دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده منابع طبیعی

تخمین بارندگی در مناطق کوهستانی حوزه سد زاینده‌رود با استفاده از روش‌های زمین‌آمار

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی- آبخیزداری

فرشاد جلیلی

اساتید راهنما

دکتر سید سعید اسلامیان

دکتر رضا مدرس

۱۳۹۳

کلیه حقوق مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه

متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است

تقدیم :

به پدر و مادر عزیزم

آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه های جاودانی زندگی من است.

در برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین مینهم و با قلبی مملو از عشق، محبت و خضوع بر دستهایشان بوسه میزنم.

سرو وجودشان همیشه سرسبز و مستدام باد.

و به برادران عزیزم

آن مهربانان همیشگی.

تشکر و قدردانی

سپاس بی پایان پروردگار بی همتا را که فرصت علم و دانش را ارزانیم داشت و در تمام مراحل زندگی یاریم نمود. خداوند بزرگ را شاکرم که در این راه حضور و یادش برایم بزرگترین قوت قلب بود. براستی که پیمودن این راه دشوار زندگی جزء با اتکا به قدرت لایزال او ممکن نیست و تنها با یاری و التفات اوست که انسان می تواند بر مشکلات فائق آید. حال که نگارش این رساله به اتمام رسیده است،

بر خود لازم می دانم :

در ابتدا سپاس ویژه خود را تقدیم مینمایم به پدر و مادر عزیزم که همواره گرمای امید بخش وجودشان در این سردترین روزگاران بهترین دلگرمی بوده و هیچگاه نه از خود و نه از آنچه در توان داشته اند دریغ نورزیدند تا در سایه حمایت همیشگیشان بتوانم این راه طولانی را بپیمایم.

نهایت سپاس خود را تقدیم می دارم به جناب آقای دکتر سید سعید اسلامیان و جناب دکتر رضا مدرس که در ذهن خلاقشان غیر ممکن معنایی نداشته و ناامیدی و یاس را با جادوی سخنان دلگرم کنندشان همواره به امید و انگیزه مبدل ساختند و با صبر بسیار مرا از راهنمایی های ارزشمند خودشان بهره مند ساختند.

از جناب آقای سعید سلطانی کوپائی استاد مشاور گرانقدر و که در تکمیل مباحث پایان نامه یاری ام نموده اند تشکر را دارم.

از داوران گرانقدر جناب آقای دکتر سعید پور منافی و جناب آقای دکتر جهانگیر عابدی کوپائی که زحمت باز خوانی این رساله را متقبل شدند و با راهنمایی های ارزنده شان در ارائه هر چه بهتر این رساله یاریم نمودند، کمال تشکر را دارم.

فرصتی است مغتنم تا از محبت ها و دلگرمی های تمامی دوستانی که در این مدت همیار من بوده اند، آقایان: شیبانی، راکی، محسنی، زالی پور، مظفری و کلیه دوستانی که در طول دوره تحصیلی کارشناسی ارشد افتخار آشنایی با ایشان را داشته ام تشکر و قدردانی نمایم. از خداوند منان سربلندی و بهروزی ایشان را در تمام مراحل زندگی خواستارم.

و سرانجام،

هرکه و هرچه شایسته تقدیر و تشکر بود و ما به زبان نیاوردیم....

فرشاد جلیلی

زمستان ۹۳

چکیده

ریزش‌های جوی خصوصاً بارندگی جهت بسیاری از تحلیل‌ها و طراحی‌های هیدرولوژی حائز اهمیت می‌باشند. متاسفانه در بیشتر موارد داده‌های ایستگاه‌های اندازه گیری دارای بارندگی ناکافی و پراکندگی مکانی نامناسب جهت تحلیل می‌باشند. علاوه بر این تخمین صحیح توزیع مکانی بارش شبکه بسیار متراکمی از ادوات نیاز دارد که هزینه‌ی بالای نصب و عملکرد را طلب می‌نماید. در چنین وضعیتی، شبیه سازی داده‌های بارش در نقاط اندازه‌گیری نشده از اهداف اصلی مطالعات منابع آب است و در مدیریت این منابع نقش کلیدی دارد. لذا در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از روش‌های تعیینی شامل پلی‌گون تایسن و وزن‌دهی فاصله معکوس و روش‌های زمین‌آمار شامل کریجینگ معمولی و عمومی در یک دوره آماری ۲۰ ساله تولید داده بارندگی به طور روزانه برای منطقه حوزه سد زاینده‌رود انجام گیرد. جهت صحت سنجی داده های تولید شده از داده‌های واقعی سه ایستگاه شاهد شامل چلگرد، چادگان و میرآباد موجود در حوزه که از روش تحلیل خوشه‌ای انتخاب گردیده‌اند، استفاده گردیده است. با استفاده از تعداد تراکم ایستگاه ۲۷، ۱۵، ۱۰ و ۵ ایستگاه فرآیند درون-یابی برای هر کدام از سه ایستگاه شاهد یا استفاده از روش جک نایف انجام گرفت. نتایج حاصل از داده‌های تولید شده با استفاده از چهار پارامتر مقایسه‌ای شامل ضریب همبستگی، ریشه دوم مربعات خطا، میانگین خطای مطلق و میانگین خطای اریب هم به طور روزانه و هم برای فصول مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند. مدل گوسین به عنوان بهترین مدل جهت برازش شدن به نیمه‌پراش‌نگار انتخاب گردید. برای ایستگاه چادگان، درون‌یابی با استفاده از روش‌های مختلف نشان دادکه درون‌یابی با استفاده از بهینه ترین حالت تعداد ایستگاه-ها(یعنی ۲۷ عدد)، روش کریجینگ معمولی بهترین روش می‌باشد. سپس هر چه از تعداد ایستگاه کاسته می‌شود، کارایی روش‌های زمین-آمار کمتر می‌شود و عمدتاً روش معکوس فاصله و تایسن برتری می‌یابد. نتایج درون‌یابی برای ایستگاه میرآباد از برتری روش کریجینگ عمومی برای درون‌یابی برای همه تراکم ایستگاه‌ها حکایت داشت. ایستگاه چلگرد به دلیل دور بودن از سایر ایستگاه‌ها شرایط متفاوتی داشت. در درون‌یابی با استفاده از تعداد ۵ ایستگاه شرایط برای هر سه ایستگاه کاملا متغیر بوده و تنها روش تایسن نتایج بهتری ارائه داده است. برای هر سه ایستگاه بهترین روش برای تولید داده برای فصول مختلف متغیر بوده است ولی به طور کلی روش‌های کریجینگ معمولی زمانی که تعداد ایستگاه‌ها زیادتر بودند(تعداد ۲۷ عدد) و همچنین در موقعی از سال که بارندگی بیشتری وجود داشت(فصل زمستان) نسبت به بقیه روش‌ها برتری داشتند. به علاوه روش‌های تعیینی از جمله تایسن در زمانی که تعداد ایستگاه‌ها کمتر(تعداد ۵ ایستگاه) و بارندگی کمتری وجود داشت(فصل تابستان) نتایج بهتری ارائه دادند. شایان ذکر است که همیشه افزایش در تعداد ایستگاه‌ها منجر به افزایش در دقت داده‌ها نمی‌گردد. در این تحقیق نتایج حاصل از درون‌یابی با استفاده از تعداد ۱۵ ایستگاه ضعیف‌تر از ۱۰ ایستگاه بوده است. در درون‌یابی با استفاده از تعداد ۱۵ ایستگاه ساختار فضایی ضعیفی برای روش‌های زمین‌آمار وجود داشت و این مورد به دلیل نحوه چیدمان ایستگاه‌ها در سطح حوزه بوده است. گاهی اوقات با تعداد ایستگاه کمتر ولی چیدمان بهتر درون‌یابی بهتری انجام می‌گیرد. می‌توان گفت که انتخاب بهترین روش درون‌یابی به تعداد ایستگاه بهینه، نحوه پراکنش آنها در سطح حوزه و همچنین شرایط اقلیمی منطقه مورد نظر بستگی دارد. نتایج حاصل از این تحقیق قابل استفاده در بسیاری از مطالعات و خصوصاً مدل‌های هیدرولوژیک می‌باشد.

لغات کلیدی: درون‌یابی، کریجینگ، سد زاینده‌رود، بارندگی، زمین‌آمار، نیمه‌پراش‌نگار و پهنه‌بندی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱مروری بر زمین‌آمار ۵

۱-۲ اهداف تحقیق ۷

۱-۳ فرضیات تحقیق ۷

۱-۴ اهمیت تحقیق ۷

۱-۵ محدودیت‌های تحقیق ۷

فصل دوم: سابقه تحقیق

۲-۱ تاریخچه‌ی مختصر زمین‌آمار ۱۰

۲-۲ مبانی زمین‌آمار ۱۰

۲-۲-۱ تصادفی بودن فرآیند ۱۰

۲-۲-۲ مفهوم ایستایی ۱۱

۲-۲-۳ نیمه‌پراش‌نگار ۱۱

۲-۲-۴ نیمه‌پراش‌نگارهای تجربی برای جهات مختلف ۱۴

۲-۲-۵ برازش مدل به نیمه‌پراش‌نگار تجربی ۱۴

۲-۲-۶ آستانه ۱۵

۲-۲-۷ اثر ناگت ۱۶

۲-۲- ۸ ناهمروندی هندسی(ناهمسانگردی) ۱۶

۲-۲-۹ ناهمروندی منطقه‌ای ۱۷

۲-۲-۱۰ روش جک نایف ۱۷

۲-۲-۱۱ مفهوم کریجینگ معمولی ۱۷

۲-۲-۱۲ مفهوم کریجینگ عمومی ۱۸

۲-۳ مدل های تئوری نیمه‌پراش‌نگار ۱۹

۲-۳-۱ مدل‌های دارای آستانه ۱۹

۲-۳-۲ مدل‌های بدون آستانه ۲۲

۲-۴ سابقه تحقیق در خارج از ایران ۲۳

۲-۵ سابقه تحقیق در ایران ۲۸

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ منطقه مورد مطالعه ۳۲

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۱-۱ جریان‌های آب و هوایی در محدوده مطالعاتی ۳۲
۳-۱-۲- منابع آب منطقه مطالعاتی ۳۳
۳-۲ جمع‌آوری و نظم‌دهی داده‌ها ۳۶
۳-۲-۱ مدل رقومی ارتفاع منطقه مطالعاتی ۳۶
۳-۲-۲ آمار و اطلاعات مرتبط به شبکه ایستگاه‌ها مورد استفاده ۳۷
۳-۲-۳ تکمیل نواقص آماری ۳۸
۳-۲-۴ بررسی دقت و صحت داده‌های هواشناسی و انتخاب دوره مبنای آماری ۳۹
۳-۳ تحلیل شناسائی داده‌های بارندگی ۴۰
۳-۳-۱ انتخاب ایستگاه‌های مبنا ۴۰
۳-۴ تراکم شبکه ایستگاه‌ها ۴۱
۳-۵ روش‌های درون‌یابی ۴۱
۳-۵-۱ روش‌های تعیینی و بارندگی روزانه حوضه ۴۲
۳-۵-۲ روش‌های زمین‌آمار و بارندگی روزانه حوضه ۴۴
۳-۶ تخمین بارندگی به روش کریجینگ ۴۵
۳-۶-۱ تخمین بارندگی بر اساس روش کریجینگ معمولی ۵۰
۳-۶-۲ تخمین بارندگی بر اساس روش کریجینگ عمومی ۵۱
۳-۷ ارزیابی متقابل ۵۲

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴- ۱ نتایج حاصل از تحلیل خوشه بندی ۵۳
۴-۲ نتایج حاصل از درون‌یابی با استفاده از روش‌های تعیینی ۵۶
۴-۲-۱ روش پلی‌گون تایسن ۵۶
۴-۲-۲ روش وزن‌دهی فاصله معکوس ۵۹
۴-۳ نتایج حاصل از درونیابی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار ۶۲
۴-۳-۱ انتخاب بهترین مدل نیمه‌پراش‌نگار ۶۲
۴-۴ نتایج روش کریجینگ معمولی ۶۷
۴-۵ نتایج روش کریجینگ عمومی ۷۴
۴-۶ مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی ۸۱
۴-۶-۱ مقایسه کلی برای سه ایستگاه شاهد ۸۱
۴-۶-۲ عملکرد روش‌های مختلف درون‌یابی برای ایستگاه چادگان ۸۲
۴-۶-۳ عملکرد روش‌های مختلف درون‌یابی برای ایستگاه میرآباد ۸۸

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۴-۶-۴ عملکرد روشهای مختلف درون‌یابی برای ایستگاه چلگرد ۹۴

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ نتیجه‌گیری کلی ۱۰۶

۵-۲ پیشنهادها ۱۰۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱) نموداری از یک واریورگرام تجربی ۱۲
شکل۲-۲) مفهوم جفت‌های مکانی ۱۲
شکل۲-۳) مراحل ساخت سطح واریوگرام و ارتباط آن با نمودار واریوگرام..... ۱۳
شکل۲-۴) شبکه‌بندی به طریق شعاعی(مربوط به ساخت واریوگرام)..... ۱۳
شکل۲-۵) رده‌بندی سمتی با عرض باند ۵ متر و با اندازه تأخیر فاصله‌ای به میزان ۵ متر و..... ۱۴
شکل۲-۶) پنج نوع از مدلهای مهم واریوگرام..... ۱۵
شکل۲-۷) مثالی از برازش رگرسیون خطی بر جفت داده‌های فاصله - واریانس..... ۱۵
شکل ۲-۸) مفاهیم آستانه، ناگت و دامنه در واریوگرام(H فاصله میباشد) ۱۶
شکل۲-۹) مفهوم جفت‌های مکانی ۱۷
شکل۲-۱۰) مثالی از یک پهنه یک‌بعدی(مانند یک نیمرخ توپوگرافی) -کریجینگ معمولی..... ۱۸
شکل۲-۱۰) مثالی از یک پهنه یک‌بعدی(مانند یک نیمرخ توپوگرافی) -کریجینگ عمومی ۱۸
شکل۳-۱) محدوده منطقه مطالعاتی در استانهای اصفهان و چهارمحال و بختیاری..... ۳۵
شکل۳-۲) موقعیت و توپوگرافی منطقه مطالعاتی ۳۶
شکل۳-۳) نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه مطالعاتی..... ۳۷
شکل ۳-۴) رابطه توان و میزان RMSE..... ۴۴
شکل۳-۵) رابطه توان، میزان وزن و فواصل نقاط در مدل IDW..... ۴۴
شکل۳-۶) فلوچارت انجام تخمین به روش زمین‌آمار..... ۴۵
شکل ۳-۷) مثالی از یک متغیر پهنه‌ای(نقطه زرد رنگ مجهول و سایر نقاط کمیتی معلوم می‌باشند) ۴۶
شکل۳-۸) به طور خلاصه مراحل عمومی کار در روش کریجینگ(ذکرشده در بالا) را بیان می‌کند. ۵
شکل ۴-۱) دندروگرام حاصل از فرآیند خوشه‌بندی از طریق روش وارد ۵۴
شکل۴-۲) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های شاهد(منتخب) ۵۶
شکل۴-۳) نقشه میانگین بارش سالیانه حوضه سد زاینده‌رود(دوره ۲۰سااله): روش چندضلعی تایسن ۵۷
شکل۴-۴) نقشه میانگین بارش سالانه حوضه سد زاینده‌رود: روش فاصله معکوس و (P=2)..... ۶۰
شکل۴-۵) نمودارهای مربوط به فراوانی مدل‌های مختلف برای فصول مختلف در دوره آماری ۲۰ سال (الف= چلگرد، ب= چادگان، ج= میرآباد)..... ۶۴
شکل۴-۶) نمودارهای مربوط به فراوانی مدل‌های مختلف برای فصول مختلف در هر سال(الف= چلگرد، ب= چادگان، ج= میرآباد) ۶۵
شکل۴-۷) نمودارهای مربوط به فراوانی مدل‌های مختلف حاصل از مجموع کل فصول در کل دوره آماری ۲۰ ساله..... ۶۶
شکل۴-۸) نقشه میانگین بارش سالیانه حوضه سد زاینده‌رود: روش کریجینگ معمولی ۷۰
شکل ۴-۹) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ۲۷ ایستگاه – ایستگاه چادگان - مدل برازش شده گوسین..... ۷۱
شکل ۴-۱۰) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ۲۷ ایستگاه – ایستگاه چلگرد - مدل برازش شده گوسین ۷۱
شکل۴-۱۱) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ۲۷ ایستگاه – ایستگاه میرآباد – مدل برازش شده گوسین..... ۷۱
شکل۴-۱۲) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ۱۵ ایستگاه – ایستگاه چادگان - مدل برازش شده گوسین..... ۷۱
شکل۴-۱۳) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ۱۵ ایستگاه – ایستگاه چلگرد- مدل برازش شده گوسین ۷۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۴-۱۴) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ۱۵ ایستگاه – ایستگاه میرآباد- مدل برازش شده گوسین..... ۷۱

شکل۴-۱۵) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ۱۰ ایستگاه – ایستگاه چادگان - مدل برازش شده گوسین ۷۲

شکل۴-۱۶) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ۱۰ ایستگاه – ایستگاه چلگرد- مدل برازش شده گوسین ۷۲

شکل۴-۱۷) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ده ایستگاه – ایستگاه میرآباد- مدل برازش شده گوسین ۷۲

شکل۴-۱۸) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ۵ ایستگاه – ایستگاه چادگان- مدل برازش شده گوسین..... ۷۲

شکل۴-۱۹) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ۵ ایستگاه – ایستگاه چلگرد- مدل برازش شده گوسین..... ۷۲

شکل۴-۲۰) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ معمولی- تعداد ۵ ایستگاه – ایستگاه میرآباد- مدل برازش شده گوسین..... ۷۲

شکل۴-۲۱) نقشه میانگین بارش سالیانه حوضه سد زاینده‌رود: روش کریجینگ عمومی..... ۷۷

شکل ۴-۲۲) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد ۲۷ایستگاه – ایستگاه چادگان –مدل برازش شده نمایی..... ۷۸

شکل۴-۲۳) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد۲۷ ایستگاه – ایستگاه چلگرد - مدل برازش شده گوسین..... ۷۸

شکل۴-۲۴) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد۲۷ ایستگاه –ایستگاه میرآباد - مدل برازش شده نمایی..... ۷۸

شکل۴-۲۵) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد ۱۵ ایستگاه –ایستگاه چادگان - مدل برازش شده گوسین ۷۸

شکل۴-۲۶) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد ۱۵ایستگاه –ایستگاه چلگرد - مدل برازش شده گوسین..... ۷۸

شکل۴-۲۷) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد ۱۵ایستگاه –ایستگاه میرآباد - مدل برازش شده گوسین..... ۷۸

شکل۴-۲۸) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد ۱۰ ایستگاه –ایستگاه چادگان - مدل برازش شده نمایی ۷۹

شکل۴-۲۹) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد ۱۰ ایستگاه –ایستگاه چلگرد - مدل برازش شده گوسین..... ۷۹

شکل۴-۳۰) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد ۱۰ ایستگاه –ایستگاه میرآباد - مدل برازش شده نمایی..... ۷۹

شکل۴-۳۱) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد ۵ ایستگاه –ایستگاه چادگان - مدل برازش شده گوسین..... ۷۹

شکل۴-۳۲) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد ۵ ایستگاه –ایستگاه چلگرد - مدل برازش شده گوسین ۷۹

شکل۴-۳۳) سمی- واریوگرام با روش کریجینگ عمومی- تعداد ۵ ایستگاه –ایستگاه میرآباد - مدل برازش شده گوسین ۷۹

شکل ۴-۳۴) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده ایستگاه چادگان در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار ضریب همبستگی (ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار ضریب همبستگی برای فصول بهار، تابستان، پاییز وزمستان. الف) مقدار ضریب همبستگی برای کل دور..... ۸۴

شکل۴-۳۵) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده ایستگاه چادگان در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار RMSE(MM) (ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار RMSE (MM) برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان. الف) مقدار RMSE (MM) برای کل دوره آماری ۲۰ ساله..... ۸۵

شکل ۴-۳۶) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده ایستگاه چادگان در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار MBE (MM) . (ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار MBE (MM) برای فصول بهار، تابستان، پاییز وزمستان. الف) مقدار MBE (MM) برای کل دوره آماری ۲۰ سال..... ۸۶

شکل ۴-۳۷) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده ایستگاه چادگان در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار MAE (MM). ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار MAE (MM) برای فصول بهار، تابستان، پاییز وزمستان. الف) مقدار MAE (MM) برای کل دوره آماری ۲۰ سال ۸۷

شکل ۴-۳۸) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده ایستگاه میرآباد در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار ضریب همبستگی. ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار ضریب همبستگی برای فصول بهار، تابستان، پاییز وزمستان. الف) مقدار ضریب همبستگی برای کل دو..... ۹۰

شکل ۴-۳۹) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده ایستگاه میرآباد در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار RMSE (MM). (ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار RMSE (MM) برای فصول بهار، تابستان، پاییز وزمستان. الف) مقدار RMSE (MM) برای کل دوره آماری ۲۰ سال ۹۱

شکل۴-۴۰) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده ایستگاه میرآباد در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار MBE (MM). (ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار MBE (MM) برای فصول بهار، تابستان، پاییز وزمستان. الف) مقدار MBE (MM) برای کل دوره آماری ۲۰ سال ۹۲

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۴۱) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده بارندگی ایستگاه میرآباد در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار MAE (MM). (ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار MAE (MM) برای فصول بهار، تابستان، پاییز وزمستان. الف) مقدار MAE (MM) برای کل دوره ۲۰ سال ۹۳

شکل ۴-۴۲) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده بارندگی ایستگاه چلگرد در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار ضریب همبستگی. (ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار ضریب همبستگی برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان. الف) مقدار ضریب همبستگی برا..... ۹۶

شکل ۴-۴۳) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده بارندگی ایستگاه چلگرد در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار RMSE (MM). (ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار RMSE (MM) برای فصول بهار، تابستان، پاییز وزمستان. الف) مقدار RMSE (MM) برای کل دوره ۲۰ ..... ۹۷

شکل ۴-۴۴) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده بارندگی ایستگاه چلگرد در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار MBE (MM). (ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار MBE (MM) برای فصول بهار، تابستان، پاییز وزمستان. الف) مقدار MBE (MM) برای کل دوره آماری ۹۸

شکل ۴-۴۵) مقایسه مقادیر تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده بارندگی ایستگاه چلگرد در تعداد ایستگاه متغیر با استفاده از پارامتر مقدار MAE (MM). (ب، ج، د، ه)= به ترتیب مقدار MAE (MM) برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان. الف) مقدار MAE (MM) برای کل دوره ۲۰..... ۹۹

شکل ۴-۴۶) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۲۷ ایستگاه برای ایستگاه چادگان- بهترین روش = کریجینگ معمولی ۱۰۰

شکل ۴-۴۷) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۲۷ ایستگاه برای ایستگاه چلگرد- بهترین روش = فاصله معکوس ۱۰۰

شکل ۴-۴۸) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۲۷ ایستگاه برای ایستگاه میرآباد- بهترین روش =کریجینگ عمومی..... ۱۰۱

شکل ۴-۴۹) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۱۵ ایستگاه برای ایستگاه میرآباد- بهترین روش =کریجینگ عمومی..... ۱۰۱

شکل ۴-۵۰) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۱۵ ایستگاه برای ایستگاه چادگان- بهترین روش پلی‌گون تایسن ۱۰۲

شکل ۴-۵۱) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۱۵ ایستگاه برای ایستگاه چلگرد- بهترین روش= پلی‌گون تایسن ۱۰۲

شکل ۴-۵۲) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۱۰ ایستگاه برای ایستگاه چادگان- بهترین روش فاصله معکوس..... ۱۰۳

شکل ۴-۵۳) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۱۰ ایستگاه برای ایستگاه چلگرد= بهترین روش= پلی‌گون تایسن ۱۰۳

شکل ۴-۵۴) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۱۰ ایستگاه برای ایستگاه میرآباد- بهترین روش =کریجینگ عمومی..... ۱۰۴

شکل ۴-۵۵) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۵ ایستگاه برای ایستگاه چلگرد- بهترین روش= پلی‌گون تایسن..... ۱۰۴

شکل ۴-۵۶) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۵ ایستگاه برای ایستگاه میرآباد- بهترین روش = پلی‌گون تایسن..... ۱۰۵

شکل ۴-۵۷) مقایسه داده‌های واقعی و تخمین‌زده شده بارندگی حاصل از درون‌یابی با استفاده از ۵ ایستگاه برای ایستگاه چادگان- بهترین روش = پلی‌گون تایسن..... ۱۰۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۳-۱) مشخصات ایستگاه‌های منتخب جهت انجام فرآیند زمین‌آمار ۳۸

جدول ۳-۲) طول آمار ثبت شده در ایستگاه‌های آب منطقه‌ای و هواشناسی جهت انتخاب پایه‌ی آماری مشترک ۴۰

جدول۳-۳) نحوه محاسبه و ساخت واریانس تجربی ۴۷

جدول۳-۴) نحوه رده‌بندی و ایجاد واریانس متوسط در هر رده ۴۸

جدول۳-۵) نحوه ساخت ماتریس Γ ۴۸

جدول۳-۶) نحوه ساخت وارون ماتریس Γ ۴۹

جدول۳-۷) نحوه ساخت بردارG ۴۹

جدول۳-۸) مرحله نهائی در تخمین نقطه مجهول بر اساس روش کریجینگ ۵۰

جدول۴-۱) واریانس داده‌های ایستگاه‌ها ۵۶

جدول۴-۲) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش چندضلعی تایسن برای ایستگاه چادگان ۵۸

جدول۴-۳) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش چندضلعی تایسن برای ایستگاه چلگرد ۵۸

جدول۴-۴) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش چندضلعی تایسن برای ایستگاه میرآباد ۵۹

جدول۴-۵) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش وزن‌دهی فاصله معکوس برای ایستگاه چادگان ۶۱

جدول۴-۶) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش وزن‌دهی فاصله معکوس برای ایستگاه چلگرد ۶۱

جدول۴-۷) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش وزن‌دهی فاصله معکوس برای ایستگاه میرآباد ۶۲

جدول۴-۸) پارامترهای برازش مدل‌های واریوگرام بر روی داده‌های بارش(روش کریجینگ معمولی – تعداد ۲۴ ایستگاه) ۶۸

جدول۴-۹) پارامترهای برازش مدل‌های واریوگرام بر روی داده‌های بارش(روش کریجینگ معمولی – تعداد ۱۵ ایستگاه) ۶۸

جدول۴-۱۰) پارامترهای برازش مدل‌های واریوگرام بر روی داده‌های بارش(روش کریجینگ معمولی – تعداد ۱۰ ایستگاه) ۶۹

جدول۴-۱۱) پارامترهای برازش مدل‌های واریوگرام بر روی داده-های بارش(روش کریجینگ معمولی – تعداد ۵ ایستگاه) ۶۹

جدول۴-۱۲) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش کریجینگ معمولی برای ایستگاه چادگان ۷۳

جدول۴-۱۳) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش کریجینگ معمولی برای ایستگاه چلگرد ۷۳

جدول۴-۱۴) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش کریجینگ معمولی برای ایستگاه میرآباد ۷۴

جدول۴-۱۵) پارامترهای برازش مدل‌های واریوگرام بر روی داده‌های بارش(روش کریجینگ عمومی – تعداد ۲۴ ایستگاه) ۷۵

جدول۴-۱۶) پارامترهای برازش مدل‌های واریوگرام بر روی داده‌های بارش(روش کریجینگ عمومی – تعداد ۱۵ ایستگاه) ۷۵

جدول۴-۱۷) پارامترهای برازش مدل‌های واریوگرام بر روی داده‌های بارش(روش کریجینگ عمومی – تعداد ۱۰ ایستگاه) ۷۶

جدول۴-۱۸) پارامترهای برازش مدل‌های واریوگرام بر روی داده‌های بارش(روش کریجینگ عمومی – تعداد ۵ ایستگاه) ۷۶

جدول۴-۱۹) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش کریجینگ عمومی برای ایستگاه چادگان ۸۰

جدول۴-۲۰) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش کریجینگ عمومی برای ایستگاه چلگرد ۸۰

جدول۴-۲۱) نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش کریجینگ عمومی برای ایستگاه میرآباد ۸۱

جدول۴-۲۲) مقادیر میانگین و حداکثر سالانه به دست آمده با روش‌های مختلف برای سه ایستگاه شاهد ۸۱

فصل اول
مقدمه

برنامه‌ریزی، توسعه، مدیریت و بهره‌برداری از سیستم‌های منابع‌آب به اطلاعات متعدد و متنوع در زمینه‌های هواشناسی، هیدرولوژی، اقتصادی و اجتماعی نیازمند می‌باشد. در این میان، ریزش‌های جوی خصوصاً بارندگی یکی از مهمترین فرآیندهای چرخه‌ی هیدرولوژی بوده که تنها در صورت وقوع آن فرآیندهایی نظیر سیلاب، فرسایش، رسوبگذاری، آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی به وقوع می‌پیوندد. این فرآیند از بیشترین تغییرات مکانی و زمانی برخوردار بوده وکمیت بخشیدن به آن در مکان و زمان همواره مورد توجه محققین مختلف بوده است[۳]. علاوه بر این بارش یکی از پیچیده‌ترین و اتفاقی‌ترین پدیده‌های طبیعی می‌باشد. در واقع تاثیر عوامل محسوس یا غیرمحسوس آنچنان در ایجاد این حادثه دخیل است که این روند را از یک نظام قانونمند روشن به سوی یک ساختار پیچیده سوق داده است، به طوریکه باید به روش‌های مختلف بارندگی و داده‌های آن را هرچه دقیق‌تر بررسی کرد[۱۳]. داده‌های بارندگی اندازه‌گیری‌شده جهت بسیاری از تحلیل‌ها و طراحی‌های هیدرولوژی شامل مطالعات بیلان آب، مدیریت حوضه آبگیر، طراحی سیستم‌های مقابله با سیلاب، طراحی مخازن و سدها حائز اهمیت می‌باشند. به عنوان مثال برای تشخیص سیلاب‌های شدید محلی که ممکن است به خسارات زیادی منجر گردد، تخمین‌های با دقت بالا از تغییرات مکانی بارش ضروری است. متاسفانه در بیشتر موارد داده‌های ایستگاه‌های اندازه گیری بارندگی ناکافی و دارای پراکندگی مکانی نامناسب جهت تحلیل می‌باشند. علاوه بر این تخمین صحیح توزیع مکانی بارش شبکه بسیار متراکمی از ادوات نیاز دارد که هزینه‌ی بالای نصب شده و عملکرد را طلب می‌نماید. همچنین خطای تکنسین در مشاهده به موقع اندازه‌گیری باعث نقص داده برای یک ایستگاه و متعاقباً داده‌های این ایستگاه قابل استفاده نیست و بنابراین ممکن است به تعداد کمتری از ایستگاه‌ها منجر گردد. در چنین وضعیتی، شبیه سازی داده‌های بارش در نقاط

اندازه‌گیری نشده از اهداف اصلی مطالعات منابع آب است و در مدیریت این منابع نقش کلیدی دارد[۲]. علاوه بر این داده‌های مورد نظر مشکلات زیادی برای تخمین دبی، سطح آب‌های زیرزمینی و رطوبت خاک ایجاد می‌کنند، به ویژه وقتی که ایستگاه مورد نظر در خارج از منطقه‌ی مطالعه قرار دارد و بر اساس داده‌های آن فرآیند تخمین انجام شود[۴۴]. به علاوه مطالعات هیدرولوژی از مهمترین مطالعات حوزه آبخیز به شمار می‌رود. در بسیاری از موارد جهت انجام این مطالعات لازم به استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک می‌باشد. برخی از این مدل‌ها نیاز به داده‌های اقلیمی با دقت مکانی و زمانی زیاد دارند که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به بارندگی که توسط دستگاه‌های باران‌سنج اندازه‌گیری می‌شود اشاره کرد و استفاده تنها فقط از یک یا چند ایستگاه باران‌سنج ویا تعداد ایستگاه محدود به دلیل نداشتن دقت مکانی لازم موجب ایجاد خطا در تخمین دبی با استفاده از این مدل‌ها می‌گردد[۱۸، ۲۶]. بنابراین لازم است که داده‌های بارش با دقت مکانی و زمانی بالا جهت ورودی به این مدل‌ها تهیه گردد[۱۰].

مقادیر خطای تخمین در مناطق کوهستانی به دو دلیل بالاتر از مناطق دشتی می‌باشد. اول اینکه در این مناطق پیچیدگی‌های فراوان توپوگرافیکی و تبعاً بارندگی وجود دارد. دوم اینکه با توجه به توپوگرافی منطقه امکان ایجاد ایستگاه‌های بیشتر و داشتن داده‌های دقیق‌تر بارندگی وجود ندارد و به علاوه بسیاری از ایستگاه‌ها در مناطق پست واقع گردیدند که الگوی بارش آنها دارای تفاوت چشمگیر با مناطق مرتفع می‌باشد[۴۰]. مدل‌های هیدرولوژیک حال حاضر به داده‌های بارش ساعتی و روزانه که از شبکه متراکمی از ایستگاه‌ها به‌دست آمده است نیازمند می‌باشند[۱۴]. همچنین آمار باندگی منطقه‌ای در مدیریت منابع آب و پیش‌بینی سیلاب نقش بسیار زیادی دارد [۳۲]. همچنین جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش و سیلاب باید از داده‌های منطقه‌ای بارش با دقت بسیار بالا استفاده گردد[۱۵، ۴۶]. بنابراین لازم است جهت تولید داده‌هایی با دقت بالا از روش‌های درون‌یابی استفاده کرد. به فرآیند برآورد ارزش‌های کمی برای نقاط بدون داده به کمک نقاط مجاور و معلوم، درون‌یابی[1] می‌گویند [۱۷]. این فرآیند به دلیل محدودیت داده‌های نقطه ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، بمنظور تهیه‌ی نقشه‌های هم ارزش(هم باران، هم دما و ...) انجام می‌گیرد[۸].

درون‌یابی را به چندین روش می‌توان انجام داد. در ابتدا می‌توان این روش‌ها را به دو گروه جهانی[2] و محلی[3] طبقه بندی کرد. درون‌یابی جهانی تمامی نقاط معلوم را برای برآورد ارزش نقاط نامعلوم بکار می‌گیرد، در حالی که روش محلی برای برآورد هر نقطه‌ی نامعلوم، تنها نمونه‌هایی از نقاط معلوم را بکار می‌برد. در طبقه بندی دیگر، دقت روش ملاک طبقه‌بندی است. در روش دقیق[4] مقادیر برآوردشده به مشاهدات(اندازه‌گیری‌ها) نزدیک‌تر است، در حالی که روش غیردقیق[5]، تقریبی از ارزش‌ها بوده و سطحی را برآورد می‌کند که بسیار کلی‌تر می باشد[۱۷]. سومین ملاک طبقه‌بندی روش‌های درون‌یابی، مبتنی بر قطعی یا احتمالی بودن تخمین می‌باشد. در روش قطعی، مقادیر تخمینی فاقد خطا، ولی در روش احتمالی، برآورد حاوی خطاست. روش‌های درون‌یابی، از هر نوعی که باشند، می‌تواند به صورت معادله‌ی خطی یا غیرخطی باشند [۴]. امروزه بسیاری از تحقیقات هیدرولوژی بر روی روش‌های بهبود تخمین در نقاط فاقد ایستگاه و هم چنین پهنه‌بندی بارش تمرکز داشته و روش‌های متنوعی جهت درون‌یابی بارش نقطه‌ای در نقاط فاقد ایستگاه در دسترس می باشند.

ازیک دیدگاه دیگر روش‌های تخمین بارش در نقاط فاقد ایستگاه به دو دسته تقسیم می‌گردند:

---

[1]-Interpolation
[2]-Universal
[3]-Local
[4]-Exact
[5]-Inexact

۱) روشهایی که مقدار بارندگی آن نقاط را مستقیماً بر اساس مقادیر اندازه گیری شده از سایر ایستگاه‌ها محاسبه می-کنند(روش‌های کلاسیک یا روش‌های تعیینی[1]) . از جمله مهم ترین روش‌های تعیینی می‌توان وزن‌دهی فاصله معکوس[2] ، پلی‌گون تایسن[3] و روش نزدیک‌ترین همسایه[4] نام برد. ۲) روشهایی که ابتدا بر روی نقاط دارای ایستگاه موجود یک سطح برازش داده و از آن به قصد نمایش بارش در تمام نقاط منطقه مورد نظر استفاده می‌کنند و در واقع از ارتباط فضایی بین ایستگاه‌ها جهت انجام فرآیند تخمین برای نقاط مجهول و فاقد داده استفاده می کنند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های زمین‌آمار نام برد که مهمترین آنها کریجینگ[5] و کوکریجینگ[6] می‌باشد[۲]. در یک دیدگاه کلی می‌توان تفاوت روش‌های کلاسیک و زمین‌آمار را به صورت زیر توضیح داد: در بررسی‌های آمار کلاسیک، اجزایی یا نمونه‌هایی که از کل جامعه به منظور شناخت آن برداشت می‌شوند، فاقد اطلاعات موقعیتی در فضا بوده و در نتیجه مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت معین در یک نمونه خاص هیچگونه اطلاعاتی در مورد مقدار همان کمیت در نمونه دیگری به فاصله‌ی معین معلوم دربر نخواهد داشت. به عبارت دیگر نتایج به دست‌آمده از اندازه‌گیری نمونه‌ها مستقل از موقعیت فضایی آنها مورد تحلیل قرار می‌گیرد. بنابراین مقدار یک کمیت در یک نمونه هیچگونه اطلاعاتی درباره مقدار آن کمیت در نمونه‌های دیگر به فواصل مختلف نمی‌دهد. در حالیکه در زمین‌آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه موقعیت فضایی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. بدین لحاظ می‌توان موقعیت فضایی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر یکجا مورد تحلیل قرار داد. بنابراین در زمین‌آمار به بررسی آن دسته از متغیرها پرداخته می‌شود که ساختار فضایی از خود بروز می‌دهند. به عبارت دیگر ابتدا به بررسی وجود یا عدم ساختار فضایی بین داده‌ها پرداخته می‌شود و سپس در صورت وجود ساختار فضایی تحلیل مختلف یک کمیت در جامعه نمونه‌ها و فاصله و جهت قرارگیری نمونه‌ها نسبت به هم ارتباطی برقرار کرد. این ارتباط فضایی[7] (فاصله ای و جهتی) بین مقدار یک کیمت در جامعه نمونه‌های برداشت شده ممکن است در قالب-های ریاضی قابل بیان باشد. به این قالب‌های ریاضی ساختار فضایی گفته می‌شود. همچنین فرض می‌شود که این وابستگی بین نمونه‌ها را می‌توان به صورت مدل ریاضی تحت عنوان تغییر نما[8] ارائه کرد[۵].

البته ممکن است نمونه‌های مجاور تا فاصله معین در قالب ساختار فضایی به هم وابسته باشند. در این حالت بدیهی است که میزان تشابه بین مقادیر مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر احتمالا بیشتر است زیرا، در صورت وجود ساختار فضایی، تغییرات ایجاد شده در یک فضای معین شانس بیشتری برای تاثیرگذاری روی فضاهای نزدیک به خود دارند تا روی فضاهای دورتر از خود. از دیدگاه زمین‌آمار هر نمونه تا حداکثر فاصله معینی با نمونه‌های اطراف خود ارتباط فضایی دارد این فاصله حداکثر که دامنه‌تاثیر[9] نامیده می‌شود، دارای اهمیت فراوانی است و در حقیقت نشان دهنده فاصله‌ای است که در آن می‌توان از تخمینگرهای زمین‌آماری استفاده کرد[۱۷]. بنابراین می‌توان برای یک نقطه یا ایستگاه فاقد داده آمار بارندگی به مختصات (x , y) با استفاده از آمار ایستگاه‌های دارای داده و با استفاده از رابطه شماره ۱ تولید داده انجام گیرد.

---

[1]-Deterministic
[2]-Inverse Distance Waiting (IDW)
[3]-Thiessen polygon (THD)
[4]-Natural Neighbour
[5]-Kriging
[6]-Cokriging
[7]-Spatial relation
[8]-Variogram
[9]-Range

$$Z(s_0)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\ Z(s_i) \qquad (۱-۱)$$

$Z(s_i)$ = مقدار بارندگی در ایستگاه iام دارای داده

λ_i= یک وزن نامعلوم برای مقدار اندازه‌گیری شده در مکان iام است و به نیمه‌پراش‌نگار فاصله تا ایستگاه فاقد داده و روابط میان مقادیر اندازه‌گیری شده حول ایستگاه فاقد داده بستگی دارد.

۱-۱مروری بر زمین‌آمار

نخستین تجربه‌ها جهت به کارگیری روش‌های آماری به مفهوم امروزی آن، در محاسبات تخمین ذخیره از حدود ۷۰ سال پیش، با شناسایی مقدماتی الگوهای توزیع طلا در معادن آفریقای جنوبی شروع شد. آقای هوپر که روی معادن طلا تحقیق می‌کرد، با جمع آوری تعداد زیادی نمونه و بررسی آنها دریافت که با تفکیک مقادیر طلا در دسته‌های جداگانه، توزیع فراوانی مشخصی ظاهر می‌شود.

آقای واترمایر که با هوپر همکاری داشت، اولین مقاله در این زمینه را در سال ۱۹۱۹ منتشر ساخت که از دیدگاه آماری حاوی دو نکته مهم بود: یکی آنکه منحنی‌های توزیع فراوانی به « هیستوگرام‌هایی » با « چولگی» مثبت برازش شده بودند. دیگر آنکه مبنایی برای رسیدن به یک میانگین قابل قبول برای تعداد محدودی از مقادیر وزن داده شده به روش مربع مقادیر فراوانی، به دست می‌داد. دلیل اصلی او برای توزیع نپذیرفتن میانگین حسابی آن بود که این مقادیر تنها در حالتی که نما و میانه برهم منطبق باشند(برخلاف توزیع نامتقارن حسابی مقادیر طلا مورد آنها) قابل قبول هستند. یک دهه بعد«تروسکات[1]»(۱۹۲۹) خاطر نشان کرد که نه تنها مقادیر مورد مطالعه بایستی به روش مربع فراوانی وزن داده شوند، بلکه باید از خود مقادیر نیز برای وزن دادن استفاده کرد. اگرچه تروسکات می‌دانست که هرگاه هیستوگرام مقادیر طلا به صورت لگاریتمی بیان شود از خود تقارن نشان خواهد داد ولی این «سیشل[2]»(۱۹۴۷) بود که مدل را ارائه کرد. وی همچنین مسئله «خطاهای سیستماتیک» در نمونه برداری را برای نخستین بار مطرح ساخت. سیشل فرمول و جداولی را به منظور محاسبه دقت میانگین محلی متغیرهای لگاریتمی طبیعی و «فاصله اطمینان» این متغیرها ارائه و منتشر کرد. تخمینگر t که نوسط سیشل پیشنهاد شده بود، سه اشکال عمده داشت: اول آنکه توریع احتمال مقدار زمینه باید لگاریتمی باشد. دیگر آنکه نمونه‌ها باید مستقل باشند و بالاخره در این روش موقعیت نمونه‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. علیرغم این اشکالات، روش یاد شده در حل مشکلات بسیاری از معادن موثر واقع شد و مقدمه ای بر پژوهش‌های بعدی گردید. در همین راستا مطالعات تکمیلی گسترده‌ای توسط «راس[3]»(۱۹۵۰) «کریگ[4]»، «دویس[5]»(۱۹۵۱) و دیگران انجام شد. در این هنگام توجه محققین به این نکته جلب شد که در یک منطقه معمولا بخشهای پر عیار و کم عیار در کنار یکدیگر قرار دارند و بایستی نوعی رابطه میان این بخش‌ها وجود داشته باشد. از این رو، تلاش‌هایی برای یافتن «ارتباط فضایی»نمونه‌ها و موقعیت آنها شروع شد که باید از کارهای «ویتن[6]» (۱۹۶۲) در ژئوشیمی، «کرومباین[7]» «گریفیث[8]» (۱۹۶۷) در تحلیل (۱۹۶۴) در زمین‌شناسی نفت نام برد. به

[1]-Trosccot
[2]-Sishel
[3]-Rass
[4]-Krig
[5]-Daivis
[6]-Whieten
[7]-Crombain
[8]-Grifith

دنبال روند تکاملی روش‌های آماری مورد استفاه در تخمین ذخایر معدنی که از سالها قبل آغاز شده بود و به ویژه بر اساس پژوهش‌های افرادی مانند سیشل و کریگ و .... ماترون پژوهشگر فرانسوی با انتشار مقاله ای در سال ۱۹۶۲ پایه‌های زمین‌آمار را بنا نهاد[۱۰].

در اینجا باید به نکته مهمی اشاره کرد و آن تفاوت برداشت‌هایی است که از واژه‌های زمین‌آمار به عمل می آید. زمین‌آمار در مفهوم اروپایی خود به شاخه‌ای از علم آمار گفته می‌شود که مبتنی بر «تئوری‌های متغیرهای ناحیه‌ای است» که توسط ماترون پایه‌گذاری شده و به اصطلاح با داده‌ها یا «متغیرهای تصادفی» سروکار دارد و از این رو مترادف با«آمار فضایی» است.

علم زمین‌آمار به لحاظ جوانی خود هنوز ناگفته‌های بسیار زیادی را در دل خود جای داده و بخصوص روش‌های مختلف تخمین هنوز کامل نشده و تحقیقات بسیاری به منظور تکمیل این روش‌ها و یا ابداع روش‌های نوین انجام می‌گیرد. از جمله مهم ترین و عمده ترین این تحقیقات در «مرکز زمین‌آمارمدرسه معادن پاریس» به سرپرستی پروفسور ماترون انجام می‌گیرد. به طور کلی می‌توان گفت که د.جی. کریگ احتمالا اولین شخصی بوده است که ارتباط فضایی را درون‌یابی مورد استفاده قرار داد و بهترین تخمینگر خطب نااریب را در ارزیابی ذخایر معدنی مورد استفاده قرار داد[۱۰].

علاوه بر زمین‌آمار روش‌های پیش‌بینی مختلفی سعی در تعیین ارتباط بین متغیرهای ایستگاه‌های فاقد آمار و ایستگاه‌های دارای آمار داشته‌اند و مدل‌های مفهومی آماری زیادی برای پیش‌بینی و پیش‌آگاهی متغیرهای اقلیمی از جمله بارش مورد استفاده قرار گرفته است[۲]. بدین منظور اخیرا تلاش‌های زیادی در زمینه‌ی توسعه‌ی روش‌های آماری پیچیده و روش‌های درون‌یابی مکانی جهت تخمین داده‌های بارندگی توسط دفاتر هواشناسی و هیدرولوژیست‌ها انجام شده است. علاوه بر این نقشه‌های هیدرولوژیکی خصوصاً بارش تولید و در اطلس‌های هیدرولوژیکی آورده شده است[۳۱]. در این پروژه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار که عمدتا کریجینگ مورد استفاده واقع می‌شود تولید داده‌ی برای نقاط فاقد ایستگاه در حوضه‌ی سد زاینده انجام می‌شود. پس از تولید داده می‌توان درک بهتری از وضعیت بارش موجود در حوضه داشت و در صورت نیاز می‌توان از داده‌های تولید شده برای انجام سایر پروژه‌های هیدرولوژیکی استفاده کرد.

شاید ساده‌ترین روش در برآورد میزان بارندگی منطقه‌ای بر اساس داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی، روش پیشنهادی تایسن باشد[۴۹]. این روش بصورت ترسیم یک چندضلعی تاثیر در اطراف هر ایستگاه است که مرز های این چندضلعی در میان زوج‌ایستگاه‌ها قرار می‌گیرند، بنابراین نام چندضلعی تایسن برای این تکنیک انتخاب گردیده است. گرچه روش چندضلعی تایسن ضرورتاً برای تخمین بارش ناحیه‌ای استفاده می‌شود. این روش برای درون‌یابی اندازه‌گیری‌ها نقطه‌ای نیز به کار برده شده است[۲۳].

در سال ۱۹۷۲سرویس آب و هوای محلی ایالات متحده روش دیگری را ارائه نمود که عمق بارش مجهول بصورت یک میانگین وزنی از مقادیر اطراف تخمین زده می‌شود و وزن‌ها بصورت معکوس مربع فاصله از مکان مجهول می‌باشند. نظیر روش تایسن، تکنیک معکوس مجذور فاصله به هیدرولوژیست‌ها امکان در نظر گرفتن عواملی همچون توپوگرافی که می‌تواند روی گیرش یک باران‌سنج اثر بگذارد را نمی‌دهد. روش خطوط هم‌باران[1] جهت غلبه بر نقیصه طراحی گردیده است. ایده بصورت استفاده از مکان و گیرش برای هر باران‌سنج و همچنین اطلاع از عوامل اثرگذار بر این گیرشها جهت ترسیم خطوط هم‌عمق بارش است. مقدار بارش در مکان اندازه‌گیری نشده

[1]-Isohyetal

سپس توسط درون‌یابی خطوط همباران تخمین زده می‌شود. یک محدودیت این تکنیک این است که یک شبکه باران‌سنج گسترده جهت ترسیم صحیح خطوط همباران لازم است.

روش زمین‌آمار که بر اساس تئوری متغیرهای مکانی است بطور فزاینده‌ای ترجیح داده شده است[۲۶]. چرا که این روش به شخص اجازه می‌دهد که به همبستگی مکانی بین مشاهدات مقادیر پدیده، در مکانهای نمونه برداری نشده مرکزیت بدهد. محققین متعددی نشان داده‌اند که تکنیک پیش‌بینی زمین‌آمار(کریجینگ) تخمین‌های بهتری از بارش در مقایسه با روش‌های معمول در اختیار قرار می‌گذارد.

۱-۲ اهداف تحقیق

۱- بررسی روش‌های مختلف برآورد بارندگی روزانه و متعاقباً میانگین منطقه‌ای بر اساس روشهای مختلف تعیینی و زمین‌آمار یک متغیره با استفاده از تعداد ایستگاه متفاوت در یک دوره آماری خاص می‌باشد.

۲- تهیه نقشه پهنه‌بندی بارندگی میانگین سالانه

۱-۳ فرضیات تحقیق

با توجه به اینکه در تحقیقات علوم هیدرولوژی عمدتاً از احتمال سخن می‌آید، لذا مهم‌ترین فرضیات این تحقیق که همراه احتمال می باشد به صورت زیر بیان می‌گردد.

۱) آیا روش های تعیینی و زمین‌آمار قادر به تولید داده در سطح حوزه و به صورت روزانه می باشند؟

۲) آیا میزان تفاوت عمده‌ای در داده‌های تولید شده به روش تعیینی و زمین‌آمار وجود دارد یا نه؟

۳) آیا داده‌های تولید شده دارای دقت کافی می‌باشند؟

۱-٤ اهمیت تحقیق

با توجه به این موضوع که متغیر میزان بارندگی از متغیرهای مهم اقلیمی و هیدرولوژیک می‌باشد و به علاوه شدت بارندگی نقش بسیار مهمی در تمامی فرآیندهای هیدرولوژیک از جمله فرآیند کوتاه مدت سیل که باعث ایجاد خسارات سنگین می‌شود. همچنین کمبود ایستگاه‌های باران سنجی و هواشناسی در مناطق مختلف کشور به دلایل ارتفاعات بالا در حوزه و هزینه‌های بالای تأسیس، نیاز به استفاده از روش‌های مختلف برآورد میزان بارندگی جهت بررسی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و هیدروژیک می باشد. این برآورد می‌تواند با استفاده از روش‌های مختلف صورت گیرد. متاسفانه در کشور ما کمتر به موضوع تخمین بارندگی به صورت روزانه با استفاده از روش‌های زمین-آمار توجه گردیده است. در حالی که این داده‌های مورد نیاز برای بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیک از جمله مدل ارزیابی آب و خاک[1] که چند سالی می‌باشد در کشور ما مورد استفاده قرار می‌گیرد، نیاز به استفاده از داده‌های روزانه بارش جهت تخمین میزان دبی خروجی و بررسی وضعیت سیل‌خیزی حوزه از نظر زمانی و مکانی و در نهایت محاسبه بیلان آبی و مدیریت حوضه های آبریز دارد. در نهایت می‌توان نقشه پهنه‌بندی شده بارندگی را برای یک منطقه‌ی خاص تهییه نمود جهت برنامه‌ریزی‌های آینده درک بهتری از وضعیت اقلیمی و هیدرولوژیک منطقه داشت.

۱-۵ محدودیت‌های تحقیق

از جمله محددیت‌های این تحقیق می‌توان به طول دوره آماری ایستگاه‌های مورد نظر اشاره کرد. به عبارتی دیگر جهت یکسان کردن پایه آماری داده‌ها لازم به استفاده از ایستگاه‌هایی است که درطی یک دوره آماری، همه دارای

[1] -Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

داده می‌باشند. متاسفانه تاریخ تاسیس بسیاری ازایستگاه‌ها یکسان نمی‌باشد و بنابراین مجبور به حذف برخی از ایستگاه‌ها گردیده است. همچنین برخی از ایستگاه‌ها به دلیل نقص داده برای مدت طولانی قابل استفاده در فرآیند درون‌یابی نبودند. با توجه به موارد بیان شده در بالا می‌توان برخی از ایستگاه‌ها حذف گردیده و لذا از تعداد ایستگاه کمتری در فرآیند درون‌یابی استفاده گردیده است.