بسم الله الرحمن الرحیم
بسم الله الرحمن الرحیم
بسم الله الرحمن الرحیم

گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران - گرایش مهندسی آب

# بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم‌های چندمخزنی منابع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه NSGA-II

(مطالعه موردی سدهای استور و پیرتقی در حوضه آبریز قزل اوزن)

استاد راهنما :

**دکتر محمد باقر شریفی**

استاد مشاور:

**دکتر بیژن قهرمان**

نگارش :

**امین رضا ایزدخواه**

تابستان۸۹

# چکیده

مخازن سطحی یکی از منابع اصلی تأمین نیازهای آبی در مناطق شهری و کشاورزی بوده‌اند و بهره‌برداری از آنها یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت منابع آب می‌باشد. این موضوع بخصوص در کشورهای کم آب از اهمیت بیشتری برخوردار است. کشور ایران با داشتن بارندگی کمتر از یک سوم بارندگی متوسط دنیا جزء مناطق خشک به حساب می‌رود. در اینگونه مناطق استفاده از مدلهای بهینه بهره‌برداری، یکی از راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی است. در این زمینه مطالعات مختلفی انجام گرفته و مدلهای مختلفی جهت بهینه‌سازی و شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخازن ارائه شده است. از جدیدترین روشهای مورد استفاده در این زمینه که بر پایه جبهه پارتو بنا نهاده شده است، الگوریتم ژنتیک چند هدفه *NSGA-II* می‌باشد.

در این پژوهش برای حل مدل بهینه سازی چند هدفه پیشنهادی برای سامانه دو مخزنه سدهای استور و پیر تقی در حوضه آبریز قزل اوزن، از این الگوریتم استفاده شده است. اهداف مساله شامل حداکثر کردن درآمد ناشی از فروش انرژی تولیدی نیروگاهها و همچنین افزایش حجم ذخیره کنترل سیلاب در مخازن مورد مطالعه در ماههای سیلابی سال جهت کنترل سیلاب های محتمل می‌باشد. سیستم از دو مخزن متوالی بر روی رودخانه قزل اوزن تشکیل شده است،که در این مدل با توجه به مقادیر مشخصی از میزان رها سازی آب به نیروگاهها در طول دوره طرح (متغیر های تصمیم)، مناسب‌ترین الگوی بهره‌برداری از مخزن سدها، ذخیره حجمی از مخزن جهت کنترل سیلاب، تخصیص بهینه آن به نیروگاهها و در نهایت درآمد حاصل از فروش انرژی تولیدی به دست می آید. نتایج نهایی مسئله بصورت چندین راه حل بهینه که نسبت به هم برتری ندارند (مجموعه جوابهای بهینه پارتو) ارائه شده اند.

هر یک از این راه حلها، روشی از بهره برداری را مشخص می‌کنند. تصمیم گیرنده بر اساس شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه، یکی از این روشها را انتخاب خواهد کرد. در پایان نتایج به دست آمده با روش الگوریتم ژنتیک (*GA*) که در گذشته انجام شده است مقایسه و مزایا و معایب آنها نسبت به یکدیگر بررسی شده‌اند.

**کلید واژگان:** الگوریتم ژنتیک چندهدفه *NSGA-II*، بهینه‌سازی چند هدفه، مجموعه جوابهای بهینه پارتو، کنترل سیلاب، انرژی تولیدی نیروگاه، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخازن.

## تعهد نامه اصالت اثر

گواهی می شود مطالب مندرج در این رساله نتیجه کار پژوهشی دانشجو می‌باشد و بـه دسـتاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده، مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این رسـاله قـبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است.

نام دانشجو: امضا تاریخ

نام استاد راهنما : امضا تاریخ

# تقدیم به پدر و مادر مهربانم

که در تمام لحظات دشوار زندگی، بی دریغ حمایتشان را نثارم نمودند

و به من آموختند که گذر از کوچه پس کوچه های زندگی پای رفتن می طلبد

# تقدیم به همسر عزیزم

که با حضور دلسوزانه اش همراهیم کرد و نور امید را به قلبم هدیه داد

و تقدیم به تمامی اساتید و معلمان بزرگواری

که در طول سال های تحصیل بارهنمودهای ارزشمندشان، همواره هدایتگرم بودند، راه درست پژوهش را به من آموختند و شوق یاد گرفتن، آموختن و تجربه کردن را در من بیدار کردند

بویژه اساتید ارجمندم

دکتر محمد باقر شریفی و دکتر بیژن قهرمان

که در تدوین این رساله از دانش و حمایتشان بهره فراوانی بردم و این رساله تلاش ناچیزی برای تقدیر از آن هاست

# و با سپاس از دوستان عزیزم

مهندس محمد نوری  دانشجوی دکتری عمران-آب

و

مهندس ناصر موسویان  دانشجوی دکتری عمران-آب

که در مراحل انجام این تحقیق یاریگرم بودند.

فهرست مطالب


عنوان صفحه

## فصل اول: کلیات و اهداف

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- روشهای مهار سیلاب ۲
۱-۲-۱- روشهای غیر سازه ای ۳
۱-۲-۲- مهار سیلاب با استفاده از مخازن ۵
۱-۲-۳- بهینه سازی حجم مخزن ۵
۱-۳- ضرورت تحقیق ۶
۱-۴- ساختار پایان نامه ۷

## فصل دوم: پیشینه مطالعات انجام شده

۲-۱- مقدمه ۸
۲-۲- پیشینه مطالعات در زمینه مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه ۹
۲-۳- پیشینهٔ مطالعات در زمینه کاربرد الگوریتم ژنتیک در مدیریت منابع آب ۱۲
۲-۴- پیشینه مطالعات در زمینه کاربرد مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه در مدیریت منابع آب ۱۵
۲-۵- جمع بندی ۱۷

## فصل سوم: روش‌های بهینه‌سازی و الگوریتم‌های فراکاوشی

۳-۱- مقدمه ۱۸
۳-۲- ساختارمدل های ریاضی ۲۰
۳-۳- برنامه ریزی خطی ۲۱

۳-۳-۱- برنامه ریزی متغیرهای صحیح ۲۱
۳-۳-۲- برنامه ریزی احتمالی ۲۱
۳-۳-۲-۱- برنامه ریزی شانسی ۲۲
۳-۴- برنامه ریزی غیرخطی ۲۲
۳-۴-۱- بهینه سازی با محدودیت های خطی ۲۲
۳-۵- برنامه ریزی پویا ۲۳
۳-۶- مدلهای بهینه سازی چند هدفه ۲۳
۳-۶-۱- روش وزن دهی ساده ۲۳
۳-۶-۲- روش حدی ۲۴
۳-۷- الگوریتمهای فراکاوشی ۲۵
۳-۷-۱- روشهای خط سیر ۲۶
۳-۳-۲-۱- جستجوی موضعی پایه ۲۷
۳-۳-۲-۲- نورد شبیه سازی شده ۲۷
۳-۳-۲-۳- جستجوی ممنوعه ۲۸
۳-۳-۲-۴- روشهای جستجوی موضعی اکتشافی ۲۸
۳-۷-۲- روشهای برپایه جمعیت ۲۹
۳-۳-۲-۱- محاسبات تکاملی ۲۹
۳-۷-۳- الگوریتم بهینه سازی جامعه مورچه ها*(ACO)* ۳۰
۳-۷-۴- الگوریتم ژنتیک ۳۰
۳-۸- جمع بندی ۳۲

## فصل چهارم: الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی چند هدفه

۴-۱- مقدمه ۳۳
۴-۲- مفاهیم اولیه در الگوریتم ژنتیک ۳۴
۴-۲-۱-کدینگ ۳۴
۴-۲-۱-۱-انواع کدینگ ۳۵
۴-۲-۱-۲- روشهای کدینگ ۳۵
۴-۲-۲- کروموزوم ۳۸
۴-۲-۳- جمعیت ۳۸
۴-۲-۴- مقدار برازندگی ۳۹
۴-۳- مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله تخصیص منابع محدود ۳۹

۴-۴- عملگرهای ژنتیکی ۴۲
۴-۴-۱- انتخاب ۴۲
۴-۴-۲- عملگر تزویج ۴۴
۴-۴-۳- عملگر جهش ۴۶
۴-۵- عملگرهای ژنتیکی برای اعداد حقیقی ۴۷
۴-۶- همگرایی الگوریتم ژنتیک ۵۰
۴-۷- انتخاب نخبه گرا ۵۱
۴-۸- ویژگیهای الگوریتم ژنتیک ۵۱
۴-۹- بهینه‌سازی چند هدفه ۵۳
۴-۱۰- مدل بهینه‌سازی چندهدفه *NSGA-II* ۵۸
۴-۱۰-۱- روش مرتب سازی غیر پست سریع برای نزدیک شدن به جواب ۶۰
۴-۱۰-۲- تخمین ازدحام ۶۲
۴-۱۰-۳- محاسبه فاصله ازدحام ۶۲
۴-۱۰-۴- عملگر مقایسه ازدحام ۶۳
۴-۱۱- صحت سنجی برنامه ۶۶
۴-۱۱-۱- بررسی صحت عملکرد کد *NSGA-II* ۶۶
۴-۱۲- جمع بندی ۷۰

## فصل پنجم: تشریح وضعیت محدوده مطالعاتی

۵-۱- مقدمه ۷۱
۵-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۷۲
۵-۲-۱- مختصات جغرافیایی سد استور ۷۴
۵-۲-۲- مختصات جغرافیایی سد پیرتقی ۷۴
۵-۳- اطلاعات پایه منطقه مورد مطالعه ۷۴
۵-۳-۱- پتانسیل آب سطحی ۷۴
۵-۳-۲- روابط سطح و حجم و ارتفاع ۷۵
۵-۳-۳- تبخیر از سطح آزاد آب ۷۷
۵-۳-۴- بارندگی ۷۷
۵-۳-۵- مشخصات کلی سد استور ۷۸

۵-۳-۶- مشخصات کلی سد پیرتقی ۷۸

## فصل ششم: طرح مسئله و ساختار مدل پیشنهادی برای بهینه‌سازی

۶-۱ مقدمه ۷۹
۶-۲- طرح مساله ۸۰
۶-۳- مسئله بهینه سازی چند مخزنه ۸۱
۶-۳-۱- توابع هدف ۸۱
۶-۳-۲- قیدهای مدل ۸۳
۶-۳-۲-۱- بیلان آب در مخازن ۸۳
۶-۳-۲-۲- محدودیت میزان رهاسازی آب ۸۴
۶-۳-۲-۳- وجود حداقل جریان در پایین دست جهت حفظ مسائل زیست محیطی ۸۵
۶-۳-۳- توابع جریمه ۸۶
۶-۳-۳-۱- تابع جریمه مربوط به حجم آب مخازن سد ۸۶
۶-۳-۳-۲- تابع جریمه مربوط به میزان رهاسازی آب ۸۶
۶-۳-۳-۳- تابع جریمه مربوط به حداقل نیاز پایین دست ۸۶

## فصل هفتم: استخراج و تحلیل سیاست‌های بهره‌برداری بهینه در محدوده مطالعاتی

۷-۱- مقدمه ۸۸
۷-۲- ساختار مدل بهینه سازی الگوریتم *NSGA-II* ۸۹
۷-۳- نتایج اجرای مدل بهینه سازی ۹۲
۷-۳-۱- توضیح و تفسیر مجموعه جوابهای غیر پست به دست آمده ۹۳
۷-۳-۲- ارتفاع آب در مخازن مورد بررسی ۹۵
۷-۳-۳- میزان رهاسازی از هر مخزن در طول دوره ۹۵
۷-۳-۴- ظرفیت نصب و انرژی تولیدی هر یک از نیروگاه ها در طول دوره ۹۶
۷-۳-۵- میزان تلفات از مخازن ۹۸
۷-۴- نتایج و تحلیل اقتصادی در حالت بهینه ۹۹
۷-۴-۱- شاخص‌های مدل در حالت بهینه به روش *NSGA-II* ۱۰۰

۷-۵- مقایسه نتایج حاصل از بهینه سازی به کمک *NSGA-II* و روش الگوریتم ژنتیک ۱۰۲
۷-۵-۱-بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک ۱۰۲
۷-۵-۱-۱- شاخص‌های مدل در حالت بهینه به روش الگوریتم ژنتیک ۱۰۶
۷-۶- جمع بندی ۱۰۸

## فصل هشتم : نتیجه گیری و ارائه راهکارهای پیشنهادی

۸-۱- مقدمه ۱۱۰
۸-۲- خلاصه ۱۱۱
۸-۳- نتیجه گیری ۱۱۲
۸-۴- پیشنهادات ۱۱۴
منابع ۱۱۶

# فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


شکل (۴-۱): کدینگ باینری ۳۶
شکل (۴-۲): کدینگ جهشی ۳۶
شکل (۴-۳): کدینگ ارزشی ۳۷
شکل (۴-۴): کدینگ درختی ۳۸
شکل (۴-۵): نمایش یک کروموزوم $n$ بیتی در پایه عددی $m$ ۳۸
شکل (۴-۶): ساختار مدل الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بهینه سازی ۴۱
شکل (۴-۷): چرخ رولت ۴۳
شکل (۴-۸): عمل تزویج تک نقطه ای ۴۵
شکل (۴-۹): عمل تزویج دو نقطه ای ۴۵
شکل (۴-۱۰): عمل تزویج سه نقطه ای ۴۵
شکل (۴-۱۱): عمل تزویج یکنواخت ۴۶
شکل (۴-۱۲): عمل جهش ۴۶
شکل (۴-۱۳): نمایی از الگوریتم مرتب سازی غیر پست جوابها در مدل *NSGA-II* ۶۱
شکل (۴-۱۴): نحوه محاسبه فاصله ازدحام برای دو هدف ۶۳
شکل (۴-۱۵): نمایی از الگوریتم محاسبه فاصله ازدحام در مدل *NSGA-II* ۶۳
شکل (۴-۱۶): نحوه کار مدل *NSGA-II* ۶۵
شکل (۴-۱۷): نقاط بهینه پارتو در مثال اول ۶۶
شکل (۴-۱۸): نقاط بهینه پارتو در مثال دوم ۶۷
شکل (۴-۱۹): نقاط بهینه پارتو در مثال سوم ۶۸
شکل (۴-۲۰): نقاط بهینه پارتو در مثال چهارم ۶۹
شکل (۵-۱): حوضه آبریز سفیدرود ۷۳
شکل (۵-۲): موقعیت سرشاخه های حوضه آبریز قزل اوزن و سدهای مورد بررسی ۷۳
شکل (۵-۳): منحنی سطح، حجم و ارتفاع مخزن استور ۷۶
شکل (۵-۴): منحنی سطح، حجم و ارتفاع مخزن پیرتقی ۷۷
شکل (۶-۱): شکل شماتیکی مساله بهینه‌سازی ۸۰
شکل (۶-۲): تغییرات راندمان توربین های فرانسیس در برابر نسبت هد به هد حداکثر ۸۳
شکل (۷-۱): نقاط بهینه پارتو توسط مدل *NSGA-II* ۹۲

شکل (۷-۲): منحنی پارتو به دست آمده توسط [۱] ۹۴
شکل (۷-۳): تغییرات ارتفاع آب در مخازن استور و پیر تقی ۹۵
شکل (۷-۴): تغییرات رها سازی آب بر حسب متر در مخازن استور و پیر تقی ۹۶
شکل (۷-۵): تغییرات ظرفیت نسب نیروگاه در طول دوره در مخازن استور و پیر تقی ۹۷
شکل (۷-۶): تغییرات انرژی تولیدی ماهانه نیروگاه در طول دوره در مخازن استور و پیر تقی ۹۷
شکل (۷-۷): تبخیر از سطح مخازن استور و پیر تقی در طول دوره (میلیمتر) ۹۸
شکل (۷-۸): آب سرریز شده از مخازن استور و پیر تقی در طول دوره (میلیون متر مکعب) ۹۹
شکل (۷-۹): تغییرات ارتفاع آب در مخزن ۱ در طول دوره ۱۰۴
شکل (۷-۱۰): تغییرات ارتفاع آب در مخزن ۲ در طول دوره ۱۰۴
شکل (۷-۱۱): میزان رهاسازی جریان از مخازن ۱ و ۲ به نیروگاه های مربوطه ۱۰۴
شکل (۷-۱۲): تغییرات ظرفیت نصب نیروگاه در طول دوره در مخازن ۱ و ۲ ۱۰۵
شکل (۷-۱۳): تغییرات انرژی تولیدی ماهانه نیروگاه در طول دوره در مخازن ۱ و ۲ ۱۰۵
شکل (۷-۱۴): آب سرریز شده از مخازن ۱ و ۲ در طول دوره (میلیون متر مکعب) ۱۰۵

# فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**


جدول (۵-۱): میانگین سری بلند مدت آبدهی در ساختگاه های مورد بررسی ۷۴

جدول (۵-۲): روابط سطح، حجم و ارتفاع مخزن استور ۷۵

جدول (۵-۳): روابط سطح، حجم و ارتفاع مخزن پیرتقی ۷۶

جدول (۵-۴): توزیع ماهیانه تبخیر ($mm$) از سطح آزاد آب در ساختگاه های مورد بررسی ۷۷

جدول (۵-۵): توزیع ماهیانه بارندگی ($mm$) در سطح حوضه در ساختگاه های مورد بررسی ۷۷

جدول (۷-۱): نوع و ضرایب عملگر های به کار رفته در برنامه *NSGA-II* ۹۱

جدول (۷-۲): قیمت فروش هر واحد انرژی و درآمد کل در مخازن ۱ و ۲ ۱۰۱

جدول (۷-۳): حجم آب ذخیره شده در مخازن ۱ و ۲ در ماه های سیلابی جهت کنترل سیلاب ۱۰۱

جدول (۷-۴): قیمت فروش هر واحد انرژی و درآمد کل در مخازن ۱ و۲ ۱۰۶

جدول (۷-۵): حجم آب ذخیره شده در مخازن ۱ و ۲ در ماه های سیلابی جهت کنترل سیلاب ۱۰۷

جدول (۷-۶): نتایج به دست آمده توسط دو مدل ۱۰۷

# کلیات و اهداف

## ۱–۱– مقدمه

مخزن سد یکی از مهمترین ذخیره کننده های آب سطحی می باشد و بهینه سازی بهره برداری از سامانه های تک مخزنه و چند مخزنه از بخشهای مهم و جدایی ناپذیر در مدیریت منابع آب می باشد.

تاریخچه بهره برداری از مخازن، آشکارا نشان می دهد که تحقیقات بسیار زیادی در زمینه برنامه ریزی و بهینه سازی سیستمهای پیچیده منابع آب صورت گرفته است. کاربرد تکنیکهای بهینه سازی برای بهره برداری از مخازن مهم ترین موضوع در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب می باشد و در دو دهه اخیر بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است.

دربسیاری از سیستمهای منابع آب، مد نظر قرار دادن تنها یک هدف برای رسیدن به بهره برداری مطلوب، غیر ممکن می باشد. در هنگام بهره برداری از مخزن سد با اهداف گوناگونی مانند مهار سیلاب، تامین نیاز آبی (شرب، صنعت، کشاورزی) در پایین دست، تولید انرژی برقابی و اهداف زیست محیطی و ... روبرو هستیم که رابطه بین این اهداف به صورت خطی نمی باشد و به همین دلیل بهره برداری از سیستمهای منابع آب شامل پیچیدگی ها و مشکلات زیادی در زمینه تصمیم گیری می باشد. در بهینه سازی چند هدفه تنها یک جواب بهینه وجود ندارد، بلکه بر هم کنش و ارتباط بین چند هدف، یک سری از جوابهای بهینه شده غیر پست ( نسبت به هم برتری ندارند) را حاصل می کند که به مجموعه این راه حل های بهینه، راه حلهای بهینه پارتو

(*Pareto*) گفته می شود. این مجموعه جواب، انعطاف پذیری بیشتری را به تصمیم گیرنده می دهد تا انتخاب مناسب تری داشته باشد.

در زمینه مهندسی منابع آب و بطور خاص بهره برداری از مخازن، روش الگوریتم ژنتیک با قدرت محاسباتی بالا نسبت به روشهای کلاسیک و همچنین با در نظر گرفتن پیچیدگی های سیستمهای منابع آب مانند عدم قطعیت ها و عدم صراحتهای موجود، جواب های مناسبی را پیدا می کند. هر چند روشهای چند هدفه الگوریتم ژنتیک زیادی وجود دارد، در این تحقیق از یکی از پر کاربردترین روشهای تکامل یافته ژنتیک به نام *NSGA-II*[۱] استفاده شده است.

با توجه به اهداف این رساله، در این قسمت به توضیح برخی نکات می پردازیم:

## ۱–۲– روشهای مهار سیلاب

استنباطی که غالباً از سیل می شود، عبارت است از جریان یا دبی زیاد که باعث خسارات می گردد و در این رابطه مقدار شدت جریان، حجم زیاد آب و مدت زمان سیلاب مورد توجه می باشد. در یک سیلاب، جریان بحرانی همواره مقدار جریان مازاد بر دبی های حداکثر ظرفیت عبور رودخانه است که مشکل آفرین می گردد.

با توجه به دیدگاههای متفاوت از مفهوم سیلاب، ارائه تعریفی جامع و کامل برای سیل ضروری به نظر می رسد. به طور کلی می توان چنین استنباط نمود که هر جریان سطحی آب، صرف نظر از عامل ایجاد کننده آن در صورتی سیل تلقی می گردد که :

- ✓ جریان آب بیش از جریان عادی در هر مقطع رودخانه باشد.
- ✓ تداوم زمانی محدودی داشته باشد.
- ✓ جریان آب از بستر طبیعی خود تجاوز کند و اراضی حاشیه رودخانه را فرا گیرد.
- ✓ خسارات مالی و جانی به همراه داشته باشد.

روشهای مهار سیلاب به دو دسته روشهای سازه ای و غیر سازه ای تقسیم بندی می شوند.

---

[۱] *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm*

در روشهای سازه ای عمدتاً مهار سیلاب با احداث سازه ها و یا ساماندهی مسیر رودخانه می باشد. در حالی که در روشهای غیر سازه ای، هدف مهار سیلاب با استفاده از شیوه های مدیریتی و پیش بینی سیلاب است.

## ۱–۲–۱– روشهای غیر سازه ای

اگر چه بهره گیری از روشهای سازه ای جایگاه بسیار متداول و موثری در سیستمهای کنترل سیلاب دارد ولی اخیراً تکیه بیشتری بر روشهای غیر سازه ای و مدیریت حوزه آبریز و تأثیر این سیاست ها در کاهش خسارات سیل شده است. روشهای غیر سازه ای، علاوه بر فراهم نمودن تمهیداتی قبل از وقوع سیل، در هنگام بروز سیل و یا حتی پس از آن نیز اقداماتی را جهت حداقل کردن خسارت پیش بینی می کند. در ادامه توضیحات بیشتری در مورد این روشها ارائه شده است.

### ❖ مدیریت بهره برداری از سد

برای کاهش خسارت سیل در پایین دست سد، مدیریت بهره برداری و نحوه برخورد با سیلاب اهمیت زیادی دارد. سیاست عملکرد مناسب دریچه ها بستگی به داشتن هیدروگراف واقعی سیل دارد. حداکثر دبی تخلیه دریچه ها نیز نباید به اندازه ای باشد که خود برای پایین دست سیلاب محسوب نشود. ظرفیت حداکثر رودخانه های پایین دست مخازن با داشتن پروفیلهای عرضی و طولی و با توجه به نقاط آسیب پذیر پایین دست، قابل محاسبه می باشد. هر چه این ظرفیت کمتر باشد، قسمتی از حجم که برای کنترل سیلاب در نظر گرفته می شود، بزرگتر می شود.

### ❖ تصحیح کاربری اراضی

یکی دیگر از روشهای غیر سازه ای کنترل سیلاب، تصحیح کاربری اراضی در دشتهای سیلابی می باشد که شاید مهمترین تاثیر را در کاهش خسارات داشته باشد. در این حالت با وضع قوانین و محدودیتهایی جهت استفاده از زمینهای اطراف رودخانه، محدوده ای از زمینهای مالکین اطراف رودخانه را که توسط سیلاب خسارت خواهند دید مشخص کرده و این محدوده را به عنوان حاشیه رودخانه به حساب می آورند. چون از

نظر قانونی محدودیت زیادی جهت ساختن ساختمان در پهنه سیلاب وجود ندارد، مسئولین امر در این رابطه با مشکلات اساسی مواجه هستند.

در کشورهای پیشرفته قوانین زیادی در رابطه با محدود کردن کارهای ساختمانی در زمین های حاشیه رودخانه وضع شده، ولی در دراز مدت فشارهای اقتصادی جهت توسعه کارهای ساختمانی و سودهای ناشی از آن، باعث نقض این قوانین گردیده است.

یکی از ابزارهای نوین که در سال های اخیر کاربرد وسیعی در تخمین آثار تغییر در کاربری اراضی در شرایط کمی و کیفی منابع آب حوزه های آبریز داشته، سیستم های جغرافیایی*(GIS)* بوده است. این سیستم ها با به کارگیری اطلاعات گسترده در سطح حوزه، امکان بهره گیری از حجم وسیع اطلاعات لازم برای مدل های مختلف هیدرولیکی و هیدرولوژیکی را فراهم می نمایند.

### ❖ بیمه سیل

"بیمه سیل" از ابزارهای مناسبی است که با هدف ایجاد انگیزه برای سرمایه گذاری در طرحهای توسعه، نگرانی ضایعات و زیانهای ناشی از سیل را کاهش می دهد. پرداختهای سالیانه به بیمه باعث می شود که توسعه ساختمان سازی غیر اقتصادی در مناطق پهنه سیلاب، محدود شود. میزان حق بیمه بستگی به نحوه استفاده از زمین ها دارد. تخمین هزینه سیل از ملکی به ملک دیگر متفاوت است. پیش بینی یک خسارت متوسط برای تعیین میزان منافع از دست رفته کافی است، ولی برای تعیین میزان حق بیمه ملک مناسب نیست. زمین هایی که حق بیمه کمتری را به خود اختصاص می دهند، مکانهای مناسبتری برای طرح های اقتصادی و اجرایی می باشند. در اجرای طرح بیمه، تخمین دقیق تر خسارت سیل اهمیت بسزایی دارد.

## ۱–۲–۲– مهار سیلاب با استفاده از مخازن

هدف از احداث مخازن مهار یا تسکین سیل و کاهش آبدهی اوج سیل طرح می باشد. این هدف، عملا به کمک ذخیره بخشی از جریان سیل در مخزن امکان پذیر می گردد. بدیهی است در شرایط خاص به ویژه برای برخی از سیلهای کوچکتر از سیل طرح، امکان ذخیره تمامی جریان یک سیل نیز وجود خواهد داشت.

مطلوب ترین وضعیت برای مهار سیلاب در آبراهه، هنگامی ایجاد می شود که مخزن درست در بالا دست بازه مورد حفاظت واقع شود و به نحوی مورد بهره برداری قرار گیرد یا کار کند که جریان خروجی از آن در هر شرایط به کمترین میزان برسد. از سوی دیگر باید شرایطی برای بهره برداری فراهم آید که دست کم در وضعیت غیر سیلابی همواره جریان خروجی از سد بیشتر از جریان ورودی به آن و کمتر از ظرفیت آبدهی ایمن آبراه یا به عبارتی سیلاب طراحی باشد. از این‌رو، در شرایطی که جریان ورودی به سد بیشتر از ظرفیت آبدهی ایمن آبراه باشد، لازم است تا زمان کاهش جریان ورودی و رسیدن آن به دبی ایمن رودخانه، مازاد جریان در مخزن ذخیره شود و به مجرد فراهم آمدن شرایط مناسب، به آبراهه تخلیه شود تا امکان بازیافت گنجایش مخزن و آماده سازی آن برای مهار سیلاب بعدی فراهم آید.

## ۱–۲–۳– بهینه سازی حجم مخزن

با توجه به نقش مخازن در کنترل سیلاب و در عین حال تولید انرژی برقابی، تعیین چگونگی بهره برداری از آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. تراز مخزن یا در واقع حجم مخزن در هر ماه یکی از متغیرهای مهمی است که در برآورده ساختن دو هدف مذکور و تعیین چگونگی بهره برداری از مخازن نقش بسزایی دارد. حجم ذخیره آب ممکن مخازن را می توان به دو بخش کنترل سیلاب و ارتفاع لازم برای تولید انرژی برقابی تقسیم کرد، تعیین مقدار هر یک از دو بخش ذخیره مخزن نیاز به استفاده از الگوریتم های بهینه سازی دارد. در این پروژه، کاری که انجام شده است، بهینه سازی بین اهداف مختلف شامل افزایش سود ناشی از تولید انرژی برقابی و افزایش حجم ذخیره کنترل سیلاب می باشد.