

واکاوی تغییرپذیری مکانی مؤلفه‌های اقلیمی استان اصفهان با استفاده از تحلیل عاملی، خوشه‌ای

تقی طاوسی^{۱*}، محسن آرامش^۲

^۱استاد گروه آب و هواشناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
^۲دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۸ تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۲۷

چکیده

هدف پژوهش شناخت تغییر مؤلفه‌های اقلیمی پهنه‌های مکانی در گستره استان اصفهان است. در این راستا، ماتریسی از ایستگاه‌های منتخب و مؤلفه‌های اقلیمی در اندازه ۲۹×۲۴ ، شامل ۲۴ ایستگاه هواشناسی همدید در استان و استان‌های مجاور و ۲۹ پارامتر مؤثر بر اقلیم تشکیل شد. با توجه به ماهیت پژوهش از داده‌های نرمال سالانه استفاده شده است. به دلیل تفاوت در مقیاس اندازه‌گیری متغیرها از نمره استاندارد متغیرها مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از روش میانبایی IDW جهت ایجاد گرهما و از روش کریجینگ برای ایجاد پهنه‌ها استفاده شده است. نتایج گویای این است که پنج عامل «ارتفاع، دما و بارش»، «تندر و بارش»، «ابرنیکی و نمناکی»، «نمناکی» و «غبار» می‌تواند بیش از ۹۲ درصد رفتار اقلیمی استان را تبیین نماید. تحلیل خوشه‌ای این عوامل گویای هفت ناحیه اقلیمی در استان اصفهان است.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌های اقلیمی، تحلیل آماری، تغییرپذیری اقلیم.

مقدمه

اخیر رشد چشمگیری داشته است. در خارج از ایران نیونهم^۴ (۱۹۶۸) پهنه بندی اقلیمی ۷۰ ایستگاه هواشناسی بریتیش کلمبیا را با تحلیل عاملی انجام داد. نتایج نشان داد که سه عامل تعیین کننده ۸۷ درصد رفتار اقلیمی منطقه است. بیشوپ^۵ (۱۹۸۴) با روش تحلیل خوشه‌ای پهنه‌های اقلیمی در پنینشولر^۶ مالزی را انجام داد که گویای هشت ناحیه اقلیمی در منطقه بود. احمد و یوسف (۱۹۹۷) با استفاده از ۵۷ ایستگاه هواشناسی، عربستان سعودی را با استفاده از تحلیل عاملی - خوشه‌ای پهنه‌بندی کردند و این روش را برای تعیین مرز نواحی اقلیمی برای این کشور مناسب پنداشتند. گرسنگربی^۷ و همکاران (۱۹۹۹) برای طبقه‌بندی اقلیمی در اروپا تحلیل خوشه‌ای را بکار گرفتند. خروجی تحلیل خوشه‌ای بر دقت مناسب

پهنه‌بندی اقلیمی عمری دیرینه دارد. در حدود ۵۰۰ سال قبل از میلاد، پارمنیدس^۱ یونانی نخستین طبقه‌بندی اقلیمی جهان را براساس دوایر مداری جنب استوایی و قطبی انجام داد که به عنوان طبقه‌بندی اقلیم خورشیدی شناخته می‌شود. در ۱۴۰ سال قبل از میلاد هیپارکوس^۲ طبقه‌بندی اقلیمی جهان را بر پایه زاویه میل خورشیدی در انقلاب تابستانی انجام داد و پس از آن بطلمیوس^۳ بر اساس عرض جغرافیایی، جهان را به هفت اقلیم طبقه‌بندی کرد (جعفرپور، ۱۳۷۷: ۲۶۰ و ۲۶۱). در چند دهه اخیر نیز هامبلت، دمارتن، کوپن، تورنت وایت، آمبرژه و استرالر براساس چند متغیر اقلیمی طبقه بندی اقلیمی جهان را انجام دادند. استفاده از روش عاملی و خوشه‌ای در سالیان

*نویسنده مسئول: t.tavousi@gep.usb.ac.ir

4. Newnham
5. Bishop
6. Peninsular
7. Gerstengarbe

1. Parmenides
2. Hipparchus
3. Ptolemy

استفاده از GIS در سیستم سلیانینف پهنه‌بندی کردند و نشان دادند که اقلیم منطقه از نیمه خشک شدید تا مرطوب سرد متغیر است. خلیلی (۱۳۸۳) پهنه‌بندی اقلیمی ایران را بر اساس آستانه‌های دمایی جهت شناخت نواحی آسایش دمایی انجام داد. نتایج نشان داد که هفت گروه اقلیمی از ملایم تا فراسرد برای «درجه، روزهای» گرمایش، پنج گروه اقلیمی از ملایم تا بسیار گرم برای «درجه، روزهای» سرمایش و چهار گروه رطوبتی شرایط آسایش دمایی ایران را کنترل می‌کند.

غیور و منتظری (۱۳۸۳) برای شناخت رژیم‌های دمایی ایران از تحلیل مؤلفه‌های مینا و روش خوشه‌ای استفاده کردند و ایران را به سه قلمرو دمایی «کوهستانی»، «کوهپایه‌ای و پست» و قلمرو «جنوب» تقسیم کردند. مسعودیان (۱۳۸۴) برای تعیین رژیم‌های بارشی ایران تحلیل خوشه‌ای را بکار گرفت. بررسی نتایج پژوهش وجود سه رژیم بارشی در ایران را نشان داد. سلیقه و همکاران (۱۳۸۷) استان سیستان و بلوچستان را با استفاده از تحلیل عاملی و خوشه‌ای به پنج ناحیه اقلیمی تقسیم کردند. اکبری و مسعودیان (۱۳۸۸) با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و بررسی میانگین دمای ۳۳۸ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی، هشت ناحیه دمایی ایران در ایران شناسایی کردند.

رضیئی (۱۳۹۵) با استفاده از میانگین بارش و دمای ماهانه ۱۵۵ ایستگاه همدیدی پراکنده در گستره کشور در دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۴، نقشه اقلیمی ایران را به روش کوپن-گایگر به روزرسانی کرد و جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در دهه‌های گذشته مورد ارزیابی قرار داد.

تحلیل روند تغییرپذیری بارش و شاخص خشکی یونپ در غرب و شمال غرب ایران گویای کاهش بارندگی‌ها در دزفول، کشت و صنعت کارون، مراغه، سرپل ذهاب، ارومیه، ماکو، مهاباد، بیجار، سراب و سقز است. این شاخص نشان داد که شرایط اقلیمی نیمه مرطوب به شرایط خشک نیمه مرطوب و شرایط

این روش صحه گذاشت. گایتانی و همکاران (۲۰۰۶) تحلیل خوشه‌ای را جهت طبقه‌بندی نواحی از لحاظ میزان دریافتی انرژی خورشیدی برای ساختمان مدارس در یونان بکار گرفتند. نتایج دقت این روش را تأیید کرد. کارباجال^۱ و همکاران (۲۰۰۷) با بکارگیری تحلیل عاملی برای ناحیه‌بندی مناطق بیوکلیمایی مرکز و شمال شرق مکزیکو، توانایی این روش را در ناحیه‌بندی بیوکلیمایی منطقه نشان دادند

هیس و همکاران (۲۰۱۰) نواحی پیرامون رودخانه پیرل خلیج لینگ دینگ یانگ در جنوب چین را با استفاده از روش‌های زمین آماری، تحلیل عاملی و خوشه‌ای ناحیه‌بندی کردند. یونس (۲۰۱۱) تحلیل عاملی و روش خوشه‌ای را برای طبقه‌بندی اقلیمی شبه جزیره مالزی بکار گرفت. خروجی این روش تأثیر مناسب آن را بر روی طبقه بندی اقلیمی منطقه نشان داد. در ایران نیز عزیزی (۱۳۸۰) برای طبقه‌بندی اقلیمی ایران از روش لیتین اسکی بهره گرفت. بر اساس این روش ایران به سی و هشت ناحیه اقلیمی فرعی تقسیم بندی شد. مسعودیان (۱۳۸۲) با استفاده از تحلیل عاملی و بیست و هفت عنصر اقلیمی نشان داد که شش عامل بیشترین تأثیر را بر روی اقلیم ایران دارند. انجام تحلیل خوشه‌ای روی یک نمونه هزارتایی از مقادیر نمرات عاملی برگزیده، وجود پانزده ناحیه اقلیمی را تأیید کرد. وی در پژوهش دیگری سه قلمرو پر بارش کشور را با استفاده از روش تحلیل عاملی دوران یافته شناسایی کرد (مسعودیان، ۱۳۸۲).

دین‌پژوه و همکاران (۱۳۸۲) روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای را برای طبقه‌بندی نواحی بارشی ایران مورد استفاده قرار دادند. نتایج وجود شش ناحیه همگن و یک ناحیه غیر همگن را در سطح کشور نشان داد. جهانبخش و ترابی (۱۳۸۳) روش تحلیل خوشه‌ای و سری زمانی را برای پیش بینی و بررسی تغییرات دما و بارش در ایران استفاده کردند. بررسی خروجی این مطالعه گویای آن است که تغییرات اقلیمی در دوره آماری مورد مطالعه یکسان نبوده است. خلیلی و همکاران (۱۳۸۳) نواحی شمال غرب ایران را با

مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرانجام با استفاده از بار عاملی روی ایستگاه‌های هواشناسی تحلیل خوشه‌ای صورت گرفت. میانبایی پهنه‌ها با استفاده از روش کریجینگ انجام شد.

تحلیل عاملی: تحلیل عاملی در دهه ۱۹۵۰ توسط لورنز در پژوهش‌های اقلیم‌شناسی رایج شد. ویژگی مهم این روش، کاهش تعداد متغیرها، ضمن حفظ مقدار پراش اولیه موجود در داده‌های اصلی است. غالباً نتایج نهایی فرآیند تحلیل عاملی، به‌عنوان داده‌های اولیه روش خوشه‌بندی استفاده می‌شوند (علیچانی، ۱۳۸۱: ۱۸۰).

رابطه (۲)

$$X_1 - \varepsilon_1 = 1_{11}f_1 + 1_{12}f_2 + \dots + 1_{1m}f_m + \varepsilon_1$$

$$X_2 - \varepsilon_2 = 1_{21}f_1 + 1_{22}f_2 + \dots + 1_{2m}f_m + \varepsilon_2$$

.

$$X_p - \varepsilon_p = 1_{p1}f_1 + 1_{p2}f_2 + \dots + 1_{pm}f_m + \varepsilon_p$$

بردار تصادفی قابل مشاهده X با p مؤلفه دارای میانگین μ و ماتریس کواریانس Σ است. در الگوی عاملی فرض می‌شود که X وابسته خطی چند متغیر تصادفی غیرقابل مشاهده F_1, F_2, \dots, F_m است که به آنها عوامل مشترک گویند و p منبع دیگر از متغیرهای $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_p$ هستند که خطا یا عوامل خاص^۱ نامیده می‌شوند (نصیری، ۱۳۸۷: ۲۱۸ و ۲۱۷).

تحلیل خوشه‌ای: گام‌های پهنه‌بندی اقلیمی به روش تحلیل خوشه‌ای شامل تهیه ماتریس خام داده‌ها، تعیین نمره عاملی هر ایستگاه به روش تحلیلی عاملی، ادغام گروه‌ها به روش کمترین واریانس (روش وارد) و تعیین گروه‌های نهایی و ترسیم دندوگرام است (اسمعیل‌نژاد، ۱۳۸۴: ۴۸). در این پژوهش از الگوریتم سلسله مراتبی^۲ جهت طبقه‌بندی اقلیمی در استان اصفهان استفاده شده است. روش اندازه‌گیری فاصله بین خوشه‌ها، روش مربع فاصله اقلیدسی است (رابطه ۳).

رابطه (۳) (فرج‌زاده، ۱۳۸۹: ۱۰۴)

خشک نیمه مرطوب به شرایط نیمه خشک تغییر نموده است (طاوسی، ۱۳۹۷).

استفاده از چند متغیر به تنهایی نمی‌تواند شرایط واقعی اقلیم مکان‌های متعدد جغرافیایی را تمیز دهد. روشن است که هر چه شمار پارامترهای اقلیمی بیشتری لحاظ شود به همان اندازه دقت تقسیم‌بندی اقلیمی بیشتر خواهد شد. از این رو در سال‌های اخیر اقلیم‌شناسان شیوه‌هایی جستجو می‌کنند تا با استفاده از متغیرهای بیشتر، تصویری روشن‌تری از اقلیم مکان‌های جغرافیایی ارائه شود. روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای به علت داشتن این قابلیت، توجه پژوهشگران را جلب کرده است. در این پژوهش از این روش برای شناسایی تغییرات مکانی مؤلفه‌های اقلیمی در گستره استان اصفهان بهره گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش آمار ۲۴ ایستگاه هواشناسی هم‌دید در استان اصفهان و استان‌های همسایه استفاده شده است (جدول ۱). استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی مجاور استان سبب افزایش دقت مرزهای اقلیمی می‌شود. نرم اقلیمی ۲۸ پارامتر در مقیاس سالانه طی دوره (۱۹۸۸-۲۰۱۷) به انضمام عامل ارتفاع و در مجموع ۲۹ عامل، جهت تحلیل عاملی استفاده شد. به علت تفاوت در مقیاس اندازه‌گیری داده‌ها از نمره استاندارد متغیرها استفاده شد (رابطه ۱).

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{\delta} \quad \text{رابطه (۱)}$$

پس از محاسبه بار عاملی ایستگاه‌ها، با استفاده از روش میانبایی عکس مربع فاصله، گره‌هایی با فاصله ده کیلومتر ایجاد شد که تعداد ۳۴۱۷ یاخته (گره) را در بر می‌گرفت. استفاده از این گره‌ها به جای ایستگاه‌های هواشناسی به افزایش دقت پهنه‌بندی کمک می‌کند (درخشی، ۱۳۸۹: ۶۹). زیرا به جای ۲۴ ایستگاه هواشناسی، داده‌های مربوط به تعداد ۳۴۱۷ یاخته (گره) جهت بررسی تغییرات مکانی مؤلفه‌های اقلیمی

۱. Specific Factor

۲. Hierarchic

$$\text{فاصله } (x, y) = \sum_i (x_i - y_i)^2$$

جدول ۱: ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ردیف	ایستگاه	ارتفاع به متر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	آباده	۲۰۳۰	۵۲° ۴۰'	۳۱° ۱۱'	۱۳	طیس	۷۱۱	۵۶° ۵۵'	۳۳° ۳۶'
۲	اراک	۱۷۰۸	۴۹° ۴۶'	۳۴° ۰۶'	۱۴	قم	۸۷۷/۴	۵۰° ۵۱'	۳۴° ۴۲'
۳	اردستان	۱۲۵۲/۴	۵۲° ۲۳'	۳۳° ۲۳'	۱۵	کاشان	۹۸۲/۳	۵۱° ۲۷'	۳۳° ۵۹'
۴	اصفهان	۱۵۵۰/۴	۵۱° ۴۰'	۳۲° ۳۷'	۱۶	کیوت‌آباد	۱۵۴۵	۵۱° ۵۱'	۳۲° ۳۱'
۵	الیگودرز	۲۰۲۲	۴۹° ۴۲'	۳۳° ۲۴'	۱۷	کوه‌رنگ	۲۲۸۵	۵۰° ۰۷'	۳۲° ۲۶'
۶	بروجن	۲۱۹۷	۵۱° ۱۸'	۳۱° ۵۷'	۱۸	گرمسار	۸۲۵/۲	۵۲° ۱۶'	۳۵° ۱۲'
۷	خور بیابانک	۸۴۵	۵۵° ۰۵'	۳۳° ۴۷'	۱۹	گلپایگان	۱۸۷۰	۵۰° ۱۷'	۳۳° ۲۸'
۸	داران	۲۲۹۰	۵۰° ۲۲'	۳۲° ۵۸'	۲۰	لردگان	۱۵۸۰	۵۰° ۴۹'	۳۱° ۳۱'
۹	رباط پشت بادام	۱۱۸۸	۵۵° ۳۳'	۳۳° ۰۲'	۲۱	نائین	۱۵۴۹	۵۳° ۰۵'	۳۲° ۵۱'
۱۰	شرق اصفهان	۱۵۴۳	۵۱° ۵۲'	۳۲° ۴۰'	۲۲	نطنز	۱۶۸۴/۹	۵۱° ۵۴'	۳۳° ۳۲'
۱۱	شهرضا	۱۸۴۵/۲	۵۱° ۵۰'	۳۱° ۵۹'	۲۳	یاسوج	۱۸۳۱/۵	۵۱° ۴۱'	۳۰° ۵۰'
۱۲	شهرکرد	۲۰۴۸/۹	۵۰° ۵۱'	۳۲° ۱۷'	۲۴	یزد	۱۲۳۷/۲	۵۴° ۱۷'	۳۱° ۵۴'

می‌شوند (علیجانی، ۱۳۸۱: ۱۷۵).

تحلیل خروجی‌ها: در تحلیل عاملی از بین انواع چرخش‌ها، دوران کوار تیمکس مناسبترین بار عاملی را بر روی ایستگاه‌های مطالعاتی ایجاد کرد. به همین دلیل این نوع دوران برای افزایش بار عاملی عوامل کم نقش تر استفاده شد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که ۵ عامل بیش از ۹۲ درصد تغییرات مکانی مؤلفه‌های اقلیمی استان را تبیین کرده است (جدول ۲).

در روش وارد از بین تمام خوشه‌ها، زوجی با هم ترکیب می‌شود که مجموع مربعات انحرافات اعضای خوشه ادغامی آنها از میانگین مربوطه کمترین باشد. فرآیند خوشه‌بندی تمام مشاهدات را به تناسب اندازه فاصله آنها گروه‌بندی می‌کند. بدین صورت که نخست موارد نزدیک با هم ادغام و در گام بعد خوشه‌های نزدیکتر بعدی با هم ادغام می‌شوند. در آغاز فرآیند خوشه‌بندی به تعداد مشاهدات، خوشه وجود دارد و در آخرین گام همه مشاهدات در یک خوشه جمع

جدول ۲: مجموع پراش و بار عاملی تبیین شده توسط عامل‌ها با دوران کوار تیمکس

عامل‌ها	بار عاملی	پراش	پراش تجمعی	بار عاملی با چرخش	پراش با چرخش	پراش تجمعی با چرخش
عامل اول	۱۶/۵۸۸	۵۷/۲۰۱	۵۷/۲۰۱	۱۵/۳۳۴	۵۲/۸۷۷	۵۲/۸۷۷
عامل دوم	۴/۷۵۷	۱۶/۴۰۳	۷۳/۶۰۴	۴/۲۰۹	۱۴/۵۱۵	۶۷/۳۹۲
عامل سوم	۲/۶۷۳	۹/۲۱۶	۸۲/۸۲۰	۳/۵۶۴	۱۲/۲۸۹	۷۹/۶۸۱
عامل چهارم	۱/۶۴۳	۵/۶۶۷	۸۸/۴۸۷	۲/۴۷۴	۸/۵۳۰	۸۸/۲۱۱
عامل پنجم	۱/۱۱۳	۳/۸۳۸	۹۲/۳۲۵	۱/۱۹۳	۴/۱۱۵	۹۲/۳۲۵

۱- عامل «ارتفاع، دما و بارش» شامل ارتفاع، فراوانی روزهای یخبندان، فراوانی روزهای با مقدار کمینه دمای ۴- درجه سلسیوس، فراوانی روزهای برفی، فراوانی روزهای با بیشینه دمای صفردرجه سلسیوس، فراوانی روزهای بارانی، فراوانی روزهای با بارش ۱ میلی‌متر، فراوانی روزهای با بارش ۵ میلی‌متر، فراوانی روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر، بیشینه بارش روزانه

نامگذاری عامل‌ها بر پایه بار عاملی روی تک تک متغیرها انجام شده است و متغیرهایی که بیشترین بارگویی را در هر عامل دارد، اساس نامگذاری عامل‌ها است (جدول ۳). نامگذاری عامل‌های اصلی بر پایه بار عاملی ایجاد شده بر روی متغیرها (جدول ۳) به صورت زیر است:

بیشترین نقش را در نامگذاری این عامل دارند.
 ۴- عامل «نمناکی»، میانگین بیشنه نم نسبی، میانگین نم نسبی و دمای نقطه شبنم بیشترین نقش دارند.
 ۵- عامل «غبار»، در این عامل تنها فراوانی روزهای غباری بیشترین بار عملی به عهده دارد.

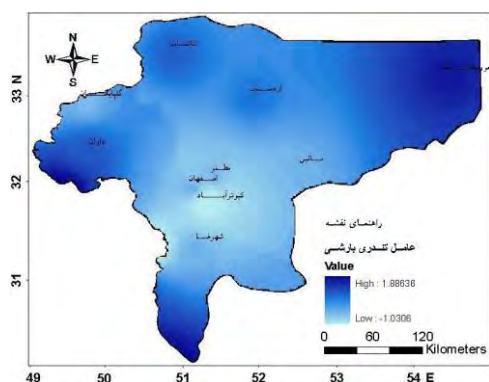
(روزهای رگباری) و مقدار بارش سالانه بیشترین وزن را دارند.

۲- عامل «تندر و بارش»، فراوانی روزهای تندری، بارندگی سالانه، فراوانی روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر، بیشینه بارش روزانه (بارش رگباری) و فراوانی روزهای با بارش ۵ میلی‌متر بیشترین تأثیر را دارند.

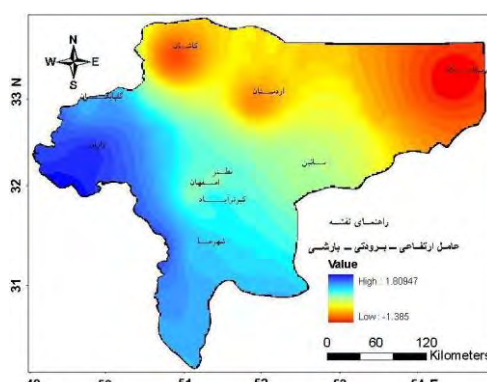
۳- عامل «برناکی و نمناکی»، متغیر شمار روزهای ابری، میانگین کمینه نم نسبی و میانگین نم نسبی

جدول ۳: بار عاملی روی عناصر اقلیمی با چرخش کوار تیمکس

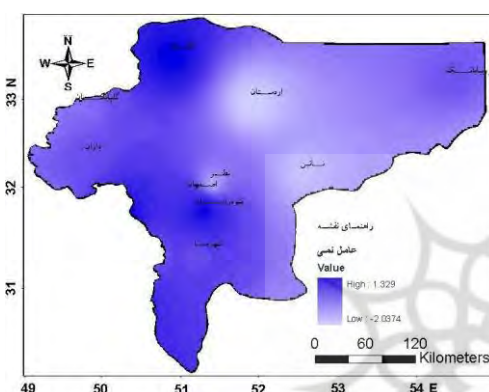
عناصر اقلیمی	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم	عامل پنجم
ارتفاع	۰/۹۴۷	-۰/۰۳۸	-۰/۰۱۴	-۰/۱۲۴	-۰/۰۶۴
میانگین دما	-۰/۹۹۳	۰/۰۷	۰/۰۱۸	-۰/۰۴۴	۰/۰۵۴
میانگین کمینه دما	-۰/۹۵۳	۰/۱۱۳	۰/۰۹۷	-۰/۲۲۴	-۰/۰۸۸
میانگین بیشینه دما	-۰/۹۵۳	۰/۰۱۱	-۰/۰۷۵	۰/۱۶۱	۰/۲۰۲
دمای نقطه شبنم	-۰/۷۷۷	۰/۰۴۸	۰/۲۸۲	۰/۵۳۳	-۰/۰۵۷
روزهای با بیشنه دمای صفر درجه	۰/۸۰۲	۰/۱۳۶	۰/۳۲	-۰/۰۷۹	-۰/۰۱۷
روزهای با بیشنه دمای ۳۰ درجه	-۰/۹۴۵	-۰/۰۱۵	۰/۰۲۴	۰/۱۸۳	۰/۲۰۷
روزهای با کمینه دمای ۴- درجه	۰/۹۱۴	-۰/۱۱۴	-۰/۰۸۴	۰/۱۶۹	۰/۱۹۶
روزهای یخبندان	۰/۹۳۲	-۰/۱۹۴	-۰/۰۸۱	۰/۲۲۹	۰/۱۴۳
روزهای با کمینه دمای ۲۱ درجه	-۰/۸۸۲	۰/۱۵۵	۰/۱۰۵	-۰/۲۳۱	-۰/۰۵۶
کمینه مطلق دما	-۰/۹۱۴	۰/۱۴۲	-۰/۱۴۶	-۰/۰۴۹	-۰/۱۵۴
بیشینه مطلق دما	-۰/۹۰۶	-۰/۰۲۵	۰/۲۰۰	۰/۲۵۵	۰/۱۸۸
میانگین بیشنه نم نسبی	۰/۵۵۸	۰/۰۷۸	۰/۱۹۸	۰/۷۶۵	۰/۰۸۵
میانگین کمینه نم نسبی	۰/۵۵۴	۰/۰۵۴	۰/۱۶۹	۰/۳۵۱	-۰/۲۶۷
میانگین نم نسبی	۰/۵۹۴	۰/۱۰۸	۰/۴۱۸	۰/۶۴۶	۰/۰۱۹
بارش رگباری	۰/۶۵۱	۰/۶۶۰	۰/۲۰۰	۰/۰۳۱	۰/۰۵۹
بارش سالانه	۰/۶۳۲	۰/۷۰۶	۰/۲۴۵	۰/۰۴۶	-۰/۰۲۱
روزهای بارشی	۰/۷۸۱	۰/۳۵۹	۰/۳۹۲	۰/۰۶۸	-۰/۱۴۱
روزهای با بارش ۱ میلی‌متر	۰/۷۵۰	۰/۴۵۱	۰/۴۰۹	۰/۰۹۱	-۰/۱۳۷
روزهای با بارش ۵ میلی‌متر	۰/۷۱۹	۰/۵۹۴	۰/۲۹۲	۰/۰۶۹	-۰/۱۰۳
روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر	۰/۶۷۱	۰/۶۷۷	۰/۲۳۴	۰/۰۶۴	-۰/۰۵۱
روزهای برفی	۰/۸۲۵	۰/۳۸۴	۰/۲۷۱	-۰/۰۶۲	۰/۰۱۱
روزهای غباری	-۰/۳۷۱	-۰/۰۳۷	-۰/۱۰۹	-۰/۱۶۰	۰/۸۷۳
روزهای تندری	۰/۴۵۸	۰/۷۹۴	۰/۲۳۷	۰/۱۰۸	۰/۰۸۴
میانگین سرعت باد	۰/۰۵۵	-۰/۳۶۵	-۰/۱۸۰	-۰/۷۶۴	۰/۲۵۶
روزهای آفتابی	-۰/۴۲۰	۰/۴۸۲	-۰/۷۱۹	۰/۰۲۱	-۰/۰۰۵
روزهای نیمه ابری	۰/۳۱۶	-۰/۸۴۶	۰/۱۸۶	-۰/۱۶۶	۰/۰۳۱
روزهای ابری	۰/۲۴۸	۰/۲۶۰	۰/۸۵۷	۰/۰۹۳	-۰/۰۲۳
ساعات آفتابی	-۰/۲۴۳	-۰/۲۱۷	-۰/۸۰۱	-۰/۲۰۸	-۰/۰۱۹



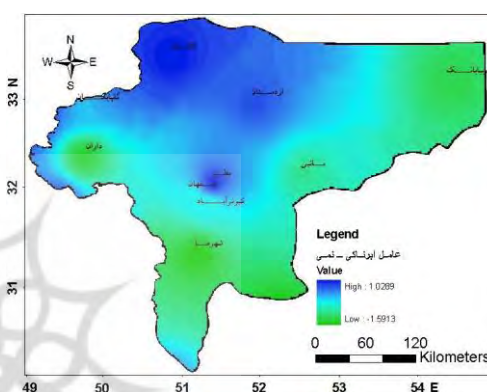
شکل ۲: عامل تندر و بارش (عامل دوم)



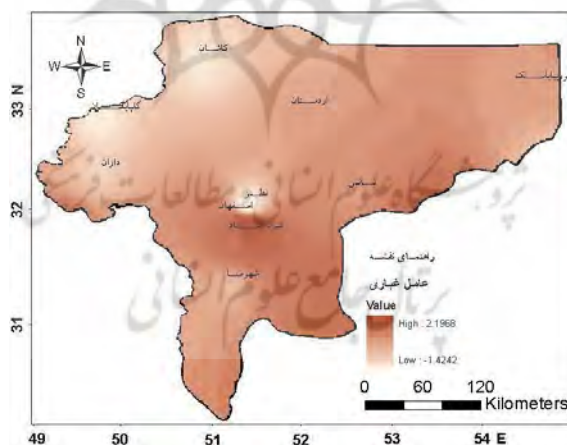
شکل ۱: عامل ارتفاع، دما و بارش (عامل اول)



شکل ۴: عامل نمناکی (عامل چهارم)



شکل ۳: عامل ابرناکی و نمناکی (عامل سوم)



شکل ۵: عامل غبار (عامل پنجم)

دارد. در حالی که در نواحی مرکزی استان، نقش کمتری دارد. عامل «ابرنایی و نمناکی» در ایستگاه هواشناسی گلپایگان عاملی بیشتری ایجاد کرده است. عامل نمناکی در ایستگاههای هواشناسی گلپایگان و نطنز بیشترین وزن را ساخته است و سرانجام عامل

«ارتفاع، دما و بارش» بیشترین بار را بر روی ایستگاه هواشناسی شهر داران دارد. نقش این عامل بیشتر محدود به ناحیه جنوبغرب و جنوب استان است. عامل «تندر و بارش» در امتداد رشته مرکزی و پیشکوههای زاگرس در استان اصفهان بیشترین نقش

داران، آباده و شهرضا، خوشه سوم شامل ایستگاههای هواشناسی کوه‌رنگ، خوشه چهارم شامل ایستگاههای شهرکرد، کبوترآباد، اصفهان، گلپایگان، قم، گرمسار و کاشان، خوشه پنجم شامل ایستگاههای الیگودرز، نائین، اردستان، رباط پشت بادام و نطنز، خوشه ششم شامل ایستگاه اراک و خوشه هفتم شامل ایستگاههای یاسوج، لردگان، طبس و خوربیبانک است. البته در این خوشه اقلیمی دو ایستگاه هواشناسی شهرهای یاسوج و لردگان در فاصله اقلیدسی بالاتری با ایستگاههای طبس و خوربیبانک ادغام شده‌اند (شکل ۷).

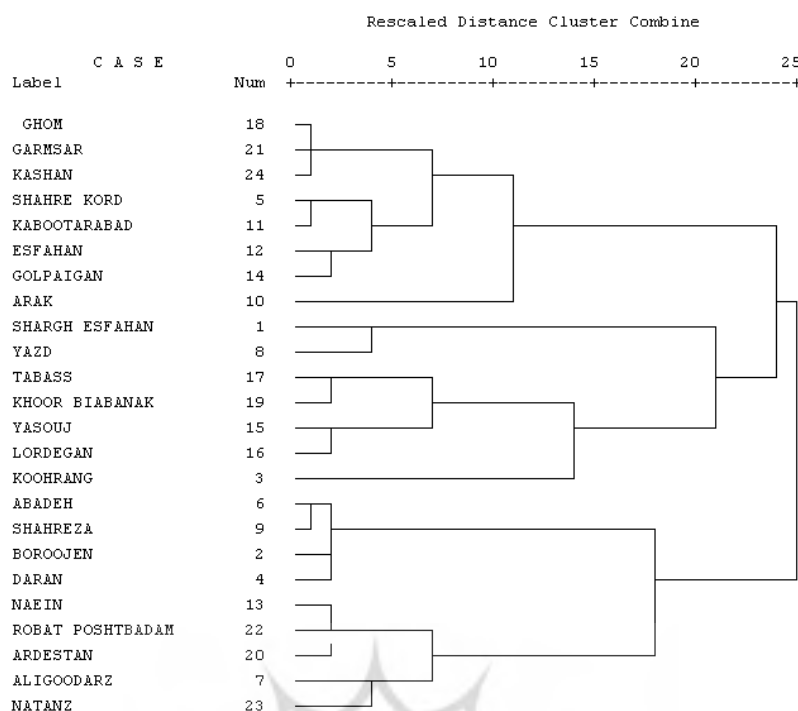
«غبار» در ایستگاههای هواشناسی کبوترآباد، نطنز، اصفهان و تا حدودی شرق و جنوب استان بیشترین نقش دارند (شکل ۱ تا ۵).

با توجه به نتایج بار عاملی روی ایستگاههای هواشناسی، پهنه‌های اقلیمی بررسی شدند (جدول ۴). تحلیل خوشه‌ای بر روی ایستگاههای هواشناسی با استفاده از خروجی تحلیل عاملی، وجود هفت ناحیه اقلیمی در استان اصفهان را نشان می‌دهد. در شکل ۶ نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، خوشه اول شامل ایستگاههای هواشناسی شمال و شمال شرق اصفهان و یزد، خوشه دوم شامل ایستگاههای هواشناسی بروجن،

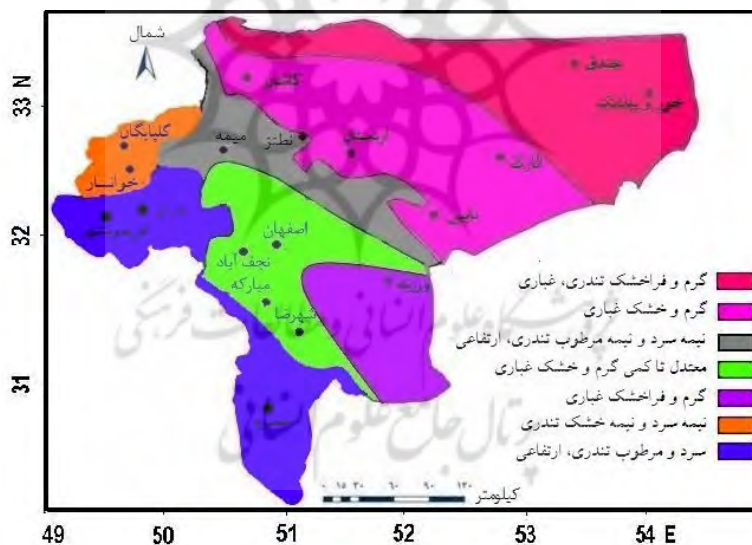
جدول ۴: بار عاملی روی ایستگاههای هواشناسی

عاملها ایستگاه	ارتفاع، دما و بارش	تندر و بارش	ابرنایکی و نمناکی	نمناکی	غبار
آباده	۰/۴۵۴۴۳	-۰/۳۳۳۵۲	-۱/۴۵۲۱۳	-۰/۴۸۸۸۱	۰/۲۷۵۷۵
الیگودرز	۱/۱۶۷۲۱	-۰/۸۳۴۵۱	۱/۱۰۶۸۳	-۱/۳۴۴۵۱	۰/۱۰۵۸۲
اراک	۰/۶۳۶۱۱	-۰/۸۷۱۸۵	۲/۸۲۱۰۰	۰/۲۷۶۹۴	۰/۶۵۳۲۲
اردستان	-۰/۹۴۸۲۱	-۰/۰۵۱۶۶	۰/۵۷۸۶۰	-۲/۰۴۱۴۹	-۰/۱۱۶۰۰
بروجن	۱/۴۴۲۸۹	-۱/۳۵۴۶۶	-۱/۱۰۵۷۳	-۰/۲۲۵۰۹	-۰/۳۳۲۳۶
داران	۱/۴۳۱۲۱	۰/۳۰۸۹۶	-۱/۱۹۲۹۶	۰/۰۴۴۶۱	-۰/۶۱۵۸۸
اصفهان	-۰/۱۹۱۳۸	-۰/۴۰۵۱۱	-۰/۲۴۶۸۶	۰/۴۷۲۷۴	۰/۱۴۳۵۴
گرمسار	-۰/۹۸۵۳۲	-۰/۳۲۱۳۲	۰/۶۹۸۸۵	۰/۹۰۶۲۱	-۰/۶۴۶۵۷
قم	-۰/۷۴۳۶۶	-۰/۴۷۹۷۸	۰/۶۶۰۱۳	۰/۸۴۸۲۷	-۰/۱۳۴۷۹
گلپایگان	۰/۴۰۳۰۸	-۰/۵۰۹۷۶	۰/۰۰۱۷۲	-۰/۲۶۹۰۶	-۱/۰۹۵۵۰
کوه‌رنگ	۲/۱۷۴۸۸	۲/۸۳۱۱۰	۰/۸۵۵۴۰	-۰/۳۸۸۰۷	۰/۴۹۵۰۴
خوربیبانک	-۱/۳۸۶۵۴	۱/۰۷۶۶۳	-۰/۹۱۹۴۶	-۰/۰۰۵۵۱	-۰/۱۱۲۹۵
کاشان	-۱/۲۰۵۸۰	۰/۱۵۵۲۴	۱/۰۳۳۰۲	۱/۳۳۹۴۶	-۰/۹۶۱۳۵
کبوترآباد	-۰/۰۲۹۲۲	-۱/۱۳۳۲۸	-۰/۱۹۰۳۸	۱/۵۲۵۱۶	-۰/۲۳۹۸۰
لردگان	۰/۰۶۰۶۵	۱/۰۸۰۴۶	-۰/۴۹۸۰۷	۱/۰۹۸۴۶	-۰/۵۵۷۷۲
نائین	-۰/۲۸۶۶۹	-۰/۴۶۸۱۴	-۰/۵۴۰۸۳	-۱/۳۱۰۸۳	-۰/۰۸۲۲۵
نطنز	-۰/۱۳۵۳۷	-۰/۴۵۰۷۹	۱/۱۰۰۷۳	-۱/۲۰۱۷۸	-۱/۶۷۰۵۶
رباط پشت بادام	-۱/۰۰۵۵۳	۰/۴۷۱۱۹	-۰/۶۶۲۷۳	-۱/۳۱۰۷۹	-۰/۹۱۹۹۴
شهرکرد	۱/۰۰۷۴۷	-۰/۴۲۹۱۶	-۰/۱۰۸۹۴	۱/۶۷۶۷۹	۰/۰۳۳۳۴
شهرضا	۰/۲۶۳۷۷	-۰/۴۴۹۳۴	-۱/۵۹۱۵۲	۰/۱۱۵۳۷	-۰/۳۶۶۲۸
شرق اصفهان	۰/۲۲۱۲۵	-۰/۸۳۷۳۰	-۰/۳۴۷۱۴	۰/۴۰۹۴۷	۲/۹۹۵۴۲
طبس	-۱/۷۰۵۸۰	۰/۸۳۹۸۹	-۰/۳۴۴۲۷	۰/۴۱۵۵۲	۰/۹۶۶۶۸
یاسوج	۰/۳۱۴۱۹	۲/۱۷۱۵۷	۰/۲۸۹۴۶	۰/۴۸۶۳۴	-۰/۰۷۱۶۴
یزد	-۰/۹۵۳۶۲	۰/۰۸۵۱۴	۰/۰۵۵۳۱	-۱/۰۲۹۴۱	۲/۲۵۴۷۹

Dendrogram using Ward Method



شکل ۶: نمودار درختی خوشه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی



شکل ۷: پهنه‌های اقلیمی استان اصفهان

خوشه‌ای و روش میان‌یابی IDW جهت ایجاد گره‌ها و روش کریجینگ برای ایجاد پهنه‌های آب و هوایی، ناحیه‌بندی اقلیمی استان اصفهان با استفاده از ۲۹ پارامتر و آمار ۲۴ ایستگاه سینوپتیک استان و استان‌های مجاور انجام شد. این نتایج گویای این است که پنج عامل «ارتفاع، دما و بارش»، «تندر و بارش»،

نتایج پژوهش

در طبقه‌بندی‌های اقلیمی گذشته، نقش عوامل محلی همواره تحت الشعاع عوامل سیاره‌ای بوده است. در حالی که عوامل محلی نقش بسزایی در اقلیم داشته و در نحوه پراکنش خرده اقلیم‌ها نقش بارزی ایفا می‌کنند. نتایج پژوهش که با استفاده از تحلیل عاملی،

۱. گرم و فراخشک تندری، غباری، ۲. گرم و خشک غباری، ۳. نیمه سرد و نیمه مرطوب تندری، ارتفاعی، ۴. معتدل تا کمی گرم و خشک غباری، ۵. گرم و فراخشک غباری، ۶. نیمه سرد و نیمه خشک تندری، ۷. سرد و مرطوب تندری، ارتفاعی.

«برناکی و نمناکی»، «نمناکی» و «غبار» بیش از ۹۲ درصد تغییرات مکانی مؤلفه‌های اقلیمی استان را تبیین می‌کند. با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی این عوامل، استان اصفهان به هفت ناحیه اقلیمی تقسیم شد. بر اساس بار عاملی روی ایستگاههای هواشناسی، نامگذاری نواحی اقلیمی به صورت زیر انجام شد:

منابع

۱. اسمعیل نژاد، مرتضی. ۱۳۸۴. پهنه‌بندی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان با سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، استاد رهنما: محمد سلیقه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، گروه جغرافیای طبیعی.
۲. اکبری، طیب. مسعودیان، ابوالفضل. ۱۳۸۸. شناسایی رژیم دمایی و پهنه‌بندی نواحی دمایی ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیستم، شماره ۱، ۷۴-۵۹.
۳. جعفرپور، ابراهیم. ۱۳۷۷. اقلیم شناسی، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران.
۴. جهانبخش، سعید. ترابی، سیما. ۱۳۸۳. بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۷۴، ۱۰۴-۱۲۵.
۵. خلیلی، علی. ۱۳۷۸. تدوین یک سامانه جدید پهنه‌بندی اقلیمی از دیدگاه نیازهای گرمایش، سرمایش محیط و اعمال آن بر گستره ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۴، ۱۲۷۳۴-۱۲۷۴۳.
۶. خلیلی، علی. درویش صفت، علی اصغر. برادران راد، رضا. بذرافشان، جواد. ۱۳۸۳. پیشنهاد روش برای پهنه‌بندی اقلیمی در محیط GIS مطالعه موردی شمال غرب ایران در سیستم سلیانینف، مجله بیابان، شماره ۲، ۲۳۷-۲۲۷.
۷. درخش، جعفر. ۱۳۸۹. برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمود خسروی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، گروه جغرافیای طبیعی.
۸. دین‌پژوه، یعقوب. فاخری، احمد. مقدم، محمد. جهانبخش، سعید. میرنیا، میرکمال. ۱۳۸۲. انتخاب متغیرها به منظور پهنه‌بندی اقلیم بارش ایران با روشهای چند متغیره، مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۴، ۸۲۳-۸۰۹.
۹. رضیعی، طیب. ۱۳۹۶. چشم اندازی از مناطق اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر در سده بیست و یکم، مجله ژئوفیزیک ایران، شماره ۱، ۱۰۰-۸۱.
۱۰. رضیعی، طیب. ۱۳۹۶. منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سده بیستم، مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۲، ۴۳۹-۴۱۹.
۱۱. سلیقه، محمد. بریمانی، فرامرز. اسمعیل نژاد، مرتضی. ۱۳۸۷. پهنه‌بندی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، ۱۱۶-۱۰۱.
۱۲. طاوسی، تقی. ۱۳۹۷. بررسی روند تغییرات بارندگی و شاخص خشکی یونپ در پهنه‌های آب و هوایی غرب و شمال غرب ایران، اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، شماره ۱۰۵، ۹۶-۸۵.
۱۳. عزیز، قاسم. ۱۳۸۰. طبقه‌بندی رقوم ایستگاههای اقلیمی منتخب در ایران به روش لیتین اسک، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۱، ۵۱-۳۹.
۱۴. علیجانی، بهلول. ۱۳۸۱. اقلیم شناسی سینوپتیک، چاپ اول، انتشارات سمت، تهران.
۱۵. غیور، حسنعلی و مجید منتظری. ۱۳۸۳. پهنه‌بندی رژیم‌های دمایی ایران با مؤلفه‌های مینا و تحلیل خوشه‌ای، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۴، ۳۴-۲۱.
۱۶. فرج زاده، منوچهر. ۱۳۸۹. تکنیک‌های اقلیم شناسی، چاپ سوم، انتشارات سمت، تهران.
۱۷. مسعودیان، ابوالفضل. ۱۳۸۲. بررسی پراکندگی جغرافیایی بارش در ایران به روش تحلیل عاملی دوران یافته، مجله جغرافیا و توسعه، سال اول، شماره ۱، ۸۸-۷۹.
۱۸. مسعودیان، ابوالفضل. ۱۳۸۲. نواحی اقلیمی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲، ۱۸۴-۱۷۱.

- Classification of School Buildings, AIVC 27th conference – EPIC 2006AIVC, Lyon, France.
26. Gerstengarbe, F.W, Werner, P.C. and Fraedrich, K. 1999. Applying Non-Hierarchical Cluster Analysis Algorithms to Climate Classification: Some Problems and their Solution, Theoretical and Applied Climatology, 64(3/4): 143-150.
27. Heise Bjoern, Bernd Bobertz, and Jan Harff 2010. Classification of the Pearl River Estuary via Principal Component Analysis and Regionalization, Journal of Coastal Research, pp.769-779.
28. Newnham, R.M. 1968. A Classification of Climate by Principal Component Analysis and Its Relationship to Tree Species Distribution, Forest Science, 14(3): 254-264.
29. Yunus, F. 2011. Delineation of Climate Divisions for Peninsular Malaysia, Geospatial World Forum, Dimensions and Directions of Geospatial Industry, Hyderabad, India.
۱۹. مسعودیان، ابوالفضل. ۱۳۸۴. شناسایی رژیم‌های بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۲، ۴۷-۵۹.
۲۰. مسعودیان، ابوالفضل. ۱۳۸۸. نواحی بارشی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، ۷۹-۹۱.
۲۱. نصیری، رسول. ۱۳۸۷. آموزش گام به گام SPSS، چاپ اول، انتشارات نشرگستر، تهران، ص ۲۹۱.
22. Ahmed, B. and Yusuf M. 1997. Climatic classification of Saudi Arabia: an application of factor – cluster analysis, Geo Journal, 41(1): 69–84.
23. Bishop I.D (1984). Provisional Climatic Regions of Peninsular Malaysia, Pertanika 7(3): 19-24.
24. Carbajal. N., Pineda Martinez, L. and Medina Roldan, E. 2007. Regionalization and classification of bioclimatic zones in the central-northeastern region of Mexico using principal component analysis (PCA), journal content, 20(2), Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
25. Gaitani, N., Santamouris, M., Mihalakakou, G. and Patargias 2006. Cluster Analysis in Energy