دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران(مهندسی و مدیریت منابع آب)

بهره‌برداری پایدار مخزن تحت نیازهای متغیر کشاورزی

(مطالعه موردی: سد بوکان حوضه آبریز زرینه‌رود)

دانشجو

پریسا طیبی

استاد راهنما

دکتر سمیه سیما

بهمن ۱۳۹۸

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران (مهندسی و مدیریت منابع آب)

بهره‌برداری پایدار مخزن تحت نیازهای متغیر کشاورزی

(مطالعه موردی: سد بوکان حوضه آبریز زرینه‌رود)

دانشجو

پریسا طیبی

استاد راهنما

دکتر سمیه سیما

تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می دانم که از زحمات بی دریغ، تلاش بی وقفه و راهنمایی‌های حکیمانه استاد راهنمای محترم، سرکار خانم دکتر سمیه سیما کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

از اساتید گرامی که در طول تحصیلم افتخار کسب علم را در محضرشان داشته‌ام، جناب آقایان دکتر نصیری، دکتر صالحی نیشابوری، دکتر قدسیان و دکتر باقری نهایت سپاسگزاری را دارم.

در خاتمه از خانواده، دوستانم و تمام کسانی که در این مسیر کنار من بوده‌اند، به غایت اظهار قدردانی می‌کنم.

پریسا طیبی

"این پایان نامه با حمایت ستاد احیای دریاچه ارومیه انجام شده است"

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب به ویژه در مناطق خشک و وجود رقابت میان نیازهای مصرفی و زیست‌محیطی، بهره‌برداری پایدار از منابع آب امری ضروریست. از طرفی با توجه به سیاست‌های متداول در بهره‌برداری از مخازن کشور مبنی بر در نظر گرفتن حداقل جریان زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی عمده رهاسازی برای تامین نیازهای مصرفی، تعیین کمی نیاز آب زیست‌محیطی اکوسیستم‌های پایین‌دست (شامل رودخانه، تالاب و دریاچه) و لحاظ این نیاز به عنوان هدف در کنار نیازهای انسانی و تحلیل تعارض بین اطمینان‌پذیری تأمین نیازهای مصرفی و زیست‌محیطی در تخصیص آب از مخزن می‌تواند به تصمیم‌گیران برای اتخاذ تصمیمات پایدار کمک کند. لذا در این پژوهش مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد با تمرکز بر حضور جریان زیست‌محیطی در کنار نیاز مصرفی در تابع هدف، با دو رویکرد مجموع وزنی اهداف و مدلسازی چندهدفه بررسی شده است. علاوه بر این با توجه به اینکه پایداری در یک منطقه در سایر حوزه‌های اجتماعی، سیاسی، اقتصادی نیز باید در نظر گرفته شود، درآمد اقتصادی حاصل از آبیاری کشاورزی نیز در کنار رهاسازی آب زیست‌محیطی به عنوان اهداف بهره‌برداری پایدار مخزن در مدل بهینه‌سازی بهره برداری مخزن در نظر گرفته شده است. مطالعه موردی سد بوکان (بزرگترین سد حوضه آبریز دریاچه ارومیه) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد استفاده از این چارچوب در مدلسازی بهره‌برداری مخزن سد می‌تواند باعث افزایش رهاسازی‌های زیست‌محیطی در عین تامین پایدار مصارف انسانی گردد. به طوریکه رهاسازی زیست‌محیطی سد بوکان می‌تواند به ۳ برابر عملکرد وزارت نیرو افزایش یابد در حالیکه تامین نیاز کشاورزی کاهش زیادی پیدا نمی‌کند. همینطور استفاده از مدل‌های چندهدفه در مقابل مدل‌های تک هدفه و مجموع وزنی طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های بهینه مدیریتی را در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهد. بررسی رقابت نیاز زیست‌محیطی با درآمد اقتصاد کشاورزی منطقه به جای دبی رهاسازی کشاورزی، می‌تواند گزینه‌های مدیریتی منعطف‌تری در تامین جریان زیست‌محیطی بهینه با وجود حفظ معیشت مردم داشته باشد.

کلید واژه‌ها: بهره‌برداری پایدار،بهینه‌سازی چند هدفه ،جریان زیست‌محیطی ، trade-off، نیاز کشاورزی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱

مقدمه و کلیات ۶

۱-۱ ضرورت و هدف تحقیق ۶

۱-۲ سوالات و اهداف تحقیق ۷

۱-۳ روش تحقیق ۷

۱-۴ فرضیه تحقیق (Hypothesis): ۸

۱-۵ ساختار پایان‌نامه ۸

فصل ۲

مروری بر ادبیات فنی ۹

۲-۱ مدیریت تطبیقی در آب و محیط‌زیست ۱۰

۲-۲ مدیریت پایدار منابع آب ۱۱

۲-۲-۱ نیاز آبی کشاورزی و مدیریت پایدار منابع آب ۱۱

۲-۳ نیاز آبی زیست‌محیطی؛ تعریف، تعیین ، تخصیص ۱۲

۲-۳-۱ مفهوم جریان زیست‌محیطی ۱۲

۲-۳-۲ روش‌های برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی ۱۳

۲-۳-۲-۱ روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها ۱۳

۲-۳-۲-۲ رویکرد تعیین نیاز زیست‌محیطی تالاب‌ها ۱۴

۲-۴ مدل‌سازی بهینه‌سازی بهره‌برداری مخزن با رویکرد زیست‌محیطی ۱۴

۲-۴-۱ تابع تک‌هدفه زیست‌محیطی ۱۵

۲-۴-۲ توابع چندهدفه زیست‌محیطی یا زیست‌محیطی-انسانی ۱۷

۲-۴-۲-۱ هدف اکولوژیکی به‌عنوان قید فازی: ۱۷

۲-۴-۲-۲ تبدیل اهداف به تابع تک‌هدفه: ۱۸

۲-۴-۲-۳ مدلهای بهره برداری چندهدفه مخازن ۲۲

۲-۵ تخصیص جریان زیست‌محیطی در حوضه دریاچه ارومیه ۳۱

فصل ۳

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد نیاز ۳۵
۳-۱ منطقه مورد مطالعه ۳۵
۳-۱-۱ کاربری اراضی و کشاورزی زیرحوضه زرینه رود ۳۶
۳-۱-۲ نقش زیر حوضه زرینه‌رود در تامین نیاز آبی و احیا دریاچه ارومیه ۳۷
۳-۱-۳ سد بوکان ۳۹
۳-۱-۴ تالاب قره‌قشلاق ۴۰
۳-۱-۵ تعیین سال‌های خشک و تر با استفاده از شاخص‌های خشکسالی ۴۱
۳-۲ داده‌های ورودی مدل ۴۲
۳-۲-۱ هواشناسی و هیدرومتری ۴۲
۳-۲-۲ -نیاز آبی پایین‌دست ۴۳
۳-۲-۲-۱ نیاز آبی کشاورزی ۴۳
۳-۲-۲-۲ -نیاز آبی زیست‌محیطی ۴۴
۳-۲-۳ داده‌های اقتصاد کشاورزی ۴۵

فصل ۴

روش تحقیق ۵۱
۴-۱ مدل‌های بررسی شده و روش حل ۵۱
۴-۱-۱ بهینه‌سازی مجموع وزنی رهاسازی زیست‌محیطی و کشاورزی ۵۲
۴-۱-۱-۱ تابع هدف مدل‌های مجموع وزنی ۵۲
۴-۱-۱-۲ قیود مدل‌های مجموع وزنی رهاسازی ۵۳
۴-۱-۱-۳ فرضیات ۵۴
۴-۱-۱-۴ سناریوها ۵۴
۴-۱-۱-۵ روش حل ۵۶
۴-۱-۱-۶ معیارهای ارزیابی و مقایسه مدل‌های مجموع وزنی ۵۶
۴-۱-۲ مدل های بهینه سازی چندهدفه ۵۸
۴-۱-۲-۱ توابع هدف مدل چندهدفه حداکثرسازی رهاسازی زیست محیطی و کشاورزی ۵۸
۴-۱-۲-۲ توابع هدف مدل بهینه‌سازی چندهدفه هیدرواقتصادی-زیست‌محیطی ۵۸
۴-۱-۲-۳ قیود مدل بهینه‌سازی چندهدفه هیدرواقتصادی- زیست‌محیطی ۵۹
۴-۱-۲-۴ روش حل ۶۰
۴-۱-۲-۵ سناریو مدل هیدرواقتصادی- زیست‌محیطی ۶۰
۴-۱-۲-۶ فرضیات مدل هیدرواقتصادی- زیست‌محیطی ۶۰

۷-۲-۱-۴ تحلیل حساسیت قیود مسئله مدل هیدرواقتصادی- زیست‌محیطی ۶۱

فصل ۵

نتایج ۶۲

۵-۱ مقدمه ۶۲

۵-۲ مدل‌های مجموع وزنی بهینه‌سازی رهاسازی زیست‌محیطی و کشاورزی ۶۲

۵-۲-۱ مدل مجموع وزنی دبی رهاسازی زیست‌محیطی و کشاورزی ۶۳

۵-۲-۲ مدل مجموع وزنی شاخص اعتمادپذیری رهاسازی زیست‌محیطی و کشاورزی ۶۵

۵-۲-۳ مدل مجموع وزنی مجذور انحراف نرمال رهاسازی زیست‌محیطی و کشاورزی ۶۷

۵-۲-۴ سهم جریان زیست‌محیطی در سناریوهای مختلف نسبت به شرایط موجود ۶۹

۵-۲-۵ مقایسه مدل‌های بهینه‌سازی تک هدفه مجموع وزنی تامین نیازهای زیست‌محیطی و کشاورزی ۷۰

۵-۳ مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه ۷۳

۵-۳-۱ پارامترهای الگوریتم NSGA-ll ۷۳

۵-۳-۲ نتایج مدل بهینه سازی چند هدفه بهره برداری سد بوکان ۷۳

۵-۳-۳ مدل بهینه سازی چندهدفه هیدرواقتصادی –زیست‌محیطی ۷۶

۵-۳-۳-۱ مدل پایه ۷۶

۵-۳-۴ تحلیل حساسیت مدل نسبت به حداکثر کم‌آبیاری ۷۷

۵-۳-۴-۱ تحلیل حساسیت مدل به قید درصد تامین نیاز کشاورزی از منابع آب سطحی ۷۷

۵-۳-۵ سناریو کاهش مساحت ۷۸

۵-۳-۶ -مقایسه مدل چندهدفه دبی و هیدرواقتصادی-زیست‌محیطی ۷۹

فصل ۶

نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۱

۶-۱ نتایج پژوهش: ۸۱

۶-۲ پیشنهادات ۸۳

۶-۲-۱ پیشنهادات تحقیقاتی ۸۳

۶-۲-۲ پیشنهادات اجرایی ۸۴

مراجع ۸۶

پیوست الف ۹۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ -مقایسه روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها ۱۴
جدول ۲-۲ -مطالعات بهینه‌سازی با رویکرد جریان زیست‌محیطی ۲۷
جدول ۳-۱- مساحت تحت کشت محصولات کشاورزی حوضه آبریز زرینه‌رود ۳۶
جدول ۳-۲-مشخصات سد بوکان ۳۹
جدول ۳-۳-ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه‌های ورودی به سد بوکان ۴۳
جدول ۳-۴–نیاز آبی تعریف‌شده برای رودخانه زرینه‌رود در محل ایستگاه نظام‌آباد ۴۴
جدول ۳-۵-مقادیر جریان زیست‌محیطی رودخانه زرینه‌رود در روش‌های منتخب ۴۴
جدول ۳-۶-نحوه دسته‌بندی محصولات در منطقه مطالعاتی براساس دوره رشد و نیاز آبی ۴۶
جدول ۳-۷-تقویم زراعی محصولات زراعی ۴۶
جدول ۳-۸-طول دوره رشد گیاهان زراعی دشت میاندوآب ۴۶
جدول۳-۹-قیمت محصولات زراعی ۴۷
جدول ۳-۱۰-مساحت تحت کشت محصولات زراعی شهرستان های میاندوآب، ملکان، شاهین دژ ۴۸
جدول ۳-۱۱-عملکرد محصولات زراعی شهرستان های میاندوآب، ملکان، شاهین دژ ۴۸
جدول ۳-۱۲-ضریب پاسخ عملکرد گیاه محصولات زراعی ۴۹
جدول ۳-۱۳ -نیاز خالص آبیاری محصولات (mm) (از نرم افزار NETWAT) ۴۹
جدول ۳-۱۴–مقادیر بارش موثربه ازای نرخ بارش‌ها از روش FAO ۵۰
جدول ۴-۱-سناریوهای نیاز کشاورزی-مدل مجموع وزنی ۵۵
جدول ۵-۱ شاخص‌های عملکردی مدل بهره‌برداری تک‌هدفه سد بوکان به شکل مجموع وزنی دبی ۶۵
جدول ۵-۲ شاخص‌های عملکردی مدل بهره‌برداری تک‌هدفه سد بوکان به شکل شاخص اعتمادپذیری ۶۷
جدول ۵-۳-شاخص‌های عملکردی مدل بهره‌برداری تک‌هدفه سد بوکان به شکل مجذور انحراف نرمال ۶۹
جدول ۵-۴-نتایج رهاسازی بهینه نیاز زیست‌محیطی از سد بوکان در مدل‌های تک‌هدفه وزنی ۷۰
جدول ۶-۱ شکل های مناسب تابع هدف از نظر هر شاخص ۸۳
جدول ۶-۲-حل کننده‌های نرم افزار GAMS ۹۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱ -موقعیت زیرحوضه زرینه‌رود و سد بوکان در حوضه دریاچه ارومیه ۳۶
شکل ۳-۲ -نمودار ET زمین‌های کشاورزی در سطح زیر حوضه زرینه‌رود و حوضه دریاچه ارومیه ۳۷
شکل ۳-۳-سهم تعیین شده برای هر رودخانه در تامین حقابه دریاچه ارومیه (66)..... ۳۸
شکل ۳-۴-نمودار رهاسازی‌های واقعی سد بوکان (69) ۳۹
شکل ۳-۵-موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی منطقه مورد مطاله..... ۴۱
شکل ۳-۶–نمودار سری زمانی شاخص SPI در ایستگاه هواشناسی میاندوآب ۴۲
شکل ۳-۷–نمودار سری زمانی شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی SSFI..... ۴۲
شکل ۳-۸ مقایسه نیاز زیست‌محیطی و رهاسازی بهره‌برداری واقعی..... ۴۵
شکل ۴-۱-نیاز کشاورزی در سناریوهای بهره‌برداری ۵۶
شکل ۵-۱-رهاسازی بهینه زیست‌محیطی از سد بوکان در روش مجموع وزنی دبی در سناریوهای بهره‌برداری ۶۴
شکل ۵-۲-رهاسازی کشاورزی بهینه از سد بوکان در روش مجموع وزنی دبی در سناریوهای بهره‌برداری..... ۶۴
شکل ۵-۳-رهاسازی بهینه زیست‌محیطی از سد بوکان در روش مجموع وزنی شاخص اعتمادپذیری ۶۶
شکل ۵-۴-رهاسازی کشاورزی بهینه در سناریوها-روش مجموع وزنی شاخص اعتمادپذیری ۶۶
شکل ۵-۵-رهاسازی بهینه جریان زیست‌محیطی از سد بوکان در روش مجموع وزنی مجذور انحراف نرمال ۶۸
شکل ۵-۶-رهاسازی کشاورزی بهینه از سد بوکان در روش مجموع وزنی مجذور انحراف نرمال ۶۸
شکل ۵-۷-رهاسازی سالانه زیست‌محیطی ۷۲
شکل ۵-۸- منحنی Pareto اهداف رهاسازی زیست محیطی و رهاسازی کشاورزی از سد بوکان..... ۷۵
شکل ۵-۹- مقایسه اعتمادپذیری رهاسازی زیست محیطی و کشاورزی سد بوکان..... ۷۵
شکل ۵-۱۰- منحنی Pareto مدل پایه رهاسازی زیست محیطی و درآمد کشاورزی ۷۶
شکل ۵-۱۱-تحلیل حساسیت منحنی Pareto مدل پایه به ازای سطوح مختلف کم‌آبیاری ۷۷
شکل ۵-۱۲-منحنی Pareto تحلیل حساسیت افزایش سهم آب سطحی در تامین نیاز آبیاری ۷۸
شکل ۵-۱۳-منحنی Pareto سناریو کاهش مساحت تحت کشت محصولات ۷۹
شکل ۵-۱۴-مقایسه trade-off میان جریان زیست محیطی با: (a)دبی آبیاری، (b)درآمد کشاورزی حوضه ۸۰

فصل ۱

مقدمه و کلیات

۱-۱ ضرورت و هدف تحقیق

بهره‌برداری مخازن سدها، مکررا باعث کاهش در نوسانات جریان پایین‌دست مخازن شده (1) و بر اکولوژی، هیدرولوژی و ژئومورفولوژی پایین‌دست اثر می‌گذارد (2). در سال‌های اخیر، این امر محرز شده است که انحراف بیشتر از جریان آب زیست‌محیطی به تامین مصارف انسانی ممکن است به خسارات و هزینه‌های قابل توجهی منجر شود، که این نه تنها به‌عنوان از دست رفتن امکانات زیست‌محیطی[1]است، بلکه به‌عنوان از بین رفتن یا تضعیف خدمات زیست‌محیطی نیز می‌باشد (3). به منظور اجتناب یا کاهش تغییرات اکولوژیکی، مدیریت پایدار آب رهاسازی شده از مخازن، به عنوان راه‌حل موثری برای این مساله شناخته شده است(4). در همین راستا مدیریت تطبیقی می‌تواند جایگزینی برای مدیریت مرسوم باشد که با استفاده از این رویکرد اقدامات موثری در سیستم‌های پیچیده اجتماعی-اکولوژیکی (5) برای افزایش ظرفیت سازگاری منابع آب می‌تواند صورت گیرد(6).

سیستم‌های منابع آبی که بدون اختلال در سیستم مدیریت قادر به تامین نیازهای متغیر باشند را می‌توان "پایدار" نامید (7). به این دلیل که پایداری تابعی از اهداف مختلف اقتصادی، زیست‌محیطی، اکولوژیکی، اجتماعی، و فیزیکی است، مدیریت منابع آب باید شامل تعارض اهداف چندگانه در یک فرآیند تصمیم‌گیری چندین ضابطه‌ای و مشارکتی باشد (7). در حوضه‌هایی که مصارف آب کشاورزی سهم قابل توجهی در تخصیص دارند، مدیریت پایدار آب باید تضمین‌کننده تامین آب برای طولانی‌مدت، پایدار و انعطاف‌پذیر برای آبیاری محصولات کشاورزی، علاوه بر نیازهای آبی در حال افزایش شرب و صنعتی باشد، درحالی‌که همزمان از تاثیرات منفی آبیاری بر محیط‌زیست جلوگیری می‌کند (8). مستندات و دیدگاه کارشناسان گویای این است که تخصیص

---

[1] Environmental Amenities

آب میان کشاورزی و محیط‌زیست یک مساله مهم در سطح جهانی، ملی و محلی است. ناتوانی در یافتن راهی برای تولید غذای بیشتر احتمالا منجر به گرسنگی تعداد قابل توجهی از انسان‌ها خواهد شد. از طرف دیگر، تخصیص پیوسته آب از اهداف زیست‌محیطی به کشاورزی به منظور حمایت از رشد پیوسته جمعیت و اقتصاد، خطر بزرگی را در هزینه‌های هدررفتن خدمات زیست‌محیطی دارد که خود موجب کاهش در کیفیت زندگی، یا حتی مرگ تعداد قابل‌توجهی از انسان‌ها می‌شود (3).

در این راستا با توجه به محدودیت منابع آب به‌ویژه در مناطق خشک، و وجود رقابت میان نیازهای مصرفی و زیست‌محیطی، بهره‌برداری بهینه از منابع آب امری ضروریست. با توجه به سیاست‌های متداول در بهره‌برداری مخازن کشور مبنی بر در نظر گرفتن حداقل جریان زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی عمده رهاسازی برای تامین نیازهای مصرفی، در پژوهش پیش‌رو به مساله بهره‌برداری پایدار از مخزن سد در مناطق خشک با هدف پایداری سیستم مخزن-رودخانه پرداخته شده است. علاوه بر این با توجه به اینکه پایداری در یک منطقه در سایر حوزه‌های اجتماعی، سیاسی، اقتصادی نیز باید در نظر گرفته شود، درآمد اقتصادی حاصل از آبیاری کشاورزی نیز در کنار رهاسازی آب زیست‌محیطی به عنوان اهداف بهره‌برداری پایدار مخزن در نظر گرفته شده است.

۱-۲ سوالات و اهداف تحقیق

در بیشتر مناطق خشک جهان به منظور اطمینان از تامین آب در فصول گرم و خشک سال، جریان رودخانه‌ها با احداث سدها تنظیم شده است. سوالات اصلی این تحقیق به صورت زیر است:

۱- چگونگی بهره‌برداری پایدار و تطبیقی از مخزن سد با توجه به تامین جریان زیست‌محیطی در کنار مصارف دیگر از جمله نیازهای متغیر کشاورزی
۲- بررسی تعارض نیاز زیست‌محیطی و درآمد کشاورزی منطقه (در ازای کم‌آبیاری، افزایش درصد تامین نیاز آبیاری از منابع سطحی و کاهش سطح کشت)

به عنوان مطالعه موردی سیستم سد بوکان و اکوسیستم آبی پایین دست این سد در نظر گرفته شد. سد بوکان که بزرگترین سد حوضه دریاچه ارومیه بر روی اصلی‌ترین رودخانه منتهی به دریاچه ارومیه است، تامین‌کننده نیاز زیست‌محیطی رودخانه زرینه‌رود، تالاب قره‌قشلاق و دریاچه ارومیه است. کاهش شدید تراز آب دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر و افزایش برداشت از منابع آبی حوضه برای تامین نیاز آبی رو به رشد کشاورزی، ضرورت تغییر در سیاست‌های مدل‌سازی مخزن این سد را می‌رساند.

۱-۳ روش تحقیق

مراحل اصلی این تحقیق عبارتند از :

۱. تعریف ساختار سیستم و نیازهای آبی پایین‌دست مخزن (شامل نیازهای مصرفی و زیست‌محیطی)
۲. تعریف و ارزیابی دو رویکرد مدل‌سازی چند هدفه شامل:

الف-رویکرد اول: رهاسازی زیست محیطی و کشاورزی

۱. بررسی اشکال مختلف تابع هدف به روش مجموع وزنی و انتخاب شکل مناسب تابع هدف
۲. بررسی سناریوهای نیاز کشاورزی متغیر

ب-رویکرد دوم: هیدرواقتصادی-زیست محیطی

۱. مدلسازی و حل مدل چندهدفه هیدرواقتصادی-زیست محیطی
۲. تحلیل حساسیت مدل هیدرواقتصادی در ازای کم‌آبیاری و افزایش سهم آبیاری از آب سطحی
۳. ارزیابی وضعیت trade-off بین هدف هیدرواقتصادی و زیست‌محیطی تحت سناریوی کاهش سطح

۱-۴ فرضیه تحقیق (Hypothesis):

با تغییر و بهبود رویکرد مدلسازی بهره‌برداری مخزن، امکان بهبود نحوه تامین نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست سد (برای رودخانه، تالاب و دریاچه) در کنار تامین نیازهای متغیر کشاورزی و بهبود پایداری سیستم وجود دارد. همچنین گسترش مفهوم پایداری از تامین جریان های زیست‌محیطی به پایداری درآمد جوامع محلی (درآمد کشاورزی) در مدلسازی چندهدفه می‌تواند منجر به اتخاذ تصمیمات مدیریتی بهتر در بهره‌برداری سدها در مناطق خشک گردد.

۱-۵ ساختار پایان‌نامه

همانطور که گذشت، در فصل اول به بیان ضرورت، اهداف، سوالات و فرضیه تحقیق پرداخته شد. در ادامه در فصل دوم مفاهیم و تعاریف پایه مدیریت تطبیقی و پایدار مخازن، جریان زیست‌محیطی و مدلسازی بهینه‌سازی مخزن با رویکرد زیست محیطی ارائه و مطالعات پیشین در این زمینه بررسی می‌گردد. در فصل سوم به معرفی منطقه و داده‌های مورد استفاده پرداخته می‌شود. در فصل چهارم مدل‌های بهینه‌سازی ارائه شده تشریح و در فصل پنجم نتایج این مدل ها ارائه و تحلیل می‌گردد. در فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه خواهد شد.

فصل ۲

مروری بر ادبیات فنی

ایران از اقلیم و جغرافیای متنوعی برخوردار است. ایجاد یکی از قدیمی‌ترین تمدن‌های جهان و ادامه زندگی برای هزاران سال در منطقه‌ای غالباً خشک و نیمه‌خشک با دسترسی محدود به منابع آب از موفقیت‌های ایرانی‌هاست. با این‌حال، ایران امروز، با مشکلات آب بی‌سابقه‌ای مواجه شده است. خشک شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، افت سطح آب‌های زیرزمینی، فرونشست زمین، کاهش کیفیت آب، بیابان‌زایی، فرسایش خاک و طوفان‌های گرد و غبار مشکلات کنونی ملتی است که یکی از پیشگامان جهان در مدیریت پایدار منابع آب بود. عدم همزمانی باران و فصول آبیاری و همچنین عدم تناسب مکانی میان مناطق غنی از آب و مناطق با تقاضای بالای آب، انگیزه اصلی ایرانیان برای تلاش فوق‌العاده در تنظیم زمانی و مکانی جریان‌های سطحی بوده است. سدها یک ابزار مورد علاقه برای مهندسان آب ایران و مدیران برای رسیدن به ظرفیت تنظیم جریان مورد نظر بوده‌اند. یک دوره غیرمنتظره مرطوب همراه با تمایل به توسعه پس از جنگ هشت ساله با عراق، علاقه ملی برای سدسازی را تشویق کرد. ایران موفق شد تا یکی از سه رتبه اول سدسازی در جهان باشد درحالی‌که با تحریم‌ها و رکود اقتصادی دست و پنجه نرم می‌کرد، ایران بیش از ۳۰۰ سد بزرگ و کوچک را ساخته است و ۱۰۰ سد در دست ساخت و ساز و ۳۰۰ سد دیگر در دست مطالعه دارد (9). سدها هرچند برای تامین آب، کنترل سیلاب یا تولید برق بهره‌برداری می‌شوند، اما بهره‌برداری مخزن، مکررا باعث کاهش در نوسانات جریان در پایین‌دست مخزن شده (1) و بر اکولوژی، هیدرولوژی و ژئومورفولوژی پایین‌دست اثر می‌گذارد(2). در این راستا باید توجه بیشتری به تبدیل مدیریت جاری به مدیریت تطبیقی با توجه به ویژگی‌های زیست‌محیطی، فناوری، اقتصادی، صنعتی و فرهنگی حوضه صورت گیرد (6).

۱-۲ مدیریت تطبیقی در آب و محیط‌زیست

مدیریت تطبیقی را می‌توان جایگزینی برای مدیریت مرسوم دانست که قادر به انجام اقدامات موثری در سیستم‌های پیچیده اجتماعی-اکولوژیکی است (5)

کمبود آب شیرین یک مشکل جهانی روبه‌رشد است (10). تاریخچه مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان پاسخ‌های متنوع زیست‌محیطی و انسانی به کمبود آب شیرین نشان داده‌است (11). به‌طور مثال در طول دو قرن گذشته، سازگاری‌های بشر در مناطق خشک در غرب ایالات متحده به ایجاد سیاست‌های آب و زیرساخت‌های مهندسی برای مدیریت کمبود آب برای سکونت پایدار و امنیت اقتصادی وابسته بوده است (12). با این حال، این سازگاری بشر با خشکی و خشکسالی، اغلب با هزینه اکوسیستم‌های طبیعی رخ داده‌است. به طور خاص، تغییرات رودخانه‌ها در غرب ایالات متحده برای آبیاری کشاورزی، توسعه معادن و تولید نیروگاه آبی اثرات منفی قابل توجهی بر تالاب‌های منطقه داشته است (13).

هدف مدیریت تطبیقی در ارتباط با جریان‌های آب، بهبود شرایط زیست‌محیطی بوده و فرصتی برای جمع‌آوری داده‌های کمی است که به ما برای یافتن فهم گسترده‌تری از نیازهای جریان زیست‌محیطی کمک می‌کند. پیچیدگی سیستم‌های رودخانه و درک ناقص ما از فرایندهای درون آن‌ها، چالش قابل‌توجهی را برای رسیدن به پاسخ‌های زیست‌محیطی روشن‌تر نسبت به تغییرات جریان ایجاد می‌کند. برای درک بهتر ما از سیستم رودخانه‌ها به جهت بهبود مدیریت زیست‌محیطی، غلبه بر این چالش حیاتی است (14).

اطلاعاتی که از نظارت حاصل می‌شود ابتدا می‌تواند برای نشان دادن برگشت سرمایه‌گذاری در آب‌های زیست‌محیطی که از نظر نتایج زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی حاصل می‌شود، استفاده شود. در سیستم‌های رودخانه‌ای بسیار تخصیص‌یافته مانند حوضه Murray_Darling استرالیا و در غرب ایالات متحده، هر آبی که به محیط زیست منتقل می‌شود باید از کاربردهای مصرفی (اغلب کشاورزی آبیاری شده) بازگرفته شده باشد.

برای تعیین اینکه آیا این تأثیرات و سرمایه گذاری عمومی در جریان‌های آب زیست‌محیطی توجیه‌پذیرند، ارزیابی اینکه میزان تخصیص مجدد آب به اهداف زیست‌محیطی منجر به منافع زیست‌محیطی ملموس، بازسازی سرویس‌های اکوسیستم و نتایج مطلوب اجتماعی شود، دارای اهمیت است.

آنالیز داده‌های حاصل از نظارت، دانش جدید و فهم بهبود یافته‌ای از پاسخ‌های مشاهده شده از وقایع مختلف جریان و شرایط مختلف را فراهم می‌کند. این توانایی ما را در پیش‌بینی واکنش‌ها در برابر رهاسازی آب‌های زیست‌محیطی، در تصمیمات کوتاه‌مدت تخصیص آب محیط‌زیست، و نیز چرخه‌های برنامه‌ریزی طولانی‌مدت افزایش می‌دهد. این به نوبه خود احتمال دستیابی به نتایج خوب زیست‌محیطی و اجتماعی را

افزایش داده و بازگشت سرمایه گذاری در آب محیط‌زیست را برای همه ذینفعان بهبود می‌بخشد. این چرخه نظارت، ارزیابی، یادگیری، تطبیق و بهبود در تصمیمات و نتایج بهترین فهم از نگاه مدیریت تطبیقی است(15).

۲-۲ مدیریت پایدار منابع آب

هدف مدیریت پایدار منابع آب پایداری توانایی تامین آب و پایداری محیط‌زیست در زمان حال و آینده است. توانایی تامین آب شامل دردسترس بودن آب و وجود زیرساخت‌های تامین و مصرف پایدار آب است. محیط‌زیست سیستم منابع آب، زمین و هوا را شامل می‌شود که فعالیت‌های تولیدی بشر را حمایت می‌کند. وقتی نیاز آبی کشاورزی، شهری و صنعتی در طول زمان تغییر می‌کند-به دلیل تغییر سیاست و تکنولوژی- رابطه میان مصرف آب و محیط‌زیست باید به‌طور پیوسته بازنگری و سازگار شود(8).

در واقع سیستم‌های پایدار منابع آب سیستم‌هایی هستند که به شکلی طراحی و بهره‌برداری می‌شوند که در برابر تغییرات سازگارتر، قویتر و مقاوم‌تر شوند. سیستم‌های پایدار مانند هر سیستم دیگری ممکن است شکست بخورند، اما هنگامی که شکست می‌خورند باید ظرفیت احیا و عملکرد بدون هزینه‌های بی مورد را داشته باشند (7).

در مواجهه با تغییرات، با تاثیرات غیرقطعی، یک استراتژی تطبیقی شرط ضروری مدیریت پایدار منابع آب می‌باشد (16). مدیریت تطبیقی فرایندی از تنظیم اقدامات و دستورالعمل‌های مدیریتی در صورت نیاز به اطلاعات جدید در مورد وضعیت فعلی و احتمالا آینده محیط و پیشرفت ما در جهت رسیدن به اهداف است (7).

۲-۲-۱ نیاز آبی کشاورزی و مدیریت پایدار منابع آب

در طول ۳۰ سال گذشته زمین‌های کشاورزی به سرعت افزایش پیدا کرده‌اند که این امر به افزایش محصولات کشاورزی و تامین غذای جمعیت در حال افزایش کمک می‌کند. تقریبا در همه کشورها بخش کشاورزی بیشترین سهم مصرف آب را دارد. به‌طورکلی، ۷۰ درصد آب شیرینی که برای مصارف انسانی منحرف می‌شود به کشاورزی اختصاص می‌یابد و نیاز آبی کشاورزی در حال افزایش است، چراکه زمین‌های زیر کشت در حال توسعه بیشتر هستند. در برخی کشورها، توسعه مصرف آب سطحی در حال رویارویی با محدودیت‌های فیزیکی است، و تخلیه آب‌های زیرزمینی به‌طور افزاینده‌ای از نرخ بازگشت آب بیشتر است. در این بین، نیاز آب شرب و صنعتی در نتیجه‌ی توسعه اقتصادی و شهرنشینی به سرعت در حال افزایش است (17).

با هدف مدیریت پایدار منابع آب، مدیریت آب کشاورزی باید به نحوی باشد که دو هدف تامین شود: آبیاری کشاورزی پایدار به منظور حفظ امنیت تامین غذا و همین‌طور حفظ اکوسیستم‌های طبیعی مرتبط. یک رابطه پایدار باید بین این دو هدف، در حال و آینده ایجاد شود (18).

۲-۳ نیاز آبی زیست‌محیطی؛ تعریف، تعیین ، تخصیص

۲-۳-۱ مفهوم جریان زیست‌محیطی

جریان زیست‌محیطی عبارت است از رژیم آب فراهم شده برای یک رودخانه، تالاب یا ناحیه ساحلی به منظور حفاظت از اکوسیستم‌ها و منافع آن‌ها، در مواقعی که مصارف رقابت‌کننده وجود دارند وجریان‌ها تنظیم‌شده‌اند (19). جریان‌هایی که با هدف تامین پایداری زیستگاه‌ها و فرایندهای اکوسیستم تعیین و تخصیص داده‌می‌شود در ادبیات فنی به جریان‌های زیست‌محیطی[۱] نیاز آب زیست‌محیطی[۲] الزامات آب زیست‌محیطی[۳]معروف است. تفاوت اصلی که بین دو اصطلاح جریان زیست‌محیطی و نیاز آب زیست‌محیطی مطرح است ناشی از این است که اصطلاح اول بیش‌تر نشان‌گر تغییرات زمانی جریان است و به عنوان رژیم هیدرولوژیکی جریان که به لحاظ اکولوژیکی مطلوب می‌باشد، شناخته می‌شود. متوسط کل حجم جریان سالانه‌ای که به عنوان رژیم جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود با نام نیاز آب زیست‌محیطی و به واحد حجم بیان می‌شود (20). در مورد تالاب‌ها اصطلاح نیاز آب زیست‌محیطی بیشتر رایج است (21).

جریان‌های زیست‌محیطی کمک قابل توجهی به سلامت رودخانه‌ها، توسعه اقتصادی و کاهش فقر می‌کنند. آن‌ها اطمینان می‌دهند که دسترسی پیوسته به مزایای فراوانی که رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی سالم برای جامعه به ارمغان می‌آورند، وجود دارد. جریان زیست‌محیطی یک مفهوم ساده است و به این معناست که در رودخانه‌ها آب کافی باقی بماند تا منافع زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی پایین‌دست را تضمین کند. با این حال، تلاش‌های پیش‌رو در آفریقای جنوبی، استرالیا و ایالات متحده نشان داده است که فرآیند تحصیل و تامین آن‌ها، به ویژه در چارچوب رویکرد مدیریت یکپارچه، با چالش‌های بزرگی مواجه است (19).

---

[۱] Environmental Flows

[۲] Environmental Water Demands

[۳] Environmental Water Requirements

۲-۳-۲ روش‌های برآورد نیاز آبی زیست‌محیطی

۲-۳-۲-۱ روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها

روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها را می‌توان در چند دسته کلی به‌صورت زیر بیان کرد:

روش‌های هیدرولوژیکی: روش‌های مبتنی بر شاخص‌های هیدرولوژیکی ساده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی در سطح جهـان هستند. در این روش جریان زیست‌محیطی به‌صورت درصدی از متوسط آورد سالانه رودخانه یا به‌صورت جریان با احتمـال تجـاوز مـشخص از روی منحنی تداوم جریان (FDC)[۱]در مقیاس زمانی سالانه، فصلی یا ماهانه تعیین می‌شود.

روش درجه‌بندی هیدرولیکی:[۲]این روش‌هـا مبتنـی بر استفاده از داده‌های سری زمانی و داده‌های مقاطع عرضی بحرانی و مهم کانال رودخانه هستند.

روش شبیه‌سازی زیستگاه‌ها: این روش‌ها به‌طور گسترده ای به‌کارگرفته شده‌اند و از یـک سـری داده‌های هیـدرولوژیکی، هیـدرولیکی و اکولـوژیکی اسـتفاده می‌کنند. بده رودخانه، فراهمی زیستگاه‌ها و میزان مطلوبیت زیستگاه‌ها برای گونه هدف در قالب مدل شبیه‌سازی به هم مرتبط می‌شود.

روش‌های جامع:[۳] این روش ها، چارچوب‌هایی هستند که مدل‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه‌ها را دربر میگیرند. این دسته از روش‌ها تنها روش‌هایی هستند که به‌طور صریح یک روش جامع و اکوسیستم محور را برای تعیین جریان زیست‌محیطی رودخانـه‌ها در نظر می‌گیرند.

روش ترکیبی:[۴]به‌علت محدودیت‌های داده‌ای و.. در این دسته از روش‌ها چند ویژگی از چهار روش اصلی تعیین جریان زیست‌محیطی ممکن است در قالب یک روش با هم ترکیب شود.

جدول ۲-۱ مقایسه اجمالی این روش‌ها را نشان می‌دهد. بر این اساس با افزایش پیچیدگی روش، بر میزان دفاع‌پذیری آن در مذاکرات تخصیص افزوده می‌شود. در یک مطالعه صورت گرفته در خصوص مقایسه روش های برآورد جریان زیست‌محیطی از میان ۲۰۷ روش مورد بررسی روش‌های هیدرولوژیکی با حدود ۳۰

---

[۱] Flow Duration Curve
[۲] Hydraulic Rating Methods
[۳] Holistic Methods
[۴] Combination

درصد بیشترین کاربرد و روش‌های جامع به لحاظ نیاز به داده‌های وسیع و زمان بر بودن کمترین میزان استفاده را دارا بودند(22).

جدول ۲-۱ -مقایسه روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها (23)

نوع روش	زمان و داده‌های مورد نیاز	مدت زمان تقریبی برآورد	اطمینان نسبت به نتایج حاصله	میزان به کارگیری روش	بیشترین منطقه مورد استفاده
هیدرولوژیکی	کم تا متوسط	۲ هفته	کم	زیاد	ایالات متحده
هیدرولیکی	متوسط	۲ تا ۴ ماه	کم	زیاد	ایالات متحده
ترکیبی	کم تا متوسط	۱ تا ۲ ماه	متوسط	زیاد	آفریقای جنوبی و استرالیا
شبیه‌سازی زیستگاه‌ها	متوسط تا زیاد	۶ تا ۱۸ ماه	متوسط	زیاد	ایالات متحده
جامع	خیلی زیاد	۲ تا ۵ سال	زیاد	زیاد	ایالات متحده، انگلستان
	زیاد تا خیلی زیاد	۱ تا ۳ سال	زیاد	بسیار محدود	افریقای جنوبی

۲-۲-۳-۲ رویکرد تعیین نیاز زیست‌محیطی تالاب‌ها

رویکردهای تعیین آب زیست‌محیطی تالاب‌ها به دو گروه عمده شامل رویکردهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی تقسیم شده‌اند (24):

رویکردهای هیدرولوژیکی: در این رویکردها، فرض بر این است که گونه‌های گیاهی و جانوری[1]به رژیم قبلی جریان عادت کرده و از این رو سلامتی مجدد اکوسیستم در گرو احیای رژیم تاریخی است. رویکردهای هیدرولوژیکی ابتدا شامل تعیین رژیم آبی تاریخی تالاب و سپس احیای آن می‌شود (26)(25).

رویکردهای اکولوژیکی: رویکرد اکولوژیکی شامل تعیین رژیم آبی مورد نیاز گونه‌های گیاهی و جانوری موجود یا ارجح و حفظ آن رژیم می‌باشد (24).

۲-۴ مدل‌سازی بهینه‌سازی بهره‌برداری مخزن با رویکرد زیست‌محیطی

بهره‌برداری مخزن یا سد اغلب با استفاده از قوانین بهره‌برداری ثابت انجام می‌شود و به‌طور مرسوم برای تامین نیازهای غیراکولوژیک شامل نیازهای انسانی و کشاورزی بدون درنظرگرفتن نیاز اکولوژیک توسعه داده می‌شوند (27,28). این در حالی است که لحاظ رژیم جریان زیست‌محیطی به‌عنوان یک الگوی جدید در مدیریت چندهدفه منابع آب، یک استراتژی برای ایجاد مقایسه میان جریان زیست‌محیطی و نیازهای انسانی برای

---

[1] Biota

تصمیم‌گیران ایجاد می‌کند(29). در نتیجه تلاش افزاینده‌ای برای گنجاندن منافع اکولوژیکی در قوانین بهره‌برداری مخازن وجود دارد (1).

در طراحی مدل‌های بهینه‌سازی که جریان زیست‌محیطی را صرفا به‌عنوان یک حداقل در قید در نظر نمی‌گیرند دو نوع رویکرد در طراحی تابع هدف وجود دارد: (۱) فقط اهداف زیست‌محیطی در تابع هدف قرار می‌گیرند ؛ یا (۲) اهداف اکولوژیکی در کنار اهداف دیگر مانند نیازهای شهری، کشاورزی و تامین برقابی که با یکدیگر در تعارضند (30).

در واقع ماهیت متناقض اهداف منجر به تعارض بین آن‌ها می‌شود، جایی که یک هدف بدون تضعیف یک یا چند هدف دیگر بهبود نمی‌یابد(30).

ضوابط زیادی مزایای اجتماعی را از نظر ارزش دلاری اندازه گیری می‌کنند. اما تعداد بسیار کمی از مطالعات این رویکرد را استفاده کرده‌اند (31)، که به احتمال زیاد به دلیل مشکلاتی در قرار دادن یک ارزش اقتصادی قابل‌دفاع بر نتایج محیطی است (32). مطالعات دیگری وجود دارد که از شبیه‌سازی به جای بهینه‌سازی استفاده می‌کنند و اقدامات مشابه اقتصادی را برای محیط‌زیست اتخاذ می‌کنند مطالعاتی هم به جای استفاده از اندازه‌گیری نتایج زیست‌محیطی، اغلب آن‌ها را بین صفر تا یک معادل می‌کنند (30).

صرف‌نظر از اینکه چگونه پاسخ‌های زیست‌محیطی نشان داده می‌شوند، اگر اهداف زیست‌محیطی شامل بیش از یک پاسخ باشد، مشکل افزایش می‌یابد. تمرکز بر اهداف چندگانه و اغلب پیچیده می‌تواند با وزن‌دهی یکسان به اهداف، یا به‌وسیله جستجوی حل پارتو بهینه[۱]که یک هدف بدون تضعیف دیگر هدف‌ها نمی‌تواند رشد کند به دست آید (33). در مورد اول، سختی در یافتن یک تابع وزنی مناسب است درحالی‌که روش دوم معمولا پیچیدگی مسئله را بیشتر می‌کند تا حل شود و خروجی ها را تفسیر کند(30). در بررسی مطالعات انجام شده در این حوزه دسته بندی زیر نتیجه شد:

۱-۴-۲ تابع تک‌هدفه زیست‌محیطی

دسته اول رویکردهایی می‌باشند که یک تابع زیست‌محیطی در آن‌ها به‌تنهایی در تابع هدف قرار گرفته است و سایر نیازها در محدودیت‌ها لحاظ شده‌اند. از مطالعات انجام شده با این رویکرد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

Jager (2014) در مدل‌سازی خود از روش جمعیت برای کمی‌سازی نیاز زیست‌محیطی استفاده و مدل QUANTUS را (که در آن ارتباط غیرمستقیم بین جریان آب و بقای ماهی fall Chinook Salmon (از تخم

---

[۱] Pareto-optimal solutions