌های مصنوعی به همراه کاربردشان به عنوان رکوردهای زمانی، در مقایسه با کارهای مرتبط با مدیریت مسائلی نظیر پیش بینی و کاهش رسوبات ورودی *(وب و درنان، ۱۹۷۳؛ جن و دیگران، ۱۹۸۷؛ فن، ۱۹۸۵؛ فرنته و جولین ۱۹۸۶)* برداشت رسوبات طی مدت تخلیه آب سدها جهت تعمیرات *(پنیت جین و دیگران، ۱۹۹۴؛ شویم،۱۹۸۷)* و اثر رودهای پایین دست بر رسوبگذاری منابع آب *(ویس، ۱۹۸۶؛ اتاندال، ۱۹۸۷)* نادر است. همچنین تحقیقات به رسوبگذاری محدوده‌های ذخیره فعال[۸] (یعنی منطقه دلتا) دریاچه‌های مصنوعی متمایل بوده است و در فهم فرآیندها و توزیع رسوبگذاری منطقه عمیق ذخایر مصنوعی، نقص وجود دارد. تا حدودی، تحقیق راجع به فرآیندها و الگوی رسوبگذاری دریاچه‌های طبیعی باید که به فهم رسوبگذاری منابع آبی مصنوعی کمک کند. اما تفاوت بین دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی که در جدول ۱ اشاره گردید بدین معناست که فرآیند رسوبگذاری در دریاچه‌های طبیعی غالباً برای ذخایر مصنوعی کاربردی ندارد. فرآیندهای رسوبگذاری در دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی به فرآیندهای اولیه و ثانویه طبقه‌بندی می‌شوند.

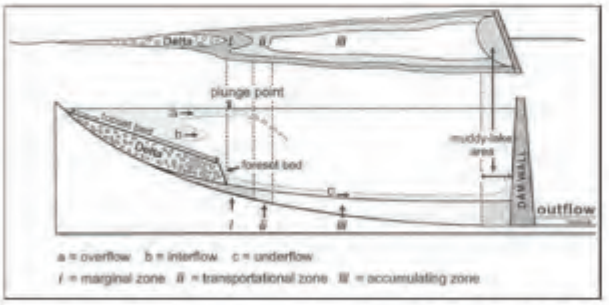
۱- فرآیندهای رسوبگذاری اولیه

رسوبات معلقی که به ذخایر مصنوعی وارد می‌شوند یا دو نیرو متأثر می‌گردند: گرانش به عنوان مؤلفه نیروی عمودی و توربولانس به عنوان نیروی افقی، دو مؤلفه‌ای هستند که در مسیر جریان قرار دارند *(گنس چالک، ۱۹۶۴؛ وب ودرن نان، ۱۹۷۳)* همان طور که سرعت آب (بدلیل این که آب با مقطع عرضی بیشتری درگیر می‌شود) کاهش می‌یابد، مؤلفه افقی ضعیف‌تر می‌گردد و آب توانایی حمل رسوب را از دست می‌دهد و ته‌نشینی روی می‌دهد. *(شن و دیگران ۱۹۷۸؛ هینمان، ۱۹۸۴؛ بو ودیگران،۲۰۰۰)*

الف- تشکیل دلتا: در ابتدا رسوبات درشت دانه در رأس ذخایر مصنوعی ته‌نشست می‌گردد که دلتاها را تشکیل می‌دهد *(ثروتون،۱۹۹۰؛ ایتو،۱۹۹۳)*. دلتاها در منطقه ذخیره فعال واقع در ذخایر ایجاد می‌گردند و بنابراین کاربردهای مدیریتی دارد. این موضوع از تحقیقات نسبتاً زیاد در مورد این تشکیلات استنباط گردیده است. *(ماتایاس و روتنبورگ، ۱۹۸۶؛ اسلف،۱۹۹۷ و...)* چنین نوشتجاتی ترکیب و بی‌نظمی ته نشست‌های دلتاها و نیز مشکلات مربوط به پیش بینی حجم این پدیده را در دریاچه‌های مصنوعی یادآور می‌شود. ناهماهنگی در میزان ته‌نشینی رسوبات در دلتا و فرسایش مکرر بدین معنی است که چنین ته‌نشست‌هایی به عنوان رکوردهای زمانی دارای جاذبه محدودی بوده و جزئیات آن در این متن مورد توجه نیستند. اما به عنوان منبعی از رسوب، تأثیر این دلتاها بر روی رسوبگذاری مناطق دیگر (دریاچه مصنوعی) مورد توجه قرار می‌گیرند و برخی مشاهدات زیر در مورد آن‌ها برجسته هستند.

۱-معمولاً مرفولوژی دلتا برحسب بستر پیشانی[۹] و بستر فوقانی[۱۰] توصیف می‌شود.(نگاره‌ی ۱)

بستر فوقانی دارای شیب ثابت؛ معمولاً کمتر از شیب بستر اولیه؛ است. *(بورلند، ۱۹۷۱؛ موریس وفن، ۱۹۹۷)* تغییر ناگهانی اندازه ذرات؛ ته نشست‌های بستر فوقانی و بستر پیشانی را، که ریزتر و دارای شیب بیشتری نسبت به بستر فوقانی است، از هم جدا می‌کند *(موریس وفن، ۱۹۹۷)*. این منطقه، منطقه ناپایدار و باتلاقی است *(ای تو، ۱۹۹۳؛ اسلوف، ۱۹۹۷)* دلتا در حالی که این تشکیلات را حفظ می‌کند در منبع آبی پیشرفت می‌کند.



نگاره ۱: طرح شماتیک ساده مناطق رسوبی و مسیرهای جریان آب در یک دریاچه مصنوعی

۲- ته‌نشست رسوبات واقع در دلتاها بویژه در انتهای پایین دست رودخانه، متمایل به لایه‌بندی مشخصی هستند. به‌طور برجسته جریانات تند، ته‌نشست‌های درشت دانه‌ای را باعث می‌شوند که با دانه‌های ریزی همراهند. این رسوبات از جریان‌های آرام منشاء می‌گیرند. *(بونگ، ۱۹۵۸؛استوت، ۱۹۸۵)*

۳- دلتاهای دریاچه‌ها(ی‌مصنوعی)، همانگونه که نسبت به تغییرات سطح آب و ورودی‌های رودخانه‌ای واکنش نشان می‌دهد، در معرض زمان‌های متناوب فرسایش و رسوبگذاری‌اند.*(موریس و فن،۱۹۹۷)*

ب- رسوبگذاری درکرانه دلتا: سرعت جریان با افزایش فاصله ورودی آب[11]، کاهش می‌یابد که باعث ته‌نشست فزاینده رسوبات ریز می‌گردد؛ اگر چه انباشتگی ذرات و تغییر دینامیک جریان، ارتباط بین اندازه ذرات و فاصله از جریان ورودی را پیچیده می‌کند *(گوتس چالک، ۱۹۶۴؛ استیونسون، ۱۹۷۲؛ موریس و فن، ۱۹۹۷)*. ممکن است برخی از ذرات هیچگاه ته‌نشین نشوند اما در عوض همانطورکه با اندازه و سرعت سقوط رسوبات و زمان نگهداری تعیین می‌شود *(گوتس چالک، ۱۹۶۴)*. این رسوبات از منبع ذخیره آبی به خارج حمل می‌شود. اگر چه ذخیره گاه‌های بزرگ، کل رسوبات ورودی را در خود انباشته می‌کنند اما معمولاً اندازه کوچکتر این منابع در مقایسه با دریاچه‌های طبیعی، نسبت کمتری از رسوب ته نشین شده را داراست. نسبت ورود رسوباتی که در سدها نگهداشته می‌شود به کارایی تله‌اندازی[12] رسوبات معروف است. *(هی، نمان ۱۹۸۵؛ اسلاف، ۱۹۹۲)* روش‌های تجربی پیش‌بینی کارایی تله اندازی براساس نسبت بین مساحت حوضه آبریز و حجم ذخیرگاه *(برون، ۱۹۵۸)* جریان ورودی ناشی از بارش و ذخیره سد *(برون، ۱۹۵۳)* سرعت متوسط جریان آب و میانگین زمان حفظ آب *(چرچیل، ۱۹۴۸)* و مساحت حوضه و جریان خروجی آب *(شن،۱۹۷۶)* تعیین شده است. این محاسبات، ساده‌ترین معادلات هستند اما برای تعیین نسبت رسوب انباشته شده، کاربردی‌ترین روش‌ها محسوب می‌گردند. *(بوجر و دیگران، ۱۹۹۳)*

در کرانه‌های دلتا دو نوع جریان حمل رسوبات ریز وجود دارند: جریان‌های لایه‌ای و جریانات غیرلایه‌ای *(موریس و فن، ۱۹۹۷؛ اسلوف، ۱۹۹۷؛ یو و دیگران ۲۰۰۰)* هرجا که تفاوت قابل توجهی در غلظت آب ورودی و آب پشت دریاچه وجود ندارد، جریان به شکل غیرلایه‌ای در مساحت وسیعتری از مقطع عرضی پخش می‌شود. اما اگر تفاوت آشکاری بین غلظت آب ورودی و دریاچه پشت سد وجود داشته باشد جریان لایه‌ای خواهد بود. تفاوت‌های موجود در غلظت آبی که به جریانات لایه‌ای منجر می‌گردد ناشی از درجه حرارت و غلظت رسوبات معلق است. اما در اقالیم سرد و معتدله تفاوت غلظتی که توسط بار رسوب معلق ایجاد می‌گردد رتبه بزرگ‌تری نسبت به درجه حرارت دارد. *(هی نمان، ۱۹۸۴؛ موریس و فن، ۱۹۹۷)* بار رسوبی بالا بدین معناست که جریان‌های لایه‌ای می‌توانند تأثیر قابل توجهی را بر رسوبگذاری دریاچه‌های مصنوعی بگذارند.

جریان‌های لایه‌ای به شکل جریانات سطحی، میانی و زیرسطحی حرکت می‌کنند (نگاره ۱). یو و دیگران با روش تجربی ثابت کرده‌اند، در حالی که جریان مملو از بار رسوب بشکل جریان غیرلایه‌ای وارد دریاچه می‌گردد، شیب تندی (نقطه پلونگ)[13] را ایجاد می‌کند. این نقطه بشکل تغییر ناگهانی آب کدر به آب شفاف دیده می‌شود که نشان می‌دهد جریان‌های کدر در مناطقی که بار رسوب جریان ورودی بالاست، پدیده‌ای متداول می‌باشد (موریس و فن ۱۹۹۷). از نقطه پلونگ جریان بشکل جریان بین سطحی (میانی) به دریاچه وارد می‌گردد و یا در صورتی که آب ورودی دارای غلظت بیشتری نسبت به آب پشت سد باشد جریان زیر سطحی شکل می‌گیرد. (نگاره ۱) چنین جریان‌هایی در صورتی روی می‌دهند که حداقل ۱۵۰-۲۰۰ میلی گرمی اختلاف غلظت در رسوبات معلق وجود داشته باشد *(استوت، ۱۹۸۵؛ موریس و فن ۱۹۹۷)*. شرایطی که طی طوفان در بیشتر سطح آب ذخایر مصنوعی روی می‌دهد. جریان‌های زیر سطحی کدر که با گرانش همراه می‌شود فواصل طولانی را در امتداد خط تالوگ می‌پیماید. در مقابل جریان‌های میان سطحی با ظرفیت حمل کمتر، ناپایدارند *(اسلاف، ۱۹۹۱)* جریان‌های لایه‌ای بویژه جریان‌های زیر سطحی با حمل عناصر نسبتاً درشتتر به منابع آبی (نسبت به شرایط غیرلایه‌ای جریانات زیرسطحی)، بر توزیع رسوبات تأثیر می‌گذارند. در صورتی که جریان‌های زیر سطحی به دیواره سد برخورد کنند؛ این جریانات بالا می‌آیندو «دریاچه گلی»[14] را با تمرکز بالایی از رسوبات ریز معلق بوجود می‌آورند.(نگاره ۱) ورود دوره‌ای رسوب از طریق جریانات زیرسطحی به رودهای پایین دست سد، می‌تواند الگوی ته‌نشستی ویژه‌ای راکه تقریباً افقی است، تشکیل دهد. *(ادوارد، ۱۹۹۳؛ موریس و فن،۱۹۹۷)*

اهمیت جریان‌های لایه‌ای نسبت به توزیع رسوبات واقع در ذخایر آبی بستگی به فرکانس، شدت و نفوذ جریان‌های آب بداخل بدنه اصلی ذخایر (که تابعی است از رسوب، سرعت جریان آب، چینه بندی و مورفومتری ذخیره آبی دارد.) استات (۱۹۸۵) متوجه این نکته گردید که جریان‌های زیر سطحی در دریاچه سد «ترنتاپانک» در طول طوفان متداول است. چنین جریان‌هایی برای چند ساعت ماندگار بود پیش از این که با پایان طوفان، جریان‌های غیرلایه‌ای جایگزین شوند. یقیناً جریان‌های کدر طی برخی از طوفان‌ها (بسته به قابلیت دسترسی به رسوب و شدت حادثه) مهم هستند اما جریانات غیرلایه‌ای در شرایط طبیعی،جریان غالب هستند *(هندرسون - سلرز، ۱۹۸۴؛ بروک،۱۹۸۵)*. تحت شرایط طبیعی جریان، تفاوت غلظت بین

ورودی‌ها و آب موجود در دریاچه ناچیز است و آب ورودی کم انرژی، توانایی نفوذ به مناطق دوردست را ندارند. علاوه بر این اگرچه جریان‌های لایه‌ای (بویژه جریان‌های سطحی و زیرسطحی) در دریاچه‌هایی تشکیل می‌گردد که به خوبی مخلوط شده‌اند، هویت این جریانات تنها در توده آب‌های لایه‌ای - حرارتی حفظ می‌گردد. *(موریس و فن، ۱۹۹۷)*

طی زمان تأثیر دانسیته جریانات بر توزیع رسوبات ممکن است تغییر کند که در آن جا رسوبگذاری چنان سریع است که باعث تغییر در مورفومتری ذخایر آبی می‌گردد. در مراحل اولیه بعداز ساخت سد، جریان‌های زیرسطحی تمایل دارند که به کانال اولیه محدود شوند و نیز آن‌ها مسافت‌های طولانی را در ذخایر آبی می‌پیمایند. در نقشه برداری دریاچه بارکروفت در آمریکا، ۲۳ سال بعد از ساخت، گوت چالک (۱۹۶۴) پشته‌های مستغرق مجاور با کانال‌های پیش از ساخت منبع آبی را یافت که نشان می‌دهد هویت جریان حفظ شده است. فن (۱۹۸۶) همچنین متوجه شد که جریانات در طول رسوبگذاری اولیه سد سانمانکسیا در چین محدود به کانال اصلی بودند. اما هر دو مطالعات نشان دادند که کانال‌ها با رسوب پر شده بودند و جریان در کف منبع گسترش یافت. در برخی از موارد، پرشدگی ابتدایی ذخایر آبی باعث فرسایش قابل توجه سطح زمین‌های پیشین گردید و خطوط ساحلی فرسایش‌پذیر و ناپایداری را بوجود آورد که باعث پرشدگی سریع گردید.(وبب درنان، ۱۹۷۳؛ فوستر و دیگران، ۱۹۸۵). لایه‌های رسوبی درشت دانه‌ای که پیش از احداث سد بر روی هم قرار گرفته است ناشی از فرآیندهای اولیه پرشدگی است. *(اولفیلد و دیگران، ۱۹۹۹؛ شوت بلد و دیگران، ۲۰۰۱)* تأثیر بیشتر در ته‌نشست رسوبی ماورای دلتا، جریانات منتج از باد هستند *(بولک، ۱۹۸۵)*. علاوه برایجاد موج‌های پیرامونی، باد فشار برشی را ایجاد می‌کند و باعث حرکت‌های سطحی آب می‌گردد *(بروک، ۱۹۸۵)*. غالباً حرکت پوستی (سطحی) آب‌بالاست وجریان‌های ۳-۱درصدی سرعت باد برجسته بوده که حجم قابل توجهی از آب را در میان دریاچه سد جابجا می‌کند. در اعماق نیز جریان‌های مخالف با جریان سطح ایجاد می‌گردد اگر چه سرعت این جریان‌ها کندتر است اما همین سرعت ممکن است برای حمل رسوب تثبیت شده در بستر کافی باشد. *(بروک، ۱۹۸۵)*

بالاخره، تأثیر سازه‌های کنترل کننده رسوب و کانال‌های آب را بر توزیع رسوب باید مدنظر قرار داد. کانال‌ها و مجاری آب دست ساز از طریق هدایت آب‌های خارج از حوضه به شبکه رودخانه‌ای که به منابع آبی منتهی می‌گردد، مساحت حوضه را افزایش می‌دهد. *(وایت و دیگران، ۱۹۹۶)* این وضعیت، پتانسیل ورود رسوب را افزایش می‌دهد، اما این مجاری مصنوعی ورود رسوبات را به داخل دریاچه سد افزایش می‌دهند زیرا که در این سازه‌ها جریانات مملو از رسوب عبور می‌کند.این عامل مساحت متغیر حوضه‌ای را بوجود می‌آورد که با میزان دبی تغییر می‌کند.*(بوچر و دیگران، ۱۹۹۲)* تله‌های رسوبی، آبگیرهای کوچک هستند و بندهای در مقابل جریانات آبی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که رسوبات درشت را متوقف نمایند.

رسوباتی که به ذخایر آبی سرازیر می‌شوند علاوه بر این در حالی که ورود رسوبات درشت کاهش می‌یابد، این سازه‌ها ورود رسوبات را طی زمان پیچیده می‌کند. همانگونه که بندها وانبارهای رسوب پر می‌شود آن‌ها اثر خود را از دست می‌دهند و ظرفیت و حجم آن‌ها برای کند کردن سرعت آب و به تله انداختن رسوبات، کاهش می‌یابد. *(وایت و دیگران، ۱۹۹۶)*

۲- فرآیندهای رسوبگذاری ثانویه

پس از ته نشست اولیه، رسوبات در اثر تعلیق مجدد از مناطق کم عمق به مناطق عمیق‌تر حمل می‌شوند. *(لیکنز و دیویس، ۱۹۷۵؛ بلایس و کالف، ۱۹۹۵)* اصطلاحی که برای این فرآیند استفاده می‌شود، تمرکز سازی رسوبات[۱۵] است و موقعی روی می‌دهد که فشار برشی به اندازه کافی باشد برای این که برچسبندگی رسوبات ته‌نشین شده غلبه کند *(افلر و دیگران، ۱۹۹۸)*. در دریاچه‌های طبیعی تعلیق مجدد رسوبات،ناشی از موج و جریان‌های داخلی بوده و تابعی از جریان‌ها و قدرت امواج، اندازه ذرات، حجم آب، ترکیب بیولوژی و شیمیایی و ترکیب بیولوژیکی است (آریا ثورای و رون،۱۹۷۶). در ذخایر مصنوعی، همین پارامترها دخیل‌اند اما نوسانات سطح آب ناشی از استفاده از ذخایر این منابع، وضعیت را پیچیده می‌کند.

الف - فرآیندهای تمرکزسازی

مطالعات هیلتون و دیگران، چندین مکانیسم را مشخص می‌کندکه ممکن است بر توزیع رسوب در دریاچه‌های کوچک طبیعی تأثیر گذارد. در میان آن‌ها برای این که تمرکزسازی رسوب را باعث شوند، سه مکانیسم، پتانسیل قابل توجهی را برای این فرآیند دارند:

۱- انتقال رسوبات از مناطق کم عمق به مناطق عمیق توسط عملکرد امواج پیرامونی.

رسوبات واقع در آب‌های کم عمق از طریق شکست امواج و حرکت مداری آب، مجدداً به حرکت در می‌آیند. *(اسلای ۱۹۷۳؛ بروک ۱۹۸۵، بلوسچ، ۱۹۹۵)* رسوبات ریز و عناصر با چگالی پایین ممکن است مجدداً معلق شود و به محل‌های کم انرژی‌تر انتقال یابند. *(پور و دیگران، ۱۹۹۶)* همچنین تعلیق مجدد مواد، تحت تأثیر مستقیم پایه موج از طریق جریانات موج محور روی می‌دهند.

۲- جریان‌های حجمی که با سقوط یا لغزیدن رسوب از دامنه‌ها به دریاچه ایجادمی‌گردند.

در یک مقیاس محلی، مشاهده شده است که سقوط مواد در دامنه‌های پرشیب مقادیر قابل توجهی از رسوب را به حرکت درآورده است *(هاکانسون و جانسون،۱۹۸۳؛ هرمانس و کریستنسن، ۱۹۹۱؛ آپل بای،۱۹۹۸)*. علاوه بر این؛ پسروی دریاچه، ممکن است سقوط رسوب را در حواشی، هنگامی که آب جابجا می‌گردد، بدنبال داشته باشد.

۳- توزیع مجدد رسوب در واژگونی‌های تابستانه و زمستانه. در اقالیم معتدله، آب‌های سطحی دریاچه‌ها در طول ماه‌های تابستان گرم می‌شود و لایه نسبتاً گرمی را بوجود می‌آورد که روی آب سرد قرار گرفته

می‌شود.دریاچه در پاییز شروع به سرد شدن می‌کند و با سنگین شدن آن به ته دریاچه نزول می‌کند. *(هندرسون - سلرز، ۱۹۸۴)* این وارونگی کنوکتیوی، ادامه می‌یابد تا اینکه آب دریاچه کاملاً باهم مخلوط شود. به همین صورت گرمای بهاری، دریاچه یخ زده در زمستان را ذوب می‌کند که براثر آن لایه فوقانی ناپایدار شده و به ته آب فرو می‌رود. حرکت آب ناشی از وارونگی کنوکتیوی، ممکن است باعث تمرکزسازی و تعلیق مجدد رسوب گردد *(سیمولا، ۱۹۸۱)*. بسیاری از مطالعات بر روی رسوبات نشان داده که میزان رسوبگذاری در طول واژگونی‌های بهاره و پاییزه در حداکثر میزان خود است *(پنینگتون، ۱۹۷۴؛ دیویس و دیگران، ۱۹۸۴، هامیلتون - تایلر و دیگران ۱۹۸۴، جیمز و بارکو، ۱۹۹۳)*.

در حالی که فرآیندهایی که توسط هیلتون (۱۹۸۶) برجسته شده است، مشاهده گردیده که برای بیشتر دریاچه‌های طبیعی مهم باشد اما بدون شک عوامل دیگری وجود دارند. هیلتون و دیگران (۱۹۸۶) برای واریانس موجود در مقادیر رسوبگذاری با مکانیسمهایی که در فوق بدان اشاره گردید، نتوانستند دلیلی ارائه دهند. آن‌ها نتیجه گرفتند که فرآیندهای متفاوت زیادی در هر زمان در دریاچه روی می‌دهند و نوع و اهمیت این فرآیندها در طول سال فرق می‌کند. با وجود فهم ناقص در مورد مکانیزم‌های تمرکز سازی رسوب، مقادیر بالاتر رسوبگذاری در منطقه عمیق دریاچه‌های طبیعی به عملکرد فرآیندهای تمرکزسازی گواهی می‌دهد.

هاکانسون (۱۹۷۷ و ۱۹۸۱) اشاره کرد که تمرکزسازی و توزیع منتج از رسوبگذاری با توربولانس (به عنوان تابعی از فشار باد و عمق)، شیب بستر دریاچه و مرفومتری دریاچه کنترل می‌گردد. وی پیشنهاد داد که می‌توان رسوبات موجود در دریاچه‌ها را به سه قسمت منطقه فرسایشی، منطقه انتقالی و منطقه انباشت رسوبات(نگاره ۱) تقسیم نمود. منطقه فرسایشی که با مواد درشت و توربولانس بالا مشخص می‌گردد، در حواشی دریاچه قرار دارند. موادریزی که در این منطقه ته‌نشین می‌شود سریعاً جابجا می‌گردد. منطقه تراکم رسوب در عمیق‌ترین قسمت دریاچه قرار دارد و با رسوبات ریزی مشخص می‌شود که تحت شرایط انرژی کم و بدون فعالیت مجدد، ته‌نشین می‌گردد. هرچند این منطقه ممکن است مواد را در اثر فرآیندهای تمرکزسازی از منطقه دیگر دریاچه دریافت کند. بین این دو منطقه، منطقه حمل و نقل رسوب قرار می‌گیرد که در دوره‌های مختلف با تناوب رسوبگذاری و جابجایی و حمل مشخص می‌گردد. بنابراین منطقه تراکمی، محدوده‌ای از دریاچه است که رسوبات دست نخورده در آن ته‌نشین می‌شود که به عنوان اسناد زیست محیطی ارزشمنداند.

رژیم‌های متفاوت در هر ناحیه، به تفاوت در اندازه رسوب و حجم آبی منجر می‌گردد که می‌توان برای مشخص کردن این نواحی استفاده نمود. حجم آب، اندازه عناصر و حجم سرب[۱۶] رسوبات برای تعیین وسعت ناحیه تراکمی (منطقه کم انرژی) استفاده می‌شود و بنابراین مکان هایی را برای مغزه گیری مشخص می‌نماید *(توماس و دیگران، ۱۹۷۲؛ اسبای و دیگران، ۱۹۸۲؛ ابراهام و دیگران، ۱۹۹۹)*. اکثر مطالعات مربوط به رسوبات دریاچه‌ای، بر نمونه گیری از منطقه تراکمی آب‌های عمیق استوار است.

در برخی از دریاچه‌ها مرز واضحی بین رسوبات درشت دانه حواشی دریاچه و رسوبات ریز دانه واقع در مناطق عمیق مشاهده گردیده است. *(اسلای و دیگران، ۱۹۸۲؛ روان و دیگران، ۱۹۹۲؛ ایور و دیگران، ۱۹۹۶)* ایور و دیگران (۱۹۹۶) به تغییر ناگهانی اندازه گیری اندازه میانگین رسوبات در عمق ۸ متری دریاچه اونونداگا (دریاچه بیضوی با طول ۸ کیلومتر در ایالت نیویورک) اشاره می‌نمایند. چنین مرزهایی، عمق مؤثر تأثیر امواج را نشان می‌دهند. *(روان ودیگران، ۱۹۹۲؛ ایور و دیگران، ۱۹۹۶)* روان (۱۹۹۲) معتقد است چنین مرزهایی توسط عمل موج در حوادث کوچک طوفانی تعیین می‌شود تا حوادث بزرگ.

در دریاچه‌های تخم مرغی، مانند دریاچه‌هایی که توسط ایور (۱۹۹۶) و روان (۱۹۹۲) بررسی شده‌اند، تمرکزسازی ممکن است فرآیندی معقول و قابل پیش بینی باشد. *(له من، ۱۹۷۵)* که منجر به حرکت سالانه یا دائمی رسوبات از حواشی به منطقه عمیق گردد. اما دریاچه‌های مصنوعی بندرت دارای مورفومتری ساده‌ای هستند. تمرکزسازی در حوضه‌های با شکل نامشخص، همیشه قابل پیش بینی نیستند.برای نمونه اندرسون (۱۹۹۰) متوجه گردید که به طور قابل توجهی مقادیر انباشت در دریاچه لوق اگر[۱۷] در ایرلند شمالی تغییر کرد و همچنین این را فهمید که یک نمونه مغزه بدرستی میانگین میزان تراکم رسوب را برای دریاچه منعکس نمی‌کند.

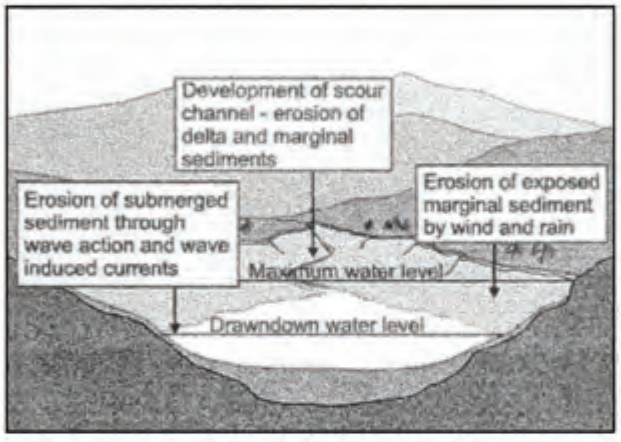
دیرینگ (۱۹۸۳) متوجه گردید که تمرکزسازی در عمیق‌ترین قسمت دریاچه «هاوگاردسجو» در سوئد روی نداد و ونیز متوجه گردید که نه مقادیر تراکم رسوب طی زمان ثابت بود و نه حتی تناسب پایدار و ثابتی در متوسط میزان تراکم وجود داشت.

تغییرپذیری در میزان و موقعیت تمرکزسازی نیز طی دوره عمر دریاچه، مسئله مهمی است. این مسئله ممکن است ناشی از تغییر در منابع تأمین رسوب، تغییر در عمق سنجی حوضه دریاچه (در حالی که پر می‌شود)، یا ناشی از آثار تغییر بلند مدت اقلیمی مانند جهت باد بر مکانیسم تمرکزسازی *(له من، ۱۹۷۵؛ دیرینگ، ۱۹۸۳؛ بلایس، ۱۹۹۵)* باشد. تغییر در منابع تأمین رسوب طی عمر سدها ممکن است. فوستر (۱۹۹۵) متوجه گردید که افزایش زمین‌های تحت کشت، از بین بردن درختچه‌ها و افزایش تعداد احشام عامل اصلی تغییر میزان رسوب در منطقه دون انگلستان بودند. تغییر در عمق که انباشت رسوبات را متأثر می‌کند نیز احتمالاً به سرعت ته نشین شدن رسوبات در سدها بستگی دارد؛ بویژه در طول مراحل اولیه عمر ذخایر (هنگامی که انباشت رسوبات به حداکثر میزان است). هر جا طی عمر توده آب تغییراتی در تمرکزسازی روی دهد، بی‌ثباتی در مقادیر تراکم در هر موقعیتی را نمی‌توان به طور دقیقی به تغییر ورودی‌ها نسبت داد. اما تراکم با سرعت کمتر ذخایر آبی و آنجاکه منابع تأمین رسوب کم و بیش ثابت باقی مانده است، تغییرات هنگام تأثیر تمرکزسازی،بر روی رسوبات آب‌های عمیق حداقل خواهد بود. علاوه براین، هرجاکه تمرکزسازی، فرآیندی سالانه یا دائمی باشد، مواد دوباره فعال شده بشکلی برجسته شامل موادریزی است که به تازگی ته‌نشین و بسرعت دوباره از حواشی دریاچه،

در آب معلق شده‌اند، که در آن حالت هرگونه کاهش رزولوشن زمانی اندک خواهد بود.

ب- تأثیر پسروی آب بر تمرکز سازی رسوبات

در ذخایرآبی، اکثراً پتانسیل تمرکزسازی رسوبات با پسروی سطح آب افزایش می‌یابد. بطور مؤثری تغییر در موقعیت لبه آبها، مساحت رسوبات روباز را برای این که در فرآیندتوزیع مجدد قرار گیرد، تغییر و افزایش می‌دهد. سه ناحیه رسوبی هنگام پسروی وجود دارد که برای فعالیت مجدد ارزشمند است: ۱- رسوبات بدون پوشش اطراف دریاچه ۲- رسوبات تازه مناطق کم عمق آب ۳- رسوبات واقع در مسیر جریان ورودی به دریاچه (نگاره ۲)



نگاره ۲: فرآیندهای توزیع مجدد و فرسایش رسوب طی پس روی آب

۱- رسوبات بدون پوشش و تازه حاشیه دریاچه‌ها، هنگام بارش با ایجاد جوی‌های کوچک و شستشوی دامنه‌ها، برای فرسایش مناسب‌اند *(استات، ۱۹۸۵؛ اندرسون و دیگران، ۱۹۸۸)*. ترجیحاً چنین فرآیندهایی رسوبات ریز را جابجا می‌کند، هرچند رسوبات ضخیم‌تر ممکن است در طول بارش‌های شدید یا در دامنه‌های پرشیب جابجا شود. خشک شدن و فرسایش توسط باد از نتایج لخت بودن عوارض است *(استوت، ۱۹۸۵؛ دوک؛ ۱۹۹۰)*. علاوه براین میلر و دیگران معتقدند که فرآیندهای عقب‌نشینی و پیشروی[۱۸] باعث می‌شوند که لایه‌های رسوبی به طور عمودی مخلوط شوند.

۲- رسوباتی که هنگام پسروی نزدیک و بلافاصله زیرسطح آب قرار بگیرند نیز برای فعالیت مجدد آسیب‌پذیرتر هستند. رسوبات ریزی که در ابتدا در آب‌های عمیق‌تر ته‌نشین می‌شوند هنگام پسروی در معرض فرآیندهای آب‌های کم عمق قرار می‌گیرند. این رسوبات ریز به آسانی توسط امواج و حرکت مداری آب به حرکت در می‌آیند *(اسلای، ۱۹۷۳؛ بلوسچ، ۱۹۹۵)*. همانطور که ناحیه بدون پوشش با پسروی آب وسعت می‌گیرند، تأثیر موج و جریان‌های آبی ناشی از آن، در تعلیق مجدد رسوب افزایش می‌یابد.

۳- رسوبات نسبت به فرسایش جریان‌های ورودی به دریاچه آسیب پذیرند. طی عقب‌نشینی، رودخانه‌های ورودی به دریاچه یا حرکت از میان ته‌نشین‌های رسوبی، کانالی را (که به کانال اسکور[۱۹] معروفند- نگاره ۲) حفر می‌کنند *(استوت، ۱۹۸۵؛ روان و دیگران ۱۹۹۵؛ ورنیو، ۱۹۹۷)*. بویژه دلتاها منشاء بزرگی از رسوباتی هستند که در اختیار کانال آب (اسکور) قرار می‌دهند *(موریس وفن، ۱۹۷۷)* طی بالا آمدن سطح آب کانال اسکور مجدداً با رسوب پر می‌شود، ولی استات مشاهده کرد(۱۹۸۵) که پسروی مکرر باعث توسعه کانال نیمه دائمی در قسمت فوقانی سد ترنتابانک گردید.

بقیه نواحی رسوبی، در معرض فرآیندهای فرسایش قرار نمی‌گیرند اما در عوض ممکن است رسوبات دوباره فعال را از حواشی دریافت کنند. اندازه این نواحی (ناحیه آب‌های عمیق) براساس درجه پسروی و مورفومتری ذخایر آبی تغییر می‌کند اما این ذخایر ندرتاً به طور کامل خالی از آب می‌شود.

جدول ۲: تأثیر پسروی آب‌ها بر توزیع مجدد رسوب در ذخیره آبی سدها

فاکتورهایی تحت تأثیر پسروی، بر توزیع مجدد رسوب تأثیر می‌گذارند	تأثیرات بر روی رسوباتی که دوباره فعال می‌شوند
وسعت پسروی	الف- تعیین نواحی لخت در معرض فرسایش در پسروی‌های شدید(هم در حواشی و هم در مسیر کانال اسکوری) ب- تعیین اندازه رسوبات موجود برای فعالیت مجدد پ- تعیین مسافتی که رسوب فرسوده باید حمل شود تا به ناحیه عمیق‌تر برسد ت- تعیین مسافتی که جریان‌های ورودی به سد قادرند رسوب را حمل کنند.
تکرار پسروی	الف- تعیین مجموع مقدار توزیع مجدد رسوب (تکرار پسروی در مقابل تکرار فعالیت مجدد) ب- اثرات مقدار رسوب موجود در هر پسروی آب(تکرار پسروی رسوبات ریز، حواشی دریاچه را لخت و برهنه می‌کند)
شرایط آب و هوایی طی پسروی: شدت و دوام بارش، جهت و سرعت باد	الف- شدت باد و بارش بر مقدار فرسایش رسوبات بدون پوشش حواشی تأثیر می‌گذارد. ب- سرعت باد و جهت آن، اندازه امواج و بنابراین فرسایش (هنگام عمل موج و جریانات ناشی از موج) را تعیین می‌کند. پ- شدت بارش و دوام آن، دبی را و بنابراین حفر بستر توسط جریان‌ها را تعیین می‌کند.

	ج- شدت باد و بارش، توربولانس واقع در ذخایر آبی را و بنابراین توانایی حمل رسوبات به منطقه عمیق را تعیین می‌کند. ج- بارش، طول دوره پسروی را تعیین می‌کند (بارش ناچیز تابستانه زمان طولانی را برای این که دوباره ذخیره آبی را پرکند، می‌گیرد)
زمان پسروی	الف- پسروی در ماه‌های تابستان (هنگامیکه شدت باد و بارش در آن اندک است) در معرض توزیع مجدد کمتری قرار می‌گیرد تا در زمستان هنگامی که طوفان بر توزیع مجدد رسوبات تأثیر می‌گذارد. ب- پریود طولانی پسروی، احتمال توزیع مجدد رسوب را افزایش می‌دهد(هرچند افت سریع پسروی ممکن است رسوبات حاشیه را ناپایدار کند.)
نوع، اندازه و پیوستگی رسوبات	الف- تأثیر مقدار موادی که دوباره فعال می‌شود (عناصر ریز براحتی فرسوده می‌شوند.) ب- تأثیر مقدار موادی که از حواشی به منطقه عمیق حمل می‌شود. پ- رسوبات ریز، توده فرسایش‌پذیر سخت و متراکمی را می‌تواند تشکیل دهد.
مورفومتری سد	الف- شیب، قابلیت فرسایش را افزایش می‌دهد. ب- شکل، بر برهنه‌شدگی رسوبات تأثیر می‌گذارد. پ- اندازه، بر پتانسیل رسوبات فرسوده شده اثر می‌گذارد تا این که به منطقه آب‌های عمیق برسد.

عموماً ذخایر دارای حداقل سطح آبی است که با ارتفاع دریچه خروجی آب معین می‌گردد. زیرا این سطح (که به سطح مرده آب مشهور است) آب قادر به تخلیه و خروج نیست. همانطور که منطقه عمیق تحت تأثیر فرسایش قرار نمی‌گیرند اما بعنوان یک رکورد زمانی تغییرات عناصر ریز ورودی به ذخایر آبی از جاذبه ویژه‌ای برخوردار است. سودمندی‌اش مبتنی بر توزیع نسبی رسوباتی است که تحت شرایط عادی و نیز طی پسروی، مجدداً ته‌نشین شده‌اند.

متأسفانه آثار منتشر شده اندکی با ادبیات کمی در مورد تأثیر پسروی آب روی رسوبات آب‌های عمیق وجود دارد. بیشتر تحقیقات مربوط به رسوبگذاری ذخایر، به سمت مدیریت مشکلات ناشی از رسوبگذاری هدایت می‌شوند و مشاهدات نیز بسمت ته‌نشست‌های دلتا در منطقه ذخیره فعال متمایل است.

رسوبات منطقه آب‌های عمیق، جاذبه‌ای برای مدیران ذخایر آبی ندارند مگر این که این رسوبات آن قدر توسعه یابند که دریچه‌های خروجی آب را بگیرند. مسئله دیگری که در رابطه با تأثیرات پسروی آب بر روی رسوبات مناطق عمیق دیده می‌شود این است که این رسوبات اکثراً طی پسروی‌های گسترده و یا حتی در مواقعی که ذخایر کلاً از آب خالی می‌شوند و بنابراین شرایط غیرمعمولی؛ ایجاد می‌گردند *(استات، ۱۹۸۵؛ دوک و ماک مانوس،۱۹۹۲)*.

اگر چه شواهد تجربی اندکی از تأثیرات پسروی بر رسوبات آب‌های عمیق وجود دارد، اما با توجه به فرآیندهای رسوبگذاری ذخایر آبی و مشاهدات نویسندگان این مقاله بر چگونگی توزیع رسوبات چندسدکوچک در شمال و مرکز انگلستان، پیشنهاد می‌شود که هم مقدار رسوبی که مجدداً فعال شده و هم دوباره ته‌نشین شده متکی به چند متغیر است.

این متغیرها در جدول ۲ مورد اشاره قرار گرفته‌اند و وسعت، زمان، استمرار و تکرار پسروی آب، نوع، اندازه و پیوستگی رسوبات و مورفومتری ذخایر و نیز شرایط اقلیمی در هنگام پسروی را دربرمی‌گیرد.

بویژه تأثیر شرایط اقلیمی مهم هستند. معمولاً کاهش ذخیره آبی سدها به این دلیل روی می‌دهد که بارش و آب رودخانه‌ها، نمی‌توانند نیاز آبی این ذخیره‌ها را تأمین کنند. در چنین شرایطی اگرچه رسوبات بدون پوشش می‌شوند اما بارندگی مکانیسم فرساینده مؤثری نیست (در این شرایط از ارزش باد بعنوان عامل بالقوه فرسایش نمی‌کاهد). این وضعیت پیشنهاد می‌کند که طی دوره پسروی، ورود رسوبات به مناطق پوشیده از آب در ذخایر آبی، کم و غالباً ریز خواهد بود. علاوه بر این توربولانس کم آب، برای حمل مواد دانه درشت به هر فاصله‌ای غیرمحتمل خواهد بود. بنابراین اغلب ممکن است طی زمان عقی نشینی تأثیر کمی بر روی رسوبات مناطق عمیق وجود داشته باشد.

امافرسایش و حمل رسوبات حاشیه‌ای احتمالاً در پایان پسروی، هنگامی که بارش‌های فراوان دوباره پشت ذخایر آبی را پر می‌کند، قابل توجه خواهند بود.اگر شرایط طوفانی بر سطوح وسیع بدون پوشش غلبه یابد ممکن است مقادیر فراوانی از رسوب جابجا و مجدداً در منطقه عمیق ته‌نشین شوند. علاوه براین، ورود آب و مواد از رودخانه‌های پرانرژی و نیز فشار باد، باعث انتقال مواد درشتتر به قسمت‌های عمیق می‌گردد. این تأثیر به طور مشخص به عنوان منطقه‌ای از عناصر درشت در پروفیل رسوبی آب‌های عمیق در سدهای پنینس جنوبی *(آندرسون و دیگران، ۱۹۸۸؛ هوچینسون، ۱۹۹۵؛ شوت بولد و دیگران، ۲۰۰۱)* مشاهده شده است. در این مطالعات گروهی از رسوبات درشتی که طی یک سال ته‌نشین گردیدند،

جایی پیدا شدند که پسروی گسترده و طولانی متعاقب مجموعه‌ای از طوفان‌ها بوده است.

جایی که پسروی در پاسخ به تقاضای بالای آب نبوده بلکه بدلیل نگهداری و تعمیر باشد، عملکرد مهندسین و بازدیدهای سلامتی باعث بهم خوردگی بسیار رسوبات می‌گردد. در چنین مواردی احتمالاً آب پشت ذخایر تا سطح آب مرده تخلیه می‌گردد و مناطق رسیعی از رسوب را لخت و برهنه می‌کنند.

علاوه بر این پسروی به منظور کارهای مهندسی، ممکن است تا مدت زمان مدید(سال‌ها تا ماه‌ها) طول بکشد، بنابراین رسوبات بدون پوشش ممکن است توسط باد و باران مورد فرسایش قرار گیرند.

پژوهش‌های افلر و دیگران (۱۹۹۸) از معدود پژوهش‌هایی است که تأثیرات پسروی را بر رسوبات منطقه عمیق سد کانونس ویل در آمریکا، مورد بررسی قرار می‌دهد. طی پسروی شدید یکی از تابستان‌ها، تله‌های رسوبی نشان دادند که جریان رسوبات به منطقه عمیق بیش از بیست بار بزرگ‌تر از بار خروجی رسوبات است. اما متأسفانه برای این که مقایسه‌ای انجام شود هیچ اندازه گیری جریان رسوبی در طول دوره بدون پسروی تابستانه انجام نشده بود.

بسیاری از فاکتورهایی که طی پسروی بر توزیع مجدد رسوبات اثر می‌گذارند متقاعد می‌کنند که آثار پسروی هم بین سامانه‌ها و هم بین حوادث پسروی تغییر می‌کند. برخلاف تمرکزسازی بی‌ارتباط با پسروی، که ممکن است از سالی به سال دیگر تغییر کند، توزیع مجدد رسوب مرتبط با پسروی دوره‌ای[۲۰] است که با شدت نوسانات سطح آب و شرایط اقلیمی طی پریود پسروی تغییر می‌کند. این شرایط برای این که کمیت رسوبات (که تحت تأثیر قرار می‌گیرند) مشخص گردد، را بشدت مشکل می‌کند. اغلب فرضی وجود دارد که نوسانات سطح آب باید به آشفتگی قابل توجه رسوب منجر گردد و این که هیچ قسمتی از ذخایر آبی، مغزه‌های رسوبی یکنواختی را عرضه نمی‌کند (**پوچرو دیگران، ۱۹۹۳**). اما با توجه به فاکتورهایی که بر توزیع رسوب طی پسروی آب تأثیرمی گذارند پیشنهاد می‌شود که اکثر حوادث مربوط به پسروی، تأثیر کمی را بر منطقه عمیق می‌گذارد. در حالی که اکثر مطالعات مدرک مستدلی را از فعالیت مجدد مواد حاشیه‌ای ارائه می‌دهند. (**یونگ، ۱۹۸۵؛ دوک و ام.سی مانوس ۱۹۹۴؛ افلر و دیگران، ۱۹۹۸**) کمیت و نیز مقصد رسوباتی که در زمان پسروی مجدداً فعال شده‌اند، بیشتر نامشخص است. فعالیت بیشتری مورد نیاز است که تأثیر تغییرات سطح آب را بر رسوبات منطقه عمیق، بهتر بشناسیم.

کاربردهای مجموعه مغزه‌ی رسوبی و تفسیر آن

بحث پیشین درک فعلی رسوبگذاری دریاچه‌های مصنوعی و فرآیندهای توزیع مجدد رسوبات را؛ بویژه در جایی که از دریاچه‌های طبیعی متمایز شدند مورد اشاره قرار داد. می‌توان نتیجه گرفت که عمق سنجی پیچیده، بار رسوبی فراوان و فرایندهای رسوبگذاری مجدد باعث الگوهای ته‌نشست رسوبی می‌گردد که به طور قابل توجهی از دریاچه‌های طبیعی متفاوت است.

پسروی باید به تعلیق مجدد و کاهش دوام زمانی منطقه نسبتاً گسترده‌ای از کف سد منجر شود. آن وضعیت منجر به این مسئله می‌شود که آگاهی و اطلاع در مورد توزیع رسوبات دریاچه‌های طبیعی چیست و بنابراین استراتژی‌های مغزه گیری که توسعه یافته است، ممکن است برای ذخایر مصنوعی (سدها) مناسب نباشد. استراتژی نمونه گیری رسوبات باید با ملاحظه تفاوت سدها در توزیع رسوبگذاری، مورد ارزیابی مجدد قرار گیرد. هدف این نوشته همان طور که در بیشتر دیگر انتشارات (*مانند اولدفیلد، ۱۹۷۷؛ هاکانسون، ۱۹۸۳؛ لست واسمول، ۲۰۰۲*) آمده است، نمونه گیری رسوبات دریاچه‌ای را به صورت جزیی در برنمی‌گیرد. اما کاربرد استراتژی نمونه گیری رسوبات دریاچه‌های تیپیک طبیعی برای دریاچه‌های مصنوعی مورد توجه واقع خواهد شد. علاوه بر این، نمونه مطالعاتی که بطور موفقیت‌آمیزی تغییرات زمانی ورود آلاینده‌ها به ذخایر مصنوعی را بازسازی کرده‌اند، استفاده خواهند شد تابه متدولوژی نمونه گیری رسوبات دریاچه‌های مصنوعی توجه کنند. هر نمونه گیری دریاچه‌ای باید به گونه‌ای طراحی شود که اهداف مطالعه را نشان بدهد. اما بیشتر مطالعات رسوب محور یا بازسازی کیفی روندهای زمانی در حوضه آبگیر را یا ورود موادخاص جوّی (معمولاً آلاینده‌ها) نشانه می‌گیرند یا این که آن‌ها بطور کمی مقادیر ورود را هدف می‌گیرند. روندها می‌توانند به بهترین شکل از طریق جمع آوری و آنالیز مغزه‌های منطقه تراکمی مشخص شوند. همانطور که ورودی‌ها همه مناطق (یا انرژی مختلف) را تغییر می‌دهد، بازسازی آنها آنالیز مغزه‌ها را از سرتاسر کل حوضه دریاچه طبیعی در برمی‌گیرد. این مستلزم آنالیز مغزه‌های تمام مناطق رسوبی و یا تمرکز بر منطقه تراکمی است و بکاربردن فاکتور صحیحی که ورودی به این منطقه را با مقادیر ورودی به کل بدنه آب به هم ارتباط دهد.

نگاره ۳: ظرفیت تکراریذیری مغناطیسی پروفیل‌ها و موقعیت مغزه‌های جمع آوری شده از سد هودن

۱- بازسازی کیفی روندهای زمانی از رسوبات ذخایر آبی (سدها)

رسوبات منطقه تراکمی که بطور دائم ته نشین می‌شوند به لحاظ فضایی مشابه و یکنواخت هستند و بعید است که توسط عمل موج یا جریانات ناشی از موج بهم خورده باشند. بنابراین هسته‌های رسوبی قدیمی در منطقه تراکمی ممکن است رکورد زمانی با جزییات بیشتری را از ورودی‌ها ارائه دهد. بنابراین ضرورت اول برای بازسازی روندهای ورودی، مکانیابی و جمع‌آوری هسته‌های رسوبی از منطقه تراکمی است. تعیین وسعت منطقه تراکمی ممکن است مشکل باشد. در حالی که مناطق انرژی که توسط هاکانسون (۱۹۷۷) در دریاچه‌های طبیعی (مناطق تراکمی، انتقالی و حاشیه‌ای) تعیین شد، موقعیت شان ممکن است بدلایل زیر فرق کند:

۱- معمولاً عمق آب از حواشی دریاچه تا مرکز افزایش می‌یابد بنابراین منطقه‌ای که رسوب در آن متمرکز می‌شود ضرورتاً مرکز (عمیق‌ترین قسمت بدنه آب) نیست. *(ابراهام و دیگران، ۱۹۹۹)*

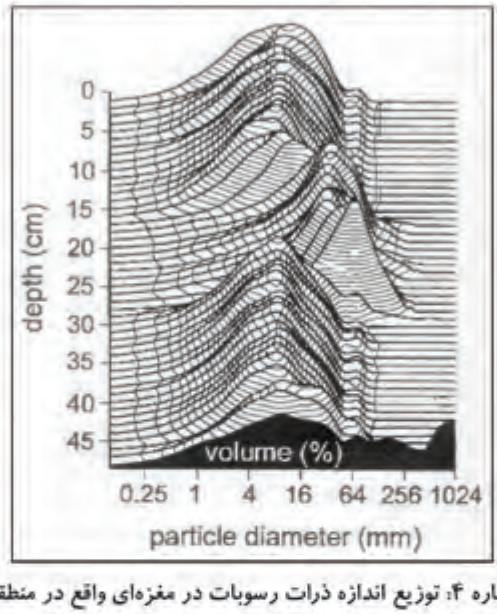
۲- پسروی، شرایط انرژی را در کف سدها تغییر می‌دهد و به نامشخص شدن مرز مناطق منجر می‌شود. در حقیقت منطقه پایدار تراکمی ممکن است در همه‌ی ذخایر آبی وجود نداشته باشد. ابراهام و دیگران به تفاوت موجود بین مناطق مختلف انرژی در هشت حوضه مسئله‌دار سدها پی بردند.

این ذخایر آبی بزرگ (با مساحت بین ۶ تا ۱۰۰ کیلومترمربع)، اغلب اندازه رسوبی روشنی نداشتند یا حجم و وسعت آب با عمق تغییر می‌کرد - پارامترهایی که برای متمایز کردن مناطق انرژی در دریاچه‌های طبیعی *(اسلی و دیگران، ۱۹۸۲؛ بلایس و کالف، ۱۹۹۵)* استفاده شده‌اند. این وضعیت نسبت داده شده به ۱- تغییر جزیی در اندازه ذرات ورودی در برخی از ذخایر آبی ۲- عرضه فراوان رسوب - در دریاچه‌های طبیعی با عرضه بالای رسوب، رسوبات ریز در مناطق فرسایشی یافت شده‌اند زیرا که فراوانی رسوب، انرژی امواج را درهم می‌شکند *(دی، جی روان و دیگران، ۱۹۹۵)* و ۳- در سدهای بزرگ مواد با اندازه‌های متفاوت به قسمت‌های مختلف سد فرستاده می‌شود. معمولاً تنها آن سدهایی که ورودی رسوبات را از تمام جریان‌های پهن اما دائمی را داشتند، مورفومتری دامنه اندازه عناصر کلاسیک (بهترین حالت) بود- که تیپ ظاهری توزیع رسوبات هاکانسون (۱۹۷۷؛ ۱۹۸۱) کنترل می‌شد. نوع و منشاء دیگر رسوبات، تأثیر به هم زننده‌ای را در توزیع رسوبات حوضه‌ی ذخایر مصنوعی آب داشتند. تنها پنج دریاچه از هشت دریاچه مدرکی از منطقه پایدار تراکمی را نشان دادند.

وجود و گستردگی منطقه تراکمی با تکرار پذیری متغیرهای دیگری به غیر از اندازه ذرات و حجم (وسعت) آب *(بالیس و کالف، ۱۹۹۵)* می‌تواند تعیین شود. نویسندگان فعلی از ظرفیت تعلیق پذیری مغناطیسی برای تعیین رسوبات منطقه تراکمی در پنج ذخیره آبی در پنینس جنوبی (انگلستان) استفاده نموده‌اند (شوت بلت و دیگران، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱). در ارتباط با نقشه‌های عمق سنجی (برای تعیین منطقه مسطح یا با شیب کم) و رکوردهای سطح آب (برای تعیین نواحی زیر حداکثر پسروی)، تکرار پذیری مغناطیسی ویژگی‌های پروفیل‌های مغزه، برای تعیین مغزه‌ها از مناطق تراکمی استفاده شده‌اند. نگاره ۳ که از سد هودن (یکی از پنج سد مطالعه شده) استخراج شده، تفاوت واضحی را بین ظرفیت تکرار پذیری مغناطیسی [۲۱] پروفیل مغزه‌های منطقه عمیق آب (۱ تا ۵) و مغزه‌های حواشی دریاچه (۶ تا ۱۰) نشان می‌دهد. سه تا از مغزه‌های آب عمیق (هسته‌های ۲، ۳ و ۴) بیرون کشیده شدند و به لحاظ آماری با استفاده از تست غیر پارامتری تفاوت بین جمعیت‌ها در روش کولموگروف، اسمیرنوف *(اگستینو و استفان، ۱۹۸۶)*، شباهت واضحی از ظرفیت تعلیق پذیری پروفیل‌ها در بیشتر اندازه گیری‌های مغناطیسی (تعلیق پذیری مغناطیسی جرم ویژه) مورد آزمون قرار گرفته است. تفاوت قابل توجهی در جمعیت مغزه‌ها یافت نشدند. تکرار پذیری این مغزه‌ها بدین معناست که این‌ها می‌توانند با اطمینان منتج شوند که از منطقه تراکمی باشند. بنابراین مغزه‌های برای آنالیز بعدی از دو نقطه بین این دو سامانه نمونه جمع آوری شدند. (نگاره ۳)

بیشتر مطالعاتی که سعی می‌کنند نمونه گیری را بر منطقه تراکمی متمرکز نمایند، ابتدا پیش نمونه گرفته می‌شود تا وسعت این منطقه را تعیین کند. لیس و دیگران (۱۹۹۷)، سه تا از ذخایر آبی «نورث یورک شایر» را از پیش ارزیابی کردند، در حالی که تلاش‌های نمونه گیری را قادر نمودند تا متمرکز شوند بر شیب آرام یا مسطح منطقه عمیق آب (۱۷ مغزه از دریاچه الرن، ۴ مغزه از ذخیره آبی بلت بای و ۱۴ مغزه از برکه نیوبورق). تعداد زیاد مغزه‌ها به آن‌ها اجازه داد که تغییرپذیری اندک فضایی مقادیر رسوبگذاری را در مناطق عمیق سدها، نشان دهند. به همین صورت، ون متر و دیگران (۱۹۹۷) روندهای تاریخی ورود پی.سی.بی.اس [۲۲]؛ دی.دی.تی [۲۳] و کلر را بداخل شش منبع آبی ایالات متحده آمریکا بررسی نمودند. شناسایی نمونه گیری و مساحی‌های عمق سنجی با هدف دستیابی توالی بهم نخورده رسوبات ضخیم دریاچه‌ای انجام شد (رسوبات دریاچه‌ای با رسوبات‌ریزی یعنی رسوبات منطقه تراکمی معین شدند که بدون توقف و بطور موافق ته‌نشین شدند.) ارزیابی اولیه رسوبگذاری، سامانه کلیدی را در میانه یا قسمت پایین‌تر هر منبع آبی فراهم ساخت تا برای آنالیز تعیین و انتخاب شود. کالندر و ون متر (۱۹۹۷) برای تعیین گذشته‌های ته‌نشست سرب در پنج ایالات متحده آمریکا از تکنیک مشابهی استفاده کردند درحالی که آن‌ها رسوبات را از منطقه دریاچه‌ای [۲۴] این ذخایر آبی جمع‌آوری می‌کردند. ضرورت دوم برای بازسازی روندهای زمانی از مغزه‌های منطقه تراکمی این است که مغزه‌ها می‌توانند تاریخ گذاری شوند و مقادیر رسوبگذاری نیز می‌تواند تعیین شوند. برای رسوبات جدید سدها (بعبارت دیگر رسوبات قرن بیستم) تکنیک‌های تاریخ گذاری پی.بی ۲۱۰ [۲۵] وسی.اس ۱۳۷ [۲۶] به طور خاص قابل استفاده است *(اپلبای، ۱۹۹۸؛ ۲۰۰۱)*. چنین تکنیک‌هایی به فضاهای رسوبی اجازه می‌دهد تا تاریخ‌گذاری شود و نیز مقادیر رسوبگذاری بین این فضاها تعیین شود. اما مقادیر سریع رسوبگذاری می‌تواند منجر به ترقیق رادیونوکلید [۲۷] نزدیک به آلودگی زمینه شود. متد دیگر تاریخ گذاری که اخیراً مطرح شده است، تغییرات زمانی را در عناصر کربن‌دار کروی (اس.سی.پی) [۲۸] استفاده می‌کند تا فضاهای خاص واقع در رسوبات و مغزه‌های توربی را تاریخ نگاری کند. *(روزه و دیگران، ۱۹۹۵؛ یانگ و*

دیگران، ۲۰۰۱) اس.سی. پی‌ها توسط اشتعال سوخت‌های فسیلی با درجه بالا خارج می‌شوند بنابراین در ابتدا تعدادی از اس.سی. پی‌های واقع در رکورد رسوبگذاری با تغییرات زمانی در خروجی‌های نیروگاه‌ها تعیین می‌گردد. *(روزه و دیگران ۱۹۹۵)* روندهای معنی‌داری در رسوبات دریاچه‌ای انگلستان وجود دارند که برای تاریخ نگاری افق‌های ویژه در رسوبات، می‌توانند استفاده شود. *(روزه و دیگران، ۱۹۹۵)* این تکنیک برای تاریخ‌نگاری رسوبات در برخی مطالعات اخیر در انگلستان استفاده شده است *(جونز و دیگران ۱۹۹۷؛ بانگ و دیگران، ۲۰۰۲؛ بانگ و روزه، ۲۰۰۳)*.



نگاره ۴: توزیع اندازه ذرات رسوبات در مغزه‌ای واقع در منطقه تراکمی سد هودن

آخرین ضرورت برای تفسیر پروفیل‌های رسوبی از منطقه تراکمی، ارزیابی غلظت (پایداری) رسوبگذاری است. رکورد ایده‌آل رسوبی از رسوبی به دست می‌آید که مستمراً و دائماً در سراسر سال ته‌نشین می‌شود با جریان‌های غیرلایه‌ای و ورودی‌های سالانه از مواد حاشیه‌ای ته‌نشین شده جدیدی که در پاییز مجدداً معلق می‌شوند. در حقیقت حتی رسوبات منطقه تراکمی ممکن است برخی از ورودی‌های جریانات غلیظ و بطور بالقوه ورودی‌های حواشی سد و کانال اسکوری را در طول پسروی در برگیرد.

در مقایسه با رسوباتی که طی شرایط جریان رودخانه و سطح آب نرمال ته‌نشین می‌شوند، این شرایط بر تفسیر رکورد رسوبگذاری تأثیر می‌گذارد.

تحلیل اندازه ذرات، تکنیک مفیدی برای بررسی محیط‌های ته‌نشستی است. هر جا که ورود رسوب اصلی به منطقه تراکمی، عناصری باشند که با جریانهای غیرلایه‌ای آورده شده‌اند یا طی برگشتگی (انتقال) مجدداً توزیع شده باشند احتمالاً، ثبت، رسوبات‌ریز را نشان می‌دهند. معمولاً (نه ضرورتاً) ورودی‌های رسوب در طول پسروی درشت‌ترند. آشکارا این وضعیت در توزیع اندازه ذرات رسوبات سد هودن در انگلستان (نگاره۴) اثبات شد. پسروی مهمی در این سد در تابستان ۱۹۵۹ روی داد که تا پاییز ادامه یافت. متعاقباً بواسطه طوفان‌های بزرگ سد پر شد که باعث ورود رسوبات درشت بین ۱۷ و ۲۸ سانتی متری گردید. به جز این منطقه که به راحتی معین شد، همسانی قابل توجهی در توزیع اندازه‌های عناصر در سراسر مغزه(نگاره ۴) وجود دارد. این نشان می‌دهد که هر پسروی دیگری باعث توزیع مجدد رسوبات به منطقه‌ی عمیق نگردیده است. اگر آن‌ها بتوانند به این طریق تعیین شوند چنین وقفه‌ای در ثبت رسوبات مسئله‌دار نیستند. بطور بالقوه اکثراً مشکل،تعیین کردن ورودی‌های رسوبات ریز طی پسروی هستند. این وضعیت در پسروی‌های با شدت کمتر ممکن است، هرجا که رسوبات ریز طی پسروی گسترده به حواشی کشیده می‌شوند. در صورت ضرورت این بعنوان افزایشی در میزان رسوبگذاری، قابل شناسایی خواهد بود. بنابراین ترکیب اندازه ذرات و تاریخ‌گذاری رادیو متریک برای ارزیابی پایداری رسوبگذاری سودمند است *(شوت بلد و دیگران، ۲۰۰۱)*. تاریخ‌نگاری رادیومتریک مغزه سدهودن ثابت کرد که مقادیر رسوبگذاری خارج از منطقه رسوبی مسیر، یکنواخت هستند. بنابراین باقیمانده رکورد، یک رکورد زمانی با ارزش از ورودی‌ها هستند.

۲- بازسازی کمی موادآلاینده در رسوبات سدها

قسمت پیشین متدهای بازسازی روندهای موادآلاینده ورودی به سدها را مورد بحث قرار داد. هر جا که مقادیر واقعی ورودی‌ها مورد نیاز باشند ورودی‌ها به کل سد باید تعیین شود. معمولاً تعیین کل ورودی، از طریق جمع‌آوری و آنالیز مغزه‌های تمام نواحی حوضه‌ای که رسوبگذاری در آن روی داده است، انجام می‌گیرد. تغییرپذیری علاقه به تمام یا به تعداد زیادی از مغزه‌ها تعیین شد که اجازه می‌داد تغییرات زمانی در ته‌نشست آلاینده در سراسر کل حوضه محاسبه شود. تاریخ نگاری تعداد زیادی از مغزه‌ها معمولاً بطور جلوگیری کننده‌ای پرهزینه است. بنابراین تکنیکهای همبستگی مغزه‌ها استفاده می‌شوند تا زمان‌هایی که برای یک مغزه اصلی یا تعدادی از مغزه‌های اصلی تعیین می‌شوند برای بقیه مغزه‌ها بکار برده شوند. همبستگی بین مغزه‌ها از طریق شناسایی افقهای یک دوره در رسوبات انجام می‌شود.

هر ناپایداری که به مقدار زیاد زمان بزرگتری را نسبت به تغییر فضایی در رکورد رسوبات نشان دهد، برای همبستگی مغزه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد هر چند آنالیز مغناطیسی مواد معدنی همانطور که آن نسبتاً به راحتی غیرمخرب بوده و قابل اندازه گیری است، بویژه مناسب یافت شده است (تامسون و دیگران، ۱۹۷۵؛ دیرینگ ۱۹۸۳). چنین تکنیک هایی بطور موفقیت‌آمیزی در بسیاری از مطالعات با پایه رسوبی دریاچه‌ها(ی‌طبیعی) بکار برده شده است *(بعنوان نمونه دیویس و دیگران، ۱۹۸۴؛ دیرینگ ۱۹۸۳؛ ۱۹۹۲؛ فوستر و دیگران،۱۹۹۰)*. همه آلاینده‌های ورودی به ذخایر آبی می‌توانند برای پریودهای زمانی بین افق‌های یک دوره محاسبه شود اگرچه تفکیک زمانی رکوردهای رسوبی توسط تعدادی از افق‌های شناسایی یک دوره محدود می‌شود. کل نمونه گیری ذخایر آبی توسط تعدادی از نویسندگان برای تعیین کمیت تغییرات زمانی ورودی‌های فلزات سنگین به چهار ذخیره آبی

کوچک (با مساحت کمتر از ۰/۲ کیلومترمربع) در مرکز انگلستان (فوستر و دیگران، ۱۹۹۱، ۱۹۸۷، ۱۹۸۶، ۱۹۸۵؛ چارلس ورث و فوستر، ۱۹۹۹، ۱۹۹۳) استفاده شده‌است. تراکم بالای مغزه‌ها (بین ۱۲ و ۸۱ مغزه از هر سد) در سیستم شبکه هر سد جمع آوری شدند. یک مغزه اصلی بطور رادیومتری تاریخ گذاری گردیده و تاریخ بقیه مغزه‌ها از طریق همبستگی همزمانی افق‌ها با استفاده از ویژگی‌های مغناطیسی رسوبات تعیین شدند. رسوبات از مناطق زمانی معین برای تعیین روندهای زمانی در کل بار آلاینده رسوب، جمع آوری و آنالیز می‌شوند.

مغزه گیری با تراکم (غلظت) بالا در همه ذخایر آبی، برای برآورد بار رسوبی (مثلاً، فوستر و دیگران، ۱۹۸۵؛ ۱۹۸۶؛ لابادز و دیگران، ۱۹۹۱؛ فوستر و والینگ، ۱۹۹۴؛ دیوید و دیگران، ۱۹۹۸؛ اولدفیلد و دیگران، ۱۹۹۹) استفاده شده است. اولد فیلد ودیگران تعداد ۲۹ مغزه را از سدی باریک و مطول به نام پونسون بای تارن (بامساحت ۰/۰۲ کیلومترمربع) در انگلستان جمع آوری نمودند. لگاریتم‌گیری ابتدایی مغزه‌ها با ظرفیت مغناطیس‌پذیری نشان داد که الگوها و مقادیر رسوبگذاری با آنالیز ۱۰ مغزه در امتداد محور طولی این دریاچه به خوبی مشخص می‌گردند در حالی که اهمیت تغییر طولی در توزیع رسوبات از جریان ورودی به جریان خروجی برجسته می‌گردد. برعکس سدهای مرکزی انگلستان، شاید بعلت ماهیت ضعیف مغناطیسی و مواد ارگانیکی فراوان موجود در رسوبات، رسوبگذاری موافق منطقی در نیمه پایین رود سدها مشاهده شد.

اگرچه در این مورد ظرفیت مغناطیس‌پذیری پارامتر مناسبی مخصوصاً برای همبستگی مغزه نبود. مغزه گیری با تراکم بالا حتی در ذخایر آبی کوچک برحسب آنالیز و نمونه کلکسیون، زمان‌بر می‌باشد. ممکن است که تحلیل آماری مطمئن تعدادی از مغزه‌ها همیشه عملی نباشد. بنابراین برخی از تلاش‌ها برای کاستن تعداد نمونه‌های مورد نیاز وجود داشته است تا بطور کامل حوضه دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی را معرفی کند. بادو (۱۹۸۹) توزیع مس را در رسوبات سطحی دریاچه ارتا (با وسعت ۱۸ کیلومترمربع) در ایتالیا مورد بررسی قرار داد. او متوجه شد که تعداد کمی (پنج) از نمونه‌ها، تخمین با ارزشی را از توزیع معمولی و تمرکز میانگین رسوبات (با میانگین انحراف استاندارد ۱۰۰ درصد) ارائه دادند. اما به منظور بدست آوردن داده‌های مهم آماری، تراکم (تعداد) نمونه‌ها باید بیشتر افزایش می‌یافت (۴۱۲ نمونه در دریاچه ارتا مورد نیاز بود تا انحراف استاندارد به کمتر از ۱۰ درصد کاهش یابد.)

اریکسون و ایور (۱۹۹۸) در مطالعه‌ای از مقادیر مبادله شیمیایی در سطح مشترک آب و رسوب از سد کانونس ویل در آمریکا و با اجرای نقشه برداری اولیه از رسوبات سطحی برای تعیین مناطقی که دارای ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی مشابهی هستند، تعداد مغزه‌های مورد نیاز را به حداقل رساندند. سپس داده‌های این مساحی اولیه برای تعیین تعداد و موقعیت مغزه‌هایی استفاده شدند که مورد نیاز بودند تا نمونه مغزه هایی را برای کل ذخایر آبی تهیه کنند. در حقیقت همانطور که مساحی‌ها سه منطقه مختلفی که در مجموع نیتروژن، فسفات و کربن ارگانیک باهم متفاوت بودند را نشان می‌داد، درست سه مغزه آنالیز شدند. تکنیک دیگر برای کاستن تعداد مغزه‌هایی که باید به تفصیل آنالیز شوند، تمرکز بر نمونه گیری منطقه تراکمی است. متدهای نمونه گیری منطقه تراکمی در قسمت پیشین مورد توجه قرار گرفت اما برای تعیین یک رکورد کمی ورودی‌ها از مغزه‌های منطقه تراکمی، ته‌نشست سرتاسر پایه سد و نیز آنچه طی جریان خروجی از دست می‌رود باید مورد محاسبه قرار گیرد. جی.اس.روان و دیگران (۱۹۹۵) برای محاسبه میزان رسوبگذاری متوسط جرم منطقه تراکمی پنج دریاچه‌ای که بطور وسیعی اندازه آن‌ها (بین ۱/۲ و ۳۰۰ کیلومتر) تغییر می‌کرد، تعدادی از مغزه‌های مورد نیاز را بررسی نمودند. آن‌ها ۵ تا ۱۰ مغزه را یافتند که مقیاس دقیقی از میزان رسوبگذاری را تهیه می‌کرد. (یک مغزه اضافی صحت مقیاس را تا بیش از ۵ درصد ارتقاء نخواهد داد). بنابراین هر جا که روندهای زمانی تعیین شده در مغزه‌های منطقه تراکمی بتوانند به کل ورودی‌های دریاچه‌ای نسبت داده شود آنالیز جزییات رسوبات، تنها روی یک یا چند مغزه آب عمیق ضروری است. هر جا ورودی جوی آلاینده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد، برای ارتباط دادن مغزه‌های اصلی منطقه تراکمی با مقادیر ته‌نشست جوی می‌توان از ورود رادیونوکلیدها استفاده نمود. هرمانسن و چیریستن سن (۱۹۹۱) مجموع عملکرد سی.۱۳۷ رادرمغزه‌های رسوبی اندازه گرفتند و آنها را با مقادیر معروف ته‌نشست اتمسفری سی.۱۳۷ مقایسه کردند. نسبت بین مقادیر معروف ته‌نشست و مقادیر تراکم در مغزه، استفاده شدند تا مناطقی را معین کنند که در آن تمرکز روی می‌داد یعنی جایی که ام سی بر ام آ[۲۹] بزرگتر از یک باشد به نظر می‌رسد که تمرکزسازی، منبع اضافی سی.۱۳۷ها باشد. پس این نسبت می‌تواند استفاده شود تا مقادیر ته‌نشست دیگر ورودی‌های جوی را معین کند.

ون متر و دیگران (۱۹۹۷) نیز از سی. ۱۳۷های موجود در مغزه‌های رسوبی برای تعیین تمرکزسازی و ایجاد ارتباط پی.سی.بی؛ دی.دی.تی و تمرکز کلراد با جریان اتمسفریک برای هر سد استفاده کرده‌اند. اما این ورود سی. ۱۳۷ را به حوضه فرض نمی‌کند، فرضی که ممکن است در خاک‌های اسیدی زمین‌های مرتفع (هامیلتون-تایلور و داویشن، ۱۹۹۵؛ هوشینسون، ۱۹۹۵) غیر واقعی باشد. همچنین قبل از این‌که این تکنیک مورد استفاده قرار گیرد باید کمیت ورود آلاینده (یا رادیونکلاید) با آبخیز مشخص و محاسبه گردد. در عمل تعیین سهم آبخیز بسیار مشکل است (برای درک بیشتر این دیدگاه ببینید فوستر و دیگران، ۱۹۸۷؛ بلایس و کالف، ۱۹۹۳؛ فوستر و چارلس ورث، ۱۹۹۶؛ بویل، ۲۰۰۳) بطور مشابه هر کاهشی از رادیون کلاید طی جریان خروجی نیز باید شامل موجودی بوده یا قابل اغماض فرض شود. اما اگر این فرضیات درست باشند رکوردهای منطقه تراکمی با رزولوشن بالا می‌توانند برای بازسازی مقادیر ته نشست بازسازی شود. کاملاً روشن است، نمونه گیری با تراکم بالا اجازه می‌دهد که صحیحترین برآورد بار آلاینده از رسوبات سدها تعیین شود. اما هر جا که دشواری موجود در بازیابی مغزه و نیز هزینه و زمان در تحلیل آورده شود به این معناست که بار رسوبات از مغزه‌های اندک یا از مناطق نمونه (اریکسون و ایور، ۱۹۹۸) یا از تعدادی از مغزه‌های مربوط به منطقه تراکمی (هرمانسون و کریستنسن، ۱۹۹۱؛ ون متر و دیگران، ۱۹۹۷) تعیین می‌شود.

نتایج

این مقاله پتانسیل و مشکلات استفاده از رسوبات ذخایرآبی (سدها) را بعنوان آرشیو زیست محیطی برجسته نموده است. در مقایسه با رکوردهای رسوبی دریاچه‌های طبیعی، فهم ته نشست دریاچه‌های مصنوعی مشکل‌تر است. هی نمان (۱۹۸۴) بیان کرد که حتی بعد از صدها سال از ساخت دریاچه‌های مصنوعی ما بطور کامل فرآیندهای رسوبگذاری را در این منابع نمی‌فهمیم. این بیان پس از آن بارها تکرار شده است. *(مثلاً ابراهام و دیگران، ۲۰۰۰؛ سالاس و شاین، ۱۹۹۹؛ پرایس و دیگران، ۲۰۰۰)* از این گذشته، فهم فعلی مان از رسوبگذاری در ذخایر مصنوعی بیشتر مبتنی بر تحقیق توسط؛ یا برای؛ مدیران علاقمند به مسئله رسوبگذاری منابع آبی و با ادبیات رسوبات دریاچه‌های طبیعی است. همین طور این ادبیات بویژه در خور چالش هایی که گرفتار بازسازی زیست محیطی می‌شود، نیست. بنابراین برخی از نارسایی‌های مهم در فهم مان از الگوها و فرآیندهای رسوبگذاری در ذخایر آبی وجود دارد. معهذا این مقاله نشان می‌دهد که بهره‌برداری از رسوبات ذخایر آبی ممکن است و نیز نشان می‌دهد آن‌ها منبع مازاد اطلاعات تاریخی از ته نشست آلاینده جوی و رسوب و آلاینده‌هایی است که از حوضه آبخیز به ذخایر آبی منتقل می‌گردد.

اکثر مشکلات مربوط به رکوردهای رسوبی آنست که تحقیقات بر پایه رسوبات دریاچه‌های طبیعی است. اما برخی چالش‌های مازاد وجود دارند که در این مقاله برجسته شده‌اند. مهمترین این‌ها تأثیر پسروی آب در رکورد رسوبگذاری است. در حال حاضر ما فهم کمی (عددی) ناچیزی از تأثیرات پسروی بر رسوبگذاری و توزیع مجدد رسوب داریم. در حالی که مدرک روشنی از فعالیت مجدد مواد حاشیه‌ای *(یونگ، ۱۹۸۵؛ داک و مانوس، ۱۹۹۴؛ افلر و دیگران، ۱۹۹۸)* وجود دارد مدارک اندکی از تأثیر بر رسوبات آب‌های عمیق وجود دارد. محتمل است که برای بیشتر پسروی‌ها (طی زمانی که در آن بارش نادر و با شدت کم است و بادهای طوفانی وجود ندارند) تنها آشفتگی اندکی (نسبت به بیشتر دریاچه‌های طبیعی) در ثبت رسوبگذاری آبهای عمیق وجود خواهد داشت. اما اگر پسروی‌ها همراه با طوفان بلند مدت یا با سطوح آب بسیار پایین باشد، نشان داده است که منجر به توزیع مجدد رسوبات فراوان شود. *(آندرسون و دیگران، ۱۹۸۸؛ شوت بلد و دیگران، ۲۰۰۱)* نوسانات سطح آب نیز اندازه منطقه رسوبات یکدست را کاهش می‌دهد. همانگونه که ارزش ذخایر آبی بعنوان اسناد زیست محیطی به مقدار زیادی متکی بر وجود رکوردهای رسوبی ته‌نشین شده پایدار، مستمر و یکدست است، فقدان فهم تأثیرات پسروی بر رسوبات آب‌های عمیق یک نقص بزرگ‌است. حتی بدون تأثیرات پسروی، معمولاً عمق سنجی پیچیده‌تر منابع آبی، به الگوهای توزیع رسوبی غیرقابل پیش‌بینی و پیچیده منجر می‌شود. علاوه بر این بار رسوبی فراوان باعث تسریع در مقادیر رسوبگذاری و بطور بالقوه تأثیر بیشتر چگالی ته نشست‌های جریان بر رکورد رسوبگذاری می‌گردد. سرانجام این وضعیت ممکن است باعث تغییرات در مورفومتری و بنابراین مقادیر ته نشست در تمام حوضه سد گردد. تا حد زیادی تأثیر غیرکمی نوسانات سطح آب، بار رسوبی فراوان و عمق سنجی پیچیده در ثبت رسوبگذاری به این معناست که، هم اکنون ارزیابی تجربی توزیع رسوبات پیش از جمع آوری و انتخاب مغزه‌های مناسب برای تحلیل، ضروری است. چینه‌شناسی مغزه‌ها باید بمنظور بررسی پایداری زمانی رکورد، ارزیابی شود. اگرچه سدها بطور وضوح نسبت به بیشتر دریاچه‌های طبیعی برای بازسازی ورودی‌های گذشته جاذبه کمتری دارند، هر دشواری فزاینده‌ای در تفسیر رکوردهای رسوبی ممکن است از طریق مزیت اخذ رکورد زمانی با رزولوشن بالا از ورودی‌ها جبران شود. بطور موفقیت‌آمیزی چندین مطالعه در این مقاله از رسوبات ذخایر آبی برای بازسازی روندهای زمانی در ورودی‌های جوی و حوضه آبخیز *(فوستر و دیگران، ۱۹۹۲؛ کالندر و ون متر، ۱۹۹۷؛ لیس و دیگران، ۱۹۹۷؛ ون متر و دیگران، ۱۹۹۷؛ کارلس ورث و فوستر، ۱۹۹۹؛ شوت بلد، ۲۰۰۱)* استفاده کرده‌اند. موقعیت بسیاری از سدهای نزدیک به نواحی شهری و صنعتی مشوقی است برای کارکردن با این رکوردهای بالقوه مشکل‌تر با قابلیت فهم کمتر. علایق فعلی و رویه رشد به آثار آلاینده‌ها (بویژه فلزات سنگین) بر سلامت انسان و محیط زیست *(پاسکو و دیگران، ۱۹۹۶؛ دیکمن و لونگ، ۱۹۹۸؛ سانتور و دیگران، ۲۰۰۱)* توجه به انتقال دهنده‌های آلاینده‌ها در حوضه‌های روستایی *(فریدلند و دیگران، ۱۹۸۲؛ گاسر و دیگران، ۱۹۹۴ میلی و دیگران ۲۰۰۳)* و کمبود طویل مدت (پیش از دهه ۱۹۷۰) دیده بانی انتشار آلاینده‌ها به این معناست که نقش مهمی برای تحقیقات رسوب محور ذخایر آبی (سدها) وجود دارد. سدها منبع با ارزشی را ارائه می‌دهند که به خصوص در نواحی شهری و نیمه شهری می‌تواند کاملاً در آینده برای بازسازی روندهای آلاینده گذشته مورد بهره برداری قرار گیرد. اما نیاز آشکاری وجود دارد تا نحوه رسوبگذاری سدها را و استراتژی‌های قوی برای نمونه گیری و تفسیر این رکوردها را کاملتر بفهمیم.

پی‌نوشت

1- Lakes and reservoirs
2-Inputs
3- Drawdown
4- Sedimentation
5- Sediment Sampling
6- Temporal records
7-Afengtang
8- Active Storage
9- Foreset
10- Topset
11- Inflow
12- Trap efficiency
13- Plunge point
14- Muddy lake
15- Sediment focusing
16- Pb
17- Lough auger
18- Shrinking and Swelling
19- Scour channel
20- Sporadic
21- K
22- Pcbs
23- DDT
24- Lacustrine
25- Pb210
26F- Cs137
27- Radionclide
28- SCP
29- Mc/Ma