بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشگاه کاشان**

**دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین**

**گروه بیابان‌زدایی**

# پایان‌نامه

**جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد**

**در رشته‌ی مهندسی منابع طبیعی – بیابان‌زدایی**

## عنوان:

# مکان‌یابی سد زیرزمینی در حوزه‌ی آبخیز منطقه‌ی بیارجمند

اساتید راهنما:

**دکتر هدی قاسمیه**

**دکتر سید جواد ساداتی‌نژاد**

مشاور:

**مهندس سیدعلی اصغر هاشمی**

به وسیله‌ی:

**ابوالفضل بیرجندی**

اسفندماه ۱۳۹۰

**تقدیم به**

**تمامی پویندگان طریقت علم و معرفت**

## تشکر و سپاس

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. اکنون که توانسته‌ام با استعانت از پرودگار متعال، این مرحله‌ی تحصیلی را پشت سر بگذارم، برخود لازم می‌دانم از تمامی اساتید بزرگوار به ویژه اساتید دوره‌ی کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده‌اند، تشکر نمایم.

از اساتید بزرگوار و گرامی **سرکار خانم دکتر هدی قاسمیه** و **جناب آقای دکتر سید جواد ساداتی‌نژاد** که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش پایان‌نامه تقبل نموده‌اند، نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

از جناب آقای دکتر سیدعلی اصغر هاشمی به عنوان مشاور که با راهنمایی‌های خود مرا مورد لطف قرار دادند، کمال تشکر را دارم.

همچنین از تشریک مساعی آقایان **دکتر رضا قضاوی** و **دکتر عباسعلی ولی** به عنوان اساتید داور داخل دانشگاه که این پایان‌نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه‌ی دفاعیه شرکت نموده‌اند، تشکر می‌نمایم.

در پایان از جناب آقای دکتر **ابوالفضل رنجبر** که به عنوان نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده‌اند، سپاس‌گزاری می‌نمایم.

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:

## مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

| | |
|---|---|
| نام و نام خانوادگی دانشجو: ابوالفضل بیرجندی | شماره دانشجویی: ۸۹۱۳۵۷۰۰۰۱ |
| رشته : مهندسی منابع طبیعی – بیابان‌زدایی | دانشکده : منابع طبیعی و علوم زمین |
| عنوان پایان‌نامه : مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در حوزه‌ی آبخیز بیارجمند | |
| تعداد واحد پایان نامه: ۶ واحد | تاریخ دفاع: ۹۰/۱۲/۸ |

این پایان‌نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیت‌های لازم برای اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد ارائه می‌گردد. دفاع از پایان‌نامه در تاریخ ۹۰/۱۲/۸ مورد تأیید و ارزیابی هیأت داوران قرار گرفت و با نمره ۱۹/۴۶ و درجه‌ی عالی به تصویب رسید.

نوزده ویکصد و شصت و شش

### اعضاء هیات داوران

| عنوان | نام و نام خانوادگی | مرتبه علمی | امضاء |
|---|---|---|---|
| استاد راهنما ی اول | دکتر هدی قاسمیه | استادیار | |
| استاد راهنمای دوم | دکتر سید جواد ساداتی نژاد | دانشیار | |
| استاد مشاور | مهندس علی اصغر هاشمی | مربی پژوهشی | |
| متخصص و صاحب نظر از داخل دانشگاه | دکتر رضا قضاوی | استادیار | |
| متخصص و صاحب نظر از داخل دانشگاه | دکتر عباسعلی ولی | استادیار | |
| نماینده تحصیلات تکمیلی | دکتر ابوالفضل رنجبر فردویی | استادیار | |

دانشگاه کاشان

آدرس: کاشان- بلوار قطب راوندی
کدپستی ۵۱۱۶۷-۸۷۳۱۷
تلفن ۵۹۱۱ - دورنگار ۵۵۵۲۱۳۰
http: www.kashanu.ac.ir

# چکیده

در بسیاری از نقاط جهان به ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، میزان بارش و رواناب حاصل از آن کم و میزان تبخیر آب از سطح، زیاد است. در مناطق کم‌باران ایران مانند حوزه‌ی آبخیز بیارجمند، منبع مهم تأمین آب منابع آب زیرزمینی است و با توجه به نیاز روزافزون این مناطق به آب و نیز محدودیت‌های منابع آب باید شرایط برای بهره‌برداری بهینه از آب‌های زیرزمینی فراهم شود. سدهای زیرزمینی، یکی از روش‌های بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در این منطقه است. البته، تصمیم‌گیری در انتخاب مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی کار دشواری است، چرا که معیارهای متعددی در این انتخاب باید در نظر گرفته شود. در سرتاسر حوزه‌ی آبخیز بیارجمند، آبراهه‌های متعددی وجود دارند که به علت اقلیم خاص و بارش کم، آبدهی قابل توجهی ندارند و اکثر آنها سیلابی می‌باشند. احداث سد زیرزمینی در خشکه‌رودهای این منطقه می‌تواند یکی از راه‌کارهای مناسب برای جبران کم‌آبی در ماه‌های خشک سال باشد. در این تحقیق به منظور مکان‌یابی سد زیرزمینی از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. در این روش پس از مشخص نمودن معیارهای دخیل در فرایند مکان‌یابی، درصد اهمیت این پارامترها مشخص شد. سپس با انجام عملیات میدانی، تعداد ۹ محور که شرایط احداث سد زیرزمینی را داشتند، مشخص شدند و در تمامی این محورها پارامترهای دخیل در مکان‌یابی مورد بررسی قرار گرفتند و به هر محور امتیازی تعلق گرفت. برای این منظور ویژگی‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطقه از طریق بررسی عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی، آمار هیدرولوژی و گزارش‌های موجود مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، محورها به ترتیب امتیاز کسب شده اولویت‌بندی شدند و نقطه‌ی شماره‌ی ۸ که در شرق روستای قلعه بالا و دزیان و جنوب شرقی روستای یزدو قرار داشت، بیشترین امتیاز را کسب نمود و بهترین محل برای احداث سد زیرزمینی در حوزه‌ی آبخیز منطقه‌ی بیارجمند شناخته و معرفی شد.



**کلمات کلیدی**: سد زیرزمینی، مکان‌یابی، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، حوزه‌ی آبخیز بیارجمند

# فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| **فصل اول** | ۲ |
| ۱- مقدمه و کلیات | ۲ |
| ۱-۱- بحران آب | ۲ |
| ۱-۱-۱- مشکلات و چالش‌های بخش آب کشور | ۴ |
| ۱-۲- تعریف سد زیرزمینی | ۷ |
| ۱-۳- انواع سد زیرزمینی | ۸ |
| ۱-۳-۱- سد زیرزمینی طبیعی | ۸ |
| ۱-۳-۲- سد زیرزمینی مصنوعی | ۹ |
| ۱-۳-۲-۱- سدهای مدفون | ۹ |
| ۱-۳-۲-۱-۱- سدهای مدفون نزدیک سطح زمین | ۹ |
| ۱-۳-۲-۱-۲- سدهای مدفون در اعماق زمین | ۹ |
| ۱-۳-۲-۲- سدهای نیمه مدفون | ۱۰ |
| ۱-۴- اهداف و کاربرهای اجرای سدهای زیرزمینی | ۱۰ |
| ۱-۴-۱- اهداف اجرای سدهای زیرزمینی | ۱۰ |
| ۱-۴-۲- کاربردهای اجرای سدهای زیرزمینی | ۱۱ |
| ۱-۵- مزایا و معایب سدهای زیرزمینی | ۱۲ |
| ۱-۵-۱- مزایا و محاسن سدهای زیرزمینی | ۱۲ |
| ۱-۵-۲- معایب و محدودیت‌های سدهای زیرزمینی | ۱۳ |
| ۱-۶- مطالعات احداث سدهای زیرزمینی | ۱۴ |
| ۱-۶-۱- مطالعات مقدماتی | ۱۵ |
| ۱-۶-۲- مطالعات تکمیلی | ۱۵ |
| ۱-۷- تعیین شاخص‌های مکان‌یابی جهت احداث سدهای زیرزمینی | ۱۶ |
| ۱-۷-۱- توپوگرافی | ۱۷ |
| ۱-۷-۲- زمین‌شناسی | ۱۷ |
| ۱-۷-۳-کیفیت آب | ۱۸ |
| ۱-۷-۴- محاسبه‌ی حجم آب ذخیره شده و آب قابل استحصال | ۱۸ |
| ۱-۷-۵- بررسی مقدماتی سیاسی- اجتماعی و حقوقی اجرای سد | ۱۹ |
| ۱-۷-۶- نکات فنی در تعیین بازه‌های مستعد احداث سدهای زیرزمینی | ۱۹ |

۱-۸- شرایط محل تغذیه شونده ۲۰
۱-۹- فاکتورهای پیشنهادی جهت شناسایی سدهای زیرزمینی ۲۱
۱-۱۰- مصالح مصرفی در احداث سد ۲۲
۱-۱۰-۱- رس متراکم شده ۲۲
۱-۱۰-۲- ورقه‌های قیراندود یا پلاستیکی ۲۳
۱-۱۱- استخراج آب ۲۳
۱-۱۲- معرفی نمونه‌هایی از سدهای زیرزمینی در ایران و جهان ۲۴
۱-۱۲-۱- معرفی چند سد زیرزمینی در جهان ۲۴
۱-۱۲-۲- معرفی چند سد زیرزمینی در ایران ۲۵

## فصل دوم

۲- پیشینه‌ی تحقیق ۲۸
۲-۱- پیشینه‌ی تحقیق در خارج از کشور ۲۸
۲-۱-۱- پیشینه‌ی تحقیق در زمینه‌ی سدهای زیرزمینی ۲۸
۲-۱-۲- پیشینه‌ی تحقیق در زمینه‌ی AHP (تحلیل سلسله مراتبی) ۲۹
۲-۲- پیشینه‌ی تحقیق در داخل کشور ۳۰

## فصل سوم

۳- مواد و روش‌ها ۳۶
۳-۱- مواد ۳۶
۳-۱-۱- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه ۳۷
۳-۱-۲- مشخصات عمومی منطقه‌ی مورد مطالعه ۳۷
۳-۱-۲-۱- هوا و اقلیم ۳۹
۳-۱-۲-۲- زمین‌شناسی ۳۹
۳-۱-۲-۲-۱- سازندها و ستون چینه‌شناسی منطقه ۳۹
۳-۱-۲-۲-۲- ویژگی‌های آبرفت دشت بیارجمند ۴۱
۳-۱-۲-۳- خاک‌شناسی ۴۴
۳-۱-۲-۴- منابع آب ۴۵
۳-۱-۲-۵- مطالعات اجتماعی و اقتصادی ۴۶
۳-۲- روش انجام کار ۵۲
۳-۲-۱- مطالعات کتابخانه‌ای ۵۲
۳-۲-۲- شناسایی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی ۵۲
۳-۲-۳- تهیه‌ی نقشه‌های مورد نیاز ۵۲
۳-۲-۴- حذف مناطق نامناسب ۵۳

۳-۲-۵- فرایند مکان‌یابی و عملیات صحرایی ۵۴
۳-۲-۶- اولویت‌بندی نقاط با استفاده از روش AHP ۵۴

## فصل چهارم

۴- نتایج ۵۹
۴-۱- مقدمه ۵۹
۴-۲- نتایج تهیه‌ی نقشه‌های مورد نیاز ۵۹
۴-۳- نتایج تعیین نقاط پیشنهادی در مناطق مستعد ۷۰
۴-۴- نتایج تحلیل سلسله مراتبی پارامترهای اصلی و فرعی ۷۱

## فصل پنجم

۵- بحث و نتیجه‌گیری ۸۳
۵-۱- مقدمه ۸۳
۵-۲- بررسی نتایج حاصله از ماتریس‌های اولیه و نرمال برای ۷ معیار انتخاب شده ۸۳
۵-۳- بررسی نتایج حاصله از ماتریس‌های اولیه و نرمال برای معیار شیب ۸۳
۵-۴- بررسی نتایج حاصله از ماتریس‌های اولیه و نرمال برای معیار فاصله از روستا ۸۴
۵-۵- بررسی نتایج حاصله از ماتریس‌های اولیه و نرمال برای معیار فاصله از قنات ۸۴
۵-۶- بررسی نتایج حاصله از ماتریس‌های اولیه و نرمال برای معیار ضخامت آبرفت در مخزن ۸۴
۵-۷- بررسی نتایج حاصله از ماتریس‌های اولیه و نرمال برای معیار طول محور در مخزن ۸۴
۵-۸- بررسی نتایج حاصله از ماتریس‌های اولیه و نرمال برای معیار فاصله از گسل ۸۵
۵-۹- بررسی نتایج حاصله از ماتریس‌های اولیه و نرمال برای معیار لیتولوژی تکیه‌گاه ۸۵
۵-۱۰- نتیجه‌گیری ۸۵
۵-۱۱- مقایسه‌ی نتایج به دست آمده با سایر تحقیقات ۸۶
۵-۱۲- پیشنهادات ۸۷
منابع و مآخذ ۸۹

# فهرست جدول‌ها

**عنوان** **صفحه**


جدول ۱-۱- حجم و درصد بخش‌های مختلف هیدروسفر ۲
جدول ۱-۲- معرفی چند سد زیرزمینی ساخته شده در کشور ژاپن ۱۲
جدول ۱-۳- مشخصات پروژه‌های انجام شده برای اجرای سدهای زیرزمینی در ایران ۲۶
جدول ۳-۱- آمار منابع آب زیرزمینی دشت بیارجمند براساس آماربرداری امور آب استان سمنان ۴۵
جدول ۳-۲- اطلاعات کلی بخش بیارجمند در سال ۱۳۹۰ ۴۶
جدول ۳-۳- اطلاعات کشاورزی و دامداری بخش بیارجمند در سال ۱۳۹۰ ۴۷
جدول ۳-۴- امکانات موجود در شهر بیارجمند ۴۸
جدول ۳-۵- امکانات موجود در دهستان بیارجمند ۴۹
جدول ۳-۶- آمار جمعیتی و میزان باسوادی در بخش بیارجمند ۵۱
جدول ۴-۱- ماتریس اولیه برای پارامترهای اصلی ۷۲
جدول ۴-۲- ماتریس نرمال برای پارامترهای اصلی ۷۳
جدول ۴-۳- تعیین اهمیت و وزن شیب‌های مختلف (ماتریس اولیه) ۷۴
جدول ۴-۴- تعیین اهمیت و وزن شیب‌های مختلف (ماتریس نرمال) ۷۴
جدول ۴-۵- تعیین اهمیت و وزن فواصل مختلف از روستا (ماتریس اولیه) ۷۴
جدول ۴-۶- تعیین اهمیت و وزن فواصل مختلف از روستا (ماتریس نرمال) ۷۵
جدول ۴-۷- تعیین اهمیت و وزن فواصل مختلف از قنوات (ماتریس اولیه) ۷۵
جدول ۴-۸- تعیین اهمیت و وزن فواصل مختلف از قنوات (ماتریس نرمال) ۷۵
جدول ۴-۹- تعیین اهمیت و وزن ضخامت آبرفت در مخزن (ماتریس اولیه) ۷۶
جدول ۴-۱۰- تعیین اهمیت و وزن ضخامت آبرفت در مخزن (ماتریس نرمال) ۷۶
جدول ۴-۱۱- تعیین اهمیت و وزن طول‌های مختلف محور (ماتریس اولیه) ۷۶
جدول ۴-۱۲- تعیین اهمیت و وزن طول‌های مختلف محور (ماتریس نرمال) ۷۶
جدول ۴-۱۳- تعیین اهمیت و وزن فواصل مختلف از گسل (ماتریس اولیه) ۷۷
جدول ۴-۱۴- تعیین اهمیت و وزن فواصل مختلف از گسل (ماتریس نرمال) ۷۷
جدول ۴-۱۵- تعیین اهمیت و وزن لیتولوژی تکیه‌گاه (ماتریس اولیه) ۷۷
جدول ۴-۱۶- تعیین اهمیت و وزن لیتولوژی تکیه‌گاه (ماتریس نرمال) ۷۸
جدول ۴-۱۷- مشخصات نقاط پیشنهادی جهت احداث سد زیرزمینی در حوزه‌ی آخیز بیارجمند ۷۹
جدول ۴-۱۸- امتیازدهی به تفکیک پارامترها برای نقاط پیشنهادی ۸۰

جدول ۴-۱۹- محاسبه‌ی امتیاز کل نقاط پیشنهادی ۸۱

# فهرست شکل‌ها

**عنوان** **صفحه**

شکل ۱-۱- انواع سد زیرزمینی از لحاظ وضعیت قرارگیری در زمین ۸
شکل ۱-۲- شکل شماتیک یک سد زیرزمینی طبیعی ۹
شکل ۱-۳- سد زیرزمینی نیمه مدفون ۱۰
شکل ۱-۴- ساختار استفاده شده در اولویت‌بندی محورهای سد زیرزمینی ۱۹
شکل ۱-۵- سد زیرزمینی Minafku در ژاپن ۲۱
شکل ۱-۶- بهره‌برداری به روش ثقلی ۲۳
شکل ۱-۷- بهره‌برداری به روش حفر چاه ۲۴
شکل ۳-۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در کشور ایران ۳۷
شکل ۳-۳- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در استان سمنان و جنوب شرقی شاهرود ۳۷
شکل ۳-۳ منحنی آمبروترمیک منطقه براساس آمار ۲۰ ساله‌ی ایستگاه سینوپتیک بیارجمند ۳۸
شکل ۴-۱- نقشه‌ی حوضه‌ی بیارجمند ۵۹
شکل ۴-۲- نقشه‌ی خطوط تراز حوضه‌ی بیارجمند ۶۰
شکل ۴-۳- مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حوضه‌ی بیارجمند ۶۰
شکل ۴-۴- نقشه‌ی آبراهه‌های استخراج شده از مدل ارتفاعی رقومی DEM ۶۱
شکل ۴-۵- تصویر ماهواره‌ای اخذ شده از نرم‌افزار Global Mapper ۶۱
شکل ۴-۶- تصویر ماهواره‌ای لندست از حوضه‌ی بیارجمند ۶۲
شکل ۴-۷- نقشه‌ی شیب حوضه‌ی بیارجمند ۶۲
شکل ۴-۸- نمایش حوضه‌ی بیارجمند روی نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی ۶۳
شکل ۴-۹- نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی بیارجمند ۶۴
شکل ۴-۱۰- نقشه‌ی گسل حوضه‌ی بیارجمند ۶۴
شکل ۴-۱۱- نقشه‌ی قنوات حوضه‌ی بیارجمند و پیرامون ۶۵
شکل ۴-۱۲- نقشه‌ی محل حفر پیزومترها در دشت بیارجمند ۶۵
شکل ۴-۱۳- نقشه‌ی عمق سطح آب زیرزمینی در پیزومترهای دشت بیارجمند ۶۶
شکل ۴-۱۴- درون‌یابی در پیزومترها به منظور تعیین جهت جریان آب زیرزمینی ۶۶
شکل ۴-۱۵- نقشه‌ی جهت جریان آب زیرزمینی در دشت بیارجمند ۶۷
شکل ۴-۱۶- نقشه‌ی نهایی هیدروژئولوژی حوضه‌ی بیارجمند ۶۷
شکل ۴-۱۷- نقشه‌ی حذفی محدوده‌ی دشت ممنوعه‌ی بیارجمند از فرایند مکان‌یابی ۶۸

شکل ۴-۱۸- نقشه‌ی حذف آبراهه‌های تغذیه کننده‌ی آب زیرزمینی دشت بیارجمند ۶۹
شکل ۴-۱۹- نقشه‌ی حریم ۳۰۰ متری برای گسل‌های حوضه‌ی بیارجمند ۷۰
شکل۴-۲۰- نقشه‌ی محل قرارگیری نقاط پیشنهادی احداث سد زیرزمینی در حوضه‌ی بیارجمند ۷۱

# فصل اول

## مقدمه و کلیات

# فصل اول
# ۱– مقدمه و کلیات
## ۱–۱– بحران آب

کره‌ی زمین مشتمل بر سه کره‌ی خاکی (لیتوسفر)، نیوار (اتمسفر) و آبی (هیدروسفر) است که شرایط مناسب را برای پدیدار گشتن کره‌ی چهارم یعنی کره‌ی حیاتی (بیوسفر) فراهم می‌سازند. آب‌کره شامل اقیانوس‌ها، دریاها، یخ‌های قطبی، یخچال‌های کوهستانی، رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی، بخار آب اتمسفر، رطوبت خاک و به طورکلی تمام آب‌هایی است که به شکل‌های مختلف در کره‌ی زمین و اتمسفر آن وجود دارند [۱].
در جدول ۱-۱، حجم و درصد بخش‌های مختلف آب‌کره (هیدروسفر) نشان داده شده است.

جدول ۱-۱- حجم و درصد بخش‌های مختلف هیدروسفر [۲]

| منابع | حجم (هزار کیلومتر مکعب) | درصد(٪) |
|---|---|---|
| اقیانوس‌ها | ۱۳۷۰۳۲۳ | ۹۳/۹۵ |
| آب‌های زیرزمینی | ۶۴۰۰۰ | ۴/۳۹ |
| یخچال‌های قطبی | ۲۴۰۰۰ | ۱/۶۵ |
| دریاچه‌ها | ۲۳۰ | ۰/۰۱۶ |
| رطوبت خاک | ۷۵ | ۰/۰۰۵ |
| بخار آب موجود در هوا | ۱۴ | ۰/۰۰۱ |
| رودخانه‌ها | ۱/۲ | ۰/۰۰۰۱ |
| جمع | ۱۴۵۸۶۴۳/۲ | ۱۰۰ |

بر این اساس از مجموع آب‌های آب‌کره، تنها یک درصد آن قابل استفاده بوده که ۹۹ درصد از این مقدار را آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌دهند. این مسأله، نشان‌دهنده‌ی اهمیت ذخایر آب‌های زیرزمینی است. متأسفانه در کشور ایران با برداشت بی‌رویه، این منبع آب به طور صحیحی بهره‌برداری نمی‌شود [۱].

بر اساس آخرین یافته‌های بشر، از عمر کره‌ی زمین حدود ۵ میلیارد سال می‌گذرد و شواهد مختلف نشان می‌دهد که آب از همان ابتدا، نقش مهمی در تنها کره‌ی مسکونی شناخته شده‌ی جهان داشته است [۱ و۲].

بررسی‌های کارشناسی در سطح ملی و بین‌المللی نشان‌گر این حقیقت است که کره‌ی زمین در سال‌های نه چندان دور با بحران جدی در رابطه با تأمین آب مطمئن قابل مصرف روبرو خواهد شد. لذا اتخاذ روش‌های اصولی و عملی در زمینه‌ی توسعه، حفاظت، بهره‌برداری و مدیریت منابع آب امری اجتناب‌ناپذیر است. بر این اساس لازم است روش‌های عملی استحصال آب (که کمترین اثرات مخرب زیست محیطی را دارند و نیز هدررفت آب را به حداقل می‌رسانند) توسعه یابند [۳]. کشورهایی مانند ایران، روم، چین، هند و مصر که از بنیان‌گذاران تمدن نوین می‌باشند، اهتمام زیادی در طراحی و استفاده‌ی صحیح از منابع آبی داشتند که در این میان، کشور ایران سهم مهمی از این دانش بشری را به خود اختصاص داده است. ساخت سد کبار در طبس به عنوان نخستین سد قوسی در جهان، احداث سدهایی مانند سد وفرقان در ساوه، بند گلستان در خراسان، بند امیر در فارس، نهرهای آبیاری شوشتر و ساخت قنات برای بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی تنها بخشی از این افتخارات است [۱ و۲]. البته امروزه در جهان و ایران، سدهای زیرزمینی جهت توسعه و جلوگیری از خروج بدون استفاده‌ی منابع آبی قابل مصرف به خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک مورد توجه قرار گرفته است [۳].

ایران سرزمینی است خشک با نزولات جوی بسیار کم، به طوری که اگر میانگین بارندگی سالانه در سطح خشکی‌های کره‌ی زمین با متوسط بارندگی سالانه در ایران مقایسه شود، ملاحظه خواهد شد که بارندگی در ایران حتی کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در سطح دنیاست [۳]. علاوه بر این، زمان ریزش نزولات جوی و محل ریزش آنها نیز با نیاز بخش کشاورزی که مصرف کننده‌ی اصلی آب در کشور می‌باشد، مطابقت ندارد. اکثر شهرهای ایران هم در مناطقی واقعند که به رودخانه‌هایی که جریان آب آنها مستقیماً از رواناب حاصله از بارندگی‌ها تأمین شده باشد، دسترسی ندارند. بنابراین باید پذیرفت که خشکی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و این بشر است که باید خود را با آن سازگار کند. البته با تمام خسارت‌هایی که از کم‌آبی و خشکسالی عاید کشور می‌شود، هنوز هم بر اساس معیارهای موجود، ایران جزء کشورهای کم‌آب محسوب نمی‌شود [۲].

در حال حاضر و آینده، اساسی‌ترین موضوع کشورهای جهان و به ویژه ایران، محدودیت منابع آب تجدیدپذیر است. هم‌اکنون متوسط سرانه‌ی مصرف هر فرد در جهان، ۶۶۶۰ متر مکعب در سال و حد تنش آبی، ۱۵۰۰ متر مکعب است. براساس پیش‌بینی‌های به عمل آمده در سال ۲۰۲۵ میلادی، ۴۸ کشور جهان با جمعیت ۲/۸ میلیارد نفر به کمتر از ۱۰۰۰ متر مکعب به ازای هر نفر در سال به منابع آب دسترسی خواهند داشت و کشور

ایران در این سال با جمعیت ۱۰۰ میلیون، به ازای هر نفر ۱۲۰۰ متر مکعب آب تجدیدپذیر خواهد داشت که این مقدار بر اساس حد تنش آب ۱۵۰۰ متر مکعب، ۳۰۰ متر مکعب کمتر است و در نتیجه ایران، جزء کشورهای دارای بحران آبی خواهد بود [۴].

بنابراین معیاری که برای پرآبی یا کم‌آبی یک کشور به کار برده می‌شود، سرانه‌ی آب قابل تجدید در آن کشور است. در حال حاضر با توجه به جمعیت جهان، مقدار آب تجدیدشونده‌ی دنیا حدود ۶۵۰۰ متر مکعب در سال برای هر نفر است. اما این مقدار به طور یکنواخت تقسیم نشده است. به طوری که در بعضی مناطق دنیا، مقدار آن زیاد و در بعضی مناطق، بسیار کم می‌باشد. متخصصان برنامه‌ریزی، آستانه‌ی ۱۰۰۰ متر مکعب در سال برای هر نفر را مرز کم آبی برای هر کشور تعیین کرده‌اند. مثلاً این رقم در مصر ۳۰، در قطر ۴۰، در لیبی ۱۶۰ و در عربستان صعودی، ۱۴۰ متر مکعب در سال برای هر نفر می‌باشد که تمام این کشورها جزء کشورهای کم‌آب جهان محسوب می‌شوند. در ایران با در نظر گرفتن جمعیت کنونی کشور، مقدار سرانه‌ی آب تجدید شونده حدود ۱۶۷۰ متر مکعب در سال تخمین زده می‌شود که با این حساب نمی‌توان آن را یک کشور کم‌آب تلقی کرد و بهتر است در حال حاضر جزء کشورهای با تنش آبی در نظر گرفته شود [۴]. اما توزیع آب در مناطق جغرافیایی کشور نامناسب است. به طوری که در مقیاس کوچک‌تر، قسمت اعظم مناطق آن کویری، خشک و کم‌آب می‌باشد. بنابراین با روند کنونی رشد جمعیت و مصرف آب پیش‌بینی می‌شود در سال ۱۴۰۰، سرانه‌ی آب قابل تجدید کشور به کمتر از ۱۲۵۰ متر مکعب در سال برسد. یکی از راه‌های سازگار با کم‌آبی، استفاده‌ی بهینه از منابع آب و افزایش بهره‌وری آب است. لذا باید تلاش نمود تا حد ممکن از نزولات جوی، جریان آب‌های سطحی و منابع زیرزمینی و رطوبت خاک به نحو مطلوب و بهینه استفاده شود [۲].

## ۱-۱-۱- مشکلات و چالش‌های بخش آب کشور

با مطالعه‌ی منابع مختلف می‌توان عمده‌ی چالش‌های بخش آب کشور را در موارد زیر خلاصه نمود [۱ و ۲ و۳ و۴]:

- قرار گرفتن کشور ایران در ناحیه‌ی خشک و نیمه خشک جهان
- بارندگی متوسط به میزان ۲۴۷ میلی‌متر معادل یک سوم بارش جهان
- تبخیر و تعرق بیش از ۷۰ درصد
- توزیع نامناسب بارش در نواحی مختلف کشور
- عدم توزیع مناسب زمانی بارش و نیاز کشاورزی در فصول مختلف
- برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب‌های زیرزمینی بدون توجه به محدودیت این منابع
- عدم مطالعات دقیق منابع آب غیرمتعارف (شور، لب شور) سطحی، زیرزمینی و استفاده از این منابع

- عدم انجام مطالعات جامع منابع آب در سیستم یکپارچه قبل از اجرای طرح‌های توسعه‌ی منابع آب در حوزه‌های آبریز
- تأثیر تغییرات اقلیم جهانی و اثرگذاری بیشتر آن در کاهش بارندگی و جریان سطحی طی ده سال خشکسالی در کشور ایران
- عدم اعمال مدیریت مصرف با توجه به رشد تقاضا

کشور ایران یکی از کشورهایی است که بر روی کمربند خشک زمین قرار گرفته و همین امر موجب گسترش کویر در بسیاری از مناطق و نواحی مرکزی و جنوبی گردیده است. حدود ۷۵ درصد از کشور ایران از نظر اقلیمی در منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است [۲]. وقوع خشکسالی‌های مخرب سبب بروز بحران آب در بسیاری از مناطق گردیده و مشکلات عدیده‌ای را برای مردم منطقه ایجاد نموده است. از طرف دیگر از مجموع ۴۱۳ میلیارد متر مکعب حجم بارش کشور، حدود ۷۰ میلیارد متر مکعب آن به درون دریاهای شمال و جنوب و باتلاق‌ها و ... جاری شده و به هدر می‌رود، در حالی که مناطق خشک کشور از بحران خشکسالی و کمبود آب رنج می‌برند. در این مناطق، بخش عظیمی از آب‌های ناشی از بارش به صورت سیلاب‌های مخرب از دسترس خارج شده و خسارات فراوانی را ایجاد می‌کند [۵].

راه‌کارهای مقابله با کم‌آبی در دو استراتژی مدیریت صحیح منابع آب و استحصال از منابع جدید آب خلاصه می‌شود. در کشور ایران به دلیل شرایط جغرافیایی و اقلیمی خاص، بهبود مدیریت منابع آبی موجود، نتایج بهتر و سریعتری خواهد داشت. در اغلب نقاط ایران، به علت بارندگی کم و توزیع زمانی نامناسب آن، منابع آب زیرزمینی و مدیریت آن از اولویت خاصی برخوردار است [۶].

آب‌های زیرزمینی به طور طبیعی از طریق چشمه‌ها به سطح زمین راه می‌یابند و یا توسط چاه، قنات و ... از سفره‌های زیرزمینی استخراج می‌شوند. این آب‌ها یکی از منابع مهم تأمین آب شیرین مورد نیاز بوده که معمولاً عاری از ارگانیسم‌های بیماری‌زا هستند و احتیاج به تصفیه‌ی خاصی ندارند. این آب‌ها بی‌رنگ و فاقد مواد تیره کننده بوده و ترکیب شیمیایی و دمای آنها نیز ثابت است و غالباً تحت تأثیر خشکسالی‌های کوتاه مدت قرار نگرفته و در بیشتر نقاطی که آب‌های سطحی قابل اطمینانی ندارند، یافت می‌شوند. همچنین آلودگی‌های سطحی تأثیر کمتری روی آب‌های زیرزمینی دارند. امروزه پدیده‌ی نشست زمین و تغییر کیفیت منابع آب، پایین افتادن سطح ایستابی سفره‌های زیرزمینی و پیشروی آب شور در حاشیه‌ی کویرها از اثرات خانمان سوز برداشت بی‌رویه از این منابع گران‌بها به شمار می‌آیند [۳].

آب‌های زیرزمینی در طی سالیان متمادی در سنگ‌ها و مواد متخلخل جمع می‌شوند و محدوده‌هایی را به نام سفره‌ی آبدار تشکیل می‌دهند. با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی مساعد به طور میانگین حدود ۲۸۰ سال طول می‌کشد تا یک سفره‌ی آب زیرزمینی به دوره‌ی بازیابی خود دست یافته و تجدید شود [۷].

از آنجایی که برای بسیاری از کاربران آب این مسأله به اثبات رسیده که آب‌های زیرزمینی قابل اعتمادتر از آب‌های سطحی می‌باشند، لذا استفاده از این آب‌ها و ذخیره کردن آن در آبخوان‌ها و یا بهره‌گیری از سدهای زیرزمینی می‌تواند یکی از راه‌کارهای مناسب تأمین آب به شمار آید [۵].

از طرفی میزان کم بارندگی، تبخیر زیاد، مدیریت ضعیف آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز، میزان بسیار زیاد رسوب، مواد آلی و شیمیایی و در نهایت اثرات مخرب زیست‌محیطی و اجتماعی، بسیاری از سدهای بزرگ کشور را دچار بحران نموده است [۵].

با توجه به مسائل مطرح شده و نوآوری در روش‌های توسعه‌ی منابع آب کشاورزی قابل استحصال، تلفیقی از روش‌های سنتی به عنوان دانش محلی و فناوری نوین، ضروری به نظر می‌رسد. از طرف دیگر، ترکیب و تلفیق آب‌های زیرزمینی قابل اعتماد و متعادل با آب‌های سطحی کنترل شده می‌تواند پایداری فعالیت‌های کشاورزی را در دوره‌های خشک و ترسالی تضمین نموده و بحران پایین رفتن سطوح آب زیرزمینی را کاهش داده و از خسارت ناشی از وقوع سیل بکاهد. یکی از راه‌کارهای مناسب در این زمینه، استفاده از فناوری‌های نوین آبخوان‌داری از جمله ایجاد سدهای زیرزمینی است [۵ و ۷].

در مناطق خشک و کم‌باران به دلیل شرایط خاص جوی، تبخیر بالا می‌باشد و امکان ذخیره‌سازی آب‌های سطحی در مقیاس کوچک، مشکل و غیراقتصادی است و گاهی ایجاد مخازن در مناطق کویری اثرات نامطلوب زیست‌محیطی را به همراه خواهد داشت. در این گونه مناطق و در جاهایی که جریان‌های زیرسطحی وجود داشته و به لحاظ فنی امکان استخراج و برداشت آنها وجود دارد، یکی از بهترین شیوه‌ها و مدل‌های برداشت جریان‌های زیرقشری، استفاده از سدهای زیرزمینی است [۷].

طبق تعریف کوپن، مناطق خشک در جهان به مناطقی گفته می‌شود که پتانسیل تبخیر بیشتر از میزان بارش است و منافع نسبی سدسازی زیرزمینی در مقایسه با ذخایر سطحی زیاد است [۸].

بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به دلایل فنی و اقتصادی بر اجرای سایر پروژه‌های آبی ارجحیت داشته است. به همین دلیل در اغلب نقاط ایران، این منابع از گذشته‌های دور تاکنون در تأمین نیازهای آبی بخش‌های مختلف مصرف، نقش مهمی را ایفا کرده است. به طور کلی، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی پیامدهایی از قبیل کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در اثر پدیده‌هایی مانند پیشروی آب شور، نشست زمین در اثر پایین افتادن سطح

آب زیرزمینی، کاهش سریع منابع آب زیرزمینی و خشک شدن قنات‌ها، چشمه‌ها، چاه‌های کم عمق و نیمه عمیق و همچنین افزایش هزینه‌های استحصال و غیر اقتصادی شدن هزینه‌ی پمپاژ را به همراه خواهد داشت. در حال حاضر به دلیل استخراج بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، از مجموع ۲۲۳ دشت کشور، در ۱۶۳ دشت، سطح آب زیرزمینی افت پیدا کرده و مشکلاتی را برای ادامه‌ی حیات کشاورزی و توسعه‌ی اقتصادی این نواحی ایجاد کرده است [۹].

با توجه به روند رو به رشد بهره‌برداری و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی و افت شدید سفره‌های آب زیرزمینی در طی سالیان اخیر و نیز شروع بهره‌برداری از منابع آبی سازندهای سخت که سفره‌های آبرفتی دشت‌ها از آنها تغذیه می‌شوند، آینده‌ی آب در کشور به ویژه در دشت‌های مرکزی در مخاطره‌ی جدی قرار گرفته است. از آنجایی که مهار آب‌های زیرزمینی (که حجم زیادی از آب‌های شیرین کره‌ی زمین را به خود اختصاص می‌دهد) از تکنولوژی پیچیده‌ای برخوردار است، علم آن در انحصار برخی از کشورهای خاص می‌باشد و به راحتی در اختیار کشورهای جهان سوم قرار نمی‌گیرد. با توجه به مهم و حیاتی بودن این موضوع و بحرانی بودن اوضاع کنونی آب در کشور، باید به گونه‌ای عمل نمود که آب‌های موجود کنترل شوند و در نتیجه از دسترس خارج نشوند و لذا یافتن تکنولوژی‌های جدید و تدابیر ویژه برای توسعه و بهبود منابع آب زیرزمینی باید در اولویت‌های اصلی قرار گیرد [۷].

سد کردن آب زیرزمینی برای حفاظت از منابع آب یک مفهوم جدید نمی‌باشد. رومی‌ها این سدها را در جزیره‌ی ساردینیا ساخته‌اند. بررسی سازه‌های تاریخی در تونس نیز نشان می‌دهد که سد کردن آب زیرزمینی توسط تمدن باستان در شمال آفریقا به اجرا در آمده است [۱۰].

در سال‌های اخیر، تکنیک‌های متعدد سد کردن آب زیرزمینی در مقیاس کوچک در بسیاری از نقاط دنیا به ویژه در هند، جنوب و شرق آفریقا، برزیل و ژاپن توسعه و به کار گرفته شده است [۸]. نمونه‌هایی از سدهای زیرزمینی به مفهوم واقعی در نیمه‌ی اول قرن بیستم و پیش از آن ساخته شده است. اما رشد و تکوین سدهای زیرزمینی و برخورد علمی با آن از نیمه‌ی دوم قرن آغاز گردیده است و در سه دهه‌ی اخیر، رشد بسیاری نموده است. نگاهی گذرا به تحقیقات، مقالات و پروژه‌های انجام شده در سطوح بین‌المللی در خصوص مهار و استفاده از آب زیرزمینی گواهی بر این مسأله است [۱۱ و ۱۲].

## ۱-۲- تعریف سد زیرزمینی

سد زیرزمینی، تکنولوژی جدیدی برای تأمین منابع آب و حفاظت از آن است و مخصوص مناطق خشک و نیمه خشک است. کمی شیب و وجود رسوبات با ماکروپوزیته‌ی