

## ارزیابی میزان و توزیع مکانی تغذیه در آبخوان های کارستی تاقدیس کوه سفید با استفاده از GIS و سنجش از دور

رضوان ثابتی، دانشجوی کارشناسی ارشد آب شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران  
محسن رضائی، عضو هیئت علمی و مدیر گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران\*  
جواد اشجاری، دکترای هیدروژئولوژی، دانشگاه تهران  
حسن دانشیان، کارشناس مطالعات منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان  
رامین قربانزاده، دانشجوی کارشناسی ارشد آب شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران

### چکیده:

در این مطالعه به بررسی میزان و توزیع مکانی تغذیه در آبخوان های کارستی تاقدیس کوه سفید در جنوب غرب ایران پرداخته شده است. به این منظور روش APLIS برای تخمین تغذیه ی متوسط سالانه در این آبخوانهای کارستی به کار برده شده است، تغذیه به صورت درصد بارش براساس متغیرهای لیتولوژی، لندفرم های نفوذ عمده، شیب، ارتفاع، انواع خاک محاسبه گردیده است. نقشه پراکنده گی متغیرهای بالا برای هر آبخوان تهیه و بر اساس وزن و رتبه های استاندارد این روش لایه های اطلاعاتی با هم تلفیق گردیده اند. نتایج نشان می دهد که ۱۷/۶ درصد از تاقدیس کوه سفید دارای تغذیه ی خیلی کم، ۱۷/۹ درصد دارای تغذیه ی کم، ۴۸/۸ دارای تغذیه ی متوسط، ۷/۴ دارای تغذیه ی زیاد و ۸/۴ دارای تغذیه ی خیلی زیاد می باشد. مناطق با تغذیه زیاد و خیلی زیاد به تریب در محل چشمه های تاقدیس و محور تاقدیس قرار دارد. نتایج می تواند در مدیریت بهره برداری مؤثر باشد.

واژه های کلیدی: تاقدیس کوه سفید، روش APLIS، تغذیه ی آب زیرزمینی، GIS، RS

### ۱- مقدمه :

برآورد میزان تغذیه مستقیم به آبخوان های کارستی همواره از مسائل مورد پرسش به ویژه در کشور ماست. به صورت معمول تغذیه آب زیرزمینی را می توان به روش های مختلفی مثل محاسبات بیلان هیدرولوژیکی - هیدرودینامیکی یا مدل های ایزوتوپی، هیدروشیمیایی و عددی تخمین زد. این روش ها معمولاً برای آبخوان های آبرفتی توسعه یافته اند و سپس برای آبخوان های کربناته بدون در نظر گرفتن خصوصیات هیدرولوژیکی این آبخوانها مورد استفاده قرار گرفته اند. آبخوان های کارستی کربناته دارای ویژگی های خاصی شامل تغذیه نقطه ای، تجمع جریان در اپی کارست، خاک نازک و زون غیر اشباع ضخیم تر میباشند و بنابراین از نظر هیدرولوژیکی یک سیستم غیر همگن محسوب میشوند (Kinzelbach et al. 2002). علاوه براین، این قبیل روش ها همیشه کاربرد آسانی ندارند، گاهی اوقات آنها نیازمند به کار بردن اطلاعاتی هستند که در دسترس نیستند و هیچیک از آن ها قادر به تعیین توزیع مکانی تغذیه نمی باشند.

بنابراین در برآورد میزان تغذیه سطحی در آبخوان های کارستی باید از روشی استفاده کرد که این معایب را بر طرف سازد و قابلیت تهیه ی نقشه ی توزیع مکانی تغذیه را داشته باشد. با استفاده از روش APLIS می توان

اهداف مورد نظر را بدست آورد. در این روش نیاز به حداقل برداشت های صحرایی وجود دارد در نتیجه می توان آن را در مناطق صعب العبور و در شرایط عدم دسترسی به داده های کافی مورد استفاده قرار داد. هدف این روش تخمین نرخ تغذیه ی اتوژنیک به داخل آبخوان های کربناته بر پایه ترکیب متغیر های زمین شناسی، جغرافیایی، مورفولوژیکی و خاک شناسی و تعیین پراکندگی مکانی تغذیه در داخل آبخوان می باشد. در این تحقیق تلاش گردیده است تا برای اولین بار استفاده از این روش برای برآورد میزان تغذیه به صورت درصدی از بارش انجام گیرد. هدف از مطالعه بررسی میزان و توزیع مکانی تغذیه با روش APLIS به کمک RS و GIS در آبخوان های کارستی تاقدیس کوه سفید می باشد (Andreo et al . 2008) .

## ۲- بحث:

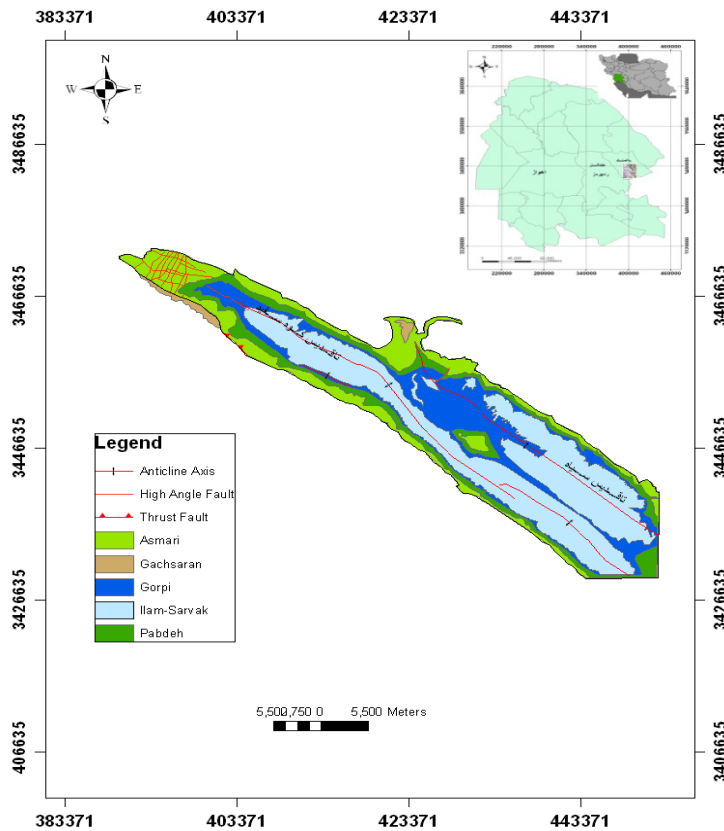
### ۲-۱- مواد و روشها

در این مطالعه نقشه زمین شناسی ( مقیاس ۱:۱۰۰/۰۰۰ )، نقشه های توپوگرافی ( مقیاس ۱:۲۵/۰۰۰ )، نقشه خاکشناسی سازمان جهاد کشاورزی و همچنین تصاویر سنجنده لندست ETM سال ۲۰۰۰ مربوط به منطقه مورد مطالعه تهیه و از نرم افزارهای Arc View3.3، Arc gis9.3، Erdas9.1 در تهیه و تحلیل لایه های اطلاعاتی استفاده گردیده است. مطالعه طی ۴ مرحله اساسی انجام گرفت. در ابتدا بر روی داده های ماهواره ای تحلیل هایی همچون تصحیح ژئومتریک و رادیومتریک ، انجام شد و سپس تفسیرهایی برای استخراج زمین شناسی منطقه و بر روی آن انجام شد و در ادامه این تفاسیر به همراه نقشه توپوگرافی وارد نرم افزار GIS شدند و پردازش هایی همچون ساختن پایگاه داده ها و رقومی کردن بر روی آنها انجام شد و لایه های شامل لیتولوژی، شیب، ارتفاع، لندفرم های عمده نفوذ و انواع خاک استخراج گردید. در نهایت تحلیل های فضایی بر روی لایه ها انجام شد و برای استخراج نقشه نهایی توزیع مکانی تغذیه آب زیرزمینی این لایه ها تلفیق و مدل شدند.

### ۲-۲- موقعیت جغرافیائی و زمین شناسی

در شکل ۱ موقعیت جغرافیائی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. محدوده ی مورد مطالعه، تاقدیس بزرگ کوه سفید می باشد که در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی در سلسله جبال زاگرس واقع شده است. از نظر زمین شناسی، تکتونیک و چینه شناسی از ویژگی های ساختاری و زمین شناسی زاگرس چین خورده پیروی می کنند. کمترین نقطه ی ارتفاعی تاقدیس کوه سفید در محل برم جمال و در حدود ۴۸۰ متر و بالا ترین نقطه ی ارتفاعی تاقدیس کوه سفید در حدود ۳۱۱۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. قدیمی ترین سازند رخنمون یافته در منطقه مورد بررسی مربوط به سازند سروک (ایلام) می باشد و بعد از آن توالی به نسبت کاملی از چینه های زاگرس قابل مشاهده است به گونه ایی که سازندهای سروک، ایلام، گورپی، پابده، آسماری و گچساران در بخش های مختلف رخنمون یافته اند. ایلام - سروک در قسمت مرکزی تاقدیس قرار گرفته است بخاطر عدم تفکیک این دو سازند از یکدیگر، در منطقه ی مورد بررسی این دو سازند به نام ایلام - سروک خوانده می شود. همبری بالایی آن با سازند گورپی به صورت هم شیب دیده می شود. سازند گورپی شامل مارن و شیل های خاکستری (مایل به آبی) با بین لایه هایی از آهک رسی نازک لایه می باشد و تنها رخنمون قابل مشاهده این سازند در هسته ی تاقدیس کوه سفید می باشد. سازند پابده از قاعده به سمت بالا شامل واحد های شیل و مارن های آبی و ارغوانی همراه با لایه های نازکی از آهک رسی است که به صورت مشخص مرز پابده و سازند گورپی را نمایش می دهد. این سازند نیز تنها در هسته تاقدیس کوه سفید (در محل روستای پوتو) و منگشت ( منطقه ی امامزاده عبدالله ) قابل مشاهده می باشد. سازند آسماری شامل آهک های مقاوم کرم تا قهوه ایی با بین لایه هایی از آهک های رسی می باشد. این سازند یال

های تاقدیس های کوه سفید ، تاقدیس منگشت و تاقدیس بنگستان را تشکیل داده است، به گونه ایی که در برم جمال ، چشمه ی پوتو و صیدون (در امامزاده عبدالله و مرغزار ) این سازند بخوبی قابل مشاهده می باشد. سازند گچساران بدلیل داشتن خواص پلاستیکی ناشی از وجود لایه های ضخیم تبخیری (نمک و اندریت ) و مارنی که باعث دگرشکلی شدید لایه ها و به هم ریختگی آن ها می شود ، دارای توالی چینه شناسی کاملاً مشخص نمی باشد. در منطقه ی مورد مطالعه نمک به ندرت دیده شده و عمدتاً ژپیس و انیدریت در سطح دیده می شود . هرچند که لایه های مارنی نیز در برخی محل ها قابل مشاهده است . همبری پایینی این سازند در یال تاقدیس ها قابل مشاهده بوده و به صورت هم شیب روی آهکهای آسماری قرار گرفته است . همبری بالایی این سازند تنها در حوالی پس کوه و غرب صیدون قابل مشاهده است که به صورت هم شیب با سازند میشان دیده می شود (آقنابتی ، ۱۳۸۳).



شکل ۱. نقشه زمین شناسی و موقعیت جغرافیائی منطقه مورد مطالعه

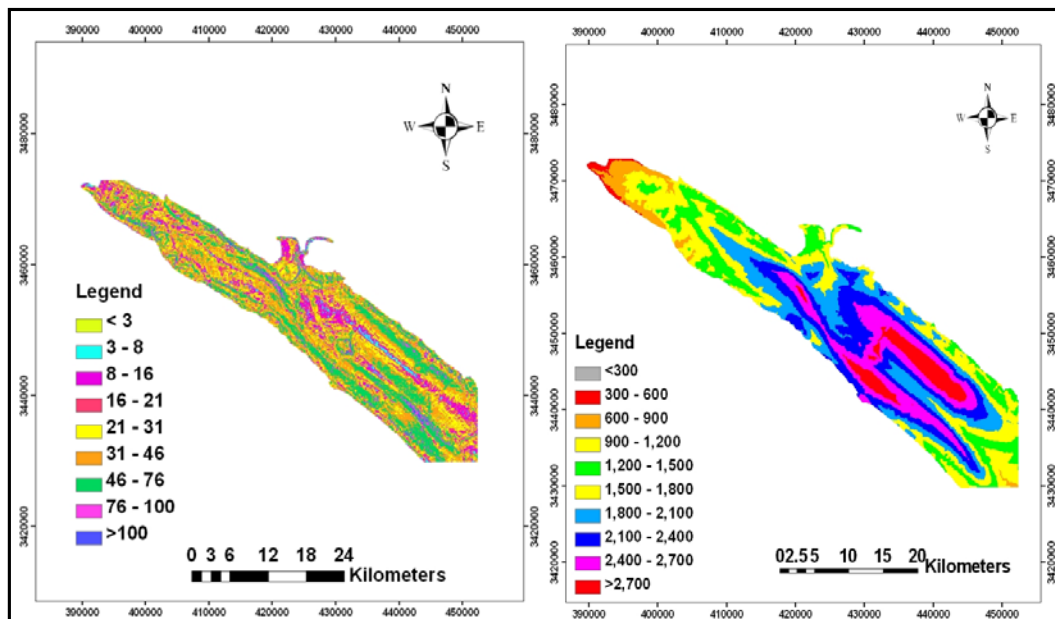
## ۲-۳- تحلیل و آماده سازی داده ها

در این مرحله از تحلیل تلاش گردیده است تا اطلاعات موجود و از منابع مختلف در قالب نقشه های رستری تهیه و به کلاس های متفاوت هر لایه اطلاعاتی ارزش و رتبه ای متناسب با میزان تاثیر آن در نفوذ اطلاق گردد. لازم به ذکر است که در این مورد رتبه بندی پیشنهاد شده در روش APLIS به صورت کامل رعایت گردیده است. رتبه بندی مربوط به پارامترهای مختلف در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است. در تهیه و رتبه بندی لایه های شیب و ارتفاع از نقشه توپوگرافی استفاده گردیده است. تاقدیس کوه سفید دارای اختلاف ارتفاع زیاد

(از ۴۸۰ متر تا ۳۱۰۶ متر) می باشد (شکل ۲ الف). از آنجایی که هرچه ارتفاع بیشتر باشد میزان بارش بیشتر و در نتیجه تغذیه آب زیرزمینی بیشتر است، ارتفاع های بالاتر دارای رتبه بالاتری هستند. نقشه شیب با استفاده از مدل ارتفاع رقومی منطقه و به کارگیری توابع تحلیل سطح بدست آمد که ارزش هر پیکسل در آن نشان دهنده مقدار شیب آن بر حسب درصد بود. هرچه شیب کمتر باشد احتمال نفوذ آب به درون زمین بیشتر و لذا شیب های کمتر رتبه بالاتری را به خود اختصاص داده اند (Andreo et al. 2008) (شکل ۲ ب).

جدول ۱. ارزش های داده شده به لایه های مورد نظر

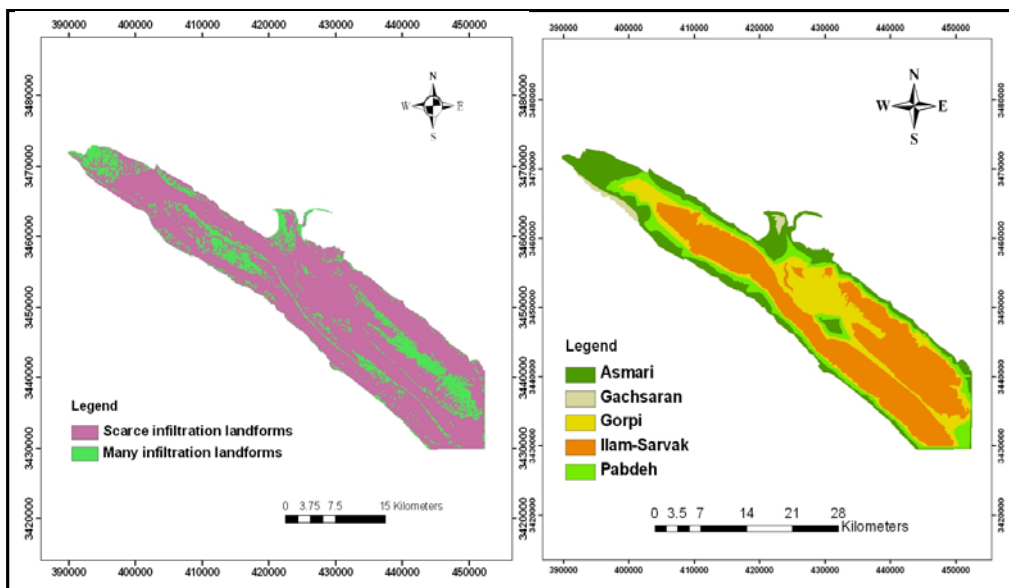
بیشتر از ۲۷۰۰	-۲۴۰۰	-۲۱۰۰	-۱۸۰۰	-۱۵۰۰	-۱۲۰۰	-۹۰۰	-۶۰۰	-۳۰۰	کمتر از ۳۰۰	کلاس ارتفاعی	۱
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	رتبه	
۱۰۰	۷۶-۱۰۰	۴۶-۷۶	۳۱-۴۶	۲۱-۳۱	۱۶-۲۱	۸-۱۶	۳-۸	کمتر از ۳	شیب (%)		۲
۱	۲	۳	۴	۵	۷	۸	۹	۱۰	رتبه		
گچساران		گوری		پابده		ایلام سروک		آسماری		سازند	
۵		۱		۱		۹		۱۰		رتبه	
لندفرم های نفوذی نادر				لندفرم های نفوذی بسیار				لندفرم عمده نفوذ			
۱				۱۰				رتبه			
Arenosols & Xerosols				Leptosols				نوع پوشش خاک			
۹				۱۰				رتبه			



شکل ۲. الف) نقشه ی ارتفاع در منطقه ی مورد مطالعه ب) نقشه ی شیب منطقه ی مورد مطالعه

عامل زمین‌شناسی به صورت نمایه‌ی لیتولوژی در پتانسیل‌یابی نفوذ اعمال شده است. به علت تاثیرگذاری شدید نوع سازند (سنگ) بر نفوذ آب و قابلیت متفاوت حفظ آب در سازندهای مختلف و همچنین امکان حفاری، این نمایه مد نظر قرار گرفته است. به علت اینکه سازندهای گورپی و پابده تقریباً سازند های نفوذناپذیر هستند و علاوه بر آن پتانسیل قابل توجهی نیز در ذخیره آب زیرزمینی ندارد؛ این سازندها کمترین تاثیر در نظر گرفته شده‌اند. در تاقديس کوه سفید، سازندهای آهکی آسماری و ایلام- سروک به عنوان مناطق هدف انتخاب شده‌اند و سازندهای اطراف تاقديس کنار گذاشته شده‌اند. این لایه اطلاعاتی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران و تصویر<sup>+</sup> ETM ماهواره LANDSAT 7 در نرم افزار Arc GIS تهیه گردید (شکل ۳ الف).

عامل ژئومورفولوژیکی به صورت نمایه لندفرم های نفوذ عمده است که تأثیر مهمی در میزان تغذیه در منطقه دارد. معمولاً در مناطقی که این گونه سیماهای کارستی مثل سینک هول یا دولین وجود دارند، میزان و نرخ نفوذ بالایی وجود دارد و تغذیه معمولاً به صورت نقطه ایی صورت می گیرد. هرچه این نمایه بیشتر باشد احتمال نرخ بالای تغذیه بیشتر است. پس مناطقی که دارای لندفرم های نفوذ عمده باشد اهمیت بیشتری دارد. این لایه اطلاعاتی با استفاده از پیمایش صحرایی و همچنین تلفیق و Overlay نقشه های شیب و سنگ‌شناسی در نرم افزار Arc GIS تعیین می شود (شکل ۳ ب).



شکل ۳. الف) نقشه ی لیتولوژی منطقه ی مورد مطالعه ب) نقشه ی لنفورم های نفوذ عمده در منطقه ی مورد مطالعه

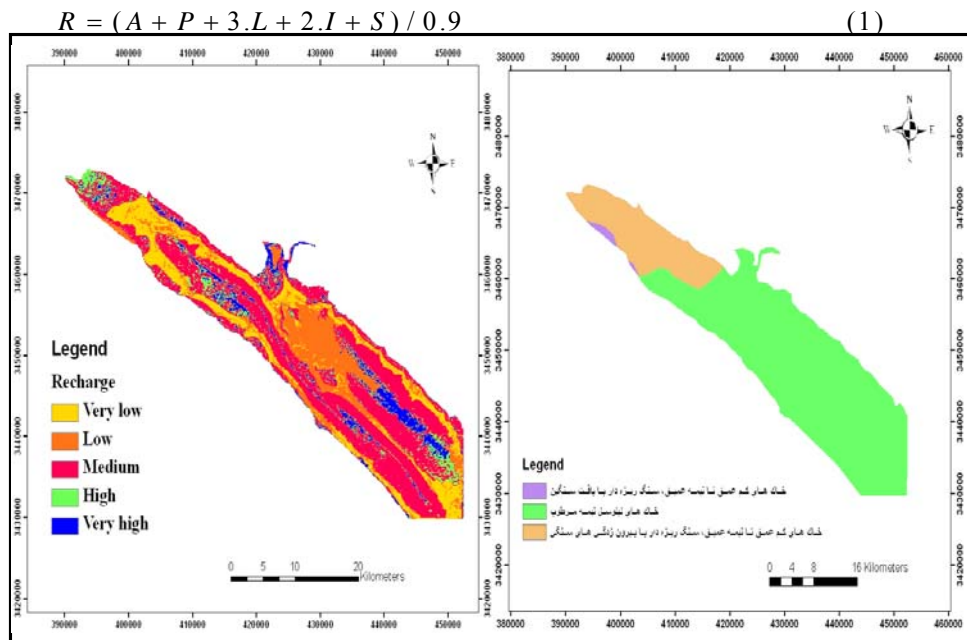
عامل خاک شناسی به صورت نمایه ی انواع خاک می باشد که درواقع انواع خاک بر اساس ویژگی های معمول از قبیل بافت و ضخامت طبقه بندی می شوند. در خاک های دارای بازشدگی های بزرگ، دارای بافت درشت دانه و نازک لایه مقدار تغذیه بیشینه است و بیشترین اهمیت را دارا می باشد و در مقابل خاک هایی که ضخیم و رسی اند تغذیه حداقل است و کمترین اهمیت را دارد (مؤسسه ی پژوهش های برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۱۳۸۴). این لایه به صورت لایه ی وکتوری از سازمان جهاد کشاورزی تهیه شده است و در نرم افزار Arc GIS این لایه به یک لایه ی رستری تبدیل شده است (شکل ۴ الف).

## ۲-۴- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

مرحله نهایی شامل تلفیق لایه های مؤثر در نفوذ و استخراج نقشه مکانی نفوذ میباشد. در این مرحله و در همپوشانی، لایه‌ها با وزن‌های متفاوتی تلفیق گردیده‌اند. در جدول شماره ۲ وزن مربوط به هر پارامتر ارائه گردیده است که بر اساس این وزن‌ها و مطابق فرمول شماره ۱ لایه‌ها با هم تلفیق گردیده‌اند. در این فرمول  $A$  = ارتفاع ،  $P$  = شیب ،  $L$  = سنگ شناسی ،  $I$  = لندفرم های نفوذ عمده و  $S$  = انواع خاک میباشد. بعد از انجام این فرایند نقشه توزیع مکانی تغذیه در محدوده تاقدیس کوه سفید حاصل آمد که این نقشه به صورت یک لایه رستری است که هر پیکسل آن دارای ارزش خاصی است که برابر مقدار تغذیه در آن پیکسل می باشد (شکل ۴-ب). نقشه ی توزیع مکانی تغذیه به پنج گروه تغذیه ی خیلی کم ، کم ، متوسط ، زیاد ، خیلی زیاد کلاسه‌بندی شدند.

جدول ۲. وزن‌های داده شده به لایه‌های مورد نظر

پارامتر	سنگ شناسی	شیب	ارتفاع	لندفرم‌های مؤثر در نفوذ	نوع خاک
وزن	۳۷/۵	۱۲/۵	۱۲/۵	۲۵	۱۲/۵



شکل ۴. الف) نقشه خاکشناسی در منطقه مورد مطالعه ب) نقشه توزیع مکانی تغذیه روش APLIS

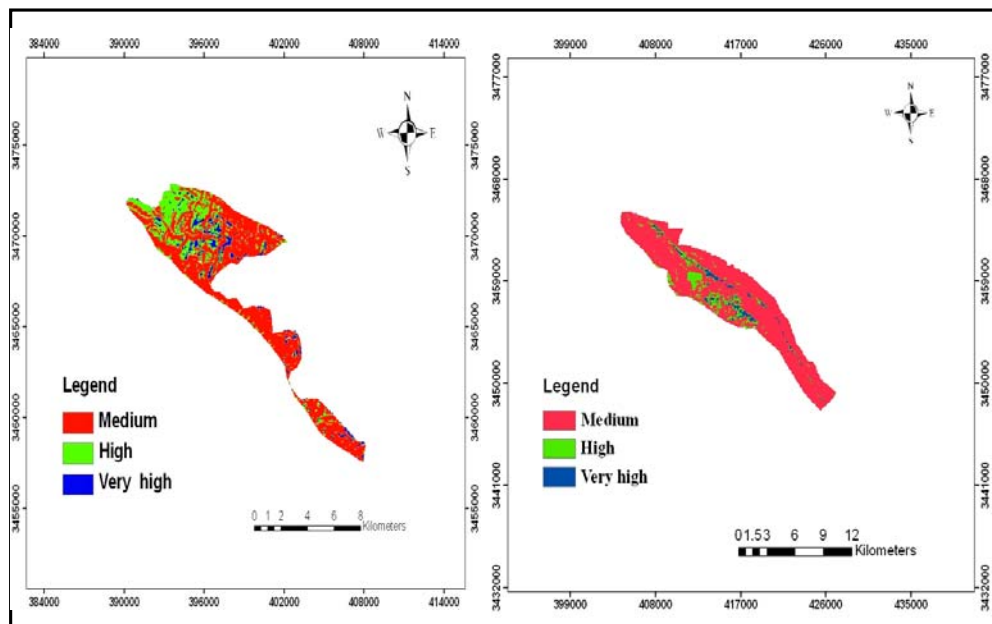
همانطور که در شکل ۴-ب دیده می شود مناطقی که میزان تغذیه خیلی کم و کم دارند در سازندهای نفوذ ناپذیر پایده -گورپی قرار دارند و سازندهای آسماری و ایلام سروک که سازندهای کارستی تاقدیس کوه سفید می باشند دارای تغذیه ی متوسط تا خیلی زیاد می باشند. همچنین در محور تاقدیس به علت پهن شدگی و

شیب کم میزان تغذیه خیلی زیاد دیده می شود. در جدول ۳ درصد مساحت و مساحت هر بازه تغذیه ارائه گردیده است.

جدول ۳. درصد مساحت و مساحت بازه های تغذیه در روش APLIS

بازه های تغذیه	مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)
خیلی کم	۱۷/۶	۱۲۷/۲۱
کم	۱۷/۹	۱۲۹/۴۵
متوسط	۴۸/۷	۳۵۰/۹۵
زیاد	۷/۴	۵۲/۱۴
خیلی زیاد	۸/۴	۶۰/۸۴

در روش APLIS میزان تغذیه خیلی کم (۰ تا ۲۰٪)، کم (۲۰ تا ۴۰٪)، متوسط (۴۰ تا ۶۰٪)، زیاد (۶۰ تا ۸۰٪) و خیلی زیاد (۸۰ تا ۱۰۰٪) از کل بارش قلمداد گردیده است. بعلاوه محققین دیگری نیز تلاش کرده اند تا وزن این کلاس های نسبی تغذیه را ارائه دهند از جمله (Levent Tezcan & Mehmet Ekmekci, 2002) که به ترتیب وزن های ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ را به ترتیب به بازه های تغذیه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد اختصاص داده اند. برای تبدیل بازه های نسبی نفوذ به یک میزان کمی و به عنوان درصدی از بارش سالیانه از وزن های نسبی فوق و محاسبه بیلان در حوضه آبرگیر چشمه های برم جمال و پوتو استفاده گردیده است. در شکل ۶ میزان تغییرات مکانی میزان تغذیه در حوضه آبرگیر این دو چشمه ارائه گردیده است و در جدول ۴ نتایج مربوط به مساحت و درصد مساحت قرار گرفته در هر بازه نفوذ ارائه گردیده است.



شکل ۵. الف) نقشه ی توزیع مکانی تغذیه در حوضه ی آبرگیر چشمه ی پوتو (آبخوان ایلام - سروک) ب) نقشه ی توزیع مکانی تغذیه در حوضه ی آبرگیر چشمه برم جمال (آبخوان آسماری)

جدول ۵. تغذیه به صورت درصدی از بارش در بازه های تغذیه در حوضه آبرگیر چشمه پوتو

مساحت (درصد)		مساحت (کیلومتر)		تغذیه (درصدی از بارش)		بازه تغذیه
برم جمال	پوتو	برم جمال	پوتو	برم جمال	پوتو	
۰	۰	۰	۰	۸/۶	۸/۷	خیلی کم
۰	۰	۰	۰	۲۵/۸	۲۱/۲	کم
۶۶/۵	۷۴	۳۲/۶	۶۴/۸	۴۲/۹	۴۳/۵	متوسط
۲۵/۹	۱۵	۱۲/۷	۱۳/۲	۶۰/۱	۶۰/۹	زیاد
۷/۶	۱۱	۳/۷	۹/۵	۷۷/۳	۷۸/۳	خیلی زیاد

### نتیجه گیری :

شاخص های ارزیابی میزان نرخ و توزیع مکانی نفوذ در منطقه مورد مطالعه، شامل ارتفاع، شیب، لندفرم های نفوذ عمده، لیتولوژی و انواع خاک می باشد. سنگ شناسی (با ۳۷/۵٪) و لندفرم های نفوذ عمده (با ۲۵٪) در روش APLIS بیشترین وزن تاثیر در نفوذ را به خود اختصاص دادند که نشان دهنده اهمیت این متغیرها در تغذیه آب زیرزمینی می باشد. ۱۷/۶ درصد از مساحت تاقدیس کوه سفید دارای تغذیه خیلی کم، ۱۷/۹ درصد دارای تغذیه کم، ۴۸/۸ دارای تغذیه متوسط، ۷/۴ دارای تغذیه زیاد و ۸/۴ دارای تغذیه خیلی زیاد می باشد. مناطق با میزان تغذیه خیلی کم و کم، در سازند های نفوذ ناپذیر پایده - گورپی قرار گرفته است و سازندهای آسماری و ایلام سروک که سازندهای کارستی ناقص کوه سفید می باشند دارای تغذیه متوسط تا خیلی زیاد می باشند. همچنین در محور تاقدیس به علت پهن شدگی و شیب کم میزان تغذیه خیلی زیاد دیده می شود. در آبخوان ایلام - سروک تغذیه خیلی کم و کم وجود ندارد و تغذیه متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب برابر ۴۳/۵، ۶۰/۹ و ۷۸/۳ درصد از بارش است. در آبخوان آسماری تغذیه خیلی کم و کم وجود ندارد و تغذیه متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب برابر ۴۲/۹، ۶۰/۱ و ۷۷/۳ درصد از بارش می باشد. با توجه به محدودیت های منابع آب و رشد جمعیت در استان خوزستان نیازهای منابع آبی افزایش یافته است. در نتیجه مردم این استان برای تامین آب آشامیدنی با مشکلات فراوانی مواجه می باشند، مناطق پیشنهادی می تواند مکان های مناسب برای استخراج آب زیرزمینی را معرفی کند.

### منابع فارسی :

- آقابات، س. ع.، (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ص ۳۸۳-۳۹۳.
- مؤسسه ی پژوهش های برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی، (۱۳۸۴)، خاک (کتاب اول شناخت وضع موجود و منابع). انتشارات مؤسسه ی پژوهش های برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی. ص ۱۳۸-۱۴۵.

### References:

- Andreo, B. & J. Vías & J. J. Durán & P. Jiménez & J. A. López-Geta & F. Carrasco . (2008) "Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers: application to pilot sites in southern Spain" Hydrogeology Journal (2008) 16: 911-925
- Kinzelbach W., Aeschbach W., Alberich C., Goni I.B., Beyerle U., Brunner P., Chiang W.-H., Rueedi J., and Zoellmann K. (2002) *A Survey of Methods for Groundwater Recharge in Arid and Semi-arid regions*. Early Warning and Assessment Report Series , United Nations Environment Programme, 101 pages
- Tezcan, L & Ekmekci , M . (2004) "Surface cover infiltration index: a suggested method to assess infiltration capacity for intrinsic vulnerability in karstic areas in absence of quantitative data" Int. J. Speleol., 33 (1/4), 2004: 35-48