یوسف قویدل رحیمی
E-mail: GeoClimate2005@yahoo.com
کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی ـ دانشگاه تبریز

پردازش و مدل‌سازی داده‌های اقلیمی
با استفاده از نرم‌افزار INSTAT PLUS

چکیده

ضرورت استفاده از روش‌های آماری در علوم مربوط به اقلیم‌شناسی، هواشناسی و هیدرولوژی موجب تلاش متخصصان صنعت نرم‌افزارهای رایانه‌ای برای تولید نرم‌افزارهای تخصصی شده است که نرم‌افزار «INSTAT PLUS» نمونه‌ای از این دست به‌شمار می‌آید. در نرم‌افزار یادشده سعی شده است، علاوه بر روش‌های آماری عمومی، روش‌های خاص آماری که به‌منظور محاسبه و تجزیه و تحلیل داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرند، در نرم‌افزار گنجانده شوند. از قابلیت‌های منحصر به فرد نرم‌افزار INSTAT PLUS، می‌توان توانایی آن در تحلیل‌های مربوط به روش بسیار پیشرفتهٔ «زنجیرهٔ مارکف» و روش‌های محاسباتی موجود در منوی اقلیم‌شناسی، شامل: روش‌های محاسبهٔ تبخیر و تعرق، درجهٔ روز، بیلان آبی، دورهٔ بازگشت (احتمال وقوع مجدد) پدیده‌های آب و هوایی و سایر روش‌های پیچیدهٔ هوا و اقلیم‌شناسی را نام برد.

کلید واژه‌ها: نرم‌افزار INSTAT PLUS، مدل‌سازی داده‌های اقلیمی، داده‌پردازی اقلیمی، زنجیرهٔ مارکف در اقلیم‌شناسی.

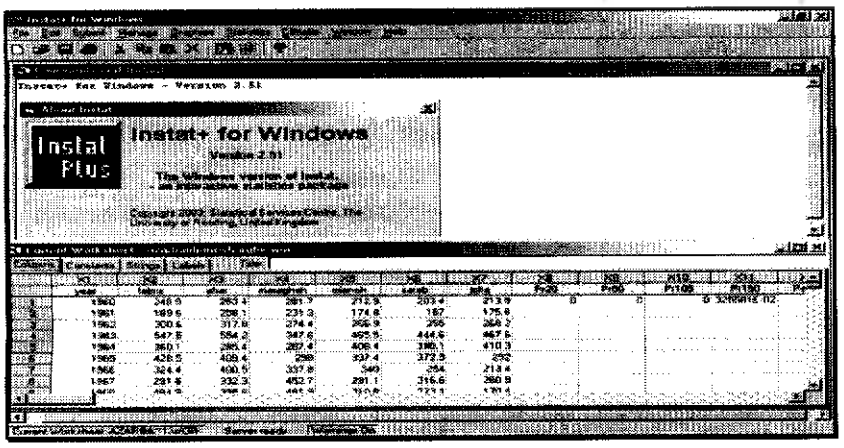
۱. مقدمه

روند تخصص‌گرایی شدید در علوم گوناگون موجب شده است، نرم‌افزارهای تخصصی در زمینه‌های علمی متنوع و برای کاربردهای متفاوت تولید شوند. نرم‌افزار INSTAT PLUS یکی از نرم‌افزارهای تخصصی است که دربرگیرندهٔ روش‌های آماری عام و برخی از فنون اقلیم‌شناسی آماری است. مروری بر نرم‌افزارهای موجود در زمینهٔ اقلیم‌شناسی و رشته‌های مجاور آن مثل هواشناسی، وجود تعداد انگشت‌شماری از نرم‌افزارهای تخصصی در زمینه‌های یادشده، به‌ویژه در زمینهٔ آمار را نشان می‌دهد و عمدتاً محققان اقلیم‌شناسی، به‌منظور تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهایی نظیر MINI TAB.NCSS.S-PLUS استفاده می‌کنند. هرچند نرم‌افزارهای یادشده قابلیت‌های زیادی دارند و می‌توانند نیازهای اقلیم‌شناسان را برطرف کنند، اما از نظر قابلیت‌هایی که به روش‌های آماری یا فنون تخصصی اقلیمی مربوط می‌شوند، مفید نیستند و اتلاف وقت و هزینهٔ زیادی را برای اقلیم‌شناسان درپی دارند. با توجه به مطلب گفته شده، استفاده از نرم‌افزارهای آماری تخصصی یک نیاز یا یک ضرورت زمانی در دانش اقلیم‌شناسی محسوب می‌شود که این امر دلیلی موجه و منطقی برای تولید نرم‌افزارهای تخصصی اقلیم‌شناسی است.

نظر به اهمیت نرم‌افزارهای تخصصی در بالا بردن دقت نتیجه‌های تحقیقات آب و هواشناسی و تسهیلاتی از این دست، و همچنین ناشناخته بودن و درنتیجه عدم استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی اقلیمی در کشورمان، در این نوشته سعی شده است، ضمن معرفی نرم‌افزار INSTAT PLUS، قابلیت‌های آن در اقلیم‌شناسی و هواشناسی با مثال‌هایی از ایران و دیگر نقاط دنیا نشان داده شود؛ امید آن‌که بتواند خلأ موجود در زمینهٔ شناخت، معرفی و کاربرد نرم‌افزارهای تخصصی اقلیمی را تا حدودی پر کند.

۲. معرفی نرم‌افزار INSTAT PLUS

در شکل ۱، منوهای اصلی و صفحهٔ گستردهٔ نرم‌افزار INSTAT



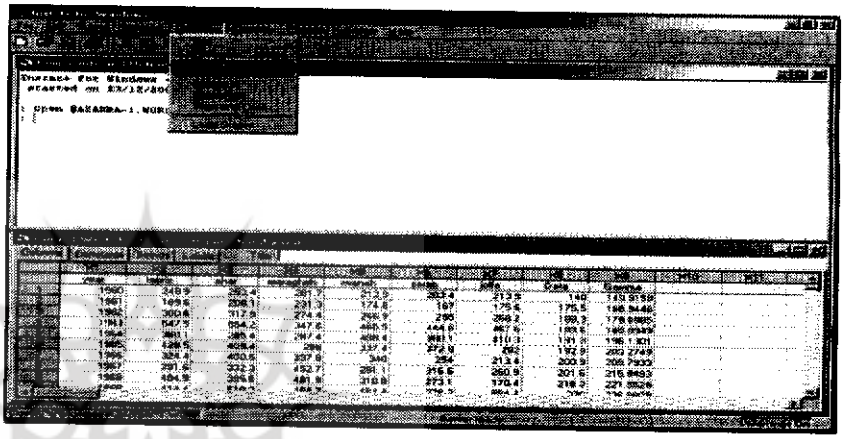
شکل ۱. منوهای اصلی نرم‌افزار INSTAT PLUS

PLUS نشان داده شده است.

این نرم‌افزار، محصول سال ۲۰۰۳ شرکت تولید نرم‌افزارهای آماری «دانشگاه ریدینگ» انگلستان و سومین نسخهٔ تحت ویندوز از نرم‌افزار است. اولین نسخهٔ آن در محیط سیستم عامل داس و در سال ۱۹۹۴ به بازار آمده است. این نرم‌افزار، یک صفحهٔ گسترده برای ایجاد پایگاه داده‌ها (همانند اکسل) دارد (شکل ۱).

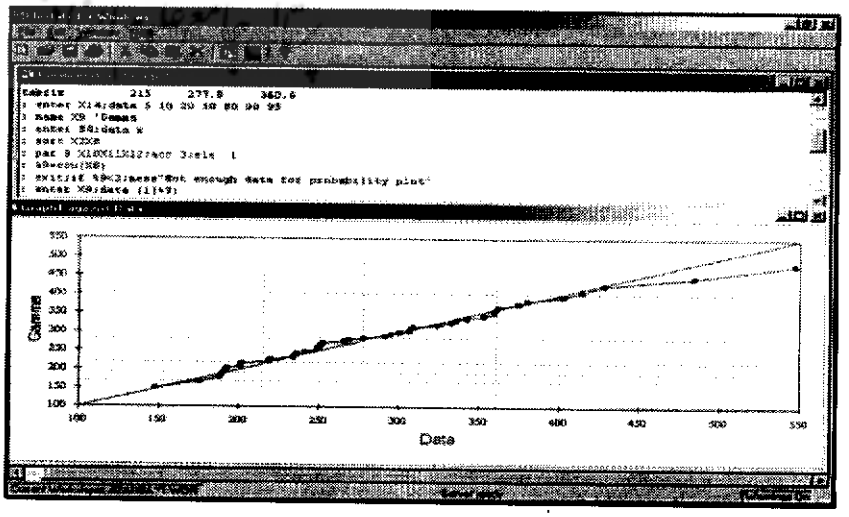
در بین منوهای اصلی نرم‌افزار یادشده، دو منوی «اقلیمی» و «آماری» اهمیت بیش‌تری دارند و به همین علت به صورت مشروح‌تری آن‌ها را بررسی خواهیم کرد.

۱ـ۲. منوی گرافیک



شکل ۲. قسمت‌های گوناگون منوی گرافیکی نرم افزار INSTAT PLUS

در شکل ۲، منوی گرافیک INSTAT PLUS را مشاهده می‌کنید که بخش‌های گوناگون آن عبارتند از: نمودارهای توزیع احتمال وقوع، نمودارهای جعبه‌ای، هیستوگرام، نمودارهای پخشی و نمودارهای ساقه برگی.



شکل ۳. نمودار توزیع گاما برای بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک تبریز

با استفاده از این قابلیت نرم‌افزاری می‌توان نمودارهای گوناگونی رسم کرد. این نمودارها، کار تحلیل داده‌های فراوان اقلیمی را بسیار آسان‌تر می‌کنند. در شکل ۳، نمودار توزیع احتمال بارش سالانهٔ ایستگاه تبریز به روش گاما، با استفاده از نرم‌افزار INSTAT PLUS، ترسیم شده است.

۲ـ۲. منوی آماری

منوی آماری INSTAT PLUS را که در شکل می‌بینید، از مهم‌ترین قسمت‌های نرم‌افزار به‌شمار می‌رود و شامل روش‌های آماری مورد نیاز در تجزیه و تحلیل داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیک است. (شکل ۴)

این منوی آماری شامل بخش‌های زیر است:

● **بخش تلخیص داده‌ها**: در این بخش می‌توان داده‌ها را از نظر تحلیلی و توصیفی در ابعاد ستونی یا ردیفی بررسی کرد. برای نمونه، شکل ۵، صفحهٔ گفت‌وگو و نتیجه‌های حاصل از تحلیل توصیفی داده‌های بارش بهارهٔ ایستگاه تبریز را نشان می‌دهد. (شکل ۵)

● **بخش جداول**: برای ایجاد جدول‌های گوناگون آماری و نوشتاری می‌توان از این بخش استفاده کرد.

● **قسمت مدل‌های ساده**: با استفاده از این قسمت نرم‌افزار می‌توان از داده‌های اقلیمی، مدل‌های گوناگونی را تهیه کرد که در شکل ۳ نیز قابل مشاهده‌اند. از قابلیت‌های بسیار مهم این قسمت نرم‌افزار می‌توان به توزیع‌های گاما، نرمال (با یک یا دو نمونه)، تست‌های آماری پواسون، کی‌دو و همچنین آزمون نکویی برازش اشاره کرد.

● **بخش تحلیل واریانس**: اهمیتی که روش تحلیل واریانس در تحلیل‌های آماری مسائل اقلیمی و هیدرولوژیک دارد، موجب شده است، یک بخش مجزا به این روش آماری اختصاص داده شود که این بخش دربرگیرندهٔ تمام

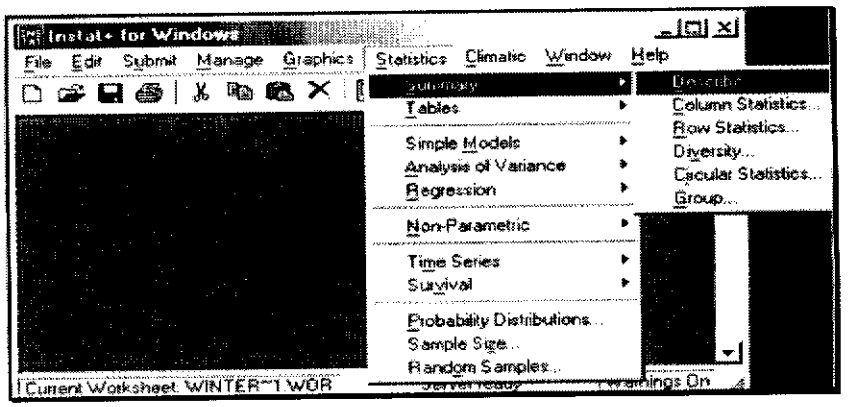
روش‌ها و جزئیات موجود برای تحلیل واریانس داده‌های آماری است.

● **بخش تحلیل رگرسیون:** در این قسمت می‌توان انواع روش‌های متنوع وایازی، مثل مدل‌های خطی ساده و لگاریتمی، رگرسیون ساده، چندجمله‌ای، گام‌به‌گام، همبستگی و غیره را مشاهده کرد. این قسمت را می‌توان مهم‌ترین و کارامدترین بخش‌های INSTAT PLUS دانست.

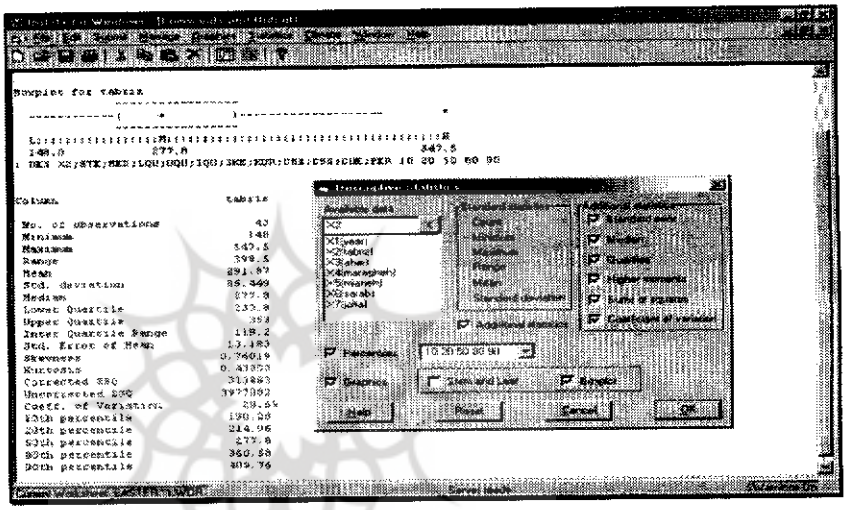
● **بخش آمار ناپارامتری:** دربرگیرندهٔ روش‌هایی از آمار ناپارامتری است که در بیش‌تر پژوهش‌های اقلیمی استفاده می‌شوند.

● **قسمت سری‌های زمانی:** در این بخش، کاربردی‌ترین روش‌های سری‌های زمانی قرار دارند که در مسائل مربوط به هوا، اقلیم و آب به کار برده می‌شوند. این روش‌ها عبارتند از: میانگین لغزان در گام‌های گوناگون و همبستگی‌ها (همبستگی متقابل، توابع خودهمبستگی نمونه و جزئی).

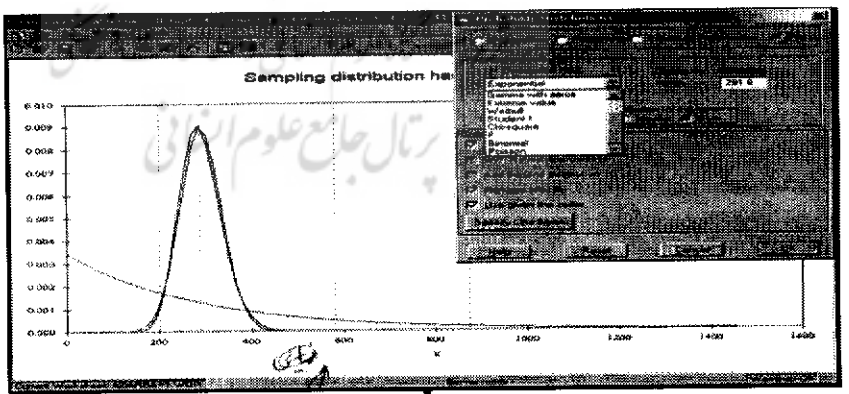
● **بخش توزیع احتمالات آماری:** در این قسمت روش‌های توزیع احتمالات گنجانده شده‌اند که شامل توزیع‌های گاما، پواسون، کی‌دو، نرمال، تی‌استیودنت، اف، نمایی، مقادیر انتهایی، ویبول و درنهایت توزیع دوجمله‌ای هستند. شکل ۶، منوی گفت‌وگو، انواع توزیع احتمالات و توزیع احتمال بارش سالانهٔ ایستگاه تبریز با میانگین ۲۹۲ میلی‌متر،



شکل ۴. بخش‌های منوی اصلی آماری در نرم‌افزار INSTAT PLUS



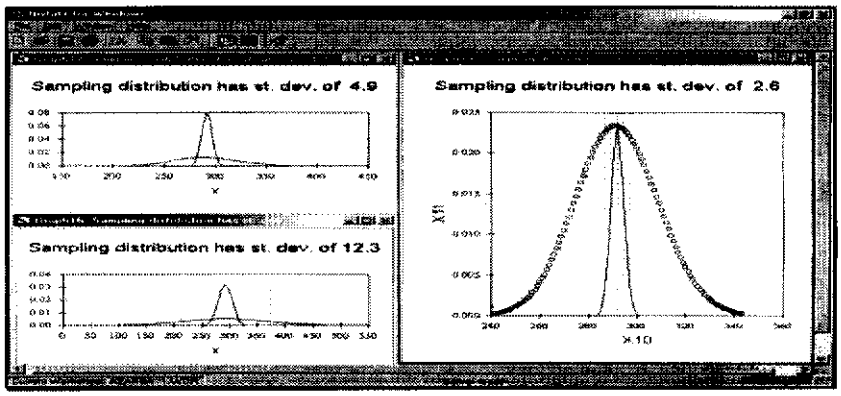
شکل ۵. منوی توصیف آماری و نتیجه‌های حاصل از تحلیل توصیفی داده‌های بارش سالانهٔ ایستگاه تبریز



شکل ۶. صفحهٔ گفت‌وگوی توزیع‌های احتمالاتی به همراه توزیع نمایی بارش سالانهٔ ایستگاه تبریز

انحراف معیار ۸۱ و حجم نمونهٔ ۴۳ در توزیع نمایی را نشان می دهد. در شکل ۷ نیز بارش ایستگاه تبریز در توزیع های نرمال، گاما و پواسون ترسیم شده دیده می شود.

● **بخش نمونه گیری تصادفی**: بخش کاملی از روش هایی است که به منظور نمونه گیری تصادفی در توزیع های گوناگونی چون: برنولی، هندسی، خودبازگشت و غیره به کار برده می شوند.

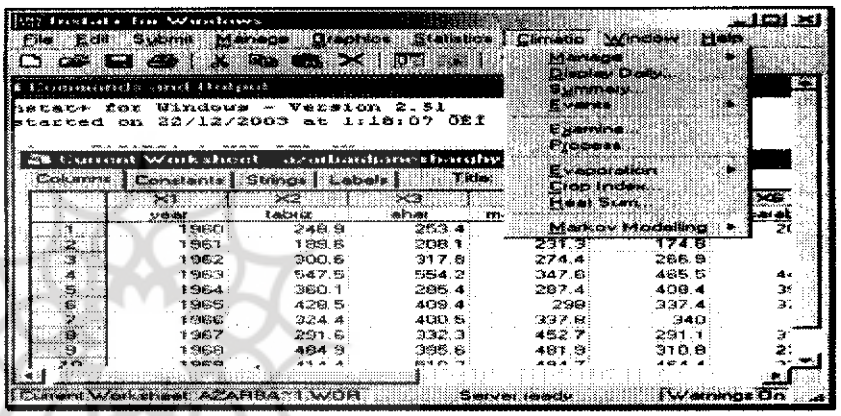


شکل ۷. توزیع احتمال بارش سالانهٔ ایستگاه سینوپتیک تبریز به روش های نرمال، گاما و پواسون

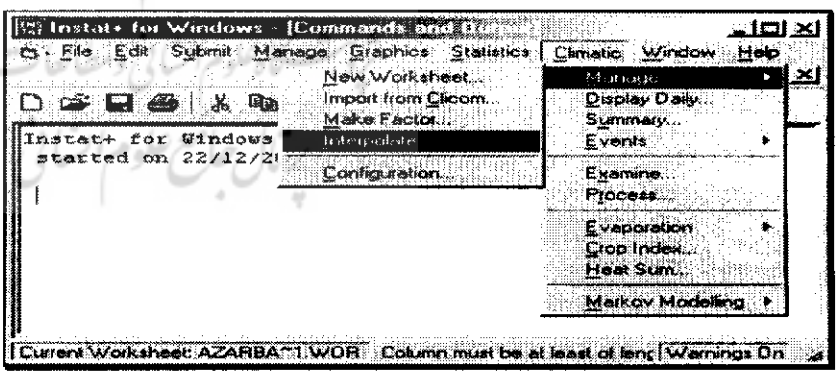
۳ـ۲. منوی آب و هوا

با توجه به این که اساساً نرم افزار INSTAT PLUS به منظور تسهیل تحلیل های آماری در اقلیم شناسی تولید شده است. این قسمت از نرم افزار که در واقع بخش اصلی یا مهم ترین قسمت آن است، به صورت کامل تری تشریح خواهد شد.

همان گونه که در شکل ۸ مشاهده می کنید، بخش اقلیم چهار قسمت دارد: ۱. قسمت مربوط به داده های حاصل از ثبت مشاهدات، ۲. بخش مربوط به تحلیل فرایندها و آزمون احتمالات، ۳. بخش مربوط به تحلیل های آگروکلیمایی، ۴. قسمت مدل سازی داده های روزانه به روش زنجیرهٔ مارکف. (جای شکل ۸)



شکل ۸. بخش های گوناگون منوی پیشرفتهٔ اقلیم شناسی در نرم افزار INSTAT PLUS



شکل ۹. قسمت مدیریت داده ها در نرم افزار INSTAT PLUS

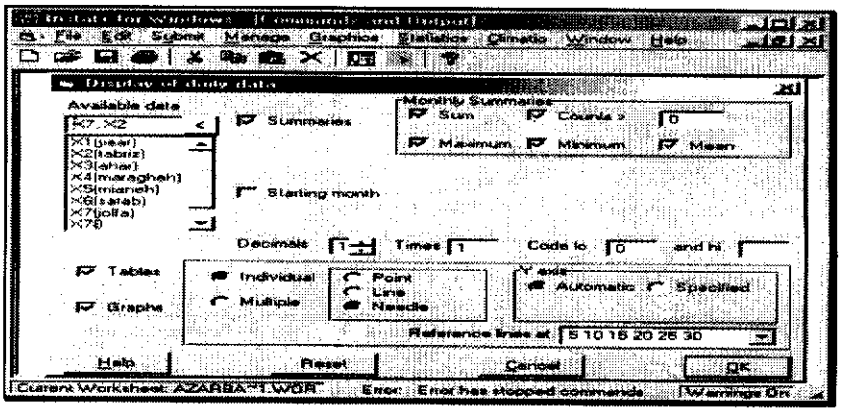
۱ـ۳ـ۲. بخش مربوط به داده ها که شامل قسمت های چهارگانه است:

۱. مدیریت داده ها. به طوری که در شکل ۹ دیده می شود، از طریق آن می توان عملیات بسیار مهمی چون میانه یابی داده ها را انجام داد.

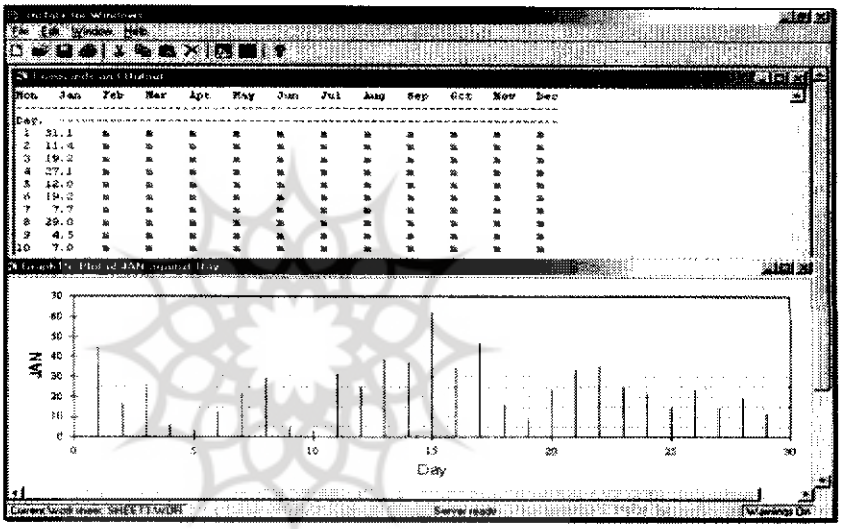
۲ . نمایش روزانه که نشاندهندهٔ ویژگی های روزانهٔ عناصر اقلیمی، خصوصاً بارش (شکل ۱۰) در طول ماه‌های سال به همراه نمودارها و شکل‌هایی است که نمونه‌ای از آن‌ها را در شکل ۱۱ برای توزیع بارش روزانه در ماه ژانویه در یک ایستگاه فرضی مشاهده می‌کنید.

۳ . تلخیص و ساده‌سازی داده‌ها.

۴ . پیشامدها؛ رویدادهای مربوط به هیدرواقلیم که در شکل ۱۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۰ . قسمت نمایش داده‌های روزانهٔ هواشناسی در نرم‌افزار INSTAT PLUS

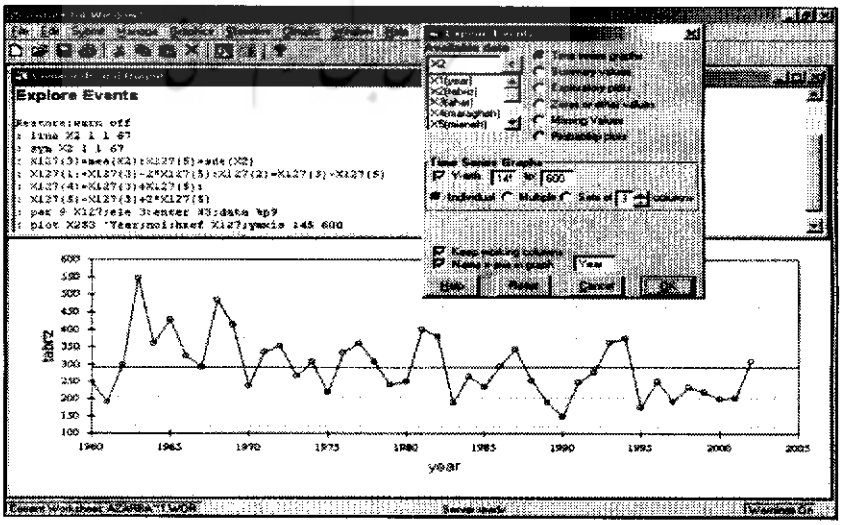


شکل ۱۱ . توزیع روزانهٔ بارش در روزهای متفاوت ماه ژانویه در ایستگاهی فرضی

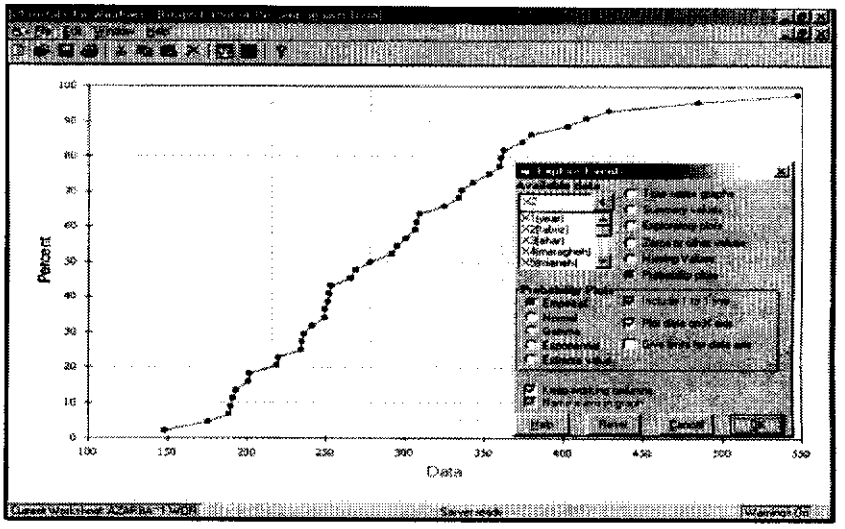
۲ـ۳ـ۲ . بخش مربوط به تحلیل فرایندها و آزمون احتمالات :

این بخش از دو زیرمنوی «آزمون برای کشف رویدادها»، و «فرایندها» تشکیل یافته است که شامل مراحل محاسبهٔ دورهٔ بازگشت و احتمال وقوع پدیده‌های اقلیمی می‌شود. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ برای منوی آزمون و در شکل ۱۴ برای منوی دورهٔ بازگشت و احتمال وقوع (۵۰، ۲۰ و ۸۰ درصدی) مثال‌هایی ذکر شده است.

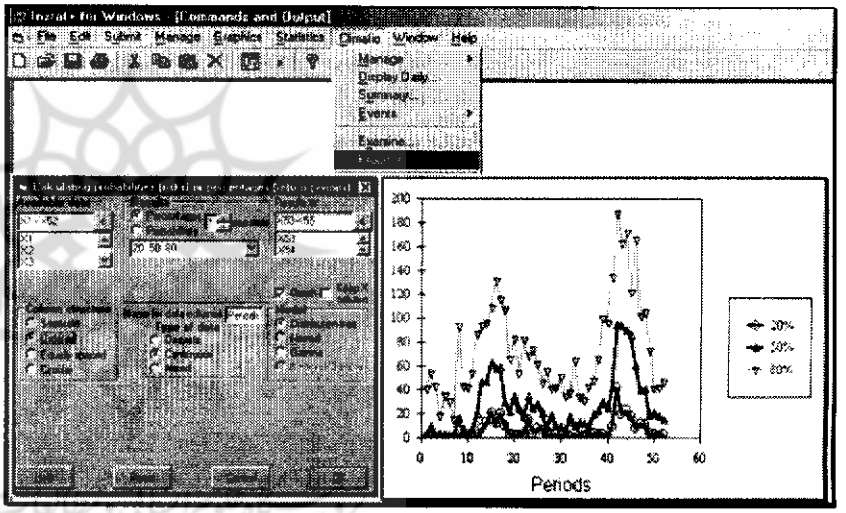
بخش مربوط به پیشامدهای هیدرواقلیمی در سه بخش یا دیالوگ به این شرح ارائه شده است: ۱. ویژگی های مربوط به شروع فصل بارندگی، ۲. قسمت مربوط به طول مدت بارش‌ها، ۳. بیلان آب. این بخش نیز در اصل برای محاسبات روزانه طراحی شده، اما با اندکی تغییرات می‌توان برای دیگر مقاطع زمانی از تحلیل‌های آن استفاده کرد. در شکل ۱۱، منوی گفت‌وگوی بخش محاسبهٔ بیلان آبی به صورت روزانه در ایستگاهی فرضی، همچنین نمودار مقایسهٔ متوسط بارش نسبت به متوسط بیلان آبی نشان داده شده است. (شکل ۱۵)



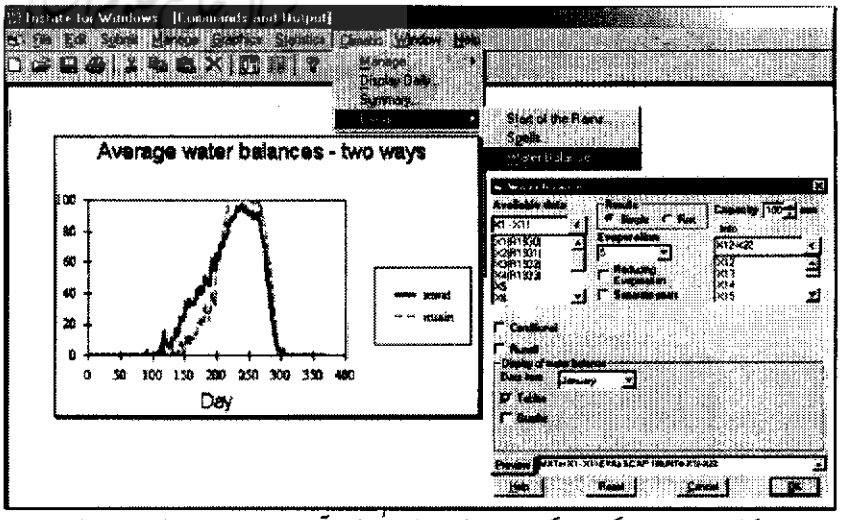
شکل ۱۲ . منوی آزمون رویدادها با انتخاب گزینهٔ سری زمانی بارش سالانه (مدل نیمرخ بارش) برای ایستگاه تبریز



شکل ۱۳ . منوی آزمون رویدادها با گزینش نمودار احتمالات (احتمال تجربی یا ایمپریکال) بارش سالانه برای ایستگاه تبریز



شکل ۱۴ . منوی دورهٔ بازگشت با احتمال (۵۰ ، ۲۰ و ۸۰ درصدی) در مقطع زمانی هفتگی برای بارش ایستگاه کرونگا در سیلان



شکل ۱۵ . منوی گفت‌وگو و مراحل محاسبهٔ بیلان آبی به صورت روزانه و نمودار مقایسهٔ متوسط‌های بارش و بیلان آبی روزانه

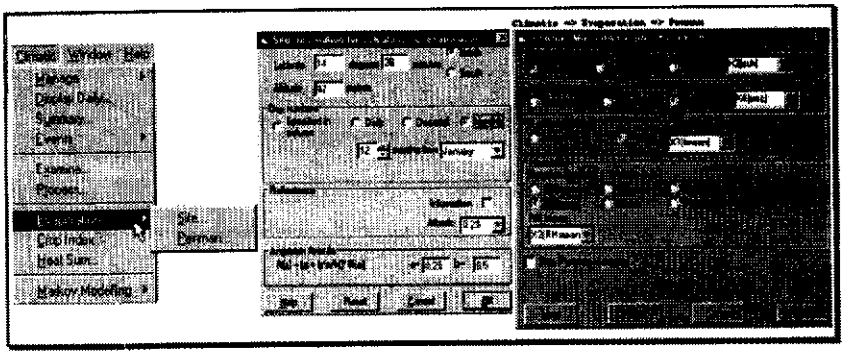
۳ـ۳ـ۲ . بخش مربوط به تحلیل‌های آب و هواشناسی کشاورزی (آگروکلیماتولوژی) : دربرگیرندهٔ محاسبات آماری مربوط به آگروکلیما از جمله محاسبهٔ تبخیر ، شاخص غلات (شکل) و مجموع گرما (درجهٔ روز) است . شکل ۱۶ مراحل محاسبهٔ تبخیر و تعرق به روش مانتیس- پنمن را نشان می‌دهد که شامل برآورد اولیه‌ای از تبخیر محلی (اطلاعاتی که برای تکمیل ، دیالوگ محل ضرورت دارد و حاوی عرض جغرافیایی به درجه ، ارتفاع به متر ، مقیاس زمانی در دوره‌های روزانه ، ده روزه ، ماهانه و غیره و نهایتاً آلبیدو است) و سپس قرار دادن پارامترهای مربوط به تشعشع ، دما ، سرعت باد و درنهایت رطوبت در محاهای مخصوصشان در دیالوگ تبخیر و تعرق مانتیس- پنمن ، است .

در شکل ۱۷ ، نمودار مقایسه‌ای بین تبخیر و تعرق واقعی و بالقوه با میزان تشعشع در یک ایستگاه فرضی با استفاده از منوی نرم‌افزار به روش مانتیس- پنمن ترسیم شده است . شکل ۱۸ منو نیز دیالوگ و داده‌های مورد نیاز برای محاسبهٔ درجهٔ روز با نمودارهای خروجی (درجات روزانهٔ متفاوت و احتمال وقوع آن‌ها) برای ایستگاهی فرضی را به‌عنوان نمونه نشان می‌دهد .

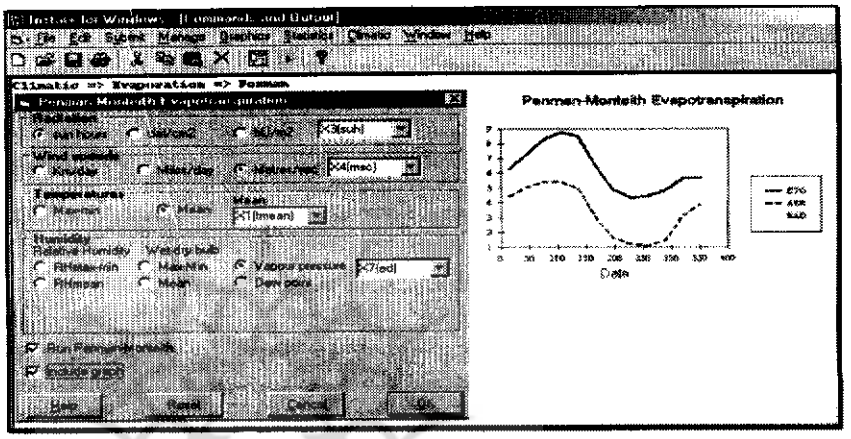
۴ـ۳ـ۲ . مدل‌سازی به روش مارکف :

در این قسمت روش کاملی از مدل‌سازی به طریقهٔ زنجیرهٔ مارکف ارائه می‌شود که جزو روش‌های بسیار پیشرفته و منحصر به‌فرد آماری (خصوصاً در زمینهٔ مدل‌سازی و پیش‌بینی فرایندهای تصادفی) است . می‌توان آن را از مهم‌ترین ویژگی‌های INSTAT PLUS برشمرد که دیگر نرم‌افزارهای آماری فاقد آن هستند .

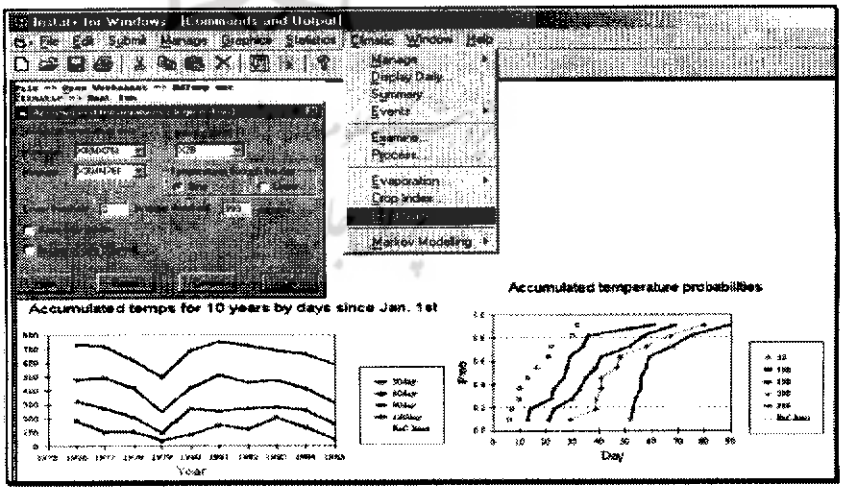
منوی مدل‌سازی به روش مارکف ۸ بخش دارد که در شکل ۱۹ قابل مشاهده است . با وجود این‌که این زیرمنو اساساً



شکل ۱۶ . منوی تبخیر دیالوگ‌های مربوط به محاسبهٔ «تبخیر» و «تبخیر و تعرق»



شکل ۱۷ . نمودار مقایسه‌ای بین تبخیر و تعرق واقعی و بالقوه با میزان تشعشع در یک ایستگاه فرضی



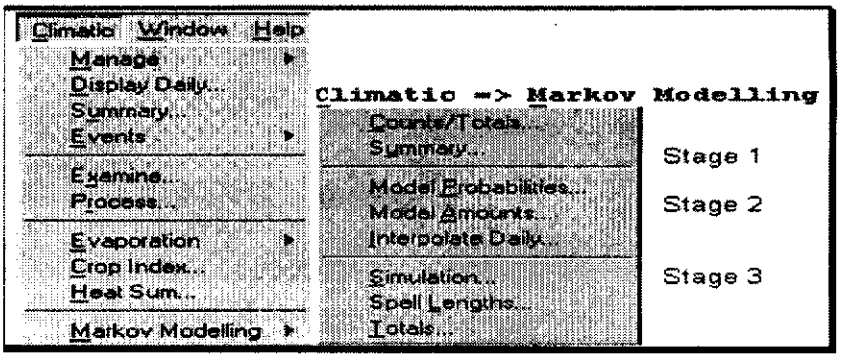
شکل ۱۸ . منو و دیالوگ مربوط به محاسبهٔ درجهٔ روز به همراه نمودارهای خروجی برای ایستگاهی فرضی

معمولاً از مدل مارکف برای تحلیل و پیش‌بینی مقادیر مربوط به عناصر اقلیمی، به‌ویژه بارش، و خشکسالی و ترسالی استفاده می‌شود. امروزه مدل زنجیرهٔ مارکف، خصوصاً حالت پنهان زنجیرهٔ مارکف، از مهم‌ترین روش‌های تحلیل، پیش‌بینی، شبیه‌سازی و مدل‌سازی بارش‌های سالانه است که با توجه به دقیق بودن تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌های حاصله این روش، مقبولیت و اعتباری جهانی نزد علمای علوم آب و هواشناسی دارد. در مدل مارکف، اساس بر این است که بارش موجود یا در وضع ترسالی است (عدد ۱) و یا در حالت خشکسالی (عدد ۰) قرار دارد (شکل ۲۰). برای تفکیک این دو حالت باید برای مدل، شاخص تفکیکی یا «عدد آستانه» تعریف کرد که مقدار برابر یا بیش‌تر از آن به عنوان تر سالی و مقادیر کم‌تر از آن به عنوان خشکسالی شناخته می‌شوند. این شاخص می‌تواند یک میانگین، شاخص بارش قابل اعتماد، عدد مربوط به شاخص درصد نرمال بارش (درصد بارش میانگین) و غیره باشد.

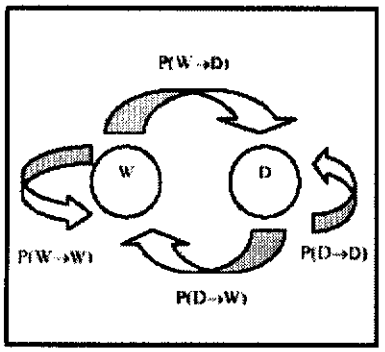
در شکل ۲۱، مرحلهٔ اول از مدل‌سازی به روش مارکف را به همراه نمودار خروجی مرحلهٔ اول مدل که نشان می‌دهد، شانس بارش روی هم‌رفته چه‌قدر می‌تواند باشد، مشاهده می‌کنید. شکل ۲۲ مرحلهٔ دوم از مدل‌سازی بارش به روش زنجیرهٔ مارکف را همراه با مدل گرافیکی احتمال باران و شکل ۲۳، مرحلهٔ درونیابی برای بازسازی داده‌های بارش روزانه را نشان می‌دهد.

در شکل ۲۴ نیز شبیه‌سازی داده‌های روزانه به روش زنجیرهٔ مارکف که اولین بخش از مرحلهٔ آخر مدل‌سازی مارکف است، به همراه نمودارهای ردهٔ اول و ردهٔ دوم از بارش روزانهٔ شبیه‌سازی‌شده، آمده است. همچنین در شکل ۲۵، منوی طول دوره‌ها و نمودارهای مربوط به خطر وقوع دوره‌های خشک در ایستگاهی فرضی با روش زنجیرهٔ مارکف مدل‌سازی شده است.

برای تحلیل، مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش روزانه طراحی شده است، اما با تغییراتی در داده‌ها و جایگزینی آن‌ها در دیالوگ‌های نرم‌افزار می‌توان در دیگر مقیاس‌های زمانی نیز از مدل‌سازی به روش زنجیرهٔ مارکف بهره‌جویی کرد.



شکل ۱۹ . منوی مدل‌سازی بارش روزانه به روش زنجیرهٔ مارکف و زیر منوی سه مرحله‌ای آن برای مدل‌سازی

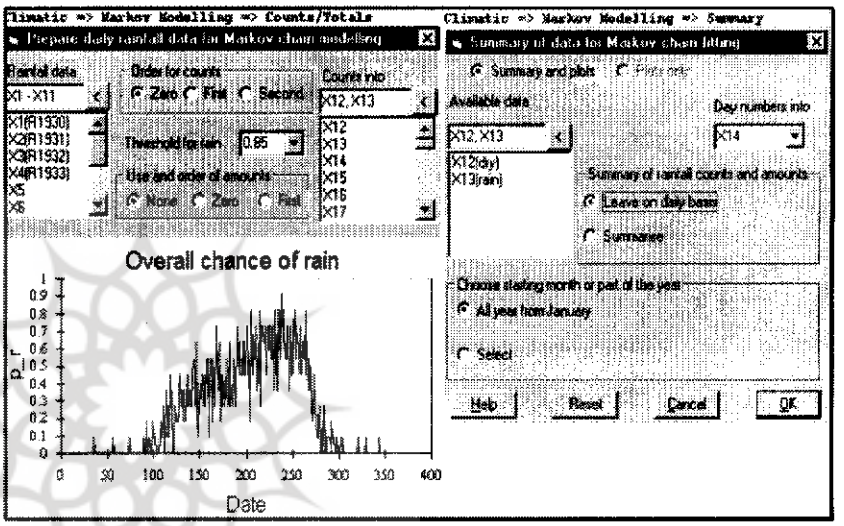


شکل ۲۰ . نمایش شماتیک گردش پدیده‌های تصادفی ترسالی (W) و خشکسالی (D) در مدل زنجیرهٔ مارکف

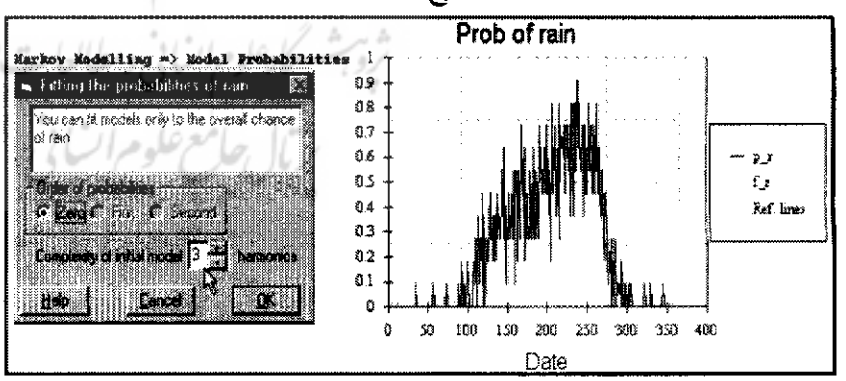
۳ . بحث و نتیجه گیری

حجم وسیع داده‌های مربوط به عناصر اقلیمی را نمی‌توان بدون استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای، به‌ویژه نرم‌افزارهای آماری پردازش و برای مقاصد کاربردی آماده کرد. از این رو، استفاده از رایانه و نرم‌افزارهای آماری برای محققان دانش آب و هواشناسی اجتناب‌ناپذیر است. نرم‌افزارهای متنوع آماری موجود، به‌ویژه در زمینهٔ روش‌های آماری مورد نظر و استفادهٔ علمای اقلیم‌شناس محدودیت‌هایی دارند. درنتیجه، نیاز به نرم‌افزارهای خاصی که بتوانند تقاضاهای اقلیم‌شناسان را در زمینه‌های گوناگون، به‌ویژه آمار، برطرف کنند، همچنان باقی است.

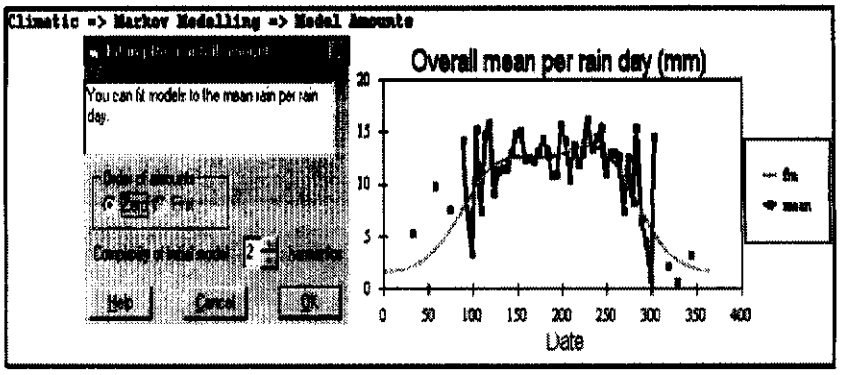
این امر حرکتی سریع را به سوی تولید نرم‌افزارهای تخصصی آماری در زمینه‌های مرتبط با علوم آب و هواشناسی به‌وجود آورده است که INSTAT PLUS نیز از نرم‌افزارهای تولیدشده در این خصوص به‌شمار می‌رود. با توجه به



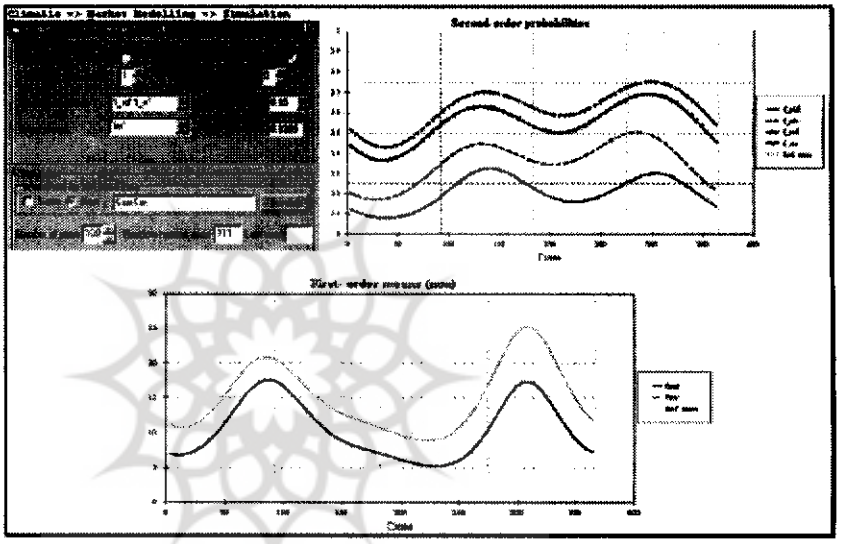
شکل ۲۱ . مرحلهٔ اول مدل‌سازی به روش مارکف به همراه نمودار شانس کل برای وقوع باران



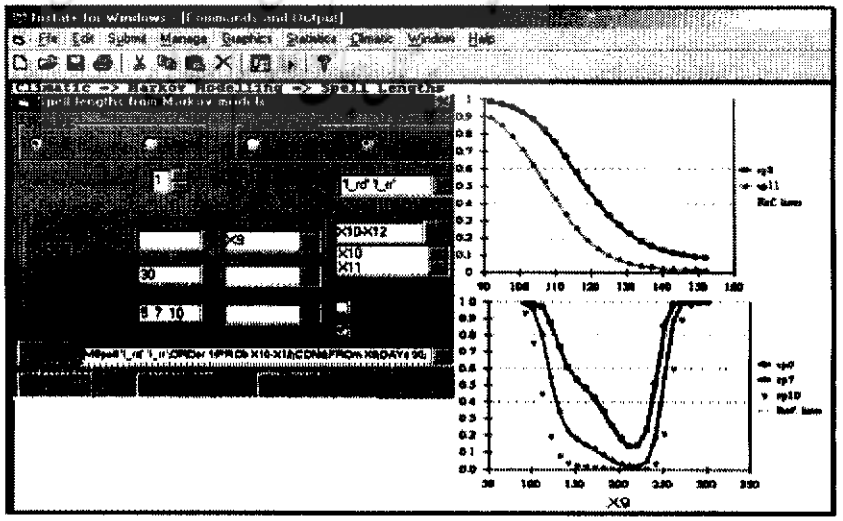
شکل ۲۲ . مرحلهٔ دوم مدل‌سازی به روش مارکف به همراه نمودار احتمال باران



شکل ۲۳ . مرحلهٔ درونیابی برای بازسازی داده‌های بارش روزانه با استفاده از مدل مارکف



شکل ۲۴ . منوی شبیه‌سازی داده‌های روزانهٔ بارش در ایستگاهی فرضی با استفاده از مدل مارکف



شکل ۲۵ . منوی طول دوره‌ها و مدل‌های مربوط به خطر وقوع دوره‌های خشک در ایستگاهی فرضی با استفاده از مدل مارکف

قابلیت‌های بسیار وسیع و دقیق نرم‌افزار یادشده، به‌ویژه قابلیت‌های تحلیلی و توصیفی آن در زمینهٔ پیش‌بینی پدیده‌های مخرب اقلیمی، مانند یخبندان، سیل، بارش‌های سنگین و وقوع خشکسالی‌ها، بهره‌گیری از نرم‌افزار فوق در سازمان‌ها و پژوهشکده‌های ایران توصیه می‌شود. قابلیت‌های INSTAT PLUS از آنچه که در این نوشته آمده بسیار بیش‌تر است و می‌توان این نرم‌افزار را از نظر روش‌های آماری و اقلیم‌شناسی نرم‌افزاری تقریباً کامل محسوب کرد که اندک نقص‌ها و محدودیت‌های آن نیز در آینده مرتفع خواهد شد.

علاقه‌مندان به دریافت اطلاعات بیش‌تر در مورد INSTAT PLUS می‌توانند از طریق پست الکترونیک و دو آدرس زیر با مؤلف تماس بگیرند:

Corresponding author E-mail address:
Geographer30Azarbaidjan@yahoo.com
Geoclimate2003@yahoo.com

نسخهٔ محدود نرم‌افزار INSTAT PLUS برای هدف‌های غیرتجاری و فقط نصب در یک رایانهٔ شخصی، به صورت رایگان در سایت زیر موجود و قابل دستیابی است:

http://www.rdg.ac.uk/ssc/ssc/instat/

تشکر و قدردانی

با مساعدت آقای راجر استرن، استاد محترم اقلیم‌شناسی آماری دانشگاه «ریدینگ» انگلستان، جدیدترین نسخهٔ نرم‌افزار ارزشمند INSTAT PLUS در اختیار بنده قرار داده شد که در این‌جا از وی و همچنین از استادان محترم در دانشگاه تبریز، آقایان دکتر مجید زاهدی و دکتر علی‌محمد خورشیددوست، به‌خاطر راهنمایی‌ها، تشویق‌ها و نظرات سودمندشان در تهیهٔ این مقاله بسیار سپاس‌گزارم.

❖ ❖ ❖