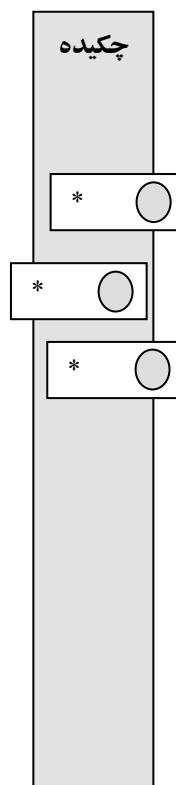


کاربست روش پیش یابی کامل در پیش بینی دمای کمینه و بیشینه

مژده پدرام^۱، پروین عربلی^۲
(تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۸۴/۱۱/۱۳)

پس پردازش برون داد خام مدل های مورد استفاده در پیش بینی عددی وضع هوا از گام های اصلی و ضروری این نوع فرآیند پیش بینی است. در مراکز هواشناسی پیشرفته جهان برای پس پردازش برون داد مدل های عددی، روش های مختلفی به کار گرفته می شوند که غالباً بر پایه تحلیل ها و محاسبات آماری استوارند. نظر به اهمیت موضوع، در این مقاله ابتدا روش های متداول پس پردازش آماری داده های خام مدل های پیش بینی عددی وضع هوا مانند آماره برون داد مدل، پیش یابی کامل و پالایش کالمن معرفی شده اند. سپس با کاربرد روش پیش یابی کامل، معادلاتی برای پیش بینی دمای کمینه و بیشینه ایستگاه تهران-مهرآباد به دست آمده که میزان و علل خطاهای آن نیز بررسی شده است. معادلات بر اساس تحلیل وایازی خطی بین داده های اندازه گیری شده ضخامت لایه های $700-700 \text{ hPa}$ و $850-700 \text{ hPa}$ به عنوان پیش بینی کننده (متغیر مستقل) و دمای کمینه و بیشینه به عنوان پیش بینی شونده (متغیر پاسخ)، در دوره آماری ۱۹۸۶-۱۹۹۵ ساخته شده اند. در به کارگیری این معادلات وایازی برای پیش بینی دمای کمینه و بیشینه، از مقادیر ضخامت $700-700 \text{ hPa}$ و $850-700 \text{ hPa}$ حاصل از اجرای مدل عددی MM5 استفاده شده است. نتایج، همبستگی معنی داری را میان

چکیده



۱- پژوهشکده هواشناسی

۲- سازمان هواشناسی کشور

متغیرهای مستقل و پاسخ نشان می‌دهند. اما به سبب خطای قابل ملاحظه MM5 در پیش بینی ارتفاع تراز ۸۵۰ hPa تهران، امکان استفاده از ضخامت ۷۰۰-۸۵۰ hPa به عنوان پیش‌بینی کننده وجود ندارد. با جایگزینی ضخامت ۷۰۰-۵۰۰ hPa در محاسبات، اختلاف مقادیر پیش بینی شده با مقادیر واقعی تا حد زیادی کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: پس پردازش آماری، روش پیش یابی کامل، پیش‌بینی عددی وضع هوا، دمای کمینه، دمای بیشینه.



مقدمه

فرآیند پیچیده پیش‌بینی عددی وضع هوا (NWP)^۱ دارای مؤلفه‌های مختلفی از جمله پس پردازش برون‌داد خام مدل مورد استفاده است. در این گام که غالباً بر پایه تحلیل‌ها و محاسبات آماری استوار می‌باشد، خطاها کاهش یافته، عدم اطمینان کمی شده و ساختار نتایج به گونه‌ای قابل استفاده برای پیش‌بین‌ها تبدیل می‌شود. فراسنج‌های هواشناسی و فرایابی از متغیرهای پیش‌بینی استخراج می‌شوند. متغیرهای مدل در راستای قائم بر روی ترازهای مورد نظر پیش‌بین‌ها (استاندارد، هم دما و ارتفاع ثابت) و همچنین در راستای افقی برای نقاط پیش‌بینی یا نقاط شبکه، درون‌یابی شده و نهایتاً خطوط هم مقدار رسم می‌شوند.

برخی از کمیت‌های جوی محلی مانند دمای کمینه و عناصر جوی محسوسی مانند دید و توفان‌های تدریجی، به طور صریح توسط مدل‌های عددی قابل پیش‌بینی نبوده و یا مستقیماً نمی‌توانند از متغیرهای پیش‌بینی استخراج شوند. برخی دیگر از فراسنج‌ها مانند دمای بیشینه سطح زمین، به نقاط ضعف مدل بسیار حساس هستند و به طور محلی نیز تغییر می‌کنند. از اینرو روش‌های آماری مختلفی برای پیش‌بینی این گونه عناصر جوی معرفی شده‌اند که در آن‌ها از برون‌داد مستقیم و یا پس پردازش شده مدل عددی و همچنین دیگر داده‌های مرتبط، مانند داده‌های اقلیمی استفاده می‌شود.

از جمله روش‌های پس پردازش آماری که برای پیش‌بینی محلی فراسنج‌های جوی به کار می‌روند، عبارتند از روش پیش‌یابی کامل (PPM)^۲ [۷] و روش آماره برون‌داد مدل (MOS)^۳ [۶]. اساس و پایه این روش‌ها شناسایی روابط سازگار میان دو دسته از فراسنج‌ها است. دسته اول

1. Numerical Weather Prediction
2. Perfect Prognosis Method
3. Model Output Statistics

فراسنج‌هایی هستند که به طور مستقیم و صریح توسط مدل عددی پیش‌بینی می‌شوند. دسته دوم آن‌هایی هستند که مستقیماً قابل پیش‌بینی نیستند، ولی با فراسنج‌های دسته اول ارتباط فیزیکی دارند. به این ترتیب می‌توان با ساخت^۱ و اجرای^۲ معادلات وایازی خطی چندگانه^۳ بین مقادیر دیدبانی متغیر دسته دوم به عنوان پیش‌بینی شونده^۴ و مقادیر دیدبانی (PPM) یا پیش‌بینی شده (MOS) متغیرهای دسته اول به عنوان پیش‌بینی کننده^۵، مقدار فراسنج مورد نظر را پیش‌بینی کرد. ساخت چنین معادلاتی به بایگانی بلند مدت داده‌ها نیاز دارد. البته در مورد MOS چنانچه کوچکترین تغییری در مدل NWP ایجاد شود، معادلات مذکور دیگر معتبر نبوده و دوباره باید کالیبره شوند [۱۰]. این کالیبراسیون جدید می‌تواند در چارچوب MOS ای که قابلیت به روز شدن را دارد (UMOS)^۶، انجام شود [۹].

به جز دو روش ذکر شده، امروزه روش دیگری نیز به نام پالایش کالمن^۷ بسیار توصیه و به کار گرفته می‌شود [۵]. چنانچه این روش تطبیقی^۸ جایگزین حل مدل‌های وایازی استاندارد شود، دیگر نقاط ضعف و معایب مدل‌های آماری قبلی وجود نخواهند داشت. این روش که اولین بار توسط کالمن ارائه شد، عبارت است از عملیات بازگشتی^۹ مربوط به معادلات تفاضلی یا دیفرانسیلی که به منظور محاسبه و پالایش خطاهای اندازه‌گیری فراسنج‌های وابسته به زمان انجام می‌گیرد. به کمک این پالایه می‌توان رفتار سری زمانی را بر اساس مشاهدات یک یا چند فراسنج وابسته به زمان که با خطای اندازه‌گیری همراه است، پیش‌بینی کرد. در مواردی که رفتار سری زمانی بر اساس یک معادله تفاضلی یا دیفرانسیلی به خوبی تفسیر می‌شود، پالایه کالمن بسیار کارا خواهد بود [۲]. در این پژوهش، سعی شده است با استفاده از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی ترازهای ۱۰۰۰hPa، ۸۵۰hPa، ۷۰۰hPa و ۵۰۰hPa که از اجرای مدل منطقه‌ای MMS^{۱۰} بر روی ایران و برای ایستگاه تهران-مهرآباد به دست آمده‌اند، مدل وایازی خطی برای پیش‌بینی دمای کمینه و بیشینه این ایستگاه به روش PP ارائه شود.

-
1. Development
 2. Implementation
 3. Linear Multiple Regression
 4. Predictand
 5. Predictor
 6. Updatable MOS
 7. Kalman Filtering
 8. Adaptive
 9. Recursive
 10. Mesoscale Modeling Version 5

ضرورت مسئله

پس پردازش آماری خروجی مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا به دلایل زیر انجام می‌شود [۸]:

- از آنجایی که مدل‌های NWP برای نقاط شبکه‌ای معین اجرا می‌شوند، در این مدل‌ها شرایط سطح زمین لزوماً ساده‌سازی و همگن‌سازی می‌شود. از طرفی اثرات کوچک مقیاسی مانند توپوگرافی یا دریاچه‌ها در وضع هوای محلی اهمیت بسیاری دارند که ممکن است در مدل NWP لحاظ نشود. همچنین تمامی موقعیت‌ها و متغیرهای دلخواه را نمی‌توان به طور صریح از طریق پیش‌بینی عددی به دست آورد. بنابراین استفاده از روابط آماری که میان داده‌های حاصل از NWP و متغیرهای پیش‌بینی نوشته می‌شوند، می‌تواند به حل مشکلات فوق کمک کند.

- مدل‌های NWP کامل نبوده و با خطا همراه هستند. از اینرو پیش‌بینی‌های آماری که بر اساس اطلاعات NWP انجام می‌شود، می‌تواند خطاهای سیستماتیک این مدل‌ها را جبران کرده و اریبی‌های^۱ پیش‌بینی را تصحیح کند.

- مدل‌های NWP قادرند با هر شرط اولیه، تنها یک پیش‌بینی منفرد را برای هر یک از فراسنج‌های هواشناختی ارائه دهند. به کارگیری و پیوند اطلاعات NWP با روش‌های آماری امکان کمی کردن و بیان عدم اطمینان موجود در پیش‌بینی‌های مختلف را فراهم می‌سازد.

نظریه

غالب روش‌های پس پردازش آماری، بر پایه تحلیل وایزی خطی چند گانه استوارند که طی دو مرحله انجام می‌شود. مرحله اول ساخت معادله وایزی به صورت زیر است که آن را معادله پیش‌بینی نیز می‌نامیم:

$$y_t = f(x_{it}) \quad i=1,2,3,\dots,k \quad (1)$$

در این معادله y فراسنج پیش‌بینی شونده (متغیر پاسخ)، x فراسنج پیش‌بینی کننده (متغیر مستقل) و k تعداد متغیرهای مستقل می‌باشد. مرحله دوم، اجرای معادله فوق برای پیش‌بینی y در زمان آینده (t) است. متداول‌ترین روش‌های پس پردازش آماری عبارتند از [۸]:

الف- روش پیش‌بینی یابی کامل (PPM): در این روش فرض بر این است که مدل NWP مورد استفاده و پیش‌بینی‌های آن کامل هستند (که در حقیقت چنین نیست). برای ساخت معادله وایازی از بایگانی موجود داده‌های دیدبانی در یک دوره آماری طولانی استفاده می‌شود. در مرحله اجرا مقادیری از x را که توسط مدل عددی برای زمان t پیش‌بینی شده‌اند، در معادله قرار داده تا مقدار پیش‌بینی $y(t)$ به دست آید. یکی از مزایای PPM آن است که معادله وایازی ساخته شده مستقل از مدل NWP می‌باشد. به این ترتیب تغییرات احتمالی مدل NWP، تأثیری در معادله مذکور نخواهد داشت. این روش خطاها و اریبی‌های NWP را تصحیح نمی‌کند.

ب- روش آماره برون‌داد مدل (MOS): در این روش برای ساخت معادله از بایگانی حداقل سه سال نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل عددی به کار رفته، استفاده می‌شود و مرحله اجرای آن مشابه روش PP می‌باشد. به این ترتیب MOS دارای ظرفیتی است که به موجب آن ویژگی‌های مدل NWP، به طور مستقیم در معادله‌های وایازی اثر می‌گذارد. این امر که به نوبه خود مزیتی مهم برای MOS به شمار می‌رود، سبب جبران خطای سیستماتیک و اریبی‌های پیش‌بینی مدل عددی می‌شود. در صورت ایجاد کوچکترین تغییری در مدل NWP، معادلات MOS دیگر معتبر نبوده و باید آنها را تعدیل کرد.

داده‌ها

پیش‌بینی دمای کمینه: در مرحله ساخت معادله وایازی، مقادیر اندازه‌گیری شده ضخامت ترازهای ۷۰۰-۷۵۰ hPa و ۵۰۰-۷۰۰ hPa در ساعت UTC ۰۰۰۰ در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس طی دوره آماری مورد مطالعه به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده و مقادیر دیدبانی شده دمای کمینه در تاریخ‌های مذکور به عنوان متغیر پیش‌بینی شونده بکار رفته‌اند.

پیش‌بینی دمای بیشینه: برای ساخت معادله وایازی، از مقادیر اندازه‌گیری شده ضخامت ترازهای ۷۰۰-۵۰۰ hPa در ساعت UTC ۱۲۰۰ در سه ماه ژوئن، ژوئیه و اوت طی دوره آماری مورد مطالعه به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده و از مقادیر دیدبانی شده دمای بیشینه روزانه به عنوان متغیر پیش‌بینی شونده استفاده شده است. در مرحله اجرای معادلات ساخته شده، ضخامت پیش‌بینی شده ترازهای فوقانی مورد نظر که حاصل اجرای مدل عددی MMS5 در مرکز پیش‌بینی سازمان هواشناسی کشور می‌باشند، بکار رفته است.

روش کار

به سبب عدم دسترسی به بایگانی داده‌های پیش‌بینی عددی، امکان به کارگیری روش MOS در این پژوهش وجود ندارد. هرچند که مزایای آن به مراتب بیش از روش PP می‌باشد. در این پژوهش برای پیش‌بینی دمای کمینه و بیشینه (y) روش PP به کار گرفته شده است. به سبب رابطه فیزیکی و نزدیکی که میان ضخامت لایه‌ای از جو محدود به دو تراز فشاری با ارتفاع ژئوپتانسیلی معین و دمای میانگین آن لایه وجود دارد [۳]، از مقادیر ارتفاع ترازهای استاندارد نزدیک به سطح زمین، برای به دست آوردن ضخامت لایه هوای بین آن‌ها استفاده شده است. همچنین با توجه به تئوری و فیزیک مسئله، تنها به ساخت مدل وایازی یک متغیره اکتفا شده است. به ویژه آنکه مدل‌های آماری ساخته شده با ضریب همبستگی نسبتاً بالایی نیز همراه هستند. در این مدل‌بندی، ابتدا ضخامت لایه ۷۰۰-۸۵۰ hPa به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده، اما به دلیل خطای زیاد مدل MM5 در پیش‌بینی ارتفاع تراز ۸۵۰ hPa، ضخامت لایه ۷۰۰-۵۰۰ hPa جایگزین آن شده است.

نتایج و بحث

الف- پیش‌بینی دمای کمینه

در تحلیل وایازی داده‌ها، ضریب همبستگی (R) و ضریب تبیین (R²) بین ضخامت لایه ۷۰۰-۸۵۰ hPa در ساعت ۰۰:۰۰ UTC به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده و دمای کمینه به عنوان پیش‌بینی شونده، محاسبه شدند. همان‌طور که از تئوری مسئله نیز انتظار می‌رفت، همبستگی قابل توجهی (R=۰/۸۷۵) بین این دو متغیر وجود دارد. از اینرو به منظور بررسی اعتبار مدل وایازی تحلیل‌های آماری دیگری نیز به ترتیب زیر انجام گرفت [۱] و از آن‌جا اطمینان حاصل شد که:

- باقی‌مانده‌ها^۱ مستقل از یکدیگر هستند و از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند.
- مدل وایازی مورد نظر با ورود یک متغیر در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰ کاملاً معتبر است.
- متغیر پاسخ تابعی خطی از متغیر مستقل است.

بر این اساس معادله وایازی برای پیش‌بینی دمای کمینه (T_{min}) به صورت زیر به دست آمد، که در آن H_{850}^{700} مقدار ضخامت لایه ۷۰۰-۸۵۰ hPa می‌باشد:

$$T_{\min} = -247.39 + 0.161 H_{850}^{700} \quad (۲)$$

معادله ساخته شده فوق برای پیش‌بینی دمای کمینه چهل روز از ماه‌های دسامبر سال ۲۰۰۴ و ژانویه سال ۲۰۰۵ میلادی (برابر با آذر، دی و بهمن ماه ۱۳۸۳) اجرا شد، که نمونه‌ای از نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. در ستون‌های دوم تا هفتم این جدول، مقادیر پیش‌بینی ارتفاع ترازهای ۸۵۰hPa و ۷۰۰hPa و ضخامت لایه بین آن‌ها توسط مدل MM5، با مقادیر واقعی (دیدبانی شده) مقایسه شده است. با قراردادن مقدار ضخامت حاصل از مدل عددی (ستون هشتم) در معادله وایازی مقدار پیش‌بینی دمای کمینه تعیین می‌شود که تحت عنوان پیش‌بینی PPM در ستون هشتم جدول درج شده است. با مقایسه این کمیت با مقادیر واقعی حاصل از دیدبانی، می‌توان درباره کارایی و خطای این مدل وایازی اظهار نظر کرد. شکل‌های ۱-الف و ۱-ب تفاوت میان نتایج پیش‌بینی به روش پیش‌بینی یابی کامل و مقادیر دیدبانی شده را نمایش می‌دهند. به طوری که مشاهده می‌شود، اختلاف فاحشی میان پیش‌بینی PPM و جو واقعی وجود دارد که علت عمده آن را می‌توان خطای مربوط به مدل MM5 در برآورد ارتفاع تراز ۸۵۰hPa دانست. زیرا بررسی‌ها نشان دادند این مدل، فراسنج مذکور را برای تهران که ارتفاع آن از سطح دریا نزدیک به تراز ۸۵۰hPa است، با خطای بسیار زیادی پیش‌بینی می‌کند. از اینرو مقدار آن را تنها باید از طریق درون‌یابی تعیین کرد. از طرفی با قراردادن داده‌های دیدبانی در معادله ساخته شده این اختلاف تا حد زیادی کاهش می‌یابد. همان‌طور که در ستون نهم جدول ۱ و شکل‌های ۱-الف و ۱-ب نیز دیده می‌شود، در مواردی حتی دمای پیش‌بینی شده از روی ضخامت دیدبانی با دمای کمینه واقعی برابر است.

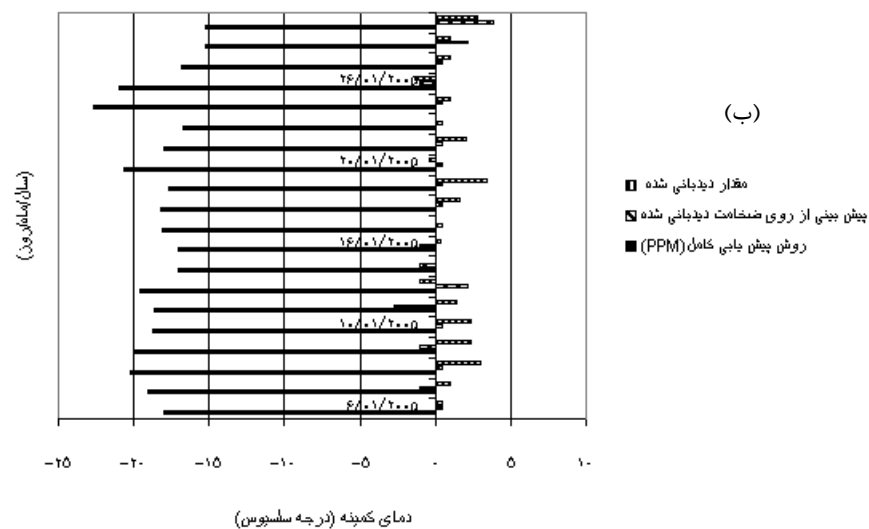
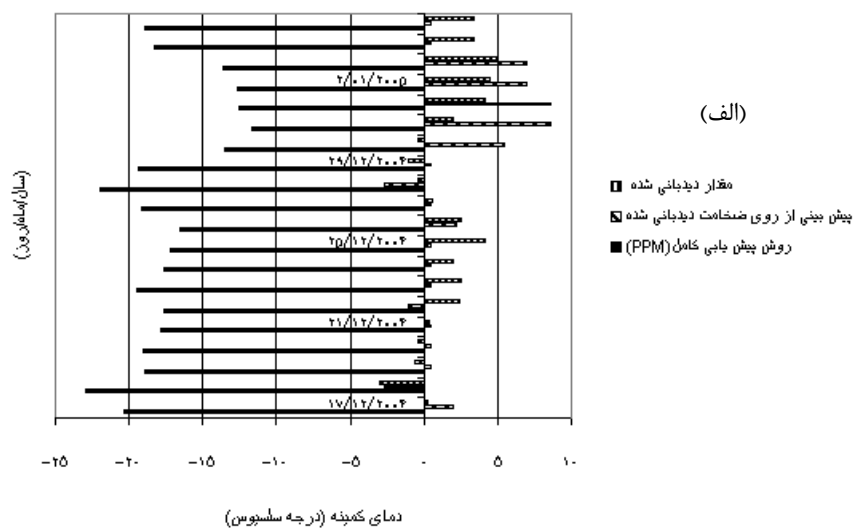
به منظور برطرف نمودن مشکل فوق، از ضخامت لایه ۵۰۰-۷۰۰hPa به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده استفاده شد و تمامی تحلیل‌ها و آزمون‌های آماری لازم جهت ساخت معادله وایازی انجام گرفت. معادله پیش‌بینی حاصل عبارت است از:

$$T_{\min} = -176.521 + 0.07 H_{700}^{500} \quad (3)$$

جدول ۲ نمونه‌ای از نتایج اجرای این مدل وایازی برای همان تاریخ‌های قبلی و شکل‌های ۲-الف و ۲-ب مقایسه بین آن‌ها را نشان می‌دهند. برخلاف مدل اول، در اینجا پیش‌بینی PPM هم‌خوانی بیشتری با مقادیر دیدبانی و اختلاف زیادی با مقادیر پیش‌بینی از روی H_{700}^{500} دیدبانی دارد.

جدول ۱- نتایج پیش بینی دمای کمینه به روش پیش یابی کامل برای ایستگاه تهران-مهرآباد، با استفاده از ضخامت $۸۵۰-۷۰۰\text{hPa}$

ساعت UTC ۰۰۰۰									
تاریخ	ارتفاع تراز ۸۵۰hPa (متر)		ارتفاع تراز ۷۰۰hPa (متر)		ضخامت لایه hPa $۸۵۰-۷۰۰$ (متر)		دمای کمینه (درجه سلسیوس)		
	مدل پیش بینی عددی MM5	مقدار دیدبانی شده	مدل پیش بینی عددی MM5	مقدار دیدبانی شده	مدل پیش بینی عددی MM5	مقدار دیدبانی شده	پیش بینی PPM	پیش بینی از روی H_{850}^{700} دیدبانی	مقدار دیدبانی شده
۲۰۰۴/۱۲/۱۷	۱۵۷۳	۱۴۵۰	۲۹۸۳	۲۹۹۹	۱۴۱۰	۱۵۴۹	-۲۰/۳	۲	۰/۲
۲۰۰۴/۱۲/۱۸	۱۶۲۸	۱۵۰۰	۳۰۲۲	۳۰۲۰	۱۳۹۴	۱۵۲۰	-۲۲/۹	-۲/۷	-۳
۲۰۰۴/۱۲/۱۹	۱۶۶۱	۱۵۵۰	۳۰۸۰	۳۰۹۰	۱۴۱۹	۱۵۴۰	-۱۸/۹	۰/۵	-۰/۶
۲۰۰۴/۱۲/۲۰	۱۶۰۶	۱۴۹۰	۳۰۲۵	۳۰۳۰	۱۴۱۸	۱۵۴۰	-۱۹	۰/۵	-۰/۴
۲۰۰۴/۱۲/۲۱	۱۵۶۷	۱۴۶۰	۲۹۹۲	۳۰۰۰	۱۴۲۵	۱۵۴۰	-۱۷/۹	۰/۵	۰/۴
۲۰۰۴/۱۲/۲۲	۱۵۸۵	۱۴۹۰	۳۰۱۱	۳۰۲۰	۱۴۲۶	۱۵۳۰	-۱۷/۶	-۱	۲/۴
۲۰۰۴/۱۲/۲۳	۱۶۱۳	۱۵۰۰	۳۰۲۸	۳۰۴۰	۱۴۱۴	۱۵۴۰	-۱۹/۵	۰/۵	۲/۵
۲۰۰۴/۱۲/۲۴	۱۵۹۷	۱۵۰۰	۳۰۲۴	۳۰۴۰	۱۴۲۷	۱۵۴۰	-۱۷/۶	۰/۵	۲
۲۰۰۴/۱۲/۲۵	۱۶۱۰	۱۵۱۰	۳۰۴۰	۳۰۵۰	۱۴۲۹	۱۵۴۰	-۱۷/۲	۰/۵	۴/۱
۲۰۰۴/۱۲/۲۶	۱۵۷۷	۱۴۸۰	۳۰۱۰	۳۰۳۰	۱۴۳۳	۱۵۵۰	-۱۶/۶	۲/۲	۲/۵
۲۰۰۴/۱۲/۲۷	۱۶۳۳	۱۵۱۰	۳۰۵۰	۳۰۵۰	۱۴۱۷	۱۵۴۰	-۱۹/۱	۰/۵	۰/۶

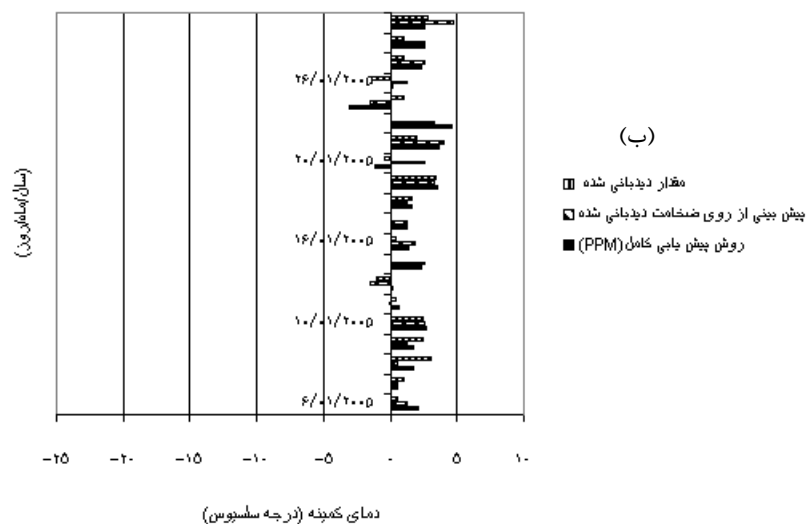
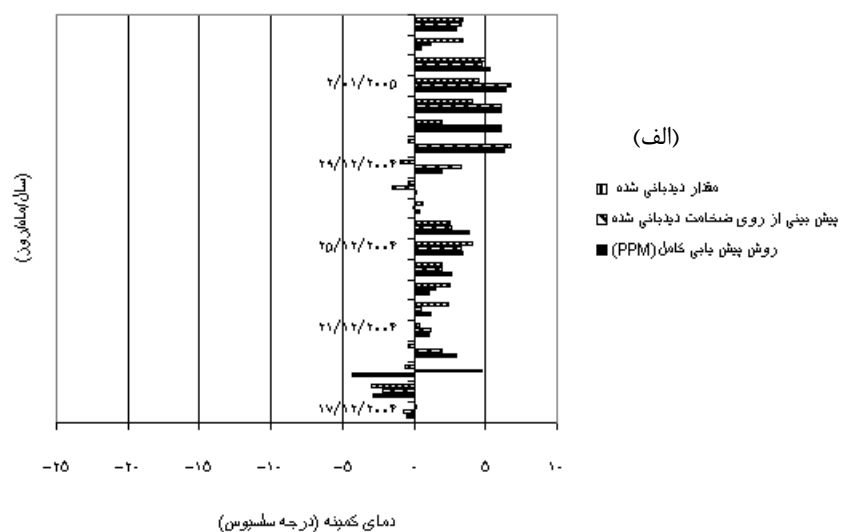


شکل ۱- مقایسه نتایج پیش بینی دمای کمینه به روش پیش یابی کامل، با مقادیر دمای پیش بینی از روی ضخامت دیدبانی شده و دمای دیدبانی شده برای ایستگاه تهران- مهرآباد در برخی از روزهای (الف) ۱۷/۱۲/۲۰۰۴ تا ۵/۱/۲۰۰۵، (ب) ۶/۱/۲۰۰۵ تا ۳۰/۱/۲۰۰۵ متغیر پیش بینی کننده، ضخامت ۷۰-۸۵ hPa

جدول ۲- نتایج پیش بینی دمای کمینه به روش پیش یابی کامل برای ایستگاه تهران-مهرآباد، با استفاده از ضخامت ۷۰۰-۵۰۰ hPa

ساعت UTC									
تاریخ	ارتفاع تراز ۷۰۰ hPa (متر)		ارتفاع تراز ۵۰۰ hPa (متر)		ضخامت لایه ۷۰۰-۵۰۰ hPa (متر)		دمای کمینه (درجه سلسیوس)		
	مدل پیش بینی عددی MM5	مقدار دیدبانی شده	مدل پیش بینی عددی MM5	مقدار دیدبانی شده	مدل پیش بینی عددی MM5	مقدار دیدبانی شده	پیش بینی PPM	پیش بینی از روی H_{500}^{700} دیدبانی	مقدار دیدبانی شده
۲۰۰۴/۱۲/۱۷	۲۹۸۳	۲۹۹۹	۵۴۹۶	۵۵۱۰	۲۵۱۳	۲۵۱۱	-۰/۵	-۰/۷	۰/۲
۲۰۰۴/۱۲/۱۸	۳۰۲۲	۳۰۲۰	۵۵۰۲	۵۵۱۰	۲۴۸۰	۲۴۹۰	-۲/۹	-۲/۲	-۳
۲۰۰۴/۱۲/۱۹	۳۰۸۰	۳۰۹۰	۵۶۶۴	۵۶۸۰	۲۵۸۴	۲۵۹۰	۴/۳	۴/۷	-۰/۶
۲۰۰۴/۱۲/۲۰	۳۰۲۵	۳۰۳۰	۵۵۸۹	۵۵۸۰	۲۵۶۴	۲۵۵۰	۲/۹	۱/۹	-۰/۴
۲۰۰۴/۱۲/۲۱	۲۹۹۲	۳۰۰۰	۵۵۳۰	۵۵۴۰	۲۵۲۷	۲۵۴۰	۱	۱/۲	۰/۴
۲۰۰۴/۱۲/۲۲	۳۰۱۱	۳۰۲۰	۵۵۵۰	۵۵۵۰	۲۵۳۸	۲۵۳۰	۱/۲	۰/۵	۲/۴
۲۰۰۴/۱۲/۲۳	۳۰۲۸	۳۰۴۰	۵۵۶۶	۵۵۷۰	۲۵۳۷	۲۵۳۰	۱/۱	۰/۵	۲/۵
۲۰۰۴/۱۲/۲۴	۳۰۲۴	۳۰۴۰	۵۵۸۳	۵۵۹۰	۲۵۵۸	۲۵۵۰	۲/۶	۱/۹	۲
۲۰۰۴/۱۲/۲۵	۳۰۴۰	۳۰۵۰	۵۶۱۱	۵۶۲۰	۲۵۷۰	۲۵۷۰	۳/۴	۳/۳	۴/۱
۲۰۰۴/۱۲/۲۶	۳۰۱۰	۳۰۳۰	۵۵۸۸	۵۵۹۰	۲۵۷۸	۲۵۶۰	۳/۹	۲/۶	۲/۵
۲۰۰۴/۱۲/۲۷	۳۰۵۰	۳۰۵۰	۵۵۷۸	۵۵۷۰	۲۵۲۷	۲۵۲۰	۰/۴	-۰/۱	۰/۶

برای دستیابی به نتیجه کلی، بهتر است ضرایب R ، R^2 و β تعدیل شده دو مدل فوق نیز با هم مقایسه شوند (جدول ۳). در مدل اول $R = ۰/۸۷۵$ بیانگر همبستگی زیاد میان دو متغیر مستقل و پاسخ است. همچنین مقدار R^2 نشان می دهد که $۰/۷۶۵$ درصد از تغییرات کل دمای کمینه به وسیله مدل خطی ساخته شده بیان می شود. β تعدیل شده عبارت است از ضریب همبستگی بین دو متغیر مستقل و پاسخ، بدون در نظر گرفتن اثر واحدهای آنها. چون در این مدل تنها یک متغیر مستقل وجود دارد، β در واقع همان مقدار همبستگی خطی بین متغیرهای مذکور را نشان می دهد [۴]. در مورد مدل دوم، مشاهده می شود که در مقایسه با مدل اول همبستگی کمتری بین متغیرها وجود دارد. با توجه به مقدار ضریب تعدیل شده β ، می توان گفت که ضخامت ۷۰۰-۵۰۰ hPa برای پیش بینی دمای کمینه در ۶۱٪ مواقع می تواند دقیق عمل کند. به عبارت دیگر سهم این متغیر در پیش بینی دمای کمینه تنها برابر ۶۱٪ است و برای پیش بینی بهتر باید متغیر دیگری را نیز در معادله وارد کرد.



شکل ۲- مقایسه نتایج پیش‌بینی دمای کمینه به روش پیش‌بینی یابی کامل با مقادیر دمای پیش‌بینی از روی ضخامت دیدبانی شده و دمای دیدبانی شده برای ایستگاه تهران- مهرآباد در برخی از روزهای (الف) ۱۷/۱۲/۲۰۰۴ تا ۵/۱/۲۰۰۵، (ب) ۶/۱/۲۰۰۵ تا ۳۰/۱/۲۰۰۵ متغیر پیش‌بینی کننده، ضخامت ۵۰۰-۷۰۰ hPa

جدول ۳- مقایسه ضرایب همبستگی برای پیش بینی دمای کمینه ایستگاه تهران - مهر آباد

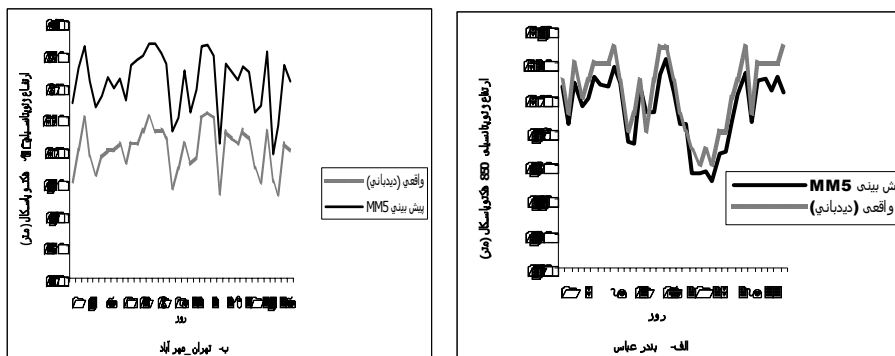
	پیش بینی کننده (متغیر مستقل)	پیش بینی شونده (متغیر پاسخ)	R	R2	β تعدیل شده	سطح معنی داری
مدل ۱	ضخامت (۸۵۰-۷۰۰ hPa)	دمای کمینه (Tmin)	۰/۸۷۵	۰/۷۶۵	۰/۸۷۵	۰/۰۰۰
مدل ۲	ضخامت (۷۰۰-۵۰۰ hPa)	دمای کمینه (Tmin)	۰/۶۱۰	۰/۳۷۲	۰/۶۱۰	۰/۰۰۰

پرسشی که اینجا مطرح می شود، این است که آیا خطای MM5 در پیش بینی ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۸۵۰ hPa تنها ناشی از شرایط توپوگرافی ایستگاه تهران - مهرآباد است یا اینکه این خطا در نقاط کم ارتفاع نیز نمایان می شود. بررسی ها نشان دادند مدل MM5 توانایی پیش بینی فراسنج مورد نظر را در هیچ یک از ایستگاه های جو بالای مرتفع کشور ندارد اما برای نواحی پستی مانند کناره های دریای خزر یا جنوب ایران، مقداری را به دست می دهد که میزان خطای آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد. به عنوان نمونه، مقادیر پیش بینی MM5 با مقادیر واقعی ارتفاع تراز ۸۵۰ hPa ایستگاه ساحلی بندر عباس در ماه های ژانویه و فوریه سال ۲۰۰۵ مقایسه شدند. نتیجه آزمون با فرض برابری میانگین های این دو مقدار، بیانگر آن است که تفاوت معنی داری میان آنها وجود ندارد و فرض مذکور با سطح معنی داری ۰/۰۵ پذیرفته می شود. اما برای ایستگاه تهران - مهرآباد، فرض برابری میانگین ارتفاع واقعی تراز ۸۵۰ hPa با میانگین ارتفاع درون یابی شده، با سطح معنی داری ۰/۰۵ قابل قبول نمی باشد. به منظور آشکار شدن بیشتر موضوع، برابری و یا تفاوت مقادیر واقعی (دیدبانی) با مقادیر پیش بینی مدل عددی برای بندر عباس و تهران - مهرآباد به ترتیب در شکل های ۳- الف و ۳- ب نمایش داده شده اند.

پیش بینی دمای بیشینه: تمامی تحلیل های فوق در خصوص پیش بینی دمای بیشینه نیز بر روی داده های مورد استفاده انجام و نهایتاً منجر به استخراج معادله وایازی زیر شد:

$$T_{\max} = -199.828 + 0.086 H_{700}^{500} \quad (4)$$

این مدل برای پیش بینی دمای بیشینه روزهای ۱ تا ۱۰ ژوئن سال ۲۰۰۴ (برابر با ۱۲ تا ۲۱ خرداد ۱۳۸۳) اجرا شد که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است. به طوریکه مشاهده می شود اختلاف مقادیر پیش بینی شده با مقادیر واقعی به طور میانگین کمتر از ۱/۵ درجه می باشد. تنها در یک مورد این اختلاف حدود ۳ درجه بوده و در یک مورد نیز حتی این دو مقدار با هم برابر هستند.



شکل ۳- مقایسه مقادیر پیش بینی مدل MM5 با مقادیر واقعی ارتفاع تراز ۸۵۰ hPa، برای بندر عباس و تهران

جدول ۴- نتایج پیش بینی دمای بیشینه به روش پیش یابی کامل برای ایستگاه تهران - مهر آباد، با استفاده از ضخامت ۵۰۰-۷۰۰ hPa

ساعت ۱۲:۰۰ UTC									
ردیف	ارتفاع تراز ۷۰۰ hPa (متر)		ارتفاع تراز ۵۰۰ hPa (متر)		ضخامت لایه ۷۰۰-۵۰۰ hPa (متر)		دمای بیشینه (درجه سلسیوس)		
	مقدار	مدل پیش بینی عددی MM5	مقدار	مدل پیش بینی عددی MM5	مقدار	مدل پیش بینی عددی MM5	پیش بینی PPM	پیش بینی از روی H_{700}^{500} دیدبانی	مقدار دیدبانی شده
۲۰۰۴/۶/۱	۳۱۴۱	۳۱۵۰	۵۸۲۸	۵۸۴۰	۲۶۸۷	۲۶۹۰	۳۱/۱	۳۱/۵	۳۲/۲
۲۰۰۴/۶/۲	۳۱۲۸	۳۱۴۰	۵۸۱۹	۵۸۳۰	۲۶۹۲	۲۶۹۰	۳۱/۵	۳۱/۵	۳۴/۴
۲۰۰۴/۶/۳	۳۱۲۳	۳۱۴۰	۵۸۱۸	۵۸۴۰	۲۶۹۵	۲۷۰۰	۳۱/۸	۳۲/۴	۳۲/۵
۲۰۰۴/۶/۴	۳۱۲۶	****	۵۸۲۶	****	۲۷۰۰	****	۳۲/۲	****	۳۳/۲
۲۰۰۴/۶/۵	۳۱۵۸	۳۱۸۰	۵۸۴۷	۵۸۷۰	۲۶۸۹	۲۶۹۰	۳۱/۲	۳۱/۵	۳۲
۲۰۰۴/۶/۶	۳۱۷۵	۳۱۹۰	۵۸۷۶	۵۸۹۰	۲۷۰۱	۲۷۰۰	۳۲/۳	۳۲/۴	۳۲
۲۰۰۴/۶/۷	۳۱۶۱	****	۵۸۷۲	****	۲۷۱۱	****	۳۳/۱	****	۳۴/۴
۲۰۰۴/۶/۸	۳۱۲۸	۳۱۴۰	۵۸۳۶	۵۸۴۰	۲۷۰۸	۲۷۰۰	۳۲/۹	۳۲/۴	۳۵
۲۰۰۴/۶/۹	۳۱۰۷	۳۱۳۰	۵۸۲۶	۵۸۴۰	۲۷۱۹	۲۷۱۰	۳۳/۸	۳۳/۲	۳۵/۵
۲۰۰۴/۶/۱۰	۳۱۲۰	۳۱۳۰	۵۸۲۸	۵۸۴۰	۲۷۰۸	۲۷۱۰	۳۲/۹	۳۳/۲	۳۵/۵

پیشنهادها

- ذخیره و بایگانی برون داد روزانه مدل MM5 که در مرکز پیش بینی سازمان هواشناسی کشور اجرا می شود، برای پیش برد اهداف مختلف پژوهشی در این زمینه بسیار مفید خواهد بود.
- با توجه به مقدار β در تحلیل وایازی برای پیش بینی دمای کمینه، به غیر از ضخامت لایه ۵۰۰-۷۰۰ hPa باید سهم متغیرهای مستقل دیگری نظیر رطوبت و دمای سطح زمین را نیز در معادله پیش بینی بررسی کرد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از حمایت های بی دریغ آقای دکتر صداقت کردار ریاست محترم پژوهشکده هواشناسی و نیز تشویق های استاد ارجمند آقای دکتر آزادی در انجام این پژوهش، بی نهایت سپاسگزارند.

منابع

- ۱- پدرام، م.، ن.، ابوفاضلی، ۱۳۸۳، پیش بینی دینامیکی-آماری دمای ماکزیمم و می نیمم شهر تهران، مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس آمار ایران، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران.
- ۲- رحیم زاده، ف.، ۱۳۷۰، تحلیل سری های زمانی با داده های گمشده به وسیله صافی کالمن، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، صفحات ۲۸-۴۳.
- ۳- قائمی، ه.، ۱۳۸۲، هواشناسی عمومی، سمت، تهران، صفحات ۴۶۰-۴۵۰.
- ۴- گلدسته، ا.، س.، آقا میرکریمی، م.، خدا رحمی، م.، ترابی، ر.، اصغری، ۱۳۷۷، راهنمای کاربران SPSS 6.0 for Windows، مرکز فرهنگی انتشاراتی حامی، تهران، صفحات ۸۳-۴۰.
5. Crochet, P., 2004, Adaptive Kalman Filtering of 2-metre Temperature and 10-metre Wind-Speed Forecasts in Iceland, Meteorol. Appl., 11, 173-187.
6. Glahn, H., R. & Lowry, D., A., 1972, The Use of Model Output Statistics (MOS) in Objective Weather Forecasting, J., Appl. Meteorol., 11:1203 – 1211.
7. Klein, W., H., & Lewis, F., 1970, Computer Forecasts of Maximum and Minimum Temperatures, J. Appl. Meteorol., 9: 350 – 359.
8. Wilks, D., S., 1995, Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Academic Press.
9. Wilson, L., J., & M., Valee, 2002, The Canadian Updatable Model Output Statistics (UMOS) System: Design and Development Tests, Wea. Forecasting, 17 (2): 206-222.
10. Wilson, L., J., & M., Valee, 2003, The Canadian Updatable Model Output Statistics (UMOS) System: Validation Against Perfect Prog, Wea. Forecasting 18 (2): 288-302.