

بررسی اثرات خشکسالی‌ها بر منابع آب زیرزمینی دشت‌های همدان با استفاده از تحلیل‌های آماری چند متغیره و GIS

دکتر حسین محمدی

دانشیار دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران

علی اکبر شمسی پور

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تهران

چکیده

مدیریت منابع آب در دوره‌های خشک و خشکسالی‌ها نیازمند شناخت و کاربرد روش‌ها و راهکارهای مناسب است. از آن‌جا که خشکسالی به صورت یک مجموعه عوامل و متغیرهای مرتبط به هم اقلیمی (سیستم اقلیم) در محیط طبیعی و انسانی تأثیر می‌گذارد، مطالعه جزئی و مجزای متغیرهای اقلیمی نتیجه متقن و قابل اعتمادی از شرایط حاکم ارائه نمی‌دهد.

جهت بررسی میزان نقش خشکسالی‌ها در منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژی آب‌های سطحی به عنوان متغیر مستقل جهت تعیین میزان همبستگی با سطح ایستایی دشت‌ها (متغیر وابسته) در مقیاس ماهانه در طی ۱۷ سال ۱۳۶۳-۷۹ مورد بررسی قرار گرفت. روش مطالعه برررسیون چند متغیره متمرکز گردید که نتایج مناسب‌تری ارائه می‌دهد. در نتیجه، آثار ناهنجاری‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی در افت سطح ایستایی دشت‌ها ۴۲ درصد همبستگی را بین متغیرهای اقلیمی مستقل با شدت افت نشان داد.

در ارزیابی مکانی بحران افت سطح ایستایی تحت تأثیر خشکسالی از توانایی تحلیل‌های مکانی و فضایی GIS بهره گرفته شد و نتایج داده‌های نقطه‌ای به اطلاعات منطقه‌ای تبدیل گردید و شدت افت در سطح دشت‌های مورد مطالعه منطقه‌بندی گردید که دشت بهار دارای شدیدترین افت و مناطق حاشیه دشت‌ها در محل اتصال به ارتفاعات از کم‌ترین مقادیر افت برخوردار بودند.

واژگان کلیدی: خشکسالی، رگرسیون چند متغیره، GIS، تحلیل آماری چند متغیره، سطح ایستایی.

مقدمه

کشور ایران به علت قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک از نظر منابع آب وضعیتی نامطلوب تر از متوسط در دنیا دارد.

وقوع خشکسالی های متناوب، طولانی و نوسانات زیاد آب و هوایی، کمبود آب به ویژه منابع آب سطحی را تشدید می کند. بدین ترتیب منابع آب های زیرزمینی منبع مهمی جهت تأمین آب مصرفی در بخش های مختلف اقتصادی، کشاورزی، اجتماعی و شرب مردم این مناطق می باشد.

وقوع خشکسالی های توأم با تشدید افت سطح ایستایی سفره های آب زیرزمینی دشت شمال همدان در سال های ۱۳۷۵-۷۹ احتمال ارتباط قوی بین نوسانات عناصر آب و هوایی با منابع آب های زیرزمینی منطقه را باعث گردیده است.

سفره های آب زیرزمینی دشت های شمال همدان از نوع آبخوان های کم عمق تا متوسط می باشند. (۱۲۰-۲ متر). از خصوصیات این سفره ها تأثیر شدید سطح آبخوان از نوسانات و الگوهای رفتاری اقلیم و رژیم بارشی است. هم چنین ارتفاعات منطقه با سازندهای آتشفشانی و نفوذپذیری پایین به نسبت دشت ها از نفوذپذیری پایینی برخوردار است که پوشش چند ماهه برف در ارتفاعات و ذوب و نفوذ تدریجی آن ها ضعف نفوذپذیری پایین را کاهش می دهد و نقش ارتفاعات در تغذیه آبخوان دشت را با اهمیت تر می کند.

سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با قدرت تحلیل مکانی و فضایی بالا و آنالیزهای آماری آن تکنیکی قوی و مورد اعتماد است که در این تحقیق از آن به همراه آنالیزهای چند متغیره آماری برای منطقه بندی شدت افت سطح ایستایی آب های زیرزمینی و ایجاد روابط همبستگی بین وقوع خشکسالی هواشناختی و خشکسالی هیدرولوژیکی در آب های زیرزمینی بهره گرفته شد.

پیشینه تحقیق

از زمانی که در سده هفدهم میلادی پیر پرالت (۱۶۰۸-۱۶۸۰م) دانشمند فرانسوی منشأ آب های زیرزمینی را به بارندگی ها ثابت نمود. این ارتباط بین بارش ها و سطح سفره های آب زیرزمینی مورد مطالعه دقیق تر قرار گرفت (کردوانی، ۱۳۷۴).

ویلهیت و گلانتس (۱۹۸۵)، مارشال و همکاران (۱۹۹۴) و تات و گوستارد (۲۰۰۰) در مطالعات خود در بحث خشکسالی، به خشکسالی های آب های زیرزمینی توجه کمی داشته اند.

وان لین و پیترز (۲۰۰۰م) از خشکسالی آب های زیرزمینی تعریف زیر را ارائه نمودند:
 ”وقتی سطح آب زیرزمینی آبخوانی در یک دوره زمانی معین به زیر سطح بحرانی افت کند خشکسالی آب زیرزمینی رخ داده است“ (هیسدال، تالکسن، ۲۰۰۰).

از جمله مطالعات آب های زیرزمینی که به وسیله (GIS) مورد مطالعه قرار گرفته است، ویلیام والکر و همکاران (۱۹۹۱) مدیریت منابع آب در شرایط خشکسالی را مطالعه کردند. اف. اچ. کلاسترن و همکاران (۱۹۹۵) سیستم های جریان آب زیرزمینی در مقیاس ناحیه ای و وسیع در هلند را بر اساس تحلیل سیستم های جریان در نواحی مرطوب انجام دادند و در آن بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی در جهت جریان تأکید کردند. پائل، البرت و همکاران (۱۹۹۵) تحلیل منابع آب زیرزمینی را با استفاده از سیستم های اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند.

زانتوپولوس (۱۹۹۷) پراکنش آلودگی منابع آب های زیرزمینی را در نواحی شهری مطالعه کردند و نقشه های آلودگی وسیع منابع آب های زیرزمینی از منشأ فاضلاب های شهری را تهیه نمودند.

عبدی (۱۳۷۸) پهنه‌بندی پتانسیل آب‌های سطحی و زیرزمینی حوضه آبخیز زنجانرود را با استفاده از (GIS) انجام داد، نتایج کلی آن تحقیق به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل آب‌های سطحی و زیرزمینی ارائه گردید.

این تحقیق از جنبه کاربردی و در ارتباط با مسائل اجتماعی با هدف بررسی میزان و جنبه‌های مختلف تأثیر خشکسالی‌های هواشناختی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های تحلیل مکانی و فضایی (GIS) در محیط نرم افزارهای ARC/view و ARC/info و در تکمیل یافته‌ها و نتایج از تحلیل‌های آماری چند متغیره در محیط نرم‌افزاری Spss و Eviews بهره گرفته شده است.

روش تحقیق

ابتدا منطقه دشت‌های شمال همدان به‌عنوان منطقه شاخص با ضریب بالای وابستگی به منابع آب‌های زیرزمینی که با افت شدید سطح ایستابی مواجه بود انتخاب گردید.

از داده‌های اقلیمی ۳۰ ساله (۱۹۷۱-۲۰۰۰) و داده‌های هیدرولیکی با دوره آماری ۱۷ ساله (۱۹۸۴-۲۰۰۰) برای تحقیق بهره گرفته شد که در مرحله اول با استفاده از متد SPI (Standard Precipitation Index) دوره‌های خشک و تر منطقه در دوره مورد مطالعه تعیین گردید و دو سال (۱۹۹۸-۲۰۰۰) به دلیل فراگیر بودن و شدت بالا مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله دوم با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری رگرسیون‌های چند متغیره همبستگی بین داده‌های اقلیمی و آب‌های سطحی به‌عنوان متغیرهای مستقل با داده‌های سری آب‌های زیرزمینی (ماهانه) به‌عنوان متغیر وابسته مورد تحلیل قرار گرفته و با استناد به اصل عدم یا وجود همبستگی در سطح ۵ درصد متغیرهایی که کم‌تر از آن دارای همبستگی بودند حذف گردیدند، در نهایت متغیرهایی در تحلیل مورد استفاده قرار گرفتند که دارای همبستگی بالاتر از ۵ درصد بودند. در این مرحله از نرم افزارهای آماری Eviews در تحلیل سری‌های زمانی و رگرسیون‌های چند متغیره بهره گرفته شد و آزمون نتایج نیز با آن صورت گرفته شد.

در نهایت از تحلیل‌های مکانی و فضایی با به کارگیری نرم افزارهای (Arc/view, Arc/info) (GIS) جهت پهنه‌بندی شدت افت آب‌های زیرزمینی دشت‌ها ناشی از اثرات مستقیم خشکسالی‌ها بهره گرفته شد، محاسبه براساس شاخص عکس فاصله صورت گرفت که داده‌های نقطه‌ای به صورت تحلیل منطقه‌ای به‌دست آمد.

برای منطقه‌بندی سه دشت از آمار ۹۶ حلقه چاه پیژومتری استفاده گردید که نتایج را با پراکندگی مناسب فضایی چاه‌ها قابل اعتماد می‌سازند.

بحث و یافته‌های تحقیق

داده‌های زمین‌شناسی، جریان‌ات آب‌های سطحی، نوسانات متغیرهای اقلیمی (میانگین، میانگین حداقل و حداکثر ماهانه دما، بارش کل ماهانه، روزهای بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر و ۵ میلی‌متر و روزهای همراه با بارندگی، رطوبت نسبی و...) در ارتباط با افت سطح آب‌های زیرزمینی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

با دقت در سازندهای زمین‌شناسی منطقه شمال همدان، دشت‌ها نسبت به کوه‌ها و دامنه‌ها از قابلیت نفوذ بالاتری برخوردارند که دلیل آن نهشته‌های رسوبی و آبرفتی سطح دشت‌ها در مقابل سازندهای آتشفشانی و آذرین (گرانیت) دوره‌های الیگومیوسن ارتفاعات منطقه و شیب زیاد و عریان بودن رخنمون سنگ‌ها که از نفوذپذیری کمی برخوردارند، می‌باشد.

ضریب ذخیره دشت به طور متوسط ۳ تا ۵ درصد محاسبه شده است (تماب، ۱۳۷۸)، عمق سفره‌های آب زیرزمینی کم و تا ۱۲۰ متر است که در تقسیم بندی نوع سفره‌ها از آبخوان‌های با عمق متوسط و باز می‌باشند که تحت تأثیر نوسانات آب و هوا و بارش هستند.

آب‌های سطحی منطقه فقیر است و به ویژه در قسمت‌های شمال و شرق منطقه به جز چند آبراهه و رود فصلی کم آب رودخانه‌ای دیده نمی‌شود. رودهای منطقه از رژیم مدیترانه‌ای با حداکثر دبی زمستانه و بهاره و حداقل دبی تابستانه و پاییزه تبعیت می‌کنند (زاهدی، ۱۳۷۴).

با مطالعات صورت گرفته روی تبادلات رطوبتی و هیدرولیکی بین جریانات سطحی و آب‌های زیرزمینی در مناطق کوهپایه و سرچشمه رودخانه‌ها و مسیل‌ها به عنوان منبع تغذیه سفره‌ها عمل می‌نمایند. ولی این روند در سطح دشت‌ها به ویژه در مواقع کم آبی و خشکی رودخانه‌ها برعکس شده و رودخانه‌ها و مسیل‌ها به عنوان زهکش، عاملی در جهت تخلیه منابع آب آبخوان عمل می‌نماید که در خروجی دشت‌ها از شدیدترین حالت برخوردارند.

آب و هوای دشت‌های مورد مطالعه به تبعیت از اقلیم کل منطقه دارای زمستان‌های سرد و پر برف و دوره طولانی خشک و گرم هستند که براساس طبقه بندی اقلیمی آمبروزه جزء مناطق نیمه خشک سرد محسوب می‌شود. به دلیل واقع شدن در مرز منطقه گذر سیستم‌های عمومی جوی و دوری از مناطق رطوبت، نوسانات و ناهنجاری‌های جوی شدیدی در منطقه حاکم است و ضریب تغییرپذیری بارش بالای ۲۱ درصد (ایستگاه نوژه) است.

به علت واقع شدن در منطقه کوهستانی با ناهمواری‌ها و ارتفاع زیاد (شرایط محلی آب و هوا)، عرض جغرافیایی بالا و واقع شدن در مجاورت مناطق خشک مرکزی ایران شرایط جوی شدیدی در منطقه حاکم است. براساس رابطه کنراد میزان بری بودن منطقه ۵/۵ درصد می‌باشد که رقم قابل توجهی است. رقم مذکور گویای شرایط جوی غیرقابل پیش‌بینی با نوسانات شدید سالانه است.

منابع آب‌های زیرزمینی در سه دشت (بهار - همدان، رزن - فامنین و کیودرآهنگ) به طور مجزا مورد مطالعه قرار گرفتند که افت شدید سال‌های اخیر گویای شرایط بحرانی افت سطح ایستابی در طی سال‌های (۷۹-۱۳۷۵) است که با وجود ممنوعیت توسعه منابع آب‌های زیرزمینی رخ داده است. افت سطح ایستابی به ترتیب در دشت رزن، فامنین به طور متوسط ۲/۴ متر، دشت بهار - همدان ۸/۲ متر و دشت کیودرآهنگ ۸/۶ متر در طی ۳ سال (۱۳۷۶-۷۹) افت سطح ایستابی در آبخوان که شرایط بحرانی را آشکار می‌سازد، می‌باشد.

با تحلیل اطلاعات موجود به صورت رقومی از روش Spi (Standard Precipitation index) شدت خشکسالی سال‌های (۷۹-۱۳۷۷) تعیین شد که از حالت شدید تا فاجعه آمیز طبقه بندی گردید. و با استفاده از مدل‌های رگرسیون چند متغیره روابط همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و دبی رودخانه‌ها به عنوان متغیرهای مستقل و سطح آب زیرزمینی به عنوان تابع مورد آزمون قرار گرفتند که با استفاده از اصل پارسیمونی (هر چه می‌توانیم حجم داده‌ها را کوچک‌تر کنیم) با توجه به مقدار P-value (سطح معناداری متغیر مستقل را با تابع نشان می‌دهد) و T-استیودنت که با سری سطح آب در سطح ۵ درصد ارتباط معناداری نداشت حذف گردید که از نکات قابل ذکر عدم ارتباط معنادار بین بارندگی ماهانه (همزان و با تأخیر ۱ تا ۱۲ ماه) با سطح ایستابی بود که حذف گردید. جدول ۱ نمایی از نتایج رگرسیون و مدل بهینه را نشان می‌دهد.

در این مدل R^2 (ضریب همبستگی برابر ۴۲ درصد می‌باشد و تمام متغیرهای مستقل در سطح ۵ درصد ارتباط معنادار دارند). عرض از مبدا معادله که با C نشان داده شده است بیان می‌کند اگر همه متغیرها صفر

باشند سطح ایستابی مساوی ۱۰۲۱/۲۸۳ متر خواهد بود که a (آلفا) در سطح ۰/۰۰۰۰ معنی دار است. قدر مطلق t استیودنت مربوطه بزرگ‌تر از ۱/۹۶ است (۲/۶۲) و میزان R^2 و R^{-2} (R^2 تعدیل شده) مدل بالا هستند و نزدیکی آن‌ها به همدیگر را نشان می‌دهد که تصریح و برازش خوبی در مدل است. آماره F مدل معناداری کلی رگرسیون را نشان می‌دهد که در این‌جا در سطوح بالایی معنادار است.

P -value آن بسیار کوچک است و بدین معناست که در سطح ۰/۰۰۰۰ معناداری مدل قابل رد نیست در نتیجه نمی‌توان معناداری کل مدل را رد کرد.

آماره (DW) دوربین واتسون بسیار پایین است که وجود همبستگی سریالی بین اجزای اخلاص را نشان می‌دهد. مقدار بهینه دوربین واتسون ۱/۹-۲/۱ است که در مدل با وارد کردن آماره (AR) اتورگرسیو با وقفه‌های مختلف می‌توان همبستگی سریالی اجزای اخلاص در مدل را رفع نموده و دوربین واتسون را به مقدار بهینه نزدیک نمود.

جدول ۱- ضریب همبستگی و رگرسیون چند متغیره افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دشتهای شمال همدان

متغیرها	ضرایب	انحراف از میانگین	T استیودنت	P-value
عرض از مبدا	۱۷۱۹/۲۹	۱/۶۸۳۴	۱۰۲۱/۲۸	۰/۰۰۰۰
رطوبت نسبی	۰/۰۶۴۹	۰/۰۲۰۸	۲/۶۱۶۲	۰/۰۰۹۶
روزهای بارش با تاخیر یک ماهه	۰/۱۵۱۳۱۸	۰/۰۴۳۱۲	۳/۵۱	۰/۰۰۰۶
متوسط حداقل دمای ماهانه	۰/۶۱۴۸	۰/۰۷۴۸	-۸/۲۲	۰/۰۰۰۰
متوسط حداکثر دمای ماهانه	۰/۶۰۴	۰/۰۵۳۴	۱۱/۳۱	۰/۰۰۰۰
R^2	۰/۴۲۶۵	DW	۱/۲۶	
R^{-2}	۰/۴۱۲۸	F-Static	۲۹/۴۵	

بنابراین طبق مدل رگرسیونی متغیرهای مستقل موجود در معادله تنها ۴۲ درصد نوسانات سطح ایستابی را توضیح می‌دهند و بقیه ۵۸ درصد به عوامل دیگر مرتبط است از جمله مهم‌ترین آن مصارف کشاورزی و انسانی است که در مطالعه منظور نشده است (جدول ۱). (رابطه ۱)

$$y = 1719/3 + 0/065 * 0/19 + Rh * Dp + 0/15 * (Dp - 1) - 0/615 * T_{min} + 0/6 * T_{max}$$

سطح ایستابی y ، Rh = رطوبت نسبی Dp = روزهای همراه با بارندگی (-1) (Dp) = روزهای بارندگی با تأخیر یک روزه T_{min} = میانگین دمای حداقل ماهانه T_{max} = میانگین حداکثر دمای ماهانه

جدول ۲- مساحت محدوده‌های سطح ایستابی دشت‌های شمال همدان در قبل و بعد از خشکسالی‌های ۱۳۷۹-۱۳۷۷

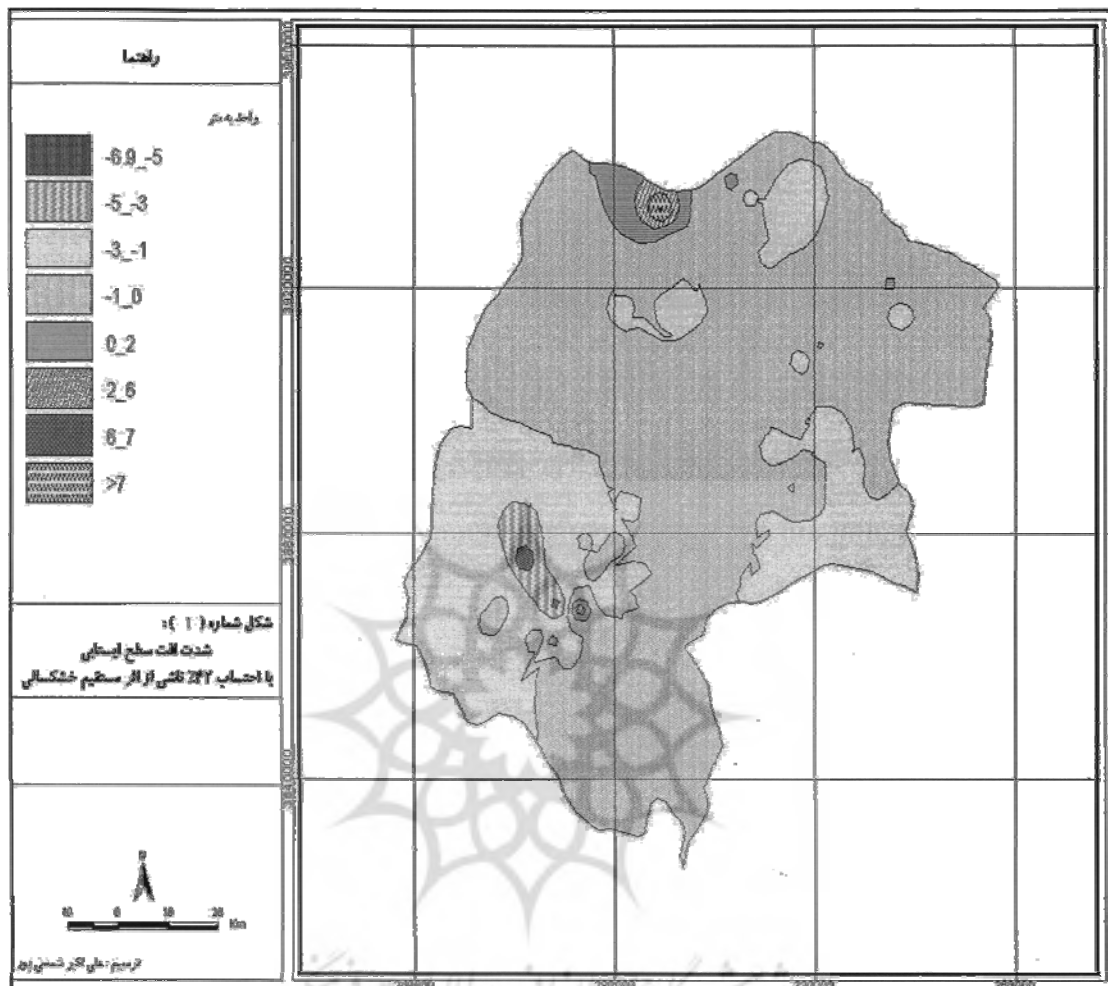
مهر ۱۳۷۷

عمق سطح ایستابی (متر)	مساحت محدوده (کیلومتر مربع)
کم‌تر از ۱۰ متر	۱۷۰۳/۷
۱۰-۲۰	۴۱۱۴/۸
۲۰-۳۰	۱۶۹۲/۸
۳۰-۴۰	۳۶۷/۳
۴۰-۵۰	۱۲۷/۴
۵۰-۶۰	۳۵
۶۰-۷۰	۱۰/۷
۷۰-۸۰	۵/۳
بالاتر از ۸۰ متر	۰/۵
	مساحت کل ۸۰۵۷

شهریور ۱۳۷۹

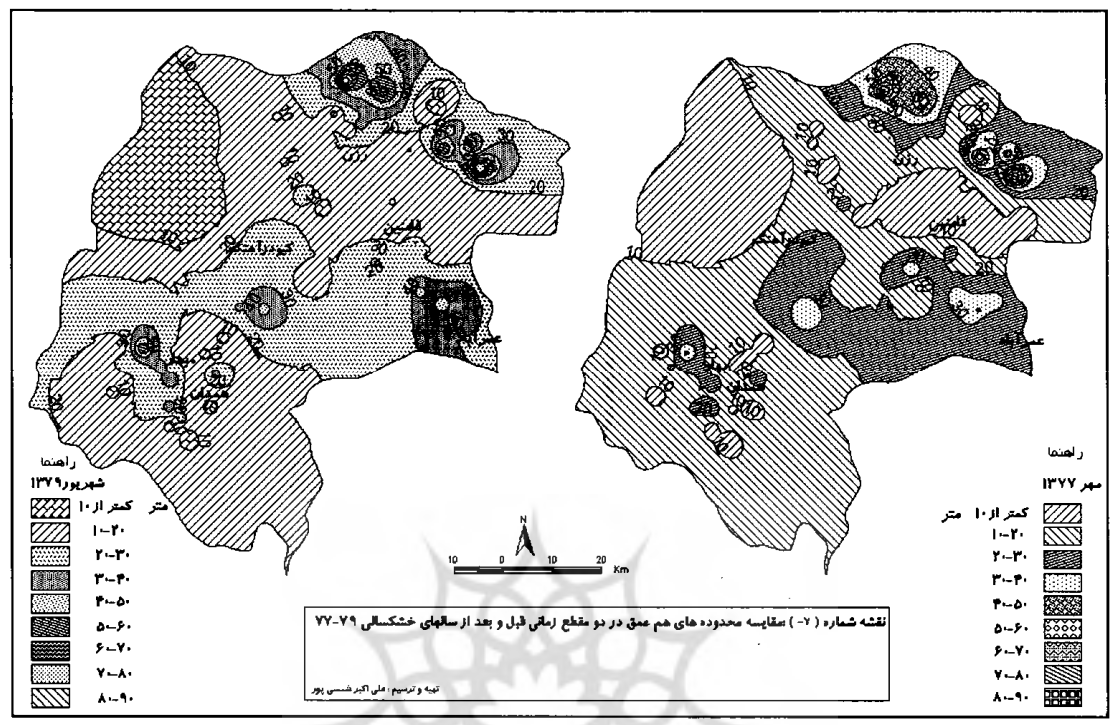
عمق سطح ایستابی (متر)	مساحت محدوده (کیلومتر مربع)
کم‌تر از ۱۰ متر	۱۲۰۸/۱
۱۰-۲۰	۳۶۵۷/۸
۲۰-۳۰	۲۳۲۱/۷
۳۰-۴۰	۶۰۵
۴۰-۵۰	۱۸۰
۵۰-۶۰	۶۰/۲
۶۰-۷۰	۱۵
۷۰-۸۰	۷/۴
بالاتر از ۸۰ متر	۱/۵
	مساحت کل ۸۰۵۷

با استفاده از مدل به دست آمده از رگرسیون کلاسیک چند متغیر، در محیط GIS با تشکیل پایگاه داده‌ای و رقومی سازی نقشه منطقه و چاه‌ها با سیستم مختصات UTM و با در نظر گرفتن ضریب همبستگی ۴۲ درصد نقشه شدت افت سطح ایستابی در دشت‌های شمال همدان تهیه گردید که می‌تواند ناشی از اثرات مستقیم نوسانات متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژی باشد (نقشه ۱-۱). هم‌چنین در محیط Arc/view با تشکیل پایگاه داده‌ای چاه‌ها پیژومتری دشت‌های مورد مطالعه با اینترپولاسیون (واسطه یابی) داده‌های نقطه‌ای به تحلیل منطقه‌ای تبدیل گردید که روش به کار رفته شاخص عکس فاصله (IDW) است.



نقشه ۱

تلفیق و روی هم قرار دادن (Overlying) لایه‌های مختلف زمین‌شناسی، آب‌های سطحی، شدت خشکسالی‌های هواشناختی منطقه‌بندی شدت افت سطح ایستابی تهیه گردید. که در نقشه نهایی پهنه‌های هم‌عمق در دو دوره قبل و بعد از خشکسالی‌ها از جنبه مساحت مورد سنجش قرار گرفته که گویای کاهش مساحت مناطق با سطح ایستابی ۱۵ تا ۲۰ متر و افزایش مساحت مناطق با سطح ایستابی ۲۰ الی ۴۰ متر است (نقشه ۲) و (جدول ۲).



نقشه ۲

نتیجه

با دقت در نقشه پهنه بندی شدت افت سطح آب های زیرزمینی در دشت های شمال همدان که از ترکیب داده های مختلف زمین شناسی، هیدرولوژی آب های سطحی، متغیرهای اقلیمی و با احتساب ضریب همبستگی ۴۲ درصد نوسانات متغیرهای آب و هوایی شدیدترین افت در محدوده دشت بهار - همدان در جنوب غربی منطقه و شرق منطقه (خروجی حوضه دشت رزن - فامنین) مشاهده می شود که ۵ تا ۷ متر است. کمترین میزان افت در محدوده دشت های رزن و کبودرآهنگ با کم تر از ۱ متر می باشد.

با روی هم اندازی (Overly) کردن نقشه های شدت خشکسالی و شدت سطح ایستابی تقریبی نتایج قانع کننده ای در ارتباط با خشکسالی هواشناختی با افت آب های زیرزمینی مشاهده می گردد. با استفاده از تحلیل مکانی GIS مساحت محدوده های هم عمق در دوره های قبل و بعد از خشکسالی مورد مقایسه قرار گرفت. در نتیجه مطالعات روی آب های زیرزمینی نشان می دهد که متغیرهای مختلفی بر نوسانات فصلی یا روند سالانه آن ها تأثیر می گذارند که در ارتباط با هم عمل می کنند و متغیرها به تنهایی و مجزا نتایج قابل قبول ارائه نمی دهند.

سیستم اقلیم با زیر مجموعه ای از متغیرهای آب و هوایی، هیدرولوژیکی و زمین شناسی نیز در مجموع نتیجه دقیقی ارائه نداده و وابستگی افت سطح ایستابی را به عناصر جوی به طور کامل تایید نمی کند. با وجود این عدم توجه به عوامل انسانی موثر بر تخلیه آبخوان که ناشی از فقدان داده های آماری

آن‌هاست نتایج بسیار ضعیفی از همبستگی متغیرهای مستقل و تابع ارائه می‌دهد که می‌توان با بهره‌گیری از کلیه عوامل مؤثر بر تخلیه آبخوان نتایج دقیق‌تری ارائه نمود تا راهکاری برای مصارف و برنامه‌ریزی دقیق برای مدیریت ریسک و بحران آب تهیه نمود.

تشکر و قدردانی

از سازمان محترم مدیریت منابع آب کشور به سبب تأمین اعتبار مالی این طرح قدردانی می‌شود.

منابع:

- ۱- باوثر، هرمان، هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی، ترجمه احمد لطفی صدیق، نشر دانشگاه صنعتی سهند، چاپ اول، ۱۳۷۴ تبریز.
- ۲- باکس، ای بی و جی ام، جنکینز (۱۳۷۱)، تحلیل سری‌های زمانی پیش‌بینی و کنترل، مشکاتی، محمدرضا (مترجم)، جلد اول، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- ۳- بزرگنیا، ابوالقاسم و حسینعلی، نیرومند (۱۳۷۴) سری‌های زمانی، انتشارات پیام نور، تهران.
- ۴- چاه کوتاهی، سیروس، پژوهش درباره آب‌های جوی، سطحی و زیرزمینی منطقه کاشان، بیابان شماره ۴، مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران، ۱۳۵۶، تهران.
- ۵- خیام، مقصود، تشکیلات کواترنر جایگاه حفره‌های آبدار، پژوهش‌های جغرافیایی شماره ۲۴، موسسه جغرافیا ۱۳۶۷، تهران.
- ۶- ذوالفقاری، حسن و بهروز ساری صراف، مطالعه بارش‌های شمال غرب ایران با تکیه بر تحلیل خوشه‌ای، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد، شماره اول و دوم، بهار و تابستان ۱۳۷۷.
- ۷- ژان‌لو، هیدرولوژی آب‌های سطحی، ترجمه مجید زاهدی، بخش اول، نشر آناس، ۱۳۷۸ تبریز.
- ۸- علیجانی، بهلول. نبی ... رمضانی، (۱۳۸۱) پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران با استفاده از مدل باکس - جنکینز، پژوهش‌های جغرافیایی، ضمیمه اسفند ۱۳۸۱.
- ۹- عبدی، پرویز (۱۳۷۸)، پهنه‌بندی پتانسیل آب‌های سطحی و زیرزمینی حوزه آبخیز زنجانرود با استفاده از (GIS)، دومین کنفرانس تغییر اقلیم، تهران.
- ۱۰- کردوانی، پرویز، ژئوهیدرولوژی، انتشارات دانشگاه تهران، آبان ماه، ۱۳۷۰ تهران.
- ۱۱- نجمایی، محمد، هیدرولوژی مهندسی، جلد دوم، دانشگاه علم و صنعت، چاپ دوم، ۱۳۶۹.
- ۱۲- آمارنامه‌های سازمان هواشناسی کشور، ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ تهران، و همدان.
- ۱۳- آمارنامه‌های ایستگاه‌های بارانسنجی، وزارت نیرو، سازمان تباب، ۱۳۷۸-۱۳۶۳، تهران.