





دانشکده علوم زمین
گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی
پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

ارزیابی تغذیه آهک‌های کارستی سازند بیستون (شرق و جنوب شرق
روانسر)

دانشجو:

زینب نجفی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

استاد مشاور:

دکتر عزیزا... طاهری

تیر ۱۳۹۲

تقدیم به بهترینهای زندگیم

به مهربان مادر و کرالتقدیر پدرم

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس و درود پروردگار یکتا را، خدایی را که لطف بی کرانش، همواره شامل حال بندگانش و از جمله بنده حقیر بوده است. بی شک انجام این تحقیق بدون همراهی بزرگوارانی که همواره در طی مسیر مریادی نمودند، میسر نبود. در این راه خود را مدیون اساتید بزرگوار می دانم که علم و اخلاق را به من آموختند. از زحمات بی دریغ استاد عزیز و کرانه درم جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی که راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و بارهائی و مساعدت های ارزنده خود در تمامی مراحل این پژوهش و تسوالت مریادی نمودند تشکر و قدردانی می نمایم. مراتب قدردانی خود را از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر عزیزانه طاهری که افتخار استفاده از مشاوره ایشان را در این پایان نامه داشته ام، ابراز می دارم. بر خود لازم می دانم از جناب آقایان دکتر جعفری و دکتر امامتقلی زاده که داوران این پایان نامه را پذیرفتند سپاسگزار باشم. از بھکاری و مساعدت تمامی اساتید محترم دانشکده و همچنین کارمندان محترم دانشکده علوم زمین و دانشگاه (خصوصاً سرکار خانم مهندس فارسی، سرکار خانم مهندس سعیدی و آقایان مهندس خانعلی زاده و مهندس میرباقری) و نیز از سازمان فضایی کل کشور که تصاویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه را در اختیار اینجانب قرار دادند و از کارکنان محترم شرکت آب منطقه ای کردستان و کرمانشاه، به ویژه جناب آقای مهندس محسنی پور تقدیر و تشکر می نمایم.

قدردانی می کنم از والدین کرانه درم که سایه پر مهر و دعای خیرشان همواره آرامش بخش لحظات نگرانی و سخت زندگی من بوده است. از خانواده بزرگوارم به ویژه برادران عزیزم بهمن و حکمت و خواهر مهربانم فاطمه و خانواده شان، به خاطر تمامی زحماتی که متقبل شدند تشکر می کنم. از دوستان خوبم خانم مکیان، رحمتی، غلامی، محمدی، اسکندری، کوشکی، مشکوه، رحیمی، پورعلیزاده، گلچلی، اشرفیان، یوسفی کیا، صادقان و سایر دوستانم که همیشه حضور گرمشان را در کنارم نمونه بارز لطف خداوندگار می دانم کمال تشکر و قدردانی را دارم.

زینب نجفی

تیرماه ۱۳۹۲

چکیده

هدف اساسی در این تحقیق برآورد میزان تغذیه سالانه در آهک‌های کارستی شرق و جنوب‌شرق روانسر در استان کرمانشاه است. منطقه مورد نظر در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 40'$ تا $46^{\circ} 57'$ طول شرقی $34^{\circ} 35'$ و تا $34^{\circ} 48'$ عرض شمالی در زون زاگرس مرتفع قرار گرفته است. این منطقه کوهستانی و حاوی آهک‌های کارستی توسعه یافته می‌باشد. در این مطالعه از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ارزیابی میزان تغذیه استفاده شده است. برای این منظور اقدام به تهیه ۹ لایه اطلاعاتی شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، تراکم خطواره، تراکم آبراهه، بارش، تراکم پوشش گیاهی، پوشش خاک منطقه و لایه عوارض کارستی گردید. پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی جهت انجام مراحل ارزش‌دهی و وزن‌دهی به پارامترهای مختلف و تصمیم‌گیری نهایی از چهار روش مختلف استفاده شد. روش‌های مورد استفاده شامل قضاوت کارشناسی، نسبی، تأثیرگذاری پارمترها و روش تحلیل سلسله مراتبی یا AHP است. سرانجام با تلفیق و هم‌پوشانی لایه‌های بدست آمده، مکان‌هایی با مقدار تغذیه مختلف حاصل گردید. نتایج بدست آمده از نقشه نهایی، حاکی از این است که مقدار تغذیه میانگین به دست آمده از چهار روش، $0/64$ است. براساس میانگین نرخ نفوذ به دست آمده و میانگین بارش سالانه منطقه، مقدار تغذیه سالانه در آهک‌های مورد مطالعه، حدود ۷۷ میلیون مترمکعب برآورد شده است.

کلمات کلیدی: تغذیه، نرخ نفوذ، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، روانسر، کرمانشاه، AHP، روش

نسبی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست شکل‌ها.....	۵
فهرست جداول‌ها.....	ح
فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق.....	۱
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه.....	۱
۳-۱- آب و هوای منطقه.....	۲
۴-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۶
۱-۴-۱- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۷
۲-۴-۱- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه.....	۱۱
۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه.....	۱۱
۶-۱- هیدرولوژی منطقه.....	۱۳
۷-۱- هیدروژئولوژی منطقه.....	۱۵
فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده در خصوص برآورد تغذیه.....	۱۷
۱-۲- مقدمه.....	۱۷
۱-۱-۲- اثرهای آب نفوذی.....	۱۸
۲-۲- روش‌های برآورد تغذیه.....	۲۰
۱-۲-۲- روش‌های استفاده شده در مطالعات آب سطحی.....	۲۱
۲-۲-۲- روش‌های مورد استفاده در زون غیر اشباع.....	۲۶
۳-۲-۲- روش‌های استفاده شده در زون غیر اشباع – اشباع.....	۲۶

۳۳.....	۴-۲-۲- روش‌های استفاده شده در زون اشباع.....
۳۳.....	۵-۲-۲- استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی.....
۳۶.....	۶-۲-۲- سایر روش‌ها.....
۳۷.....	۳-۲- ارزیابی حدود درصد نفوذ سالانه در کارست‌های مناطق مختلف.....
۳۸.....	فصل سوم: روش انجام کار.....
۳۸.....	۱-۳- جمع‌آوری آمار و اطلاعات و نقشه‌های منطقه مورد مطالعه.....
۴۰.....	۲-۳- تولید و ساخت لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از لایه‌های اطلاعاتی ورودی.....
۴۱.....	۳-۳- طبقه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی.....
۴۱.....	۴-۳- امتیازدهی لایه‌های اطلاعاتی.....
۴۱.....	۵-۳- هم‌پوشانی و تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه معیار.....
۴۲.....	۱-۵-۳- وزن‌دهی کارشناسی.....
۴۲.....	۲-۵-۳- وزن‌دهی نسبی.....
۴۲.....	۳-۵-۳- تأثیرگذاری پارامترها.....
۴۳.....	۴-۵-۳- روش مقایسه زوجی.....
۴۴.....	فصل چهارم: ارزیابی مقدار تغذیه در منطقه کارستی شرق و جنوب شرق روانسر
۴۵.....	۱-۱- مطالعات هیدروژئولوژیکی انجام شد.....
۴۵.....	۱-۱-۴- چشمه‌های موجود در منطقه.....
۴۸.....	۲-۱-۴- جهت حرکت آب زیرزمینی در دشتهای آبرفتی منطقه.....
۵۶.....	۲-۴- تحلیل و پردازش داده‌ها از طریق نرم‌افزار.....
۵۶.....	۱-۲-۴- تهیه لایه‌های اطلاعاتی.....

۶۹ ۲-۲-۴- هم‌مقیاس سازی لایه‌های اطلاعاتی

۷۰ ۳-۲-۴- وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی

۹۵ فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۹۵ ۱-۵- نتیجه‌گیری

۹۷ ۲-۵- پیشنهادها

۹۸ منابع

۱۰۳ پیوست

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت کلی و راه‌های دسترسی به منطقه..... ۳
- شکل ۲-۱- میانگین بارندگی ماهانه در ایستگاه‌های منطقه..... ۴
- شکل ۳-۱- پهنه‌های رسوبی- ساختاری عمده ایران..... ۸
- شکل ۴-۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۱۲
- شکل ۵-۱- تصویر سه بعدی منطقه مورد مطالعه ۱۳
- شکل ۶-۱- رودخانه‌های دائمی استان کرمانشاه و منطقه مورد مطالعه..... ۱۴
- شکل ۷-۱- محل قرار گیری چاه‌های حفر شده در اطراف منطقه..... ۱۶
- شکل ۱-۲- طرح شماتیکی از نقش عوارض کارستی در نفوذ..... ۱۹
- شکل ۲-۲- نمایش نفوذ متمرکز آب در مجاری کارستی..... ۲۰
- شکل ۳-۲- داده‌های مربوط به ردیاب تاریخی..... ۲۹
- شکل ۱-۳- مراحل مدلسازی برآورد نرخ نفوذ با استفاده از GIS..... ۳۹
- شکل ۱-۴- دبی چشمه‌های موجود در منطقه..... ۴۶
- شکل ۲-۴- موقعیت قرار گیری چشمه‌های منطقه و مقایسه دبی چشمه‌ها..... ۴۷
- شکل ۳-۴- محل قرار گیری چاه‌های مشاهده‌ای..... ۴۸
- شکل ۴-۴- نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه..... ۵۱
- شکل ۵-۴- نقشه هم افت منطقه در دوره ۱۰ ساله..... ۵۲
- شکل ۶-۴- هیدروگراف براساس افت منطقه به تفکیک مناطق..... ۵۳
- شکل ۷-۴- تغییرات سطح آب در بازه سال‌های ۷۹-۸۹..... ۵۵
- شکل ۸-۴- میانگین تجمعی تغییرات سطح آب آبخوان..... ۵۵
- شکل ۹-۴- لایه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه..... ۵۷
- شکل ۱۰-۴- نقشه مقدار شیب به درصد..... ۵۸
- شکل ۱۱-۴- نقشه جهت شیب توپوگرافی..... ۵۹
- شکل ۱۲-۴- شکستگی‌های موجود در آهک بیستون..... ۶۰

- شکل ۴-۱۳- نقشه تراکم خطواره‌ها..... ۶۱
- شکل ۴-۱۴- نقشه آبراهه ترسیم شده در نرم‌افزار Arc GIS..... ۶۲
- شکل ۴-۱۵- نقشه تراکم آبراهه در منطقه..... ۶۳
- شکل ۴-۱۶- نقشه قرار گیری محل ایستگاه‌های باران سنجی..... ۶۴
- شکل ۴-۱۷- نمودار ارتفاع بارش مربوط به منطقه مورد مطالعه..... ۶۴
- شکل ۴-۱۸- نقشه هم بارش منطقه..... ۶۵
- شکل ۴-۱۹- فروچاله مشاهده شده در منطقه..... ۶۶
- شکل ۴-۲۰- آثار انحلالی مشاهده شده در منطقه..... ۶۶
- شکل ۴-۲۱- مناطق با عوارض کارستی وسیع در محدوده مورد مطالعه..... ۶۷
- شکل ۴-۲۲- حضور آبی کارست در منطقه..... ۶۸
- شکل ۴-۲۳- دامنه‌های دارای پوشش خاک و ارتفاعات بدون خاک..... ۶۸
- شکل ۴-۲۴- نقشه لایه پوشش خاک منطقه..... ۶۸
- شکل ۴-۲۵- لایه پوشش گیاهی منطقه..... ۶۹
- شکل ۴-۲۷- لایه‌های تشکیل شده براساس نظر کارشناسی..... ۷۲
- شکل ۴-۲۸- لایه‌های تشکیل شده براساس نظر کارشناسی..... ۷۳
- شکل ۴-۲۸- لایه‌های تشکیل شده براساس نظر کارشناسی..... ۷۴
- شکل ۴-۲۹- لایه‌های تشکیل شده براساس نظر کارشناسی..... ۷۵
- شکل ۴-۳۰- لایه‌های تشکیل شده براساس نظر کارشناسی..... ۷۶
- شکل ۴-۳۱- ترسیم شماتیک اثرگذاری پارامترهای انتخابی بر هم..... ۷۷
- شکل ۴-۳۲- لایه‌های تشکیل شده براساس روش تأثیرگذاری پارامترها..... ۸۰
- شکل ۴-۳۳- لایه‌های تشکیل شده براساس روش تأثیرگذاری پارامترها..... ۸۱
- شکل ۴-۳۳- لایه‌های تشکیل شده براساس روش تأثیرگذاری پارامترها..... ۸۲
- شکل ۴-۳۴- لایه‌های تشکیل شده براساس روش تأثیرگذاری پارامترها..... ۸۳
- شکل ۴-۳۵- لایه‌های تشکیل شده براساس روش تأثیرگذاری پارامترها..... ۸۴

- شکل ۴-۳۷- لایه‌های تشکیل شده براساس روش مقایسه زوجی..... ۸۶
- شکل ۴-۳۸- لایه‌های تشکیل شده براساس روش مقایسه زوجی..... ۸۷
- شکل ۴-۳۹- لایه‌های تشکیل شده براساس روش مقایسه زوجی..... ۸۸
- شکل ۴-۴۰- لایه‌های تشکیل شده براساس روش مقایسه زوجی..... ۸۹
- شکل ۴-۴۱- لایه‌های تشکیل شده براساس روش مقایسه زوجی..... ۹۰
- شکل ۴-۴۲- نقشه نهایی ایجاد شده در هر روش..... ۹۱
- شکل ۴-۴۳- نقشه نهایی ایجاد شده در هر روش..... ۹۲
- شکل ۵-۱- نقشه نهایی نفوذ منطقه..... ۹۶

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- میانگین بارندگی در ایستگاه‌های مجاور منطقه مورد مطالعه..... ۵
- جدول ۲-۱- طبقه‌بندی اقلیمی براساس معادله دمارتن..... ۶
- جدول ۱-۳- برخی از نرم‌افزارهای مورد استفاده و موارد کاربرد آن..... ۴۰
- جدول ۲-۳- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی..... ۴۳
- جدول ۱-۴- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع چشمه‌های اطراف منطقه مورد مطالعه..... ۴۵
- جدول ۲-۴- تقسیم‌بندی مناطق دارای تغییرات سطح آب در دوره ۱۰ ساله..... ۴۹
- جدول ۳-۴- تغییرات سطح آبخوان در هر سال..... ۵۴
- جدول ۴-۴- ارزش‌دهی به لایه‌های مختلف (روش کارشناسی)..... ۷۱
- جدول ۵-۴- وزن‌های اعمال شده به لایه‌های مختلف (روش نسبی)..... ۷۶
- جدول ۶-۴- وزن‌های اعمال شده به لایه‌های مختلف (روش تأثیرگذاری پارامترها)..... ۷۸
- جدول ۷-۴- مقادیر ارزش و وزن اعمال شده در روش مقایسه زوجی..... ۸۵
- جدول ۴-۸- درصد نفوذ محاسبه شده و مساحت هر رده..... ۹۳
- جدول ۱-۵- نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف..... ۹۶

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

سنگ های آهکی از مهم ترین تشکیل دهنده های سفره های آب زیرزمینی هستند، به گونه ای که آب شرب حدود ۲۵ درصد از جمعیت جهان را فراهم می کنند. در ایران بیش از ۱۱ درصد از سطح کشور را مناطق کارستی می پوشاند که این مقدار در کوه های زاگرس به حدود ۵۰ درصد هم می رسد (کرمی ۲۰۰۲). با توجه به کیفیت بسیار خوب آب این گونه سفره ها، مطالعه و تحقیق در روی چنین مناطقی جهت شناسایی هر چه بیشتر و بهره برداری صحیح و در نتیجه مدیریت مناسب این آبخوان ها دارای اهمیت فراوان است. یکی از اطلاعات مهمی که برای مدیریت این آبخوان ها ضروری است، برآورد میزان نفوذ در این آبخوان ها است.

در شرق و جنوب شرق شهر روانسر، در استان کرمانشاه، رخنمون قابل ملاحظه ای از سنگ های آهکی، تحت عنوان آهک های بیستون وجود دارد. با عنایت به اینکه این آهک ها کارستی شده اند آب قابل توجهی در این کارست ها جریان دارد. شاهد این مدعا وجود چشمه های فراوان با آبدهی قابل توجه در اطراف این مناطق است. از آنجایی که تاکنون مطالعه جامعی در خصوص برآورد مقدار نفوذ در کارست های منطقه مذکور صورت نگرفته است، در این مطالعه سعی شده است که با بررسی وضعیت هیدروژئولوژیکی منطقه، میزان تغذیه سالانه در آهک های مورد نظر مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

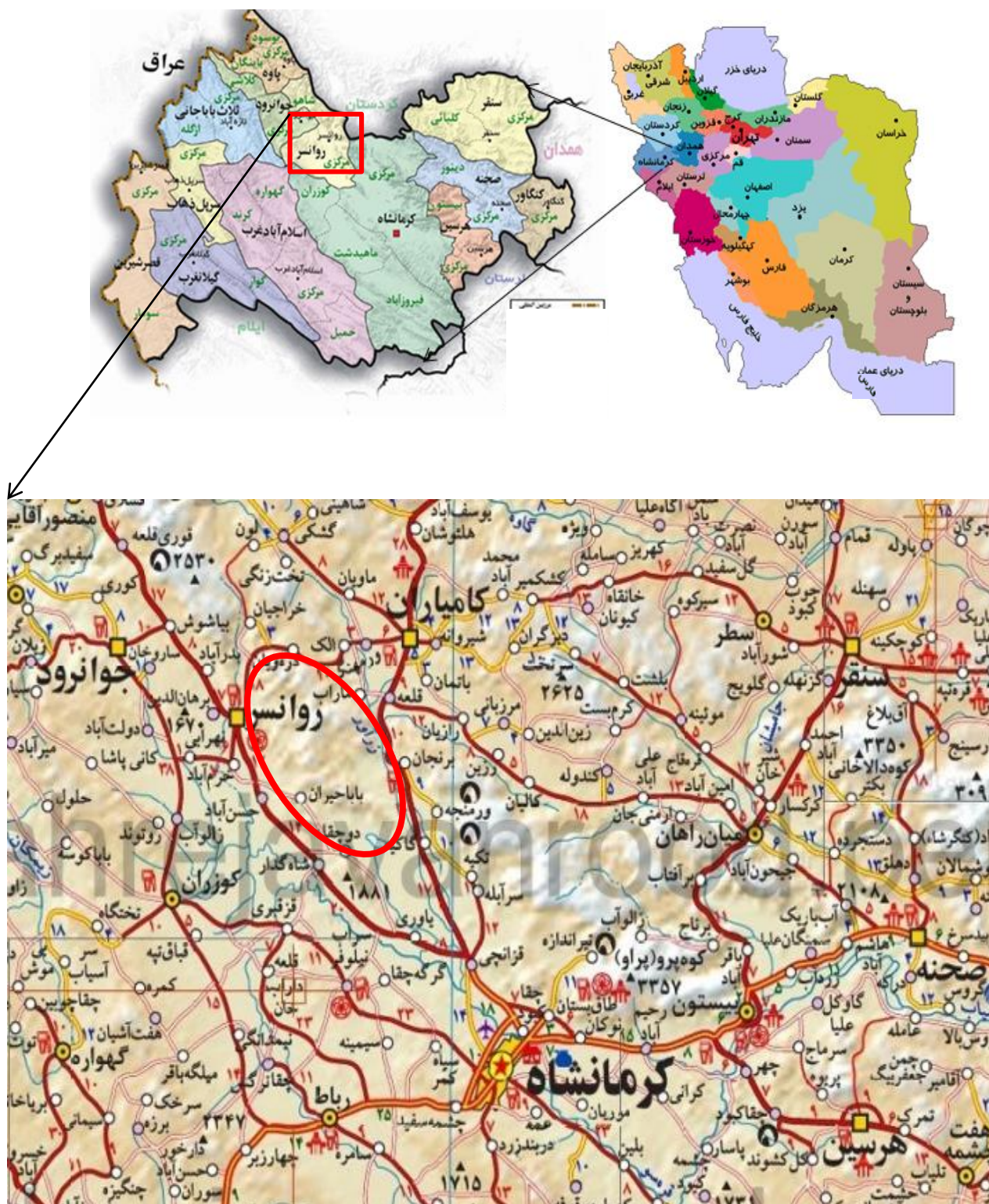
منطقه مورد مطالعه در غرب ایران، در استان کرمانشاه و در محدوده ای با مختصات جغرافیایی $34^{\circ} 48'$ تا $34^{\circ} 35'$ و $46^{\circ} 57'$ تا $46^{\circ} 40'$ طول شرقی و عرض شمالی در زون زاگرس مرتفع قرار

گرفته است. این منطقه که کوهستانی و حاوی آهک های کارستی توسعه یافته می باشد، دارای وسعتی حدود ۲۵۰ کیلومتر مربع است. مرز شمالی منطقه منطبق بر جاده روانسر به سمت کامیاران است، مرز غربی و شرقی آن به ترتیب جاده کرمانشاه به سمت روانسر و کرمانشاه به سمت کامیاران می باشد. منطقه مورد مطالعه بین جاده های کرمانشاه به کامیاران و کرمانشاه به روانسر محصور است، و راه های دسترسی به منطقه هم از طریق همین جاده ها میسر می باشد (شکل ۱-۱).

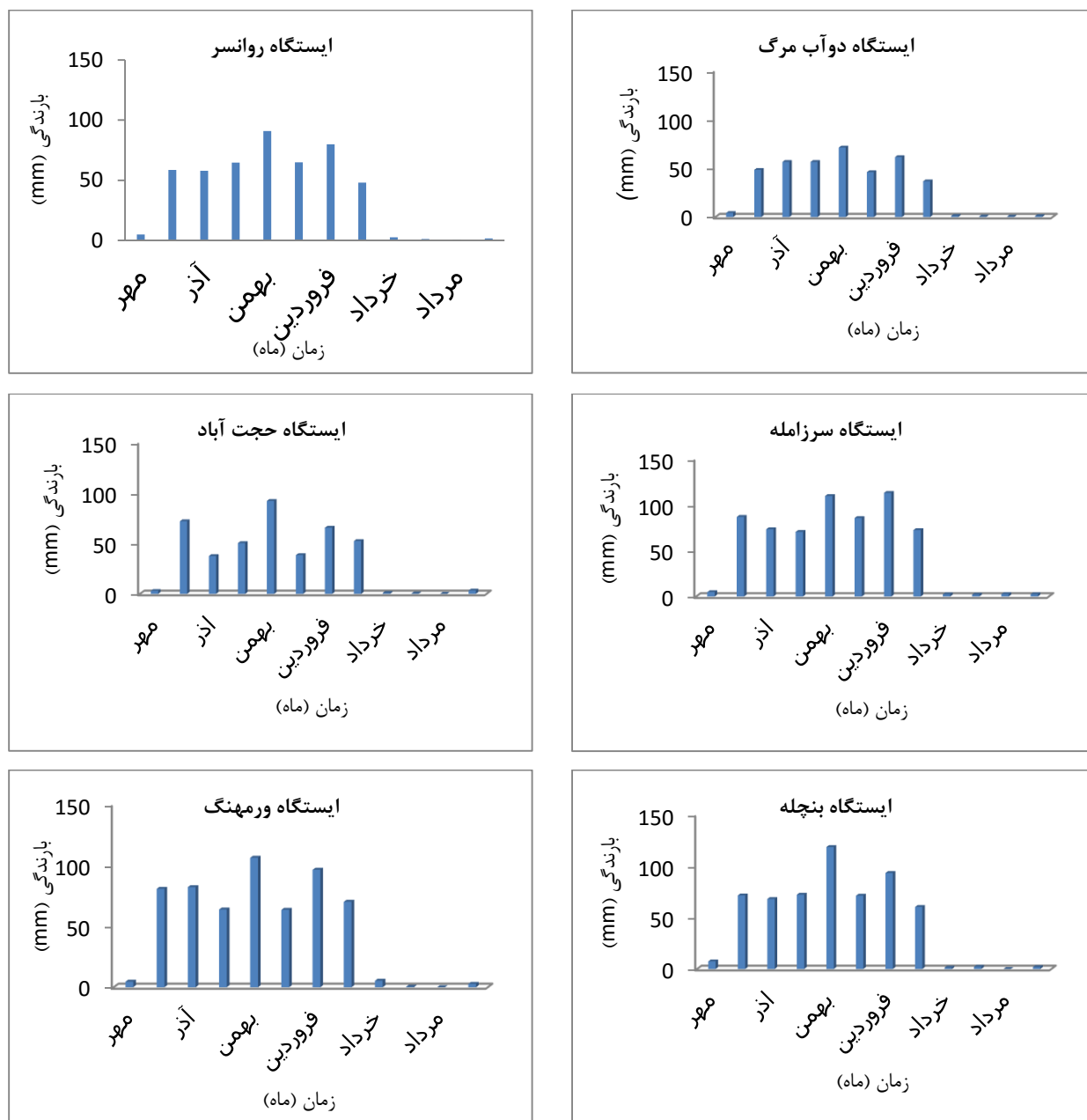
۳-۱- آب و هوای منطقه

به منظور بررسی آب و هوای منطقه از آمار ایستگاه های باران سنجی بنچله، حجت آباد، سرزامله، ورمهنگ، دوآب مرگ و روانسر استفاده شده است. ایستگاه کرمبست هم از ایستگاه های مجاور منطقه مورد مطالعه است اما از آنجایی که از یک طرف، دارای ارتفاع بیش تر و در عین حال بارندگی کم تر نسبت به ایستگاه های ذکر شده است، و از طرف دیگر، ایستگاه های باران سنجی اطراف به تعداد کافی موجود است، ایستگاه کرمبست حذف گردید (جدول ۱-۱). به دلیل فقدان اطلاعات در برخی از سال ها در ایستگاه های مختلف، جهت همسان سازی داده ها برای ایستگاه های روانسر، بنچله، دوآب مرگ و کامیاران از داده های ۱۰ ساله (از سال آبی ۷۹-۸۰ تا سال ۸۹-۹۰) و برای ایستگاه حجت آباد و سرزامله از سال ۸۲-۸۳ و ۸۱-۸۲ استفاده شده است. بر این اساس برای ایستگاه روانسر متوسط بارندگی ماهانه بین صفر تا ۱۰۴/۷ میلیمتر در سال متغیر است که به ترتیب مربوط به ماه های مرداد و بهمن است. متوسط بارندگی ماهانه برای ایستگاه دوآب مرگ برای دوره ۱۰ ساله از ۰/۲۷ تا ۷۹/۹۵ میلیمتر بر سال اندازه گیری شده است که به ترتیب مربوط به ماه های مرداد و بهمن است. مقدار متوسط بارندگی ایستگاه بنچله بین صفر تا ۱۲۵ میلیمتر و ایستگاه حجت آباد صفر تا ۹۲/۲۸ برای ماه های مشابه است.

متوسط بارندگی اندازه گیری شده در ایستگاه سرزامله برای ماه های تیر و فروردین بین صفر تا ۱۱۳ است و در نهایت ایستگاه کامیاران دارای حداقل بارش صفر در ماه مرداد و حداکثر بارش در بهمن ماه برابر ۱۰۶/۲۵ می باشد.



شکل ۱-۱- موقعیت کلی و راه های دسترسی به منطقه



شکل ۱-۲- میانگین بارندگی ماهانه در ایستگاه‌های منطقه

مقدار بارندگی متوسط سالانه برای ایستگاه‌های مذکور برابر است با ۴۹۱/۷، ۴۰۴/۳، ۶۲۰، ۴۱۷/۱، ۵۷۴/۴، ۶۲۵/۵ به ترتیب برای ایستگاه‌های روانسر، دوآب مرگ، بنچله، حجت آباد، سرزامله و ورمهنگ است.

جدول ۱-۱- میانگین بارندگی در ایستگاه های مجاور منطقه مورد مطالعه

ماه	مقدار بارندگی (mm) در ایستگاه های منطقه					
	روانسر	دوآب مرگ	بنچله	حجت آباد	سرزامله	ورمهنگ
فروردین	۷۸/۲	۶۵/۷	۹۹/۵	۶۵/۸	۱۱۳	۹۶/۳
اردیبهشت	۵۴	۴۰/۳	۶۹/۱	۵۲/۵	۷۲/۵	۷۰/۱
خرداد	۲/۶	۱/۶	۱/۵	۱	۲/۴	۵/۳
تیر	۰/۵	۰/۳	۱/۴	۰/۴	۲	۰/۴
مرداد	۰	۰/۳	۰	۰	۲/۵	۰
شهریور	۲/۴	۱/۴	۲/۲	۳/۳	۲/۵	۲/۷
مهر	۵/۴	۴/۱	۸/۷	۲/۹	۴/۸	۴/۶
آبان	۶۸	۴۹/۳	۷۵/۴	۷۲/۲	۸۶/۸	۸۰/۶
آذر	۶۲/۳	۶۳/۶	۷۸/۶	۳۷/۶	۷۳/۳	۸۲
دی	۵۷/۷	۵۶/۴	۷۲	۵۰/۵	۷۰/۵	۶۳/۷
بهمن	۱۰۴/۷	۷۹/۹	۱۲۵	۹۲/۳	۱۰۹/۶	۱۰۶/۲
اسفند	۵۵/۹	۴۱/۴	۷۷/۶	۳۸/۶	۸۵/۶	۶۳/۵
میانگین سالانه	۴۹۱/۷	۴۰۴/۳	۶۲۰	۴۱۷/۱	۶۲۵/۵	۵۷۵/۴

به منظور تعیین اقلیم منطقه از روش دمارتن استفاده شده است. دمارتن (De Martonne) جهت تعیین اقلیم فرمول زیر را ارائه داده است (علیزاده ۱۳۸۶).

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad ۱-۱$$

در این فرمول P متوسط بارندگی سالانه (mm)، T متوسط دمای سالانه (°C) و I ضریب خشکی

دمارتن می باشد، براساس این طبقه بندی شش نوع آب و هوا طبقه بندی شده که در جدول (۱-۲) ارائه شده است. مقدار I برای منطقه شرق و جنوب شرق روانسر برابر است با $20/78$ بوده که بر این اساس دارای آب و هوای مدیترانه ای می باشد.

جدول ۱-۲- طبقه بندی اقلیمی براساس معادله دمارتن (نقل از علیزاده ۱۳۸۶)

نام اقلیم	محدوده شاخص خشکی دمارتن (I)
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ تا ۱۸/۹
مدیترانه ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگ تر از ۳۵

۴-۱- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

با توجه به عوامل مختلف از جمله نوع پوسته (قاره ای یا اقیانوسی)، شرایط حاکم بر حوضه های رسوبی گذشته، رخساره های متفاوت، تحولات زمین ساختی، ماگماتیسم و دگرگون، ایران به پهنه های مختلف رسوبی- ساختاری مختلف تقسیم شده است.

زاگرس و یا ایران جنوبی در واقع زمین های واقع در جنوب باختری زمین درز تتیس جوان را شامل می شود که در برگیرنده ارتفاعات غرب و جنوب غرب ایران (زاگرس) است. درباره مرز شمال شرقی زاگرس زمین شناسان اتفاق نظر ندارند، برخی بخش شمال شرقی زاگرس را پیچیده و حاوی سنگ های دگرگونی می دانند و از آن به عنوان زون سنندج - سیرجان نام می برند، برخی دیگر مانند فرهودی (۱۹۷۸) و علوی (۱۹۹۴) مرز شمال خاوری زاگرس را کمربند آتشفشانی ارومیه - بزمان می دانند، اما در بسیاری از گزارش های زمین شناسی از جمله آقائاتی (۱۳۷۹) و برخی دیگر از جمله اشتوکلین (۱۹۶۸)، بربریان (۱۹۸۱) و افتخارنژاد (۱۳۵۹) با توجه به تحولات زمین ساختی ماگماتیسم و

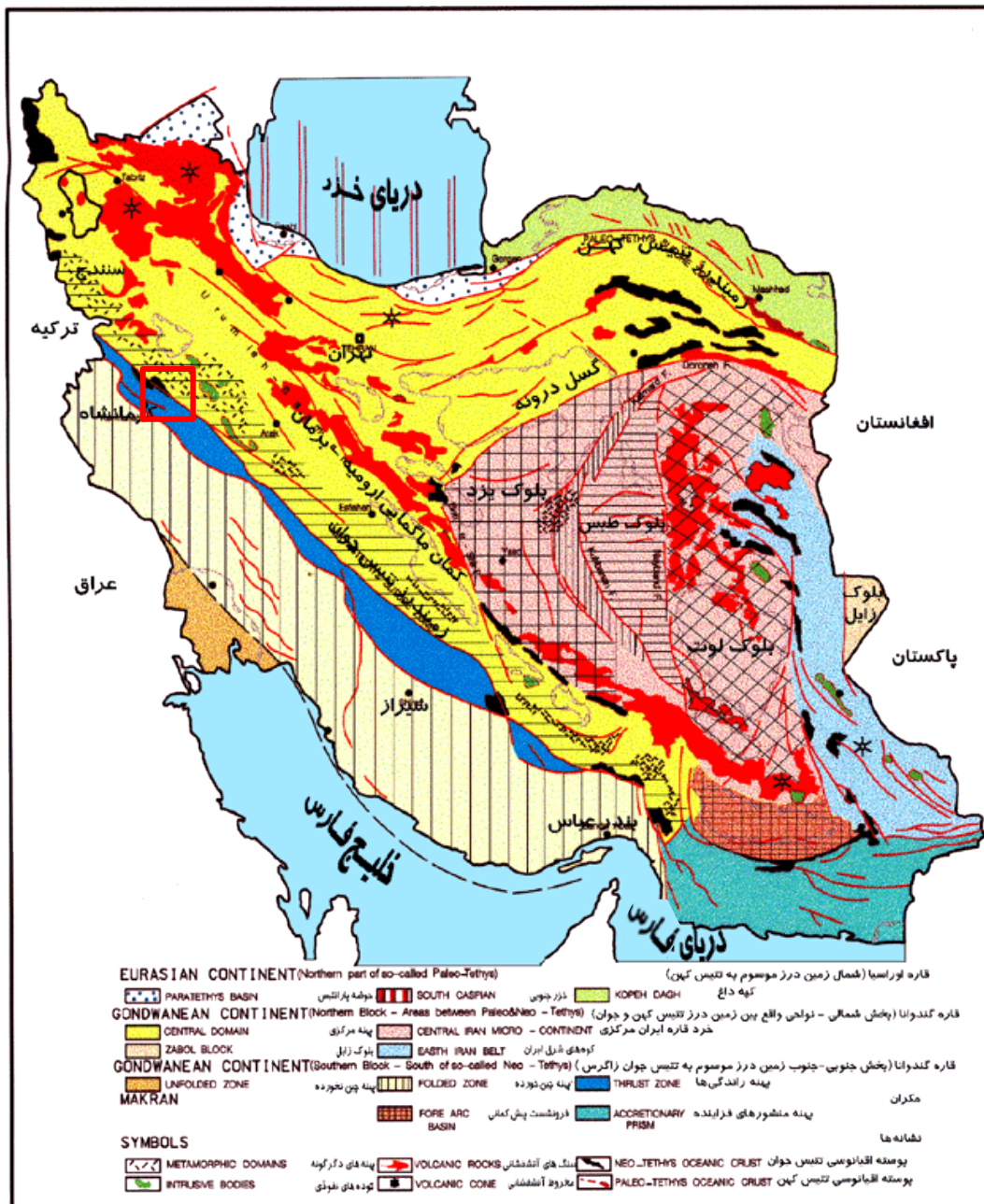
دگرگونی و شرایط رسوبی متفاوت، مرز شمال شرقی این پهنه را منطبق بر راندگی اصلی زاگرس می-داندند (آقانباتی ۱۳۸۳). زاگرس از جنوب به وسیله گسل زندان از حوضه مکران جدا می-شود، در سمت شمال غرب، زاگرس را تا ارتفاعات غرب عراق و جنوب غرب ترکیه می-داندند و از سمت جنوب و جنوب غرب با کمی تغییر در رخساره های گسلی و الگوی ساختاری تا خلیج فارس و سکوی عربستان ادامه دار می-داندند. زاگرس از جنبه های مختلف تقسیم بندی شده است، از نظر جغرافیایی، زاگرس به نواحی لرستان، خوزستان و فارس تقسیم شده است؛ از نظر زمین ریخت شناسی نیز شامل زاگرس مرتفع (زاگرس داخلی)، زاگرس چین خورده (زاگرس بیرونی) و دشت خوزستان می-باشد و از نظر الگوی ساختاری از شمال شرق به جنوب غرب شامل زون راندگی ها، کمربند چین خورده، فروافتادگی دزفول و دشت آبادان می-باشد. جهت بیان ویژگی های عمومی زاگرس از تلفیق دو دیدگاه زمین ریخت شناسی و ساختاری کمک می-گیرند و زاگرس را به زیرپهنه زون راندگی و زاگرس چین خورده تقسیم می-کنند (مطیعی ۱۳۷۲). منطقه مورد نظر در این کار، در زیرپهنه راندگی و یا زاگرس مرتفع قرار دارد، این زون به پهنای ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر به صورت یک نوار بلندترین قسمت کوه های زاگرس را شامل می-شود (شکل ۱-۳).

زاگرس داخلی، زون خرد شده، زون راندگی های هم پوشان از دیگر نام هایی است که به این بخش اطلاق می-شود، بخش زاگرس مرتفع دارای بیشترین نرخ بالا آمدگی، بیشترین بارندگی و خشن ترین توپوگرافی نسبت به قسمت های دیگر زاگرس است؛ این کمربند نواری شکل دارای گسل های متعدد است که عمدتاً به صورت معکوس عمل می-کنند.

این منطقه در نیمه شمال غربی نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه، و تقریباً در مرکز نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران قرار می-گیرد.

۱-۴-۱- چینه شناسی منطقه مورد مطالعه

مهمترین واحدهای سنگی که در منطقه رخنمون دارد از قدیم به جدید شامل واحدهای آهکی ژوراسیک - کرتاسه، کرتاسه، الیگوسن - میوسن و کواترنر می-باشند. خصوصیات چینه نگاری این واحدها به شرح زیر است:



شکل ۱-۳- پهنه های رسوبی - ساختاری عمده ایران (آقاباتی ۱۳۸۳)

الف - واحد ژوراسیک کرتاسه

آهک بیستون

برش و مقطع تیپ این واحد در ناحیه بیستون توسط برود (Braud 1978) مطالعه شده و یکی از واحدهای اصلی در گستره مورد مطالعه محسوب می گردد، این واحد متشکل از آهک بوده و با همبری

غیرعادی بر روی رادیولاریت های کرمانشاه قرار گرفته است و در نقاط دیگر نیز مانند کوه شاهو در شمال غرب روانسر و کوه شیرز در جنوب شرق کرمانشاه (راه هرسین) رخنمون دارد. توالی چینه-شناسی آهک بیستون مشتق از واحدهای زیر می باشد (شرح نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه، ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران و مطیعی ۱۳۷۲):

بخش زیرین آهک های بیستون در پای دیواره نزدیک به دهکده کنشت (نزدیک کرمانشاه) برونزد دارد که بر روی رادیولاریت های کرمانشاه جای گرفته و شامل ۳۰۰ متر آهک با لایه بندی ضخیم و آهک-های توده ای و ریفی در بالاست. میکروفسیل های موجود در آن سن تریاس بالا را مشخص می کند. بر روی آهک های ریفی تریاس بالا ردیف های دولومیتی پدیدار می شود که توسط لایه های آهکی پوشیده می گردد، این آهک ها در آغاز لایه لایه بوده و سپس تبدیل به طبقات توده ای می شوند. با داشتن فسیل هایی مانند اوریتوسپلا سن لیاس را مشخص می کند (در مقطع تیپ بیستون در پای دیواره مجسمه سنگی قرار دارد).

ردیف های آهکی ژوراسیک میانی بدون هیچ گونه نبود رسوبی یا ناپیوستگی به آهک های ضخیم لایه به سمت بالا تبدیل می گردد. این آهک ها سازنده دیواره توده ای کوه بیستون است که بر روی آن نقش های برجسته ای از دوره هخامنشیان کنده کاری شده است.

رخساره های این واحد تناوبی از بیواسپارایت و آهک ریزدانه یا میکرایت است، در این واحدها فسیل-هایی مانند دوکفه ای، روزنه داران بنتونیک و شکم پایان مشاهده شده است.

رسوبات آهکی ژوراسیک بالا با همان رخساره به توالی کرتاسه زیرین تبدیل می شود به گونه ای که شناسایی این دو واحد از یکدیگر دشوار است، توالی کرتاسه به ارتفاع حدوداً ۲۵۰۰ متر دیواره اصلی و برجستگی های واحد آهک های بیستون را تشکیل می دهند. این واحد با داشتن فسیل هایی چون اکتیونوپورلا و کنئولینا سن کرتاسه زیرین را مشخص می کند.

افق های کرتاسه فوقانی آهک های بیستون در برش تیپ آن وجود نداشته بلکه در شمال روانسر شناسایی و مطالعه شده است. این افق شامل یک مجموعه آهکی با ستبرای ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر می باشد. این افق دارای میکروفسیل های گلوبوترونکانا با سن کرتاسه بالا بوده و با دگر شیبی آشکار توسط آهک های اولیگو میوسن پوشیده می شود.

ب- واحدهای کرتاسه

سازند ایلام

سازند آهکی ایلام برای اولین بار توسط جیمز و وایند (۱۹۶۵) در تنگ گراب در شمال غربی تاقدیس کبیرکوه در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر ایلام در ناحیه لرستان معرفی گردید. این سازند در محل مقطع نمونه شامل ۱۹۰ متر سنگ آهک خاکستری با لایه بندی متوسط تا نازک لایه همراه با میان لایه های شیلی است. سازند ایلام در ناحیه لرستان با رخساره پلاژیک، سرشار از الیگوسترینا و فرامینیفرهای پلانکتونی نظیر گلوبوترونکانا می باشد. این واحد در منطقه لرستان به سن سانتونین تا کامپانین بر روی سازند شیلی سورگاه قرار دارد و مرز بالایی آن با سازند شیلی گورپی مشخص می شود (مطیعی ۱۳۷۲).

آهک کرمانشاه

این واحد از سنگ آهک خاکستری روشن تا تیره، ریز تا درشت دانه، نازک تا ضخیم لایه (۲۰ سانتیمتر تا بیشتر از یک متر) تشکیل شده است. در این واحد رخساره های بایومیکرایت تا بایواسپارایت و پل میکرایت تا پل اسپارایت و فسیل های بنتیک و پلاژیک وجود دارد.

ج- واحدهای الیگومیوسن بالایی - میوسن

- واحد آهکی OM¹

آهک کرم رنگ متوسط لایه تا ضخیم لایه با یک کنگلومرای قاعده ای بر روی آهک های بیستون به صورت ناهم شیب قرار می گیرد. در این واحد ماکروفسیل های مرجان، خارپوستان و دوکفه ای ها یافت شده است.

د- واحدهای کواترنری

نهشته های کواترنری شامل آبرفت های جوان و واریزه ها هستند که در دامنه ها و در دشت های اطراف مشاهده می شود. در این دشت ها به دلیل داشتن ذخایر مناسب آب زیرزمینی و رونق کشاورزی چاه-

های فراوانی حفر شده است. علاوه بر آبرفت، رسوبات تراورتن نیز در منطقه مشاهده می شود، این رسوبات اغلب در اطراف چشمه ها و پای ارتفاعات آهک بیستون مشاهده می شود. در شکل (۱-۴) و پیوست (ب) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

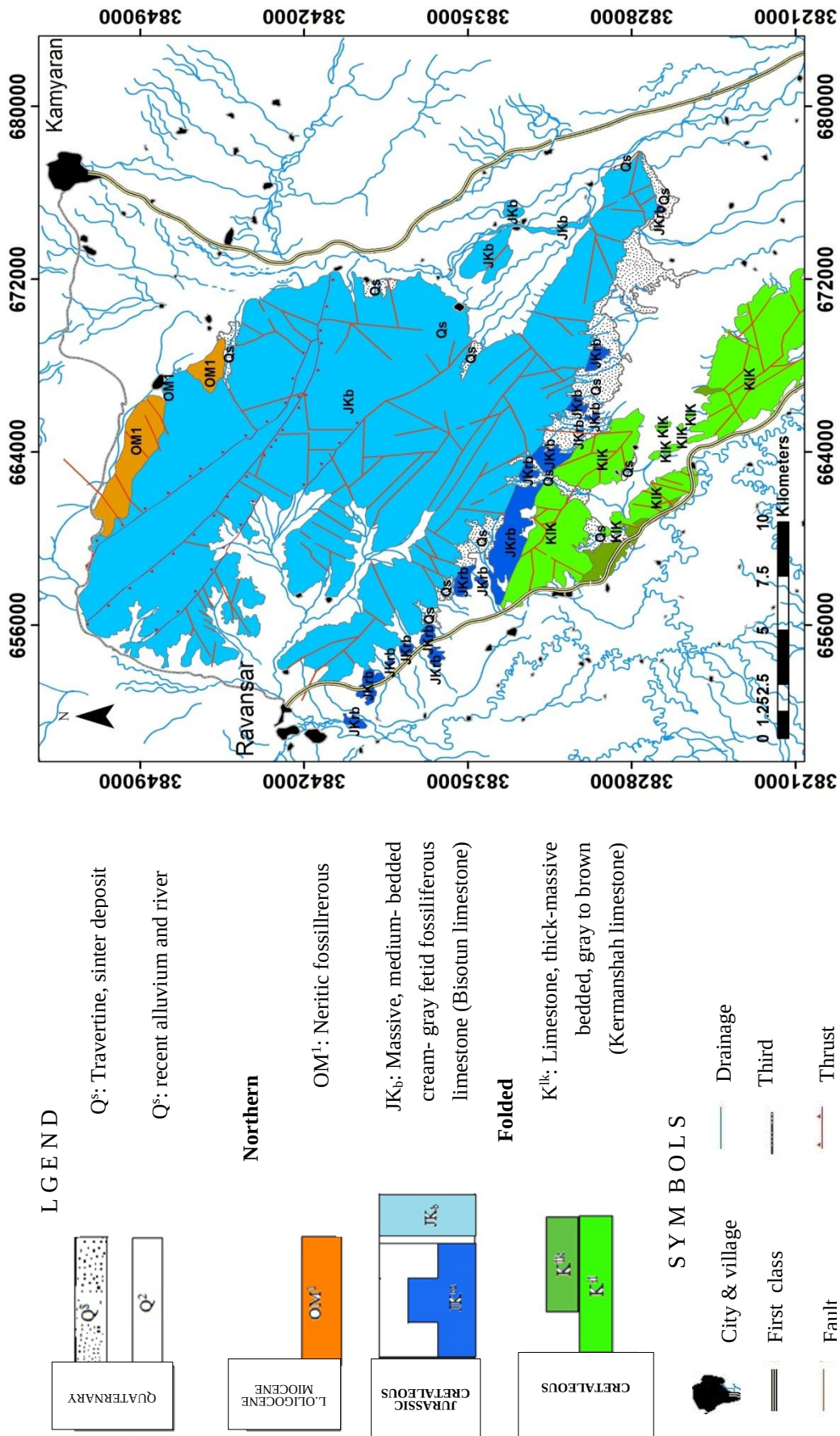
۱-۴-۲- زمین شناسی ساختمانی منطقه

منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس مرتفع واقع شده است و از لحاظ ساختاری تابع خصوصیات این زون است. این زون بیشترین تغییر شکل را متحمل شده است و در شمال غرب آن لایه ها به شدت دچار چین خوردگی و گسلش شده اند. شواهدی از دو فاز چین خوردگی در این زیرپهنه مشاهده می شود. فاز نخست در اواخر کرتاسه و فاز دوم در اواخر میوسن تا حال حاضر ادامه دارد. چین ها عمدتاً دارای روند NW-SE هستند. گسل های موجود در منطقه به ندرت نرمال هستند و امتداد عموم گسل ها، همان امتداد زاگرس رورانده یعنی NW-SE است. گسل هایی مانند گسل طاقستان-روانسر، گراب و... از جمله گسل های مهم موجود در منطقه هستند (اردلان و همکاران ۱۳۸۹).

۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه

بررسی های ژئومورفولوژیکی در مناطق دارای سنگ های کربناته از اهمیت ویژه ای برخوردار است، پوشش منطقه مورد مطالعه آهکی و با قابلیت انحلال بالا است که اشکال ویژه ای ایجاد می کنند که اصطلاحاً به آن کارست گفته می شود؛ از جمله عوارض کارستی می توان به پرتگاه های بزرگ (Scarps)، فروچاله (Sinkhole)، پولیه (Polje) و ... اشاره کرد که در ارتفاعات مشاهده می شود. وجود چشمه های بزرگ کارستی در اطراف منطقه نشان دهنده توسعه شبکه های کارستی در ارتفاعات مورد مطالعه است.

براساس تقسیم بندی ها چنانچه مناطق مرتفع از نواحی اطراف خود بیشتر از ۵۰۰ متر اختلاف ارتفاع داشته باشد به ژئومورفولوژی منطقه، کوهستان و چنانچه بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر اختلاف ارتفاع داشته باشد تپه ماهور و در نهایت مناطقی با اختلاف ارتفاع کمتر از ۵۰ متر را دشت می گویند؛



شکل ۱-۴- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران)

بنابراین تیپ ژئومورفولوژیکی غالب منطقه کوهستانی است، بلندترین ارتفاع منطقه ۲۴۵۰ متر است که با کم ارتفاع ترین نقطه منطقه که ۱۲۵۰ متر ارتفاع دارد، حدود ۱۲۰۰ متر اختلاف ارتفاع دارد. مناطق با ارتفاع کمتر به طور عمده در جنوب غرب ارتفاعات قرار دارد که دشت های حاصلخیزی را برای کشاورزی شامل می شود. بازدیدهای صحرایی از منطقه علاوه بر عوارض کارستی که در بالا اشاره شد در برخی نواحی آثار انحلالی آب، شکستگی های کم و بیش بزرگ را نشان می دهد (شکل ۱-۵).

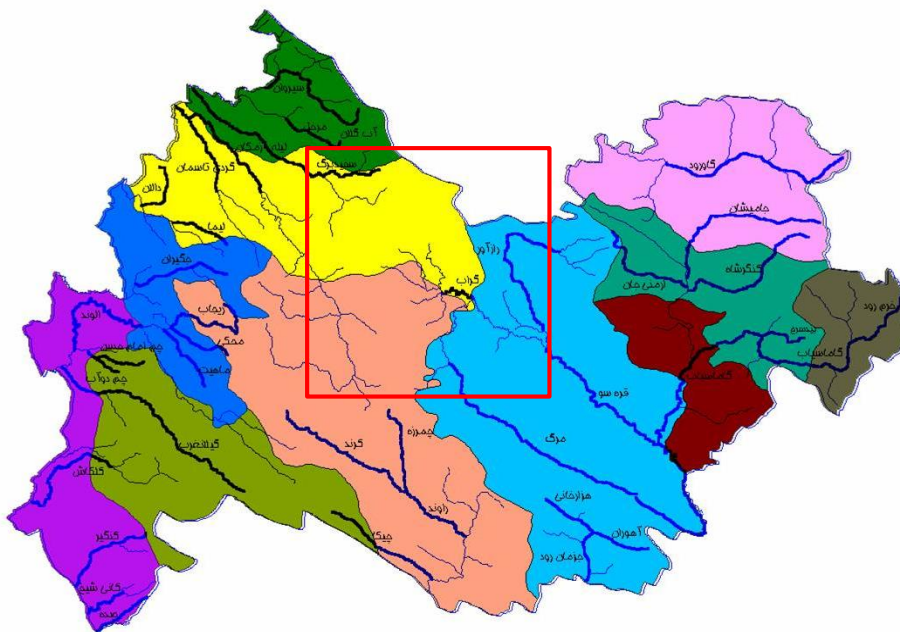


شکل ۱-۵- تصویر سه بعدی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نرم افزار Google Earth)

۱-۶- هیدرولوژی منطقه

از مهم ترین رودخانه های دائمی که در منطقه جریان دارند می توان به رودخانه های قره سو، رازآور، مرگ، زمکان، ليله و رودخانه چم زرشک اشاره کرد. سرچشمه اصلی رودخانه قره سو سراب روانسر واقع در شهر روانسر، در ۵۰ کیلومتری شمال غرب کرمانشاه می باشد. این رودخانه در جهت شمال غربی به جنوب شرقی، با طولی حدود ۶۵ کیلومتر، جریان پیدا می کند و در ۱۵ کیلومتری کرمانشاه به رودخانه رازآور و شاخه های فرعی آن به قره سو می پیوند و در دشت جریان یافته، در نزدیکی روستای قرانچی

رودخانه مرگ به آن متصل می‌شود. این رودخانه با یک شیب آرام از داخل شهر کرمانشاه عبور کرده و در نزدیکی فرامان به رودخانه گاماسیاب می‌پیوندد. رودخانه مرگ از سراب فیروزآباد واقع در جنوب غربی ماهیدشت سرچشمه گرفته، پس از عبور از ماهیدشت و دریافت آب سراب کاشنبه، وارد دشت کوزران شده و در آنجا آب رودخانه زردآب به آن می‌پیوندد و در شمال شرقی روستای میرعزیزی، در دامنه کوه ویس به رودخانه قره‌سو می‌ریزد. طول این رودخانه ۱۲۴ کیلومتر است که بخشی از آن در منطقه مورد مطالعه جریان دارد. رودخانه رازآور از زیرحوضه‌های رودخانه کرخه است که از کوه‌های اطراف کندوله و کامیاران سرچشمه گرفته، با طول ۵۰ کیلومتر و پس از عبور از کوه‌های جنوب شرقی کامیاران، در پای کوه قرال به مسیرش ادامه داده و در جنوب قزانچی به رودخانه قره‌سو می‌ریزد. رودخانه‌های ليله، زمكان و چم‌زرشك از سرشاخه‌های رودخانه سیروان می‌باشند که به ترتیب با طول تقریبی ۳۰، ۵۰ و ۳۵ کیلومتر در منطقه جریان دارند. این رودخانه‌ها پس از پیوستن به سیروان از کشور خارج می‌شوند (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶- رودخانه‌های دائمی در استان کرمانشاه و منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (منطقه کارستی شرق و جنوب شرق روانسر) به لحاظ سیل خیزی پتانسیل اندکی

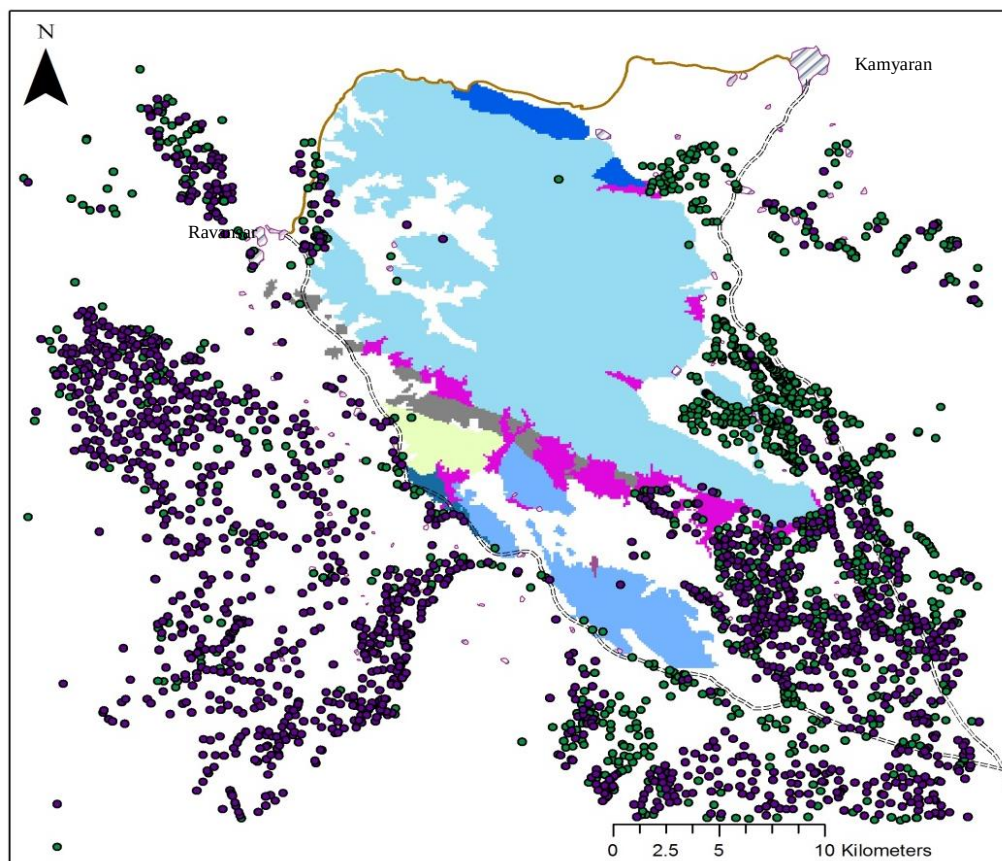
را شامل می‌شود؛ دلیل این مطلب را می‌توان چنین عنوان کرد که در مواقع بارندگی بخش اعظم بارش از طریق درز و شکاف و عوارض کارستی موجود در آهک‌ها، به داخل زمین نفوذ می‌کند و کمتر به صورت رواناب جاری می‌شود، به گونه‌ای که در ارتفاعات جریان سطحی مهمی وجود ندارد و رودخانه‌هایی که در منطقه مشاهده می‌شوند از چشمه‌های بزرگ کارستی منطقه سرچشمه می‌گیرند.

۷-۱- هیدروژئولوژی منطقه

هیدروژئولوژی هر منطقه تحت تأثیر زمین‌شناسی منطقه است؛ به عبارت دیگر زمین‌شناسی هر منطقه در نحوه ایجاد و توسعه سفره‌های آب زیرزمینی آن ناحیه تأثیر بسزایی دارد. سفره‌های کارستی نیز از این قاعده مستثنی نیستند. منطقه مورد مطالعه بخشی از ارتفاعات سازند آهکی بیستون است. با توجه به بارندگی نسبتاً بالا و سنگ مخزن مناسب در این کوه‌ها منابع آب زیرزمینی به صورت کارست توسعه خوبی پیدا کرده است. در این کارست‌ها چشمه‌های فراوانی تشکیل شده‌اند که حجم فراوانی از مصارف شرب و کشاورزی منطقه را تأمین می‌کنند. در واقع حجم عمده بارش‌ها از طریق عوارض کارستی از جمله فروچاله‌ها و حفره‌های انحلالی به درون زمین نفوذ کرده، در ارتفاعات فروچاله‌ها با دریافت و ذخیره برف تا اواخر تابستان سبب افزایش توسعه کارست و تغذیه آب زیرزمینی می‌شود، که دلیل اصلی عدم سیل‌خیزی در منطقه است، به گونه‌ای که اگر بارش به صورت باران باشد عوارض کارستی تقریباً تمام آب باران را به سفره‌های آب زیرزمینی هدایت می‌کنند. آب نفوذ یافته از طریق چشمه‌های کارستی و تخلیه مستقیم به درون رودخانه‌ها دوباره به سطح زمین برمی‌گردد. کیفیت آب سطحی حاصل از این چشمه‌ها بسیار مطلوب بوده که متوسط هدایت الکتریکی حدود ۳۵۰ میکروموس بر سانتیمتر مبین این مطلب است. با وجود ذخایر عظیم آب در سازندهای آهکی منطقه، که چشمه‌های منطقه نشان‌دهنده آن است، تاکنون بهره‌برداری از طریق چاه در آهک‌ها صورت نگرفته است، که خود به دلیل وجود آب فراوان این چشمه‌هاست. تصویر (۷-۱) پراکندگی چاه‌های منطقه در دشت‌های اطراف منطقه را نشان می‌دهد.

در دشت‌های آبرفتی اطراف ارتفاعات، بیشتر از ۳۰۰۰ چاه عمیق و نیمه‌عمیق دارای مجوز، حفر شده

که نیمی از این تعداد چاه (حدود ۱۵۰۰ چاه) دارای اطلاعات میزان برداشت است. بر این اساس سالانه بیش از ۲۱۰ میلیون متر مکعب از طریق این چاه‌ها برداشت می‌شود.



شکل ۷-۱- محل قرار گیری چاه‌های بهره‌برداری حفر شده در اطراف منطقه

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده در خصوص برآورد تغذیه

۲-۱- مقدمه

بخشی از نزولات جوی پس از رسیدن به سطح زمین به داخل زمین نفوذ می کنند. اصولاً نفوذ فرایندی است که تحت تأثیر آن آب از سطح به درون زمین وارد می گردد. آب می تواند در داخل زمین به حرکت عمقی خود (percolation) ادامه دهد تا سرانجام وارد لایه های آبدار زیر زمین شده و جزء منابع آب زیرزمینی به حساب آید و یا آنکه فقط صرف مرطوب کردن خاک شده و دوباره در اثر تبخیر به هوا بازگردد. نفوذ آب را از دو جهت می توان بررسی کرد، یکی شدت نفوذ و دیگری مقدار نفوذ.

شدت یا سرعت نفوذ به ارتفاع آبی گفته می شود که اگر در روی زمین وجود داشت می توانست در واحد زمان در زمین نفوذ کند. آب فقط زمانی در سطح زمین انباشته یا جاری می شود که شدت بارندگی از سرعت نفوذ آب بیشتر باشد. سرعت نفوذ یکی از ویژگی های فیزیکی خاک است و به عوامل مختلفی بستگی دارد و این اهمیت سرعت نفوذ آب را نشان می دهد. سرعت نفوذ تحت تأثیر عواملی مانند شرایط سطحی، پوشش گیاهی، تخلخل، هدایت هیدرولیکی، رطوبت موجود و... قرار دارد (علیزاده ۱۳۸۸).

زمین هایی که نفوذپذیرند را می توان به زمین هایی با قابلیت نفوذ مستقیم و زمین هایی با قابلیت نفوذ غیر مستقیم تقسیم کرد. نفوذ مستقیم در رسوبات غیرپیوسته مانند شن و ماسه و ریگ و امثال این ها رخ می دهد هر چند سرعت آب در اثر اصطکاک و تماس با این مواد کم است، با این وجود، اغلب به آسانی آب نفوذ می کند. به قابلیت نفوذ آب در شکاف ها و درزه ها و ترک های بزرگ سازندهای سخت آهکی و غیر آهکی مانند بازالت قابلیت نفوذ غیر مستقیم می گویند، که در اثر به وجود آمدن فضاهای خالی و مجراها و یا فضاهای انحلالی و یا شکستگی ها به وجود می آید. قابلیت نفوذ علاوه بر

مقدار آب از لحاظ ترکیب و خواص آب نیز دارای اهمیت زیادی است، آب در موقع نفوذ در زمین-هایی که قابلیت نفوذ غیر مستقیم دارند تمام مواد معلق را با خود می برد و نسبت به نوع اول دارای خاصیت صاف کنندگی کمتری است (ترابی تهرانی ۱۳۷۹).

مقدار نفوذ اولیه در سنگ های آهکی بسیار ناچیز است، ولی بر اثر انحلال، قابلیت نفوذ غیرمستقیم پیدا می کنند. بعضی از سنگ آهک ها از نظر نگهداری و ذخیره آب اهمیت بسیار زیادی دارند. قدرت آن ها از لحاظ ذخیره کردن آب در خود بستگی به مقدار حفره ها و وضع شکاف ها، منافذ و اتصالات دارد. این دلایل، مسبب ناهمگنی توزیع آب در یک سنگ آهکی است. طبقات و توده های آهکی که در دوره های اخیر به وجود آمده اند، از دانه بندی نسبتاً درشت سنگ های کم تراکم آهک تشکیل شده-اند و منافذ و فواصل بیشتری نسبت به سنگ های آهک متراکم قدیمی تر دارند. با ورود آب به این فضاهای خالی مواد کربناتی داخل منافذ را حل می کند، اما سنگ های با قدمت بیشتر به دلیل متراکم بودن دارای فضای خالی بین دانه های کمتری می باشند و از نظر ذخیره آب، ضعیف تر از سنگ های جدیدتر هستند (ترابی تهرانی ۱۳۷۹).

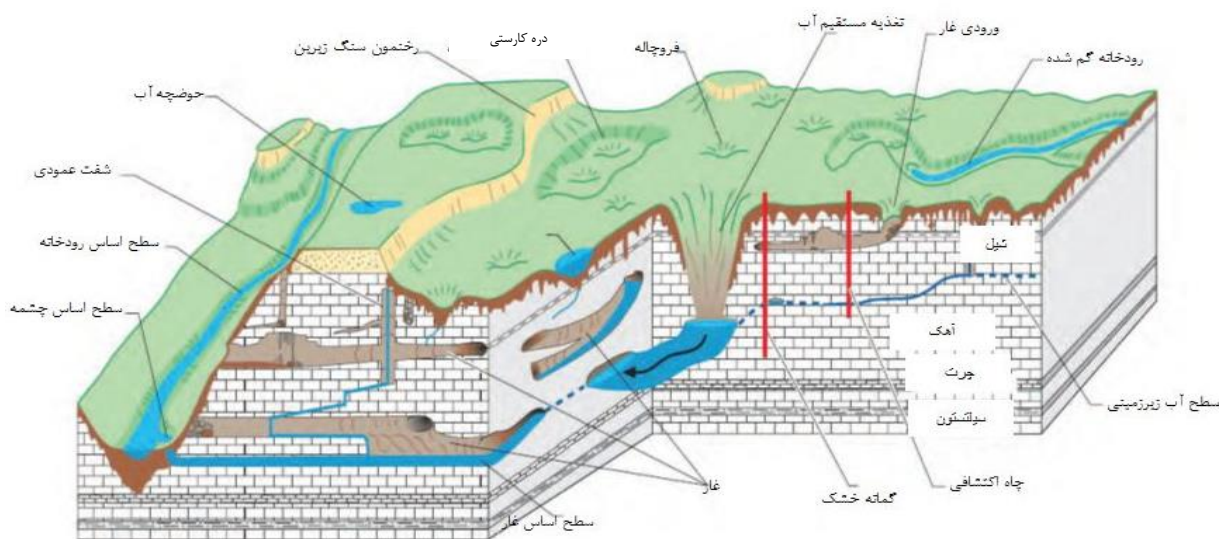
درزه ها و شکاف ها بیشتر در نتیجه حرکات تکتونیکی و نیز بر اثر فعالیت های مکانیکی و شیمیایی آب به وجود می آید و نقش مهمی را در نفوذ آب به اعماق توده های آهکی ایفا می کند. در آهک ها فضای خالی که بر اثر عمل مکانیکی و شیمیایی آب ایجاد می شوند معمولاً پر نمی شوند. با عریض و عمیق شدن شکاف ها و درزه ها ممکن است ذخایر عظیم آب در آن ها به وجود آید.

۲-۱-۱- اثرهای آب نفوذی

آب برای ایجاد مخازن در آهک ها به دو طریق عمل می کند: شیمیایی و مکانیکی. در اثر گاز کربنیک موجود در آب، کربنات کلسیم که در آب نامحلول است به بی کربنات کلسیم محلول، تبدیل می شود و از طرف دیگر، آب بر اثر عمل مکانیکی خود موجب ساییده شدن جدار سنگ ها می گردد. با عمل همزمان فعالیت شیمیایی و مکانیکی آب، درزه ها و شکاف های به وجود آمده توسط عوامل تکتونیکی یا عوامل دیگر، عریض تر شده و مسیری برای عبور یا ذخیره آب فراهم می آورد.

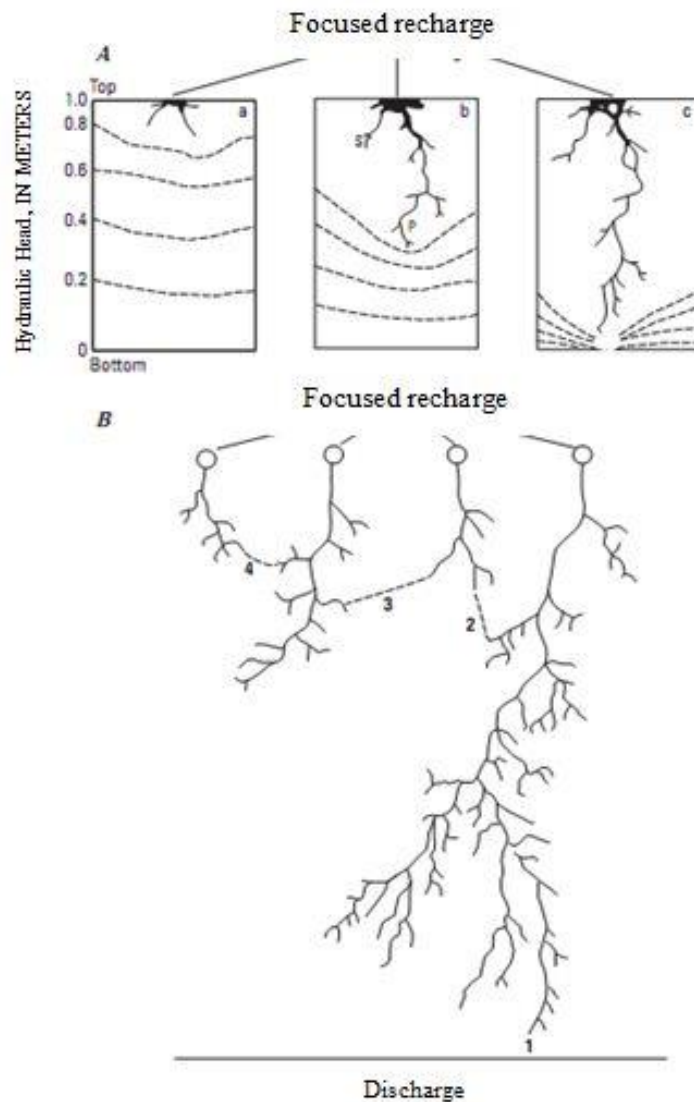
شرایط تغذیه در آبخوان های کارستی به مراتب مساعدتر از سایر آبخوان هاست. نفوذ در مناطق

کارستی به طور مستقیم و عمدتاً از طریق عوارض کارستی مانند فروچاله ها، پانورها، شبکه درز و شکاف های موجود و... صورت می گیرد و منبع چندگانه ای را برای تغذیه در اختیار دارد. به عبارت بهتر عوارض کارستی انتقال آب از سطح به عمق (percolation) را فراهم می کنند، این مسئله آسیب پذیری بیشتر این آبخوان ها نسبت به سایر آبخوان ها را نیز نشان می دهد (ترابی تهرانی ۱۳۷۹). میلانویچ در کتاب هیدروژئولوژی کارست ظرفیت نفوذ کارست روباز را از ۵ تا ۱۰ میلیمتر در ساعت عنوان می کند و بنابراین غیر معمول است که شدت بارش از ظرفیت نفوذ بیشتر شود. بوردون و پاپاکیس (Burdon and papakis 1963) دو نوع تغذیه با عنوان نفوذ اولیه و نفوذ ثانویه را نامگذاری کرده اند (Burdon and papakis 1963 به نقل از Milanovich 1981). طرح شماتیکی از عوارض کارستی موجود در مناطق کارستی توسعه یافته و نقش این عوارض در نفوذ در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



شکل ۱-۲- طرح شماتیکی از نقش عوارض کارستی در نفوذ (Currens, 2001 به نقل از Taylor and Green 2008)

آب تغذیه شده به کارست می تواند به صورت متمرکز یا پراکنده نفوذ کند. در مناطق کارستی ابتدا مجاری اولیه ایجاد می شود، با ادامه نفوذ آب مجرای که به صورت اولیه ایجاد شده توسعه یافته و باعث رشد سریع تر مجاری می شود، مجاری اولیه نسبت به مجاری ثانویه ایجاد شده در ادامه نفوذ رشد کمتری خواهند داشت. شکل (۲-۲) شبکه زهکشی ایجاد شده در اثر نفوذ آب در مناطق کارستی را نشان می دهد (Taylor and Green 2008).



شکل ۲-۲- نمایش نفوذ متمرکز آب در مجاری کارستی و ناهنجاری ایجاد شده در شیب هیدرولیکی (A)، توسعه شبکه زهکشی در کارست (B). ۱- مجاری اولیه ۲ تا ۴ مجاری ثانویه (اصلاح شده Ford, 1999 به نقل از Taylor and Green 2008)

۲-۲- روش های برآورد تغذیه

برای برآورد میزان تغذیه به آبخوان ها روش های مختلفی وجود دارد. از جمله محققینی که روش ها را دسته بندی کرده اند می توان به اسکاتلون و همکاران (Scanlon et al. 2000) اشاره کرد که روش های استفاده شده برای برآورد تغذیه را به چهار دسته اصلی، شامل روش هایی براساس مطالعه زون اشباع، روش هایی براساس مطالعه زون غیراشباع، روش هایی براساس مطالعه آب سطحی و روش بیلان

تقسیم کرده است. از جمله موارد دیگر می‌توان به کار سیلر و گات (Seiler and Gat 2007) اشاره کرد که روش‌های موجود را در چهار روش بیلان، روش‌های هیدرولیکی در زون غیر اشباع، روش‌های ایزوتوپی و ردیابی شیمیایی و لایسیمتر دسته‌بندی کرده‌اند. دسته‌بندی‌های دیگری نیز وجود دارد: میستیر و فیتزیمونس (Misstear and Fitzsimons 2003) روش‌های برآورد تغذیه به روش‌های جریان، روش پاسخ آبخوان، روش جریان خروجی و روش‌های بیلان و مدلسازی عددی تقسیم‌بندی نموده‌اند. نویسندگان دیگر مانند اندرو و همکاران (Andreo *et al.* 2008)، روش‌ها را به روش‌های هیدرودینامیکی، هیدرولوژیکی و هیدروشیمیایی تقسیم کرده‌اند. شارما (Sharma 1986) این روش‌ها را به دو دسته اصلی هیدرولوژیکی و ردیابی تقسیم‌بندی کرده است. به منظور برآورد تغذیه لرر و همکارانش (Lerner *et al.* 1990) پنج روش عمده شامل: اندازه‌گیری مستقیم، روش بیلان آب زیرزمینی، روش داریسی، روش‌های ردیابی و روابط تجربی را ذکر کرده‌اند (به نقل از Nyagwambo 2006).

در این فصل سعی شده است روش‌های معرفی شده به منظور تخمین میزان تغذیه، در چند گروه دسته‌بندی شده و سرانجام برای هر کدام از روش‌های ذکر شده نمونه‌ای از مناطق مورد مطالعه ارائه گردد.

۲-۱-۲- روش‌های استفاده شده در مطالعات آب سطحی

استفاده از این روش به میزان ارتباط بین آب سطحی و آب زیرزمینی وابسته است در نواحی مرطوب تبادل بین آب سطحی و آب زیرزمینی به سود آب سطحی است، زیرا علاوه بر رواناب حاصل از ریزش‌های جوی، آب زیرزمینی بخشی از آب چشمه‌ها و دریاچه‌ها را نیز تأمین می‌کند، و در نواحی خشک وضعیت عکس است. با در نظر گرفتن تبخیر، میزان آب سطحی که به دست می‌آید و یا از دست می‌رود، می‌تواند به تغذیه نسبت داده شود (Scanlon *et al.* 2000 و Scanlon *et al.* 2001). از جمله روش‌هایی که زیرمجموعه این روش محسوب می‌شوند می‌توان به بیلان کانال آب، روش تجزیه و تحلیل هیدروگراف‌ها و اندازه‌گیری‌های مستقیم، نفوذسنج، روش‌های ردیابی و مدلسازی عددی اشاره کرد. در ادامه نمونه‌هایی از کاربرد این روش‌ها ذکر خواهد شد.

الف- بیلان کانال آب

لرنر (Lerner 1997 به نقل از Scanlon *et al.* 2000) بیلان کانال آب را به صورت معادله زیر تعریف کرده است:

$$R = Q_{up} - Q_{down} + \sum Q_{in} - \sum Q_{out} - E_a - \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1-2)$$

که در این معادله R تغذیه (در تمامی معادلات نیز بعدی R تغذیه خواهد بود)، Q_{up} و Q_{down} جریان بالادست و پایین دست کانال یا رودخانه، $\sum Q_{in}$ و $\sum Q_{out}$ دبی انشعابات ورودی و خروجی در طول دوره زمانی است که برای محاسبه تغذیه در نظر گرفته می شود، E_a تبخیر از آب سطحی و بستر رودخانه و $\frac{\Delta S}{\Delta t}$ تغییر در حجم آب کانال و زون غیراشباع در زمان Δt ، تعریف شده است (Scanlon *et al.* 2000 و Scanlon *et al.* 2001).

ب- تجزیه و تحلیل هیدروگراف ها و اندازه گیری مستقیم

استفاده از داده های اندازه گیری شده و تحلیل هیدروگراف های مختلف، یکی دیگر از روش هایی است که جهت برآورد نفوذ مورد توجه است. در واقع اساس این روش، استفاده از معادله بیلان است؛ اشکیت و والتون (Schicht and Walton 1961 به نقل از Scanlon *et al.* 2000) معادله (2-2) را معرفی کردند.

$$R = Q_{off}^{gw} - Q_{on}^{gw} + Q^{bf} + ET^{gw} + \Delta S^{gw} \quad (2-2)$$

که در آن Q^{bf} جریان پایه، Q_{on}^{gw} و Q_{off}^{gw} جریان ورودی و خروجی به آب زیرزمینی و ET^{gw} تبخیر از آب زیرزمینی و ΔS^{gw} تغییر در حجم ذخیره آب زیرزمینی است.

سنز و لوپز (Sanz and Lopez 2000) به منظور بررسی میزان نفوذ آب باران در ناحیه ای کارستی در اسپانیا هیدروگراف چکه های استالاکتیت موجود در ۷ غار را ترسیم کرده و عوامل موثر بر آن، نظیر نوع بارندگی، دمای هوا، نوع و ضخامت خاک در مکان های مختلف بر روی شکل هیدروگراف ها را

ارزیابی کردند. پاسخ ثبت شده را بیانگر تغذیه سریع و یا کند و نیز نوع سیستم غالب کارست می-داندند. با توجه به نتایج حاصله در این منطقه از ۶۰۰ میلیمتر بارندگی، حدود ۴۰۰ میلیمتر در دو ماه اکتبر و نوامبر، که ماه های اوج بارش در منطقه است، نفوذ می کند.

بناچی (Bonacci 2001) در ناحیه کارستی دیناریک (Dinaric)، در کرواسی، با استفاده از رابطه بین دبی چشمه ها و میزان بارش منطقه، اقدام به برآورد ضرایب نفوذ ماهانه و سالانه کرده و ضریب سالانه را بین ۰/۳۵۶ و ۰/۷۳۶ و به صورت میانگین ۰/۵۷ مقدار بارش به دست آورده است.

جکسون و همکاران (Jocson et al. 2002) با تجزیه و تحلیل هیدروگراف مربوط به چاه های مشاهده-ای و در نظر گرفتن تبخیر روزانه منطقه ای، در بخش گوام (Guam)، یکی از بخش های جزیره کارستی ماریانا (Mariana Island)، میزان نفوذ را ۶۷٪ میزان بارش منطقه محاسبه کرد.

میسستر و فیتزیمونس (Misstear and Fitzsimons 2003) با استفاده از جریان پایه رودخانه به تخمین مقدار نفوذ در آبخوان سنگ سخت ایرلند که بخش عمده آن را سنگ های دولومیتی و آهکی تشکیل داده اند، پرداخته اند. با فرض اینکه تبادلات بین سفره های کم عمق و عمیق اندک و تبخیر و تعرق دریاچه، رودخانه و تالاب ها در مقایسه با حجم آب ذخیره شده آب زیرزمینی، کم است و هم-چنین تأثیرات تغذیه از طریق رودخانه ناچیز می باشد، میزان نفوذ سالانه را ۴۶٪ تا ۷۶٪ میزان رواناب سالانه برآورد کرده اند.

جوکیک و دنیک جوکیک (Jukic' and Denic'-Jukic' 2004) تخمین تغذیه را با استفاده از مطالعه دو چشمه کارستی در کرواسی انجام دادند. با استفاده از دبی چشمه ها و میزان بارش منطقه، از روشی تحت عنوان Frequency domain که در اصطلاح به روش طیفی معروف است، برای تعیین مقادیر پارامترهای مدل تغذیه آب زیرزمینی، استفاده کردند. میانگین تغذیه را برای این دو چشمه ۰/۵۷ و ۰/۶۳ برآورد کردند.

یه و همکاران (Yeh et al. 2005) برای تخمین تغذیه آب زیرزمینی در حوضه ای در تایوان (حوضه چینگ شو Ching-Shui) از بررسی هیدروگراف و جریان پایه استفاده نموده و میزان نفوذ را حدود ۱۰٪ از بارش کل منطقه که ۲۱۰۰ میلیمتر است، تخمین زده اند.

ریتورتو و همکاران (Ritorto et al. 2009) از روش بیلان آب جهت ارزیابی تغذیه افشان و مجرای در

ناحیه‌ای در فلوریدای آمریکا استفاده کردند. تغذیه روزانه افشان را برای یک دوره ۵ ساله در محدوده - ای بین ۱۷٪ در بارش کم تا ۵۳٪ در طول دوره پرباران محاسبه کردند که نشان از توزیع بسیار متفاوت تغذیه افشان در این ناحیه دارد. در این منطقه فقط حدود ۲٪ جریان، از مجرا به آبخوان‌های اطراف صورت می‌گیرد. تغذیه به دست‌آمده در پرباران‌ترین سال در دوره ۵ ساله، بیشتر از ۴۰٪ بارش تخمین زده شده است.

لی و همکاران (Li et al. 2011) نقش خاک سطحی، موقعیت توپوگرافی، رطوبت پیشین خاک و مشخصات بارندگی را بر روی فرایندهای رواناب و نفوذ در کارست‌های مدیترانه‌ای در جنوب‌شرق اسپانیا بررسی کردند. در طی دوره ۱/۵ ساله از سپتامبر ۲۰۰۳ تا مارس ۲۰۰۵ نفوذ کلی ۴۱٪ از مقدار کل بارندگی بوده و حداکثر نرخ نفوذ برابر ۹۴٪ برای بارش منفرد محاسبه شده است. در این مطالعه ضریب رواناب هم تعیین شده است. با توجه به اینکه نفوذ و رواناب در مکان و زمان به شدت متغیر است، اطلاعات ارائه شده توسط ایشان در درک کنترل رواناب سطحی و افزایش تغذیه برای سفره‌های عمیق آب زیرزمینی در ناحیه مورد نظر مؤثر است.

ج- نفوذسنج و نشت‌سنج

میزان نفوذ آب سطحی به زیر زمین را می‌توان با استفاده از نشت‌سنج محاسبه کرد. در واقع نشت-سنج مخزن استوانه‌ای شکل است که در زیر رودخانه یا دریاچه قرار می‌دهند و میزان آب نشت کرده را اندازه می‌گیرند. فوکو و تانگوچی (Fukue and Taniguchi 1993) یک نشت‌سنج خودکار طراحی کردند. از آنجایی که نفوذسنج به صورت نقطه‌ای میزان تغذیه را محاسبه می‌کند، جهت برآورد مناسب تغذیه در یک منطقه نیازمند اندازه‌گیری‌های متعدد در نقاط مختلف است. با استفاده از این روش در آمریکا در مینسوتا (Minnesota) میزان تغذیه را از محدوده ۰/۰۴ تا ۱۱۸ اینچ در روز محاسبه کردند، که دامنه وسیع و متفاوتی است (Scanlon et al. 2000).

ملائی و همکاران (۱۳۸۹) با مطالعه تشکیلات کارستی زیرحوضه سپیدار بویراحمد، عامل اصلی نفوذ را عوارض کارستی، مانند کارن‌ها و گریک‌ها دانسته که مانع از ایجاد رواناب در خروجی زیرحوضه می‌شود. سرعت نفوذپذیری در بخش‌هایی که قابل اندازه‌گیری با استوانه مضاعف بوده از ۲۰ تا ۳۰

میلیمتر در ساعت برآورد کرده‌اند و همچنین بیان می‌کنند برای بررسی تأثیر عوارض کارستی مثل فروچاله‌ها و کارنها بر روی نفوذ نمی‌توان از استوانه مضاعف و پلات‌های کوچک استفاده کرد و بایستی در مقیاس حوضه مطالعه صورت گیرد.

ناصری و پرهمت (۱۳۸۹) مقدار نفوذ را در خاک‌های کارستی حوضه دلی‌بجک سپیدار کهکیلویه و بویراحمد، با استفاده از استوانه مضاعف بررسی کردند و ضمن به دست آوردن پارامترهای مدل‌های تجربی نفوذ از قبیل هورتون، کاستیاکوف، لوییس- کاستیاکوف و فرم تجربی مدل گرین-آمپت، بهترین مدل که تطابق بالاتری با مقادیر مشاهده‌ای دارد را انتخاب نمودند. نتایج نشان می‌دهد بهترین مدل برای این مناطق مدل لوییس کاستیاکوف است و مدل کاستیاکوف و گرین-آمپت در مراتب بعدی قرار دارند، لازم به ذکر است که مدل هورتون تطابق چندان مناسبی را با داده‌های مشاهده شده نشان نمی‌دهد. دامنه تغییرات نفوذ و پارامترهای آن در این مناطق بسیار وسیع است، به طوریکه نرخ نفوذ اولیه از ۳۰ تا ۱۵۰ سانتیمتر در ساعت و نفوذ نهایی از ۳ تا ۱۲ سانتیمتر در ساعت تغییر می‌کند.

د- روش‌های ردیابی

استفاده از ردیاب جهت تشخیص منشاء آب زیرزمینی، با استفاده از موادی مانند کاه، خاک‌اره و... از قرن اول میلادی شروع شده است (Milanovich 1981). در نواحی خشک استفاده از برخی از روش‌ها مشکل‌تر است. در این حالت استفاده از روش ردیاب گرمایی می‌تواند نتیجه‌بخش باشد. ردیاب‌های شیمیایی یا ایزوتوپی در سطح خاک به کار می‌روند و همراه با آب نفوذ یافته به عمق حرکت می‌کنند. از طریق معادله (۳-۲) می‌توان میزان تغذیه را محاسبه کرد.

$$R = V\theta = \frac{\Delta Z}{\Delta t} \theta \quad (3-2)$$

که ΔZ ارتفاع اوج ردیاب، Δt زمان حدفصل بین شروع عملیات ردیابی و شروع نمونه‌برداری، و θ محتوی حجمی آب است (Scanlon et al. 2000).

۲-۲-۲- روش های مورد استفاده در زون غیر اشباع (بیلان رطوبت خاک)

جهت بررسی سنجش رطوبت خاک از وسایلی مانند نوترون پروپ، تانسیومتر، لایسیمتر و استوانه مضاعف و روش ZFP (Zero Flux Plane) استفاده می شود (Hiscock 2004). نکته ای که در این روش جهت برآورد نفوذ باید به آن توجه کرد این است که گاهی آب با وجود بالا بردن رطوبت خاک، به آب زیرزمینی نمی رسد. برآورد میزان تغذیه به صورت معادله زیر تعریف می شود (Dripps Bradbury 2007):

$$R = P - R_0 - ET - Inc + Sm_0 - Sm_{rz} \quad (۴-۲)$$

که در این معادله R تغذیه، P بارش، R_0 رواناب، ET تبخیر و تعرق، Inc برگاب و Sm_0 و Sm_{rz} به ترتیب ظرفیت رطوبت خاک در زون ریشه و رطوبت اولیه خاک تعریف می شوند. یه و همکاران (Yeh et al. 2005) برای تخمین تغذیه آب زیرزمینی در ناحیه مرکزی تایوان از بیلان رطوبت خاک استفاده کرده اند. این منطقه دارای میانگین بارش سالانه ۲۱۰۰ میلیمتر است و از این میزان بارش مقدار نفوذ سالانه با استفاده از روش بیلان رطوبت خاک، ۱۲/۴٪ برآورد شد. هپنر و همکاران (Heppner et al. 2007) از روش لایسیمتر برای برآورد نفوذ سالانه در آبخوان سنگ سخت در پنسیلوانیای آمریکا استفاده کرده و میزان نفوذ را از این روش ۳۲٪ بارش کل برآورد کرده اند.

جی و همکاران (Jie et al. 2011) در آبخوان با وسعت ناحیه ای که هم دارای آبخوان آبرفتی است و هم آبخوان سنگ سخت، روش های WTF (نوسانات سطح آب) و بیلان آب - خاک را در تخمین تغذیه آب زیرزمینی مقایسه کرده و در نهایت ابراز کردند که روش نوسانات سطح آب در مقیاس ناحیه ای چندان مناسب نیست.

۲-۲-۳- روش های استفاده شده در زون غیر اشباع - اشباع

روش هایی که می توانند در هر دو زون اشباع و غیر اشباع به کار روند در این دسته قرار گرفته اند.

الف- بیلان آب

اساس روش بیلان، معادله (۵-۲) است:

$$P + Q_{in} = ET + Q_{out} + \Delta S \quad (۵-۲)$$

در این معادله P بارش، Q_{in} و Q_{out} جریان ورودی و خروجی، ET میزان تبخیر و تعرق و ΔS تغییر در ذخیره آب است (ذخیره آب در برف، آب سطحی، آب زیرزمینی و زون غیر اشباع صورت می گیرد و هنگام محاسبه ذخیره آب در نظر گرفته می شود). هر کدام از عناصر جریان ورودی، خروجی و... شامل جمع جریان سطحی، زیرزمینی است. طبق این جمله اسکانون (Scanlon et al. 2000) معادله بیلان را به صورت معادله (۶-۲) تعریف کرد:

$$P + Q_{in}^{gw} + Q_{in}^{sw} = ET^{sw} + ET^{uz} + ET^{gw} + R_0 + Q_{out}^{gw} + Q^{bf} + \Delta S^{snow} + \Delta S^{sw} + \Delta S^{uz} + \Delta S^{gw} \quad (۶-۲)$$

با توجه به معادله بالا، برآورد تغذیه از طریق روش بیلان به صورت زیر است:

$$R = P + Q_{in}^{sw} - R_0 - ET^{sw} - ET^{uz} - \Delta S^{snow} - \Delta S^{sw} - \Delta S^{uz} \quad (۷-۲)$$

که در این روابط R_0 رواناب وسایر متغیرها مانند معادله (۵-۲) است. علائم $uz, sw, gw, snow$ به ترتیب برف، آب زیرزمینی، آب سطحی و زون غیر اشباع هستند. کرمی (۱۳۸۹) با مطالعه کارست های منطقه امام قیس در شهرستان بروجن، درصد تغذیه سالانه در این کارست ها، که دارای توسعه یافتگی نسبتاً بالایی هستند، با استفاده از روش بیلان حدود ۶۰ درصد برآورد کرده است.

مورنو و همکاران (Moreno et al. 1983) با استفاده از روش بیلان میزان نفوذ آب به آبخوان کارستی جنوب اسپانیا را یک سوم میزان بارش منطقه تخمین زده اند (Andreo et al. 2008).

اسکوزافاوا و تالینی (Scozzafava and Tallini 2001) با انجام اصلاحاتی از روش بیلان آب تورنت

وایت (Thornthwaite)، جهت بررسی میزان نفوذ در محیط های هیدرولوژیکی محلی استفاده کردند. تغییرات روش به شرح زیر است:

(۱) استفاده از منحنی اعداد سرویس حفاظت خاک امریکا برای تخمین رواناب

(۲) اضافه کردن رواناب به بیلان آب به عنوان جریان داخلی ناحیه

(۳) ارزیابی ذوب برف در کوه های منطقه

ایشان در مطالعه خود جهت جریان آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را نیز تشخیص داده که منطبق بر نواحی با نفوذ بالا به سمت نواحی با نفوذ پایین تر است. میانگین نفوذ سالانه به روش فوق را حدود ۵۳٪ از میانگین بارش سالیانه منطقه به دست آوردند.

زاگانا و همکاران (Zagana et al. 2007) با استفاده از روش بیلان MODBIL میزان تغذیه را در چند محیط کوهستانی با شرایط هیدرولوژیکی مختلف، شمال مصر، قبرس و اردن تخمین زدند. از میزان ۸۰۰ میلیمتر بارندگی، در مصر، میانگین تغذیه سالانه بین ۵۰ تا ۷۵ میلیمتر، در قبرس، ۷۰ میلیمتر، و در حوضه دیگری که در اردن مطالعه شده است این میزان در نواحی کوهستانی تا ۲۰۰ میلیمتر می رسد. نتایج اردن حاکی از نرخ نفوذ ۸۰ میلیمتر در سال، در نواحی کارستی، است. رادولوویک و همکاران (Rodulovic et al. 2011) میزان نفوذ در منطقه با توسعه زیاد کارست در مونتنگرو (Montenegro)، از روش بیلان آب استفاده کرده اند با وجود میزان بارش زیاد در این ناحیه، توزیع فصلی بارش نامنظم است. نرخ نفوذ محاسبه شده حدود ۰/۷ است.

ب- قانون داریسی

استفاده از قانون داریسی بر مبنای معادله (۸-۲) است.

$$R = -K \frac{dH}{dZ} = -K \frac{d(h+Z)}{dZ} = -K \frac{dh}{dZ} + 1 \quad (8-2)$$

در این معادله K هدایت هیدرولیکی، H هد کلی، h هد و Z ارتفاع از سطح مبنای در نظر گرفته شده است.

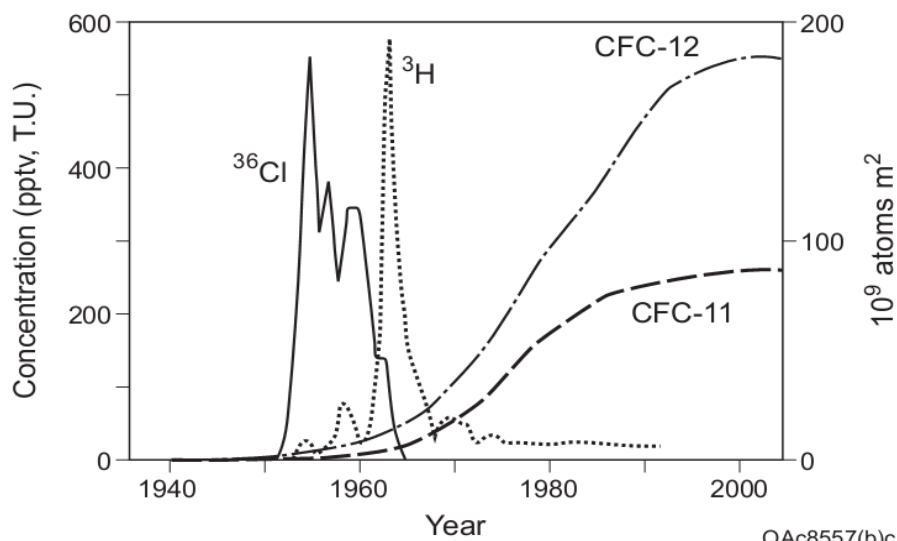
ج- ردیابی، سن سنجی و بیلان جرمی کلر (CMB or chlorid mass balance)

ردیاب‌هایی مانند تریتیم و کلر هم در زون اشباع و هم در زون غیراشباع کاربرد دارند. ردیاب‌هایی مانند CFC و تریتیم/هلیوم ($^3\text{H}/^3\text{He}$) می‌توانند برای تخمین تغذیه، از طریق سن آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد. نکته‌ای که باید در این روش مورد توجه قرار گیرد این است که مکان مورد نظر جهت بررسی سن سنجی باید دارای حرکت عمودی باشد. سن آب زیرزمینی را می‌توان برای مثال با مقایسه غلظت CFC در آب زیرزمینی و بارش منطقه به دست آورد.

معادله (۲-۹) برای محاسبه سن به کار می‌رود:

$$\frac{A}{A_0} = 2^{\frac{-t}{t_{1/2}}} \quad (\text{a. ۲-۹})$$

$$t_{1/2} = \frac{\log_e^2}{\lambda} \quad (\text{b. ۲-۹})$$



شکل ۲-۳- داده‌های مربوط به ردیاب تاریخی شامل ^{36}Cl و CFC 11,12 (Scanlon et al. 2000)

A ماده رادیواکتیو در زمان t ، A_0 مقدار اولیه ماده رادیواکتیو در زمان t_0 ، $t_{1/2}$ نیمه عمر ماده رادیواکتیو هستند (Hiscock 2004).

با استفاده از این روش فرض می‌شود سیستم بسته است. در محیط آبرفتی با افزایش عمق سن آب زیرزمینی افزایش می‌یابد (Cook and Bohlke, 2000 به نقل از Scanlon et al. 2000). محدوده تعیین سن از این روش وابسته به ماده‌ای است که برای تعیین سن به کار می‌رود. در سفره‌های

محبوس با محاسبه سرعت جریان افقی می توان نرخ تغذیه را تخمین زد (معادله ۲-۱۰).

$$R = vn \frac{A}{S} \quad (۲-۱۰)$$

v سرعت جریان، n تخلخل، A مساحت مقطع مورد نظر و S مساحت سطح زون تغذیه است. کمر به صورت طبیعی در اتمسفر وجود دارد و می توان از آن برای تعیین تغذیه آب زیرزمینی استفاده کرد (معادله ۲-۱۱).

$$R = \frac{PC_p}{C_{uz}} \quad (۲-۱۱)$$

در معادله بالا C_p غلظت کلر در باران، P بارش، و C_{uz} غلظت کلر در زون غیر اشباع را نشان می دهد (Scanlon et al. 2000).

هوئزل (Hoezl 1995) بر روی آبخوان اومرادهوما (Ummer Radhuma) در ناحیه کارستی خشک عربستان، شرایط نفوذ و تأثیرات تغذیه ای روی آب زیرزمینی را با استفاده از ردیاب های طبیعی مطالعه کرده است. با وجود نرخ بارش سالیانه کمتر از ۱۰۰ میلیمتر، آبخوان های زیادی در ناحیه کویری عربستان تشکیل شده، براساس مطالعات ایزوتوپی، این آبخوان ها را مربوط به آب های نفوذ کرده در دوران مرطوب پلیوسن و هلوسن می دانند و میزان نفوذ ۴۷٪ میزان بارندگی برآورد شده است.

ژو و همکاران (Zhu et al. 2003) به منظور ارزیابی نرخ تغذیه در آبخوان ماسه سنگی در آمریکا از روش بیلان جرمی کلر و نیز روش ایزوتوپ کلر استفاده کردند و میزان تغذیه را برای دوره های زمانی پلیوستوسن و هلوسن تخمین زدند. این برآوردها نشان داد که میزان تغذیه در آبخوان یوکامونتین (Yucca Mountain) 5 ± 1 mm/yr برای هلوسن و 15 ± 5 mm/yr برای اواخر پلیوستوسن است.

جونز و بانر (Jones and Banner 2003) با بررسی مقادیر ایزوتوپی اکسیژن ۱۸ در آب باران و آب های

زیرزمینی در دو جزیره در منطقه کارستی جزایر پورتوریکو (Puerto Rico) در منطقه کارائیب، مقدار تغذیه این آبخوان را برآورد نموده‌اند. نتایج به دست آمده از کار آن‌ها بیانگر این است که نرخ تغذیه محاسبه شده در گوام (Guam) بین ۷۰ تا حدود ۱۰۰٪ میانگین بارش سالیانه و در جزیره باربادوز (Barbados) ۱۵ تا ۲۵٪ می‌باشد (بارش میانگین ماهانه ۱۹۰-۲۰۰ میلیمتر است).

لینان (Linan 2003) با استفاده از بیلان کلر در آبخوان کارستی در اسپانیا میزان نفوذ را ۵۵٪ بارش سالانه تخمین زده‌اند (نقل از Andreo et al. 2008).

شیوانا و همکاران (Shivanna et al. 2004) برای ارزیابی تغذیه آب زیرزمینی در ناحیه نیمه خشک ایندیا کارناتاکا (India Karnataka) در کشور هندوستان، از ایزوتوپ‌های طبیعی H^2 و O^{18} و رادیوردیاب H^3 استفاده کردند. عدم تنوع در محتوی ایزوتوپی آب زیرزمینی قبل و بعد بارش از نظر دوتریم را به سرعت چرخش بارش محلی در درزه‌ها و ترک‌ها و زون‌های شکستگی نسبت داده و در مکان‌های مختلف نرخ تغذیه را متفاوت به دست آورده‌اند. این تفاوت مکانی در نرخ تغذیه محاسبه شده، به تفاوت در نوع خاک و ناهمگنی الگوی بارش و اینکه تغذیه به طور عمده از طریق درزه‌ها، ترک‌ها و زون‌های شکستگی صورت می‌گیرد، نسبت داده شده است. در این مطالعه تغذیه مستقیم آب زیرزمینی در زون غیر اشباع، ۳۳mm (۶٪ از بارش کل) برآورد شده است.

نیاگوامبو (Nyagwambo 2006) در حوضه کریستالین نیوندو (Nyundo)، در جنوب آفریقا، از طریق بیلان جرمی کلر و بررسی میزان کلر در آب باران و موجود در ذخیره آب زیرزمینی، و با فرض اینکه بارش تنها منبع کلرید است و جریان جانبی صفر است، میزان تغذیه را ۴٪ تا ۲۵٪ بارش سالیانه و به طور میانگین ۱۲٪ به دست آورد.

د- مدل سازی

مدلسازی عددی در زون غیراشباع برای تخمین زهکشی در زون عمیق‌تر از ریشه به کار می‌رود. مدلسازی عددی براساس معادله ریچارد است. نتایج حاصل شده از مدلسازی بهتراست با سایر روش‌های صحرایی مانند ردیاب، لایسیمتر و ... مقایسه شود.

بارت و چاربنیو (Barrett and Charbeneau 1997) بر روی آبخوان کارستی ادوارد (Edwards)

در ایالات متحده، برای پیش‌بینی اثر آلودگی ناشی از توسعه شهری بر روی چشمه و تغذیه آب زیرزمینی منطقه، مدلسازی انجام داده‌اند و میانگین نفوذ را حدود ۵۰ میلیمتر در سال یعنی حدود ۶٪ از میانگین بارش سالانه برآورد نمودند.

چارلیر و همکاران (Charlier et al. 2011) با استفاده از یک مدل مفهومی به شبیه‌سازی جریان و انتقال کربن در آبخوان کارستی در فرانسه پرداخته‌اند. نتایج آن حاکی از انتقال ۴۱ درصدی آب از طریق مجاری ایجاد شده در کارست است.

نتایج حاصل از مدلسازی از طریق MODFLOW توسط نیاگوامبو (Nyagwambo 2006) در حوضه نیوندو (Nyundo) در زیمباوه میزان تغذیه را در محدوده‌ای از ۶٪ تا ۱۴٪ میزان بارندگی مشخص کرد.

در برخی از مدلسازی‌ها از شبکه عصبی استفاده می‌شود، برای نمونه می‌توان به کار پرچمی عراقی و همکاران (۱۳۸۸) اشاره کرد که از داده‌های حاصل از نفوذپذیری به روش استوانه مضاعف در خاک-های کارستی، دو گونه شبکه عصبی پی‌ریزی کرده‌اند و گونه‌ای از شبکه عصبی را که بهترین عملکرد را در برآورد نفوذ تجمعی داشته انتخاب نموده‌اند.

ه- نوسانات سطح آب

داده‌های سطح آب از چند طریق می‌تواند برای ارزیابی تغذیه به کار روند. با استفاده از نوسانات سطح آب و آبدهی ویژه معادله زیر حاکم است:

$$R = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \qquad R = \Delta Z_{WT} Y_s \qquad (12-2)$$

S_y و Y_s آبدهی ویژه و $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ بالآآمدگی سطح آب در زمان Δt تعریف می‌شود.

واگنر و همکاران (Wagner et al. 1987) با استفاده از WTF (Water Table Fluctuation) در آبخوان دولومیتی لوماگاندی (Lomagundi) در کشور زیمباوه، میانگین تغذیه را ۱۲ تا ۱۸٪ بارش سالانه منطقه تخمین زده‌اند (نقل از Nyagwambo 2006).

نیاگوامبو (Nyagwambo 2006) در آبخوان کریستالی حوضه نیوندو (Nyundo) در زیمبابوه، از طریق روش بررسی نوسانات سطح آب به برآورد میزان تغذیه پرداخته‌اند. در این روش، با توجه به اینکه فاکتورهایی مانند تغییرات فشار اتمسفری و نفوذ می‌تواند باعث تغییر در سطح آب زیرزمینی شود، با فرض اینکه نوسانات تنها ناشی از تغذیه باشد، میزان تغذیه را به طور میانگین ۷٪ تا ۹٪ میزان بارندگی بدست آورد.

بویان و همکاران (Bhuiyan et.al 2009) جهت شناسایی مناطق مستعد تغذیه آب زیرزمینی در نواحی خشک و نیمه خشک آراوالی (Aravalli) در هندوستان، پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی در سنگ‌های سخت منطقه، از روش WLF (Water Level Fluctuation) استفاده کردند. فرضیاتی که برای استفاده از این روش بکار رفته عبارت است از: (۱) تأثیر ناچیز تبخیر و تعرق (۲) جریان پایه صفر در نظر گرفته شده (۳) تغذیه فقط به صورت ثقلی صورت گرفته و جریان ورودی جانبی در نظر گرفته نشده است. بر این اساس ضریب نفوذ را در محدوده‌ای بین ۰/۰۱ تا ۰/۷۵ بدست آورده‌اند. تفاوت مکانی عمده تغذیه به تفاوت در ظرفیت نفوذ باران در نواحی مختلف نسبت داده شده است. آن‌ها جهت بررسی توزیع مکانی در ظرفیت نفوذ از GIS استفاده کرده و اقدام به زون‌بندی منطقه مورد مطالعه برای مناطق مستعد تغذیه نموده‌اند.

۲-۲-۴- روش‌های استفاده شده در زون اشباع

بوتا و همکاران (Bota et al. 1994) از SVF (Saturated Volume Fluctuation) برای تخمین تغذیه در آبخوان دولومیتی در جنوب آفریقا استفاده کرده است و با استفاده از ثبت آب، بارش و داده دبی چشمه‌ها برای دوره ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۳، سطح آب زیرزمینی را در این دوره زمانی بازسازی کرده و نرخ تغذیه را بین ۱۰ تا ۱۴٪ بارش سالانه منطقه برآورد کرده‌اند (نقل از Nyagwambo 2006).

۲-۲-۵- استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

استفاده از این روش به دلیل اینکه توانایی در نظر گرفتن چندین متغیر را داراست، در بسیاری از امور مفید است. این روش در تخمین تغذیه، هم کم‌هزینه‌تر است و هم می‌تواند در مقیاس وسیع که

امکان انجام عملیات صحرایی و آزمایشگاهی نیست، به کار می‌رود. در این روش متغیرهای مختلف دخیل در مسئله مورد نظر به صورت لایه اطلاعاتی استخراج و جهت پردازش‌های بعدی وارد محیط نرم‌افزار GIS می‌گردد. خروجی حاصل جواب مسئله خواهد بود.

شعبان و همکاران (Shaban et al. 2004) در غرب لبنان که بیش از ۷۰٪ این نواحی از سنگ کربناته تشکیل شده، مطالعه‌ای به منظور تعیین نواحی با پتانسیل تغذیه بالا انجام داده و از سنجش از دور و GIS استفاده کردند، فاکتورهایی مانند پوشش گیاهی، لیتولوژی، کاربری اراضی، خطواره‌ها و ... که بر روی افزایش یا کاهش پتانسیل تغذیه مؤثرند را به صورت لایه‌های اطلاعاتی وارد محیط GIS کرده و با وزندهی مناسب سرانجام یک نقشه نهایی از پتانسیل تغذیه دست یافتند که نشان می‌دهد ۵۷٪ از غرب لبنان را نواحی با پتانسیل تغذیه‌ای بالا یا خیلی بالا پوشانده است. بالاترین پتانسیل مربوط به نواحی مرتفع است که کارست در آن به خوبی توسعه یافته است. نتایج نشان می‌دهد که سالانه ۲۴٪ از کل میزان بارش تغذیه می‌شود که معادل ۱۸۷ میلیون مترمکعب در سال است.

کارتر و دریسکول (Carter and Driscoll 2005) برای بررسی رابطه بین بارندگی و ضریب آبدهی در نواحی کوهستانی با رخنمون آهکی در ناحیه بلک هیل (Black Hill) در غرب ایالت داکوتای جنوبی، به تخمین تغذیه با استفاده از GIS در این ناحیه پرداخته‌اند. ایالت داکوتای جنوبی دارای تنوع زیادی در بارندگی است. به این منظور از داده‌های سال آبی ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۸ استفاده کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد تغذیه میانگین سالانه از حدود یک سانتیمتر در جنوب منطقه مورد مطالعه تا ۲۲cm در شمال غرب بلک هیل (Black Hill) متغیر است.

اندرو و همکاران (Andreo et al. 2008) هشت آبخوان کارستی در جنوب اسپانیا را بررسی کرده که از لحاظ شرایط آب و هوایی و زمین‌شناسی دارای تنوع هستند و به منظور برآورد نفوذ از روش APLIS (ارتفاع، شیب، لیتولوژی، نفوذ و عوارض سطحی و نوع خاک) استفاده کردند. محدوده تغذیه در این آبخوان‌ها از ۳۳ تا ۵۵٪ تخمین زده شده است و با دبی حوضه همخوانی نشان می‌دهد.

یه و همکاران (Yeh et al. 2008) فاکتورهای لیتولوژی، پوشش زمین، کاربری اراضی، خطواره‌ها، زهکشی و شیب را در آبخوانی در تایوان به منظور شناسایی مناطق مستعد جهت تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند. در این ناحیه آبرفت، ماسه گراولی و آهک

رخنمون دارد، کمترین مقدار تغذیه آبخوان به نواحی با پوشش سنگ آهک اختصاص دادند. منقی و همکاران (Manghi et al. 2008) به تخمین تغذیه آب زیرزمینی در آبخوان ماسه سنگی در جنوب کالیفرنیا با بکارگیری نرم افزار GIS پرداختند و میانگین تغذیه سالانه را از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۵ برابر ۱۲/۵ میلیون مترمکعب تخمین زده‌اند. براساس پارامترهای شرکت کننده در بیلان، میانگین سهم تغذیه آب زیرزمینی در طول دوره‌های مرطوب بیشتر از ۴۰٪ از بارش بوده در حالی که در دوره خشک کمتر از ۲۰٪ است.

السود (Al saud 2010) با استفاده از RS و GIS به پهنه‌بندی مناطق مستعد تغذیه آبخوان‌های سنگ سخت (سنگ‌های دگرگون) در حوالی مکه در عربستان پرداختند و ۱۲-۱۵٪ از مناطق را نواحی با پتانسیل بالا تشخیص دادند که عمدتاً در نواحی با سیستم درزه وسیع قرار گرفته است. رادولویک و همکاران (Rodulovic et al. 2011) برای ارزیابی توزیع مکانی تغذیه در مونتنگرو (Montenegro) که به شدت کارستی شده از روشی تحت عنوان KARSTLOP استفاده کردند. این منطقه دارای ویژگی‌هایی مانند بارش زیاد، توزیع فصلی نامنظم بارش‌ها و عدم وجود منبع آب سطحی است. در این روش پارامترهای موثر در نفوذ را به صورت لایه‌های اطلاعاتی وارد محیط GIS کرده و مناسبترین مکان تغذیه را تعیین می‌کنند. این لایه‌ها شامل درجه کارستی شدن، شرایط آب و هوایی، رواناب، شیب، تکتونیک، لیتولوژی، لایه‌های بالایی و پوشش گیاهی است. میزان نفوذ از ۶۶ تا ۷۱٪ میزان بارش محاسبه شد.

شیلاگری و همکاران (Szilagyi et al. 2011) در ماسه سنگ نبراسکا (Nebraska)، در آمریکا با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و با تفاوت در میانگین بارش و تبخیر و تعرق سالانه و بارندگی ماهانه، میانگین تغذیه را تخمین زده‌اند. بزرگترین میزان تغذیه برآورد شده برابر ۱۲٪ ± ۳۰ از بارندگی بوده است، که در ناحیه‌ای از منطقه مورد مطالعه رخ داده که دارای بیشترین میزان بارندگی است.

شفیعی (۱۳۸۲) به منظور ارزیابی عوامل موثر بر نفوذ در تاقدیس پودنو در جنوب شیراز دو ابزار سنجش از دور و GIS را بکار گرفت و براساس استخراج واحدهای زمین‌شناسی، خطواره‌ها و نوع پوشش سطحی در محدوده مورد مطالعه نقشه نفوذپذیری نسبی را ارائه داد.

غیثی و زارع (۱۳۸۷) عوامل موثر در توسعه کارست را در بخشی از پهنه کارستی زاگرس در استان فارس با کمک نرم افزار GIS بررسی نمودند، بر این اساس لایه های اطلاعاتی تهیه شده برای نرم افزار شامل لایه های لیتولوژی، چگالی خطواره، شیب سطح زمین، بارش، دما و پوشش گیاهی است که با استفاده از اطلاعات رقومی سنجش از دور، نقشه های زمین شناسی، نقشه های توپوگرافی، نقشه پوشش گیاهی و آمار بارش و دما در نرم افزار GIS پتانسیل کارستی شدن منطقه مورد نظر را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. با بررسی کارشناسی و بازدید صحرایی به صورت نقشه معیار با ترکیب وزنی مناسب به روش هم پوشانی وزن دار شده با هم تلفیق شدند. طبق نتایج به دست آمده نشان می دهد هر چه چگالی خطواره ها بیشتر باشد به دلیل نفوذ بالاتر، توسعه کارست هم بیشتر خواهد بود. تأثیر شیب هم به همین صورت بررسی می شود که شیب بیشتر مانع از نفوذ بیشتر آب شده و توسعه کارست کمتری را نشان می دهد.

۲-۲-۶- سایر روش ها

براون و همکاران (Browne et al.) برای کاهش رواناب و سیلاب و نیز جلوگیری از فرسایش عمودی اپی کارست و توسعه فروچاله ها اقدام به نصب زهکش های ثقیلی به منظور انتقال رواناب به طور مستقیم به حفره های موجود در اپی کارست کرده اند، که مقادیر بالای رواناب را به سرعت بیشتری به آب زیرزمینی تغذیه کنند. نکته مهم در این کار کیفیت قابل قبول آب نفوذی است. در این کار حدود ۵۰٪ از مقدار رواناب سالانه کاهش یافته که نشان دهنده نفوذ این میزان رواناب به درون زمین است. زمین های آهکی به دلیل به وجود آمدن حفره ها، درزه ها، شکاف ها و مجاری متعدد بزرگ و پیوسته بر اثر آب های حاوی گاز کربنیک دارای قابلیت نفوذ زیاد می باشند بنابراین آبی که به این طریق در زمین نفوذ می کند، می تواند منابع آبی عظیمی را به وجود آورد. جهت به کمیت درآوردن میزان تغذیه آب زیرزمینی همانطور که از دسته بندی های مختلف آن مشخص است روش های متنوعی وجود دارد که انتخاب این روش ها با توجه به مسائل مختلفی از جمله محدودیت هزینه، محدودیت مقیاس زمانی و مکانی، قابل اطمینان بودن مقادیر برآورد شده، شرایط آب و هوایی و... وجود دارد. در نهایت در اکثر روش های معرفی شده بر این نکته تأکید شده است که به منظور بالا بردن ضریب اطمینان

تخمین صورت گرفته، بهتر است از چند روش محاسبه تغذیه استفاده شود.

۲-۳- ارزیابی حدود درصد تغذیه سالانه در کارست های مناطق مختلف

عوارض کارستی مختلف، شرایط متفاوتی را برای نفوذپذیری فراهم می کنند، و حتی ممکن است یک عارضه مشخص کارستی در دو ناحیه مختلف، شرایط نفوذ متفاوتی را داشته باشد. با توجه به این مطالب و نیز مطالعات موردی مختلفی که برخی از آن ها در این فصل گنجانده شده است، برای دستیابی به میزان مشخص نفوذ و یا اینکه بتوان معادله نفوذ مناسب برای مناطق کارستی ارائه داد، نیازمند مطالعات صحرایی فراوانی است. این مطالعات باید به گونه ای باشند که کلیه عوامل تأثیرگذار در مقدار نفوذ آب به داخل کارست به دقت مورد ارزیابی قرار گیرند. به طور کلی مقدار تغذیه سالانه در کارست های مختلف، عمدتاً به میزان توسعه کارست و نوع بارش در منطقه وابسته است. به طوریکه هر چه کارست توسعه یافته تر باشد و سهم برف از بارش بیشتر باشد تغذیه سالانه هم به طور قابل توجهی بیشتر خواهد بود.

براساس نتایج به دست آمده از مطالعات مختلف، درصد تغذیه سالانه در کارست های با توسعه یافتگی مختلف از حدود ۲۰ درصد تا ۹۰ درصد متغیر است. در کارست هایی با توسعه یافتگی کم (که سیستم غالب جریان از نوع افشان است)، درصد تغذیه سالانه حدود ۲۰ الی ۴۰ درصد می باشد. در کارست های با توسعه یافتگی متوسط (که سیستم جریان ترکیبی از سیستم افشان و مجرای است)، درصد تغذیه سالانه حدود ۳۰ تا ۶۰ درصد متغیر است. در کارست بسیار توسعه یافته (سیستم جریان مجرای)، درصد تغذیه سالانه حدود ۵۰ تا ۹۰ درصد می باشد.

فصل سوم: روش انجام کار

در این فصل سعی شده است که کارهای انجام شده برای برآورد مقدار نفوذ در منطقه کارستی شرق و جنوب شرق روانسر به طور مختصر ارائه شود. مهم ترین کارهای انجام شده شامل موارد زیر می-باشند:

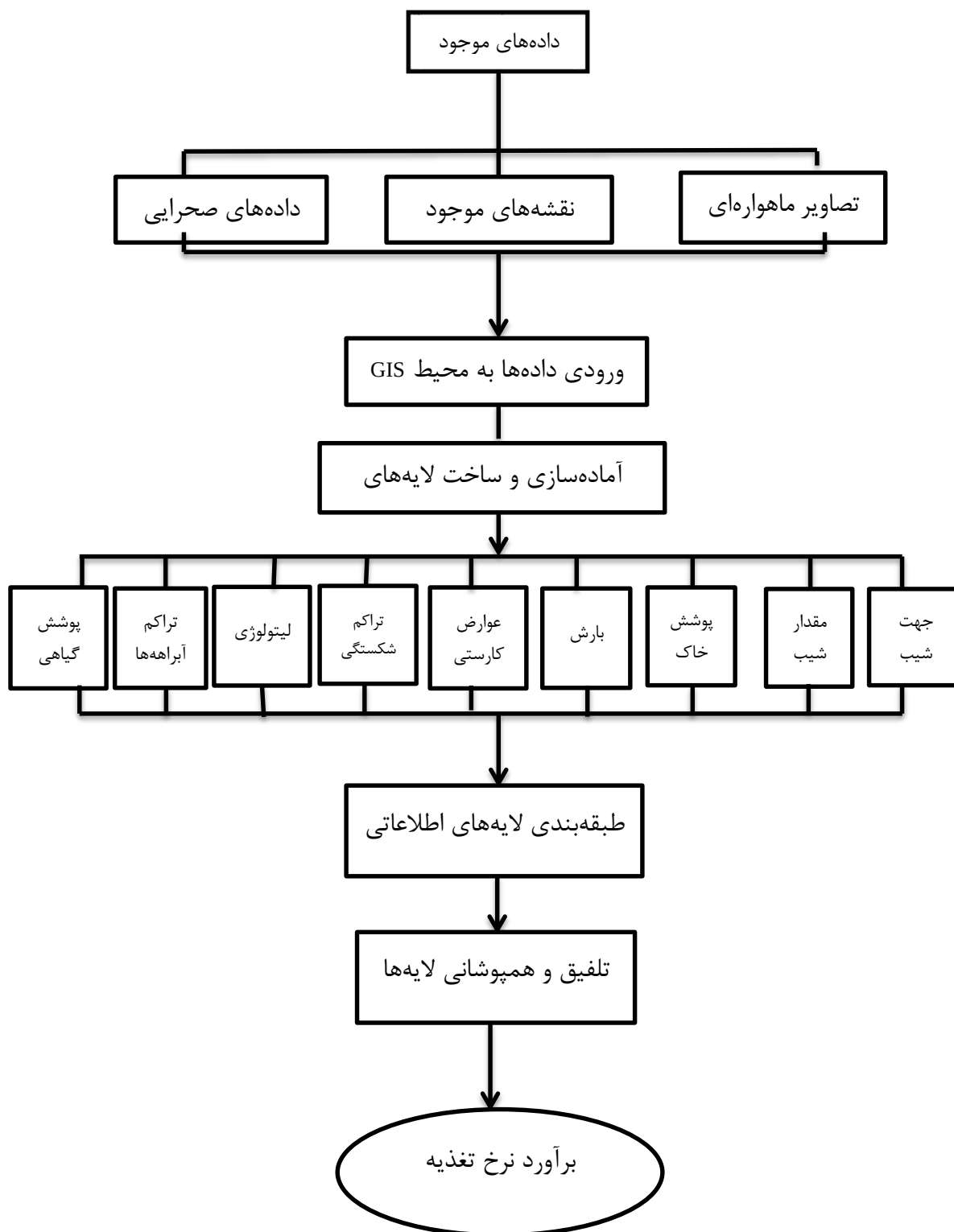
- جمع آوری و مطالعه گزارش مطالعات انجام شده مرتبط با موضوع
- تهیه تصاویر ماهواره ای مورد نیاز از منطقه مورد مطالعه
- تهیه اطلاعات بارندگی، دما، تبخیر مربوط به ایستگاه های موجود در مجاورت منطقه
- تهیه بسته های نرم افزاری
- بازدید صحرایی از منطقه و شناسایی عوامل موثر بر نفوذ و نیز عوارض کارستی منطقه
- تهیه نقشه زمین شناسی منطقه
- تهیه لایه های اطلاعاتی مؤثر بر تغذیه با استفاده از نرم افزار Arc GIS 10، Google Earth و ...
- تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده

به طور کلی می توان مراحل انجام کار را به صورت پنج مرحله شامل گردآوری داده ها، آماده سازی لایه های اطلاعاتی، طبقه بندی داده ها، امتیازدهی و تلفیق داده ها مرتب کرد. در شکل (۳-۱) این مراحل جهت برآورد میزان نفوذ در منطقه مورد مطالعه، ارائه شده است، و در ادامه این مراحل تشریح شده اند.

۳-۱- جمع آوری آمار و اطلاعات و نقشه های منطقه مورد مطالعه

آمار و اطلاعات مورد نیاز برای ارزیابی مقدار تغذیه در منطقه، مانند آمار بارش، دبی چشمه ها،

اطلاعات مربوط به چاه های بهره برداری و پیزومتری از شرکت آب منطقه ای کرمانشاه و کردستان جمع آوری شد.



شکل ۳-۱- مراحل مدل سازی برآورد نرخ نفوذ با استفاده از GIS

نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده از سازمان زمین‌شناسی و سازمان فضایی کشور و نقشه مربوط به راه‌های دسترسی به منطقه، جهت بازدید صحرایی، از سازمان گیتاشناسی تهیه گردید.

۳-۲- تولید و ساخت لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی، لازم است اطلاعات جمع‌آوری شده دارای فرمت قابل قبول برای ورود به محیط نرم‌افزار Arc GIS باشند. اطلاعات تصویری مانند نقشه‌ها پس از اسکن نمودن با فرمت JPEG و سایر اطلاعات آماری با فرمت اکسل (Xls) وارد محیط نرم‌افزار شده است. سپس با توجه به نقشه‌های پایه و آمار موجود اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی ذکر شده می‌شود.

نرم‌افزارهای مختلفی که جهت تولید این لایه‌ها استفاده شده است در جدول (۳-۱) ذکر شده‌اند.

جدول ۳-۱- برخی از نرم‌افزارهای مورد استفاده و موارد کاربرد آن

نرم‌افزار	کاربرد
ArcGIS 10	تهیه نقشه‌های مختلف با استفاده از توابع و دستوالعمل‌های مختلف
ENVI 4.3	استخراج پوشش گیاهی و اعمال فیلتر جهت استخراج نقشه شکستگی‌ها
Expert Choice 2000	ایجاد سلسله مراتب و وزن‌دهی به روش AHP
Google Earth	استخراج لایه پوشش خاک و عوارض کارستی
Global Mapper 13	تهیه نقشه توپوگرافی و استخراج آبراهه‌ها

تولید لایه‌های اطلاعاتی از لایه‌های ورودی، مرحله دوم کار است. لایه‌های مورد نیاز که باید ایجاد شوند شامل لایه اطلاعاتی جهت شیب (Aspect)، مقدار شیب (Slope)، لیتولوژی، مناطق داری پوشش خاک، عوارض کارستی مهم، تراکم شکستگی‌ها (Density)، تراکم پوشش گیاهی، تراکم آبراهه‌ها و مقدار بارش می‌باشند.

۳-۳- طبقه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی

مرحله بعد از ایجاد لایه‌های اطلاعاتی، ترکیب لایه‌های ایجاد شده است، جهت ارزیابی مقدار نفوذ در منطقه لازم است لایه‌ها را به یک مقیاس واحد تبدیل نمود. این مناطق طبق عوامل مختلف مؤثر بر تغذیه تعیین شده‌اند. مقیاس‌بندی این لایه‌ها براساس نظرات کارشناسی است و لایه‌های اطلاعاتی به نسبت فواصل مساوی طبقه‌بندی می‌شوند که بیانگر این است که هر موقعیت مشخص (هر پیکسل) تا چه میزان برای تغذیه مناسب می‌باشد. ارزش‌های بالاتر به گروه‌هایی داده می‌شود که دارای اهمیت بیشتر در تغذیه هستند.

۳-۴- امتیازدهی لایه‌های اطلاعاتی

از مهم‌ترین مراحل کار تعیین اهمیت نسبی پارامترهای مؤثر در تغذیه و وزن‌دهی مناسب به هر یک از آن‌هاست. روش‌های مختلفی برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در مطالعات مکانیابی وجود دارد. برخی از این روش‌ها بر پایه داده‌ها و به عبارت دیگر داده محورند و برخی دیگر از روش‌ها براساس دانش کارشناسی یا کارشناس محور هستند. روش اول (داده محور)، در مدل‌هایی مانند تجزیه و تحلیل شبکه عصبی استفاده می‌شوند. در مدل‌های فازی بیشتر از روش کارشناس محور استفاده می‌شود که مبتنی بر دانش و تجربه کارشناسان است. در این مطالعه از نظر کارشناسی استفاده شده است.

۳-۵- همپوشانی و تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه معیار

همانطور که قبلاً ذکر شد روش‌های مختلفی که برای تلفیق داده‌ها در مطالعات مکانیابی وجود دارد، داده محور یا کارشناس محور می‌باشند. جهت اعمال تحلیل‌های تصمیم‌گیری، ارزش‌های موجود در نقشه معیار تغییر داده می‌شود و تبدیل به واحدهایی می‌شوند که قابل مقایسه باشند. به عبارت دیگر جهت تلفیق لایه‌ها بایستی مقیاس معیارها یکسان باشند.

وزن هر معیار نشان‌دهنده میزان اهمیت و ارزش آن معیار نسبت به سایر معیارها در عملیات مکانیابی است، با توجه به اینکه میزان تأثیر هر پارامتر در هدف مورد نظر متفاوت است، اهمیت این مرحله از

کار، قبل از تلفیق نقشه های معیار مشخص می گردد. اغلب ارزش دهی ها براساس نظر کارشناسی و با در نظر گرفتن فاکتورهای مختلف مانند محدوده مطالعاتی، پارامترهایی که برای مکانیابی در نظر گرفته می شود و... صورت می گیرد. در این تحقیق از چند روش وزن دهی استفاده شده است که در برخی از روش ها نظر کارشناسی به میزان بیشتر اعمال شده و در برخی از روش ها اثر این مورد کمتر است و در نهایت نتایج حاصله با یکدیگر مقایسه شده اند.

روش های وزن دهی مورد استفاده عبارتند از نظر کارشناسی، وزن دهی نسبی، تأثیرگذاری معیارها بر هم و در نهایت روش مقایسه زوجی است. به ترتیب روش ها اثر اعمال نظر کارشناسی کمتر می شود.

۳-۵-۱- وزن دهی کارشناسی

در این روش تصمیم گیرنده وزن معیار را براساس نظر کارشناسی در یک مقیاس مشخص برای مثال صفر تا ۱۰۰ تخمین می زند. در این روش از تصمیم گیرنده خواسته می شود این ۱۰۰ امتیاز را بین معیارهای مختلف تقسیم نماید. امتیاز صفر به معنی صرفه نظر از آن معیار و امتیاز ۱۰۰ برای معیاری به کار می رود که اگر قرار بود فقط یک معیار برای تصمیم گیری در نظر گرفته می شد، همان یک معیار مورد توجه قرار می گرفت.

۳-۵-۲- وزن دهی نسبی

مراحل ابتدایی کار همانند روش کارشناسی است با این تفاوت که بعد از اختصاص دادن وزن های مختلف به معیارها، امتیاز هر معیار بر امتیاز کم اهمیت ترین معیار تقسیم می شود و براساس وزن های حاصله نقشه ها با یکدیگر تلفیق می شوند (Malczewski 1999).

۳-۵-۳- تأثیرگذاری پارامترها

این روش را شعبان (Shaban 2003) معرفی کرد. شاید بتوان آن را جزء روش وزن دهی نسبی دانست با این تفاوت که در این روش نظر کارشناسی تنها در مراحل ابتدایی مؤثر است. در واقع اعمال

نظر مستقیم کارشناسی در زمان ارزش دهی به دسته ها در لایه های اطلاعاتی صورت می گیرد. سپس تأثیرگذاری هر کدام از این معیارها به صورت تأثیر اصلی و فرعی بر روی هم بررسی می شود. هر اثر اصلی امتیاز یک و هر تأثیر فرعی عدد $0/5$ را به خود اختصاص می دهد. با جمع این اعداد برای هر معیار یک نرخ (Rate)، به دست می آید. با ضرب نرخ هر معیار در ارزش هر دسته، وزن هر دسته محاسبه می شود و وزن کل معیار، با جمع وزن دسته های آن معیار به دست می آید. از تقسیم وزن کل هر معیار بر مجموع وزن ها، وزن نهایی به صورت درصد محاسبه می گردد.

۳-۵-۴- روش مقایسه زوجی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یا AHP توسط توماس ال ساعتی (Saaty 1986) برای حل مسائل چند متغیره طراحی شد. ارزش های اختصاص یافته به هر پارامتر در این روش با استفاده از مقیاسی که توسط ساعتی، در محدوده یک تا نه، طراحی شده است، استفاده می شود. این مقیاس در جدول (۳-۲) ارائه شده است.

جدول ۳-۲- مقادیر ترجیحات برای مقایسه های زوجی (برگرفته از قدسی پور ۱۳۸۱)

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مطلوب تر
۷	مطلوبیت خیلی قوی
۵	مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب تر
۱	مطلوبیت یکسان
۲ و ۴ و ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

در فرایند تحلیل سلسله مراتبی متغیرهای عناصر در هر سطح، نسبت به عنصر در سطح بالاتر به صورت دو به دو مقایسه می شود. که این وزن ها را وزن نسبی می گویند و با تلفیق وزن های نسبی وزن مطلق پارامتر مورد نظر محاسبه می شود. با استفاده از نظر چند کارشناس، و استفاده از نرم افزار EC وزن نسبی و مطلق مربوط به هر پارامتر محاسبه گردید.

براساس هر یک از این وزن دهی ها میزان نفوذ منطقه برآورد شده و با یکدیگر مقایسه خواهد شد.

فصل چهارم: ارزیابی مقدار تغذیه در منطقه کارستی شرق و

جنوب شرق روانسر با استفاده از GIS

از آنجایی که مصرف آب روز به روز در حال افزایش است، گرایش به استفاده از آب های زیرزمینی کارستی، با در نظر گرفتن کیفیت بسیار مطلوب آب آبخوان های کارستی روز به روز بیشتر می شود. برآورد مقدار تغذیه در این آبخوان ها به منظور بهره برداری مجاز از آن ها ضروری می باشد. در این مطالعه سعی شده است با استفاده از روش ها و اصول اولیه زمین شناسی، هیدروژئولوژی و نیز ابزار سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی لایه های اطلاعاتی مؤثر در نفوذ آب به آبخوان های کارستی تهیه شود و اقدام به پردازش، وزن دهی و هم پوشانی لایه های اطلاعاتی گردد. از آنجایی که سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان تلفیق لایه های مختلف را فراهم می کند، استفاده از این روش ضمن تسریع کار مقدار خطا را نیز کاهش می دهد. در ادامه مراحل انجام کار به طور مختصر شرح داده شده است. به طور کلی با استفاده از روش های دورسنجی و GIS لایه های اطلاعاتی مؤثر بر نفوذ، استخراج شده و به هر عامل در هر لایه ارزش داده شده، سپس با وزن حاصل از نظر کارشناسی لایه ها با هم تلفیق شدند و در نهایت منطقه کارستی مورد نظر به لحاظ مقدار نفوذ زون بندی شد.

این فصل به دو بخش تقسیم شده است، بخش ابتدایی شامل مطالعات هیدروژئولوژیکی مقدماتی انجام شده در منطقه و بخش دوم مراحل کار با نرم افزار Arc GIS، و تهیه لایه های اطلاعاتی است.

۱-۱- مطالعات هیدروژئولوژیکی انجام شده

۱-۱-۴- چشمه های موجود در منطقه

همانطور که در فصل اول اشاره شد، در منطقه به علت توسعه کارست و نیز شکستگی های موجود در آهک های منطقه، سیل خیزی وجود ندارد. به عبارت بهتر، عمده بارش منطقه به آبخوان منطقه نفوذ می کند که خود تغذیه کننده چشمه های منطقه است. در اطراف منطقه چشمه های کارستی مختلفی وجود دارد که در ادامه به آن ها اشاره اجمالی خواهد شد.

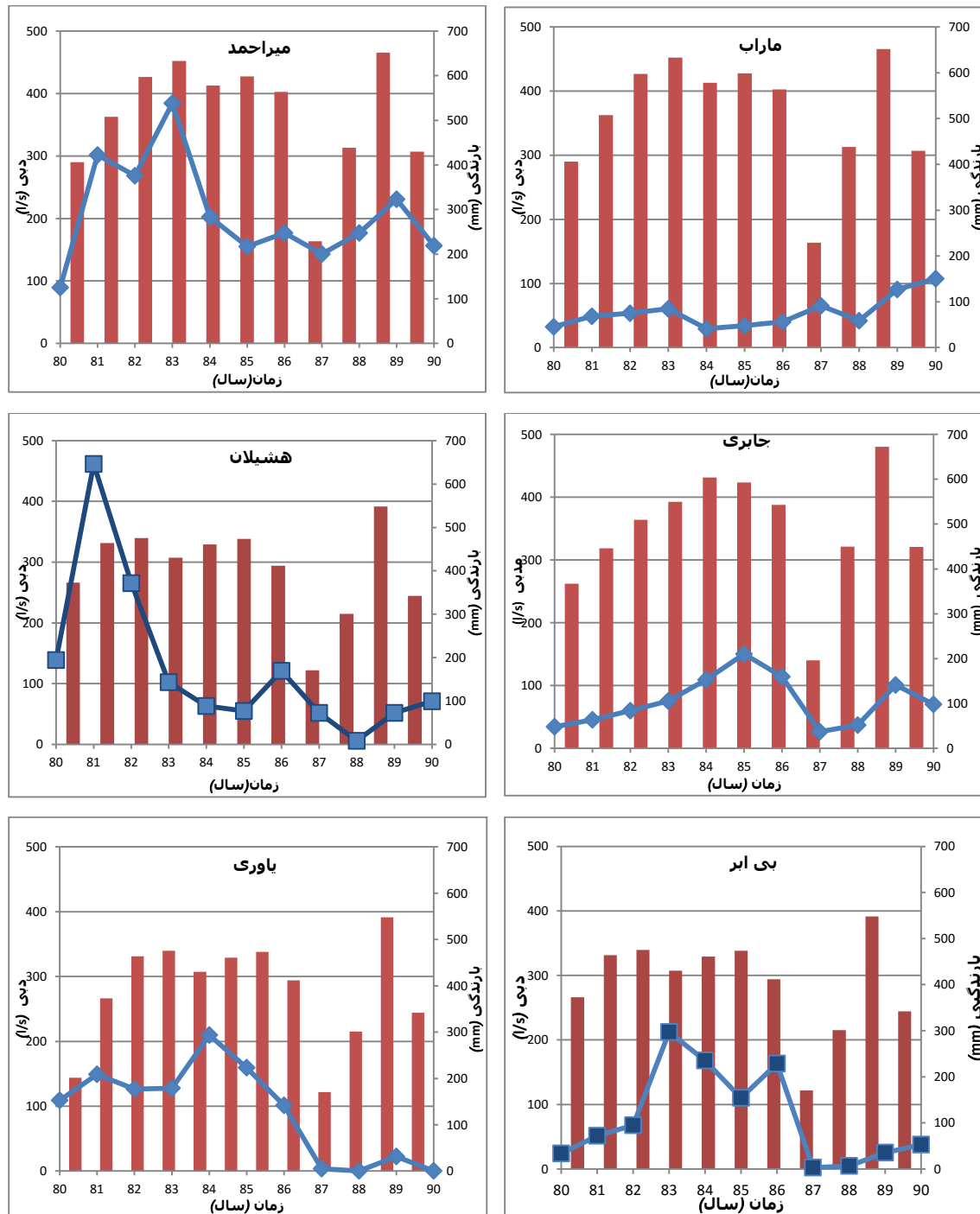
موقعیت جغرافیایی چشمه های کارستی منطقه که در اطراف ارتفاعات مورد مطالعه قرار گرفته اند به همراه ارتفاع آنها در جدول (۱-۴) ارائه شده است.

جدول ۱-۴- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع چشمه های اطراف منطقه مورد مطالعه

نام چشمه	UTMX	UTMY	ارتفاع (m)	دبی میانگین سالانه (l/s)
جابری	۶۵۳۵۷۵	۳۸۴۰۸۶۱	۱۳۵۷	۷۴
سبزعلی - هشیلان	۶۷۳۶۲۳	۳۸۲۸۵۷۸	۱۳۱۷	۱۲۶
میراحمد	۶۶۷۱۴۱	۳۸۴۷۸۹۸	۱۴۳۸	۲۰۸
ماراب	۶۶۰۹۷۱	۳۸۵۵۴۴۹	۱۴۰۵	۵۵
یاوری	۶۷۵۷۲۴	۳۸۱۶۶۲۰	۱۳۱۲	۹۷/۵
بی ابر	۶۶۹۴۷۱	۳۸۳۶۵۵۹	۱۳۶۶	۷۸/۸

نمودار مربوط به هر چشمه برای دوره ۱۰ ساله، از سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۸۰ تا سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۹، در شکل (۱-۴) ارائه شده است، به علت فقدان اطلاعات در برخی چشمه ها، این دوره کوتاه تر است.

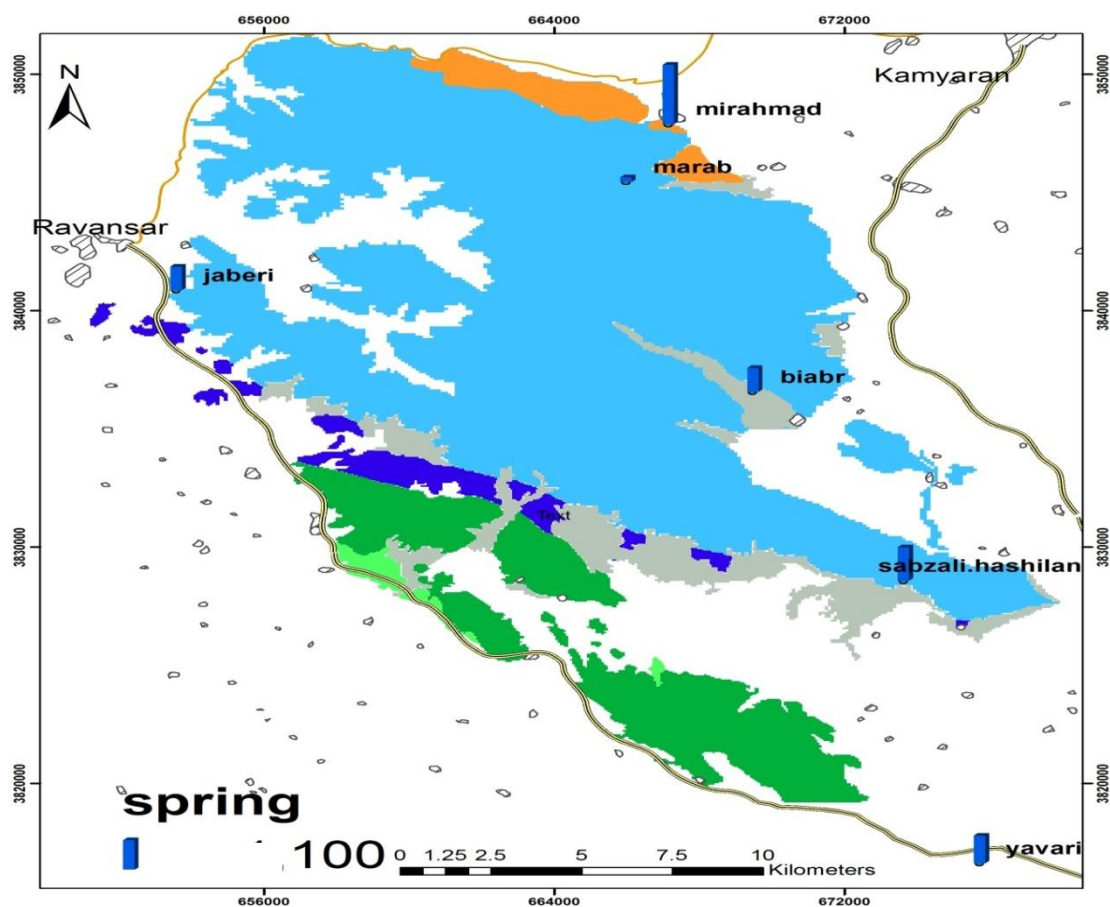
بر روی شکل مربوط به دبی چشمه ها، میزان بارش هم ترسیم شده است. در برخی چشمه ها مانند جابری، یاوری و هشیلان به علت نزدیک بودن ایستگاه باران سنجی به چشمه، از آمار بارش در نزدیکترین ایستگاه استفاده شده است (ایستگاه روانسر و دوآب مرگ و حجت آباد)، اما در چشمه های بی ابر، ماراب و میراحمد آمار ایستگاه های سرزامله، حجت آباد و ورمهنگ به کار رفته است.



شکل ۴-۱- دبی چشمه‌های موجود در منطقه (—)، بارش منطقه (■)

چشمه جابری پاسخ قابل قبولی به میزان بارش رخ داده در منطقه نشان می‌دهد، چشمه‌های ماراب، میراحمد و بی ابر هم تاحدودی به بارش عکس‌العمل نشان می‌دهد. اما اثر حفر بدون مدیریت چاه‌ها و بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب زیرزمینی، به خوبی بر روی چشمه هشیلان و با اثر کمتری بر روی

چشمه بی ابر و یاوری قابل مشاهده است.



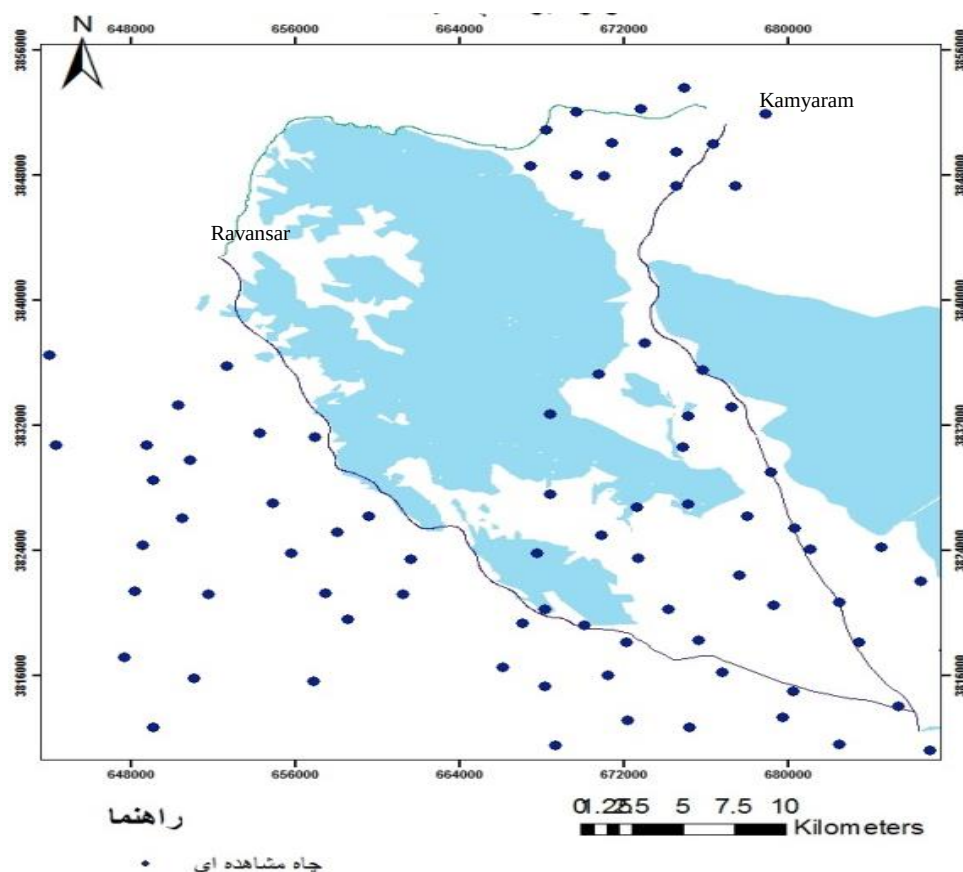
شکل ۴-۲- موقعیت قرار گیری چشمه های منطقه و مقایسه دبی چشمه ها

در شکل (۲-۴) دبی چشمه های مختلف، بر روی نقشه پایه، با توجه به محل قرارگیری چشمه ها با هم مقایسه شده اند. وجود چشمه های زیاد در منطقه و حجم تقریباً قابل توجه دبی این چشمه ها و نیز دبی پایه رودخانه های جاری در منطقه، مبین وجود منابع آب زیرزمینی غنی در منطقه است. محل قرارگیری چشمه ها با عوامل مختلف از جمله لیتولوژی، شیب، ارتفاع، آبراهه ها و گسل های اصلی منطقه بررسی شد. از طرفی تمامی چشمه های منطقه در دامنه ارتفاعات دیده می شوند، آب ناشی از ذوب برف و آب های درون سیستم کارستی منطقه بر اثر شیب توپوگرافی به سمت پایین حرکت می کنند و سرانجام در مظهر چشمه از زمین خارج می شوند. همه چشمه های منطقه در شیبی کمتر از ۲۰ درجه و ارتفاعی کمتر از ۱۴۵۰ متر قرار گرفته اند. چشمه میراحمد با میانگین دبی ده ساله بیش از ۲۰۰ لیتر بر ثانیه، بیشترین آبدهی و چشمه های سبزعلی هشیلان، یاوری، بی ابر و جابری

در رتبه‌های بعدی قرار دارند و چشمه ماراب از بین این چشمه‌ها کمترین میزان دبی را داراست. با این حال همه چشمه‌ها دبی میانگین ده ساله بیشتر از حدود ۲۰ لیتر بر ثانیه را دارند.

۴-۱-۲- جهت حرکت آب زیرزمینی در دشت‌های آبرفتی منطقه

برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در نقاط مختلف کشور در سال‌های اخیر باعث افت سطح آب زیرزمینی شده است. پایین افتادن سطح آب زیرزمینی مسبب مشکلات عدیده‌ای می‌گردد، از جمله این مسائل می‌توان به فرونشست زمین، افزایش سیل‌خیزی منطقه، تغییر شیب زمین و ... اشاره کرد. در این مطالعه براساس آمار مربوط به حدود ۸۰ چاه پیزومتری موجود در محدوده مورد مطالعه (شکل ۴-۴)، سطح آب در سال‌های مختلف با هم مقایسه شده‌اند.



شکل ۴-۳- محل قرار گیری چاه‌های مشاهده‌ای

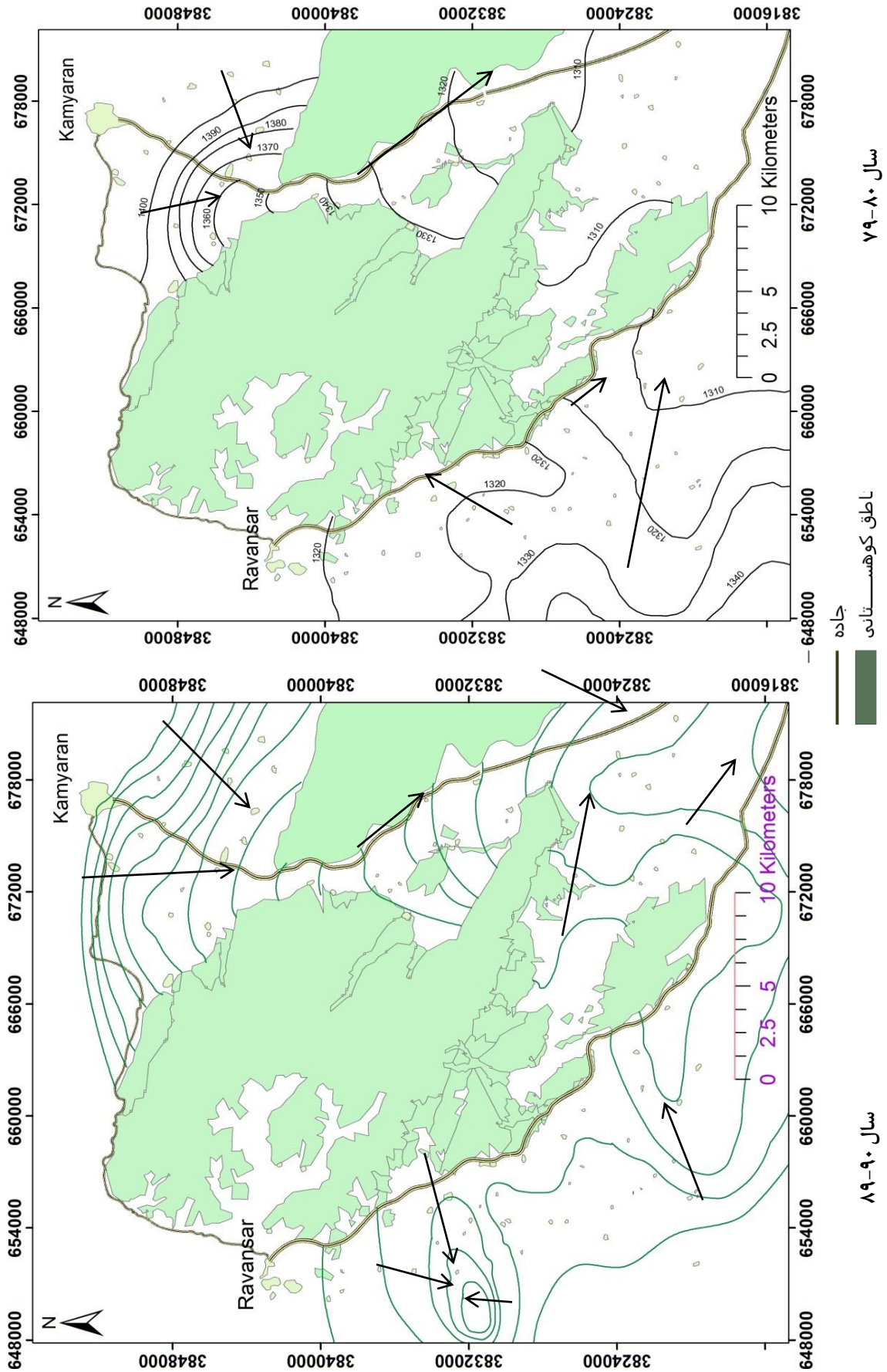
نقشه تراز آب در دوره های آبی ۱۳۷۹-۱۳۸۰ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰ به صورت دستی ترسیم گردید (شکل ۴-۵). نقشه افت ۱۰ ساله، مربوط به سال های ۱۳۷۹-۱۳۸۹ به صورت دستی ترسیم گردید، که در شکل (۴-۵) نشان داده می شود. تغییرات افت در دوره ۱۰ ساله به چند بخش تقسیم شده و در جدول (۴-۲) آمده است. همانطور که از نقشه (۴-۵) و جدول (۴-۲) مشخص است در قسمتی از بخش شمال شرقی منطقه بالآآمدگی سطح آب مشاهده می شود که می تواند ناشی از برداشت کمتر و یا تغذیه اضافی این بخش نسبت به سایر مناطق باشد و در طرف دیگر افت شدید مشاهده می شود. جهت بررسی افت کلی آبخوان های موجود در منطقه، با استفاده از روش تیسن، در محیط Arc GIS، محدوده تأثیر هر چاه مشاهده ای و وزن مربوط به آن تعیین گردید و با اعمال افت متوسط به این محدوده، سطح دشت از نظر افت در ابتدا و انتها مورد ارزیابی قرار گرفت. در نقشه سطح آب منطقه (شکل ۴-۴) در بخش شمال شرقی شیب هیدرولیکی زیاد است و افت شدید در سال های بعد را در این محدوده را می توان ناشی از دانه ریز بودن احتمالی دشت در این بخش و به تبع آن پایین بودن آبدهی ویژه و قابلیت انتقال دانست. در نتیجه در این بخش از منطقه به ازای برداشت، افزایش افت داریم. به طور کلی می توان دلیل افت آب در برخی نقاط، را به افزایش حفاری چاه های عمیق (مجاز و غیرمجاز)، و افزایش برداشت آب، به دلیل بیشتر شدن اراضی کشاورزی تحت پوشش کشت آبی، در منطقه از یک طرف و از طرف دیگر کاهش بارندگی در اثر خشکسالی های اخیر دانست.

جدول ۴-۲- تقسیم بندی مناطق دارای تغییرات سطح آب در دوره ۱۰ ساله

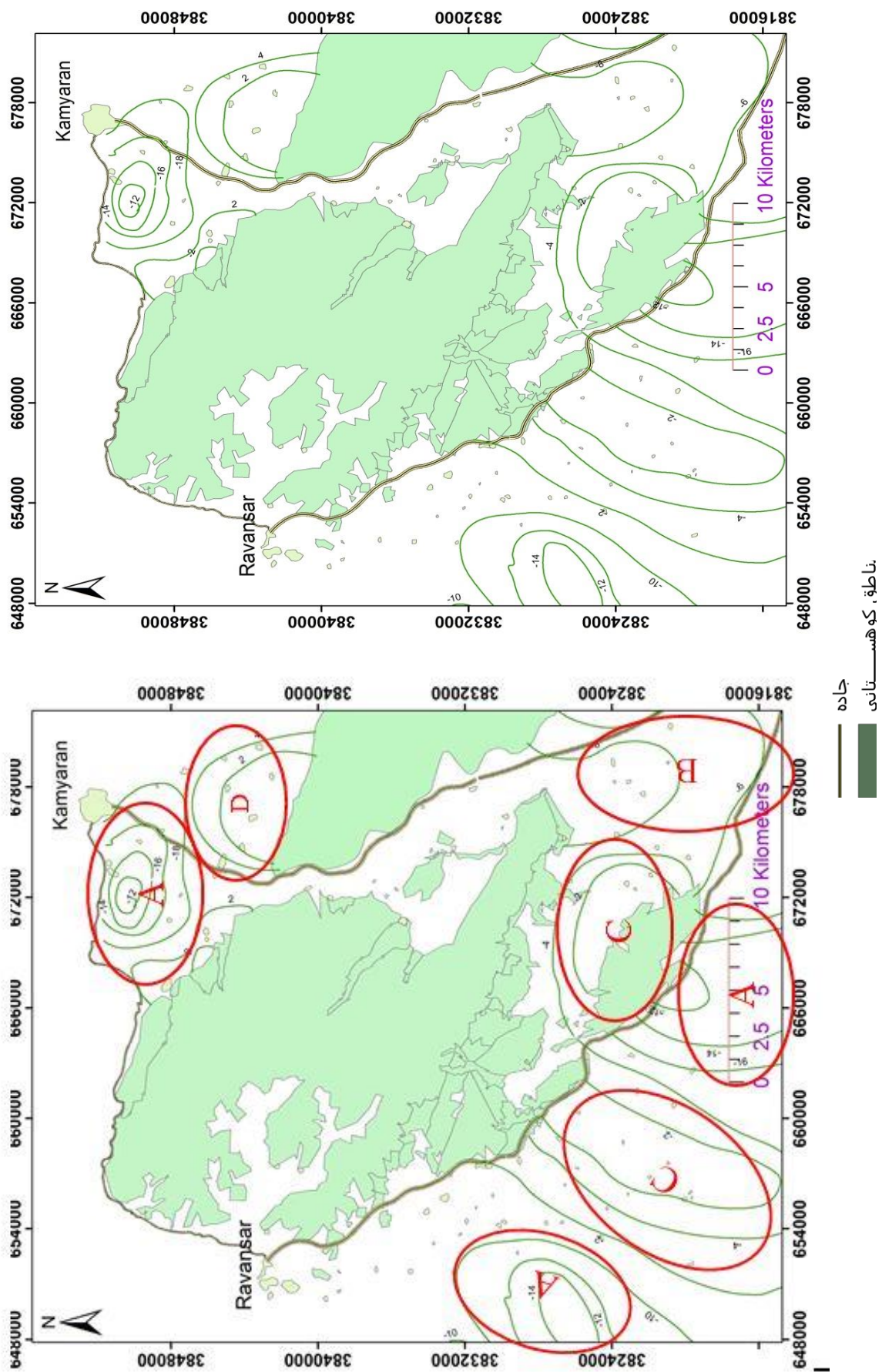
میزان افت	افت سالانه (m)	نام منطقه
افت زیاد	۱/۸ - ۱/۲	A
افت متوسط	۰/۸ - ۰/۶	B
افت کم	۰/۴ - ۰/۲	C
بالآآمدگی سطح آب	-	D

در سال های اخیر برخی از رودهای جاری در منطقه خشک شده اند، منبع اصلی تامین کننده آب این رودها چشمه های کارستی منطقه هستند به دلیل خشکسالی های اخیر، علاوه بر اینکه منابع آب سطحی کاهش یافته، گرایش کشاورزان به حفر چاه های عمیق، به منظور تبدیل اراضی دیم خود به کشت آبی هم افزایش یافته است. بنابراین بارش کمتر و افزایش نیاز مردم به مصرف منابع آب زیرزمینی را می توان اصلی ترین دلایل افت در آبخوان های منطقه دانست.

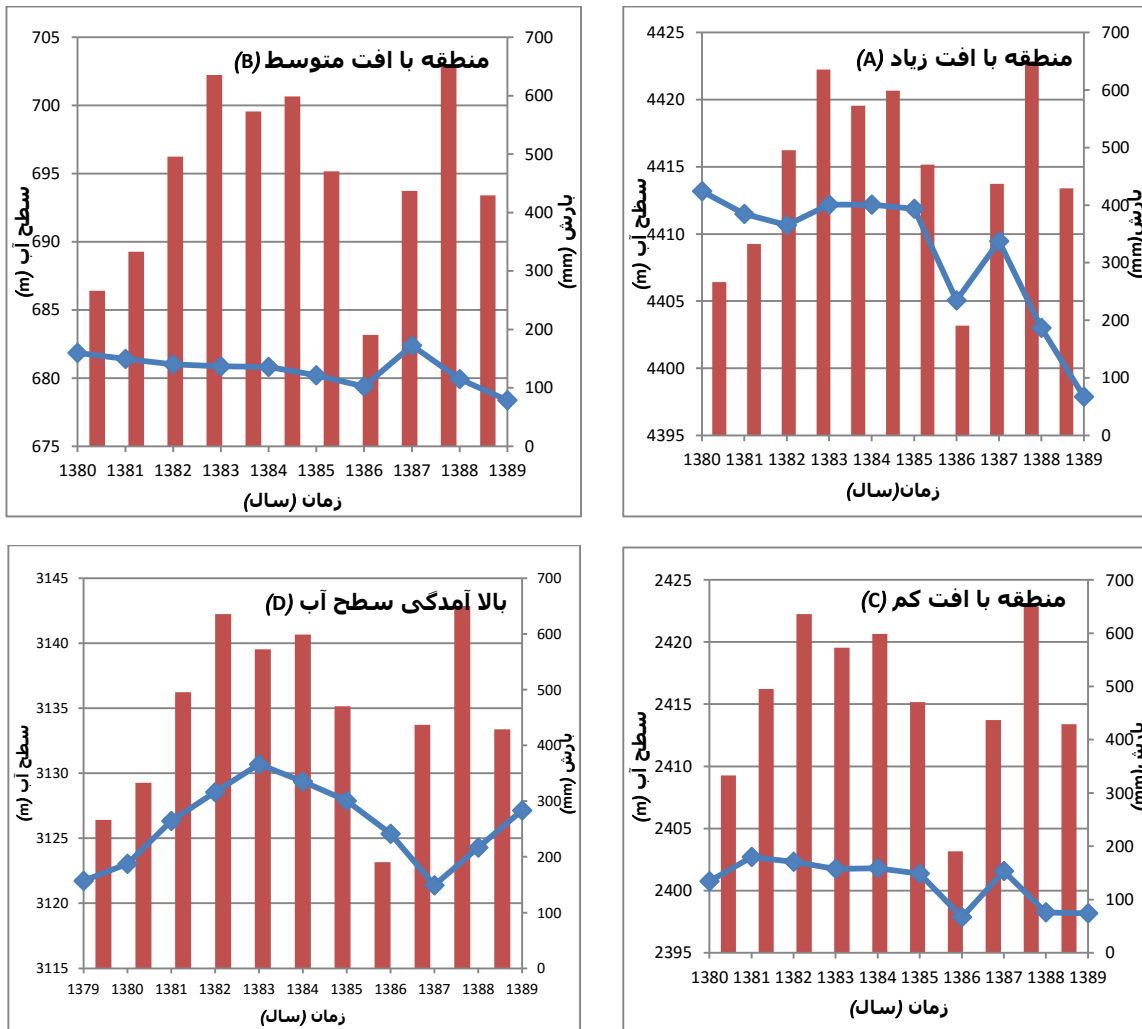
روند افت آب در اطراف این ارتفاعات به گونه ای است که برخی از پیزومترها در سال های خشکسالی و یا فصولی که میزان برداشت آب زیرزمینی بیشتر است، خشک می شوند. بسیاری از پیزومترها به خصوص در سال ۱۳۸۷، خشک شده و حتی چشمه یآوری نیز در این سال ۱۳۸۷ با افت چشمگیر دبی، به دبی ۳/۷ لیتر بر ثانیه رسیده و در سال بعد کاملاً خشک گردید. چشمه بی ابر نیز دارای همین وضعیت است (شکل ۴-۱). در شکل (۴-۶)، هیدروگراف مناطق با میزان افت های مختلف ترسیم گردیده است.



شکل ۴-۴ - نقشه هم پتانسیل سطح آب در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۵- نقشه افت منطقه در دوره دهساله ۸۹-۷۹ (شکل سمت راست) و مناطق هم‌افت (شکل سمت چپ)



شکل ۴-۶- هیدروگراف براساس افت منطقه به تفکیک مناطق (بارش (mm) ، سطح آب منطقه (m))

به منظور ارزیابی بهتر اثر بارش و سطح آب در این دوره ۱۰ ساله (سال ۷۹-۸۰ تا ۸۹-۹۰)، سطح آب موجود در دشت و بارش ثبت شده در ایستگاه‌های مجاور منطقه بر روی یک نمودار ترسیم شده است.

با استفاده از داده‌های سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای، نتایج بررسی‌های سطح آب و تغییر حجم آبخوان‌های موجود در دشت‌های اطراف منطقه در سال‌های ۷۹ تا ۸۹، به تفکیک سال در جدول (۳-۴) ارائه شده است.

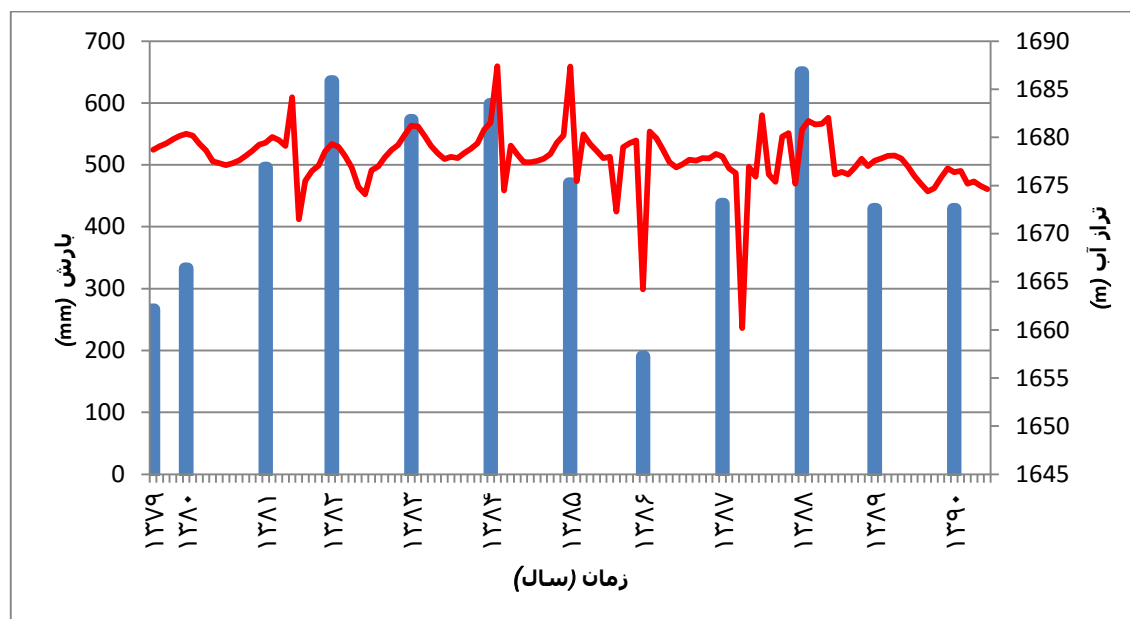
براساس هیدروگراف ترسیم شده، همانطور که قابل مشاهده است (شکل ۴-۷) در طی ۱۰ سال گذشته منطقه حدود ۳/۷ متر افت داشته است. به دلیل حفر چاه‌های عمیق در منطقه، خشکسالی-

های اخیر و مدیریت نامناسب منابع آب زیر زمینی در این منطقه - که جزو پرآب ترین مناطق استان کرمانشاه است - شاهد افت سطح آب زیر زمینی سالانه تقریباً ۳۷ سانتیمتر در منطقه هستیم و این روند با افزایش تقاضا رو به افزایش خواهد بود.

جدول ۴-۳- تغییرات سطح و حجم آبخوان در سال های مختلف

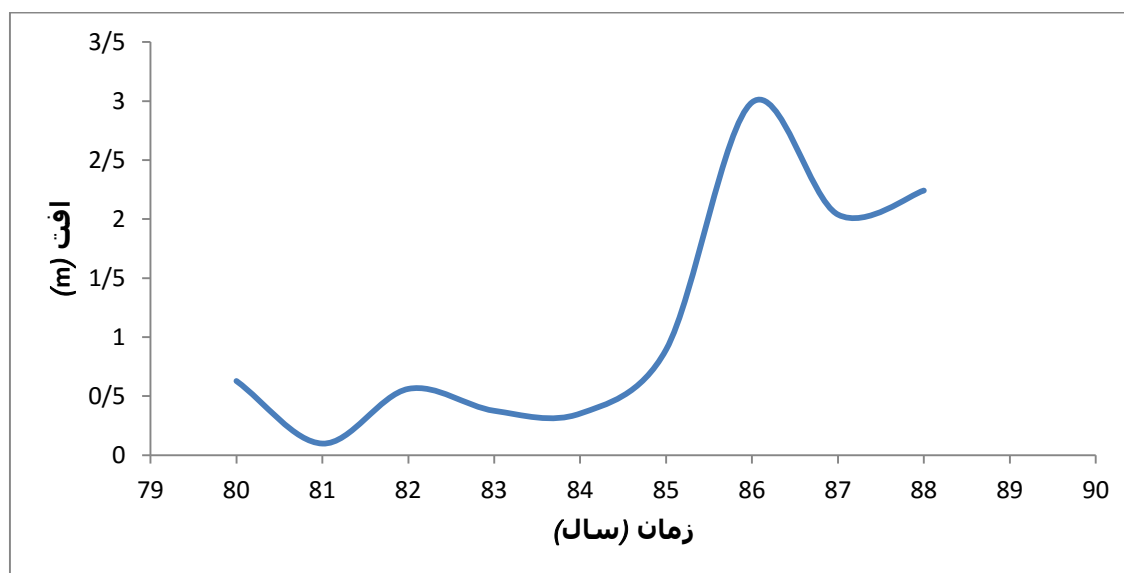
سال آبی	میانگین تغییر سطح ایستابی آبخوان (m)	میانگین تجمعی تغییر سطح ایستابی آبخوان (m)	میانگین تغییر حجم آبخوان (Mm ³)	میانگین تجمعی تغییر حجم آبخوان (Mm ³)
۸۰-۸۱	-۰/۶۲۸	-۰/۶۲۸	-۱۶۴۵/۶۲	-۱۶۴۵/۶۲
۸۱-۸۲	-۰/۳۵۴	-۰/۹۸۲	-۹۲۷/۳۹۴	-۲۵۷۳
۸۲-۸۳	+۰/۴۲۱	-۰/۵۶۱	+۱۱۰۲/۶۲۴	-۱۴۷۰
۸۳-۸۴	+۰/۱۸۵۶	-۰/۳۷۵	+۴۸۶/۰۹	-۹۸۴۲
۸۴-۸۵	+۰/۰۲۳	-۰/۳۵۲	+۶۰/۸۸	-۹۲۳
۸۵-۸۶	-۰/۵۴۱	-۰/۸۹۴	-۱۴۱۷/۵۵	-۲۳۴۰
۸۶-۸۷	-۲/۰۹۵	-۲/۹۸۹	-۵۴۸۶/۴	-۷۸۲۷
۸۷-۸۸	+۰/۹۵۰	-۲/۲۴۲	-۲۴۸۸/۶۲۲	-۵۳۳۸
۸۸-۸۹	-۰/۲۰۳	-	-۵۳۲/۶۸۱	-
۸۹-۹۰	-	-	-	-

در شکل (۴-۸) در سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۴ بالآمدگی سطح آب مشاهده می شود که می تواند مربوط به افزایش بارش در سال های ۱۳۸۲ به بعد تا سال ۱۳۸۵ باشد. افت شدید سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷ به طور مستقیم می تواند به کاهش چشمگیر بارندگی در منطقه مربوط شود که بیانگر پاسخ سریع آبخوان به تغییرات اقلیمی است، به این معنا که سیستم آبخوان منطقه به گونه ای است که سریعاً تغییرات را به سطح آبخوان منتقل می کند.



شکل ۴-۷- تغییرات سطح آب در بازه سال های ۷۹-۸۹

با افزایش بارش، سطح آب منطقه روند صعودی به خود گرفته و بالاتر آمده است، پایین افتادن دوباره سطح آب، احتمالاً مربوط به افزایش برداشت در منطقه است.



شکل ۴-۸- میانگین تجمعی تغییرات سطح آب آبخوان

۴-۲- تحلیل و پردازش داده‌ها از طریق نرم‌افزار

فراگیر بودن و هوشمندی نسبی GIS، این بانک اطلاعاتی را از سایر بانک‌های اطلاعاتی معمولی متمایز می‌کند. فراگیر بودن GIS را می‌توان به جمع‌آوری یکجای اطلاعات مکانی و توصیفی در زمینه‌های مختلف دانست. از طرفی GIS قادر است داده‌های مختلف را با هم انتخاب، تلفیق و تحلیل کند. عظیمی حسینی و همکاران (۱۳۸۹) سیستم اطلاعات جغرافیایی را شامل چهار رکن اندازه-گیری، نقشه کشی، پایش و مدلسازی می‌دانند. برای GIS تعاریف مختلفی ارائه شده است، به طور کلی GIS را مجموعه‌ای از سخت‌افزار، نرم‌افزار، داده، کاربر، سازمان‌ها و سلسله مراتب برای جمع-آوری، ذخیره، پردازش، تجزیه تحلیل و انتشار اطلاعات درباره نواحی مختلف زمین تعریف می‌کنند.

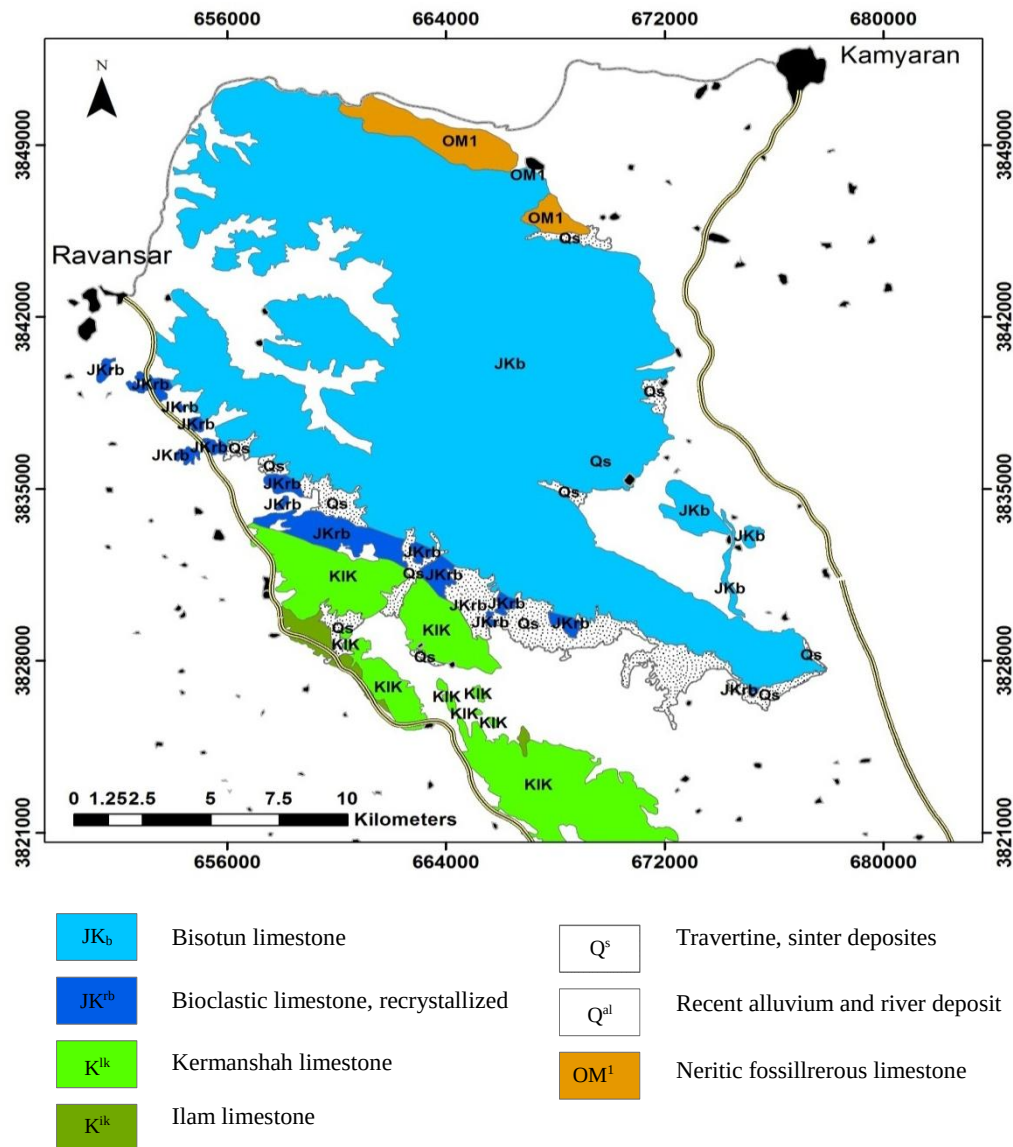
۴-۲-۱- تهیه لایه‌های اطلاعاتی

با استفاده از منابع مختلف نقشه و تصاویر مورد نیاز تهیه و با فرمت مناسب به محیط GIS وارد شدند. لایه‌های اطلاعاتی در قالب برداری و رستری بودند، جهت پردازش داده‌ها همه لایه‌ها به رستر تبدیل شدند. در واقع در پردازش داده‌ها اقدام به واضح سازی و استخراج اطلاعات می‌گردد.

الف - لایه لیتولوژی

لایه لیتولوژی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران در نرم‌افزار Arc GIS 10 تهیه گردید. همانطور که ملاحظه می‌شود، اکثریت منطقه از سنگ‌های آهکی تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۹). بدین منظور ابتدا نقشه زمین‌شناسی مورد نظر زمین‌مرجع شد و سپس سازندهای مختلف بر روی نقشه زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شدند. نقشه مذکور جهت انطباق و بررسی بیشتر با تبدیل فرمت مناسب به نرم‌افزار Google Earth وارد شد و نیز از ترکیب رنگ باندهای مختلف تصویر ماهواره‌ای هم استفاده شد. در نهایت با تبدیل فرمت برداری حاصل شده، به فرمت رستری و نیز استفاده از ابزار Spatial Analyst به هر سازند ارزش‌دهی شد و وزن مناسب تعلق گرفت. ارزش‌دهی به گونه‌ای صورت گرفت که تنها سازند مورد نظر (سازند بیستون) در محاسبات بعدی در نظر گرفته شود. ارزش‌های اختصاص یافته در ادامه در جداول مربوط به هر روش ذکر شده است. با توجه به

اینکه اکثر سازندهای منطقه آهکی هستند، وزن داده شده به لیتولوژی علیرغم اهمیت آن نسبتاً کم است.

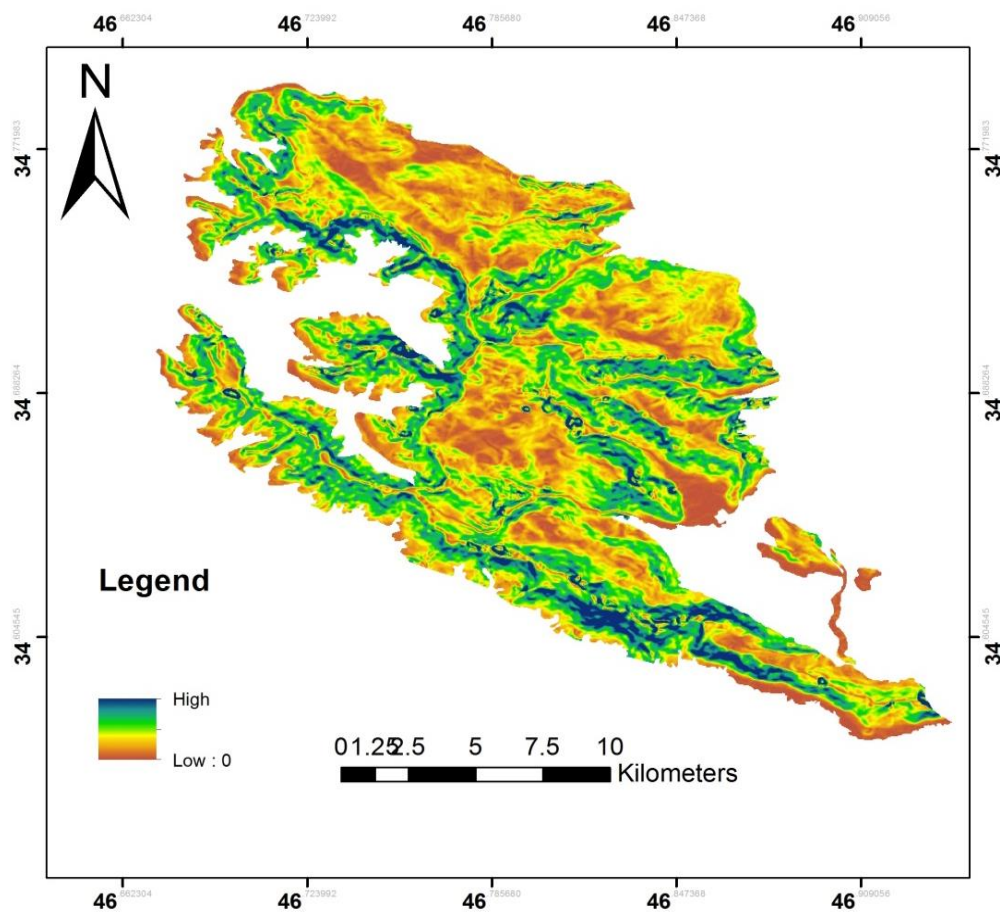


شکل ۴-۹- لایه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه

ب- لایه مقدار شیب

شیب توپوگرافی یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر مقدار نفوذ و در نتیجه مقدار تغذیه می‌باشد. در مناطق با شیب زیاد امکان باقی ماندن خاک با ضخامت زیاد و رویش گیاه فراهم نیست، بنابراین آب باران به سرعت جاری شده و فرصت نفوذ نخواهد داشت. در مناطقی که دارای شیب کمتر و تقریباً مسطح هستند، آب حاصل از بارندگی یا ذوب برف‌ها در سطح زمین جمع شده و در نتیجه میزان آب

نفوذ یافته افزایش می‌یابد. ایجاد و توسعه فروچاله‌ها (Sinkhole) در چنین شرایطی صورت می‌گیرد. این لایه اطلاعاتی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model (DEM)) مربوط به منطقه تهیه شده است. نقشه شیب تهیه شده با استفاده از تابع Reclassify از مجموع توابع Spatial Analyst در Arc GIS می‌باشد، به چند دسته بر حسب درجه، طبقه‌بندی شد. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است.

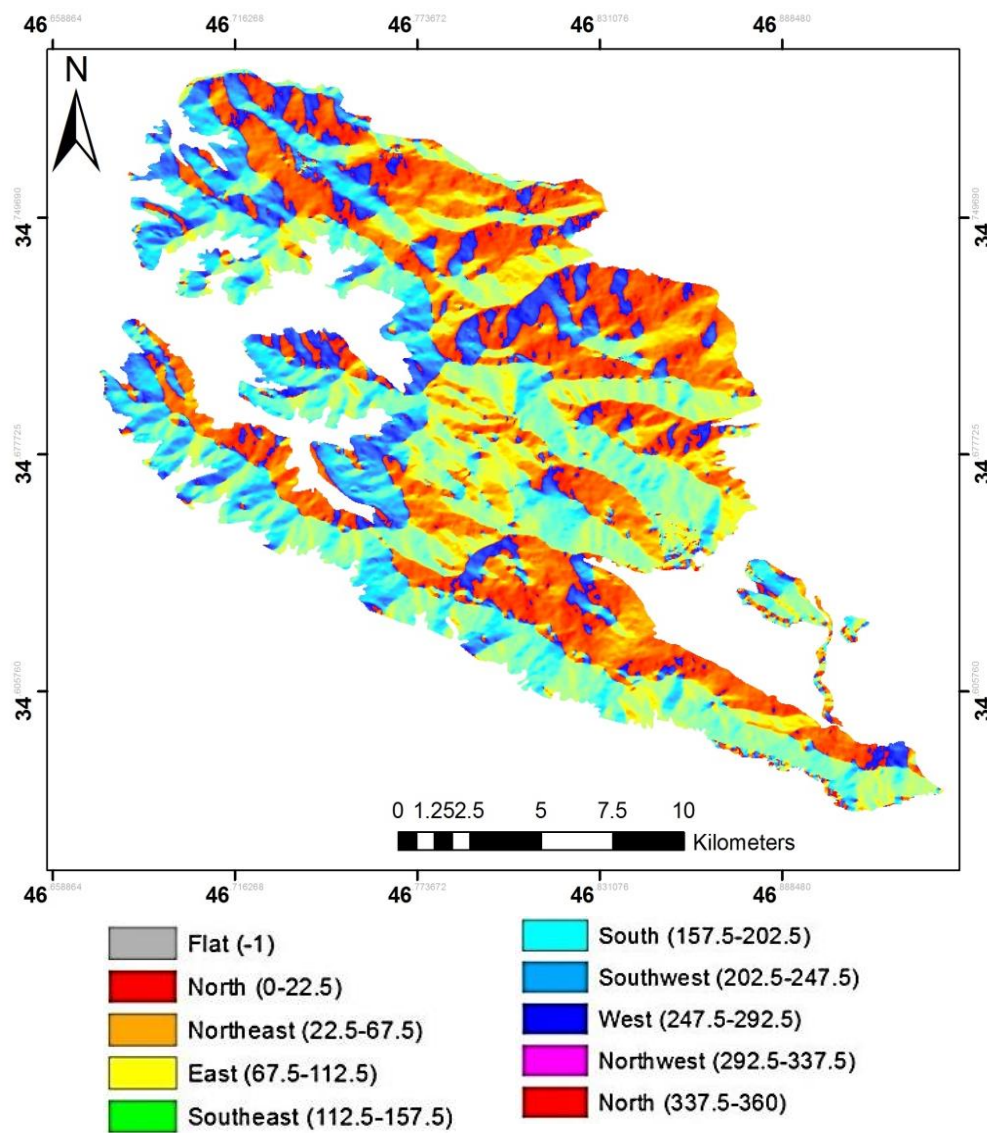


شکل ۴-۱۰- نقشه مقدار شیب منطقه

ج- لایه جهت شیب توپوگرافی

از آنجایی که زاویه تابش خورشید در دامنه‌های رو به شمال و شمال شرق نسبت به دامنه‌های جنوب و جنوب غرب متفاوت است و زمان ماندگاری برف بر روی دامنه‌های شمالی بیشتر بوده و این عامل تأثیر مهمی در مقدار تغذیه می‌گذارد. اقدام به تهیه لایه جهت شیب توپوگرافی، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه گردید. سپس در تابع Reclassify در Arc GIS طبقه‌بندی شد. به دامنه‌های

رو به شمال ارزش بیشتر و دامنه های رو به جنوب ارزش کمتری تعلق گرفت. شکل (۴-۱۱) نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۱- نقشه جهت شیب توپوگرافی

د- لایه تراکم خطواره ها

خطواره اصطلاحی است که برای برخی عوارض خطی زمین شناسی به کار می رود. مهم ترین عوارض خطی زمین شناسی در زیر ارائه شده است.

- گسل ها
- امتداد خطی دایک ها و شکاف ها و توده های نفوذی
- دره های ریفتی
- روندهای خطی ناشی از لایه بندی لیتولوژی
- قطع شدگی امتداد برونزدها
- خطواره ناشی از تغییرات مهم رخساره های رسوبی
- آثار محوری چین ها
- امتداد خطی رودخانه ها و دره ها
- درزه ها و آثار شکست
- امتداد توپوگرافی خطی الراس ها
- امتداد پوشش گیاهی
- وجود آبفشان ها و چشمه ها در یک امتداد
- تغییرات رنگ مایه خاک
- ... و

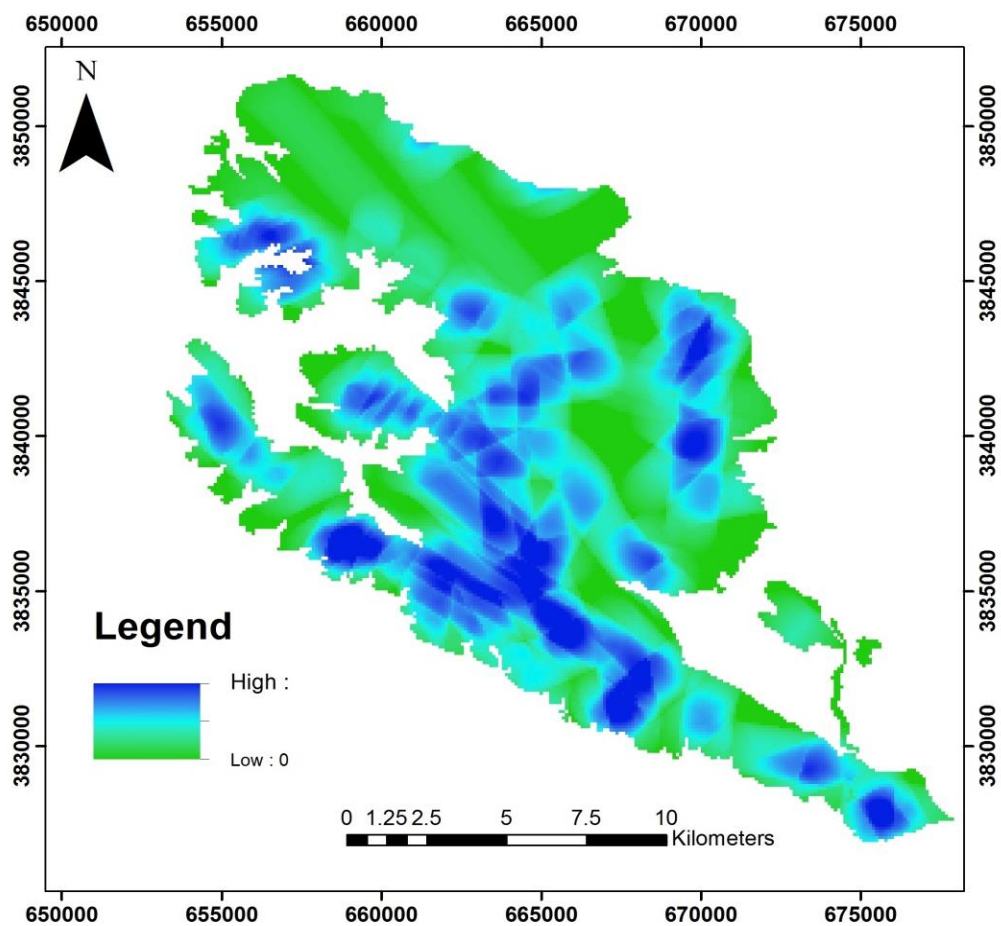
گسل ها و درزه ها به عنوان یکی از نقاط ضعف امکان نفوذ آب به لایه های زیرین را فراهم می کنند. آب نفوذ یافته با انحلال بیشتر باعث تشکیل معابر بزرگ تر می شود. دقیق ترین روش تهیه نقشه خطواره ها روش صحرایی است، اما به دلیل کم بودن زاویه دید و مشکلات ناشی از عملیات صحرایی، این امکان مقدور نمی باشد. در عکس های هوایی نیز خطواره های بزرگ که از حد پوشش عکس های هوایی خارج می شوند به علت بزرگ مقیاس بودن نمی توانند آشکار شوند، اما با استفاده از تصاویر ماهواره ای با میدان دید وسیع می توان نقشه های قابل اطمینانی از خطواره ها فراهم کرد. جهت شناسایی شکستگی ها و گسل ها از نقشه های زمین شناسی، تصاویر ماهواره ای و Google Earth استفاده شده است.



شکل ۴-۱۲- شکستگی های موجود در آهک بیستون

استخراج خطواره ها از عکس های ماهواره ای باند پنکروماتیک ماهواره IRS (۸ دسامبر ۲۰۰۵ میلادی) با قدرت تفکیک مکانی ۵ متر و با تبدیل فرمت مناسب به نرم افزار ENVI وارد شد و با استفاده از

فیلتر مناسب، خطواره‌های موجود در منطقه آشکار می‌شود. جهت تصحیح با نرم‌افزار Google Earth کنترل گردید. هر چه تراکم خطواره‌ها (گسل‌ها و شکستگی‌ها) بیشتر باشد، ارزش بیشتری داده می‌شود و برعکس. نقشه تراکم با استفاده از تابع تراکم (Density) در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد (شکل ۴-۱۳).



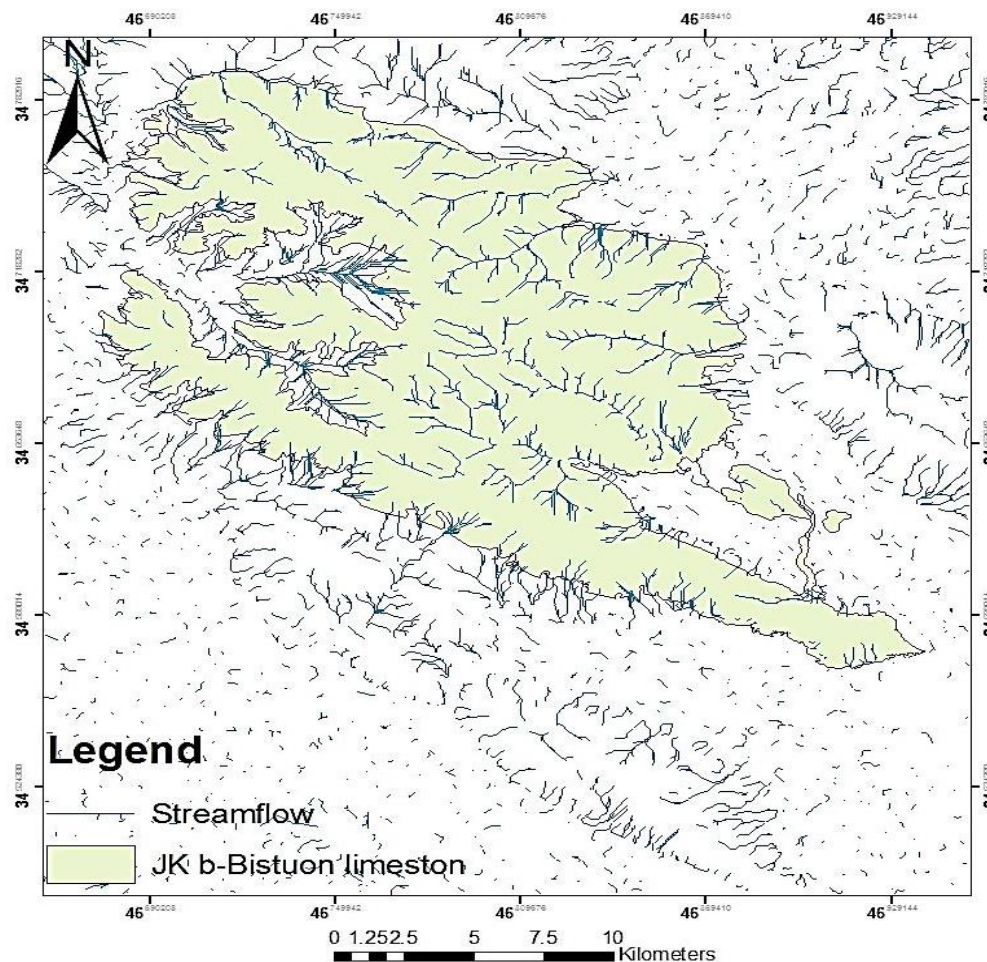
شکل ۴-۱۳- نقشه تراکم خطواره‌ها

ه- لایه تراکم آبراهه‌ها

آبراهه‌ها به عنوان مسیری برای عبور آب از ارتفاعات به مناطقی با ارتفاع پایین‌تر محسوب می‌شوند و می‌توانند در نفوذ یافتن آب به درون زمین مؤثر باشند. اهمیت آبراهه‌ها زمانی که در مناطق کم‌شیب و یا در محل عبور گسل‌ها و درزه‌های بزرگ تشکیل شده باشند، بیشتر می‌شود زیرا آب در هنگام عبور مدت زمان بیشتری برای نفوذ در اختیار دارد. این موضوع در آبراهه‌های رده بالاتر که حجم

بیشتری از آب را در زمان طولانی تری در اختیار دارند نمایان تر است.

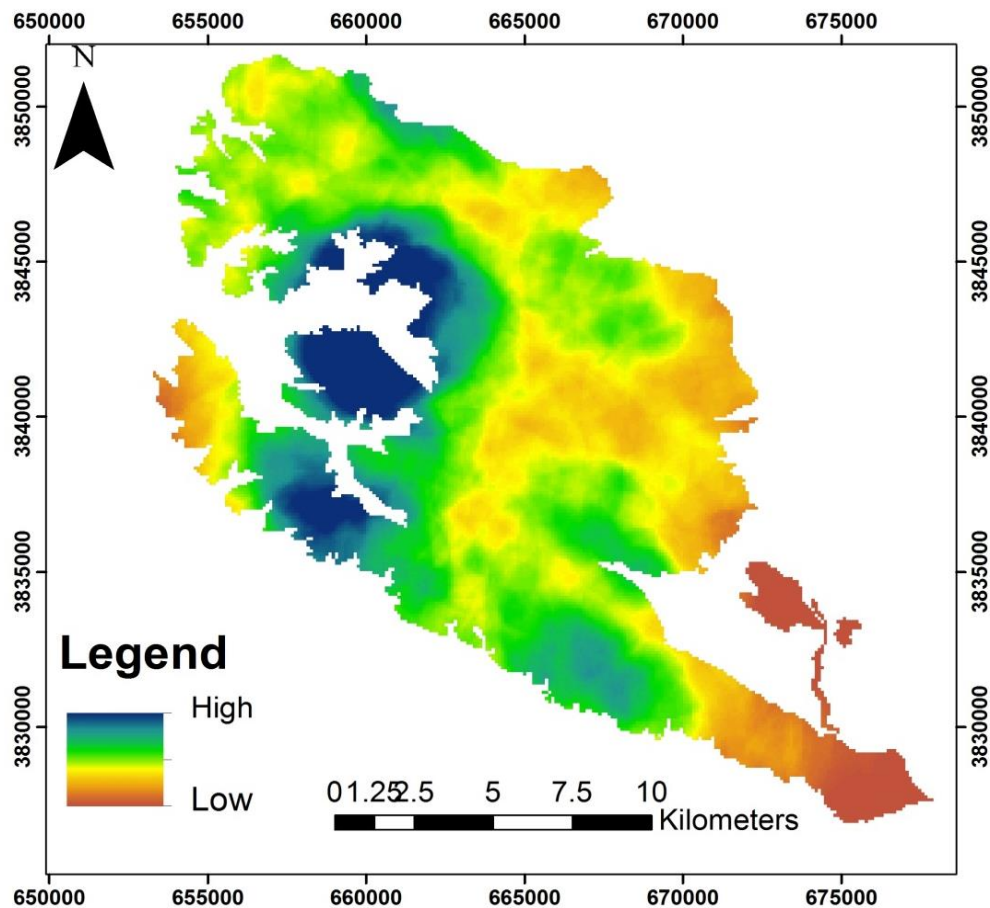
لایه آبراهه ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه در نرم افزار Arc GIS ترسیم شد (شکل ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۴- نقشه آبراهه ترسیم شده در نرم افزار Arc GIS

ایجاد آبراهه ها در اثر عوامل مختلفی صورت می گیرد، عواملی مانند لیتولوژی، توپوگرافی و اقلیم (شدت و میزان ریزش جوی) از عوامل مؤثر هستند. در صورتی که لیتولوژی نفوذناپذیر باشد جریان سطحی جاری شده و تشکیل آبراهه می دهد. لیتولوژی منطقه مورد مطالعه آهکی است و در واقع جنس سنگ ها نفوذناپذیر نیست و عامل لیتولوژی از عوامل ایجاد آبراهه نیست. در ارتفاعات منطقه جریان مداومی وجود ندارد و بنابراین مابین آبراهه های رده پایین و رده بالاتر تفاوت چندانی از نظر حجم آب وجود ندارد، به همین دلیل از رده آبراهه ها استفاده نشده است. جهت تصحیح خطای احتمالی از نرم-

افزار Google Earth استفاده شده است. با استفاده از آبراهه های ترسیمی، لایه تراکم آبراهه با استفاده از تابع Density در نرم افزار Arc GIS ترسیم گردید. شکل (۴-۱۵) خروجی حاصل از این مرحله را نشان می دهد.

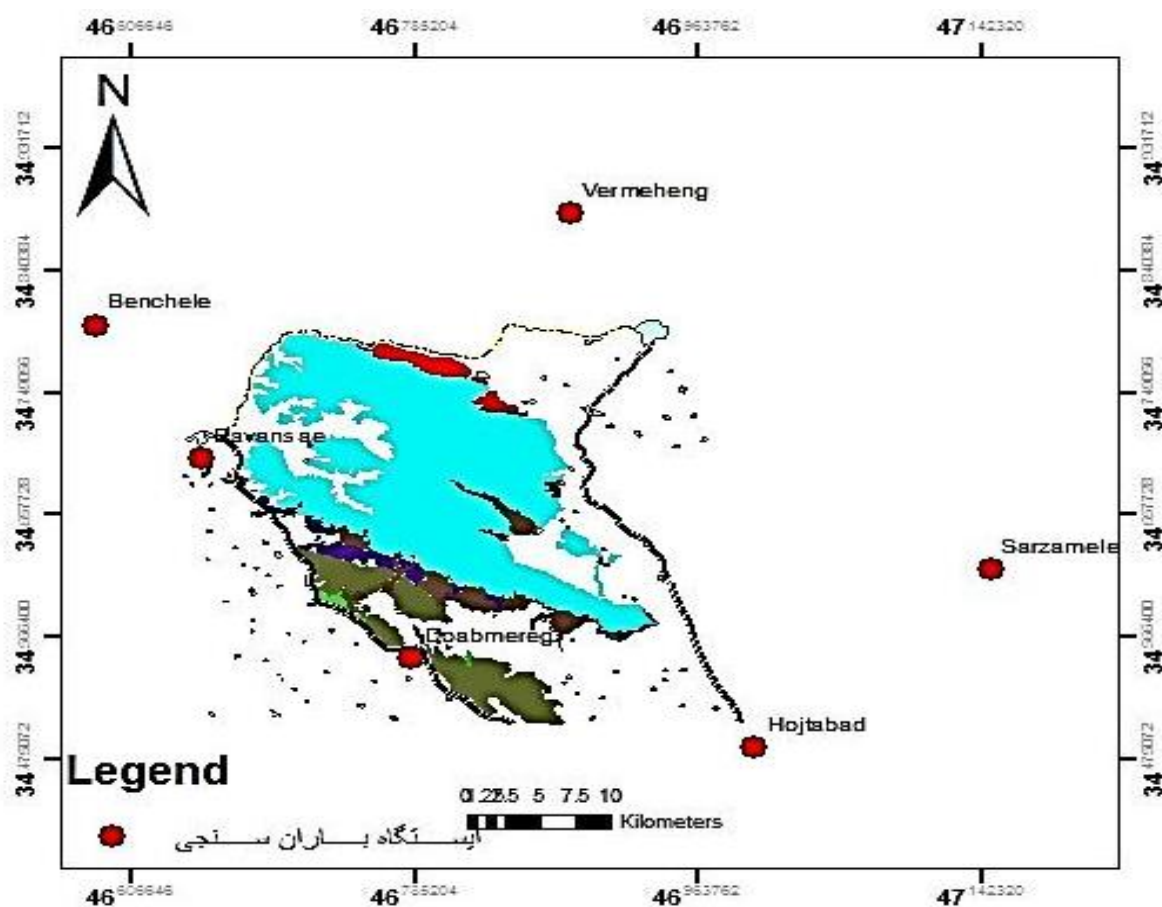


شکل ۴-۱۵- نقشه تراکم آبراهه در منطقه

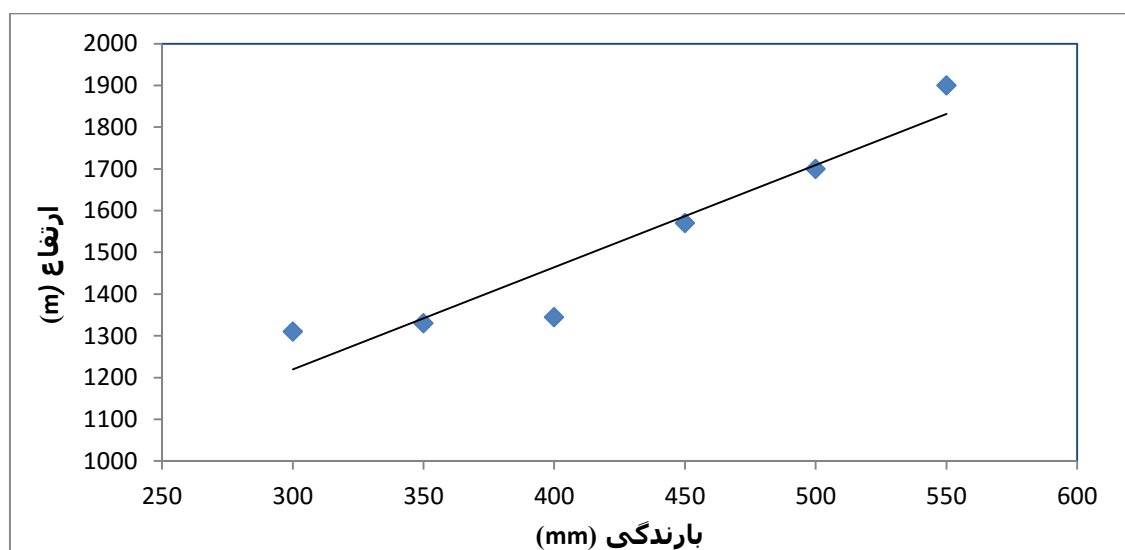
و- لایه بارش

با شناخت ویژگی های بارش یک منطقه می توان میزان تبخیر و تعرق، نفوذ و رواناب و ظرفیت آب را در منطقه پیش بینی کرد. با توجه به اهمیت میزان بارش در میزان نفوذ آب به درون زمین، اقدام به تهیه لایه بارش گردید. این لایه اطلاعاتی با استفاده از پیاده کردن اطلاعات شش ایستگاه باران سنجی که در اطراف منطقه مورد مطالعه قرار دارند در نرم افزار Arc GIS تهیه گردید. شکل های (۴-۱۶) محل قرارگیری ایستگاه های باران سنجی را نشان می دهد، در شکل (۴-۱۷)، نمودار ارتفاع - بارش منطقه با توجه به داده های ایستگاه های موجود ترسیم گردید. نقشه هم بارش منطقه در شکل (۴-۱۸)

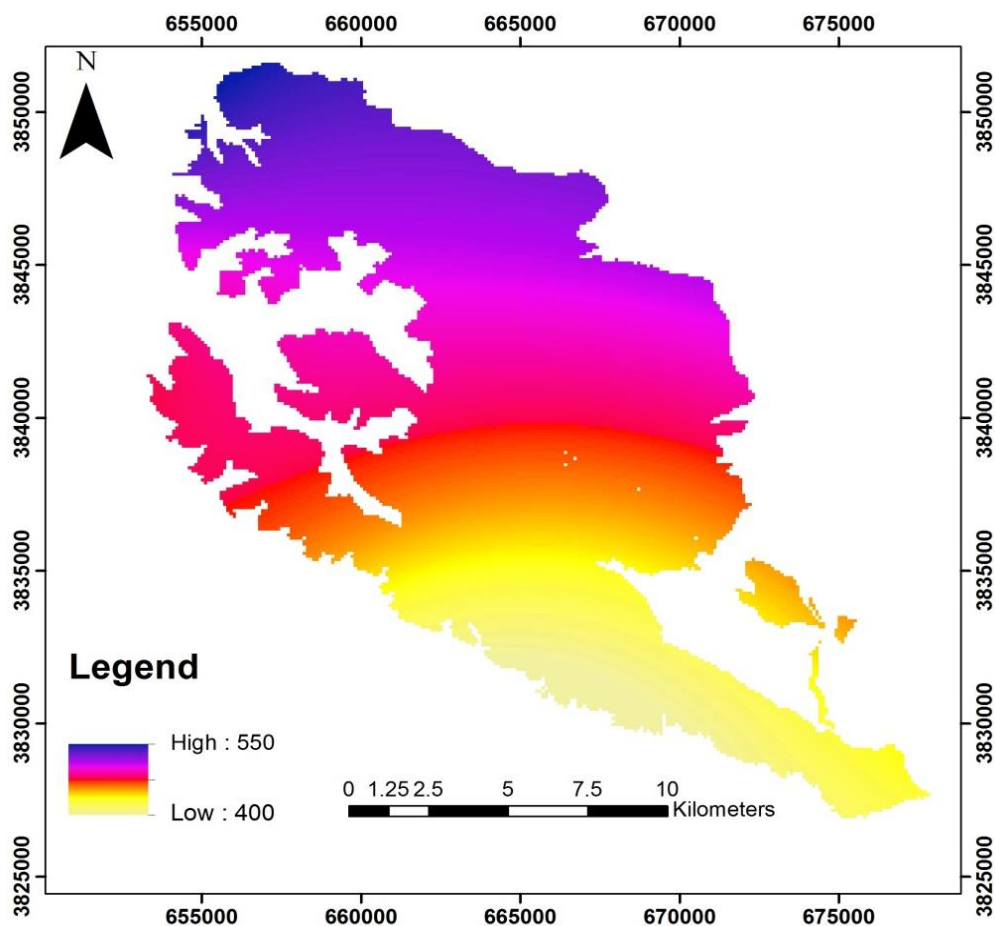
نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۶- نقشه قرار گیری محل ایستگاه های باران سنجی



شکل ۴-۱۷- نمودار ارتفاع - بارش مربوط به منطقه مورد مطالعه

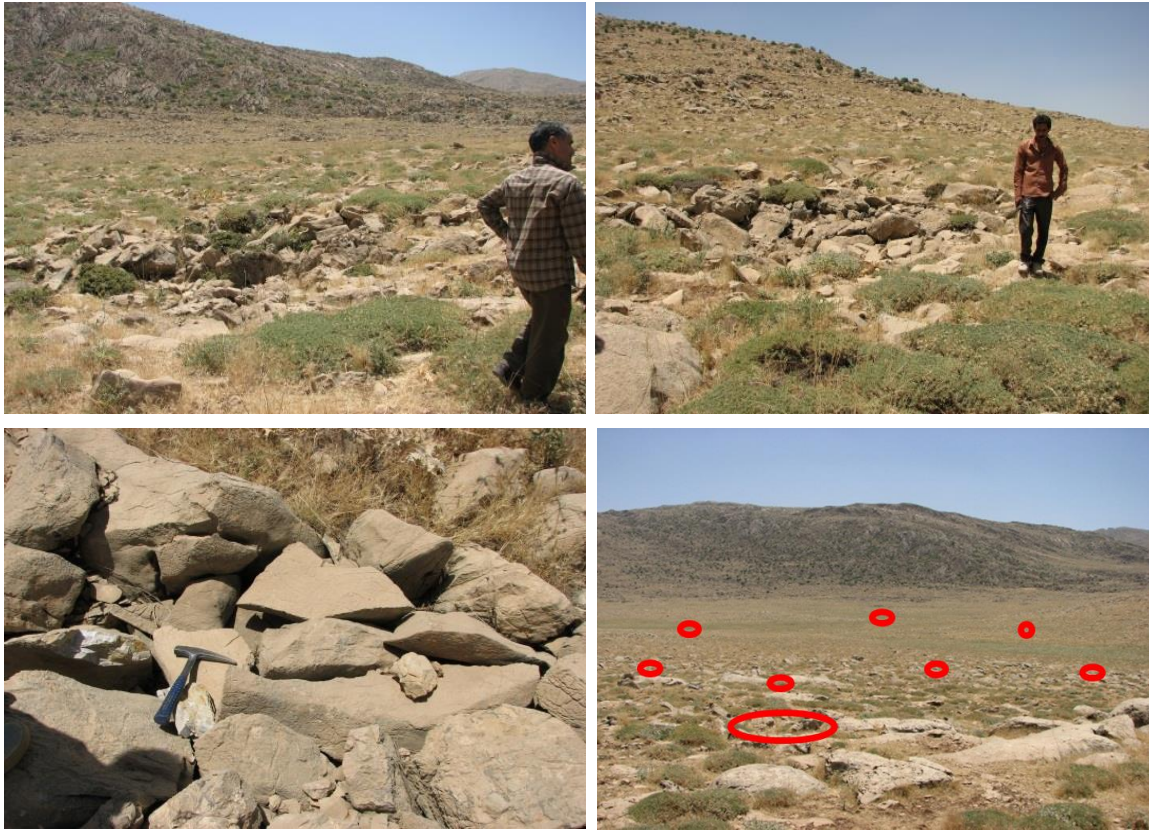


شکل ۴-۱۸- نقشه هم بارش منطقه

ز- لایه عوارض کارستی

در مناطق که دارای شیب کم باشند و در شرایطی که به علت بالا بودن ارتفاع، میزان تبخیر کم باشد، بیش از ۹۰ درصد بارش می تواند به درون سیستم کارست نفوذ کند (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹). در بازدید از منطقه در چند نقطه از منطقه فروچاله هایی متعددی مشاهده شد که احتمالاً در یک پلیه کارستی واقع شده اند.

مکانیسم تشکیل فروچاله ها شامل انحلال (Solution) و ریزش (Collapse) است، که در اکثر موارد فروچاله های ریزشی در اثر انحلال اولیه رخ می دهند. فروچاله های مشاهده شده در منطقه از نوع ریزشی تشخیص داده شد. شکل (۴-۱۹) تصاویری از نمونه ای از فروچاله ها و نیز پلیه مشاهده شده در ارتفاعات و شکل (۴-۲۰) آثار انحلالی بر روی سنگ های منطقه را نشان می دهند.

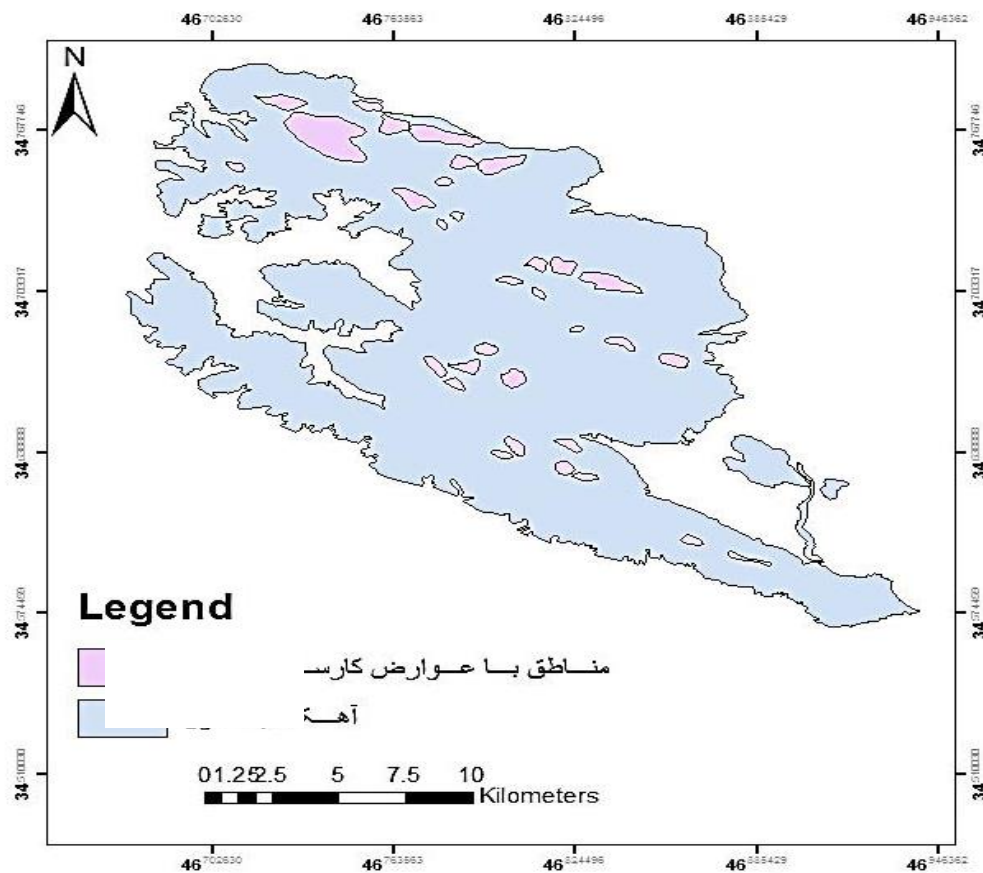


شکل ۴-۱۹- فروچاله مشاهده شده در منطقه (پلیه خشک)

مناطق با عوارض کارستی عمده شناسایی شده، بر روی Google Earth ترسیم گردید و سپس این اطلاعات به صورت یک لایه اطلاعاتی به Arc GIS منتقل شد (شکل ۴-۲۰).



شکل ۴-۲۰- آثار انحلالی مشاهده شده در منطقه



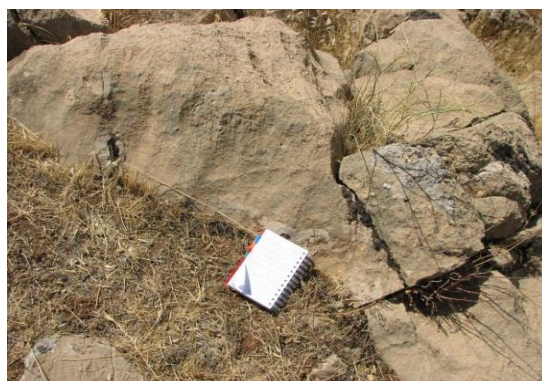
شکل ۴-۲۱- مناطق با عوارض کارستی وسیع در محدوده مورد مطالعه

ح- لایه پوشش خاک

در منطقه مورد مطالعه حتی در مناطقی که پوشش خاک وجود دارد، رواناب مشاهده نمی شود در واقع آب حاصل از ریزش های جوی یا به درون زمین نفوذ می کند و یا اینکه تبخیر می شود. در بازدید از منطقه در پوشش خاک منطقه ترک هایی مشاهده می شود که خود مبین این مطلب است، که به دلیل وجود شکستگی هایی فراوان در سنگ های زیرین، زهکشی زیرسطحی منطقه بسیار زیاد می باشد (شکل ۴-۲۲). لایه پوشش خاک بر روی نرم افزار Google Earth رسم شد و مناطقی از ارتفاعات که دارای پوشش خاک است و نیز دامنه هایی که از واریزه و خاک پوشیده شده است، از مناطق بدون پوشش خاک جدا گردید (نمونه ای از جداسازی دامنه با پوشش خاک از ارتفاعات بدون پوشش خاک در شکل (۴-۲۳) نشان داده شده است). سپس تصاویر ترسیمی در Google Earth، به محیط نرم افزار Arc GIS وارد گردید و اقدامات لازم بر روی آن صورت گرفت (شکل ۴-۲۴).



ب

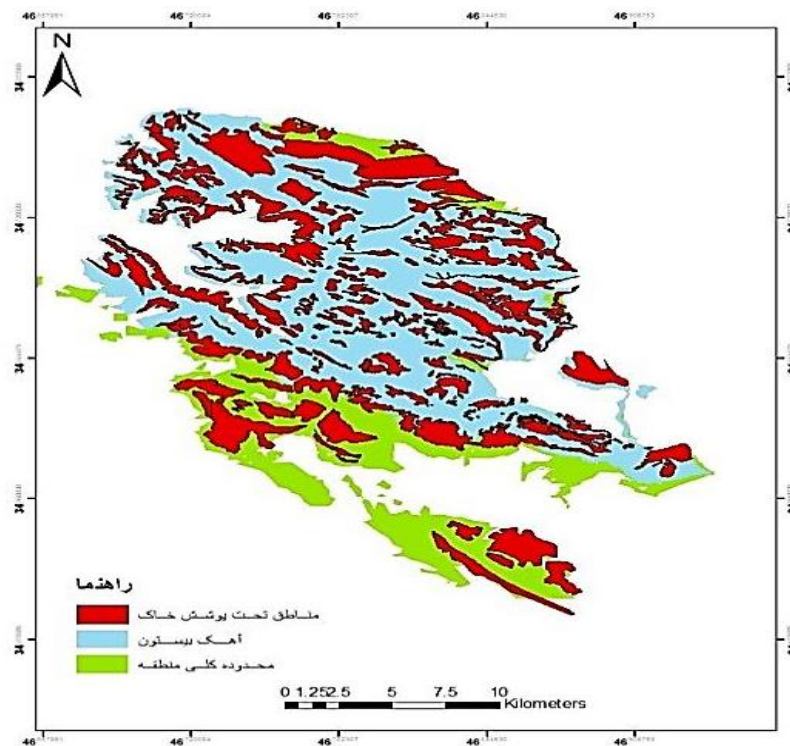


الف

شکل ۴-۲۲- حضور اپی کارست در منطقه (الف)، ترک در خاک های کارستی منطقه بر اثر زهکشی (ب)



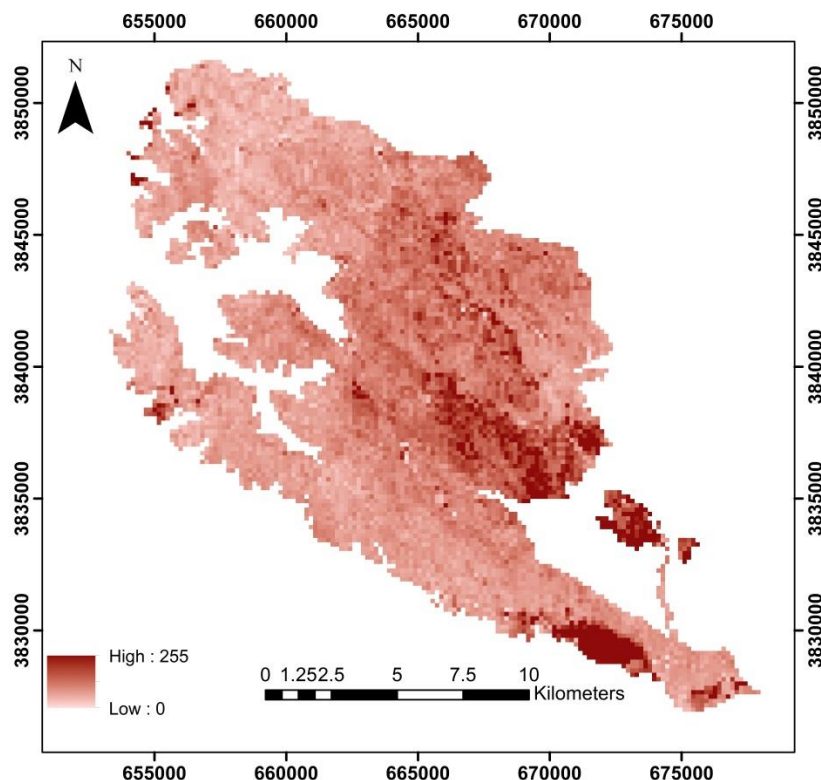
شکل ۴-۲۳- دامنه های دارای پوشش خاک و ارتفاعات بدون خاک (دید به سمت شمال شرق)



شکل ۴-۲۴- نقشه لایه پوشش خاک منطقه

ط- لایه تراکم پوشش گیاهی

لایه پوشش گیاهی با اعمال فیلتر مناسب بر روی تصویر ماهواره‌ای ETM^+ و اعمال خطی وزنی NDVI ایجاد گردید. این شاخص از تفاضل دو باند سه و چهار و تقسیم بر مجموع آن‌ها محاسبه می‌شود. دامنه NDVI از (۱- تا ۱+) متغیر است، اگر زمین فاقد پوشش گیاهی باشد شاخص صفر و با داشتن پوشش گیاهی در جهت مثبت افزایش می‌یابد. برای تهیه این لایه از نرم افزار ENVI استفاده شده است.



شکل ۴-۲۵- لایه پوشش گیاهی منطقه

۴-۲-۲- هم‌مقیاس سازی لایه‌های اطلاعاتی

هم‌پوشانی و تلفیق داده‌ها زمانی امکان‌پذیر است که لایه‌های تشکیل شده همگی دارای مقیاس یکسانی باشند، در حالی که نقشه‌های ذکر شده دارای واحدهای متفاوتی هستند (مانند متر برای فاصله، درجه برای شیب، درصد برای تراکم و...). برای این منظور با استفاده از دانش کارشناسی نقشه‌های تهیه شده در محدوده صفر تا ۱۰ طبقه‌بندی شدند، ارزش داده شده به هر طبقه از لایه‌های اطلاعاتی در ادامه شرح داده شده است.

۴-۲-۳- وزن دهی لایه های اطلاعاتی

تأثیر هر عامل در میزان نفوذ نسبت به عوامل دیگر متفاوت است، در نتیجه لازم است در مرحله بعد و پیش از هم پوشانی لایه ها، اهمیت نسبی هر عامل نسبت به سایر عوامل تعیین شود و به هر عامل وزن اختصاص یابد. از آنجایی که نظرات شخصی در حین وزن دهی بسیار تأثیرگذار است در این مطالعه از چند روش استفاده شده است. عوامل مؤثر تعیین شده یک به یک با یکدیگر مقایسه و ارزش گذاری شدند و در نهایت وزن نسبی به هر عامل تعلق گرفته است و در تهیه مکان بیشترین میزان نفوذ به کار برده شده است.

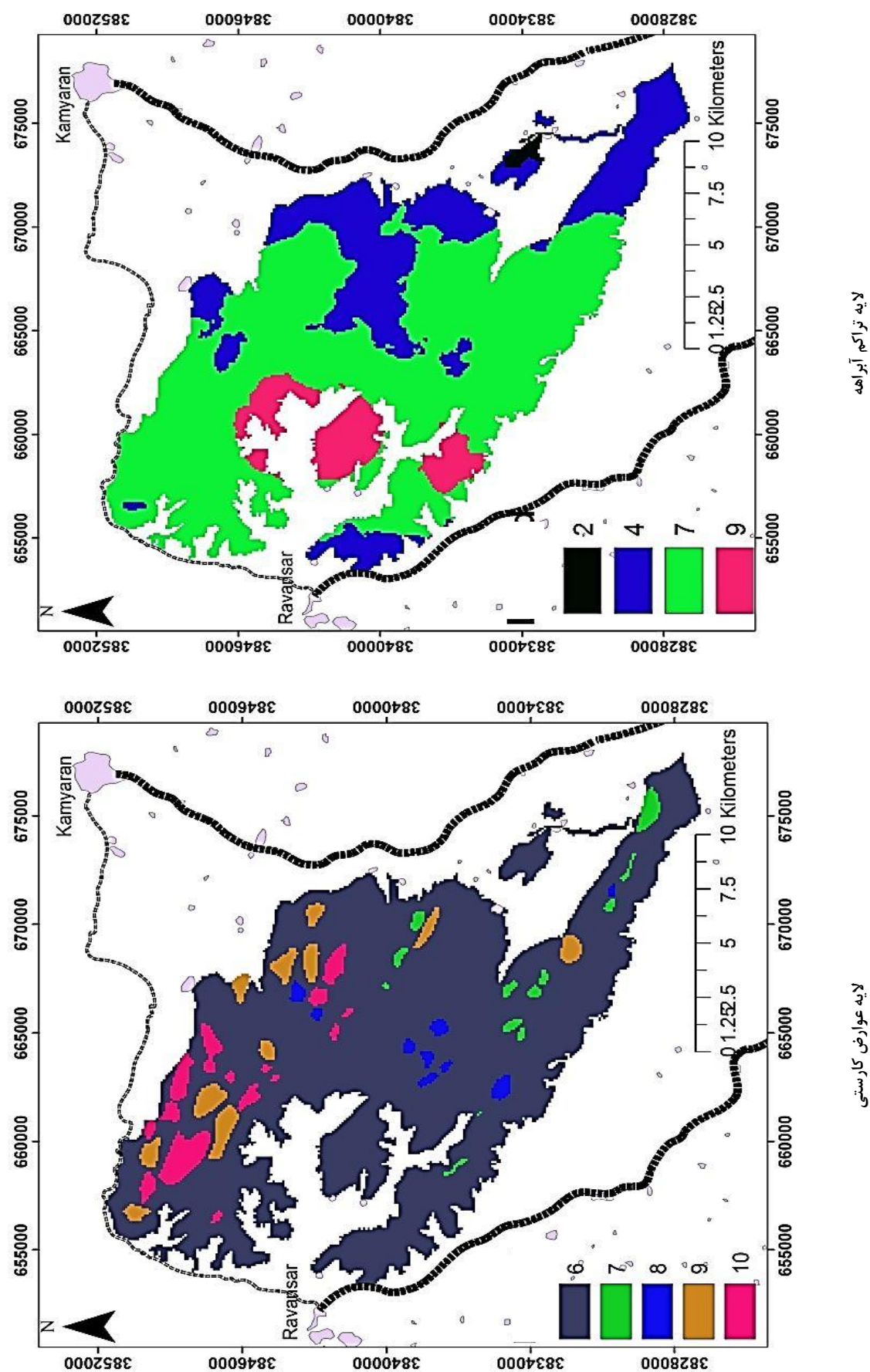
الف- روش کارشناسی

طبق لایه هایی که تهیه شده، هر لایه به رده هایی تقسیم بندی گردید. این تقسیم بندی بگونه ای انتخاب شده است که تمام محدوده مورد نظر را پوشش دهد. به دسته هایی که در نفوذ آب نقش مؤثرتری دارند ارزش بیشتر و دسته های که نقش کمتر و یا منفی در نفوذ دارند ارزش کمتری اختصاص یافت. دسته بندی، ارزش گذاری و وزن دهی در این روش طبق نظر کارشناسی است و براساس آن نقشه مربوط به هر عامل تهیه گردید (جدول ۴-۴ و شکل ۴-۴ تا ۴-۳۰).

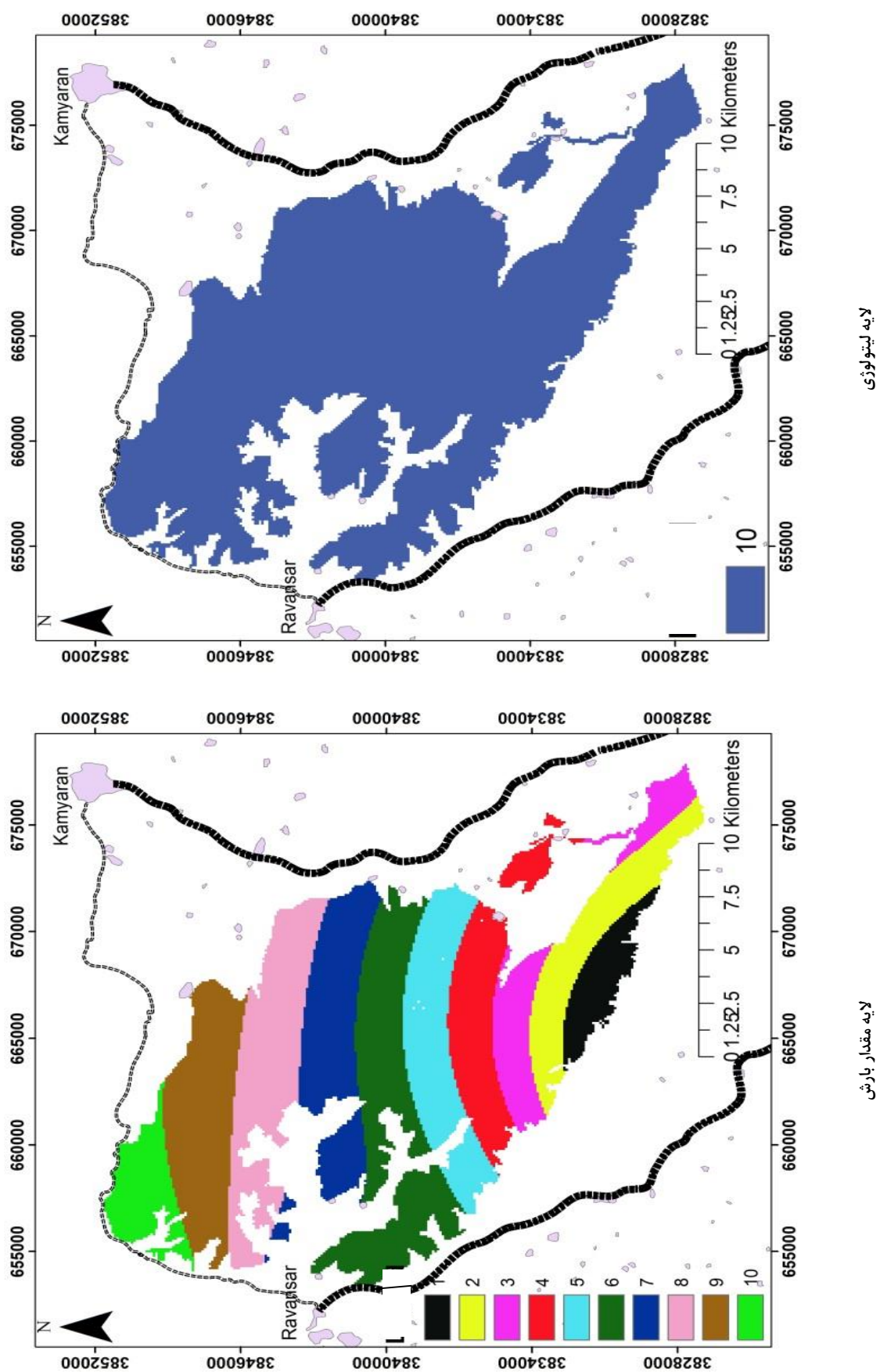
ارزش دهی در محدوده صفر تا ۱۰ متغیر است، هر چه پارامتری در نفوذ تأثیر مثبت تری ایجاد کند، ارزش بیشتری را به خود اختصاص می دهد. به این منظور لایه های تشکیل شده به دسته هایی تقسیم بندی شد و به هر دسته ارزشی اختصاص یافت. برطبق نظر کارشناسی بیشترین وزن، در این روش به عوارض کارستی اختصاص پیدا کرده است. از آنجایی که در مناطق کارستی پیشرفته معمولاً رواناب و سیل خیزی تقریباً ناچیز است، آبراهه در مناطق کارستی نسبت به سایر مناطق دارای اهمیت کمتری هستند، از طرفی منطقه مورد مطالعه از لحاظ سنگ شناسی یکنواخت است و توزیع بارش در منطقه تقریباً اعداد نزدیکی را نشان می دهد. به دلیل موارد ذکر شده، وزن داده شده به این لایه ها نسبت به سایر لایه ها کمتر است.

جدول ۴-۴- ارزش دهی به لایه های مختلف (روش کارشناسی)

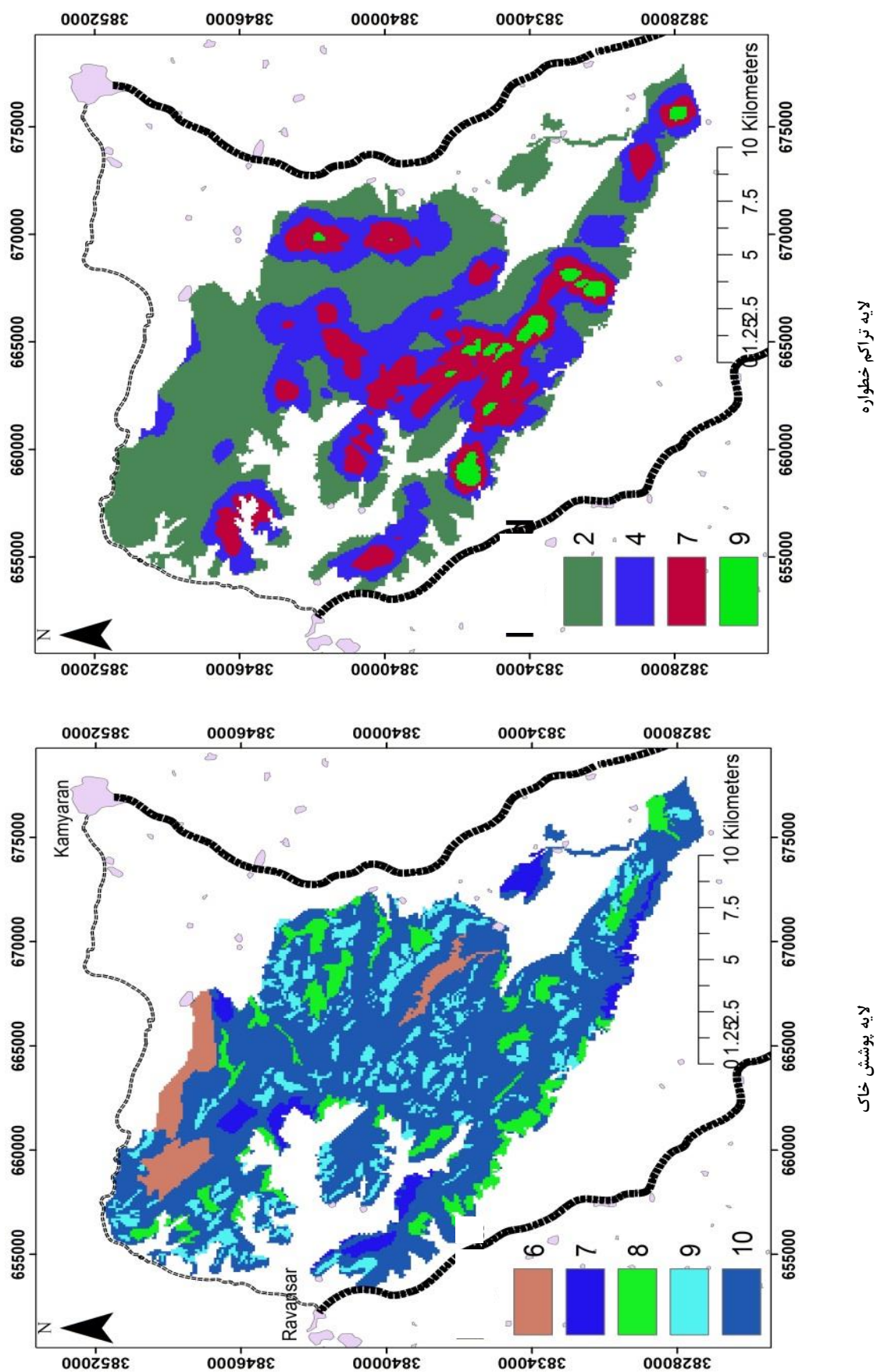
عوامل مؤثر	دسته بندی محدوده	ارزش اختصاص یافته	وزن هر دسته	عوامل مؤثر	دسته بندی محدوده	ارزش اختصاص یافته	وزن هر دسته
لیتولوژی	بیستون کرمانشاه ایلام بیومیکرایت آبرفت	۱۰ ۰ ۰ ۰ ۰	۵٪	میزان شیب	۲-۰ ۵-۲ ۸-۵ ۱۲-۸ ۲۰-۱۲ ۳۰-۲ ۳۰<	۱۰ ۹ ۶ ۵ ۴ ۳ ۲	۱۵٪
تراکم آبراهه	۰-۲۵٪ ۲۵-۵۰٪ ۵۰-۷۵٪ >۷۵٪	۲ ۴ ۷ ۹	۵٪	تراکم خطواره	۰-۲۵٪ ۲۵-۵۰٪ ۵۰-۷۵٪ >۷۵٪	۲ ۴ ۷ ۹	۱۰٪
پوشش خاک	خیلی زیاد زیاد متوسط کم بدون پوشش	۶ ۷ ۸ ۹ ۱۰	۱۵٪	عوارض کارستی	خیلی زیاد زیاد متوسط کم خیلی کم	۱۰ ۹ ۸ ۷ ۶	۲۵٪
پوشش گیاهی	زیاد متوسط کم خیلی کم بدون پوشش	۷ ۶ ۴ ۲ ۱	۱۰٪	جهت شیب	N-NE SE-E NW-W SW-S ----	۹ ۷ ۶ ۵ ۳	۱۰٪
میزان بارش	۴۲۰-۴۳۴ ۴۳۴-۴۴۶ ۴۴۶-۴۶۰ ۴۶۰-۴۷۳ ۴۷۳-۴۸۶	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	-	میزان بارش (ادامه)	۴۸۶-۴۹۸ ۴۹۸-۵۱۰ ۵۱۰-۵۲۱ ۵۲۱-۵۴۱ ۵۴۱<	۶ ۷ ۸ ۹ ۱۰	۵٪



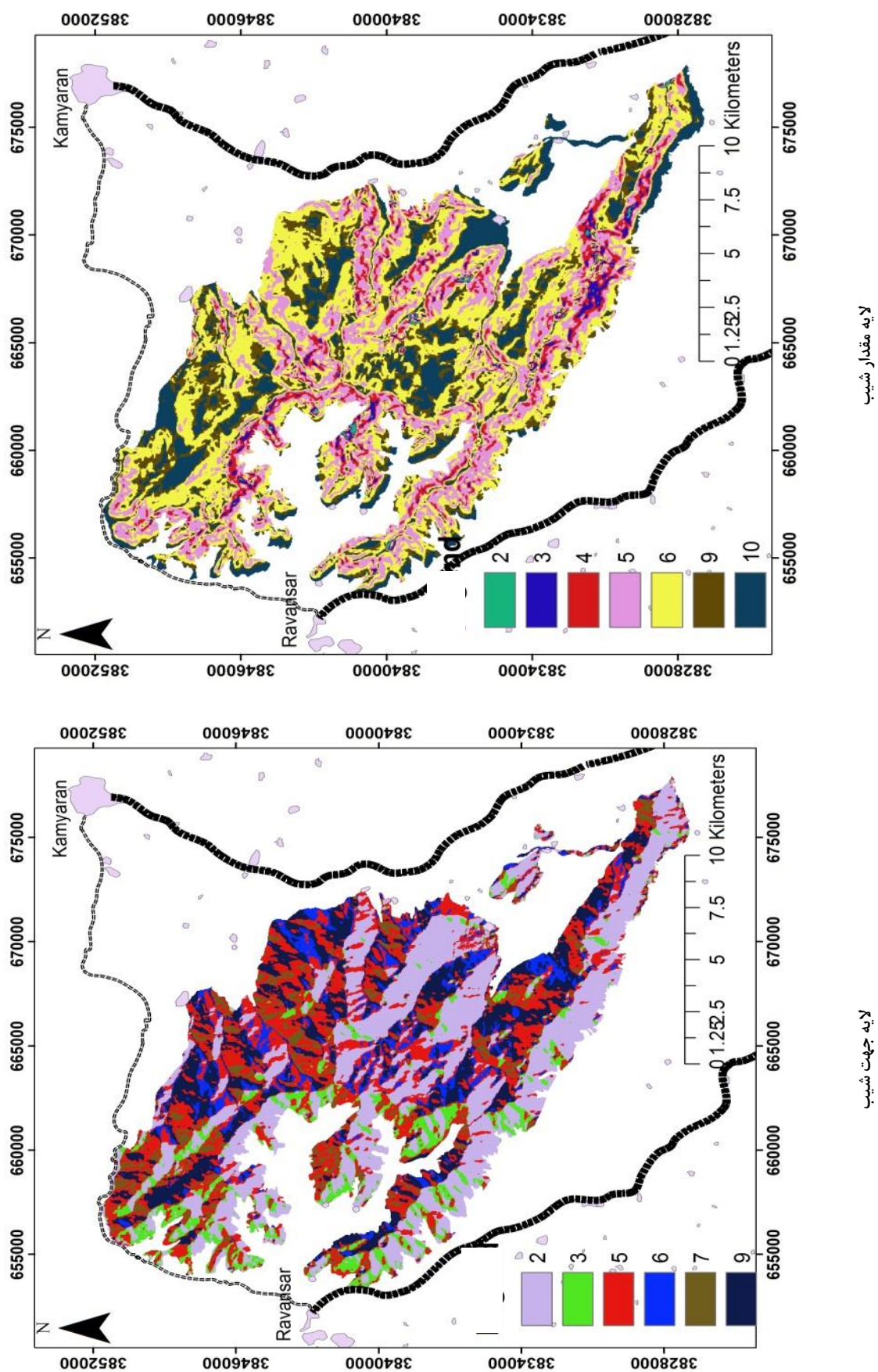
شکل ۴-۲۶- لایه های تشکیل شده براساس نظر کارشناسی

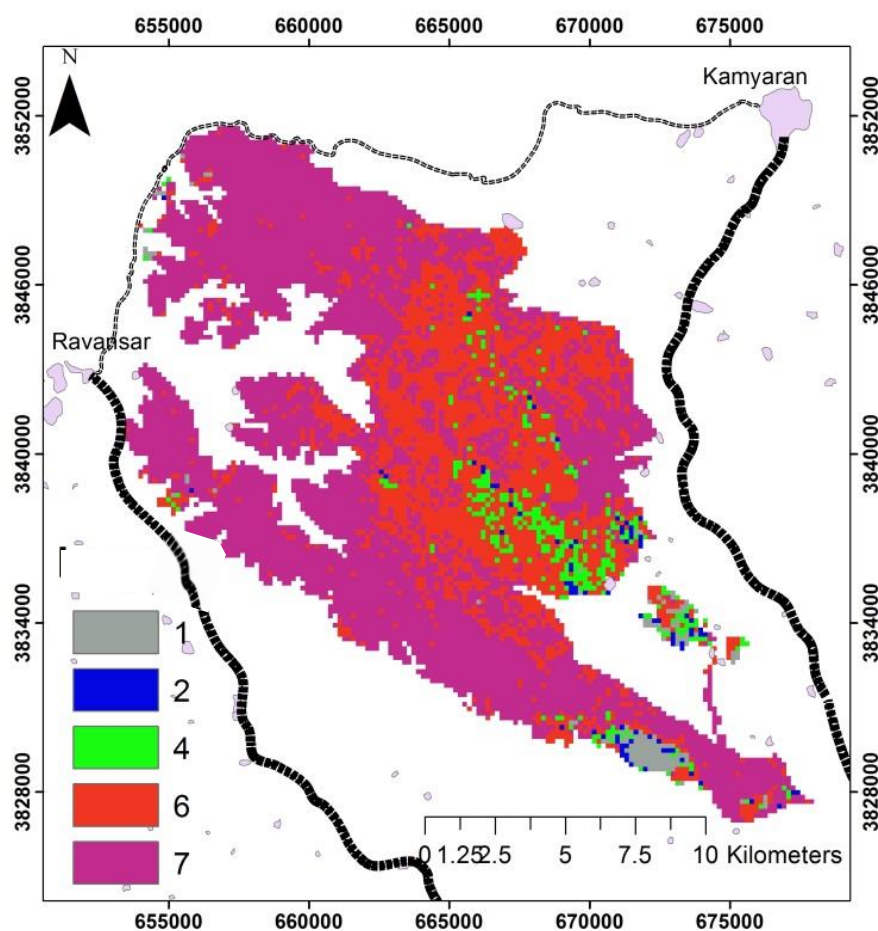


شکل ۴- ۲۷- لایه‌های تشکیل شده براساس نظر کارشناسی



شکل ۴-۲۸- لایه های تشکیل شده براساس نظر کارشناسی





شکل ۴-۳۰- لایه تشکیل شده براساس نظر کارشناسی

ب- روش نسبتي

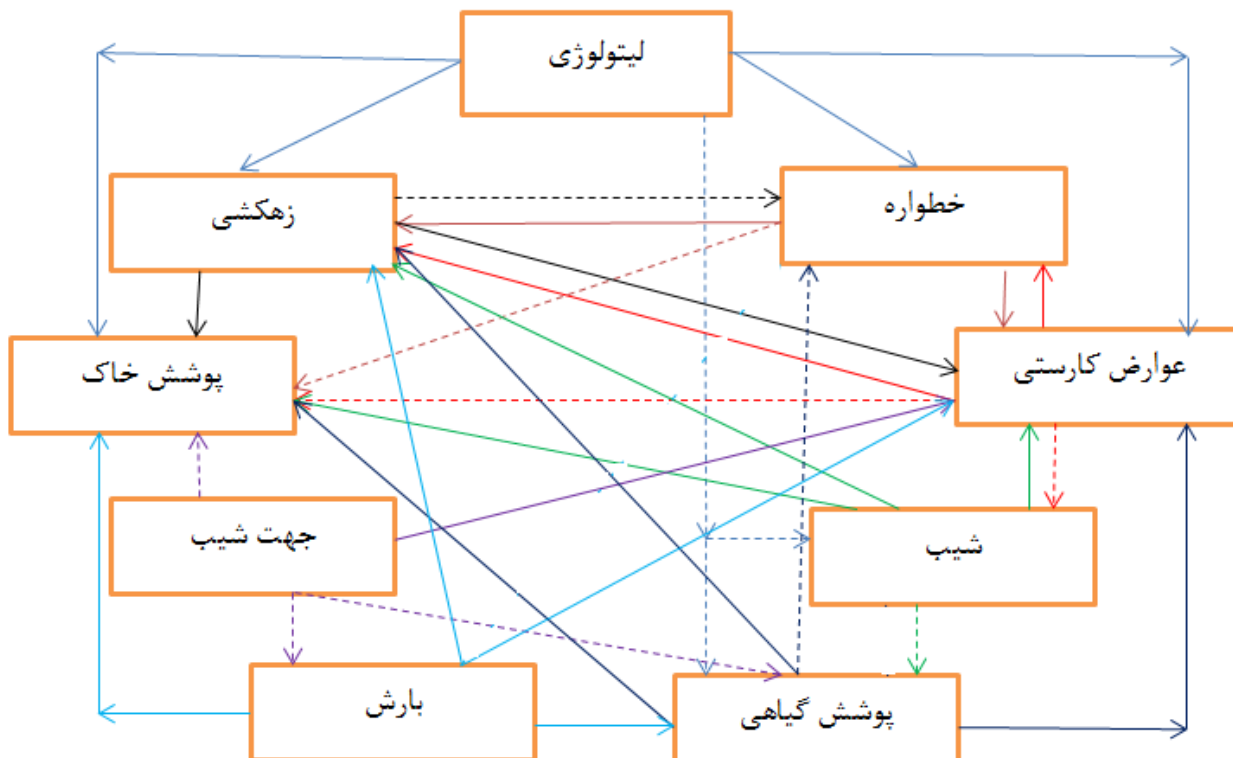
در این روش جهت ارزش دهی لایه ها از مقادیر روش کارشناسی استفاده شده است. همانگونه که در فصل سوم توضیح داده شد وزن های محاسبه شده در این روش در جدول (۴-۵) آورده شده است.

جدول ۴-۵- وزن های اعمال شده به لایه های مختلف (روش نسبتي)

لیتولوژی	شیب	پوشش گیاهی	جهت شیب	تراکم خطواره	تراکم آبراهه	بارش	پوشش خاک	عوارض کارستی
۱	۳	۲	۲	۲	۱	۱	۳	۵

ج- روش تأثیرگذاری پارامترها بر هم

در شکل (۴-۳۱) هر خط ممتد بیانگر تأثیر اصلی و عمده و خطوط نقطه چین، مبین تأثیر فرعی بر پارامتر است. طبق این روش به هر خط ممتد ارزش یک داده شد و هر خط نقطه چین دارای ارزش ۰/۵ است. وزن های محاسبه شده براساس این روش در جدول (۴-۶) آمده است.



شکل ۴-۳۱- ترسیم شماتیک اثرگذاری پارامترهای انتخابی بر هم

لیتولوژی:	$۰/۵ \times ۲ + ۱ \times ۴ = ۵$	پوشش خاک :	$۱ \times ۳ + ۰/۵ \times ۱ = ۳/۵$
تراکم شکستگی:	$۰/۵ \times ۱ + ۱ \times ۲ = ۲/۵$	پوشش گیاهی:	$۱ \times ۳ + ۰/۵ \times ۱ = ۳/۵$
زهکشی (تراکم آبراهه)	$۰/۵ \times ۱ + ۱ \times ۲ = ۲/۵$	جهت شیب:	$۱ \times ۱ + ۰/۵ \times ۳ = ۲/۵$
عوارض کارستی:	$۰/۵ \times ۲ + ۱ \times ۲ = ۳$	مقدار شیب:	$۱ \times ۳ + ۰/۵ \times ۱ = ۳/۵$
میزان بارش:	$۱ \times ۴ = ۴$		

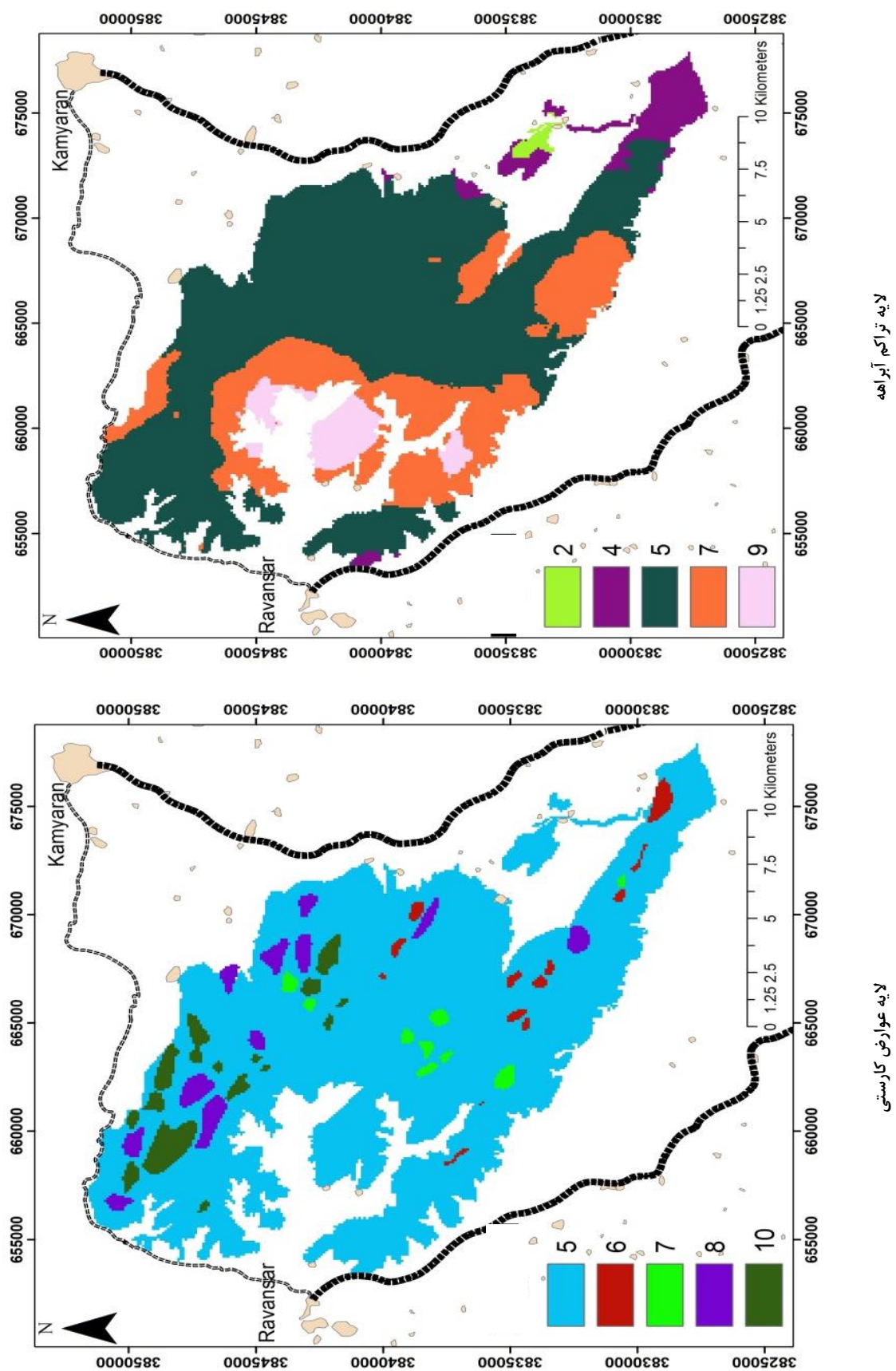
شکل های (۴-۳۲ تا ۴-۳۶) تصاویر حاصل از اعمال این روش هستند.

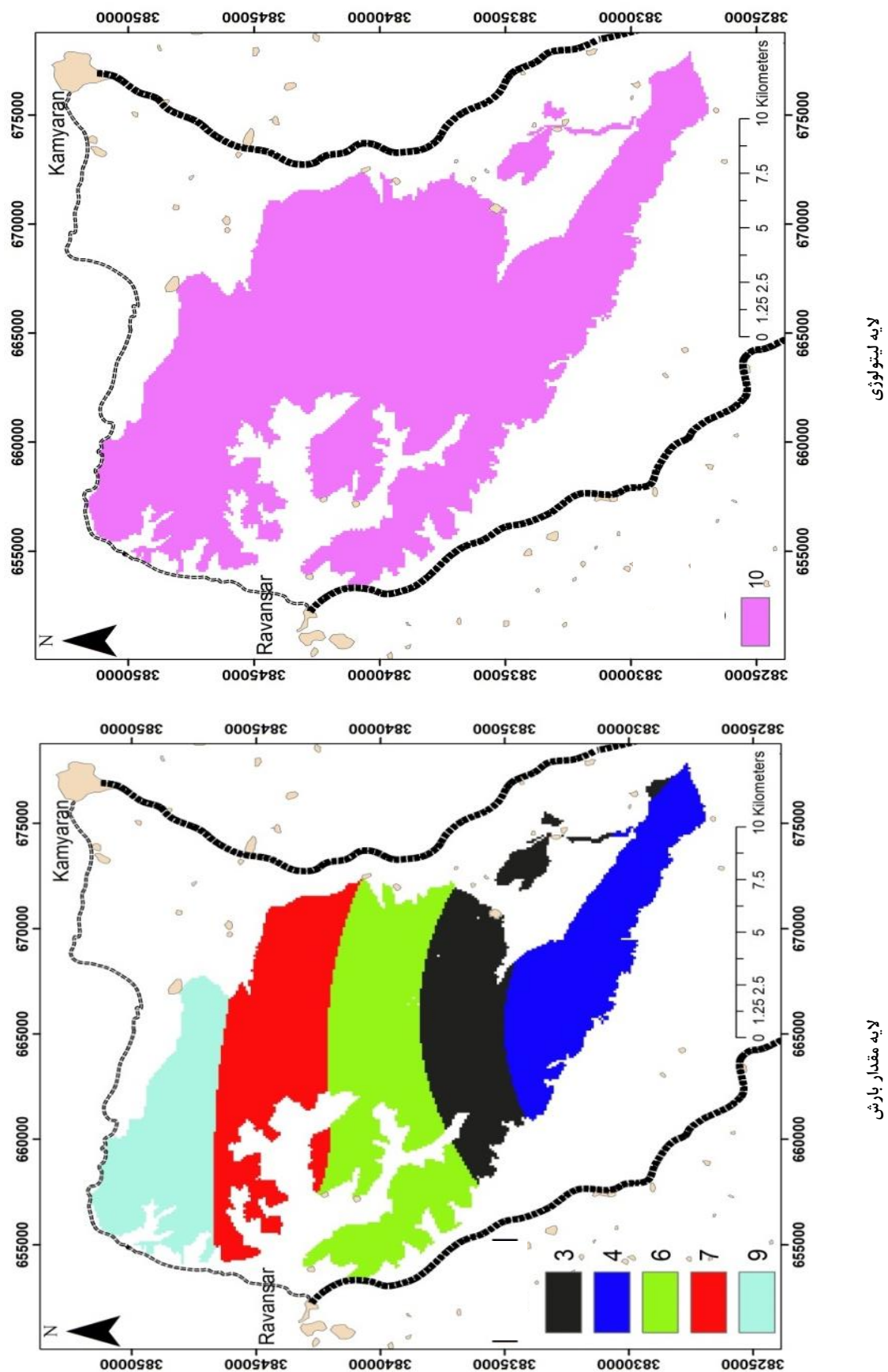
جدول ۴-۶- وزن های اعمال شده به لایه های مختلف (روش تأثیرگذاری پارامترها)

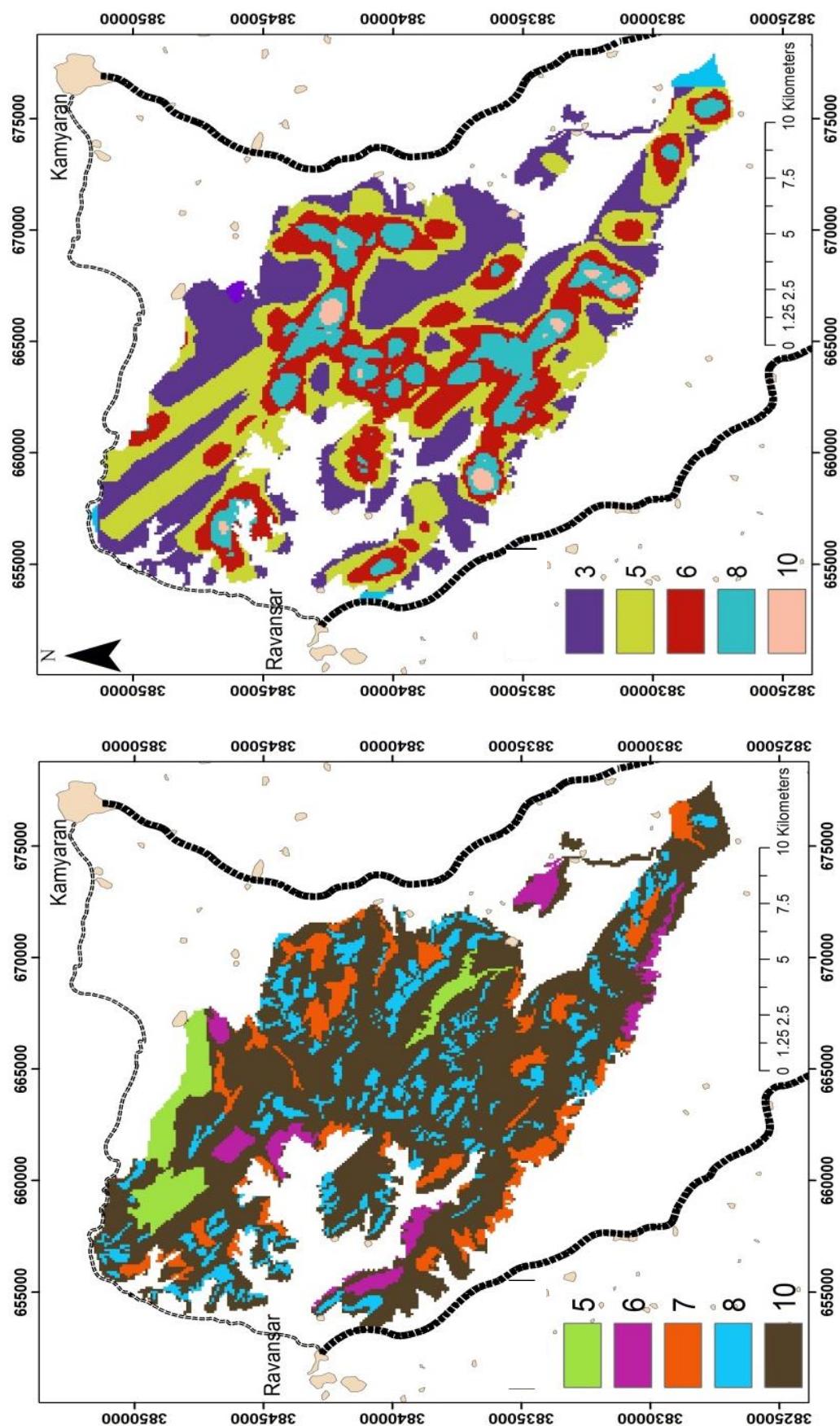
وزن نهایی	جمع کل هر فاکتور	وزن (a*b)	تأثیر محاسبه شده (b)	ارزش اختصاص یافته (a)	دسته بندی محدوده	عوامل مؤثر
۶	۵۰	۵۰	۵	۱۰ - - - -	آهک بیستون آهک کرمانشاه آهک ایلام آهک بیومیکرایت تراورتن آبرفت	لیتولوژی
۱۰	۸۰	۲۵ ۲۰ ۱۵ ۱۲/۵ ۷/۵	۲/۵	۱۰ ۸ ۶ ۵ ۳	<۸۰٪ ۶۰-۸۰٪ ۴۰-۶۰٪ ۲۰-۴۰٪ >۲۰٪	تراکم شکستگی (خطواره)
۸	۶۷/۵	۲۲/۵ ۱۷/۵ ۱۲/۵ ۱۰ ۵	۲/۵	۹ ۷ ۵ ۴ ۲	<۸۰٪ ۶۰-۸۰٪ ۴۰-۶۰٪ ۲۰-۴۰٪ >۲۰٪	زهکشی (تراکم آبراهه)
۱۵	۱۲۶	۱۷/۵ ۲۱ ۲۴/۵ ۲۸ ۳۵	۳/۵	۵ ۶ ۷ ۸ ۱۰	خیلی زیاد زیاد متوسط کم بدون پوشش خاک	پوشش خاک

جدول ۴-۶- وزن های اعمال شده به لایه های مختلف (روش تأثیرگذاری پارامترها) ادامه...

عوامل مؤثر	دسته بندی محدوده	ارزش اختصاص یافته (a)	تأثیر محاسبه شده (b)	وزن (a*b)	جمع کل هر فاکتور	وزن نهایی
جهت شیب	شمال - شمال شرق	۹	۲/۵	۲۱/۵	۶۴	۸
	جنوب شرق - شرق	۶		۱۵		
	شمال غرب - غرب	۵		۱۲/۵		
	جنوب - جنوب غرب	۲		۵		
	صاف	۴		۱۰		
عوارض کارستی	خیلی زیاد	۱۰	۳	۳۰	۱۰۸	۱۴
	زیاد	۸		۲۴		
	متوسط	۷		۲۱		
	کم	۶		۱۸		
	خیلی کم	۵		۱۵		
پوشش گیاهی	زیاد	۸	۳/۵	۲۸	۸۷/۵	۱۱
	متوسط	۷		۲۴/۵		
	کم	۵		۱۷/۵		
	خیلی کم	۳		۱۰/۵		
	بدون پوشش	۲		۷		
میزان بارش	۴۲۰-۴۴۶	۳	۴	۱۲	۱۱۶	۱۵
	۴۴۶-۴۷۳	۴		۱۶		
	۴۷۳-۴۹۸	۶		۲۴		
	۴۹۸-۵۴۰	۷		۲۸		
	۵۴۰<	۹		۳۶		
مقدار شیب	۵>	۹	۳/۵	۳۱/۵	۱۰۵	۱۳
	۱۰-۵	۸		۲۸		
	۲۰-۱۰	۶		۲۱		
	۳۰-۲۰	۴		۱۴		
	۳۰<	۳		۱۰/۵		



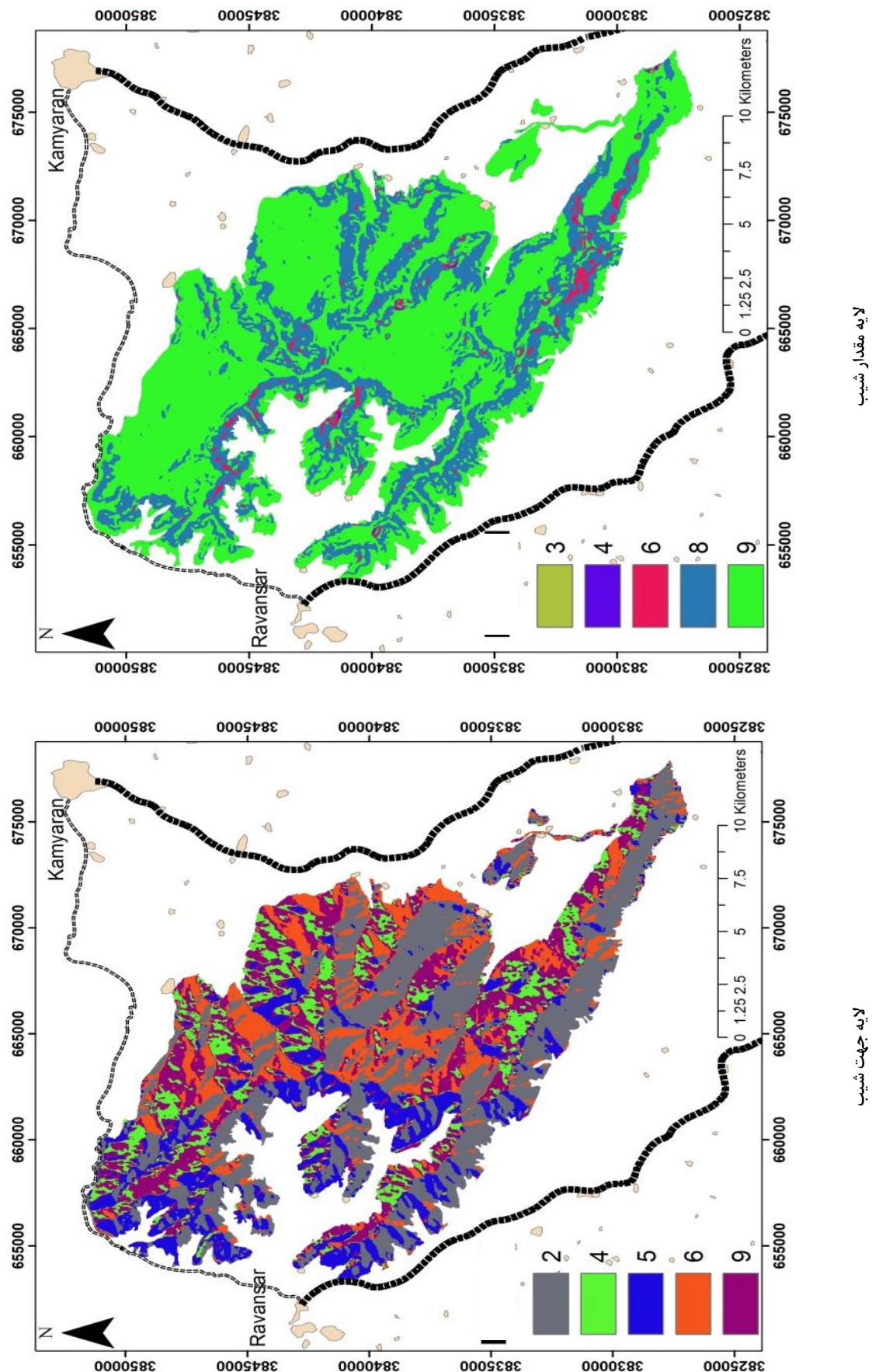


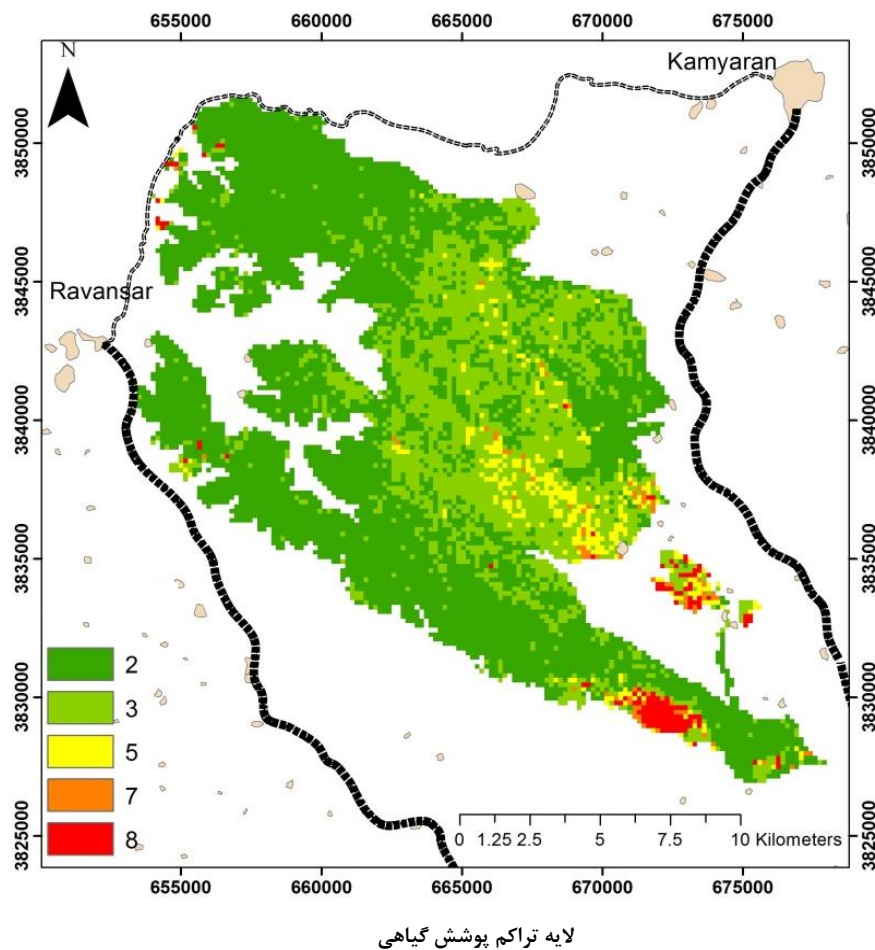


لایه تراکم خطواره

لایه پوشش خاک

شکل ۴-۳۴- لایه های تشکیل شده براساس روش تأثیرگذاری پارامترها





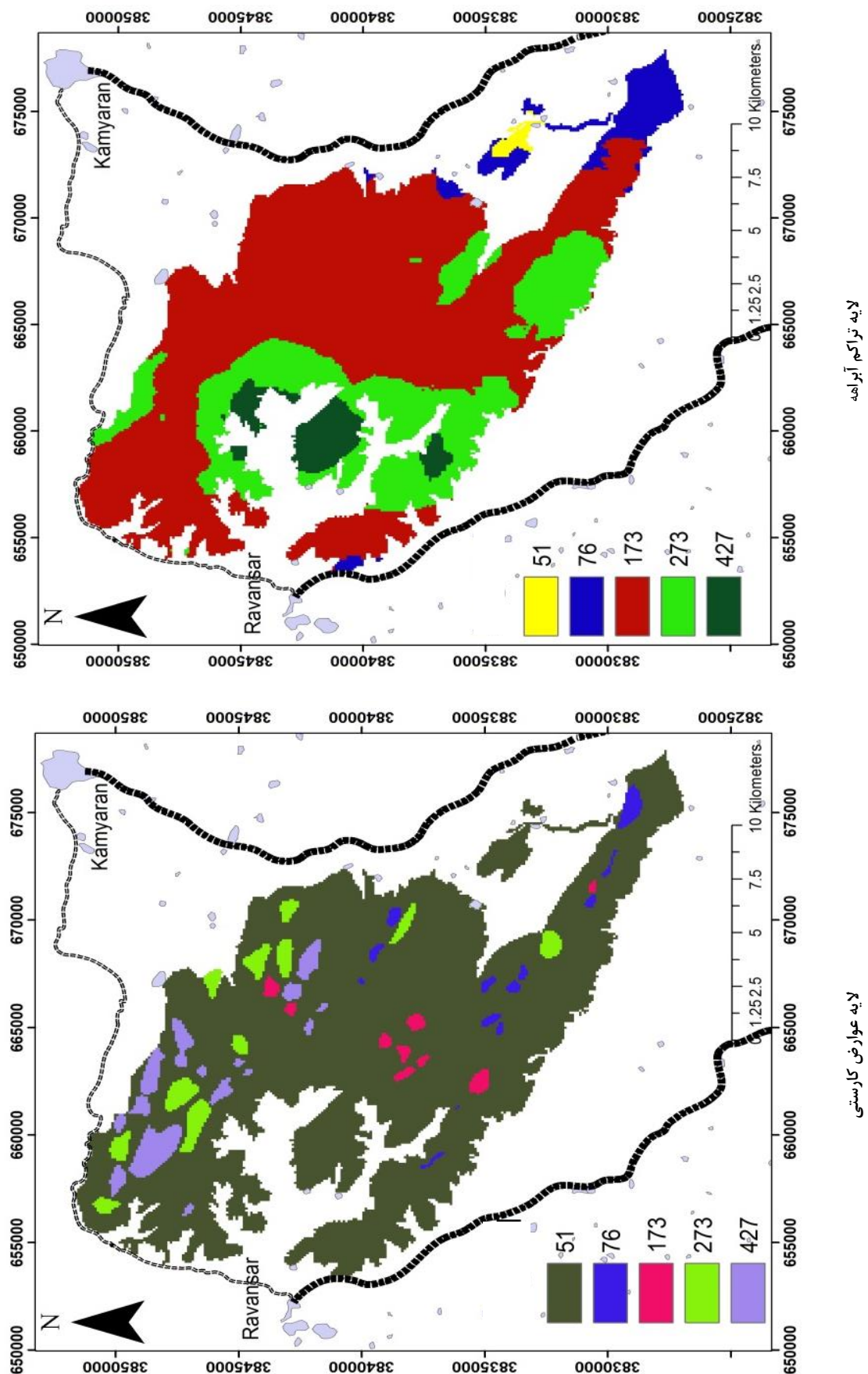
شکل ۴-۳۶- لایه تشکیل شده براساس روش تأثیرگذاری پارامترها

د- روش مقایسه زوجی

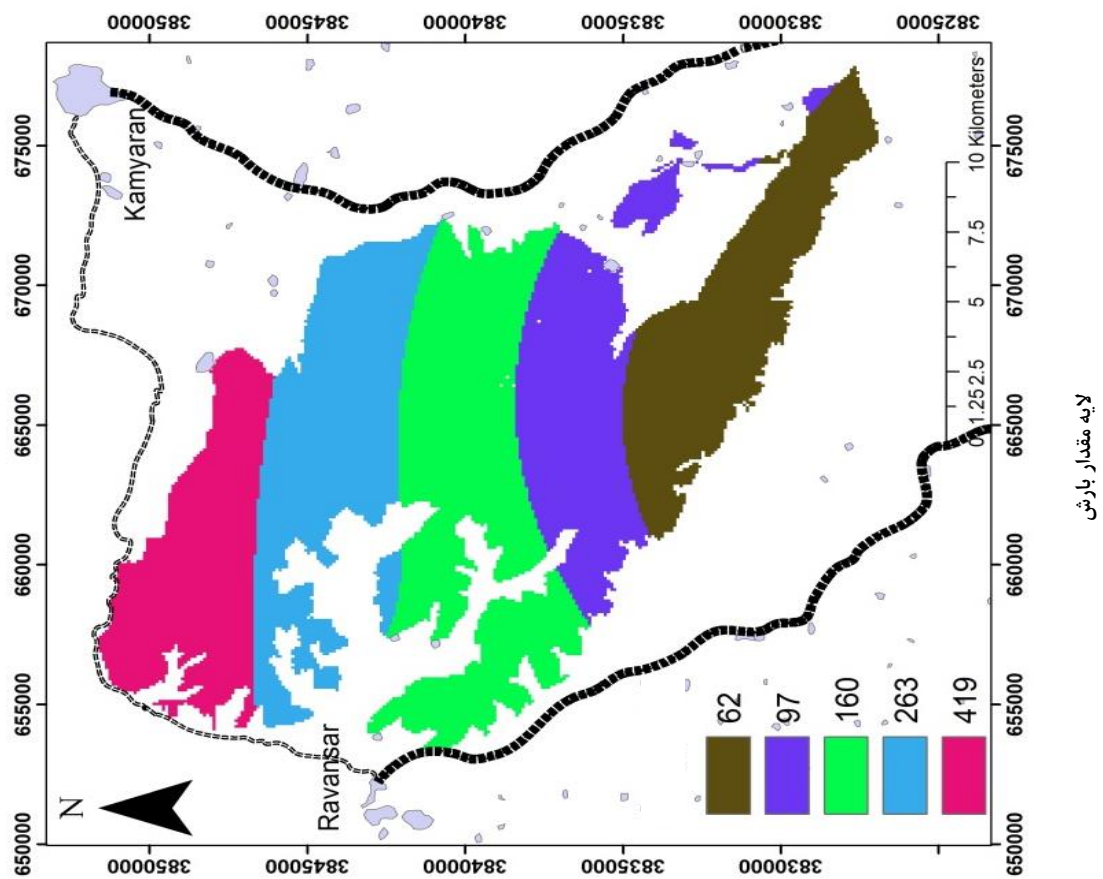
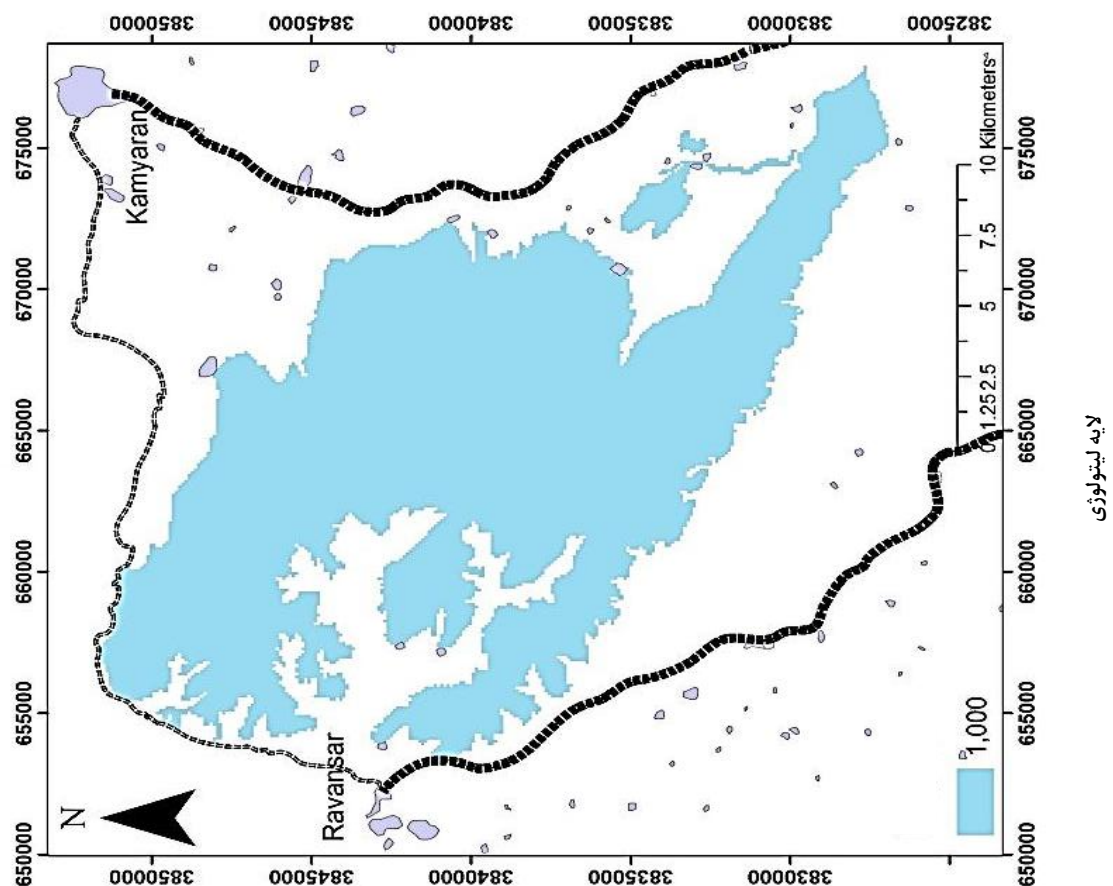
در این روش ابتدا با استفاده از نظر کارشناسی، به هر کدام از لایه‌های تهیه‌شده ارزشی اختصاص می‌یابد (ارزش نسبی). با استفاده از این ارزش‌ها برای هر پارامتر به صورت دو به دو مقایسه صورت می‌گیرد و در نهایت برای هر رده از لایه‌ها وزنی محاسبه می‌شود که بین صفر تا یک متغیر است، هر چه دسته مورد نظر دارای ارزش بیشتری باشد، عدد حاصل به عدد یک نزدیک‌تر است و برعکس. برای وزن‌دهی لایه‌ها نیز طبق این مراحل عمل می‌شود. ارزش اختصاص یافته به لایه‌های مختلف به نرم افزار Expert Choice وارد شد و وزن محاسبه شده توسط این نرم‌افزار در جدول (۴-۷) نمایش داده شده است (شکل ۴-۳۷ تا ۴-۴۱ نقشه‌های حاصل و پیوست الف خروجی نرم‌افزار EC).

جدول ۴-۷- مقادیر ارزش و وزن اعمال شده در روش مقایسه زوجی

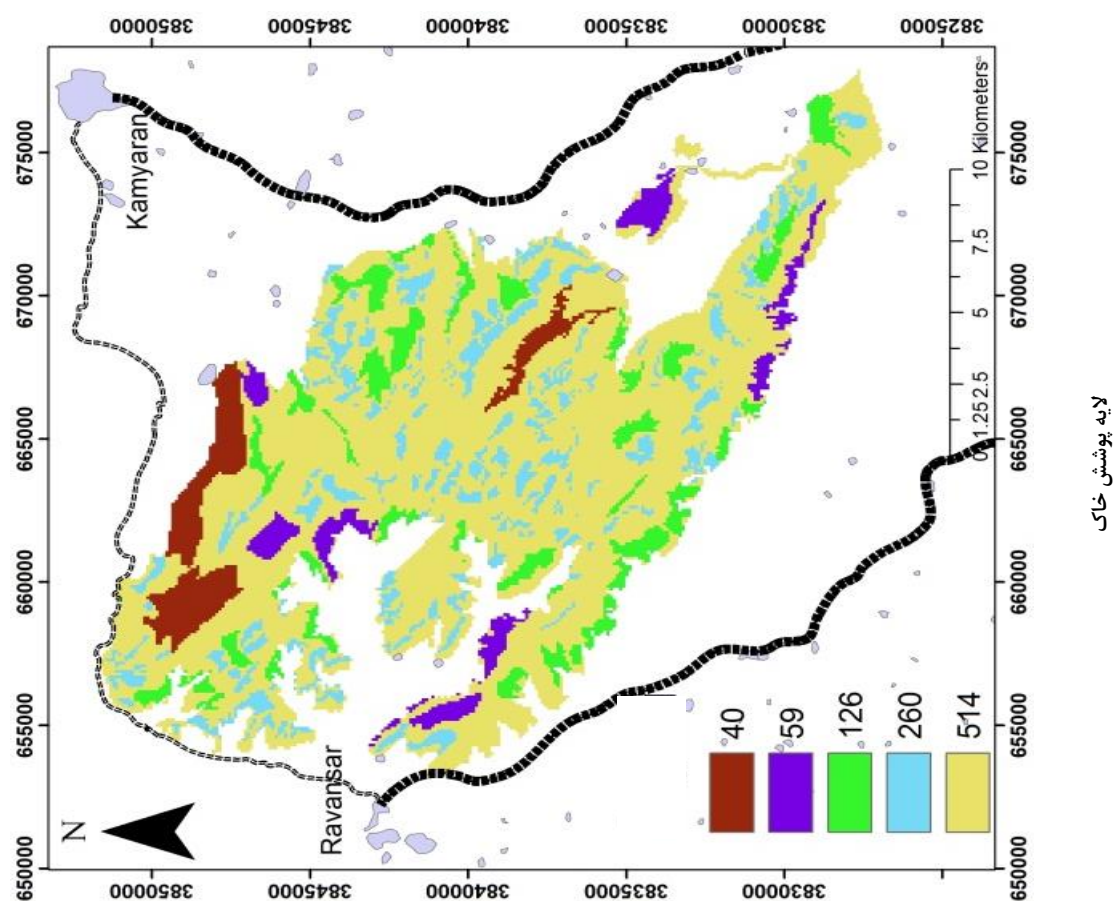
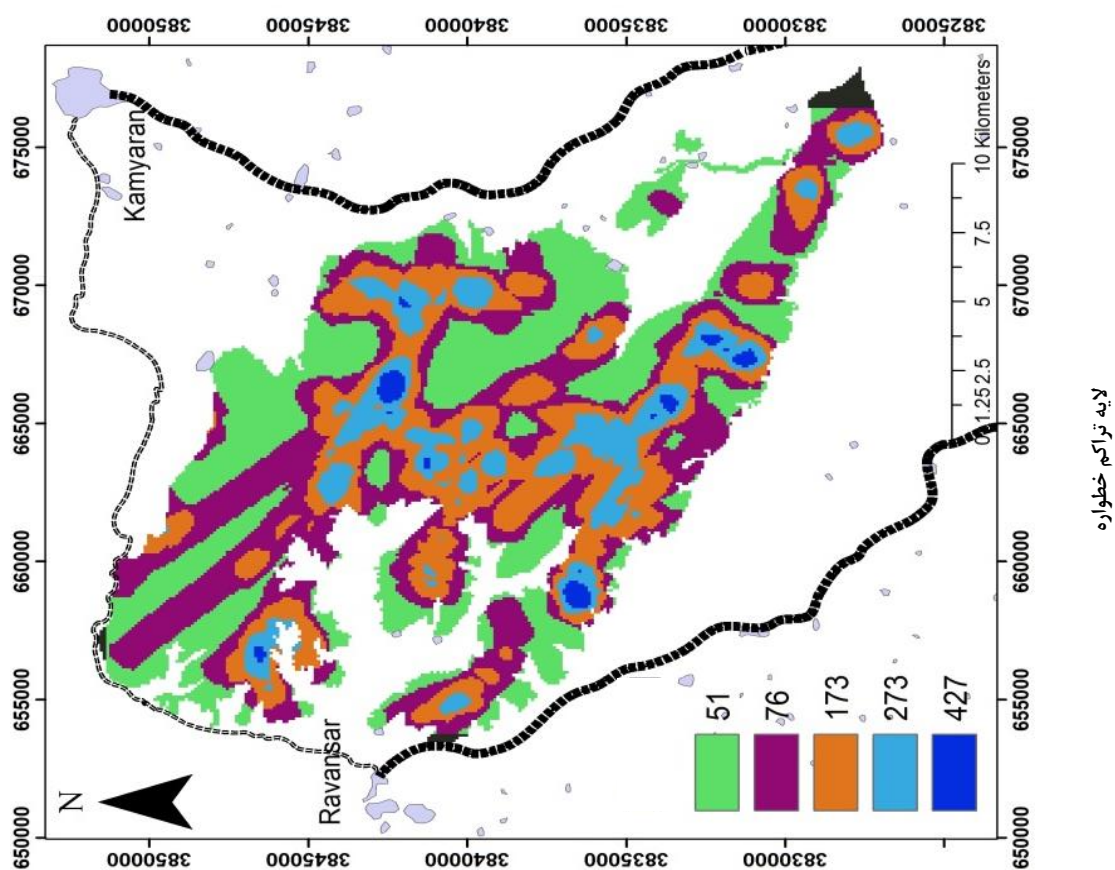
عوامل مؤثر	دسته بندی محدوده	ارزش	وزن محاسبه ای نرم افزار	وزن هر دسته	عوامل مؤثر	دسته بندی محدوده	ارزش	وزن محاسبه ای نرم افزار	وزن هر دسته
لیتولوژی	بیستون کرمانشاه ایلام بیومیکرایت آبرفت	۵	۰/۰۵۰	۱ ۰ ۰ ۰ ۰	مقدار شیب	۵> ۱۰-۵ ۲۰-۱۰ ۳۰-۲۰ ۳۰<	۷	۰/۱۴۰	۰/۵۰۴ ۰/۲۵۷ ۰/۱۲۰ ۰/۰۷۸ ۰/۰۴۱
تراکم شکستگی	%۸۰< %۸۰-۶۰ %۶۰-۴۰ %۴۰-۲۰ %۲۰>	۷	۰/۱۴۰	۰/۴۲۷ ۰/۲۷۳ ۰/۱۷۳ ۰/۷۶۰ ۰/۰۵۱	جهت شیب دامنه ها	آفتاب گیر پشت به آفتاب بدون جهت	۴	۰/۰۳۲	۰/۱۸۸ ۰/۰۸۱ ۰/۱۸۸
زهکشی (تراکم آبراهه)	%۸۰< %۸۰-۶۰ %۶۰-۴۰ %۴۰-۲۰ %۲۰>	۵	۰/۰۵۰	۰/۴۲۷ ۰/۲۷۳ ۰/۱۷۳ ۰/۷۶۰ ۰/۰۵۱	عوارض کارستی	خیلی زیاد زیاد متوسط کم خیلی کم	۹	۰/۳۱۳	۰/۴۲۷ ۰/۲۷۳ ۰/۱۷۳ ۰/۰۷۶ ۰/۰۵۱
پوشش خاک	خیلی زیاد زیاد متوسط کم بدون پوشش	۶	۰/۰۸۵	۰/۰۴۰ ۰/۰۵۹ ۰/۱۲۶ ۰/۲۶۰ ۰/۵۱۴	پوشش گیاهی	زیاد متوسط کم خیلی کم بدون پوشش	۵	۰/۰۵۰	۰/۴۴۶ ۰/۲۹۴ ۰/۰۱۲ ۰/۰۸۳ ۰/۰۵۷
میزان بارش	۴۷۳-۴۹۸ ۴۹۸-۵۴۰ ۵۴۰<	۷	-	۰/۱۶۰ ۰/۲۶۳ ۰/۴۱۹	میزان بارش (ادامه)	۴۲۰-۴۴۶ ۴۴۶-۴۷۳	۷	۰/۱۴۰	۰/۰۶۲ ۰/۰۹۷



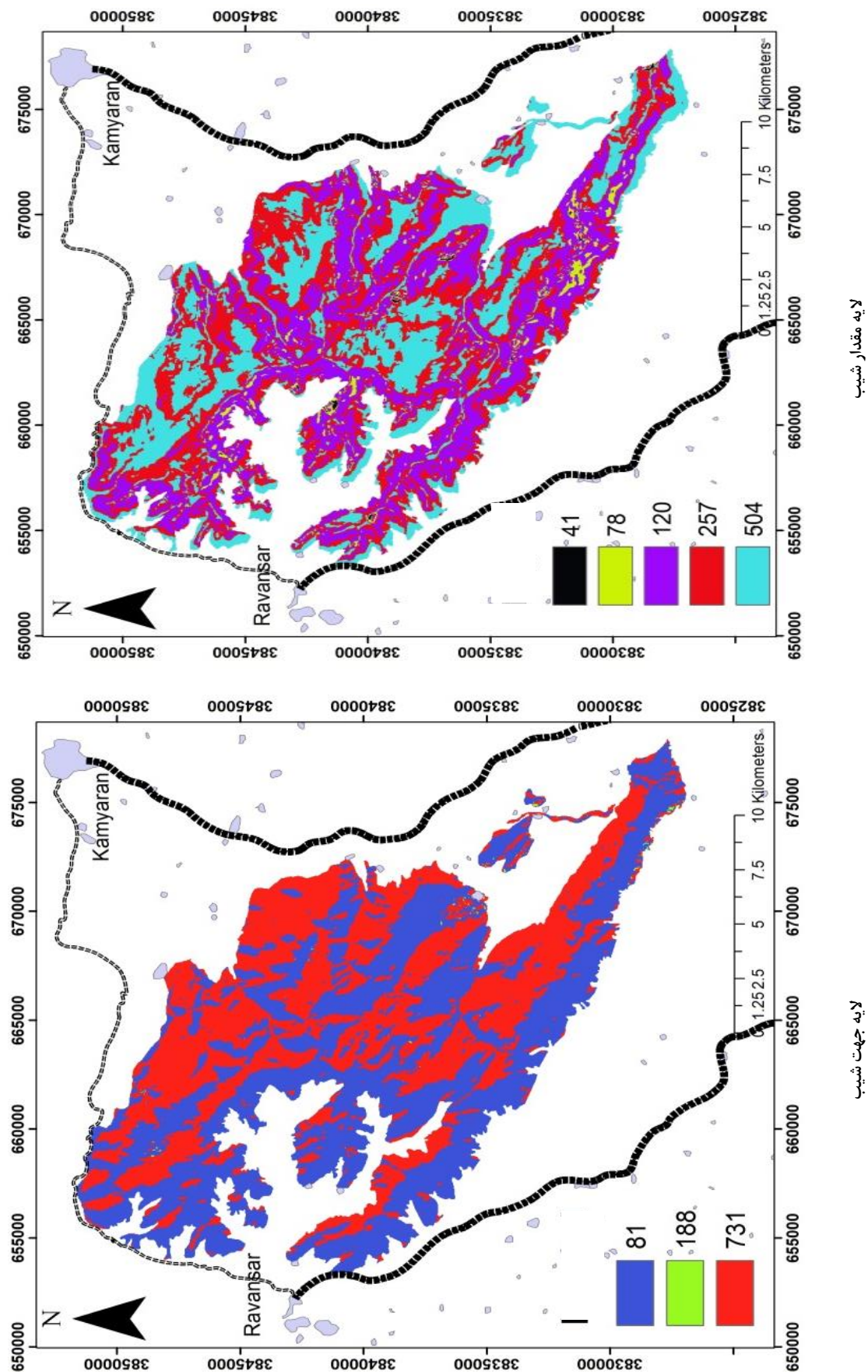
شکل ۴-۳۷ - لایه های تشکیل شده براساس روش مقایسه زوجی



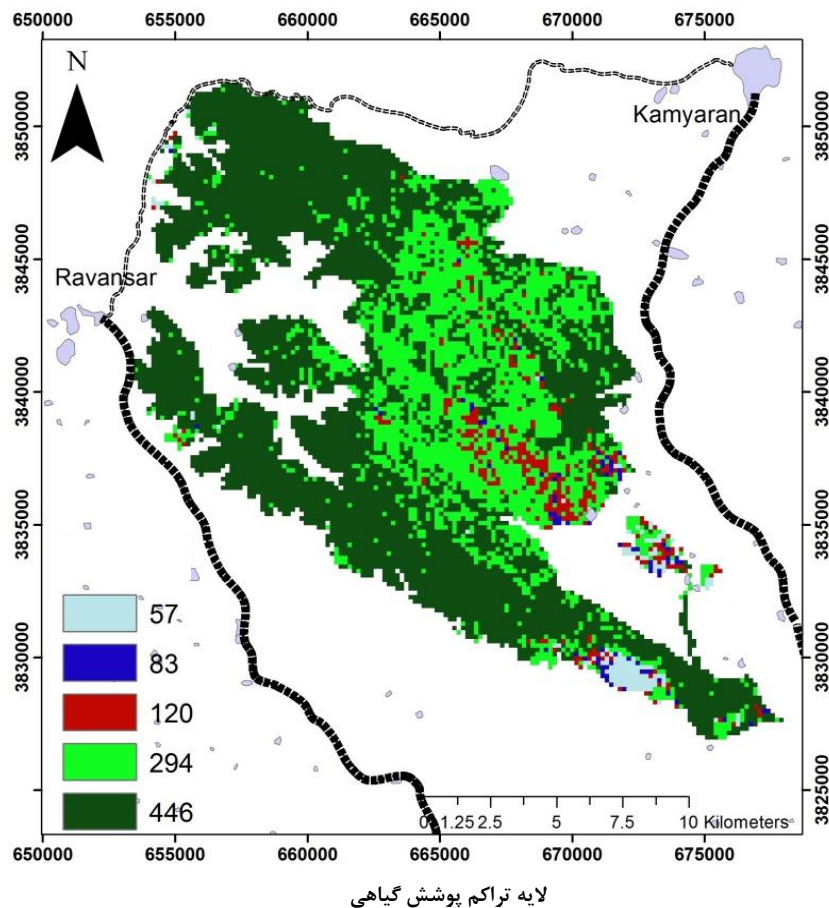
شکل ۴-۳۸- لایه های تشکیل شده براساس روش مقایسه زوجی



شکل ۴-۳۹- لایه های تشکیل شده براساس روش مقایسه زوجی



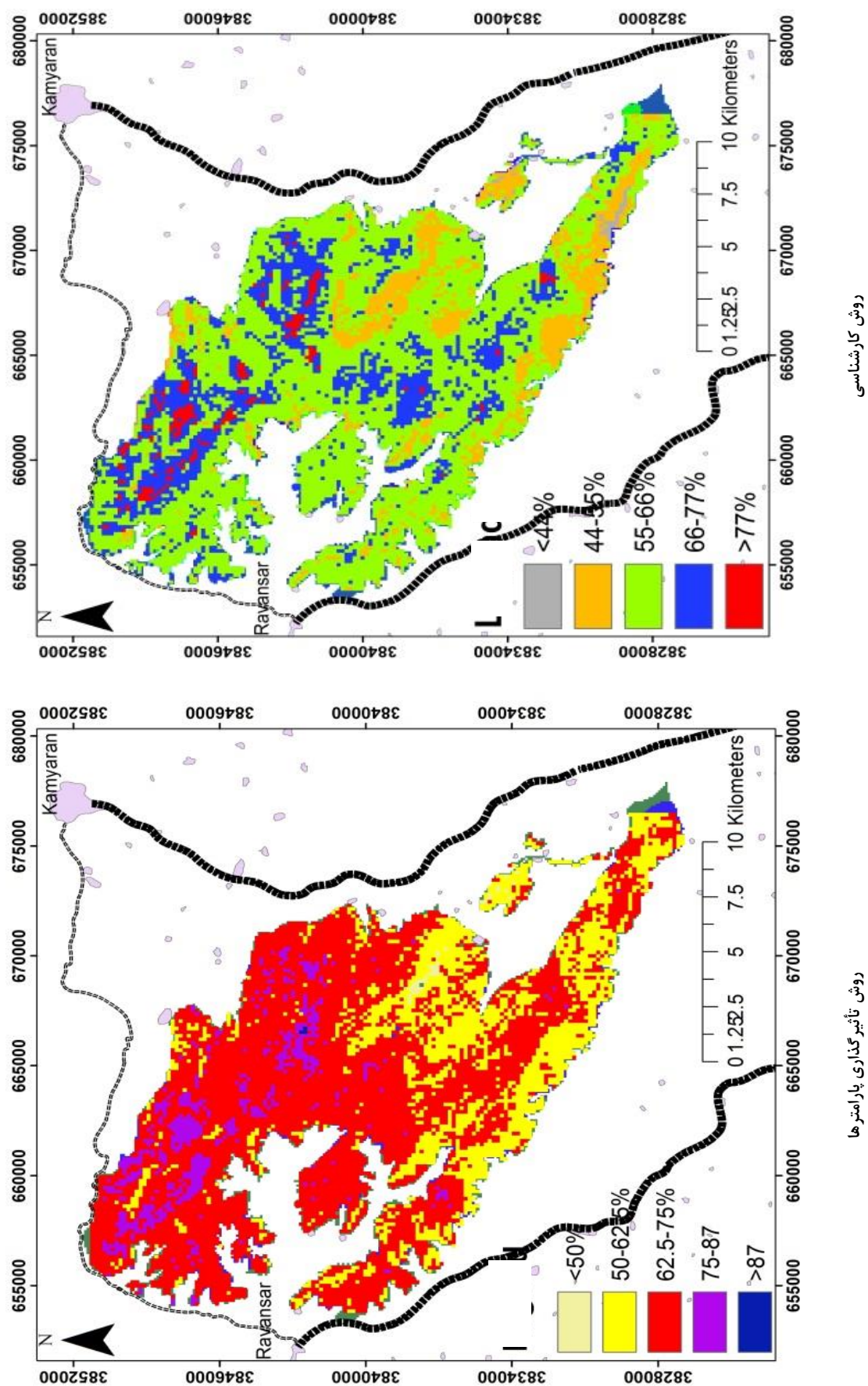
شکل ۴-۴۰- لایه های تشکیل شده براساس روش مقایسه زوجی

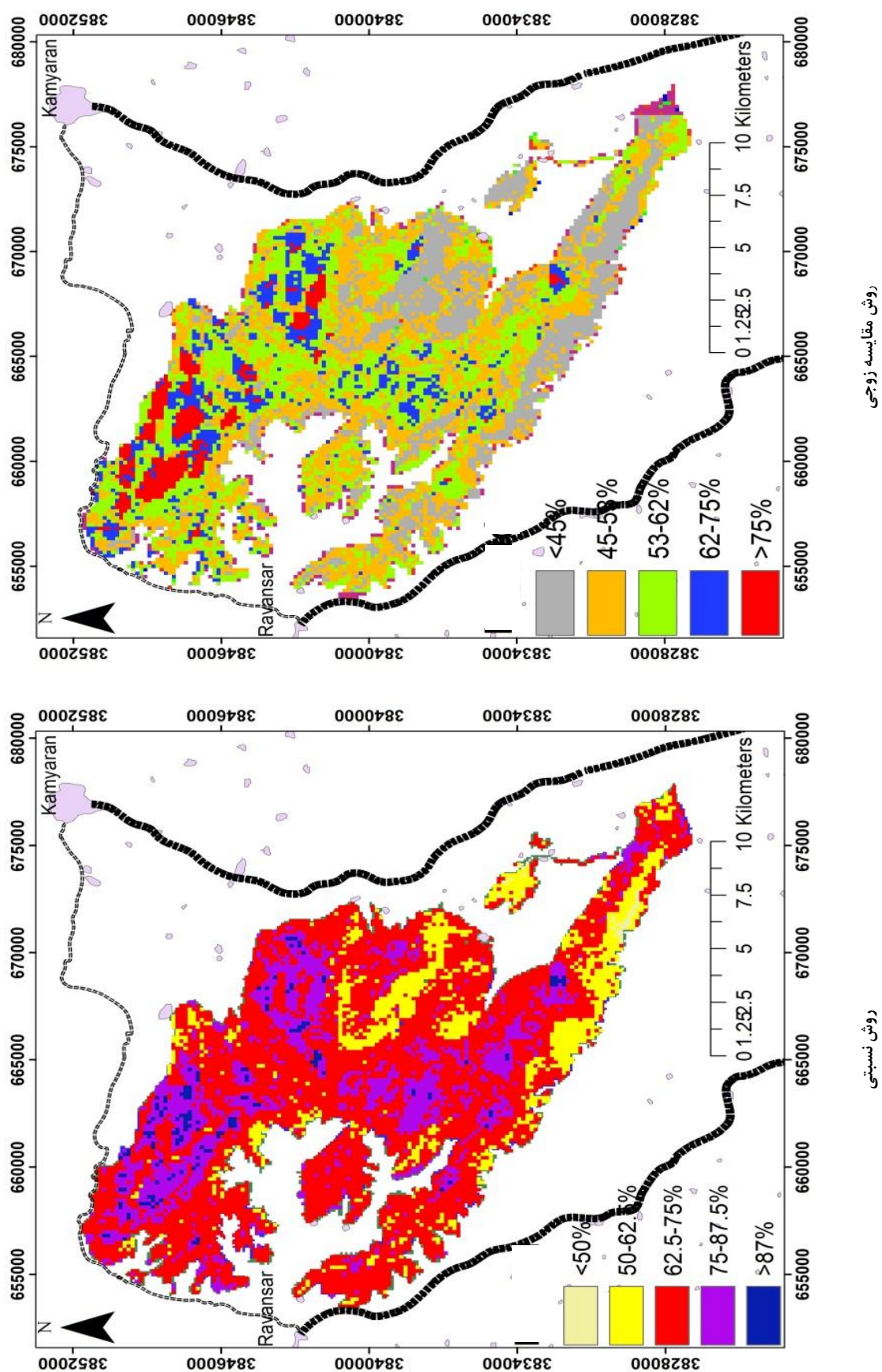


شکل ۴-۴۱- لایه تشکیل شده براساس روش مقایسه زوجی

در هر نوبت وزن دهی مناطق با درصد نفوذ مختلف به دست آمده است. نقشه های ایجاد شده به هر روش در ادامه ارائه شده است (شکل ۴-۴۲ و ۴-۴۳).

درصد نفوذ و مساحت هر رده از نواحی مختلف در پنج رده دسته بندی شده است که در جدول (۴-۸) آمده است. همانطور که در جدول (۴-۸) نشان داده شده است روش مقایسه زوجی توزیع یکنواخت-تری را در مساحت مربوط به هر رده نفوذی از خود نشان می دهد. بیشترین مساحت، و میزان نفوذ مربوط به آن در هر روش مشخص شده است، محدوده نفوذ تغییراتی از ۴۵٪ تا ۷۵٪ را نشان می دهد.





شکل ۴-۳- نقشه نهایی ایجاد شده در هر روش

جدول ۴-۸- درصد نفوذ محاسبه شده و مساحت هر رده

مساحت (km ²)	درصد نفوذ	روش استفاده شده
۰/۹۶	%۴۴	روش کارشناسی
۳۲	%۵۵-۴۴	
۱۴۸	%۶۶-۵۵	
۴۷/۵	%۷۷-۶۶	
۵/۶۵	>%۷۷	
۰/۹۵	%۵۰	روش نسبیتی
۳۲/۵	%۶۲-۵۰	
۱۵۱/۵	%۷۵-۶۲	
۴۶/۱۵	%۸۷-۷۵	
۳/۸	%۸۷<	
۰/۹۱	%۵۰	روش تأثیرگذاری پارامترها
۶۰/۲۵	%۶۲-۵۰	
۱۵۶/۸	%۷۵-۶۲	
۱۵/۲	%۸۷-۷۵	
۰/۰۷	%۸۷<	
۵۰/۵	%۴۵	روش مقایسه زوجی
۸۱/۲۵	%۵۳-۴۵	
۶۶/۶۵	%۶۲-۵۳	
۲۲/۲۵	%۷۵-۶۲	
۱۲/۸	%۷۵>	

برای بدست آوردن میزان نفوذ سالانه ابتدا ضریب نفوذ را از معادله (۴-۱) محاسبه کرده و با استفاده از معادله (۴-۲) حجم نفوذ سالانه برآورد شده است.

$$I = \frac{\sum_1^n A_1 \cdot I_1 + A_2 \cdot I_2 + \dots A_n \cdot I_n}{A_t} \quad (۱-۴)$$

$$W = P \cdot I \cdot A \quad (۲-۴)$$

جایی که I نرخ نفوذ سالانه، W حجم آب نفوذ یافته، A مساحت، P بارندگی است. معادله (۳-۴) مشابه معادله (۲-۴) است که برای برآورد نفوذ می‌توان به کار رود، در زیر میزان نفوذ با استفاده از این معادله نیز محاسبه شده است، که نتایج حاصل یکسان است.

$$W = P \cdot \sum I_1 \frac{A_1}{A_t} + I_2 \frac{A_2}{A_t} + \dots I_n \frac{A_n}{A_t} \quad (۳-۴)$$

در این معادله P ، حجم بارش سالانه، I ، نرخ نفوذ مربوط به هر رده، A مساحت مربوط به هر رده و A_t مساحت کل منطقه است و در نهایت W حجم نفوذ سالانه در منطقه می‌باشد. با توجه به اینکه میزان بارندگی در منطقه مورد مطالعه ۵۱۷ میلیمتر در سال است میزان نفوذ میانگین در هر روش به شرح زیر است:

روش کارشناسی:

میانگین ضریب نفوذ ۰/۶۱، و حجم آب نفوذی حدوداً برابر با ۷۴ میلیون متر مکعب محاسبه گردید. روش نسبیتی:

میانگین ضریب نفوذ ۰/۶۹، و حجم آب نفوذی محاسبه شده برابر است با ۸۴ میلیون متر مکعب. روش تأثیرگذاری پارامترها:

میانگین ضریب نفوذ ۰/۶۶، و حجم آب نفوذی برابر است با ۸۰ میلیون متر مکعب. روش مقایسه زوجی:

میانگین ضریب نفوذ ۰/۵۳، و حجم آب نفوذی به دست آمده برابر است با ۶۴ میلیون متر مکعب.

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه گیری

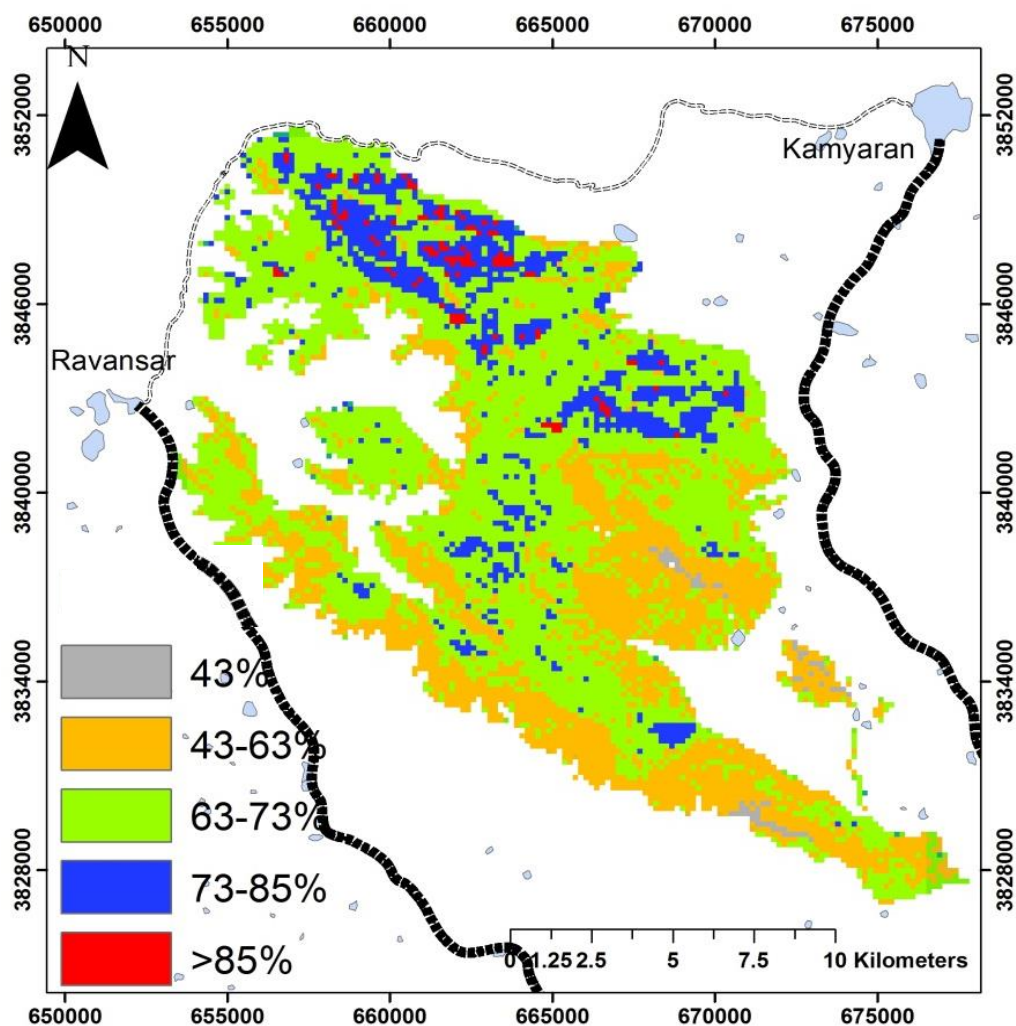
همانگونه که در فصل های قبل اشاره شد، هدف اصلی از انجام این تحقیق "ارزیابی تغذیه در آهک- های کارستی بیستون در نواحی شرقی و جنوب شرقی شهرستان روانسر در استان کرمانشاه" است. به منظور دستیابی به این هدف، از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. به این منظور لایه- های اطلاعاتی عوامل مؤثر بر تغذیه، جهت ورود به نرم افزار Arc GIS 10 تهیه گردید. لایه های تهیه شده شامل لایه عوارض کارستی مشاهده شده در منطقه، لایه شیب توپوگرافی، لایه جهت شیب دامنه ها، لایه بارش، لایه تراکم خطواره ها، لایه لیتولوژی، لایه پوشش خاک، لایه تراکم پوشش گیاهی، و لایه تراکم آبراهه ها می شود. سرانجام با تحلیل های انجام شده، درصد نفوذ سالانه در این منطقه برآورد گردید.

با وجود کاربردی بودن زیاد این روش، یکی از ایراداتی که به آن وارد می دانند، تأثیر زیاد دخالت نظر شخصی است. برای تقلیل دادن این ایراد، در این تحقیق از نظر چندین کارشناس و از چهار روش متفاوت برای ارزش دهی و وزن دهی به لایه های اطلاعاتی تهیه شده استفاده شد. نتایج حاصل شده از روش های مختلف مشابهت زیادی را با یکدیگر نشان می دهند. در جدول (۵-۱) به صورت کاملاً خلاصه نتایج ذکر شده است. با تلفیق نقشه های خروجی در هر روش، نقشه نهایی نفوذ در منطقه در شکل (۵-۱) نشان داده شده است.

براساس نقشه نهایی (شکل ۵-۱) حجم آب تغذیه شده سالانه به این منطقه برابر ۷۷ میلیون متر مکعب و ضریب نفوذ محاسبه شده در این مرحله ۰/۶۴ است. حدوداً نیمی از مساحت منطقه حدود ۶۵٪ نفوذ دارد.

جدول ۵-۱- نتایج به دست آمده از روش های مختلف

روش استفاده شده	نرخ نفوذ	حجم آب تغذیه شده سالانه (MCM)
روش کارشناسی	۰/۶۱	۷۴
روش نسبتي	۰/۶۹	۸۴
روش تأثیرگذاری پارامترها	۰/۶۶	۸۰
روش مقایسه زوجی	۰/۵۳	۶۴



شکل ۵-۱- نقشه نهایی نفوذ منطقه

همانطور که در نقشه های حاصله مشخص است مناطق با نفوذ بیشتر از ۸۵٪ هم در منطقه مشاهده

می شود که طبق بازدیدهای صحرایی انجام گرفته از منطقه منطبق بر مناطقی است که دارای عوارض کارستی وسیع هستند که نشان توسعه کارست زیاد در این مناطق است و این خود مبین تأثیر توسعه کارست در نفوذ است.

۵-۲- پیشنهادها

به منظور تحقیق بیشتر در زمینه موضوع این تحقیق، پیشنهادهای زیر ارائه می شوند:

- استفاده از سایر روش های موجود برای برآورد مقدار نفوذ و مقایسه نتایج حاصله با نتایج به دست آمده از این تحقیق
- تعیین مقدار نفوذ در سال های آبی مختلف و مقایسه نتایج با وضعیت بیلان منطقه

منابع

- اردلان، ا.، رشیدی، آ.، علیزاده، ک.، آیین، م.، (۱۳۸۹)، "مطالعات توجیحی ممنوعیت و تمديد توسعه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت‌های استان کرمانشاه (محدوده مطالعاتی روانسر سنجابی)"، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، ۶۲ ص.
- آقانباتی، ع.، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۶۹۶ ص.
- برو، ج.، (۱۹۷۸)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه"، ترجمه آقانباتی، ع.، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- پرچی عراقی، ف.، میرلطفی، م.، قربانی دشتکی، ش.، مهدیان، م.ح.، (۱۳۸۹)، "برآورد نفوذ تجمعی آب به خاک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در خاک‌های آهکی"، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۳، ص ۵۲۶-۵۱۲.
- ترابی‌تهرانی، پ.، (۱۳۷۹)، "هیدرولوژی زیرزمینی"، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، ۳۶۲ ص.
- حسینی شفیعی، ل.، (۱۳۸۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "پهنه‌بندی نفوذپذیری تاقدیس کارستی پودنو در استان فارس با استفاده از داده‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز.
- صادقیان، م.، دلور، س.ت.، (۱۳۷۴)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عظیمی‌حسینی، م.، نظری‌فر، م.ه.، مؤمنی، ر.، (۱۳۸۹)، "کاربرد GIS در مکانیابی"، مهرگان قلم، ۳۰۴ ص.
- علیزاده، ا.، (۱۳۸۸)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، چاپ بیست و هفتم، دانشگاه فردوسی، ۸۷۲ ص.
- غیثی، ح.، زارع، م.، (۱۳۸۷)، "بررسی تاثیر عوامل مختلف در توسعه ی کارست در پهنه‌های کارستی زاگرس در استان فارس با استفاده از اطلاعات رقمی سنجش از دور و GIS"، دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز.
- قدسی‌پور، ح.، (۱۳۸۱)، "مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره فرایند تحلیل سلسله مراتبی"،

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۲۲۴ ص.

- کرمی، غ.، (۱۳۸۹)، بررسی ارتباط یا عدم ارتباط هیدرولیکی حوضه آبریز چشمه کارستی امام‌قیس با منابع آب مجاور، شرکت سهامی آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری، ۷۹ ص.
- کریمی‌وردنجانی، ح.، (۱۳۸۹)، "هیدروژئولوژی کارست مفاهیم و روش‌ها"، ارم شیراز، ۴۱۴ ص.
- مطیعی، ه.، (۱۳۷۲)، "زمین‌شناسی ایران: چینه شناسی زاگرس"، سازمان زمین‌شناسی-کشور، ۵۳۶ ص.
- ملائی، ع.، شفیعی، ا.، پرهت، ج.، (۱۳۸۹)، "بررسی تلفات بارش در تشکیلات کارست"، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، کرمان.
- ناصری، ح.ر.، پرهت، ر.، (۱۳۸۹)، "مقایسه مدل‌های تجربی در برآورد نرخ نفوذ در پوشش خاک مناطق کارستی دلی بجک سپیدار، کهگیلویه و بویر احمد"، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه.
- یوسفی‌سنگانی، ک.، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "ارزیابی مناطق مستعد منابع آب زیرزمینی ارتفاعات هزار مسجد در محدوده کلات نادری تا زنگلانلو، به کمک فناوری GIS و RS"، دانشکده علوم، دانشگاه فرودوسی.

- Al Saud, M., (2010), "Mapping potential areas for groundwater storage in Wadi Aurnah Basin, western Arabian Peninsula, using remote sensing and geographic information system techniques", *Hydrogeology J.*, Vol 18, pp 1481–1495.
- Andreo, B., Vías, J., Durán J. J., Jiménez P., López-Geta J. A., Carrasco, F., (2008), "Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers: application to pilot sites in southern Spain", *Hydrogeology J.*, Vol. 16, pp 911–925.
- Barrett, M. E., Charbeneau, R. J., (1997), "A parsimonious tank model for simulating flow and transport in a karst aquifer", pp. 31-38, In: "Karst-Water Environment Symposium", Edited by Younos, T., Burbey, T.J., Kastning, E.H., Kastning, J.A., Blacksburg, Virginia.
- Bhuiyan, C., Singh, R. P., Flugel, W.A., (2009), "Modelling of ground water recharge-potential in the hard-rock Aravalli terrain, India: a GIS approach", *J.*

Environ Earth Sci. Vol. 59, pp929–938.

- Bonacci, O., (2001), “Monthly and annual effective infiltration coefficients in Dinaric karst: example of the Gradole karst spring catchment”, *J. Hydrological Sciences*, Vol. 42, pp 287-299.
- Botha, L. J., (1994), “Estimation of the Zeerust/Rietpoort groundwater potential. A case study incorporated in the manual on: Manual on quantitative estimation of groundwater recharge and aquifer storativity”, Water Research Commission, Pretoria, pp1-25.
- Browne, F.X., Lolcama, J., Maloomian, D., Fry, P., “Epikarstic gravity drains an innovative method for infiltrating stormwater in karst”.
- Carter, J. M., Driscoll, D.G., (2005), “Estimating recharge using relations between precipitation and yield in a mountainous area with large variability in precipitation”, *J. of Hydrology* 316, pp71–83.
- Dripps, W.R., Bradbury, K.R., (2007), “A simple daily soil–water balance model for estimating the spatial and temporal distribution of groundwater recharge in temperate humid areas”, *Hydrogeology J.* Vol. 15, pp 433–444.
- Heppner, Ch.S., Nimmo, R.J., Folmar, G.J., Gburek, W.J., Risser, D.W., (2007), “Multiple-methods investigation of recharge at a humid-region fractured rock site, Pennsylvania, USA”, *Hydrogeology J.* Vol. 15, pp 915-927.
- Hiscock, K.m., (2004), “Hydrogeology Principles and Practice”, Wiley-blackwell, pp. 406.
- Hoetzi, H., (1995), “Groundwater recharge in an arid karst area (Saudi Arabia)”, IAHS Publ. no. pp232.
- Jie, Z., Heyden, J.V., Bendel, D., Barthel, R., (2011), “Combination of soil-water balance models and water-table fluctuation methods for evaluation and improvement of groundwater recharge calculations”, *Hydrogeology J.*, Vol. 19, pp1487–1502.
- Jones, I.C., Banner, J.L., (2003), “Estimating recharge thresholds in tropical karst island aquifers: Barbados, Puerto Rico and Guam”, *J. of Hydrology*, Vol.2, pp131–143.
- Jukić, D., Denić-Jukić, V., (2004), “Groundwater balance estimation in karst by using a conceptual rainfall–runoff model”, *J. of Hydrology*, Vol. 2, pp 95-110.
- Karami, Gh.H., (2002), PhD Thesis, “Assessment of heterogeneity and flow systems in karstic aquifers using pumping test data”, Civil engineering and geosciences, University of Newcastle, pp180.
- Li, X., Contreras, S., Solé-Benet, A., Cantón, Y., Domingo, F., Lázaro, R., Lin, H., Wesemael, B.V., Puigdefábregas, J., (2011), “Controls of infiltration–runoff processes in Mediterranean karst rangelands in SE Spain”, *J.Catena* 86, pp 99-

- Malczewski, J., (1999), “GIS & Multi-criteria Decision Analysis: Evaluation Criteria & Criterion Weighting”, John Wiley & Sons.
- Manghi, F., Mortazavi, B., Crother, Ch., Hamdi, M. R., (2008), “Estimating Regional Groundwater Recharge Using a Hydrological Budget Method”, *J. Water Resour Manage.*, Vol. 23, pp2475–2489.
- Milanovic, P.T.,(1981), “Karst hydrogeology”, Water Resources Publications, pp 434.
- Misstear, B. D.R., Fitzsimons, V. P., (2003), “Estimating groundwater recharge in fractured bedrock aquifers in Ireland”, pp 243-259, *Groundwater in fractured rocks*, Edited by Krasny, J., Sharp, J.M., Taylor & Francis group, London, UK.
- Nyagwambo, N.L., (2006), PhD Thesis, “Groundwater recharge estimation and water resources assessment in a Tropical Crystalline Basement aquifer”, UNESCO-IHE Institute, Delft University of Technology.
- Radulovic, M., Stevanovic, Z., Radulovic, M., (2011), “A new approach in assessing recharge of highly karstified terrains–Montenegro case studies”, *J. Environ Earth Sci.*, Special issue. DOI 10.1007/s12665-011-1378-0
- Ritorto, M., Screaton, E. J., Martin, J. B., Moore, P. J., (2009), “Relative importance and chemical effects of diffuse and focused recharge in an eogenetic karst aquifer: an example from the unconfined upper Floridan aquifer, USA”, *Hydrogeology J.*, Vol. 17, pp 1687–1698.
- Sanz, E., Lopez, J.J., (2000), “Infiltration measured by drip of stalactites”, *J. Ground Water*, Vol. 38 NO. 2, pp 247-253.
- Scanlon, B. R., and Dutton A., Sophocleous, M., (2000), “Groundwater Recharge In Texas”, University of Texas at Austin, pp 62.
- Scanlon, R., Healy, R.W., Cook, P.G., (2001), “Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge”, *Hydrogeology J.*, Vol. 10, pp 18–39.
- Scozzafava, M., Tallini, M., (2001), “Report net infiltration in the Gran Sasso Massif of central Italy using the Thornthwaite water budget and curve-number method”, *Hydrogeology J.*, Vol. 9, pp 461–475.
- Seiler, K. P., GAT, J. R., (2007) “Groundwater recharge from runoff, infiltration and percolation”, Springer, pp 241.
- Shaban, A., Khawlie, M., Abdallah, Ch., (2004), “Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon”, *Hydrogeology J.*, Vol. 14, pp 433–443.
- Shivanna, K., Kulkarni, U. P., Joseph, T. B., Navada, S. V., (2004),

- “Contribution of storms to groundwater recharge in the semi-arid region of Karnataka, India”, *J. Hydrol. Process.* Vol. 18, pp 473–485.
- Szilagyi, J.S., Zlotnik, V.A., Gates, J.B., Jozsa, J., (2011), “Mapping mean annual groundwater recharge in the Nebraska Sand Hills, USA”, *Hydrogeology J.*, Vol 19, pp 1503–1513.
 - Taylor, C. J., Green, E. A., (2008), “Hydrogeologic Characterization and Methods Used in the Investigation of Karst Hydrology” pp 75-107, “*Field techniques for estimating water fluxes between surface water and ground water: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 4–D2*”, Edited by Rosenberry, D.O., and LaBaugh, J.W., U.S. Geological Survey, Virginia, pp 128.
 - Wagner, W., Hobler, M., Kohler, G., Giesel, W., (1987), “Lomagundi aquifer study: Groundwater use and groundwater potential in the Chinhoyi–Umboe Mhangurafarming areas”, Hanover.
 - Yeh, H., Lee, C., Chen, J., Chen, W., (2007), “Estimation of groundwater recharge using water balance model”, *J. Water Resources*, Vol. 34, No. 2, pp. 153–162.
 - Zagana, E., Obeidat, M., Kuells, Ch., Udluft, P., (2007), “Chloride, hydrochemical and isotope methods of groundwater recharge estimation in eastern Mediterranean areas: a case study in Jordan”, *J. Hydrol. Process.*, Vol. 21, pp 2112–2123.
 - Zhu, Ch., Winterle, J.R., Love, E.I., (2003), “Late Pleistocene and Holocene groundwater recharge from the chloride mass balance method and chlorine-36 data”, *J. Water resources research*, Vol. 39, pp 4-1 - 4-15.

پیوست الف - ماتریس مقایسه زوجی و محاسبه وزن معیارها در محیط نرم افزار Expert Choice

karst feature

9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9

slop

Compare the relative importance with respect to: Goal: determine the location and amount with the highest infiltration

	karst featu	slop	precipitatio	lineaments	soil cover	lithology	vegetation	drainage d	aspect
karst feature		3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	5.0	5.0	6.0
slop			1.0	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0
precipitation				1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0
lineaments density					2.0	3.0	3.0	3.0	4.0
soil cover						2.0	2.0	2.0	3.0
lithology							1.0	1.0	2.0
vegetation								1.0	2.0
drainage density									2.0
aspect									
Incon: 0.01									

Priorities with respect to:
 Goal: determine the location an...

karst feature
slop
precipitation
lineaments density
soil cover
lithology
vegetation
drainage density
aspect

.313
.140
.140
.140
.085
.050
.050
.050
.032

Inconsistency = 0.81
with 0 missing judgments.

very high

9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9

high

Compare the relative importance with respect to: karst feature

	very high	high	moderate	low	very low
very high		2.0	3.0	5.0	6.0
high			2.0	4.0	5.0
moderate				3.0	4.0
low					2.0
very low					
Incon: 0.02					

Priorities with respect to:
 Goal: Determine the location with
 > karst feature

very high
high
moderate
low
very low

.427
.273
.173
.076
.051

Inconsistency = 0.02
with 0 missing judgments.

<5

9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9

5-10

Compare the relative importance with respect to: slop

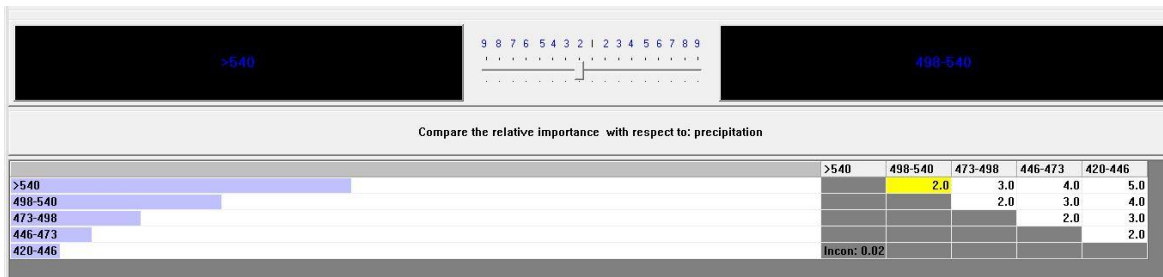
	<5	5-10	10-20	20-35	>35
<5		3.0	5.0	6.0	7.0
5-10			3.0	4.0	6.0
10-20				2.0	4.0
20-35					3.0
>35					
Incon: 0.05					

Priorities with respect to:
 Goal: Determine the location with
 > slop

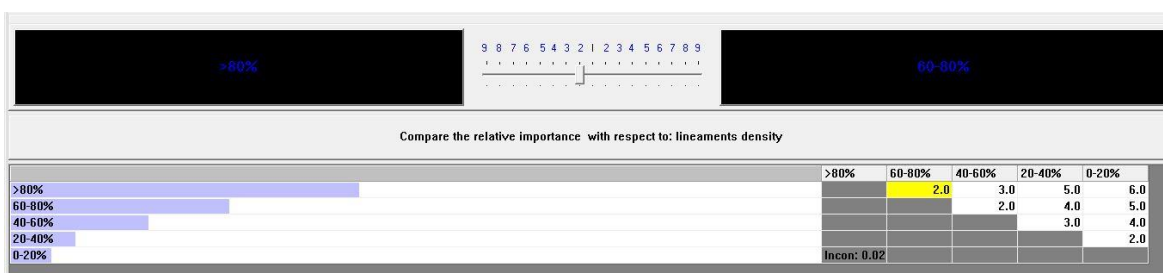
<5
5-10
10-20
20-35
>35

.504
.257
.120
.078
.041

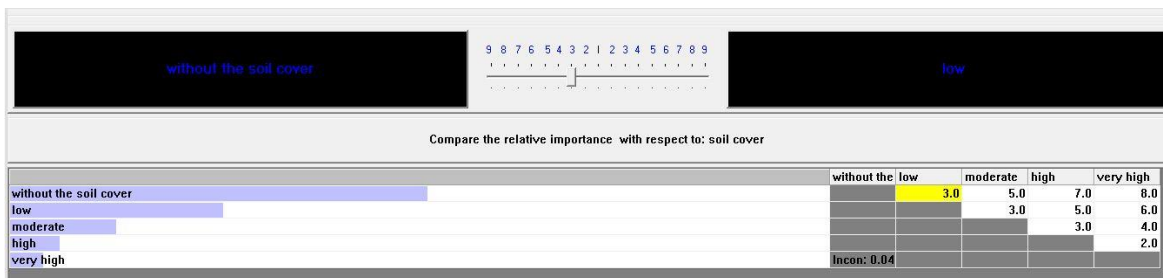
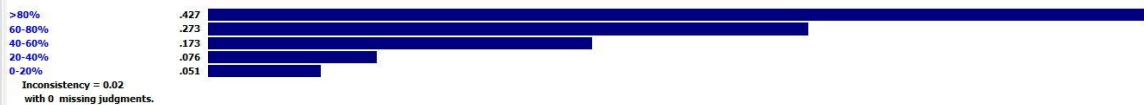
Inconsistency = 0.05
with 0 missing judgments.



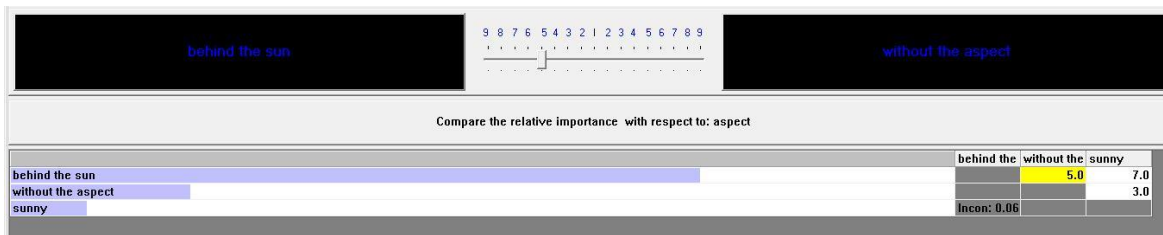
Priorities with respect to:
Goal: Determine the location with
>precipitation

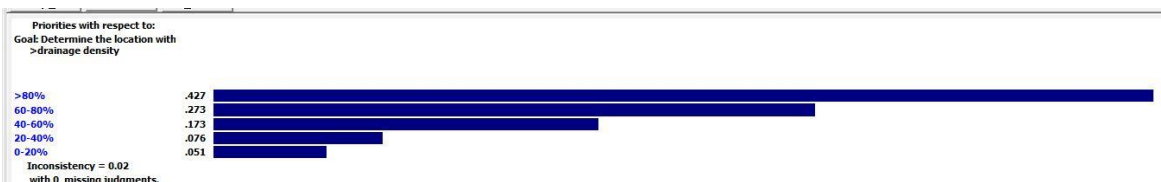
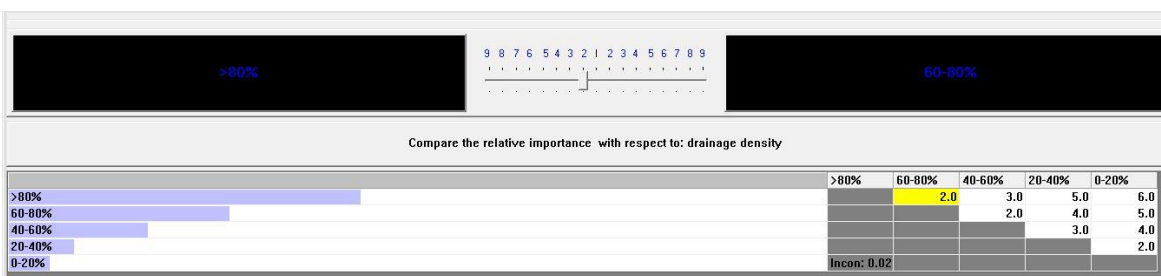
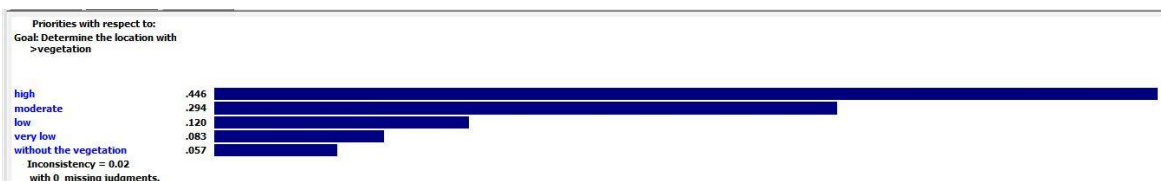
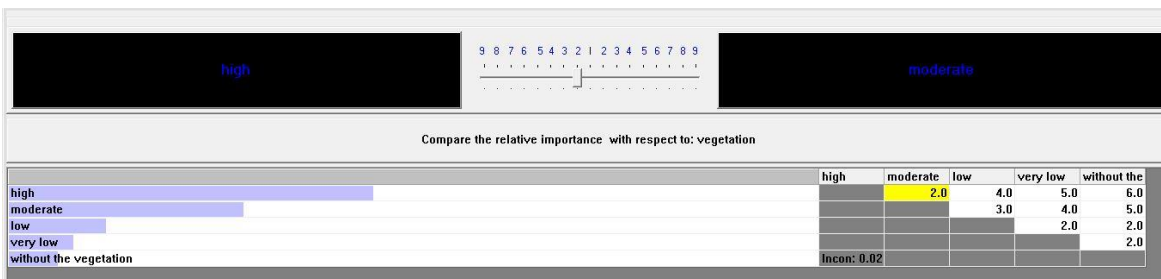
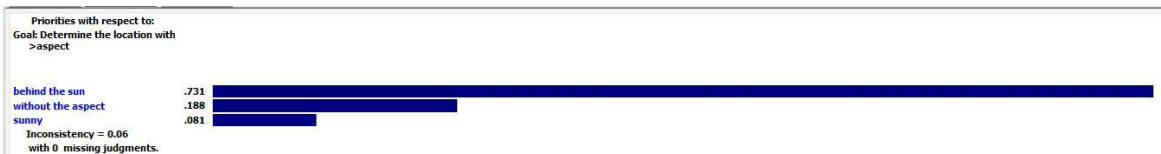


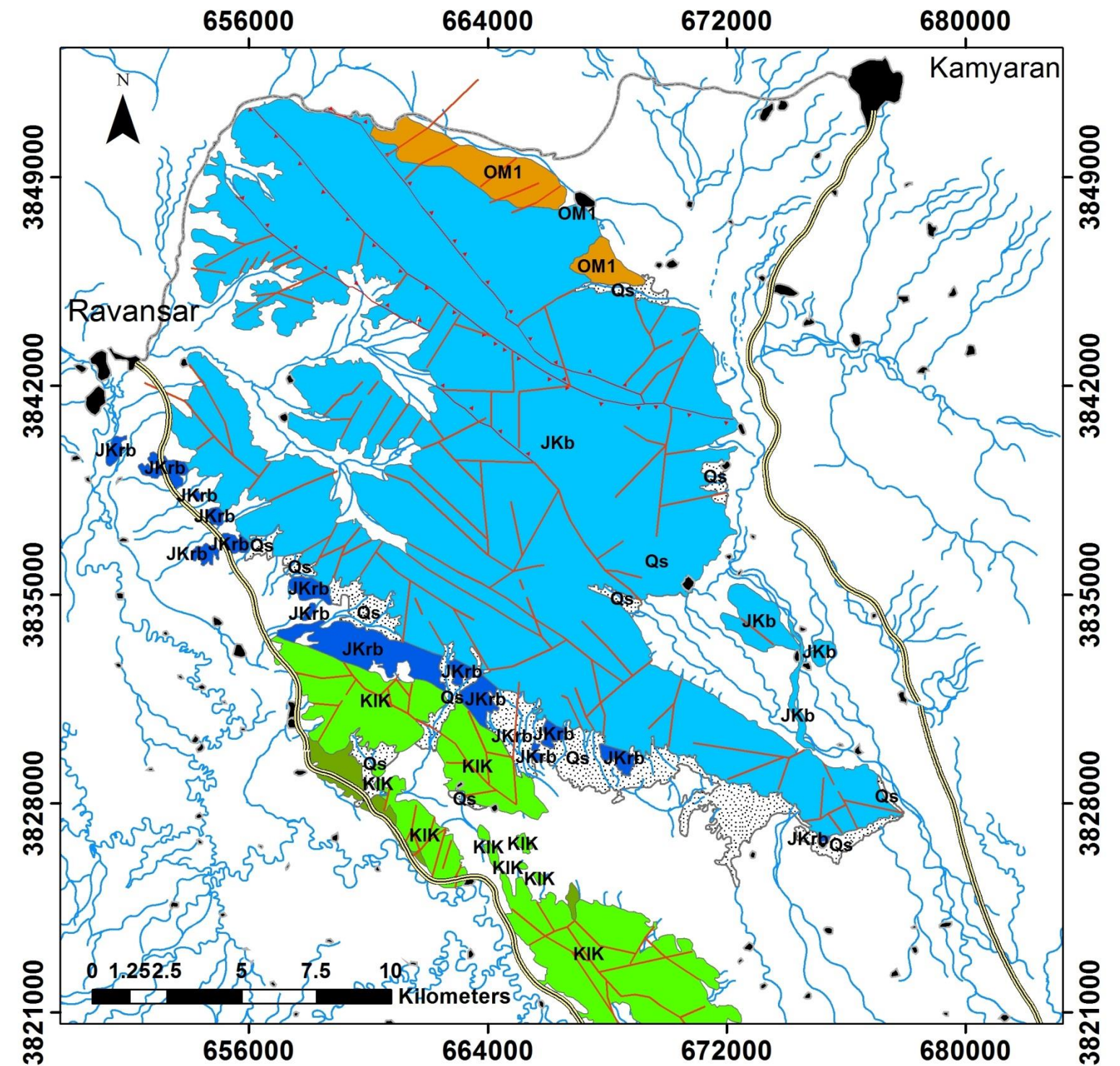
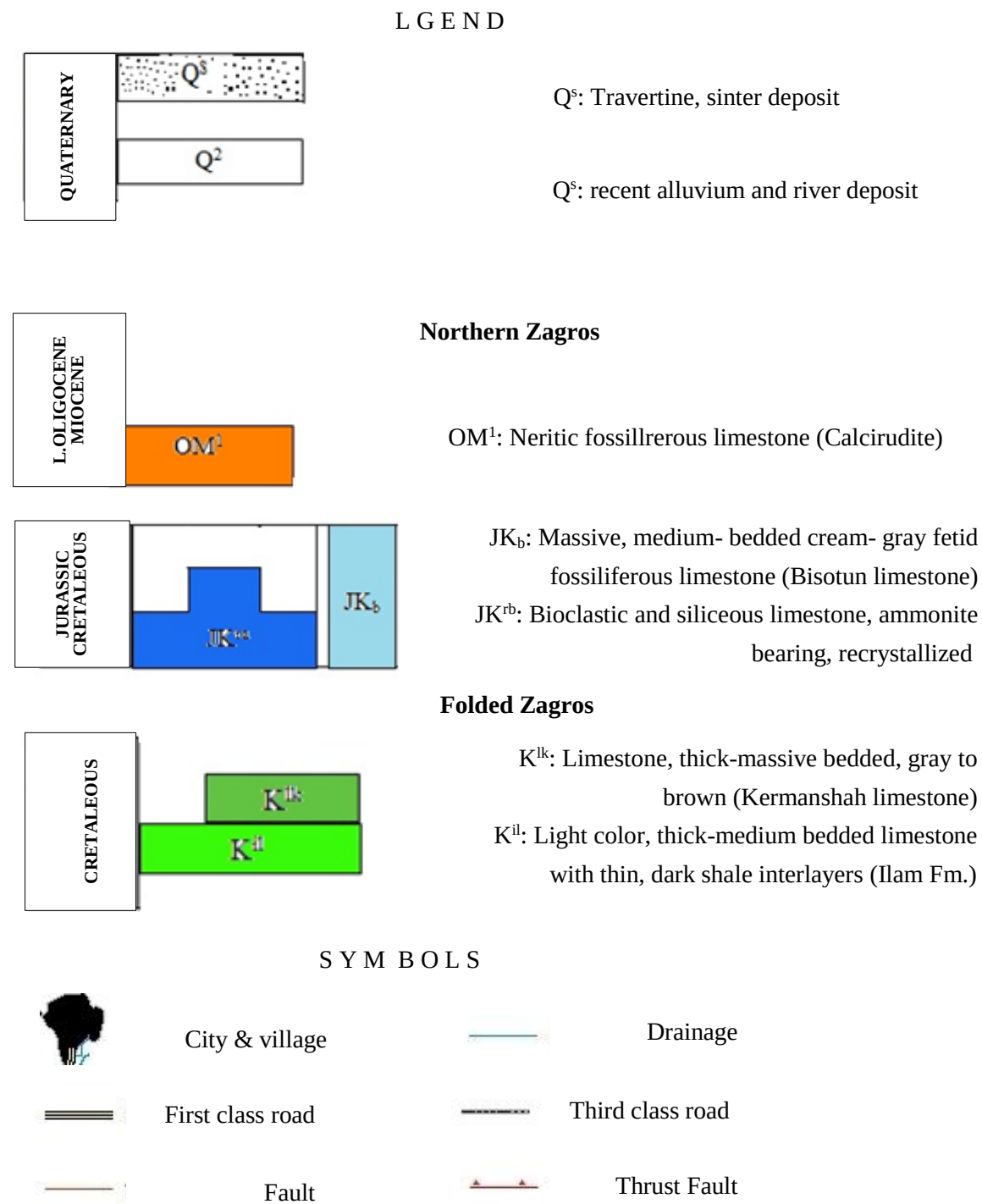
Priorities with respect to:
Goal: Determine the location with
>lineaments density



Priorities with respect to:
Goal: Determine the location with
>soil cover



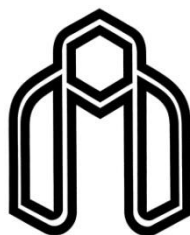




Abstract

The main aim of this research is to assess the value of annual recharge in karstified limestone in the East and South East Ravansar in Kermanshah Province. The study area is located from $46^{\circ} 40'$ to $46^{\circ} 57'$ eastern longitude and from $34^{\circ} 48'$ to $34^{\circ} 35'$ northern latitude. Which fall in high Zagros zone. This area is mountaneous region which includes karstified limestone. In this research the GIS was applied for evaluating the value of recharge. For this purpose nine information layers including slope, aspect, lithology, lineament density, drainage density, precipitation, vegetation density, soil cover and karst features were prepared. After preparing the information layers for weighting to different parameters and final making decision, four different methods were used. The applied methods are experting judgment, proportion, affecting parameters and AHP. Finally, using overlapping the prepared layers, the obtained results from final map indicate the average value of recharge obtained from above mentioned methods is about 0.64 based on the average calculated rate of infiltration and precipitation, the annual recharge of the limestone formations estimated at 77 MCM.

Keywords: Groundwater recharge, infiltration rate, Geographic Information System (GIS), Ravansar, Kermanshah, AHP, Proportion method



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences
MSc. Thesis

Evaluating the recharge in karstic limestones of Bistoon formation (East & South-East Ravansar)

Zeinab najafi

Supervisors:
Dr. G.H. Karami

Advisor:
Dr. A. Taheri

Jul 2013