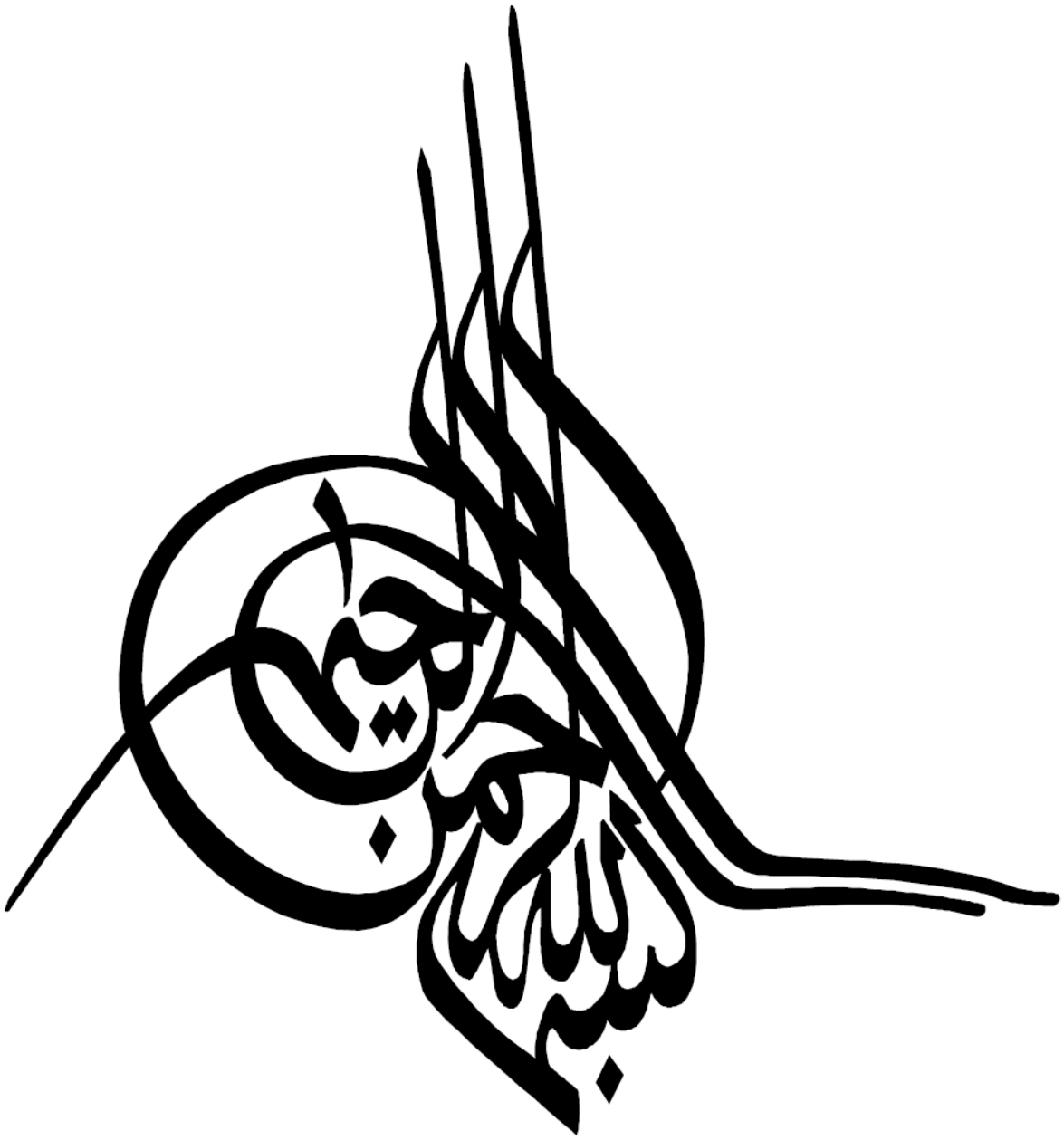
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه بیرجند

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه برای اخذ مدرک کارشناسی ارشد

(مهندسی منابع آب)

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از دراستیک فازی (مطالعه موردی: دشت آستانه-کوچصفهان)

استاد راهنما

عباس خاشعی سیوکی

استادان مشاور

سامان جوادی پیربازاری

سیدرضا هاشمی

نگارش

معصومه آرزومند امیدی لنگرودی

شهریور ۹۳

چکیده

در اکثر مناطق ایران آبهای زیرزمینی تأمین‌کننده اصلی آب کشاورزی، شرب و صنعت هستند که در حال حاضر تحت تأثیر برداشت بی‌رویه قرار گرفته‌اند. با توجه به عدم امکان جایگزینی این منبع آب ارزشمند، محافظت از آن امری ضروری به نظر می‌رسد. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان برای توسعه، مدیریت و تصمیمات کاربری اراضی، نحوه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از آلودگی این آبها بسیار مفید بوده و می‌تواند در راهکارهای مدیریتی نقش به سزایی را ایفا کند. لذا ضروری است تعیین آسیب‌پذیری آبخوان‌ها در اولویت قرار گیرد. دشت آستانه-کوچصفهان به علت وجود زمینهای کشاورزی زیاد و مصرف بیش از حد کودهای نیترات جزء مناطق آسیب پذیر است. در این پژوهش برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان از چهار روش دراستیک استاندارد، دراستیک سلسله مراتبی، دراستیک فازی و دراستیک شبکه استفاده شد. در نهایت از هر مدل یک نقشه نهایی حاصل شد که نشان دهنده مناطق آسیب‌پذیر آلودگی دشت آستانه-کوچصفهان هستند. نقشه‌های خروجی در چهار طبقه کم، کم تا متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد طبقه‌بندی شدند. نتایج حاصل از هر سه مدل دراستیک استاندارد، دراستیک سلسله مراتبی و دراستیک فازی به همدیگر نزدیک و مشابه هستند و در هردو مدل در بیشتر بخشهای شمالی آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد و زیاد است و در بخشهای جنوبی آسیب‌پذیری کم و کم تا متوسط است. در صورتیکه در مدل دراستیک شبکه در بخش جنوبی هم آسیب‌پذیری زیاد وجود دارد. با محاسبه همبستگی میان غلظت نیترات و میزان شاخص‌های هر مدل، مشاهده شد که بیشترین میزان همبستگی مربوط به دراستیک شبکه است و مقدار آن برابر ۶۱ است. بنابراین مدل دراستیک شبکه بیشترین سازگاری با واقعیت را دارد و استفاده از روش دراستیک شبکه در این دشت به سه مدل دراستیک فازی، سلسله مراتبی و استاندارد ترجیح داده می‌شود. برای مقایسه نقشه‌ها از آزمون کای اسکوئر استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که نقشه‌ها در سطح ۵درصد با هم تفاوت معنی داری دارند.

واژگان کلیدی : آسیب‌پذیری، دشت آستانه-کوچصفهان، فازی، تحلیل سلسله مراتبی، تحلیل سلسله مراتبی فازی، مدل نشت seep w، شبکه آبیاری و زهکشی

تقدیم به

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پر مهر **پدرم**

به سبزترین نگاه زندگی ام، چشمان سبز **مادرم**

که هرچه آموخته ام در مکتب عشق آن ها آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیشان را سپاس نتوانم گفت.

بوسه بر دستان پر مهرتان

تقدیر و تشکر

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشهٔ آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، آموزگارانی که برایم زندگیو انسان بودن را معنا کردند...

بر حسب وظیفه و پیرو حدیث شریف "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّو جلّ" از امام رضا (صلوات الله علیه):

از استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر عباس خاشعی سیوکی که در کمال سعه صدر و با حسن خلق، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر سامان جوادی و جناب آقای دکتر سید رضا هاشمی که زحمت مشاوره این رساله را بر عهده داشتند؛

و از اساتید گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر ابوالفضل اکبرپور و جناب آقای دکتر حسین خزیمه نژاد که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛

و از همه دوستان که بدون لطف و تلاش این بزرگواران، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این کمترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید...

فهرست مطالب

فصل اول کلیات

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ اهمیت و ضرورت تحقیق ۳

۱-۳ هدف تحقیق ۴

۱-۴ گزارههای تحقیق ۴

۱-۴-۱ تعریف آسیب‌پذیری ۴

۱-۴-۲ اصطلاح آسیب‌پذیری ۵

۱-۴-۳ روش دراستیک ۵

۱-۴-۴ شبکه آبیاری و زهکشی ۶

۱-۴-۵ سیستمهای تصمیمگیری چند معیاری ۶

۱-۴-۶ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ۷

۱-۴-۷منطق ارزشدهی تدریجی فازی ۹

۱-۴-۸ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) ۱۰

فصل دوم: مروری بر منابع

۲-۱ مقدمه ۱۳

۲-۲ مطالعات انجام شده در زمینه مکانیابی به کمک منطق فازی ۱۴

۲-۳ مطالعات انجام شده در زمینه مکانیابی به کمک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ۱۶

۲-۴ مطالعات انجام شده در زمینه مکانیابی با تلفیق متدهای فازی و تحلیل سلسله مراتبی (FAHP) ۱۸

۲-۵ مکان یابی نواحی بحرانی آلودگی آب زیرزمینی به کمک GIS و AHP و FAHP ۲۲

۲-۶ محاسبه میزان نشت از کانالهای خاکی ۲۴

فصل سوم: مواد و روش ها

۳-۱ مقدمه ۲۸
۳- ۲ مشخصات منطقه مورد مطالعه ۲۹
۳-۲-۲ وضعیت توپوگرافی حوضهٔ آبریز ۳۱
۳-۲-۳ ویژگی های اقلیمی منطقه ۳۱
۳-۲-۴ ساختمان زمین شناسی دشت– آستانه- کوچصفهان ۳۳
۳-۲-۵ منابع آب‌های سطحی دشت آستانه-کوچصفهان ۳۴
۳-۲-۶ منابع آب‌های زیرزمینی دشت آستانه-کوچصفهان ۳۵
۳-۲-۶-۱ شکل هندسی آبخوان دشت آستانه- کوچصفهان ۳۵
۳-۲-۶-۲ سیتم آبخوان آستانه-کوچصفهان و فاکتورهای موثر در آن ۳۵
۳-۳ چارچوب کلی حاکم بر طرح ۳۷
۳-۳-۱ توصیف طرح ۳۷
۳-۳- ۲ نحوه اجرای طرح ۳۸
۳-۳-۲-۱ معرفی روش دراستیک: ۳۹
۳-۳-۲-۲ تهیه پارامترهای دراستیک ۴۲
۳-۳-۲-۳ اصلاح مدل دراستیک با اضافه کردن لایه شبکه آبیاری و زهکشی ۵۵
۳-۳-۲-۳-۱علت اضافه کردن لایه شبکه به پارامترهای دراستیک ۵۵
۳-۳-۲-۳-۲ محاسبه هیدرولیکی اتلاف آب از بدنه کانال ۵۶
۳-۳-۲-۳-۳ معرفی نرم افزارseep w ۵۷
۳-۳-۲-۳-۴ نحوه مدل کردن طول خط نشت در نرم افزار seep w ۵۷
۳-۳-۲-۳-۵ نحوه ساختن لایه شبکه در GIS ۵۸
۳-۳-۲-۳-۶ تعیین وزن لایه شبکه ۵۸
۳-۳-۲-۴ توصیف و اجرای روش AHP ۵۸
۳-۳-۲-۴-۱ تشکیل ساختار سلسلهمراتبی ۵۹

۳-۳-۲-۴-۲ طرح پرسشنامه و جمعآوری دادهها ۵۹
۳-۳-۲-۴-۳ بررسی سازگاری در قضاوتها: ۶۰
۳-۳-۲-۴-۴ ترکیب لایههای رستری معیارها ۶۰
۳-۳-۲-۴-۵ طبقهبندی نقشه نهایی حاصل از AHP ۶۱
۳-۳-۲-۴-۶ مقایسه نقشه نهایی دراستیک سلسله مراتبی و دراستیک استاندارد ۶۱
۳-۳-۲-۵ روش سلسله مراتبی فضایی فازی (FAHP): ۶۱
۳-۳-۲-۵-۱ تهیه لایههای فازی جهت استانداردسازی ارزش عضویت معیارهای ارزیابی ۶۲
۳-۳-۲-۵-۲ محاسبه وزنهای فازی با استفاده از فرآیند FAHP ۶۹
۳-۳-۲-۵-۳ ارزیابی آسیبپذیری آب زیرزمینی ۷۱
۳-۳-۲-۵-۴ طبقهبندی نقشه دراستیک فازی ۷۲
فصل چهارم: بحث و نتایج
۴-۱ نتیجه حاصل از روش دراستیک استاندارد ۷۷
۴-۲- نتیجه حاصل از روش دراستیک NW ۷۸
۴-۳ نتیجه روش تحلیل سلسلهمراتبی فضایی کلاسیک (AHP) ۸۲
۴-۴ نتیجه روش تحلیل سلسلهمراتبی فضایی فازی (FAHP) ۸۴
۴-۵ بحث و مقایسه ۸۸
فصل پنجم:نتیجه گیری و پیشنهاد
۵-۱ نتیجه گیری کلی: ۹۲
۵-۲ پیشنهادات: ۹۳
منابع ۹۳

فهرست جدول ها

جدول ۳-۱ مقدار میانگین سالانه سطح آب در پیزومترها ۴۲

جدول۳-۲ محدوده ها و رتبه بندیهای عمق تا سطح آب زیرزمینی (آلر و همکاران، ۱۹۸۷) ۴۴

جدول۳-۳ بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت آستانه-کوچصفهان ۴۶

جدول۳-۴ محدوده و رتبه بندیهای تغذیه(آلر و همکاران، ۱۹۸۷) ۴۶

جدول۳-۵ محدوده‌ها و رتبه‌بندی های اثر منطقه غیر اشباع (آلر و همکاران، ۱۹۸۷) ۴۸

جدول۳-۶ محدوده و رتبه‌های محیط خاک (آلر و همکاران، ۱۹۸۷) ۴۹

جدول۳-۷ محدوده و رتبه‌بندیهای محیط آبخوان (آلر و همکاران، ۱۹۸۷) ۵۱

جدول ۳-۸ محدوده‌ها و رتبه‌بندیهای هدایت هیدرولیکی (آلر و همکاران، ۱۹۸۷) ۵۲

جدول۳-۹ محدوده‌ها و رتبه‌بندیهای درصد شیب توپوگرافی (آلر و همکاران، ۱۹۸۷) ۵۳

جدول۳-۱۰: وزنهای نسبت داده شده به پارامترهای هفت‌گانه مدل دراستیک (آلر و همکاران، ۱۹۸۷) ۵۴

جدول۳-۱۱: میزان پتانسیل آلودگی بر اساس شاخص دراستیک (آلر و همکاران، ۱۹۸۷) ۵۴

جدول ۳- ۱۲: مقیاس ۹ کمیتی ساعتی برای مقایسه دودویی معیاره ۶۰

جدول۳-۱۳ : نمودارهای مربوط به توابع عضویت فازی مختلف ۶۳

جدول۳-۱۴ : نقاط بحرانی توابع عضویت در معیارهای مختلف تصمیمگیری ۶۴

جدول ۳-۱۵ اعداد فازی متناسب با متغیرهای زبانی (لولی و همکاران، ۲۰۰۹) ۶۵

جدول۴-۱ رتبه بندی لایه شبکه ۷۹

جدول ۴-۲ وزنهای مربوط به معیارها ۸۰

جدول۴-۳ تغییرات شاخص دراستیک سلسله مراتبی و درصد مساحت هر طبقه از دشت ۸۳

جدول۴-۴ وزنهای فازی معیارها ۸۳

جدول۴-۵ وزنهای غیرفازی شده معیارها ۸۵

جدول۴-۶ تغییرات شاخص استعداد و درصد مساحت طبقات ۸۶

جدول۴-۷ مقادیر همبستگی برای مدلهای دراستیک ۸۸

فهرست شکل ها

شکل ۳-۱: موقعیت کلی محدوده مطالعاتی و مناطق اطراف آن ۳۰
شکل شماره ۳-۲: روش مدل سازی دراستیک بر اساس GIS ۳۹
شکل۳-۳ نقشه رتبه‌بندی شده عمق تا سطح ایستابی ۴۵
شکل۳-۴ نقشه رتبه‌بندی شده تغذیه آبخوان ۴۷
شکل ۳-۵ نقشه رتبه‌بندی شده محیط غیراشباع خاک ۴۸
شکل۳-۶ نقشه رتبه‌بندی شده محیط خاک ۵۰
شکل ۳-۷ نقشه رتبه‌بندی شده محیط آبخوان ۵۱
شکل ۳-۸ نقشه رتبه‌بندی شده هدایت هیدرولیکی ۵۲
شکل۳-۹ نقشه رتبه‌بندی شده توپوگرافی ۵۳
شکل۳-۱۰ نمودرا درختی و معیارهای مورد استفاده در فرآیتد تحلیل سلسله مراتبی ۵۹
شکل۳-۱۱ نقشه فازی عمق تا سطح ایستابی ۶۶
شکل۳-۱۲ نقشه فازی تغذیه آبخوان ۶۶
شکل۳-۱۳ نقشه فازی هدایت هیدرولیکی ۶۷
شکل۳-۱۴ نقشه فازی معیار توپوگرافی ۶۷
شکل۳-۱۵نقشه فازی محیط خاک ۶۸
شکل۳-۱۶ نقشه فازی محیط غیر اشباع ۶۸
شکل۳-۱۷ نقشه فازی محیط آبخوان ۶۹
شکل۴-۱ نقشه دراستیک استاندارد ۷۷
شکل۴-۲ نشت شبیه‌سازی شده در کانال درجه ۱ ..... ۷۸
شکل۴-۳ نشت شبیه‌سازی شده در کانال درجه ۲ ..... ۷۸
شکل۴-۴ نشت شبیه‌سازی شده در کانال درجه ۳ ..... ۷۹
شکل۴-۵ نشت شبیه‌سازی شده در کانال درجه ۴ ..... ۷۹
شکل ۴-۶ نقشه رتبه‌بندی شده شبکه آبیاری و زهکشی ۸۱

شکل ۴-۷ نقشه دراستیک NW ۸۱
شکل۴-۸ نمودار فراوانی تجمعی پیکسل های مربوط به نقشه دراستیک سلسله‌مراتبی ۸۳
شکل۴-۹ نقشه دراستیک سلسله مراتبی ۸۴
شکل۴-۱۰ نمودار فراوانی تجمعی پیکسلهای مربوط به نقشه دراستیک فازی ۸۶
شکل ۴-۱۱ نقشه دراستیک فازی ۸۷

فصل اول

کلیات

فصل اول کلیات

۱-۱ مقدمه

توسعه روزافزون جوامع بشری و گسترش فعالیت‌های صنعتی سهم عمده‌ای در آلودگیهای محیط زیست به ویژه منابع آب دارد (رحمان[1]،۲۰۰۸). آب زیرزمینی از مهمترین منابع طبیعی در جهان می‌باشد، در شرایط کنونی، بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف آب کشور ایران به خصوص در بخش شرب توسط منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. بنابراین، حفاظت کیفی آبهای زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار است.

این منابع به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آنها نسبت به آبهای سطحی مشکلتر و پرهزینه‌تر است. همچنین، به دلیل استمرار آلودگی در این منابع، بهترین روش جلوگیری از آلودگی آن‌ها، شناسایی منابع آلوده کننده و مناطق آسیب‌پذیر، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و اتخاذ سیاستهای مدیریتی مناسب می‌باشد .(بابیکر و همکاران[2]،۲۰۰۵). در سالیان اخیر تخمین آسیب‌پذیری آبخوان توسط محققین مختلف و به روشهای متفاوت انجام شده‌است. یکی از ساده‌ترین و کاربردی‌ترین روشهای مورد استفاده، روش دراستیک است که از هفت پارامتر عمق تا سطح ایستابی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، محیط غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی تشکیل شده‌است.

شبهاتی درمورد انتخاب هفت پارامتر انتخابی و در نظر نگرفتن عوامل دیگر در این روش وجود دارد که برای از بین بردن این شبهات تحقیقات بسیاری انجام شده است که بیشتر آن‌ها حذف بعضی از پارامترهای مدل را پیشنهاد نمودند و تعدادی هم پارامترهای جدیدی اضافه کردند (براون[3]، ۱۹۹۸;کیم و هام[4]، ۱۹۹۹; روپرت[5]، ۲۰۰۱; پاناگوپولوس و همکاران[6]، ۲۰۰۶).

1- Rahman
2- Babiker et al
3-Brown
4-Kim and Hamm
5-Rupert
6- Panagopoulos et al

در این پژوهش برای افزایش دقت روش دراستیک پارامتر شبکه آبیاری و زهکشی به پارامترهای دراستیک اضافه شد. نشت از کانال‌های آبیاری عامل انتقال آلودگی محسوب می‌شود و از آنجا که در دشت آستانه-کوچصفهان سطح ایستابی بالاست این موضوع از اهمیت بیشتری برخوردار است.

تعیین آسیب‌پذیری آب زیرزمینی یک روش کاملاً دقیق نیست. به دست آوردن اطلاعات از پارامترهای زیرسطحی بسیار پرهزینه بوده و روشهای ارزیابی می‌توانند فقط تخمینی از فرآیندهای محیطی واقعی را ارائه نمایند. بنابراین عدم قطعیت در تمام ارزیابی‌های آسیب‌پذیری، ذاتی است. به دلیل محدودیت آگاهی از رفتار آلاینده‌ها در زیر سطح زمین و محدودیت‌های قابل توجه در پایگاه داده‌های مکانی مورد استفاده در ارزیابی، عدم قطعیت در ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی وجود دارد. در این تحقیق برای برخورد با عدم قطعیت موجود، از روش فازی استفاده شد.

۱-۲ اهمیت و ضرورت تحقیق

با توجه به اینکه تنها ۲/۵ درصد از کل آب‌های موجود کره زمین شیرین می‌باشد و از این مقدار ۳۰ درصد به صورت آب زیرزمینی و ۷۰ درصد به صورت یخچال‌ها، ذخائر دائمی برف، بصورت رطوبت و یخ درون خاک، آب باتلاق‌ها و آب شیرین رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌باشد، آب زیرزمینی نقش قابل توجهی به عنوان مخزنی برای آب شیرین ایفا می‌کند (شیکلومانو[1]، ۱۹۹۳). منطقه مورد مطالعه دارای کاربری کشاورزی بوده و امروزه استفاده از سموم و کودهای شیمیایی (بخصوص کودهای نیتراته) در بخش کشاورزی غیر قابل اجتناب می‌باشد. ۷۹/۸۳ میلیون متر مکعب پساب حاصل از کشاورزی و ۱۵/۳۱ میلیون متر مکعب پساب حاصل از شرب و صنعت در سال وارد آبخوان می‌شود و این موضوع در آینده وضعیت دشت را بحرانی می‌کند. از طرفی شبکه آبیاری و زهکشی استان راندمان پایینی دارد و نشت از کانالها باعث انتقال آلودگی به زیرزمین می‌شود که در مطالعات گذشته بدان پرداخته نشده‌است. بنابراین برای جلوگیری از بحرانی شدن آلودگی آبخوان، باید نقشه دقیقی از آسیب‌پذیری با در نظر گرفتن تمامی جنبه‌ها در منطقه تهیه شود و با توجه به آن راهکارهای مورد نظر را ارائه شود.

1- Shiklomanov

۱-۳ هدف تحقیق

آب‌های زیرزمینی یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژی می‌باشند. با توجه به سهولت بهره‌برداری و موارد استفاده از آنها در زمینه‌های کشاورزی، شرب و صنعت از اهمیت بالایی برخوردار هستند. بنابراین لازم است که از این منابع به خوبی محافظت گردد. مصرف بی‌رویه کودها و سموم در کشاورزی و شسته‌شدن و حرکت آنها به سمت آبهای زیرزمینی موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌گردد ولی مشخص گردیده‌است یک تأخیر زمانی قابل توجه بین ظهور آلودگی در سطح زمین تا مشاهده اثرات آن در آب‌های زیرزمینی وجود دارد. تأثیر آلاینده‌ها در کیفیت آبهای زیرزمینی ممکن است پس از گذشت چندین دهه یا حتی در قرن بعد ظاهر شود. در این شرایط برای تصمیم‌گیری و اتخاذ سیاست‌های مناسب برای آینده و فعالیت‌های مدیریتی حال، شناخت وضعیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی و حساسیت آنها نسبت به آلودگی‌های سطحی اهمیت فراوان دارد.

با توجه به مطالب بیان شده، اهدافی که در این تحقیق مد نظر قرار گرفته، می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- نقشه دقیق آلودگی آبخوان دشت کوچصفهان-آستانه با استفاده از دراستیک فازی
- تعیین تأثیرگذارترین پارامتر دراستیک در آلودگی آبخوان
- تعیین تأثیر شبکه آبیاری و زهکشی در آلودگی آبخوان
- ارتقا دقت روش دراستیک و تأثیر شبکه آبیاری و زهکشی بر آن

۱-۴ گزاره‌های تحقیق

۱-۴-۱ تعریف آسیب‌پذیری

تا کنون تعاریف زیادی در مورد آسیب‌پذیری آبخوان و مفهوم آن در هیدروژئولوژی ارائه شده است، که از آن جمله می‌توان به تعریف کمیته ملّی علوم آمریکا[1] در سال ۱۹۹۳ اشاره کرد. این کمیته، آسیب‌پذیری

1 - U.S National Research Council

آبهای زیرزمینی نسبت به آلودگی را، تمایل یا احتمال رسیدن آلاینده‌ها به یک مکان مشخص در سیستم آب زیرزمینی بعد از به وجود آمدن آنها در برخی محل‌ها در بالای سطح آبخوان می‌داند (الماسری[1]،۲۰۰۸).

۱-۴-۲ اصطلاح آسیب‌پذیری

اصطلاح آسیب‌پذیری از نظر مفهومی در هیدروژئولوژی به دو صورت آسیب‌پذیری ذاتی و آسیب‌پذیری ویژه تقسیم می‌شود (گوگا و داسارگوس[2]، ۲۰۰۰; الماسری، ۲۰۰۸). آسیب‌پذیری ذاتی به امکان آلودگی در یک منطقه بدون در نظر گرفتن آلاینده خاص اشاره دارد (الماسری، ۲۰۰۸). به عبارتی، این نوع آسیب‌پذیری به ویژگی‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی یک منطقه و فعالیت‌های بشری بستگی دارد و مستقل از ماهیت آلاینده است (گوگا و داسارگوس، ۲۰۰۰). روشهایی نظیر دراستیک به منظور ارزیابی این نوع آسیب‌پذی استفاده می‌شوند (همزا و همکاران[3]، ۲۰۱۰). آسیب‌پذیری ویژه نیز به آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی نسبت به آلاینده یا گروهی خاص از آلاینده‌ها اشاره دارد که به ویژگی های آلاینده و ارتباط آن با مؤلّفه‌های مختلف آسیب‌پذیری ذاتی بستگی دارد (گوگا و داسارگوس، ۲۰۰۰). روش شاخص حساسیت یکی از روش‌هایی است که بر ای ارزیابی این نوع آسیب‌پذیری استفاده می‌شود و در آن آسیب‌پذیری آبخوان به طور مشخص نسبت به آلاینده های کشاورزی (نیترات) بررسی می‌گردد (همزا و همکاران، ۲۰۱۰). روش‌های مختلفی برای بررسی و ارزیابی پتانسیل آلودگی در یک آبخوان وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی، روش‌های آماری و روش‌های شاخص و همپوشان اشاره کرد (الماسری، ۲۰۰۸) .

۱-۴-۳ روش دراستیک

دراستیک یک روش شاخص و همپوشان است که در آن، اطلاعات حاصل از پارامترهای مختلف به صورت تلفیقی و به طور موازی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند و سپس توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی پردازش می‌گردند. اصولاً روش‌های شاخص و همپوشان از ترکیب پارامترهای هیدروژئولوژیک مؤثّر در انتقال

1 - Almasri
2- Gogu and Dassargues
3- Hamza et al

آلودگی به آبهای زیرزمینی تشکیل می‌شوند. در این روش‌ها برای تعیین اهمیت نسبی، هر کدام از پارامترها نسبت به سایرین ارزیابی می‌شوند.گرچه این روشها فرایندهای مؤثّر در آلوده شدن منابع آب زیرزمینی را کاملاً شرح نمی‌دهند، اما به دلیل ساده بودن روش و در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (گوگا و داسارگوس، ۲۰۰۰).

۱-۴-۵ سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاری

روش تصمیم گیری چند معیاره شامل یک سری از تکنیک ها (از جمله جمع وزن ها یا تحلیل های همگرایی است) که اجازه می دهد، طیفی از معیارهای وابسته به یک مبحث امتیازدهی و وزن دهی شده و سپس بوسیله کارشناسان و گروه های ذینفع رتبه بندی شوند . تصمیم گیری چند معیاره بر یک فرآیند دادن ارزش به گزینه هایی که به وسیله چند معیار ارزیابی شده اند، دلالت دارد (سوواری[1]، ۲۰۰۸).

تصمیم گیری چند معیاره می تواند به دو طبقه وسیع تصمیم گیری چند هدفه (Multi-object) و تصمیم گیری چند شاخصه (Multi-attribute) تقسیم شود . اگر مساله مورد ارزیابی، یک مجموعه محدود از گزینه ها به منظور انتخاب بهترین آنها براساس وزن های مربوط به ویژگی‌های آن گزینه ها باشد، این مساله یک تصمیم گیری چند شاخصه می باشد (پتی[2]، ۲۰۰۸).

تصمیم گیری چند هدفه به انتخاب بهترین گزینه ها بر مبنای یک سری اهداف کم و بیش ناسازگار سر و کار دارد. مدل‌های تصمیم گیری چند هدفه به منظور طراحی به کار گرفته می شوند، در حالی که مدل های تصمیم گیری چند شاخصه به منظور انتخاب گزینه برتر استفاده می گردند (اصغرپور، ۱۳۸۵).

از دهه ۱۹۹۰، راهبرد یک پارچه کردن تصمیم گیری چند معیاره با GIS برای حل مسائل برنامه ریزی فضایی، توجه چشمگیری در میان برنامه ریزان شهری پیدا کرد (نصیری، ۱۳۸۸).

روش تصمیم گیری چند معیاره پتانسیل زیادی را به منظور کاهش دادن هزینه و زمان و بالا بردن دقت در تصمیم گیری های فضایی، دارا می باشد و می تواند چارچوب مناسبی را برای حل مسائل فضایی در کاربری اراضی شهری بیاورد. بر طبق آمار، بیش از ۸۰ درصد از اطلاعات در زندگی روزمره ی مردم در شهر، با فضا

1 - Sovary
2 - Petti

و موقعیت سر و کار دارد. بنابراین در جهت بهینه سازی روش تصمیم گیری چند معیاره استفاده از ابزاری تحلیلگر که بتواند حجم انبوهی از داده های فضایی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد، ضروری می باشد (محمدزاده، ۱۳۸۶).

۱-۴-۶ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از روش‌های قوی و ساده حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاری است و در شرایطی که معیارهای تصمیم گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می سازد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش ارزیابی چند معیاری ابتدا در سال ۱۹۸۰ به وسیله ساعتی پیشنهاد گردید. مسائل پیچیده در AHP به تعدادی مسائل ساده تقسیم می‌شود. اغلب AHP برای مقایسه ی مزیت نسبی گزینه ها[1] نسبت به هم برای رسیدن به هدف کلی به کار می‌رود. (بنای رضوی، ۱۳۸۶).

AHP[2] فضایی را می‌توان به عنوان روشی برای رتبه بندی پتانسیل مناطق برای اختصاص آنها به یک کاربری خاص مورد استفاده قرار داد.AHP فضایی می‌تواند همزمان قوانین، مشخصات نواحی و معیارها را که توسط متخصصین تعیین می‌شود را در نظر بگیرد.GIS به عنوان روشی برای ارزیابی محیطی و AHP نیز به عنوان ابزاری برای تصمیم گیری و تحلیل مطرح می‌باشد که می‌تواند معیارهای چندگانه را تحلیل و مقایسه کند (بنای رضوی، ۱۳۸۶).

فرآیند تصمیم‌گیری در مواقعی که چند یا چندین معیار برای تصمیم‌گیری وجود دارد امری پیچیده می-باشد. در این هنگام کار ارزیابی و مقایسه از حالت ساده تحلیلی که ذهن قادر به انجام آن است، خارج شده و به یک ابزار تحلیل علمی قوی نیاز خواهد بود. یکی از ابزارهای توانمند برای چنین وضعیت‌هایی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP است. اساس کار این مدل تعیین ترتیب اولویت معیارها و تعیین کارشناسی وزن معیارهاست. این روش بر مبنای سه اصل تجزیه، قضاوت تطبیقی و سنتز اولویت‌ها می‌باشد. در اصل تجزیه لازم است که مسئله تصمیم‌گیری به سلسله‌مراتبی تجزیه شود. اصل سنتز هر یک از اولویت‌های مکانی دارای مقیلس نسبی تعیین شده را در سطوح متعدد سلسله مراتبی به دست می‌دهد و مجموعه مرکبی از اولویت‌ها

1 - Alternative
2 - Analytical Hierarchy Process

را برای عناصر در پایین‌ترین سطح سلسله مراتبی یعنی (گزینه‌ها) ایجاد می‌کند. به صورت دقیق‌تر می‌توان گفت که توسط AHP مسئله تصمیم‌گیری ابتدا ساختار داده شده یا به عبارت دیگر سطوح سلسله مراتبی شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تعیین می‌گردد. تبدیل موضوع یا مسئله مورد بررسی به ساختاری سلسله مراتبی مهم‌ترین قسمت فرآیند AHP محسوب می‌شود. زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده فرآیند AHP آنها را به شکلی ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد تبدیل می‌کند. سپس گزینه‌های مختلف موجود بر اساس معیارهای مطرح در تصمیم‌گیری با هم مقایسه و وزن‌دهی شده و اولویت انتخاب هر یک از آنها مشخص می‌شود. در این مرحله در عین وزن‌دهی به مجموعه‌ها سازگاری در قضاوت‌ها نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. شاخصی که توسط ال ساعتی تحت عنوان شاخص سازگاری ارائه شده است به عنوان معیار سازگاری در قضاوت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این که سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده باشد باید این شاخص کوچک‌تر از ۰/۱ شود. چنانچه این شاخص بزرگتر از ۰/۱ شود تصمیم‌گیرندگان باید در قضاوت‌های خود تجدید نظر کنند (دارایی، ۱۳۹۰).

اصول فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

- اصل ۱ : شرط معکوسی (Reciprocal Condition)
- اصل ۲ : همگنی (Homogeneity)
- اصل ۳ : وابستگی (Dependency)
- اصل ۴ : انتظارات (Expectation)
- شرط معکوسی

اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر $\frac{1}{n}$ خواهد بود.

- همگنی

عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل قیاس باشند. به عبارت دیگر برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.

- وابستگی

هر عنصر سلسله‌مراتبی به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.

- انتظارات

هرگاه تغییر در ساختار سلسله‌مراتبی رخ دهد فرآیند ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد (دارایی،۱۳۹۰).

۱-۴-۷منطق ارزش‌دهی تدریجی فازی[1]

در سال ۱۹۶۵ دکتر لطفی‌زاده نظریه سیستم‌های فازی را معرفی کرد. واژه فازی به معنای مبهم و گنگ است. ریاضیات فازی از توانایی انسان برای درک مفاهیم مبهمی ناشی شده که قابلیت ارائه و آنالیز با ریاضیات کلاسیک را ندارند (لی و هوپس[2]، ۱۹۹۶). توانایی مجموعه‌های فازی انتقال تدریجی از عدم عضویت به عضویت و برعکس با کمک تابع عضویت است. تابع عضویت درجه عضویت المان های مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد و مقداری بین صفر و یک را می‌گیرد (دزفولی، ۱۳۸۴). بر خلاف منطق بولین که بر مبنای منطق صفر و یک (باینری) بوده و اساسا نگرشی دو ارزشی به قضایا دارد (متکان و همکاران، ۱۳۸۸) در منطق فازی این قطعیت وجود نداشته و علاوه بر اعضایی که۱۰۰ درصد عضوی از یک مجموعه هستند (۱) و اعضایی که ۱۰۰ درصد عضو آن مجموعه نمی‌باشند (۰) اعضایی نیز وجود دارند که به طور تقریبی عضوی از یک مجموعه می‌باشند [۱،۰]. این تئوری یک مورفولوژی استنباط است که امکان کاربرد تقریب قابلیت‌های استدلالی انسان را در سیستم‌های مبتنی بر دانش فراهم می‌سازد. این تئوری ذهنیت انسان را نشان می‌دهد و ابزار مدلسازی عدم اطمینان یا بی‌دقتی نشأت گرفته از ذهنیت انسان را فراهم می‌کند (خورشید و همکاران، ۱۳۸۳).

پارامترهای دخیل در مکان‌گزینی می توانند ماهیت فازی داشته باشند. برای هر یک از این پارامترها در نقشه‌های رقومی تهیه شده توسط نرم‌افزارهای اطلاعاتی چون GIS، می‌توان مجموعه‌های فازی را تعریف کرد که در آنها هر پیکسل به عنوان عضوی از این مجموعه، با توجه به نقشی که در مکان‌گزینی دارد درجه عضویت متفاوتی به خود گیرد. اگر تمام پارامترهای مورد نظر به صورت مجموعه‌های فازی با مقادیر عضویت

1- Fuzzy Logic
2 - Lee & hoops