



خوشه بندی زمانی - مکانی، از جمله نوآوری های این تحقیق محسوب می شود. نتایج این تحقیق نشان دهنده پتانسیل استفاده از نتایج خوشه بندی در پیش بینی رفتار فصلی بارش در منطقه جنوب شرق ایران می باشد.

واژه های کلیدی : خوشه بندی، پیش بینی بارش، الگوریتم ژنتیک، دمای سطح دریا (SST)

مقدمه

روش های خوشه بندی، مجموعه ای اطلاعات را در یک فضای چند بعدی به گروه هایی تقسیم می کنند که دارای دو ویژگی اساسی باشند. ویژگی اول این است که بیشترین شباهت بین داده های قرار گرفته در خوشه ها برقرار باشد و از طرف دیگر کمترین شباهت بین خوشه ها به صورت دو به دو وجود داشته باشد. به طور کلی روش های مختلف خوشه بندی به دو بخش سلسله مراتبی^۱ و غیر سلسله مراتبی تقسیم می شوند. همچنین در برخی روش ها تمامی اطلاعات و در برخی دیگر، تنها برخی از اطلاعات خوشه بندی می شوند. از طرفی خوشه بندی می تواند در مقیاس زمانی و مکانی و یا هر دو صورت گیرد. در علوم هیدرولوژی و سایر زمینه های مرتبط با منابع آب، همواره لزوم توجه به مطالعات اقلیمی و بررسی تغییرات آب و هوا و شناخت سیگنال های هواشناسی مورد توجه بوده است. در حقیقت بررسی این تغییرات کمک شایانی به پیش بینی بارش و برنامه ریزی دراز مدت منابع آب هر منطقه خواهد نمود. در بین بحث های مربوط به اقلیم و پیش بینی متغیرهای هیدرولوژیکی از جمله بارش، بحث خوشه بندی سیگنال های هواشناسی و اطلاعات دما و فشار سطح دریا و ارتباط آن با این متغیرها بخصوص با مسئله بارندگی اهمیت بسیار زیادی دارد. تا به امروز خوشه بندی کاربردهای متعددی در زمینه های مختلف از جمله هواشناسی و هیدرولوژی داشته است.

امروزه روش های متعددی جهت خوشه بندی انواع متغیرها مثل روش های EM^A، Fuzzy C-means Map to map، K-means

خوشه بندی سیگنال های هواشناسی

با توجه به تغییرات بارش

(مطالعه موردی: پیش بینی بارندگی استان سیستان و بلوچستان)

بنفشه زهرایی^۱ و عباس روزبهانی^۲

چکیده

امروزه لزوم مطالعه و بررسی تغییرات آب و هوایی و شناخت رفتار متغیرهای مختلف هواشناسی مثل بارش، تبخیر، دما و فشار هوا در نقاط مختلف جهان بخصوص در کشورهایی که با تنوع آب و هوایی گوناگون و وقوع دوره های خشک و تر شدید مواجه هستند، هم از جهت برنامه ریزی منابع آبی و هم از جهت مدیریت شرایط بحران اهمیت زیادی دارد. از جمله این کشورها، کشور ایران می باشد که در منطقه جنوب شرق آن و بخصوص استان سیستان و بلوچستان، ستادهای بحران سیل و خشکسالی بطور همزمان فعال هستند و این منطقه از جمله بخش هایی از کشور است که دارای تنوع آب و هوایی شدید و تغییرات بسیار قابل ملاحظه در سالهای مختلف است. تا کنون روشهای متنوعی جهت خوشه بندی اطلاعات، بخصوص داده های هواشناسی به کار گرفته شده است. در این مقاله، روشی نوین برای خوشه بندی اطلاعات ماهواره ای دمای سطح دریا^۳ در مناطق موثر بر آب و هوای استان سیستان و بلوچستان شامل دریای عمان، دریای عرب و اقیانوس هند، با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک^۴ ارائه شده است. مراحل مختلف این تحقیق شامل انتخاب ساختار مدل، تابع هدف، طول کروموزومها و عملگرهای تزویج^۵ و جهش^۶ می باشد. در تدوین مدل خوشه بندی، علاوه بر رفتار زمانی و مکانی تغییرات SST، ارتباط این متغیر با وقوع بارندگی های کمتر و بیشتر از نرمال مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعه موردی ارائه شده، اطلاعات بارش در ۲۰ ایستگاه مختلف استان سیستان و بلوچستان در نظر گرفته شد. استفاده از روش الگوریتم ژنتیک جهت خوشه بندی SST و ارائه الگوریتمی پویا برای بیان ارتباط بارش منطقه مورد مطالعه در زمان های مختلف با الگوهای

3- SST

4- GA-Clustering

5- Crossover

6- Mutation

7- Hierarchy

8- Expectation Maximization

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساختها، دانشگاه تهران، bzahraie@ut.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، roozbahany@ut.ac.ir

است واقعی یا تصادفی باشند، صورت می گیرد. خروجی این مدل ها به این دلیل که کلیه متغیرهای مورد خوشه بندی در تعیین مختصات خوشه ها دخالت داده می شوند، قابل استفاده برای پیش بینی نیستند. در ادامه این بخش، سابقه چند تحقیق مرتبط در مورد بررسی ارتباط SST با بارش ارائه شده است.

ناظم السادات [۷] نشان داده است که تغییرات دمای سطح آب در خلیج فارس تاثیر معنی داری بر تغییرات بارندگی در مناطق جنوب و جنوب غرب ایران دارد. مطالعات وی نشان می دهد که بارش زمستانه (ژانویه تا مارچ) در مناطق مزبور با SST خلیج فارس رابطه معکوس دارد. روکونک و همکاران [۸] همبستگی همراه با تاخیر بین SST و بارندگی مانسون تابستانه شرق چین را بررسی نموده اند. ایشان برای این کار از دمای سطحی مناطقی از اقیانوس هند، آرام و اطلس استفاده کردند. آنها بدون اینکه به دنبال توجیه فیزیکی ارتباط بین این دو پارامتر باشند، مشاهده نمودند که دمای سطح غرب اقیانوس آرام و جنوب شرق اقیانوس هند، بیشترین همبستگی همراه با تاخیر را با بارندگی های مزبور دارد.

اسملر و ژاکوب [۹] به بررسی زمانی- مکانی اثر SST بر روی تداوم و شدت بارش های شدید در منطقه وسیعی از اروپا پرداختند و به نتایج جالبی دست یافتند. از جمله این نتایج، تاثیر چشمگیر بالا رفتن مقدار SST در دریای بالتیک بر افزایش بارش های سنگین در مناطق اطراف آن دریا بوده است.

مسئله پیش بینی بارش از مهمترین مسائل با اهمیت در بحث مدیریت کلان آبی هر کشور است و با توجه به تحقیقات گذشته که ارتباط نزدیکی بین SST و بارش در برخی مناطق را نشان داده است، انتظار می رود در صورت دخالت دادن ارتباط SST و بارش در فرآیند خوشه بندی SST، بتوان خوشه ها را به نوعی شناسایی کرد که از اطلاعات آن بتوان در مورد تغییرات بارش اظهار نظر نمود.

در این مقاله، روش جدیدی ارائه شده است که علاوه بر نوین بودن آن در استفاده از الگوریتم ژنتیک برای خوشه بندی SST، ساختار مدل به نحوی تدوین شده است که خوشه بندی متغیر SST با توجه به متغیر دیگری مانند بارندگی (P) صورت گیرد به نوعی که ارتباط بین این دو متغیر بدون وارد کردن مستقیم بارندگی در فرآیند خوشه بندی، درون مدل گنجانده شده است. این قابلیت کمک شایانی به پیش بینی و تقسیم بندی وضعیت بارش یک منطقه به سال های کمتر از نرمال، نرمال و بیش از نرمال با در نظر گرفتن تغییرات سیگنال های هواشناسی در مناطق موثر بر بارش منطقه مورد نظر نموده است.

همچنین از آنجا که یکی از مشکلات الگوریتم ژنتیک در خوشه بندی، محدودیت تعداد داده های ورودی می باشد، در روش پیشنهادی با توجه به استفاده بهینه از ژن ها در تعریف مراکز خوشه ها، امکان بهره گیری از تعداد داده های بیشتر فراهم شده است که جزئیات آن در بخش های بعدی ارائه شده است.

غیره وجود دارد. از جمله این روش ها، روش K-means است که روشی ساده بوده و به وفور در خوشه بندی داده ها مورد استفاده قرار گرفته است. پاسخ نهایی این روش بستگی زیادی به تعداد خوشه هایی دارد که از ابتدا تعیین می شود. با این حال، گاهی این روش در شرایط خاص، در همگرا شدن به جواب نهایی موفق عمل نمی کند. روش شاخه و مرز^۱ نیز توسط کونتر و همکاران [۴] گسترش داده شد که نیازمند زمان زیادی برای محاسبات بود. لورت و همکاران [۵] روش خوشه بندی فازی را با نگرش همپوشانی خوشه های مختلف تعمیم داد.

به طور کلی مهمترین مسئله در خوشه بندی، مشکل تقسیم بندی مجموعه ای از داده های همگن به یک سری خوشه های طبیعی بدون دانش قبلی در مورد تعداد و مراکز خوشه ها می باشد که از بین این روش ها و روش های دیگر موجود، روش خوشه بندی با استفاده از الگوریتم ژنتیک روشی نوین و کارآمدی است و بوسیله آن می توان با یک فرآیند جستجوی غیر قطعی، ساختار خوشه بندی مناسب را تعیین نمود. یکی از ویژگی های اساسی الگوریتم ژنتیک انعطاف پذیر بودن آن در جستجوی فضای جواب ها می باشد که منجر به یافتن بهترین ساختار خوشه بندی می شود. هیچ یک از روش های دیگر قادر نیستند به طور موثری گروه های همگن از داده ها را با توجه به ماهیت تصادفی آنها تشکیل دهند بخصوص زمانی که تعداد خوشه ها زیاد باشند. خوشه بندی سیگنال های هواشناسی مثل SST و SLP^۲ (فشار سطح دریا) توسط روش های ذکر شده در بالا صورت گرفته است اما تا کنون از الگوریتم ژنتیک برای خوشه بندی این متغیرهای هواشناسی استفاده نشده است و بیشتر کاربرد آن در مسائل اقتصادی و اجتماعی بوده است.

توسعه روش خوشه بندی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به اوایل دهه ۹۰ باز می گردد. آلی پی و کوکچپارا، باندیوپادها و مولیک تلاش های متعددی را در این مسیر صرف نمودند و روش مناسبی را برای خوشه بندی با الگوریتم ژنتیک با استفاده از ساختار اعداد واقعی ژن ها و با فرض نامشخص بودن تعداد خوشه ها ارائه دادند [۱ و ۲].

روش نوین دیگری برای خوشه بندی خودکار توسط چاد هاری ارائه شد [۳].

لین و همکاران [۶] یک روش موثرتر بر مبنای کدگذاری دو دویی برای خوشه بندی با تعداد نامشخص خوشه ها ارائه دادند که در آن با ارائه ساختار متفاوتی از عملگرهای جهش و تزیج، سرعت و دقت رسیدن به جواب بهینه را افزایش دادند.

به طور کلی مشابهت زیادی بین کارهای صورت گرفته در مقالات اخیر دیده می شود. در این روش ها تمامی داده ها به صورت ژن و در موقعیت های تصادفی در کروموزوم ها چیده می شوند و عمل خوشه بندی با محاسبه فاصله داده ها از مراکز خوشه ها که ممکن

1- Branch & Bound

2- Sea Level Pressure

مواد و روشها

الگوریتم ژنتیک یک روش نوین بهینه سازی است که ساختار آن شامل تابع هدف، کروموزوم ها، عملگرهای جهش و تزیوج است. ساختار متداول خوشه بندی با استفاده از این الگوریتم، به طور خلاصه شامل مراحل زیر است:

● جایگزینی تصادفی داده ها در ژن ها و تولید جمعیت اولیه

● انتخاب تصادفی مراکز خوشه ها از داده های موجود

● محاسبه فاصله داده ها از مراکز خوشه ها و محاسبه مقدار تابع برازش برای هر کروموزوم در جمعیت کنونی

● به کار بردن عملگرهای اصلی جهش و تزیوج برای تولید نسل جدید

● جایگزینی نسل حاضر با نسل قبلی

● تکرار این روند تا همگرا شدن جواب ها و تعیین ساختار خوشه بندی

در مدل پیشنهادی ارائه شده در این مقاله، طول کروموزوم ها بر حسب تعداد نواحی انتخاب شده برای بررسی SST و همچنین تعداد خوشه ها، متفاوت است. در این مدل، تعداد نواحی مورد بررسی ۳ و تعداد حداکثر خوشه ها نیز ۳ در نظر گرفته شده و بنابراین طول کروموزوم معادل ۹ ژن خواهد بود که نمونه آن در شکل (۱) دیده می شود. در روش پیشنهادی، برای ساده تر کردن محاسبات، تنها از مراکز خوشه ها به عنوان اعداد واقعی داخل ژن ها استفاده می شود. همانطور که در شکل (۱) دیده می شود، $X_{i,j}$ معرف مقدار متغیر مورد نظر برای خوشه بندی در خوشه i ام از ناحیه جغرافیایی j ام است. در این پژوهش، متغیر مورد خوشه بندی دمای سطح دریا بصورت فصلی در سه ناحیه جغرافیایی مختلف و منتخب می باشد که در بخش مطالعه موردی مقاله شرح داده شده اند. مقیاس و بازه زمانی مورد استفاده در قسمت های بعدی مقاله تشریح شده است. نکته قابل توجه در این روش، ساختار خوشه بندی زمانی- مکانی آن است.

روش کار بدین صورت است که در ابتدا با تعیین محدوده تغییرات دمای سطح آب دریا (SST) در هر ناحیه، به تعداد اعداد ژن های هر کروموزوم، عدد تصادفی در محدوده مقادیر تاریخی مشاهده شده تولید می شود. به عنوان مثال برای شکل (۱)

$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	$X_{1,3}$	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$	$X_{2,3}$	$X_{3,1}$	$X_{3,2}$	$X_{3,3}$
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

شکل ۱- ساختار پیشنهادی برای کروموزوم نمونه در مدل GA برای خوشه بندی

$$SST_{\min,j} \leq X_{i,j} \leq SST_{\max,j} \quad (1)$$

در رابطه فوق، $SST_{\max,j}$ و $SST_{\min,j}$ به ترتیب مقادیر مشاهده

شده حداکثر و حداقل دمای سطح آب دریا در محدوده جغرافیایی است. در گام بعدی با استفاده از جدول داده ها که شامل سری زمانی SST و بارش می باشد، به خوشه بندی سال ها لازم به توضیح است که مقصود از خوشه بندی سال ها در واقع خوشه بندی میانگین مقادیر SST در ماه های مورد نظر در سال های متوالی می باشد. در حقیقت هر سطر اطلاعات این جدول که مربوط به یک سال خاص می باشد، به صورت مقابل است: $(SST_{1,t}, SST_{2,t}, SST_{3,t}, P_t)$ در عبارت فوق نشان دهنده مقدار SST مشاهده شده در منطقه جغرافیایی j ام در فصل مورد نظر در سال t ام می باشد. P_t مقدار متغیر کمکی خوشه بندی می باشد که در این تحقیق میزان بارندگی در فصل مورد نظر در سال t ام می باشد و بنابراین همانطور که مشاهده می شود چهار سری زمانی به عنوان ورودی مدل انتخاب شده اند. برای خوشه بندی، به دلیل تغییرات اندک SST از رابطه نسبتاً ساده فاصله اقلیدسی استفاده شده است به طوری که فاصله اقلیدسی SST هر سال از مختصات مراکز خوشه ها که قبلاً به صورت تصادفی انتخاب شده بودند، از رابطه (۲) بدست می آید:

$$d_{i,t} = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (SST_{t,j} - SST_{i,j}^c)^2} \quad (2)$$

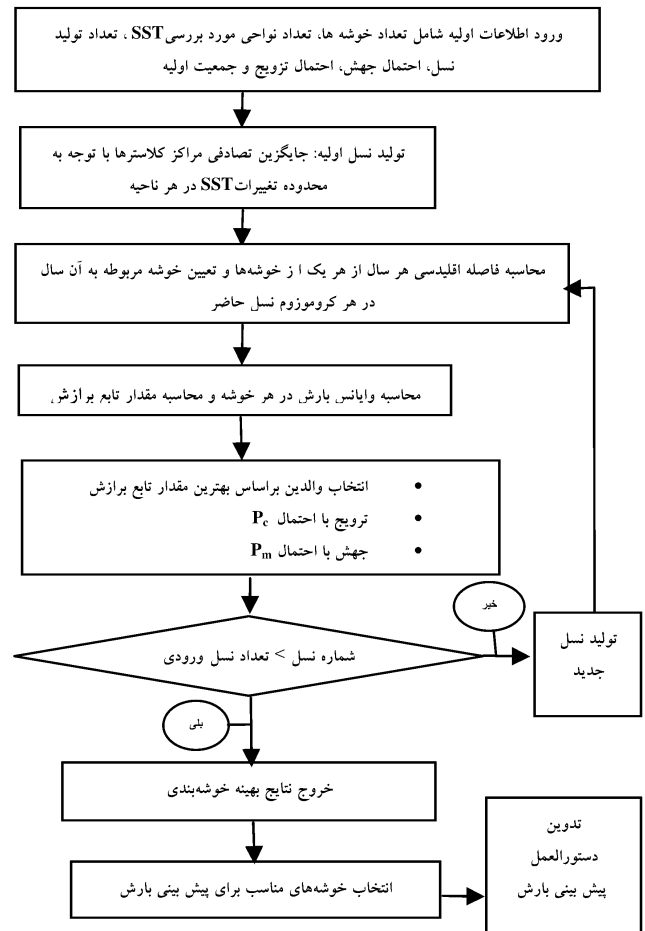
که در آن $d_{i,t}$ نشان دهنده فاصله اقلیدسی SST مشاهده شده در فصل مورد نظر در سال t ام از مرکز انتخاب شده برای خوشه i ام، $SST_{i,j}^c$ دمای سطح آب مشاهده شده در فصل مورد نظر در سال t ام در ناحیه جغرافیایی j ام و دمای سطح آب مرکز خوشه i ام در ناحیه j ام در فصل مورد نظر می باشد که به صورت تصادفی در الگوریتم ژنتیک (GA) تولید شده است.

این مقدار برای هر سال نسبت به هر یک از خوشه ها محاسبه می شود و کوچکترین مقدار این فاصله نشان دهنده تعلق آن سال به خوشه مورد نظر است. نکته مهم در این روش آن است که بارش منطقه مورد پیش بینی تاثیری در نحوه خوشه بندی ندارد بلکه تاثیر اصلی آن در محاسبه مقدار تابع برازش و انتخاب بهترین کروموزوم ها برای تولید نسل بعدی خواهد بود. پس از خوشه بندی سال ها، روند محاسبه مقدار تابع برازش به صورت رابطه (۳) است:

$$\text{Min} [\text{Max} (\text{Var} (\underline{P}))] \quad (3)$$

در این رابطه، Var نشان دهنده واریانس و \underline{P} نشان دهنده مجموعه مقادیر بارندگی سالهایی است که در هر خوشه قرار گرفته اند. $[\text{Max} (\text{Var} (\underline{P}))]$ تابع برازش مدل می باشد. حداقل این مقدار در هر نسل به عنوان تابع هدف مسئله شناخته می شود. رابطه (۳) نشان دهنده انتخاب کروموزوم هایی به عنوان کروموزوم برتر است که بارندگی متناظر با سال های قرار گرفته در هر خوشه، دارای حداقل واریانس مطابق تعریف فوق باشند. در نهایت در هر نسل، کروموزومی به عنوان کروموزوم برتر شناخته می شود که تابع هدف کوچکتری داشته باشد. برای ساده تر شدن درک نحوه کار

مدل، الگوریتم آن در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- الگوریتم مدل پیشنهادی برای خوشه بندی SST با استفاده از اطلاعات بارش

منطقه مورد مطالعه:

برای بررسی کارایی مدل خوشه بندی SST با استفاده از بارش، از اطلاعات بارندگی استان سیستان و بلوچستان استفاده شده است. استان سیستان و بلوچستان با مساحتی در حدود ۱۸۱۰۰۰ کیلومتر مربع و جمعیت ۱/۷ میلیون نفر، دارای میانگین سالانه ریزش جوی حدود ۱۱۰ میلیمتر می باشد. بر اساس تقسیم بندی وزارت نیرو تمامی یا بخشی از زیر حوضه های آبریز هیرمند، کویر لوت، جازموریان، ماشکید و دریای عمان در این استان قرار دارند. این استان دارای آب و هوای خشک با بارندگی ناچیز است و رژیم بارندگی آن اغلب به صورت رگبارهای سیل آسا است. کمبود نزولات و پراکندگی و نامشخص بودن زمان بارش از یکسو و بالا بودن سطح میزان تبخیر از سوی دیگر باعث شده تا منابع آب در دسترس با کمبود شدیدی مواجه شود. به طور کلی مشکلات متعدد منابع آبی استان مانند نوسانات شدید منابع آبی، محدودیت منابع آب زیرزمینی، بارندگی اندک، بادهای موسمی مخرب و غیره،

اهمیت پیش بینی بارش به منظور برنامه ریزی و مدیریت صحیح منابع آبی در آن را بیشتر نمایان می سازد. بالغ بر ۷۰ ایستگاه باران سنجی توسط وزارت نیرو در این استان نصب شده است که در این تحقیق پس از بررسی ایستگاه های گوناگون، ۲۰ ایستگاه باران سنجی برای بررسی کارایی مدل انتخاب گردیده اند. ۱۰ ایستگاه از این تعداد، ایستگاه های شاخص باران سنجی استان سیستان و بلوچستان، معرفی شده توسط شرکت سهامی آب منطقه ای استان سیستان و بلوچستان می باشند که عبارتند از ایستگاه های چابهار، ایرانشهر، سراوان، زاهدان، زابل، لادیز، نصرت آباد، خاش، قصر قند و پیشین که برخی از این ایستگاه ها در برخی سالها مشکل کمبود اطلاعات دارند.

همچنین تعداد ۱۰ ایستگاه باران سنجی دیگر نیز که دارای طول دوره آماری بیشتری بوده اند مورد تحلیل قرار گرفتند. طول دوره آماری مورد استفاده نیز ۲۱ سال می باشد. علاوه بر این برای بررسی تاثیر و ارتباط بین SST و بارش، نقشه های تغییرات SST در دریاچه های اطراف منطقه در ماه های مختلف سال مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت سه منطقه منتخب در دریای عمان، دریای عرب و اقیانوس هند جهت بررسی و خوشه بندی SST انتخاب گردید. موقعیت این مناطق در شکل (۳) و همچنین مشخصات جغرافیایی این ۳ منطقه در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۳- مناطق تحت مطالعه برای در نظر گرفتن اطلاعات SST

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی مناطق مورد بررسی برای در نظر گرفتن اطلاعات SST

ردیف	نواحی جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	دریای عمان	۲۵N-۲۰N	۶۵E-۶۰E
۲	دریای عرب	۲۰N-۱۵N	۶۰E-۵۵E
۳	اقیانوس هند	۱۵N-۱۰N	۶۵E-۶۰E

نتایج مدل

در مدل خوشه بندی، به منظور بدست آوردن بهترین مقادیر پارامترهای مختلف الگوریتم ژنتیک، تحلیل حساسیت انجام شد و در نهایت تعداد نسل اولیه الگوریتم ژنتیک مورد نظر ۵۰ و بهترین مقادیر احتمال جهش و توزیع به ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۶، انتخاب شدند. لازم به ذکر است که در این تحلیل، حساسیت سرعت همگرایی به مقادیر مختلف این پارامترها مورد بررسی قرار گرفته است.

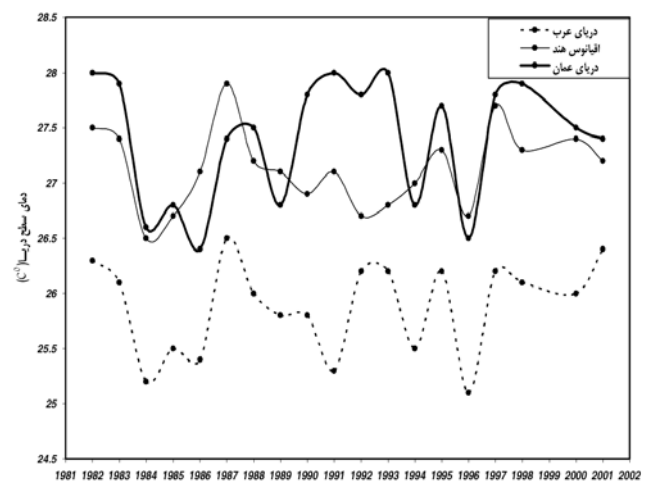
بررسی نتایج نشان داد که از بین ایستگاه‌های انتخاب شده، بارندگی ثبت شده در ایستگاه‌های سراوان، کجدار، لادیز و چابهار تاثیر بیشتری از تغییرات SST گرفته اند که نتایج آن در شکل (۸) دیده می شود. در این شکل، نقاط مشخص شده با علائم دایره و مربع، نشان دهنده نقاط واقع شده در خوشه‌های منتخب هستند. زمانی که تاثیر SST در یای عمان بر ایستگاه سراوان بررسی می شود، مطابق شکل (۸-الف)، مدل خوشه بندی، دو خوشه را انتخاب می کند که دسته اول شامل ۹ سال با احتمال ۷۸٪ دارای بارندگی بیش از میانگین و مابقی سال‌ها در دسته دوم و با احتمال ۸۰٪ دارای بارش کمتر از میانگین دراز مدت می باشند. همچنین خوشه بندی بر اساس SST دریای عرب نیز تحت بررسی قرار گرفت که همانطور که در شکل (۸-ب) مشاهده می شود، ۵ سال در یک خوشه قرار گرفته اند که نشان دهنده بارش بیش از میانگین با احتمال ۸۰٪ می باشند.

در مورد ایستگاه کجدار (شکل ۸-ج) نیز تنها تاثیر منطقه دریای عمان قابل توجه بوده و در آن ۴ سال در یک خوشه واقع شده و همگی دارای بارش کمتر از میانگین هستند. در شکل (۸-د) وقتی تاثیر اقیانوس هند بر بارش ایستگاه لادیز بررسی می شود ۴ سال با بارندگی بیش از نرمال در یک خوشه و ۱۱ سال در یک خوشه قرار دارند که نمایان کننده بارش زیر نرمال با احتمال ۸۰٪ می باشد.

در مورد ایستگاه چابهار و با توجه به شکل (۸-و) تاثیر دریای عمان حاکی از این است که ۴ سال با بارش بالای نرمال در یک خوشه و ۹ سال با احتمال ۸۰٪ در یک خوشه با بارش زیر نرمال قرار می گیرند. تاثیر هر سه منطقه جغرافیایی در شکل (۸-ه) نشان می دهد که ۱۴ سال با احتمال ۸۵٪ با بارش زیر نرمال در یک خوشه قرار می گیرند.

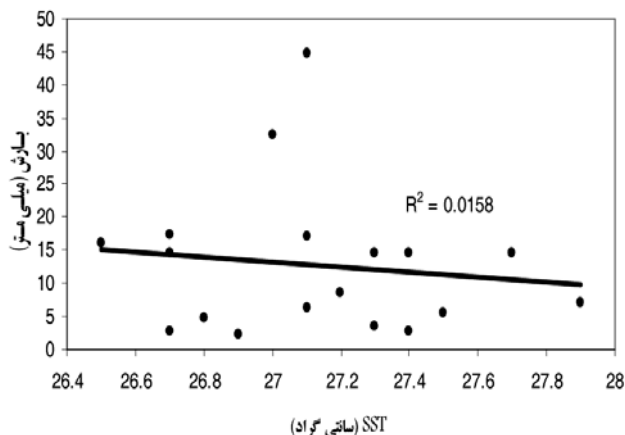
همچنین جهت مقایسه نتایج روش پیشنهادی خوشه بندی بر اساس GA با روش‌های مرسوم که در تحقیقات گذشته در جهت بیان ارتباط و همبستگی بین بارش و SST صورت گرفته است، از روش رگرسیون خطی مرتبه اول استفاده شده است. چند نمونه از نتایج این رگرسیون‌ها در اشکال (۵) الی (۷) نشان داده شده است که همانطور که مشخص است روش رگرسیون خطی قادر به بیان همبستگی این دو متغیر نمی باشد و از دقت کافی برای پیش بینی برخوردار نمی باشد.

لازم به ذکر است که اطلاعات SST از مرکز تحقیقات ملی اتمسفری کشور آمریکا (NCAR^۱) بدست آمده است. پس از بررسی نقشه‌های SST در منطقه و بررسی ارتباط تغییرات آنها با وقوع فصول کم بارش و پر بارش در منطقه مورد مطالعه، برای ورودی‌های مدل از اطلاعات بارندگی در ماه‌های دی، بهمن و اسفند که ماه‌های پر بارش در سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۱ و همچنین از اطلاعات SST در ماه‌های آگوست، سپتامبر و اکتبر سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۱ که مصادف با ماه‌های مرداد، شهریور و مهر می باشند، استفاده شد. لازم به ذکر است که سعی شده انتخاب ماه‌ها به نحوی انجام شود که اطلاعات SST برای پیش بینی ماه‌های پر بارش منطقه مورد نظر قابل استفاده باشد که بتوان در مورد وضعیت آبی منطقه از لحاظ کم بارش یا پر بارش بودن با تاخیر زمانی مشخص تصمیم‌گیری کرد. به عبارت دیگر با انتخاب ماه‌های فوق‌الذکر، در انتهای ماه اکتبر (۹ آبان ماه) می توان در مورد بارش محتمل در زمستان بعد پیش بینی انجام داد. بررسی اولیه تغییرات اطلاعات SST و بارش در فصول ذکر شده، نشان دهنده ارتباط عددی بین اطلاعات بوده که مبنای طراحی مدل خوشه بندی بوده است. شکل (۴) سری زمانی دمای سطح دریا در این ۳ منطقه را نشان می دهد.



شکل ۴- متوسط دمای سطح دریا در ماه‌های اگوست، سپتامبر و اکتبر

لازم به ذکر است که مدل مورد نظر به راحتی قابلیت تغییر دادن تعداد نواحی مورد بررسی از ۱ به ۳ ناحیه را داراست. لذا تاثیر SST هر یک از نواحی به تنهایی، دو به دو و یا هر سه ناحیه بر روی بارش ایستگاه‌های مورد نظر بررسی شده است و در نهایت نتایج قابل توجهی در مورد برخی ایستگاه‌ها بدست آمده است. در مورد سایر ایستگاه‌ها، نتایج نشان گر عدم وجود همبستگی مناسب بین بارش این ایستگاه‌ها و SST مناطق جغرافیایی منتخب می باشد. همچنین در مورد ایستگاه‌هایی که نتایج قابل توجه بوده است نیز تعداد نواحی SST آنها بر بارش موثر است، از ۱ تا ۳ منطقه جغرافیایی متغیر است.

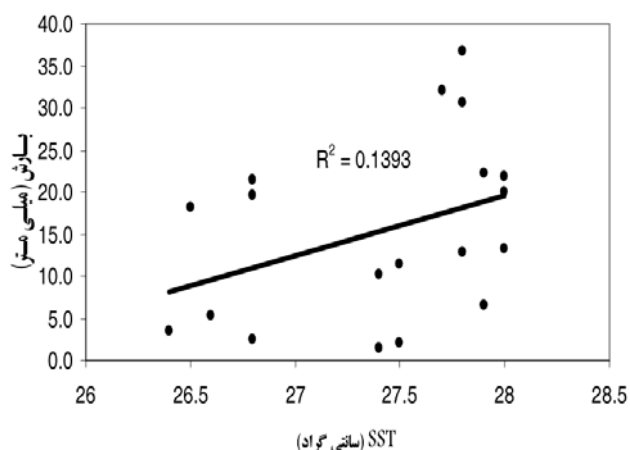


شکل (۷): معادله همبستگی خطی مرتبه اول بین بارش ایستگاه لادیز و SST در اقیانوس هند

جدول (۲) دستور العمل تدوین شده را برای پیش بینی بارش در ایستگاه‌های منتخب در ماه‌های دی و بهمن و اسفند، بر اساس مقدار SST در ماه‌های اگوست، سپتامبر و اکتبر بر اساس نتایج خوشه بندی نشان می‌دهد. روش کار بدین صورت است که بخشی از اطلاعات موجود برای مدلسازی و بخشی دیگر جهت آزمون مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع با دانستن اینکه به عنوان مثال بارش حوزه ایستگاه سراوان تحت تاثیر SST دریای عمان، دارای چه ترکیب خوشه بندی خواهد بود، با در دست داشتن متوسط مقدار SST دریای عمان در ماه‌های نام برده شده و با مراجعه به خوشه‌ای که SST مورد نظر در آن قرار دارد، می‌توان به وضعیت کلی متوسط بارش به صورت زیر نرمال یا بالای نرمال در ماه‌های دی و بهمن و اسفند همان سال پی برد و وضعیت بدست آمده را با وضعیت واقعی مقایسه کرد. با تکرار این آزمایش برای چند سال مختلف و مقایسه با وضعیت حقیقی بارش آن سال می‌توان به صحت عملکرد مدل تدوین شده پی برد و به پیش بینی وضعیت دراز مدت بارش در سال‌های آینده و در حوزه‌های مختلف استان پرداخت. در مثال یاد شده و با توجه به جدول (۲)، اگر متوسط اندازه گیری شده SST دریای عمان در ماه‌های مزبور (Aug.-Oct.) بین ۲۷/۷ و ۲۸ درجه سانتی گراد باشد، وضعیت بارش ایستگاه سراوان در زمستان همان سال بیشتر از میانگین ($P > 15/3\text{mm}$) و چنانچه SST بین ۲۶/۴ و ۲۷ درجه سانتی گراد باشد، بارش کمتر از میانگین ($P < 15/3\text{mm}$) مورد انتظار خواهد بود.

بحث و نتیجه‌گیری

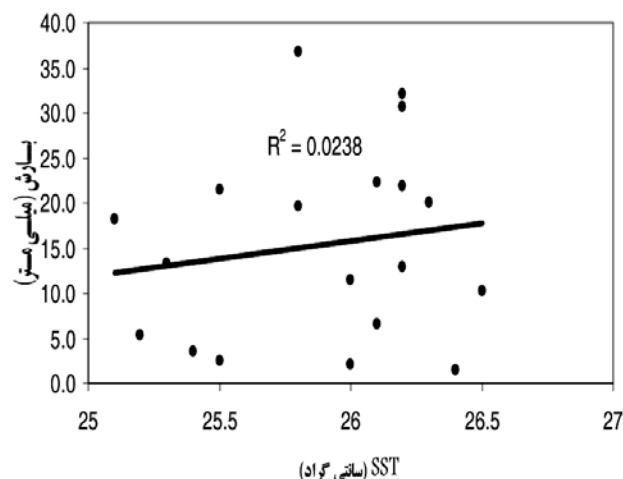
از گذشته تا کنون روش‌های گوناگون توصیفی و عددی برای تعیین وضعیت آب و هوایی مناطق مختلف وجود داشته است اما بهره‌گیری از مدل‌های هوشمند و سریع مانند الگوریتم ژنتیک تحول قابل توجهی را در این زمینه ایجاد کرده است. همانطور که ملاحظه شد روش ارائه شده نه تنها قابلیت خوشه بندی و جستجوی کامل فضای



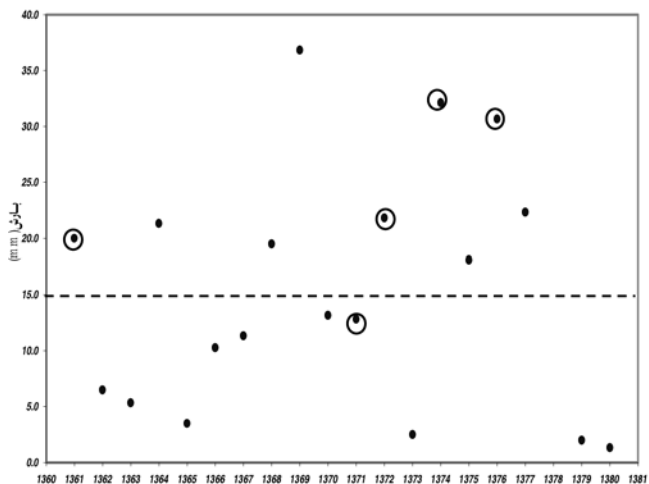
شکل ۵- معادله همبستگی خطی مرتبه اول بین بارش ایستگاه سراوان و SST در دریای عمان

پیش بینی بارش با استفاده از نتایج خوشه بندی

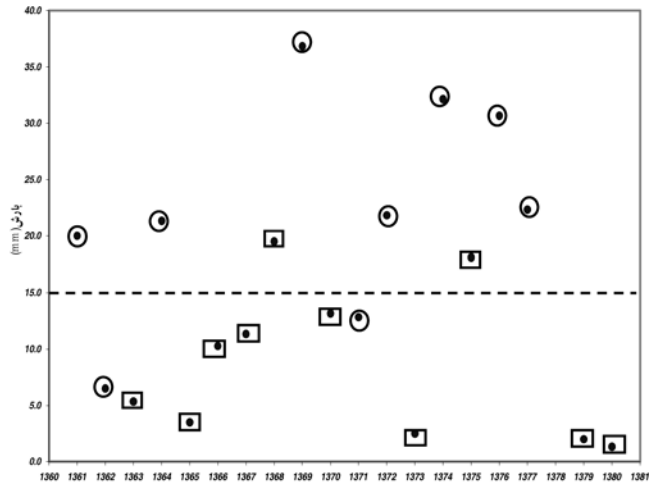
یکی از مهمترین کاربردهای خوشه بندی SST علاوه بر تعیین رفتار درازمدت این متغیر، بررسی تاثیر آن بر بارندگی و استفاده از آن در بحث پیش بینی بارش است. در تحقیق صورت گرفته در این مقاله، با استفاده از نتایج بدست آمده در هر ایستگاه و تعیین سال‌های با بارندگی بیش از نرمال و کمتر از نرمال می‌توان با توجه به میزان تغییرات SST در مناطق جغرافیایی انتخاب شده، وقوع بارش‌های بیشتر یا کمتر از نرمال را پیش بینی نمود. البته این امر مستلزم داشتن سری زمانی طولانی تری از بارش و SST می‌باشد. زیرا از طرفی می‌توان رفتار دراز مدت تری را از خوشه بندی صورت گرفته بررسی کرد و از طرفی امکان آزمون مدل تدوین شده برای پیش بینی بارش وجود خواهد داشت.



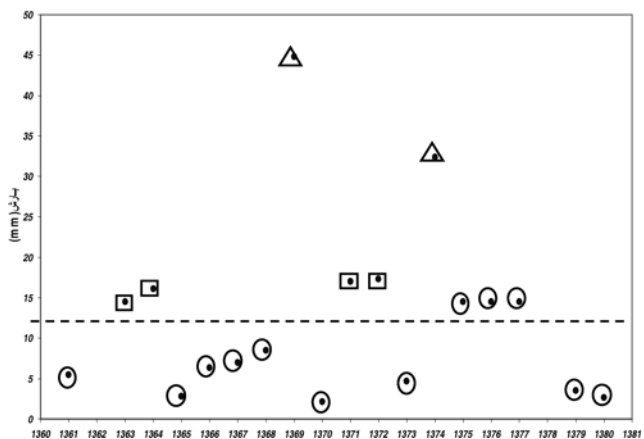
شکل ۶- معادله همبستگی خطی مرتبه اول بین بارش ایستگاه سراوان و SST در دریای عرب



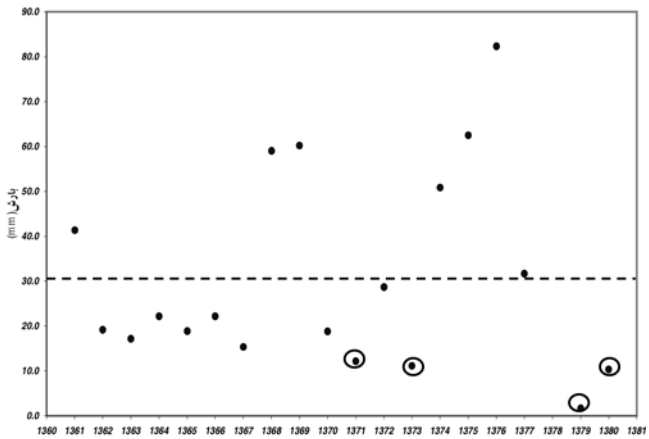
۸- ب : دریای عرب- ایستگاه سراوان



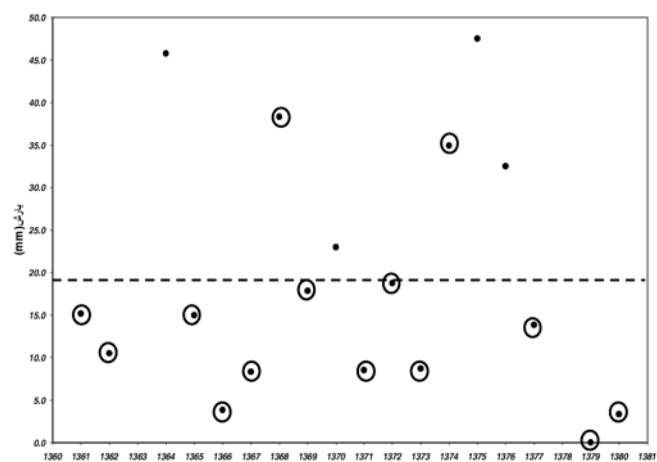
۸- الف : دریای عمان- ایستگاه سراوان



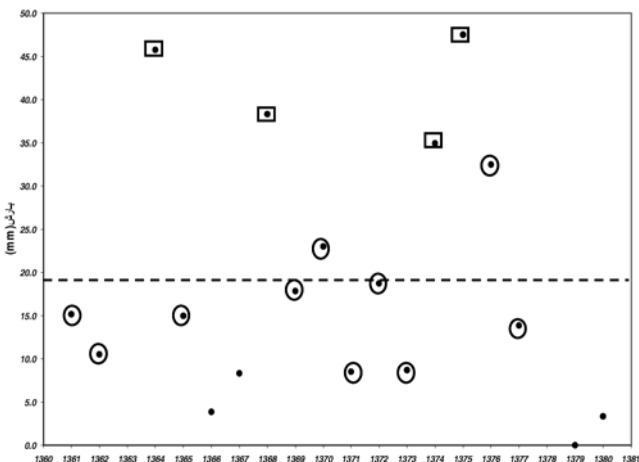
۸- د : اقیانوس هند- ایستگاه لادیز



۸- ج : دریای عمان- ایستگاه کجدار



۸- ه : دریای عمان، دریای عرب و اقیانوس هند- ایستگاه چابهار



۸- و : دریای عمان- ایستگاه چابهار

شکل (۸): نتایج خوشه بندی SST با توجه به تغییرات بارندگی ایستگاه های منتخب

جدول ۲ - نتایج استفاده از خوشه بندی با الگوریتم ژنتیک در پیش بینی بارش ایستگاه های مختلف

نام ایستگاه	ناحیه جغرافیایی پیش بینی کننده (SST)	محدوده تغییرات SST(C°)	وضعیت پیش بینی بارش
سراوان	دریای عمان	$27/7 \leq SST_O \leq 28$	$P > 15/3 \text{ mm}$
		$26/4 \leq SST_O \leq 27/7$	$P < 15/3 \text{ mm}$
سراوان	دریای عرب	$26/2 \leq SST_A \leq 26/3$	$P > 15/3 \text{ mm}$
کجدار	دریای عمان	$27/4 \leq SST_O \leq 27/7$	$P < 30/08 \text{ mm}$
لادیز	اقیانوس هند	$26/5 \leq SST_I \leq 26/8$	$P > 12/7 \text{ mm}$
		$26/9 \leq SST_I \leq 27/9$	$P < 12/7 \text{ mm}$
چابهار	دریای عمان	$26/5 \leq SST_O \leq 26/8$	$P > 19/2 \text{ mm}$
		$27/7 \leq SST_O \leq 28$	$P < 19/2 \text{ mm}$
چابهار	دریای عمان ، دریای عرب و اقیانوس هند	$26/2 \leq SST_O \leq 26/3$ $25/4 \leq SST_A \leq 26/5$ $26/8 \leq SST_I \leq 28$	$P < 19/2 \text{ mm}$

P : مقدار بارندگی فصلی در ایستگاه

SST_A: دمای سطح دریا در دریای عرب
SST_I: دمای سطح دریا در اقیانوس هند
SST_O: دمای سطح دریا در دریای عمان

دریا)، مدل پیشنهادی را توسعه داد. همچنین با توجه به قابلیت متغیر بودن طول کروموزوم ها در مدل می توان به بررسی نواحی بیشتری در سطح اقیانوس هند و دریاهای اطراف منطقه مورد مطالعه پرداخت.

نتایج این تحقیق کمک شایانی در پیش بینی فصلی بارش و در نهایت برنامه ریزی سودمند منابع آبی کشور خواهد نمود و می تواند مورد استفاده سازمان ها، مشاوران و محققان مرتبط با علوم هیدرولوژی، هیدروکلیماتولوژی، آبخیزداری و غیره قرار گیرد.

قدردانی و تشکر

بخشی از نتایج ارائه شده در این مقاله در قالب پروژه تحقیقاتی "خوشه بندی سیگنال های هواشناسی با توجه به تغییرات بارش در استان سیستان و بلوچستان" با حمایت مالی معاونت فنی و پژوهش های شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران بدست آمده است. بدین وسیله از توجه این شرکت تشکر و قدردانی می شود.

جواب ها را ممکن می سازد، بلکه قادر خواهد بود. طوری عمل خوشه بندی را صورت دهد که ارتباط SST سال هایی که در یک خوشه قرار می گیرند با بارش همان سال ها در منطقه مورد مطالعه حفظ گردد و بتوان از این طریق به پیش بینی در مورد وقوع سال های با بارش کمتر از نرمال و بیشتر از نرمال دست یافت.

این نتیجه مهم فواید زیادی را در پی خواهد داشت از جمله این که با اندازه گیری و محاسبه دمای سطح آب می توان به پیش بینی فصلی بارش در مناطق تحت تاثیر قرار گرفته پرداخت و به طور عملی در مورد تاثیر منطقه ای و محلی سیگنال های هواشناسی و SST نیز، دستاوردهای ارزشمندی را به دست آورد. بوسیله این روش و با تدوین جدول پیش بینی می توان به مقایسه شباهت رفتاری ایستگاه های مختلف پرداخت. در مورد مطالعه موردی صورت گرفته امکان پیش بینی پر بارشی و کم بارشی دیده می شود در حالی که در صورت استفاده از مدل در مناطق دیگر ممکن است تنها یکی از این دو حالت قابل پیش بینی باشد. در ادامه این تحقیق، می توان با دخالت دادن دیگر متغیرهای مهم هواشناسی نظیر SLP (فشار سطح

using fuzzy clustering and local membership variations detection IEEE International Conference on Fuzzy Systems Volume , Issue , 8-12, pp. 221 - 228.

6- Lin H. F. Yang. and Y. Ta Kao. 2005. An Efficient GA-based Clustering Technique", Journal of Science and Engineering., 8(2), pp. 113-122.

7- Nazemosadat, M.J. 1998. Persian Gulf sea surface temperature as a drought diagnostic for southern parts of Iran, J. of Drought News Network, Vol. 10, pp. 12-14.

8- Rucong, Y. Minghua, Z. Yongqiang, Y. and Yimin, L. 2001. Summer monsoon rainfalls over Mid-Eastern China lagged correlated with global SSTs, J. of Advances in Atmospheric Sciences, Vol. 18, No. 2, pp.179-196.

9- Semmler, S., and Jacob, J. 2004. Modeling extreme precipitation events-a climate change simulation for Europe. J. of Global and Planetary Change, Vol. 44, pp.119-127.

1- Alippi, C. and Cucchiara, R. 1992. Cluster partitioning in image analysis and classification: A genetic algorithm approach. Proc.CompEuro 1992 on Comput. System Software Eng., IEEE Computer Society Press, Silver Spring, MD, pp. 139-144.

2- Bandyopadhyay, S. and Maulik, U. 2002. Genetic algorithm-based clustering technique, Journal of Pattern Recognition Society., Vol. 33, pp. 1455-1465.

3- Garai, G., and Chaudhuri, B.B. 2004. A novel genetic algorithm for automatic clustering, Journal of Pattern Recognition Letters, Vol. 25, pp. 173-187.

4- Koontz, W.L. Narendra, P.M. and Fukunaga, K. 1975. A branch and bound clustering algorithm, IEEE Trans. Comput. Vol. 24, pp. 908-915.

5- Levrat, E. Bombardier, V. Lamotte, M. and Bremont, J. 1992. Multi-level image segmentation