



سازمان حفاظت محیط زیست

عنوان طرح:

**ارزیابی وضعیت اکوسیستم تالاب های کانی برازان و چغاخور
با استفاده از داده های کیفیت آب**

گزارش پایان کار

دانشگاه تبریز

تاریخ تهیه:

آبان ۱۳۹۷

بسم الله الرحمن الرحيم

کلید واژه: ارزیابی سلامت تالاب، ایستگاه پایش آنلاین، FCM-ANFIS، موجک- آنتروپی، ارزیابی ماتریسی تالاب، تالاب چغاخور، تالاب کانی برازان.

چکیده

تالاب‌ها به سبب ارائه خدمات گوناگون به جوامع بشری یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های موجود در طبیعت بوده و از ارزش زیادی برخوردارند. اما بر اثر وقوع خشک سالی‌های پی در پی و همچنین سوء مدیریت در بهره‌برداری از این زیست بوم‌ها، این اکوسیستم‌های با ارزش در خطر نابودی قرار گرفته‌اند. از همین روی در راستای حفظ و بهره‌برداری خردمندانه از این زیست‌بوم‌های با ارزش دفتر حفاظت از تالاب‌های ایران با حمایت سازمان ملل و تصحیلات جهانی، اقدام به نصب حسگرهای پایش آنلاین در تالاب‌های چغاخور و کانی برازان نموده است، که وظیفه‌ی ارزیابی کارایی این ایستگاه پایش و استخراج اطلاعات حاصله از آن‌ها طی قرار دادی به دانشگاه تبریز محول گردیده است.

با توجه به عدم وجود روش جامعی جهت ارزیابی وضعیت تالاب‌ها در کشور طی این پژوهش با استفاده از روش ماتریسی وضعیت سلامت تالاب کانی برازان و چغاخور مورد ارزیابی قرار گرفت. لازم به ذکر است که به سبب موقعیت تالاب چغاخور و وجود برخی محدودیت‌ها در این تالاب دقت مطالعات این تالاب به اندازه تالاب کانی برازان نمی‌باشد. در قسمتی دیگر از این پژوهش با استفاده از داده‌های ثبت و ذخیره شده در طی دو سال ۹۶ و ۹۷، توانایی FCM-ANFIS در پیش‌بینی پارامتر اکسیژن محلول (DO) با استفاده رسانی الکتریکی آب (EC)، دمای آب، رطوبت هوا، دمای هوا و عمق آب مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه این پژوهش به منظور استخراج داده‌های نهان و ردگیری میزان تغییرات شاخصه‌های اندازه‌گیری شده توسط حسگر موجود در تالاب چغاخور از روش موجک - آنتروپی استفاده گردید. سری‌های زمانی با استفاده از موجک مادر db3 به ۴ زیر سری تبدیل شد و با محاسبه انرژی هر زیر سری آنتروپی هر شاخصه در بازه‌های زمانی یکسان محاسبه شد و درصد تغییرات آن‌ها به دست آمد.

نتایج حاصله از مطالعات میدانی و امتیاز دهی ماتریسی تالاب کانی برازان حاکی از آن است که اکوسیستم این تالاب بر اثر فعالیت‌های انسانی به میزان کمی دستخوش تغییر شده است که می‌توان با اقدامات مناسب

مدیریتی شرایط آن را بهبود بخشید اما وضعیت تالاب چغاخور چندان مطلوب نموده و نیازمند اقدامات جدی در راستای بهبود شرایط می باشد. همچنین خروجی مدل FCM-ANFIS اجرا شده بر روی تالاب چغاخور حاکی از عملکرد قابل قبول این مدل در پیش بینی DO با توجه به مقادیر بالای پارامترهای ارزیابی R و NSR و میزان کم RMSE، می باشد. نتایج حاصله از تئوری موجک- آنتروپی نیز نشان دهنده این است که میزان اکسیژن محلول در آب و فشار هوا بیشترین میزان تغییرات کاهشی را در میان سایر پارامترها دارند که تغییرات بالای فشار هوا حاکی از وقوع تغییرات دوره ای آب و هوایی در منطقه است. همچنین تلفیق نتایج این روش با خروجی حاصله از مطالعات میدانی نشان دهنده این امر است که اکوسیستم تالاب چغاخور به میزان کمی افول کرده است.

فهرست مطالب

فصل اول	أ
۱-۱- بیان مسئله	۱
فصل دوم	۱۳
پیش‌تجین	۱۳
۱-۲ بررسی منابع	۱۴
۱-۱-۲ ارزیابی وضعیت تالاب با استفاده از معیار اسکوم	۱۴
۲-۱-۲ فرآیندهای داده کاوی و مدلسازی	۱۶
۳-۱-۲ آنترופی	۲۴
فصل سوم	۳۰
موادورها	۳۰
۱-۳ مقدمهای بر شبکههای عصبی	۳۱
۱-۱-۳ تئوری شبکه عصبی	۳۱
۲-۱-۳ توابع انتقال	۳۳
۳-۱-۳ آموزش شبکه عصبی	۳۳
۲-۳ سیستم یادگیری عصبی انطباقی فازی (ANFIS)	۳۴
۱-۲-۳ تعریف مجموعه فازی	۳۴
۲-۲-۳ توابع عضویت	۳۶
۱-۲-۲-۳ تابع عضویت مثلثی و دوزنقه ای	۳۷
۲-۲-۲-۳ تابع عضویت گاوسی و ناقوسی	۳۸
۳-۲-۲-۳ تابع عضویت حلقوی	۳۸
۳-۲-۳ فرآیند استنتاج فازی	۳۹
۱-۳-۲-۳ فازی سازی ورودیها	۳۹
۲-۳-۲-۳ اعمال عملگرهای فازی	۳۹
۳-۲-۳ فرآیند دلالت	۴۰
۴-۳-۲-۳ جمع خروجی ها	۴۱

۴۲	 ۵-۳-۳ غیر فازی کردن
۴۳	 ۴-۲-۳ سیستمهای استنتاج عصبی- فازی
۴۵	 ۵-۲-۳ Subtractiv روش کلاسه بندی
۴۷	 ۶-۲-۳ fuzzy C means روش کلاسه بندی
۴۸	 ۷-۲-۳ توابع هدف مورد استفاده برای بهینهسازی مدلها
۴۹	 ۳-۳ موجک آنتروپی
۴۹	 ۱-۳-۳ تئوری موجک
۴۹	 ۲-۳-۳ آنالیز موجک
۵۰	 ۳-۳-۳ انواع تبدیل موجک
۵۳	 ۴-۳-۳ تجزیه چند مقیاس
۵۵	 ۴-۳-۳ آنتروپی
۵۶	 ۱-۴-۳ آنتروپی شانون
۵۶	 ۲-۴-۳ نظریه آنتروپی شانون برای متغیر تصادفی گسسته
۵۸	 ۵-۳ معیار موجک _ آنتروپی
۵۹	 ۶-۳ مقدمه ای بر ارزیابی تالابی
۵۹	 ۱-۶-۳ طبقه بندی نوع تالاب
۶۴	 ۲-۶-۳ روش ارزیابی خطر تالاب جهت ارزیابی وضعیت تالاب
۶۴	 ۳-۶-۳ اندازه گیری های میدانی
۶۴	 ۱-۳-۶-۳ پایداری حاشیه
۶۵	 ۲-۳-۶-۳ میزان تحکیم سطحی خاک
۶۵	 ۳-۳-۶-۳ عرض نواری پوششهای گیاهی
۶۶	 ۴-۶-۳ اندازهگیری شاخصه های اکولوژیکی
۶۶	 ۱-۴-۶-۳ اندازه گیری میزان PH
۶۸	 ۲-۴-۶-۳ رسانایی الکتریکی
۶۹	 ۳-۴-۶-۳ اکسیژن محلول در آب DO
۷۰	 ۴-۴-۶-۳ پارامترهای کیفی آزمایشگاهی
۷۴	 ۵-۴-۶-۳ پوشش گیاهان آبی
۷۴	 ۶-۴-۶-۳ میزان حضور جلبکها
۷۵	 ۷-۴-۶-۳ پراکندگی گونه های گیاهی
۷۸	 ۷-۳ مناطق مورد مطالعه
۷۸	 ۱-۷-۳ تالاب کانی برازان
۸۰	 ۲-۷-۳ تالاب چغاخور

نتیج و بحث

۸۳

- ۱-۴ مقدمه‌های بر پایش سلامت تالاب ۸۴
- ۲-۴ تحلیل مقدماتی آماری ۸۵
- ۳-۴ مدل‌سازی پارامترهای کیفی آب با استفاده از ANFIS ۹۰
- ۴-۴ موجک-آنتروپی ۱۰۰
- ۴-۴ ۱- بررسی تغییرات پیچیدگی پارامترهای کیفی آب ۱۰۰
- ۴-۴ ۲- بررسی تغییرات پیچیدگی پارامترهای فیزیکی تالاب ۱۰۱
- ۴-۵ ارزیابی اکولوژیکی تالاب کانی برازان ۱۰۲
- ۴-۶ ارزیابی وضعیت سلامت تالاب ۱۰۶

فصل نهم

۱۱۷

- ۱-۵ نتیجه گیری ۱۱۸
- ۴-۵ پیشنهادات Error! Bookmark not defined.

۱۲۳

منابع و مراجع

۸	جدول ۱-۱ لیستی از تالابهای مهم ایران با ذکر معضلات موجود
۵۷	جدول ۱-۳ یکاهای مختلف آنتروپی
۶۱	جدول ۲-۳ معرفی انواع تالابها و مشخصات شناسایی
۷۶	جدول ۳-۳ نمونه جدول امتیازدهی روش استفاده میشود.
۷۷	جدول ۴-۳ طبقه بندی وضعیت تالابی بر اساس مطالعات میدان
۸۵	جدول ۱-۴ مشخصات آماری پارامترها
۸۶	جدول ۲-۴ چولگی و کشیدگی پارامترها
۸۷	جدول ۳-۴ ضریب همبستگی میان پارامترها
۹۱	جدول ۴-۴ مدل‌های به کار رفته در مرحله شناسایی داده‌های موثر
۹۲	جدول ۵-۴ مدل‌های ارائه شده به ANFIS-FCM
۹۹	جدول ۶-۴ پارامترهای محاسبه شده در مرحله آموزش
۹۹	جدول ۷-۴ پارامترهای محاسبه شده در مرحله آزمون
۱۰۱	جدول ۸-۴ درصد تغییرات پارامترهای کیفی
۱۰۲	جدول ۹-۴ درصد تغییرات محاسبه شده پارامترهای فیزیکی
۱۰۷	جدول ۱۰-۴ تشخیص نوع تالابهای مورد بررسی
۱۰۹	جدول ۱۱-۴ نمونه جدول به کار گرفته شده جهت ثبت مشاهدات و اندازه گیری میدانی.
۱۱۰	جدول ۱۲-۴ امتیازات تالاب کانی برازان
۱۱۴	۴-۱۳ امتیاز دهی تالاب چغاخور در سال ۹۶

فهرست شکل‌ها

-
- شکل ۱-۱ قسمت‌های مختلف مکانیزم تنزل تالاب. ۴
- شکل ۲-۱ چرخه مدیریت تطبیقی؛ ۱۱
- شکل ۱-۳ شمای ساده از نرون زنده ۳۲
- شکل ۲-۳ مقایسه مجموعه فازی و کلاسیک ۳۵
- شکل ۳-۳ مثال تشخیص افراد بلند قد که حاکی از عدم توانایی روشهای کلاسیک در برخی دسته بندیها میباشد. ۳۶
- شکل ۴-۳ دسته بندی کلاسیک ۳۶
- ۵-۳ تخصیص تابع عضویت فازی در مثال قد. ۳۷
- شکل ۶-۳ توابع عضویت ذوزنقهای و مثلثی ۳۷
- شکل ۷-۳ توابع عضویت گوسی وناقوسی. ۳۸
- شکل ۸-۳ توابع عضویت حلقوی. ۳۸
- شکل ۹-۳ مثالی از فازی سازی دادهها در نرم افزار متلب ۳۹
- شکل ۱۰-۳ اعمال عملگرهای فازی بر روی دادههایی که فازی سازی شدهاند ۴۰
- ۱۱-۳ اعمال فرایند دلالت ۴۱
- شکل ۱۲-۳ جمع خروجیها ۴۱
- شکل ۱۳-۳ مثالی از غیر فازی سازی نتایج. ۴۲
- شکل ۱۴-۳ (a) ساختار منطق فازی سوگنو. (b) ساختار لایهای مدلهای نرو فازی. ۴۳
- شکل ۱۵-۳ آنالیز زمان فرکانس ۵۱

۵۴	شکل ۳-۱۶ نمای تجزیه گسسته
۷۹	شکل ۳-۱۷ تصویر ماهواره‌ای از تالاب کانی برازان
۸۰	شکل ۳-۱۸ نمایی از ضلع غربی تالاب و زمینهای کشاورزی دیمی
۸۴	شکل ۴-۱۱ ایستگاههای پایش آنلاین.
۹۱	شکل ۴-۲ ضریب تبیین حاصله از مدلها در مرحله آموزش و تست
۹۲	شکل ۴-۳ مجذور میانگین مربعات خطاهای حاصله از مدلها.
۹۳	شکل ۴-۴ نمودار رگرسیون مدل M11
۹۳	شکل ۴-۵ نمودار برازش خروجی مدل M11 و دادههای واقعی
۹۴	شکل ۴-۶ نمودار رگرسیون مدل M12
۹۴	شکل ۴-۷ نمودار برازش خروجی مدل M12 و دادههای واقعی
۹۵	شکل ۴-۸ نمودار رگرسیون مدل M12
۹۵	شکل ۴-۹ نمودار برازش خروجی مدل M13 و دادههای واقعی
۹۶	شکل ۴-۱۰ نمودار رگرسیون مدل M14
۹۶	شکل ۴-۱۱ نمودار برازش خروجی مدل M14 و دادههای واقعی
۹۷	شکل ۴-۱۲ نمودار رگرسیون مدل M15
۹۷	شکل ۴-۱۳ نمودار برازش خروجی مدل M15 و دادههای واقعی
۹۸	شکل ۴-۱۴ نمودار رگرسیون مدل M16
۱۰۳	شکل ۴-۱۶ میانگین تغییرات EC آب تالاب بر حسب $\mu\text{S/cm}$
۱۰۳	شکل ۴-۱۷ میانگین تغییرات سدیم آب تالاب در ماههای اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد بر حسب (ppm)

- شکل ۴-۱۸ میانگین PH ۱۰۴
- شکل ۴-۱۹ : میانگین تغییرات پتاسیم در ماه های مختلف بر حسب (ppm) ۱۰۴
- شکل ۴-۲۰ مقدار پتاسیم در فصل خرداد از دو مکان نزدیک ۱۰۵
- شکل ۴-۲۱ مقدار فسفر در فصل خرداد در دو مکان مختلف ۱۰۵
- شکل ۴-۲۲ نحوه تقسیم بندی نواحی ۴ گانه تالاب کانی برازان و نقاط نمونه برداری شده ۱۰۸
- شکل ۴-۲۳ میزان رشد جلبکی در بازه زمانی ۱ ماهه. سال ۹۷. ۱۱۱
- شکل ۴-۲۴ تقسیم بندی تالاب چغاخور و نقاط نمونه برداری ۱۱۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱- بیان مسئله

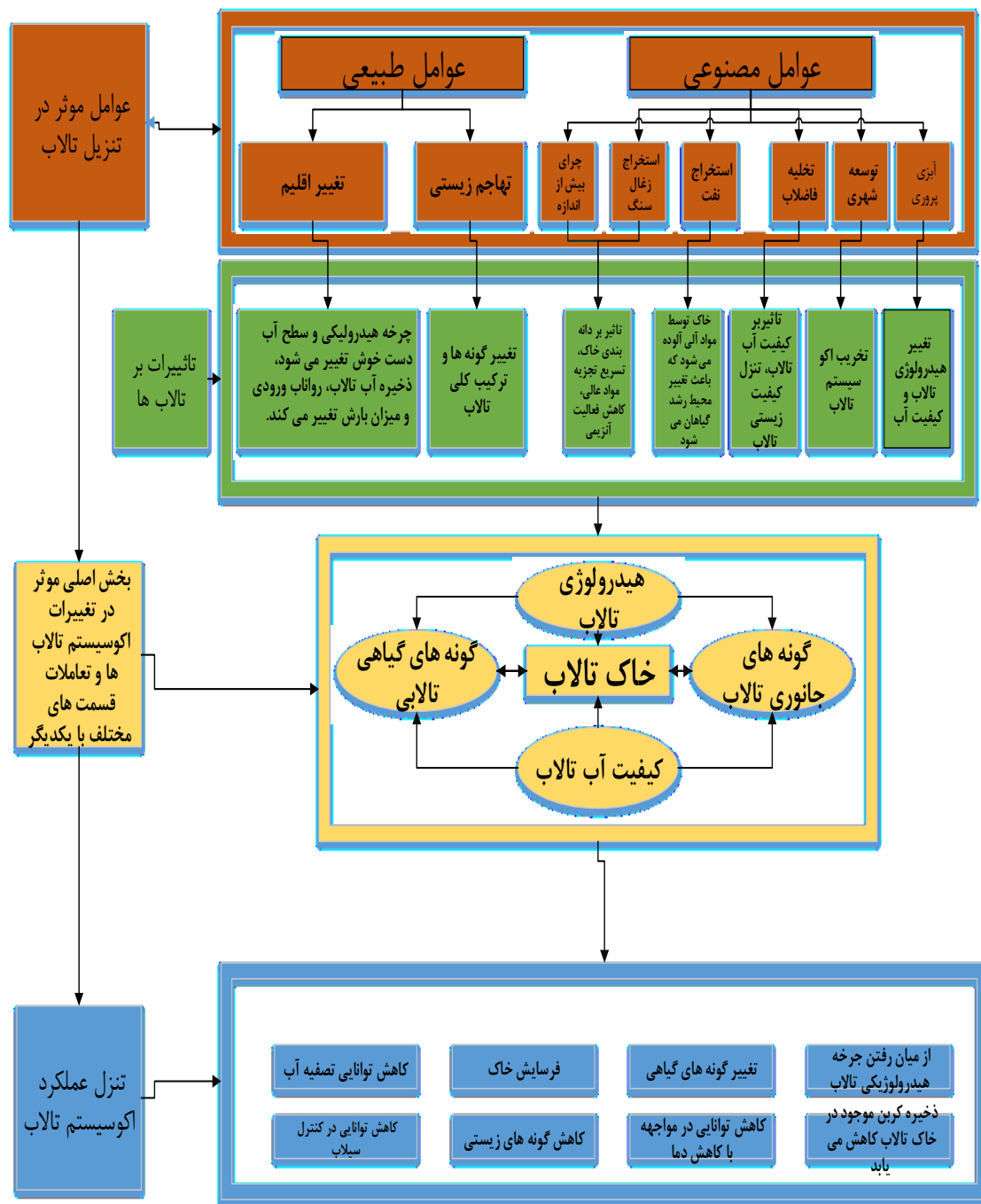
تالاب‌ها یکی از گسترده‌ترین منابع آبی طبیعی کشور محسوب می‌شوند و عرصه آن‌ها، محیط بسیار مناسبی را برای زیست گیاهان و جانوران مختلف و همچنین استفاده‌های انسانی فراهم کرده است. بروز تغییرات آب و هوایی در مناطق مختلف کشور، عدم رعایت حق‌آبه تالاب‌ها و کاهش آورد رودها، اجرای برخی طرح‌های صنعتی پیرامون تالاب‌ها و دریاچه‌ها و ورود پساب‌های صنعتی و کشاورزی به تالاب‌ها بدون در نظر گرفتن اثرات زیست محیطی از جمله تهدیداتی است که این زیست بوم‌های حیاتی را تهدید می‌کند. بر خلاف رشد آگاهی مردم و کشورها نسبت به اهمیت محیط‌های طبیعی بویژه تالاب‌ها هنوز درک واقعی از اهمیت، کارکرد و حساسیت این زیستگاه‌های حیاتی بسیار اندک است. تالاب‌ها را می‌توان

شاهکار خلقت به حساب آورد. به جرات می‌توان گفت در مجموعه چهره‌های طبیعی کمتر زیست‌گاهی با این مقدار اهمیت، در این حد مورد غفلت واقع شده است. متأسفانه با وجود آگاهی از ارزش بالای این زیست‌بوم‌ها در طبیعت هنوز روند تخریب این سیستم‌های طبیعی بی‌همتا که ده‌ها کارکرد متفاوت و موزون را یک‌جا در خود دارند متوقف نشده است. تخریب تالاب‌ها تحت اثر دو عامل طبیعی و مصنوعی است.

در این اکوسیستم‌ها، آب اصلی‌ترین عامل اثرگذار بر فرآیندهای حاکم در آن‌ها می‌باشد. مکانیزم‌های مخرب تالاب‌ها را می‌توان به ۲ گروه تقسیم نمود عوامل مخرب انسانی^۱ (آلودگی‌ها، بهره‌برداری بیش از حد از منابع زیستی، استخراج زغال سنگ، توسعه شهرنشینی) و عوامل طبیعی (تغییرات اقلیمی، تهاجم بیولوژیکی گونه‌های مهاجم). در شکل ۱-۱ نموداری درختی از عوامل مخرب و تاثیرات منفی آن‌ها آورده شده که سعی شده تا تقریباً همه عوامل اساسی در ساز و کار این سیستم‌های پیچیده و ارتباط قسمت‌های مختلف آورده شود.

در این شکل که به ۳ قسمت کلی تقسیم شده است عوامل تنزیل کننده سیستم تالاب‌ها معرفی شده است که این عوامل با تاثیرات منفی خود بر قسمت سازه‌ای و مرکزی سیستم تالاب که در بخش میانی قرار دارد باعث پدید آمدن اثراتی منفی و نابود کننده تالاب می‌شود (Weiging meng & et al, 2017).

^۱anthropogenic



شکل ۱-۱ قسمت‌های مختلف مکانیزم تنزیل تالاب.

با توجه به شکل ۱-۱ می‌توان دریافت که برای بررسی دقیق و شناخت بهتر از چگونگی حفاظت از تالاب‌ها، بخش میانی، عملکردی ساختاری دارد. در همین راستا سعی شده است تا با بررسی پارامترهای کیفی آب و با در نظر داشتن هیدرولوژی تالابی و با کنار هم قرار دادن گزارشات مربوط به سایر بخش‌های این قسمت کلیدی، درک درستی از تالاب و عوامل مخرب آن به دست آید.

تاکنون به ندرت از منظر اقتصادی و ارزش گذاری مالی به خدماتی که تالابها در آنها دخیل هستند پرداخته شده است ولی با بررسی مقالات محدود موجود در این زمینه می توان به ارزش های مادی این زیست بومها پی برد.

از اصلی ترین بخش هایی که تالابها در آن مفید واقع می شوند کنترل جریان حوزه و کاهش دبی اوج سیلابها می باشد که ارزش عملکرد این بخش ۵۰۰۰ دلار آمریکا در هر هکتار تخمین زده شده است. از سوی دیگر ارزش دخایر آب و نگهداشت آبی تالابها معادل ۴۰۰۰ دلار بر هر هکتار ارزیابی می شود. در زمینه تصفیه آب و دفع سموم نیز تالابها ۴۰۰۰ دلار بر هر هکتار خدمات ارائه می کنند که این ارقام نشان دهنده ارزش اقتصادی بالای تالابها نیز می باشد البته لازم به ذکر است که برای برخی از خدمات تالابها همچون حفاظت از گونه های جانوری و آبی و پرورش گیاهان مختلف باتوجه به اهمیت بالای آن برای یک منطقه قابل ارزش گذاری نمی باشد (Klaff, 2001).

با افزایش آگاهی نسبت به اهمیت بالای تالابها تلاش های همه گیر و فراوانی جهت وضع قوانین بین المللی در راستای کنترل و احیای تالابها، انجام گرفت که در نهایت منجر به ایجاد کنوانسیون تحت عنوان کنوانسیون رامسر انجامید. کنوانسیون رامسر توافق بین المللی است که بر اساس آن، کشور-های عضو بر روی تالابهای مهم جهان (بویژه زیست گاه های پرندگان آبی و کنار آبی) مطالعه و تحقیق کرده و از آن حمایت می کنند. این کنوانسیون نام خود را از شهر رامسر گرفته است و در ۱۳ بهمن ماه ۱۳۴۹ بنا به دعوت ایران، به منظور مطالعه تالابها تشکیل و بنام آن شهر نیز نامگذاری شد. این کنوانسیون با انگیزه مشارکت بین المللی و همکاری همه جانبه در مطالعه، بررسی، حفاظت و بهره وری خردمندان از تالابهایی که اهمیت حیاتی برای پرندگان آبی و کنار آبی دارند منعقد شده است. هدف اصلی کنوانسیون رامسر تحقیق و حفاظت، ممانعت از روند خشک شدن تالابها با تاکید بر حمایت آنها بهره وری معقول و پایدار از منابع تالابی می باشد، و در جلوگیری از تجاوز، تعدی و تخریب تالابها فعالیت های چشم گیری انجام می دهد. هدف اصلی این کنوانسیون تحقیق و حفاظت، و ممانعت از روند خشک شدن تالابها با تاکید به حمایت از آنها و بهره برداری خردمندانه و پایدار از تالابها می باشد.

این کنوانسیون همچنین در شناخت اساسی و بنیادی بوم‌شناسی تالاب‌ها و توجه به ارزش‌های اقتصادی، فرهنگی، علمی و توریستی تالاب‌ها و ارتقا قابلیت احیا و بازسازی آن‌ها تلاش‌های فراوانی انجام می‌دهد. با وجود همه این تفاسیر باید تعریف درستی از تالاب داشت تا بتوانیم آن را مورد بررسی قرار دهیم. اصطلاح تالاب برای مردم مختلف معانی متفاوتی دارد. در حقیقت نزدیک به پنجاه تعریف از تالاب‌ها امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد که این تعاریف را می‌توان در ۲ گروه اصلی قرار داد:

۱. تعاریف باز و گسترده

۲. تعاریف بسته و محدود

در تعریف باز و گسترده؛ به مناطق مردابی، آبگیرها و توربازارهای آبی (پیت‌زار) که به صورت طبیعی یا مصنوعی به طور دائم یا موقت با آب ساکن، جاری شیرین و یا آب شور، به گونه‌ای که حداکثر عمق آب به ۶ متر برسد تالاب گفته می‌شود. این تعریف کفه‌های صخره‌ای، بسترهای علفی دریایی در مناطق ساحلی، کفه‌های گلی، مانگروها، مصب‌ها، باتلاق‌های جنگلی، مرداب‌ها و دریاچه‌های شور را در برمی‌گیرد.

در تعریف بسته و محدود؛ عمدتاً تالاب‌ها به عنوان اکوتون تلقی می‌شود. اکوتون‌ها مناطق گذرگاهی بین دو یا چند جامعه متمایز یا محیط‌زیست آبی و خشک به شمار می‌آیند که در آن غرقابی شدن خاک باعث به وجود آمدن پوشش گیاهی ویژه‌ای می‌شود (Cowardin & al, 1979. Deny, 1985).

البته باید توجه نمود که تالاب‌ها صرف نظر از داشتن عملکرد، تولیدات یا فرآیندهای ویژه براساس روابط و پیوندهای بیولوژیکی، شیمیایی و اختصاصات فیزیکی آن تعریف می‌شوند. با بررسی دقیق و گسترده منابع علمی ۷۵ ویژگی برای تالاب‌های ساحلی و شیرین تعیین کرده‌اند. البته تمام این ویژگی‌ها الزاماً در یک تالاب وجود ندارد و هر تالابی بخشی از این خصوصیات را داراست و تنها تعداد اندکی از تالاب‌ها دارای همه ویژگی‌های ذکر شده می‌باشند. کارکردهای تالاب‌ها که همواره با تولید کالا و خدمات بی‌شماری برای انسان است، این اکوسیستم‌ها را غیر قابل جانشین ساخته است. فواید تالاب‌ها برای همه جوامع و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی ضروری است که نابودی تالاب‌ها موجب از بین رفتن این

فوائد می‌شود. باید در نظر داشت که حفظ و نگهداری تالاب‌ها به عنوان اکوسیستم‌های کاربردی اغلب برای پایداری و توسعه نیز ضروری است (Stockwell & Adams, 1983).

در حال حاضر تالاب‌ها ۶ درصد سطح کره زمین را در بر گرفته‌اند. از این میان ۱۶۰۲ تالاب در ۱۲۵ کشور با مساحت ۱۴۵۸۲۳۶۲۵ میلیون هکتار در کنوانسیون رامسر به عنوان تالاب‌های با اهمیت بین‌المللی ثبت شده‌اند. ایران دارای ۲۵۰ تالاب بزرگ و کوچک، ساحلی و داخلی، دائمی و موقت می‌باشد که برحسب میزان بارندگی و جریان آب‌های سطحی مساحت آن‌ها بین ۲ تا ۲/۵ میلیون هکتار تغییر می‌کند. (بهروزی راد، ۱۳۹۰).

مروری بر وضعیت موجود تالاب‌های ایران نشان می‌دهد که بسیاری از آن‌ها در اثر عدم وجود شاخص‌های مدیریتی، مدیریت غیر کارا، بهره‌برداری نامعقول، تغییر کاربری و تبدیل زمین‌های تالابی، سدسازی، شکار و صید غیر قانونی و صدور مجوزهای قانونی شکار، که بیش از حد توان تحمل اکوسیستم است، کم‌آبی و خشکسالی، اجرای طرح‌های عمرانی، وارد کردن گونه‌های گیاهی و جانوری غیربومی، احداث و توسعه مزارع، تکثیر و پرورش آبزیان، احداث بزرگراه‌ها و استفاده بیش از اندازه از آب تالاب‌ها سبب خشک شدن تالاب‌های کشور شده است. ۱۳ تالاب از ۲۲ تالاب بین‌المللی ثبت شده در کنوانسیون رامسر در فهرست مونتر و (تغییرات شدید اکولوژیکی) ثبت شده‌اند که از نظر تعداد (۵۹ درصد) و از نظر مساحت ۴۱ درصد تالاب‌های بین‌المللی ایران را تشکیل می‌دهند. تقریباً هیچ تالابی در ایران بدون معضل نیست و اهمیت تالاب‌ها در اقتصاد و کیفیت زندگی مردم ایران مورد توجه کافی قرار نگرفته است. عدم آگاهی از ارزش‌ها و کارکردهای تالاب‌ها منجر به کاهش پایداری فرآیندها و افزایش عوامل مخرب آن‌ها می‌گردد. آسیب‌های وارد شده به این اکوسیستم‌ها منجر به از دست رفتن پرستاب تنوع زیستی با اهمیت جهانی و نیز کاهش فرصت جوامع محلی و جامعه ایرانی برای امرار معاش پایدار و حفظ منابع برای نسل‌های آینده شده است.

در جدول ۱-۱ لیستی از تالاب‌های مهم ایران نوشته شده که معضلات اصلی تالاب‌ها در آن آورده شده است (بهروزی راد، تنوع زیستی در تالاب‌ها، ۱۳۸۰).

جدول ۱-۱ لیستی از تالاب‌های مهم ایران با ذکر معضلات موجود

نام تالاب	معضلات	وضعیت
دریاچه ارومیه	سد سازی، احداث شهرک‌های توریستی و تفرجی در حاشیه، صید آرتیما، استحصال نمک، احداث آزادراه.	۴۸۰۰۰۰ کیلومتر مربع پارک ملی، ذخیره‌گاه زیست کره، ثبت شده در کنوانسیون رامسر.
شادگان	آلودگی توسط پساب شهری، صنعتی، کشاورزی و نفتی، سدسازی و زهکشی، قطع گیاهان، عبور خطوط انتقال نفت و برق، تصرف زمین‌های تالاب.	۴۰۰۰۰۰ هکتار، پناهگاه حیات وحش، ثبت شده در کنوانسیون رامسر.
نیریز و کمجان	سدسازی، زه‌کشی تالاب جهت توسعه زمین‌های کشاورزی، شکار و صید.	پارک ملی، ثبت شده در کنوانسیون رامسر.
خورخوران	آلودگی نفتی، قطع درختان حرا.	منطقه حفاظت شده.
میانکاله	گسترش تاسیسات نفتی، تغییر کاربری، شکار و صید، پرورش آبزیان ورود گونه غیر بومی، تصرف زمین‌ورود آزولا.	پناهگاه حیات وحش، ذخیره‌گاه زیست کره، ثبت شده در کنوانسیون رامسر.
هامون	خشک‌سالی، زهکشی تالاب برای کشاورزی، شکار.	۶۰۰۰۰ هکتار، منطقه حفاظت شده.
آلماگل و آجی گل	احداث سد بر روی خروجی آب، شکار و صید، معرفی ماهیان غیر بومی.	منطقه شکار ممنوع، ثبت شده در کنوانسیون رامسر.
خلیج گواتر	پرورش آبزیان، آلودگی نفتی.	منطقه حفاظت شده، ثبت شده در کنوانسیون رامسر.
گمیشان	پرورش آبزیان، انواع آلودگی‌ها، شکار و صید.	منطقه شکار ممنوع، ثبت شده در کنوانسیون رامسر.
پریشان	شکار و صید قاچاق، تصرف زمین‌های اطراف.	منطقه شکار ممنوع، ثبت شده در کنوانسیون رامسر.
حسنلو	احداث سد بر روی آب خروجی و تبدیل آن به دریاچه.	ثبت شده در کنوانسیون رامسر.
قپی باباعلی	تصرف زمین‌های تالاب، آلودگی، شکار و صید.	ثبت شده در کنوانسیون رامسر.

کانی‌برازان گروس	جاده کشی، تصرف زمین‌های تالاب، شکار و صید چرای مفرط	منطقه شکار آزاد
تالاب انزلی	احداث جاده کنارگذر، انواع فاضلاب‌ها، شکار وصید	بخشی از آن پناهگاه حیات وحش، بخشی منطقه حفاظت شده، بخشی منطقه آزاد، ثبت شده در کنوانسیون رامسر
امیر کلايه	شکار و صید، آلودگی، ورود آزولا	پناهگاه حیات وحش، ثبت شده در کنوانسیون رامسر
تالاب کياشهر	شکار و صید، آلودگی، تغییر کاربری، جاده کشی، ورود آزولا	ثبت شده در کنوانسیون رامسر
چغاخور	سد سازی، چرای مفرط، شکار	ثبت شده در کنوانسیون رامسر

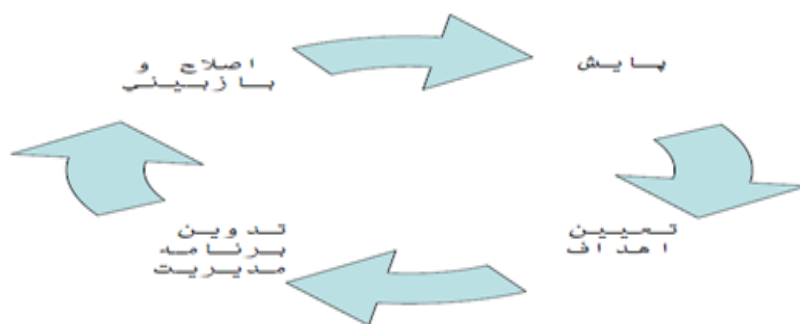
در میان دو مشخصه تالاب‌های ایران (غنی بودن و قابل استفاده بودن)، معمای غیر قابل حل بزرگی وجود دارد که بر اثر رقابت امروزه بشر برای دستیابی به توسعه شتابان حاصل شده است. از یک طرف ثروت و گوناگونی اشکال زنده و خواص فیزیکی که در تالاب‌ها وجود دارند، آن قدر زیاد است که از بین رفتن آن‌ها غیر ممکن به نظر می‌رسد، از طرف دیگر این حقیقت تلخ وجود دارد که استفاده انسان از منابع تالاب‌ها بیش از اندازه توان اکولوژیک می‌باشد و میل برای سود کوتاه مدت منابع تالاب‌ها را نابود می‌کند. علاوه بر عوامل انسانی، عوامل طبیعی بخصوص خشکسالی‌ها و تغییرات اقلیم بر منابع تالاب‌ها اثرات بسیار منفی دارند. نمونه تاثیرات انسانی و طبیعی را می‌توان در تالاب هامون در سیستان و بلوچستان (خشکسالی پی در پی، چرای مفرط، نی بری)، در تالاب شادگان در خوزستان (آلودگی‌ها، عبور لوله‌های نفت و خطوط انتقال برق، ورود گونه‌های مهاجم غیر بومی) و مثال‌های متعدد دیگری مشاهده نمود که سبب تغییرات سیمای طبیعی و حتی گاهی از بین رفتن تالاب می‌شود.

تالاب‌های مورد بررسی علاوه بر اهمیت منطقه‌ای برای مردم محلی و نیز استان‌های مجاور، با توجه به اهمیت زیست‌گاهی برای پرندگان مهاجر فصلی و نیز آبریان مختلف دارای اهمیت بین المللی بوده و نیازمند به مدیریتی هوشمندانه در راستای بهره‌برداری خردمندانه از تالاب‌ها است. تالاب‌های مورد

بررسی به سبب واقع شدن در مناطقی با بارش‌های متغیر سالانه و همچنین خشکسالی‌های پی‌درپی در دوره‌های اخیر، افزایش دخالت انسان‌ها و فناوری‌های مدرن ساخت و ساز، چرای شدید و دیگر عوامل، این اکوسیستم‌های تالابی را دست‌خوش تغییراتی کرده که در صورت عدم توجه و شناسایی به موقع و مدیریتی کارآمد خسارات جبران ناپذیر زیست محیطی متوجه این مناطق خواهد بود (برنامه مدیریت جامع تالاب بین المللی چغاخور، ۱۳۹۵).

تالاب‌ها و اکوسیستم‌های آبی کشور به منزله سرمایه‌های با ارزشی هستند که علاوه بر ایجاد محیطی فرحبخش و زندگی‌بخش برای جوامع اطراف آن، با حفظ و بهره‌برداری منطقی از آن‌ها، اهداف لازم و کارکردهای با ارزش آن‌ها مانند تنظیم جریان‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی در محیط پیرامون، تعدیل میکروکلیمای منطقه، میزبانی و حفظ نسل پرندگان مهاجر و ساکن، تامین منابع آب کشاورزی و تعلیف پایدار دام برای ساکنان و نگهبان آن مجاور تالاب‌ها تامین می‌گردد.

حفظ سیستم‌های پیچیده مرتبط با زیست‌مندان تالاب و عوامل موثر بر زندگی و زیست آن‌ها، به منظور رسیدن به هدف بهره‌مندی از منابع بی‌شمار اقتصادی، تفرجگاهی، علمی، ژنتیکی و... با انجام مطالعه، شناخت دقیق آن‌ها از نظر زیستی و علمی، شناخت نیازهای ذینفعان و بهره‌برداران و جامعه-شناسی مربوط به ساکنان تالاب با هدف رفع مشکلات و تهدیدها، در نهایت تقویت امکانات و ظرفیت‌های آن امکان‌پذیر خواهد بود. بدیهی است با اندیشیدن به محیط‌زیست، بهبود و ارتقای کیفیت زندگی انسان‌های ساکن در کنار تالاب، در چارچوب هدف بهره‌وری از این طبیعت آبی امکان‌پذیر خواهد بود. در کنار تلاش برای شناخت این اکوسیستم‌های آبی، به عنوان حساس‌ترین منابع جهانی که همواره با مشکلات متعدد زیست محیطی روبرو می‌باشند، شناسایی و ارائه راهکارهای کاربردی به منظور پایش و نظارت به تالاب‌ها می‌تواند بنیادی‌ترین گام در رفع معضلات مربوط به از دست رفتن تالاب‌ها شود. همان‌طور که از شکل ۱-۲ بر می‌آید در فرایند مدیریت تطبیقی بحث پایش و کنترل از قسمت‌های مهم، در راستای تدوین برنامه‌های مدیریتی می‌باشد.



شکل ۱-۲ چرخه مدیریت تطبیقی؛ همان گونه که مشخص است پایش از گام های اساسی در مدیریت می باشد.

اما باید در نظر داشت که مدیریت تالاب ها امری چالش برانگیز است. رویکردهای اولیه در مدیریت تالاب چندان اثر بخش نبوده است، چرا که بر اساس درک کاملی از فرآیندهای تالاب پایه ریزی نشده بودند. توجه به تالاب از دیدگاه خدمات فراهم شده برای انسان ها؛ از روش های سنتی مدیریت تالاب که صرفا بر پایه حیات وحش و گونه های گیاهی وضع شده است جدا نیست. بطور کلی مدیریت تالاب شامل فعالیت هایی است که می تواند تالاب و حواشی آن را اعم از طبیعی یا انسانی، برای حفاظت، احیاء، و بهبود شرایط آن آماده سازد.

برای ارائه راهکارهای موثر و منطبق بر روش های پیشنهادی کنوانسیون رامسر، در زمینه مدیریت تالاب ها نیاز به تعریف و شناخت وضعیت فعلی و پیش بینی تقریبی از شرایط آتی خواهیم داشت که در جهت نیل به این اصل، مطالعات علمی انجام گرفته در سال های گذشته، مطالعه و ارزیابی گردیده است البته شایان ذکر می باشد که با توجه به اهمیت موضوع متاسفانه بررسی های انجام گرفته ناکافی بوده و نیاز به مطالعات بیشتر کاملا احساس می شود.

در این پژوهش سعی بر این شده است تا با تاکید بر جنبه کیفی آب تالاب، ارزیابی خطر انجام گیرد چرا که در بحث مدیریت تالاب شناخت کلی از شرایط فعلی تالاب لازم و مفید خواهد بود. شایان ذکر است که با توجه به عدم وجود روش سازمانی برای ارزیابی خطر و دسته بندی تالاب در ایران ارائه و مقایسه روش های مختلف در انجام هر چه بهتر بررسی ها مفید می باشد. همچنین در این پژوهش سعی

شده است تا روشی به کار گرفته شود که کاربردی بوده و استفاده از آن نیاز به تخصص بالایی نداشته باشد تا شاید این امر زمینه‌ساز استفاده از این روش در سطح کلان باشد.

با وجود همه این تفاسیر باید در نظر داشت که برای طرح‌ریزی شرایطی پایدار نیاز به پیش‌بینی از آینده داریم چرا که در صورت عدم وجود تصویری تقریبی از آینده برنامه‌ریزی دچار مشکل می‌شود و ممکن است اقدامات بعدی را بی‌اثر سازد، پس باید سعی شود تا از داده‌های موجود فرآیندهایی که در تالاب رخ می‌دهند مدلسازی شوند و با ارائه مدلی با قابلیت اعتماد بالا بتوان تقریبی از پارامترها در آینده را به دست آورد و اقدامات مناسب را در راستای بهره‌وری خردمندانه از تالاب انجام داد.

فصل دوم

پیشینه تحقیق

۲-۱ بررسی منابع

۲-۱-۱ ارزیابی وضعیت تالاب با استفاده از معیار اسکوم

با در نظر گرفتن مباحث ذکر شده می‌توان دریافت که اولین گام در بررسی تالاب‌ها طبقه‌بندی و ارزیابی شرایط تالاب می‌باشد. هدف از طبقه‌بندی تالاب‌ها کنترل پارامترهای طبیعی حاصله از تالاب‌ها است که این امر معمولاً با بررسی و دسته‌بندی شاخصه‌های رایج فیزیکی و یا بیولوژیکی تالاب، همچون هیدرولوژی، هیدروژئومورفولوژی و یا گونه‌های گیاهی موجود، بررسی می‌شود (Brinson., 1993).

یکی از نخستین و پرکاربردترین روش‌ها جهت ارزیابی تالاب‌ها توسط کواردین و همکارانش ارائه شده است (Cowardin et al., 1979). این روش از ۵ بخش که به صورت سلسله مراتبی عمل می‌کند تشکیل شده است که از اول به آخر عبارتند از: سیستم، زیر سیستم، مجموعه‌ها، زیرمجموعه‌ها و گونه غالب. سیستم‌ها که اولین شاخه در این روش دسته‌بندی می‌باشند، بیان‌کننده شاخصه‌های هیدرولوژیکی، زمین‌شناختی^۱، فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی گونه‌های مختلف تالابی می‌باشد. در حالت کلی ۵ سیستم تعریف می‌شود که به این ترتیب می‌باشد: دریایی، دلتاها، رودخانه‌ای، دریاچه‌ای و مردابی. شوری محلول در آب، انرژی امواج، مورفولوژی حوضه آبریز، عمق آب و مساحت سطح آب تالاب از پارامترهای کلیدی در تعیین نوع سیستم می‌باشد.

در مرحله بعدی این ساختار سلسله مراتبی زیر سیستم‌ها قرار دارند که عمدتاً بر اساس عمق آب، پایداری سطح آب و یا در سیستم‌های رودخانه‌ای با توجه به گرادیان جریان و میزان پیشروی جریان‌های جزر و مدی تعیین می‌شود. شایان ذکر است که در سیستم‌های مردابی زیر سیستم تعریف نمی‌شود.

^۱ Geomorphology

مجموعه‌ها سومین شاخه از مرحله رده‌بندی هستند، مجموعه بیان‌کننده ظاهر کلی زیستگاه می‌باشد که یا بر اساس گونه‌های گیاهی غالب و یا بر اساس وضعیت کلی بستر تعریف می‌شود که در کل ۱۱ مجموعه را تشکیل می‌دهند. یک مجموعه ممکن است میان چند سیستم مختلف یکسان باشد. هر یک از ۱۱ مجموعه دارای ۲ و یا چند زیر مجموعه می‌باشد. زیر مجموعه‌ها بر اساس تفاوت‌های ریز مقیاس‌تر در گونه‌های گیاهی و یا وضعیت بستر تعیین می‌شوند. گونه‌های مسلط آخرین بخش از این روش رده‌بندی می‌باشد. با بررسی تالاب مورد مطالعه گونه‌های گیاهی و جانوری غالب در منطقه شناسایی و معرفی می‌شود و بر اساس این شناخت با استفاده از جداول دسته‌بندی انجام می‌گیرد. همان‌گونه که از بررسی مختصر دستورالعمل فوق بر می‌آید این روش نسبتاً پیچیده بوده و با رویکردی همه‌جانبه سعی در ارزیابی و دسته‌بندی تالاب‌ها دارد. این روش که هنوز هم مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای نواقصی است که موجب عدم کفایت آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود چرا که این روش بر اساس مطالعاتی که در ناحیه خاصی از ایالات متحده انجام شده بود ارائه گردید و همین امر موجب فراگیر نبودن این متد می‌شود (Dely et al., 1999). با شناخت مشکلات این روش مطالعات تکمیلی توسط سایر محققین در جهت رفع این مشکل انجام گرفت اما هر یک نواقصی داشتند که موجب عدم کاربردی بودن آن‌ها می‌باشد (Silberbauer and King, 1991. Rowntree, 1993. Breen, 1988). برینسون مدلی مفهومی از تاثیرات موقعیت حوزه و خواص جریان ورودی آب بر چرخه آبی و کیفیت آب تالاب ارائه نمود که اهمیت در نظر داشتن کیفیت آب را در طبقه‌بندی تالاب آشکار می‌ساخت (Brinson, 1988). اما در نهایت کوتز با مبنا قرار دادن روش کواردین روش نوینی را ارائه نمود که توانایی رده‌بندی تالاب‌ها در هر شرایط آب و هوایی را دارا بود (Kotze et al., 2005). این روش تالاب‌ها را با بررسی ۳ ویژگی هیدرولوژی، زمین‌شناسی و گونه‌های گیاهی تالابی مورد ارزیابی و دسته‌بندی قرار می‌دهد. هیدرولوژی تالابی با بررسی چرخه آب تالاب به عنوان اساسی‌ترین عامل اثرگذار در بررسی تالاب و سلامت تالاب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در کنار هیدرولوژی تالاب عوامل زمین‌شناختی تالاب

نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد که بحث اصلی آن چگونگی انباشت رسوبات و اثرات آن در جریان‌های موجود در تالاب می‌باشد. در نهایت با تاکید بر گونه‌های گیاهی و با بررسی آن‌ها تالاب را دسته‌بندی نموده و سلامت آن را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. این روش علاوه بر این که سلامت تالاب را بررسی می‌کند، عوامل اصلی تنزل عملکرد تالاب را نیز مشخص می‌کند، چرا که در این روش شرایط فعلی تالاب با شرایط زمان‌های گذشته تالاب که در آن تالاب دست خوش هیچ گونه تغییری نبوده مقایسه می‌شود. با وجود مزایای این روش نسبت به روش‌های قبل، سختی استفاده از آن و عدم به کارگیری کیفیت آب به صورت مستقیم موجب شد تا تحقیقات دیگری در راستای طبقه‌بندی و ارزیابی سلامت تالاب انجام گیرد هدف این مطالعه نیز ارائه روشی است که بر اساس اصول اکوهیدرولوژیکی تالاب را ارزیابی و آن را مورد بررسی قرار دهد. البته شایان ذکر است که وجود داده‌های کیفی در این راستا ضروری است که پارامترهای کیفی آب مستقیماً در ارزیابی‌های تالاب مورد استفاده قرار گیرند از طرفی روش‌های طبقه‌بندی که در آن‌ها تغییرات پارامترهای کیفی آب در نظر گرفته شده باشد محدود می‌باشد. بررسی روش‌های موجود نیز نشان‌گر این است که استفاده از این روش‌ها در مقیاس‌های کلان کارایی خود را از دست می‌دهند. به طور مثال تحقیقاتی که بر اساس فرضیه یکسان انگاشتن چند تالاب با توجه به موقعیت جغرافیایی و یا بر اساس گونه‌های گیاهی موجود در منطقه انجام شده بود توانایی ایجاد ارتباط میان پارامترهای کیفی آب و کاربری زمین‌های اطراف را نداشت که نشان‌گر این مسئله بود که در مباحث دسته‌بندی تالابی بررسی‌های ریز مقیاس‌تر مطلوب‌تر می‌باشد (Trebitz et al., 2007).

۲-۱-۲ فرآیندهای داده کاوی و مدل‌سازی

تنها ارائه روشی جهت ارزیابی وضعیت تالاب در تنظیم برنامه‌های مدیریتی کافی نخواهد بود و در کنار آن وجود مدلی که بتواند فرآیندهای تالاب را ارزیابی نماید احساس می‌شود. پس نیاز است تا با استفاده از داده‌های حاصله از حسگرها، الگوهای موجود میان آن‌ها شناسایی گردد. داده کاوی به عنوان یک راه حل برای این مسائل مطرح می‌باشد. داده کاوی عبارت است از فرآیند یافتن دانش از مقادیر

عظیم داده‌های ذخیره شده در پایگاه داده. داده کاوی در اواخر دهه ۱۹۸۰ پدیدار گشته، در دهه ۱۹۹۰ گام‌های بلندی در این شاخه از علم برداشته شده و انتظار می‌رود در این قرن نیز به رشد و پیشرفت خود ادامه دهد (Han & Kam, 2001).

ابزارهای داده کاوی، داده‌ها را آنالیز می‌کنند و الگوهای داده‌ها را کشف می‌کنند که می‌توان از آن در کاربردهایی نظیر: تعیین استراتژی برای کسب و کار، پایگاه دانش و تحقیقات علمی و پزشکی استفاده کرد. شکاف موجود بین داده‌ها و اطلاعات سبب ایجاد نیاز برای ابزارهای داده کاوی شده است تا داده‌های بی‌ارزش را به دانشی ارزشمند تبدیل کنیم (Hand et al, 2001). در این پژوهش نیز با توجه به وجود دستگاه سنجشی که آنالیز می‌باشد با حجم بالایی از اطلاعات روبه‌رو خواهیم بود که نیاز به استخراج دانش از آن خواهیم داشت. به طور کلی کشف دانش دارای این مراحل می‌باشد:

۱- پاکسازی داده‌ها (از بین بردن نویز و ناسازگاری داده‌ها)، ۲- یکپارچه‌سازی داده‌ها (چندین منبع داده ترکیب می‌شود)، ۳- انتخاب داده‌ها^۱ (داده‌های مرتبط با آنالیز از پایگاه داده بازیابی می‌شوند)، ۴- تبدیل کردن داده‌ها (تبدیل داده‌ها به فرمی که مناسب برای داده کاوی باشد مثل خلاصه‌سازی و همسان‌سازی)، ۵- داده کاوی (فرآیند اصلی که روال‌های هوشمند برای استخراج الگوها از داده‌ها به کارگرفته می‌شوند)، ۶- ارزیابی الگو (برای مشخص کردن الگوهای صحیح و مورد نظر به وسیله معیارهای اندازه‌گیری)، ۷- ارائه دانش (نمایش بصری، تکنیک‌های بازنمایی دانش برای ارائه دانش کشف شده به کاربر استفاده می‌شود).

هر مرحله داده کاوی باید با کاربر یا پایگاه دانش تعامل داشته باشد پس براساس مطالب ذکر شده باید توجه نمود که داده کاوی تنها یک مرحله از کل فرآیند است، البته به عنوان یک مرحله اساسی که الگوهای مخفی را آشکار می‌سازد. ریشه‌های داده کاوی در میان سه خانواده از علوم قابل پیگیری می‌باشد. مهمترین این خانواده‌ها آمار کلاسیک می‌باشد. بدون آمار، هیچ داده کاوی وجود نخواهد داشت

^۱ Data selection

بطوریکه آمار، اساس اغلب تکنولوژی‌هایی می‌باشد که داده کاوی بر روی آن بنا می‌شود. آمار کلاسیک مفاهیمی مانند تحلیل رگرسیون، توزیع استاندارد، انحراف استاندارد، واریانس، تحلیل خوشه و ... را که همه این موارد جهت مطالعه داده و ارتباط بین داده‌ها می‌باشد، را در بر می‌گیرد.

دومین خانواده‌ای که داده کاوی به آن تعلق دارد هوش مصنوعی^۱ می‌باشد. هوش مصنوعی که بر پایه روش‌های ابتکاری می‌باشد و با آمار ضدیت دارد، تلاش می‌کند تا فرآیندی مانند فکر انسان را برای حل مسائل آماری بکار ببندد. چون این رویکرد نیاز به توان محاسباتی بالایی دارد، که تا اوایل دهه ۱۹۸۰ عملی نشد. هوش مصنوعی کاربردهای کمی را در حوزه‌های علمی و حکومتی پیدا کرد، اما نیاز به استفاده از کامپیوترهای بزرگ باعث شد همه افراد نتوانند از تکنیک‌های ارائه شده استفاده کنند.

سومین خانواده داده کاوی، یادگیری ماشین^۲ می‌باشد که به مفهوم دقیق‌تر اجتماع علم آمار و هوش مصنوعی می‌باشد. در حالیکه هوش مصنوعی نتوانست موفقیت تجاری کسب کند، که یادگیری ماشین در بسیاری از موارد جایگزین آن گردید. از یادگیری ماشین به عنوان تحول هوش مصنوعی یاد شد، چون مخلوطی از روش‌های ابتکاری هوش مصنوعی به همراه تحلیل آماری پیشرفته می‌باشد. یادگیری ماشین اجازه می‌دهد تا برنامه‌های کامپیوتری در مورد داده‌ای که آن‌ها مطالعه می‌کنند، مانند برنامه‌هایی که تصمیم‌های متفاوتی بر مبنای کیفیت داده مطالعه شده می‌گیرند، یادگیری داشته باشند و برای مفاهیم پایه‌ای آن از آمار استفاده می‌کنند و از الگوریتم‌ها و روش‌های ابتکاری هوش مصنوعی جهت نیل به اهداف استفاده می‌نمایند. داده کاوی در بسیاری از جهات، سازگاری تکنیک‌های یادگیری ماشین با کاربردهای تجاری است. بهترین توصیف از داده کاوی بوسیله اجتماع آمار، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به دست می‌آید. این تکنیک‌ها سپس با کمک یکدیگر، برای مطالعه داده و پیدا کردن الگوهای نهفته در آن‌ها استفاده می‌شوند. یکی از بحث‌های مهم و مورد توجه در سال‌های اخیر تلفیق دو یا چند روش هوش مصنوعی با یکدیگر به منظور افزایش دقت و راندمان می‌باشد. لازم است در نظر

^۱ Artificial Intelligence

^۲ Machine learning

داشت که اساس کار در پیش‌بینی پارامترهایی همچون کیفیت آب روش اصلی استفاده از سری‌های زمانی حاصله از داده‌های گذشته می‌باشد. مدلسازی سری‌های زمانی که به منظور بازیابی اطلاعات از دست رفته و یا پیش‌بینی مقدار آن در آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد یکی از گام‌های اساسی در بحث‌های مدیریت منابع آبی می‌باشد.

توصیف فرآیند شامل رسم نمودار داده‌ها، تشخیص ایستائی و نالیستائی آن و بررسی خود همبستگی سری است. یک سری، وقتی ایستا است که تغییر منظمی در میانگین و واریانس آن وجود نداشته و تغییرات دوره‌ای اکید در آن حذف شده باشد. تغییراتی که در سری‌های زمانی به دست می‌آید، می‌تواند بر اثر عوامل طبیعی یا عوامل دیگر باشد و بنابراین بایستی اجزای تشکیل دهنده آن را شناخت و آن‌ها را اندازه‌گیری کرد (Borland & Montana, 1996).

مدل‌های سری زمانی در حقیقت مدل‌های تصادفی هستند که در مورد سری زمانی که شامل N مشاهده از یک جامعه نامتناهی است، بوسیله یک فرآیند تصادفی بوجود آمده است. انواع مدل‌های سری زمانی عبارتند از: مدل اتورگرسیون، مدل میانگین متحرک و مدل ترکیبی. برخی از فرآیندها وجود دارند که نه تنها واجد شرایط خود همبستگی هستند، بلکه دارای ویژگی‌های میانگین متحرک نیز می‌باشد. در چنین مواردی از مدل‌های ترکیبی اتورگرسیون و میانگین متحرک و مدل‌های اتورگرسیون میانگین متحرک تجمعی استفاده می‌شود. اولین گام در مدل سازی تعیین یا شناسایی مدل بر اساس ویژگی‌های سری مشاهداتی است (فتحی و همکاران، ۱۳۸۸).

در مسائل مدیریت منابع آبی استفاده از مدل‌های خود همبسته میانگین متحرک^۱ (ARMA) سابقه‌ای طولانی دارد چرا که این روش به عنوان بیان کننده‌ای استاندارد از خاصیت احتمالی سری زمانی پذیرفته شده بود اما لازم است در نظر داشت که عدم پوشش ویژگی دینامیک سری زمانی باعث می‌شود که این روش در برخی مسائل عملکرد مناسبی نداشته باشد (Maier & Dandy, 1997). آنالیز

^۱ autoregressive moving average

سری‌های زمانی نیازمند تشخیص رابطه میان ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد چرا که برای محاسبه ثابت‌های پیش‌بینی توسط رویدادهای اتفاق افتاده در گذشته محاسبه می‌شوند. با توجه به مشکلات و پیچیدگی‌های محاسبات پارامترها در روش‌های غیرخطی تعداد این گونه مدل‌ها کم است (Jacoby, 1966) و در اکثر مدل‌ها خطی بودن مسئله و یا خطی بودن بخشی از مسئله جزئی از فرضیات حل و تحلیل آن می‌باشد (Natale & Todini, 1976). با گذر زمان و توسعه روش‌های مبتنی بر علوم محاسبات نرم تمایل برای استفاده از مدل‌های غیر خطی در راستای افزایش دقت محاسبات گسترش یافت یکی از اولین روش‌ها استفاده از شبکه‌های مصنوعی^۱ در پردازش سیگنال‌ها بود. شبکه‌های عصبی مصنوعی دسته‌ای از سیستم‌های دینامیکی هستند که با پردازش روی داده‌های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند، از همین روی به این سیستم‌ها هوشمند گویند، چرا که بر اساس محاسبات بر روی داده‌های عددی یا مثال‌ها قوانین کلی را فرا می‌گیرند. دیدگاه شبکه‌های عصبی در دهه ۴۰ قرن بیستم شروع شد، زمانیکه وارن مک کلوج و والتر پیتز نشان دادند که شبکه‌های عصبی در اصل می‌توانند هر تابع حسابی و منطقی را محاسبه نمایند.

نخستین کاربرد علمی شبکه‌های مصنوعی در اواخر دهه ۵۰ قرن بیستم مطرح شد، زمانی که فرانک روزنبلات در سال ۱۹۵۷ شبکه پرسپترون را معرفی نمود روزنبلات و همکارانش شبکه‌ای ساختند که قادر بود الگوها را از هم شناسایی نماید (Rosenblatt, 1957). پیشرفت شبکه‌های عصبی تا دهه ۷۰ قرن بیستم ادامه یافت. در سال ۱۹۷۲ تئوکوهونن و جمیز اندرسون بطور مستقل شبکه‌های عصبی جدید را معرفی نمودند که قادر بودند به عنوان عناصر ذخیره سازی عمل نمایند. در همان دهه روی شبکه‌های خود سازمانده فعالیت می‌کرد. علاقه به کار کردن بر روی شبکه‌های عصبی در دهه ۶۰ قرن بیستم در قیاس با دهه ۸۰ به علت عدم بروز ایده های جدید و نبود کامپیوترهای سریع جهت پیاده‌سازی ایده‌ها کمرنگ بود. لیکن در دهه ۸۰، با رشد تکنولوژی در زمینه پردازش سریع داده‌ها روند

^۱ Artificial neural networks

صعودی طی کرده و تحقیقات روی شبکه‌های عصبی فزونی یافت و ایده‌های بسیار جدیدی مطرح شد. ایده‌های نو و تکنولوژی بالا برای پیشرفت دوباره شبکه‌های عصبی کافی به نظر می‌رسید. در این زایش دوباره شبکه‌های عصبی دو نگرش قابل تامل بودند. استفاده از مکانیزم تصادفی جهت توضیح عملکرد یک طبقه وسیع از شبکه‌های برگشتی که می‌توان آن‌ها را جهت ذخیره‌سازی اطلاعات استفاده کرد. این ایده توسط جان هافیلد فیزیکدان آمریکایی در سال ۱۹۸۲ مطرح شد. دومین ایده مهم که کلید توسعه شبکه‌های عصبی در دهه ۸۰ شد، الگوریتم انتشار خطا می‌باشد که توسط دیوید راملهات و جمیز مک‌لند در سال ۱۹۸۶ مطرح گردید (Rumelhart et al, 1986). با ارائه این دو ایده، شبکه‌های عصبی به ساختارهای نوین و روش‌های یادگیری جدید مزین شدند. آنچه که می‌توان در حال حاضر گفت آن است که شبکه‌های عصبی در علوم مهندسی جایگاه مهمی پیدا کرده‌اند، نه به عنوان یک جواب و راه حل برای هر مسئله بلکه به عنوان یک ابزار علمی که بتوانند برای راه حل‌های خاص و مناسب مورد استفاده قرار گیرند. از آنجا که در ساخت شبکه‌های عصبی مصنوعی تا حدودی از مغز انسان الگوبرداری شده است و همان‌گونه که مغز انسان می‌تواند با توجه به مسائل قبلی و مسائل از پیش یادگرفته، مسائل جدیدی را تحلیل و تجزیه نماید، شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز در صورت آموزش قادرند بر مبنای اطلاعاتی که به ازای آن‌ها آموزش دیده‌اند جواب‌های قابل قبول ارائه دهند. همچنین می‌توان از آن‌ها بطور نامحدود در ارائه جواب به اطلاعاتی که قبلاً با آن مواجه نبودند، استفاده نمود.

یکی دیگر از روش‌هایی که در تحلیل پیش‌بینی سری زمانی در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته تئوری فازی می‌باشد. تئوری فازی بوسیله پروفیسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ در مقاله‌ای به نام مجموعه‌های فازی معرفی گردید. با پیدایش تئوری فازی، بحث‌ها و جدل‌ها پیرامون آن نیز آغاز شد. بعضی‌ها آن را تایید کرده و کار روی آن را شروع کردند و برخی دیگر این ایراد را وارد می‌کردند که این ایده بر خلاف اصول علمی موجود است. ریاضیدانان ادعای تئوری فازی را که در بررسی عدم قطعیت‌ها بهتر عمل می‌کند رد کرده و تئوری احتمالات را کافی می‌دانستند. پس از معرفی مجموعه فازی در سال

۱۹۶۵، زاده مفاهیم الگوریتم فازی را در سال ۱۹۶۸، تصمیم گیری فازی را در سال ۱۹۷۰، و ترتیب فازی را در سال ۱۹۷۱ مطرح نمود. در سال ۱۹۷۳ او مقاله دیگری را تحت عنوان « طرح یک راه حل جدید برای تجزیه تحلیل سیستم‌های پیچیده و فرآیندهای تصمیم گیری » که در این مقاله اساس جنبه‌های عملی فازی را بنا کرد. او در این مقاله، مفهوم متغیرهای زبانی و استفاده از قواعد اگر-آن‌گاه را برای فرموله کردن دانش بشری معرفی نمود. در سال ۱۹۷۵، ممدانی و آسیلیان کنترل کننده فازی را به یک موتور بخار اعمال نمودند. آن‌ها دریافتند که ساخت کنترل کننده فازی بسیار ساده بوده و به خوبی نیز کار می‌کند. این تئوری کاربردهای صنعتی فراوانی در امریکا، انگلیس و ژاپن پیدا کرد، کنترل سیستم تصفیه آب فوجی و کنترل سیستم‌های قطار زیرزمینی از جمله کاربردهای فازی در ژاپن است. (نورانی، ۱۳۹۴)

پیچیدگی و عدم قطعیت در سیستم‌های آبی، کمبود اطلاعات در بسیاری از فرآیندهای هیدرولوژیکی، مبهم و غیرصریح بودن این داده‌ها موجب شده است تا استفاده از تئوری فازی در زمینه مهندسی منابع آب از جمله مدلسازی بارش رواناب که از اصلی‌ترین فرآیندهای هیدرولوژیکی است نیز افزایش یابد (Xiong et al., 2001).

با استفاده از محاسبات هوشمند می‌توان داده‌های حجیم و نویزدار و همچنین پدیده‌هایی را که رابطه فیزیکی میان قسمت‌های مختلف آن بر ما آشکار نیست را مورد ارزیابی قرار داد. هر یک از روش‌های بحث شده توانای تحلیل مسائل را دارند اما تحقیقات نشان‌گر این امر است که تلفیق روش فازی و شبکه‌های عصبی باعث به وجود آمدن روشی می‌شود که از نقاط قوت هر دو روش استفاده نمود و با استفاده از آن نتایج بهتری حاصل خواهد گردید. در سال ۱۹۹۳، جانگ برای نخستین بار با کنار هم قرار دادن توانایی‌های تئوری فازی و شبکه عصبی، مدل سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی را ارائه داد (Jang, 1933). این مدل در بر گیرنده دو مدل فازی و عصبی در یک ساختار می‌باشد. بخش فازی رابطه‌ایی بین متغیرهای ورودی و خروجی برقرار نموده و پارامترهای مربوط به توابع عضویت بخش

فازی بوسیله شبکه عصبی تعیین می‌گردد. بنابراین ویژگی‌های هردو مدل فازی و عصبی در شبکه عصبی- فازی تطبیقی نهفته است. منطق فازی بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی استوار است که بین طبقات مختلفی از موضوعات، ارتباط برقرار می‌کند، به طوریکه عضویت از جنس درجه باشد و با پارامتر درجه بتوان میزان عضویت را نشان داد. در فرآیند مدلسازی استنباط فازی، ۵ مرحله لازم است دنبال شود: (۱) فازی‌سازی متغیرهای ورودی (۲) بکار بردن عملگرهای (و، یا) در بخش مقدمه (۳) استنتاج از مقدمه به نتیجه (۴) ترکیب نتایج قوانین (۵) غیرفازی کردن.

بخش شبکه عصبی در ساختار شبکه عصبی- فازی تطبیقی (ANFIS)^۱، با استفاده از روش‌های یادگیری عصبی راه حلی را برای بدست آوردن اطلاعاتی درباره مجموعه داده‌ها به منظور مدلسازی فازی ارائه می‌دهد تا پارامترهای تابع عضویت به نحوی تنظیم شوند که بهترین سیستم استنباط فازی به یک سری داده موجود اختصاص یابد. این شیوه آموزش عملکردی همانند شبکه عصبی دارد. وجود مزایای روش‌هایی همچون ANFIS باعث شده که در مباحث مدیریت آبی مورد توجه قرار گرفته و در زمینه‌های مختلف از آن استفاده شود. چانگ و چنگ از مدل ANFIS جهت بررسی ارتفاع آب در یک حوضه آبریز در تایوان استفاده نمودند در این تحقیق داده‌های ۳۰ ساله مربوط به سیلاب‌های شدید مورد استفاده قرار گرفت. در تحقیق آن‌ها دو مدل ANFIS تنظیم شد که در یکی از آن‌ها تصمیمات انسانی مربوط به حوضه در نظر گرفته شده و به عنوان ورودی اعمال گشته بود و در دیگری در نظر گرفته نشده بود. نتایج نشان‌گر این امر بود که مدل‌های ANFIS در کل به خوبی عمل می‌کنند و مدلی که تصمیمات انسانی را در نظر گرفته بود نتایج دقیق‌تری ارائه می‌نمود (Chang and Chang, 2006). چن و همکارانش در مطالعه‌ای دیگر از ANFIS جهت ساخت مدل پیش‌بینی سیل استفاده نمودند. در این مطالعه جهت افزایش دقت از کلاسترینگ فازی نیز استفاده گردید و نتایج حاصله با مدل شبکه عصبی^۲ BPNN مقایسه گردید که حاکی از این مسئله می‌باشد که مدل ANFIS نتایج بهتری ارائه

^۱ adaptive neural fuzzy interface system

^۲ back-propagation neural network

می‌دهد. در پژوهش نیز سعی بر این مساله خواهد بود؛ تا فرآیند تغییرات کیفی آب مدلسازی گردد اما از آنجا که سیستم منابع آب یک منطقه بر ابعاد مختلف اقتصادی-اجتماعی و سیاسی مربوطه به طور مستقیم تاثیر می‌گذارد و همچنین از آن‌ها تاثیر می‌پذیرد، لذا بکارگیری رویکرد مدیریت یکپارچه سیستم‌های منابع آب در تجزیه و تحلیل سیستم مربوط به آن، ضروری بوده و بدون آن امکان توسعه پایدار منابع و بهره‌برداری آگاهانه از تالاب‌ها وجود نخواهد داشت. بنابراین به نظر می‌رسد که برنامه‌ریزی جهت پایش مستمر با تکیه بر شاخص‌های مدیریت یکپارچه منابع آب، با استفاده از ردگیری تغییر شاخصه‌های حاصل از آنالیز سری‌های زمانی داده‌های حاصل از حسگرهای تعبیه شده در توده آبی تالاب‌های مورد مطالعه در طی زمان مشخص و با ارزیابی ارتباطات آن با شرایط اکولوژیکی مربوطه می‌توان به بررسی کمی تغییرات رخ داده و وقوع رخداد‌های نامطلوب احتمالی در طول دوره حیات آن پرداخت. بیمار شدن تالاب می‌تواند ناشی از دلایل انسانی و طبیعی باشد. یکی از روش‌های بررسی این تغییرات، مطالعه و بررسی تغییرات نوسانات فرآیندهای هیدرولیکی و هیدرولوژیکی و به خصوص تراز آب تالاب بر اساس مفاهیم مطرح در این طرح پیشنهادی می‌باشد.

۲-۱-۳ آنالیز

در سال‌های اخیر تحقیقات گوناگونی در زمینه پردازش سیگنال و سری‌های زمانی در زمینه‌های متفاوت صورت گرفته است.

سوهن و فارار (۲۰۰۰)، از تکنیک‌های کنترلی فرآیند آماری به منظور پایش سلامت براساس سنجش تغییرات مشخصات سری‌های زمانی ثبت شده، استفاده کردند. ابتدا یک مدل اتورگرسیون AR را به منظور برازش بر تاریخچه زمانی بدست آمده از حسگرهای مربوط به شرایط سالم بکار بردند. ضرایب پارامتر مدل AR به عنوان مشخصه‌های حساس به وقوع رخداد غیر مطلوب در زیر بخش کنترلی طرح پایش مورد استفاده قرار گرفتند. سپس ضرایب جدید مدل AR که از وضعیت جدید بدست می‌آمد، با مقادیر داده اولیه مورد مقایسه قرار می‌گرفت (Sohen & Farrar, 2000). این داده‌های اولیه تحت عنوان پایگاه داده‌ای اصلی نیز شناخته می‌شود. هر تغییر مهمی نسبت به این پایگاه داده می‌تواند بیانگر

انجام یک تغییر محیطی و یا وقوع رخداد ناگوار باشد. گولینوال و بودکس در سال ۲۰۰۰، استفاده از مدل‌های بردار AR را برای پایش رفتار، در مرکز تحقیقات ایتالیایی Ispra مورد بررسی قرار دادند (Golinval & Bodex, 2000).

کمپل و نکتا در سال ۱۹۹۷، از تبدیل Hilbert استفاده نمودند. روش تجزیه مود تجربی (EMD) روشی محلی و وفق‌پذیر در آنالیز تاریخچه زمانی می‌باشد. در این روش، سیگنال اصلی به سری‌های توابع مود اصلی (IMF) تجزیه می‌شود و عبارت باقی‌مانده برای محاسبه خطای کوتاه‌سازی استفاده می‌شود (Campel & Nekta, 1977). وینسنت و همکاران ۱۹۹۹، نتایج استفاده از روش EMD را با آنالیز موجک برای شناسایی رخدادها، مقایسه نمود.

تئوری دیگری که در اهداف مطلوب پایش مورد استفاده قرار گرفته است آنالیز مولفه اصلی PCA می‌باشد. کاربردی از این روش را در کار سوهن و فارار، می‌توان یافت که داده‌های اندازه‌گیری شده را در یک محیط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. هدف اصلی آن‌ها برای استفاده از PCA کاهش مقدار داده‌های برداشت شده از تعداد زیاد سنسورهای مختلف در آزمایش بود. سری‌های زمانی بدست آمده از ۳۹ نقطه برداشت، به یک سیگنال منفرد شکل گرفته توسط PCA تبدیل گردید (Vincent et al., 1999).

شانون نظریه آنتروپی (محتوای اطلاعاتی) را ارائه کرد و آنتروپی را به عنوان شاخص سنجش اطلاعات، گزینش یا عدم قطعیت، معرفی کرد. مفهوم آنتروپی و بی‌نظمی مشابه با پیچیدگی می‌باشد (Shanon 1984).

کاگان و همکارانش نشان دادند که برای توزیع‌های غیر نرمال، آنتروپی معیار بهتری نسبت به واریانس است (Kagan et al 1973). به عبارت دیگر روش‌های مبتنی بر آنتروپی به هر نوع توزیعی قابل اعمال است. نظریه محتوای اطلاعاتی شانون در دو محور کلی پیوسته و گسسته بحث می‌شود و هر کدام بسته به ماهیت مسأله و داده‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرند. غیر از آنتروپی شانون، آنتروپی‌های دیگری نیز وجود دارد؛ آنتروپی کاپور (Kapur, 1989)، آنتروپی تسالیس (Tsallis, 1988)، آنتروپی

نمایی (Pal & Pal, 1991)، آنتروپی الگوریتمی (Zurek, 1989)، آنتروپی اِپسِلِن (Rosenthal & Binia, 1988)، آنتروپی هارتلی (Hartley, 1928) که هر یک ویژگی‌های مخصوص به خود دارند. اما اثبات شده است که از دیدگاه قابلیت کاربرد در هیدرولوژی، می‌توان آنتروپی شانون را به عنوان معمول‌ترین آنتروپی بیان کرد (Singh, 2011).

در علوم مختلف از جمله مباحث پزشکی محاسبه پیچیدگی مبحث بسیار وسیعی است. پینکوس، آنتروپی تقریبی را به عنوان معیاری برای پیچیدگی معرفی کرد. آنتروپی تقریبی در آنالیز میزان پیچیدگی سری‌های زمانی کوتاه موثر است (Pincus, 1991). رابرتز و رزاک، با مقایسه آنتروپی تقریبی و آنتروپی فوری‌ای، به این نتیجه رسیدند که با این ابزار می‌توان عمق بیهوشی را با استفاده از سیگنال مغز تشخیص داد. بیهوشی عمیق‌تر دارای مقدار پیچیدگی کمتری است و آنتروپی تقریبی دارای حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات می‌باشد (Raberts & Rezak, 1998).

باهتاچرایا از آنتروپی تقریبی برای تشخیص سیگنال افراد بیمار از افراد سالم، استفاده کرد (Bhattacharya, 2000). بوریکا و همکاران برای محاسبه مقدار پیچیدگی سیگنال و همچنین پیچیدگی تغییرات تنفس انسان طی مراحل مختلف خواب، از آنتروپی تقریبی استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که آنتروپی این دو سیگنال با هم مرتبط بوده و پیچیدگی هر دو با عمیق‌تر شدن خواب، کاهش پیدا می‌کنند (Burioka et al., 2003). مورمن و ریچمن با انجام اصلاحاتی بر روی آنتروپی تقریبی، روش جدیدی با نام آنتروپی نمونه را معرفی کردند (Moorman & Richman, 2000).

استفاده از روش‌های اشاره شده در بعضی مواقع باعث به وجود آمدن تناقض‌هایی می‌شود، به طوریکه ممکن است برای یک فرآیند پاتولوژیک معین میزان پیچیدگی نسبت به فرآیند سالم، مقدار بیشتری داشته باشد. تناقض‌های به وجود آمده به این دلیل می‌باشد که روش‌های مذکور مقدار پیچیدگی را بدون در نظر گرفتن مقیاس‌های زمانی متفاوت محاسبه می‌کنند. کوستا و همکارانش در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که میزان آنتروپی با افزایش درجه بی‌نظمی افزایش پیدا می‌کند و برای سیستم‌های

رندم مقدار آنتروپی، ماکسیمم است؛ ولی افزایش آنتروپی، همیشه به معنی افزایش پیچیدگی دینامیکی نمی‌باشد. برای مثال، سیستم‌های بیمار به دلیل داشتن رفتار منظم‌تر دارای آنتروپی کمتری نسبت به سیستم‌های سالم دارند، در حالیکه برخی از بیماری‌ها شامل آریتمی‌های قلبی، مانند فیبریلاسیون دهلیزی، دارای سیگنالی با نوسانات نامنظم می‌باشد، با استفاده از روش آنتروپی مشاهده می‌شود این سیگنال دارای آنتروپی و در نتیجه پیچیدگی بیشتری نسبت به سیگنال قلب فرد سالم دارد. دلیل این تناقض این است که معیارهای آنتروپی بر اساس یک مقیاس زمانی محاسبه می‌شوند و نوسانات پیچیده زمانی در این روش در نظر گرفته نمی‌شوند. برای رفع این مشکل کوستا و همکارانش روش آنتروپی چند مقیاسی MSE را ارائه کردند، با استفاده از این روش سیگنال‌های پاتولوژیک و سالم، به طور کامل قابل تشخیص می‌باشند. کوستا و همکارانش این روش را بر روی سیگنال‌های قلب افراد سالم و بیمار بررسی کردند و سری زمانی را در ۲۰ مقیاس زمانی، و با استفاده از آنتروپی نمونه‌ای بررسی کردند و مشاهده نمودند که بدون در نظر گرفتن مقیاس‌های زمانی متفاوت، مقدار آنتروپی سیگنال قلب برخی از بیماری‌ها از مقدار آنتروپی سیگنال قلب سالم بیشتر است. در حالیکه بیماری باعث کاهش میزان پیچیدگی می‌شود (Costa et al., 2002). به دلیل نایب بودن برخی از سیگنال‌ها مانند سیگنال‌های فیزیولوژیکی و هیدرولوژیکی محاسبه پیچیدگی بایستی در مقیاس‌های زمانی متفاوت صورت گیرد.

اغلب پدیده‌های طبیعی و بسیاری از ساخته‌ها و آفرینش‌های امروزی انسان را باید تحت رده عام سامانه‌های پیچیده بررسی و مطالعه کرد. هر چند انسان صدها سال است که بررسی سیستم‌های پیچیده را آغاز کرده است؛ اما بررسی این سیستم‌ها در شاخه‌های مختلفی برداشت مدرن از آن را ایجاد کرده است. در ریاضیات با کشف آشوب در سیستم‌ها و همچنین بررسی دینامیکی شبکه‌های عصبی، بررسی این سیستم‌ها کلید خورد. آشوب و پیچیدگی گرچه اغلب با یکدیگر مورد بحث قرار می‌گیرند اما باید توجه داشت که این دو، مفهومی کاملاً متمایز از یکدیگر را ارائه می‌کنند.

آنچه که در آشوب بدان پرداخته می‌شود، مطالعه چگونگی پیدایش رفتارهای پیچیده از قوانین موجود در سیستم‌های ساده است؛ درحالی‌که پیچیدگی چگونگی ساز و کار سیستم‌های پیچیده و تبدیل عناصر ساده به سیستم‌های پیچیده می‌پردازد (Goldberg and Markozcy, 2001).

در حقیقت موضوع اصلی در پیچیدگی، برهم کنش ساده‌ای است که اغلب شکل ساده و تکراری به خود می‌گیرند اما در تعامل با محیط و با اجزای دیگر شکلی پیچیده می‌یابند و منجر به ارتقاء سیستم به سطح بالایی از الگوها می‌شوند. همچنین غیر خطی بودن رفتار مجموعه در همه مقیاس‌ها از شرایط لازم برای وجود پیچیدگی است. بدن موجودات زنده، فرآیندهای هیدرولوژیکی و ارتباط آن‌ها با هم مانند بارش-رواناب و همچنین جریان‌های آشفته نمونه‌هایی بارز از پدیده‌های پیچیده هستند. مدلسازی تلاطم، سیستم‌های فرومغناطیسی و همچنین پدیده‌های بحرانی، گام‌های مهم بعدی در بسط این مباحث شد. با مطرح شدن مسایل زیست‌شناختی و انسان‌شناختی در حوزه مدلسازی ریاضیاتی و فیزیکی، تکنیک‌های سیستم‌های پیچیده رشد روزافزونی پیدا کرده‌اند. امروزه سیستم‌های پیچیده نگاهی کلی‌نگر بر پدیده دارد و بر پایه تئوری‌های شبکه‌های پیچیده، آشوب، پدیده‌های بحرانی، هندسه فرکتالی، تئوری مقیاسی، تئوری اطلاعات و دینامیک غیر خطی بنا شده است.

هدف از گرایش به مطالعه پیچیدگی، توسعه ابزار ریاضی، محاسباتی و یا شبیه‌سازی با تکیه بر فهم رفتارهای فیزیکی حاکم بر آن‌ها، به منظور توصیف و پیش‌بینی این گونه پدیده‌هاست. سیستم‌های انسانی مانند علوم روانشناختی، اجتماعی و اقتصادی، در عصر حاضر که سرعت و حجم ارتباطات و اطلاعات به طور باورنکردنی افزایش یافته است با مسائل پیچیده‌ای دست و پنجه نرم می‌کند. روش‌های کلاسیک در پاسخ به این دست از پرسش‌ها بسیار ناتوان است. چنین دلایلی باعث حرکت به سمت گرایش‌های میان رشته‌ای و جلب توجه فراوان به آن‌ها شده است. دراین رویکردها معمولاً از روش‌های معمول در یک رشته، برای توصیف و درک بهتر پدیده‌ها و مدلسازی آن‌ها در رشته‌ای دیگر استفاده می‌شود. همچنین مرز بین سیستم‌ها از بین رفته و به تبع آن علوم میان رشته‌ای اصالت بیشتری

می‌یابند. لذا دور از ذهن نیست که بتوان از رویکردها و روش‌هایی که در مطالعه سیستم‌های بیولوژیکی استفاده می‌شود با اعمال تغییرات و تصحیحاتی در هیدرولوژی و مطالعه سیستم‌های هیدرولوژیکی و بررسی پیچیدگی آن‌ها استفاده نمود. پس طبق مطالب ذکر شده می‌توان تالاب‌ها را نیز موجودات زنده‌ای انگاشت که می‌توان با بررسی سیگنال‌های حاصله از آن سلامت تالاب را مورد ارزیابی قرار داد. همچنین ردگیری تغییرات سیگنال‌ها می‌تواند ما را در شناخت بهتر فرآیندهای انجام گرفته در تالاب یاری نماید و درک بهتری از ارتباط میان داده‌های مختلف کیفی آب تالاب به ما دهد.

فصل سوم

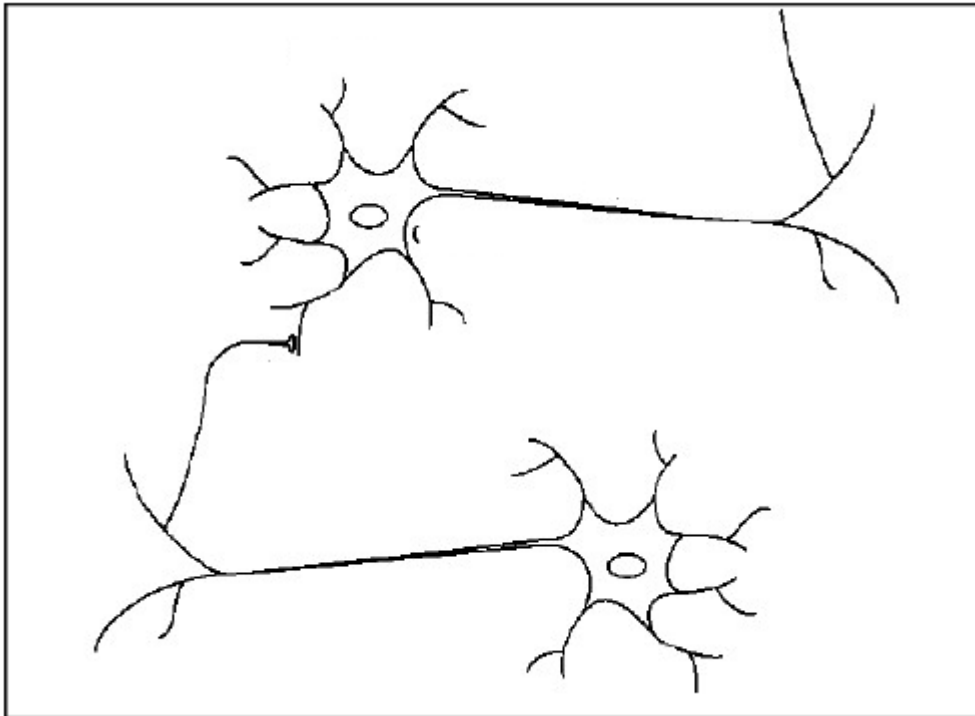
مواد و روش ها

۳-۱ مقدمه‌ای بر شبکه‌های عصبی

شبکه عصبی یک مدل داده مبنا با ساختار ریاضی منعطف است که قابلیت شناسایی رابطه غیرخطی بین متغیرهای ورودی و خروجی را بدون نیاز به فهم طبیعت پدیده‌ها، دارا می‌باشد. همچنین این شبکه یک مدل محاسباتی معروف است که در بسیاری از مراجع معتبر از جمله هاگان (Hagan et al., 1996)، سو و همکاران (Hsu et al., 1995)، ولود و همکاران (Vlod et al., 2008) و هورنیک و همکاران (Hornik et al., 1989) ساختار آن مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش از مطالعات، بعد از اینکه تئوری شبکه عصبی مختصرا بیان شد؛ در ادامه به شرح شبکه عصبی پرسپترون پرداخته می‌شود.

۳-۱-۱ تئوری شبکه عصبی

مغز انسان شامل بیش از 10^{10} نورون عصبی می‌باشد که از طریق حدود 10^4 اتصال به ازای هر نرون به هم متصل شده‌اند. به طور کلی می‌توان سه قسمت اصلی برای نرون‌ها در نظر گرفت: دندریت، بدنه سلول و آکسون. دندریت‌ها دریافت کننده درخت شکل از جنس فیبرهای عصبی هستند که سیگنال‌های الکتریکی را به بدنه سلول منتقل می‌کنند. بدنه سلول این سیگنال‌ها را جمع کرده و یک حد آستانه برای آن‌ها اعمال می‌کند. آکسون نیز یک فیبر عصبی بلند است که این سیگنال‌ها را از بدنه سلول به نرون‌های دیگر منتقل می‌کند. به نقطه اتصال بین آکسون یک سلول عصبی با دندریت سلول‌های عصبی دیگر، سیناپس گفته می‌شود. یک طرح ساده از دو نرون عصبی به صورت شکل ۳-۱ است.



شکل ۳-۱ شمای ساده از نرون زنده (Hagan et al., 1996).

برخی از ساختارهای عصبی در هنگام تولد تعریف می‌شوند و برخی دیگر در طول زندگی و از طریق فرآیندهای یادگیری توسعه می‌یابند. در واقع یادگیری عبارتست از ایجاد اتصال‌های جدید و یا قطع کردن برخی اتصالات عصبی قدیمی. روند تغییر ساختارهای عصبی در طول زندگی ادامه می‌یابد. شبکه‌های عصبی مصنوعی هرگز به پیچیدگی ذهن انسان نیستند؛ اما دو شباهت اساسی بین شبکه عصبی زنده و مصنوعی وجود دارد. شباهت اول در این است که ساختار هر دو از یک ابزار محاسباتی ساده با به هم پیوستگی بالا تشکیل شده‌اند. شباهت دوم این است که در هر دو مورد اتصال بین نرون‌ها تعیین کننده عملکرد شبکه می‌باشد (Hagan et al., 1996).

شبکه عصبی از عناصر عملیاتی ساده‌ای ساخته شده است که به صورت موازی در کنار هم عمل می‌کند. در طبیعت عملکرد آن از طریق نحوه اتصال بین اجزا تعیین می‌شود. بنابراین این امکان وجود دارد که یک شبکه عصبی مصنوعی ساخته شود و با تنظیم مقادیر هر اتصال، نحوه ارتباط بین اجزای آن را مشخص نمود. پس از تنظیم یا همان آموزش شبکه، با اعمال یک ورودی به آن، پاسخ خاص شبکه

دریافت می‌شود. به عبارت دیگر، شبکه بر مبنای تطابق بین ورودی و خروجی خود، آموزش می‌بیند تا اینکه خروجی شبکه و خروجی مورد نظر بر هم منطبق شوند. معمولاً تعداد قابل توجهی از این ورودی و خروجی‌ها به کار گرفته می‌شود تا در این روند، شبکه آموزش یابد.

۳-۱-۲ توابع انتقال

تابع انتقال یک تابع خطی و یا غیر خطی می‌باشد. در شبکه‌های عصبی جمع وزن‌دار شده ورودی‌ها به همراه بایاس از یک تابع عبور می‌نماید که به عنوان تابع فعالسازی یا تابع انتقال شناخته می‌شود. در شبکه‌های محاسباتی تابع فعالسازی یک نرون، ابزاری است که ورودی نرون را به خروجی مربوط به آن نرون تبدیل می‌نماید. به عبارت دیگر تابع انتقال، مقادیر جمع وزن‌دار را به صورت خروجی نرون ارائه می‌دهد. براساس موارد کاربرد، توابع انتقال به صورت خطی، پله‌ای و سیگموئیدی مورد استفاده واقع می‌شود.

۳-۱-۳ آموزش شبکه عصبی

در حالت کلی دو روش در آموزش شبکه‌های عصبی وجود دارد. آموزش گام به گام و آموزش دسته‌ای. در شیوه آموزش گام به گام وزن‌ها و بایاس‌ها بعد از اعمال هر ورودی به شبکه به روز می‌شوند. در حالی که در شیوه آموزش دسته‌ای وزن‌ها و بایاس‌ها فقط پس از اعمال تمامی ورودی‌ها به شبکه یکباره به روز می‌شوند. همچنین آموزش شبکه به دو صورت کلی زیر است (Wasserman., 1998)

الف- الگوریتم‌های یادگیری نظارت شده یا با ناظر^۱

در الگوریتم یادگیری با ناظر پس از اعمال ورودی X به شبکه عصبی، خروجی حاصل از شبکه Y با مقدار ایده‌آل مقایسه شده و خطا برای تنظیم پارامترهای شبکه (نظیر w) محاسبه می‌شود. به گونه‌ای که اگر دفعه بعد به شبکه همان ورودی X اعمال شود خروجی شبکه به Y همگرا شده باشد.

^۱ Learning supervised

ب- الگوریتم‌های یادگیری نظارت نشده یا بدون ناظر^۱

در یادگیری بدون ناظر با یادگیری خود سازمان‌ده، بردار جواب مطلوب به شبکه اعمال نمی‌شود. در الگوریتم‌های بدون ناظر جواب بدست آمده در حافظه بلندمدت ذخیره شده و از همان ابتدا ورودی‌ها دسته‌بندی می‌شوند و با استفاده از حافظه مشارکتی بین آن‌ها ارتباط برقرار می‌شود.

۳-۲ سیستم یادگیری عصبی انطباقی فازی (ANFIS)

قبل از توضیح سیستم‌های یادگیری عصبی انطباقی فازی لازم است توضیح مختصری در مورد منطق فازی ارائه گردد:

سیستم‌های فازی، سیستم‌های مبتنی بر قواعد هستند. در ادامه ساختار فازی و بخش‌های مختلف آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۲-۱ تعریف مجموعه فازی

منطق فازی بر اساس مجموعه‌های فازی صورت می‌گیرد لذا در اینجا به تعریف این مجموعه‌ها و تفاوت آن‌ها با مجموعه‌ها کلاسیک پرداخته می‌شود.

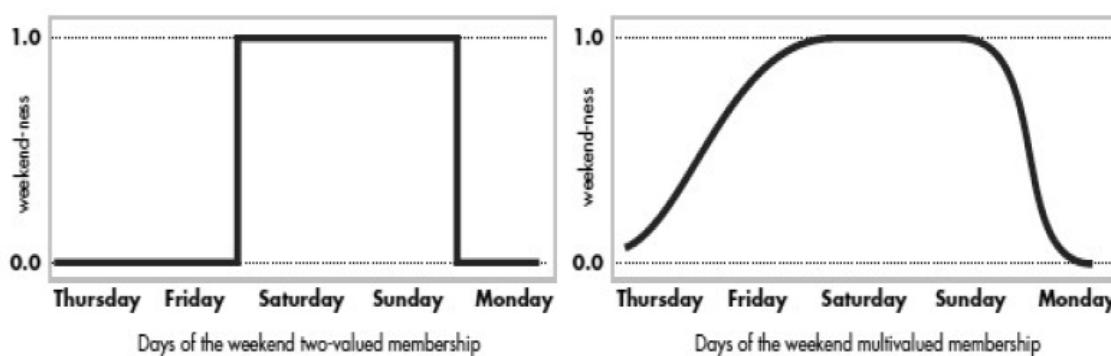
مجموعه فازی به یک مجموعه با مرز نامعلوم گفته می‌شود. به عبارت دیگر اعضای این مجموعه براساس درجه عضویت در این مجموعه مشخص می‌شوند و هر یک از اعضا دارای درجه عضویت هستند. اما مجموعه‌های کلاسیک دارای مرز مشخصی‌اند؛ به عبارت دیگر اعضا یا به طور کامل شامل مجموعه می‌شوند یا خیر. در اینجا با مثالی؛ تفاوت مجموعه کلاسیک و فازی مشخص می‌شود. به عنوان مثال مجموعه زیر روزهای هفته را نشان می‌دهد که شامل دوشنبه، پنجشنبه، و شنبه می‌باشد. در این مجموعه به طور مشخص ذکر شده که مواردی مثل کره، آزادی و در مجموعه وجود ندارد.

^۱Unsupervised

به این مجموعه، مجموعه کلاسیک گفته می شود. طبق این قانون x یا متعلق به مجموعه A است یا متعلق به $\text{not-}A$ می باشد. یعنی نمی توان یک شی را یافت که هم عضو مجموعه A و هم عضو مجموعه $\text{not-}A$ باشد.

در مجموعه فازی می توان از صفر و یک و مقادیر بین صفر و یک نیز برای درجه عضویت اعضا استفاده کرد. در حالی که در مجموعه کلاسیک این چنین نیست. هریک از اعضا یا عضو مجموعه هستند که مقدار یک را می توان به آن اختصاص داد یا عضو مجموعه نیستند که مقدار صفر را می توان به آن اختصاص داد و همین دو مقدار را قبول می کنند. مقادیر بین صفر و یک را به عنوان درجه عضویت به اعضا نمی توان داد.

شکل ۲-۳ (سمت راست) نمایش دهنده تصمیماتی در منطق چند مقداری است. در این منطق اگر پرسیده شود x عضوی از مجموعه A است یا خیر پاسخ ممکن است بله، خیر و یا هزاران مقدار میانی بین آنها باشد. بنابراین x می تواند یک عضو جزئی، از A باشد. شکل پیوسته نمودار بالا را در شکل ۲-۳ (سمت چپ) آمده است.



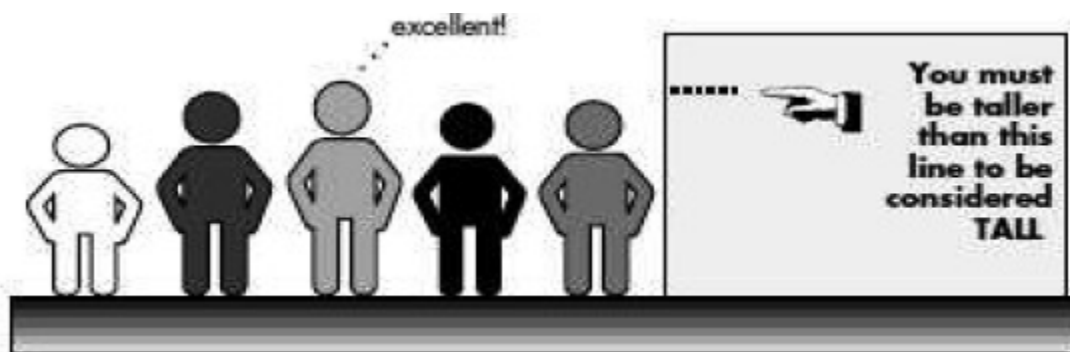
شکل ۲-۳ مقایسه مجموعه فازی و کلاسیک

همان طور که در نمودار سمت چپ پیدا است در نیمه شب جمعه، یعنی یک ثانیه پس از ساعت ۱۲ شب، نمودار از صفر به سمت یک جهش می کند. این یک راه برای تعریف مجموعه روزهای پایانی هفته است که البته با شناخت انسان ها از روزهای پایانی دارای تفاوت می باشد. نمودار سمت راست، یک نمودار نرم است که جمعه و با درجه کمتری پنجشنبه نیز در مجموعه روزهای پایانی هفته عضویت

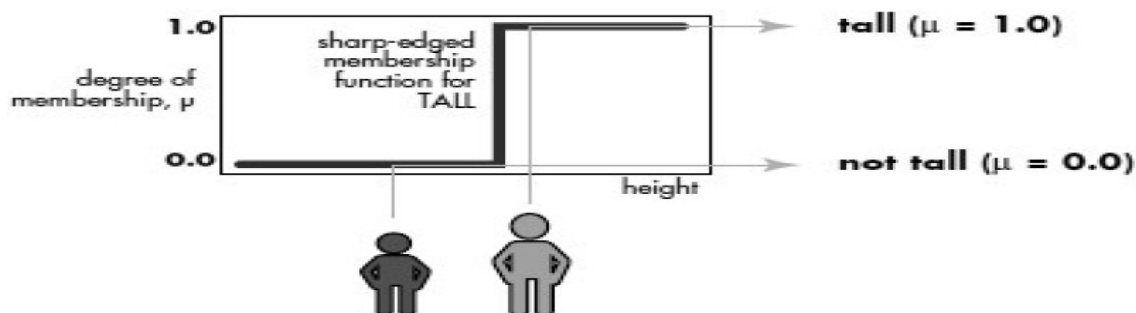
دارد. این نمودار نشان‌دهنده عضویت جزئی در مجموعه فازی می‌باشد. به این تابع، تابع عضویت گفته می‌شود که در ادامه به معرفی آن‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۲-۲ توابع عضویت

تابع عضویت منحنی‌ای است که نحوه تبدیل هر نقطه از فضای ورودی را به یک مقدار عضویت (درجه عضویت) بین صفر و یک تعریف می‌کند. یکی از مثال‌های پرکاربرد برای بیان مفهوم تابع عضویت مثال افراد بلند قد می‌باشد. اگر یک مجموعه کلاسیک برای انجام این طبقه‌بندی تعریف شود؛ می‌توان گفت همه افراد بلندتر از ۶ فوت بلند قد هستند. اما این نوع طبقه‌بندی تا حد زیادی ناکارآمد می‌باشد. زیرا به عنوان مثال در دنیای واقعی نمی‌توان یک فرد ۶ فوتی را بلند قد و فردی که چند میلی‌متر کوتاه‌تر است را کوتاه قد نامید. ولی این تعریفی است که تابع عضویت کلاسیک ارائه می‌دهد. شکل ۳-۳ نشان‌دهنده این مثال کلی و شکل ۳-۴ نشان‌دهنده دسته‌بندی کلاسیک مثال قد می‌باشد.

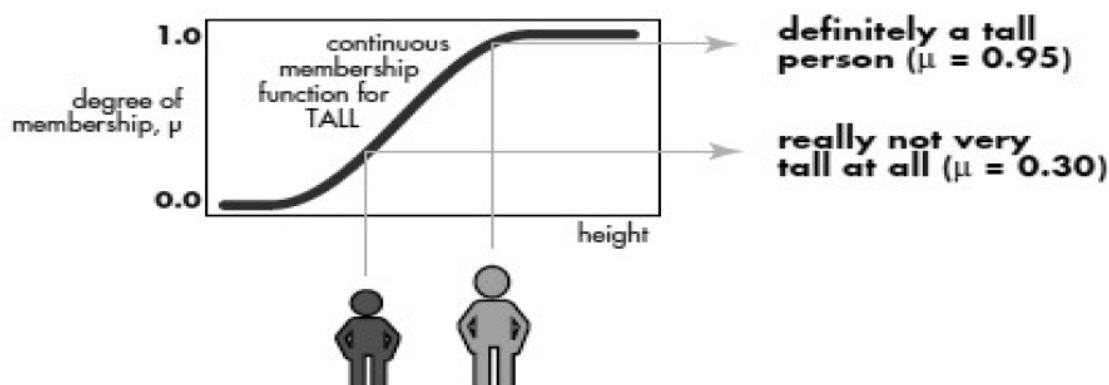


شکل ۳-۳ مثال تشخیص افراد بلند قد که حاکی از عدم توانایی روش‌های کلاسیک در برخی دسته‌بندی‌ها می‌باشد.



شکل ۳-۴ دسته‌بندی کلاسیک

با توجه به ناکارآمدی این طبقه‌بندی باید از طبقه‌بندی فازی استفاده کرد. که در آن منحنی تابع عضویت به نرمی از افراد کوتاه قد به افراد بلند قد رسم می‌شود. به کمک این نمودار به هر فرد درجه‌ای از بلند قدی تخصیص داده می‌شود. دسته‌بندی فازی قد که در شکل ۳-۵ آورده شده است می‌تواند مشکلات روش‌های کلاسیک را برطرف نماید.

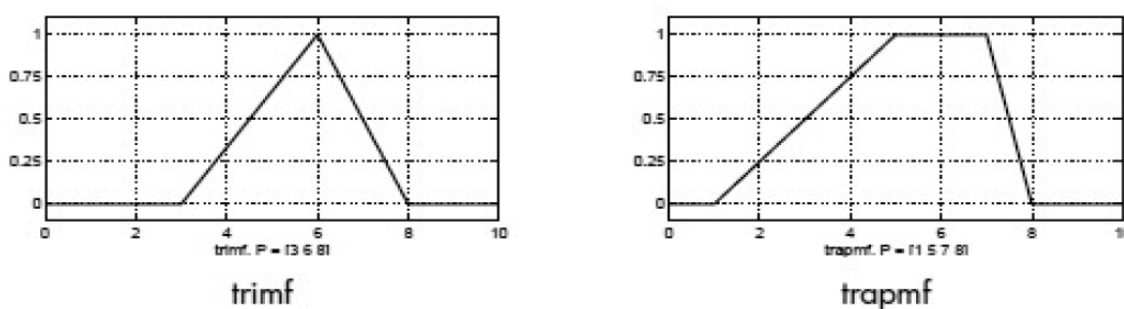


۳-۵ تخصیص تابع عضویت فازی در مثال قد.

با این مثال، مفهوم تابع عضویت در طبقه بندی فازی مشخص تر شد. در ادامه به بررسی معروف‌ترین انواع تابع عضویت پرداخته می‌شود.

۳-۲-۱-۲-۳-۱ تابع عضویت مثلثی و ذوزنقه ای

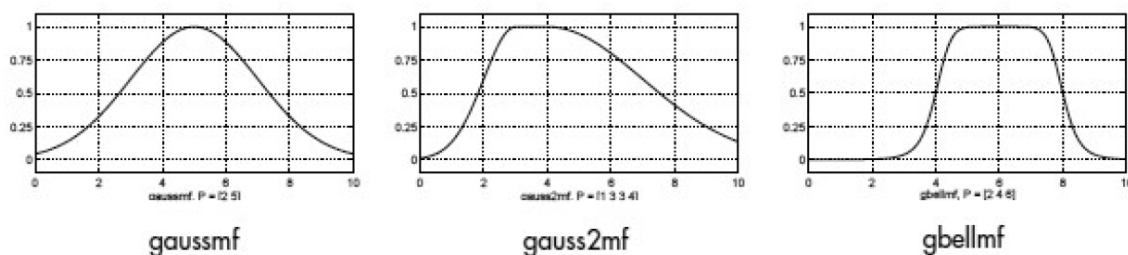
این توابع ساده‌ترین توابع عضویت هستند که در خطوط مستقیم تشکیل شده‌اند. در شکل ۳-۶ سمت چپ تابع عضویت مثلثی نشان داده شده است. در شکل راست تابع عضویت ذوزنقه‌ای است که در واقع یک تابع مثلثی برش خورده می‌باشد. این توابع عضویت از مزیت سادگی بهره می‌برند.



شکل ۳-۶ توابع عضویت ذوزنقه‌ای و مثلثی.

۲-۲-۲-۳ تابع عضویت گاوسی و ناقوسی

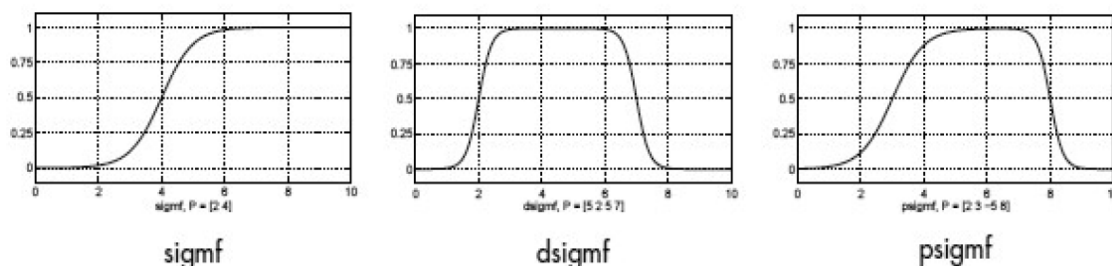
این نوع تابع عضویت در شکل ۷-۳ نشان داده شده است. به دلیل نرمی و مقدار غیر صفر در کلیه نقاط، توابع عضویت گاوسی و ناقوسی از محبوبیت بالایی در ارتباط با مجموعه‌های فازی برخوردار هستند.



شکل ۷-۳ توابع عضویت گاوسی و ناقوسی.

۳-۲-۲-۳ تابع عضویت حلقوی

اگرچه توابع عضویت گاوسی و ناقوسی از نرمی مناسبی برخوردار می‌باشند اما در مورد توابع نامتقارن که از نظر کاربردی اهمیت زیادی دارند از کارایی مناسبی برخوردار نیستند. برای رفع این مشکل از توابع عضویت حلقوی استفاده می‌شود این توابع از راست یا چپ امتداد دارند. توابع عضویت نامتقارن و بسته را می‌توان به کمک دو تابع حلقوی تعریف نمود.



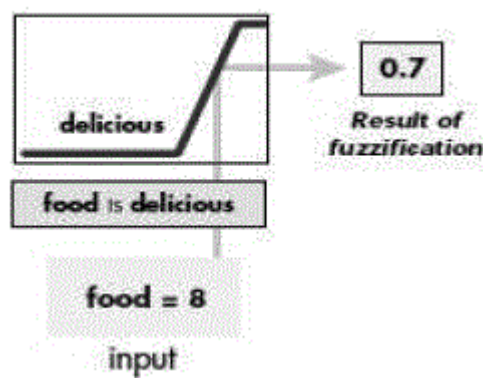
شکل ۸-۳ توابع عضویت حلقوی.

۳-۲-۳ فرآیند استنتاج فازی

فرآیند استنتاج فازی از ۵ بخش تشکیل می‌شود. فازی‌سازی متغیرهای ورودی، اعمال عملگرهای منطقی (and یا or) در قسمت فرض، به کار بردن روش دلالت، جمع کردن نتایج و در نهایت غیرفازی کردن خروجی‌ها (Jang et al., 1997).

۳-۲-۳-۱ فازی‌سازی ورودی‌ها

گام اول در سیستم‌های استنتاج فازی، دریافت ورودی‌ها و تعیین درجه عضویت آن‌ها از طریق توابع عضویت می‌باشد. خروجی این مرحله یک عددی بین صفر و یک است که میزان عضویت ورودی را در مجموعه فازی تعیین می‌کند. شکل ۳-۹ مربوط به مثالی در راهنمای نرم‌افزار متلب است. مقادیر ورودی به مجموعه‌های فازی مختلف، شامل خدمات ضعیف، خدمات خوب، غذای بد و غذای خوب نسبت داده می‌شود. قبل از اینکه قوانین مورد نظر را بتوان اعمال کرد، هریک از ورودی‌ها باید بر مبنای هر یک از مجموعه‌های یاد شده، فازی‌سازی شوند. در این مورد به غذا نمره ۸ داده شده است که این نمره با مقدار ۰/۷ از طریق تابع عضویت متناظر شده است.



شکل ۳-۹ مثالی از فازی‌سازی داده‌ها در نرم افزار متلب

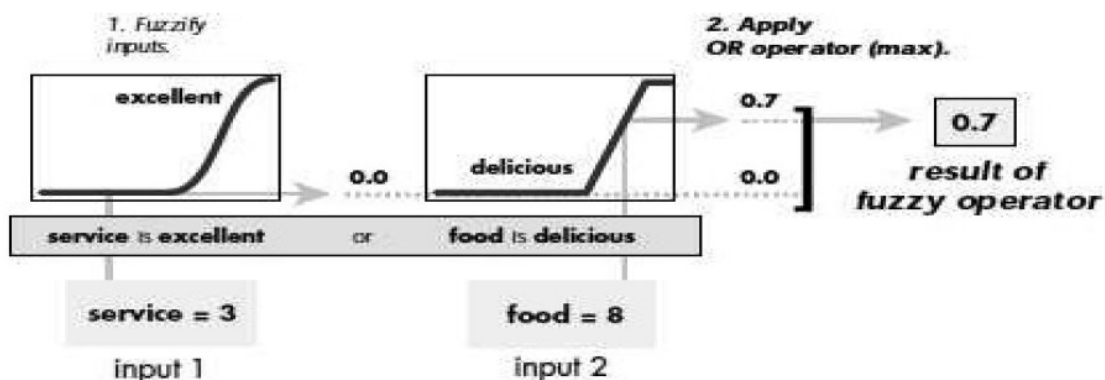
۳-۲-۳-۲ اعمال عملگرهای فازی

پس از فازی‌سازی ورودی‌ها درجه درستی هریک از اجزای قسمت فرض تعیین شده است. در صورتی که قسمت فرض دارای چند بخش باشد، از عملگرهای فازی برای ترکیب درجه درستی بخش‌ها و تولید

یک عدد به عنوان درجه درستی قسمت فرض استفاده می‌شود. در این بخش از عملگر and و or استفاده می‌شود. برای پیاده سازی and، از مینیمم و ضرب (prod) و همچنین برای پیاده سازی or از ماکسیمم و or احتمالی (prod) استفاده می‌شود. تابع or احتمالی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Probor}(a, b) = a + b - a \cdot b$$

نحوه عملکرد تابع ماکسیمم برای پیاده سازی or در مسئله انعام در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است.

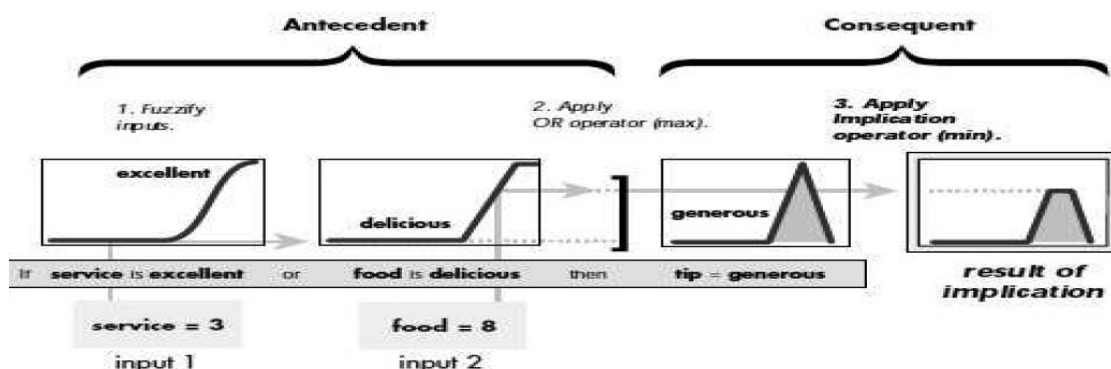


شکل ۳-۱۰ اعمال عملگرهای فازی بر روی داده‌هایی که فازی سازی شده‌اند. (Matlab, 2013)

۳-۲-۳-۳ فرآیند دلالت^۱

ورودی فرآیند دلالت یک عدد و خروجی آن مجموعه فازی می‌باشد. به هر یک از قوانین قبل از اینکه روش دلالت پیاده شود؛ می‌توان وزن داد تا تاثیر هر یک متفاوت شود. دو روش برای انجام روش دلالت وجود دارد که شامل روش مینیمم است که مجموعه فازی خروجی را برش می‌دهد و در شکل زیر این روش نشان داده شده است. روش دیگر، روش (prod) (ضرب) است که مجموعه فازی خروجی را مقیاس می‌کند. نمونه انجام این مرحله در شکل ۳-۱۱ آورده شده است.

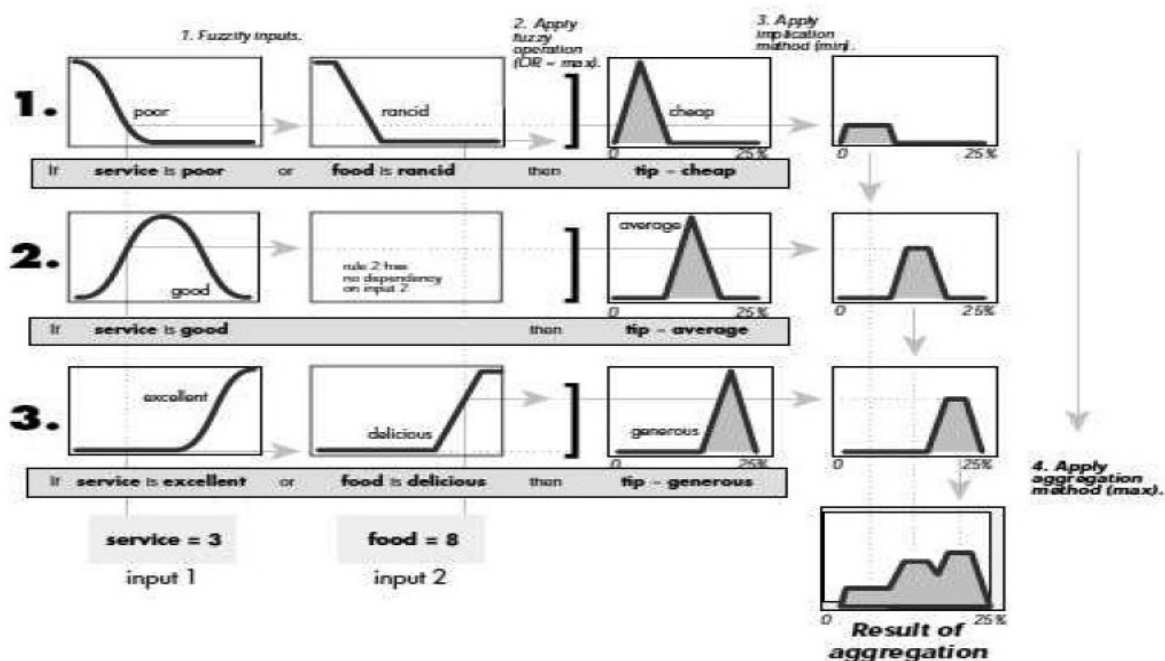
^۱ Apply Implication Method



۳-۱۱ اعمال فرایند دلالت. (Matlab 2013)

۳-۲-۳-۴ جمع خروجی ها^۱

در نهایت مجموعه‌های فازی باید به طریقی با هم ترکیب شوند. جمع، فرآیندی است که طی آن مجموعه‌های فازی خروجی، با هم در قالب یک مجموعه فازی ترکیب می‌شوند. توابع خروجی برش یافته طی فرآیند مرحله قبل، ورودی فرآیند این مرحله می‌باشد. برای مثال موجود در متلب (مسئله انعام) فرآیند جمع به صورت شکل ۳-۱۲ انجام می‌شود.



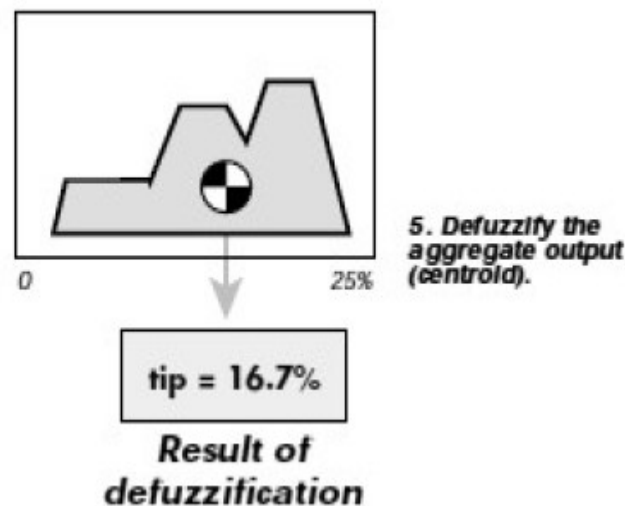
شکل ۳-۱۲ جمع خروجی‌ها

^۱ Aggregate All Outputs

۳-۲-۳-۵ غیر فازی کردن^۱

ورودی فرآیند غیر فازی سازی، یک مجموعه فازی است و خروجی آن یک عدد می باشد. با توجه به اینکه خروجی بخش جمع (مرحله قبل)، محدوده ای از مقادیر خروجی است، به غیر فازی سازی به منظور ایجاد یک مقدار مطلوب نیاز است.

پرطرفدارترین روش غیر فازی سازی محاسبه مرکز جرم است. این روش مرکز ناحیه زیر منحنی را محاسبه می کند و به عنوان خروجی مطلوب اعلام می نماید. روش های مختلفی برای غیر فازی کردن موجود است. برای مثال انعام در شکل ۳-۱۳ روش مرکز ثقل استفاده شده است.



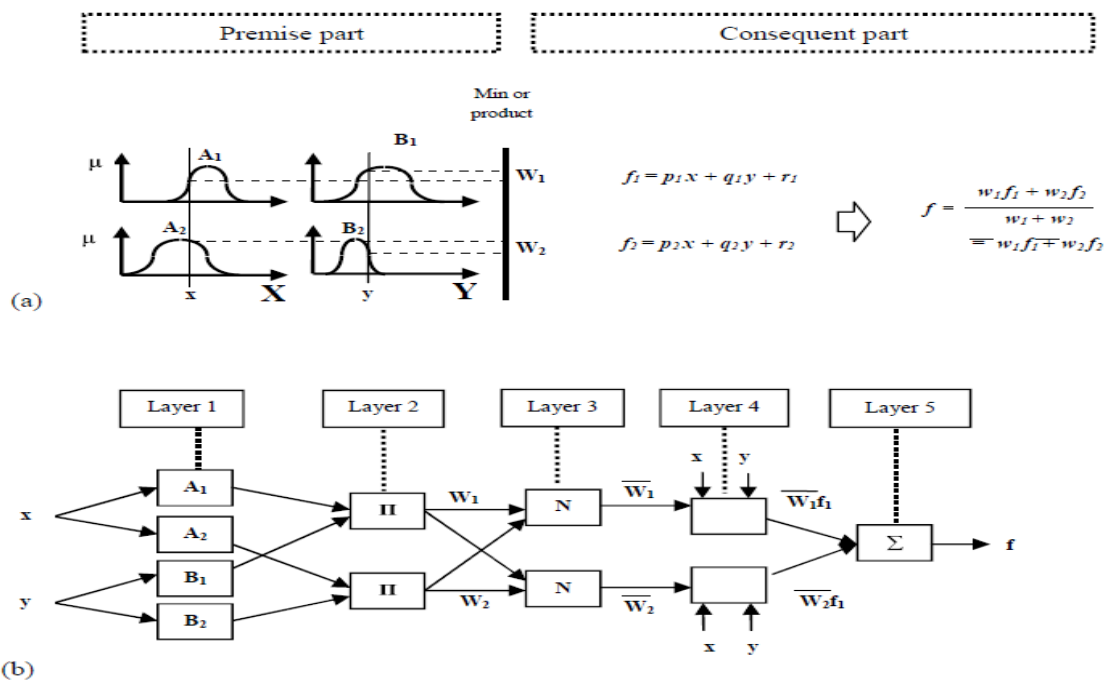
شکل ۳-۱۳ مثالی از غیر فازی سازی نتایج.

سیستم های فازی در دو دسته اصلی سیستم های فازی ممدانی (Mamdani and Assilian., 1975) و سیستم های فازی سوگنو (Takagi and Sugeno., 1985) قرار می گیرند. تفاوت عمده این دو سیستم ها مربوط به بخش نتیجه شرط ها (قوانین) است. در سیستم ممدانی این بخش به صورت تابع عضویت (فازی) تعریف می شود ولی در سیستم سوگنو به صورت تابع چند جمله ای تعریف می گردد (Shini and Kisi, 2010).

^۱Defuzzification

۳-۲-۴ سیستم‌های استنتاج عصبی-فازی^۱

ANFIS یک واژه اختصاری است که از حروف اول Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System ساخته شده است. این سیستم به کمک مجموعه‌ای از داده‌های ورودی و خروجی، یک سیستم استنتاج فازی ایجاد می‌نماید. پارامترهای توابع عضویت این سیستم از طریق الگوریتم پس انتشار خطا یا ترکیب آن با روش حداقل مربعات تنظیم می‌شوند. این عملیات تنظیم به سیستم‌های فازی اجازه می‌دهد تا ساختار خود را از مجموعه داده‌ها فرا بگیرد. همچنین لازم به توضیح است که ANFIS از سیستم فازی سوگنو پیروی می‌نماید. در این راستا شکل ۳-۱۴ سیستم منطق فازی سوگنو و ساختار انفیس متناظر با آن را نشان می‌دهد. در این شکل X و Y متغیرهای ورودی و f خروجی سیستم است.



شکل ۳-۱۴ (a) ساختار منطق فازی سوگنو. (b) ساختار لایه‌ای مدل‌های نرو فازی.

مدل فازی سوگنو درجه یک با دو قاعده اگر-آنگاه به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

قانون اول: if x is A_1 and y is B_1 then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

قانون دوم: if x is A_2 and y is B_2 then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

^۱ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

که در آن A_1, A_2, B_1, B_2 مربوط به توابع عضویت و $p_2, q_2, r_2, p_1, q_1, r_1$ پارامترهای تابع خروجی است. همچنین x و y متغیرهای ورودی به سیستم می باشد. ساختار هرلایه ANFIS در ادامه مورد بررسی قرار می گیرد (Jang, 1993).

لایه ۱

هر گره در این لایه، درجه عضویت متغیرهای ورودی را ایجاد می نماید. خروجی هر گره به صورت زیر تعریف می شود:

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad . \text{ for } i = 1, 2 \quad (1-3)$$

$$O_i^1 = \mu_{B_{i-2}}(x) \quad . \text{ for } i = 3, 4 \quad (2-3)$$

که x و y ورودی های هر گره و O_i^1 درجه عضویت بدست آمده می باشد.

لایه ۲

هر گره (مشخص شده با علامت Π در شکل) در این لایه، ورودی های خود را در هم ضرب می نماید و به ترتیب درجه فعالسازی هر قانون را تعیین می نماید.

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_1}(x) \cdot \mu_{B_1}(x) \quad . i = 1, 2 \quad (3-3)$$

لایه ۳

خروجی این لایه، نسبت درجه فعالسازی قانون i ام به مجموع درجه های فعالسازی همه قوانین است. گره های این لایه با علامت N مشخص شده است.

$$O_i^3 = w_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad . i = 1, 2 \quad (4-3)$$

لایه ۴

خروجی این لایه به صورت زیر محاسبه می شود:

$$O_i^4 = w_i f_i = w_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad . i = 1, 2 \quad (5-3)$$

لایه ۵

گره‌های این لایه با علامت Σ مشخص شده اند و خروجی لایه، خروجی نهایی ANFIS محسوب می‌شود.

$$O_i^5 = \sum_{i=1}^2 w_i f_i = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} \quad . i = 1, 2 \quad (۳-۶)$$

۳-۲-۵ روش کلاسه بندی Subtractive

هدف از کلاسه بندی داده‌ها، تعیین یک بیان کامل از رفتار آن‌ها است (Chiu, 1997). یاگر و فیلو

در سال ۱۹۹۴ (Yage and Filev, 1994) روش maountain را برای کلاسه‌بندی و چپو در سال ۱۹۹۴

(China, 1994) روش Subtractive را که بهینه شده روش یاگر و فیلو است، معرفی نمود. این روش،

یک روش سریع برای تعیین تعداد و مراکز کلاسه‌ها است و می‌تواند برای تعیین ساختار فازی اولیه و

تعیین تعداد قوانین فازی در سیستم‌های نروفازی راهگشا باشد. تعیین ساختار اولیه مناسب برای

سیستم‌های نروفازی، در عملکرد آن‌ها تاثیرگذار است. روش این کلاسه‌بندی به صورت زیر می‌باشد

هر داده پتانسیل و قابلیت مرکز کلاسه بودن را دارا است و این مقدار از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$p_i = p_i - p_1^* e^{-\beta \|x_i - x_1^*\|^2} \quad (۳-۷)$$

$$\beta = 4 / r_b^2 \quad (۳-۸)$$

r_a یک مقدار مثبت و ثابت است و آن را شعاع تاثیر می‌نامند. داده‌های خارج از این شعاع، تاثیر کمی در

مقدار پتانسیل داده دارد و بنابراین داده‌ای با تعداد همسایگان بیشتر، قابلیت و پتانسیل بیشتری را برای

مرکز کلاسه شدن دارا است.

بعد از محاسبه پتانسیل هر نقطه، بیشترین مقدار، به عنوان اولین مرکز کلاستر انتخاب می‌شود. x_1^*

اولین مرکز کلاسه و p_1^* مقدار پتانسیل آن است.

در رابطه بالا پتانسیل داده i ام، تابعی از فاصله مرکز کلاستر اول است. بنابراین داده‌ها در نزدیکی

مرکز کلاسه اول، پتانسیل کمتری را برای مرکز کلاسه شدن، دارا است. چپو در مقاله خود (Chiu,

(1994) به این نکته اشاره کرده است که برای اجتناب از ایجاد کلاسه‌های نزدیک به هم r_b را بزرگتر مساوی r_a ۱/۲۵ در نظر گرفته می‌گیرد.

در حالت کلی بعد از بدست آمدن k امین مرکز کلاسه، پتانسیل هر نقطه از رابطه زیر بدست می‌آید

$$p_i = p_i - p_k^* e^{-\beta \|x_i - x_k^*\|^2} \quad (9-3)$$

x_k^* مرکز کلاسه k ام و p_k^* پتانسیل مربوط به آن است. همچنین برای جلوگیری از ایجاد کلاسه‌های حاشیه‌ای، شروط زیر در انتخاب مراکز کلاسه ها راهگشا است (Chiu, 1994).

If $P_k^* > e_1 p_1^*$

x_k^* به عنوان مرکز کلاسه انتخاب و پروسه ادامه می‌یابد.

Else if $P_k^* < e_2 p_1^*$

x_k^* مرکز کلاسه نیست و پروسه متوقف می‌شود.

Else

$$\text{if} \left(\frac{d_{\min}}{r_a} + \frac{p_k^*}{p_1^*} \geq 1 \right)$$

x_k^* مرکز کلاسه منظور می‌شود

Else

x_k^* مرکز کلاسه نیست و مقدار آن برابر صفر قرار می‌گیرد. سپس داده‌ای که بیشترین مقدار بعدی را دارا است به عنوان مرکز کلاسه انتخاب می‌شود و دوباره بررسی انجام می‌شود.

End if

End if

مقدار $e_1=0.5$ و $e_2=0.15$ و $d_{\min}$ را کوتاه‌ترین فاصله بین x_k و مراکز کلاسه بدست آمده قبلی معرفی شد (Chiu, 1994).

۳-۲-۶ روش کلاسه بندی fuzzy C means

الگوریتم fuzzy C means اولین بار توسط پزدک در سال ۱۹۷۳ (Bezdek, 1973) معرفی گردید. بر اساس این الگوریتم هر داده با یک درجه عضویت به کلاسه خاصی، تعلق دارد. روش این نوع کلاسه-بندی در ادامه آورده می‌شود:

هدف الگوریتم مینیمم کردن رابطه زیر است:

$$J_m(U, v) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^C (u_{ik})^m \|y_k - v_i\|^2 \quad (۱۰-۳)$$

که در آن $y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ داده های نقطه ای، C تعداد کلاسه‌ها، N تعداد داده ها، V_i مراکز کلاسه، u_{ik} درجه عضویت y_k در i امین کلاسه هستند. مقدار u_{ik} بین صفر و یک است و دو شرط زیر برای آن برقرار باشد:

$$\sum_{i=1}^C u_{ik} > 0$$

$$\sum_{i=1}^C u_{ik} = 1$$

همچنین در صورتی تابع هدف مینیمم می‌شود که روابط زیر برقرار باشد:

$$\hat{v}_i = \frac{\sum_{k=1}^N (\hat{u}_{ik})^m y_k}{\sum_{i=1}^C (\hat{u}_{ik})^m}; 1 \leq i \leq C \quad (۱۱-۳)$$

$$\hat{u}_{ik} = \left(\sum_{j=1}^C \left(\frac{\|y_k - v_i\|}{\|y_k - v_j\|} \right)^{2/(m-1)} \right)^{-1}; 1 \leq k \leq N; 1 \leq i \leq C \quad (۱۲-۳)$$

در ابتدا پارامترهای m ، C و درجه عضویت مقداردهی اولیه می‌شوند. سپس مقدار V_i از رابطه ۱۱-۳ بدست می‌آید و در ادامه مقدار u_{ik} از رابطه ۱۲-۳ حاصل می‌شود. در صورتی که اختلاف u_{ik} در گام k و $k+1$ کوچکتر از مقدار تعیین شده باشد؛ کار الگوریتم به پایان رسیده ولی اگر شرط خاتمه برقرار نبود مقدار u_{ik} به روز می‌شود و فرآیند ذکر شده دوباره آغاز می‌شود. در این تحقیق از دو روش فوق به منظور تولید ساختار و تعداد قوانین فازی اولیه، استفاده می‌گردد. لازم به ذکر است در این تحقیق، کلیه

مدل‌های بارش جریان شبکه‌های عصبی و سیستم‌های نروفازی در محیط MATLAB برنامه‌نویسی و توسعه یافته است.

۳-۲-۷ توابع هدف مورد استفاده برای بهینه‌سازی مدل‌ها

در این تحقیق برای تعیین میزان دقت مدل‌های بارش-جریان باید از معیارهای مناسبی استفاده گردد. در این جا از پارامترهای R^2 , RMSE, NSE برای تعیین دقت مدل‌ها استفاده شده است؛ که روابط آن‌ها به شرح ذیل است:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs}) \times (Q_{pred_i} - \bar{Q}_{pred})]^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs})^2 \times \sum_{i=1}^N (Q_{pred_i} - \bar{Q}_{pred})^2} \quad (۱۳-۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{pred_i})^2}{N-1}} \quad (۱۴-۳)$$

که Q_{obs_i} , $\bar{Q}_{obs}$ و $\bar{Q}_{pred}$ به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای، پیش‌بینی، میانگین داده‌های مشاهده‌ای و میانگین داده‌های پیش‌بینی هستند.

همچنین شاخص Nash-Sutcliffe Efficiency Index (NSE) نیز مورد استفاده قرار گرفته است که رابطه آن به صورت زیر است (Nash and Sutcliffe, 1970):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{pred_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (۱۵-۳)$$

این شاخص در رنج $-\infty$ تا ۱ تعریف شده است. اگر مقدار این شاخص برابر یک شود، مدل بهترین عملکرد خود را دارد و نتایج آن عیناً منطبق بر مقادیر مشاهداتی است. در صورتی که مقدار آن صفر شود؛ مدل عملکردی در حد مقادیر میانگین داده‌های مشاهده‌ای را دارا است. در صورتی که NSE منفی شود؛ عملکرد میانگین داده‌های مشاهده‌ای مناسب‌تر از مدل مورد نظر می‌باشد (Jain and Sudheer, 2008).

۳-۳ موجک آنالیز

۳-۳-۱ تئوری موجک^۱

از دید تاریخی موجک روشی جدید است که پایه ریاضی آن به کار جوزف فوریه در قرن نوزدهم بر می‌گردد. کلمه موجک را اولین بار آلفرد هار در سال ۱۹۰۹ در مقاله خود بکار گرفت. اما بکارگیری مفهوم موجک در معنای تئوریک امروزی آن توسط جین مورلت و تیمی که در مرکز تئوریک فیزیک مارسل تحت نظر الکس گراسمن در فرانسه کار می‌کرد؛ پیشنهاد گردید. مهم‌ترین الگوریتمی که در این زمینه نوشته شده است به کار ملات در سال ۱۹۹۸ (Mallat, 1998) بر می‌گردد.

۳-۳-۲ آنالیز موجک

تاکنون تئوری موجکی در زمینه‌های بسیاری از جمله آنالیز تصاویر و پردازش سیگنال با موفقیت کاربرد داشته است. به دلیل اینکه موجک در هر دو حوزه زمانی و فرکانس، سیگنال را تجزیه می‌کند؛ جهت آنالیز سیگنال‌های غیر ایستا بسیار مناسب هستند. در واقع وقتی اطلاعات نهفته درون سیگنال‌ها با وضوح مناسبی در اختیار ما نیست جهت به دست آوردن اطلاعات بیشتر و بازسازی سیگنال از تبدیل‌های موجکی استفاده می‌شود (Calatao, 2011; Remesan et al., 2009).

ایده اساسی در موجک، تحلیل بر اساس مقیاس است. با در نظر گرفتن یک شی از فاصله دور، نمایش با مقیاس بزرگ از آن حاصل می‌شود که در آن فقط اطلاعات کلی از شی بدست می‌آید. هر چه به شی نزدیک‌تر شویم شی را با مقیاس کوچک‌تر و با جزئیات بیشتر می‌توان دید. برای درک بهتر می‌توان به مثال معروف جنگل و درخت نیز اشاره کرد. با نگاه از فاصله دور به جنگل، آنرا به صورت یک شی کامل با اطلاعات کلی می‌توان دید. اما اگر از فاصله نزدیک‌تر دیده شود، ملاحظه می‌گردد که جنگل از اجزای کوچک‌تری همچون درخت تشکیل شده است و با نزدیک شدن بیشتر، اجزای کوچک‌تر همچون گیاهان را نیز می‌توان دید. تبدیل موجک نیز داده‌ها را در مقیاس‌های مختلف پردازش می‌کنند.

^۱ wavelet

این امر موجک را به ابزاری مفید تبدیل کرده و این توانایی را ایجاد می‌کند تا از فواصل زمانی طولانی مدت برای دیدن اطلاعات فرکانسی پایین و از فواصل زمانی کوتاه مدت برای دیدن اطلاعات فرکانسی بالا استفاده شود.

همچنین هیدروگراف‌های سری زمانی به عنوان سیگنال‌های حوزه آبریز، صرفاً بزرگی دبی با بارش را در برابر زمان نشان داده و هیچگونه اطلاعاتی درباره فرکانس و نوع پدیده در اختیار مدل قرار نمی‌دهد. میزان تغییرات بارندگی و رواناب را در واحد زمان می‌توان با عنوان سیگنال‌های بارندگی و رواناب در نظر گرفت که دارای فرکانس‌های متفاوتی است. از این‌رو کاربرد تبدیل موجک در پردازش این قبیل سیگنال‌ها می‌تواند مفید واقع گردد.

۳-۳-۳ انواع تبدیل موجک

تبدیل موجک در دو دسته گسسته و پیوسته بررسی می‌شود:

الف- تبدیل پیوسته موجک

رابطه مربوط به تبدیل پیوسته موجک به صورت زیر تعریف می‌شود (Malat, 1998):

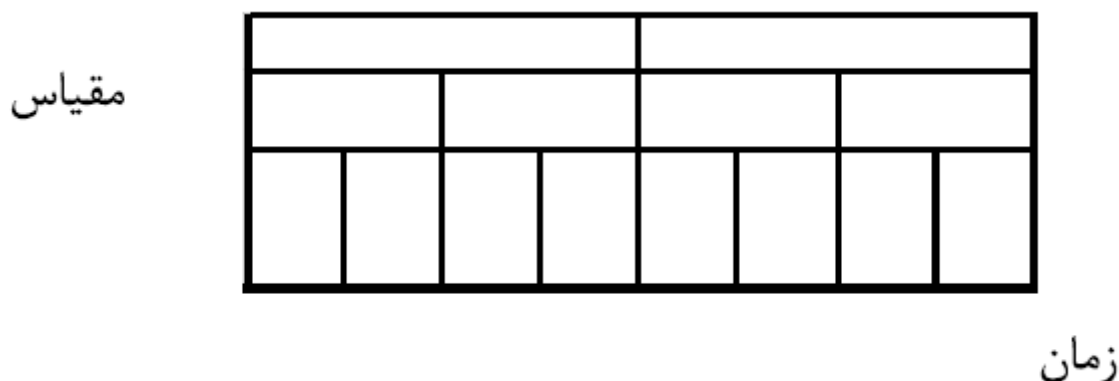
$$C_{\varphi}^x = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \varphi^* \left(\frac{t-\tau}{a} \right) dt \quad (۱۶-۳)$$

رابطه فوق تابعی از دو متغیر a و τ است که τ نشان دهنده انتقال، a نشان دهنده مقیاس (معکوس فرکانس) و علامت $*$ نشان دهنده مزدوج مختلط است. $\varphi(t)$ تابع موجک مادر نامیده می‌شود. عبارت مادر به این خاطر بکار گرفته می‌شود که توابع (موجک‌ها) متفاوت به وجود آمده براساس پارامترهای مقیاس و انتقال همگی از تابع پایه (موجک مادر) ناشی می‌شود. به عبارت دیگر موجک مادر، موجک اصلی برای تولید توابع پنجره‌ای دیگر است. کلیه توابع پنجره‌ای $\varphi_{a,\tau}(t)$ که از تابع مادر ساخته شده، موجک‌های دختر نامیده می‌شوند.

$$\varphi_{a,\tau}(t) = a^{-1/2} \varphi \left(\frac{t-\tau}{a} \right) \quad (۱۷-۳)$$

مقیاس به طور ساده به معنای کشیده شدن با فشرده شدن موجک است. همان گونه که در نقشه‌ها مقیاس بزرگ متناظر با نشان ندادن جزئیات است؛ در اینجا نیز مقیاس بزرگ متناظر با نشان ندادن جزئیات موج است و مقیاس کوچک متناظر با نشان دادن جزئیات می‌باشد. بنابراین در مقیاس کوچک، موجک فشرده شده و در مقیاس بزرگ موجک کشیده می‌شود. همچنین انتقال موجک به طور ساده به مفهوم به تاخیر انداختن یا جلو انداختن موجک می‌باشد.

شکل ۳-۱۵ شماتیک یک آنالیز زمان فرکانس را نشان می‌دهد. هر موجک دختر (هر جعبه در شکل) متناظر با یک ضریب در صفحه زمان-فرکانس است. نکته مهم این است که سطح هیچ یک از جعبه‌ها صفر نیست. اگر چه پهنا و عرض جعبه‌ها تغییر می‌کند اما سطح همه جعبه‌ها ثابت بوده و نشان‌دهنده یک قسمت مساوی در صفحه زمان - فرکانس است که خواص متفاوتی در زمان و فرکانس دارد. در فرکانس‌های پایین ارتفاع جعبه‌ها کوچک بوده و متناظر با تجزیه فرکانس مناسب می‌باشد. در مقابل پهنای زیاد جعبه‌ها متناظر با تجزیه ضعیف‌تر در بازه زمانی است. همچنین در فرکانس‌های بالا عرض جعبه‌ها کاهش یافته و نشان‌دهنده تجزیه مناسب‌تر در زمان است. همچنین ارتفاع جعبه‌ها افزایش یافته و بیانگر تجزیه ضعیف‌تر در بازه فرکانس است.



شکل ۳-۱۵ آنالیز زمان فرکانس

اگر به تغییرات بارش و جریان رودخانه ماهانه ایستگاه ها در طول ۴۱ سال آمار حوزه دقت شود؛ مشاهده می گردد که سیگنال هایی از بارش و دبی در اختیار است که طبق آن ها از فرکانس های بسیار پایین با فرکانس های بسیار بالا متغیر است. در فرکانس های پایین که تغییرات هیدروگراف با هایتوگراف به کندی صورت می گیرد. با توجه به اینکه دقت فرکانسی مهم تر است، بنابراین تابع پنجره ای باید دارای گسترش کمی در فضای فرکانس باشد که به گسترش زیاد در فضای زمان منتهی می شود. در این حالت به علت تغییرات کند تابع، اطلاعات زیادی را از دست نمی دهد. در حالیکه در فرکانس های بالا یعنی جایی که تغییرات هیدروگراف با هایتوگراف در فضای زمانی شدید است؛ اطلاعات زمانی از فرکانس بسیار مهم تر می باشد و بنابراین پنجره انتخابی می بایست گسترش کمی در فضای زمان داشته باشد تا بتواند تغییرات زمانی تابع را به خوبی نشان دهد. مشاهده می شود که برای این چنین سیگنالی پنجره هایی با ابعاد متفاوت در نقاط مختلف فضای زمان- فرکانس نیاز داریم. در حقیقت این روش اجازه می دهد که از پنجره های با طول بلند در جایی که اطلاعات فرکانس پایین، با دقت بالا مورد نیاز است و از پنجره های با طول کوتاه در جایی که اطلاعات فرکانس بالا، با دقت مناسب مورد نیاز است، استفاده گردد.

ب- تبدیل گسسته موجکی

در تبدیل موجک پیوسته پارامترهای انتقال و مقیاس به صورت پیوسته تغییر می کند. در صورتی که در تبدیل موجک گسسته، مقدار a و τ به صورت گسسته در نظر گرفته می شود. در نتیجه نوع دیگری از تبدیل موجکی به نام تبدیل گسسته موجکی حاصل خواهد شد. تبدیل گسسته موجکی جهت پیش پردازش و آنالیز سری های زمانی مناسب تر از تبدیل موجک پیوسته می باشد زیرا میزان محاسبات به صورت چشمگیری کاهش می یابد (Adamowski and Chan, 2011).

برای محاسبه ضرایب موجکی هر سری زمانی کافی است در رابطه اصلی موجک به جای a و τ مقادیر

گسسته آن ها را به صورت $a = a_0^j$ و $b = ka_0^j b_0$ قرار داده شود.

در نتیجه داریم (Grossman and Morlet, 1984) :

$$\psi_{k,j}(t) = \frac{1}{\sqrt{a_0^j}} \psi\left(\frac{t - ka_0^j b_0}{a_0^j}\right) \quad (۱۸-۳)$$

پس از ساده کردن رابطه فوق داریم:

$$\psi_{k,j}(t) = a_0^{-j/2} \psi(a_0^{-j} t - kb_0) \quad (۱۹-۳)$$

برای موارد کاربردی انتخاب پارامترها بر اساس توان ۲، این تبدیل را کارآمدتر می‌نماید. متداول‌ترین انتخاب برای a_0 و b_0 ۱ و ۱ است. براساس این مقادیر تبدیل موجک گسسته به صورت زیر تبدیل می‌شود (Mallat, 1998):

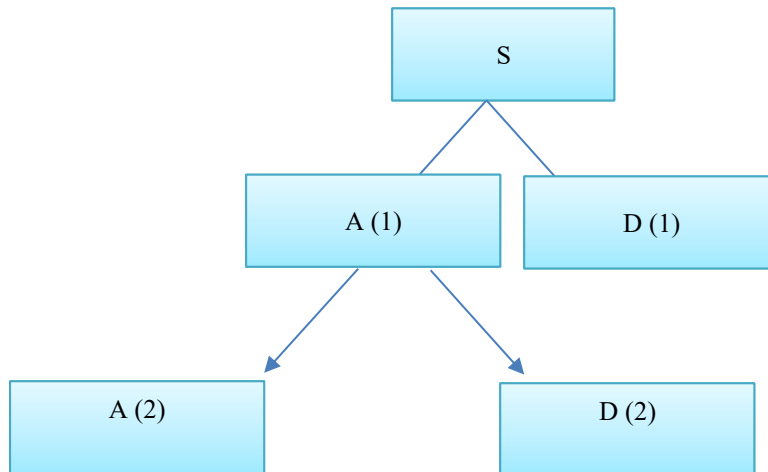
$$W_{k,j} = 2^{-j/2} \sum_{t=0}^{N-1} x_t \psi(2^{-j} t - k) \quad (۲۰-۳)$$

در عمل تبدیل گسسته موجک با استفاده از الگوریتمی به نام الگوریتم ملات محاسبه می‌شود. این الگوریتم از نظر ملات حاوی یک سری از کاربردهای فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر می‌باشد. سیگنال‌های اولیه ابتدا از دو فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر عبور می‌کنند و به دو مولفه با محتوای بسامدی بالا و پایین با اندازه یکسان تجزیه می‌شوند. محتوا با بسامد پایین، ویژگی‌های مشخصه اصلی و اساسی سیگنال را نشان می‌دهد. از طرفی محتوای با بسامد بالای سیگنال، جزئیات دقیق‌تری از سیگنال را بدست می‌دهد. مولفه با بسامد پایین و مقیاس بالای سیگنال، سیگنال تقریب نامیده می‌شود. در حالیکه مولفه‌های با بسامد بالا و مقیاس پایین سیگنال جزئیات نامیده می‌شود.

۳-۳-۴ تجزیه چند مقیاس

در یک تجزیه چند سطحی، سری تقریب بعد از گذر از اولین فیلتر در سطح بعدی تجزیه دوباره شده و یک تخمین و جزئیات جدیدی بدست می‌آید. این کار تا رسیدن به یک سطح از قبل تعیین شده و مطلوب، تکرار می‌شود. از این طریق با استفاده از فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر، می‌توان تجزیه موجک

یک سیگنال، در سطوح مختلف فرکانس را بدست آورد. یک تجزیه درختی تا سه مرحله در شکل ۳-۱۶ نشان داده شده است:



شکل ۳-۱۶ نمای تجزیه گسسته

از تبدیل درختی با نام تبدیل هرمی نیز یاد می‌شود (Mallat, 1989). در تبدیل هرمی شاخه‌های جزئیات در محاسبات بعدی بکار برده نمی‌شود و فقط تقریب‌ها هستند که d امین سطح تجزیه مورد استفاده قرار گرفته و از آن ضرایب تقریب و جزئیات $m+1$ امین سطح تجزیه بدست می‌آید.

در واقع تجزیه موجک ابتدا ضرایب موجک را بدست آورده و با استفاده از آن دو مولفه تقریب و جزئیات را در هر سطح از تجزیه محاسبه می‌کنند. به طور مثال از تجزیه یک سطحی، سیگنال S به دو مولفه فرکانس پایین $a(1)$ و فرکانس بالای $d(1)$ تجزیه می‌شود. در این سطح سیگنال S را می‌توان به صورت حاصل جمع این مولفه‌ها نشان داد:

$$S = a(1) + d(1)$$

در مرحله دوم که خود $a(1)$ شکافته شده و به $a(2)$ و $d(2)$ تبدیل می‌شود، آنگاه سیگنال S را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$S = a(2) + d(2) + d(1)$$

و برای تجزیه تا مرحله X:

$$S = a(r) + d(r) + \dots + d(1)$$

هرچه مقیاس بالاتر باشد بیشتر کشیده شده و از طرفی هرچه موجک بیشتر کشیده شود آنگاه قسمت بیشتری از سیگنال را پوشش داده و از ویژگی‌های درشت‌تر سیگنال توسط ضرایب موجک اندازه‌گیری می‌شود.

مقیاس بالا → موجک کشیده می‌شود → تغییرات کند → فرکانس پایین

مقیاس پایین → موجک انقباض یافته → تغییرات سریع → فرکانس بالا

۳-۴ آنتروپی

مفهوم آنتروپی در اوایل قرن نوزدهم در زمینه کارایی موتورهای حرارتی مطرح شد. شانون در سال ۱۹۴۸، آنتروپی (محتوای اطلاعاتی) را به صورت ریاضی و با استفاده از توزیع احتمالاتی داده‌ها فرمول‌بندی کرده و آن را به عنوان معیار سنجش بی‌نظمی، آشفتگی، عدم قطعیت و اطلاعات معرفی کرد (Shannon, 1948) این نوع آنتروپی به عنوان آنتروپی شانون شناخته می‌شود که به طور مفصل در ادامه در این زمینه بحث خواهد شد.

گسترده‌ی مفاهیم مربوط به آنتروپی و قابلیت آن در حل مسائل متنوع در علوم مختلف از جمله هیدرولوژی، باعث شده است که کاربردهای زیادی از آنتروپی در مجلات معتبر پژوهشی گزارش شود. به طور کلی کاربردهایی که تا به امروز نظریه آنتروپی در علوم آب داشته است از حیث نوع کاربرد به دو دسته تقسیم می‌شود:

الف - کاربرد فیزیکی: در این دسته از کاربردها، محاسبات آنتروپی متکی بر یک یا چند قانون فیزیکی در قالب، رابطه‌ای است که جریان و غلظت را با هم مرتبط می‌سازد و بسته به نوع مساله شامل یک فرض بر روی تابع توزیع احتمال تجمعی جریان یا غلظت نیز می‌شود. برخی از این کاربردها عبارتند از تعیین ظرفیت نفوذ در خاک (Singh, 2010)، بررسی نوسانات میزان رطوبت در خاک (Al-hamdan

(Choo, 2000) و تعیین پروفیل طولی بستر رودخانه (Cao & Chang, 1988).
(Chiu, 1987)، تعیین توزیع سرعت در مقاطع هیدرولیکی (Chiu, 1987)، میزان تخلیه رسوب

ب- کاربرد آماری: این دسته از مسائل کاملاً در برگیرنده کاربردهای آماری هستند و ارتباط مستقیمی با قوانین فیزیکی ندارند، هر چند که فیزیک مسأله می‌تواند خود را از طریق قیدها دیکته کند. این جنبه از کاربرد در کارهای پژوهشی بسیاری نمود پیدا کرده است. پایان‌نامه حاضر نیز یکی دیگر از جنبه‌های آماری کاربرد آنتروپی را نشان می‌دهد.

۳-۴-۱ آنتروپی شانون

نظریه محتوای اطلاعاتی شانون در دو محور کلی پیوسته و گسسته بحث می‌شود که هر کدام بسته به ماهیت مسأله و داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۴-۲ نظریه آنتروپی شانون برای متغیر تصادفی گسسته

اگر X متغیر تصادفی گسسته با مقادیر $x_1, x_2, \dots, x_N$ و احتمالات متناظر $p_1, p_2, \dots, p_N$ باشد آنتروپی شانون از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Singh, 2011):

$$H(X) = H(P) = -K \sum_{i=1}^N p(x_i) \log \left[\frac{p(x_i)}{m(x)} \right] \quad (3-21)$$

که در رابطه :

$H(X)$: آنتروپی X است که تابع آنتروپی شانون نیز نامیده می‌شود.

P : توزیع احتمال است و به صورت $P = \{p_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ تعریف می‌شود.

$m(x)$: پارامتری است که مقدار H را به هنگام تعویض مبدا مختصات ثابت نگه می‌دارد.

K : پارامتری که مقدار آن به پایه لگاریتم بستگی دارد.

از آنجایی که $m(x)$ و K برای تصحیح یکای آنتروپی مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان با حذف آن‌ها به رابطه ساده‌تر رسید:

$$H(X) = H(P) = -\sum_{i=1}^N p(x_i) \log[p(x_i)] \quad (3-22)$$

یکای آنتروپی بستگی به پایه لگاریتم دارد و جدول ۱-۳ به معرفی یکاهای آنتروپی می‌پردازد.

جدول ۱-۳ یکاهای مختلف آنتروپی (Singh, 2011)

یکای آنتروپی	پایه لگاریتم
Bit	2
Napier	E
Decible	10

اگر X یک متغیر قطعی باشد، احتمال اینکه متغیر مقداری مشخص را به خود اختصاص دهد برابر یک است و لذا احتمال سایر برآمدها صفر است پس طبق رابطه (۲۲-۳)، $H(X)=0$ خواهد بود که این کران پایین عددی آنتروپی است. از سوی دیگر در حالتی که متغیر X به صورت یکنواخت توزیع شده باشد، میتوان نتیجه گرفت ($p_i = \frac{1}{N}, i = 1, 2, \dots, N$) که در این صورت بر اساس رابطه (۲۳-۳) کران بالای عددی آنتروپی $H(X) = \log N$ خواهد بود و لذا :

$$0 \leq H(X) \leq \log N \quad (۳-۲۳)$$

احتمال وقوع یک پدیده، عدم قطعیت آن و میزان آنتروپی یا اطلاعات با هم مرتبط هستند. اگر احتمال وقوع پدیده‌ای زیاد باشد میزان آنتروپی آن کم است و بالعکس. به عبارت بهتر برای تبیین پدیده‌ای با احتمال وقوع کم و عدم قطعیت زیاد اطلاعات (آنتروپی) زیادی لازم است.

به عنوان مثال دو مجموعه از اعداد را با نام‌های A و B در نظر بگیرید، مجموعه A شامل ۱۰۰۰ عدد یکسان است (مثلاً همه ۴ هستند پس مجموعه A یک مجموعه قطعی است) و مجموعه B شامل همه اعداد طبیعی از یک تا ۱۰۰۰ می باشد (B هم ۱۰۰۰ عضو دارد و یک مجموعه با توزیع یکنواخت احتمالاتی است). در مورد مجموعه A احتمال پیشامد عدد ۴ برابر یک و احتمال سایر پیشامدها صفر است، در نتیجه:

$$H(A) = -(1) \times \log(1) = 0$$

اما برای مجموعه B احتمال پیشامد هر کدام از اعداد طبیعی بین یک تا ۱۰۰۰ برابر $\frac{1}{1000}$ است:

$$H(B) = 1000[-(0.001) \times \log(0.001)] = -\log(0.001) = \log 1000 = 3 \text{ Desible}$$

طبق تعریف اعداد صفر و ۳ دسیبل در این مثال به ترتیب کمینه و بیشینه مقدار آنتروپی شانون هستند.

حال در مجموعه‌ای مثل C، که ۱۰۰۰ عضو دارد و آنتروپی‌اش برابر ۲,۶۱ دسیل است. می‌توان درباره میزان یکنواختی یا غیر یکنواختی داده‌های آن بدون دانستن اعضا بحث کرد.

۳-۵ معیار موجک _ آنتروپی

حال می‌توان با ترکیب مفاهیم موجک و آنتروپی به روشی نوین دست یافت که از آن می‌توان در محاسبه پیچیدگی‌ها استفاده نمود. با استفاده از این ابزار می‌توان سیگنال اصلی را در مقیاس‌های زمانی متفاوت بررسی نمود. نخستین بار رسو و همکاران از این روش جهت بررسی سیگنال‌های حاصله از مغز انسان استفاده نمودند (Rosso et al., 2006). آن‌ها در تحقیقات خود مشاهده نمودند که با پیشرفت زمان، میزان پیچیدگی کاهش یافته و سیستم به رفتار منظم‌تری گرایش پیدا می‌کند. در بررسی پیچیدگی سیگنال‌های حاصله از تالاب، به دلیل پویایی بالای سیستم تالابی و وجود نوسانات طبیعی زیاد در این اکوسیستم‌ها، استفاده از روش موجک آنتروپی روش مناسبی می‌باشد. در این روش، سری زمانی به وسیله تبدیل موجک به چندین زیر سری در مقیاس‌های زمانی متفاوت تفکیک شده و سپس آنتروپی زیر سری‌ها محاسبه می‌شود. تبدیل موجک گسسته گزینه مناسبی برای داده‌های گسسته است. در حالت گسسته، تبدیل موجک فقط برای زیر مجموعه‌ای از مقیاس‌ها و موقعیت‌ها اعمال می‌شود. با اعمال تبدیل موجک بر روی سیگنال‌های حاصله از سنسورهای نصب شده در تالاب، دو دسته تقریب و جزئیات حاصل خواهد شد. تقریب‌ها شامل مولفه‌های مقیاس بالا و فرکانس پایین سیگنال است و جزئیات شامل مولفه‌های مقیاس پایین و فرکانس بالا می‌باشد.

پس از ارزیابی وضعیت تالاب یکی دیگر از گام‌های مهم در مدیریت، توانایی پیش بینی وضعیت آینده تالاب می‌باشد. در این راستا در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از محاسبات نرم میزان اکسیژن محلول در آب تالاب که شاخصه‌ای حیاتی برای ادامه حیات تالاب می‌باشد، مدلسازی شود.

۳-۶ مقدمه ای بر ارزیابی تالابی

همان گونه که در بخش های گذشته اشاره شد، یکی از گام های اساسی در راستای پایش تالاب ها طبقه بندی و ارزیابی شرایط فعلی تالاب می باشد. متأسفانه در کشور ایران با وجود برخورداری از انواع تالاب ها، استاندارد و روش خاصی جهت ارزیابی آن ها تعریف نشده است به همین سبب اکثر تالاب های ایران دچار مشکلات عدیده ای گشته اند به گونه ای که بسیاری از آن ها خاصیت خود را از دست داده و شاید دیگر نتوان آن ها را تالاب نامید. از همین رو سعی شد تا با بررسی های دقیق روشی ارائه شود که دقت مناسبی داشته و اجرای آن چندان زمان بر نبوده و هزینه اقتصادی چندان نیز نداشته باشد. همچنین سعی شد تا روش ارائه شده کاربردی بوده و نیاز به تخصص بالایی جهت انجام آن نباشد چرا که همواره متخصصان در دست رس نیستند و این امر نباید مانعی در جهت شناسایی و بررسی وضعیت تالاب ها باشد.

روشی که ارائه می شود نخستین بار در آفریقای جنوبی مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش، که توسط اکولوژیست آفریقایی اوبر هلستر طراحی شده (Oberhelster et al., 2014)، با تلفیق کیفیت آب و خواص فیزیکی تالاب سعی شده تا وضعیت تالاب مورد ارزیابی قرار گیرد. این روش بسیار کاربر- پسند بوده و پیچیدگی چندان در انجام و نتیجه گیری از آن وجود ندارد.

۳-۶-۱ طبقه بندی نوع تالاب

گام اول این روش شناسایی نوع تالاب می باشد که در توسعه و تکمیل آن برخی از اصلی ترین ویژگی های تالاب مورد استفاده قرار گرفته است که به شرح زیر می باشند:

(۱) هیدرولوژی و هندسه زمین اطراف: این دو مورد از شناخته شده ترین و اثرگذارترین شاخصه ها در پدید آمدن تالاب ها می باشند چرا که هیدرولوژی به بررسی جریان های ورودی و خروجی آب تالاب می پردازد در حالی که هندسه زمین شناختی منطقه، تعیین کننده اندازه، شکل، و عمق محتمل تالاب می باشد (Ellery et al., 2005).

۲) نوع تالاب: جهت تعیین نوع تالاب از روشی که در گزارش‌های سازمانی (DWA^۱ ۲۰۰۷) آمده است استفاده شده است.

۳) اندازه و مقیاس تالاب: در بررسی این شاخصه از دسته‌بندی‌هایی که توسط سیمینوک در سال ۱۹۸۷ انجام شده استفاده گردید (Semeniuk, 1987). در این مرحله از متر نواری و نقشه‌ای با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده می‌شود تا طول و وسعت تالاب تخمین زده شود البته با گسترش نقشه‌های هوایی نیز می‌توان این اندازه‌گیری‌ها انجام شود.

۴) نواحی تالابی: جهت تشخیص مرز تالاب می‌توان به رخدادهای آبی گذشته که اثرات آن مشخص باشد، خاک‌های غرق آبی موجود در منطقه و یا با شناسایی گونه‌های گیاهی که مختص تالاب‌ها می‌باشند، استفاده نمود. شایان ذکر است که روش‌های ذکر شده در تالاب‌های جنگلی کاربرد ندارد. جهت تشخیص گونه‌های گیاهی در این روش از مطالعات گربر استفاده شده است (Gerber et al., 2004)

۵) تغییرات تراز آب^۲: یکی از قسمت‌های اصلی تالاب می‌باشد و عامل تمایز میان گونه‌های مختلف ساکن در تالاب‌ها با سایر اکوسیستم‌ها می‌باشد (Semeniuk, 1995). همچنین این شاخصه فاکتوری اثرگذار در تعیین پاسخ‌های بیولوژیکی تالاب‌ها نسبت به تغییرات می‌باشد. مدت زمان و میزان آب موجود در تالاب‌ها رابطه مستقیمی به میزان بارش و تبخیر، مکانیزم بازیابی و تخلیه آب و شکل تالاب دارد که هر یک در این روش در نظر گرفته شده است.

با در نظر داشتن مطالب ذکر شده جدول ۳-۲ تنظیم شده است که بر اساس آن می‌توان نوع تالاب را بررسی نمود. تفاوت نام گذاری استفاده شده در این روش در نظر گرفتن شاخصه‌های هیدرولوژیکی، ساختار زمین شناسی و اکولوژی تالاب می‌باشد که جنبه فنی تری نسبت به سایر روش‌های تشخیص نوع تالاب دارد.

^۱Department of Water Affairs and Forestry

^۲Hydro period

جدول ۳-۲ معرفی انواع تالاب ها و مشخصات شناسایی

مدت زمان حضور آب	مرز تالاب	اندازه تالاب	هیدرولوژی و زمین شناسی	نوع تالاب
غالباً پر آب: عمدتاً در این چنین تالاب‌هایی آب به صورت دائمی موجود می‌باشد.	منطقه‌های علفزاری: مرز این گونه تالاب‌ها عمدتاً اشباع از آب بوده و در این نواحی گونه‌های گیاهی که در مناطق غیرتالابی نیز قابل مشاهده است وجود دارد. همچنین گونه‌های گیاهی که آب- دوست بوده و در نواحی اشباع فصلی رشد می‌کنند قابل مشاهده خواهند بود.	این گونه نواحی دارای اراضی نسبتاً بزرگی می‌باشد. ابعادی بزرگتر از $10km \times 10km$	زمین‌های صافی هستند که شیب زمین در این نواحی کمتر از ۱٪ می- باشد.	تالاب دریاچه‌ای: فرورفتگی‌های موجود در انتهای دره‌ها که ممکن است موقتی، فصلی و یا دائمی اشباع از آب باشد. برخلاف گودال- های آبی این گونه از تالاب‌ها در منتهی الیه خود خروجی دارند که آنها را به رودخانه‌ها و چشمه‌ها متصل می‌سازد.
				تالاب‌های کوه پایه‌ای: این گونه تالاب‌ها در اواسط و یا انتهای شیب کوه‌ها و تپه‌ها دیده می‌شود و غالباً منبع آب آن- ها چشمه‌های حاصله از آب‌های زیر زمینی می- باشد. این نوع از تالاب‌ها اکثراً با رودخانه‌ها و سایر تالاب‌ها در ارتباط می‌باشد...

ادامه جدول ۳-۲ معرفی انواع تالابها و مشخصات شناسایی

مدت زمان حضور آب	مرز تالاب	اندازه تالاب	هیدرولوژی و زمین شناسی	نوع تالاب
پر آب فصلی: آب- های سطحی در این نواحی به مدت مدیدی وجود دارند خصوصا در فصل- های پر آبی اما در فصل های خشک سال حضور آب کم رنگ تر می شود.	نقاط مرزی این گونه تالابها به صورت فصلی مرطوب و توسط گونه های گیاهی آب دوست (به گونه ای که ارتفاع کم تر از یک متر باشد پوشیده شده است. این گونه های گیاهی مختص مناطق است که به صورت فصلی مرطوب می شوند.	ابعاد این گونه تالابها عددی بین $500m \times 500m$ تا $1000m \times 1000m$ می باشد.	مجاری آبی وارده به تالاب ممکن است عمیق و یا کم عمق باشد اما همواره مرز این مجاری آبی که به نوعی کانال های آبی می باشند مشخص است.	تالاب های گودالی: این تالابها گودال- های آبی کوچکی هستند که آب زهکشی شده زمین های اطراف به سمت این چنین محیطی جریان داشته و خروجی در این نوع تالاب وجود ندارد.
			مجاری آبی که از میان دشت ها عبور می کنند	تالاب های رودخانه- ای: مجاری باریک، فرسایشی، رودخانه ای که آب را به صورت دائمی و یا فصلی از خود عبور می دهند.

ادامه جدول ۳-۲ معرفی انواع تالابها و مشخصات شناسایی

مدت زمان حضور آب	مرز تالاب	اندازه تالاب	هیدرولوژی و زمین شناسی	نوع تالاب
متناوبا غرق آب: در این حالت بستر تالاب اکثر اوقات نمایان است اما حضور آب متناوب است و خاک محیط مرطوب می ماند.	مناطق باتلاقی: این مناطق معمولا توسط گونه های گیاهی هایدروفیلی (چمن زار ها و نیزارهایی با ارتفاع بیش از ۱ متر) پوشیده شده و نواحی مرطوب دائمی و یا موقت قابل مشاهده خواهد بود	ابعاد این گونه تالابها عددی بین $100m \times 100m$ تا $500m \times 500m$ می باشد.	مجاری آبی که از میان دشت عبور می کند. در این حالت آب از طریق این مجاری وارد دشت شده و توسط آن نیز تخلیه می شود.	تالاب های رود مانند: نه های باریکی که به موازات رودخانه ها به وجود می آیند و عموما توسط خاکریزهای طبیعی از رودخانه جدا می شوند.
غرق آب فصلی: در این حالت خاک تالابها اشباع از آب بوده	مناطق آزاد آبی: در این زیست بومها گونه های گیاهی شناور بر سطح آب گونه مسلط می باشد. همچنین گونه های گیاهی غوطه ور در آب نیز قابل مشاهده خواهد بود.	ابعاد این گونه تالابها چیزی کمتر از $100m \times 100m$ می باشد	شیب زمین در این گونه از زیست بومها بیش از ۱٪ می باشد.	تالاب های جلگه ای مجرا دار: در این حالت نه های باریکی وجود دارند که آب را به صورت فصلی و یا موقت وارد تالاب می نمایند.

۳-۶-۲ روش ارزیابی خطر تالاب جهت ارزیابی وضعیت تالاب

لازم است جهت ارزیابی خطرات احتمالی که تالاب را تهدید می کنند و اندازه گیری محدودیت های اکولوژیکی، پروسه ی ارزیابی خطر در قالب محتوای اکولوژیکی گنجانده شود تا بتوان ارتباط اصلی میان عوامل مخرب و پاسخ تالاب تعیین شود (DWA, 2004a). در راستای نیل به این امر شناخت کافی از سه عامل هیدرولوژی، زمین شناختی و اکولوژی تالابی لازم است چرا که این عوامل از بخش های اصلی ساختار یک تالاب می باشد. همچنین می توان از این اطلاعات استفاده نمود و عواملی را که آغازگر پروسه های مخربی تالابی است را شناسایی کرد. پس می توان اذعان داشت که یکی از مهم ترین گام ها در جهت ارائه روش ارزیابی خطر تالاب شناسایی شاخصه های موثر در فرآیندهای طبیعی تالاب و اختصاص حدود برای این شاخص ها می باشد. در روش اسکوم این بازه ها به صورت زیر می باشد. شایان ذکر است که اولین گام در اجرای این متد تقسیم تالاب به ۴ ناحیه اکولوژیکی فرضی می باشد. نحوه تقسیم بندی سلیقه ای می باشد اما باید در نظر داشت که تقسیم بندی به گونه ای باشد که مساحت پوشش آن ها به هم نزدیک بوده و اختلاف زیادی نداشته باشند.

۳-۶-۳ اندازه گیری های میدانی

۳-۶-۳-۱ پایداری حاشیه

میزان فرسودگی حاشیه تالاب بر اساس مطالعات اسپنسر (۱۹۹۸) اندازه گیری و گزارش می شود که بدین شرح می باشد.

پایدار: اگر حاشیه تالاب به خوبی با پوشش گیاهی پوشیده شده باشد و پایداری مناسبی داشته باشد آن گاه در این گروه قرار گرفته و امتیاز ۵ می گیرد؛ خوب: اگر در برخی نقاط حاشیه ای فرسایش کوچکی مشاهده شود در این گروه قرار می گیرد و امتیاز ۴ به آن تعلق داده می شود؛ متوسط: اگر در بعضی بخش های حاشیه ای فرسایش مشاهده شود که به هم پیوسته باشند آن گاه آن تالاب به این گروه مربوط بوده و امتیاز آن ۳ می باشد؛ ضعیف: اگر بخش های زیادی از حاشیه دچار فرسایش شوند و پوشش گیاهی

ضعیفی وجود داشته باشد آن گاه می توان گفت که پایداری ضعیف بوده و امتیاز آن ۲ می باشد؛ ناپایدار: اگر فرسایش شدیدی در حاشیه تالاب حاکم بوده و پوشش گیاهی وجود نداشته باشد و در حاشیه شیب ایجاد شده باشد آن گاه پایداری حاشیه از میان رفته و امتیاز آن ۱ می باشد.

۳-۶-۲ میزان تحکیم سطحی خاک^۱

اگر خاک های مرطوب و چمنزارهای اطراف تالاب ها بیش از حد مورد عبور چهارپایان قرار گیرد، تراکم سطحی اتفاق می افتد که امری نامطلوب می باشد چرا که این گونه تراکم خاک باعث می شود که ریشه های سطحی گیاهانی که در این نواحی رشد می کنند از دست رفته و پوشش گیاهی ضعیف تر گردد که این امر باعث خواهد شد که در دراز مدت میزان فرسایش افزایش یافته و خاک های این نواحی در فصل های پر آبی از دست برود. همچنین از دست رفتن پوشش گیاهی اصلی می تواند در پدید آمدن گونه های گیاهی مهاجم و نامطلوب اثر گذاشته و بازبایی تالاب به شرایط طبیعی را مشکل سازد. جهت ارزش گذاری به این شاخصه با قراردادن نشانه هایی در اطراف تالاب به صورت تصادفی و شمارش تعداد رد پای حیوانات و اندازه گیری میانگین تعداد آن ها به دست می آید نحوه امتیاز دهی به این شاخصه در جدول ۳-۳ آمده است (Bacon et al., 1994).

۳-۶-۳ عرض نواری پوشش های گیاهی

امتیازدهی به این شاخصه بدین گونه است که تالاب رابه ۴ ناحیه تقسیم نموده و عرض پوشش های گیاهی موجود در حاشیه تالاب را بر حسب متر اندازه گیری نموده و بر اساس جدول ۳-۳ امتیاز حاصله محاسبه می شود.

بر اساس تحقیقات انجام گرفته مشخص شده است که پوشش گیاهی با عرض کمتر از ۵ متر اثر حمایتی چندانی در اکوسیستم تالاب نداشته و ضخامت های بیشتر از ۲۰ متر به عنوان مطلوب ترین حالت از نظر فیزیکی و بیولوژیکی برای تالاب ها در نظر گرفته می شود (Barling et al., 1994).

^۱Pugging

لازم به ذکر است که اگر در تالابی شیب نواحی اطراف متفاوت باشد به گونه‌ای که نتوان مرز مشخصی میان تالاب و خشکی قائل شد، آخرین حد آبی که اثرات آن مشهود باشد به عنوان مرز شناخته می‌شود.

۳-۶-۴ اندازه‌گیری شاخصه های اکولوژیکی

کیفیت آب تاثیر بسزایی در ساختار گیاهی و عملکرد تالابها دارد. پس لازم است تا در طراحی برنامه‌های پایش سلامت به آن توجه شود. نکته قابل توجه در مطالعه تالاب این است که این اکوسیستم‌ها در نگاه اول تفاوت بیولوژیکی چندانی با سایر پدیده‌های طبیعی آبی ندارد اما توالی وقوع سیلاب در تالاب‌ها می‌تواند آغازگر برخی پروسه‌های شیمیایی خاص باشد. همچنین تغییرات تراز آبی نیز از علل اصلی تفاوت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تالاب نسبت به سایر آب‌های سطحی باشد. با نظر به این تفاسیر دفتر حفاظت از تالاب‌های ایران اقدام به نصب و راه‌اندازی سنسورهای آنلاین اندازه‌گیری پارامترهای کیفی نموده است که هدف از انجام این تحقیق بهره‌وری بهینه از این دست اطلاعات می‌باشد.

پارامترهای مورد نیاز و توضیحات لازمه در زیر آورده شده است.

۳-۶-۴-۱ اندازه‌گیری میزان PH

این شاخصه در واقع نشان‌گر میزان تجمع آنیون‌های هیدروژن موجود در آب می‌باشد. اگر PH آب از عدد $7 \pm$ بیشتر باشد آب بازی و اگر کمتر از $7 \pm$ آب اسیدی می‌باشد. PH آب از معادله اسید کربنیک اثر می‌گیرد که در زیر آمده شده است.



این معادله نشان‌گر این امر است که جذب CO_2 توسط گیاهان به هنگام انجام فرآیند فتوسنتز می‌تواند PH آب را افزایش دهد این در حالی است که طی فرآیند تنفس گیاهان و آزاد شدن CO_2 ، میزان PH آب کاهش می‌یابد.

فرآیندهای هیدرولوژیکی نیز در میزان PH می تواند موثر باشد، بدین حالت که آب های وارده از بالادست، آب حاصل از بارش و یا آب های زیر زمینی می توانند بر این شاخصه اثرگذار باشند. لازم است توجه شود که آب های حاصل از بارش ها، عمدتاً به میزان کمی، اسیدی می باشند که می تواند بر PH آب تالاب اثرگذار باشد. با بررسی های زمین شناختی منطقه و شناسایی نوع خاک های موجود در منطقه مورد مطالعه اسیدی یا بازی بودن آب زیرزمینی تعیین می شود. اثر جریان آب های سطحی نیز بدین طریق قابل بررسی خواهند بود.

شایان ذکر است که در این روش ارزیابی تالاب بیشترین امتیاز به تالاب های اختصاص داده می شود که میزان PH آن ها در محدوده طبیعی ($7 \pm$) قرار گرفته باشد. اسیدی شدن آب تالاب می تواند باعث از دست رفتن گونه های اصلی و غالب در تالاب شده و اکوسیستم تالاب تنوع زیستی خود را از دست دهد. از سوی دیگر بازی بودن آب تالاب باعث رشد و توسعه فیتوپلنکتون ها، همچون جلبک سمی بلوگرین^۱ می شود.

۳-۶-۴-۱ نحوه کارکرد PH سنج

زمانی که دو فلز باهم تماس پیدا می کنند با توجه به تفاوت تحرک الکترون در آن ها اختلاف ولتاژ به وجود می آید. مشابه با این وقتی که یک فلز با یک مایع اسیدی یا نمکی تماس پیدا کند پتانسیل الکتریکی بوجود می آید که منجر به اختراع باطری ها شد. به همین ترتیب در تماس دو مایع با یکدیگر نیز پتانسیل الکتریکی ایجاد می شود اما برای جداسازی دو مایع از یکدیگر نیاز به یک غشا^۲ می باشد. یک PH سنج در اصل پتانسیل الکتروشیمی بین یک مایع معلوم در داخل الکترود شیشه ای و یک مایع مجهول در بیرون را اندازه گیری می کند. بدلیل اینکه حباب شیشه ای نازک بیشتر به یون های کوچک و سریع الانتقال هیدروژن اجازه فعل و انفعال با شیشه را می دهد، الکترود شیشه ای پتانسیل الکتروشیمی

^۱Bluegreen

^۲membrane

یون‌های هیدروژن یا پتانسیل هیدروژن را اندازه می‌گیرد. برای تکمیل مدار الکتریکی به یک الکترود مرجع نیاز می‌باشد. توجه داشته باشید که دستگاه فقط ولتاژ الکتریکی را می‌سنجد نه جریان را، با این حال برای تشکیل یک پل هدایت به الکترود شیشه ای نشستی جزئی یون‌ها از الکترود مرجع لازم می‌باشد. PH سنج پتانسیل الکتریکی بین کلرید جیوه در الکترود مرجع و مایع کلرید پتاسیم آن، مایع مجهول، محلول داخل الکترود شیشه ای، و پتانسیل بین این محلول و کلرید نقره را اندازه می‌گیرد. ولی تنها پتانسیل بین مایع مجهول و محلول داخل الکترود شیشه‌ای از یک نمونه به نمونه دیگری تغییر می‌کند. بنابراین مابقی ولتاژها بدون حضور در معادله سنجیده می‌شوند.

۳-۶-۴ رسانایی الکتریکی^۱

رسانایی در واقع اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی در یک محلول آبی می‌باشد و بستگی به میزان تجمع الکترولیت‌های موجود در آب دارد و واحد آن ($\mu\text{S}/\text{cm}$) می‌باشد. رسانایی الکتریکی بالا می‌تواند نشانگری از پویایی سیستم آبی باشد. ویژگی قابل توجه این شاخصه این است که می‌توان با استفاده از روابط ریاضی به شاخصه مهم کیفی دیگری نیز دست یافت. با ضرب میزان رسانایی الکتریکی در 0.67 با خطای قابل قبولی می‌توان ذرات جامد محلول (TDS) را بدست آورد (Teebitz et al., 2007).

تغییرات فصلی در رسانایی با افزایش فعالیت بیولوژیکی و واکنش‌های شیمیایی که حاصل از اکسید شدن مواد آلی است، اتفاق می‌افتد. شاید بتوان گفت که شوری آب یکی از اصلی‌ترین عوامل اثرگذار در میزان رسانایی الکتریکی آب می‌باشد چرا که با افزایش میزان شوری آب، تعداد کاتیون‌های موجود در آب افزایش یافته در نتیجه میزان رسانایی الکتریکی آب نیز افزایش خواهد یافت. شوری آب علاوه بر رسانایی الکتریکی، بر روی فعالیت‌های بیولوژیک تالاب نیز اثرگذار بوده و در رشد و یا عدم رشد برخی گونه‌های گیاهی نیز دخیل می‌باشد. سنسورهای سنجش هدایت الکتریکی معمولاً شامل ۴ عدد الکترود

^۱Electrical conductivity

از جنس پلاتین و به شکل استوانه‌ای می‌باشد. جریان متناوب به جفت الکترودهای بیرونی اعمال شده و پتانسیل بین جفت الکترودهای داخلی اندازه‌گیری می‌شود.

در این روش پیشنهادی، امتیازدهی بر اساس مطالعات هیلمن (Hillman, 1986) و کراب (Crabb, 1997) انجام گرفت. شایان ذکر است که امتیازدهی به این شاخصه در تالاب‌های گودالی (که روش تشخیص آن در قسمت قبل ارائه شده) و سایر تالاب‌ها با هم متفاوت خواهند بود علت این امر بالا بودن میزان تغییرات این شاخصه در تالاب‌های گودالی می‌باشد. امتیاز دهی به این گونه تالاب‌ها بر اساس اطلاعات حاصله از کرک و همکاران (Klrrerk et al., 2012)، فریا (Ferreira, 2010) و گرادلینگ و همکاران (Grundling et al., 2003) تصحیح گردید. نحوه امتیازدهی مربوط به این شاخصه نیز در جدول ۳-۳ آورده شده است.

۳-۶-۴-۳ اکسیژن محلول در آب DO

میزان تجمعی این شاخصه در آب، به عنوان پایانه‌ی پذیرنده الکترون در فرآیندهای هوازی، می‌تواند بر تجزیه مواد آلی در تالاب‌ها و همچنین بر حضور و گسترش بسیاری از ارگان‌های آبی که در تالاب‌ها ساکن هستند، اثرگذار باشد. میزان اکسیژن محلول در آب رابطه مستقیمی با میزان الکترون‌های موجود در آب داشته و عاملی تعیین‌کننده در فرآیندهای شیمیایی که در آب و خاک تالاب انجام می‌پذیرند، می‌باشد. این شاخصه عنصری مهم و کلیدی در تحلیل شرایط تالاب می‌باشد و اساس بسیاری از روش‌های ارزیابی تالاب‌ها می‌باشد.

آب جاری وارد بر تالاب‌ها و همچنین آب‌های زیرزمینی می‌توانند به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم با تاثیر بر دما و یا وارد کردن مواد آلی بر میزان اکسیژن محلول در آب اثر بگذارند. تغییرات فصلی و ناگهانی دمای آب می‌تواند در میزان اکسیژن محلول در آب اثرگذار باشد. همچنین فعالیت‌های فتوسنتزی گیاهان و سایر فرآیندهای هوازی می‌توانند در تغییرات میزان اکسیژن محلول در آب اثرگذار باشند.

نحوه طبقه‌بندی این شاخصه بر اساس مجموعه مقالات و تحقیقاتی است که در این زمینه انجام گرفته است که بازه هر گروه در جدول ۳-۳ ذکر گردیده است. روش اندازه‌گیری نوری و فلورسنت می‌باشد.

۳-۶-۴ پارامترهای کیفی آزمایشگاهی

نیتروژن

نیتروژن (نیترات، نیتريت، آمونیوم و نیتروژن کل) نیتروژن در اثر بارندگی، ذرات گرد و غبار و تخلیه فاضلاب به آبهای سطحی وارد میشود. در محیط‌های آبی، پدیده‌های آمونیفیکاسیون، نیتریفیکاسیون، جذب و دنیتریفیکاسیون ممکن است اتفاق بیافتد. فعالیتهای انسانی باعث افزایش نیتروژن در محیط آبی شده و بر مقادیر نیتروژنی که به طور طبیعی به آن وارد می شود افزایش میدهد. فاضلابهای شهری، صنعتی و کشاورزی علل مهمی در آلودگی آب به نیتروژن هستند. در دریاچه‌ها و تالابها نیتروژن معمولاً به صورت (NO_3^-) وجود دارد. وقتی که نیتروژن برای رشد جلبک مورد استفاده قرار میگیرد به آمینونیتروژن (-NH_2) احیا و سپس در ترکیبات آلی وارد می شود. جلبک پس از مرگ تجزیه شده و نیتروژن آلی در آب به صورت آمونیاک آزاد میگردد. بعضی ارگانیسمهای فتوسنتز کننده میتواند گاز نیتروژن را از اتمسفر گرفته و با تبدیل آن به نیتروژن آلی آن را تثبیت نمایند. مهمترین میکرو ارگانیسمهای تثبیت کننده نیتروژن در دریاچه‌ها جلبک یهای سبز آبی (سیانوباکتری ها) هستند. فرسایش خاک نیز از جمله منابع ورود نیتروژن به طبیعت هستند.

فسفر

فسفر در دریاچه‌ها، مخازن از منابع خارجی ناشی شده و در تالابها به شکل معدنی PO_4^{3-} جذب جلبک میگردد و وارد ساختار ترکیبات آلی میشود. وقتی جلبکها میمیرند در طول عمل تجزیه شدن آنها، فسفر به صورت معدنی آزاد میگردد. آزاد شدن فسفر از سلولهای جلبک مرده بسیار سریع صورت میگیرد با این حال به مرور فسفر از طریق تجزیه مواد آلی، رسوب شیمیایی به وسیله آهن، آلومینیوم،

کلسیم و مجاورت با ذرات رس ته نشین میشود. در بین همه نوترینت‌ها، تنها فسفر است که از طریق اتمسفر یا منبع طبیعی در دسترس نیست. به همین دلیل فسفر به عنوان نوترینت محدود کننده در دریاچه ها در نظر گرفته میشود. جهت کنترل اوتریفیکاسیون فسفرورودی به دریاچه یا تالاب باید کنترل و کاهش داده شود. چنانچه میزان فسفر در آب خروجی از دریاچه بیش از آب ورودی باشد میزان فسفر در دریاچه کاهش می‌یابد. غلظت فسفر آب رودخانه‌ای که از میان چراگاهها میگذرد امکان دارد بین ۱ الی ۴ میلی گرم در لیتر باشد. چنین غلظتی در رودخانه ها ی جاری مشکلی به وجود نمی‌آورد زیرا که به طور مرتب از آب خارج شده و آگ‌ها وقت کافی برای استفاده از فسفر و تجمع آن را ندارد. بنابراین، اوتریفیکاسیون فقط در دریاچه ها، خلیج ها، حوضچه‌های تثبیت و بعضی اوقات در رودخانه‌هایی که با سرعت کم در حرکت می‌باشند رخ می‌دهد.

سدیم

سدیم ، یک عنصر شیمیایی جدول تناوبی است که نماد آن Na و عدد اتمی آن ۱۱ می‌باشد. سدیم، یک فلز واکنش دهنده نرم و مومی شکل است که به گروه فلزات قلیایی که از نظر ترکیبات طبیعی فراوان هستند (خصوصا و هالیدها) تعلق دارد. این عنصر بسیار واکنش دهنده است و با شعله زرد رنگی می‌سوزد. در هوا ، اکسید می‌شود و به شدت با آب واکنش می‌دهد.

مدت زمان زیادی است که سدیم (soda) بصورت ترکیبی شناخته شده است. این عنصر در سال ۱۸۰۷ توسط "Sir Humphry Davy" از طریق عمل الکترولیز هیدروکسید سدیم جدا شد. در اروپای قرون وسطی ، ترکیبی از سدیم با نام لاتین Sodanum برای تسکین سردرد استفاده می‌شد. نماد جدید سدیم Na از لاتین جدید Natrium که در زبان یونانی که نوعی نمک طبیعی است می‌آید گرفته شده است. سدیم حدودا ۲,۶٪ از پوسته زمین را به خود اختصاص داده است که چهارمین عنصر از نظر فراوانی در پوسته زمین و فروانترین فلز قلیایی می‌باشد. این عنصر هم‌اکنون به‌صورت اقتصادی از عمل الکترولیز کلرید سدیم تولید می‌شود. این روش ارزان‌تر از روش الکترولیز هیدرواکسید سدیم است.

سدیم مانند دیگر فلزات قلیایی، نرم، سبک وزن، سفید مایل به نقره‌ای و واکنش دهنده است و از این جهت هرگز به صورت آزاد در طبیعت یافت نمی‌شود. سدیم در آب غوطه‌ور شده، آن را تجزیه کرده، هیدروژن آزاد می‌کند و هیدرواکسید می‌سازد. سدیم در آب فوراً آتش می‌گیرد، ولی در هوای معمولی در دمای زیر ۳۸۸ کلوین آتش نمی‌گیرد.

سدیم در حالت فلزی، عنصر لازم برای ساختن استرها و ترکیبات آلی می‌باشد. این عنصر قلیایی بوجود آورنده کلرید سدیم NaCl است که برای زندگی حیاتی است نیز می‌باشد. استفاده در ساخت صابون و ترکیبش با اسیدهای چرب، آلیاژ سدیم و پتاسیم، یک ماده مهم منتقل کننده حرارت است.

نمک طعام یا کلرید سدیم، معمول‌ترین ترکیب سدیم است. اما سدیم در کانی‌های بسیار دیگری از قبیل آمفیبول، کریولیت، هالیت، soda niter، زئولیت و ... وجود می‌آید. ترکیبات سدیم برای صنایع شیمیایی شیشه‌سازی فلزی ساخت کاغذ صنعت نفت، ساخت صابون و نساجی کاربرد دارد. صابون معمولاً یک نمک سدیم از اسیدهای چرب است. ترکیبات سدیم که برای صنایع گوناگون بسیار مهمند، عبارتند از (NaCl, soda ash):
 Chile saltpeter (NaOH), caustic soda (NaHCO₃), baking soda (Na₂CO₃),
 * sodium thiosulfate (hypo, Na₂S₂O₃), di- and tri-sodium phosphates, (NaNO₃),
 and borax (Na₂B₄O₇ * 10H₂O), 5H₂O) برای این عنصر ۱۳ ایزوتوپ شناسایی شده است که تنها ایزوتوپ پایدار آن Na-23 می‌باشد. سدیم همچنین دو ایزوتوپ رادیو اکتیو نیز دارد که عبارتند از Na²²: با نیم عمر 2.605 سال و Na²⁴ با نیمه عمر ۱۵ ساعت. ترکیبات سدیم به صورت طبیعی به آب می‌ریزند. همانطور که قبلاً ذکر شد، سدیم از سنگ و خاک ناشی می‌شود. نه تنها دریاها، بلکه رودخانه‌ها و دریاچه‌ها نیز حاوی مقادیر قابل توجهی از سدیم هستند. اما بسته به شرایط زمین شناسی و آلودگی فاضلاب، این غلظت‌ها بسیار پایین هستند.

پتاسیم

وزن پوسته زمین را تشکیل می‌دهد و از نظر فراوانی هفتمین عنصر در آن می‌باشد. به دست آوردن پتاسیم از کانی‌ها به دلیل خاصیت نامحلولی و ماندگاری آن بسیار دشوار است. با این وجود، مواد معدنی دیگر مانند Carnallite, Langbeinite, Polyhalite و Sylvite در بستر دریاها یا دریاچه‌های قدیمی یافت می‌شوند. مواد معدنی بسیار زیاد ته‌نشین شده در این برکه‌ها عمل استخراج پتاسیم و نمک آن را اقتصادی‌تر می‌کند. منابع مهم پتاسیم و پتاس منابعی در کالیفرنیا، آلمان، نیومکزیکو، یوتا و دیگر نقاط زمین می‌باشد. در عمق ۳۰۰۰ فوتی زیر بستر Saskatchewan، مقادیر عظیمی از پتاس وجود دارد که می‌تواند به عنوان یک منبع مهم برای این عنصر در آینده در نظر گرفته شود. اقیانوسها نیز منابع دیگری برای پتاسیم می‌باشند، اما در مقایسه با سدیم مقدار پتاسیم موجود در یک حجم معین از آب دریا بسیار کم است. پتاسیم در صورت عمل الکترولیز می‌تواند به اجزای هیدروکسیدش تجزیه شود. از روش‌های حرارتی نیز برای تولید پتاسیم استفاده می‌شود. پتاسیم هرگز به صورت رها شده در طبیعت یافت نمی‌شود. با این وجود، یونهای K^+ در ارگانوسمهای زنده برای فیزیولوژی سلولهای تحریکی بسیار مهم هستند.

جذب پتاسیم به داخل سیتوپلاسم یا واکنول‌های سلول‌های ریشه از طریق جذب فعال است و نیاز به انرژی دارد. بین غلظت پتاسیم محلول اطراف ریشه و مقدار جذب پتاسیم بوسیله گیاه رابطه مستقیم وجود دارد. میزان پتاسیم قابل جذب در خاک‌های مختلف معمولاً در حدود ۱/۰ درصد میزان کلسیم قابل جذب می‌باشد، با این حال مقدار پتاسیم گیاه معمولاً ۱۰ برابر کلسیم می‌باشد و این نشان می‌دهد که گیاه قدرت انتخابی شدیدی برای برخی عناصر مورد نیاز خود دارد.

پتاسیم در فیزیولوژی گیاه از قبیل: فعال شدن آنزیم‌ها، ساختن پروتئین‌ها، فتوسنتز، بزرگ شدن سلول، باز و بسته شدن روزنه‌ها و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی نقش دارد. همچنین پتاسیم در درختان میوه‌ای بزرگ شدن میوه‌ها را باعث می‌شود. رنگ نارنجی مرکبات و رنگ قرمز در سیب و

هلو تابعی از غلظت پتاسیم در گیاه می‌باشد. کمبود پتاسیم در گیاهان در ابتدا منجر به بروز علائم ظاهری و نشانه‌های قابل دیدن نمی‌شود، بلکه ابتدا فقط کاهشی در میزان رشد و عملکرد وجود دارد که به آن اصطلاحاً گرسنگی پنهان گفته می‌شود و تا زمانی که کمبود پتاسیم شدید نباشد، حتی تا پایان فصل رشد نیز علائم ظاهری همچنان بروز نکرده اما کاهش عملکرد در این شرایط قطعی خواهد بود. به دلیل موبایل بودن این عنصر نشانه‌های ظاهری کمبود پتاسیم ابتدا بر روی دومین و سومین برگ‌های پیرتر ظاهر می‌شود. در پیرترین برگ‌ها اغلب زردی و سوختگی از نوک و حاشیه برگ‌ها شروع شده و به سمت پهنک توسعه پیدا می‌کند

۳-۶-۴-۵ پوشش گیاهان آبی

جهت امتیازدهی به این شاخصه، میزان پوشش آب‌های تالاب توسط گیاهان شناور، غوطه‌ور و مستغرق اندازه‌گیری شده و براساس مطالعات پرسبی (Pressey, 1987) و میکل (Mitchell, 1990) به آن‌ها امتیاز داده می‌شود. پوشش کل سطح آب تالاب توسط گیاهان امری نامطلوب می‌باشد که معمولاً بر اثر غنی بودن آب از مواد آلی واقع می‌شود. ایده آل‌ترین شرایط تالاب زمانی حاصل می‌شود که ۵۰٪ -۸۵٪ از سطح آب تالاب توسط گیاهان پوشیده شده باشد.

۳-۶-۴-۶ میزان حضور جلبک‌ها

طبقه‌بندی این شاخصه که نشانه‌ای از میزان حضور مواد آلی در تالاب می‌باشد، توسط تحقیقات اوبرهولستر و همکاران (Oberholster et al., 2010) انجام شده است.

باید توجه نمود که حضور گسترده جلبک‌ها در تالاب‌ها را همواره نمی‌توان مربوط به میزان بالای مواد آلی در آب تالاب دانست. اگر مشخص شود که در اطراف تالاب مورد بررسی معدنی قرار دارد که تداخل آب‌های سطحی و زیر زمینی با این معادن باعث کاهش میزان PH آب شود و نهایتاً این آب‌ها

باعث کاهش میزان PH آب تالاب شود^۱(AMD) آنگاه می توان نتیجه گیری نمود که حضور جلبک ها بر اثر اسیدی شدن آب تالاب می باشد (Niyogi et al., 1999).

۳-۶-۴-۷ پراکندگی گونه های گیاهی

جهت امتیازدهی به این شاخصه از طبقه بندی گیاهان در لایه های مختلفی که توسط ویلیامز (Williams, 1983) انجام شده است استفاده گردید که شامل ۵ لایه گیاهی به شرح زیر می باشد:

- ۱- گونه هایی که در سطح آب شناورند. ۲- گونه های شناور آزاد در زیر آب. ۳- گونه هایی که ریشه در آب داشته اما قسمت اعظمی از آن ها خارج از آب قرار دارد. ۴- گونه هایی که ریشه در عمق دارند اما ساقه های آن مستغرق در آب می باشد. ۵ - گونه های کاملاً مستغرق. امتیازات مربوطه در جدول ۳-۳ ذکر گردیده است.

در نهایت با انجام اندازه گیری های میدانی و وارد نمودن میانگین چهار قسمت فرضی در جدولی مشابه جدول شماره ۳-۳، امتیاز تالاب از ۳۶ حساب می شود. پس احتساب امتیاز تالاب لازم است تا آن را به درصد تبدیل نماییم. با محاسبه درصد امتیاز تالاب و با رجوع به جدول ۳-۴ می توان شرایط فعلی تالاب را ارزیابی نمود.

^۱Acid Mine drainage

جدول ۳-۳ نمونه جدول امتیازدهی روش اسکوم که در بررسی تالابها از این گونه جداول استفاده می-

شود. (Oberhelster et al., 2014)

نتایج ارزیابی تالابی								
شاخصه‌های میدانی	واحد	میانگین مقدار	بازه‌ی امتیاز دهی					امتیاز نهایی
			۴	۳	۲	۱	۰	
رسانایی الکتریکی	($\mu\text{S/cm}$)		۲۹۲-۰	۸۳۳-۲۹۳	۲۵۰۰-۸۳۴	۵۸۳۳-۲۵۰۱	> ۵۸۳۳	
رسانایی الکتریکی (پن)	($\mu\text{S/cm}$)		۴۱۸-۰	۲۴۵۰-۴۱۹	۷۸۳۲-۲۴۵۱	۱۱۶۰۰-۷۸۳۳	> ۱۱۶۰۰	
PH			۷,۵-۷,۰۵	۷,۰-۶,۶۱	۶,۶-۶,۲۱ ۸,۰-۷,۵۱	۶,۲-۶,۰	> ۸ یا < ۶	
DO	mg/l		< ۷	۰,۷-۵,۰۱	۵,۰-۲,۰۱	۲,۰-۱,۵	$< ۱,۵$	
شاخصه‌های فیزیکی تالاب								
عرض پوشش گیاهی	m							
میزان تحکیم سطحی								
پایداری حاشیه								
پوشش گیاهان آبی	%							
میزان حضور جلبک‌ها	mm ²							
میزان پراکندگی گیاهان								
مجموع امتیازات								
درصد								
نوع تالاب								

جدول ۳-۴ طبقه بندی وضعیت تالابی بر اساس مطالعات میدان (Oberhelster et al., 2014).

طبقه بندی تالاب	امتیاز بر حسب درصد (%)	توضیحات
نوع A	۹۰-۱۰۰	تغییری در اکو سیستم وجود ندارد و سیستم روال طبیعی خود را طی می کند
نوع B	۸۰-۹۰	تالاب دستخوش تغییرات کم است و تغییرات جزئی در نوع پوشش گیاهی و گونه های ساکن در این گونه تالابها مشاهده می شود اما فعالیت های اکولوژیکی اصلی تالاب بدون تغییر است
نوع C	۶۰-۸۰	تغییرات متوسط در تالاب، برخی از گونه های ساکن ممکن است که از دست رفته باشد و یا تغییراتی در نوع گونه ها رخ داده باشد اما در مشخصه های اساسی اکو سیستم تغییرات زیادی وجود ندارد
نوع D	۴۰-۶۰	تغییرات زیاد تالاب، مقدار زیادی از گونه های گیاهی و جانوری ساکن از دست رفته و فعالیت های اصلی تالاب دست خوش تغییر گشته است.
نوع E	۲۰-۴۰	تغییرات شدید تالاب، مقدار زیادی از گونه های گیاهی و جانوری ساکن از دست رفته و فعالیت های اصلی تالاب دست خوش تغییر گسترده گشته است.
نوع F	۰-۲۰	تغییرات بحرانی تالاب، مقدار زیادی از گونه های گیاهی و جانوری ساکن از دست رفته و فعالیت های اصلی تالاب دست خوش تغییر بحرانی و اکو سیستم در آستانه ی نابودی است.

باید توجه نمود که برای ارائه برنامه جامع مدیریتی نیاز به بررسی همه جانبه تالاب داریم. به همین سبب در این روش توصیه می شود تا با بررسی مناطق اطراف تالاب و کاربری اراضی، عوامل انسانی که بر فرآیندهای اکولوژیکی تالاب اثر می گذارند شناسایی و گزارش شود. در این روش پیشنهاد شده است که با بررسی عوامل مختلف جدولی تهیه شده و به آن ها از ۰ تا ۲ امتیاز داده شود. هر چه پدیده اثر مخرب بیشتری داشته باشد امتیاز آن بالاتر است.

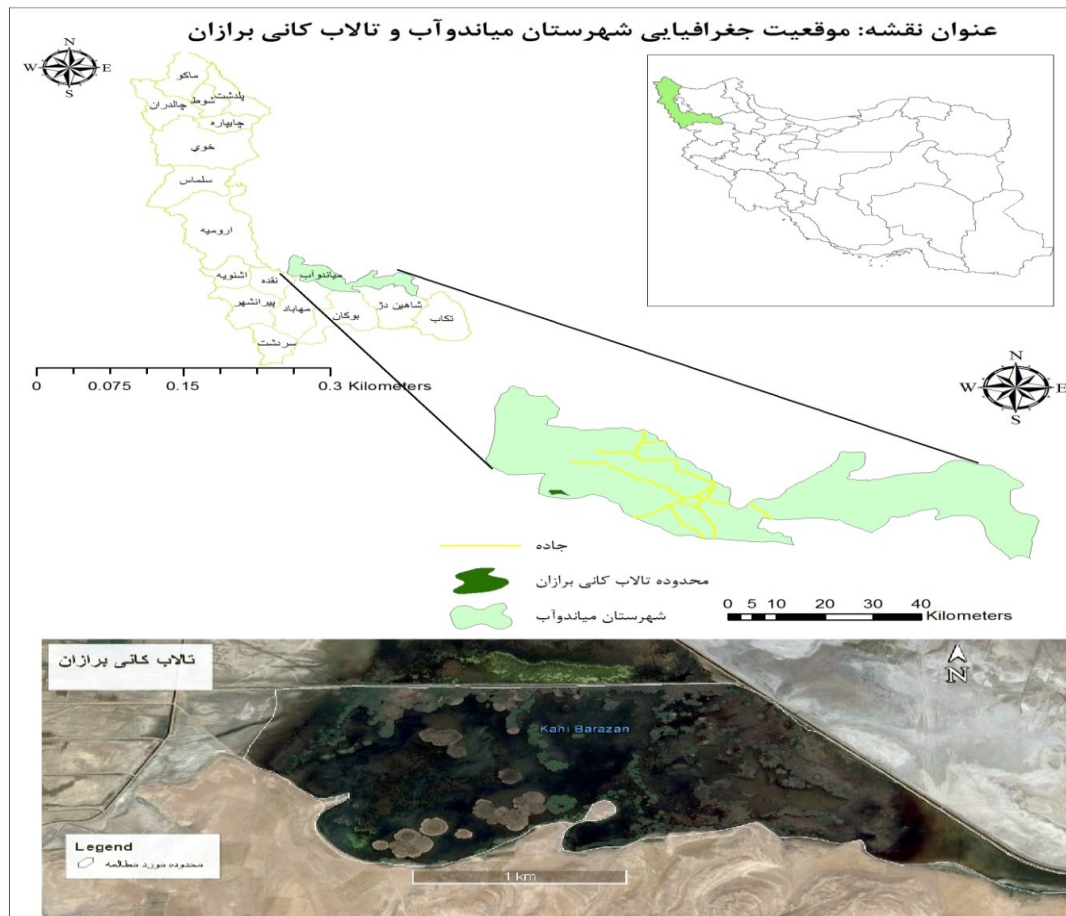
۳-۷ مناطق مورد مطالعه

جهت تدوین این پایان نامه از اطلاعات حاصله از دو تالاب کانی برازان واقع در استان آذربایجان غربی و تالاب چغاخور واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد، استفاده گردیده است که وضعیت تالابها در قسمت‌های بعد مورد بحث قرار می‌گیرد شایان ذکر است به جهت هرچه بهتر انجام گرفتن پژوهش و امکان تحلیل واقع‌گرایانه‌تر، هر ۲ تالاب طی چند دوره و در فصول مختلف مورد بازدید و ارزیابی قرار گرفته است.

۳-۷-۱ تالاب کانی برازان

تالاب کانی برازان در قسمت شمالی حوزه آبریز رودخانه مهاباد چای در جنوب دریاچه ارومیه واقع گردیده است (شکل ۳-۱۷) از نظر جغرافیائی این تالاب در مختصات 46° ، 45° طول شرقی و 59° ، 36° عرض شمالی و در ارتفاع حدود ۱۲۷۰ متر از سطح متوسط دریا قرار دارد. این تالاب بخشی از یک ناحیه وسیع تالابی در پائین‌دست حوزه آبریز رودخانه‌های مهاباد چای و سیمینه‌رود است که در شمال و شرق روستای قره‌داغ گسترده شده و تا تالاب گروس امتداد دارد. احداث زهکش اصلی ساحل راست شبکه آبیاری مهاباد تالاب کانی برازان را از بقیه اراضی تالابی مجاور جدا کرده است.

قره‌داغ، بفروان، قلعه حسن و خورخوره روستاهای پیرامون تالاب هستند. تالاب در حوزه اداری شهرستان مهاباد در استان آذربایجان غربی واقع است.



شکل ۳-۱۷ تصویر ماهواره‌ای از تالاب کانی برازان (مدیریت جامع منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه).

تالاب کانی‌برازان در شمال کوه قره داغ واقع گردیده و به سمت شمال در پهنه‌های ساحلی جنوب دریاچه ارومیه امتداد می‌یابد. در کناره کوه قره داغ، تالاب عمیق‌تر (عمق حدود ۱ متر) و بستر آن در بخش‌های حاشیه‌ای سنگلاخی و تا حدودی ناهموار است، اما به سمت شمال از عمق آن کاسته می‌شود (کمتر از ۰/۵ متر).

از اراضی تالابی بهره‌برداری عمده‌ای صورت نمی‌پذیرد. در بخش‌های کم عمق‌تر تالاب (تمامی تالاب شمالی و حواشی تالاب جنوبی)، گه گاه گاومیش‌های روستاهای مجاور چرا می‌کنند. از دریاچه تالاب به عنوان شکارگاه پرندگان آبی و در درجه بعد برای ماهیگیری استفاده می‌شود. نی‌های تالاب نیز

گهگاه برای کارهای ساختمانی برداشت می‌شود. تپه‌های واقع در حاشیه جنوبی تالاب عموماً جهت کشت گندم دیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. اراضی تالاب جزو منابع طبیعی و متعلق به دولت است. در شکل ۳-۱۸ نمایی از تالاب مشخص است که در نواحی اطراف آن زمین‌های زراعی دیمی مشاهده می‌شود. شایان ذکر است که در نواحی مجاور تالاب کشاورزی به صورت دیمی است اما در قسمت‌هایی که کمی با تالاب فاصله دارند از آب‌های سطحی و زیرزمینی در بخش کشاورزی استفاده گسترده می‌شود.



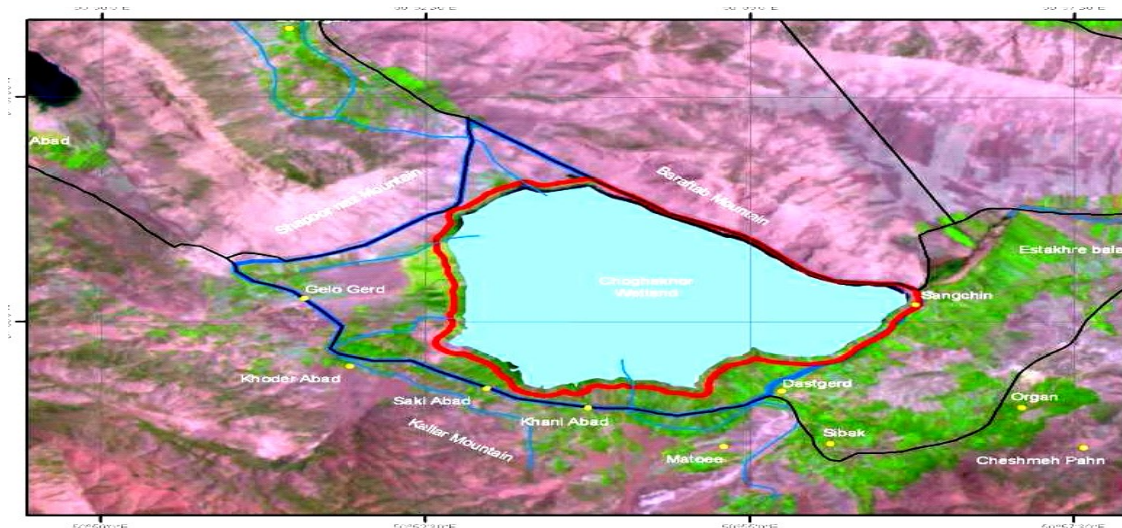
شکل ۳-۱۸ نمایی از ضلع غربی تالاب و زمین‌های کشاورزی دیمی

اقلیم منطقه نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل است. میانگین حداکثر درجه حرارت ماهانه ۳۲/۶ درجه سانتی‌گراد در مرداد و میانگین حداقل آن ۴- درجه سانتی‌گراد در دی ماه است. میانگین بارش سالیانه ۴۱۰ میلی‌متر است و بیشترین بارش در فاصله زمانی ابتدای پائیز تا اواسط بهار رخ می‌دهد. بارش در ماه‌های تابستان کمتر از ۵٪ کل بارش سالیانه را تشکیل می‌دهد. در طول ماه‌های سرد زمستان بارش عموماً به شکل برف رخ می‌دهد.

۳-۲-۲ تالاب چغاخور

تالاب چغاخور در جنوب غربی ایران در استان چهارمحال و بختیاری به عنوان بیست و سومین تالاب بین‌المللی ایران در فهرست تالاب‌های عضو کنوانسیون رامسر ثبت شده است. دسترسی به این تالاب از

طریق جاده آسفalte بروجن، ناغان و شهر کرد امکان پذیر است. این تالاب با فاصله ۴۵ کیلومتر از بروجن و ۶ کیلومتر از شهر گهرو واقع شده است. ضلع شمالی تالاب با فاصله کمی از جاده شهر کرد- بروجن دارای سواحل سنگریزه‌ای و قلوه سنگی می‌باشد که به جهت دسترسی راحت بوده و مورد استفاده‌های تفرجی و به خصوص ماهیگیری با قلاب قرار می‌گیرد. این ضلع تالاب از عمق آب بیشتری برخوردار بوده و سد خاکی چغاخور نیز در همین قسمت واقع شده است. جهت جنوبی تالاب نیز در بخش آبی مهم‌ترین زیستگاه پرندگان است و در خشکی دارای کاربری‌های زراعت، باغداری و دامداری سنتی می‌باشد. روستاهای واقع در جنوب تالاب، مهم‌ترین سکونت‌گاه انسانی حاشیه تالاب به حساب می‌آیند. ضلع غربی تالاب بسیار عریض و از شیب بسیار ملایمی برخوردار است که از کم عمق‌ترین نقاط تالاب محسوب می‌شود و محل تجمع و زیست پرندگان آبی و کنار آبی می‌باشد. این اکوسیستم با مساحتی حدود ۱۵۰۰ هکتار در دامنه ارتفاعات بر آفتاب در شمال و کوه کلار در جنوب در شهر بلداجی واقع گردیده است که جانمایی و نقشه هوایی این تالاب در شکل ۳-۱۹ قابل مشاهده است.



شکل ۳-۱۹ نقشه هوایی تالاب چغاخور.

فصل چہارم

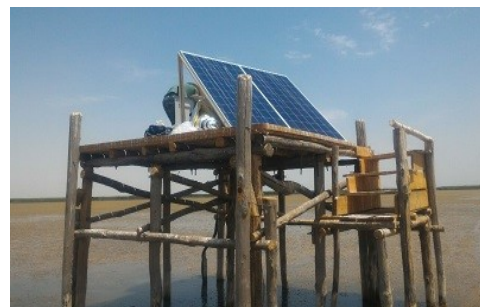
نتیجہ و بحث

۴-۱ مقدمه‌ای بر پایش سلامت تالاب

تالاب‌ها خدمات ارزنده‌ای به جوامع بشری ارائه می‌دهند و می‌توان ادعا نمود که سلامت انسان‌ها وابسته به سلامت تالاب‌ها می‌باشد. از همین روی نیاز است تا وضعیت سلامت تالاب‌ها با استفاده از معیارهای مناسبی مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان در راستای حفظ و بهبود شرایط این زیست بوم‌ها گام‌های موثری برداشت. در کشور ایران نیز با افزایش آگاهی جوامع و مسئولان، تلاش‌های زیادی در راستای حفظ و بهبود وضعیت تالاب‌ها انجام شده است اما علی‌رغم تمام فعالیت‌های انجام گرفته تا به حال روش جامع و کاربردی جهت ارزیابی وضعیت تالاب‌ها معرفی نشده است. در این پایان‌نامه با بررسی روش‌های مختلف ارزیابی تالاب و با در نظر داشتن محدودیت‌های موجود، روش ماتریسی سلامت تالاب که اختصاراً «اسکوم» نیز نامیده می‌شود جهت سنجش سلامت تالاب‌های کانی برازان و چغاخور استفاده گردید. عمده علت انتخاب این روش، کم‌هزینه و زمان‌بر نبودن آن می‌باشد. یکی دیگر از اهداف این پایان‌نامه ارزیابی عملکرد و کارایی ایستگاه‌های پایش آنلاین نصب شده در تالاب‌های کانی برازان و چغاخور می‌باشد. این ایستگاه‌ها که متشکل از چندین حسگر اندازه‌گیری کیفی آب و حسگرهای اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولوژیکی می‌باشد. تصاویر ایستگاه‌های پایش آنلاین در شکل ۴-۱ آورده شده است.



ب



الف

شکل ۴-۱ ایستگاه‌های پایش آنلاین. الف) ایستگاه نصب شده در تالاب کانی برازان. ب) ایستگاه تالاب چغاخور

این حسگرهای هوشمند به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که در بازه‌های ۱ ساعته اطلاعات اندازه‌گیری شده را در حافظه‌ی خود ذخیره نموده و با اتصال به اینترنت داده‌های ذخیره شده را از طریق وب

سایت <http://woms.doe.ir>، در اختیار کاربر قرار می‌دهد. شایان ذکر است که مدت زمان نمونه برداری در تالاب چغاخور بیشتر از تالاب کانی برازان می‌باشد. همچنین حسگرهای اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب در تالاب چغاخور کامل‌تر از تالاب کانی برازان بوده و داده برداری را در سه ارتفاع ۰/۳، ۰/۸۵ و ۱/۴ متر انجام می‌دهد. از همین روی در بحث‌های مدل سازی و موجک- آنتروپی صرفاً از سری‌های زمانی حاصل از تالاب چغاخور استفاده گردید.

۲-۴ تحلیل مقدماتی آماری

قبل از ورود به بحث‌های مدل‌سازی لازم است تا از مشخصات آماری داده‌هایی که از آن استفاده می‌نماییم آگاهی داشته باشیم. در جدول ۴-۱ مشخصات آماری داده‌های ایستگاه چغاخور آورده شده است. لازم به ذکر است که به منظور ارائه داده‌ها به شبکه FCM-ANFIS داده‌های ساعتی به داده‌های روزانه تبدیل شده‌اند. که در محاسبات این بخش نیز از داده‌های روزانه استفاده شده است.

جدول ۴-۱ مشخصات آماری پارامترها

پارامترها	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف معیار	واریانس
روزانه DO 0.85m	۰	۱۵/۰۴	۷/۵۱	۲/۷۵	۷/۵۷
روزانه DO 0.3m	۴۷/۲	۱۹/۱۴	۸/۸۹	۲/۰۹	۴/۳۹
روزانه DO 1.4m	۰	۱۱/۱۰	۵/۳۷	۳/۱۱	۹/۷۱
روزانه EC 0.3m	۲۴۴/۷۳	۵۴۹/۱۷	۳۲۲/۵۳	۵۷/۰۵	۳۲۵۴/۸۹
روزانه EC 0.85m	۶۹/۹۳	۶۷۴/۹۱	۳۶۶/۹۹	۱۰۶/۶۴	۱۱۳۷۳/۱
روزانه EC 1.4m	۶۴/۷۳	۶۷۴/۲۹	۳۶۰/۶۶	۱۳۰/۳۸	۱۶۹۹۹/۵
روزانه دمای آب 0.3m	۱/۲۵	۲۴/۴۳	۱۳/۹۶	۶/۵۸	۴۳/۳۱
روزانه دمای آب 0.85m	۱/۹۴	۲۴/۵۹	۱۳/۴۹	۶/۲	۳۸/۴۵
روزانه دمای آب 1.4m	۲/۲۷	۲۴/۵۴	۱۳/۲۲	۵/۵۸	۳۴/۳۱
روزانه دمای هوا	۱/۱۳	۲۸/۰۸	۱۴/۷۷	۷/۸۱	۶۱
روزانه رطوبت نسبی هوا	۴/۱۶	۸۹/۸۱	۴۶/۵۱	۱۶/۷۴	۲۸۰/۲۹۷
روزانه عمق آب	۰/۹	۲/۰۷	۱/۴۷	۰/۲۹	۰/۸۵
روزانه فشار هوا	۸۵/۴۲۹	۱۰۶۶/۳۷	۷۸۹/۸۹	۱۹/۹۱	۳۶۹/۷۷

حال برای درک بهتر مسئله و نحوه اثرگذاری داده‌ها بر روی یکدیگر از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می‌نماییم. اما لازمه استفاده از این روش حصول اطمینان از توزیع نرمال پارامترها می‌باشد. جهت اطمینان از نرمال بودن توزیع پارامترها از آزمون چولگی و کشیدگی استفاده شد. بدین صورت که این دو شاخص آماری برای هر پارامتر اندازه‌گیری شد. که اگر میزان این شاخص‌ها در بازه (۲ و -۲) باشد آنگاه نتیجه‌گیری می‌شود که داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند.

جدول ۴-۲ چولگی و کشیدگی پارامترها

کشیدگی	چولگی	نام پارامتر
۰/۴۰۴	-۰/۳۱۲	اکسیژن محلول در عمق ۰/۳ متر
۱/۳۶	-۰/۸۹۲	اکسیژن محلول در عمق ۰/۸۵ متر
-۱/۴۱	-۰/۳۹۳	اکسیژن محلول در عمق ۱/۴ متر
۰/۵۲	۰/۹۸	رسانایی الکتریکی در عمق ۰/۳ متر
-۰/۱۱۲	-۰/۱۸۷	رسانایی الکتریکی در عمق ۰/۸۵ متر
-۰/۴۶۴	-۰/۴۴۵	رسانایی الکتریکی در عمق ۱/۴ متر
۱/۲۲۹	-۰/۳۴۷	دمای آب در عمق ۰/۳
-۱/۲۱	-۰/۳۶۰	دمای آب در عمق ۰/۸۵
-۱/۱۱۸	۰/۳۸۸	دمای آب در عمق ۱/۴
-۱/۴۴	-۰/۰۲۳	دمای هوا
-۰/۱۵۷	۰/۴۷۷	رطوبت هوا
-۰/۵۴۳	۰/۱۸۲	عمق آب
۲۴/۹	-۲/۶	فشار هوا

همان‌گونه که مشخص است تمام پارامترها به جز فشار هوا در بازه (۲ و -۲) قرار دارند. با استفاده از تبدیل لگاریتمی داده‌های مربوط به فشار هوا نیز نرمال‌سازی شد. در مرحله بعد جهت تشخیص ارتباط خطی میان پارامترهای ایستگاه پایش چغاخور ضریب همبستگی میان داده‌های مختلف محاسبه گردید. نتایج حاصله از این محاسبات در جدول ۴-۳ آورده شده است. در مباحث آماری، ضریب همبستگی

پیرسون یا ضریب همبستگی حاصل ضرب-گشتاور پیرسون میزان همبستگی خطی بین دو متغیر تصادفی را می‌سنجد. میزان این شاخصه از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (۱-۴)$$

که در آن cov کوواریانس، σ_x انحراف معیار متغیر، μ_x میانگین متغیر و E امید ریاضی را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴ ضریب همبستگی میان پارامترها

	DO 0.3m	DO 0.85m	DO 1.4m	EC 0.3m
DO 0.3m	۱	۰/۹۰۳**	۰/۱۷۹**	۰/۰۷
DO 0.85m	۰/۹۰۳**	۱	۰/۳۸۱**	۰/۰۱۸
DO 1.4m	۰/۱۷۹**	۰/۳۸۱**	۱	۰/۲۴۹**
EC 0.3m	۰/۰۷	۰/۰۱۸	۰/۲۴۹**	۱
EC 1.4m	-۰/۲۹۶**	-۰/۲۵۲**	۰/۰۴۳	-۰/۴۳۷**
EC 0.85m	-۰/۲۱۷**	-۰/۱۵۴**	۰/۲۹۸**	-۰/۱۴۷*
Water temp 0.3	-۰/۱۷۴**	-۰/۰۹۵	-۰/۳۱۷**	-۰/۸۰۱**
Water temp 0.85	-۰/۱۶۸**	۰/۰۷۶	-۰/۲۹۰**	-۰/۸۰۶**
Water temp 1.4	-۰/۲۵۵**	-۰/۱۲۳*	-۰/۲۷۵**	-۰/۷۸۱**
Air temp	-۰/۲۹۷**	-۰/۲۷۳**	-۰/۴۴۷**	-۰/۷۴۱**
humidity	۰/۱۶۱**	۰/۰۹۶	۰/۱۵۸**	۰/۵۶۳**
Air pressure	۰/۰۹۴	۰/۰۵۱	-۰/۰۰۹	-۰/۲۶۵**
Water level	۰/۲۹۵**	۰/۴۲۳**	۰/۰۱	-۰/۶۹۶**

لازم به ذکر است که در این پایان نامه با استفاده از نرم افزار SPSS محاسبات همبستگی انجام شده است. وجود علامت ** در بالای اعداد بدین معنی است که محاسبات در فضای معنادار کوچکتر از ۰/۰۵ محاسبه شده‌اند.

ادامه جدول ۳-۴ ضریب همبستگی میان پارامترها

	EC 1.4m	EC 0.85m	Water temp 0.3	Water temp 0.85
DO 0.3m	-۰/۲۹۶**	-۰/۲۱۷**	-۰/۱۷۴**	-۰/۱۶۸**
DO 0.85m	-۰/۲۵۲**	-۰/۱۵۴**	-۰/۰۹۵	-۰/۰۷۶
DO 1.4m	۰/۰۴۳	۰/۲۹۸**	-۰/۳۱۷**	-۰/۲۹۰**
EC 0.3m	-۰/۴۳۷**	-۰/۱۴۷*	-۰/۸۰۱**	-۰/۸۰۶**
EC 1.4m	۱	۰/۸۶۷**	۰/۳۸۸**	۰/۳۸۱**
EC 0.85m	۰/۸۶۷**	۱	۰/۰۹۵	۰/۰۸۹
Water temp 0.3m	۰/۳۸۸**	۰/۰۹۵	۱	۰/۹۹**
Water temp 0.85m	۰/۳۸۱**	۰/۰۸۹	۰/۹۹**	۱
Water temp 1.4m	۰/۳۸۷**	۰/۱۰۳	۰/۹۹۴**	۰/۹۹۶**
Air temp	۰/۳۰۸**	-۰/۰۰۸	۰/۹۴۱**	۰/۹۹۳**
Humidity	-۰/۳۷۲**	-۰/۲۰۴**	-۰/۶۸۸**	-۰/۶۸۸**
Air pressure	۰/۰۳۸	-۰/۰۶۸	۰/۰۱۹	۰/۰۲۶
Water level	۰/۳۱۳**	۰/۱۴۹*	۰/۵۶۵**	۰/۵۹۹**

لازم به ذکر است که در این جداول از اختصارات پارامترهای کیفی و هیدرولوژیکی استفاده گردیده است. بدین ترتیب که اکسیژن محلول با اختصار DO و رسانایی الکتریکی با اختصار EC آورده شده است. اعداد کنار این اختصارات عمق قرارگیری سنسورها را مشخص می‌نماید. شایان ذکر است که مقدار این ضریب بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که «۱» به معنای همبستگی مثبت کامل، «۰» به معنی نبود همبستگی، و «-۱» به معنی همبستگی منفی کامل است.

ادامه جدول ۳-۴ ضریب همبستگی میان پارامترها

	Water 0.85m temp	Air temp	Humidity	Air pressure	Water level
DO 0.3m	-۰/۲۲۵**	-۰/۲۹۷**	۰/۱۶۱**	۰/۰۹۴	۰/۲۹۵**
DO 0.85m	-۰/۱۲۳*	-۰/۲۷۳**	۰/۰۹۶	۰/۰۵۱	۰/۴۲۳**
DO 1.4m	-۰/۲۷۵**	-۰/۴۴۷**	۰/۱۵۸**	-۰/۰۰۹	-۰/۰۱۰
EC 0.3m	-۰/۷۸۱**	-۰/۷۴۱**	۰/۵۶۲**	-۰/۲۵۶**	-۰/۶۹۲**
EC 1.4m	۰/۳۸۷**	۰/۳۰۸**	-۰/۳۷۲**	-۰/۰۳۸	۰/۳۱۳**
EC 0.85m	۰/۱۰۳	-۰/۰۰۸	-۰/۲۰۴**	-۰/۰۶۸	۰/۱۴۹*
Water temp 0.3m	۰/۹۹۴**	۰/۹۴۱**	-۰/۶۸۸**	۰/۰۱۹	۰/۵۸۶**
Water temp 0.85m	۰/۹۹۶**	۰/۹۳۳**	-۰/۶۸۸**	۰/۰۲۶	۰/۵۹۹**
Water temp 1.4m	۱	۰/۹۳۸**	-۰/۶۹۶**	۰/۰۰۷	۰/۵۵۹**
Air temp	۰/۹۳۸**	۱	-۰/۶۴۲**	۰/۰۰۹	۰/۴۶۶**
Humidity	-۰/۶۹۶**	-۰/۶۴۲**	۱	۰/۰۷۳	-۰/۳۱۹**
Air pressure	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹	۰/۰۷۳	۱	۰/۱۹۹**
Water level	۰/۵۵۹**	۰/۴۴۶**	-۰/۳۱۹**	-۰/۱۹۹**	۱

یکی از اولین مسائلی که می‌توان به آن پی‌برد همپوشانی بالای دمای آب در ارتفاع ۰/۳ متر و ۰/۸۵ متر می‌باشد در حالی که چنین همپوشانی با دمای آب در ارتفاع ۱/۴ متر قابل مشاهده نمی‌باشد.

نکته قابل توجه دیگر همپوشانی معکوس رسانایی الکتریکی در عمق ۰/۳ نسبت به رسانایی الکتریکی در سایر عمق‌ها می‌باشد که این ارتباط معکوس رفته رفته افزایش می‌یابد. علت وقوع این پدیده را می‌توان در ته‌نشینی آنیون‌ها و کاتیون‌ها بر اثر انفعالات شیمیایی دانست. از طرفی این شاخصه با دمای آب در هر سه ارتفاع و دمای هوا همپوشانی معکوس قوی را نشان می‌دهد. می‌توان علت را در افزایش فعل و انفعالات شیمیایی و اکسیداسیون بیستر آنیون‌ها و کاتیون‌ها با افزایش دما دانست چرا که افزایش دما انرژی مورد نیاز فرآیندها را تامین نموده و کاتیون‌های سطحی طی فرآیندهای شیمیایی خنثی شده و به بستر منتقل می‌شوند. از سوی دیگر رسانایی الکتریکی در سطح رابطه معکوس نسبتاً قوی با تراز آب نشان می‌دهد که گواهی بر استدلال ذکر شده می‌باشد چرا که اگر عمق آب زیاد باشد کاتیون‌ها و

آنیون‌ها بیشتر در عمق فرو رفته و در نتیجه میزان رسانایی کاهش می‌یابد. این مسئله می‌تواند در کنترل و رشد جلبک‌های سطحی موثر واقع شود.

شایان ذکر است که میزان کم همبستگی در این جدول را نمی‌توان به نبود هیچ ارتباطی تفسیر نمود چرا که ضریب همبستگی پیرسون، فقط وجود ارتباط خطی را بررسی می‌نماید در حالی که ممکن است پارامترها ارتباط غیرخطی داشته باشند.

۴-۳ مدل‌سازی پارامترهای کیفی آب با استفاده از ANFIS

همان‌گونه که بیان شد یکی از اهداف اصلی پایان‌نامه انجام رگرسیون غیرخطی بر روی داده‌های کیفی حاصله از تالاب‌ها، به منظور مدل‌سازی و شناسایی ارتباط میان پارامترهای آن می‌باشد.

در این بخش به مدل‌سازی تغییرات پارامتر DO در عمق ۱/۴ متر آب تالاب چغاخور نسبت به لحاظ داشتن پارامترهای دمای آب در سه عمق ۰/۳، ۰/۸۵ و ۱/۴ متر، رسانایی الکتریکی در سه عمق ذکر شده، دمای هوا، تراز آب و اکسیژن محلول در آب در ۲ عمق ۰/۳ و ۰/۸۵ به عنوان پارامترهای ورودی، با استفاده از ANFIS می‌پردازیم. قبل از انجام مراحل آموزش و تست شبکه‌ها، بهتر است فرآیند نرمال‌سازی داده‌ها انجام شود تا داده‌ها در دامنه خاصی وارد شبکه شوند. با انجام این کار داده‌ها فرم همگن‌تری پیدا کرده به طوری که اگر بازه داده‌ها زیاد باشد، فرآیند آموزش به نحو مطلوب‌تری انجام می‌گیرد. در این پژوهش جهت یکسان‌سازی ارزش داده‌ها، از رابطه ۴-۱ استفاده گردید.

$$X = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (4-1)$$

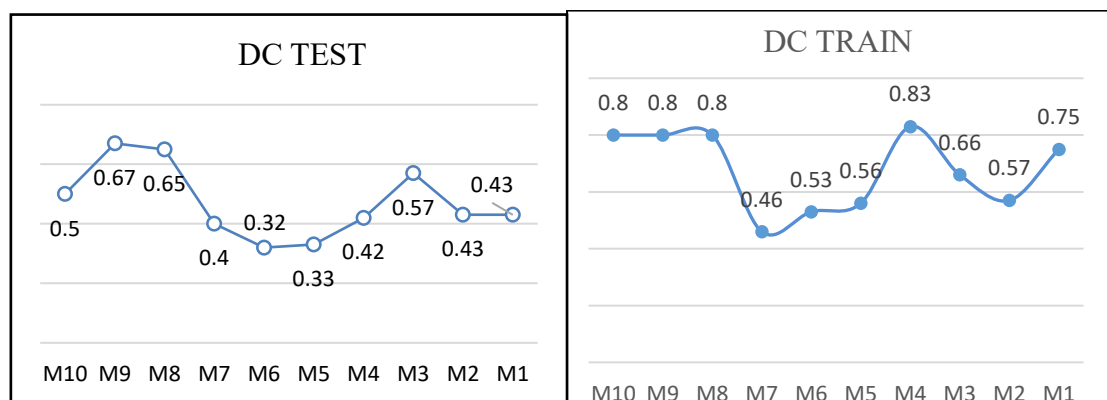
که در این رابطه x داده نرمال نشده، $x_{\min}$ کمترین مقدار داده و $x_{\max}$ بیشترین مقدار داده می‌باشد.

در مرحله نخست به منظور تشخیص داده‌هایی که تاثیر بیشتری در مدل‌سازی دارند^۱، از شبکه عصبی چند لایه استفاده گردید. بدین صورت که مدل‌هایی طبق جدول ۴-۴ تربیت شدند که با استفاده از خروجی این مدل‌ها داده‌هایی که اثرگذاری بالایی دارند، شناسایی شدند.

جدول ۴-۴ مدل‌های به کار رفته در مرحله شناسایی داده‌های موثر

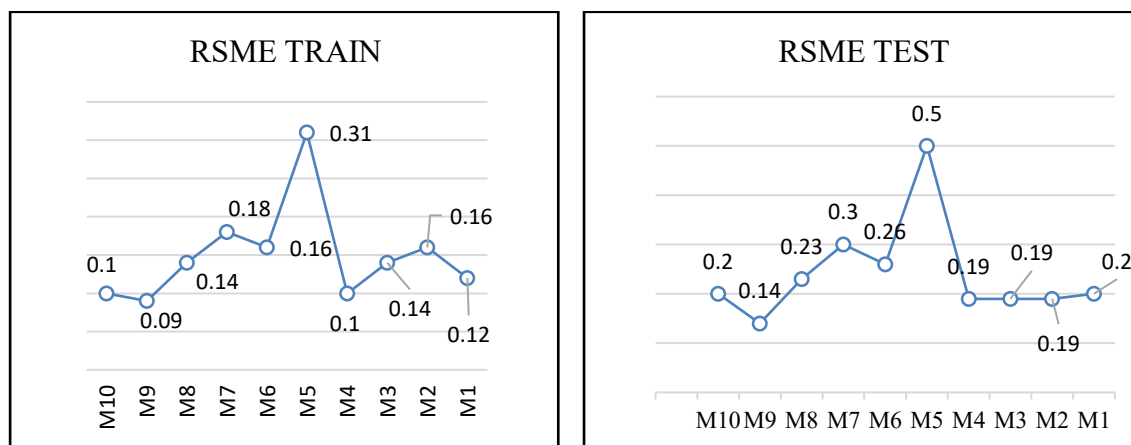
نام مدل	پارامتر ورودی	پارامتر خروجی
M1	Air temperature	DO 1.4
M2	DO 0.3m	DO 1.4
M3	DO 0.85m	DO 1.4
M4	EC 0.3m	DO 1.4
M5	EC 0.85m	DO 1.4
M6	EC 1.4m	DO 1.4
M7	Water level	DO 1.4
M8	Water temperature 0.3m	DO 1.4
M9	Water temperature 0.85m	DO 1.4
M10	Water temperature 1.4m	DO 1.4

در شکل‌های ۴-۱ و ۴-۲ خروجی‌های حاصله از مدل‌های ذکر شده در جدول فوق، آورده شده است.



شکل ۴-۲ ضریب تبیین حاصله از مدل‌ها در مرحله آموزش و تست

^۱ Dominant input selection



شکل ۴-۳ مجذور میانگین مربعات خطاهای حاصله از مدل‌ها.

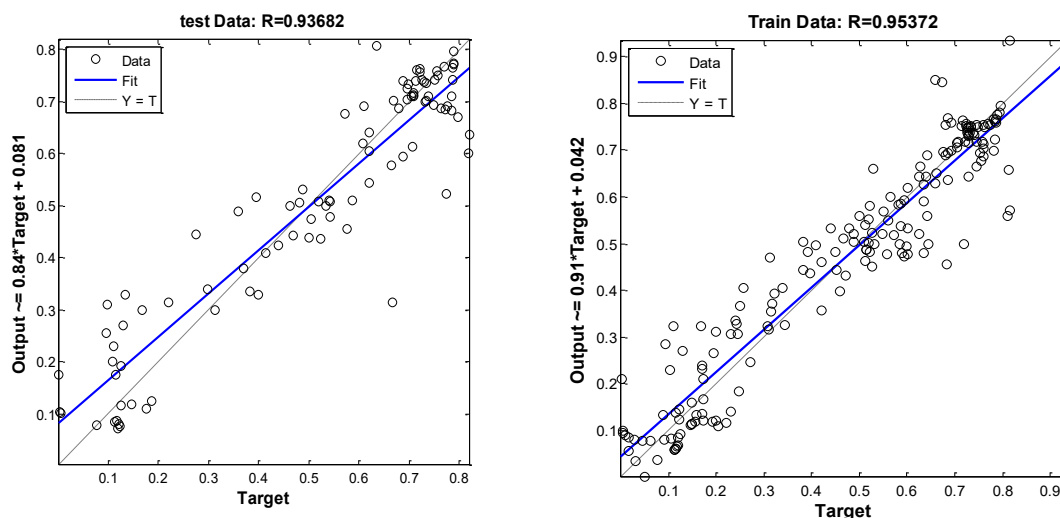
با بررسی خروجی‌های مدل‌های شبکه عصبی می‌توان دریافت که طبق انتظار، دمای آب در ارتفاعات مختلف و دمای هوا بهترین عملکرد را در مدلسازی اکسیژن محلول در آب دارند. همچنین مشخص شد که مدل M5 که مربوط به رسانایی الکتریکی در عمق ۰/۸۵ متر می‌باشد، ضعیف‌ترین عملکرد را در میان مدل‌ها دارد.

حال با در نظر داشتن اطلاعات حاصله از آنالیز حساسیت مدل‌های ذکر شده در جدول ۴-۵، به عنوان ورودی شبکه FCM-ANFIS انتخاب شد.

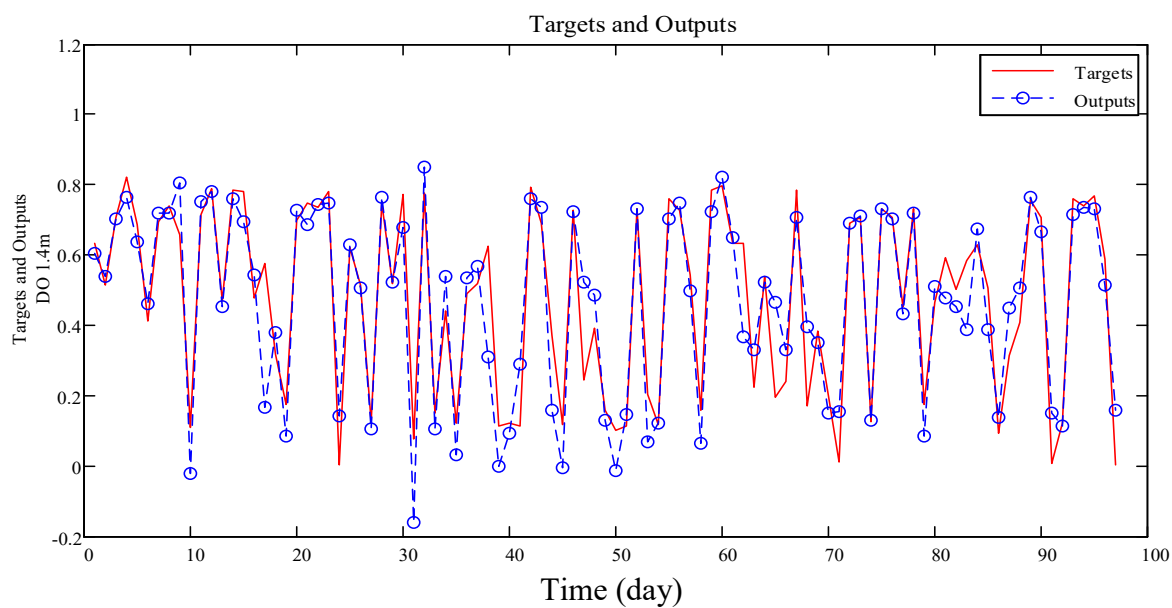
جدول ۴-۵ مدل‌های ارائه شده به ANFIS-FCM

نام مدل	پارامترهای ورودی
M11	Temp 0.3m, Temp 0.85m, Temp 1.4, EC 0.3m
M12	EC 0.3m, DO 0.85m, Temp Air
M13	EC 0.3m, Water level, Temp Air
M14	EC 0.3m, Water level, Temp Air, Temp 1.4
M15	All data
M16	EC 0.3m, Water level

در ادامه خروجی‌های حاصله از مدل‌ها آورده می‌شود. در شکل‌های ۴-۴ الی ۴-۱۵ خروجی مدل‌های جدول ۴-۵ آورده شده است. در این مدل پارامترهایی که ارتباط خوبی با DO 1.4m نشان داده بودند به عنوان ورودی در نظر گرفته شد.

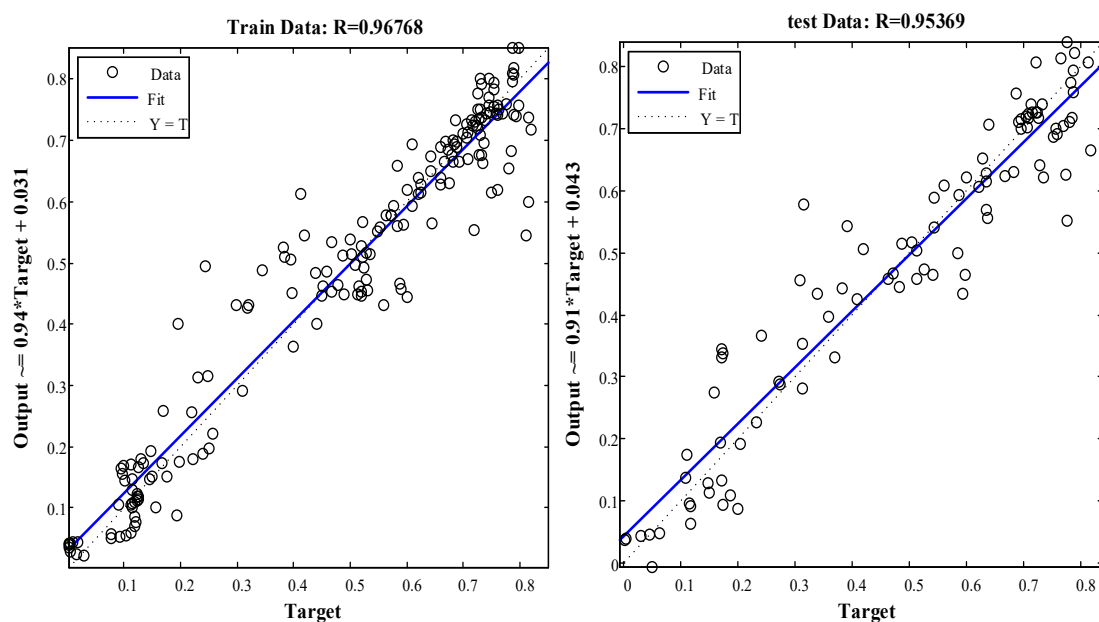


شکل ۴-۴ نمودار رگرسیون مدل M11

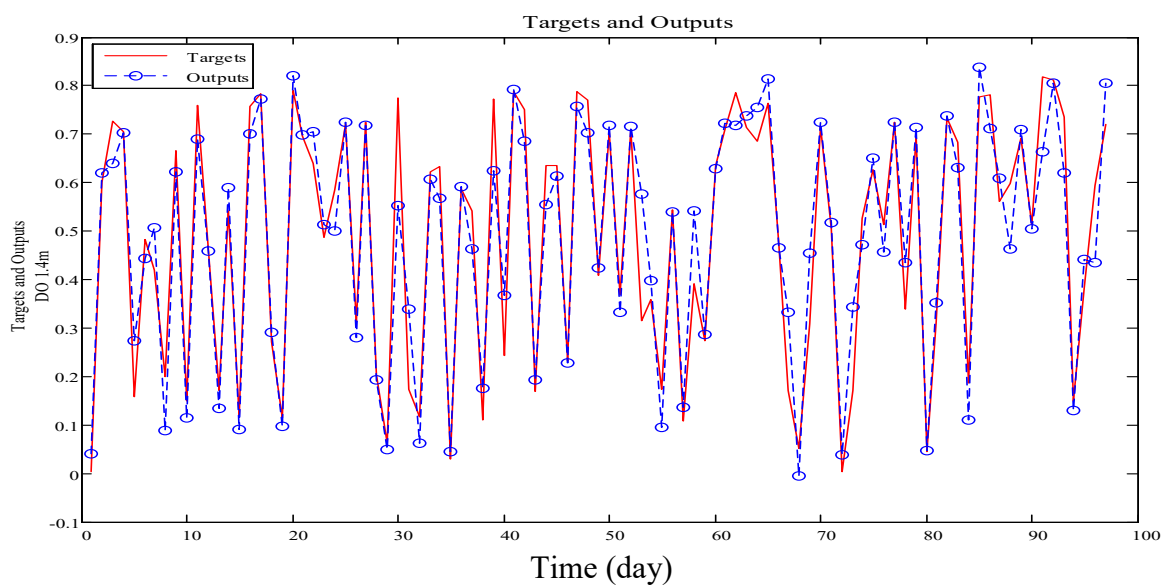


شکل ۴-۵ نمودار برازش خروجی مدل M11 و داده‌های واقعی

با توجه به شکل ۴-۵، و با در نظر گرفتن پارامترهای ارزیابی مدل M11، در مرحله آموزش (ضریب رگرسیون=۰/۹۵، میانگین مربعات خطا=۰/۰۶ و ضریب تبیین=۰/۹۲) و در مرحله تست (ضریب رگرسیون=۰/۹۳، میانگین مربعات خطا=۰/۰۹ و ضریب تبیین=۰/۸۶) رتبه چهارم را در میان سایر مدل‌ها دارد.

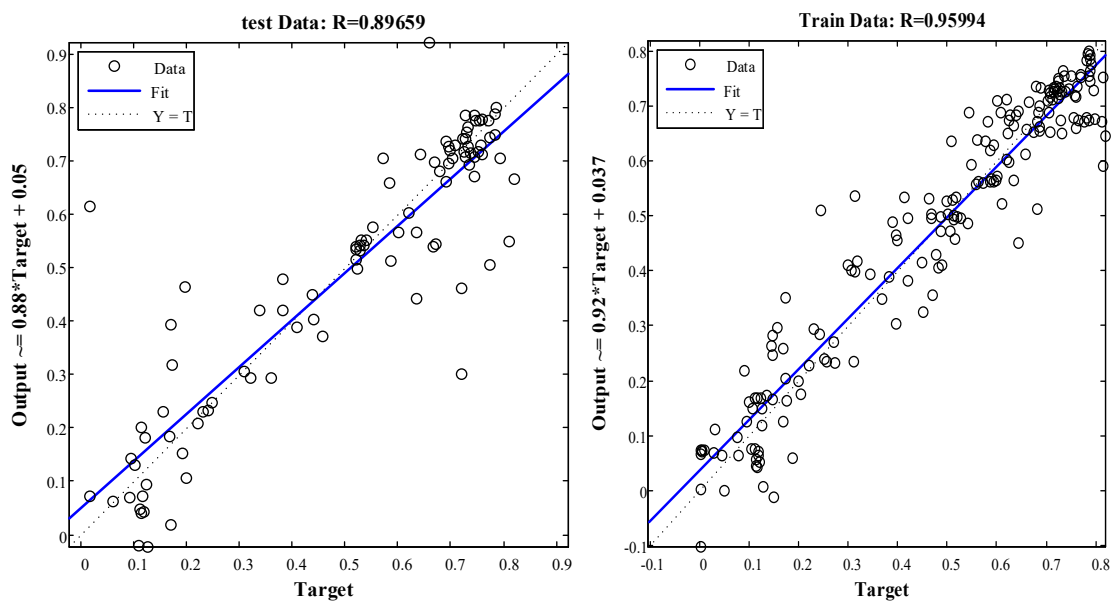


شکل ۴-۶ نمودار رگرسیون مدل M12

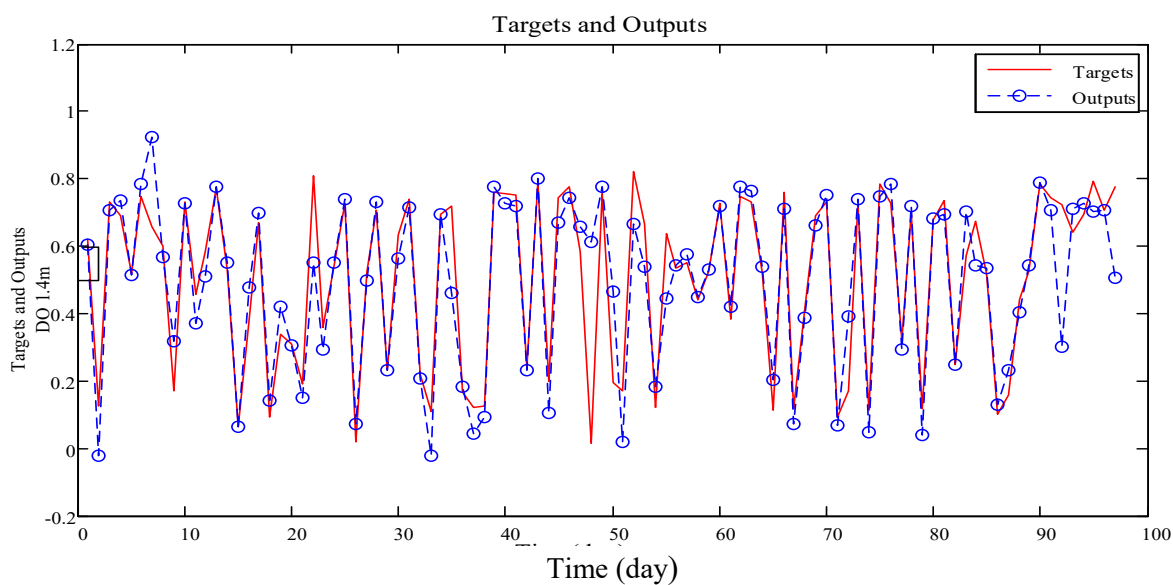


شکل ۴-۷ نمودار برازش خروجی مدل M12 و داده‌های واقعی

با توجه به شکل ۴-۷ و ۴-۶ و با در نظر گرفتن پارامترهای ارزیابی مدل M12، در مرحله آموزش (ضریب رگرسیون=۰/۹۶، میانگین مربعات خطا=۰/۰۶ و ضریب تبیین=۰/۹۳) و در مرحله تست (ضریب رگرسیون=۰/۹۵، میانگین مربعات خطا=۰/۰۸ و ضریب تبیین=۰/۸۲) رتبه دوم را در میان سایر مدل‌ها دارد.

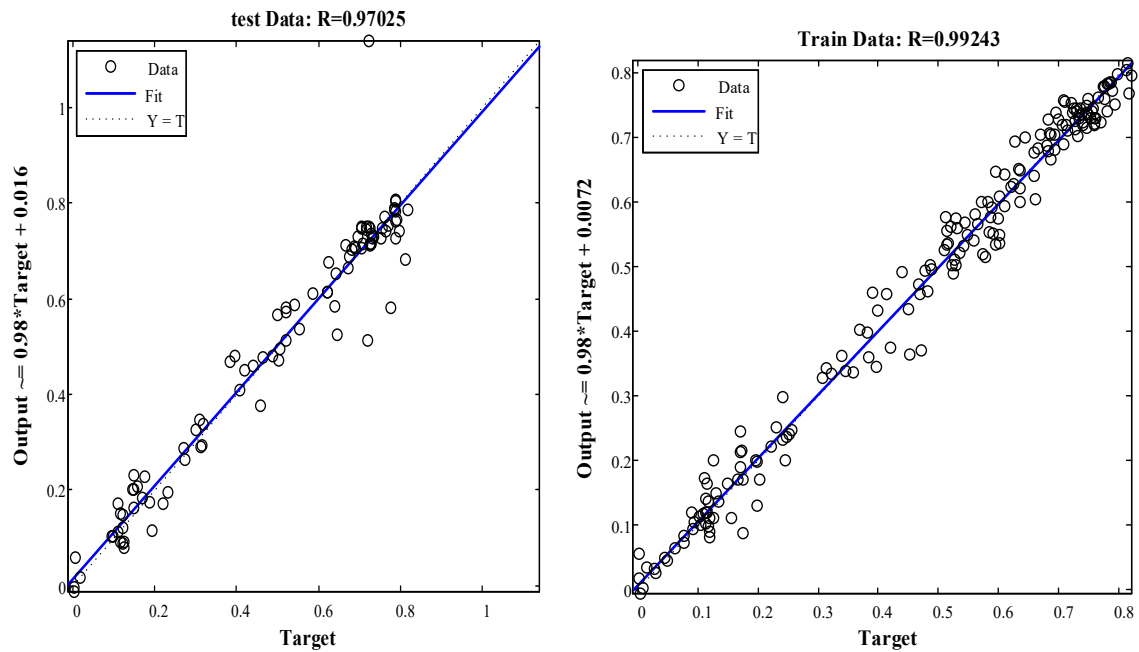


شکل ۴-۸ نمودار رگرسیون مدل M13

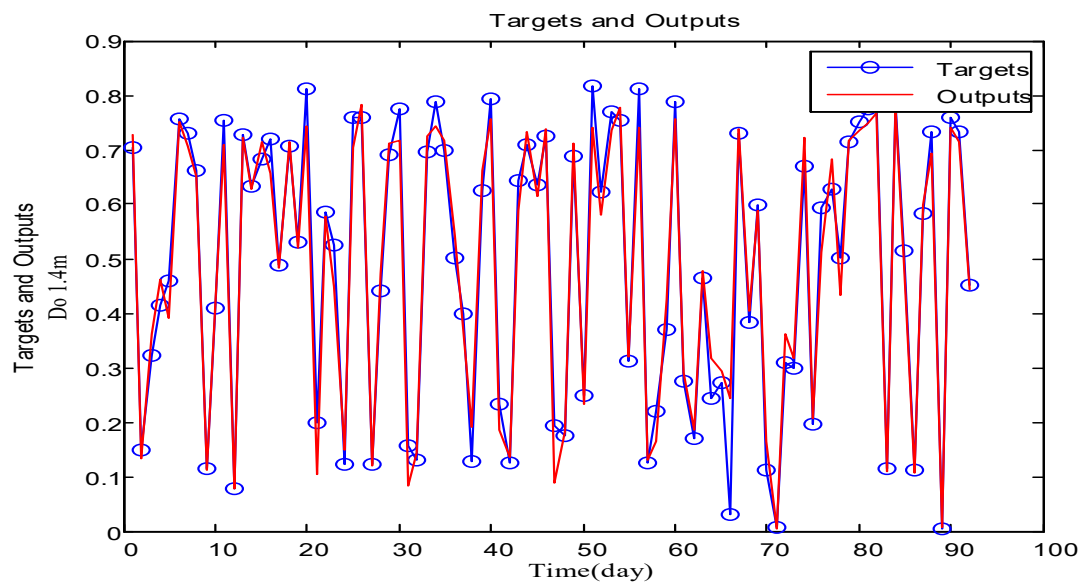


شکل ۴-۹ نمودار برازش خروجی مدل M13 و داده‌های واقعی

با توجه به شکل ۴-۸ و ۴-۹ و با در نظر گرفتن پارامترهای ارزیابی مدل M13، در مرحله آموزش (ضریب رگرسیون=۰/۹۵، میانگین مربعات خطا=۰/۰۸ و ضریب تبیین=۰/۸۹) و در مرحله تست (ضریب رگرسیون=۰/۸۹، میانگین مربعات خطا=۰/۱ و ضریب تبیین=۰/۷۹) رتبه ششم را در میان سایر مدل‌ها دارد.

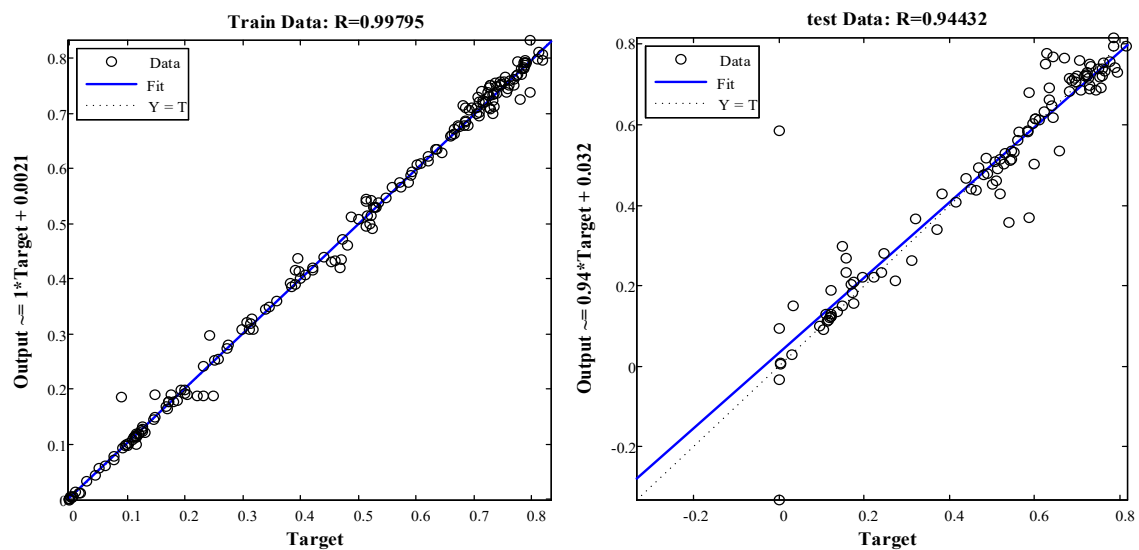


شکل ۴-۱۰ نمودار رگرسیون مدل M14

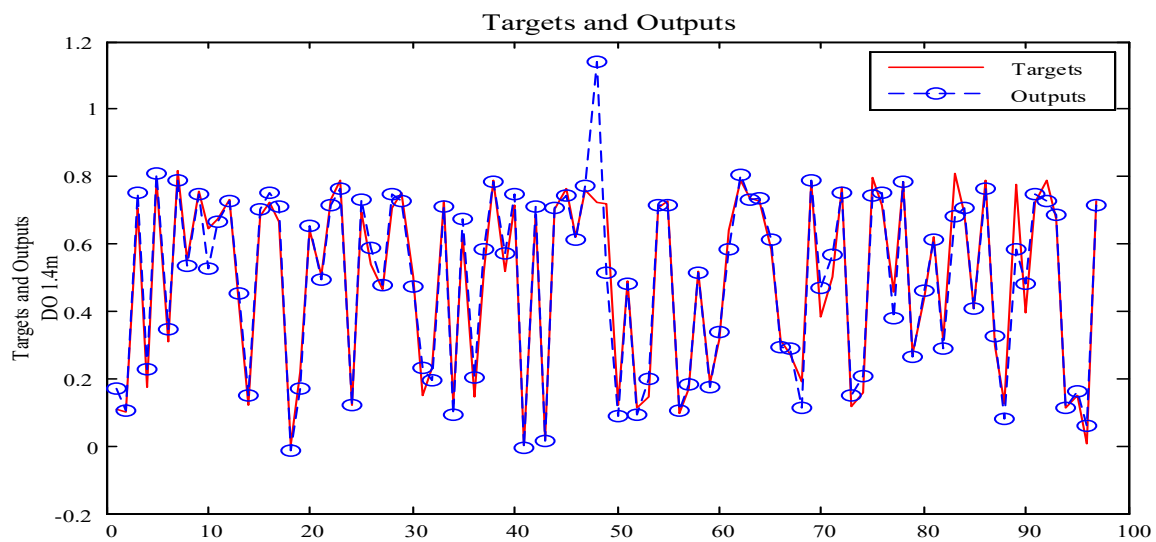


شکل ۴-۱۱ نمودار برازش خروجی مدل M14 و داده‌های واقعی

با توجه به شکل ۴-۱۰ و ۴-۱۱، و با در نظر گرفتن پارامترهای ارزیابی مدل در مرحله آموزش (ضریب رگرسیون=۰/۹۹، میانگین مربعات خطا=۰/۰۳ و ضریب تبیین=۰/۹۸) و در مرحله تست (ضریب رگرسیون=۰/۹۷، میانگین مربعات خطا=۰/۰۷ و ضریب تبیین=۰/۹۲) رتبه اول را در میان سایر مدل‌ها دارد.

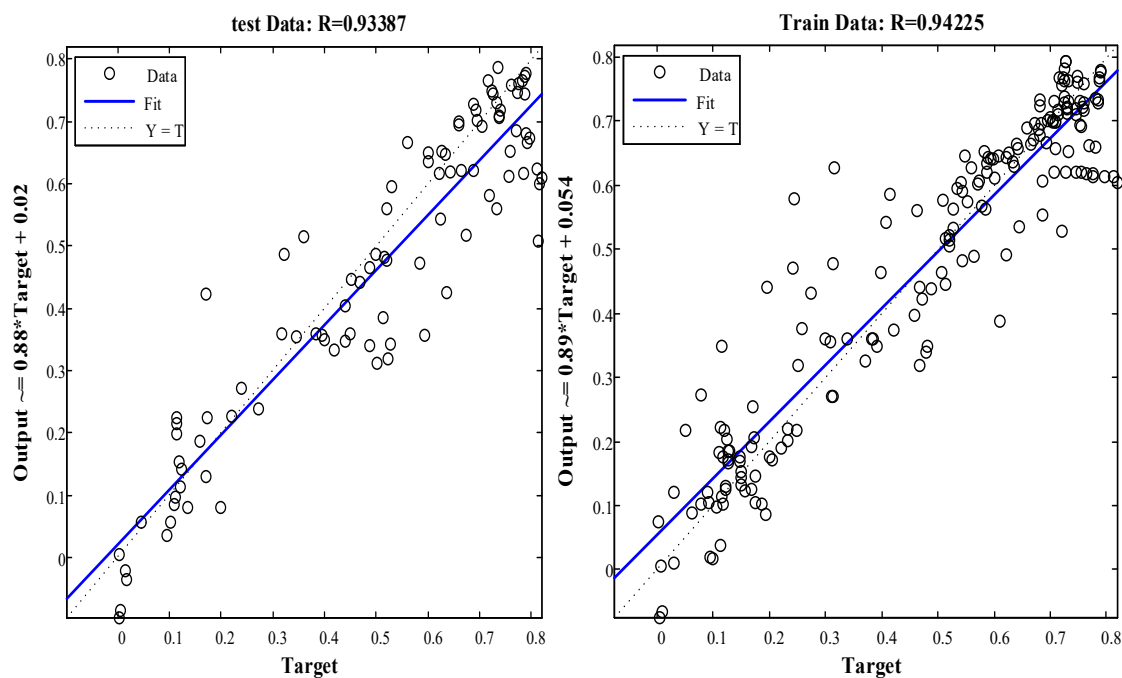


شکل ۴-۱۲ نمودار رگرسیون مدل M15

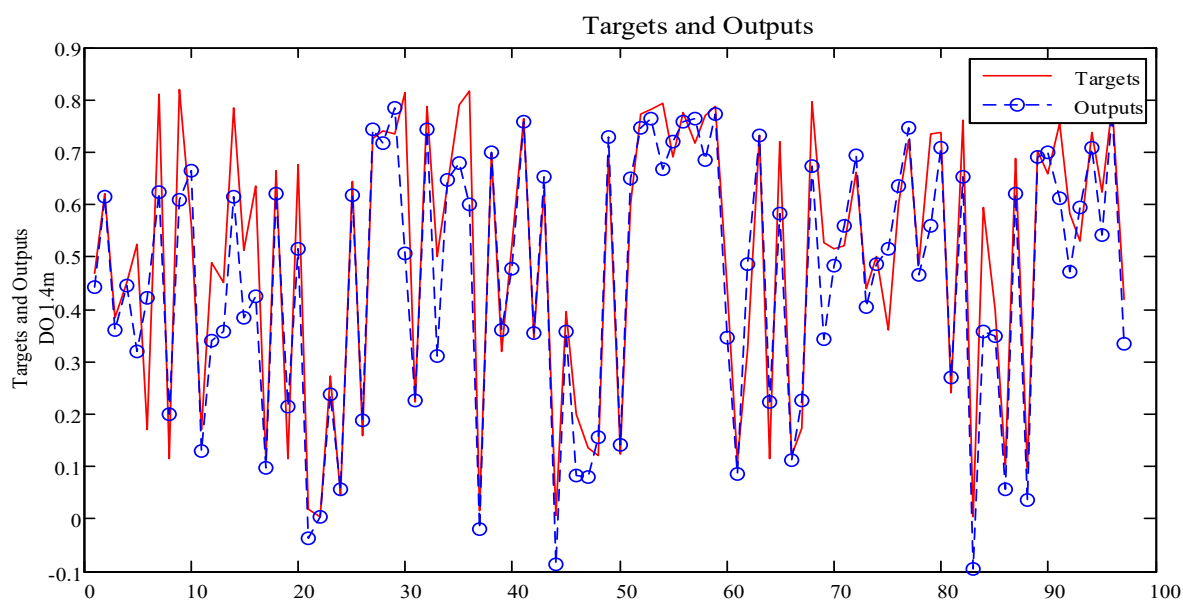


شکل ۴-۱۳ نمودار برازش خروجی مدل M15 و داده‌های واقعی

با توجه به شکل ۴-۱۲ و ۴-۱۳، و با در نظر گرفتن پارامترهای ارزیابی مدل در مرحله آموزش (ضریب رگرسیون=۰/۹۹، میانگین مربعات خطا=۰/۰۷ و ضریب تبیین=۰/۹۷) و در مرحله تست (ضریب رگرسیون=۰/۹۴، میانگین مربعات خطا=۰/۱۲ و ضریب تبیین=۰/۸) رتبه اول را در میان سایر مدل‌ها دارد.



شکل ۴-۱۴ نمودار رگرسیون مدل M16



شکل ۴-۱۵ نمودار برازش خروجی مدل M16 داده‌های واقعی

با توجه به شکل ۴-۱۴ و ۴-۱۵، و با در نظر گرفتن پارامترهای ارزیابی مدل در مرحله آموزش (ضریب رگرسیون=۰/۹۴، میانگین مربعات خطا=۰/۷ و ضریب تبیین=۰/۹۱) و در مرحله تست (ضریب رگرسیون=۰/۹۳، میانگین مربعات خطا=۰/۱۳ و ضریب تبیین=۰/۷۵) رتبه اول را در میان سایر مدل‌ها دارد.

لازم است جهت تشخیص بهترین مدل از پارامترهای آماری صحت‌سنجی مدل‌ها یعنی RMSE و NSE نیز استفاده گردد. مقادیر محاسبه شده این پارامترها برای مدل‌های اجرا شده در جداول ۴-۶ و ۴-۷ آورده شده است.

جدول ۴-۶ پارامترهای محاسبه شده در مرحله آموزش

نام مدل	R	RMSE	DC
M11	۰/۹۵	۰/۰۶	۰/۹۲
M12	۰/۹۶	۰/۰۶	۰/۹۳
M13	۰/۹۵	۰/۰۸	۰/۸۹
M14	۰/۹۹	۰/۰۳	۰/۹۸
M15	۰/۹۹	۰/۰۷	۰/۹۶
M16	۰/۹۴	۰/۷	۰/۹۱

جدول ۴-۷ پارامترهای محاسبه شده در مرحله آزمون

نام مدل	R	RMSE	NSE
M11	۰/۹۳	۰/۰۹	۰/۸۶
M12	۰/۹۵	۰/۰۸	۰/۸۲
M13	۰/۸۹	۰/۱	۰/۷۹
M14	۰/۹۷	۰/۰۷	۰/۹۲
M15	۰/۹۴	۰/۱۲	۰/۸
M16	۰/۹۳	۰/۱۳	۰/۷۵

با بررسی نمودارها و پارامترهای محاسبه شده، می‌توان دریافت که مدل M14 بهترین عملکرد را در میان سایر مدل‌ها دارد.

۴-۴ موجک-آنتروپی

با بررسی پیچیدگی سیگنال‌های یک اکوسیستم می‌توان اطلاعات نهان موجود در آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داد و با استفاده از این اطلاعات وضعیت اکوسیستم را ارزیابی نمود.

در این پایان‌نامه جهت بررسی تغییرات پیچیدگی سری‌های زمانی حاصله از حسگرهای نصب گردیده در تالاب چغاخور، ابتدا سری‌های زمانی با استفاده از db3 و در ۴ مرتبه تجزیه گردید. جهت تعیین نوع تابع موجک از فرآیندهای سعی و خطا چندین تابع موجک مادر و مقایسه نتایج به‌دست آمده استفاده گردید. لازم به ذکر است که یکی از اصلی‌ترین گام‌ها در تشخیص نوع تابع موجک تطابق شکل سری زمانی با تابع می‌باشد. خطاهای اندازه‌گیری حسگرها در فرکانس‌های بالا اتفاق می‌افتد و از آن جایی که تابع موجک فرکانس‌های مختلف سری را از هم جدا می‌کند سری جزئیات اول هر پارامتر به عنوان خطای اندازه‌گیری در نظر گرفته شد و در محاسبات لحاظ نگردید. همچنین لازم به ذکر است که محاسبات در بازه‌های زمانی مشابه در ۲ سال انجام شده است.

۴-۴-۱ بررسی تغییرات پیچیدگی پارامترهای کیفی آب

جهت بررسی تغییرات پیچیدگی پارامترهای کیفی، سری زمان اکسیژن محلول در آب در سه عمق ۰/۳، ۰/۸۵ و ۱/۴ متر، رسانایی الکتریکی در سه عمق ۰/۳، ۰/۸۵ و ۱/۴ متر و دمای آب در سه عمق ۰/۳، ۰/۸۵ و ۱/۴ متر، در بازه‌های زمانی مشابه (۲۰۰ روز از هر سال) در سال‌های ۹۶ و ۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله از محاسبه موجک آنتروپی این سری‌ها در جدول ۴-۸ آورده شده است.

جدول ۴-۸ درصد تغییرات پارامترهای کیفی

نام پارامتر	SWS 2017	SWS 2018	درصد تغییرات
Temp 1.4	۰/۶۸	۰/۷۲	٪۶
Temp 0.85	۰/۶	۰/۶۶	۹٪
Temp 0.3	۰/۵۸	۰/۶۷	۱۳٪
EC 1.4	۰/۷۱	۰/۶۷	٪-۶
EC 0.85	۰/۷۳	۰/۷	٪-۴
EC 0.3	۰/۶۹	۰/۶۷	٪-۱۰
DO 1.4	۰/۶۷	۰/۷۲	٪۷
Do 0.85	۰/۶۷	۰/۶۲	٪-۸
DO 0.3	۰/۶۸	۰/۵۳	٪-۲۸

با بررسی تغییرات پارامترهای کیفی آب مشخص می‌گردد که بیشترین تغییرات مربوط به پارامتر اکسیژن محلول در آب در عمق ۰/۳ متری می‌باشد. می‌توان علت این مسئله را در افزایش ۱۳ درصدی آنتروپی دما ریشه‌یابی نمود. اما تمام این مسئله نمی‌تواند از افزایش‌های نوسانات دمایی حاصل شود و افزایش ورود آلاینده‌گی‌ها و بیشتر شدن فعالیت باکتری‌های غیرهوازی نیز می‌تواند در این پدیده موثر واقع شود.

۴-۴-۲ بررسی تغییرات پیچیدگی پارامترهای فیزیکی تالاب

با بررسی پارامترهای فیزیکی تالاب، می‌توان تغییرات اقلیمی خاک بر تالاب را شناسایی و اثرات آن بر روی تالاب را مشخص نمود. همانند پارامترهای کیفی با استفاده از موجک db3 پارامترهای رطوبت هوا، دمای هوا و تراز آب، به چند زیر سری تبدیل گشتند و با محاسبه انرژی هر زیر سری موجک آنتروپی پارامترها محاسبه گردید. در نهایت درصد تغییرات پارامترها در طی ۲ سال ۹۶ و ۹۷ محاسبه گردید که نتایج آن طبق جدول ۴-۹ می‌باشد.

جدول ۴-۹ درصد تغییرات محاسبه شده پارامترهای فیزیکی

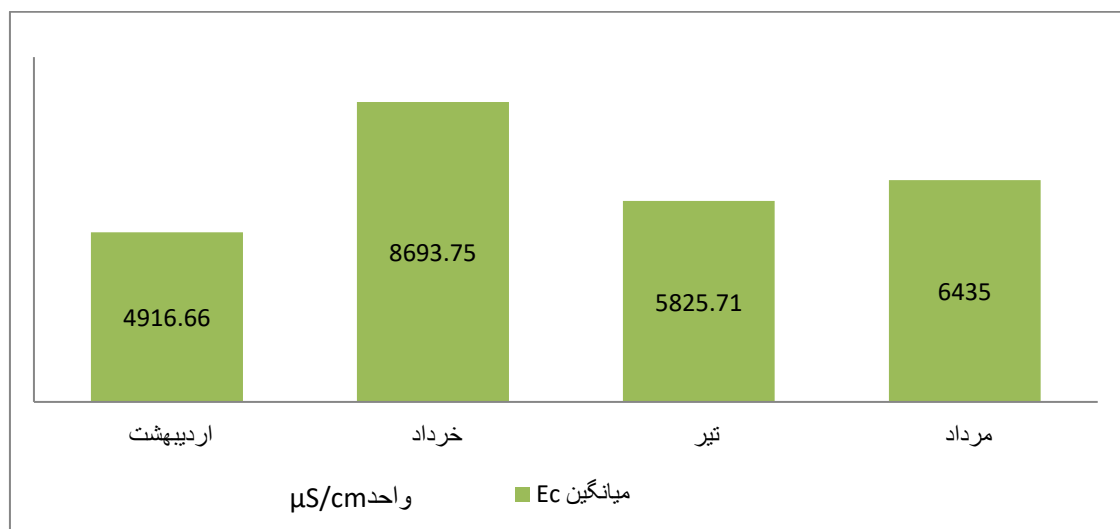
درصد تغییرات	SWS 2018	SWS 2017	نام پارامتر
-۱۰٪	۰/۵۸	۰/۶۴	Air temp
-۴۶٪	۰/۵	۰/۷۳	Air pressure
-۱۳/۲۲٪	۰/۵۹	۰/۶۸	Air humidity
۴ ٪	۰/۷۲	۰/۶۹	level

با بررسی درصد تغییرات پارامترهای فیزیکی مشخص می‌شود که بیشترین تغییرات مربوط به فشار هوا می‌باشد که نشان از نوسان اقلیمی میان این دو سال است. باید در نظر داشت که مفهوم تغییر اقلیم با نوسانات اقلیمی متفاوت بوده و نوسانات اقلیمی در دوره‌های زمانی مختلف ممکن است رخ دهد درحالی که تغییر اقلیم نوسان کلی و گسترده در آب و هوای یک منطقه است.

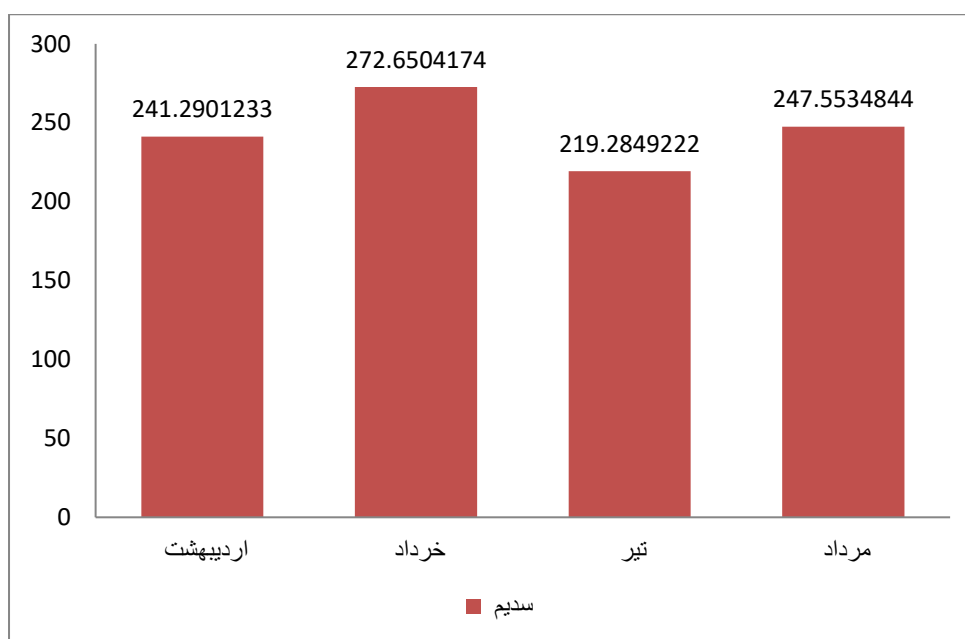
۴-۵ ارزیابی اکولوژیکی تالاب کانی برازان

تالابها از جمله اکوسیستمهایی هستند که نقش مهمی در حفاظت آب، تنوع زیستی و حذف مواد آلاینده از محیط بازی میکنند. تالابها زیست بومهایی هستند که در آنها آب فاکتور اصلی تاثیرگذار بر محیط و جوامع گیاهی و جانوری است از همین روی در بررسی تالابها مباحث مربوط به اکولوژی تالاب از قسمت‌های جدایی ناپذیر آن می‌باشد. در این قسمت نتایج حاصله از نمونه برداری‌های اکولوژیکی تالاب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

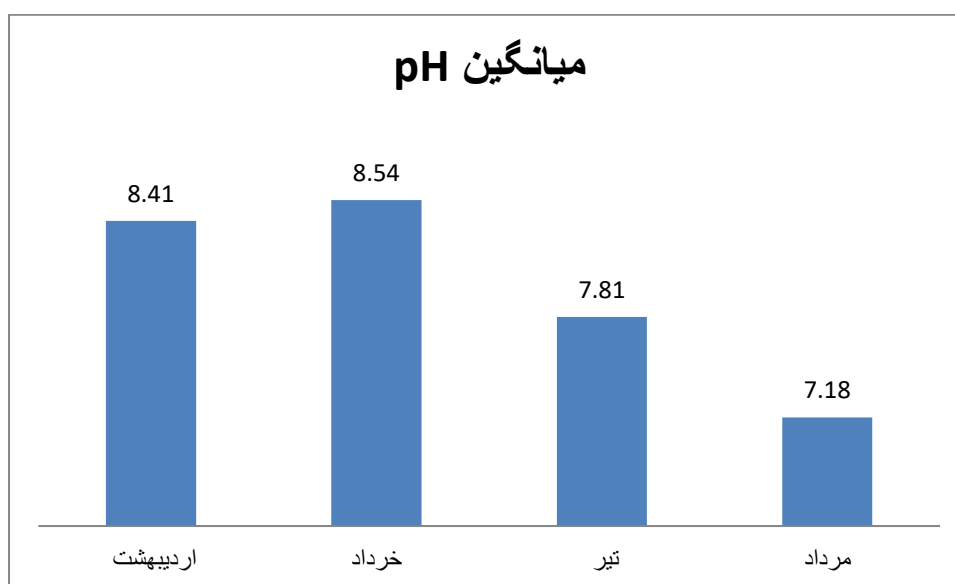
در اشکال ۴-۱۶ الی ۴-۲۵ پارامترهای اندازه گیری شده از تالاب کانی برازان گزارش می‌شود که این نمودارها حاکی از ورود حجم بالای مواد آلی می‌باشد.



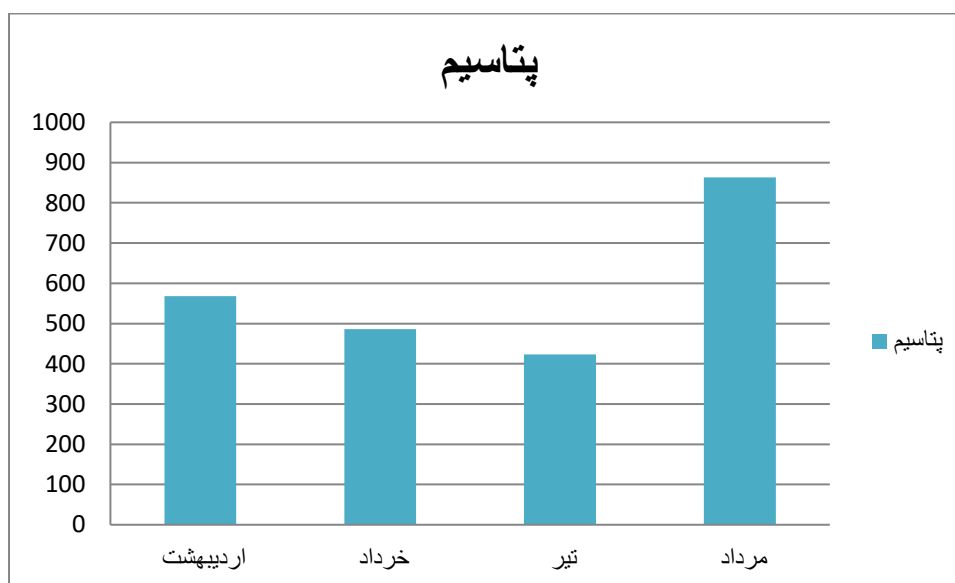
شکل ۴-۱۶ میانگین تغییرات EC آب تالاب در ماه‌های: اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد بر حسب $\mu\text{S/cm}$



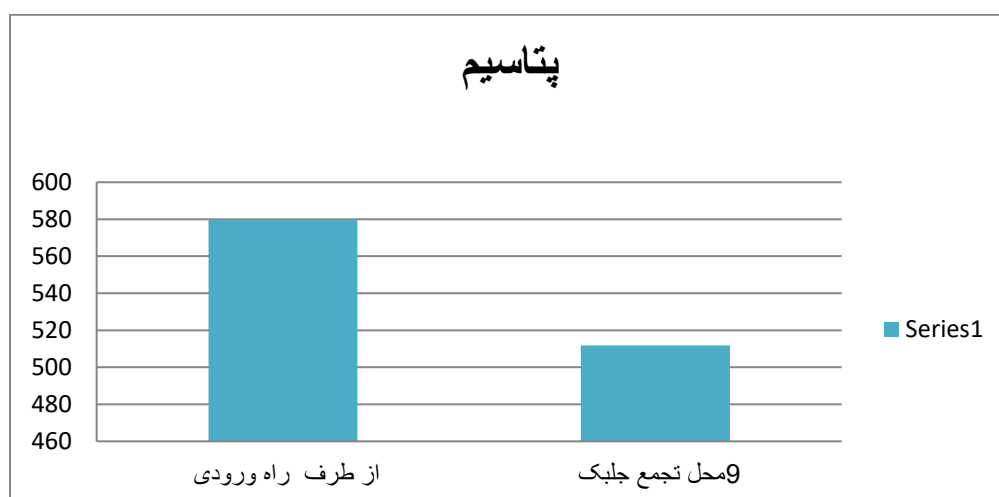
شکل ۴-۱۷ میانگین تغییرات سدیم آب تالاب در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد بر حسب (ppm)



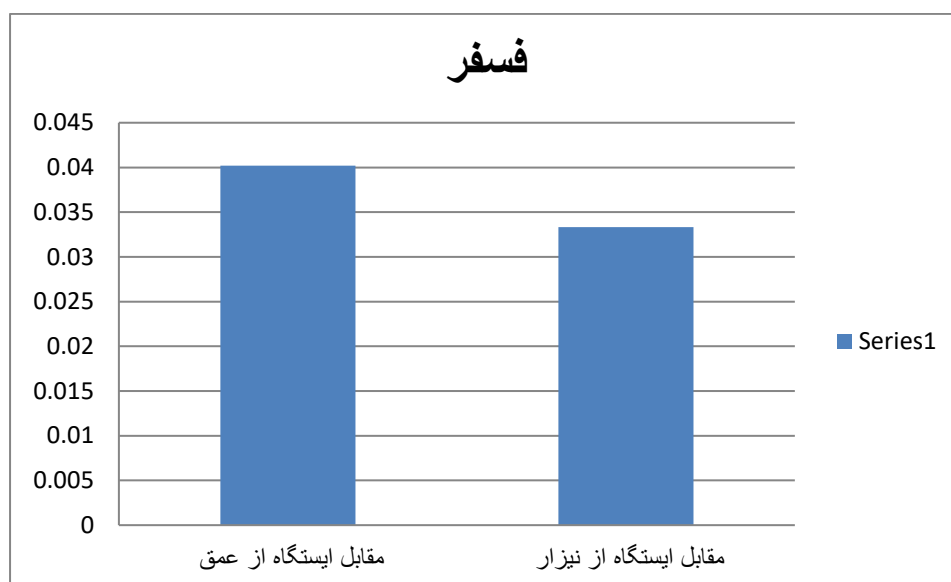
شکل ۴-۱۸ میانگین PH



شکل ۴-۱۹ : میانگین تغییرات پتاسیم در ماه های مختلف برحسب (ppm)



شکل ۴-۲۰ مقدار پتاسیم در فصل خرداد از دو مکان نزدیک



شکل ۴-۲۱ مقدار فسفر در فصل خرداد در دو مکان مختلف

۶-۴ ارزیابی وضعیت سلامت تالاب

یکی از مهم‌ترین گام‌های این پژوهش بررسی وضعیت سلامت تالاب با استفاده از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی می‌باشد. باید در نظر داشت که به علت پویایی سیستم تالاب صرف انجام محاسبات نرم کافی نبوده و بررسی‌های میدانی بخشی جدایی‌ناپذیر در بررسی وضعیت اکوسیستم تالاب می‌باشد (Bird., 2010).

روش استفاده شده در این پژوهش که به روش اسکوم نیز معروف می‌باشد یکی از روش‌های کم‌هزینه و کاربردی می‌باشد که با در نظر گرفتن فیزیک و شیمی تالاب آن را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. همان گونه که در بخش‌های قبل نیز ذکر گردید نخستین گام در بحث ارزیابی سلامت تالاب شناسایی نوع تالاب با در نظر گرفتن شاخصه‌های فیزیکی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی می‌باشد. در جدول ۴-۱۰ برخی از شاخصه‌های تالاب‌های مورد بررسی آورده شده که براساس همین موارد، نوع تالاب تشخیص داده شد.

جدول ۴-۱۰ تشخیص نوع تالاب‌های مورد بررسی

نام تالاب	مساحت	وضعیت منطقه	نوع گیاهان	منبع کنونی تامین آب و کیفیت آب	نوع تالاب
کانی برازان	۶۹۰ هکتار	۱۲۷۵ متر بالتر از سطح دریا و احاطه شده توسط تپه‌ها	سطوح باز آبی همراه با پوشش پراکنده گیاهی، رویش نی (Phragmites)، بوریا (Bolboschoenus) (Schoenoplectus)، جگن (Juncus) و گز	جریان شبکه زهکشی مهاباد. آب لب شور تا شیرین که حاوی مقادیر قابل ملاحظه مواد مغذی (نیترات و فسفات) است که از اراضی کشاورزی بالا دست منشاء می‌گیرد. دائمی	تالاب کوه پایه ای
چغاخور	۱۵۰۰ هکتار	حداکثر و حداقل ارتفاع نسبت به سطح دریا به ترتیب ۲۲۷۷ و ۲۲۷۱ متر، احاطه شده در میان کوه‌ها	گیاهان کنار آبی هزارنی و خانواده لویی، گیاهان غوطه ور وشنور، عدسک آبی و جلیک‌های رشته‌ای سبز و قهوه ای	آب زیر زمینی با منشا کارستیک رواناب‌های سطحی حوضه	تالاب دریاچه‌ای

پس از تشخیص نوع تالاب نوبت اندازه‌گیری‌های میدانی در تالاب‌ها است. به سبب نزدیکی جغرافیایی تالاب کانی برازان در این تحقیق اندازه‌گیری‌های فیزیکی فقط در تالاب کانی برازان با توالی مناسبی انجام شده است و نتایجی که از این تالاب حاصل شده‌اند قابل اعتمادتر می‌باشد.

۴-۶-۱ ارزیابی سلامت تالاب کانی برازان

اولین مرحله در بررسی میدانی تالاب تقسیم‌بندی فرضی تالاب به ۴ ناحیه می‌باشد جهت انجام هر چه بهتر این کار در ابتدا از نواحی مختلف تالابی بازدید بعمل آمد. طی این بازدید سعی شد تا ضمن تقسیم مساوی نواحی در قسمت‌هایی که نوع پوشش گیاهی عوض می‌شد بطور جداگانه تقسیم‌بندی شود چرا که تغییر در نوع گونه‌ها حاکی از شرایط خاص آن منطقه دارد. نحوه تقسیم‌بندی نواحی در شکل (۴-۱۵) آمده است. پس از تعیین ۴ ناحیه مختلف، اقدامات لازم، جهت گردآوری اطلاعات مورد نیاز طبق دستورالعمل‌های آورده شده در بخش‌های قبل انجام گردید. به هنگام بازدید، نتایج در جدولی همچون جدول (۴-۱۱) جمع‌آوری می‌شد. اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب، نیازمند جمع‌آوری نمونه و انجام آزمایش بر روی آن‌ها بود. نقاط جمع‌آوری نمونه‌ها در شکل (۴-۱۵) مشخص شده است.



شکل ۴-۲۲ نحوه تقسیم بندی نواحی ۴ گانه تالاب کانی برازان و نقاط نمونه برداری شده

جدول ۴-۱۱ نمونه جدول به کار گرفته شده جهت ثبت مشاهدات و اندازه گیری میدانی.

نام تالاب:					
مختصات جغرافیایی تالاب:					
مستول ارزیابی:					
تاریخ ارزیابی: / /					
میانگین ارزیابی	ناحیه ۴	ناحیه ۳	ناحیه ۲	ناحیه ۱	
					رسانایی الکتریکی ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
					PH
					اکسیژن محلول در آب (mg/l)
پارامترهای فیزیکی					
					تحکیم سطحی خاک
					پایداری حاشیه
					میزان پوشش گیاهی (%)
					میزان حضور جلبک (cm^2)
					عرض نواری پوشش گیاهی (m)
					لایه های گیاهی

با مشخص شدن نواحی چهارگانه تالاب کانی برآزان، با حضور در تالاب پارامترهای میدانی مورد نیاز اندازه گیری شد و در جدولی همچون جدول (۴-۱۱) ثبت گردید سپس میانگین ۴ ناحیه محاسبه شد و جدول ۳-۳ تکمیل گردید در این جدول با توجه به میانگین به دست آمده، امتیازی از ۰ تا ۴ اختصاص داده شد و در نهایت مجموع امتیازات، که کل آن از ۳۶ می باشد، محاسبه شد. در نهایت امتیاز محاسبه شده به درصد تبدیل شده و با ارجاع به جدول ۳-۴ شرایط تالاب معلوم گردید. با استفاده از این روش می توان عوامل تنش زای اکوسیستم را شناسایی نمود و برنامه های مدیریتی در خصوص رفع این مشکل را ارائه نمود.

با بررسی‌های میدانی و اندازه‌گیری شاخصه‌های مورد نیاز مشخص شد که این تالاب امتیاز ۲۱ را از ۳۶ کسب می‌کند. نحوه امتیاز دهی این تالاب در جدول (۴-۱۲) آورده شده است.

جدول ۴-۱۲ امتیارات تالاب کانی برازان

پارامتر های میدانی	امتیاز					امتیاز کسب شده
	۴	۳	۲	۱	۰	
رسانایی الکتریکی ($\mu\text{S}/\text{cm}$)				۴۴۱۵		۱
PH				۶/۲۱		۱
اکسیژن محلول آب (mg/l)			۴/۵			۲
تحکیم سطحی خاک				۱۹		۱
پایداری حاشیه	پایدار					۴
درصد پوشش گیاهی (%)			۲۵٪			۲
میزان حضور جلبک (m^2)		۰,۰۱-۰,۱				۳
عرض پوشش گیاهی (m)		۲۶				۳
لایه‌های گیاهی	۳>					۴
مجموع امتیازات (از ۳۶)						۲۱
درصد امتیازات						۶۰٪

کسب این امتیاز حاکی از آن است که اکو سیستم تالاب به میزان کمی دستخوش تغییر شده است اما این تغییرات به گونه‌های ساکن در تالاب آسیبی نرسانده و فعالیت‌های حیاتی تالاب همچنان برقرار می‌باشد.

البته باید توجه نمود که به سبب پویایی اکوسیستم تالابی، لازم است تا توالی نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های میدانی مشخص شود. در این پژوهش در هر بازه یک ماهه تالاب مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل (۴-۱۶) تصاویر نقطه معینی از تالاب کانی برازان می‌باشد که در فاصله زمانی یک ماهه از هم گرفته شده است. همانگونه که این تصاویر مشخص می‌نمایند نیاز است تا توالی نمونه‌برداری میدانی در استفاده از این روش رعایت شود.



(ب)



(الف)

شکل ۴-۲۳ میزان رشد جلبکی در بازه زمانی ۱ ماهه. الف) تصویر ثبت شده در اردیبهشت سال ۹۷. ب) تصویر

ضبط شده در خرداد ۹۷

از نتایج و خروجی این روش، می‌توان در جهت ارائه راهکارهای مدیریتی استفاده نمود. بدین روش که پارامترهایی که امتیاز کمی دارند را مورد مطالعه قرار داده و راهکارهای مناسب جهت بهبود شرایط آن‌ها را بررسی می‌نماییم.

همانطور که نتایج نمونه‌های آبی مشخص می‌کند میزان رسانایی الکتریکی، در نمونه‌های آبی تالاب کانی برازان بالا می‌باشد. رسانایی الکتریکی نشانه‌ای از میزان مواد محلول در آب می‌باشد و یکی از

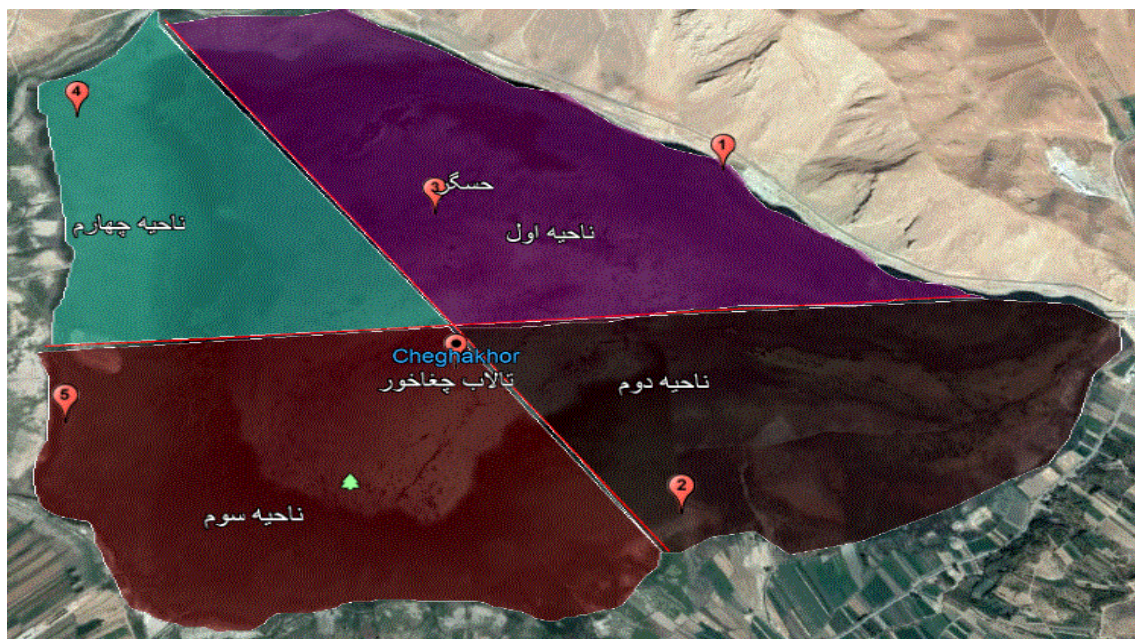
مهم‌ترین شاخصه‌های کیفی آب می‌باشد که اگر در محدوده نرمالی قرار گرفته باشد نشانی از پویایی سیستم می‌باشد.

یکی از علل بالا بودن این پارامتر در این تالاب ورود مستقیم پس آب‌های کشاورزی می‌باشد که باعث بالا رفتن مواد محلول در آب می‌شود. علاوه بر پساب کشاورزی، ورود ذرات نمکی که از گرد و غبارهای حاصله از دریاچه ارومیه وارد تالاب می‌شود، باعث افزایش شوری و رسانایی الکتریکی می‌شود. رویکردهای مدیریتی و اجرایی مختلفی جهت حل این مسئله وجود دارد اما توجه به پتانسیل منطقه و امکانات در دسترس، می‌تواند تفاوت میان یک رویکرد مناسب با رویکردی غیرموثر باشد. امروزه با گسترش شناخت جوامع بشری نسبت به خدمات گسترده تالاب‌ها، مشخص شده است که این اکوسیستم‌ها نقشی اساسی در تصفیه آب‌ها دارند. از همین‌رو تلاش‌های زیادی انجام شده است تا با ایجاد تالاب‌های مصنوعی کیفیت آب‌های سطحی بهبود یابد.

در سال‌های گذشته به علت پیش‌روی آب دریاچه ارومیه و غرق نمودن اراضی تالاب، مسئولان وقت اقدام به ایجاد خاکریزی نمودند که تالاب را به ۲ قسمت شمالی و جنوبی تقسیم نمود و ارتباط این ۲ بخش عملاً از میان رفت. حال می‌توان قسمت شمالی تالاب را به عنوان تالاب تصفیه در نظر گرفت و با انجام اصلاحات و بهسازی شرایط تمام آب‌های ورودی به تالاب را ابتدا به این قسمت وارد نموده و پس از تصفیه شدن آب، آن را به ضلع جنوبی انتقال داد. طبق تحقیقات انجام گرفته در صورت اجرای موفق، یک تالاب تصفیه می‌تواند تا ۹۰ درصد مواد محلول حاصله از پساب‌های کشاورزی را ته‌نشین کند. البته لازم است قبل از هر اقدامی با آموزش مردم محلی و آگاهی‌دهی به آنان در مورد نحوه استفاده صحیح و میزان مناسب کوددهی شیمیایی، از میزان ورودی مواد محلول در آب کاسته شود.

۴-۶-۲ ارزیابی ماتریسی تالاب چغاخور

در این قسمت نیز طبق دستورالعمل‌های آورده شده در بخش‌های قبل تالاب چغاخور مورد ارزیابی قرار گرفت. اما باید توجه نمود که به سبب وجود برخی حساسیت‌های سیاسی و همچنین گستردگی سطح این تالاب نتایج حاصله در این تالاب، به دقت نتایج حاصله از تالاب کانی برازان نخواهد بود. اما لازم است تا بر اساس امکانات موجود بتوان وضعیت تالاب را مورد بررسی قرار داد. اما نقطه قوت در بررسی این تالاب، انجام نمونه برداری‌های دستی در قسمت‌های مختلف تالاب می‌باشد. از همین روی با انجام بازدیدهای میدانی که از این تالاب انجام گردید و با استفاده از نتایج نمونه برداری‌ها آبی که از طریق دفتر تالاب‌های ایران انجام گردیده بود شرایط تالاب ارزیابی گردید. اما همان گونه که ذکر گردیده بود نخستین گام در بررسی تالاب تعیین نواحی چهار گانه می‌باشد که این تقسیمات در تالاب چغاخور طبق شکل ۴-۱۸ انجام گردید.



شکل ۴-۲۴ تقسیم بندی تالاب چغاخور و نقاط نمونه برداری

با توجه به این مسئله که داده برداری در قسمت‌های مختلف طی ۲ سال در دسترس می‌باشد همچنین در طی این ۲ سال نیز بازدیدهای میدانی انجام گردیده است، می‌توان وضعیت تالاب را در این ۲ سال ارزیابی نموده و تغییرات شرایط را بررسی نمود. نتایج امتیاز دهی تالاب در جداول ۴-۱۳ و ۴-۱۴ آورده شده است.

۴-۱۳ امتیاز دهی تالاب چغاخور در سال ۹۶

پارامتر های میدانی	امتیاز					امتیاز کسب شده
	۴	۳	۲	۱	۰	
رسانایی الکتریکی ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		۶۳۵				۳
PH					۸/۵	۰
اکسیژن محلول آب (mg/l)			۳/۷۵			۲
تحکیم سطحی خاک			۹			۲
پایداری حاشیه		مناسب				۳
درصد پوشش گیاهی (%)			۲۵٪			۲
میزان حضور جلبک (m^2)			۰/۴۵			۲
عرض پوشش گیاهی (m)				۱/۵		۱
لایه‌های گیاهی			۲			۲
مجموع امتیازات (از ۳۶)						۱۷
درصد امتیازات						۴۸٪

نتایج حاصله از مطالعات میدانی حاکی از آن است که اکولوژی این تالاب دستخوش تغییرات زیادی نسبت به شرایط نرمال شده و نیاز است تا برنامه‌های مدیریتی مدونی طرح ریزی گردد تا شرایط تالاب بدتر نشود.

۱۴-۴ امتیازات تالاب چغاخور در سال ۹۷

پارامترهای میدانی	امتیاز					امتیاز کسب شده
	۴	۳	۲	۱	۰	
رسانایی الکتریکی ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		۷۴۲				۳
PH					۹/۶۸	۰
اکسیژن محلول آب (mg/l)					۰/۷۵	۰
تحکیم سطحی خاک				۱۵		۱
پایداری حاشیه		مناسب				۳
درصد پوشش گیاهی (%)			۲۵٪			۲
میزان حضور جلبک (m^2)			۰/۴۵			۲
عرض پوشش گیاهی (m)			۴			۲
لایه‌های گیاهی			۲			۲
مجموع امتیازات (از ۳۶)						۱۵
درصد امتیازات						۴۱٪

همان گونه که مشخص است وضعیت تالاب نسبت به سال گذشته کمی بدتر شده است اما اختلاف چندان زیاد نبوده و طبق جدول ۳-۴، از لحاظ وضعیت در یک کلاس طبقه بندی می‌شوند. حال می‌توانیم نتایج حاصل از این بخش را با نتایج حاصله از تئوری موجک آنتروپی تطبیق دهیم.

طبق تحقیقات انجان گرفته رسانایی الکتریکی به عنوان نشان زدی از پویایی اکوسیستم تالاب می باشد (Anderson.J,et al.,2013) از طرفی نتایج حاصله از موجک آنتروپی حاکی از رشد منفی این شاخصه در هر سه عمق می باشد. این رشد منفی درصد تغییرات را می توان به نوعی بیمار گونه شدن اکوسیستم تالابی تفسیر نمود. جالب این که مطالعات میدانی تالاب چغاخور نیز نشان دهنده این مسئله است چرا که امتیاز کسب شده تالاب در سال دوم کاهش یافته است. این مسئله نشان دهنده آن است که می توان از اطلاعات حاصله از ایستگاه پایش آنلاین اطلاعات مفیدی به دست آورد هرچند نیاز است برای بررسی دقیق تالابها مطالعات میدانی انجام شود.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری

تالاب‌ها یکی از اکو سیستم‌های با ارزش در طبیعت می‌باشند که حفظ و بهبود شرایط آن‌ها باعث ارتقا سطح کیفیت حیات در مناطق همسایه تالاب‌ها خواهد شد. با توجه به اهمیت والای تالاب و آگاهی روز افزون جامعه بشری نسبت به این اکوسیستم‌های حیاتی، دفتر تالاب‌های ایران با حمایت فکری و مالی نهادهای بین‌المللی و در راستای احیا و بهبود شرایط تالابی و استفاده خردمندانه از منابع تالاب، اقدام به نصب و راه اندازی ایستگاه‌های پایش آنلاین در دو تالاب چغاخور و کانی برازان نموده است. علت انتخاب این تالاب‌ها اهمیت بین‌المللی آن‌ها می‌باشد. این پژوهش نیز با هدف بررسی داده‌های این ایستگاه‌های آنلاین، همچنین بررسی کاربردی بودن ایستگاه‌های پایش در ارزیابی سلامت تالاب‌ها انجام گردیده است.

عمده هدف این پژوهش به ارزیابی سلامت تالاب‌ها اختصاص دارد که در این پایان نامه برای اولین بار با استفاده از روش ماتریسی سلامت تالاب مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این روش با کمک انجام نمونه گیری و اندازه گیری‌های میدانی، شاخصه‌های مهم شیمیایی و فیزیکی تالاب مرود ارزیابی قرار می‌گیرد و بر اساس این اندازه گیری‌ها امتیازی به تالاب اختصاص داده می‌شود که این امتیاز معرف وضعیت سلامت تالاب می‌باشد.

در راستای نیل به استفاده کاربردی از داده‌های حاصله از ایستگاه پایش آنلاین، وجود ارتباط میان بررسی گردید. شایان ذکر است FCM-ANFIS پارامتر اکسیژن محلول و سایر پارامترها با استفاده از که به سبب طول داده‌های کم تالاب کانی برازان، در انجام محاسبات صرفاً از داده‌های تالاب چغاخور استفاده گردیده است. همچنین لازم به ذکر است که در انجام محاسبات این بخش داده‌های ساعتی FCM-ANFIS حاصله از حسگرها به داده‌های روزانه تبدیل گشته است. قبل از ارائه داده‌ها به شبکه طبق روش مرسوم در متون فنی مربوط به این متد، در ابتدا تحلیل‌های آماری بر روی داده‌ها انجام شده تا ماهیت داده‌ها هر چه بهتر مشخص گردد. در همین راستا چولگی و کشیدگی داده‌ها محاسبه شد تا

نوع توزیع مشخص شود. علاوه بر این با محاسبه ضریب همبستگی میان داده‌ها رابطه میان پارامترهای ایستگاه پایش آنلاین تالاب چغاخور مشخص شود. در ادامه نیز جهت تشخیص داده‌های غالب، به کمک شبکه عصبی چند لایه، داده‌های مستقل نسبت به داده‌ی وابسته آنالیز حساسیت شدند. به کمک بهینه شد. FCM-ANFIS خروجی این بخش ترکیب پارامترها جهت ارائه به

در تکمیل مباحث مربوط به فرایندهای داده کاوی و مدل سازی، با استفاده از تئوری موجک- آنتروپی درصد تغییرات پیچیدگی پارامترها محاسبه گردید. با توجه به این مسئله که در اکوسیستم تالابی، رسانایی الکتریکی نشان زدی از پویایی سیستم تالاب است، کاهشی یا افزایشی بودن میزان پیچیدگی این پارامتر نشان زدی از وضعیت اکوسیستم تالاب در نظر گرفته شد.

۲-۵ نتایج حاصله از تالاب چغاخور

- آنالیز آماری داده‌های حاصله از سنسورهای پایش آنلاین چغاخور حاکی از آن است که این داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. همچنین بررسی هم‌پوشانی داده‌ها نشان‌گر این است که دمای آب و دمای هوا ارتباط خطی بالایی با اکسیژن محلول دارند که دور از انتظار نمی‌باشد. علاوه بر این نتایج حاصله حاکی از وجود ارتباط معکوس قوی میان رسانایی الکتریکی در عمق ۰/۳ با رسانایی الکتریکی در عمق‌های ۰/۸۵ و ۱/۴ دارد.
- با انجام تحلیل حساسیت بر روی داده‌های حاصله از حسگرهای تالاب چغاخور با استفاده از شبکه عصبی مشخص گردید که دمای آب، دمای هوا و رسانایی الکتریکی بیشترین تاثیر را در مدل سازی اکسیژن محلول در عمق ۱/۴ را دارند.
- مدل ANFIS-FCM توانایی بالایی در پیش‌بینی اکسیژن محلول بر اساس پارامترهای فیزیکی و کیفی آب دارد.

- با اعمال موجک آنتروپی بر روی داده‌ها مشخص می‌گردد که درصد تغییرات اکسیژن محلول و فشار هوا قابل توجه می‌باشد. همچنین با در نظر گرفتن رسانایی الکتریکی به عنوان نشان زدی از پویایی سیستم تالاب، با توجه به رشد منفی دصد تغییرات این پارامتر، می‌توان این مسئله را نشانه‌ای از کاهش پویایی سیستم تالاب دانست.
- نتایج مطالعات میدانی از تالاب چغاخور حاکی از آن است که این تالاب از در وضعیت D از جدول ۳-۲۲ قرار دارد که بدین معنی است که اکوسیستم تالاب دچار دگرگونی شده و گونه‌های محلی از میان رفته‌اند. همچنین مقایسه‌ی نتایج حاصله از دو سال متوالی حاکی از آن است که وضعیت این تالاب رو به افول نهاده چرا که امتیاز تالاب در سال دوم کمتر از سال اول می‌باشد. این مسئله تحلیل انجام گرفته از روش موجک-آنتروپی را تصدیق می‌نماید.

۳-۵) نتایج حاصل از تالاب کانی برازان

- نمونه‌برداری‌های میدانی و تحلیل شرایط فیزیکی تالاب کانی برازان حاکی از تغییرات جزئی در اکوسیستم تالاب می‌باشد. که می‌توان جهت بهبود شرایط تالابی از ضلع شمالی آن به عنوان تالاب تصفیه استفاده نمود چرا که شواهد حاکی از آن است که میزان رسانایی الکتریکی به علت ورود پساب‌های کشاورزی بسیار بالا می‌باشد.
- طول نمونه برداری در این تالاب جهت انجام فرایندهای داده کاوی کافی نمی‌باشد. اما با تکمیل اطلاعات می‌توان با استفاده از مباحث ذکر شده تالاب کانی برازان را نیز مورد ارزیابی قرار داد.
- با بررسی اکولوژی تالاب، ورود مواد مغذی (فسفر و نیتروژن) به اکوسیستم‌های آبی در نتیجه افزایش فعالیتهای انسانی از قبیل استفاده از سوخته‌های فسیلی و یا استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی، افزایش محسوسی داشته است. وقوع یوتریفیکاسیون در آبهای طبیعی دارای مضرات بسیار زیادی است. یکی از مهمترین اثرات آن بر هم خوردن تعادل طبیعی اکوسیستم است، که منجر به تخریب اکوسیستم آبی و از دست رفتن کارایی‌های آن می‌شود. وقوع یوتریفیکاسیون

می‌تواند کیفیت آب را تحت تاثیر قرار داده و شفافیت آب را بسیار کم کند. این امر خود سبب کاهش میزان نفوذ نور به لایه‌های عمقی شده و فتوسنتز گیاهان در لایه‌های عمقی آب کم یا متوقف می‌شود. وقوع یوتریفیکاسیون همچنین می‌تواند سبب بروز حالت فوق اشباعی اکسیژن یا برخلاف آن کاهش شدید اکسیژن شود که برای ارگانسیمهای آبی خطرناک بوده و ممکن است سبب مرگ دسته جمعی آنها شود. اکوسیستمهای یوتروف میزان بالایی از کربن آلی تولید می‌کنند که تجمع آنها ممکن است سبب تغییر در ترکیب بیوشیمیایی مواد آلی شود. شکل ۶ مقدار ورود فسفر به تالاب را نشان می‌دهد که چون مصرف کودهای فسفر در منطقه بیشتر است از طریق آب شسته شده و میزان فسفر وارده بر تالاب در تیرماه افزایش قابل توجهی دارد که باعث ایجاد پدیده یوتریفیکاسیون در تالاب می‌شود.

لازم به ذکر است که با توجه به نبود اطلاعات دبی ورودی و خروجی، و عدم وجود اطلاعات بارشی بررسی هیدرولوژیک تالابها بسیار سخت می‌باشد. همچنین طی تحقیقات مشخص گردید که جهت افزایش کارایی ایستگاههای پایش نیاز است تا برخی سنسورها مانند سنسور PH در ایستگاهها اضافه گردد که خوشبختانه با پی گیری‌های انجام گرفته این سنسور جدیداً در ایستگاه چغاخور نصب گردیده است که وجود آن می‌تواند در مطالعات بعدی میسر باشد. همچنین با توجه به لزوم وجود اطلاعات در قسمت‌های مختلف تالاب با هماهنگی های لازمه از طریق دفاتر سازمان‌های محیط زیست در استان‌های آذربایجان غربی و استان چهارمحال و بختیاری قرار بر این شده است که با تجهیز زیست بانان حاضر در منطقه به حسگرهای قابل حمل، پارامترهای کیفی آب در نقاط مختلف تالاب، ثبت و ذخیره شود.

منابع و مراجع

بهروزی راد، بهروز. ۱۳۹۰. بحران‌های زیست محیطی تالاب‌های بین‌المللی ایران، اولین همایش ملی. ۵ تا ۷ دی ماه، واحد علوم و تحقیقات اهواز.

عظیمی، شیما. ۱۳۹۱. پیش‌بینی جریان‌های فصلی رودخانه با استفاده از شبکه عصبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

رنجبر، سویل. ۱۳۹۳. بررسی تغییران هیدرولوژیکی با استفاده از معیار پیچیدگی موجک - آنتروپی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز.

نورانی، وحید. ۱۳۹۴. مبانی هیدروانفورماتیک. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تبریز.

Adamowski, J. and H. F. Chan (2011). "A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting." *Journal of Hydrology* 407(1-4): 28-40.

Anderson, J. P. (1972). *Computer Security Technology Planning Study. Volume 2*, Anderson (James P) and Co Fort Washington PA.

Bacon, P. R. (1994). "Template for evaluation of impacts of sea level rise on Caribbean coastal wetlands." *Ecological Engineering* 3(2): 171-186.

Bandyopadhyay, K., et al. (2000). "On some problems of the maximum entropy ansatz." *Pramana* 54(3): 365-375.

Barling, R. D. and I. D. Moore (1994). "Role of buffer strips in management of waterway pollution: a review." *Environmental Management* 18(4): 543-558.

Barling, R. D. and I. D. Moore (1994). "Role of buffer strips in management of waterway pollution: a review." *Environmental Management* 18(4): 543-558.

Bezdek, J. C. (1973). "Cluster validity with fuzzy sets."

Brazner, J. C., et al. (2007). "Responsiveness of Great Lakes wetland indicators to human disturbances at multiple spatial scales: a multi-assemblage assessment." *Journal of Great Lakes Research* 33: 42-66.

Breen, C., et al. (1988). *Vegetation processes in swamps and flooded plains. Vegetation of inland waters*, Springer: 223-247.

Brinson, M. M. (1988). "Strategies for assessing the cumulative effects of wetland alteration on water quality." *Environmental Management* 12(5): 655-662.

Brinson, M. M. (1993). A hydrogeomorphic classification for wetlands, EAST CAROLINA UNIV GREENVILLE NC.

Burioka, N., et al. (2003). "Approximate entropy of human respiratory movement during eye-closed waking and different sleep stages." *Chest* 123(1): 80-86.

Chiu, S. (1997). Extracting fuzzy rules from data for function approximation and pattern classification, chapter. 9.

Chiu, S. L. (1994). "Fuzzy model identification based on cluster estimation." *Journal of Intelligent & fuzzy systems* 2(3): 267-278.

Choo, T.-H. (2000). "An efficient method of the suspended sediment-discharge measurement using entropy concept." *Water Engineering Research* 1(2): 95-105.

Costa, M., et al. (2002). "Multiscale entropy analysis of complex physiologic time series." *Physical review letters* 89(6): 068102.

Cowardin, L. M. and F. C. Golet (1995). US Fish and Wildlife Service 1979 wetland classification: A review. *Classification and inventory of the world's wetlands*, Springer: 139-152.

D.L. Saunders, J. K. (2001). "Nitrogen retention in wetlands, lakes and rivers." *Kluwer Academic Publishers* 443(443): 205–212.

Grossmann, A. and J. Morlet (1984). "Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape." *SIAM journal on mathematical analysis* 15(4): 723-736.

Hagan, M. T., et al. (1996). *Neural network design*, Pws Pub. Boston.

Han, J. W., et al. (2001). "Transient fluid flow phenomena in a gas stirred liquid bath with top oil layer—Approach by numerical simulation and water model Experiments." *ISIJ international* 41(10): 1165-1172.

Hand, D. J. and R. J. Till (2001). "A simple generalisation of the area under the ROC curve for multiple class classification problems." *Machine learning* 45(2): 171-186.

Hillman, T. (1986). *Billabongs. Limnology in Australia*, Springer: 457-470.

Hornik, K., et al. (1989). "Multilayer feedforward networks are universal approximators." *Neural networks* 2(5): 359-366.

Hsu, K. I., et al. (1995). "Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process." *Water Resources Research* 31(10): 2517-2530.

Jacoby, S. (1966). "A mathematical model for nonlinear hydrologic systems." *Journal of Geophysical Research* 71(20): 4811-4824.

Jain, S. K. and K. Sudheer (2008). "Fitting of hydrologic models: a close look at the Nash–Sutcliffe index." *Journal of Hydrologic Engineering* 13(10): 981-986.

Jang, J. S. R. (1993). "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 23(3): 665-685.

Jang, J.-S. R., et al. (1997). "Neuro-fuzzy and soft computing; a computational approach to learning and machine intelligence."

Kagan, A. M., et al. (1973). "Characterization problems in mathematical statistics."

Kapur, J. N. (1989). *Maximum-entropy models in science and engineering*, John Wiley & Sons.

Kohonen, T. (1972). "Correlation matrix memories." *IEEE transactions on computers* 100(4): 353-359.

Kotze, D. C. (2005). "An ecological assessment of the health of the Mhlapetsi wetland Limpopo Province South Africa."

Maier, H. R. and G. C. Dandy (1997). "Determining inputs for neural network models of multivariate time series." *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 12(5): 353-368.

Mallat, S. and F. Falzon (1998). "Analysis of low bit rate image transform coding." *IEEE Transactions on Signal Processing* 46(4): 1027-1042.

Mamdani, E. H. and S. Assilian (1975). "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller." *International journal of man-machine studies* 7(1): 1-13.

Meng, W., et al. (2017). "Status of wetlands in China: A review of extent, degradation, issues and recommendations for improvement." *Ocean & Coastal Management* 146: 50-59.

Moghaddamnia, A., et al. (2009). "Comparison of LLR, MLP, Elman, NNARX and ANFIS Models—with a case study in solar radiation estimation." *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 71(8-9): 975-982.

Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe (1970). "River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles." *Journal of Hydrology* 10(3): 282-290.

Natale, L. and E. Todini (1976). "A stable estimator for linear models: 2. real world hydrologic applications." *Water Resources Research* 12(4): 672-676.

Pal, N. R. and S. K. Pal (1991). "Entropy: A new definition and its applications." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 21(5): 1260-1270.

Pincus, S. M. (1991). "Approximate entropy as a measure of system complexity." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 88(6): 2297-2301.

Rosenblatt, F. (1957). *The perceptron, a perceiving and recognizing automaton* Project Para, Cornell Aeronautical Laboratory.

Rosenthal, H. and J. Binia (1988). "On the epsilon entropy of mixed random variables." *IEEE Transactions on Information Theory* 34(5): 1110-1114.

Rosso, O., et al. (2006). "EEG analysis using wavelet-based information tools." *Journal of neuroscience methods* 153(2): 163-182.

Rowntree, K. (1993). "A hydro-geomorphic survey of wetland areas in the north-eastern Cape forests area." Report to Cape Nature Conservation, Eastern Cape Regional Scientific Services.

Rumelhart, D. E., et al. (1986). "Learning representations by back-propagating errors." *nature* 323(6088): 533.

Semeniuk, C. (1987). "Wetlands of the Darling System-a geomorphic approach to habitat classification." *JR Soc. West. Aust.* 69: 95-112.

Shannon, C. E. (2001). "A mathematical theory of communication." *ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review* 5(1): 3-55.

Shen-Hsien, C., et al. (2006). "The strategy of building a flood forecast model by neuro-fuzzy network." *Hydrological Processes* 20(7): 1525-1540.

Silberbauer, M. and J. King (1991). "Geographical trends in the water chemistry of wetlands in the south-western Cape province, South Africa." *Southern African Journal of Aquatic Science* 17(1-2): 82-88.

Singh, V. P. (2011). "Hydrologic synthesis using entropy theory." *Journal of Hydrologic Engineering* 16(5): 421-433.

Sukhatme, V. P., et al. (1988). "A zinc finger-encoding gene coregulated with c-fos during growth and differentiation, and after cellular depolarization." *Cell* 53(1): 37-43.

Takagi, T. and M. Sugeno (1985). "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*(1): 116-132.

Tsallis, C. (1988). "Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics." *Journal of statistical physics* 52(1-2): 479-487.

Vincent, W. J. and J. P. Weir (1999). *Statistics in kinesiology, Human Kinetics Champaign, IL.*

Wasserman, J. D. and M. Freeman (1998). "An autoregulatory cascade of EGF receptor signaling patterns the *Drosophila* egg." 355-364.

Xiong, J. P., et al. (2001). "Crystal structure of the extracellular segment of integrin α V β 3." *Science* 294(5541): 339-345.

Zurek, W. H. (1989). "Algorithmic randomness and physical entropy." *Physical Review A* 40(8): 4731.

.

Abstract:

Ponds or wetlands are one of the most extensive natural water resources throughout the world. Wetlands are generally defined as lentic systems that take on characteristics of both terrestrial and aquatic systems. Wetlands are involved in almost half of the world's ecosystem services, including flood control and filtering of pollutants and sediments there for they have a high value for human race. In order to protect and reserve these ecosystems, A real-time wetland monitoring station, with hydrologic sensor (water level, air temperature, air humidity) and water quality multi-parameter (water temperature, specific conductance, dissolved oxygen) sensor made by GO Systemelektronik, has been implanted at the deepest part of the wetland at the order of Department of Environment.

In first section of this study capability of FCM-ANFIS method in predicting DO measure was tested. Result indicate a strong fit between modeled data and real time series data, considering high values of R and NSR and low values of RMSE.

In order to extract the hidden information of the time series of online sensors Wavelet-Entropy method was utilized in the second section of the study.

Wavelet entropy is applied to real time series of the online monitoring data for complexity change measurement between two year and then the results are compared to extract the possible relations between these data.

Although previous sections of the study have only concentrated on correlation coefficients(R), coefficients of determination (NSR) and statical significance, but because of the complexity of the wetland systems, these values do not provide the full wetland picture. So the emphasis should rather be placed on visual analysis of a site. Therefor wetland classification and risk assessment index (WCRI) was applied to Kani Barazan wetland. Results of sampling and filed measurements indicates that a moderate modification has occurred in this wetland which has caused a small change in natural habitats, but the basic ecosystem functions are still unchanged.