

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



**دانشگاه آزاد اسلامی**  
**واحد تهران مرکزی**  
**دانشکده فنی، گروه عمران**

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)  
گرایش: مهندسی عمران آب

**عنوان:**

سیستم هشدار دهنده خشکسالی بر اساس روش حد آستانه (مطالعه موردی: سد کرج)

**استاد راهنما:**

دکتر بهرام ثقفیان

**استاد مشاور:**

دکتر هومن حاجی کندی

**پژوهشگر:**

سودابه آذرنیا

زمستان ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادرم

برای مادرم که مهرش در دلم گرامی و مقدس است

به پدرم که لطفش بنایی شد برای تلاش پر شورم در کسب دانش

## تقدیر و تشکر

سپاس خدا را که نور شناختش را به قلب ما تابانید و شکرش را بر وجودمان الهام فرمود. دروازه بی پایان دانش به پروردگارش را بر ما گشود. شکر خداوند متعال که توفیق اتمام مرحله ای دیگر از تحصیل را میسر کرد. بر خود واجب می دانم تا از عزیزانی که در کلیه مراحل، این حقیر را یاری نموده اند تشکر و قدردانی کنم. زحمات استاد گرامی ام جناب آقای دکتر بهرام ثقفیان را ارج می نهم که با صبر و حوصله بسیار مرا در مسیر این رساله هدایت فرمودند، از سرکار خانم فاطمه قبادی با یاری ها و راهنمایی های بی دریغشان که بسیاری از سختی ها را برایم آسان تر نمودند، از استاد مشاورم جناب آقای دکتر هومن حاجی کندی که از هر گونه همکاری دریغ ننموده اند، تشکر نموده و کمال سپاس و قدردانی قلبی خود را ابراز می دارم. همچنین از دوستان عزیزم که در پیشبرد این پایان نامه مرا یاری کردند، صمیمانه سپاسگذارم. در نهایت از پدر و مادرم که با صبر و پشتیبانی همیشگی خود در تمامی دوران زندگی ام امید موفقیت را در من زنده نگهداشتند، تشکر و قدردانی می کنم.

## تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب .....سودابه آذرنیا..... دانش اموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته به شماره دانشجویی..... ۸۸۰۶۵۱۴۵۶۰۰..... در رشته .....عمران- آب.....که در تاریخ .....۱۳۹۰/۱۱/۱۱..... از پایان نامه خود تحت عنوان: ..... سیستم هشدار دهنده خشکسالی بر اساس روش حد آستانه..... با کسب نمره ..... و درجه ..... دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می شوم :

۱- این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران ( اعم از پایان نامه ، کتاب ، مقاله و...) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه های موجود ، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده ام .

۲- این پایان نامه قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی ( هم سطح ، پایین تر یا بالاتر ) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است .

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل ، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب ، ثبت اختراع و ...از این پایان نامه داشته باشم ، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم .

۴- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود ، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت .

نام و نام خانوادگی :

تاریخ و امضاء:

بسمه تعالی

در تاریخ : ۱۳۹۰/۱۱/۱۱

دانشجو کارشناسی ارشد آقای / خانم سودابه آذرنیا از پایان نامه خود دفاع نموده و با

نمره بحروف و با درجه مورد تصویب قرار گرفت .

امضاء استاد راهنما

XX

(این چکیده به منظور چاپ در پژوهش نامه دانشگاه تهیه شده است)

<p>نام واحد دانشگاهی: تهران مرکزی کد واحد: ۱۰۱</p>	<p>کد شناسایی پایان نامه:</p>
<p>عنوان پایان نامه: سیستم هشدار دهنده خشکسالی بر اساس روش حد آستانه</p>	
<p>نام و نام خانوادگی دانشجو: سودابه آذرنیا</p> <p>شماره دانشجویی: ۸۸۰۶۵۱۴۵۶۰۰</p> <p>رشته تحصیلی: عمران آب</p>	<p>تاریخ شروع پایان نامه: ۱۳۸۹/۱۱/۲</p> <p>تاریخ اتمام پایان نامه: ۱۳۹۰/۱۱/۱۱</p>
<p>استاد راهنما: بهرام تقفیان</p> <p>استاد مشاور: هومن حاجی کندی</p>	
<p>آدرس و شماره تلفن: تهران- میدان هفت تیر- خیابان مفتاح جنوبی- کوچه شریف- کوچه صارم- پلاک ۵۰- واحد ۵</p> <p>تلفن: ۰۹۱۲۴۲۷۵۸۱۹ - ۰۲۱۸۸۸۱۱۸۲۲</p>	
<p><b>چکیده پایان نامه (شامل خلاصه، اهداف، روش های اجرا و نتایج به دست آمده) :</b></p> <p>خشکسالی یکی از بلاای طبیعی است که بر خلاف سایر حوادث غیر مترقبه دارای ماهیت تدریجی بوده که باعث بروز خسارات زیادی از جمله آسیب های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، فرهنگی و زیست محیطی می شود. کاهش شدید بارندگی و دوره های خشک ناشی از آن تأثیرات منفی بسیاری بر منابع آب می گذارد با توجه به آنی نبودن این پدیده و ماهیت تداومی آن با مدیریتی کارا می توان اثرات آن را کاهش داد، استفاده از سیستم های زودهنگام هشدارخشکسالی (Drought Early Warning Sysem) با شاخص های هیدرولوژیکی مناسب، می تواند در مقابله با خشکسالی و کمبود آب و همچنین پیشگیری از کاهش ذخایر آبی تا حد زیادی مفید واقع شود. در این تحقیق یک سیستم زودهنگام هشدار خشکسالی با استفاده از سطوح آستانه مناسب ارائه می شود. سیستم مورد استفاده پنج مدل اصلی شامل (۱) محاسبه یک شاخص کمبود آب، (۲) پایش خشکسالی با شرایط جاری مخزن و طبقه بندی آن به روش خوشه بندی Kmeans، (۳) اندازه گیری و پایش میزان کمبود آب در آینده همراه با طبقه بندی آن، (۴) تعیین سطوح هشدار و (۵) ارزیابی دقت و آنالیز ریسک. ابتدا پارامترهای مناسب از میان اطلاعات ماهیانه دبی رودخانه ای و اطلاعات ماهیانه خروجی سد جهت تأمین مصارف شرب و کشاورزی بطور جداگانه بکار رفته و شاخص های بارش استاندارد شده SPI و دبی استاندارد شده SDI با گامهای زمانی میان مدت ۳ و ۶ ماه جهت پیش بینی خشکسالی انتخاب شد. سپس با استفاده از مدل شبکه عصبی مناسب به کمبود آب در آینده پیش بینی شد. با استفاده از روش خوشه بندی Kmeans سطوح احتمالاتی مختلف با حدود آستانه مناسب تعیین و درپنج دسته (بدون خشکسالی، خشکسالی ضعیف، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید) طبقه بندی شد. با ارزیابی دقت مدل، سطوح مختلف هشدار خشکسالی از آبی(شرایط نرمال) تا قرمز(شرایط کم آبی شدید) برای تصمیم گیری، محاسبه گردید.</p> <p>با استفاده از آمار تاریخی ۳۸ ساله حوزه کرج، عملکرد سیستم به طور جداگانه برای مصارف شرب و کشاورزی بررسی شد. نتایج حاکی از این بود که استفاده از شاخص های بارش استاندارد شده SPI و دبی استاندارد شده SDI و اطلاعات ماهیانه خروجی سد (مصارف شرب و کشاورزی جداگانه)، پارامتر های مناسب تری جهت پیش بینی کمبود آب در آینده بودند.</p> <p>شبیه سازی مصارف شرب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نسبت به شبیه سازی مصارف کشاورزی، با ضریب <math>R^2</math> برابر <math>۰/۸۳</math>، نتیجه بهتری داشت. در ارزیابی دقت مدل، در مقایسه سطوح هشدار شبیه سازی شده و سطوح هشدار واقعی، دقت کلی برابر با <math>۰/۶</math> و ریسک پذیری مثبت را نشان داد.</p> <p>واژگان کلیدی: سیستم زود هنگام هشدار، پیش بینی، خشکسالی، مدل شبکه عصبی، حد آستانه</p>	

تاریخ و امضاء:

مناسب است

نظر استاد راهنما برای چاپ در پژوهش نامه دانشگاه

مناسب نیست

## فهرست مطالب

عنوان \_\_\_\_\_ صفحه

### فصل اول: مقدمه و کلیات

- ۱-۱ مقدمه ..... ۲
- ۲-۱ ضرورت تحقیق ..... ۳
- ۳-۱ اهداف تحقیق ..... ۴
- ۴-۱ فصل بندی تحقیق ..... ۴

### فصل دوم: مروری بر سوابق تحقیق

- ۲-۱ مقدمه ..... ۶
- ۲-۲ تعاریف خشکسالی ..... ۶
- ۲-۳ معرف ها و شاخص های خشکسالی ..... ۷
- ۲-۳-۱ شاخص های هواشناسی ..... ۷
- ۲-۳-۲ شاخص های خشکسالی هیدرولوژیکی ..... ۸
- ۲-۴ مدل های پیش بینی ..... ۱۰
- ۲-۵ سیستم های پایش و هشدار خشکسالی و سیستم های زودهنگام هشدار خشکسالی ..... ۱۱
- ۲-۶ آنالیز ریسک ..... ۱۲
- ۲-۷ مروری بر منابع و تحقیقات گذشته ..... ۱۲
- ۲-۷-۱ پیشینه تحقیقات اخیر در زمینه تحلیل خشکسالی ..... ۱۲
- ۲-۷-۲ پیشینه تحقیقات اخیر در زمینه مدل های پیش بینی ..... ۱۴
- ۲-۷-۳ پیشینه تحقیقات اخیر در زمینه سیستم پایش و هشدار خشکسالی ..... ۱۹
- ۲-۷-۴ پیشینه تحقیقات اخیر در زمینه سیستم های زودهنگام هشدار خشکسالی ..... ۲۱
- ۲-۷-۵ پیشینه تحقیقات اخیر در زمینه آنالیز ریسک ..... ۲۵



۸-۲ جمع بندی سوابق تحقیق ..... ۲۶

## فصل سوم: روش تحقیق

۳-۱ مقدمه ..... ۲۹

۳-۲ مبانی روش شبکه عصبی مصنوعی ..... ۲۹

۳-۳ ساختار و معماری شبکه عصبی مورد استفاده در این تحقیق ..... ۳۱

۳-۴ محاسبه شاخص دبی استاندارد ..... ۳۲

۳-۵ مبانی خوشه بندی به روش K-means ..... ۳۳

۳-۶ اصول محاسباتی در مدل DEWS ..... ۳۶

۳-۶-۱ محاسبه شاخص کمبود (DI) ..... ۳۷

۳-۶-۲ تعیین تعداد سطوح هشدار در مدل DEWS ..... ۳۷

۳-۶-۳ ارزیابی دقت و اعتبار سنجی مدل DEWS ..... ۳۸

۳-۶-۳-۱ محاسبه شاخص ریسک در مدل DEWS ..... ۳۹

۳-۶-۳-۲ شاخص موفقیت بحرانی (CSI) ..... ۴۰

۳-۷ معرفی نرم افزار ها ..... ۴۲

## فصل چهارم: منطقه تحقیق و داده های مورد نیاز

۴-۱ مقدمه ..... ۴۴

۴-۲ وضعیت اقلیمی منطقه ..... ۴۵

۴-۳ آماده سازی آمار ..... ۴۶

۴-۴ الگوی زمانی تغییرات خشکسالی در طی دوره و در منطقه مورد مطالعه ..... ۵۳

## فصل پنجم: نتایج و بحث

۵-۱ مقدمه ..... ۵۷

۵-۲ پیش بینی کمبود آب با استفاده از داده های هیدرومتری ..... ۵۷

۵۷	..... ۱-۲-۵ محاسبه شاخص SDI و DI
۵۹	..... ۲-۲-۵ تعیین معماری شبکه عصبی
۶۰	..... ۳-۲-۵ نتایج مدل ANN
۶۲	..... ۱-۳-۲-۵ نتایج مدل سازی شاخص کمبود مصارف شرب
۶۸	..... ۲-۳-۲-۵ نتایج مدل سازی شاخص کمبود مصارف کشاورزی
۷۵	..... ۳-۵ پایش و طبقه بندی کمبود آب با شرایط جاری مخزن به روش Kmeans
۷۵	..... ۱-۳-۵ پایش و طبقه بندی شاخص کمبود مصارف شرب مشاهداتی
۷۷	..... ۲-۳-۵ پایش و طبقه بندی شاخص کمبود مصارف کشاورزی مشاهداتی
۷۸	..... ۴-۵ پیش بینی و طبقه بندی کمبود آب در آینده
۷۹	..... ۱-۴-۵ نتایج طبقه بندی شاخص کمبود مصارف شرب شبیه سازی شده
۸۲	..... ۲-۴-۵ نتایج طبقه بندی شاخص کمبود مصارف کشاورزی شبیه سازی شده
۸۵	..... ۵-۵ مقایسه سطوح هشدار شاخص کمبود مشاهداتی و شبیه سازی شده
۸۶	..... ۶-۵ بررسی سطوح هشدار دوره خشکسالی تعیین شده
۸۹	..... ۷-۵ ارزیابی دقت و اعتبار سنجی مدل
۸۹	..... ۱-۷-۵ ارزیابی دقت سطوح هشدار شاخص کمبود مصارف شرب
۹۱	..... ۲-۷-۵ ارزیابی دقت سطوح هشدار شاخص کمبود مصارف کشاورزی
۹۳	..... ۸-۵ محاسبه شاخص ریسک در مدل (DEWS)
۹۴	..... ۹-۵ محاسبه شاخص موفقیت بحرانی (CSI)
۹۵	..... ۱۰-۵ مقایسه با تحقیقات اخیر

## فصل ششم: جمع بندی و نتیجه گیری

۹۹	..... ۱-۶ مقدمه
۹۹	..... ۲-۶ جمع بندی و نتیجه گیری
۱۰۱	..... ۳-۶ پیشنهادات

منابع ..... ۱۰۲

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۳۴	شکل ۳-۱ الگوریتم K-means (Teknomo,2007) .....
۳۶	شکل ۳-۲ نمودار شماتیکی از قسمت های مختلف مدل DEWS (مأخذ: هاشمی، ۱۳۹۰) .....
۴۴	شکل ۴-۱ موقعیت حوضه آبریز دریاچه نمک در کشور .....
۴۵	شکل ۴-۲ رقوم ارتفاعی در حوضه آبریز دریاچه نمک .....
۴۶	شکل ۴-۳ نقشه هم بارش میانگین حوضه دریاچه نمک (۲۰۰۰-۱۹۵۷) (مأخذ: انصافی مقدم و رفیعی امام) .....
۴۷	شکل ۴-۴ موقعیت سد کرج و ایستگاه هیدرومتری سیرا .....
۵۳	شکل ۴-۵ سری زمانی شاخص SDI3 .....
۵۳	شکل ۴-۶ سری زمانی شاخص SDI6 .....
۵۴	شکل ۴-۷ سری زمانی شاخص SPI3 .....
۵۴	شکل ۴-۸ سری زمانی شاخص SPI6 .....
۵۴	شکل ۴-۹ میانگین رهاسازی مصارف کلی، شرب و کشاورزی (m3/Sec) در طی دوره (۱۳۸۳-۱۳۴۷) .....
۵۵	شکل ۴-۱۰ تغییرات میزان رهاسازی مصارف کلی، شرب و کشاورزی (m3/Sec) در طی دوره (۱۳۸۳-۱۳۴۷) ..
۵۸	شکل ۵-۱ سری زمانی شاخص SDI6 و شاخص DI برای مهر ماه .....
۵۸	شکل ۵-۲ سری زمانی شاخص SDI6 و شاخص DI برای ماه بهمن .....
۵۹	شکل ۵-۳ سری زمانی شاخص SDI6 و شاخص DI برای ماه اردیبهشت .....
۵۹	شکل ۵-۴ سری زمانی شاخص SDI6 و شاخص DI برای ماه مرداد .....
۶۱	شکل ۵-۵ معماری شبکه نمونه A .....
۶۱	شکل ۵-۶ معماری شبکه نمونه B .....
	شکل ۵-۷ نمودار مقادیر میانگین مجذور خطادر دوره های مختلف آموزش و آزمون برای شاخص DI(do)
۶۲	نمونه (A) .....

- شکل ۵-۸ مقایسه سری زمانی مشاهداتی و شبیه سازی شده شاخص  $DI(do)$  در دوره آزمون برای نمونه (A) ... ۶۳
- شکل ۵-۹ معادله خط و ضریب همبستگی مشاهداتی و شبیه سازی شده شاخص  $DI(do)$  برای نمونه (A) ..... ۶۴
- شکل ۵-۱۰ حساسیت خروجی مدل  $DI(do)$ ، نسبت به میانگین ورودی های مدل نمونه (A) ..... ۶۴
- شکل ۵-۱۱ نمودار مقادیر میانگین مجذور خطا در دوره های مختلف آموزش و آزمون برای شاخص  $DI(do)$  نمونه (B) ..... ۶۵
- شکل ۵-۱۲ مقایسه سری زمانی مشاهداتی و شبیه سازی شده شاخص  $DI(do)$  در دوره آزمون برای نمونه (B) .. ۶۶
- شکل ۵-۱۳ معادله خط و ضریب همبستگی مشاهداتی و شبیه سازی شده شاخص  $DI(do)$  برای نمونه (B) .... ۷۵
- شکل ۵-۱۴ حساسیت خروجی مدل  $DI(do)$ ، نسبت به میانگین ورودی های مدل نمونه (B) ..... ۶۷
- شکل ۵-۱۵ نمودار مقادیر میانگین مجذور خطا در دوره های مختلف آموزش و آزمون برای شاخص  $DI(agr)$  نمونه (A) ..... ۶۸
- شکل ۵-۱۶ مقایسه سری زمانی مشاهداتی و شبیه سازی شده شاخص  $DI(k)$  در دوره آزمون برای نمونه (A) .. ۶۹
- شکل ۵-۱۷ معادله خط و ضریب همبستگی مشاهداتی و شبیه سازی شده شاخص  $DI(agr)$  برای نمونه (A) .. ۷۰
- شکل ۵-۱۸ حساسیت خروجی مدل  $DI(agr)$ ، نسبت به میانگین ورودی های مدل نمونه (A) ..... ۷۰
- شکل ۵-۱۹ نمودار مقادیر میانگین مجذور خطا در دوره های مختلف آموزش و آزمون برای شاخص  $DI(agr)$  نمونه (B) ..... ۷۱
- شکل ۵-۲۰ مقایسه سری زمانی مشاهداتی و شبیه سازی شده شاخص  $DI(agr)$  در دوره آزمون برای نمونه (B) .. ۷۲
- شکل ۵-۲۱ معادله خط و ضریب همبستگی مشاهداتی و شبیه سازی شده شاخص  $DI(agr)$  برای نمونه (B) ... ۷۲
- شکل ۵-۲۲ حساسیت خروجی مدل  $DI(agr)$ ، نسبت به میانگین ورودی های مدل نمونه (B) ..... ۷۳
- شکل ۵-۲۳ تعداد نمونه ها در سطوح مختلف کمبود مصارف شرب داده های مشاهداتی سد کرج ..... ۷۶
- شکل ۵-۲۴ نیمرخ داده های خوشه بندی شده شاخص کمبود مصارف شرب داده های مشاهداتی سد کرج ... ۷۶
- شکل ۵-۲۵ تعداد نمونه ها در سطوح مختلف کمبود مصارف کشاورزی داده های مشاهداتی سد کرج ..... ۷۷
- شکل ۵-۲۶ نیمرخ داده های خوشه بندی شده شاخص کمبود مصارف کشاورزی داده های مشاهداتی سد کرج ..... ۷۸
- شکل ۵-۲۷ تعداد نمونه ها در سطوح مختلف کمبود مصارف شرب شبیه سازی شده مدل نمونه (A) ..... ۷۹
- شکل ۵-۲۸ نیمرخ مقادیر کمبود مصارف شرب شبیه سازی ، خوشه بندی شده برای مدل نمونه (A) ..... ۸۰

- شکل ۵-۲۹ تعداد نمونه ها در سطوح مختلف کمبود مصارف شرب شبیه سازی شده مدل نمونه (B) ..... ۸۱
- شکل ۵-۳۰ نیمرخ مقادیر کمبود مصارف شرب شبیه سازی ، خوشه بندی شده برای مدل نمونه (B) ..... ۸۱
- شکل ۵-۳۱ تعداد نمونه ها در سطوح مختلف کمبود مصارف کشاورزی شبیه سازی شده (A) ..... ۸۲
- شکل ۵-۳۲ نیمرخ مقادیر کمبود مصارف کشاورزی شبیه سازی ، خوشه بندی شده برای مدل نمونه (A) ..... ۸۳
- شکل ۵-۳۳ تعداد نمونه ها در سطوح مختلف کمبود مصارف کشاورزی شبیه سازی شده مدل (B) ..... ۸۴
- شکل ۵-۳۴ نیمرخ مقادیر کمبود مصارف کشاورزی شبیه سازی ، خوشه بندی شده برای مدل نمونه (B) ... ۸۴
- شکل ۵-۳۵ تعداد هشدار سطوح مختلف کمبود مصارف شرب مشاهداتی و شبیه سازی ..... ۸۵
- شکل ۵-۳۶ تعداد هشدار سطوح مختلف کمبود مصارف کشاورزی مشاهداتی و شبیه سازی ..... ۸۵
- شکل ۵-۳۷ سری زمانی شاخص های SPI6 و SDI6 ..... ۸۶
- شکل ۵-۳۸ سری زمانی شاخص کمبود DI برای مصارف شرب ..... ۸۶
- شکل ۵-۳۹ سری زمانی شاخص کمبود DI برای مصارف کشاورزی ..... ۸۶
- شکل ۵-۴۰ تعداد هشدار سطوح مختلف DI، SPI6 و SDI6 در دوره خشکسالی (۶۹-۱۳۶۸) و (۸۰-۱۳۷۷) ..... ۸۷
- شکل ۵-۴۱ سطح هشدار خشکسالی بر اساس الف) SDI6 ب) SPI6 ج) DI (agr) د) DI (do) طی دوره خشکسالی (۸۰-۱۳۷۷) ..... ۸۸
- شکل ۵-۴۲ تغییرات دقت و شاخص ریسک در دو مدل (A) و (B) شاخص های DI(agr) و DI(do) ..... ۹۳

عنوان \_\_\_\_\_ صفحه

جدول ۱-۲ طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس مقادیر (SPI) ..... ۸

جدول ۱-۳ جدول ماتریس خطا ..... ۳۸

جدول ۲-۳ جدول احتمال وقوع ..... ۴۰

جدول ۱-۴ متوسط بارندگی ماهانه ایستگاه سیرا (میلی متر) ..... ۴۸

جدول ۲-۴ متوسط دبی ورودی ماهانه به مخزن سد کرج (مترمکعب بر ثانیه) ..... ۴۹

جدول ۳-۴ متوسط رهاسازی کلی ماهانه سد کرج (مترمکعب بر ثانیه) ..... ۵۰

جدول ۴-۴ متوسط رهاسازی شرب ماهانه سد کرج (مترمکعب بر ثانیه) ..... ۵۱

جدول ۵-۴ متوسط رهاسازی کشاورزی ماهانه سد کرج (مترمکعب بر ثانیه) ..... ۵۲

جدول ۱-۵ مقادیر میانگین مجذور خطای حداقل و نهایی مراحل آموزش و آزمون برای نمونه (A) ..... ۶۲

جدول ۲-۵ عملکرد مدل در شبیه سازی شاخص DI(do) برای نمونه (A) ..... ۶۳

جدول ۳-۵ مقادیر حساسیت خروجی مدل DI(do)، برای هر ورودی مدل نمونه (A) ..... ۶۴

جدول ۴-۵ مقادیر میانگین مجذور خطای حداقل و نهایی مراحل آموزش و آزمون برای نمونه (B) ..... ۶۵

جدول ۵-۵ عملکرد مدل در شبیه سازی شاخص DI(do) برای نمونه (B) ..... ۶۶

جدول ۶-۵ مقادیر حساسیت خروجی مدل DI(do)، برای هر ورودی مدل نمونه (B) ..... ۶۷

جدول ۷-۵ مقادیر میانگین مجذور خطای حداقل و نهایی مراحل آموزش و آزمون برای نمونه (A) ..... ۶۹

جدول ۸-۵ عملکرد مدل در شبیه سازی شاخص DI(agr) برای نمونه (A) ..... ۶۹

جدول ۹-۵ مقادیر حساسیت خروجی مدل DI(agr)، برای هر ورودی مدل نمونه (A) ..... ۷۰

جدول ۱۰-۵ مقادیر میانگین مجذور خطای حداقل و نهایی مراحل آموزش و آزمون برای نمونه (B) ..... ۷۱

جدول ۱۱-۵ عملکرد مدل در شبیه سازی شاخص DI(agr) برای نمونه (B) ..... ۷۲

جدول ۱۲-۵ مقادیر حساسیت خروجی مدل DI(agr)، برای هر ورودی مدل نمونه (B) ..... ۷۳

جدول ۱۳-۵ مقایسه عملکرد مدل با کاربرد پارامترهای ورودی مختلف ..... ۷۴

- جدول ۵-۱۴ تقسیم بندی شدت خشکسالی بر اساس کمبود مصارف شرب داده های مشاهداتی سدکرج ..... ۷۵
- جدول ۵-۱۵ تقسیم بندی شدت خشکسالی بر اساس کمبود مصارف کشاورزی داده های مشاهداتی سدکرج.. ۷۷
- جدول ۵-۱۶ متوسط معیار Silhouette حاصل از خوشه بندی داده های شبیه سازی شده ..... ۷۸
- جدول ۵-۱۷ تقسیم بندی شدت خشکسالی بر اساس کمبود مصارف شرب شبیه سازی شده مدل نمونه (A).. ۷۹
- جدول ۵-۱۸ تقسیم بندی شدت خشکسالی بر اساس کمبود مصارف شرب شبیه سازی شده مدل نمونه (B) ... ۸۰
- جدول ۵-۱۹ تقسیم بندی شدت خشکسالی بر اساس کمبود مصارف کشاورزی شبیه سازی شده مدل نمونه (A)..... ۸۲
- جدول ۵-۲۰ تقسیم بندی شدت خشکسالی بر اساس کمبود مصارف کشاورزی شبیه سازی شده مدل نمونه (B)..... ۸۳
- جدول ۵-۲۱ ماتریس خطای سطوح هشدار کمبود مصارف شرب برای تحلیل مقادیر مدل نمونه (A) ..... ۹۰
- جدول ۵-۲۲ ماتریس خطای سطوح هشدار کمبود مصارف شرب برای تحلیل مقادیر مدل نمونه (B) ..... ۹۰
- جدول ۵-۲۳ ماتریس خطای سطوح هشدار خشکسالی و ترسالی DI(do) برای تحلیل مقادیر مدل نمونه (A).. ۹۱
- جدول ۵-۲۴ ماتریس خطای سطوح هشدار خشکسالی و ترسالی DI(do) برای تحلیل مقادیر مدل نمونه (B).. ۹۱
- جدول ۵-۲۵ ماتریس خطای سطوح هشدار کمبود مصارف کشاورزی برای تحلیل مقادیر مدل نمونه (A) ... ۹۲
- جدول ۵-۲۶ ماتریس خطای سطوح هشدار کمبود مصارف کشاورزی برای تحلیل مقادیر مدل نمونه (B)..... ۹۲
- جدول ۵-۲۷ ماتریس خطای سطوح هشدار خشکسالی و ترسالی DI(agr) برای تحلیل مقادیر مدل نمونه (A).. ۹۲
- جدول ۵-۲۸ ماتریس خطای سطوح هشدار خشکسالی و ترسالی DI(agr) برای تحلیل مقادیر مدل نمونه (B).. ۹۲
- جدول ۵-۲۹ مقادیر معیارهای مختلف ارزیابی دقت سطوح هشدار کمبود شرب برای مدل نمونه (A)..... ۹۴
- جدول ۵-۳۰ مقادیر معیارهای مختلف ارزیابی دقت سطوح هشدار کمبود شرب برای مدل نمونه (B) ..... ۹۴
- جدول ۵-۳۱ مقادیر معیارهای مختلف ارزیابی دقت سطوح هشدار کمبود کشاورزی برای مدل نمونه (A) ... ۹۵
- جدول ۵-۳۲ مقادیر معیارهای مختلف ارزیابی دقت سطوح هشدار کمبود کشاورزی برای مدل نمونه (B) ... ۹۵
- جدول ۵-۳۳ مقایسه سطوح هشدار حاصل از شبیه سازی شاخص کمبود آب در دو مقاله اخیر با تحقیق حاضر..... ۹۷

فصل اول

مقدمه و کلیات



## ۱-۱ مقدمه

خشکسالی یک پدیده طبیعی بوده که در مقایسه با سایر بلاهای طبیعی از قبیل سیل، زلزله و طوفان های حاره ای دارای تفاوت هایی به صورت زیر می باشد:

اول اینکه خشکسالی یک پدیده خزننده بوده که شروع و پایان آن دقیقاً مشخص نیست. دوم به دلیل فقدان یک تعریف جامع در مورد خشکسالی، بایستی در هر منطقه و با توجه به شرایط اقلیمی تعاریف و شاخص های خاص را ارائه نمود. سوم اینکه اثرات خشکسالی غالباً زیر بنایی نبوده و به مراتب دارای سطح جغرافیایی گسترده تری می باشد و لذا برنامه ریزی محاسبات و طرح های بازدارنده، پیش بینی و پایش را با مشکل مواجه می سازد.

از نظر اقلیم شناسی تمامی مناطق اقلیمی دنیا در معرض خطر وقوع خشکسالی می باشند. از این رو در هر منطقه اقلیمی ممکن است این پدیده حادث گردد. اما ویژگی های خشکسالی در اقلیم های مختلف، متفاوت می باشد. خشکسالی بر خلاف خشکی که یک پدیده دائم و ویژگی ذاتی برخی از مناطق جهان است، یک پدیده موقت می باشد که تحت عنوان انحراف و کمبود مقدار آب در یک منطقه نسبت به میانگین دراز مدت آن منطقه شناخته می شود.

ویژگی های خشکسالی ممکن است در رژیم های مختلف آب و هوایی دنیا متفاوت باشد. در مناطق گرمسیری و پرباران استوائی اگر مقدار بارش نسبت به نرمال سالیانه دچار کاهش نسبی گردد و خشکسالی هواشناسی در منطقه حاکم شود، این امکان وجود دارد که این کاهش تأثیر محسوسی بر روی منابع آبی منطقه نگذارد و به عبارتی از نظر هیدرولوژیکی خشکسالی اتفاق نیافتد. اما در مناطق حساس فراخشک و خشک، کاهش بارندگی تأثیر بسیار زیادی بر روی منابع آب می گذارد و در بسیاری از موارد خشکسالی های هواشناسی با خشکسالی های هیدرولوژیکی توأماً اتفاق می افتد.

خشکسالی فرآیندی است که بخشی از ویژگی های اقلیمی ایران می باشد و طی سال های اخیر با فراوانی و شدت بیشتری در حال وقوع است. برای مدیریت منابع آب در این شرایط استفاده از سیستم های پایش و زود هنگام هشدار خشکسالی<sup>۱</sup> (DEWS) می تواند برای اعلام هشدارهای لازم تا حد زیادی مفید واقع شود. رویکرد معمول در توسعه این سیستم ها استفاده از شاخص های

<sup>۱</sup>-Drought Early Warning System

هواشناسی بوده که در این بین شاخص (SPI) با گام های زمانی میان مدت (۳ تا ۶ ماه) بیشترین توجه را به خود جلب کرده است.

## ۲-۱ ضرورت تحقیق

خشکسالی پدیده ای است که به طور مکرر کشور را تهدید می کند و طی سال های اخیر نیز روندی صعودی در وقوع و خسارات بعد آن، مشاهده می گردد. این امر ضرورت مدیریت کارآمد منابع آب و از طرفی آمادگی برای مواجهه با شرایط پیچیده تر را یادآور می گردد.

سیستم زودهنگام هشدار، بایستی نوین در امر مدیریت ریسک بلایای طبیعی مانند خشکسالی است که مبتنی بر فعالیت صحیح شبکه پایش و شناخت شاخص های خشکسالی و اعلان و اطلاع رسانی هشدار در صورت مشاهده تغییرات منفی پارامترهای مورد سنجش، از آستانه های مورد نظر می باشد.

با راه اندازی سیستم زودهنگام هشدار، تغییرات پارامترهای مورد نظر سنجیده شده و به محض نزدیک شدن به آستانه های مورد نظر، هشدار به زبان قابل درک تهیه و به اطلاع عموم خواهد رسید تا بهره برداران و ذی ربطان اقدام به اتخاذ تدابیری برای کاهش آثار زیان بار خشکسالی نمایند. هر چند که شاخص های جهانی متنوعی برای پایش و هشدار سریع خشکسالی توسعه یافته است، ولی برای مدیریت سیستم های منابع آب، استفاده از معرف های منطقه ای و روش هایی که بیشتر مبین شرایط خاص آن می باشد، بهتر و سریعتر عمل می کنند.

به عنوان مثال برای مناطقی که وابستگی به سد و ذخایر سطحی دارند، وارد کردن اطلاعات تراز یا حجم موجودی از آب سد برای پایش خشکسالی، اعلام هشدار های لازم و تنظیم مدیریت سد بر اساس آن بسیار موثر خواهد بود.

لذا تحقیق حاضر نیز با در نظر گرفتن خروجی سد، پیش بینی مصارف با توجه به ورودی ها، تلاشی برای اعلام وضعیت هشدار خشکسالی در حوضه سد کرج، می باشد تا مدیران و برنامه ریزان، تمهیدات لازم را به موقع تدارک دیده و سناریوهای استراتژیک کوتاه مدت و طولانی مدت متناسب با ماهیت منطقه از نظر خشکسالی را در نظر بگیرند.

## ۳-۱ اهداف تحقیق

اهم اهداف تحقیق شامل دستیابی به موارد زیر در حوزه های محل تحقیق می باشند:

- پیش بینی خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس کمبود تأمین آب.
- تعیین طبقات خشکسالی متناسب با شرایط حوضه.
- مقایسه سطوح هشدار حاصل از مدل شبیه سازی شده با سطوح هشدار واقعی.

## ۴-۱ فصل بندی تحقیق

در این راستا فصل بندی مطالب تحقیق حاضر بدین صورت است که تعریف پیش بینی، مدل ها و متغیرهای معمول برای پیش بینی خشکسالی، روش های دسته بندی اطلاعات و پیشینه مطالعات انجام شده در این زمینه در فصل دوم بیان می گردد. تشریح مواد و روش های به کار برده شده و ذکر مباحثی چون روش (Kmeans) در طبقه بندی، شبکه های عصبی مصنوعی<sup>۱</sup> (ANNs)، سیستم زودهنگام هشدار خشکسالی (DEWS) و روش محاسبه معیار ارزیابی و سنجش مدل، موضوع فصل سوم می باشد. معرفی منطقه تحقیق، آمار و اطلاعات مربوط به آن، نحوه گردآوری و پیش پردازش آمار در فصل چهارم تشریح می گردد. در فصل پنجم نتایج اجرای مدل شبکه عصبی و دسته بندی و تحلیل پیش بینی ها و سطوح هشدار عمده مطالب را تشکیل می دهند. در نهایت نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات برای تحقیقات بعدی، در فصل ششم ارائه می گردد.

فصل دوم

مروری بر سوابق تحقیق