نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۰، شماره ۵۵، بهار ۱۳۹۵، صفحات ۶۳-۴۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۳ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۰۳/۰۷

طبقه‌بندی دمایی ایستگاه‌های هواشناسی کشور با استفاده از خوشه‌بندی فازی و شبکه عصبی مصنوعی کوهونن

محمدعلی قربانی[۱]
سرور پوربابک[۲]
حسین جباری خامنه[۳]
اسماعیل اسدی[۴]
محمدحسن فاضلی فرد[۵]

چکیده

طبقه‌بندی ایستگاه‌های هواشناسی موجب اختصاص حجم زیادی از اطلاعات به چند دسته متجانس کوچک‌تر، سهولت استفاده در مدل‌سازی و هم‌چنین کمک شایانی به گسترش اطلاعات نقطه‌ای به اطلاعات منطقه‌ای برای نقاط فاقد آمار می‌نماید. در این تحقیق ۱۱۲ ایستگاه هواشناسی پس از بررسی‌های اولیه از بین تمام ایستگاه‌های سینوپتیک کشور انتخاب و سپس با استفاده از خوشه‌بندی فازی و شبکه عصبی مصنوعی کوهونن طبقه‌بندی دمائی آنها مورد بررسی قرار گرفت. میانگین دمای سالانه، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها به‌عنوان پارامترهای ورودی معیارهای طبقه‌بندی در نظر گرفته شدند. تعداد بهینه خوشه‌ها با استفاده از شاخص دیویس-بولدین، محاسبه و ایستگاه‌های هر خوشه به تفکیک مشخص و با کمک سیستم اطلاعات جغرافیائی روی

۱ـ دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۲ـ کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز. Email:s.pourbabak@yahoo.com
۳ـ استادیار گروه آمار و ریاضی دانشکده ریاضی، دانشگاه تبریز.
۴ـ استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۵ـ کارشناس ارشد رشته کشاورزی گرایش منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

نقشه مشخص گردید. در ادامه از پهنه‌بندی اقلیمی کشور بر اساس روش دمارتن جهت ارزیابی دقت هر دو روش استفاده گردید. هر چند نتایج حاکی از دقت قابل قبول هر دو روش می‌باشد، لیکن خوشه‌بندی فازی تا حدودی نسبت به شبکه عصبی کوهونن انطباق بهتری را با پهنه‌های اقلیمی حاصل از روش دمارتن نشان می‌دهد

واژگان کلیدی: طبقه‌بندی، ایستگاه‌های هواشناسی، خوشه‌بندی فازی، شبکه عصبی کوهونن.

مقدمه

طبق تعریف طبقه‌بندی روشی است که در آن هر نمونه در یک طبقه از پیش تعیین شده قرار گرفته و با استفاده از یک سری اطلاعات اولیه، نمونه‌ها به دسته‌های خاصی نسبت داده می‌شوند. طبقه‌بندی پایگاه اطلاعات بزرگ، نظیر ایستگاه‌های هواشناسی موجب می‌شود حجم زیادی از اطلاعات با اختصاص به چند دسته متجانس کوچک‌تر به‌راحتی در روش‌های مختلف مدل‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. به‌علاوه این روش می‌تواند کمک شایانی به گسترش معلومات نقطه‌ای به اطلاعات منطقه‌ای برای نقاط فاقد آمار نماید. روش‌های خوشه‌بندی فازی[۶] و شبکه عصبی مصنوعی کوهونن[۷] جزو الگوریتم‌هایی هستند که در طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند. (Raju and Kumar, 2007: 304). خوشه‌بندی فازی روشی است منطبق بر منطق فازی که در آن هر مجموعه داده به یک گروه تعلق دارد که با یک درجه عضویت مشخص می‌گردد. (Ross, 1995: 230). شبکه عصبی مصنوعی خودسازمانده[۸] برای نخستین بار توسط کوهونن مطرح و به این دلیل شبکه عصبی کوهونن نامیده می‌شود. در این شبکه، یادگیری از نوع یادگیری بدون ناظر است. (صالح‌پور و حبیب‌زاده، ۱۳۸۶: ۱۲).

هولا و داتر[۹] (۱۹۹۹) از خوشه‌بندی فازی جهت طبقه‌بندی مکانی-زمانی بارش‌های روزانه ۴۰۰ ایستگاه هواشناسی استرالیا در یک دوره ۲۰ ساله استفاده نمودند. نتیجه حاصله

6- Fuzzy cluster analysis
7- Kohonen artificial neural network
8- Self-Organizing
9-Holawe and Dutter

طبقه‌بندی ایستگاه‌ها در دو، سه و چهار خوشه‌ای بوده است. روگر و همکاران[10] (۲۰۰۰) برای تهیه نقشه مشخصات هیدرولوژیکی خاک در کشور فرانسه از روش خوشه‌بندی فازی استفاده و نشان دادند که روش متکی بر منطق فازی عملکرد بهتری نسبت به روش‌های کلاسیک دارا می‌باشد. جینگ‌یی و هل[11] (۲۰۰۴) طبقه‌بندی ۸۶ ایستگاه در حوضه گان از استان جیانگ سی و حوضه مینگ از استان فوجیان در جنوب‌شرقی هند را با استفاده از روش کلاستر وارد، روش فازی و شبکه عصبی کوهونن انجام دادند. نتایج حاصل نشان داد که شبکه عصبی کوهونن یک روش ممتاز در مقایسه با سایر روش‌ها می‌باشد. راجو و کومار[12] (۲۰۰۷) طبقه‌بندی ایستگاه‌های هواشناسی هند را با استفاده از خوشه‌بندی وارد، خوشه‌بندی فازی و شبکه عصبی مصنوعی کوهونن مورد مطالعه قرار دادند که نهایتاً خوشه‌بندی فازی بهتر از دو روش دیگر نتیجه داد. دیکباش و همکاران[13] (۲۰۱۱) خوشه‌بندی فازی را در طبقه‌بندی سری‌های سالانه بارش ۱۸۸ ایستگاه در ترکیه مورد استفاده قرار دادند. در این مطالعه کشور ترکیه به شش گروه همگن طبقه‌بندی گردیده است. رحیمی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله خود به‌منظور شناخت پهنه‌های دمایی استان چهارمحال و بختیاری روش مجموعه‌ها و خوشه‌بندی فازی را مورد بررسی قرار دادند و منطقه مورد مطالعه را در سه گروه دمایی طبقه‌بندی نمودند. با توجه به قرار گرفتن کشور به‌عنوان منطقه نیمه‌خشک، ضرورت مطالعات طبقه‌بندی جهت مدیریت بهتر مسائل مرتبط با منابع آب و هواشناسی از جمله استفاده آسان از حجم زیاد اطلاعات با اختصاص به دسته‌های کوچک‌تر، گسترش معلومات نقطه‌ای به اطلاعات منطقه‌ای برای نقاط فاقد آمار بیش از پیش احساس می‌شود. هدف از این تحقیق طبقه‌بندی ایستگاه‌های هواشناسی کشور با استفاده از خوشه‌بندی فازی و شبکه عصبی کوهونن با استفاده از شاخص‌های میانگین دمای سالانه، مختصات جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها می‌باشد. انتظار می‌رود روش‌های خوشه‌بندی فازی و شبکه کوهونن بتوانند در طبقه‌بندی دمائی ایستگاه‌ها نتایج قابل قبولی را ارائه نمایند.

10- Roger et al.
11- Jingyi and Hall
12- Raju and Kumar
13- Dikbas et al.

مواد و روش‌ها

ایستگاه‌ها و داده‌های مورد مطالعه

پس از بررسی ایستگاه‌های کل کشور و با توجه به آمار اولیه موجود، حداقل طول دوره آماری مورد نیاز و نیز پراکنش ایستگاه‌ها، ۱۱۲ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مورد بررسی قرارگرفت. شاخص‌های دمای متوسط سالانه، طول جغرافیائی، عرض جغرافیائی و ارتفاع ایستگاه‌ها در طی دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۹۰) میلادی به‌منظور طبقه‌بندی دمائی مورد استفاده قرار گرفت. در جدول (۱)، مختصات جغرافیایی و مشخصات آماری تعدادی از ایستگاه‌ها آورده شده است.

جدول (۱) مختصات جغرافیائی و مشخصات آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیائی (دسیمل)	عرض‌جغرافیائی (دسیمل)	حداکثر دمای هوا (سانتی‌گراد)	حداقل دمای هوا (سانتی‌گراد)	میانگین دمای هوا (سانتی‌گراد)
۱	آبادان	۶/۶	۴۸/۲۵	۳۰/۳۷	۳۹/۵	۹/۹	۲۶/۰۲
۲	آباده	۲۰۳۰	۵۲/۶۷	۳۱/۱۸	۲۷/۸	-۰/۹	۱۴/۰۹
۳	ابوموسی	۶/۶	۵۴/۸۳	۲۵/۸۳	۳۴/۸	۱۸/۶	۲۷/۵۳
۴	اهر	۱۳۹۰/۵	۴۷/۰۷	۳۸/۴۳	۲۴/۴	-۴/۵	۱۰/۸۶
۵	اهواز	۲۲/۵	۴۸/۶۷	۳۱/۳۳	۳۹/۸	۹/۹	۲۶/۰۳
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
۱۰۸	یزد	۱۲۳۷/۲	۵۴/۲۸	۳۱/۹۰	۳۵/۵	۳/۸	۱۹/۸۰
۱۰۹	زابل	۴۸۹/۲	۶۱/۴۸	۳۱/۰۳	۳۶/۶	۶/۴	۲۲/۳۳
۱۱۰	زاهدان	۱۳۷۰	۶۰/۸۸	۲۹/۴۷	۳۰/۱	۴/۹	۱۸/۸۱
۱۱۱	زنجان	۱۶۶۳	۴۸/۴۸	۳۶/۶۸	۲۴/۹	-۸/۲	۱۰/۸۹
۱۱۲	زرقان	۱۵۹۶	۵۲/۷۲	۲۹/۷۸	۳۰	۱/۹	۱۶/۲۸

شاخص دیویس – بولدین

از شاخص دیویس- بولدین[۱۴] (رابطه ۱) به‌منظور تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها برای گروه-بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده می‌شود. در این شاخص، $\delta (X_i,X_j)$ مقدار فاصله درون خوشه‌ای خوشه‌های $\Delta(X_i); X_i,X_j$ قطر خوشه X_i و C تعداد خوشه‌های قسمت‌های U می‌باشد.

$$DB(U) = \frac{1}{c}\sum_{i=1}^{c} 1\max[\frac{\Delta(X_i) + \Delta(X_j)}{\delta(X_i, X_j)}] i \neq j \qquad (۱)$$

این شاخص براساس هر تعداد خوشه محاسبه می‌شود و تعداد خوشه متناظر با حداقل مقدار شاخص دیویس–بولدین به‌عنوان تعداد خوشه بهینه لحاظ می‌شود (Raju & Kumar, 2007: 307).

مربعات خطا

به‌منظور بررسی معیار شباهت اعضای واقع در هر گروه در روش خوشه‌بندی فازی از مجموع مربعات خطا که در رابطه (۲) نشان داده شده استفاده گردید. در واقع منظور، تعیین مجموع فاصله (فاصله اقلیدسی) نقاط از مراکز دسته‌های ایجاد شده می‌باشد (Dikbas et al, 2011)

$$J(U,V:X) = \sum_{i=1}^{c}\sum_{k=1}^{N}(u_{ik})^m d_{ik}^2(x_k, v_i) \qquad (۲)$$

در این رابطه، N تعداد ایستگاه‌ها و C تعداد دسته‌ها، U_{ik}، نشان‌دهنده عدد عضویت ایستگاه k ام در دسته i ام، m یک عدد ثابت می‌باشد که در اینجا برابر با ۲ در نظر گرفته شده است، X، نشان‌دهنده نقاط یا ایستگاه و V، مرکز دسته‌ها می‌باشد. مربع فاصله اقلیدسی نیز با استفاده از رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$d_{ik}^2(X_k,V_i) = (X_{k,1}-V_{i,1})^2 + (X_{k,2}-V_{i,2})^2 + (X_{k,3}-V_{i,3})^2 + \ldots + (X_{k,n}-V_{i,n})^2 \qquad (۳)$$

14- Davies and Bouldin

به‌منظور برآورد میزان خطای درون‌گروهی مجموعه‌ی داده‌های خوشه‌بندی شده در روش شبکه عصبی کوهونن، یکی از شماره‌های ثابت k به هر یک از گروه‌ها اختصاص می‌یابد. مقدار خطای مربع کلی برای گروه k، از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$E_k = \sum_{k=1}^{k} e_k^2 \qquad (۴)$$

که در آن، e_k مقدار خطا برای گروه k می‌باشد. منظور از این رابطه، مجموع فاصله (فاصله اقلیدسی) نقاط از مراکز دسته‌های نقاط می‌باشد. در روش شبکه عصبی کوهونن مراکز دسته‌ها همان وزن نرون‌ها می‌باشد (Ross, 1995: 230; Raju & Kumar, 2007: 305).

الگوریتم خوشه‌بندی فازی

خوشه‌بندی فازی[۱۵] یک روش خوشه‌بندی در یک محیط فازی است، در جایی که هر مجموعه داده به یک گروه تعلق دارد که با یک درجه عضویت مشخص شده است. درجه عضویت ممکن است از یک گروه به گروه دیگر (بین صفر و یک) فرق کند و در نهایت مجموع مقادیر عضویت برای هر مجموعه داده مساوی یک خواهد بود (Raju & Kumar, 2007: 307).

کاربردی‌ترین الگوریتم خوشه‌بندی فازی، الگوریتم C-means می‌باشد (MathSoft, 1999: 86)، در این الگوریتم برای خوشه‌بندی n داده در c دسته یک تابع هدف j_m به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$j_m(u,v) = \sum_{k=1}^{n} (\mu_{ik}) m'(d_{ik})^2 \qquad (۵)$$

که d_{ik} فاصله اقلیدسی بین مرکز خوشه i ام و داده k ام بوده و به‌شکل زیر تعریف می‌شود:

$$d_{ik} = d(x_i - v_i) = [\sum_{j=1}^{m} (X_{kj} - V_{im})^2]^{1/2} \qquad (۶)$$

15- FCA

d_{ik} برابر درجه عضویت داده k ام به خوشه i ام است.کم‌ترین مقدار j_m مربوط به بهترین حالت خوشه‌بندی خواهد بود. پارامتر 'm یک پارامتر وزنی است که بازه تغییرات آن به‌صورت $m' \ [1,\alpha)$ می‌باشد، این پارامتر میزان فازی بودن را در فرایند دسته‌بندی مشخص می‌نماید. همچنین v_i نشان‌دهنده مختصات مرکز i امین خوشه می‌باشد، بنابراین $v_i=\{v_{i1},\ldots,v_{im}\}$ که در آن m تعداد ابعاد v_i یا به‌عبارتی تعداد معیارهای تشابه می‌باشد. مختصات مرکز خوشه‌ها از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$u_i^j = \frac{\sum_{i=1}^{n} u_{ik} m'_{xk} j}{\sum_{i=1}^{n} u_{ik} m'} \qquad (۷)$$

به‌طوری که $j=1,2,\ldots,m$ متغیری برای نشان‌دادن فضای معیارهاست (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۷: ۱۲۷). سپس برای محاسبات، کد کامپیوتری در محیط نرم‌افزار متلب نوشته شد که این نرم‌افزار با اخذ تعداد کمینه و بیشینه خوشه‌ها، تعداد تکرارها، ۱۰۰۰ تکرار، مقدار خطا، $۱۰^{-۸}$، پارامترهای دمای متوسط سالانه، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع که به‌عنوان معیار طبقه‌بندی از محیط نرم‌افزار اکسل در نظر گرفته شده و به‌منظور یکسان شدن تأثیر پارامترهای مختلف بین دو عدد صفر و یک نرمال‌سازی شدند طبقه‌بندی ایستگاه‌های هواشناسی را انجام داد. خروجی‌های طبقه‌بندی با روش خوشه‌بندی فازی، مقادیر شاخص دیویس- بولدین، مقادیر مربعات خطا، مقادیر عضویت هر ایستگاه هواشناسی و ایستگاه هواشناسی نماینده برای هر گروه است که کاربر می‌تواند با داشتن آنها تحلیل نتایج این روش طبقه‌بندی را انجام دهد.

الگوریتم شبکه عصبی کوهونن

شبکه خود سازمانده کوهونن یک شبکه عصبی بدون ناظر می‌باشد که هدفش کاهش بعد و خوشه‌بندی است. کوهونن به‌علت استفاده از تابع همسایگی به‌منظور حفظ ویژگی‌های مکانی فضای ورودی با سایر شبکه‌های عصبی متفاوت است. هر شبکه کوهونن از تعدادی نرون تشکیل شده است. هر نرون دارای برداری از وزن‌ها می‌باشد. ابعاد این بردار با ابعاد

فضای ورودی برابر است. پس از آموزش شبکه هر ناحیه، نرون‌های شبکه به الگوهای خاصی از داده‌های ورودی واکنش نشان می‌دهند (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۸).

روش آموزش شبکه یادگیری رقابتی است. وقتی نمونه آموزشی جدید به شبکه اعمال می‌شود فاصله اقلیدسی آن از بردار وزن تمام نرون‌های شبکه حساب می‌شود. نرونی که بردار وزنش بیش‌ترین شباهت را با بردار ورودی داشته باشد برنده است. این نرون بهترین واحد تطبیق[۱۶] نامیده می‌شود. بردار وزن نرون برنده و همسایه‌هایش در شبکه کوهونن در راستای نزدیک‌شدن به بردار ورودی تغییر می‌کنند. میزان تغییرات بر اساس زمان و فاصله از بهترین واحد تطبیق کاهش می‌یابد. وزن‌های هر نرون مطابق فرمول زیر به‌روزرسانی می‌شوند.

$$Wi(t+1)=Wi(t)+\theta(v,t)\alpha(t)(X(t)-Wi \qquad (۸)$$

که $\alpha(t)$ نرخ یادگیری کاهشی و $X(t)$ بردار ورودی می‌باشد. تابع همسایگی بستگی $\theta(v,t)$، وابسته به فاصله بین نرون i و بهترین واحد تطبیق در شبکه است. هم‌چنین شعاع همسایگی و نرخ یادگیری در طول زمان توسط فرمول‌های زیر کاهش می‌یابد.

$$\alpha(t) = \sigma_0 \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right) \qquad t = 1,2,3,... \qquad (۹)$$

که t شماره تکرار و λ مقدار ثابت و α_0 نرخ یادگیری اولیه می‌باشد.

$$\theta(t) = \exp(-\frac{dist^2}{2\sigma_{(t)}^2} \qquad (۱۰)$$

که $dist$ فاصله نود از BMU و $\sigma(t)$ با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\sigma(t) = \sigma_0 \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right) \qquad t = 1,2,3,... \qquad (۱۱)$$

در این فرمول σ_0 عرض شبکه در زمان t_0 و λ مقدار ثابت و t شماره تکرار جاریست

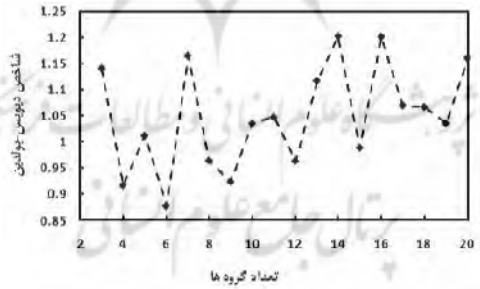
16- Best Matching Unit

(سلطانی و همکاران، ۱۱۸:۱۳۸۹). در روش شبکه عصبی کوهونن، نرم‌افزار متلب با اخذ تعداد بهینه خوشه‌ها که از روش خوشه‌بندی فازی بدست آمده است، تعداد تکرارها، ۱۰۰۰، مقادیر مختلف نرخ آموزش به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹، پارامترهای دمای متوسط سالانه، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع که به عنوان معیار طبقه‌بندی از محیط نرم افزار اکسل در نظر گرفته شده‌اند، طبقه‌بندی ایستگاه‌های هواشناسی را انجام داد. خروجی‌های طبقه‌بندی با روش کوهونن، شامل مقادیر مربعات خطا، تعداد ایستگاه‌های موجود در هر گروه با نرخ‌های یادگیری مختلف است که کاربر می‌تواند با داشتن آنها تحلیل نتایج این روش طبقه‌بندی را انجام دهد.

یافته‌ها و بحث

نتایج روش خوشه‌بندی فازی

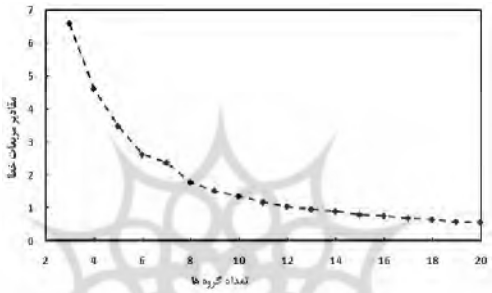
مقادیر شاخص دیویس–بولدین با استفاده از رابطه (۱) محاسبه و در شکل (۲) آورده شده است، دامنه درنظر گرفته شده برای این شاخص بین ۳ تا ۲۰ گروه انتخاب گردید (Raju & Kumar, 2007: 307). همان‌طور که از شکل استنباط می‌گردد تعداد بهینه خوشه‌ها با توجه به کم‌ترین مقدار شاخص که معادل ۰/۸۷۷ است، عدد ۶ می‌باشد.



شکل (۲) مقادیر شاخص دیویس–بولدین برای تعداد خوشه‌های مختلف با روش خوشه‌بندی فازی

مقادیر مربعات خطای هر کدام از گروه‌ها بین ۳ تا ۲۰ خوشه با استفاده از روابط (۲) و (۳) به‌دست آمده و در شکل (۳) نشان داده شده است. در روش خوشه‌بندی فازی با افزایش

تعداد گروه‌ها از ۵ به ۶، ایستگاه‌های غرب کشور در یک دسته مستقل قرار گرفتند که با کاهش شدید خطا همراه بود در حالی‌که با افزایش تعداد گروه‌ها از ۶ به ۷، ایستگاه‌های شمال غرب به دو دسته تقسیم شدند که کاهش شیب نمودار خطا نشان‌دهنده عدم ضرورت افزایش تعداد گروه‌ها می‌باشد. به‌دلیل اختصار از آوردن نقشه‌های مربوط به طبقه‌بندی ایستگاه‌های هواشناسی با تعداد گروه‌های مختلف صرفنظر شده است.



شکل (۳) مقادیر مربعات خطا برای خوشه‌های مختلف با روش خوشه‌بندی فازی

مقدار عضویت در هر گروه، احتمال قرار گرفتن ایستگاه هواشناسی را در آن گروه خاص، نشان می‌دهد. مقادیر عضویت تعدادی از ۱۱۲ ایستگاه هواشناسی در هرکدام از گروه‌های ۶گانه با استفاده از کد نوشته شده محاسبه و در جدول (۳) نشان داده شده است. در میان ۶ گروه، گروهی که دارای بالاترین مقدار عضویت بوده، گروه نماینده آن ایستگاه است. به‌طور مثال گروه نماینده برای ایستگاه هواشناسی اول، گروه پنجم (با بیش‌ترین مقدار عضویت ۰/۹۱۲۰) است. به‌طور مشابه تمامی ایستگاه‌های هواشناسی دیگر نیز تحلیل و گروه‌بندی شده‌اند. تعداد ایستگاه‌های هواشناسی قرار گرفته در خوشه‌های ۱ تا ۶ به‌ترتیب، ۳۵ ایستگاه در خوشه اول، ۲۲ ایستگاه در خوشه دوم، ۱۶ ایستگاه در خوشه سوم، ۱۱ ایستگاه در خوشه چهارم، ۱۰ ایستگاه در خوشه پنجم و ۱۸ ایستگاه در خوشه ششم است. حداقل تعداد ایستگاه‌های قرار گرفته در هر گروه ۱۰ ایستگاه و حداکثر آنها ۳۵ ایستگاه و میانگین تعداد ایستگاه‌ها در هر گروه، ۱۹ ایستگاه است. مشاهده می‌شود که هیچ‌کدام از ۶ گروه خالی نیستند. از مزیت‌های روش خوشه‌بندی فازی، تعلق هر مجموعه داده به‌صورت عضویت جزیی در تمامی گروه‌ها

می‌باشد و این امر سبب می‌گردد که هیچ گروهی خالی از عضو نباشد. در جدول (۴)، اسامی ایستگاه‌های متعلق به گروه‌های ۶گانه با روش خوشه‌بندی فازی آورده شده است. در یک گروه، ایستگاه با بالاترین مقدار عضویت، یک ایستگاه نماینده برای آن گروه است. ایستگاه-های هواشناسی نماینده برای گروه ۱، ایستگاه شماره ۶۸ (مراغه)، برای گروه ۲، ایستگاه شماره ۵۸ (خور بیرجند)، برای گروه۳، ایستگاه شماره ۴۸ (کهنوج)، برای گروه ۴، ایستگاه شماره ۷۸ (پارس آباد مغان)، برای گروه ۵، ایستگاه شماره ۸۶ (صفی‌آباد دزفول) و برای گروه ۶ ایستگاه شماره ۵۴ (کرمان) است. در شکل (۵) نیز پراکندگی ایستگاه‌های تمام گروه‌ها در محیط GIS ترسیم شده و پهنه‌بندی هر گروه نیز با رنگ خاصی نشان داده شده است.

جدول (۳) مقادیر عضویت در ۶ گروه تعیین شده با روش خوشه‌بندی فازی مقادیر عضویت در هر گروه

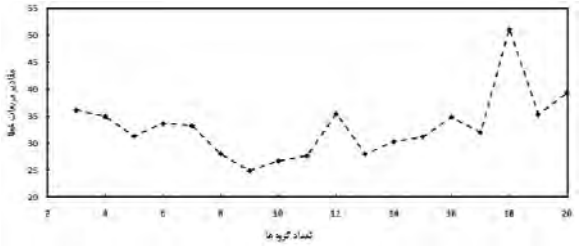
گروه نماینده	۶	۵	۴	۳	۲	۱	شماره ایستگاه
۵	۰/۰۱۱۹	۰/۹۱۲۱	۰/۰۲۱۶	۰/۰۳۲۴	۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۹۳	۱
۶	۰/۷۴۷۸	۰/۰۲۴۲	۰/۰۲۷۷	۰/۰۲۰۷	۰/۰۸۵۸	۰/۰۹۳۸	۲
۳	۰/۰۲۲۴	۰/۰۸۶۳	۰/۰۲۳۳	۰/۸۲۹۵	۰/۰۲۵۴	۰/۰۱۳۲	۳
۱	۰/۰۵۸۱	۰/۰۲۳۷	۰/۰۵۶۵	۰/۰۱۳۶	۰/۰۴۶۷	۰/۸۰۱۳	۴
۵	۰/۰۰۵۵	۰/۹۵۹۲	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۳۸	۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۴۴	۵
۱	۰/۳۶۸۱	۰/۰۳۷۵	۰/۰۵۱۲	۰/۰۲۶۹	۰/۱۰۳۹	۰/۴۱۲۴	۶
۶	۰/۵۵۳۳	۰/۰۴۳۳	۰/۰۴۰۶	۰/۰۴۲۲	۰/۲۶۵۵	۰/۰۵۵۲	۷
۱	۰/۳۱۰۲	۰/۰۳۱۴	۰/۰۴۰۷	۰/۰۲۰۲	۰/۰۹۳۱	۰/۴۹۸۱	۸
۱	۰/۰۸۶۵	۰/۰۳۳۳	۰/۰۸۴۶	۰/۰۲۰۳	۰/۰۷۳۶	۰/۷۰۱۷	۹
۴	۰/۰۲۶۷	۰/۰۴۴۶	۰/۸۲۸۰	۰/۰۱۸۴	۰/۰۳۷۴	۰/۰۴۴۹	۱۰
.	.	.	.	.	.	.	.
۶	۰/۸۷۰۳	۰/۰۱۳۸	۰/۰۱۴۸	۰/۰۱۱۰	۰/۰۴۲۸	۰/۰۴۷۳	۱۰۷
۶	۰/۳۶۶۷	۰/۰۷۵۶	۰/۰۶۶۴	۰/۰۶۰۴	۰/۳۵۷۹	۰/۰۷۳۰	۱۰۸
۳	۰/۱۱۶۱	۰/۱۳۰۵	۰/۱۰۵۲	۰/۳۱۷۵	۰/۲۷۴۵	۰/۰۵۶۲	۱۰۹
۲	۰/۲۵۹۴	۰/۰۷۵۶	۰/۰۶۹۲	۰/۱۲۵۳	۰/۴۰۰۳	۰/۰۷۰۲	۱۱۰
۱	۰/۰۴۱۴	۰/۰۱۰۲	۰/۰۲۰۰	۰/۰۰۶۴	۰/۰۲۵۵	۰/۸۹۶۴	۱۱۱
۶	۰/۸۷۰۳	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۵۶	۰/۰۱۴۲	۰/۰۵۰۸	۰/۰۳۲۶	۱۱۲

جدول (۴) اسامی ایستگاه‌های متعلق به گروه‌های ۶ گانه با روش خوشه‌بندی فازی

شماره گروه	اسامی ایستگاه‌ها
۱	اهر، الیگودرز، اراک، اردبیل، بیجار، بروجرد، اسلام آباد غرب، قزوین، قروه، همدان(فرودگاه)، همدان(نوژه)، ایلام، جلفا، کنگاور، کرج، کرمانشاه، خلخال، خرم آباد، خرم دره، خوی، مهاباد، ماکو، مراغه، میانه، ارومیه، پیرانشهر، روانسر، سقز، سنندج، سراب، سردشت، شمال تهران، تبریز، تکاب و زنجان.
۲	بیرجند، بوشرویه، دوشان تپه، فردوس، قائن، قوچان، گناباد، کاشان، کاشمر، خاش، خور بیرجند، خور بیابانک، مشهد، نیشابور، سبزوار، سرخس، سمنان، شاهرود، طبس، تهران(مهرآباد)، تربت حیدریه و زاهدان.
۳	ابوموسی، بم، بندر عباس، بندر لنگه، چابهار، ایرانشهر، جاسک، جزیره سیری، کهنوج، کنارک چابهار، کیش، لار، میانده جیرفت، میناب، سراوان و زابل.
۴	آستارا، بابلسر، بندر انزلی، قائمشهر، قم، گرگان، نوشهر، پارس آباد مغان، رامسر، رشت و سرپل ذهاب.
۵	آبادان، اهواز، بندر ماهشهر، بستان، بوشهر، دهلران، مسجد سلیمان، امیدیه آقاجاری، رامهرمز و صفی آباد دزفول.
۶	آباده، انار، بافت، بروجن، داران، اصفهان، فسا، کرمان، کوهرنگ، سد درودزن، شهر بابک، شهرکرد، شرق اصفهان، شیراز، سیرجان، یاسوج، یزد و زرقان.

نتایج خوشه‌بندی شبکه عصبی کوهونن

مقادیر مربعات خطای هر کدام از گروه‌ها برای خوشه‌های ۳ تا ۲۰ با استفاده از رابطه (۴) به‌دست آمده و در شکل (۴) نشان داده شده است. از شکل (۴) مشاهده می‌گردد که مقادیر مربعات خطا در روش شبکه عصبی کوهونن روند خاصی نداشته و با افزایش تعداد گروه‌ها مقادیر آن کاهش نیافته است.



شکل (۴) مقادیر مربعات خطای خوشه‌های مختلف با روش شبکه عصبی کوهونن

جدول (۵) اسامی ایستگاه‌های متعلق به گروه‌های ۶ گانه با روش شبکه عصبی کوهونن

شماره گروه	اسامی ایستگاه‌ها
۱	آبادان، اهواز، بندر ماهشهر، بستان، بوشهر، دهلران، مسجد سلیمان، امیدیه آقاجاری، رامهرمز و صفی آباد دزفول.
۲	الیگودرز، آباده، بیجار، بروجن، داران، قروه، همدان(فرودگاه)، همدان(نوژه)، خلخال، کوهرنگ، شهرکرد، تکاب، زنجان.
۳	آستارا، بابلسر، بندرانزلی، قراخیل قائمشهر، قم، گرگان، نوشهر، پارس آباد مغان، رامسر، رشت، سرپل ذهاب، بوشرویه، دوشان تپه، فردوس، قائن، قوچان، گناباد، کرج، کاشان، کاشمر، خور بیابانک، مشهد، نیشابور، سبزوار، سرخس، سمنان، شاهرود، تهران(مهرآباد)، تربت حیدریه، سد درودزن، خرم آباد، یزد، زرقان.
۴	اراک، بروجرد، اصفهان، اسلام آباد غرب، قزوین، ایلام، کنگاور،کرمانشاه، خرم‌دره، مهاباد، مراغه، سقز، سنندج، پیرانشهر، روانسر، سردشت، شرق اصفهان، شمال تهران، یاسوج.
۵	اهر، اردبیل، جلفا، خوی، ماکو، میانه، ارومیه، سراب، تبریز.
۶	انار، بافت، فسا، کرمان، شهر بابک، شیراز، سیرجان، ابوموسی، بم، بندر عباس، بندر لنگه، چابهار، ایرانشهر، جاسک، جزیره سیری، کهنوج، کنارک چابهار، کیش، لار، میانده جیرفت، زاهدان، طبس، سراوان، زابل، بیرجند، خور بیرجند، میناب، خاش.

با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی کوهونن تعداد ایستگاه‌هایی که در خوشه‌های ۱ تا ۶ قرار گرفته‌اند، ۱۰ ایستگاه در خوشه اول، ۱۳ ایستگاه در خوشه دوم، ۳۳ ایستگاه در خوشه سوم و ۱۹ ایستگاه در خوشه چهارم، ۹ ایستگاه در خوشه پنجم و ۲۸ ایستگاه در خوشه ششم هستند. در جدول (۵) اسامی ایستگاه‌های متعلق به گروه‌های ۶گانه با این

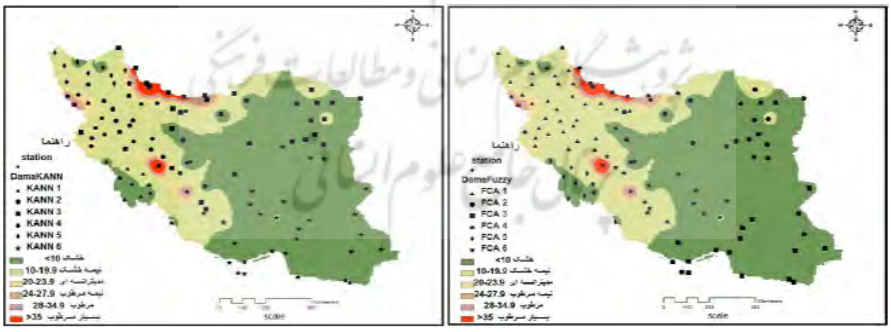
روش نشان داده شده است. در شبکه عصبی کوهونن لایه ورودی شامل چهار پارامتر دما، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع و لایه خروجی شامل تعداد گروه‌ها از ۱ تا ۶ است. پارامترهایی که برای آموزش الگوریتم استفاده شده است، تعداد گروه‌ها که در اینجا ۶ گروه است (تعداد بهینه خوشه‌ها که از شاخص دیویس–بولدین با روش خوشه‌بندی فازی به‌دست آمده)، نرخ یادگیری ۰/۷، نرخ هوش ۰/۰۰۱ و تعداد تکرار ۱۰۰۰ است. در شبکه عصبی کوهونن نرخ یادگیری برای یک نرخ هوش تعیین شده و تعداد تکرارها یک نقش بزرگ را ایفا می‌کند. در جدول ۶، تعداد ایستگاه‌های موجود در هر گروه با نرخ‌های یادگیری مختلف مشاهده می‌شود. برای نرخ‌های یادگیری ۰/۳ و ۰/۴ تعداد گروه‌های تشکیل شده ۵گروه است که کم‌تر از تعداد بهینه گروه‌ها که ۶ گروه است، می‌باشد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که برای نرخ‌های یادگیری ۰/۲، ۰/۸ و ۰/۹ یک گروه وجود دارد که در آن تنها یک ایستگاه حضور دارد. برای انتخاب نرخ یادگیری مناسب، بهتر است که واریانس مربوط به تمامی ۱۰ نرخ یادگیری را به‌دست آورده و کم‌ترین مقدار برای آموزش شبکه در نظر گرفته شود، که در جدول زیر نرخ یادگیری ۰/۷ با تعداد گروه ۶، کم‌ترین واریانس را داشته و انتخاب شده است. تعداد ایستگاه‌های قرار گرفته در این ۶ گروه با نرخ یادگیری ۰/۷، طبق جدول ۶، به‌ترتیب، ۱۰ ایستگاه در خوشه اول، ۱۳ ایستگاه در خوشه دوم، ۳۳ ایستگاه در خوشه سوم و ۱۹ ایستگاه در خوشه چهارم، ۹ ایستگاه در خوشه پنجم و ۲۸ ایستگاه در خوشه ششم است. هم‌چنین مشاهده می‌شود که تأثیر نرخ یادگیری بر روی مقادیر مربعات خطا مهم است ولی هیچ روند ثابتی مشاهده نشده است. تجزیه و تحلیل‌های حساسیت وسیع بر روی نرخ‌های یادگیری مختلف، نرخ‌های هوش و تعداد تکرارها نشان می‌دهد که یک مجموعه با دقت از پارامترها برای گرفتن نتایج معنی‌دار حائز اهمیت است.

جدول (۶) تعداد ایستگاه‌های موجود در هر گروه با نرخ‌های یادگیری مختلف

تعداد گروه‌ها	مجموع ایستگاه‌ها	۶	۵	۴	۳	۲	۱	واریانس	مربعات خطا	نرخ یادگیری	ردیف
۶	۱۱۲	۱۵	۱۳	۲۰	۱۵	۸	۴۱	۱۳۴/۶۷	۲۷/۹۰	۰/۰۱	۱
۶	۱۱۲	۱۷	۴	۲۰	۱۴	۴۴	۱۳	۱۸۳/۰۷	۲۹/۴۹	۰/۱	۲
۶	۱۱۲	۱۴	۱	۱۹	۱۵	۱۵	۴۸	۲۴۴/۲۷	۲۹/۱۷	۰/۲	۳
۵	۱۱۲	۱۶	۴۹	۱۴	۱۸	۰	۱۵	۲۶۲/۲۷	۳۰/۰۴	۰/۳	۴
۵	۱۱۲	۲۰	۴۶	۱۵	۵	۲۶	۰	۲۷۰/۲۷	۲۸/۴۳	۰/۴	۵
۶	۱۱۲	۱۹	۱۷	۳۲	۵	۹	۳۰	۱۱۷/۸۷	۲۷/۳۷	۰/۵	۶
۶	۱۱۲	۵۹	۴	۱۶	۱۲	۱۱	۱۰	۴۰۵/۴۷	۳۰/۵۴	۰/۶	۷
۶	۱۱۲	۲۸	۹	۱۹	۳۳	۱۳	۱۰	۹۸/۶۷	۳۴/۷۶	۰/۷	۸
۶	۱۱۲	۱۶	۱	۲۲	۷	۵۷	۹	۴۰۵/۸۷	۳۱/۵۹	۰/۸	۹
۶	۱۱۲	۱	۴۳	۱۸	۱۷	۱۴	۱۹	۱۸۵/۸۷	۳۰/۸۸	۰/۹	۱۰

مقایسه نتایج

برای مقایسه نتایج هر دو روش و تطابق آن از روش دمارتن استفاده گردیده است که شامل بررسی تطابق نتایج، با پهنه‌بندی دمائی ایستگاه‌ها با روش دمارتن می‌باشد. در شکل (۵) پهنه‌بندی دمائی کشور بر اساس پارامترهای دما و مختصات جغرافیائی نشان داده شده است.



(ب) (الف)

شکل (۵) پهنه‌بندی دمائی گروه‌های ۶گانه ایستگاه‌ها با خوشه‌بندی فازی (الف) و شبکه عصبی کوهونن (ب)

همان‌طور که از شکل (الف) مشخص است و هم‌چنین با توجه به جداول (۴) و (۵) که اسامی ایستگاه‌های متعلق به گروه‌های ۶گانه را با روش‌های فازی و شبکه عصبی کوهونن نشان می‌دهد مشاهده می‌گردد که در گروه چهارم روش فازی، ایستگاه‌های آستارا، بابلسر، بندر انزلی، نوشهر، رامسر، رشت، سرپل ذهاب، پارس‌آباد مغان، گرگان و قم به‌عنوان اعضای یک گروه در نظر گرفته‌شده‌اند. به‌غیر از سرپل‌ذهاب، پارس‌آباد مغان، گرگان و قم بقیه اعضا از مشابهت اقلیمی شاخص دمارتن برخوردار بوده و جزو اقلیم‌های بسیار مرطوب هستند اما چهار عضو انتهایی با اقلیم‌های خشک و نیمه خشک به‌عنوان اعضای ناهمگون این گروه می‌باشند. در روش شبکه عصبی کوهونن نیز (شکل ب) در گروه سوم ایستگاه‌های بسیار مرطوب آستارا، بابلسر، بندرانزلی، نوشهر، رامسر، رشت با ایستگاه‌های خشک نیشابور، فردوس، کاشان، کاشمر، ایستگاه‌های نیمه خشک سد درودزن، خرم آباد و ... در یک گروه قرار گرفتند که این روش در مقایسه با روش فازی از ناهمگونی‌های بیش‌تری از لحاظ پراکندگی ایستگاه‌ها در انطباق با پهنه‌های اقلیمی برخوردار است. نتایج مقایسه‌ای حاصله از گروه‌های دیگر نیز نشان می‌دهد که روش خوشه‌بندی فازی در طبقه‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس پارامتر اقلیمی دما از انطباق بیش‌تری با پهنه‌بندی اقلیمی دمارتن برخوردار است. تعداد ایستگاه‌های موجود درهرگروه با روش شبکه عصبی مصنوعی کوهونن با تعداد ایستگاه‌های موجود در هر گروه با روش خوشه‌بندی فازی در جدول (۷) مقایسه شده است. در یک گروه، ایستگاه با بالاترین مقدار عضویت، یک ایستگاه نماینده برای آن گروه است. ایستگاه‌های هواشناسی نماینده برای گروه ۱، ایستگاه شماره ۸۶ (صفی آباد دزفول)، برای گروه ۲، ایستگاه شماره ۳۸ (قروه)، برای گروه۳، ایستگاه شماره ۵۹ (خور بیابانک)، برای گروه ۴، ایستگاه شماره ۶۸ (مراغه)، برای گروه ۵، ایستگاه شماره ۷۷ (ارومیه) و برای گروه ۶، ایستگاه شماره ۶۵ (لار) هستند.

از میان ۱۱۲ ایستگاه، ۶۴ ایستگاه در روش‌های شبکه عصبی مصنوعی کوهونن و خوشه‌بندی فازی مشترک هستند که درصد ایستگاه‌های مشترک آنها ۵۷/۱۴٪ است.

جدول (۷) مقایسه تعداد ایستگاه‌های موجود در هر گروه با روش‌های فازی و شبکه عصبی کوهونن

گروه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
KANN	۱۰	۱۳	۳۳	۱۹	۹	۲۸
FCA	۳۵	۲۲	۱۶	۱۱	۱۰	۱۸

با توجه به جدول (۶) در شبکه عصبی مصنوعی کوهونن با نرخ‌های یادگیری ۰/۳ و ۰/۴ یک گروه خالی است که در مقایسه با روش فازی که هیچ‌کدام از گروه‌ها خالی نبودند یک ایراد محسوب می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مواردی که تعداد گروه‌های تشکیل شده مشابه است تعداد ایستگاه‌های هواشناسی قرار گرفته در هر گروه با نرخ‌های یادگیری مختلف، متفاوت است، بـنابر این تعداد ایستگاه‌های هواشـناسی مشترک با ایستگاه‌هایی که از روش خوشه‌بندی فازی به‌دست آمده‌اند متفاوت خواهد بود.

نتیجه‌گیری

دما یکی از مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی است که در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پارامتر در بررسی‌های تغییر اقلیم و کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و بررسی تغییرات دمائی در کل سطح کشور یکی از مسائل مهم به‌حساب می‌آید. در این تحقیق ۱۱۲ ایستگاه هواشناسی پس از بررسی‌های اولیه از بین تمام ایستگاه‌های سینوپتیک کشور انتخاب و سپس با استفاده از خوشه‌بندی فازی و شبکه عصبی کوهونن طبقه‌بندی دمائی آنها مورد بررسی قرارگرفت. میانگین دمای سالانه، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها به‌عنوان پارامترهای ورودی معیارهای طبقه‌بندی در نظر گرفته شدند. تعداد بهینه خوشه‌ها با استفاده از شاخص دیویس–بولدین ۶ خوشه به‌دست آمد و ایستگاه‌های هر خوشه به‌تفکیک مشخص و با کمک سیستم اطلاعات جغرافیائی روی نقشه مشخص‌گردید، طبقه‌بندی ایستگاه‌ها با روش خوشه‌بندی فازی و شبکه عصبی کوهونن برای تعیین گروه‌های دمائی نشان داد که هر دو طبقه‌بندی قابل استناد هستند، هم‌چنین هر دو روش فازی و کوهونن بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی دمارتن مورد مقایسه قرار گرفت و مشاهده شد که روش فازی نسبت به روش شبکه عصبی کوهونن از ارجحیت

بالاتری برخوردار است، زیرا در روش کوهونن هر ایستگاهی که به گروهی تعلق می‌گرفت صرفاً به آن گروه تعلق داشت در حالی که در روش فازی این محدودیت برداشته شد و ایستگاه موجود مجبور به تعلق کامل به یـکی از گروه‌ها نبود بلکه هر ایستگاه هم‌زمان می‌توانست در گروه‌های مختلف ولی با درجات مختلف تعلق گیرد که درجه تعلق به هر گروه را عددی بین صفر و یک که نشان‌دهنده تعلق نسبی آنهاست تفکیک می‌کرد. هم‌چنین در شکل (۵) مشاهده می‌گردد که در روش فازی ایستگاه‌ها در مقایسه با روش شبکه عصبی مصنوعی کوهونن بسیار مناسب توزیع شده، در انطباق بیش‌تری با پهنه‌های اقلیمی حاصل از روش دمارتن برخوردارند. هم‌چنین با مقایسه شکل‌های (۳) و (۴) مشاهده می‌گردد که در روش فازی با افزایش تعداد خوشه‌ها مقادیر خطا کاهش می‌یابد ولی در روش شبکه عصبی کوهونن روند ثابتی مشاهده نشده و مقادیر خطا کاهش نیافته است که جزو معایب این روش به‌حساب می‌آید. هم‌چنین با بررسی اسامی ایستگاه‌های موجود در هر گروه با روش‌های فازی و کوهونن در جداول (۴) و (۵) و مقایسه تعداد ایستگاه‌های موجود در هر دو روش در جدول (۷) مشاهده می‌گردد که ۵۷/۱۴٪ از ایستگاه‌های هواشناسی در گروه‌های بین روش فازی و شبکه عصبی کوهونن مشترک هستند و هرچه تعداد گروه‌ها کاهش یابد درصد ایستگاه‌های مشترک افزایش خواهد یافت. در مورد روش شبکه عصبی کوهونن اثر نرخ یادگیری در مربعات خطا و تعداد گروه‌ها مهم است و یک انتخاب با دقت از پارامترها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که با توجه به جدول (۶)، نرخ یادگیری مناسب برای شبکه عصبی کوهونن با توجه به کم‌ترین واریانس، نرخ یادگیری ۰/۷ انتخاب گردید. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج حاصل از مطالعه‌ی راجو وکومار در سال ۲۰۰۷ و دیکباش در سال ۲۰۱۱ که در آنها نیز روش فازی به‌عنوان بهترین روش انتخاب شد، مطابقت دارد.

منابع

ـ رحیمی، د.، ولی پور، ق.، یزدان پناه، ح. (۱۳۹۰)، «کاربرد سامانه و مجموعه‌های فازی در پهنه‌بندی دمایی (استان چهارمحال و بختیاری)»، ***مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی***، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۱، صص ۹۶-۸۵.

ـ سلطانی، آ.؛ صدوقی یزدی، ه.؛ اشک زری طوسی، س.؛ روحانی، م. (۱۳۸۹)، «بهبود شبکه خودسازمانده‌کوهونن با هدف خوشه‌بندی داده‌های فازی»، دهمین کنفرانس سیستم‌های فازی ایران، دانشگاه شهید بهشتی.

ـ کوره‌پزان دزفولی، ا. (۱۳۸۷)، «اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌های مسائل منابع آب»، انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی امیرکبیر).

-Dikbas F, Firat M, Koc A.cem., and Gungor M (2011), "Classification of precipitation series using fuzzy cluster method", ***International Journal of Climatology***, 32: 1596-1603.

-Jingyi Z and Hall M.J (2004), "Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming river basin in China", ***Journal of Hydrology***, 296: 98-117.

-Holawe, F. Dutter, R. (1999), "Geostatistical study of precipitation series in Austria, ***Journal of Hydrology***, 219: 70-82.

-Anonym, (1997), "S-PLUS4 Guides to Statistics", Data Analysis Products Division, MathSoft, Seattle.

-Raju, K.S, and Kumar D.N. (2007), "Classification of Indian meteorological stations using cluster and fuzzy cluster analysis, and Kohonen artificial neural networks", ***Nordic Hydrology***, *38(3): 303-314.*

-Roger M.C, Durk R, Cazemier, P. (2000), "Representing and processing uncertain soil information for mapping soil hydrological properties", ***Computers and Electronics in Agriculture***, 29: 41-57.

-Ross T.J. (1995), "***Fuzzy Logic with Engineering Applications***", McGraw-Hill, New York.