بسم الله الرحمن الرحیم

به نام خدا

دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز

دانشکده‌فنی و مهندسي

مدیریت کیفی سیستم رودخانه ای با استفاده از تئوریهای هوشمند با رویکرد تجارت مجوز تخلیه بار آلودگی

استاد راهنما:

دکتر محمد صادق صادقیان

نگارش:

مجتبی آهور

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران (گرایش آب)

شهریور ۹۱

بر خود لازم می‌دانم از زحمات بی‌دریغ استاد بزرگوارم جناب آقای **دکتر محمد صادق صادقیان** کمال تشکر را نمایم که نه تنها در انجام هر چه بهتر این پایان‌نامه مرا یاری نمودند بلکه در دوران تحصیل با جدیت و بزرگواری موجبات پیشرفت بنده را فراهم نمودند.

چکیده

استفاده از تئوریهای هوشمند با توجه به عدم قطعیت های موجود در سیستم های رودخانه ای ،یک ابزار کار آمد در مدیریت کیفی سیتم های رودخانه ای است که در سالیان اخیرمورد توجه محققین بخش منابع آب قرار گرفته است . استفاده از تئوریهای هوشمند در تئوری تجارت بار آلودگي، نگرشي نو در مديريت زيست‌محيطي سيستم های رودخانه ای مي‌باشد كه طي آن منابع آلاينده دارای هزينه كنترل آلودگي زياد سعي دارند مجوز تخليه بار آلودگي را از منابع آلاينده دارای هزينه كنترل آلودگي پايين‌تر به عنوان يك كالا خريداري كنند به نحوي كه ضمن حفظ اهداف از پيش تعيين شده زيست‌محيطي، هر دو عامل خريدار و فروشنده سود ببرند.

در این پایان نامه، ابتدا با کمک نرم افزار QUAL2KW و داده های آزمایشگاهی یک ساله که به صورت میدانی جمع آوری شده ،رودخانه خرم رود شبیه سازی گردید سپس با کمک اگوریتم ژنتیک کالیبراسون لازم صورت گرفت با کمک داده های خروجی این مدل سازی و با توجه به جهت جريان يك طرفه آب در رودخانه، از سيستم نسبت- تجارت[1] (TRS) براي مديريت كيفي رودخانه استفاده شد. اين سيستم با در نظرگرفتن ميزان خود پالايي رودخانه و چگونگي پخش و انتقال آلاينده‌ها، نسبت- تجارت بين واحدها را تعيين مي‌نمايد و به كمك يك روش بهينه‌سازي، الگوي بهينه تجارت را ارائه مي‌دهد. مدل نسبت-تجارت تنها براي يك نوع شاخص آلودگي طراحي شده است،

در این پایان نامه .بر خلاف کارهای قبلی که برای برآورد هزینه تصفیه از رگرسیون فازی برای تخمین هزینه ها استفاده شده بود از هزینه های واقعی که واحد های آلاینده در ده سال اخیر به طور واقعی هزینه کرده اند استفاده شده است براي در نظر گرفتن ساير عدم قطعيت‌هاي موجود در سيستم رودخانه‌اي؛ با به كار گيري آناليز عدم قطعيت مونت كارلو[2]، ريسك تخطي از استاندارد كيفي آب در نقاط كنترل رودخانه محاسبه مي‌گردد. همچنين از نتايج حاصل از روش TRS براي آموزش يک شبكه عصبی مصنوعی چند لايه استفاده مي‌شود. بدين ترتيب با توجه به

1 Trading-Ratio System
2 Monte Carlo

عدم قطعيت‌هاي موجود در سيستم رودخانه‌اي؛ از تلفيق تحليل عدم قطعيت مونت كارلو، روش TRS و شبکه های مصنوعی پرسپترون چند لایه (Perceptron Multilayer Neoural Networks)، يک مدل جديد براي تجارت مجوز تخليه آلاينده‌ها پيشنهاد مي‌شود كه علاوه بر ارائه الگوي تجارت مجوز تخليه بار آلودگي، قابليت ايجاد خروجي احتمالاتي و مديريت كيفي رودخانه در زمان واقعي را نيز دارا مي‌باشد. كارايي مدل پيشنهادي با استفاده از اطلاعات كمي و كيفي رودخانه خرم رود واقع در شهر خرم آباد مركز استان لرستان ، ارزيابي شده است.
نتايج اين تحقيق نشان‌دهنده كارايي اعمال سياست‌هاي تجارت بارآلودگي در مديريت كيفي رودخانه
مي‌باشد، در مطالعة موردي حاضر اعمال سياست تجارت در مقايسه با شرايطي كه اين سياست اعمال نمي‌گردد، منجر به كاهش هزينه هاي تصفيه بارآلودگي گرديد.

كليد واژه‌ها: سيستم نسبت- تجارت توسعه يافته، تئوري هوشمند ، شبکه های عصبی مصنوعی ،پرسپترون چند لايه ، بهره‌برداري در زمان واقعي،تحليل مونت كارلو ،الگوريتم ژنتيک ،رودخانه خرم رود.

فهرست مطالب

چکیده ..... د

فصل اول: مقدمه ۲

۱-۱ هدف ۲

۱-۲ سؤالات اساسی تحقیق ۴

۱-۳ فرضیات ساده‌کننده تحقیق ۴

فصل دوم: پیشینه مطالعات ۶

۲-۲ سابقه مطالعات در زمینه برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی سامانه‌های رودخانه‌ای ۶

۲-۳ پیشینه مطالعات در زمینه تجارت بار آلودگی ۱۳

۲-۴ جمع بندی ۱۷

فصل سوم: نگرشی به ابزارکارهای موجود: مدلهای شبیه سازی و بهینه سازی ۲۰

۳-۱ کلیات ۲۰

۳-۲ انواع مدلهای کاربردی در مدیریت کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای ۲۰

۳-۲-۱ مدلهای شبیه‌سازی ۲۰

۳-۳ شبکه‌های عصبی مصنوعی ۲۵

۳-۳-۱ سلول عصبی (نرون) ۲۵

۳-۳-۲ توابع محرک ۲۶

۳-۳-۳ الگوریتم انتشار برگشتی ۲۹

۳-۳-۴ سنجش میزان یادگیری و عملکرد شبکه ۳۸

۳-۳-۵ تعمیم پذیری شبکه ۴۲

۳-۳-۶ مدلهای بهینه‌سازی و کاربرد آن در تجارت مجوزهای تخلیه بار آلودگی ۴۵

۳-۴ جمع بندی ۵۳

فصل چهارم: مطالعه موردی: رودخانه خرم‌آباد ۵۶

۴-۱ مقدمه ۵۶

۲-۴ خصوصیات منطقه: ۵۸
۳-۴ شرایط اقلیمی و هواشناسی منطقه: ۶۳
۴-۴ شرایط هیدرولوژی منطقه ۶۴
۵-۴ عمده مصارف آب رودخانه خرم آباد به چهار دسته تقسیم می شود: ۶۷
۶-۴ بهره برداری از منابع آبی ۶۸
۱-۶-۴ آبگیری به شیوه مدرن رودخانه خرم آباد ۶۹
۷-۴ اطلاعات زیست محیطی ۷۲
۸-۴ کیفیت و آلودگی منابع آب های سطحی و زیر زمینی و عوامل موثر بر آن: ۷۲
۱-۸-۴ مواد اکسیژن‌خواه ۷۵
۲-۸-۴ نوترینت‌ها ۷۶
۳-۸-۴ ارگانیسم‌های پاتوژن ۷۶
۴-۸-۴ جامدات معلق ۷۶
۵-۸-۴ نمک‌ها ۷۷
۶-۸-۴ فلزات و ترکیبات سمی آن ۷۷
۷-۸-۴ گرما ۷۷
۹-۴ نمونه برداری و آنالیز نمونه ها : ۷۷
۱۰-۴ منابع آلوده کننده رودخانه خرم آباد ۸۰
۱-۱۰-۴ منابع آلوده کننده صنعتی ۸۰
فصل پنجم: ساختار مدل‌های پیشنهادی ۹۵
۱-۵ جمع آوری و صحت سنجی اطلاعات ۹۷
۱-۱-۵ توابع هزینه ۹۷
۲-۱-۵ اجرای مدل ETRS ۹۸
۳-۱-۵ برآورد ریسک تخطی از استاندارد ۱۰۰
۴-۱-۵ تدوین قوانین تجارت مجوزهای تخلیه بارآلودگی در رودخانه‌ها در زمان واقعی ۱۰۲
۲-۵ جمع بندی ۱۰۳
فصل ششم ۱۰۴

فصل ششم:نتایج ۱۰۸
۶-۱ نتایج مدل تجارت نسبت تجارت توسعه یافته ۱۰۸
۶-۱-۱ صحت سنجی و کالیبراسیون مدل شبیه‌سازی رودخانه ۱۰۸
۶-۱-۲ محاسبه توابع هزینه: ۱۰۹
۶-۲ اجرای مدل ETRS : ۱۱۵
فصل هفتم: خلاصه، جمع بندی و پیشنهادها ۱۲۱
مراجع ۱۱۲

فصل اول

مقدمه

فصل اول: مقدمه

رودخانه ها به عنوان یکی از مهمترین منابع تامین آب در بخشهای صنعتی و کشاورزی و شرب از اهمیت خاصی برخوردارند به همین دلیل بهره‌برداري بهينه از منابع آب و مديريت كيفي سيستم‌هاي رودخانه‌اي در دهه‌هاي گذشته مورد توجه محققين و سياستگذاران بخش آب قرار داشته است. از طرفي، كيفيت آب نيز از پارامترهاي مهمي است كه بسته به مورد استفاده، از طريق سازمانهای مختلف داراي محدوديت‌هايي است. بدين معني كه براي مصارف مختلف، استانداردهاي متفاوتي براي كيفيت آب تعيين گرديده است. از اين‌رو، كيفيت آب نيز از پارامترهاي تعيين‌كننده در تعيين سياست بهره‌برداري از منابع آب است. از آنجا كه آلودگي و مشكلات زيست محيطي رودخانه‌ها همزمان با توسعه صنعتی و كشاورزی در تمامي كشورها به خصوص در كشورهاي صنعتي و توسعه‌يافته بيشتر بوده است، سهم عمده‌اي از مطالعات انجام شده در زمينه مديريت كيفي منابع آب، به تدوين مدلهاي مديريت كمي وكيفي سيستم‌هاي رودخانه‌اي اختصاص يافته است.

۱-۱ هدف

ارزش اقتصادي حاصل از بهره‌برداري بهينه از ظرفيت پذيرش آلودگي سيستم‌هاي منابع آب و كاهش هزينه‌هاي تصفيه بار آلودگي، از مهمترين مسائل مورد توجه در مديريت كيفي منابع آب محسوب
مي‌شود. مجوز تخلیه بار آلودگی ، حق مالكيتي قابل انتقال مي‌باشد كه از سوي سازمان مسؤول حفاظت محيط زيست در اختيار واحدهاي تخليه كننده بار آلودگي قرار داده مي‌شود.سیاست تجارت مجوز تخلیه بار آلودگی به این معنی است که واحد های موجود به منظور کاهش هزینه های تصفیه خود می توانند به خرید و فروش مجوز تخلیه بپردازند.در این تئوری ،واحد هایی که می توانند آلودگی را بیشتر از حد لازم حذف کنند ،مجوز استفاده نشده خود را به واحد هایی که بار آلودگی آنها بیش از مقدار تعیین شده است،می فروشند ایجاد

شرايط بهينه اقتصادي در مديريت كيفي سيستم‌هاي رودخانه‌اي ممكن است برقراري عدالت در بين واحدهاي تخليه‌كننده بار آلودگي موجود در سيستم را مختل نمايد. بنابراين براي برقراري عدالت، به هر يک از واحدها مجوزي براي تخليه بارآلودگي اختصاص مي‌يابد. لزوم انجام تجارت از آنجا ناشي مي‌شود كه با انجام آن علي‌رغم حفظ محيط‌زيست، هزينه كلي مجموعه نيز حداقل مي‌شود. تئوري تجارت انگيزه‌اي براي واحدهاي تخليه‌كننده بار آلودگي به صورت گروهي فراهم مي كند. تجارت مجوز همچنين انگيزه‌اي براي ابتكارات تكنولوژيكي درجهت كاهش فاضلاب خروجي و كاهش هزينه‌هاي تصفيه مي‌باشد. در اين پايان‌نامه، يک ساختار جديد براي تجارت بار آلودگي در زمان واقعي در مديريت كيفي رودخانه‌ها ارائه مي‌شود به طوري كه ضمن حفظ كيفيت آب در حد مطلوب، الگوي بهينه تجارت ارائه مي‌گردد و عدم قطعيت‌هاي مهم نيز در نظر گرفته مي‌شوند.

در این پایان‌نامه با توجه به به جهت یک طرفه آب در رودخانه ،ازسیستم نسبت –تجارت برای کنترل منابع آلاینده و مدیریت کیفی رودخانه استفاده شده است .این سیستم با در نظر گرفتن میزان خود پالایی رودخانه و چگونگی پخش و انتقال آلاینده ها نسبت -تجارت بین واحد ها تعیین می کند .با توجه به عدم قطعیت های موجود در سیستم رودخانه ای،از تلفیق تحلیل عدم قطعیت مونت کارلو ،سیستم نسبت تجارت و شبکه عصبی عصبی مصنوعی چند لایه ،یک مدل جدید برای تجارت مجوز تخلیه آلاینده ها پیشنهاد شده است که علاوه بر الگوی تجارت مجوز تخلیه بار آلودگی ،قابلیت خروجی احتمالاتی و مدیریت کیفی رود خانه در زمان واقعی را نیز داراست .کارایی این مدل با کمک داده های رودخانه خرم رود استان لرستان ارزیابی شد.برای شبیه سازی رودخانه از نرم‌افزار QUAL2KW استفاده شد . برای کالیبراسون مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده شد ساختار پایان نامه

در فصل بعد، به پيشينه مطالعات انجام يافته در زمينه مديريت كيفي منابع آب و كاربرد مدل‌هاي تجارت بار آلودگي پرداخته مي‌شود. سپس در فصل سوم ابزاركارهاي موجود در زمينه شبيه‌سازي، بهينه‌سازي و مديريت كيفي رودخانه‌ها معرفي مي‌شوند. در فصل چهارم رودخانه خرم آباد لرستان به عنوان مطالعه موردي معرفي مي‌شود و وضعيت كيفي آن تشريح

مي‌گردد. در فصل پنجم ساختار مدل‌هاي پيشنهادي و روش انجام كار شرح داده مي‌شود. در فصل ششم نتايج كاربرد مدل پيشنهادي در مديريت كيفي رودخانه خرم آباد و شرايط كيفي رودخانه پس از اعمال سياست‌هاي تخصيص بار آلودگي تشريح مي‌شود و در فصل هفتم خلاصه پايان‌نامه، جمع‌بندي و پيشنهادهايي براي ادامه تحقيقات در اين زمينه ارائه شده است.

۱-۲ سؤالات اساسی تحقیق

مهمترین سؤالاتی که مبنای انجام این تحقیق بوده‌اند، عبارتند از:

- آيا با استفاده از شبكه‌هاي عصبی مصنوعی مي‌توان بر پايه سياست‌هاي بهينه به دست آمده از مدل‌هاي بهينه‌سازي، قوانيني براي مديريت كيفي رودخانه در زمان واقعي تدوين كرد.
- آيا مي‌توان پس از تعيين درصد تصفيه براي تخليه كنندگان مختلف، از تلفيق سيستم نسبت-تجارت و شبكه عصبی مصنوعی براي تقسيم هزينه بين تخليه‌كنندگان مختلف استفاده شود تا عدالت بين آنها رعايت شود.
- آيا استفاده از سيستم نسبت تجارت وتحليل عدم قطعيت مونت كارلو و آموزش يک شبكه عصبی پرسپترون در مديريت كيفي رودخانه‌ها می تواند مورد استفاده قرار گيرند.

۱-۳ فرضیات ساده‌کننده تحقیق

در سیستم رودخانه‌ای، فقط بارهای آلودگی نقطه‌ای در نظر گرفته شده‌اند.

- مدل تجارت تهيه شده، غيرفصلي بوده و در تدوين آن، بحراني‌ترين شرايط رودخانه در سال در نظر گرفته شده است.
- در شبيه‌سازي كيفي رودخانه از نرم افزار QUAL2KW استفاده شده است.

در فصل بعد پیشینه مطالعات ارائه شده است.

فصل دوم

پیشینیه

مطالعات

فصل دوم: پيشينه مطالعات

٢-١ مقدمه

مديريت كيفي سيستم‌هاي رودخانه‌اي در دهه‌هاي گذشته مورد توجه محققين و سياستگذاران بخش آب قرار داشته است. از آنجا كه آلودگي و مشكلات زيست‌محيطي رودخانه‌ها در تمامي كشورها به خصوص در كشورهاي صنعتي و توسعه يافته رايج‌تر بوده است، سهم عمده‌اي از مطالعات انجام شده در زمينه مديريت كيفي سيستم‌هاي منابع آب به تدوين مدلهاي مديريت كمي ـ كيفي سيستم‌هاي رودخانه‌اي اختصاص يافته است. در ادامه برخي از مهمترين تحقيقات و مطالعات گذشته در زمينه برنامه‌ريزي و مديريت كيفي سيستمهاي رودخانه‌اي ارايه شده است. علاوه بر آن، كنترل كيفيت آب رودخانه‌ها با رويكردهاي اقتصادي بخش مهمي از مباحث مديريت كيفي و زيست‌محيطي را شامل مي‌شود. بنابراين در بخش بعد خلاصه‌اي از مهمترين مطالعاتي كه در زمينه تجارت بار آلودگي انجام شده است ارايه مي‌گردد.

٢-٥ سابقه مطالعات در زمينه برنامه‌ريزی و مديريت كيفی سامانه‌های رودخانه‌ای

مديريت كيفي رودخانه‌ها به علت آلودگي شديد آنها ناشي از افزايش آلاينده‌هاي ورودي، عدم وجود قوانين زيست‌محيطي با ضمانت اجرايي لازم (به خصوص در كشورهاي كمتر توسعه يافته) و هزينة زياد تصفيه آلاينده‌هاي ورودي، در دهه‌هاي گذشته به طور جدي مورد توجه محققان و سازمانهاي مربوطه قرار داشته است كه مهمترين آنها به شرح ذيل مي‌باشند.

اولين تحقيقات در اين زمينه به دهه ۶۰ ميلادی مربوط می‌گردد. Liebman and Lynn (1966) از روش برنامه‌ريزی پويای قطعی و Loucks et al. (1967) ، ReVelle et al. (1968) و Arbabi and Elzinga (1973) از روش برنامه‌ريزی خطی برای مديريت كيفی سيستم‌های رودخانه‌ای استفاده كردند. در مطالعات فوق راهكارهايی برای مديريت كيفی رودخانه‌ها با نگرشی قطعی ارائه شده

است. Nicholson et al. (1970) از روش برنامه‌ریزی پویای قطعی برای برنامه‌ریزی کیفی رودخانه و تعیین ترازهای تصفیه و جریان خروجی از مخزن بالا دست استفاده کردند.

Padgett and Rao (1979) عدم قطعیت موجود در فرآیند مدلسازی کیفی انتقال و خود پالایی آلاینده‌ها را بررسی کرد. Lohani and Saleemi (1982) با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی شانسی طبیعت تصادفی جریان رودخانه، فاضلاب ورودی، نرخ هواگیری و زوال اکسیژن را برای آلاینده‌های اکسیژن خواه مورد توجه قرار دادند. Lohani and Hee (1983) نیز جریان رودخانه را به عنوان متغیر تصادفی در مدل برنامه‌ریزی پویا درنظر گرفتند.

Herbay (1983) برای اولین بار ایده مدیریت فصلی بار آلودگی در سیستم‌های رودخانه‌ای را مطرح کرد. ایشان فرض نمود رودخانه در تمام فصول سال حالتی ماندگار[1] دارد و شرایط هر دوره زمانی مستقل از دوره‌های زمانی دیگر است و می‌توان مدلهای کلاسیک مدیریت کیفی رودخانه را برای این شرایط مورد استفاده قرار داد. کاربرد مدل خطی پیشنهاد شده در این روش نشان دهنده اهمیت سیاستهای فصلی در کاهش هزینه‌های بهره‌برداری کمـی و کیفی از رودخانه می‌باشد. در این مدل به علت در نظر گرفتن شرایط دائمی در تمام فصول سال، عملاً شرایط کیفی سیستم مورد توجه قرار نمی‌گیرد و تعیین مجموعه‌های مستقلی از شرایط کمّی و کیفی سیستم شامل دبی بالادست و کیفیت آن، جریانهای بین راهی و کیفیت آنها، کمّیت و کیفیت بارهای آلودگی ورودی و تعیین احتمال رخداد آنها برای برآورد هزینه‌های مورد انتظار سالانه برای مدیریت کیفی سیستم بسیار مشکل بوده و عملاً کاربرد مدل را محدود می‌نماید.

Burn and Mc Bean (1985, 1986, 1987) برخی از عدم قطعیت‌های موجود در مسأله مدیریت کیفی رودخانه، مانند عدم قطعیت ذاتی موجود در پارامترهای فیزیکی و توزیع اولیه غلظت آلودگی در طول رودخانه را در بهینه‌سازی تخصیص بار آلودگی و مدیریت کیفی رودخانه در نظر گرفتند. Ellis

1 Steady state

(1987) نیز تمامی پارامترهای معادله استریتر ـ فلپس را تصادفی درنظر گرفت و یک مدل غیر خطی با قیود احتمالاتی را پیشنهاد نمود.

Eheart and Park (1989) نشان دادند در مورد آلاینده‌های ناپایدار[1] درنظر گرفتن جریان حداقل و دمای حداکثر، که در مدلهای مدیریت کیفی رایج است، ممکن است شرایط کیفی بحرانی را نشان ندهد. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده این مطلب است که سیاستهای فصلی مدیریت کیفی رودخانه‌ها علاوه بر اینکه هزینه‌های تصفیه را به شدت کاهش می‌دهد در برخی مواد ممکن است احتمال تخطی از استانداردهای کیفی را نیز افزایش دهد.

Lence et al. (1990) و Rossman (1989) یک مدل فصلی برای مدیریت کیفی رودخانه را پیشنهاد نمود. این مدل درصدهای تصفیه یکنواخت (یک مقدار برای تمام نقاط آلاینده) در هر فصل را به صورتی تعیین می‌کند که هزینه سالانه تصفیه آلاینده‌های ورودی حداقل شود، به طوری که احتمال تخطی از استانداردهای کیفیت آب محدود گردد. در این تحقیق برای ساده سازی مسأله، یک سال به دو فصل گرم و سرد تقسیم شده است و یک مدل خطی برای هر فصل از سالهای دوره زمانی مورد نظر، یک درصد تصفیه یکسان برای تمامی منابع آلاینده نقطه‌ای را به صورتی محاسبه می‌نماید که تمامی استانداردهای کیفی رعایت گردند. سپس، یک مدل بهینه‌سازی غیر خطی، یک مجموعه از این درصدهای تصفیه یکنواخت ماهانه را به صورتی انتخاب می‌نماید که هزینه سالانه تصفیه حداقل گردد و تعداد سالهایی که در آنها تخطی از استانداردهای کیفی رخ می‌دهد از مقداری مشخص کمتر باشد. نقطه قوت مدل قطعی پیشنهاد شده در این تحقیق در نظر گرفتن سری زمانی مشخصات کمّی و کیفی سیستم و نقطه ضعف عمده آن ارائه تنها یک درصد تصفیه برای کلیه منابع آلاینده سیستم در یک ماه، در نظر نگرفتن شرایط کیفی اولیه سیستم به علت دائمی بودن مدلهای استفاده شده و عدم امکان استفاده از آن برای آلاینده‌هایی چون شوری که معادلات حاکم بر شبیه‌سازی آنها غیر خطی

1 Non-conservative

بوده و عملاً امکان تصفیه‌ای که اقتصادی باشد وجود ندارد. در با استفاده از مدل پیشنهاد شده در این رساله، مهمترین محدودیت مدل ارائه شده مقاله که مربوط به یکسان بودن درصدهای تصفیه و خطی بودن معادلات حاکم می‌باشد مرتفع می‌گردد.

Eheart et al. (1990) الگوریتم دسته‌بندی تخلیه کننده‌ها و ناحیه‌بندی کیفی سیستم رودخانه‌ای را تدوین کردند. در این تحقیق نشان داده شده است می‌توان سیستم‌های پیچیده و بزرگ را به صورت بازه‌هایی تقسیم کرد به طوری که آلاینده‌های هر گروه کمترین اثرات کیفی را بر ایستگاههای مربوط به گروههای دیگر داشته باشند. با این روش می‌توان با اعمال سیاستهای کنترلی خاص برای هر گروه، مسائل پیچیده را ساده‌سازی کرد. در این مقاله با ارائه نتایج به کارگیری روش برای رودخانه‌های متعدد، کارایی آن بررسی شده است.

Lence and Takyi (1992) با استفاده از روش تحلیل حساسیت اثر عدم قطعیت جریان رودخانه و دما را در مدل فصلی پیشنهاد شده توسط Lence et al. (1990) ارزیابی کردند. در این تحقیق، روش شبیه‌سازی مونت کارلو با فرض توزیع لگ نرمال دو پارامتری برای جریان حداقل و دمای حداکثر در هر فصل، مورد استفاده قرار گرفته است و با تعریف یک شاخص، حساسیت اثر عدم قطعیت این پارامترهای ورودی بر نتایج مدل نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که عدم قطعیت دبی و دمای فصل تابستان و طول دوره فصول اهمیت قابل ملاحظه‌ای در نتایج دارند. در این تحقیق پیش‌بینی شده است با افزایش تعداد فصول اثر عدم قطعیت‌های مذکور به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد.

Warwich and Roberts (1992) با استفاده از تحلیل مونت کارلو، اثر عدم قطعیت‌های ورودی در مدلهای مدیریت کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای را در احتمال شکست سیاستهای تدوین شده بررسی کردند. در این تحقیق عدم قطعیت موجود در قضاوتهای مهندسی نیز در مدلسازی کیفی رودخانه مورد توجه قرار گرفته است و نشان داده شده است که عدم قطعیت در تخمین پارامترها و اطلاعات

ورودی به مدل می‌تواند در نتایج و سیاستهای مدیریتی تدوین شده موثر باشد. در این تحقیق برای مدلسازی این عدم قطعیت‌ها از بازه تغییرات این پارامترها با توزیع یکنواخت استفاده شده است.

Burn and Lence (1992) برای بررسی کارایی مدلهای مختلف مدیریت کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای، سناریوهایی را که شرایط مختلف هیدرولوژیکی، اقلیمی و میزان آلاینده ورودی را پوشش دهند در نظر گرفتند. در این تحقیق احتمال رخداد این سناریوها برابر فرض شده است و با یک برخورد قطعی، کارایی مدلهای غیرفصلی مدیریت کیفی با اهدافی چون حداقل‌سازی حداکثر تخلف[1]، حداقل‌سازی مجموع تخلفات و غیره بررسی شده است. نتایج نشان دهنده برتری نسبی مدل حداقل‌سازی تخلف کل بوده است. در این تحقیق همچنین نشان داده شده است با درنظر گرفتن سناریوهای مختلف می‌توان تا حدی عدم قطعیتهای موجود را در تصمیم‌گیری‌ها مورد توجه قرار داد.

Cardwell and Ellis (1993) با استفاده از برنامه‌ریزی پویای غیرقطعی (استوکستیک) که مقدار و بزرگی تخلفات از استانداردهای کیفی را در نظر می‌گرفت، سیاستهای مدیریت کیفی رودخانه را تدوین کردند. در این تحقیق، با استفاده از مدلهای شبیه‌سازی مختلف چون QUAL2E و WASP4 عدم قطعیت مدلی نیز بررسی شده است و راهکاری برای انتخاب مناسب‌ترین مدلها ارائه شده است. از مهمترین نقاط ضعف مدل پیشنهاد شده در این تحقیق عدم امکان تدوین سیاستهای فصلی می‌باشد ولی مشکل تلفیق مدلهای بهینه‌سازی و شبیه‌سازی مرتفع شده است.

Takyi and Lence (1995) از زنجیره مارکوف برای تهیه سیاستهای مدیریت کیفی فصلی رودخانه استفاده کردند. مدل استفاده شده در این تحقیق همان مدل پیشنهاد شده توسط Lence (1990) است ولی در آن به طور صریح روابط احتمالاتی بین اطلاعات جریان حداقل بین ایستگاههای مجاور در نظر گرفته شده است. در این روش، ابتدا ماتریس‌های احتمال انتقال برای جریان حداقل در ایستگاههای مجاور بسط داده می‌شوند و برای تعیین احتمال رخداد حالات بحرانی کیفی در رودخانه

1 Minimize maximum violation

به کار گرفته می‌شوند و در هر فصل یک درصد تصفیه یکنواخت برای کلیه حالات ممکن محاسبه می‌گردد. سپس یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی سیاستهای تصفیه فصلی را به صورتی انتخاب می‌کند که هزینه کل تصفیه حداقل شده و قید احتمالاتی ارضا گردد. این قید احتمالاتی، احتمال توأم عدم تخلف از استانداردهای کیفی برای فصلهای مختلف را محدود می‌کند. در این تحقیق نشان داده شده است با استفاده از زنجیره مارکوف می‌توان روابط احتمالاتی بین هر جفت از اطلاعات مکانی یا زمانی را در نظر گرفت ولی مشکلات ابعادی این روش استفاده گسترده از آن را محدود می‌کند. این مدل نیز محدودیتهای اصلی مدل فصلی ارائه شده توسط Lence در سال ۱۹۹۰ شامل درصدهای تصفیه یکنواخت برای تمام منابع آلاینده در یک فصل که در مواردی سیاستهای مدیریت کیفی را غیر اقتصادی می‌سازد، دارا می‌باشد.

Brock and Adams (1997) اقدامات انجام شده برای افزایش غلظت اکسیژن محلول و حفظ جریان حداقل در طول ۴۸۰ کیلومتر از سیستم رودخانه ـ مخزن تنسی در آمریکا را تشریح کردند. در این پروژه عمدتاً از روشهای سازه‌ای و تأسیسات مکانیکی چون ایجاد نوسان جهت هواگیری در توربینها، سرریزهای خاص برای تنظیم جریان و هوادهی، توربینهای هواگیر، تزریق اکسیژن، احداث هواده‌های سطحی و ... برای مدیریت کیفی سیستم استفاده شده است. نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان دهنده افزایش سریع گونه‌ها، جمعیت کفزیان، و ماهیها در اثر اقدامات فوق بوده است. این تحقیق نشان دهنده اهمیت روشهای سازه‌ای در کنار روشهای غیر سازه‌ای در مدیریت کیفی رودخانه‌ها می‌باشد.

Chang et al. (1997) برای مدیریت کیفی رودخانه یک مدل چند هدفه فازی ارائه کردند. در این تحقیق حداقل‌سازی هزینه‌های تصفیه و حداکثرسازی مجموع BOD ورودی به سیستم رودخانه‌ای به عنوان اهداف درنظر گرفته شده‌اند. در این تحقیق، اغلب متغیرها به صورت بازه‌ای و اهداف به صورت فازی بازه‌ای تعریف شده‌اند. نتایج نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل برای مدلسازی سیستم‌های واقعی است. نکته لازم به ذکر این است که در این مقاله بازه‌های رودخانه به صورت یک راکتور با اختلاط

کامل فرض شده‌اند و عملاً از مدلهای هیدرودینامیکی استفاده نشده است و همچنین سیاستهای مدیریت کیفی بر اساس بحرانی‌ترین حالت سیستم تدوین می‌شوند.

Sasikumar and Mujumdar (1998) یک مدل چند هدفه فازی را برای مدیریت کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای پیشنهاد کردند. در این تحقیق، اهداف کیفی سازمانهای مسئول حفاظت کیفی رودخانه و تخلیه کنندگان آلاینده‌های مختلف به رودخانه، به صورت فازی درنظر گرفته شده است ولی کیله پارامترهای دیگر چون جریان ورودی به رودخانه و میزان و غلظت آلاینده‌های ورودی، قطعی و برای بحرانی‌ترین حالات سیستم درنظر گرفته شده‌اند. کارایی این روش با ارائه یک مثال عددی فرضی بررسی شده است.

Burn and Yulianti (2001) براي اولين بار كاربرد روش الگوريتم ژنتيک را در برنامه‌ريزي كيفي سيستم‌هاي رودخانه‌اي در شرايط بحراني بررسي كردند. در اين تحقيق سياستهاي مديريت كيفي رودخانه‌ها با توجه به اهدافي چون حداقل‌سازي هزينه‌هاي تصفيه، حداقل‌سازي مجموع تخلفات از استانداردهاي كيفي آب رودخانه و يكسان‌سازي ميزان تصفيه بار آلودگي منابع آلاينده تدوين يافته است. مدل پيشنهاد شده در اين مطالعه قطعي و غير فصلي بوده و نتايج نشان‌دهنده كارايي مناسب روش الگوريتم ژنتيک در برنامه‌ريزي كيفي سيستم‌هاي رودخانه‌اي مي‌باشد.

با توجه به اينكه وارد كردن توابع هزينه به طور مستقيم در سيستم به دليل و جود عدم قطعيت‌هاي موجود در سيستم، كمبود اطلاعات و غير خطي بودن اين توابع كار دشواري مي باشد،

Mujumdar and Subbarao (2004) يك مدل تخصيص بار آلودگي فازي ارائه نمودند كه در آن توابع هزينه به طور مستقيم مورد بررسي قرار نمي‌گيرد. اما توابع مطلوبيت فازي براي واحدهاي تخليه كننده در نظر گرفته شده است كه به طور غير مسقيم هزينه هاي سيستم را درنظر مي‌گيرند. در اين مدل تخصيص بار آلودگي فازي، تراز بهينه حذف آلودگي‌ها از جريانهاي ورودي به رودخانه شبيه‌سازي و بهينه‌سازي مي‌گردد. روش شبيه‌سازي و