

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کردستان
دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی آب

عنوان:

بر آورد تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی
(مطالعه موردی شهرستان سنندج)

پژوهشگر:

بهرروز رضائی فر

استاد راهنما:

دکتر پرویز فتحی

استاد مشاور:

دکتر مهراوه خدامرادپور

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی

مهر ماه 1391

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه کردستان است.

***** تعهد نامه *****

اینجانب بهروز رضائی فر دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی دانشگاه کردستان، دانشکده کشاورزی گروه مهندسی آب تعهد می نمایم که محتوای این پایان نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

بهروز رضائی فر

1391/7/10



دانشگاه کردستان
دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی آب

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی

عنوان:

بر آورد تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از سیستم استتاج عصبی-فازی
(مطالعه موردی شهرستان سنندج)

پژوهشگر:

بهرروز رضائی فر

در تاریخ 1391/7/10 توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره 19/6 و درجه عالی به تصویب رسید.

<u>امضاء</u>	<u>مرتبۀ علمی</u>	<u>نام و نام خانوادگی</u>	<u>هیات داوران</u>
	استادیار	دکتر پرویز فتحی	1- استاد راهنما
	استادیار	دکتر مهرانه خدامرادپور	2- استاد مشاور
	دانشیار	دکتر حمید زارع ایبانه	3- استاد داور خارجی
	استادیار	دکتر بهروز مهدی نژادبانی	4- استاد داور داخلی

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده

مهر و امضاء گروه

تقدیم بہ

مادر عزیزم

شکر و قدردانی

پروردگارا به داده و نداده و کفوآت شکر که

داووات نعمت،

نداووات حکمت و

کفوآت امتحان است.

بیار خوشوقتیم که بجالی دست داد تا با استظهار به کرم دادار پاک، قدمی هر چند کوچک، بلکه به وسعم در جهت کسب آنچه او تقدر و تکلیف نموده، بردارم. البته آنچه را به انجام رسید لطف رحمانی او بود ولی معاضدت اساتید، معونت دوستان و دو کرمیهایی اطرافیان هم بی شک در راستای الطاف حق قرار گرفت و ما را به سر منزل مقصود راهنمون ساخت. لذا بر خود واجب می دانم پس از سپاس و تائیس به درگاه احدیت، از همه عزیزان شکر کنم.

صمیمانه از زحمات آقای دکتر پرویز فحیحی که در تمام مراحل انجام تحقیق راهنمایی مرا به عهده داشتند و پشتوانه شکرگاری در این راه بودند، سپاسگزارم.

چکیده: تبخیر و تعرق یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژی و تخمین نیاز آبیاری است. در این تحقیق پتانسیل سیستم استنتاج تطبیقی عصبی - فازی (ANFIS) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در برآورد تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) روزانه مورد بررسی قرار گرفت. از داده‌های روزانه سال‌های 1389 و 1390 مربوط به ایستگاه هواشناسی سنندج استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، شامل دمای ماکزیمم، دمای مینیمم، رطوبت نسبی حداکثر، رطوبت نسبی حداقل، سرعت باد و ساعت آفتابی بوده و تبخیر و تعرق محاسبه شده به روش فائو پنمن مانیتث به عنوان خروجی استفاده شد. همچنین برآوردهای ET_0 از روش‌های (ANFIS) و (ANN) با مدل‌های تجربی ماکینک، پرستلی تیلور، فائو بلانی کریدل، هارگریوز سامانی و ریچی مقایسه شد. برای مقایسه کارایی روش‌های مختلف از آماره‌های ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE)، ضریب کارایی (CE) و ضریب همبستگی (R)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی و سیستم استنتاج عصبی - فازی می‌توانند مقدار تبخیر و تعرق مرجع روزانه را با دقت بالایی برآورد نمایند. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که دمای ماکزیمم (T_{max}) به عنوان موثرترین پارامتر در برآورد تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد که ترکیب منطق فازی با شبکه عصبی مصنوعی سبب بهبود نتایج شبکه عصبی مصنوعی نمی‌گردد و نتایج شبکه عصبی مصنوعی در برآورد تبخیر و تعرق با اختلاف ناچیز بهتر از روش عصبی-فازی بود. همچنین در کلیه ساختارهای مدل هوشمند عصبی، قانون آموزش لونبرگ - مارکوارت با تابع تانژانت منجر به نتایج دقیق تری نسبت به سایر توابع و قوانین آموزشی شد.

کلمات کلیدی: تبخیر-تعرق، سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی، شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌های

تجربی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
1	مقدمه
1	الف) کلیات
3	ب) اهداف پژوهش
4	فصل اول (پیشینه و سابقه تحقیق)
4	1-1 مروری بر تحقیقات انجام شده در ایران
9	2-1 مروری بر تحقیقات انجام شده در جهان
15	فصل دوم (تبخیر و تعرق)
15	1-2 مقدمه (مفاهیم تبخیر و تعرق)
15	1-1-2 تبخیر و تعرق مرجع
16	2-1-2 تبخیر و تعرق پتانسیل
16	3-1-2 تبخیر و تعرق استاندارد
17	2-2 محاسبه تبخیر و تعرق مرجع به روش فائو
17	1-2-2 روش‌های مستقیم
17	2-2-2 روش‌های غیر مستقیم
17	1-2-2-2 روش‌های آثرودینامیک
18	2-2-2-2 روش‌های توازن انرژی
18	3-2-2-2 روش‌های ترکیبی
18	4-2-2-2 روش‌های تجربی
19	3-2 داده‌های هواشناسی
19	1-3-2-1 گرمای نهان تبخیر (λ)
19	2-3-2-2 فشار اتمسفر (P)
20	3-3-2-2 چگالی اتمسفر (ρ)
21	4-3-2-2 ثابت سایکرومتری (رطوبت سنجی) (γ)
21	5-3-2-2 فشار بخار اشباع (e_s)
21	6-3-2-2 شیب منحنی فشار بخار اشباع (Δ)
22	7-3-2-2 فشار بخار واقعی (e_a)
23	8-3-2-2 کمبود فشار بخار (VPD)
23	9-3-2-2 تابش فرازمینی (R_a)
24	10-3-2-2 تابش خالص (R_n)
24	11-3-2-2 تابش خالص خورشیدی یا تابش خالص طول موج کوتاه (R_{ns})
24	12-3-2-2 تابش خورشیدی رسیده به زمین (R_s)

25	..... 13-3-2 تابش خورشیدی در آسمان صاف (R_{SO})
25	..... 14-3-2 تابش خالص طول موج بلند (R_{nl})
26	..... 15-3-2 شار گرمایی خاک (G)
26	..... 16-3-2 سرعت باد (U)
28	..... فصل سوم (سیستم استنتاج فازی)
28	..... مقدمه
28	..... 1-3 شبکه عصبی بیولوژیک
29	..... 2-3 شبکه عصبی مصنوعی
30	..... 1-2-3 ویژگی‌های شبکه عصبی مصنوعی
30	..... 1-1-2-3 توانایی یادگیری
30	..... 2-1-2-3 پراکنندگی اطلاعات
31	..... 3-1-2-3 قابلیت تعمیم
31	..... 4-1-2-3 پردازش موازی
31	..... 5-1-2-3 مقاوم بودن
32	..... 2-2-3 مدل نرون تک ورودی
32	..... 1-2-2-3 تابع محرک
34	..... 3-2-3 نرون با چند ورودی
35	..... 4-2-3 تعیین ساختار شبکه
35	..... 1-4-2-3 تعیین ساختار شبکه عصبی
35	..... 2-4-2-3 شبکه‌های تک لایه
36	..... 3-4-2-3 شبکه‌های چند لایه
37	..... 5-2-3 آموزش شبکه‌ها
37	..... 1-5-2-3 آموزش با ناظر
38	..... 2-5-2-3 آموزش بدون ناظر
38	..... 6-2-3 ساختارهای مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی
39	..... 1-6-2-3 شبکه‌های پیش خور
39	..... 2-6-2-3 شبکه‌های پس خور
40	..... 7-2-3 مدل‌های مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی
40	..... 1-7-2-3 شبکه‌های عصبی پرسپترون
40	..... 2-7-2-3 شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه (MLP)
41	..... 8-2-3 الگوریتم پس انتشار خطا (BP)
42	..... 9-2-3 روش توقف آموزش (STA)
43	..... 3-3 تئوری فازی
43	..... 1-3-3 مقدمه
44	..... 2-3-3 مجموعه‌های کلاسیک و فازی

44	..... 3-3-3 تابع عضویت
46	..... 4-3-3 الگوریتم‌های آموزشی
47	..... 5-3-3 عملیات بر روی مجموعه‌های فازی
47	..... 1-5-3-3 تساوی مجموعه‌ها
48	..... 2-5-3-3 متمم مجموعه‌ها
48	..... 3-5-3-3 مشمولیت مجموعه‌ها
48	..... 4-5-3-3 اجتماع مجموعه‌ها
48	..... 5-5-3-3 اشتراک مجموعه‌ها
48	..... 6-3-3 سیستم استنتاج فازی
49	..... 1-6-3-3 فازی سازی
50	..... 2-6-3-3 فازی زدایی و خروجی مدل فازی
50	..... 3-6-3-3 قسمت خروجی
50	..... 7-3-3 قواعد فازی و سیستم‌های استنتاج فازی
51	..... 1-7-3-3 مراحل انجام استدلال فازی
51	..... 8-3-3 سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی (CANFIS)
51	..... 1-8-3-3 مقدمه
52	..... 2-8-3-3 ساختار سیستم استنتاج عصبی-فازی
56	..... فصل 4 (مواد و روش‌ها)
56	..... مقدمه
56	..... 1-4 مشخصات و اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه
58	..... 2-4 موقعیت جغرافیایی ایستگاه هواشناسی سنندج
58	..... 3-4 داده‌های هواشناسی مورد استفاده
60	..... 1-3-4 اصلاح داده‌های هواشناسی
61	..... 4-4 روش‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع
61	..... 1-4-4 روش فائو بلانی کریدل
62	..... 2-4-4 روش پنمن مانیتث
63	..... 3-4-4 روش هارگریوز سامانی
63	..... 4-4-4 روش ماکینک
63	..... 5-4-4 روش پرستلی تیلور
64	..... 6-4-4 روش ریچی
64	..... 5-4 نرم افزار مورد استفاده
64	..... 6-4 داده‌های مورد نیاز
65	..... 1-6-4 نرمال سازی داده‌ها
65	..... 2-6-4 تقسیم بندی داده‌ها
65	..... 1-2-6-4 داده‌های آموزشی

66	..... 2-2-6-4 داده‌های صحت سنجی
66	..... 3-2-6-4 داده‌های آزمون
66	..... 3-6-4 تصادفی نمودن داده‌ها
66	..... 7-4 تعیین ساختار شبکه
66	..... 1-7-4 تعیین ساختار سیستم‌های استنتاج عصبی-فازی
68	..... 2-7-4 تعیین ساختار شبکه عصبی
68	..... 8-4 بسط مدل
68	..... 1-8-4 مدل‌های تک ورودی
68	..... 1-1-8-4 معماری مدل عصبی-فازی ANFIS-1
70	..... 2-1-8-4 معماری مدل شبکه عصبی ANN-1
73	..... 2-8-4 مدل‌های دو ورودی
73	..... 1-2-8-4 معماری مدل عصبی-فازی ANFIS-13
73	..... 2-2-8-4 معماری مدل شبکه عصبی ANN-13
75	..... 3-8-4 مدل‌های سه ورودی
75	..... 1-3-8-4 معماری مدل عصبی-فازی ANFIS-26
76	..... 2-3-8-4 معماری مدل شبکه عصبی ANN-26
78	..... 4-8-4 مدل‌های چهار ورودی
78	..... 1-4-8-4 معماری مدل عصبی-فازی ANFIS-47
79	..... 2-4-8-4 معماری مدل شبکه عصبی ANN-47
81	..... 5-8-4 مدل‌های پنج ورودی
81	..... 1-5-8-4 معماری مدل عصبی-فازی ANFIS-59
82	..... 2-5-8-4 معماری مدل شبکه عصبی ANN-59
84	..... 6-8-4 مدل‌های شش ورودی
84	..... 1-6-8-4 معماری مدل عصبی-فازی ANFIS-64
85	..... 2-6-8-4 معماری مدل شبکه عصبی ANN-64
87	..... 9-4 ارزیابی عملکرد مدل‌ها
88	..... 10-4 فرآیند تحلیل سلسله مراتبی
88	..... 1-10-4 اصول فرآیند تحلیل سلسله مراتبی
89	..... 2-10-4 مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی
89	..... 1-2-10-4 ساخت سلسله مراتبی
90	..... 2-2-10-4 تهیه ماتریس مقایسات زوجی
90	..... 3-2-10-4 محاسبه وزن
91	..... 3-10-4 سازگاری قضاوت‌ها و تعیین نرخ ناسازگاری
92	..... 11-4 استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در اولویت بندی مدل‌ها
93	..... فصل پنجم (نتایج و بحث)

93	..... مقدمه
93	..... 1-5 ارزیابی دقت پیش بینی مدل
94	..... 1-1-5 مدل های با یک ورودی (ANFIS-1, ANN-1)
94	..... 1-1-1-5 مقایسه کیفی
95	..... 2-1-1-5 مقایسه کمی
95	..... 2-1-5 مدل های با دو ورودی (ANFIS-13, ANN-13)
95	..... 1-2-1-5 مقایسه کیفی
96	..... 2-2-1-5 مقایسه کمی
97	..... 3-1-5 مدل های با سه ورودی (ANFIS-26, ANN-26)
97	..... 1-3-1-5 مقایسه کیفی
98	..... 2-3-1-5 مقایسه کمی
98	..... 4-1-5 مدل های با چهار ورودی (ANFIS-47, ANN-47)
98	..... 1-4-1-5 مقایسه کیفی
99	..... 2-4-1-5 مقایسه کمی
100	..... 5-1-5 مدل های با پنج ورودی (ANFIS-59, ANN-59)
100	..... 1-5-1-5 مقایسه کیفی
101	..... 2-5-1-5 مقایسه کمی
101	..... 6-1-5 مدل های با شش ورودی (ANFIS-64, ANN-64)
101	..... 1-6-1-5 مقایسه کیفی
102	..... 2-6-1-5 مقایسه کمی
103	..... 2-5 مقایسه مدل ها با روش های تجربی متناظر
103	..... 1-2-5 مقایسه با روش هارگریوز سامانی
103	..... 1-1-2-5 مقایسه کیفی
105	..... 2-1-2-5 مقایسه کمی
105	..... 2-2-5 مقایسه با روش ریچی
105	..... 1-2-2-5 مقایسه کیفی
107	..... 2-2-2-5 مقایسه کمی
107	..... 3-2-5 مقایسه با روش ماکینک
107	..... 1-3-2-5 مقایسه کیفی
109	..... 2-3-2-5 مقایسه کمی
109	..... 4-2-5 مقایسه با روش پرستلی تیلور
109	..... 1-4-2-5 مقایسه کیفی
111	..... 2-4-2-5 مقایسه کمی
111	..... 5-2-5 مقایسه با روش بلانی کریدل
111	..... 1-5-2-5 مقایسه کیفی

113	..... 2-5-2-5 مقایسه کمی
114	..... 3-5 فرآیند تحلیل سلسله مراتبی
114	..... 1-3-5 ساخت سلسله مراتبی
114	..... 2-3-5 محاسبه وزن معیارها
116	..... 3-3-5 محاسبه وزن گزینه‌ها
119	..... 4-3-5 نتایج مربوط به اولویت بندی شبکه‌ها
123	..... 4-5 نتیجه گیری
124	..... 5-5 پیشنهادات
124	..... منابع

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
62	جدول 1-4 مقادیر C_n , C_d
67	جدول 2-4 شبکه‌های ANFIS و پارامترهای ورودی آنها
69	جدول 3-4 مقادیر ضریب همبستگی داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-1 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
69	جدول 4-4 مقادیر خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-1 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
70	جدول 5-4 مشخصات فنی مدل ANFIS-1
70	جدول 6-4 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-1 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری مارکوارت - لونیبرگ
71	جدول 7-4 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-1 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری پس انتشار سریع
71	جدول 8-4 مشخصات فنی مدل ANN-1
72	جدول 9-4 مقادیر ضریب همبستگی داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-13 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
72	جدول 10-4 مقادیر خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-13 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
72	جدول 11-4 مشخصات فنی مدل ANFIS-13
73	جدول 12-4 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-13 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری مارکوارت - لونیبرگ
73	جدول 13-4 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-13 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری پس انتشار سریع
74	جدول 14-4 مشخصات فنی مدل ANN-13
74	جدول 15-4 مقادیر ضریب همبستگی داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-26 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
75	جدول 16-4 مقادیر خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-26 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
75	جدول 17-4 مشخصات فنی مدل ANFIS-26
76	جدول 18-4 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-26 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری مارکوارت - لونیبرگ
76	جدول 19-4 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-26 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری پس انتشار سریع
76	جدول 20-4 مشخصات فنی مدل ANN-26

77	جدول 4-21 مقادیر ضریب همبستگی داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-47 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
77	جدول 4-22 مقادیر خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-47 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
78	جدول 4-23 مشخصات فنی مدل ANFIS-47
78	جدول 4-24 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-47 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری مارکوارت - لونیبرگ
79	جدول 4-25 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-47 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری پس انتشار سریع
79	جدول 4-26 مشخصات فنی مدل ANN-47
80	جدول 4-27 مقادیر ضریب همبستگی داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-59 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
80	جدول 4-28 مقادیر خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-59 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
80	جدول 4-29 مشخصات فنی مدل ANFIS-59
81	جدول 4-30 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-59 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری مارکوارت - لونیبرگ
81	جدول 4-31 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-59 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری پس انتشار سریع
82	جدول 4-32 مشخصات فنی مدل ANN-59
82	جدول 4-33 مقادیر ضریب همبستگی داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-64 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
83	جدول 4-34 مقادیر خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANFIS-64 برای توابع انتقال، قانون یادگیری سیستم‌های استنتاج فازی و توابع عضویت متفاوت
83	جدول 4-35 مشخصات فنی مدل ANFIS-64
84	جدول 4-36 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-64 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری مارکوارت - لونیبرگ
84	جدول 4-37 مقادیر ضریب همبستگی و خطای داده‌های صحت سنجی مدل ANN-64 برای توابع انتقال مختلف با قانون یادگیری پس انتشار سریع
84	جدول 4-38 مشخصات فنی مدل ANN-64
87	جدول 4-39 ارزش گذاری شاخص‌ها نسبت به یکدیگر
89	جدول 4-40 شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی
93	جدول 5-1 مقادیر شاخص‌های آماری مرتبط با مدل‌های تک ورودی
94	جدول 5-2 مقادیر شاخص‌های آماری مرتبط با مدل‌های دو ورودی دمای مینیمم، ساعات آفتابی
96	جدول 5-3 مقادیر شاخص‌های آماری مرتبط با مدل‌های سه ورودی دمای ماکزیمم، سرعت باد، ساعت آفتابی

97	جدول 4-5 مقادیر شاخص‌های آماری مرتبط با مدل‌های چهار ورودی دمای ماکزیمم، دمای مینیمم، سرعت باد، ساعت آفتابی
98	جدول 5-5 مقادیر شاخص‌های آماری مرتبط با مدل‌های پنج ورودی دمای ماکزیمم، دمای مینیمم، سرعت باد، ساعت آفتابی و رطوبت نسبی ماکزیمم
100	جدول 6-5 مقادیر شاخص‌های آماری مرتبط با مدل‌های شش ورودی دمای ماکزیمم، دمای مینیمم، سرعت باد، ساعت آفتابی، رطوبت نسبی ماکزیمم و رطوبت نسبی مینیمم
103	جدول 7-5 مقادیر شاخص‌های آماری مرتبط با مدل‌های استاتیکی و روش هارگریوز سامانی
105	جدول 8-5 مقادیر شاخص‌های آماری مرتبط با مدل‌های استاتیکی و روش ریچی
107	جدول 9-5 مقادیر شاخص‌های آماری مرتبط با مدل‌های استاتیکی و روش ماکینک
109	جدول 10-5 مقادیر شاخص‌های آماری مرتبط با مدل‌های استاتیکی و روش پرستلی تیلور
111	جدول 11-5 مقادیر شاخص‌های آماری مرتبط با مدل‌های استاتیکی و روش بلانی کریدل
112	جدول 12-5 ماتریس مقایسه زوجی معیارها
113	جدول 13-5 ماتریس مقایسه زوجی شبکه‌ها بر اساس معیار CE
114	جدول 14-5 ماتریس مقایسه زوجی شبکه‌ها بر اساس معیار R
115	جدول 15-5 ماتریس مقایسه زوجی شبکه‌ها بر اساس معیار RMSE
116	جدول 16-5 ماتریس مقایسه زوجی شبکه‌ها بر اساس معیار MAE

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

16	..... شکل 1-2 مفهوم تبخیر و تعرق مرجع
29	..... شکل 1-3 سلول بیولوژیک
32	..... شکل 2-3 شماتیک نرون مصنوعی
33	..... شکل 3-3 تابع محرک خطی
33	..... شکل 4-3 تابع محرک آستانه‌ای دو مقداره حدی
34	..... شکل 5-3 تابع انتقال زیگموئیدی در نرون‌های عصبی
34	..... شکل 6-3 تابع انتقال تانزانت زیگموئیدی در نرون‌های عصبی
34	..... شکل 7-3 نرون با چند ورودی
36	..... شکل 8-3 یک شبکه تک لایه
37	..... شکل 9-3 شبکه چند لایه
42	..... شکل 10-3 شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه و الگوریتم پس انتشار خطا
46	..... شکل 11-3 انواع توابع عضویت گوسی، زنگوله‌ای و مثلثی
52	..... شکل 12-3 معادلات سیستم فازی نوع تاکاگی سوگنو
54	..... شکل 13-3 معادلات سیستم فازی نوع تسوکاموتو
57	..... شکل 1-4 استان کردستان و موقعیت آن در کشور
58	..... شکل 2-4 (الف) مقادیر رطوبت نسبی حداکثر و (ب) مقادیر رطوبت نسبی حداقل
59	..... شکل 3-4 (الف) مقادیر دمای مینیمم و (ب) مقادیر دمای ماکزیمم
59	..... شکل 4-4 (الف) مقادیر ساعت آفتابی و (ب) مقادیر سرعت باد
59	..... شکل 5-4 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع روزانه
87	..... شکل 6-4 نمایش سلسله مراتبی یک مسئله تصمیم
92	..... شکل 1-5 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پیش بینی شده با مدل‌های ANFIS-1, ANN-1
94	..... شکل 2-5 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پیش بینی شده با مدل‌های ANFIS-13, ANN-13
95	..... شکل 3-5 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پیش بینی شده با مدل‌های ANFIS-26, ANN-26
97	..... شکل 4-5 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پیش بینی شده با مدل‌های ANFIS-47, ANN-47
98	..... شکل 5-5 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پیش بینی شده با مدل‌های ANFIS-59, ANN-59
100	..... شکل 6-5 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پیش بینی شده با مدل‌های ANFIS-64, ANN-64
102	..... شکل 7-5 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پیش بینی شده با مدل‌های ANFIS-7, ANN-7 و روش هارگریوز سامانی
104	..... شکل 8-5 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پیش بینی شده با مدل‌های ANFIS-23, ANN-23 و روش ریچی
106	..... شکل 9-5 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پیش بینی شده با مدل‌های ANFIS-23, ANN-23 و روش ماکینک
108	..... شکل 10-5 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پیش بینی شده با مدل‌های ANFIS-42, ANN-42 و روش پریستلی تیلور
110	..... شکل 11-5 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پیش بینی شده با مدل‌های ANFIS-60, ANN-60 و روش بلائی کریدل
112	..... شکل 12-5 ساختار سلسله مراتبی جهت اولویت بندی شبکه‌های مختلف

117	..... شکل 5-13 وزن دهی معیارها نسبت به هدف
117	..... شکل 5-14 وزن دهی گزینه‌ها نسبت به معیار CE
117	..... شکل 5-15 وزن دهی گزینه‌ها نسبت به معیار R
118	..... شکل 5-16 وزن دهی گزینه‌ها نسبت به معیار RMSE
118	..... شکل 5-17 وزن دهی گزینه‌ها نسبت به معیار MAE
119	..... شکل 5-18 وزن نهایی گزینه‌ها و رتبه بندی آنها

مقدمه

الف) کلیات

کمبود آب شیرین به عنوان بزرگترین مانع جهت توسعه کشاورزی، تامین غذا و کاهش فقر محسوب می‌گردد. متأسفانه منابع آب شیرین کشور محدود بوده و دارای توزیع غیر یکنواخت مکانی و زمانی می‌باشد. رشد جمعیت، افزایش تقاضای آب برای مصارف خانگی و به تبع آن صنعت را به دنبال داشته و در برخی از مناطق دنیا سبب کاهش میزان توسعه کشاورزی گشته است (هاشمی نیا، 1383). کشور ما ایران در ناحیه خشک و نیمه خشک واقع شده است بطوری که با میانگین بارندگی سالانه 240 میلی متر، در مقایسه با میانگین سالانه جهانی برابر با 860 میلی متر، کمتر از یک سوم بارندگی دنیا را دارا می‌باشد. اهمیت تبخیر و تعرق از آنجا مشخص می‌شود که در مقیاس جهانی حدود 57 درصد آبی که روی خشکی‌ها فرو می‌ریزد، مستقیماً تبخیر می‌شود. در مورد ایران این رقم به 72 درصد می‌رسد (علیزاده، 1384). لذا بدلیل محدودیت منابع آب و اهمیت بخش کشاورزی به عنوان مصرف کننده اصلی آب در کشور، لزوم بهره برداری از آب با کارایی بالاتر اجتناب ناپذیر می‌باشد. یکی از اقدامات مهم در جهت بهبود مدیریت آب در مزرعه، تخمین هرچه دقیق‌تر نیاز آبی گیاهان می‌باشد که منجر به صرفه جویی در