بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب

ارزیابی شبکه ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه بختگان- مهارلو با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته

استاد راهنما:

دکتر شهرام کریمی

استاد مشاور:

دکتر بهرام بختیاری

مؤلف:

سمیه خلیفه

شهریور ۱۳۹۰

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی آب

دانشکده کشاورزی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: سمیه خلیفه

استاد راهنما: دکتر شهرام کریمی

استاد مشاور: دکتر بهرام بختیاری

داور1: دکتر کورش قادری

داور2: دکتر مجید رحیم‌پور

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر شهرام پورسیدی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به مؤلف است.

تقدیم به:

پدرم، که دستان مهربانش تلاش را به من آموخت.

به مادرم، که چشمان پر امیدش بزرگترین آموزگارم بود درپایداری و خستگی ناپذیری، هیچگاه از دعای خیر خویش مرا بی‌نصیب نگذاشته و نخواهد گذاشت و نیک می‌دانم که هر چه دارم از دعای اوست، او را می‌ستایم و دستش را می‌بوسم.

به برادران و خواهران عزیزم که شور را در وجودم جوشان‌تر کردند آنانکه چون کوه حامی‌ام بودند و آموزگار امید، صبر و همتم.

تقدیر و تشکر:

نخست سپاس بیکران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. نمی‌توانم معنایی بالاتر از تقدیر و تشکر بر زبانم جاری سازم و سپاس خود را در وصف استادان خویش آشکار نمایم، که هر چه گویم و سرایم، کم گفته‌ام. نگارنده بر خود می‌داند از زحمات بی‌دریغ استادان گرامی آقایان دکتر شهرام کریمی، دکتر بهرام بختیاری، دکتر کورش قادری و برادر عزیزم مهندس ابراهیم خلیفه که راهنمایی‌های ارزشمندشان در راستای انجام این پروژه راهگشا بوده است، تشکر و قدردانی نماید. همچنین نگارنده از راهنمایی و همکاری بی‌شائبه کارمندان و پرسنل شرکت مهندسی مشاور پویشگران آب و خاک تشکر و قدردانی می‌نماید.

و در پایان به تمامی دوستان و عزیزانی که به نحوی در انجام این پروژه بنده را مساعدت و یاری نمودند درود می فرستم و توفیق روزافزون این عزیزان را از خداوند متعال آرزومندم.

سمیه خلیفه

شهریور 1390

چکیده

ارزیابی منطقه‌ای ایستگاه‌های پایش منابع آب به‌دلیل اهمیت آن در مکان‌یابی مناسب ایستگاه‌ها، جمع‌آوری حداکثر اطلاعات مفید و جلوگیری از انباشت غیر ضروری اطلاعات و نهایتاً کاهش هزینه‌های جمع‌آوری اطلاعات حائز اهمیت فراوان است. آنتروپی علاوه بر استفاده در سایر رشته‌های علمی در زمینه هیدرولوژی و منابع آب نیز به منظور کمی کردن ارزش اطلاعات و شناسایی ایستگاه‌های حیاتی و ضروری برای ادامه فعالیت و ایستگاه‌های مازاد جهت غیر فعال کردن در شبکه پایش استفاده می‌گردد. در این پژوهش با نگرشی نو بر پایه این تئوری ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه بختگان- مهارلو مورد بررسی قرار گرفته است. در این دیدگاه با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته، محدودیت موجود در تحقیقات قبلی مرتفع و با در نظر گرفتن دو دسته متفاوت از شاخص‌های آنتروپی شامل شاخص‌های آنتروپی مرزی، مشترک، شرطی و انتقال اطلاعات و همچنین شاخص‌های کل اطلاعات ارسال شده توسط ایستگاه (S(i، کل اطلاعات دریافت شده توسط ایستگاه (R(i و کل اطلاعات خالص ایستگاه (N(i به ارزیابی شبکه پایش پرداخته شده است. در مجموعه بررسی‌ها و ارزیابی‌های دیگر روابط تجربی و ضریب تعیین به عنوان ساده‌ترین امکانات انتقال اطلاعات در ارزیابی ایستگاه‌های شبکه پایش حوزه مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت به بررسی ارتباط بین شاخص‌های محاسبه شده و تعداد دسته بندی‌های اطلاعات در جهت دستیابی به یک دیدگاه مقبول در مورد انتخاب صحیح تعداد بازه‌ها پرداخته شده است.

نتایج بدست‌آمده نشان از آن دارد که از 14 ایستگاه شبکه پایش 4 ایستگاه در وضعیت بحرانی (کمترین رتبه‌ها و ضعیف‌ترین وضعیت) قرار داشته و امکان حذف آن‌ها وجود دارد. البته با توجه به ماهیت آماری روش گفته شده، حذف ایستگاه‌های یاد شده بعد از بررسی شرایط هیدرولوژیکی و چگونگی تلفیق هیدروگراف‌ها در شبکه آبراهه‌ای قابل توصیه می‌باشد.

از دیگر نتایج مهم به‌دست آمده در این پژوهش آن است که در مورد ایستگاه‌های بحرانی برقراری رابطه تجربی و بررسی ضریب تعیین با سرعت و سهولت، نتایج و ارزیابی‌های هم‌ارزی با روش آنتروپی (شاخص‌های R(i)، S(i) و ITI(i)) تولید و ارائه می‌نماید.

کلمات کلیدی: ارزیابی، تئوری آنتروپی، پایش، هیدرومتری

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل اول: کلیات 1
1-1- مقدمه 2
2-1- اهمیت و ضرورت تحقیق 2
3-1- اهداف تحقیق 3
4-1- ساختار کلی پژوهش 3
فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته 4
1-2- مقدمه 5
2-2- تئوری آنتروپی و پیشینه آن 5
3-2- نتیجه‌گیری 10
فصل سوم: محدوده مورد مطالعه و روش تحقیق 11
1-3- مقدمه 12
2-3- معرفی منطقه مورد مطالعه 12
3-3- تشریح تئوری آنتروپی 15
1-3-3- تعریف آنتروپی 15
2-3-3- آنتروپی پیوسته 15
3-3-3- به‌دست آوردن مقدار آنتروپی مرزی با فرض توزیع‌های آماری مختلف 18
4-3-3- محاسبه آنتروپی انتقال اطلاعات با فرض توزیع آماری نرمال 19
5-3-3- آنتروپی گسسته 21
6-3-3- معرفی شاخص‌های جدیدآنتروپی گسسته 22
7-3-3- تفاوت آنتروپی پیوسته با آنتروپی گسسته 23
8-3-3- مزایا و محدودیت‌های استفاده از تئوری آنتروپی در طراحی شبکه پایش 24
4-3- مراحل انجام پژوهش 25
5-3- مراحل انجام محاسبات 27
1-5-3- آماده‌سازی آمار و اطلاعات مورد نیاز 27
1-1-5-3- شناسایی و جمع‌آوری اطلاعات تمام ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه بختگان- مهارلو..... 27
2-1-5-3- تعیین دوره آماری مشترک 28
3-1-5-3- بازسازی داده‌ها 35
1-3-1-5-3- برقراری رابطه تجربی (رگرسیون خطی) 35
2-3-1-5-3- تفاضل‌ها و نسبت‌ها 35
2-5-3- تعیین شاخص‌های آنتروپی 40

عنوان ..... صفحه

3-5-2-1- روش محاسبه $\hat{x}(i)$ 40
3-5-2-2- کلاس‌بندی داده‌ها 43
3-5-2-3- جدول توزیع فراوانی 43
3-5-2-4- محاسبه توزیع احتمالات 43
3-5-2-5- محاسبه مقادیر شاخص‌های آنتروپی گسسته 50
3-5-3- پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات $ITI(i)$ در حوزه 50
3-5-3-1- روش Spline 50
فصل چهارم: نتایج و بحث 52
4-1- مقدمه 53
4-2- نتایج شاخص‌های آنتروپی گسسته 53
4-3- نتایج آنالیز حساسیت 55
4-3-1- مقادیر شاخص‌ها و رتبه‌بندی ایستگاه‌ها 55
4-3-2- پهنه‌بندی 60
4-4- بحث 61
4-5- صحت سنجی 90
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها 93
5-1- نتیجه‌گیری 94
5-2- پیشنهادها 95
منابع 96

فهرست جدول‌ها

عنوان ..... صفحه

جدول 3-1: مشخصات حوزه بختگان- مهارلو 13
جدول 3-2: طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن حوزه بختگان- مهارلو 13
جدول 3-3: مقدار آنتروپی مرزی با فرض توزیع‌های آماری مختلف 20
جدول 3-4: توزیع فراوانی مشاهدات متغیرها 24
جدول 3-5: توزیع احتمالاتی متغیرها 24
جدول 3-6: اسامی و مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه بختگان- مهارلو 29
جدول 3-7: اطلاعات دوره‌های آماری مختلف 28
جدول 3-8: آمار 14 ایستگاه دوره مشترک 32 ساله و میزان تعداد سال‌های فاقدآمار هر ایستگاه 36
جدول 3-9: مقادیر ضریب تعیین هر ایستگاه نسبت به سایرایستگاه‌های حوزه بختگان- مهارلو 37
جدول 3-10: آمارتکمیل شده 14 ایستگاه با دوره مشترک 32 ساله و میانگین آبدهی هرایستگاه 38
جدول 3-11: مشخصات آماری رابطه تجربی بین ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار) و سایر ایستگاه‌ها 41
جدول 3-12: مقادیر آبدهی تکمیل شده $\hat{x}(i)$ برای ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار) 42
جدول 3-13: توزیع فراوانی 3 کلاسه ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار) 44
جدول 3-14: توزیع فراوانی 6 کلاسه ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار) 45
جدول 3-15: توزیع فراوانی 12 کلاسه ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار) 46
جدول 3-16: توزیع فراوانی 18 کلاسه ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار) 46
جدول 3-17: توزیع احتمالاتی 3 کلاسه ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار) 47
جدول 3-18: توزیع احتمالاتی 6 کلاسه ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار) 48
جدول 3-19: توزیع احتمالاتی 12 کلاسه ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار) 49
جدول 3-20: توزیع احتمالاتی 18 کلاسه ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار) 49
جدول 3-21: مقادیر شاخص‌های آنتروپی گسسته ایستگاه دهکده‌سفید (گاوگدار) 50
جدول 3-22: طبقه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) 51
جدول 4-1: مقادیر شاخص‌های آنتروپی 14 ایستگاه شبکه پایش حوزه (3 کلاسه) 53
جدول 4-2: مقادیر شاخص‌های آنتروپی 14 ایستگاه شبکه پایش حوزه (6 کلاسه) 53
جدول 4-3: مقادیر شاخص‌های آنتروپی 14 ایستگاه شبکه پایش حوزه (12 کلاسه) 54
جدول 4-4: مقادیر شاخص‌های آنتروپی 14 ایستگاه شبکه پایش حوزه (18 کلاسه) 54
جدول 4-5: رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوزه بر اساس مقادیر شاخص‌های آنتروپی (3کلاسه) 56
جدول 4-6: رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوزه بر اساس مقادیر شاخص‌های آنتروپی (6کلاسه) 57
جدول 4-7: رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوزه بر اساس مقادیر شاخص‌های آنتروپی (12کلاسه) 58
جدول 4-8: رتبه‌بندی ایستگاه‌های حوزه بر اساس مقادیر شاخص‌های آنتروپی(18کلاسه) 59
جدول 4-9: مقادیر R^2، N(i)، R(i)، S(i)، H(x(i)) و ITI(i) 63

عنوان ..... صفحه

جدول 4-10: رتبه‌بندی ایستگاه‌های چنارسوخته (خشک و نهراعظم)، جمال‌بیگ (شیرین) و خسروشیرین 64
جدول 4-11: مشخصات آماری رابطه تجربی بین مقادیر شاخص‌های S(i)، R(i) و ITI(i) 73
جدول 4-12: نتایج پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) در حوزه (3 کلاسه) 81
جدول 4-13: نتایج پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) در حوزه (6 کلاسه) 81
جدول 4-14: نتایج پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) در حوزه (12 کلاسه) 81
جدول 4-15: نتایج پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) در حوزه (18 کلاسه) 81
جدول 4-16: رتبه‌بندی ضریب تعیین و شاخص‌های R(i)، S(i) و ITI(i) 84
جدول 4-17: مشخصات آماری رابطه تجربی ایستگاه گاوگدار با سایر ایستگاه‌های شبکه پایش 86
جدول 4-18: مشخصات آماری رابطه تجربی بین ضریب تعیین و شاخص‌های R(i)، N(i) و S(i) 87
جدول 4-19: مشخصات آماری رابطه تجربی بین ضریب تعیین و شاخص‌های R(i)، ITI(i) و S(i) 89
جدول 4-20: مقادیر شاخص‌های آنتروپی گسسته 13 ایستگاه حوزه بختگان- مهارلو (6 کلاسه) 91
جدول 4-21: مقادیر R^2، N(i)، R(i)، S(i)، H(x(i)) و ITI(i) (13 ایستگاه حوزه بختگان- مهارلو) 92

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... صفحه

شکل 3-1: موقعیت حوزه بختگان- مهارلو 12
شکل 3-2: طبقه‌بندی اقلیمی حوزه بختگان- مهارلو به روش دومارتن 14
شکل 3-3: مقایسه تعریف انواع شاخص‌های آنتروپی زمانی که متغیرهای x و y به هم وابسته‌اند 17
شکل 3-4: مقایسه تعریف انواع شاخص‌های آنتروپی زمانی که متغیرهای x و yکاملاً به هم وابسته‌اند 17
شکل 3-5: مقایسه تعریف انواع شاخص‌های آنتروپی زمانی که متغیرهای x و yکاملاً از هم مستقل هستند..... 18
شکل 3-6: دیاگرام پیشنهادی برای ارزیابی ایستگاه‌های شبکه هیدرومتری حوزه بختگان- مهارلو 26
شکل 3-7: پراکنش و موقعیت جغرافیایی 52 ایستگاه هیدرومتری حوزه بختگان- مهارلو 30
شکل 3-8: تصویر ماهواره‌ای Google Earth از 24 ایستگاه هیدرومتری فعال حوزه بختگان- مهارلو 31
شکل 3-9: تصویر ماهواره ای Google Earth از 14 ایستگاه هیدرومتری انتخابی حوزه بختگان- مهارلو 32
شکل 3-10: تصویر ماهواره ای Google Earth از 14 ایستگاه هیدرومتری انتخابی حوزه بختگان- مهارلو ... 33
شکل 3-11: مدل رقومی- ارتفاعی حوزه بختگان- مهارلو 34
شکل 3-12: برازش مقادیر آبدهی ایستگاه چنارسوخته (خشک) با تابع توزیع احتمال نرمال 39
شکل 3-13: آزمون نرمالیتی Anderson-Darling ایستگاه چنارسوخته (خشک) 39
شکل 3-14: نمودار سری زمانی آبدهی ایستگاه گاوگدار و $\hat{x}(i)$ 44
شکل 4-1: پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) در حوزه (3 کلاسه) 60
شکل4-2: پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) در حوزه (6کلاسه) 60
شکل 4-3: پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) در حوزه (12 کلاسه) 61
شکل 4-4: پهنه‌بندی شاخص انتقال اطلاعات ITI(i) در حوزه (18 کلاسه) 61
شکل 4-5: تصویر ماهواره‌ای Google Earth از دو ایستگاه جمال‌بیگ (شیرین و خارستان) 67
شکل 4-6: تصویر ماهواره‌ای Google Earth از دو ایستگاه چنارسوخته (خشک و نهراعظم)..... 68
شکل 4-7: تصویر ماهواره‌ای Google Earth از موقعیت جغرافیایی ایستگاه چنارسوخته (خشک) 69
شکل 4-8: تصویر ماهواره‌ای Google Earth از موقعیت جغرافیایی ایستگاه چنارسوخته (نهراعظم) 70
شکل 4-9: نمودار نتایج رتبه‌بندی R(i)، S(i)، ITI(i)، H(x(i)) و N(i) 71
شکل 4-10: نمودار نتایج مقادیر R(i)، S(i)، ITI(i)، H(x(i)) و N(i) 72
شکل 4-11: نمودار نتایج رتبه‌بندی R(i)، S(i)، ITI(i) و N(i) 72
شکل 4-12: نمودار نتایج مقادیر R(i)، S(i)، ITI(i) و N(i) 73
شکل 4-13: نمودار نتایج آنالیز حساسیت رتبه‌بندی H(x(i)) 75
شکل 4-14: نمودار نتایج آنالیز حساسیت مقدار H(x(i)) 75
شکل 4-15: نمودار نتایج آنالیز حساسیت رتبه‌بندی ITI(i) 76
شکل 4-16: نمودار نتایج آنالیز حساسیت مقدار ITI(i) 76

عنوان ..... صفحه

شکل 4-17: نمودار نتایج آنالیز حساسیت رتبه‌بندی N(i) 77
شکل 4-18: نمودار نتایج آنالیز حساسیت مقدار N(i) 77
شکل 4-19: نمودار نتایج آنالیز حساسیت رتبه‌بندی R(i) 78
شکل 4-20: نمودار نتایج آنالیز حساسیت مقدار R(i) 78
شکل 4-21: نمودار نتایج آنالیز حساسیت رتبه‌بندی S(i) 79
شکل 4-22: نمودار نتایج آنالیز حساسیت مقدار S(i) 79
شکل 4-23: رابطه بین ضریب تعیین و شاخص‌های R(i)، N(i) و S(i) 84
شکل 4-24: رابطه بین ضریب تعیین و شاخص‌های R(i)، ITI(i) و S(i) 87

فصل اول

کلیات

1-1- مقدمه

طراحی و بهره‌برداری مناسب از سامانه‌های پایش منابع آب یکی از مهم‌ترین مباحث مدیریت کمی و کیفی منابع آب بوده و صحت و کفایت آمار و اطلاعات هر سامانه و ارزیابی صحیح این آمار و اطلاعات، نقش تعیین کننده‌ای در تصمیم‌گیری‌های صحیح و پایدار در منطقه زیر پوشش سامانه دارد. لزوم دقت در صحت و کفایت آمار از یک طرف و البته زیاد بودن هزینه‌های پایش از طرف دیگر، لزوم ارائه روش‌های نوینی برای طراحی بهینه سامانه‌های پایش منابع آب با توجه به هزینه‌های تولید آمار را بیش از پیش آشکار می‌سازد. از این نظر تعیین تعداد و پراکنش مناسب ایستگاه‌های شبکه پایش و همچنین ارزیابی کفایت ایستگاه‌های شبکه‌های موجود به منظور حذف ایستگاه‌های غیرضروری و مازاد و در نتیجه آن کاهش هزینه‌های تولید آمار و اطلاعات از چالش‌های مهم پیش روی هستند (مهجوری مجد و کراچیان، 1387).

1-2- ضرورت و اهمیت تحقیق

آمار و اطلاعات آبدهی ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری از جمله اطلاعات اولیه‌ای است که برای طراحی، اجرا و مدیریت سامانه‌های منابع آب از قبیل مخازن، انتقال و توزیع، شبکه‌های آبیاری، هشدار سیلاب، مطالعات اثرات تغییر اقلیم و نیز توسعه روابط منطقه‌ای آنالیز فراوانی و احتمال جریان‌های حداکثر- حداقلی و در نهایت مهیا نمودن داده‌های ورودی به مدل‌های عددی مورد نیاز می‌باشند. همچنین این آمار و اطلاعات توسط کاربران متعدد و مختلفی همانند هواشناسان، کارشناسان آب‌های زیرزمینی، مدیران منابع آب، طراحان و محققان سازمان‌های متعدد، تصمیم گیرندگان دولتی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این نظر وجود شبکه‌ای بهینه و کارآمد از ایستگاه‌های هیدرومتری و پایش و ارزیابی آن ضمن آنکه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است، راهگشای بسیاری از مسائل و مشکلات مناطق تحت پوشش نیز خواهد بود (Mishra and Coulibaly, 2010).

با توجه به پیچیدگی سامانه‌های منابع آب، در اغلب موارد تصمیم‌ها بدون اطلاعات کافی گرفته می‌شوند. معمولاً در تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر عدم قطعیت، تمایل به تصمیم‌گیری محافظه‌کارانه وجود دارد. تقریباً در تمامی موارد، اطلاعات کافی برای توصیف رفتار اتفاقی چنین سامانه‌هایی در دسترس نیست. نمونه‌گیری‌های با مقیاس کوچک و اطلاعات محدود، تخمین توابع توزیع چگالی احتمالی متغیرهای سامانه به وسیله روش‌های احتمالاتی را بسیار مشکل می‌سازد. تئوری (روش) آنتروپی از جمله تئوری‌هایی است که امروزه به عنوان ابزاری کارآمد جهت استفاده در تحقیقات منابع آب مورد توجه است. بسیاری از سامانه‌های مهندسی از جمله سامانه‌های زیست‌محیطی و

آبی ذاتاً پیچیده بوده و درک محدودی از جزئیات این سامانه‌ها وجود دارد. بسیاری از این سامانه ها یا کاملاً اتفاقی هستند یا قسمتی از آن اتفاقی و قسمتی قطعی است. تئوری آنتروپی از جمله روش‌هایی است که توانایی توصیف رفتار غیرقطعی سامانه‌های پیچیده را دارد (Mogheir et al., 2003).

1-3- اهداف تحقیق

1- در این تحقیق تلاش گردیده است ضمن تشریح تئوری آنتروپی گسسته، کاربرد آن در ارزیابی شبکه ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز بختگان- مهارلو در استان فارس بررسی شود. در این راستا ارزش منطقه‌ای شبکه هیدرومتری حوزه بختگان- مهارلو با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته (تعیین مناطق بحرانی که نیاز به اضافه کردن ایستگاه می‌باشند و یا حذف ایستگاه‌های کم اهمیت) و رتبه‌بندی ایستگاه‌های موجود بر پایه اهمیت و ارزش جمع‌آوری اطلاعات جهت به دست آوردن فهم و آگاهی بهتر از توزیع مکانی ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه مورد مطالعه و حصول اطمینان یا عدم اطمینان از کارایی مناسب شبکه تعیین گردیده است.

2- آنالیز حساسیت روش (تئوری) آنتروپی به تعداد بازه‌های انتخابی در محاسبات تئوری آنتروپی

در نهایت بر پایه نتایج به دست آمده پیشنهادهایی در خصوص سازماندهی بهتر شبکه و حذف ایستگاه‌های غیر ضروری ارائه گردیده است.

1-4- ساختار کلی پژوهش

همانگونه که مشاهده شد در فصل اول کلیاتی راجع به تئوری آنتروپی، ضرورت و اهمیت و اهداف تحقیق ارائه شد. فصل دوم (مروری بر تحقیقات گذشته) پیشینه استفاده از تئوری آنتروپی بیان شده است. فصل سوم (محدوده مورد مطالعه و روش تحقیق) شامل معرفی منطقه مورد مطالعه، تشریح تئوری آنتروپی و مراحل انجام پژوهش و محاسبات می‌باشد. در فصل چهارم (نتایج و بحث) نتایج به دست آمده از پژوهش در دو قسمت مقادیر شاخص‌های آنتروپی گسسته برای ایستگاه‌های شبکه پایش و آنالیز حساسیت تنظیم و ارائه گردیده است. فصل پنجم (نتیجه گیری و پیشنهادها) با توجه به بررسی‌ها و ارزیابی‌های انجام شده در این پژوهش نتایج و پیشنهادهایی در این خصوص ارائه گردیده است.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته

2-1- مقدمه

در این بخش ابتدا پیشینه استفاده از تئوری آنتروپی و نتایج به دست آمده در پژوهش‌های هر یک از محققان در زمینه استفاده از تئوری آنتروپی ارائه گردیده است و همچنین در پایان به بیان تفاوت‌های موجود در این پژوهش نسبت به پژوهش‌های گذشته پرداخته شده است.

2-2- تئوری آنتروپی و پیشینه آن

واژه آنتروپی به عنوان یک مفهوم علمی در ابتدا توسط Clasius در سال 1850 در ترمودینامیک مطرح شد. Boltzmann در سال 1877 آنتروپی را به‌عنوان معیاری از بی‌نظمی در یک سامانه و میزان عدم قطعیت مربوط به یک حالت میکروسکوپی خاص بیان کرد. تعریف بولتزمان آنتروپی را به شکل احتمالی و به عنوان مفهوم اساسی ترمودینامیک غیر قطعی نشان داد. از این نظر پیشینه استفاده از تئوری آنتروپی به بحث‌های ترمودینامیک مربوط می‌شود (Mogheir et al., 2005).

اگرچه استفاده از تئوری آنتروپی پیشینه طولانی در علوم هیدرولوژی و منابع آب ندارد، یکی از روش‌های کارآمد در تحلیل عدم قطعیت در سامانه‌های منابع آب محسوب می‌شود. به طور کلی به دلیل پیچیدگی مفهومی و محاسباتی این تئوری تا حدود نیمه اول قرن بیستم، محققان علاقه چندانی به کاربرد آن به عنوان یک روش آماری پیدا نکردند (معصومی و کراچیان، 1386).

Shannon (1948) تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه استفاده از این تئوری در زمینه‌های مختلف مهندسی مانند ارزیابی سری‌های زمانی اقتصادی و مباحث اکولوژیکی انجام داده و بسیاری از مفاهیم ناشناخته این تئوری را توسعه داد. او در نظریه‌ای اعلام کرد که وقایع با احتمال وقوع زیاد اطلاعات کمتری در اختیار می‌گذارند و برعکس، هر چقدر احتمال وقوع یک رخداد کمتر باشد اطلاعات حاصل از آن بیشتر است. با به‌دست آوردن اطلاعات در واقع عدم قطعیت‌ها کاهش می‌یابد. در واقع ارزش اطلاعات برابر با مقداری است که از عدم قطعیت کاسته شده است. در نتیجه عدم قطعیت و اطلاعات پارامترهایی وابسته به هم هستند.

مدل آنتروپی توسعه یافته توسط Shannon و Weaver (1949) اخیراً در بسیاری زمینه‌های علمی مانند مدیریت منابع آب به منظور اندازه‌گیری میزان انتقال اطلاعات بین فرآیندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی سامانه‌های جمع‌آوری داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

Uslu و Tanriover (1979) تلاش‌هایی در زمینه استفاده از آنتروپی در تعیین فواصل بهینه مکانی و زمانی جمع‌آوری اطلاعات در سامانه‌های پایش انجام دادند.

Harmancioglu (1981) تحقیقاتی را در زمینه انتقال اطلاعات (همبستگی اطلاعات) بین دو دسته اطلاعات مشاهداتی از دو ایستگاه پایش آبدهی انجام داد. او همچنین، استفاده از آنتروپی را برای مسائل چند متغیره توسعه داده و یک تعریف ریاضی از آنتروپی چند متغیره در حالت متغیرهای مستقل و غیرمستقل ارائه نمود.

Chapman (1986) آنتروپی را به عنوان یک کمیت اندازه گیری عدم قطعیت داده‌های هیدرولوژیکی و کارایی مدل‌های هیدرولوژیکی بیان کرد. او همچنین به بررسی اثر کلاس‌بندی‌های متفاوت بر شاخص‌های آنتروپی پرداخت و به این نتیجه رسید که آنتروپی با تغییر تعداد کلاس‌ها مقادیر متفاوتی از خود نشان می‌دهد.

Krstanovic و Singh (1988 a, b) تئوری آنتروپی را برای ارزیابی زمانی و مکانی شبکه باران‌سنجی در ایالت لویزیانا در آمریکا به کار بردند. در این پژوهش وابستگی‌های زمانی و مکانی در اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی به وسیله ماتریس‌های خودهمبستگی و کوواریانس متقاطع تشریح شدند. در ادامه، با استفاده از تئوری MEP[1]، توزیع‌های نرمال چندمتغیره استنتاج و سپس آنتروپی‌های مشترک و شرطی و اطلاعات انتقالی محاسبه و نهایتاً، منحنی‌های مکان هندسی نقاط با محتوای اطلاعاتی برابر ترسیم شدند. این منحنی‌ها را می‌توان برای مکان‌یابی ایستگاه‌ها مورد استفاده قرار داد.

Husain (1989) یک روش ساده براساس تئوری آنتروپی به منظورتخمین عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی منطقه‌ای در هر 2 نوع ایستگاه‌های پایش و غیر پایش در یک حوزه آبخیز به کار برد. او همچنین امکانات تبادل اطلاعات یک شبکه در شرایط آنتروپی را بیان کرده و یک روش طراحی شبکه پایش بر اساس آنتروپی پیشنهاد کرد.

Singh (1992) از تئوری آنتروپی مرزی برای ترسیم نقشه‌های خطوط هم‌بارش و ارزیابی شبکه باران‌سنجی با توجه به نقشه‌های آنتروپی استفاده نمود. نتایج تحقیقات او نشان‌دهنده قابلیت‌های فراوان استفاده از تئوری آنتروپی در مسائلی است که شامل ارزیابی شبکه یا تعیین یک زیر مجموعه نقاط نمونه‌برداری که تامین‌کننده معیار طراحی هستند.

Harmancioglu و Alpasaln (1992) از تئوری آنتروپی جهت طراحی شبکه پایش کیفی آب استفاده کردند. آنها معیارهای زمانی، مکانی و ترکیب زمانی و مکانی را بر پایه تئوری آنتروپی توسعه دادند. نتایج تحقیقات ایشان نشان‌دهنده قابلیت‌های فراوان استفاده از تئوری آنتروپی در طراحی شبکه پایش کیفی بود. بدین ترتیب و با استفاده از تئوری آنتروپی اطلاعات به‌دست

1- Maximum Entropy Principle

آمده به صورت کمی بیان شدند. این تحقیق به وسیله Ozkul و همکاران (2000) نیز پی‌گیری شد.

Yang و Burn (1994) از تئوری آنتروپی برای طراحی شبکه پایش آبراهه‌ای استفاده کردند. آنها تجزیه و تحلیلی بین مقادیر آنتروپی مشترک و ضریب همبستگی بین ایستگاه‌های پایش را نیز شرح دادند. همچنین کارایی روش کریجینگ آماری و شاخص آنتروپی مشترک در زمینه ارزیابی ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش را مقایسه کردند.

Lee و Ellis (1997) زمین‌آمار (کریجینگ) و تخمین‌گر آنتروپی ماکزیمم را برای درون‌یابی مکانی مقایسه و استفاده‌ای دیگر از دو روش یاد شده را در بهینه‌سازی شبکه‌های پایش ارائه نمودند.

Al-Zahrani و Husain (1998) از روشی بر پایه معیار اطلاعات شانون (آنتروپی) برای طراحی یک شبکه هیدرولوژیکی در عربستان سعودی استفاده کرده و آن‌را یک بار جهت کاهش ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود و بار دیگر جهت افزایش ایستگاه‌ها و ارتقای شبکه به کار بردند. همچنین در این پژوهش توزیع بارندگی روزانه در منطقه مورد مطالعه گاما تشخیص داده شد.

Ozkul و همکاران (2000) با استفاده از تئوری آنتروپی پیوسته روشی برای ارزیابی سامانه پایش کیفی رودخانه‌ها ارائه دادند. در واقع آن‌ها کار Harmancioglu و Alpasaln (1992) را برای بهتر تعریف کردن مناطقی با عدم قطعیت‌های اطلاعاتی زیاد در طول رودخانه توسعه دادند. این مدل تنها برای کاهش ایستگاه‌های اضافی یا کاهش تواتر نمونه برداری در یک سامانه پایش موجود یا اولیه مناسب است.

Kawachi و همکاران (2001) از تئوری آنتروپی برای کمی کردن عدم قطعیت شبکه پایش بارندگی سراسر ژاپن استفاده کرده و نقشه هم‌آنتروپی ژاپن را تهیه و آن‌را با نقشه هم‌باران مقایسه کردند که آن‌ها را قادر به ارزیابی نسبی و دسته‌بندی پتانسیل موجودی منابع آب ژاپن کرد.

Mogheir و Singh (2002) روشی را برای طراحی شبکه پایش کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از تئوری آنتروپی انتقالی توسعه دادند. آنها همچنین با استفاده از نقشه‌های خطوط همسان آنتروپی مرزی روشی برای ارزیابی سامانه‌های پایش کیفی آب‌های زیرزمینی ارائه کردند.

تمامی مطالعاتی که در بالا بیان شد با استفاده از تئوری آنتروپی پیوسته انجام شده است و همان‌طور که در فصل سوم شرح داده شده است در آنتروپی پیوسته فرض بر این است که توزیع اطلاعات از توزیع احتمالاتی نرمال یا لوگ‌نرمال پیروی می‌کند که این فرض در بسیاری از

موارد نادرست است.

Mogheir و Singh (2003) و Mogheir و همکاران (2004) نشان دادند که از میان چهار نوع آنتروپی (مرزی، مشترک، شرطی و انتقال اطلاعات)، آنتروپی انتقال اطلاعات بهترین و مناسب‌ترین روش برای بررسی سامانه‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی است. آنها همچنین با استفاده از نقشه‌های خطوط هم‌مقدار آنتروپی مرزی، روشی برای ارزیابی سامانه‌های پایش کیفی آب‌های زیرزمینی ارائه کردند.

Markus و همکاران (2003) از دو روش تئوری آنتروپی و GLS[۲] به منظور ارزیابی ارزش منطقه‌ای ایستگاه‌های پایش رودخانه‌ای در ایالت ایلی‌نویز امریکا استفاده نمودند و نتایج هر دو روش را با هم مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که در هر دو روش رتبه‌های متفاوتی برای هر ایستگاه تولید می‌شود و ضریب همبستگی میان رتبه های دو روش پیشنهاد کرد که رتبه‌های روش GLS نسبت معکوس با رتبه‌های شاخص‌های آنتروپی دارد. در نهایت مدل هیبریدی ترکیبی از دو روش را به‌عنوان تلاشی برای غلبه بر تفاوت‌های میان دو روش پیشنهاد کردند.

Mogheir و همکاران (2005) چرخه پایش را در نوار غزه با استفاده از تئوری آنتروپی نشان دادند. آنها فلوچارتی را برای ارزیابی رابطه بین اهداف، عملکردها، داده‌ها و فعالیت‌های پایشی با استفاده از این تئوری پیشنهاد دادند.

Karamouz و همکاران (2005) از اطلاعات انتقالی برای انتخاب بهترین ایستگاه‌های پایش از یک سری مناطق با پتانسیل پایش در طول یک رودخانه استفاده کردند. برای هر ایستگاه جدید با پتانسیل پایش، سری زمانی داده‌های کیفیت آب با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی کیفی تولید شد. بدین ترتیب ضمن به‌کارگیری روش آنتروپی پیوسته در ارزیابی سامانه‌های پایش رودخانه‌ها، با تلفیق روش آنتروپی و یک مدل شبیه‌سازی کیفی، موقعیت ایستگاه‌های جدیدی نیز برای بهبود عملکرد سامانه پایش پیشنهاد گردید.

Sarlak و همکاران (2006) به ارزیابی و انتخاب ایستگاه‌های شبکه هیدرومتری با استفاده از تئوری آنتروپی پرداختند. ایشان اثر انواع توزیع‌های نرمال، لوگ‌نرمال و گاما بر نتایج رتبه‌بندی ایستگاه‌ها را بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که نوع توزیع در نظر گرفته شده برای داده‌های آبدهی در تئوری آنتروپی پیوسته اهمیت داشته و موجب مقادیر متفاوتی در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها می‌شود.

معصومی و کراچیان (1386) با استفاده از تئوری آنتروپی گسسته، کارایی سامانه پایش کیفی

2- Generalized Least Square