دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

**پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی گرایش آب‌شناسی**

**عنوان:**

# بررسی اثرات خشکسالی اقلیمی بر سطح آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی در قلمروی زمان و فرکانس


اساتید راهنما:

**دکتر ناصر اسدی**

**دکتر محمدحسین شفیعی‌میم**

تحقیق و نگارش:

راضیه نادری


**بهمن ۱۳۹۲**

## تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب راضیه نادری تعهد می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: راضیه نادری

امضاء

تقدیم

به پدر بزرگوار و مادر مهربانم به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در

پناهشان به شجاعت می گراید

و تقدیم

به همه آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند.

# سپاسگزاری

سپاس بی‌پایان پروردگار یکتا را که مرا آفرید و از لطف و کرم بی‌پایانش به من قدرت یادگیری داد و توفیق عطا نمود تا برای شناخت بهتر جهان هستی و زندگی بهتر در مسیر علم و دانش گام بردارم.

در این مجال بر خود لازم می‌دانم تا از تمامی عزیزانی که مرا در طی این مسیر دشوار و ارزشمند یاری نمودند قدردانی کنم:

پس از یاری خداوند، بی‌شک انجام این پژوهش ممکن نبود مگر در سایه راهنمایی‌های عالمانه و دلسوزانه اساتید ارجمندم آقایان دکتر ناصر اسدی و دکتر محمد حسین شفیعی‌میم که در طی این مسیر رو همگر راهم بوده‌اند؛ لذا از مساعدت و زحمات ایشان بی‌نهایت سپاسگزارم.

از اساتید بزرگوار، آقایان دکتر پرتابیان و دکتر جهانشاهی بسیار سپاسگزارم و صمیمیت و نیکخواهی ایشان را که از سر نقادی و نکته سنجی در این نوشتار نگریسته‌اند و مرا به تعمق و تامل بیشتر واداشته‌اند قدر می‌شناسم و ارج می‌نهم.

از جناب آقای دکتر دانشمند که در انجام این پایان نامه از هیچ گونه کمک و راهنمایی دریغ نورزیدند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از همه کسانی که طی سالیان تحصیل به زبان و قلم با تحسین، تشویق و تنبیه مرا علم آموختند و بر ادامه راه دلگرمی و امید بخشیدند سپاسگزاری می‌کنم.

از تمامی دوستان و همکلاسی‌های عزیزم خانم‌ها صفیه بحرانی، نسرین طاهری، مهرانگیز نجفی، هدیه ایزدی، راضیه ساربانی، سهیلا کرونی و آقایان رضا جمور، علی باقری، یاسین صالحی، سالار اسدی نسب و هیوا ابراهیمی، به خاطر مهربانی، صمیمیت، و همراهیشان در زمان دشواری‌ها، صمیمانه سپاسگزارم. همچنین از آقای مهندس مجتبی زارع صفت و آقای مجتبی شکوه که در گردآوری اطلاعات و محاسبات نرم افزاری همکاری نمودند، تشکر می‌کنم و از درگاه خداوند متان برایشان آرزوی سلامت همیشگی و توفیق روزافزون دارم.

از مسئولین محترم سازمان‌های هواشناسی و آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی و استان سیستان و بلوچستان که اطلاعات لازم جهت انجام این پژوهش را در اختیارم قرار دادند، تشکر می‌کنم.

در پایان از پدر و مادرم که همواره صبوری کرده‌اند و دعای خیرشان توشه راه و پناه من است، از برادران و خواهران عزیزم که چراغ راه، مشوق و پشتیبانم هستند، بی‌نهایت سپاسگزارم.

راضیه نادری

بهمن ۹۲

**چکیده**

در تحقیق حاضر، ارتباط بین خشکسالی‌های اقلیمی و نوسانات تراز زیرزمینی در دو حوزه با شرایط اقلیمی متفاوت (دشت مشهد در استان خراسان رضوی با اقلیم نیمه‌خشک و دشت گوهرکوه در استان سیستان و بلوچستان با اقلیم خشک)، مورد مطالعه قرار گرفته است. برای تعیین شرایط اقلیمی، از شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده شده است. به منظور بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی، شاخص جدید سطح ایستابی استاندارد (SWTI) معرفی شده است. سپس برای تعیین میزان و نحوه ارتباط شرایط اقلیمی و تغییرات سطح آب زیرزمینی، از روش‌های تحلیل همبستگی سری‌های زمانی در قلمروی زمان و قلمروی فرکانس استفاده شده است. در قلمروی زمان ضریب همبستگی و زمان تأخیر بین سری‌های زمانی بارندگی و شاخص SPI، و پارامترهای کمّی آب زیرزمینی (تراز آب زیرزمینی و شاخص SWTI)، با استفاده از تابع همبستگی متقابل (که با انجام تغییراتی در این تحقیق، تحت عنوان MCCF بازتعریف گردیده)، محاسبه و نمودارهای همبستگی‌نگار ترسیم شده است. روش ابتکاری اخیر، امکان محاسبه همبستگی متقابل بین سری‌های زمانی با طول نامساوی را فراهم نموده است. در قلمروی فرکانس، توابع چگالی طیفی، دامنه طیف متقابل، کوهرنسی و فاز، با استفاده از روش بلکمن- تاکی محاسبه شده است. بر اساس محاسبات انجام شده در قلمروی زمان، میزان ضریب همبستگی و زمان تأخیر بین تغییرات اقلیمی و تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت گوهرکوه (۰/۹ و ۷ سال) بیشتر از دشت مشهد (۰/۷ و ۵ سال) می‌باشد. مقایسه شرایط و ویژگی‌های این دو منطقه و نیز تحلیل نتایج همبستگی، نشان داد که برهم‌کنش عوامل مختلفی از جمله شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی، و میزان دخالت‌های بشری در میزان همبستگی و زمان تأخیر بین خشکسالی‌های اقلیمی و تغییرات سطح آب زیرزمینی، مؤثر می‌باشد. با استفاده از روش‌های قلمروی فرکانس مشخص شد که بیشترین تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی مربوط به نوسانات فرکانس پایین (دوره‌های تناوبی طولانی‌مدت) سری‌های زمانی می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** تابع همبستگی متقابل، تابع کوهرنسی، خشکسالی هیدروژئولوژیک، دشت گوهرکوه، دشت مشهد، زمان تأخیر.

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول (معرفی تحقیق)**

۱-۱- مقدمه ..... ۲

۱-۲- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق ..... ۲

۱-۳- فرضیه‌ها .....۶

۱-۴- اهداف تحقیق .....۶

۱-۵- پیشینه تحقیق .....۶

۱-۵-۱- پیشینه مطالعات خشکسالی هواشناسی و مقایسه انواع شاخص‌های آن ..... ۷

۱-۵-۲- پیشینه مطالعات ارتباط خشکسالی اقلیمی با خشکسالی هیدروژئولوژیک .....۱۳

۱-۵-۳- پیشینه استفاده از روش‌های قلمروی فرکانس در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژی .....۲۲

۱-۶- روش کلّی انجام تحقیق .....۲۸

۱-۷- ساختار پایان‌نامه .....۲۹

**فصل دوم (مبانی تحقیق)**

۲-۱- مقدمه .....۳۱

۲-۲- خشکسالی .....۳۱

۲-۲-۱- تعاریف خشکسالی .....۳۲

۲-۲-۲- انواع خشکسالی.....۳۳

۲-۲-۲-۱- خشکسالی اقلیمی .....۳۳

۲-۲-۲-۲- خشکسالی کشاورزی .....۳۳

۲-۲-۲-۳- خشکسالی هیدرولوژی .....۳۴

**عنوان** **صفحه**


۲-۲-۲-۴- خشکسالی آب زیرزمینی (هیدروژئولوژیک) ..... ۳۵
۲-۲-۳- انواع شاخص‌های خشکسالی ..... ۳۶
۲-۲-۳-۱- شاخص بارش استاندارد (SPI) ..... ۳۸
۲-۲-۳-۲- شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیک..... ۴۱
۲-۳- تعیین اقلیم ..... ۴۱
۲-۴- سری‌های زمانی ..... ۴۲
۲-۴-۱- ایستایی و ارگادوسیتی..... ۴۲
۲-۴-۲- مؤلفه‌های سری زمانی ..... ۴۴
۲-۴-۲-۱- مؤلفه روند..... ۴۴
۲-۴-۲-۲- مؤلفه تناوب..... ۴۵
۲-۴-۲-۳- مؤلفه پرش..... ۴۵
۲-۴-۲-۴- مؤلفه تصادفی ..... ۴۵
۲-۵- آماده‌سازی داده‌های سری‌های زمانی ..... ۴۵
۲-۵-۱- بررسی همگنی داده‌ها ..... ۴۶
۲-۵-۲- تکمیل و بازسازی داده‌ها ..... ۴۶
۲-۵-۳- آزمون کفایت داده‌ها ..... ۴۷
۲-۵-۴- آزمون نرمال بودن داده‌ها..... ۴۸
۲-۵-۵- حذف مؤلفه‌های روند و تناوب ..... ۴۹
۲-۵-۵-۱- روش تجزیه ..... ۴۹
۲-۵-۵-۲- روش تفاضل‌گیری..... ۵۰
۲-۶- محاسبه سری‌های زمانی متوسط هر یک از داده‌ها ..... ۵۰
۲-۶-۱- محاسبه میانگین وزنی تراز آب زیرزمینی به روش چندضلعی تیسن..... ۵۰
۲-۶-۲- محاسبه میانگین وزنی بارش با استفاده از نقشه همباران ..... ۵۱
۲-۷- تحلیل سری‌های زمانی در قلمروی زمان ..... ۵۱

**عنوان** **صفحه**


۲-۷-۱- تابع خودهمبستگی ..... ۵۱

۲-۸- رابطه بین متغیرها در قلمروی زمان ..... ۵۲

۲-۸-۱- همبستگی ..... ۵۳

۲-۸-۱-۱- همبستگی تأخیری ..... ۵۳

۲-۸-۱-۲- تابع همبستگی متقابل ..... ۵۴

۲-۸-۱-۳- رگرسیون ..... ۵۴

۲-۹- تحلیل سری‌های زمانی در قلمروی فرکانس ..... ۵۵

۲-۹-۱- طیف و تابع چگالی طیفی ..... ۵۷

۲-۹-۱-۱- روش پریودوگرام اصلاح شده ولچ ..... ۵۸

۲-۹-۱-۲- روش چندکاهنده تامپسون ..... ۵۹

۲-۹-۱-۳ روش بلکمن-تاکی ..... ۵۹

۲-۹-۲- تابع چگالی طیفی متقابل ..... ۵۹


**فصل سوم (معرفی مناطق مورد مطالعه)**


۳-۱- مقدمه ..... ۶۳

۳-۲- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه ..... ۶۳

۳-۳- هواشناسی و اقلیم مناطق مورد مطالعه ..... ۶۵

۳-۴- زمین‌شناسی ..... ۶۵

۳-۴-۱- زمین‌شناسی دشت گوهرکوه ..... ۶۵

۳-۴-۱-۱- چینه‌شناسی و لیتولوژی منطقه گوهرکوه ..... ۶۷

۳-۴-۱-۲- تکتونیک منطقه گوهرکوه ..... ۷۲

۳-۴-۱-۳- هیدروژئولوژی دشت گوهرکوه ..... ۷۳

۳-۴-۱-۳-۱- حدود گسترش و نوع آبخوان ..... ۷۳

۳-۴-۱-۳-۲- جنس و توپوگرافی سنگ کف ..... ۷٤

**عنوان** **صفحه**


۳-۴-۱-۳-۳- عمق آب زیرزمینی ..... ۷٤
۳-۴-۱-۳-۴- منابع آبی ..... ۷۵
۳-۴-۱-۳-۵- چاه‌های مشاهده‌ای ..... ۷٦
۳-۴-۲- زمین‌شناسی دشت مشهد ..... ۷۶
۳-۴-۲-۱- چینه‌شناسی و لیتولوژی منطقه مشهد ..... ۷۷
۳-۴-۲-۲- فعالیت‌های آذرین ..... ۸۱
۳-۴-۲-۳- فعالیت‌های دگرگونی ..... ۸۲
۳-۴-۲-۴- تکتونیک منطقه مشهد ..... ۸۲
۳-۴-۲-۵- هیدروژئولوژی دشت مشهد ..... ۸۴
۳-۴-۲-۵-۱- حدود گسترش و نوع آبخوان ..... ۸٤
۳-۴-۲-۵-۲- جنس و توپوگرافی سنگ کف ..... ۸٦
۳-۴-۲-۵-۳- عمق آب زیرزمینی ..... ۸٦
۳-۴-۲-۵-۴- منابع آبی ..... ۸۷
۳-۴-۲-۵-۵- چاه‌های مشاهده‌ای ..... ۹۰
۳-۵- آب‌های سطحی مناطق مورد مطالعه ..... ۹۱
۳-۵-۱- آب‌های سطحی دشت مشهد ..... ۹۱
۳-۵-۲- آب‌های سطحی دشت گوهرکوه ..... ۹۲


**فصل چهارم (روش‌ها و یافته‌ها)**


۴-۱- مقدمه ..... ۹۴
۴-۲- مطالعات کتابخانه‌ای ..... ۹۴
۴-۲-۱- آمار بارندگی ..... ۹۴
۴-۲-۲- آمار درجه حرارت هوا ..... ۹۶
۴-۲-۳- آمار تراز آب زیرزمینی ..... ۹۷

**عنوان** **صفحه**


۴-۳- مطالعات میدانی ..... ۹۹

۴-۳-۱- آماده‌سازی داده‌ها ..... ۹۹

۴-۳-۱-۱- بررسی کیفیت آماری داده‌ها و تکمیل آن‌ها ..... ۹۹

۴-۳-۱-۲- آزمون نرمال بودن داده‌ها ..... ۱۰۰

۴-۳-۲- محاسبه میانگین مقادیر داده‌های بارش و سطح آب زیرزمینی در سطح دشت ..... ۱۰۱

۴-۳-۳- محاسبه شاخص‌های اقلیم ..... ۱۰۳

۴-۳-۳-۱- بررسی شاخص بارندگی ..... ۱۰۴

۴-۳-۳-۲- بررسی شاخص درجه حرارت هوا ..... ۱۰۶

۴-۳-۳-۳- تعیین ضریب اقلیمی دومارتن ..... ۱۰۹

۴-۳-۴- محاسبه شاخص SPI و تعیین دوره‌های خشک و تر در مناطق مورد مطالعه ..... ۱۰۹

۴-۳-۵- محاسبه شاخص خشکسالی آب زیرزمینی (SWTI) ..... ۱۱۰

۴-۳-۶- شناسایی مؤلفه‌های روند و تناوب ..... ۱۱۱

۴-۳-۶-۱- شناسایی مؤلفه روند ..... ۱۱۱

۴-۳-۶-۲- تحلیل مؤلفه تناوب ..... ۱۱۲

۴-۳-۶-۳- حذف مؤلفه‌های روند و تناوب از سری‌های زمانی ..... ۱۱۳

۴-۳-۶-۳-۱- گزینش روش مناسب حذف مؤلفه‌های روند و تناوب ..... ۱۱۳

۴-۳-۶-۳-۲- حذف مؤلفه‌های روند و تناوب ..... ۱۱۵

۴-۳-۷- بررسی اثرات متقابل سری‌های زمانی در قلمروی زمان ..... ۱۱۷

۴-۳-۷-۱- محاسبه همبستگی سری‌های زمانی در دشت گوهرکوه ..... ۱۱۸

۴-۳-۷-۲- محاسبات همبستگی سری‌های زمانی در دشت مشهد ..... ۱۲۰

۴-۳-۸- آنالیز رگرسیون خطی ..... ۱۲۲

۴-۳-۸-۱- نتایج آزمون رگرسیون خطی در دشت مشهد ..... ۱۲۳

۴-۳-۸-۲- نتایج آزمون رگرسیون خطی در دشت گوهرکوه ..... ۱۲۴

۴-۳-۹- تحلیل سری‌های زمانی در قلمروی فرکانس ..... ۱۲۴

۴-۳-۹-۱- تحلیل طیفی یک متغیره سری‌های زمانی ..... ۱۲۴
۴-۳-۹-۲- تحلیل طیفی متقابل سری‌های زمانی ..... ۱۲۸
۴-۳-۹-۳- آنالیز طیفی متقابل سری‌های زمانی دشت مشهد ..... ۱۲۸
۴-۳-۹-۴- آنالیز طیفی متقابل سری‌های زمانی دشت گوهرکوه ..... ۱۳۱

**فصل پنجم (بحث و نتیجه‌گیری)**

۵-۱- مقدمه ..... ۱۳۶
۵-۲- تحلیل همبستگی متغیرها در قلمروی زمان ..... ۱۳۶
۵-۲-۱- بررسی نتایج همبستگی در مقیاس‌های زمانی مختلف ..... ۱۳۶
۵-۲-۲- بررسی نتایج همبستگی قبل و پس از حذف روند و تناوب ..... ۱۳۸
۵-۲-۳- مقایسه نتایج همبستگی با استفاده از متغیرها و شاخص‌های خشکسالی ..... ۱۴۱
۵-۲-۴- مقایسه ضرایب همبستگی و زمان تأخیر در دو منطقه مطالعاتی مشهد و گوهرکوه ..... ۱۴۳
۵-۳- بررسی نتایج قلمروی فرکانس ..... ۱۴۶
۵-۳-۱- بررسی نتایج آنالیز طیفی یک متغیره ..... ۱۴۶
۵-۳-۱-۱- اثر مؤلفه روند در برآورد تابع چگالی طیفی ..... ۱۴۷
۵-۳-۲- بررسی ارتباط سری‌های زمانی در قلمروی فرکانس ..... ۱۴۸
۵-۳-۳- مقایسه نتایج قلمروی زمان و قلمروی فرکانس ..... ۱۵۰

**فصل ششم (نتایج و پیشنهادات)**

۶-۱- مقدمه ..... ۱۵۲
۶-۲- نتایج اصلی ..... ۱۵۲
۶-۳- نتایج فرعی ..... ۱۵۴
۶-۴- پیشنهادات ..... ۱۵۵
**منابع ..... ۱۵۷**
**پیوست‌ها ..... ۱۶۵**

# فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**


جدول ۲-۱- انواع شاخص‌های اقلیمی ..... ۳۷

جدول ۲-۲- تعیین درجه خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخص SPI ..... ۴۰

جدول ۲-۳- طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن ..... ۴۲

جدول ۳-۲- مشخصات قنوات دشت گوهرکوه ..... ۷۵

جدول ۳-۳- مشخصات پیزومترهای منتخب در دشت گوهرکوه ..... ۷۶

جدول ۳-۱- مشخصات پیزومترهای منتخب در دشت مشهد ..... ۹۰

جدول ۴-۱- مشخصات ایستگاه‌های بارانسنجی و سینوپتیک منتخب در دشت گوهرکوه ..... ۹۵

جدول ۴-۲- مشخصات ایستگاه‌های منتخب در دشت مشهد ..... ۹۶

جدول ۴-۳- نتایج آزمون نرمال بودن داده‌های میانگین وزنی بارش و ترازآب زیرزمینی در دشت مشهد... ۱۰۰

جدول ۴-۴- آزمون نرمال بودن داده‌های میانگین وزنی بارش و ترازآب زیرزمینی در دشت گوهرکوه ..... ۱۰۱

جدول ۴-۵- میانگین وزنی و حسابی بارش سالانه در دشت مشهد در دوره آماری ۸۹-۱۳۵۲ ..... ۱۰۲

جدول ۴-۶ - میانگین وزنی و حسابی بارش سالانه در دشت گوهرکوه در دوره آماری ۹۱-۱۳۶۹ ..... ۱۰۳

جدول ۴-۷- وضعیت بارندگی در دشت گوهرکوه ..... ۱۰۴

جدول ۴-۸- وضعیت بارندگی در دشت مشهد ..... ۱۰۵

جدول ۴-۹- شاخص‌های دمای ماهانه و سالانه ایستگاه سینوپتیک خاش دوره آماری ۸۹-۱۳۶۹ .....۱۰۶

جدول ۴-۱۰- شاخص‌های دمای ماهانه و سالانه ایستگاه سینوپتیک مشهد دوره آماری ۸۹-۱۳۵۲ ..... ۱۰۸

جدول ۴-۱۱- ضرایب اقلیمی در مناطق مورد مطالعه ..... ۱۰۹

جدول ۴-۱۲- نتایج محاسبات همبستگی و زمان تأخیر در دشت گوهرکوه ..... ۱۱۸

**عنوان** **صفحه**

جدول ۴-۱۳- نتایج همبستگی و زمان تأخیر بین سری‌های زمانی تراز آب زیرزمینی و شاخص SWTI با شاخص SPI ماهانه در دشت گوهرکوه ..... ۱۱۹
جدول ۴-۱۴- نتایج محاسبات همبستگی و زمان تأخیر در دشت مشهد ..... ۱۲۱
جدول ۴-۱۵- نتایج همبستگی و زمان تأخیر بین سری‌های زمانی ترازآب زیرزمینی و شاخص SWTI با شاخص SPI ماهانه در دشت مشهد ..... ۱۲۱
جدول ۴-۱۶- نتایج آزمون رگرسیون خطی ساده در دشت مشهد ..... ۱۲۳
جدول ۴-۱۷- نتایج آزمون رگرسیون خطی ساده در دشت گوهرکوه..... ۱۲۴
جدول ۴-۱۸- نتایج تحلیل طیفی یک متغیره سری‌های زمانی دشت مشهد و گوهرکوه ..... ۱۲۶
جدول ۴-۱۹- نتایج تحلیل طیفی متقابل سری‌های زمانی در دشت مشهد ..... ۱۳۱
جدول ۴-۲۰- نتایج تحلیل طیفی متقابل سری‌های زمانی در دشت گوهرکوه ..... ۱۳۴
جدول ۵-۱- مقایسه ویژگی‌های آبخوان دشت گوهرکوه و دشت مشهد ..... ۱۴۵
جدول ۵-۲- زمان تأخیر متوسط محاسبه شده در قلمروی فرکانس ..... ۱۴۹

# فهرست شکل‌ها

**عنوان** **صفحه**


شکل ۲-۱- زمان ماندگاری در سیستم‌های منابع آب ..... ۳۴

شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه..... ۶۴

شکل ۳-۲- نقشه زمین‌شناسی دشت گوهرکوه.....۶۶

شکل ۳-۳- توپوگرافی سنگ کف آبخوان دشت گوهرکوه ..... ۷۴

شکل ۳-۴- تعداد منابع و میزان تخلیه سالانه در دشت مشهد بر اساس آماربرداری سال ۱۳۸۷ ..... ۸۸

شکل ۳-۵- روند افزایش تعداد چاه‌ها بر حسب تاریخ حفر ..... ۸۹

شکل ۴-۱- موقعیت پیزومترها و ایستگاه‌های بارانسنجی در دشت گوهرکوه..... ۹۵

شکل ۴-۲- موقعیت پیزومترها و ایستگاه‌های بارانسنجی در دشت مشهد..... ۹۷

شکل ۴-۳- هیدروگراف واحد دشت مشهد در دوره آماری ۸۹-۱۳۶۰ ..... ۹۸

شکل ۴-۴- هیدروگراف واحد دشت گوهرکوه در دوره آماری ۹۰-۱۳۸۲..... ۹۸

شکل ۴-۵- نمودار تغییرات سالانه بارش در دشت گوهرکوه..... ۱۰۵

شکل ۴-۶- تغییرات سالانه بارش در دشت مشهد .....۱۰۶

شکل ۴-۷- تغییرات سالانه دما در دشت گوهرکوه..... ۱۰۷

شکل ۴-۸- متوسط تغییرات ماهانه دما در دشت گوهرکوه..... ۱۰۷

شکل ۴-۹- تغییرات سالانه دما در دشت مشهد در دوره آماری ۸۹-۱۳۵۲ ..... ۱۰۸

شکل ۴-۱۰- تغییرات متوسط ماهانه دما درایستگاه سینوپتیک مشهد ..... ۱۰۸

شکل ۴-۱۱- نمودارهای شاخص SPI ماهانه در گام‌های زمانی مختلف در دشت مشهد..... ۱۱۰

شکل ۴-۱۲- شاخص SWTI سالانه، قبل و بعد از حذف روند در دشت‌های مشهد و گوهرکوه..... ۱۱۱

شکل ۴-۱۳- تعیین مؤلفه روند در سری‌های زمانی بارش ماهانه دشت‌های گوهرکوه و مشهد..... ۱۱۱

**عنوان** **صفحه**

شکل ۴-۱۴- مؤلفه روند در سری‌های زمانی ماهانه تراز آب زیرزمینی در دشت گوهرکوه و دشت مشهد... ۱۱۲
شکل ۴-۱۵- نمودارهای دوره‌نگار سری‌های بارش ماهانه در دشت مشهد و دشت گوهرکوه. ..... ۱۱۲
شکل ۴-۱۶- نمودارهای دوره‌نگار سری‌های زمانی ماهانه تراز آب زیرزمینی در دشت گوهرکوه و دشت مشهد پس از حذف روند. ..... ۱۱۳
شکل ۴-۱۷- سری زمانی فرضی با مؤلفه‌های روند و تناوب مشخص ..... ۱۱۴
شکل ۴-۱۸- مقایسه ارتباط خطی بین سری نویز اولیه و باقیمانده‌ها پس از حذف مؤلفه‌های روند و تناوب به روش‌های تفاضلی و تجزیه. ..... ۱۱۵
شکل ۴-۱۹- حذف روند از سری‌های زمانی ماهانه سطح آب زیرزمینی دشت‌های مشهد و گوهرکوه. ..... ۱۱۶
شکل ۴-۲۰ سری بارش ماهانه دشت گوهرکوه قبل و بعد از حذف تناوب ..... ۱۱۷
شکل ۴-۲۱- نمودارهای همبستگی‌نگار شاخص SPI ماهانه و شاخص SWTI در دشت گوهرکوه ..... ۱۲۰
شکل ۴-۲۲- نمودارهای همبستگی‌نگار شاخص SPI ماهانه و شاخص SWTI در دشت مشهد ..... ۱۲۲
شکل ۴-۲۳- نمودارهای طیفی یک متغیره سری‌های زمانی دشت مشهد ..... ۱۲۷
شکل ۴-۲۴- نمودارهای دامنه طیف متقابل بین سری‌های زمانی دشت مشهد ..... ۱۲۹
شکل ۴-۲۵- نمودارهای کوهرنسی سری‌های زمانی دشت مشهد در فرکانس‌های مختلف ..... ۱۲۹
شکل ۴-۲۶- تابع فاز بین سری‌های زمانی دشت مشهد ..... ۱۳۰
شکل ۴-۲۷- زمان تأخیر بین سری‌های زمانی دشت مشهد در فرکانس‌های مختلف ..... ۱۳۰
شکل ۴-۲۸- نمودارهای دامنه طیف متقابل در سری‌های زمانی دشت گوهرکوه ..... ۱۳۲
شکل ۴-۲۹- نمودارهای کوهرنسی سری‌های زمانی دشت گوهرکوه..... ۱۳۳
شکل ۴-۳۰- نمودارهای تابع فاز سری‌های زمانی دشت گوهرکوه ..... ۱۳۳
شکل ۴-۳۱- نمودار زمان تأخیر در سری‌های زمانی دشت گوهرکوه ..... ۱۳۴
شکل ۵-۱- مقایسه ضرایب همبستگی ماکزیمم و زمان تأخیر در مقیاس‌های زمانی مختلف ..... ۱۳۸

**عنوان** **صفحه**

شکل ۵-۲- مقایسه میزان همبستگی و زمان تأخیر بین سری‌های ماهانه بارش و سطح آب زیرزمینی و سری‌های ماهانه SPI و SWTI ..... ۱۳۹
شکل ۵-۳- نمودارهای همبستگی‌نگار سری‌های زمانی بارش و سطح آب زیرزمینی دشت مشهد قبل و پس از حذف روند..... ۱۳۹
شکل ۵-۴- مقایسه همبستگی و زمان تأخیر در سری‌های ماهانه بارش و سطح آب دشت مشهد قبل و بعد از حذف روند و تناوب ..... ۱۴۰
شکل ۵-۵- مقایسه همبستگی و زمان تأخیر در سری‌های ماهانه بارش و سطح آب دشت گوهرکوه قبل و بعد از حذف روند و تناوب..... ۱۴۰
شکل ۵-۶- مقایسه نتایج همبستگی با استفاده از داده‌های سنتتیک (شاخص‌های خشکسالی) و داده‌های طبیعی (بارش و سطح آب)، در مقیاس‌های زمانی مختلف (دشت مشهد) ..... ۱۴۲
شکل ۵-۷- مقایسه ضریب همبستگی و زمان تأخیر بین شاخص‌های SWTI و SPI ماهانه ..... ۱۴۳
شکل ۵-۸- نمودارهای همبستگی‌نگار سری‌های زمانی SPI48 و SWTI ..... ۱۴۴
شکل ۵-۹- نمودار تابع چگالی طیفی سری زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت مشهد ..... ۱۴۸

# فصل اول

# (معرفی تحقیق)

### ۱-۱- مقدمه

به دلیل افزایش نیاز آبی ناشی از رشد جمعیت و گسترش فعالیت‌ها در بخش‌های کشاورزی، صنعت، و انرژی و آلودگی منابع آب، کمبود آب این روزها در بسیاری از بخش‌های جهان به طور متناوب و فراوان مشاهده می‌شود. کمبود آب به وسیله خشکسالی‌ها و تغییرات متغیرهای هیدرومتئورولوژیکی در اثر تغییر اقلیم جهانی که هم منابع آب سطحی و هم آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، تشدید می‌شود. این مسئله می‌تواند منجر به کاهش منابع آب و تخریب کیفیت آن‌ها، از بین رفتن محصولات کشاورزی و غیره شود. بنابراین شناخت پدیده خشکسالی و مدلسازی مؤلفه‌های آن، در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب بسیار حائز اهمیت می‌باشد[۱]. زیرا اگرچه، جلوگیری از وقوع خشکسالی اقلیمی ممکن نیست؛ اما می‌توان آن‌ها را پایش و پیش‌بینی کرد و از طریق مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح، اثرات منفی آن‌ها را کاهش داد. منابع آب زیرزمینی آخرین مؤلفه چرخه هیدرولوژیکی است که تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد. معمولاً در شرایط خشکسالی به عنوان یک منبع قابل اطمینان برای کاهش کمبودات ناشی از خشکسالی در نظر گرفته می‌شود؛ اما با افزایش برداشت از این منابع و وقوع خشکسالی‌های مکرّر در دهه‌های اخیر، مطالعه مقدار و زمان تأثیر خشکسالی اقلیمی در آب زیرزمینی، برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه و کاهش خسارات ناشی از خشکسالی ضروری می‌باشد.

### ۱-۲- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق

خشکسالی اقلیمی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دما است که در هر یک از اقلیم‌های مختلف ممکن است رخ دهد[۲]. وقوع خشکسالی یکی از مهم‌ترین وقایع اقلیمی شدید است؛ که اثرات کوتاه‌مدت و طولانی‌مدت بر منابع آب زیرزمینی دارد[۳]. خشکسالی اقلیمی با یک تأخیر زمانی، به خشکسالی هیدرولوژی منجر می‌شود؛ که این تأخیر زمانی، در بخش هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی، بیشتر است[۴]. این نوع خشکسالی به چند طریق بر وضعیّت آب‌های زیرزمینی اثر می‌گذارد: از دیدگاه کمّی، وقوع خشکسالی اقلیمی از یک طرف منجر به کاهش تغذیه آبخوان می‌شود. از سوی دیگر چون با کاهش رطوبت و افزایش دما همراه

است؛ با افزایش تبخیر، اثر منفی بر منابع آب سطحی می‌گذارد؛ لذا از طریق کاهش منابع آب سطحی، باعث افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی و به عبارت دیگر موجب کاهش مضاعف منابع آب زیرزمینی می‌گردد[۵]. در مجموع، ارتباط بین خشکسالی اقلیمی و وضعیت منابع آب زیرزمینی، در مقایسه با رژیم‌های آب سطحی، خیلی پیچیده‌تر است. زیرا آب زیرزمینی از لحاظ دینامیکی، یک سیستم نسبتاً پایدار است و به تغییرات اقلیمی با تأخیر زمانی قابل توجه، واکنش نشان می‌دهد. علاوه بر این، واکنش آبخوان‌ها به تنش‌های سطحی، به دلیل داشتن ویژگی‌های متفاوت، فرق می‌کند[۶]. در نهایت، گرچه خشکسالی هیدروژئولوژی[۷] به کندی گسترش پیدا می‌کند؛ اما می‌تواند به اثرات سوء اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی، منتهی شود. در بسیاری از بخش‌های جهان استخراج آب زیرزمینی به عنوان مهم‌ترین منبع تأمین آب برای مصارف عمومی و کشاورزی، در حال افزایش است[۸]. در نتیجه اهمیت کارایی سیستم‌های آب زیرزمینی و واکنش آن‌ها در شرایط خشکسالی مشخص شده است. با توجه به این که خشکسالی پدیده‌ای است که نمی‌توان از وقوع آن جلوگیری نمود؛ پیداکردن میزان و نحوه تأثیرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دارای اهمیت است؛ زیرا اولاً خشکسالی تا حدودی قابل پیش‌بینی است و ثانیاً تأثیرات آن بر آب زیرزمینی آنی نیست[۶, ۹-۱۱]. بنابراین می‌توان در فرصت مناسب با تعیین کمیت و چگونگی تأثیرات و همچنین اتخاذ راه‌کارهای مناسب، از وقوع بحران‌های ناشی از کمبود آب زیرزمینی یا تخریب کیفی آن جلوگیری نمود. تخمین و تعیین مناسب نقش خشکسالی اقلیمی در وضعیت آب زیرزمینی کار نسبتاً دشواری است؛ زیرا آب زیرزمینی تنها متأثر از میزان خشکسالی نبوده و عوامل متعددی (مانند میزان برداشت آب زیرزمینی، ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان و غیره) بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. این مسئله باعث می‌شود؛ انجام پیش‌گیری‌های لازم در خصوص تأثیرات این پدیده به درستی امکان‌پذیر نگردد. با توجه به روند رو به رشد برداشت از منابع آب زیرزمینی و تعدّد خشکسالی‌ها و تغییرات اقلیمی شدید در چند دهه اخیر تعیین اثر این تغییرات بر آب‌های زیرزمینی، برای مدیریت بهینه منابع آب ضروری به نظر می‌رسد[۳].

برای بررسی ارتباط خشکسالی و سطح آب زیرزمینی، روش‌های متعددی ارائه شده است؛ که به طور کلّی شامل دو دسته‌اند: روش‌های تعیینی[1] و روش‌های احتمالاتی[2]. مدل‌های تعیینی، فیزیک سیستم‌های آب زیرزمینی را به صورت ریاضی توصیف می‌کند. پارامترهای مدل معمولاً در ارتباط با ویژگی‌های سیستم فیزیکی

[1]. Deterministic

[2]. Stochastic

مورد نظر، مشخص می‌شود. برای کالیبراسیون این مدل‌ها نیاز به درک کامل سیستم مورد مطالعه و داده‌های دقیق و طولانی‌مدت است. اما مدل‌های آماری، که در روش‌های احتمالاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ پیچیدگی‌های توصیف ریاضی فرایندهای سیستم را نداشته و ارتباط آماری را مستقیماً بر اساس مشاهدات انجام گرفته از واقعیات حاکم (اطلاعات آماری) بیان می‌کنند[۱۲].

یکی از روش‌های احتمالاتی، تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی است. یک سری زمانی، مجموعه مشاهداتی است که بر حسب زمان با فواصل یکسان مرتب شده‌است[۱۳]. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، موضوعی با دامنه وسیع است و توسعه تاریخی آن به دو منبع اصلی مهندسی ارتباطات و آمار ریاضی مربوط می‌شود[۱۴]. ویژگی خاص تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی این است که معمولاً مشاهدات متوالی، مستقل نیستند و در این حالت باید ترتیب زمانی مشاهدات را در نظر گرفت. وقتی مشاهدات متوالی غیرمستقل باشند، مقادیر آینده را می‌توان از مقادیر گذشته پیش‌بینی نمود. با توجه به پیوسته بودن مشاهدات متوالی، روش‌ها و فنون آماری سنتی که بر فرض مستقل بودن مشاهدات استوار است، کاربردی ندارد و باید روش‌های دیگری اتخاذ گردد[۱۵].

تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی عموماً در دو قلمرو زمان[1] و فرکانس[2]، انجام می‌شود. روش‌هایی را که برای مطالعه تکامل تدریجی یک سری زمانی با توجه به الگوهای پارامتری، از توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی استفاده می‌کند، تحلیل در «قلمرو زمان» می‌نامند. روش دیگری را که برای مطالعه تجزیه ناپارامتری یک سری زمانی به مؤلفه‌های فرکانسی مختلف آن، از توابع طیفی استفاده می‌کند، تحلیل در «قلمرو فرکانس» می‌نامند[۱۶]. در الگوهای پارامتری فرض بر این است که داده‌ها از تابع توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. اما در الگوهای ناپارامتری، تابع توزیع خاصی برای داده‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. روش‌های قلمروی زمان معمولاً بر اساس یافتن «تابع خودهمبستگی» یک سری زمانی تصادفی و بررسی وابستگی بین داده‌های سری زمانی استوار است. در حالی که روش‌های قلمرو فرکانس بر اساس آنالیز طیفی است و هدف از آن تجزیه سری زمانی به مؤلفه‌هایی با فرکانس متفاوت و سپس مطالعه آن فرکانس‌ها می‌باشد[۱۵]. در روش‌های قلمرو فرکانس از «توابع چگالی طیفی» استفاده می‌شود که مبتنی بر سری‌های فوریه است. تجزیه و تحلیل سری‌های فوریه اساساً با تقریب زدن یک تابع با جملات سینوسی و کسینوسی در معادله سری زمانی انجام می‌گیرد. در این

---

[1]. Time domain

[2]. Frequency Domain