صفحه فهرست مطالب عنوان

فصل اول (کلیات)

۱-کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- تعریف مسئله، ضرورت و اهمیت پژوهش ۳

۱-۳- سؤالات اساسی ۵

۱-٤- اهداف پژوهش ۵

۱-۵- فرضیات پژوهش ۵

۱-٦- تعاریف و مفاهیم ٦

۱-٦-۱- سد خاکی ٦

۱-۷- تاریخچه سدهای خاکی در ایران و جهان ۷

۱-۸- شرایط لازم برای انتخاب سد خاکی ۹

۱-۹- مکان‌یابی سدهای خاکی ۹

۱-۱۰- برآورد حجم جریان ورودی به مخزن سد ۱۱

۱-۱۰-۱- مدل جاستین ۱۱

۱-۱۱- تحلیل سلسله مراتبی ۱۲

۱-۱۱-۱- ساختن سلسله مراتب ۱۳

۱-۱۱-۲- محاسبه وزن ۱٤

۱-۱۱-۳- سازگاری سیستم ۱۵

۱-۱۲- نرم افزار EXPERT CHOICE ۱٦

صفحه فهرست مطالب عنوان

فصل دوم (سابقه تحقیق)

۲- سابقه تحقیق ۱۷

۲-۱- مقدمه ۱۷

۲-۲- سابقه تحقیق در ایران ۱۷

۲-۳- سابقه تحقیق در جهان ۲۳

فصل سوم (مواد و روش ها)

۳-۱- مقدمه ۲۷

۳-۲- علت انتخاب محدوده مورد نظر ۲۸

۳-۳- منطقه مورد مطالعه ۲۹

۳-۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۲۹

۳-۳-۲- فیزیوگرافی و توپوگرافی محدوده مورد مطالعه ۳۰

۳-۳-۲-۱- شیب حوزه ۳۲

۳-۳-۲-۲- بررسی شبکه آبراهه های حوزه ۳۳

۳-۳-۲-۳- پروفیل طولی آبراهه اصلی ۳۳

۳-۳-۲-٤- زمان تمرکز حوزه ۳٤

۳-۳-۲-۵- وضعیت راه‌های ارتباطی حوزه ۳۵

۳-۳-۳- هوا و اقلیم شناسی ۳۵

۳-۳-۳-۱- بارندگی ۳٦

۳-۳-٤- خاک ۳٦

عنوان	فهرست مطالب	صفحه

۳-۳-۵- زمین شناسی و ژئومورفولوژی ۳۷

۳-۳-٦- فرسایش ۳۸

۳-۳-۷- بندهای خاکی ۳۹

۳-۳-۱۱- معرفی نرم افزارهای بکار رفته در این پژوهش ٤۲

۳-۳-۱۱-۱- سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ٤۲

۳-۳-۱۱-۲- برنامه های جانبی ArcGIS ٤۲

الف- برنامه جانبی HECgeo-HMS ٤۳

ب-Arc Hydro ٤٤

۳-۳-۱۱-۳- Expert Choice ٤٥

۳-٤- روش پژوهش ٤٥

۳-٤-۱- مقدمه ٤٥

۳-٤-۲- انتخاب و شناسایی مکانها ٤۷

۳-٤-۳- انتخاب های کیفی مکانها ٤۷

۳-٤-۳-۱- موقعیت گسل ها ٤۷

۳-٤-۳-۲- فاصله از روستا ٤۷

۳-٤-۳-۳ - فاصله از شبکه جاده های ارتباطی ٤۸

۳-٤-۳-٤- فاصله از منابع قرضه(خاک رس) ٤۸

۳-٤-۳-٥ شیب بستر رودخانه ٤۸

۳-٤-۳-٦ فرسایش ٤۹

۳-٤-۳-۷- فاصله از اراضی کشاورزی ٤۹
۳-٤-٤- نیاز آبی منطقه ۵۰
۳-٤-٤-۱- نیاز آبی دامی ۵۰
۳-٤-٤-۲- نیاز آبی بخش کشاورزی ۵۱
۳-٤-۵- طبق بندی مکانها بر اساس شاخص های کمی ۵۳
۳-٤-۵-۱- شاخص مورفولوژیکی(α) ۵۳
۳-٤-۵-۲- شاخص هیدرولوژیکی(P) ٥٦
۳-٤-۵-۳- ضریب ترکیبی(β) ٥٦
۳-٤-٦- ارزیابی نقاط نسبت به یکدیگر و اولویت بندی ۵۷
۳-٤-٦-۱- وزن دهی ۵۷
۳-٤-٦-۲ وارد کردن نقاط مناسب در صفحه گسترده رتبه بندی ۵۹
۳-٤-٦-۳- رتبه بندی نقاط مناسب ٦۰

فصل چهارم (نتایج)

٤-۱-مقدمه ٦۱
٤-۲- انتخاب تنگه‌ها ٦۱
٤-۳- نتایج انتخاب‌های کیفی تنگه ها ٦۲
٤-۳-۱- دسترسی ٦۲
٤-۳-۱-۱- فاصله از روستا ٦۲
٤-۳-۱-۲- فاصله از اراضی کشاورزی ٦٤

عنوان	فهرست مطالب	صفحه

٤-٣-١-٣- فاصله از منابع قرضه ٦٦

٤-٣-١-٤- فاصله از راه‌های ارتباطی ٦٧

٤-٣-١-٥- تعیین مناطق با فرسایش‌پذیری بالا..... ٦٩

٤-٣-١-٦- شیب بستر رودخانه ٧٠

٤-٣-٢- حجم مخزن ٧٢

٤-٣-٣- نیاز آبی..... ٧٤

٤-٣-٣-١- نیاز آبی دامی ٧٤

٤-٣-٣-٢- نیاز آبی بخش کشاورزی ٧٤

٤-٤- نتایج انتخاب های کمی..... ٧٦

٤-٤-١- نتایج شاخص هیدرولوژیکی حوزه(P) ٧٦

٤-٤-١-١- نقشه CN ٧٦

٤-٤-١-١- محاسبه حجم آورد سالانه ٧٨

٤-٤-٢- نتایج شاخص مورفولوژیکی حوزه(α)..... ٨٢

٤-٤-٢-١- محاسبه حجم بدنه سد خاکی(V)..... ٨٣

٤-٤-٣- نتایج شاخص ترکیبی(β) ٨٤

٤-٥- ارزیابی نقاط نسبت به یکدیگر و اولویت بندی..... ٨٦

٤-٥-١- اولویت بندی نقاط انتخابی برحسب معیارهای کیفی..... ٨٨

٤-٥-١-١- اولویت بندی نقاط انتخابی از دیدگاه اقتصادی- اجتماعی ٨٨

٤-٥-١-١- اولویت بندی نقاط انتخابی براساس حجم مخزن ٨٩

٤-٥-٢- اولویت بندی نقاط انتخابی برحسب معیارهای کمی ٩١
٤-٦- ارزیابی آماری فاکتورهای استفاده شده در تعیین مکانهای مناسب ٩٤
٤-٦-١- عرض آبراهه در محل ساخت سد ٩٥
٤-٦-٢- شیب حوزه بالادست سد..... ٩٦
٤-٦-٣- شیب کف رودخانه در محل ساخت سد ٩٦
٤-٦-٤- حجم مخزن سد..... ٩٧
٤-٦-٥- حجم بدنه سد..... ٩٨
٤-٦-٦- حجم آورد سالیانه در خروجی هر زیرحوزه ٩٩
٤-٦-٧- زمان تمرکز (Tc) ١٠٠

بحث، نتیجه گیری و پیشنهادات

٥-١- مقدمه..... ١٠٢
٥-٢- بحث در یافته‌ها..... ١٠٣
٥-٢-١- بحث در یافته‌های زیرمعیارهای کیفی ١٠٣
٥-٢-١-١- بحث در یافته‌های زیرمعیار نیاز آبی ١٠٣
٥-٢-١-٢- بحث در یافته‌های زیرمعیار دسترسی ١٠٣
٥-٢-١-٣- بحث در یافته‌های زیرمعیار حجم مخزن سد..... ١٠٣
٥-٢-١-٤- بحث در یافته‌های معیار کیفی ١٠٤
٥-٢-٢- بحث در یافته‌های نتایج زیرمعیارهای کمی ١٠٥
٥-٢-٢-١- بحث در یافته‌های نتایج شاخص P ١٠٥

عنوان | فهرست مطالب | صفحه

. ۵-۲-۲-۲- بحث در یافته‌های نتایج شاخص α ۱۰۵

. ۵-۲-۲-۳- بحث در یافته‌های نتایج شاخص β ۱۰۶

. ۵-۲-۲-٤- بحث در یافته‌های نتایج معیار کمی ۱۰۷

۵-۳- نتیجه‌گیری ۱۰۷

۵-۳- نتیجه‌گیری ۱۰۸

۵-۳- پیشنهادات ۱۰۹

الف) پیشنهادات پژوهشی ۱۰۹

ب) پیشنهادات اجرایی ۱۱۰

مراجع ۱۱۲

صفحه | فهرست اشکال | عنوان

شکل ۱-۳- ساختار کلی سلسله مراتبی در تعیین مکان‌یابی سدهای کوتاه خاکی ۱۳
شکل۳-۱- منطقه مورد مطالعه(حوزه آبخیز کال آجی در استان گلستان) ۲۹
شکل۳-۲- پروفیل طولی آبراهه اصلی حوزه آبخیز کال‌آجی ۳۳
شکل ۳-۳- ارتباط میان GIS، HECgeo-HMS و HEC-HMS ٤۲
شکل ۳-٤- نمایی از نوارابزارهای Arc Hydro در ArcGIS ٤۳
شکل ۳-۵- نمودار روش پژوهش انجام شده در حوزه آبخیز کال آجی ٤۵
شکل ۳-٦- درخت تصمیم گیری برای معیارهای حذفی مورد نظر در مرحله اول ٤۹
شکل ۳-۷- نمای عرضی بدنه سد خاکی کوتاه ۵۳
شکل ۳-۸- پرسشنامه برای وزن دهی به معیارهای کیفی اقتصادی- اجتماعی(دسترسی) ۵۷
شکل ۳-۹- پرسشنامه برای وز ندهی به معیارهای کیفی اقتصادی- اجتماعی(نیاز آبی) ۵۸
شکل ۳-۱۰- پرسشنامه برای وزن دهی به معیارهای کمی ۵۸
شکل ۳-۱۱- پرسشنامه برای وزن دهی به معیارهای کیفی ۵۸
شکل ۳-۱۲- پرسشنامه برای وزن دهی به معیارهای کیفی و کمی ۵۸
شکل ٤-۱- موقعیت تنگه‌های مناسب انتخابی در حوزه آبخیز کال آجی ٦۱
شکل ٤-۲- موقعیت روستاهای موجود در حوزه آبخیز کال آجی ٦۲
شکل ٤-۳- بافر مناطق روستایی و موقعیت تنگه‌ها نسبت به بافر اعمال شده ٦۳
شکل ٤-٤- وضعیت اراضی زراعی و کشاورزی در حوزه مورد مطالعه ٦٤

صفحه | فهرست اشکال | عنوان

شکل ٤-٥- بافر اراضی زراعی و موقعیت تنگه‌ها نسبت به بافر اعمال شده ٦٤

شکل ٤-٦- موقعیت منابع قرضه در حوزه مورد مطالعه ٦٥

شکل ٤-٧- بافر منابع قرضه و موقعیت تنگه‌ها در حوزه مورد مطالعه ٦٦

شکل ٤-٨- وضعیت راه های ارتباطی موجود در حوزه آبخیز کال‌آجی ٦٧

شکل ٤-٩- بافر راه‌ها و مسیرهای ارتباطی و موقعیت تنگه ها نسبت به آن..... ٦٧

شکل ٤-١٠- مناطق با فرسایش پذیری بالا در حوزه آبخیز کال آجی ٦٨

شکل ٤-١١- مناطق فرسایشی و موقعیت تنگه ها نسبت به آن..... ٦٩

شکل٤-١٢- شبکه زهکشی حوزه آبخیز کال آجی..... ٧٠

شکل ٤-١٣- شیب آبراهه های مناسب و موقعیت تنگه ها نسبت به آن..... ٧٠

شکل ٤-١٤- دریاچه‌های تشکیل شده در اثر ساخت سدهای ١٠ متری خاکی ٧١

شکل ٤-١٥- نحوه محاسبه حجم دریاچه در نرم افزار ArcGIS 9.3 ..... ٧٢

شکل ٤-١٦- تعیین شیب اراضی قابل کشت آبی در حوزه آبخیز کال‌آجی..... ٧٤

شکل ٤-١٧- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز کال آجی ٧٥

شکل ٤-١٨- نقشه گروه های هیدرولوژیکی خاک و نحوه پراکنش آن..... ٧٦

شکل ٤-١٩- نقشه CN حوزه آبخیز کال آجی ٧٧

شکل ٤-٢٠- مقطع عرضی سدهای طراحی شده ٨٢

شکل ٤-٢١- تعیین نرخ ناسازگاری با استفاده از نرم افزار Expert Choice..... ٨٦

شکل ٤-٢٢- مقادیر و وضعیت هریک از نقاط انتخابی نسبت به زیرمعیارهای کمی ٩١

شکل ٤-٢٣- نمودار پراکندگی عرض آبراهه با شاخص ترکیب β و ضریب تبیین و همبستگی ٩٤

صفحه | فهرست اشکال | عنوان

شکل ٤-٢٤- نمودار پراکندگی شیب حوزه با شاخص ترکیب β و ضریب تبیین و همبستگی.....٩٥
شکل ٤-٢٥- نمودار پراکندگی شیب بستر با شاخص ترکیب β و ضریب تبیین و همبستگی.....٩٦
شکل ٤-٢٦- نمودار پراکندگی حجم مخزن با شاخص ترکیب β و ضریب تبیین و همبستگی ٩٧
شکل ٤-٢٧- نمودار پراکندگی حجم بدنه سد با شاخص ترکیب β و ضریب تبیین و همبستگی ٩٨
شکل ٤-٢٨- نمودار پراکندگی حجم آورد سالیانه با شاخص ترکیب β و ضریب تبیین و همبستگی ٩٩
شکل ٤-٢٩- نمودار پراکندگی زمان تمرکز با شاخص ترکیب β و ضریب تبیین و همبستگی.....٩٩

عنوان | فهرست جداول | صفحه

جدول۱-۱ تعین ارزش معیارها نسبت به یکدیگر با استفاده از نظرات شفاهی افراد ۱٤

جدول ۳-۱- مشخصات کلی زیرحوزه‌های آبخیز کال آجی ۳۱

جدول۳-۲- مشخصات زیرحوزه‌های اصلی حوزه آبخیز کال آجی ۳۲

جدول ۳-۳- شیب حوزه آبخیز کال‌آجی و زیرحوزه‌های آن برحسب درصد ۳۲

جدول۳-٤- مشخصات شبکه زهکشی حوزه آبخیز کال آجی ۳۳

جدول ۳-۵- زمان تمرکز مناسب زیرحوزه‌های مورد مطالعه ۳۵

جدول ۳-٦- طول راه‌های ارتباطی در حوزه آبخیز کال‌آجی برحسب متر ۳۵

جدول ۳-۷- مشخصات و متوسط سالانه بارندگی ایستگاه‌های منتخب ۳٦

جدول ۳-۸- متوسط سالانه بارندگی زیرحوزه‌های آبخیز مورد مطالعه ۳٦

جدول ۳-۹- توزیع فراوانی واحدهای زمین‌شناسی حوضه آبخیز کال آجی ۳۸

جدول ۳-۱۰- مشخصات عمومی بندهای خاکی حوزه کال آجی ۳۹

جدول ۳-۱۱- مشخصات حوزه بالادست بندهای خاکی حوزه کال آجی ٤۱

جدول ۳-۱۲- فراوانی دام‌های داشتی موجود در حوزه کال آجی به تفکیک جوامع ۵۱

جدول ۳-۱۳- میزان دام حوزه آبخیز کال آجی به تفکیک نوع دام ۵۱

جدول ۳-۱٤- مساحت اراضی زراعی کشاورزی در حوزه آبخیز کال آجی ۵۲

جدول ٤-۱- مشخصات مربوط به هر کدام از مخازن ۷۳

جدول ٤-۲- محاسبه میزان نیاز آبی روزانه و سالانه دام‌های موجود ۷٤

جدول ٤-۳- مشخصات حوزه‌های بالادست نقاط انتخابی ۷۸

جدول ٤-٤- محاسبه پارامتر شیب هر زیرحوزه ۷۹

عنوان | فهرست جداول | صفحه

جدول ٤-٥- محاسبه ضریب منطقه K ٨٠

جدول٤-٦- حجم آورد سالیانه و ارتفاع رواناب در هر زیرحوزه ٨١

جدول ٤-٧- شاخص هیدرولوژیکی بدست آمده در هر تنگه ٨٢

جدول ٤-٨- حجم سازه و ضریب α تنگه‌های انتخابی..... ٨٤

جدول ٤-٩- محاسبه مقادیر ضریب β ٨٥

جدول ٤-١٠- وزن در نظر گرفته شده برای هر کدام از معیارها ٨٦

جدول ٤-١١- تعیین مکانهای با اولویت اول و آخر برای هر زیرمعیار ٨٨

جدول ٤-١٢- تعیین اولویت نقاط انتخابی براساس دسترسی و نیاز آبی ٨٩

جدول ٤-١٣- تعیین اولویت نقاط انتخابی براساس حجم مخزن..... ٨٩

جدول ٤-١٤- تعیین وزن و اولویت نهایی نقاط انتخابی براساس معیار کیفی..... ٩٠

جدول ٤-١٥- تعیین وزن و اولویت نقاط انتخابی براساس زیرمعیارهای کمی..... ٩١

جدول ٤-١٦- تعیین اولویت و وزن نهایی نقاط انتخابی براساس معیارکمی ٩٣

جدول ٤-١٧- اولویت و وزن نهایی نقاط انتخابی براساس هدف اصلی در درخت تصمیم‌گیری ٩٤

جدول٤-١٨- ضرایب تبیین و همبستگی فاکتورهای موثر در امر مکان‌یابی سدهای خاکی ٩٥

فصل اول (کلیات)

۱-کلیات

۱-۱- مقدمه

امروزه در دنیا آب و منابع آبی یکی از مهمترین ارکان توسعه پایدار به‌شمار می‌روند. معطوف شدن اذهان عمومی به موضوع کنترل آب عمدتا به علت خطرات یا کمبودهایی است که دامن‌گیر بشر شده و مواردی مانند سیلاب‌های مخرب، خشکسالی‌ها و نامناسب بودن کیفیت آب را شامل می‌گردد. هدف عمده برنامه‌ریزی سیستم‌های منابع آب، تعیین گزینه‌های ممکن طراحی و مدیریت طرح‌های منابع آب و معرفی مناسب‌ترین گزینه می‌باشد. توزیع بارش در بسیاری از مناطق کشور به‌گونه‌ای است که در فصولی از سال بارش بیش از حد مورد نیاز و در فصول باقیمانده سال بارش کمتر از حد نیاز است. که این مساله باعث بروز مشکلاتی مانند کمبود آب برای کشاورزی و شرب در فصول کم آبی و بروز سیل‌های مخرب در فصول پر آبی می‌شود. در این مناطق به‌منظور مدیریت منابع آب، از ذخیره آب در فصول پرآبی و استفاده از آن در فصول کم‌آبی بهره گرفته می‌شود (بهبهانی و همکاران، ۱۳۸۵).

کشور ایران با میانگین بارندگی سالانه ۲۵۰ میلیمتر که کمتر از میانگین بارندگی آسیا و حدود یک سوم میانگین جهانی است دارای اقلیمی خشک و نیمه خشک می‌باشد. تنوع اقلیمی، شرایط توپوگرافی و جغرافیایی، توزیع ناموزون مکانی و زمانی جریانهای سطحی در انطباق با نیازهای آبی و تغییرات شدید بین سالی از ویژگی‌های هیدورلیکی بخش وسیعی از کشور ایران محسوب می‌شود. از این‌رو اصول مهندسی آبیاری از روزگاران پیشین مورد توجه ایرانیان قرار گرفته، تا جائی که به آن هنر آبیاری اطلاق می‌نموده‌اند. سد سازه‌ای است که می‌تواند مقدار زیادی آب را برای مصارف شرب، کشاورزی و یا کنترل سیلاب ذخیره نماید. در مقایسه با سایر مخازن ذخیره‌ای آب، هزینه ساخت سد بازای هر مترمکعب آب ذخیره شده بسیار کمتر می‌باشد زیرا سد، آب را هم در پشت خود و هم در قسمت حفاری شده برای ساخت

سازه ذخیره می‌نماید، در حالی‌که مخازن فقط در قسمت حفاری شده آب را ذخیره می‌کنند. سدهای خاکی[۱] یکی از قدیمی‌ترین و معمول‌ترین نوع سدهای کوچک می‌باشند که انسان بدلیل نیازهای اولیه خود در زمینه تأمین آب شرب، فعالیت‌های کشاورزی و شرب دام مبادرت به احداث آن نموده است. طراحی و ساخت سدهای خاکی از جمله علومی است که قدمت آن به چند هزار سال می‌رسد و بسیاری از کشورهای واقع در در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، از جمله ایران در این زمینه دارای تجارب سودمندی می‌باشند. احداث موفق یک سد مستلزم طی مراحل متعددی از جمله جانمایی، ارزیابی محل، طراحی، ساخت و نگهداری می‌باشد. عدم توجه کافی به هر یک از این مراحل می‌تواند سد را در معرض خطر و آبشستگی و در نهایت تخریب قرار دهد. به همین دلیل برای تمامی مراحل ساخت و ساز سد به متخصصین و پیمانکاران با تجربه نیاز می‌باشد. برای ساخت سدهای خاکی معمولا می‌توان از مصالح خاکی محلی استفاده نمود. برای این قبیل سدها نسبت هزینه مصالح به هزینه کارگر بسیار پایین می‌باشد و برای ساخت آنها نیز می توان از تجهیزات سبک و با حداقل هزینه استفاده نمود. سدهای خاکی را برخلاف سایر سدها در دره های عریض و مناطق با زمین‌های نامرغوب و فنداسیون ضعیف از نظر مقاومت نیز می‌توان احداث نمود و در مناطق خشک و نیمه‌خشک با باران‌های فصلی شدید و سیل خیز ساخت این سدها ضروری می‌باشد زیرا عدم وجود سدهای خاکی در چنین مناطقی باعث ایجاد خسارات مالی و جانی فراوان می‌شود. سدهای خاکی انواع متفاوتی دارند اما ساده‌ترین نوع اینگونه سدها که حتی امروزه نیز نظایر آن را می‌توان در اغلب نقاط ایران مشاهده نمود بندهای کوچک خاکی می‌باشند که با وسایل و ادوات ساده و ابتدایی مانند بیل و کلنگ در مسیر نهرهای آبیاری یا مسیل‌ها ساخته می‌شوند. اینگونه بندها در کل از مصالح بدون ملات به‌منظور ذخیره و بالا آوردن سطح آب و کنترل سیل و رسوب احداث می‌شوند. سدهای خاکی دو وظیفه مهم دارند: در درجه اول ذخیره آب برای مصارف متنوع و در درجه دوم کنترل سیلاب و مقاومت در برابر نیروهای وارده می‌باشد.

---

[۱] Earth dam

۲-۱- تعریف مسئله، ضرورت و اهمیت پژوهش

در بسیاری از مناطق جهان به‌خصوص نواحی خشک و نیمه‌خشک میزان بارش و رواناب حاصل از آن کم و میزان تبخیر و تعرق از سطح آب زیاد می‌باشد و جریان‌های سطحی در طول سال مزید بر مشکل بوده و منجر به خارج شدن حجم قابل توجهی آب از حوزه می‌گردد. در برخی از مناطق کشور با وجود رودخانه‌های فصلی کوچک و متوسط که میزان آبدهی نسبتا خوبی در اوایل فصل بهار دارند، اما به‌علت عدم کنترل رواناب و جریانات رودخانه که عمدتا بصورت سیلاب می‌باشد، مشکل کم‌آبی همچنان وجود دارد. سدهای خاکی یکی از روشهای اصلاح مکانیکی جهت جلوگیری از بروز سیل و فرسایش و همچنین نگهداری آب برای تغذیه سفره‌های زیرزمینی، کشاورزی و شرب و مصارف مردم محلی می‌باشد. لذا با رعایت اصول مدیریت آبخیزداری و اصول مهندسی می‌توان از این سازه‌ها به بهترین شکل ممکن برای جلوگیری از سیل و ایجاد عملیات ساماندهی در حوزه آبخیز استفاده نمود. از روشهای مهم در کنترل و کاهش رواناب جهت مهار یا به تعویق انداختن سیل و کاهش فرسایش و رسوب در منطقه مورد نظر عملیات مکانیکی آبخیزداری می‌باشد که احداث سدهای خاکی یکی از مهمترین می‌باشد. این سدها علاوه بر ذخیره آب، با کنترل جریان سیلابی باعث کاهش دبی اوج و خسارات وارده ناشی از آن می‌شوند و از این رو باید در مکان‌هایی احداث شوند که بهترین کارایی را از نظر حجم آب ذخیره‌ای و کاهش دبی سیل داشته باشند و علاوه بر بهبود وضعیت منطقه ما را در رسیدن به اهداف بلندمدت یاری نماید. استان گلستان به علت وضعیت خاص اقلیمی و آب و هوایی دارای رودخانه‌های متعدد و پرآبی می‌باشد که هر ساله به علت بارندگی‌های فصلی این رودخانه‌ها طغیان کرده و باعث ایجاد خساراتی به مزارع و باغات و حتی خسارات جانی می‌شود. از سوی دیگر در فصل زراعی که بیشتر در نیمه اول سال می‌باشد، به دلیل کاهش بارندگی‌های فصلی میزان آبدهی رودخانه‌ها کم شده و خشک‌سالی، محصولات کشاورزی را تهدید می‌کند (خرم و همکاران، ۱۳۸۷). بنا به دلایل ذکر شده احداث سدهای کوتاه در حوزه‌های آبخیز استان از جمله حوزه کال‌آجی لازم و ضروری بوده و برای کاهش هزینه‌های ساخت و همچنین دست‌یابی به بیشترین کارایی در راستای مرتفع نمودن مشکلات و مسائل اساسی بیان شده بایستی سدهای خاکی را در مکان مناسبی از حوزه احداث نمود.

حوزه کال آجی با مساحت۱۷۰۹۹/۹۳ هکتار در محدوده طول شرقی" ٠٤ '١٨ °٥٥ تا "٣٢ '٢٩ °٥٥ و عرض شمالی "٤٤ '٣٥ °٣٧ تا "٣٧ '٤٥ °٣٧ و تقریبا در شمال شهر کلاله ، واقع در شرق استان گلستان می‌باشد. روستاهای واقع در این حوزه شامل اقچی، گچی‌سو و کوچک گوگچه بوده که در شمال این حوزه واقع شده‌اند.

در این حوزه تا کنون ۲۷ بند خاکی به‌منظور جمع‌آوری آب منطقه برای مصارف کشاورزی و شرب احداث گردیده است. تحقیق پیش‌رو به منظور مکان‌یابی سدهای خاکی قابل احداث در منطقه می‌باشد.

۱-۳- سؤالات اساسی این تحقیق عبارتند از:

۱. مهمترین شاخص‌ها برای تعیین مکان‌یابی سدهای خاکی کدام است؟

۲. چگونه می‌توان در بین مناطق دارای پتانسیل برای احداث سد خاکی مکان مناسب را انتخاب کرد؟

۱-٤- اهداف پژوهش

در پژوهش حاضر، ۳ هدف مهم به شرح ذیل مد نظر بوده است:

۱- با بررسی نقشه های توپوگرافی، خاک‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه و همچنین عملیات میدانی و نمونه‌برداری تنگه‌های مناسب برای احداث سدهای خاکی شناسایی شود.

۲- انتخاب و اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای احداث سد خاکی در منطقه موردنظر (با استفاده از روش سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره و تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی MCDM و AHP).

۳- ساخت سد در بهترین مکان موجود در منطقه به‌منظور جلوگیری از هزینه‌های اضافی و ایجاد کارآیی بالا در سازه مورد نظر.

۱-۵- فرضیات پژوهش

در پژوهش حاضر، فرضیات پژوهش در ۲ دسته به شرح ذیل تقسیم‌بندی گردیده‌اند:

۱- شاخص‌های ژئومورفیکی و هیدرولوژیکی می‌توانند ابزار مناسبی برای انتخاب مکان مناسب برای احداث سدهای کوتاه خاکی باشند.

۲- با روشهای تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی[۱](AHP) و چندمعیاره[۲](MCDM) می‌توان با رتبه‌بندی و امتیازدهی مکان‌های مناسب تعین شده برای احداث سد خاکی بهترین و مناسب‌ترین مکان را انتخاب نمود.

۱-٦- تعاریف و مفاهیم

۱-٦-۱- سد خاکی

تیم[۳] (۲۰۱۰) سد کوتاه را این‌چنین تعریف می کند:

"سد کوتاه سدی است که حداکثر ارتفاع تاج آن از کف بستر آبراهه بیشتر از ۱۵ متر نشود و مخزن آن تا اندازه‌ای بزرگ نباشد که منافع اقتصادی قابل ملاحظه‌ای را منتج شود. همچنین مانند سدهای بزرگ نیاز به طراحی دقیق و خاصی نداشته باشد. سدهای کم ارتفاعی را که حجم مخزن آنها از یک میلیون متر مکعب تجاوز می‌کند را نمی‌توان جزء سدهای کوتاه به شمار آورد."

سدهای خاکی از نظر اندازه به دو نوع تقسیم می‌شوند:

الف) سدهای کوتاه خاکی یا بند خاکی، سدی است با ارتفاع ٦ تا ۱۲متر و حجم مخزن کمتر از یک میلیون مترمکعب که در آبخیزهای کوچک و بمنظور کنترل جریان های سیلابی و ذخیره موقت آب در فصول پر باران احداث می‌شوند، شالوده اینگونه سدها نیازی به طراحی ویژه و خاصی ندارد (نجفی نژاد، ۱۳۸۹).

---

۱ - Analytic Hierarchy Process
۲ - Multiple Criteria Decision Making
۳- Tim.

ب) سدهای بزرگ خاکی، سدی که ارتفاع آن بیشتر از ۱۵ متر و حداکثر به ۹۰ متر نیز میرسد و طول تاج آن بیشتر از ۵۰۰ متر و حجم دریاچه بیشتر از یک میلیون مترمکعب باشد و دبی تخلیه سرریز آن بیشتر از $۲۰۰۰\ m^3/s$ بوده و شالوده آن نیاز به طراحی ویژه دارد (نجفی نژاد، ۱۳۸۹).

محمود وفائیان (۱۳۷۷) تقسیم بندی دیگری بر اساس فرم و مصالح مقطع عرضی سدها بیان کرده است که بر این اساس به دو دسته تقسیم می‌شوند که بصورت:

۱. سدهای خاکی با توده همگن[۱]: این سدها شامل یک توده همگن که قسمت عمده آن رس و سیلیت (به تناسبی که نتایج آزمایشات مکانیک خاک آن‌را برای غیرقابل‌نفوذ بودن تایید می‌کنند) می‌باشند.

۲. سدهای خاکی مطبق[۲]: نوع مطبق یا هسته‌دار از معمول‌ترین نوع سدهای خاکی است. در این نوع، آب بندی سد بعنوان مخزن به عهده هسته است و نقش استحکام و پایداری را عمدتا پوسته سد ایفا می‌کند.

۱-۷- تاریخچه سدهای خاکی در ایران و جهان

ساخت اولین بندها و سدهای خاکی در جهان به دوران تمدن اولیه و به زمانی برمی‌گردد که انسان به فعالیت زراعت و کشاورزی روی آورد. از اولین نمونه‌های سدهای باستانی به سد خاکی ال کاتارا[۳] اشاره کرد که در حدود ٤٨٠٠ سال پیش در مصر ساخته شد، این سد متشکل از دو دیواره سنگریزه‌ای به فاصله ٣٦ متر و ارتفاع ۱۲ متر می‌باشد که بین آنها با مصالح خاکی مخلوط پر شده است. نمونه دیگر سد پداویل[٤] است که در سال ٥٠٤ قبل از میلاد در کشور سریلانکای قدیم (سیلان قدیم) ساخته شده است. طول، ارتفاع، عرض تاج و عرض قاعده این سد خاکی بترتیب ۱۸/۵ کیلومتر، ٢١/٤ متر، ۸ متر و ٦١ متر بوده است و برای ساخت آن از ۱۳ میلیون مترمکعب مصالح خاکی استفاده شده است. نمونه‌های بسیاری از چنین سازه‌های خاکی عظیم برای ذخیره سازی آب در بسیاری از کشورهای قدیمی و متمدن دنیا مانند

---

[۱] Homogeneous Embankment
[۲] Zoned Embankment
[۳] Sadd - El - Katara
[٤] Pedavil

چین، مصر، ایران و هندوستان وجود دارد. محدودیت ارتفاع برای سدهای خاکی بدلیل عدم وجود پایه‌های علمی لازم تا شروع قرن بیستم همواره ادامه داشت اما پس از جنگ جهانی اول و دوم، ساخت سدهای خاکی بصورت علمی و با ابعاد بسیار بزرگتر در سطح جهان معرفی شد. در اوایل نیمه دوم قرن نوزدهم اولین سدهای خاکی جدید با استفاده از ماشین‌آلات سنگین و وسایل تخصصی متراکم‌کننده خاک احداث شدند. همزمان با پیشرفت علم مکانیک و رشد صنعت تولید ماشین‌آلات سنگین و پرقدرت در فاصله دو جنگ جهانی، ساخت سدهای مدرن از سالهای ۱۹٤۰–۱۹۵۰ به بعد آغاز گردید، در واقع ساخت سدها و بندهای خاکی از آن تاریخ به بعد با تکیه بر یافته‌های علمی دقیق مکانیک خاک و با کمک ماشین‌آلات مناسب جلوه تازه‌ای به خود گرفت، به گونه‌ای که هم اکنون نیز بسیاری از این سدها و بندها موجود و در حال بهره‌برداری می‌باشند. این روند رو به رشد در سالهای اخیر نیز ادامه داشته و در حال حاضر طراحی و ساخت سدهای خاکی با ارتفاع بیشتر از ۳۰۰ متر (بیشتر از مرتفع ترین سد بتونی جهان) نیز ممکن گردیده است. طی ۳۰ سال گذشته صدها سد خاکی در جهان ساخته شده است که بندرت در آنها تخریبی مشاهده شده و اگر حادثه ای رخ داده باشد اغلب بعلت ضعف مطالعات ژئوتکنیکی تکیه‌گاه و ضعف عملیات ساختمانی بوده است (شکیب، ۱۳۸٦). در ایران نیز سابقه احداث سدها و بندهای خاکی در شکل-ها و ابعاد مختلف به گذشته بسیار دور برمی‌گردد، و با توجه به شرایط توپوگرافی و اقلیمی ایران استفاده از سدها و بندهای خاکی به‌منظور ذخیره‌سازی یا انحراف آب کاملا متداول بوده است، بطوری که هم اکنون نیز برخی از آثار اینگونه سدها در نقاط مختلف کشور قابل مشاهده می‌باشد برای نمونه می‌توان به آثار بندهای خاکی منطقه آبشینه همدان، سد خاکی قدیمی گرگان (گرکز)، بند سارهای مازندران و... اشاره کرد. اولین سد خاکی مدرن ساخته شده در ایران، سد گلپایگان به ارتفاع نهایی ٥٤ متر است که ساخت آن از سال ۱۳۲٦ شروع و در سال ۱۳۲۹ خاتمه یافت. بزرگترین سد خاکی اجرا شده از نظر ارتفاع در کشور، سد مارون با ارتفاع ۱٦٥متر، طول تاج ۳٤٥ متر و حجم ۱/۲ میلیارد مترمکعب که در ۱۹ کیلومتری شمال‌شرقی بهبهان در استان خوزستان ساخته شده است، از نظر طول تاج و حجم مخزن، سد کرخه به ارتفاع ۱۲۷ متر، طول تاج ۳۰۰۰ متر و حجم مخزن ۷/٤ میلیارد مترمکعب بزرگترین سد احداث شده در کشور می‌باشد که بر روی رودخانه کرخه در نزدیکی اندیمشک اجرا گردیده است (شکیب، ۱۳۸٦).

۱-۸- شرایط لازم برای انتخاب سد خاکی

سدهای خاکی باید در مکان‌هایی احداث شوند که ارجحیت آنها بر سدهای بتنی به اثبات رسیده باشد. شرایط و مکان‌های مناسبی که در آنها ساخت سدهای خاکی بر سایر سدها ارجحیت دارد بصورت زیر بیان شده است (نجفی نژاد، ۱۳۸۹):

۱. در جاهایی که دره خیلی عریض باشد.
۲. در نقاطی که پی‌های تحتانی و دیواره‌های جانبی محکم و مناسبی برای انتقال نیروهای وارده و مخرب به بدنه سدهای بتنی وجود نداشته باشد.
۳. جاهایی که مصالح خاکی مناسب و به اندازه مورد نیاز با هزینه پایین در دسترس باشد.
٤. در مناطقی که حمل بتن و سیمان بسیار پرهزینه و زمان‌بر باشد.
۵. مناطق دارای حرکات توده‌ای و زلزله‌خیز که سدهای خاکی بدلیل انعطاف‌پذیری بالا مقاومت بیشتری به اینگونه مسائل دارند.

۱-۹- مکان‌یابی سدهای خاکی

هدف‌ها و نیازهای متعددی با احداث یک سد خاکی دنبال شده که می‌توان بصورت زیر به آنها اشاره نمود:

- تأمین آب آشامیدنی شهرها، آبیاری دشت‌های کشاورزی و تأمین آب واحدهای صنعتی.
- مهار سیلاب‌های فصلی و کاهش خطرات تخریبی حاصل از آنها.

در برنامه‌های مطالعاتی برای ساخت سدخاکی در یک منطقه نکاتی باید مورد توجه قرار گیرد. اولین و مهمترین مرحله در اجرا و احداث یک سد مکان‌یابی آن می‌باشد، هر چند که در پروژه‌های سدسازی پایه تمام محاسبات بر تضمین موفقیت اجرای سد قرار دارد اما با وجود این مطلب تعدادی از سدها با