



مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت و افزایش نیازهای روز افزون جامعه، مسئله‌ی آب و پدیده‌های موثر در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب اهمیت چشمگیری پیدا کرده است. در این میان پیش‌بینی و برآورد جریان رودخانه‌ها در برنامه‌ریزی بهره‌برداری طولانی و موقت رودخانه‌ها و مدیریت منابع آب لازم است زیرا برآورد پایین جریان باعث ایجاد مشکل در مدیریت مخازن و تعیین پارامترهای بازده مخزن و برآورد بالای آن باعث بالا رفتن هزینه‌ها برای مثال افزایش هزینه‌های احداث ابنیه‌های هیدرولیکی خواهد شد.

یکی از مشکلات اساسی در زمینه‌ی هیدرولوژی در ایران، کوتاه بودن آمار آبدهی ایستگاههای آسنجی است که به عنوان مشکلی در انجام تجزیه و تحلیل داده‌ها جهت پیش‌بینی به شمار می‌آید چرا که با داشتن آمار و داده‌های دقیق جریان رودخانه در ایستگاه‌های با تعداد زیاد و انجام آنالیز آماری می‌توان به پیش‌بینی سیلاب و مدیریت مخازن در آینده پرداخت. در این میان مسئله‌ی عمده وجود آمار آبدهی در برخی از ایستگاه‌ها بر روی شاخه‌های اصلی رودخانه‌ها در یک حوزه و ناقص بودن آمار آبدهی ایستگاه‌ها بر روی شاخه‌های فرعی متعلق به شاخه‌ی اصلی است، در حالی که در برخی از موقعیت‌ها نیاز به اجرای پروژه‌ها بر روی شاخه‌های فرعی و اطمینان از وجود جریان و ایمنی سازه‌های هیدرولیکی به منظور توسعه‌ی منابع آب و خاک، فعالیت‌های کشاورزی، تولید انرژی برق آبی و حتی تامین آب شهری در این شاخه‌های فرعی ضروری است. مسئله‌ی دیگر که اهمیت استفاده از روش تفکیک‌کننده را آشکار می‌سازد، مشکل پیش‌بینی در مقیاس‌های کوچکتر زمانی و مکانی است زیرا قانونمندی در مقیاس‌های کوچکتر، کمتر و آنالیز و مدل‌سازی سری‌های فصلی پیچیده است. همچنین عدم حفظ تداوم جریان در دوره‌های فرعی و افزایش شمار پارامترها با توجه به مقدار محدود داده‌های موجود از مشکلات ناشی از عدم استفاده از این روش می‌باشد.

بر اساس پژوهش‌های سالاس و همکاران [۸]، نخستین روش تفکیک‌کننده توسط هارمس و کمپبل در سال ۱۹۷۶ پیشنهاد شد که از دو مدل خود همبسته برای تولید جریان ماهانه و سالانه همراه با یک معادله‌ی اضافی برای سازگاری بین مقادیر سالانه و ماهانه استفاده کردند. کاستی‌های تئوریک مدل‌های یاد شده باعث بوجود آمدن مدل‌های جدید شد.

استفاده از روش تفکیک‌کننده

در پیش‌بینی جریان رودخانه

مجید خلقی^۱ و لاله پرویز^۲

تاریخ دریافت: ۸۵/۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۸۷/۶/۱۸

چکیده

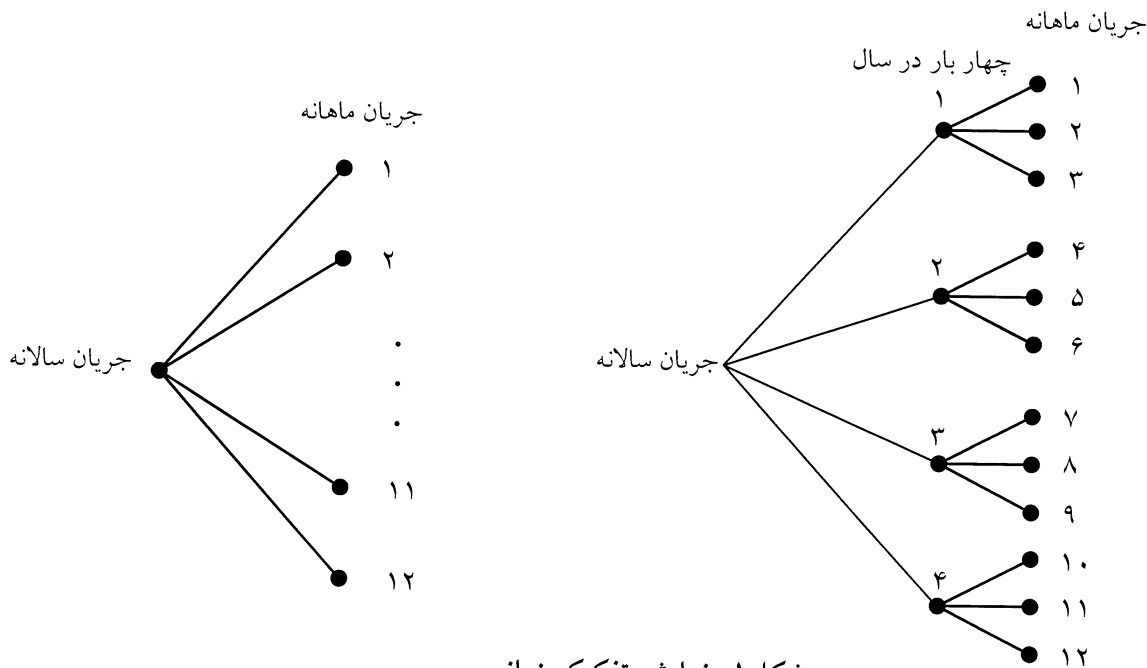
برآورد صحیح آبدهی رودخانه جهت برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب، پیش‌بینی تداوم خشکسالی‌ها و برنامه‌ریزی مطالعات بهره‌برداری مخزن از اهمیت چشمگیری برخوردار است. در این میان نبود آمار کامل و طولانی آبدهی در برخی از رودخانه‌های ایران برنامه‌ریزی منابع آب را با مشکل رو به رو کرده است. روش تفکیک‌کننده یکی از روش‌های استوکاستیکی است که به صورت ابزار مفید در هیدرولوژی کاربردی می‌باشد چرا که برنامه‌ریزی و طراحی قابل اعتماد سامانه‌های هیدرولوژیکی به وجود سری‌های زمانی در مقیاس‌های زمانی کوچکتر از سال و در مکان‌های گوناگون نیاز دارد. عملکرد این روش تفکیک متغیرهای هیدرولوژیکی به مقیاس‌های کوچکتر، هم در بعد زمانی و هم در بعد مکانی است به این صورت که در مقیاس زمانی شامل سری سالانه به سری‌های کوچکتر از سال و در مقیاس مکانی شامل تفکیک جریان رودخانه در شاخه‌ی اصلی به جریان در شاخه‌های فرعی متعلق به شاخه اصلی می‌باشد. در این پژوهش جهت تفکیک سری‌های سالانه به سری‌های شش ماهه و ماهانه (تفکیک زمانی) با استفاده از مدل‌های پایه و مبسوط و انجام تفکیک مکانی با مدل مشابه مدل مبسوط از آمار آبدهی برخی از رودخانه‌های حوزه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه استفاده شده است. نتایج بیانگر سازگاری مدل‌های تفکیک‌کننده با سری‌های نرمال، کسب جواب‌های با اطمینان بالا توسط مدل مبسوط با استفاده از معیار RMSE و ثبات میانگین و انحراف معیار بین سری‌های مشاهداتی و تفکیکی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبدهی رودخانه، روش تفکیک‌کننده، مدل

پایه، مدل مبسوط

۱- نویسنده مسئول و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی kholghi@ut.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده آب و خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی. iparviz@ut.ac.ir



شکل ۱- نمایش تفکیک زمانی

شده است. از هدف‌های دیگر پژوهش می‌توان به تاثیر طول دوره آماری و نوع سری‌های اصلی بکار گرفته شده در مقادیر تفکیک شده اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

از مدل‌سازی استوکاستیک سری‌های زمانی در شبیه‌سازی طرح‌ها و بهره‌برداری و مدیریت سامانه‌های منابع آب استفاده شده است [۱]. در این میان مدل‌های استوکاستیک که سری‌های زمانی را در مقیاس‌های گوناگون در برمی‌گیرند (مدل‌های چند سطحی) توجه زیادی را به سوی خود معطوف کرده‌اند. در مدل‌های چند سطحی، داده‌ها از یک سطح به سطح دیگر انتقال داده می‌شوند و یا به بیان دیگر حفظ می‌شوند. در این میان می‌توان به مدل‌سازی تفکیک‌کننده اشاره کرد.

مدل‌سازی تفکیک‌کننده فرآیندی با تفکیک سری‌های اصلی (مستقل) به سری‌های فرعی (وابسته) می‌باشد که سری‌های اصلی در صورت عدم وجود، توسط سایر مدل‌های استوکاستیک قابل دستیابی می‌باشند. عمل تفکیک از راه مدل خطی انجام می‌گیرد. تفکیک زمانی و مکانی از جمله مهمترین تقسیم‌بندی‌های روش تفکیک‌کننده می‌باشند. تفکیک زمانی عبارت است از تفکیک سری‌های زمانی سالانه به سری‌های زمانی فصلی، مانند تفکیک سری سالانه (اصلی) به شش ماهه (فرعی) و سری شش ماهه (اصلی) به هفته‌ای دوبار. این مدل تفکیک‌کننده تنها به یک سطح محدود نمی‌باشد بلکه ممکن است شامل تفکیک در چندین سطح باشد مانند شکل (۱) که هر دو شکل تفکیک جریان سالانه به ماهانه را نشان می‌دهند با این تفاوت که در قسمت چپ شکل (۱) تفکیک زمانی در یک گام و در قسمت راست شکل (۱)، شامل دو گام است

نخستین مدل پذیرفته شده توسط والنسیا و اسپچاک [۱۱] بود که مدل پایه نامگذاری شده است. مچیا و رسل [۶] مدل مبسوط را جهت رفع کاستی مدل پایه ارائه دادند [۱۰]. بیشتر روندهای تفکیک‌کننده در چارچوب زمانی بوده است، ولی لین همان مفاهیم را در چارچوب مکانی بکار برده است. همچنین لین در گسترش نرم‌افزارهای جامع کامپیوتری برای کاربرد عملی تکنیک‌های استوکاستیک در هیدرولوژی تلاش‌هایی کرده است که می‌توان به نرم‌افزار LAST اشاره کرد. استدینگر و وگل [۲] در مورد این که کدامیک از ویژگی‌ها در یک تفکیک چند فصلی و چند مکانی مهم است و کدام مدل جهت این امر باید استفاده شود، بحث کردند که سرانجام نرم‌افزار SPIGOT که بر پایه‌ی روندهای موجود در مقاله‌های استدینگر بود را ارائه کردند. ماهیلا و پررا [۴] جهت تفکیک سری‌های سطح بالا به سری‌های سطح پایین از روش قطعه‌بندی^۱ استفاده کردند که قطعه‌بندی ماهانه، نسبت مقادیر ماهانه به مقادیر سالانه است که این روش ابتدا با عنوان مدل دو ردیفی و سپس به عنوان روش قطعه‌بندی مصنوعی بیان شد. گفتنی است که پژوهش‌هایی نیز در مورد استفاده از مدل‌های ناپارامتری و یا به بیان دیگر مبتنی بر روش‌های ناپارامتری برآورد چگالی به روش k نزدیکترین همسایه و یا انجام تفکیک زمانی با استفاده از مدل‌های سری زمانی چند متغیره انجام گرفته است [۳، ۷، ۹].

هدف اصلی این پژوهش استفاده از مدل‌های پایه و مبسوط جهت تفکیک زمانی و مکانی است. از تفکیک زمانی جهت تفکیک سری‌های سالانه‌ی جریان رودخانه به سری‌های شش ماهه و ماهانه و از تفکیک مکانی جهت تفکیک آمار آبدهی ایستگاه‌ها بر روی شاخه‌ی اصلی به جریان ایستگاه‌ها بر روی شاخه‌های فرعی استفاده

1- Fragment

محاسبه‌ی پارامتر A به گونه‌ی مستقیم امکان پذیر است، ولی پارامتر B را نمی‌توان به گونه‌ی مستقیم محاسبه کرد بلکه شرط لازم و کافی برای محاسبه‌ی پارامتر B، مثبت نیمه قطعی بودن ماتریس است. با در نظر گرفتن B به صورت ماتریس پایین مثالی و با فرض $BBT = K$ ، محاسبه ماتریس B با روابط زیر انجام می‌گیرد.

$$B_{11} = \sqrt{K_{11}} \quad (7)$$

$$B_{ij} = \frac{K_{ji}}{B_{jj}} \quad j=1 \quad i=2, \dots, n \quad (8)$$

$$B_{ij} = \sqrt{K_{ij} - \sum_{f=1}^{j-1} (B_{jf} \cdot B_{if})^2} \quad j=2, \dots, n \quad i=j \quad (9)$$

$$B_{ij} = \frac{K_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} (B_{jk} \cdot B_{ik})}{b_{jj}} \quad j=2, \dots, n-1, \quad i=j+1, \dots, n \quad (10)$$

$$B_{ij} = 0 \quad i < j \quad (11)$$

n: اندازه‌ی ماتریس B است. از مزایای مدل پایه سادگی و فرم مشخص آن است. از کاستی‌های مدل نا سازگاری گشتاورهای حفظ شده و یا به بیان دیگر ناتوانی در حفظ همبستگی جریان‌های فصلی در دو سال متوالی می‌باشد [۸].

مدل مبسوط

مدل مبسوط توسط مجیا و رسل بیان شد و مشابه مدل پایه است با این تفاوت که این مدل حاوی یک پارامتر اضافی جهت حفظ کوواریانس بین فصل‌های جاری و گذشته است و باعث ایجاد ارتباط با گذشته در سطح فصلی نیز خواهد شد. این مدل افزون بر همبستگی‌های حفظ شده در مدل پایه، همبستگی‌های فصل به فصل را نیز حفظ می‌کند.

$$Y = AX + B\varepsilon + CZ \quad (12)$$

Z: ماتریس ستونی حاوی مقادیر فصلی گذشته، C: پارامتر اضافی. برآورد پارامترهای مدل با روابط (۱۳) - (۱۵) انجام می‌گیرد [۶].

$$\hat{A} = (S_{YX} - S_{YZ}S_{ZZ}^{-1}S_{ZX}) (S_{XX} - S_{XZ}S_{ZZ}^{-1}S_{ZX})^{-1} \quad (13)$$

$$\hat{B}\hat{B}^T = S_{YY} - \hat{A}S_{XY} \hat{C}S_{ZY} \quad (14)$$

$$\hat{C} = (S_{YZ} - \hat{A}S_{ZX}) S_{ZZ}^{-1} \quad (15)$$

ماتریس Z در این مدل با در نظر گرفتن سه فصل در یک سال، با رابطه‌ی (۱۶) نمایش داده می‌شود.

به این ترتیب که ابتدا به صورت جریان‌های فصلی (چهار بار در هر سال) و سپس به صورت جریان‌های ماهانه تفکیک شده‌اند. تفکیک مکانی شامل تفکیک جریان رودخانه در ایستگاه اصلی بر روی شاخه اصلی رودخانه به جریان در ایستگاه‌های فرعی بر روی شاخه‌های فرعی متعلق به شاخه اصلی می‌باشد [۵].

از جمله مشخصه‌های مدل سازی تفکیک کننده کاهش شمار پارامترهای مدل است که این کاهش با حداقل خطا در ویژگی‌های آماری مورد نظر داده‌های تفکیک شده انجام می‌گیرد و دیگری انعطاف پذیری این روش در استفاده از سری‌های اصلی پیش بینی شده است. برای مثال روش تفکیک کننده، امکان استفاده از مدل‌های با حضور طولانی مدت را به ویژه در مدل‌های چند ایستگاهی و چند فصلی آسان می‌سازد. مدل‌های مورد استفاده جهت تفکیک زمانی، مدل‌های پایه و مبسوط هستند [۸].

مدل پایه

مدل پایه توسط والنسیا و اسپاک به صورت معادله‌ی (۱) بیان شده است.

$$Y = AX + B\varepsilon \quad (1)$$

X: مقادیر جریان سالانه (سری اصلی)، Y: ماتریس ستونی مقادیر جریان فصلی (سری فرعی)، A و B: پارامترهای مدل، ε : جزء استوکاستیک مدل با توزیع نرمال استاندارد. پارامترهای این مدل کوواریانس‌های بین جریان سالانه و فصلی و همچنین واریانس و کوواریانس جریان فصلی را حفظ خواهند نمود. مسئله مهم پیروی سری‌های اصلی و فرعی از توزیع نرمال با میانگین صفر جهت تفکیک زمانی و مکانی می‌باشد به این صورت که سری‌های زمانی اصلی و فرعی با توجه به تبدیل‌های مربوطه نرمال می‌شوند و گام بعدی تفاضل گیری میانگین از سری‌های تبدیل یافته می‌باشد. پس از دستیابی به مقادیر تفکیک شده با استفاده از مدل‌های تفکیک کننده، مقادیر نهایی با اضافه کردن میانگین نظیر و تبدیل معکوس، محاسبه می‌شوند. محاسبه‌ی پارامترها با معادله‌های (۲) و (۳) انجام می‌گیرد [۱۱].

$$\hat{A} = S_{YX} S_{XX}^{-1} \quad (2)$$

$$\hat{B}\hat{B}^T = S_{YY} - S_{YX} S_{XX}^{-1} S_{XY} \quad (3)$$

S_{YX} : ماتریس کوواریانس سری‌های سالانه، S_{XY} : ماتریس کوواریانس بین سری‌های سالانه و فصلی، S_{YY} : ماتریس کوواریانس بین سری‌های فصلی می‌باشند.

$$S_{XX} = E[XX^T] = \frac{\sum_{v=1}^N (X_v X_v^T)}{N-1} \quad (4)$$

$$S_{YX} = E[YX^T] = \frac{\sum_{v=1}^N (Y_v X_v^T)}{N-1} \quad (5)$$

$$S_{YY} = E[YY^T] = \frac{\sum_{v=1}^N (Y_v Y_v^T)}{N-1} \quad (6)$$

$$Z_v = \begin{bmatrix} Y_{v-1,2} \\ Y_{v-1,3} \end{bmatrix} \quad (16)$$

S_{ZZ} : ماتریس کوواریانس بین سری سالانه و سری فرعی با تاخیر زمانی، S_{ZZ} : ماتریس کوواریانس بین سری های فرعی با تاخیر زمانی.

$$S_{ZX} = E[ZX^T] = \frac{\sum_{v=1}^N (Z_v X_v^T)}{N-1} \quad (17)$$

$$S_{ZZ} = E[ZX^T] = \frac{\sum_{v=1}^N (Z_v Z_v^T)}{N-1} \quad (18)$$

مدل تفکیک کننده مکانی

این مدل توسط لین بیان شده است و مشابه مدل تفکیک زمانی مجیا و راسل می باشد.

$$Y = AX + B\varepsilon + CZ \quad (19)$$

Y : ماتریس ستونی جریان سالانه ایستگاه های فرعی، X : ماتریس ستونی جریان سالانه ایستگاه اصلی. Z : ماتریس ستونی جریان سالانه ایستگاه های فرعی با تاخیر زمانی یک سال A ، B و C پارامترهای مدل می باشند. برآورد پارامترها با روابط (۲۰) - (۲۲) انجام می گیرد [۸].

$$\hat{A} = [S_{YX} - S_{YY}(1)S_{YY}^{-1}(1)S_{XY}^T(1)] \quad (20)$$

$$[S_{XX} - S_{XY}(1)S_{YY}^{-1}(1)S_{YX}^T(1)]^{-1} \quad (21)$$

$$\hat{C} = [S_{YX}(1) - \hat{A}S_{XY}(1)]S_{YY}^{-1} \quad (21)$$

$$\hat{B}\hat{B}^T = S_{YY} - \hat{A}S_{XY} - \hat{C}S_{YY}^T(1) \quad (22)$$

روند کلی در مدل سازی مدل های تفکیک کننده

شکل (۲) به گونه ای خلاصه روند مدل سازی مدل های تفکیک کننده را نشان می دهد. مرحله ی نخست شامل رفع کاستی های آماری داده های مشاهداتی، کنترل نرمال بودن داده ها و تعیین تبدیل مناسب است. در مرحله ی دوم متناسب با نوع مدل از معادله های مربوط به برآورد پارامترها استفاده می شود. در مرحله ی سوم تست های استاندارد برازش نکویی در سه مرحله: کنترل همبستگی خطی، کنترل تبدیل های سری ها و کنترل همبستگی های حفظ شده به گونه ای غیرمستقیم انجام می گیرد. در مرحله ی چهارم، مسئله مهم مسئله اسماک پارامترها می باشد که در انتخاب نوع مدل نیز تاثیر دارد. راهنمایی در این مورد وجود دارد به این صورت که R ، نسبت تعداد مشاهدات به پارامترها است. در مرحله ی پنجم با استفاده از اضافه کردن میانگین به سری های بدست آمده و تبدیل معکوس، سری های تفکیک شده بدست می آیند [۸].

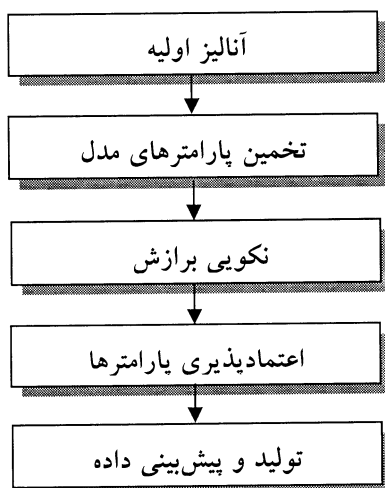
منطقه ی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه ی آبریز دریاچه ی ارومیه می باشد که براساس یکی از تقسیم بندی های حوزه های آبریز کشور، جزء یکی از شش حوزه ی آبریز اصلی کشور بوده و در شمال غرب کشور با مساحت ۵۱۸۶۶ کیلومتر مربع قرار دارد. کوتاه بودن آمار در برخی از ایستگاه های متعلق به شاخه های فرعی و وجود سدهای مهم مانند سد شهید مدنی بر روی رودخانه آجی چای و سد نهند بر روی نهند چای اهمیت انتخاب این حوزه را آشکار می کند.

نتایج و بحث

در گام نخست کنترل نرمال بودن سری های زمانی بکار گرفته شده در مدل های تفکیک کننده، به دلیل کاربرد آنها در مدل های تفکیک کننده و تاکید آن در بخش نکویی برازش این مدل ها ضروری

شکل ۲- نمایش روند مدل سازی مدل های تفکیک کننده



جدول ۱- راهنمای شمار پارامترها

R	حالت
$R < 1$	غیر ممکن
$1 \leq R < 3$	بی تاثیر
$3 \leq R < 5$	ضعیف
$5 \leq R < 10$	نسبتا خوب
$10 \leq R < 20$	خوب
$20 \leq R$	خیلی خوب

جدول ۲ - مقادیر جریان تفکیکی و مشاهداتی (m^3/se)

سال	جریان سعید آباد		جریان نهند		جریان میان حوزه
	مشاهداتی	تفکیکی	مشاهداتی	تفکیکی	تفکیکی
۱۳۷۱-۷۲	۴/۱۹	۴/۶۹	۲۳/۶۷	۲۰/۲۱	۱۸۲/۴۸
۱۳۷۲-۷۳	۵/۹۳	۵/۶۱	۳۰/۳۴	۲۱/۹۹	۲۱۲/۴۳
۱۳۷۳-۷۴	۳/۹۱	۳/۵۷	۱۴/۱۳	۱۴/۷۶	۱۵۵/۶۶

با توجه به جدول (۲)، نکته شایان توجه دبی ایستگاه ورودی سد نهند در سال ۱۳۷۲-۷۳ است که اختلاف جریان تفکیکی با مشاهداتی قدری زیاد است. دلیل این مسئله در مقادیر جریان سالانه در سال‌های گذشته می‌باشد چرا که مقادیر سالانه این ایستگاه به جز در سال ۶۷-۱۳۶۶ که نسبت به دیگر سال‌ها بیشینه است، در محدوده‌های پایین تری است و مدل تفکیک کننده در بر آورد پارامترهای مدل از آمار سال‌های گذشته استفاده می‌کند. نمودار مربوط به جریان‌های مشاهداتی و تفکیکی که در شکل‌های (۴) و (۵) آورده شده است، بیانگر این مطلب است.

در حالت بعدی جهت تعیین چگونگی پیش‌بینی جریان سالانه، مجموع جریان تفکیکی ایستگاه و نیار محاسبه و با جریان سالانه مشاهداتی مقایسه شد که نتایج در جدول (۳) آورده شده است. نتایج جدول (۳) بیان‌کننده‌ی اختلاف کم بین مجموع جریان تفکیکی و مشاهداتی است که این مسئله حاکی از صحت مقادیر تفکیک شده می‌باشد و عدم تطابق کامل به علت تبدیل‌های جهت نرمال کردن است.

تفکیک زمانی

در این بخش از تفکیک زمانی جهت تفکیک سری‌های سالانه به شش ماهه و تفکیک سری‌های سالانه به ماهانه استفاده شده است. مدل‌های مورد استفاده جهت تفکیک زمانی، مدل‌های پایه و مبسوط می‌باشند.

برای مقایسه مدل‌ها در تفکیک زمانی از معیار مجموع مربعات خطای ($RMSE^1$) مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی استفاده شده

جدول ۳ - مقایسه بین جریان سالانه‌ی مشاهداتی و مجموع تفکیکی (m^3/se)

سال	جریان سالانه مشاهداتی	جریان سالانه مجموع مقادیر تفکیکی
۱۳۷۱-۷۲	۲۰۹/۵۹	۲۰۷/۳۸
۱۳۷۲-۷۳	۱۷۶/۲۳	۲۴۰/۰۳
۱۳۷۳-۷۴	۲۴۱/۳۲	۱۷۳/۹۹

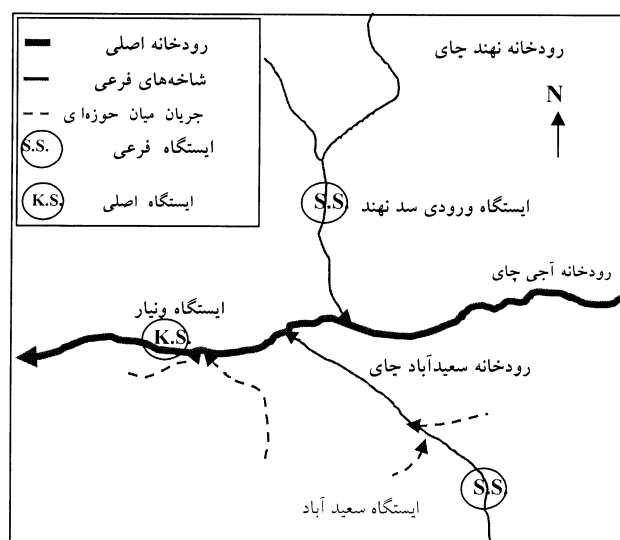
1- Root Mean Square Error

می‌باشد. به همین جهت در این پژوهش، کنترل نرمال بودن سری‌های زمانی جریان رودخانه توسط نرم‌افزار MINITAB14/5 و در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام گرفته است. وجود میانگین صفر پس از مرحله نرمال کردن در مورد سری‌های نرمال شده لازم است که با تفاضل گیری میانگین از سری‌های تبدیل یافته بدست می‌آید. برنامه‌هایی در محیط MATLAB7 با هدف نرمال کردن سری‌ها با میانگین صفر و تفکیک زمانی و مکانی بر پایه مدل‌های تفکیک کننده و انجام تبدیل معکوس تدوین گردیده است.

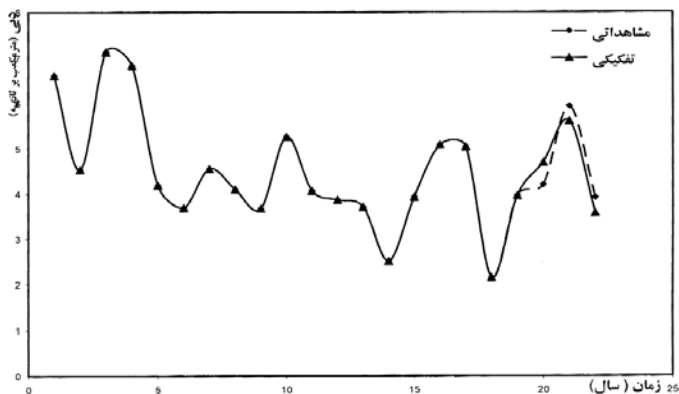
تفکیک مکانی

نخستین گام در تفکیک مکانی، گزینش شاخه‌های اصلی و فرعی است که گزینش شاخه‌ها بر این اساس است که مجموع جریان در ایستگاه‌های فرعی بر روی شاخه‌های فرعی، جریان در ایستگاه اصلی بر روی شاخه اصلی را نتیجه دهد. با توجه به نقشه‌ی حوزه آبریز دریاچه‌ی ارومیه و با توجه به شاخص یادشده اقدام به انتخاب ایستگاه اصلی بر روی شاخه اصلی (رودخانه اصلی) و ایستگاه‌های فرعی بر روی شاخه‌های فرعی می‌شود. از جمله ایستگاه‌هایی که از چنین شاخصی پیروی می‌کنند می‌توان به سه ایستگاه و نیار (اصلی) بر روی رودخانه آجی چای، ایستگاه ورودی سد نهند (فرعی) بر روی رودخانه نهند چای و ایستگاه سعیدآباد (فرعی) بر روی رودخانه سعیدآباد چای اشاره کرد.

بر اساس یک قانون متداول استفاده از ۸۵ تا ۹۵ درصد مشاهدات برای برآورد پارامترها و سایر داده‌ها برای ارزیابی پیش‌بینی‌ها انجام می‌گیرد. آمار مشترک بین سه ایستگاه ۲۲ سال و به ترتیب از سال (۱۳۵۲-۵۳) تا (۱۳۷۳-۷۴) می‌باشد که بر اساس قانون بیان شده، ۱۹ سال از آمار موجود جهت برآورد پارامترهای مدل و سه سال جهت ارزیابی پیش‌بینی‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از مقادیر تفکیک شده در جدول (۲) آورده شده است.



شکل ۳ - نمایش موقعیت ایستگاه‌ها



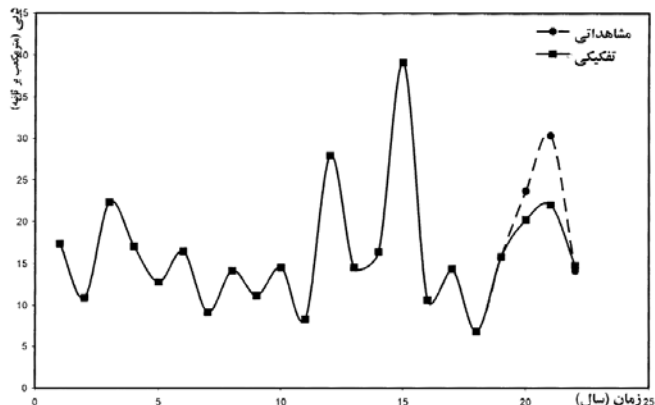
شکل ۴ - جریان مشاهداتی و تفکیکی ایستگاه سعیدآباد

شایان توجهی داشته است در حالی که محاسبه‌ی تمام ماتریس‌های همبستگی و برآورد پارامترهای مدل براساس داده‌های سال‌های گذشته می‌باشد که در سال‌های گذشته چنین روندی وجود نداشته است.

مقایسه‌ی بین جریان مشاهداتی و تفکیکی توسط معیار RMSE در جدول (۵) آورده شده است که کمترین RMSE مربوط به مدل مبسوط (اختلاف کم بین جریان مشاهداتی و تفکیکی مدل مبسوط) است. همچنین مقادیر RMSE سالانه نسبت به مقادیر RMSE شش ماهه‌ی نخست و دوم کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است.

همچنین مقایسه‌ی بین ویژگی‌های آماری (میانگین و انحراف معیار) سری‌های تفکیکی و مشاهداتی انجام گرفت که نتایج در جدول (۶) آورده شده است. این مقایسه بیانگر حفظ ویژگی‌های آماری توسط مدل‌های پایه و مبسوط است.

مسئله‌ی دیگری که در این پژوهش به آن پرداخته شد، شمار سال‌های آماری مورد استفاده در مدل‌های تفکیک کننده می‌باشد. در این حالت از ۲۲ سال جریان مشاهداتی استفاده شد که در مقایسه با حالت استفاده از ۳۲ سال جریان مشاهداتی، اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و تفکیکی بیشتر است. زیرا محاسبه ماتریس کوواریانس‌ها که براساس داده‌های جریان‌های مشاهداتی سال‌های گذشته می‌باشد، در این حالت دقیق‌تر است به گونه‌ای که مقایسه‌ی



شکل ۴ - جریان مشاهداتی و تفکیکی ایستگاه نهند

است که برای هر مدلی که این معیار کمینه باشد، برازش بیشتری با سری مشاهداتی خواهد داشت.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_f - Q_o)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

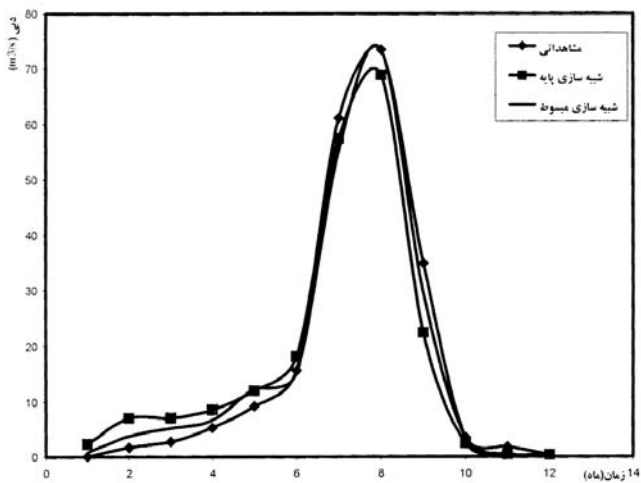
Q_f : جریان پیش‌بینی شده، Q_o : جریان مشاهداتی و N : شمار سال‌های آماری می‌باشد. ایستگاه مورد نظر جهت تفکیک زمانی ایستگاه و نیار می‌باشد. شمار سال‌های آماری مورد استفاده ۳۲ سال آمار به ترتیب از سال‌های (۴۰-۱۳۳۹) تا (۷۰-۱۳۷۱) و سال‌های پیش‌بینی (۷۲-۱۳۷۱) تا (۷۷-۱۳۷۶) می‌باشند. نتایج تفکیک سری سالانه به صورت گرافیکی در شکل‌های (۶) تا (۱۱) سری سالانه به ماهانه به صورت گرافیکی در شکل‌های (۶) تا (۱۱) نشان داده شده است (در جدول (۴)، F.S نماد شش ماه نخست، S.S نماد شش ماه دوم، b نماد مدل پایه و e نماد مدل مبسوط است). مقایسه نمودارها بیان‌کننده‌ی اختلاف کم بین مقادیر مشاهداتی و تفکیکی می‌باشد به جز در ماه دی ۷۳-۱۳۷۲ و یا ماه آذر در ۷۴-۱۳۷۳ که دبی این ماه‌ها در سال‌های پیش‌بینی نسبت به دبی در سال‌های مشاهداتی بیشینه می‌باشند و یا ماه مهر و آبان در سال ۷۷-۱۳۷۶ که دبی این دو ماه در این سال نسبت به سال‌های پیش‌کاهش

جدول ۵- مقادیر RMSE

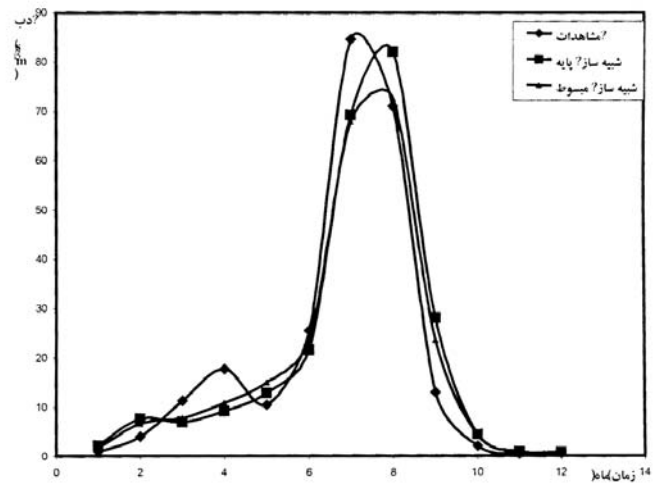
مدل	۱۳۷۱-۷۲	۱۳۷۲-۷۳	۱۳۷۳-۷۴	۱۳۷۴-۷۵	۱۳۷۵-۷۶	۱۳۷۶-۷۷
پایه	۴/۷۴	۷/۷۲	۳/۳۲	۴/۲۲	۲/۷۸	۲/۱۸
مبسوط	۲/۷۱	۶/۳۸	۲/۷	۴/۱۸	۲/۴۵	۲/۱

جدول ۵- مقادیر RMSE

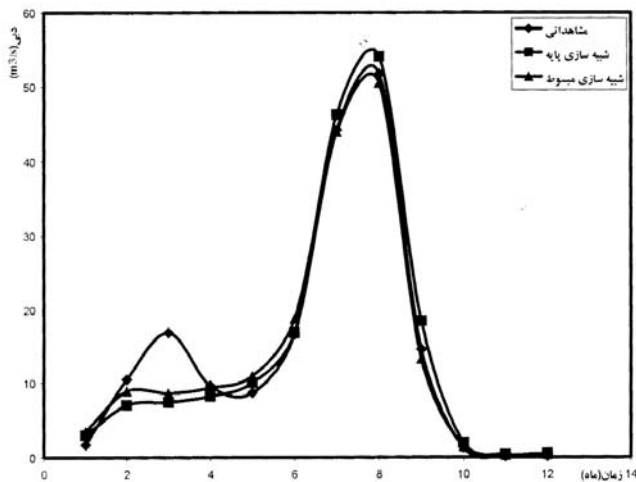
سال	F.S(b) (dis)	F.S(b) (obs)	S.S(b) (obs)	S.S(b) (dis)	F.S(e) (dis)	F.S(e) (obs)	S.S(e) (obs)	S.S(e) (dis)
۱۳۷۱-۷۲	۴۷/۴۵	۳۴/۶۳	۱۷۳/۹۶	۱۵۳/۱۸	۳۳/۳۶	۳۴/۶۳	۱۷۳/۹۳	۱۷۴/۹۳
۱۳۷۲-۷۳	۶۳/۸۴	۶۹/۷	۱۷۱/۶۳	۱۷۵/۴۲	۵۸/۹۱	۶۹/۷	۱۷۱/۶۳	۱۷۹/۳۳
۱۳۷۳-۷۴	۳۰/۶۱	۶۴/۱۴	۱۱۲/۰۸	۱۵۱/۶	۶۹/۲۲	۶۴/۱۴	۱۱۲/۰۸	۱۱۱/۳۳
۱۳۷۴-۷۵	۶۲/۸۵	۳۵/۹۳	۹۵/۲۳	۷۰/۷۵	۴۷/۲۹	۳۵/۹۳	۹۵/۲۳	۸۱/۶۳
۱۳۷۵-۷۶	۴۲/۴۵	۳۱/۳۶	۸۱/۶۹	۷۰/۳۸	۳۵/۲۱	۳۱/۳۶	۸۱/۶۹	۷۴/۵۳
۱۳۷۶-۷۷	۷۳/۲۶	۳۰/۵۱	۴۵/۶۵	۵۰/۴۱	۲۳/۴۹	۳۰/۵۱	۴۵/۶۵	۵۱/۹۵



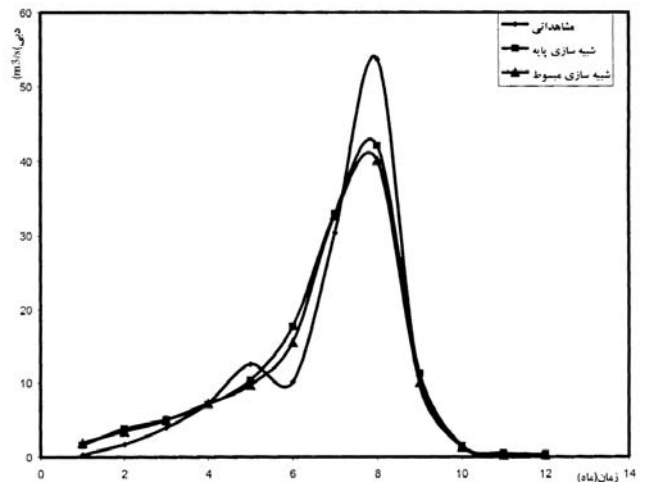
شکل ۶ - جریان ماهانه مشاهداتی و تفکیکی سال ۱۳۷۱ - ۷۲



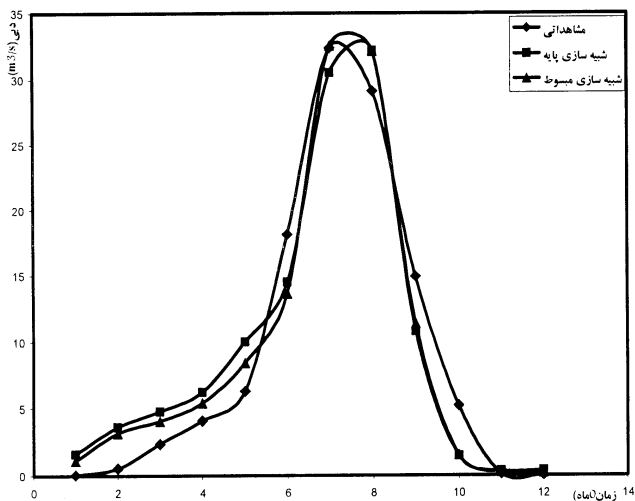
شکل ۷ - جریان ماهانه مشاهداتی و تفکیکی سال ۱۳۷۲ - ۷۳



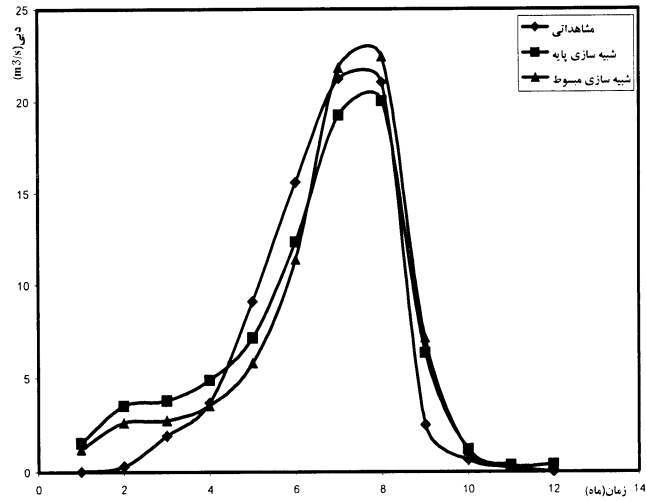
شکل ۸ - جریان ماهانه مشاهداتی و تفکیکی سال ۱۳۷۳ - ۷۴



شکل ۹ - جریان ماهانه مشاهداتی و تفکیکی سال ۱۳۷۴ - ۷۵



شکل ۱۰ - جریان ماهانه مشاهداتی و تفکیکی سال ۷۶ - ۱۳۷۵



شکل ۱۱ - جریان ماهانه مشاهداتی و تفکیکی سال ۷۷ - ۱۳۷۶

جدول ۶ - مقایسه بین خصوصیات آماری (m^3/se)

مدل	خصوصیات آماری	۱۳۷۱-۷۲	۱۳۷۲-۷۳	۱۳۷۳-۷۴	۱۳۷۴-۷۵	۱۳۷۵-۷۶	۱۳۷۶-۷۷
مشاهداتی	میانگین	۱۷/۴۶	۲۰/۱۱	۱۴/۶۸	۱۰/۹۳	۹/۴۲	۶/۳۴
مشاهداتی	انحراف معیار	۲۵/۳۲	۲۸/۱۸	۱۶/۷۹	۱۵/۹۷	۱۱/۵۵	۸/۳۱
پایه	میانگین	۱۷/۲۵	۲۰/۴۸	۱۴/۵۳	۱۱/۲	۹/۶۹	۶/۷۲
پایه	انحراف معیار	۲۵/۳۲	۲۸/۱۸	۱۶/۷۹	۱۵/۹۷	۱۱/۵۵	۸/۳۱
مبسوط	میانگین	۱۷/۲	۲۰	۱۴/۱۶	۱۰/۷	۹/۴۷	۶/۶۹
مبسوط	انحراف معیار	۲۳/۸۲	۲۴/۹۷	۱۶/۴۶	۱۳/۱	۱۱/۵۱	۸/۰۰۷

استوار است که هر مرتبه‌ای که معیار آکائیک کمتر داشته باشد، برازش بهتری با سری مشاهداتی خواهد داشت. در این پژوهش از نرم افزار SPSS 11/5 جهت تعیین این معیار و سپس انتخاب نوع مدل استفاده شده است. جهت برازش مدل استوکاستیکی برای سری جریان رودخانه سالانه ایستگاه و نیار با سال‌های آماری (۲۹-۱۳۲۸) تا (۵۰-۱۳۴۹)، مدل $ARMA(1,1)$ از بین مدل‌های گوناگون دارای کمترین معیار آکائیک ($AIC=270/8$) می‌باشد و به عنوان مدل منتخب برای سری یادشده در نظر گرفته شد و با استفاده از نرم افزار MINITAB14 به پیش‌بینی جریان سالانه سال‌های (۵۱-۱۳۵۰) تا (۵۲-۱۳۵۱) پرداخته شد.

این جدول بیان‌کننده اختلاف کم بین مقادیر مشاهداتی و تفکیکی می‌باشد. مقایسه نتایج تفکیک ماهانه توسط معیار RMSE انجام گرفته و در جدول (۹) آورده شده است.

مشاهده‌ی جریان پیش‌بینی شده سالانه مبین نزدیکی جریان پیش‌بینی شده در سال (۵۲-۱۳۵۱) با جریان مشاهداتی می‌باشد که این برآورد در این سال تاثیر مثبت خود را در مقادیر تفکیکی گذاشته است. جریان سالانه با مجموع مقادیر تفکیکی حاصل از

میانگین RMSE در جدول (۷) نیز بیان‌کننده این مطلب است. بخش دیگر تفکیک مکانی ایستگاه و نیار مربوط به پیش‌بینی مقادیر جریان سالانه ایستگاه و نیار و استفاده از این مقادیر برای تفکیک مکانی می‌باشد. در این حالت نیاز به برازش یک مدل استوکاستیکی برای سری سالانه جریان رودخانه ایستگاه و نیار می‌باشد که گزینش مدل‌های گوناگون براساس تست معیار آکائیک (AIC) است.

$$AIC(i) = N \ln(\sigma_{ei}^2) + 2n_i \quad (24)$$

i: دلالت بر شمار مدل منتخب، n: شمار پارامترهای مدل، N: تعداد داده، انحراف معیار مدل می‌باشد. این تست بر این مینا

جدول ۷ - مقایسه بین RMSE

مدل	میانگین RMSE با ۲۲ سال آمار	میانگین RMSE با ۳۲ سال آمار
پایه	۹/۰۱	۴/۰۵
مبسوط	۶/۲۳	۲/۴۹

جدول ۸- نمایش جریان پیش بینی شده با جریان مشاهداتی
(m³/se)

سال	جریان مشاهداتی	جریان پیش بینی
۱۳۵۰-۵۱	۱۹۳/۷۸	۱۸۳/۳۷
۱۳۵۱-۵۲	۱۸۵/۵	۱۸۳/۴۸۵

سری های اصلی مشاهداتی در مقایسه با مجموع مقادیر تفکیکی حاصل از مقادیر پیش بینی (اصلی)، به مقادیر مشاهداتی نزدیکتر می باشند، ولی از آنجا که اختلاف بین جریان پیش بینی شده با جریان مشاهداتی کم است، مجموع مقادیر تفکیکی حاصل از مقادیر پیش بینی نیز به مقادیر مشاهداتی نزدیک است به ویژه در سال (۵۲-۱۳۵۱). در مورد سری های ماهانه نیز مقادیر RMSE در حالت سری های اصلی مشاهداتی نسبت به سری های اصلی پیش بینی شده، کاهش یافته است، ولی این کاهش خیلی زیاد نیست به ویژه در سال (۵۲-۱۳۵۱) که این مقادیر نسبتا مشابه هم می باشند.

واسنجی و صحت سنجی

واسنجی مدل شامل فرآیندی است که طی آن پارامترهای یک مدل براساس داده های مشاهده شده مسئله مورد نظر پیش بینی، مشخص می گردند. منظور از صحت سنجی تعیین میزان صحت مقادیر پیش بینی شده می باشد که با استفاده از معیار RMSE می توان به این مسئله رسید. در تفکیک زمانی (۲۲ سال) از ۹ سال نخست آمار این ایستگاه (۵۳-۱۳۵۲) تا (۶۸-۱۳۷۷) جهت واسنجی استفاده شد و مقایسه بین میانگین RMSE واسنجی با میانگین RMSE صحت سنجی مبین کوچک بودن میانگین RMSE واسنجی نسبت به میانگین RMSE صحت سنجی می باشد.

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش از مدل های تفکیک کننده جهت تفکیک زمانی و مکانی استفاده شده است. نتایج بدست آمده بیانگر سازگاری زیاد مدل های تفکیک کننده نسبت به سری های نرمال بودند زیرا کسب پاسخ های با اطمینان بالا در مورد سری های نرمال با این مدل ها امکان پذیر بود. به گونه ای که تاثیر این مطلب در مورد تفکیک مکانی به دلیل استفاده از سری های سالانه که بیشتر تمایل به توزیع نرمال دارند، مشاهده شد. مقایسه ی بین جریان مشاهداتی با مجموع مقادیر تفکیکی حاکی از عدم تطابق کامل (وجود اختلاف ناچیز) بین این مقادیر است که دلیل این موضوع در انجام تبدیل های مربوط جهت نرمال سازی سری ها می باشد. مقادیر جریان تفکیکی حاصل از سری های اصلی مشاهداتی نسبت به مقادیر تفکیکی حاصل از سری های اصلی پیش بینی شده توسط مدل های استوکاستیکی از اطمینان بیشتری برخوردار است، ولی

جدول ۹- مقادیر RMSE

سال	جریان مشاهداتی	جریان پیش بینی
۱۳۵۰-۵۱	۹/۰۳۱	۹/۷
۱۳۵۱-۵۲	۷/۰۰۹	۶/۲۸

جدول ۱۰- نتایج واسنجی و صحت سنجی

مدل	جریان مشاهداتی	جریان پیش بینی
پایه	۴/۴۱	۹/۰۱
مبسوط	۳/۹۷	۶/۲۳

در صورت انتخاب مدل مناسب برای سری های سالانه، این اختلاف کاهش خواهد یافت. مدل های مورد استفاده در این پژوهش جهت تفکیک زمانی، مدل های پایه و مبسوط بودند و معیار RMSE جهت مقایسه بین مدل ها بکار برده شده است. با توجه به نتایج مدل مبسوط پاسخ های بهتری نسبت به مدل پایه داشت و مقدار RMSE این مدل نیز کمینه بود. دلیل این مطلب در وجود یک ترم اضافی (CZ) در ساختار مدل مبسوط می باشد که این ترم باعث حفظ کوواریانس بین فصل های جاری و گذشته می شود. با توجه به نتایج تفکیک زمانی ایستگاه و نیار می توان به تاثیر میزان طول دوره آماری جهت مدل سازی و تعیین ماتریس گشتاورها و برآورد پارامترها پی برد چرا که با افزایش طول دوره ی آماری (از ۲۲ سال به ۳۲ سال) اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و تفکیکی کاهش یافت. همچنین اختلاف بین میانگین و انحراف معیار سری های مشاهداتی و تفکیکی، یعنی حفظ خصوصیات آماری توسط مدل های تفکیکی که از جمله مشخصه های این مدل ها می باشد، کم است.

منابع

- 1- Bartolini, P. and Salas, J. 1993. Modeling of Streamflow Processes at Different Time Scales. Water Resources Research. 29(8): 2573-2587.
- 2- Grygier, J.C. and Stedinger, J.R. 1988. Condensed Disaggregation Procedures and Conservation Corrections for Stochastic Hydrology, Water Resources Research, 24(10): 1574-1584.

- 8- Salas, J.D. Delleur, V. and Lane, W.L. 1988. Applied Modeling of Hydrologic Time Series. Water Resour. Publ. Littleton, Colo.
- 9- Sharma, A. and Lall, U. 1996. A nearest neighbor bootstrap for resampling hydrologic time series. Water Resources Research. 32(3): 679-693.
- 10- Srikanthan, R. and Mamahan, T.A. 2001. Stochastic generation of annual, monthly and daily climate data. Hydrology and Earth System Sciences.5(4):653-670.
- 11- Valencia, D. and Schaake, J.C. 1973. Disaggregation processes in stochastic hydrology. Water Resources Research. 9(3): 580-585.
- 3- Kumar, D.N., Lall, U. and Peterson, M.R. 2000. Multisite disaggregation of monthly to daily streamflow. Water Resources Research. 36(7): 1823-1833.
- 4- Maheepala, S. and Perera, B.J.C. 1996. Monthly hydrologic data generation by disaggregation. Journal of Hydrology. 178: 277-291.
- 5- Maidment, D.R. 1992. Handbook of Hydrology. McGraw- Hill, Inc. 19. 34.
- 6- Mejia, J. and Rousselle, J. 1976. Disaggregation models in Hydrology Revisited. Water Resources Research. 12(2): 185-186.
- 7- Moauro, F. and Savio, G. 2005. Temporal disaggregation using multivariate structural time series models. Econometrics Journal. 8(2): 214-234.