



دانشگاه سوادکوه

پایگاه داده‌های اقلیمی و نقشه‌های هوا

(رشته جغرافیا)

دکتر امیرحسین حلبیان

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «اقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	نه
سپاسگزاری و قدردانی.....	یازده

فصل اول. شالوده داده‌های جوی.....	۱
هدف کلی.....	۱
هدف‌های یادگیری.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱ انواع داده‌های اقلیم‌شناسی.....	۲
۱-۱-۱ داده‌های ایستگاهی.....	۲
۱-۱-۲ داده‌های ماهواره‌ای.....	۵
۱-۱-۳ داده‌های شبکه‌ای جوی.....	۶
۱-۱-۴ پیشینه بازکاوی‌های جوی.....	۷
۱-۱-۵ منابع داده‌های شبکه‌ای جوی.....	۹
۱-۱-۶ فرایند بازکاوی داده‌های جوی.....	۱۳
خلاصه فصل اول.....	۱۸
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول.....	۱۹

فصل دوم. بازشناسی شماری از پایگاه‌های داده‌های جوی.....	۲۱
هدف کلی.....	۲۱
هدف‌های یادگیری.....	۲۱
مقدمه.....	۲۲
۱-۲ پایگاه داده‌های ایستگاهی.....	۲۳
۱-۲-۱ پایگاه داده سازمان هواشناسی کشور.....	۲۳
۱-۲-۲ پایگاه داده NOAA.....	۳۸

۴۲	۲-۲ پایگاه داده‌های شبکه‌ای جوی
۴۲	۱-۲-۲ پایگاه داده شبکه‌ای (PSD)
۵۹	۲-۲-۲ پایگاه داده ERA
۶۰	۳-۲-۲ پایگاه داده (JMA)
۶۱	۴-۲-۲ شماری از پایگاه‌های مهم داده‌ای شبکه‌ای بارش
۸۱	۵-۲-۲ پایگاه داده Tyndall
۸۲	۶-۲-۲ پایگاه داده واحد پژوهش اقلیمی CRU
۸۳	۷-۲-۲ پایگاه ملی اسفزاری
۸۵	۳-۲ داده‌های ماهواره‌ای لندست
۸۹	۱-۳-۲ روش دریافت داده‌های ماهواره‌ای لندست
۹۴	۴-۲ داده‌های ماهواره‌ای ترا
۹۹	۱-۴-۲ روش دریافت داده‌های سنجنده مودیس ماهواره ترا
۱۰۳	خلاصه فصل دوم
۱۰۵	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم
۱۰۹	فصل سوم. نرم‌افزار سازگار با فایل‌های خودتوصیف
۱۰۹	هدف کلی
۱۰۹	هدف‌های یادگیری
۱۱۰	مقدمه
۱۱۰	۱-۳ معرفی نرم‌افزار GrADS و آشنایی با فایل‌های خودتوصیف (SDF)
۱۱۴	۲-۳ آشنایی با دستورات اساسی سامانه نمایش و پردازش داده‌های جوی (GrADS)
۱۱۴	۱-۲-۳ دستور sdfopen
۱۱۵	۲-۲-۳ دستور set
۱۱۷	۳-۲-۳ دستور d یا display
۱۱۸	۴-۲-۳ دستور reinit
۱۱۸	۵-۲-۳ پویانمایی (انیمیشن)
۱۱۹	۶-۲-۳ دستور gxout
۱۲۰	۷-۲-۳ دستور reset
۱۲۰	۸-۲-۳ دستور c یا clear
۱۲۰	۹-۲-۳ دستور quit
۱۲۱	۱۰-۲-۳ دستور q یا quarry
۱۲۱	۱۱-۲-۳ دستور printim
۱۲۱	۳-۳ انواع توابع در نرم‌افزار GrADS
۱۲۴	۴-۳ برنامه (اسکرپت) نویسی در نرم‌افزار GrADS
۱۳۰	خلاصه فصل سوم
۱۳۲	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم
۱۳۵	فصل چهارم. روش ترسیم نقشه‌های هوا
۱۳۵	هدف کلی

۱۳۵	هدف‌های یادگیری.....
۱۳۶	مقدمه.....
۱۳۶	۱-۴ انواع نقشه‌های هوا.....
۱۳۶	۱-۴-۱ نقشه‌های سطح زمین (نقشه‌های فشاری سطح دریا).....
۱۴۰	۲-۱-۴ نقشه‌های سطوح فوقانی جو (نقشه‌های فشار ثابت یا نقشه‌های هم‌فشاری).....
۱۴۴	۳-۱-۴ نقشه‌های ضخامت جو.....
۱۴۷	۲-۴ محاسبه و ترسیم نقشه‌ شیو فشار.....
۱۵۱	۳-۴ محاسبه و ترسیم نقشه‌ شیو ارتفاع ژئوپتانسیل.....
۱۵۴	۴-۴ محاسبه و ترسیم نقشه‌ باد زمین گرد.....
۱۵۹	۵-۴ محاسبه و ترسیم نقشه‌ باد نازمین گرد.....
۱۶۴	۶-۴ محاسبه و ترسیم نقشه واگرایی و همگرایی.....
۱۶۹	۷-۴ محاسبه و ترسیم نقشه‌ تاوایی.....
۱۷۰	۱-۷-۴ اسکریپت تاوایی نسبی.....
۱۷۳	۲-۷-۴ اسکریپت تاوایی مطلق.....
۱۷۷	۸-۴ محاسبه و ترسیم نقشه‌ هم‌گرایی شار رطوبت.....
۱۸۱	خلاصه‌ فصل چهارم.....
۱۸۴	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم.....
۱۸۷	پاسخنامه‌ خودآزمایی‌های چهارگزینه‌ای.....
۱۸۹	منابع.....

پیشگفتار

امروزه کاربرد داده‌ها و اطلاعات اقلیمی در بخش‌های اقتصادی و اجتماعی بیش از پیش مورد توجه واقع شده است. بهره‌گیری از اطلاعات و داده‌های جوی در کلیه طرح‌های اقتصادی و اجتماعی کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی، صنعتی، زیست‌محیطی، صنعت توریسم، بهداشت عمومی، انرژی‌های نو، شهرسازی، توسعه پایدار، ترابری جاده‌ای، ترابری دریایی و هوایی، راه‌سازی و راه‌داری و... نقش بنیادی ایفا کند. همچنین، بهره‌گیری مناسب از پارامترهای اقلیمی برای مقابله با اثرات مخرب پدیده‌های جوی نظیر سیل، طوفان، خشکسالی، سرمازدگی، هجوم آفات، پیشروی و پسروی آب دریا و... ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. امروزه در اغلب پژوهش‌های اقلیمی با آشکارشدن پدیده تغییر اقلیم، پیامدها و ابعاد حاصل از آن، ضرورت بررسی و واکاوی جو با تفکیک زمانی - مکانی مناسب بیش از پیش احساس می‌شود. این امر تنها از طریق دسترسی به منابع و پایگاه‌های داده‌ای مناسب و خوش تفکیک امکان‌پذیر است. در دهه‌های اخیر مراکز و پایگاه‌های داده‌ای متعددی در سطح بین‌المللی برای دستیابی به این مقصود بنا نهاده شده‌اند. در این کتاب کوشیده‌ایم تا این پایگاه‌های داده‌ای مختلف را که در طول زمان نیز دچار تغییر و تحول شده‌اند، معرفی نماییم. بنابراین هدف از نگارش این کتاب آشنایی دانشجویان، دانش پژوهشان و علاقمندان دانش اقلیم‌شناسی با مراکز تولید و ارائه داده‌های جوی براساس سرفصل‌های وزارت علوم، تحقیقات و فناوری برای درس پایگاه داده‌های اقلیمی و نقشه‌های هوا است. کتاب حاضر مشتمل بر چهار فصل است. فصل اول با عنوان شالوده داده‌های جوی، به معرفی انواع داده‌های جوی، پیشینه

بازکاوی‌های جوی و منابع داده‌های شبکه‌ای جوی اختصاص داده شده‌است. فصل دوم به معرفی پایگاه‌های داده‌های جوی و روش‌های دستیابی به داده‌ها و تولید نقشه در این مراکز معتبر بین‌المللی می‌پردازد. فصل سوم به معرفی نرم‌افزار گردس، دستورات اساسی آن و اسکریپت‌نویسی در محیط این نرم‌افزار اختصاص داده شده‌است. در فصل چهارم روش‌های ترسیم نقشه‌های هوا به تفصیل بیان و تشریح شده‌است. امید است که این کتاب بتواند نیاز دانشجویان کارشناسی رشته آب‌وهواشناسی را در درس پایگاه داده‌های اقلیمی و نقشه‌های هوا مرتفع سازد. بدون تردید استفاده از نظر خوانندگان عزیز، همکاران ارجمند و دانشجویان گرامی باعث پربارتر نمودن اثر مزبور خواهد شد. به همین سبب از استادان و صاحب‌نظران تقاضا دارم پیشنهادهای اصلاحی خود را به آدرس halabian_a@yahoo.com ارسال نمایند.

سپاسگزاری و قدردانی

لازم می‌دانم از استاد فرهیخته و توانا جناب آقای پروفیسور سیدابوالفضل مسعودیان به سبب مجاهدت‌های علمی بی‌بدیل و ثمربخش ایشان در شکوفایی و رونق دانش اقلیم‌شناسی نوین در این سرزمین سپاسگزاری و قدردانی نمایم. بی‌شک نگارش این اثر بدون راهنمایی و تلمذ در محضر ایشان بسیار دشوار می‌نمود. اینجانب بسیار خوش‌اقبال بوده‌ام که در طول دورهٔ دکتری از بیان شیوا و دانش ایشان بهره‌های فراوان برده‌ام. از مدیریت محترم تدوین دانشگاه پیام نور و به‌ویژه سرکار خانم قطبی که برای کلیهٔ مراحل کتاب زحمت فراوان کشیده‌اند تشکر می‌نمایم. همچنین از محضر داوران محترم و ویراستار علمی گرامی نیز که متن نوشتار را با صبر و شکیبایی فراوان خواندند و کاستی‌ها را گوشزد نمودند، به‌دلیل طرح دیدگاه‌های سازنده تقدیر و تشکر می‌نمایم.

امیرحسین حلبیان

عضو هیئت علمی دانشگاه پیام‌نور

فصل اول

شالوده داده‌های جوی

هدف کلی

آشنایی با بنیادهای داده‌های جوی، انواع داده‌های اقلیمی (ایستگاهی، شبکه‌ای و ماهواره‌ای)، منابع داده‌های شبکه‌ای جوی و فرایند بازکاوی داده‌های جوی.

هدف‌های یادگیری

- پس از مطالعه این فصل انتظار می‌رود:
۱. شالوده داده‌های جوی را بشناسید.
 ۲. انواع داده‌های اقلیم‌شناسی را توضیح دهید.
 ۳. داده‌های ایستگاهی را بشناسید.
 ۴. داده‌های ماهواره‌ای را تشریح کنید.
 ۵. داده‌های شبکه‌ای جوی را توضیح دهید.
 ۶. مفاهیم واکاوی و بازکاوی را توضیح دهید.
 ۷. پیشینه بازکاوی‌های جوی را شرح دهید.
 ۸. منابع داده‌های شبکه‌ای جوی را بشناسید.
 ۹. فرایند بازکاوی داده‌های جوی را تشریح نمایید.
 ۱۰. خروجی سامانه‌های بازکاوی و پایگاه‌های داده‌ای متعدد را توضیح دهید.

مقدمه

اساساً تعیین و دسترسی به داده‌های مورد نیاز، رکن اول در پژوهش‌های اقلیمی است. این

داده‌ها بر حسب تحقیق می‌توانند در گروه‌های اصلی آماری که به‌وسیله دستگاه‌های مختلف ثبت داده‌های اقلیمی به‌دست می‌آیند، طبقه‌بندی شوند مانند نقشه‌های هوا که به‌صورت روزانه در مراکز خدمات هواشناسی تهیه می‌شود، تصاویر ماهواره‌های هواشناسی که در ساعات مختلف از ماهواره‌ها اخذ می‌شود و همچنین سایر داده‌ها مانند داده‌های رادیوگمانه یا نقشه‌های توپوگرافی و کاربری اراضی که برای انجام تحلیل‌های اقلیم‌شناسی به آن‌ها نیاز است. همه این اطلاعات پس از استفاده روزانه در امر پیش‌بینی هوا در مراکز خدمات هواشناسی در سطح دنیا با فرمت‌های مختلف ذخیره می‌شود و بدین ترتیب بایگانی بسیار بزرگی از این اطلاعات در این مراکز ایجاد می‌شود.

۱-۱ انواع داده‌های اقلیم‌شناسی

داده‌هایی که در مطالعات اقلیم‌شناسی استفاده می‌شوند، از تنوع بسیار زیادی برخوردارند و با توجه به این‌که هریک از این داده‌ها در یک زمان خاص جمع‌آوری می‌شوند و اقلیم‌شناس برای انجام مطالعات خود لازم است همه داده‌های موجود را بررسی کند، بنابراین حجم بسیار زیادی از داده‌های اقلیمی وجود خواهد داشت که باید بر حسب هدف‌های مطالعه بررسی شوند. گروه‌های اصلی از داده‌های اقلیمی که در مطالعات اقلیمی جمع‌آوری می‌شوند و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند عبارت‌اند از:

۱-۱-۱ داده‌های ایستگاهی

این گروه تقریباً از مهم‌ترین داده‌هایی هستند که با توجه به سابقه دیرینه خود، حجم انبوهی را تشکیل می‌دهند. بر حسب نوع ایستگاه اندازه‌گیری این داده‌ها، تواتر زمانی برای این داده‌ها کاملاً متفاوت است و از ساعت تا روز تغییر می‌کند. ایستگاه‌هایی که ثبت داده‌های یادشده را بر عهده دارند در سه گروه ایستگاه‌های سینوپتیک، کليماتولوژی و باران‌سنجی قرار می‌گیرند. از مهم‌ترین داده‌هایی که در این گروه قرار می‌گیرند، می‌توان گروه‌های زیر را نام برد (فرج‌زاده، ۱۳۹۱):

• دما:

- میانگین دمای خشک
- میانگین دمای حداقل
- میانگین دمای حداکثر

- میانگین دمای نقطه شبنم
- اختلاف بین میانگین دمای حداقل و حداکثر
- تعداد روزهای با دمای حداکثر مساوی صفر درجه سانتی‌گراد و پایین‌تر از آن
- تعداد روزهای با دمای حداکثر مساوی ۳۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر از آن
- تعداد روزهای با دمای حداقل مساوی ۴- درجه سانتی‌گراد و پایین‌تر از آن
- تعداد روزهای با دمای حداقل مساوی صفر درجه سانتی‌گراد و پایین‌تر از آن
- تعداد روزهای با دمای حداقل مساوی ۲۱ درجه سانتی‌گراد و بالاتر از آن
- کمترین دمای ثبت شده
- بیشترین دمای ثبت شده

• **رطوبت بر حسب درصد:**

- میانگین رطوبت نسبی حداکثر
- میانگین رطوبت نسبی حداقل
- میانگین نسبت اختلاط به گرم در کیلوگرم
- میانگین رطوبت نسبی در ساعت ۳ به وقت گرینویچ
- میانگین رطوبت نسبی در ساعت ۶ به وقت گرینویچ
- میانگین رطوبت نسبی در ساعت ۹ به وقت گرینویچ
- میانگین رطوبت نسبی به درصد

• **فشار بر حسب هکتوپاسکال HPA:**

- میانگین فشار QFF (فشار تبدیل به سطح دریاشده یا فشار محاسباتی ایستگاه)
- میانگین فشار QFE (فشار اندازه‌گیری شده در سطح ایستگاه)
- میانگین فشار QNH (فشار استاندارد در سطح دریا که به سطح ایستگاه تبدیل شده است)
- میانگین فشار کمبود اشباع
- میانگین فشار بخار
- حداکثر فشار QFF (فشار تبدیل به سطح دریاشده یا فشار محاسباتی ایستگاه)
- حداکثر فشار QFE (فشار اندازه‌گیری شده در سطح ایستگاه)
- حداکثر فشار QNH (فشار استاندارد در سطح دریا که به سطح ایستگاه تبدیل شده است)
- حداقل فشار QFF (فشار تبدیل به سطح دریا شده یا فشار محاسباتی ایستگاه)

- حداقل فشار QFE (فشار اندازه‌گیری شده در سطح ایستگاه)
- حداقل فشار QNH (فشار استاندارد در سطح دریا که به سطح ایستگاه تبدیل شده است)
- بارش برحسب میلی‌متر
- حداکثر بارش روزانه
- مجموع بارش ماهانه
- تعداد روزهای بارانی
- تعداد روزهای با بارش مساوی یا بیشتر از یک میلی‌متر
- تعداد روزهای با بارش مساوی یا بیشتر از ۵ میلی‌متر
- تعداد روزهای با بارش مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر
- تعداد روزهای برفی یا اسلیت (برف یخ‌زده)

• پدیده‌ها:

- تعداد روزهای با گردوخاک
- تعداد روزهای با طوفان‌های رعدوبرقی

• میدان دید:

- تعداد روزهای با قدرت دید کمتر یا برابر ۲ کیلومتر

• باد:

- میانگین سرعت باد به نات
- جهت و سرعت سریع‌ترین باد به نات
- جهت سرعت باد غالب به نات و درصد
- بزرگی جهت باد به نات و پیوستگی باد (به درصد)

• ابرناکی:

- تعداد روزهای بدون ابر (۰-۲/۸)
- تعداد روزهای ابری (۷/۸-۸/۸)
- تعداد روزهای نیمه‌ابری (۳/۸-۶/۸)

• ساعات آفتابی:

- مجموع ماهانه ساعات آفتابی

• درجه روز:

- درجه روزهای سرمایش بر پایه ۲۱ درجه سانتی‌گراد
 - درجه روزهای گرمایش بر پایه ۱۸ درجه سانتی‌گراد
- از نظر سازمانی، در کشور سه دستگاه اجرایی مسئولیت احداث و جمع‌آوری داده‌های اقلیمی را بر عهده دارند.
- سازمان هواشناسی کشور مهم‌ترین دستگاه اجرایی کشور است که به‌وسیله ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی تحت اختیار خود، این داده‌ها را تهیه می‌کند و در اختیار کاربران مختلف قرار می‌دهد.
 - وزارت نیرو دومین دستگاه اجرایی کشور است که مهم‌ترین وظیفه آن جمع‌آوری داده‌ها، احداث و تهیه بانک اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری به‌منظور در اختیار قرار گرفتن داده‌های جریان رودخانه‌های کشور است. درعین‌حال، این دستگاه احداث و جمع‌آوری داده‌های بارش مناطق کوهستانی و حوضه‌های آبریز را به‌وسیله ایستگاه‌های باران‌سنجی بر عهده دارد.
 - وزارت جهاد کشاورزی سومین دستگاه اجرایی کشور است که در برخی از مناطق کشور ایستگاه‌های تبخیرسنجی را احداث کرده است و در کنار اندازه‌گیری میزان تبخیر، اندازه‌گیری بارش و دما، چند پارامتر محدود جوی را نیز انجام می‌دهد که عمدتاً هدف‌های کاربردی در کشاورزی دارند.

۲-۱-۱ داده‌های ماهواره‌ای

یکی از مهم‌ترین ابزارهایی که امروزه برای پیش‌بینی‌ها استفاده می‌شود، تصاویر ماهواره‌های هواشناسی است که روزانه در چند نوبت به دریافت و ارسال تصاویر از زمین می‌پردازند. این تصاویر که در باندهای مختلف مرئی، مادون قرمز و بخار آب تهیه می‌شوند، اطلاعات بسیار خوبی را درباره نحوه حرکت سیستم‌های جو و انتقال رطوبت به مناطق مورد مطالعه در اختیار کاربران قرار می‌دهند (فرج‌زاده، ۱۳۹۱). این تصاویر پس از استفاده روزانه، در بایگانی مراکز هواشناسی در سطح دنیا ذخیره می‌شوند. از جمله کاربردهای داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به: تخمین میزان بارندگی، پیش‌بینی خشکسالی، شناخت انواع ابرها و پوشش‌های ابری یا تعیین درصد پوشش، تعیین دمای سطح آب‌ها، تهیه نقشه‌های اقلیمی منطقه‌ای و جهانی، ردیابی طوفان‌های

حاره‌ای، تورنادو و هشداده‌ی، هشدار در مورد آتش‌سوزی جنگل‌ها، تهیه نقشه پوشش برفی و یخی، بررسی وضعیت اقیانوس‌ها و بررسی اثرات فعالیت‌های جوی بر روی هوا و اقلیم اشاره کرد.

۳-۱-۱ داده‌های شبکه‌ای جوی

در بسیاری از پژوهش‌های اقلیمی، بررسی و تحلیل شرایط جوی تنها با تفکیک زمانی- مکانی مناسب و بر پایه دیده‌بانی‌های دقیق امکان‌پذیر است. از این‌رو، نیاز به منابع و پایگاه داده‌ای معتبر که بتواند فرد محقق را به سوی مقصود خویش سوق دهد، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. با آشکار شدن پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای حاصل از آن و نیز ضرورت مطالعه همه‌جانبه جو، نیاز به وجود پایگاه داده‌ای در مقیاس منطقه‌ای و سیاره‌ای به‌ویژه طی دهه‌های اخیر بیش از پیش احساس شده‌است. دستیابی به دیده‌بانی‌های جوی، آن هم در مقیاس گسترده نیازمند اهتمام و همکاری نهادهای علمی- اجرایی، بهره‌مندی از توان‌های دانشمندان علوم همسایه و مرتبط به‌منظور تبادل اندیشه‌ها و اطلاعات داده‌ای و به‌کارگیری ادوات، ابزارها و روش‌های پیشرفته با رعایت استانداردهای واحد است. برای دستیابی به منابعی این‌چنین، می‌بایست داده‌های حاصل از منابع مختلف در سامانه‌ای همسان گرد آیند. فعالیت‌ها و مراحل مختلف برای فراهم آوردن پایگاه داده‌ای جوی یکسان از منابع سنجنده‌های مختلف را بازکاوی^۱ داده‌های اقلیمی می‌خوانند. در واقع، بازکاوی عبارت است از به‌کارگیری یک شیوه واکاوی^۲ پیش‌بینی پیشرفته اما ثابت برای تولید داده‌های یکنواخت شبکه‌ای یا طیفی. یکنواختی به این معنا است که تفکیک زمانی و مکانی داده‌ها یکسان است. بنابراین، بازکاوی به مجموعه فعالیت‌های گردآوری، کنترل کیفیت، انتخاب، همسان‌سازی و نمایش داده‌های شبکه‌ای حاصل از منابع مختلف گفته می‌شود. در دانش آب‌وهواشناسی از واکاوی، دو تعبیر مختلف می‌شود. در تعبیر نخست واکاوی عبارت از بررسی دقیق حالت جو به کمک دیده‌بانی‌ها است. در تعبیر دوم واکاوی عبارت است از نمایش حالت جو از راه تبدیل دیده‌بانی‌های کم‌شمار و ناکاملی که پراکنش یکنواخت ندارند به داده‌های شبکه‌ای یکنواخت یا به توابع استاندارد ریاضی. درواقع، هر واکاوی محصول میان‌یابی زمانی- مکانی است که انجام پیش‌یابی و

1. Reanalysis
2. Analysis

پیش‌بینی را آسان می‌کند (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۱). به شکل معمول، داده‌های بازکاوی شده در چندین دهه گسترده شده و تمام سیاره را از سطح زمین و همین‌طور سطوح بالای استراتوسفر فرا گرفته است. برای بازکاوی دیده‌بانی‌ها می‌بایست از پایگاه‌های داده‌ای دهه‌های پیشین با کیفیت و ثبات بالا، سامانه هم‌اندسازی مناسب و مدل‌های پیش‌بینی عددی کارآمد بهره برد. این امر تنها با به‌کارگیری فناوری‌های نوین همچون ابررایانه‌ها امکان‌پذیر است.

۴-۱-۱ پیشینه بازکاوی‌های جوی

از سال ۱۹۷۹ زمانی که اولین تجربه جهانی درباره برنامه پژوهش جوی جهان (FGGE)^۱ به انجام رسید، سامانه‌های گمانه‌زنی رادیویی جو (رادیسوند) و نیز مشاهدات حاصل از ماهواره‌ها رو به بهبود و پیشرفت نهاد. از این‌رو، عملیات تهیه داده‌های شبکه‌ای جو نیز از منابع مختلفی بهره‌مند شد. بر این اساس، در پیشینه تهیه داده‌های شبکه‌ای جوی و روند تکاملی سامانه مشاهدات جهانی سه فاز عمده قابل تشخیص است:

- پایگاه داده‌ای فاز اول که به مشاهدات اولین تجربه جهانی درباره برنامه پژوهش جوی جهان (FGGE) اختصاص دارد؛ مشاهدات مربوط به دهه ۱۹۴۰ تا بنیان‌گذاری مشاهدات جو بالا در سال جهانی ژئوفیزیک (سال ۱۹۵۷) را مورد بازکاوی قرار می‌دهد. در این فاز تا یکم ژوئن ۱۹۵۷ مشاهده هوای جو بالا سه ساعت زودتر از زمان‌های هم‌دید جاری (۰۰، ۰۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ به وقت گرینویچ) یعنی در ساعت‌های ۰۳۰۰، ۰۹۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۱۰۰ به وقت گرینویچ انجام شده است. به‌منظور سهولت مقایسه مشاهدات این دوره با دوره‌های بعدی، علاوه بر مقادیر مشاهده شده؛ پیش‌بینی‌های سه‌ساعته برای اوقات اصلی هم‌دید (۰۰، ۰۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ به وقت گرینویچ) نیز در دسترس است. خاطرنشان می‌شود که همپراش^۲ خطای پیش‌بینی با سامانه مشاهدات کنونی سازگار شده و در طول فرایند بازکاوی ثابت نگه داشته شده است. در این فاز تنها پایگاه مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی تحقیقات جوی آمریکا^۳ (NCAR / NCEP) نسبت به تهیه داده‌های شبکه‌ای مبادرت ورزیده و

1. First Global Experiment of the Global Atmospheric Research Programme

2. Covariance

3. National Center for Environmental Prediction

4. National Center for Atmospheric Research

داده‌های حاصل از بازکاوی را در اختیار کاربران قرار داده است. از این رو، پایگاه مزبور از قدمت و طول دوره آماری بیشتری در مقایسه با منابع دیگر برخوردار است. این موضوع استفاده روزافزون پژوهشگران علوم جوی از این پایگاه داده را موجب شد. به منظور بهره‌مندی بیشینه کاربران، کارگاه‌های زیادی نیز توسط NCEP / NCAR و سازمان جهانی هواشناسی (WMO^۱) راه‌اندازی و اجرا شد. از آن پس ایجاد پایگاه داده‌های شبکه‌ای گسترده به منظور شناخت جامع‌تر رفتار جو، پشتیبانی پژوهش‌های اقلیمی-هواشناختی و نیز تهیه مدل‌های پیش‌بینی نمودی عینی و عملی در سطح جهان یافت.

- فاز میانی که پایگاه داده‌های مربوط به سال‌های ۱۹۵۸ تا ۱۹۷۸ را در برمی‌گیرد، همزمان با راه‌اندازی شبکه رادارهای هواشناسی نمود یافته است. از این رو، سامانه مشاهدات افزون بر مشاهدات سطح زمین، کشتی‌ها و نیز گمانه‌زنی رادیویی به وسیله بال‌ها و هواپیماها از سامانه راداری نیز بهره‌مند شده است. طی این فاز، زمان برداشت‌های زمینی (ساعت‌های ۰۰، ۰۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ به وقت گرینویچ) تغییر پیدا کرد. در عین حال، علی‌رغم کاهش تراکم ایستگاه‌های حاوی رادیوسوند دقت اندازه‌گیری رادیوسوندها افزایش یافت. بازکاوی مشاهدات مربوط به نوامبر ۱۹۵۷ تاکنون را که در قالب پروژه ERA-40^۲ نام‌گذاری شده است، می‌توان به این فاز بازکاوی نسبت داد.

- فاز سوم ایجاد پایگاه داده‌های شبکه‌ای از مشاهدات سال ۱۹۷۹ تاکنون است. در این فاز اندازه‌گیری متغیرهای جوی به وسیله ماهواره‌های پیشرفته آغاز شد. در عین حال، عملیات همسان‌سازی ۱۵ ساله مشاهدات در قالب پروژه ERA-15^۳ به وسیله ECMWF^۴ و همسان‌سازی ۲۶ ساله داده‌ها در قالب پروژه JRA-25^۵ به وسیله سازمان هواشناسی ژاپن^۶ آغاز و به انجام رسید (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۱).

تغییر سامانه‌های سنجش طی سه فاز مزبور موجب شده است که مراجع و مراکز مربوط، برآورد روند از مشاهدات شبکه‌ای را توصیه نکنند. چراکه به کارگیری مشاهدات قدیمی به دلیل تفاوت و بعضاً ناکارآمدی، روش‌های تحلیل یا یکسان‌سازی

1. World Meteorological Organization
 2. ECMWF 40 year Re-Analysis
 3. ECMWF 15 year Re-Analysis
 4. European Center for Medium. Range Weather Forecasts
 5. JMA 25 year Re-Analysis
 6. Japan Meteorological Agency

ارویی زیاد در برآوردها را به دنبال خواهد شد. هرچند طی عملیات بازکاوی بسیاری از کاستی‌ها تعدیل شده؛ اما همچنان وجود روند یا تغییر سطح حاصل از این گوناگونی در منابع مشاهدات مورد ظن است.

۵-۱-۱ منابع داده‌های شبکه‌ای جوی

به‌منظور شناخت رفتار همه‌جانبه جو می‌بایست ابعاد مختلف آن را در نظر گرفت و مورد سنجش قرار داد. از این رو، ضروری است که منابع مختلفی از داده‌ها به کار گرفته شود. مراکز مختلف، پایه‌های بازکاوی خود را بر برخی یا تمامی این منابع بنا نهاده‌اند. در یک طبقه‌بندی کلی، این داده‌ها را می‌توان در سه گروه داده‌های راداری، داده‌های ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی طبقه‌بندی کرد و جای داد:

- **داده‌های رادارهای هواشناسی:** این داده‌ها شامل مشاهدات حاصل از بالون‌های هواشناسی، رادیوسوند، مشاهدات راداری و مشاهدات هوانوردی است و از کشورهای متعددی چون آفریقای جنوبی، استرالیا، کانادا، آرژانتین، برزیل، بریتانیا، چین، شوروی سابق، ژاپن، فرانسه، ایالات متحده و... گردآوری شده‌است. اندازه‌گیری با گمانه‌زنی جوی به‌منظور پیش‌بینی دقیق‌تر و آگاهی از وضعیت جو در لایه‌های بالایی و در شبکه‌ای با تراکم نسبی کم انجام می‌شود. این تراکم پایین در قیاس با کثرت مشاهدات سطحی به سبب همگنی بیشتر سطوح بالایی و نیز هزینه زیاد این قبیل اندازه‌گیری‌ها است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۱).

یکی از منابع مشاهدات ترازهای بالایی جو بالن‌ها هستند. در واقع، یک بالن پر از گاز هلیوم حامل سبکی است که ابزارهای الکترونیکی ثبات فشار، دما و رطوبت را با خود حمل می‌کند. ادوات الکترونیکی مزبور متغیرهای بالا را در ترازهای مختلف جوی اندازه می‌گیرند؛ سپس داده‌ها را با روش‌های مثلث‌بندی و یا ابزار GPS با دقت ۱ متر در هر ۱۰ ثانیه به کمک سیگنال‌های رادیویی از راه دور به ایستگاه زمینی مخابره می‌کنند. بالن‌ها، معمولاً ورقه‌ای را با خود حمل می‌کنند که جنس آن از آلومینیوم و منعکس‌کننده امواج رادار است. این ورقه تشخیص جهت باد در لایه‌های مختلف جوی را با استفاده از رادار ممکن می‌سازد (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۹).

از روش‌های دیگر برای کاوش جو استفاده از رادیوسوند است. رادیوسوندها دستگاه‌هایی هستند که برای سنجش عناصر جوی (فشار، دما، رطوبت و...) در ترازهای