کاربرد ریاضیات در هوا شناسی

محمد حسین حیدری؛ دبیرستان دوره اول غیر دولتی نخبگان شریف، شهربهرمان

نیما کریمی؛ دبیرستان دوره اول غیر دولتی نخبگان شریف، شهربهرمان

معلم راهنما: دکتر محمدرضا شریفی پور؛ مدیر و دبیر ریاضی اداره آموزش و پرورش منطقه نوق

آموزش و پرورش شهرستان زرند
پژوهشسرای دانش آموزی ملاصدرا

چکیده

در این پژوهش به دنبال کاربرد ریاضیات در علم هواشناسی به شاخه‌های مختلفی از علم ریاضی از جمله علم مدل‌سازی، سیستم‌های دینامیکی و آنانیز عددی اشاره شده است. برای بررسی پدیده‌های جوی ابتدا آن‌هارا با درنظر گرفتن پارامترهای موثر بر پدیده مدل‌سازی می‌کنند تا به یک دستگاه معادلات دیفرانسیل برسند.سپس به کمک علم سیستم‌های دینامیکی به بررسی رفتار جواب‌های این معادلات بر حسب زمان پرداخته و به کمک آنالیز عددی تقریب عددی این جواب‌ها را انجام می‌دهند تا به پیش‌بینی وضع هوا منجر شود.

کلمات کلیدی: مدلسازی- سیستم های دینامیکی- انالیز عددی- معادلات دیفرانسیل- سیستم‌های آشوبناک

سمینار دانش آموزی
ریاضیات و کاربردها

۱-مقدمه

هر انسانی درهر گوشه این کره خاکی ممکن است هر روز یا گاهی که نگاهش به آسمان بیافند از خود سوال کند که امروز، این هفته، این ماه یا امسال وضعیت هوا چگونه خواهد بود پس دانستن شرایط جوی می‌تواند برای هر انسانی اهمیت ویژه‌ای داشته باشد. همین امر باعث شده تا از دیر باز بسیاری از افراد به فکر پیش بینی وضع هوا با استفادا از تجربیات گذشته خود باشند واین کار به مرور زمان باعث پیدایش علمی با عنوان هوا شناسی شد. هواشناسی به معنای به کارگیری علم و فناوری برای حدس زدن و پیش بینی وضعیت جو زمین در زمان اینده و برای کل سیاره یا یک منطقه مشخص جغرافیایی می‌باشد. نسل بشر از دوره‌های تاریخی

بسیار دور و زمان‌های گذشته تلاش می‌کرد که وضعیت جو را پیش بینی کند.اما در آن زمان پیش بینی بر پایه علمی استوار نبوده و بیشتر بر اساس گمانه‌زنی بوده است. امروزه پیش بینی وضع هوا از راه جمع آوری اطلاعات ارزشمند از وضعیت کنونی جو زمین و استفاده از درک علمی فرآیندهای جوی در شاخه‌ای از علم به نام متئورولوژی انجام می‌گردد و اغلب هم منجربه نتایج دقیق و علمی می‌شود. ماهیت بی‌نظم جو زمین باعث می‌شود نیازمند قدرت محاسباتی بزرگی باشیم که با آن بتوان معادلات توصیف گر وضعیت جو را محاسبه و تجزیه و تحلیل کرد. به دست نیاوردن درک علمی از پدیده‌های جوی به معنای آن است که هر چقدر محدوده پیش بینی ما گسترش بیابد نتیجه پیش بینی از دقت و صحت کمتری برخوردار خواهد بود. پس اولین گام در پیش بینی، شناخت علمی پدیده‌های اتمسفری می‌باشد. در طول هزاران سال مردم ساکن در همه مکان ها سعی می کردند وضعیت هوا را به گونه ای پیش بینی کنند. در سال ۶۵۰ قبل از میلاد مسیح،اهالی بابل از روی شکل هندسی ابرها در مورد وضعیت هوا در زمان آینده نظر می‌دادند. در این زمینه ارسطو نیز مطالعاتی داشته است. در سال ۳۰۰ قبل از میلاد مسیح چینی‌ها نیز با شیوه‌های سنتی سعی در پیش بینی وضع هوا داشتند که روش هاس سنتی متکی بر صفات و خصوصیات آب و هوای مشاهده شده توسط مردم بود. تجربیات جمع شده و قالب علمی آن در طول زمان سبب کامل شدن و ارائه علمی به نام هواشناسی گردید. با این حال به عقیده جری ویلسون هواشناس برجسته بسیاری از پیش بینی های امروزی نیز کاملا علمی نیست و به هیچ وجه نمی تواند پایه ارائه اطلاعات آماری دقیق باشد. در هر صورت پیشرفت واقعی این علم در قرن بیستم اتفاق افتاد وریاضیات به شکل محسوسی پا در عرصه پیش بینی وضع هوا گذاشت. اگرچه به دلیل عدم پیشرفت رایانه های متداول آن زمان استفاده از ابزارهای پیشرفته ریاضی کاری دشوار بود، اما بعد از اختراع رایانه های الکترونیکی قابل برنامه ریزی در سال ۱۹۵۵ استفاده ازریاضیات جان تازه‌ای به علم هواشناسی بخشید.کار برد ریاضیات در علم هواشناسی با مدل سازی پدیده‌های جوی آغاز می‌شود. در مورد مدل سازی می‌توان گفت مدل نمایش انتزاعی از اجزا و ارتباطات یک پدیده است که روابط بین موجودیت‌ها و متغیرهای مختلف آن پدیده را به نمایش درمی‌آورد. از آنجا که تجربه کردن همه واقعیتها و پدیده‌ها به صورت عملی ممکن نیست از مدل‌ها برای ترسیم واقعیت‌ها، حقایق و یا حتی برخی پیش بینی‌ها استفاده می‌شود. برای نوشتن مدل مربوط به یک پدیده طبیعی باید تا حد امکان تمام پارامترهای موثر بر رفتار پدیده و نحوه تاثیر این پارامترها در طول زمان را در نظر گرفته و میزان سرعت تغییرات پدیده بر اساس این پارامترها را بررسی کنیم. مدل سازی یک پدیده جوی نیز پس از بررسی پارامترهای موثر و نحوه تاثیر آنها در طول زمان منجر به یک دستگاه معادلات دیفرانسیل وابسته به زمان می‌شود که بررسی رفتار جواب‌های این دستگاه در شاخه‌ای از علم ریاضیات به نام سیستم‌های دینامیکی و تقریب جواب‌ها در شاخه‌ای به نام آنالیز عددی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

سیستم‌های دینامیکی شاخه‌های گسترده‌ای از دانش ریاضی و کاربردهای آن را در برگرفته و به عنوان یکی از زمینه‌های فعال و زنده آن مطرح است. بیشتر از سه قرن پیش نیوتون بذر این علم را کاشته است و این علم با تلاش دانشمندان بسیار رشد یافت. در حدود یک قرن پیش هانری پوانکاره این شاخه از علم را به درختی تناور و محکم مبدل کرد. در علم سیستم های دینامیکی برای بررسی پدیده‌های طبیعی‌ای که دائما همراه با زمان در حال تغییر و حرکت هستند (پدیده های طبیعی پویا) نیز احتیاج به مدل سازی این پدیده-ها و نوشت معادله دیفرانسیل مربوط به آنها داریم..

۲-محتوای اصلی:

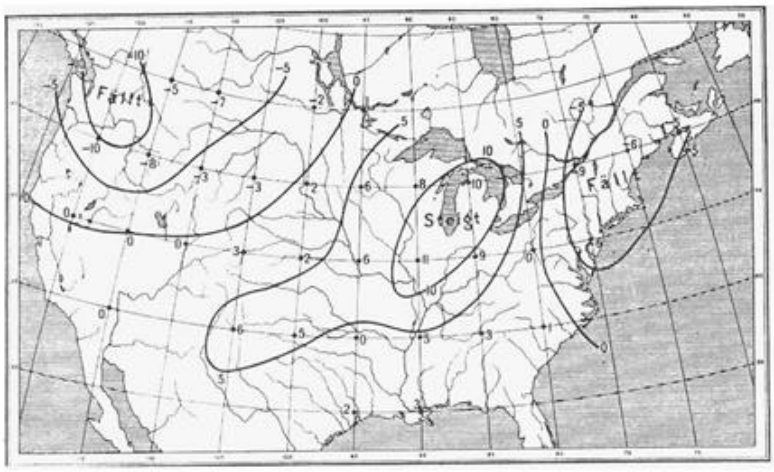
۲-۱-پیش بینی وضع هوا

مسئله پیش بینی وضع هوا اولین بار توسط ویلهلم برکنس در سال۱۹۰۴ به صورت علمی مورد تحلیل قرار گرفت. او به بررسی و مطالعه جابجایی طبقات اتمسفری تحت تاثیر گرما پرداخت و معتقد بود که وضعیت بعدی اتمسفر طبق قوانین فیزیکی از وضعیت فعلی نتیجه می‌شود. سپس شروط لازم و کافی برای اطلاع از وضعیت اتمسفر را به دو مرحله که شامل آگاهی به اندازه کافی دقیق از وضعیت اولیه اتمسفر(مرحله تشخیص)و آگاهی به اندازه کافی دقیق از قوانینی که طبق آن‌ها وضعیت آنی اتمسفر مشخص می‌شود(مرحله پیش بینی) می‌باشد. یکی از مشکلات اساسی مرحله تشخیص آن بود که نیاز به مشاهدات دقیق داشته و این مشکل بر فراز اقیانوس‌ها و سطوح بالا بیشتر نمایان می‌شد. برکنس مرحله پیش بینی را با مدل سازی مسئله به صورت معادلاتی بر حسب متغیرهای وابسته به وضعیت اتمسفر در نظر گرفت. وی در تشکیل معادلات مورد نظر هفت متغیر فشار، دما، چگالی، رطوبت و سه مولفه از سرعت باد را به کار بست. بعد از آن هفت معادله مستقل تشکیل داد که سه معادله هیدرودینامیکی به سبب حرکت، معادله پیوستگی، معادله وضعیت و دو معادله که بیانگر قوانین ترمودینامیک بودند، شرکت داشتند (الیسن در سال ۱۹۹۹نشان داد برکنس باید به جای قانون دوم ترمودینامیک قانون پیوستگی را برای آب به کار می برد). برکنس برای نشان دادن وضعیت اتمسفر با اعداد نموداری طراحی کرد که متغیرها را در سطوح مختلف تقسیم بندی می‌کرد. او با نمایش ترسیمی وضعیت هوا و با به کار گرفتن روش‌های تحلیلی که مبتنی بر معادلات بنیادی بودند توانست شکل‌هایی رسم کند که وضعیت اتمسفر را در سه ساعت دیگر نشان می‌داد و این روند می‌توانست ادامه پیدا کند تا به زمان مورد نظر برای پیش بینی دست یابد. وی پیش بینی را به دو مرحله هیدرودینامیکی (مربوط به تغییر مکان توده هوا در بازه زمانی مشخص) و ترمودینامیکی (استنباط تغییرات در وضعیت توده هوا)دسته بندی کرد.

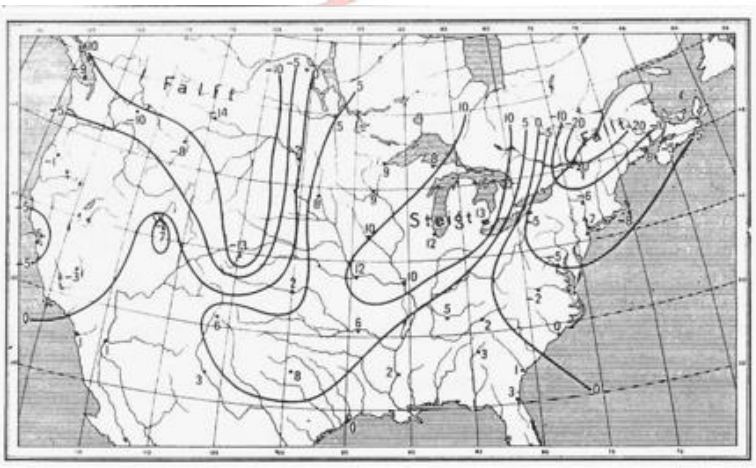
اما اولین تلاش‌های علمی و منطقی برای یک پیش بینی دقیق توسط اکسنر پس از گذشت چهار سال از طرح برکنس انجام گرفت. او روش متفاوتی را در پیش گرفته در آن روش فرض کرد که جریان اتمسفر متعادل است و نیروی حرارتی وارد شده بر اتمسفر که در نهایت از تابش خورشید حاصل شده و نسبت به زمان ثابت است،را در نظر گرفت. که منجر به معادله زیر می‌شود.

$$C_v \frac{dT}{dt} = \frac{1}{4} S(1 - \bar{\alpha}) - \sigma T^4$$

سپس با استفاده از مقدار متوسط جریان بادهای منطقه‌ای تغییرات فشار را برآورد نمود. نتایج کار او در شکل زیر نشان داده شده



تغییرات فشار پیش بینی شده توسط اکسنر



تغییرات فشار واقعی در همان بازه

ریچاردسون ازآن دسته دانشمندانی حساب می‌شود که مدل‌های فیزیکی مسئله مورد مطالعه‌اش را در قالب ریاضی فرمول بندی کرده و از آن‌ها دستگاه معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی استخراج کرد. وی اولین بار این معادلات را برای مسئله استحکام سنگ تراشی سدها بدست آورد و پس از آن که موفق شد معادلات مذکور را با یک روش تقریبی و به صورت عددی حل کند، متوجه شد که این روش توانایی و کارایی استفاده در زمینه‌های دیگر فیزیکی را دارا است. اولین ایده استفاده از این روش تقریبی در مبحث هواشناسی در ذهن او جوانه زد.او در سال ۱۹۱۱ در راستای کار برکنس پیش بینی وضع هوا به روش عددی مطرح نمود. طرح وی توضیح اصول فیزیکی در کنترل تغییرات اتمسفر توسط دستگاهی از معادلات ریاضی بود. او نیز همچون برکتس وضعیت اتمسفر در هر نقطه را با هفت کمیت بیان کرد. فشار، دما، چگالی، رطوبت و سرعت در سه مولفه شرقی،غربی و عمودی کمیت‌های مورد استفاده او بودند. سپس کمیات فوق را در هفت معادله جمع‌آوری کرد. در این معادلات عباراتی به فرآیندهای فیزیکی‌ای اختصاص یافت که از دید برکنس دور مانده بود.

در پیش بینی نوین وضعیت آب و هوا پنج مرحله وجود دارد مرحله اول جمع آوری اطلاعات ازمشاهده وضعیت جوی فشار هوا، دما، سرعت باد، جهت جریان باد و رطوبت هوا است که توسط ایستگاه‌ها خودکار با نیمه خودکار پیش بینی هوا، شناورهای آبی(به دوروش سینوپ یا متار (METAR) ثبت می‌شوند) وماهواره‌های هوا شناسی صورت می‌گیرد . (روش متار بیشتر مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی فرودگاهها می‌باشد)در حال حاضر استفاده از ماهواره رایج‌ترین شیوه جمع آوری اطلاعات در سراسر جهان است ضمن این که تصویرهای شفاف و مشاهده آن‌ها از عوارض جوی به هواشناسان در تشخیص جهت حرکت ابرها و پیش بینی آب و هوا کمک بسیاری خواهد کرد. در جدول زیر به طور خلاصه به نحوه جمع آوری و نماد برخی از پارامترهای مورد نیاز اشاره شده است.

لازم به ذکر است این اطلاعات به روش سینوپ جمع آوری می‌شوند.

پارامترها	زیر پارامتر	نحوه اندازه گیری
ابرناک ۱.ابر بالا	مقدارابر	امری توصیفی است که در آن آسمان به هشت قسمت فرضی تقسیم می‌شود و عددی بین صفر تا ۱ بدست می‌آید.
۲.ابر متوسط	نوع ابر	نوع ابر بر اساس مشاهده دیده بان ایستگاه هوا شناسی و مطابق با اطلس ابرها مشخص می‌شود.

۳.ابرپایین	ارتفاع ابر	ارتفاع ابرها توسط بالن های هوا شناسی یا توسط لیزرهای پیشرفته اندازه گیری می‌شود
باد	سرعت	این پارامتر با کمک دستگاه باد سنج و بر حسب متر بر ثانیه اندازه گیری شده و سپس به واحد نات (نیم متر بر ثانیه) تبدیل می‌شود.
	جهت	این پارامتر توسط بادنما و بر حسب درجه اندازه گیری می‌شود.نماد صفر درجه در حالتی رخ می‌دهد که باد وجود ندارد و زاویه ۳۶۰ درجه، جهت شمال را نشان می‌دهد.و بقیه جهت‌ها بر اساس عقربه بادنما به صورت ساعتگرد محاسبه می‌شود(به عنوان مثال ۹۰ درجه نشان دهنده جهت شرق است).
وسعت دید	دید افقی	دید افقی حداکثر مسافتی است که یک دیدبان می‌تواند اشیاء را با نور معمولی به خوبی تشخیص دهد.
	دید عمودی	میزان دیدی است که یک دیدبان هواشناسی توسط بالن ویژه اندازه گیری می‌کند؛این بالن با سرعت معینی به هوا فرستاده می‌شود.
هوا	هوای گذشته	منظور از هوای گذشته این است که وضعیت هوا در چندین ساعت گذشته تا زمان کنونی چگونه بوده است.
	هوای فعلی	به طور خلاصه می‌توان گفت که به معنای وضعیت کنونی هوا است(منظور پدیده‌های رخ داده در زمان حال است).
دما	دمای خشک	دمای هوای سطح زمین که توسط دما سنج‌های موجود در ایستگاه هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود. لازم به ذکر است این دما سنج ها برای فاصله گرفتن از گرمای منعکس شده از سطح زمین در ارتفاع ۱,۸ الی ۲ متری درون اتاقک چوبی سفید رنگ با قابلیت نفوذ هوا قرار دارند.
	دمای تر	دمای آب سطح زمین که توسط دما سنجی درون همان اتاقک چوبی سفید رنگ اندازه گیری می‌شود البته این دما سنج با یک فیتیله به آب متصل است.
فشار هوا	QFE	افشار هوا در سطح ایستگاه که همان فشار اندازه گیری شده توسط فشار سنج در هر نقطه است.
	QFF	فشار هوای معادل سطح دریا برای محاسبه این فشار فرض می‌کنند که اگر ایستگاه در ارتفاع صفر(سطح دریاهای آزاد) قرار داشت با همین شرایط فعلی فشارش چه مقدار می شد. این کار می تواند فشار هوای ایستگاههای

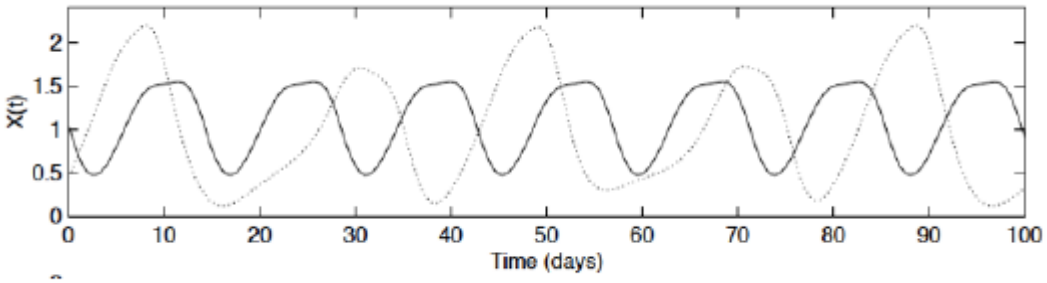
		مختلف را که در ارتفاع های مختلفی قرار دارند به یک سطح مشترک تبدیل کرده و با یکدیگر کند.
	QHN	فشار هوای شرایط استاندارد :این فشار معادل فشار سطح دریا در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد است. این فشار در گزارشات متار (METAR) که برای پروازهای هوایی استفاده می شود کاربرد دارد.

مرحله دوم جمع بندی اطلاعات است ، دراین فرآیند که جمع بندی و ترکیب اطلاعات نام دارد اطلاعات به دست آمده از طریق مشاهدات و منابع در مقایسه و نتیجه گیری با آخرین مدل های عددی و گرافیکی از وضع هوای ساعات و لحظات قبل قرار می‌گیرند و با مدت مشابه در روزها و هفته‌های پیش مورد سنجش قرار می‌گیرد تا وضعیت هوا آنالیز و تحلیل شود. به همین دلیل نیز این کار بهترین تخمین از وضعیت هوای کنونی و آینده را ارائه می‌دهد. برای این جمع‌بندی نیز از یک شبیه سازی سه وجهی شامل دما، رطوبت و مشخصات باد استفاده می شود.

مرحله سوم استفاده از سیستم های دینامیکی و آنالیز عددی در پیش بینی وضع هوا است. در این مرحله پیش بینی وضع هوا که اصطلاحا به روش NWP موسوم است،از میکرورایانه‌هایی با پردازنده‌های فرا معمولی استفاده می‌شود که وضعیت جو را شبیه سازی می‌کنند.آن‌ها اطلاعات فعلی را دریافت کرده و به طراحی نقشه‌ها و ترسیم نمودارهای آن می‌پردازند. سپس برای یک مدت زمان مشخص از طریق برنامه‌هایی که بر مبنای معادلات دیفرانسیل به کار رفته در مدل سازی جو نوشته شده، وضعیت جو را در آینده پیش بینی می‌کنند. قابل ذکر است که معادلات دیفرانسیل یاد شده معادلاتی هستند که به کمک علم فیزیک و مطالعات مکانیکی سیالات بر روی اتمسفر به دست می‌آیند. یکی از دانشمندانی که در راستای پیش بینی وضع هوا و استفاده از مدل‌های ریاضی هوا شناسی به نتایج جالبی رسید ادوارد لورنز بود وی در دانشگاه MIT مشغول کار بر روی معادلات کامپیوترشده‌ی زیر بودکه برای شبیه سازی و پیش‌بینی وضع هوا از آن استفاده می‌شد.

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = 10(x - y) \\ \frac{dy}{dt} = 28x - y - x \\ \frac{dz}{dt} = xy - \frac{8}{3}z \end{cases}$$

یکی از روزهای سال ۱۹۶۳ او قصد داشت نمودار یک سلسله مراحل خاص را مجددا ببیند و برای صرفه-جویی در وقت به جای این که از اول شروع کند،این کار را از میانه شروع کرد.لورنز کد مورد نظر را از روی نسخه چاپی گزارش وارد کامپیوتر کرد و به مدت یک ساعت بیرون رفت. او پس از بازگشت متوجه شد که نمودار به شکل دیگری ثبت شده است و به جای این که همان الگوی قبلی را به نمایش بگذارد،به تدریج از آن فاصله گرفته و در پایان به شدت با نمودار اول متفاوت است.



پژوهشسرای دانش آموزی ملاصدرا

عاقبت،لورنز متوجه شد که چه اتفاقی افتاده است. کامپیوتر تا شش رقم اعشار را در حافظه خود نگه می‌دارد و اول برای صرفه‌جویی در کاغذ تنها برای سه رقم اعشار دستور چاپ داده بود.در سلسله مراحل، اول عدد تا شش رقم اعشار عدد ۰,۵۰۶۱۲۷ بود و او تنها سه رقم اول آن یعنی ۰,۵۰۶را تایپ کرده بود. بنابر انتظارات علمی آن زمان،نتیجه تکرار سلسله مراحل موردنظر می‌بایست تنها اندکی با نسخه اول متفاوت باشد.زیرا اندازه گیری تا سه رقم اعشار بسیار دقیق محسوب می‌شد.از آن جایی که دو عدد مذکور تقریبا برابر دانسته می‌شدند،نتیجه هم می‌بایستد تقریبا یکسان می‌بود.اما لورنز با تکرار آزمایش متوجه شد که در واقع چنین چیزی صحت ندارد. لورنز این پدیده را با نام آشوب تحت عنوان اثر پروانه‌ای (butterfly effect) چنین معرفی کرد" بال زدن پروانه در نقطه‌ای از جهان ممکن است باعث ایجاد طوفان در نقطه‌ای دیگر از جهان شود" بدین معنی که کوچکترین تغییری در شرایط اولیه یک سیستم ممکن است باعث ایجاد تغییرات بزرگ در آینده شود. چنین سیستم هایی با چنین رفتارهایی را سیستم های دینامیکی آشوب‌ناک می‌نامند.

مرحله چهارم شبیه سازی مدل پیش بینی است. درفرآیند شبیه سازی مدل پیش‌بینی اطلاعات خروجی به دست آمده، اغلب خام هستند و قبل از انتشار ویرایش شده و تغییر می‌یابند. آخرین مرحله در پیش بینی جمع بندی کلیه مراحل فوق و بیان نتیجه است به طوری که قابل فهم برای عموم باشد و اطلاعات ارائه شده از سادگی و کارایی لازم برای کلیه کاربران برخوردار باشد.

۲-۲-اعداد غیر واقعی در پیش بینی های عددی و دلیل این عددها

یکی از مهمترین مراحل پیش بینی وضعیت هوا، پیش بینی عددی می‌باشد. گاهی ممکن است در این پیش بینی ها عددهای غیر واقعی به چشم بخورند که در اینجا به تعدادی از آنها و دلیل وجود این اعداد اشاره می‌کنیم. تصور کنید که در ساحل اقیانوسی ایستاده و دامنه تغییرات آب را هنگام بالا آمدن و پایین رفتن مشاهده می‌کنید.سپس این تغییرات را در طول شش ساعت برونیابی کنید. فرض کنید عدد ۲۰کیلومتر به دست می‌آید. این عدد از نظر منطقی بی معنی است. سطح آب تحت تاثیر یک فرآیند فیزیکی به دلیل چرخش زمین و نیز توسط جاذبه قمری در یک دامنه گسترده از زمان کنترل می‌گردد.این امر دلیل اشتباه در پیش بینی از تغییرات سطح آب است. ریچاردسون در سال۱۹۹۲تغییرات فشار هوا را در منطقه ای خاص واقع در انگلستان پیش بینی کرد و یک عدد غیر واقعی به دست آورد. اشتباه او همانند نمونه فوق بود چرا که طیف حرکت در اتمسفر شبیه به اقیانوس ها است و دامنه تغییرات فشار در بلند مدت توسط چرخش زمین کنترل می‌شود. تغییرات کوتاه مدت در اتمسفر امواج ثقلی نامیده می‌شود و سرعتی قابل مقایسه با سرعت صوت دارد. تعامل بین این دو نوع تغییر مثل تعامل بین امواج طوفانی و حرکات جزر و مدی در اقیانوس ضعیف است. ریچاردسون به محاسبه نرخ تغییرات آنی فشار برای اتمسفر پرداخت و پی برد با سپری شدن زمان طولانی نرخ تغییرات فشار به یک عدد غیر واقعی بدل می‌گردد. در نتیجه تغییرات آنی در یک بازه زمانی طولانی کاربردی ندارد. برای اصلاح این وضعیت سعی بر آن است که ارتباط بین امواج ثقلی و تغییراتی که در هواشناسی موثر است، بدون وارد نمودن خدشه حذف شود.برای نیل به این مقصود از روش پیش بینی استفاده شده طوری که شامل گام های زمانی زیادی است و هر یک به قدر کافی در مدت زمان کوتاه بوده و قادر به شبیه سازی دقیق باتغییرات فرکانس زیاد می‌باشد. وجود این فرکانس ها محدودیت زیادی را بر گام زمانی انتخاب شده برای دستیابی جواب دقیق تحمیل می‌نماید.لازم است گام های زمانی کوتاه تغییرات آنی را نشان داده و برای زمان طولانی جواب درستی ارائه کند. دومین تقریب، اصلاح معادلات موثر است به طوری که امواج ثقلی در جواب ظاهر نشوند، چنین فرآیندی را فیلتر نمودن معادلات می نامند.

در آخر تقریب سوم در انتخاب و تطابق مقادیر اولیه به نحوی است که تاثیر مولفه‌های مربوط به امواج ثقلی کاهش یافته یا حذف شوند.

۳-بحث و نتیجه گیری:

امروزه دیگر کسی نمی‌تواند منکر نقش پر رنگ ریاضیات در زندگی بشری و پیشرفت چشمگیر علوم مختلف شود.در راستای تایید این مطلب می‌توان به حضور ریاضیات در تمام زوایای علم هوا شناسی نیز اشاره کرد. اهمیت علم هوا شناسی به قدری است که می‌توان گفت تمام انسان‌ها در هر نقطه‌ای از کره خاکی به این علم نیازمند هستند. ریاضیات به عنوان ابزاری قدرتمند پدیده های جوی را مدلسازی می‌کند و خود به بررسی جواب‌های معادلات حاصل از این مدلسازی می‌پردازد. همانطور که دیدیم در سال ۱۹۶۳ ادوارد لورنز به آشوبناک بودن (حساس نسبت به شرایط اولیه) سیستم‌های جوی پی برد و اکنون نیز ریاضیات به دنبال راهی برای کنترل آشوب‌ها است که اگر چنین موفقیتی حاصل شود یک پیروزی بزرگ در تاریخ بشری خواهد بود.

منابع:

ربیعی، کبری(۱۳۸۹). یک روش عددی در حل معادلات مربوط به پیش بینی وضع هوا.پایان نامه کار شناسی ارشد دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی.۹۲-۰۱

Crucifix.M. Rougier.J(2009).On the use of simple dynamical systems for climate predictions. THE EUROPEANPHYSICAL JOURNALSPECIAL TOPICS.11-33

Provenzale, Antonello(2013). Climate as a dynamical system. Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del ClimaConsiglio Nazionale delle Ricerche.1-69

آموزش و پرورش شهرستان زرند
پژوهشسرای دانش آموزی ملاصدرا
سمینار دانش آموزی
ریاضیات و کاربردها