



**دانشکده علوم**  
**گروه سنجش از دور و GIS**

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

**پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان کارستی ایزه کاربرد روش COP**  
**در محیط GIS**

نگارش:

علی محرابی نژاد

استاد راهنما:

دکتر کاظم رنگزن

دکتر نصراله کلانتری

استاد مشاور:

مهندس فرشاد علیجانی

## فهرست مطالب

### فصل اول

- Error! Bookmark not defined.**..... ۱-۱-تعریف مسأله
- Error! Bookmark not defined.**..... ۲-۱- کلیات منطقه مورد مطالعه
- Error! Bookmark not defined.**..... ۳-۱-اهداف
- Error! Bookmark not defined.**..... ۴-۱- فرضیات تحقیق
- Error! Bookmark not defined.**..... ۵-۱- روش تحقیق

### فصل دوم

- Error! Bookmark not defined.**..... ۱-۲-مقدمه
- Error! Bookmark not defined.**..... ۲-۲-سیستمهای اطلاعات مکانی
- Error! Bookmark not defined.**..... ۱-۲-۲-تعریف GIS
- Error! Bookmark not defined.**..... ۲-۲-۲-توابع GIS
- Error! Bookmark not defined.**..... ۳-۲-۲-تهیه نقشه های معیار
- Error! Bookmark not defined.**..... ۱-۳-۲-۲- GIS و نقشههای معیار
- Error! Bookmark not defined.**..... ۲-۳-۲-۲- نقشههای معیار و مقیاسهای اندازهگیری
- Error! Bookmark not defined.**..... ۳-۲-۳- مفهوم آسیب پذیری
- Error! Bookmark not defined.**..... ۴-۲- عوامل موثر بر آسیب پذیری
- Error! Bookmark not defined.**..... ۵-۲- روش COP
- Error! Bookmark not defined.**..... ۶-۲- مدل DRASTIC
- Error! Bookmark not defined.**..... ۷-۲- روش SEEPAGE
- Error! Bookmark not defined.**..... ۸-۲- روش (The Aquifer Vulnerability Index) ...AVI

### defined.

- Error! Bookmark not defined.**..... ۹-۲- روش SINTACS
- Error! Bookmark not defined.**..... ۱۰-۲- روش ISIS
- Error! Bookmark not defined.**..... ۱۱-۲- روش EPIK

### فصل سوم

- Error! Bookmark not defined.**..... ۱-۳- زمین شناسی
- Error! Bookmark not defined.**..... ۲-۱-۳- چینه شناسی
- Error! Bookmark not defined.**..... ۳-۱-۳- زمین شناسی ساختمانی
- Error! Bookmark not defined.**..... ۴-۱-۳- ژئومورفولوژی

۲-۳-۲- هیدروژنولوژی.....**Error! Bookmark not defined.**  
۱-۲-۳- هیدروژنولوژی آبخوان آبرفتی ایذه.....**Error! Bookmark not defined.**  
۲-۲-۳- هیدروژنولوژی کارست ایذه.....**Error! Bookmark not defined.**  
۳-۲-۳- آزمایش پمپاژ چاه های کارستی ناودیس نعل اسبی ایذه.. **Error! Bookmark not defined.**

#### فصل چهارم

۱-۴- مقدمه.....**Error! Bookmark not defined.**  
۲-۴- روش تحقیق.....**Error! Bookmark not defined.**  
۱-۲-۴- تهیه نقشه های معیار.....**Error! Bookmark not defined.**  
۱-۱-۲-۴- عامل O (لایه پوششی).....**Error! Bookmark not defined.**  
۲-۱-۲-۴- عامل C (تمرکز جریان).....**Error! Bookmark not defined.**  
۳-۱-۲-۴- عامل P (بارش).....**Error! Bookmark not defined.**  
۲-۲-۴- ارزیابی قابلیت آسیب پذیری آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه .... **Error! Bookmark not defined.**  
۳-۲-۴- ارزیابی آسیب پذیری آبخوان آبرفتی با استفاده از DRASTIC ..... **Error! Bookmark not defined.**

#### فصل پنجم

۱-۵- مقدمه.....**Error! Bookmark not defined.**  
۲-۵- هیدروشیمی آبخوان کارستی ایذه.....**Error! Bookmark not defined.**  
۳-۵- آلودگی نیتراته آبخوان کارستی ایذه.....**Error! Bookmark not defined.**  
۴-۵- تطابق نقشه پتانسیل آلودگی کارست ایذه با آلودگی نیتراته آبخوان..... **Error! Bookmark not defined.**

#### فصل ششم

۱-۶- نتایج.....**Error! Bookmark not defined.**  
۲-۶- پیشنهادات.....**Error! Bookmark not defined.**

## فهرست اشکال و جداول

### فصل اول

- شکل ۱-۱- موقعیت دشت ایذه بر روی تصویر ماهواره ای خوزستان.....4  
شکل ۲-۱- نقشه جاده های دسترسی ایذه.....4

### فصل دوم

- شکل ۱-۲- نمودار روش COP.....23  
جدول ۱-۲- تقسیم بندی شاخص آسیب پذیری روش AVI.....30

### فصل سوم

- شکل ۱-۳- نقشه زمین شناسی ایذه.....39  
شکل ۲-۳- تصویر ماهواره ای محدوده ایذه.....40  
شکل ۳-۳- تصویر سه بعدی محدوده ایذه.....41  
شکل ۴-۳- تصویری از یال جنوب غربی ناودیس نعل اسبی .....41  
شکل ۵-۳- تصویری از ناودیس نعل اسبی و دریاچه آب بندان .....42  
شکل ۶-۳- تصویری از دماغه ناودیس نعل اسبی ایذه - دید به سمت جنوب شرق.....42  
شکل ۷-۳- تصویری از آهک ضخیم لایه داریان - فهلیان در کمالوند .....44  
شکل ۸-۳- سازند آهکی ایلام - سروک در دماغه تاقدیس تنوش.....46  
شکل ۹-۳- کنتاکت گورپی و ایلام - سروک.....48  
شکل ۱۰-۳- تصویری از سازند پابده در دره کهور.....49  
شکل ۱۲-۳- تصویری از کارست شدگی آهک آسماری در ناودیس نعل اسبی.....51  
شکل ۱۳-۳- تصویری از دماغه پلانژدار ناودیس نعل اسبی.....54  
شکل ۱۴-۳- تصویری از راندگی آبراک در یال شمال شرقی ناودیس نعل اسبی.....55  
شکل ۱۵-۳- تصویری از حفرات کارستی در سازند آسماری کهباد.....58  
شکل ۱۶-۳- تصویری از کارست شدگی سازند آسماری در ناودیس نعل اسبی.....59  
شکل ۱۷-۳- هیدروگراف واحد آبخوان آبرفتی ایذه در سال آبی ۸۵-۸۶.....63  
شکل ۱۸-۳- نقشه هم عمق آب زیرزمینی دشت ایذه در اردیبهشت ماه ۸۶.....65  
شکل ۱۹-۳- نقشه هم عمق آب زیرزمینی دشت ایذه در شهریور ماه ۸۶.....66  
شکل ۲۰-۳- نقشه هم تراز سطح آب زیرزمینی دشت ایذه در اردیبهشت ماه ۸۶.....68  
شکل ۲۱-۳- نقشه هم تراز سطح آب زیرزمینی دشت ایذه در شهریور ماه ۸۶.....69

## فصل چهارم

- شکل ۴-۱- لایه خاک آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه..... ۷۸
- شکل ۴-۲- لایه OI آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه..... ۷۹
- شکل ۴-۳- لایه O آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه..... ۸۰
- شکل ۴-۴- مدل رقومی ارتفاعی آهک نعل اسبی ایذه..... ۸۳
- شکل ۴-۵- لایه شیب آهک نعل اسبی ایذه..... ۸۴
- شکل ۴-۶- لایه شیب - پوشش گیاهی (sv) آهک نعل اسبی ایذه..... ۸۵
- شکل ۴-۷- لایه تکامل کارست (sf) آهک نعل اسبی ایذه..... ۸۶
- شکل ۴-۸- لایه C آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه..... ۸۷
- شکل ۴-۹- نقشه هم بارش آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه..... ۹۰
- شکل ۴-۱۰- توزیع کمی بارش (PQ) بر آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه..... ۹۱
- شکل ۴-۱۱- توزیع زمانی بارش (PI) بر آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه..... ۹۲
- شکل ۴-۱۲- پارامتر بارش (P) آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه..... ۹۳
- شکل ۴-۱۳- نقشه نمایه COP آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه..... ۹۵
- شکل ۴-۱۴- نقشه قابلیت آسیب پذیری آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه..... ۹۶
- شکل ۴-۱۵- نقشه هم نیترات شبیه سازی شده آب های زیرزمینی دشت ایذه..... ۹۹
- شکل ۴-۱۶- نقشه آسیب پذیری نهایی ایذه بر اساس مدل DRASTIC..... ۱۰۰

## فصل پنجم

- شکل ۵-۱- نقشه منابع آب ناودیس نعل اسبی ایذه..... ۱۰۲
- شکل ۵-۲- نمودارهای پایپر نمونه های آب کارست ایذه (اردیبهشت ۸۶)..... ۱۰۶
- شکل ۵-۳- نمودارهای پایپر نمونه های آب کارست ایذه (آذر ۸۶)..... ۱۰۶
- شکل ۵-۴- نمودارهای دایره ای نمونه های آب کارست ایذه (اردیبهشت ۸۶)..... ۱۰۷
- جدول ۵-۵- پارامترهای آماری داده های هیدروشیمی آب های کارستی ایذه..... ۱۰۸
- شکل ۵-۵- نمودارهای ترکیبی هیدروشیمی آب زیرزمینی کارست ایذه..... ۱۱۱
- شکل ۵-۶- نمودار خطر آلودگی نیترا ته آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه..... ۱۱۲
- شکل ۵-۷- نقشه خطوط سیر شبیه سازی شده بخش جنوبی آبخوان آبرفتی ایذه..... ۱۱۴
- شکل ۵-۸- تطابق نقشه پتانسیل آلودگی آبخوان کارستی حاصل از روش COP..... ۱۱۷

### ۱-۱- تعریف مسأله

بدون شک آب گرانبهارترین منبع طبیعی در سیاره زمین می‌باشد. بیش از ۷۰ درصد سطح این سیاره پوشیده از آب است. از کل آب‌های موجود در کره زمین تنها ۲/۵ درصد شیرین می‌باشد. از این مقدار حدود ۳۰ درصد به صورت آب‌های زیرزمینی و ۷۰ درصد به صورت یخچال‌ها و ذخایر دائمی برف، رطوبت و یخ درون خاک، آب باتلاق‌ها و آب شیرین رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌باشد. لذا آب‌های زیرزمینی نقش قابل توجهی به عنوان مخزن آب شیرین ایفا می‌کنند (Shiklomanov, 1993). اکثر آب‌های زیرزمینی به طور طبیعی خالص هستند. با این حال منابع آلوده کننده اعم از نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای وجود دارد که به واسطه نوع کاربری زمین به خصوص فعالیت‌های کشاورزی، آب‌های زیرزمینی را در معرض آلودگی قرار می‌دهند (Babiker et al., 2005).

از طرفی آب‌های زیرزمینی خیلی کند جریان پیدا می‌کنند، بنابراین اگر آلوده شوند، ممکن است سال‌ها طول بکشد تا آب آلوده از آبخوان خارج شود. در حقیقت فرآیند احیاء آبخوان‌ها در مقیاس منطقه‌ای در یک قالب زمانی معقول امکان پذیر نمی‌باشد. بدین جهت جلوگیری از آلودگی، بهترین راه حفاظت کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌باشد و کلید اساسی مدیریت زیست محیطی کارا و موثر است (Bouwer, 1987). بنابراین برای مدیریت موثر آب‌های زیرزمینی، جلوگیری از آلوده شدن آنها ضروری می‌باشد. ارزیابی آسیب‌پذیری به عنوان روشی برای تعیین مکان‌هایی است که بیشتر در معرض آلودگی هستند (Babiker et al., 2005). در واقع آسیب‌پذیری علاج واقعه قبل از وقوع می‌باشد.

آبخوان آبرفتی ایذه دارای آلودگی شدید نیتراته و باکتریایی می‌باشد. فعالیت‌های کشاورزی، نفوذ فاضلاب شهری، عمق کم سطح ایستابی، و خصوصیات مواد آبرفتی درجه تأثیر مختلفی بر روی میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت ایذه اعمال می‌نمایند. آلودگی باکتریایی آب‌های زیرزمینی دشت ایذه باعث گردیده است تا چاه‌های آبرفتی که برای تأمین شرب شهر ایذه مورد پمپاژ واقع می‌شدند، در طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۰ مسدود گردند. بدین ترتیب برای تأمین آب شرب شهر و روستاهای اطراف ایذه، اقدام به حفر ۱۱ حلقه چاه آهکی در آبخوان کارستی نعل اسبی در جنوب شرق دشت ایذه در طی سالیان ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۷ گردیده است. بر اثر پمپاژ بیش از حد از چاه‌های آهکی ایذه و افت سطح آب کارست، جهت جریان آب زیرزمینی از آبخوان آبرفتی به سمت آبخوان کارستی به طور موضعی معکوس گردیده و در نتیجه هاله آلودگی به کارست

رسوخ نموده است (ناصری و علیجانی، ۱۳۸۲). این پدیده باعث افزایش غلظت نترات آب های کارستی در آبخوان نعل اسبی شده است به طوری که در سال ۱۳۸۷ چاه آهکی کلدوزخ از مدار بهره برداری خارج شده است.

به منظور شناخت استعداد آلودگی آبخوان کارستی در نواحی مختلف، لازم تشخیص داده شد که قابلیت آسیب پذیری آب های زیرزمینی (Groundwater vulnerability) مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به عدم کارایی اکثر روش های احیاء آبخوان (به دلیل مشکلات اجرایی، هزینه بر بودن، و زمان طولانی) به ویژه در نواحی کارستی که هیچ گونه فیلتراسیون طبیعی در محیط زیرسطحی روی نمی دهد می بایست نواحی مستعد آلودگی شناسایی گردند. این امر به بهترین وجه به واسطه مفهوم آسیب پذیری مورد ارزیابی قرار می گیرد.

گام اولیه در مدیریت منابع آب زیرزمینی کارستی قابل شرب شناخت ماهیت هیدروژئولوژیک و هیدرودینامیک مخزن می باشد. ارزیابی های در مقیاس منطقه ای از قبیل نقشه های آسیب پذیری ابزارهایی موثر و کلیدی در جهت مدیریت بهینه منابع آب کارستی می باشند. این امر ضرورت بررسی های مختص به سایت های بحرانی را در نواحی کارستی معلوم می نماید (Bekesi & McConchie 2002; Aller et al. 1987). هرچند که روش های ارزیابی در آبخوان های آبرفتی به خوبی مورد بررسی قرار گرفته و توسعه یافته اند ولی تا کنون روش های استاندارد محدودی ارائه شده اند که می توانند آسیب پذیری در نواحی کارستی را پهنه بندی نمایند. یکی از این روش ها که در این پایان نامه مورد استفاده قرار گرفته است، روش COP می باشد. روش COP برای ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آبخوان های کربناته در چهارچوب استاندارد اروپایی European COST Action 620 ارائه شده است. این روش خصوصیات لایه های پوشاننده سطح آب زیرزمینی (عامل O)، تجمع جریان آب زیرزمینی (عامل C)، و بارش بر روی آبخوان (عامل P) را به عنوان پارامترهای ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می دهد. این روش خصوصیات کارستی از قبیل حضور شکستگی های باز، غار، و حفرات فروبرنده (Swallow holes) (عامل C) و مساحت حوضه آبرگیر این عوارض کارستی را به صورت عوامل کاهنده محافظت طبیعی اعمالی توسط لایه های پوشاننده (عامل O) در نظر می گیرد. عامل P توزیع مکانی و زمانی بارش را به عنوان عامل انتقال آلاینده مد نظر قرار می دهد (Vias et al. 2006).

هدف از این تحقیق استفاده از روش جدید COP جهت پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه در محیط GIS می باشد. دو تکنولوژی GIS و RS در مراحل مختلف استخراج و تلفیق لایه های اطلاعاتی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

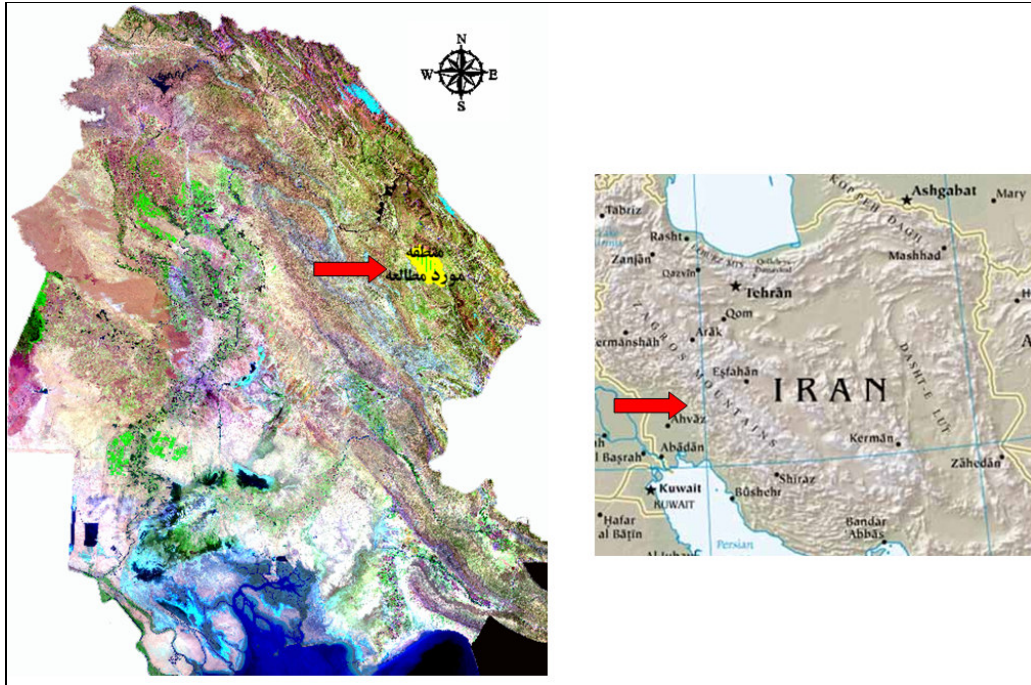
سیستم اطلاعات جغرافیایی در سال های اخیر در مطالعات تحقیقی هیدروژئولوژیکی و مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است و اتصال GIS با مدل ها موضوع تحقیقات امروزی می باشد. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نیز به دلیل توانایی های زیاد در زمینه تحلیل و مدیریت داده های مکانی، کاربرد زیادی در علوم آب، مخصوصاً آب های زیرزمینی دارد. در این پایان نامه جهت تحلیل مکانی لایه های اطلاعاتی و تلفیق آنها در محیط GIS انجام شده است.

## ۱-۲- کلیات منطقه مورد مطالعه

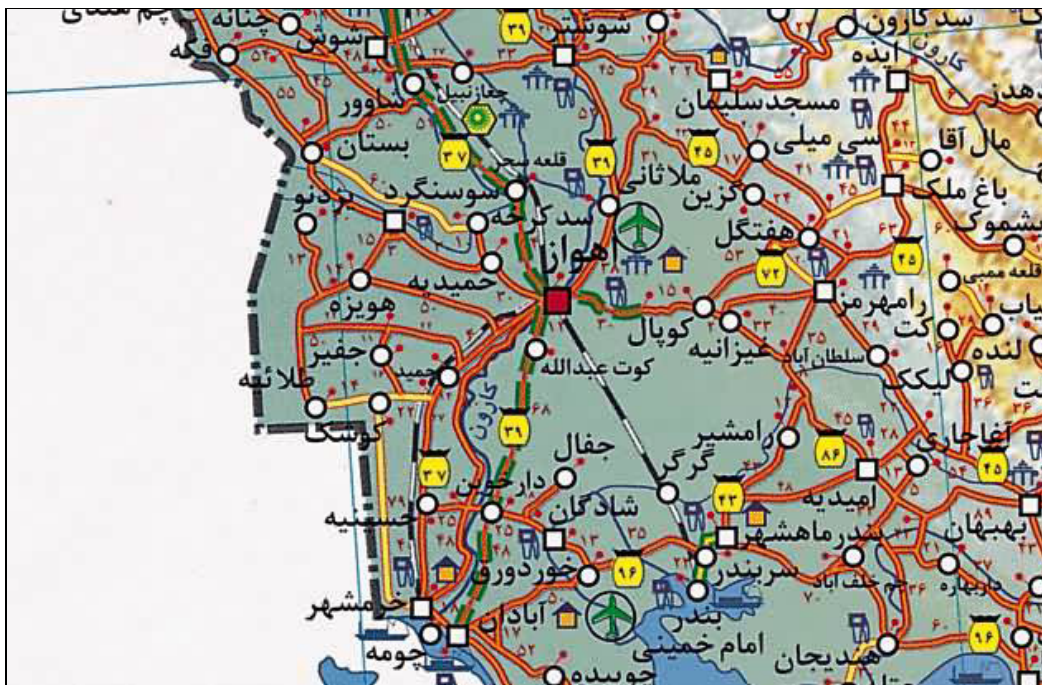
منطقه مورد مطالعه، دشت ایذه واقع در شمال شرق استان خوزستان می باشد. شهرستان ایذه که در جنوب شرق دشت مذکور قرار گرفته است، در ۹۵۰ کیلومتری جنوب غرب تهران و ۱۷۵ کیلومتری شمال شرق اهواز واقع شده است. محدوده مورد مطالعه بین ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض جغرافیایی و ۴۹ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۲ دقیقه طول جغرافیایی واقع گردیده است. دشت ایذه، که در زیر حوضه کارون میانی واقع گردیده است حدود ۱۵۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. شکل های ۱-۱ و ۲-۱ به ترتیب موقعیت و راه های ارتباطی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهند.

نزولات جوی در دشت ایذه عمدتاً از نوع باران می باشد ولی در ارتفاعات حوضه برف نیز می بارد. میانگین بارندگی سالانه در دوره ۲۶ ساله ۶۶۲ میلی متر است. به طور میانگین بیشترین مقدار بارندگی در دی ماه برابر ۱۳۴/۲ میلی متر و کمترین مقدار بارندگی در خردادماه برابر صفر میلی متر می باشد. در دوره ۲۱ ساله حداقل بارندگی سالانه مربوط به سال آبی ۶۳-۶۲ با ۳۸۳/۵ میلی متر و حداکثر بارندگی سالانه مربوط به سال آبی ۷۱-۷۲ برابر با ۱۰۷۶/۶ میلی متر می باشد. میزان ۸۹/۵ درصد از بارندگی سالانه در فاصله زمانی آذر ماه تا اردیبهشت ماه ریزش می نماید و فصل خشک منطبق بر خرداد ماه تا آبان ماه می باشد.





شکل ۱-۱- موقعیت دشت ایذه بر روی تصویر ماهواره ای خوزستان



شکل ۱-۲- نقشه جاده های دسترسی ایذه

در بین ماه‌های سال، گرمترین ماه تیر و سردترین ماه دی می‌باشد. میانگین دمای روزانه در دوره آماری ۳۵ ساله برابر ۲۰/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این دوره حداکثر مطلق دما ۴۸ درجه سانتی‌گراد مربوط به تیر ماه و حداقل مطلق دما ۳- درجه سانتی‌گراد مربوط به بهمن ماه می‌باشد.

مقدار متوسط تبخیر سالانه در ایذه از طشتک تبخیر برابر ۲۴۵۷/۳ میلی‌متر و از طریق سطح آزاد آب با احتساب ضریب طشت (۰/۶۶) برابر ۱۶۳۱/۹ میلی‌متر است. در مطالعات آب زیرزمینی نرخ تبخیر از سطح ایستابی برابر با نرخ تبخیر از سطح آزاد آب در نظر گرفته می‌شود. بیشترین میزان تبخیر در ماه‌های تیر و مرداد رخ می‌دهد و کمترین میزان تبخیر در ماه‌های سرد سال (دی و بهمن) صورت می‌گیرد.

اقلیم منطقه ایذه با استفاده از ضریب خشکی دومارتن و سیستم طبقه‌بندی کوپن به ترتیب در طبقات اقلیم مدیترانه‌ای و اقلیم استپی مرطوب جای می‌گیرد. با استفاده از اقلیم‌نمای آمبرژه، اقلیم منطقه ایذه، نیمه مرطوب معتدل می‌باشد.

دشت ایذه حوضه بسته‌ای است که جریان‌های آب سطحی از طریق مسیل‌ها به دو دریاچه واقع در آن به نام‌های آب‌بندان و میانگران منتهی می‌شوند. دریاچه آب‌بندان نیز توسط آبراهه‌ای به دریاچه میانگران تخلیه می‌گردد. شهر ایذه در مجاورت دریاچه میانگران واقع گشته است. ارتفاعاتی که اطراف دشت ایذه را فرا گرفته‌اند، عمدتاً سازندهای آهکی هستند که به میزان قابل ملاحظه‌ای کارستی گشته‌اند. عمده تغذیه دریاچه‌های مذکور از جریان‌های سطحی به صورت سیلاب از مسیل‌ها و تا حدودی از زهکشی آبخوان آبرفتی تأمین می‌گردد.

حوضه آبریز دشت ایذه قبل از سال‌های ۶۲-۶۱ از طریق یک پونور نیمه بیضوی شکل به قطر ۸ تا ۱۰ متر که در پای دیواره گسل در شمال دریاچه میانگران و در حاشیه سازند سروک واقع شده است، با حوضه آبریز مجاور دارای ارتباط هیدرولیکی بوده است. این پونور به عنوان عامل کنترل و یا مهار آب دریاچه میانگران وجود داشته است. در طی سال‌های ۶۲-۶۱ به منظور جلوگیری از توسعه و گسترش بیشتر دریاچه و باز نمودن بیشتر پونور مذکور، با مقدار زیادی دینامیت، انفجاری در دهانه پونور صورت گرفته است. ایجاد انفجار موجب ضعیف شدن مجرای خروجی دهانه پونور شده و بعلاوه در طی چند دوره سیلابی، همراه با انتقال رسوبات گل و لای، پونور تا حدود زیادی مسدود گردیده است.

میزان جریان‌های سطحی ورودی سالانه به دریاچه میانگران از طریق هشت زیر حوضه و فاضلاب شهری کنترل می‌گردد. وقوع حداکثر جریان‌های ورودی در ماه‌های آذر الی فروردین بوده و منطبق با دوره بارندگی در ناحیه ایذه می‌باشد. مهندسین مشاور مهتاب قدس (۱۳۷۴) جهت برآورد رواناب سطحی از یک مدل ریاضی بارندگی - رواناب بر اساس روش SCS استفاده نمود. بر این اساس حداقل، میانگین و حداکثر حجم کل جریان‌های ورودی به دریاچه میانگران (آوردهای دریاچه از طریق ۸ زیر حوضه) همراه با فاضلاب شهر ایذه به ترتیب برابر ۱۱/۵۴، ۴۰/۶۲ و ۷۴/۱۷ میلیون متر مکعب در سال برآورده شده است.

در مورد دریاچه آب‌بندان که در قسمت جنوب شرقی ایذه واقع شده مقادیر فوق به ترتیب ۱/۳۵، ۶/۰۸ و ۱۱/۶۴ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. قسمت عمده آب این دریاچه‌ها با توجه به میزان تبخیر سالانه از سطح آب آزاد دریاچه تبخیر می‌شود. آب مازاد دریاچه آب‌بندان از طریق دو کانال باریک معمولی که در سال‌های اخیر احداث شده است، وارد دریاچه میانگران می‌شود. دریاچه آب‌بندان در پنج سال گذشته فقط در دوره مرطوب آبدار بوده است و از خرداد تا مهر ماه خشک می‌باشد.

حوضه آبریز دشت ایذه، حوضه نسبتاً مسدودی است و روی همین خصوصیت می‌باشد که بخش عمده‌ای از جریان‌های سطحی آن در نهایت وارد دریاچه میانگران می‌شوند. بر اساس نتایج مطالعات هیدروکلیماتولوژی مشخص گردیده که قسمت اعظم تغذیه دریاچه‌های منطقه ایذه مربوط به ریزش‌های جوی، جریان‌های سطحی ورودی، خروجی آب زیرزمینی و زهکشی از آبخوان دشت است. جریان‌های سطحی به صورت رواناب حاصل از بخش کوهستانی ۸ زیرحوضه آبریز دشت و محدوده اراضی اطراف دریاچه‌ها تشکیل و موجب تغذیه دریاچه می‌شوند.

جریان‌های سطحی دشت ایذه از طریق ۸ زیر حوضه آبریز وارد دریاچه‌های منطقه و در نهایت وارد دریاچه میانگران می‌گردند. دریاچه میانگران عمدتاً به وسیله آبراهه‌های عمده‌ای چون آبراهه آبراک در شمال و آبراهه کেশور در جنوب محور طولی حوضه تغذیه می‌گردد. پس از آنکه در سال ۱۳۵۸ یک بند انحرافی بر روی آبراهه کেশور احداث گردید، مقدار قابل توجهی از جریان‌های سطحی این آبراهه از حوضه خارج گردید.

علاوه بر جریان‌های ورودی آب سطحی به دریاچه‌ها، جریان‌های خروجی و زهکشی آبخوان دشت ایذه نیز موجب تغذیه دریاچه‌های منطقه می‌شوند. مقادیر خروجی‌های آب زیرزمینی در سال‌های پر آبی نسبتاً قابل توجه است، ولی در نهایت نسبت به مقادیر آب سطحی تغذیه کننده

دریاچه‌ها بسیار ناچیز است. مقدار تغذیه دریاچه‌های آب‌بندان و میانگران در سال آبی ۷۲-۷۱ که سال پر آبی و استثنایی بوده است، از خروجی آب زیرزمینی و زهکشی آبخوان دشت برابر ۶/۹۲ میلیون متر مکعب است (مهندسین مشاور مهتاب قدس، ۱۳۷۴). در سال‌های کم آبی و متوسط در یک دوره دراز مدت مقدار تغذیه دریاچه‌ها از خروجی آب زیرزمینی به مراتب کمتر از مقدار مذکور خواهد بود.

نبود سیستم کنترل و جمع‌آوری فاضلاب در شهر ایذه و روستاهای حاشیه موجب می‌شود که قسمتی از فاضلاب از طریق کانال‌های سطحی وارد دریاچه‌های منطقه و به ویژه دریاچه میانگران شود. با توجه به نبود داده‌های مربوط به دبی نهرهای فاضلاب عملاً امکان محاسبه میزان تغذیه دریاچه‌ها از کانال‌های فاضلاب شهری مشخص نمی‌باشد.

دشت ایذه فاقد رودخانه‌ای دائمی می‌باشد. تنها یک رودخانه فصلی که از ارتفاعات جنوبی ایذه سرچشمه گرفته است به طرف شهر ایذه جریان می‌یابد که آن هم در فاصله حدوداً ۶ کیلومتری توسط یک بند انحرافی به طرف رودخانه هلايجان که از شرق به غرب جریان دارد هدایت شده و از ورود آب به شهر جلوگیری می‌کند و تنها مقدار آب بسیار اندکی و آن هم در فصول بارانی در مسیل خشک این رودخانه به سمت شهر جریان پیدا می‌کند. در واقع این مسیل، آبراهه اصلی شهر ایذه را شکل می‌دهد و در حین عبور از شهر مقادیر زیادی از آب‌ها و فاضلاب‌های سطحی نیز به آن تخلیه می‌گردد و سرانجام به دریاچه میانگران می‌ریزد.

### ۳-۱- اهداف

هدف اصلی پروژه مطالعاتی حاضر ارزیابی قابلیت آسیب‌پذیری آبخوان کارستی نعل اسبی ایذه با استفاده از روش COP و در نتیجه شناخت پتانسیل آلودگی آبخوان می‌باشد. تلفیق نتایج حاصل از هیدروژئولوژی کارست با لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، و صحت‌سنجی نقشه پتانسیل آلودگی آبخوان کارستی با استفاده از داده‌های غلظت نترات آب کارست از دیگر اهداف مطالعه حاضر می‌باشند.

### ۴-۱- فرضیات تحقیق

فرضیات تحقیق حاضر عبارتند از:

- در نواحی که لایه رسوبات آبرفت سطحی بر روی کارست قرار گرفته است پتانسیل آلودگی آبخوان کارستی کم می باشد.
- با فاصله از دماغه ناودیس نعل اسبی به سمت یال ها آسیب پذیری آبخوان کارستی کمتر می شود.
- روش COP نتایج قابل قبولی برای ارزیابی آسیب پذیری در نواحی کارستی ارائه می دهد.
- آلودگی نیتراة آب های زیرزمینی در یال شمال شرقی ناودیس نعل اسبی کمتر از یال جنوب شرقی می باشد.

### ۱-۵- روش تحقیق

روش تحقیق مطالعه حاضر شامل مراحل ذیل می باشد:

- گرد آوری و تکمیل آمار و اطلاعات زمین شناسی، هیدروشناسی، و هیدروژئولوژی و ایجاد پایگاه اطلاعاتی پروژه در محیط GIS.
- مطالعه کلی زمین شناسی، ژئومورفولوژی، هیدروشناسی و آلودگی، و هیدروژئولوژی آبخوان کارستی
- ایجاد لایه های اطلاعاتی مورد نیاز برای ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی به روش COP در محیط GIS : در این تحقیق روش جدید ارزیابی آسیب پذیری آبخوان های کارستی، روش COP (حاصل مطالعات Cost Action 620) برای کارست منطقه ایذه به کار گرفته خواهد شد. روش مذکور سه عامل اصلی را در نظر می گیرد که شامل لایه پوششی (O)، تمرکز جریان (C)، و رژیم بارش (P) می باشند. عامل O میزان حفاظت آبخوان توسط خصوصیات فیزیکی و حفاظت لایه های بالایی زون اشباع را نشان می دهد. عامل C، به صورت کاهش بر عامل O به کار می رود و نمایانگر پتانسیل میانبر عبور نمودن آب از لایه محافظ پوششی است. عامل P شامل کمیت بارش و عواملی که نرخ نفوذ را تحت تاثیر قرار می دهند یعنی فرکانس، توزیع زمانی، مدت زمان، و شدت بارش های سنگین، می باشد. در بعضی مطالعات عامل دیگری به نام K بعداً به اختیار جهت تهیه نقشه آسیب پذیری به نمایه COP افزوده شود.
- ترکیب عوامل روش COP جهت تهیه نقشه آسیب پذیری ذاتی آب های زیرزمینی در کارست بر اساس فرمول ذیل در محیط GIS:

$$\text{COP Index} = \text{C} \cdot \text{O} \cdot \text{P}$$

- مقایسه نقشه آسیب پذیری آبخوان کارستی ایذه با داده های غلظت نیترات آب چاه های آهکی
- تجزیه و تحلیل نقشه حاصل از مدل آسیب پذیری در منطقه مورد مطالعه و بررسی توزیع مکانی آسیب پذیری آبخوان
- ارزیابی راهکارهای مدیریتی جهت حفاظت کیفی آبخوان کارستی

## ۲-۱- مقدمه

در این فصل مفاهیم پایه‌ای که با تحقیق مورد نظر مرتبط می‌باشد آورده شده است. ابتدا مفاهیم و تعاریف مربوط به سیستم‌های اطلاعات مکانی (Geospatial Information System) آورده شده و سپس به بحث آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی و معرفی روش‌های مختلف ارزیابی آن با تاکید بر روش COP پرداخته شده است.

## ۲-۲- سیستم‌های اطلاعات مکانی

دنیای امروز دنیای اطلاعات و مدیریت بهینه آن می‌باشد. قسمت عمده‌ای از تصمیماتی که توسط مدیران و متخصصین علوم مختلف جهت برنامه ریزی‌های شهری و منطقه‌ای و مدیریت منابع اتخاذ می‌گردد، به نحوی با اطلاعات مکانی مرتبط هستند. لذا وجود اطلاعات جغرافیایی مطمئن، دقیق، کامل، بهنگام و یکپارچه و نیز مدیریت مناسب آن، از موضوعات بسیار اساسی در موفقیت این تصمیمات و اجرای آن‌ها می‌باشد.

تا قبل از به وجود آمدن کامپیوتر، برای طراحی و برنامه ریزی، از اطلاعات موجود در نقشه استفاده می‌شد. نقشه‌ها حاوی اطلاعاتی در مورد عوارض موجود بر سطح زمین و همچنین ارتباط مکانی بین عوارض بودند که انجام آنالیزهای ساده‌ای نظیر اندازه‌گیری فاصله یا مساحت بر روی آن‌ها امکان‌پذیر بود (Carter, 1991).

با گسترش سریع علم و تکنولوژی، اتخاذ تصمیم‌های صحیح نیازمند به کارگیری حجم بالاتری از اطلاعات جغرافیایی و انجام آنالیزهای پیچیده‌تر بود و ارزیابی مجموعه‌های مختلف داده‌های جغرافیایی را به طور یکجا می‌طلبید. به گونه‌ای که نقشه‌های کاغذی به دلیل محدود بودن اطلاعات موجود بر روی آن‌ها و مشکلاتی که در بازیابی، بهنگام‌سازی، تجزیه و تحلیل و تلفیق اطلاعات مورد نظر، وجود داشت، پاسخگوی این نیاز نبودند. با توسعه علوم و فن آوری کامپیوتر، تکنولوژی لازم برای کار با داده‌های مکانی به وجود آمد و سیستم‌های اطلاعات مکانی برای فراهم آوردن امکان تجزیه و تحلیل حجم بزرگ داده‌های جغرافیایی توسعه یافتند. در این سیستم‌ها امکان نگهداری به روز داده‌های زمین مرجع، انجام طراحی‌ها و آنالیزهای پیچیده، ترکیب مجموعه داده‌های مختلف از منابع گوناگون و نهایتاً ارائه نتایج به گونه‌ای مطلوب وجود دارد.

امروزه در اکثر کشورهای جهان برنامه ریزی توسعه محیطی، با به کارگیری تکنیک‌های سنجش از دور و GIS به عنوان محوری ترین سیاست توسعه پایدار محسوب می گردد. برنامه ریزی محیطی با رویکرد سنجش از دور و GIS در واقع فعالیتی است که محور اصلی آن ارزیابی و اخذ تصمیم بر مبنای داده‌های یکپارچه و پردازش شده در خصوص چگونگی کاربری زمین، توزیع و استقرار فعالیت‌های مختلف در پهنه زمین می باشد. این نوع برنامه ریزی در مناطق مختلف موجب فراهم نمودن شرایط بهتر برای ارتقا کیفیت زندگی و کار مردم، افزایش کارآیی فعالیت‌ها و نهایتاً بکارگیری منابع موجود در جهت رسیدن به توسعه پایدار می گردد (Carter, 1991).

## ۲-۲-۱- تعریف GIS

تلاش‌های زیادی برای ارائه یک تعریف جامع از GIS انجام شده است (مانند Marble et al. 1984; Goodchild, 1987; Grimshaw, 1994). بیشتر تعریف‌های GIS روی دو جنبه فناوری و حل مسئله تمرکز کرده‌اند. دیدگاه فناوری، GIS را به عنوان «مجموعه‌ای از ابزارها برای ورود، ذخیره‌سازی، بازیابی، پردازش، تحلیل، و خروج داده‌های مکانی» در نظر می‌گیرد (Marble et al. 1984). در این دیدگاه جنبه حل مسئله توسط GIS نادیده گرفته می‌شود، این در حالی است که، GIS می‌تواند نقش بسیار مهمی در یک فرآیند کامل تصمیم‌گیری بازی کند. فوت و لینچ (Foote & Lynch, 1996) سه دیدگاه مهم در رابطه با کارکرد GIS ارائه داده‌اند. اول اینکه، GIS را می‌توان به عنوان یک پایگاه داده با هدف خاص در نظر گرفت که در آن می‌توان داده‌ها را در یک سیستم مختصات فضایی مشترک ذخیره‌سازی نمود. GIS با استفاده از داده‌های مکانی و توصیفی ذخیره‌سازی شده، توانایی انجام کارهای بسیار زیادی را دارد. این عملکردها، GIS را از سایر سیستم‌های مدیریت اطلاعاتی متمایز می‌کند. ثانیاً GIS یک فناوری تلفیقی است، به نحوی که قادر است با فناوری‌هایی مثل سنجش از دور (RS)، سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS)، طراحی با کمک رایانه (CAD)، نقشه برداری خود کار (Automatic mapping) و مدیریت آسان (Facilities management) ادغام شود. این فناوری مکانی همچنین قادر است با فنون تحلیلی و تصمیم‌گیری تلفیق شود. ثالثاً اینکه، یکی از اهداف نهایی GIS پشتیبانی تصمیم‌سازی است. GIS را می‌توان به عنوان «یک سامانه پشتیبانی از تصمیم که تلفیق داده‌های مکان مرجع را در محیط حل مسئله در بر می‌گیرد» در نظر گرفت (Cowen, 1988).



روشی که با آن داده در GIS وارد، ذخیره، و تحلیل می‌شود، شبیه روشی است که برای یک کار تحلیل یا تصمیم‌گیری خاص استفاده می‌گردد. GIS باید به عنوان یک فرآیند در نظر گرفته شود نه فقط به عنوان یک نرم افزار یا سخت افزار (Foote & Lynch, 1996).

## ۲-۲-۲- توابع GIS

با استفاده از تعریف ارائه شده برای GIS توابع آن می‌تواند به چهار مولفه اصلی تقسیم‌بندی گردد:

- ورودی داده‌ها (Data input)
- ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها (Data management (store and retrieval))
- پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها (Data analysis)
- خروجی داده‌ها (Data output)

که در ذیل به شرح آنها پرداخته می‌شود:

ورود داده‌ها: ورود داده‌ها به فرآیند شناسایی و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای یک کاربرد خاص اطلاق می‌گردد. مولفه ورود داده‌ها، آن‌ها را از شکل خام یا موجود به صورتی که قابل استفاده در GIS باشد تبدیل می‌کند. به طور کلی توابع اکتساب داده‌ها، تغییر فرمت، زمین مرجع کردن، کامپایل کردن (Compiling) و غیره به عنوان توابع ورودی GIS در نظر گرفته می‌شوند. تابع تغییر فرمت: اینگونه توابع امکان تبدیل فرمت‌های گوناگون را به یکدیگر ایجاد می‌کنند. داده‌ها در فرمت‌های گوناگونی قابل ذخیره‌سازی هستند که هر کدام با توجه به ویژگی‌هایی که دارند، برای کاربرد خاصی مناسبند.

تابع زمین مرجع کردن: از ویژگی‌های برتر GIS قابلیت کار با داده‌های زمین مرجع و اختصاص دادن سیستم مختصات به داده‌ها می‌باشد. سیستم مختصات به معنای تعیین نمودن بردارهای مبنای فضایی و مبدا مختصات است (به عبارتی دیگر سیستمی است که با استفاده از آن می‌توان هر نقطه را در فضا تعریف نمود) که می‌تواند به صورت Geodetic, Geocentric و Local انجام شود.

تابع Compiling: در بر گیرنده‌ی توابع کنترل کیفیت و ویرایش اطلاعات است که با استفاده از آن داده‌ها با کیفیت مناسب برای ورود به سیستم آماده می‌شوند.

توابع اکتساب داده‌ها: مجموعه‌ای از فنون و روش‌های جمع‌آوری اطلاعات شامل نقشه برداری، فتوگرامتری، سنجش از دور، سیستم تعیین موقعیت جهانی، آبنگاری، کارتوگرافی، LIDAR، و

پرسشنامه می‌شود. از جمله فنونی که برای جمع‌آوری داده مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌توان به Scanning و Digitizing اشاره نمود. Digitizing به مفهوم رقومی سازی داده‌های آنالوگ است، اما Scanning رستری نمودن داده‌های کاغذی و سپس ورود آن‌ها به سیستم به صورت تصویر است.

#### ذخیره سازی و مدیریت داده‌ها

مولفه ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها در GIS شامل توابعی برای ذخیره، نگهداری و بازیابی داده‌های موجود در پایگاه داده می‌باشد. داده‌های GIS شامل داده‌های مکانی و توصیفی می‌گردد. داده‌های مکانی حاوی اطلاعاتی در مورد موقعیت مکانی عوارض می‌باشند و داده‌های توصیفی خصوصیات و ویژگی‌های این عوارض را بیان می‌نمایند. معروف‌ترین مدل‌هایی که برای ذخیره‌سازی داده‌های مکانی در GIS استفاده می‌شوند، مدل‌های برداری و رستری هستند.

در مدل برداری عوارض مکانی موجود در جهان واقعی به شکل نقطه، خط و سطح ذخیره‌سازی می‌گردند، اما در مدل رستری موقعیت جغرافیائی عوارض بوسیله موقعیت سطر و ستون سلول‌ها یا پیکسل‌ها تعریف می‌شود. ارزش ذخیره شده برای هر سلول، نوع عارضه یا شرایطی که در آن منطقه در سلول وجود دارد را نشان می‌دهد. پیکسل‌ها واحدهای همگن ساختار سلولی محسوب میشوند (Lillesand & Kiefer, 2000). به عنوان مثال تصاویر ماهواره‌ای یک ساختار سلولی است که ارزش هر سلول در تصویر، بیانگر انرژی الکترومغناطیسی است که بصورت سطوح خاکستری ثبت می‌شود. مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) نیز دارای ساختار سلولی است که ارزش هر سلول در آن، نمایانگر ارتفاع منطقه می‌باشد.

برای ذخیره‌سازی داده‌های توصیفی از پایگاه داده استفاده می‌شود. پایگاه داده مجموعه‌ای ساختار یافته از داده‌ها را به صورت منسجم و با استفاده از یک ساختار ذخیره‌سازی مشخص یا به اصطلاح مدل داده‌ای نگهداری می‌کند. پنج ساختار فایل، درختی، شبکه‌ای، رابطه‌ای و شیئی گرا به عنوان مدل‌های داده‌ای جهت ذخیره‌سازی داده‌های توصیفی مورد استفاده قرار می‌گیرند که مرسوم‌ترین آن‌ها مدل داده‌ای رابطه‌ای است. این مدل داده‌های توصیفی را در جداول مرتبط، به صورت سطر و ستون ذخیره‌سازی می‌کند (Burrough, 1986).

## پردازش و تحلیل داده

ویژگی بارز سیستمهای GIS توانایی انجام آنالیزهای ترکیبی از داده‌های مکانی و توصیفی است. پردازش و تحلیل داده‌ها امکان تغییر و تحول داده‌های مکانی به اشکال دیگر را فراهم می‌سازند که منجر به نتیجه‌گیری بهتر و مفیدتر از داده‌ها می‌شود. توابع تحلیلی GIS به دو گروه می‌توانند تقسیم گردند، توابع پایه و پیشرفته. توابعی که برای دامنه وسیعی از کاربردها مفید می‌باشند به توابع پایه معروفند که شامل: توابع اندازه‌گیری، طبقه‌بندی (مجدد) ((re)Classification)، بی‌مقیاس‌سازی (Scalar)، همپوشانی (Overlay)، همسایگی (Neighborhood) و اتصال (Connectivity) می‌باشند، که آن‌ها را می‌توان اجزای سازنده‌ی یک تحلیل مکانی پیشرفته در نظر گرفت. توابع پیشرفته GIS شامل مدل‌سازی آماری و ریاضی می‌باشند (Malczewski, 1999).

## توابع مربوط به خروج داده

پس از ایجاد پایگاه داده و بازیابی و تحلیل داده‌ها، نمایش داده‌ها نیازمند استفاده از بصری‌سازی است. بصری‌سازی عبارت است از: تشریح و توضیح بصری داده‌ها و نمایش اطلاعات. در گذشته ذخیره‌سازی و بصری‌سازی اطلاعات معمولاً همزمان و به صورت دستی انجام می‌گرفت و نقشه خروجی هم نقش ذخیره‌کننده‌ی داده‌ها و هم نقش نمایش اطلاعات را بر عهده داشت. امروزه با پیشرفت علوم کامپیوتر و علوم گرافیکی ذخیره‌سازی داده‌ها به صورت مجزا از نمایش آن‌ها امکان‌پذیر است. همچنین برخی از روش‌های بصری‌سازی مانند نمایش سه‌بعدی و نمایش‌های متحرک به وجود آمده که در روش‌های سنتی، تولید آن‌ها غیرممکن بوده است. توابع بصری‌سازی GIS کاربر را قادر می‌سازد که روابط مکانی میان داده‌های موجود در یک پایگاه داده‌ای بزرگ و پیچیده را ببیند و نتایج و گزارشات تولید شده از تحلیل‌های انجام شده را به صورت گرافیکی نمایش دهد (Malczewski, 1999).

## ۲-۲-۳- تهیه نقشه‌های معیار

## ۲-۲-۳-۱- GIS و نقشه‌های معیار

با توجه به هدف نهایی GIS، که پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌ها است، معیارهای مختلفی با در نظر گرفتن تاثیر آن‌ها نسبت به هدف مورد نظر لحاظ می‌شوند که می‌بایست به عنوان یک لایه نقشه در پایگاه داده GIS ارائه شوند. فرآیند تولید نقشه‌های معیار با فرآیند ایجاد یک پایگاه داده‌ی

مکانی هم پوشانی دارد. یک نقشه‌ی معیار نشان دهنده میزان وابستگی یک ویژگی نسبت به هدف مورد نظر می‌باشد. تولید نقشه‌های معیار بر پایه توابع GIS انجام می‌شود که شامل داده‌های جغرافیایی ورودی (کسب اطلاعات، تغییر فرمت، زمین مرجع کردن، منظم کردن و ثبت داده‌های مربوط) ذخیره سازی (ویژگی‌ها یا داده‌های فضایی)، پردازش و تجزیه و تحلیل خروجی است. به بیان دیگر، نقشه‌های معیار می‌توانند به عنوان خروجی پردازش داده‌ها بر پایه GIS محسوب شوند (Malczewski, 1999).

## ۲-۲-۳-۲- نقشه‌های معیار و مقیاس‌های اندازه‌گیری

ویژگی‌های مختلف در مقیاس‌های متفاوتی اندازه‌گیری می‌شوند، آن‌ها می‌توانند به صورت کیفی (انواع پوشش گیاهی، خاک...) یا کمی (عمق آب زیرزمینی، شیب...) اندازه‌گیری شده باشند. ویژگی‌هایی هم که به صورت کمی اندازه‌گیری می‌شوند واحدهای متفاوتی دارند (کیلومتر، درصد، اینچ). برای اعمال تحلیل‌های تصمیم‌گیری باید ارزش‌های موجود در نقشه‌های معیار تغییر کنند و تبدیل به واحدهای قابل مقایسه شوند. یعنی هنگامی که تلفیق نقشه‌های معیار مختلف مد نظر است، بایستی مقیاس‌ها قابل مقایسه باشند. نقشه‌های معیار می‌توانند بر اساس نوع اطلاعات موجود جهت استخراج نقشه‌ها طبقه‌بندی شوند. این طبقه‌بندی وابسته به تمایز بین تصمیم‌گیری قطعی و براساس عدم قطعیت (تصمیم‌گیری احتمالاتی و فازی) می‌باشد. بر همین اساس نقشه‌های معیار می‌توانند به صورت قطعی، احتمالاتی، و فازی طبقه‌بندی شوند. روش خطی متداول‌ترین روش تغییر مقیاس قطعی است که برای تغییر داده‌های ورودی به نقشه‌های معیار قابل مقایسه به کار می‌رود، راه دیگر برای تهیه نقشه‌های معیار قابل مقایسه استفاده از مفهوم احتمال است، علاوه بر این از مفهوم توابع عضویت فازی نیز می‌توان در تولید نقشه‌های معیار قابل مقایسه استفاده کرد (Malczewski, 1999).