

## تعیین مدل مناسب برای پیش‌بینی قیمت مس

علی اصغر خدایاری

عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

محمدعلی رحیمی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۴/۱/۳۱، تاریخ تصویب ۸۴/۴/۱۱)

### چکیده

هرگونه برنامه‌ریزی برای آینده مستلزم داشتن برآورد از وضعیت آتی می‌باشد، و این کار فقط با پیش‌بینی میسر است. بنگاههای تولیدی برای انجام برنامه‌ریزی تولید، تجزیه و تحلیل اقتصادی پروژه‌ها، بررسی سرمایه‌گذاری جدید جهت توسعه و مواردی از این قبیل به پیش‌بینی قیمت محصول احتیاج دارند. در این مقاله قیمت مس در سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ به روشهای: میانگین متحرک، میانگین متحرک وزنی، هموارسازی نمایی، و هموارسازی نمایی تعدیل شده برآورد گردیده و سپس نتایج پیش‌بینی با قیمت‌های واقعی مقایسه شده‌اند، و در نهایت روشهای مختلف به وسیله دو شاخص اعتبارسنجی میانگین قدرمطلق انحرافها (MAD) و نشانگر ردیاب (TS) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتیجه بررسی نشان داد که مدل هموارسازی نمایی تعدیل شده با پارامترهای  $\alpha = 0.9$  و  $\beta = -0.2$  بهترین پاسخ را می‌دهد، و قیمت مس در سال ۲۰۰۵ با استفاده از این مدل ۱۱۷/۳۷ سنت بر پوند تخمین زده می‌شود.

**واژه های کلیدی:** پیش بینی، پیش بینی، میانگین قدرمطلق خطاها، نشانگر ردیاب، میانگین متحرک، میانگین متحرک وزنی، هموارسازی نمایی، هموارسازی نمایی تعدیل یافته

### مقدمه

زمانی در پیش‌بینی کوتاه مدت معمولاً کمتر از یکسال و نوعاً کمتر از سه ماه است. کاربرد آن بیشتر در رابطه با تعیین سطح تولید، برنامه ریزی خرید، زمانبندی کار، و مواردی از این قبیل می‌باشد. در پیش‌بینی میان مدت، افق زمانی معمولاً بین سه ماه تا سه سال است و برنامه ریزی فروش، بودجه بندی عملیات تولید، و تجزیه و تحلیل طرحهای عملیاتی مختلف از جمله کاربردهای این پیش‌بینی می‌باشد. افق زمانی در پیش‌بینی دراز مدت سه سال یا بیشتر می‌باشد و این پیش‌بینی در مواردی از قبیل برنامه ریزی برای تولید محصول جدید، جایابی تسهیلات، و سرمایه‌گذاری برای توسعه کسب و کار کاربرد دارد. پیش‌بینیهای درازمدت و میان مدت با موضوعات جامعتر و کلیتری سروکار دارند و در مقابل پیش‌بینیهای کوتاه مدت دارای تنوع روش بیشتری بوده و کمیتر می‌باشند و دقت برآورد در آنها از اهمیت بیشتری برخوردار است [۱].

پیش‌بینی از نظر ماهیت موضوع نیز به سه گروه تقسیم می‌شود. پیش‌بینی اقتصادی، که هدف از آن

پیش‌بینی<sup>۱</sup> را هنر و علم خبر دادن از حوادث آینده تعریف کرده اند [۱]. فرآیند پیش‌بینی معمولاً شامل گرفتن اطلاعات تاریخی و تعمیم آنها به آینده به کمک انواعی از مدل‌های ریاضی می‌باشد. برنامه‌ریزی مؤثر در همه حوزه‌های کسب و کار، مستلزم داشتن پیش‌بینی درست از وضعیت آینده است، و پیش‌بینی یکی از مهمترین ابزارهای مدیران جهت اداره سازمانها، به خصوص در محیط‌های رقابتی می‌باشد. پیش‌بینیها هرگز به طور کامل با واقعیات انطباق نمی‌یابند و هیچ روش منحصر به فردی به عنوان بهترین روش پیش‌بینی وجود ندارد. کار اصلی خیرگان پیش‌بینی، یافتن بهترین مدل ممکن برای موضوع مورد بررسی و انجام پیش‌بینیها با کمترین خطا می‌باشد.

پیش‌بینی را از نظر نوع پیش‌بینی به چهار گروه پیش‌بینی کیفی، تجزیه و تحلیل داده های تاریخی، روابط علت و معلولی، و مدل‌های شبیه سازی، [۲] و از نظر افق زمانی به سه دسته پیش‌بینی کوتاه مدت، پیش‌بینی میان مدت و پیش‌بینی دراز مدت تقسیم می‌کنند. افق

تاریخی و روشهای متکی بر متغیرهای علت ومعلولی تقسیم می‌شوند.

در روشهای کمی مبتنی بر داده‌های تاریخی فرض براین است که در پیش‌بینی به جز داده‌های تاریخی گذشته هیچ عامل دیگر تاثیر ندارد [۲]. میانگین متحرک، هموارسازی نمایی و پیش‌بینی روند اصلترین روشهای موجود برای پیش‌بینی کمی مبتنی بر داده‌های تاریخی می‌باشد. در روشهای کمی مبتنی بر متغیرهای علت و معلولی، علاوه بر روند تاریخی، سایر متغیرهای مؤثر در پیش‌بینی نیز در مدل وارد می‌شوند. این روشها پیچیده‌تر بوده و نوعاً در پیش‌بینیهای درازمدت مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل‌های این روش بیشتر مدل‌های همبستگی خطی یا غیرخطی یک متغیره یا چندمتغیره می‌باشد.

### انتخاب روش پیش‌بینی

انتخاب روش پیش‌بینی به سه عامل اصلی بستگی دارد:

۱. مشخصات موقعیت تصمیم‌گیری، که مواردی از قبیل: افق زمانی، سطح تفصیل و تعداد اقلام مورد بررسی را شامل می‌شود.
۲. مشخصات روشهای پیش‌بینی، که مواردی از قبیل: افق زمانی، الگوی داده‌ها، نوع مدل، هزینه پیش‌بینی، دقت مورد نیاز، و سهولت کاربرد را دربر می‌گیرد.
۳. موقعیت جاری، که مواردی از قبیل: مورد در حال پیش‌بینی، میزان داده‌های در دسترس، و زمان مجاز برای آماده‌سازی پیش‌بینی را شامل می‌شود [۳].

### سنجش اعتبار روشهای مختلف

برای اعتبارسنجی پیش‌بینی، از شاخصهای مختلفی استفاده می‌شود، که دو شاخص میانگین قدرمطلق خطاها<sup>۲</sup> (MAD) و نشانگر ردیاب<sup>۳</sup> (TS) از معمولترین این شاخصها می‌باشند. MAD بیانگر متوسط قدر مطلق انحراف مقادیر پیش‌بینی شده از مقادیر واقعی بوده و TS، دامنه پراکندگی انحرافها را نشان می‌دهد. مقدار این دو شاخص از روابط زیر به دست می‌آید:

$$TS = \frac{D_{cum}}{MAD} \quad , \quad MAD = \frac{\sum |D_i|}{n} \quad (1)$$

تخمین شاخصهای کلیدی حاکم بر محیط کسب و کار از قبیل نرخ تورم، نقدینگی و مواردی از این قبیل می‌باشد. پیش‌بینی فنی، که هدف آن معطوف به پیش‌بینی آهنگ پیشرفت فن آوری می‌باشد که این موضوع می‌تواند بر راهبردهای سازمان تاثیر بگذارد. پیش‌بینی تقاضا یا پیش‌بینی فروش، که هدف اصلی سازمانهای تجاری انجام این نوع پیش‌بینی است که بر هدایت و برنامه ریزی تولید، بازاریابی، برنامه ریزی نیروی انسانی و مواردی از این قبیل تاثیر می‌گذارد [۱]. پیش‌بینی قیمت نیز در همین دسته‌بندی اخیر قرار می‌گیرد.

### مراحل پیش‌بینی

در انجام هر پیش‌بینی طی مراحل هفتگانه زیر ضروری است:

۱. تعیین کاربرد پیش‌بینی .
۲. تعیین موضوع یا موضوعات پیش‌بینی .
۳. تعیین افق زمانی پیش‌بینی .
۴. انتخاب مدل پیش‌بینی .
۵. جمع آوری داده‌های مورد نیاز برای پیش‌بینی .
۶. انجام فرآیند پیش‌بینی .
۷. تایید اعتبار نتایج پیش‌بینی و استفاده از نتایج [۱].

### روشهای پیش‌بینی

روشهای پیش‌بینی به دو گروه اصلی روشهای کیفی و روشهای کمی تقسیم می‌شوند. روشهای پیش‌بینی کیفی بیشتر بر شهود و احساس تصمیم‌گیرندگان، دانش و تجربه خبرگان و مدیران، تجربه دست اندرکاران و تحقیق درباره بازار مصرف متکی می‌باشد. از جمله روشهای کیفی مرسوم می‌توان به پیش‌بینی توسط هیئت داوران متشکل از مدیران و خبرگان موضوع، نظرسنجی از افراد مرتبط با بازار و پیش‌بینی براساس این نظرسنجی، روش دلفی و بررسی بازار مصرف آینده با نظرسنجی از مصرف‌کنندگان اشاره کرد.

اساس بیشتر روشهای کمی بر برآوردن مدل‌های ریاضی بر داده‌های تاریخی می‌باشد. پیش فرض این پیش‌بینی، تصور وجود نوعی پیوستگی و پایداری نهفته در داده‌های گذشته می‌باشد، و با یافتن قانون حاکم بر این یکپارچگی می‌توان مدلی را ایجاد کرد که قابل تعمیم به آینده باشد. این روشها به دو گروه کلی روشهای متکی بر داده‌های

۱۹۹۱ تا ۲۰۰۴ نشان می‌دهند.

### پیش‌بینی قیمت به روش میانگین متحرک<sup>۴</sup> (MA)

در این روش قیمت برآورد شده برای هر سال معادل میانگین قیمت‌های واقعی در چند سال گذشته می‌باشد. با توجه به بررسی‌های انجام شده معلوم شد که در این روش، بهترین پاسخها مربوط به استفاده از قیمت سه سال آخر می‌باشد، که نتایج حاصل از آن در جدول (۲) خلاصه شده است. همان طوری که دیده می‌شود، بیشتر خطاها منفی هستند و از میان TSها فقط ۵۰ درصد بین ۲ و ۲- و ۷۰ درصد بین ۳ و ۳- قرار دارند. یعنی بیشتر قیمت‌ها بالاتر از قیمت واقعی برآورد شده و پیش‌بینی فاقد اعتبار قابل قبول است.

شکل (۲) نیز انحراف مقادیر پیش‌بینی را، از قیمت‌های واقعی نشان می‌دهد.

### پیش‌بینی قیمت به روش میانگین متحرک وزنی<sup>۵</sup> (WMA)

در این روش ضمن استفاده از روش میانگین متحرک، به مقادیر نزدیکتر به سال پیش‌بینی، وزن بیشتری داده می‌شود، و این وزنها طوری انتخاب می‌گردند که مجموع آنها معادل ۱ شود.

در روابط فوق  $D_i$  خطای پیش‌بینی دوره  $i$ ام،  $n$  تعداد پیش‌بینیها، و  $D_{cum}$  خطای تجمعی (مجموع خطای پیش‌بینی دوره جاری و خطاهای پیش‌بینیهای دوره‌های قبل) می‌باشد.

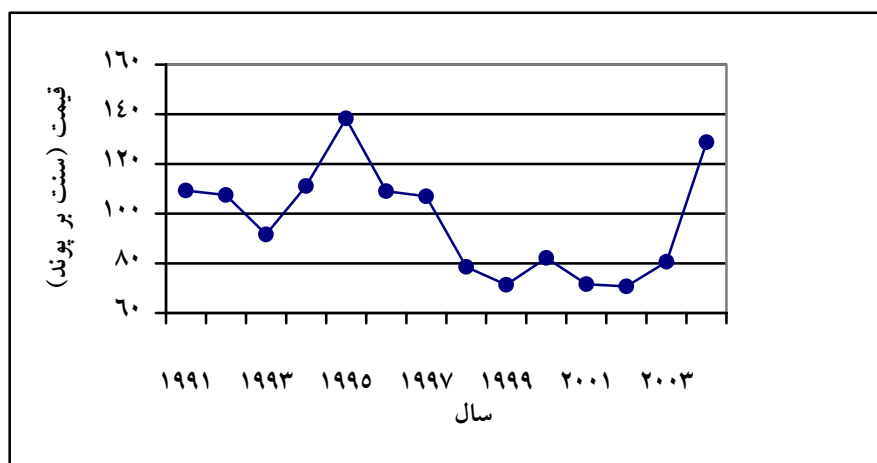
منفی بودن مقدار خطای  $D_i$  به مفهوم بالاتر بودن پیش‌بینی نسبت به قیمت واقعی بوده و مثبت بودن آن به معنی پایینتر بودن آن است. در یک پیش‌بینی منطقی و مناسب اولاً تعداد خطاهای منفی و مثبت باید نزدیک به هم باشد، و ثانیاً مقدار نشانگر ردیاب در محدوده معینی تغییر کند. اگر ۸۹ درصد TSها بین ۲ و ۲-، ۹۸ درصد آنها بین ۳ و ۳-، و ۹۹/۹ درصد آنها بین ۴ و ۴- قرار داشته باشد، پیش‌بینی از اعتبار مناسبی برخوردار خواهد بود [۱].

### پیش‌بینی کوتاه مدت فلز مس

پیشنهاد مدلی برای پیش‌بینی قیمت سالانه مس، هدف اصلی این مقاله می‌باشد. بدین منظور پیش‌بینی قیمت مس با استفاده از روشهای مختلف کمی مبتنی بر داده‌های تاریخی، انجام خواهد گردید و در نهایت با محاسبه شاخصهای اعتبارسنجی پیش گفته برای هر کدام از روشها، نتایج حاصل باهم مقایسه خواهند شد. جدول (۱) و شکل (۱) قیمت فلز مس را طی سالهای

جدول ۱: قیمت مس در سالهای ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۴ (بر حسب سنت بر پوند) [۴].

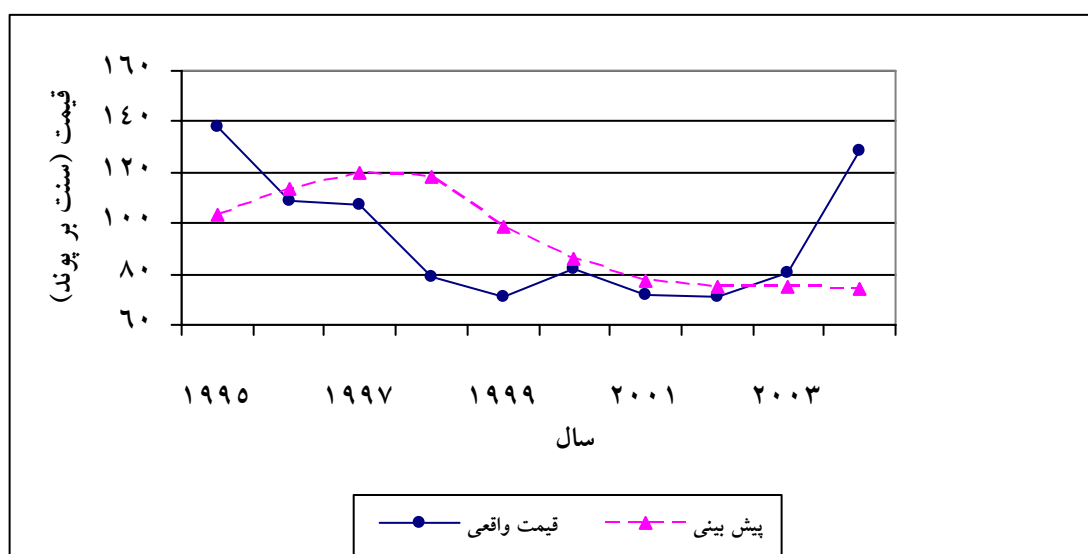
سال	۱۹۹۱	۱۹۹۲	۱۹۹۳	۱۹۹۴	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴
قیمت	۱۰۹/۳۳	۱۰۷/۴۲	۹۱/۵۶	۱۱۱/۰۵	۱۳۸/۳۳	۱۰۹/۰۴	۱۰۶/۹۲	۷۸/۶۴	۷۱/۳۳	۸۲/۲۴	۷۱/۵۷	۷۰/۷۲	۸۰/۶۸	۱۲۹/۹۶



شکل ۱: نمودار تغییر قیمت مس طی سالهای ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۴.

جدول ۲: نتایج پیش‌بینی به روش میانگین متحرک.

سال	قیمت واقعی	قیمت پیش‌بینی شده	خطا	خطای نسبی (درصد)	MAD	خطای تجمعی	TS
۱۹۹۵	۱۳۸/۳۳	۱۰۳/۳۴	۳۴/۹۹	۲۵/۲۹	۳۴/۹۹	۳۴/۹۹	۱/۰۰
۱۹۹۶	۱۰۹/۰۴	۱۱۳/۶۵	-۴/۶۱	۴/۲۳	۱۹/۸۰	۳۰/۳۸	۱/۵۳
۱۹۹۷	۱۰۶/۹۲	۱۱۹/۴۷	-۱۲/۵۵	۱۱/۷۴	۱۷/۳۸	۱۷/۸۳	۱/۰۳
۱۹۹۸	۷۸/۶۴	۱۱۸/۱۰	-۳۹/۴۶	۵۰/۱۸	۲۲/۹۰	-۲۱/۶۳	-۰/۹۴
۱۹۹۹	۷۱/۳۳	۹۸/۲۰	-۲۶/۸۷	۳۷/۶۷	۲۳/۷۰	-۴۸/۵۰	-۲/۰۵
۲۰۰۰	۸۲/۲۴	۸۵/۶۳	-۳/۳۹	۴/۱۲	۲۰/۳۱	-۵۱/۸۹	-۲/۵۵
۲۰۰۱	۷۱/۵۷	۷۷/۴۰	-۵/۸۳	۸/۱۵	۱۸/۲۴	-۵۷/۷۲	-۳/۱۶
۲۰۰۲	۷۰/۷۲	۷۵/۰۵	-۴/۳۳	۶/۱۲	۱۶/۵۰	-۶۲/۰۵	-۳/۷۶
۲۰۰۳	۸۰/۶۸	۷۴/۸۴	۵/۸۴	۷/۲۴	۱۵/۳۲	-۵۶/۲۱	-۳/۶۷
۲۰۰۴	۱۲۹/۹۶	۷۴/۳۳	۵۵/۶۳	۴۳/۱۹	۱۹/۳۵	-۰/۵۸	-۰/۰۳



شکل ۲: مقایسه قیمت‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده به روش MA.

۵۰ درصد بین ۲ و ۲- و ۸۰ درصد بین ۳ و ۳- قرار دارند.

یعنی پیش‌بینی فاقد اعتبار قابل قبول است.

شکل (۳) انحراف مقادیر پیش‌بینی از قیمت‌های واقعی

را در این روش نشان می‌دهد.

### روش هموارسازی نمایی<sup>۶</sup> (ES)

در این روش پیش‌بینی قیمت هر سال بر اساس یک رابطه بازگشتی بر حسب مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده سال قبل بیان می‌شود. طبق این رابطه قیمت برآورد شده برای هر سال برابر با مجموع مقدار پیش‌بینی شده برای سال قبل و ضربی از اختلاف آن با مقدار واقعی قیمت سال قبل می‌باشد، یعنی:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(D_{t-1} - F_{t-1})$$

(۲)

در اینجا نیز از قیمت ۳ سال آخر استفاده شده و وزن هر کدام از سالها به نسبت عکس فاصله آن با سال مورد

پیش‌بینی انتخاب شد، یعنی  $w_i = \frac{1}{d_i}$ ، که در آن  $w_i = \frac{1}{\sum \frac{1}{d_j}}$

وزن تأثیر سال  $i$ ام،  $d_i$  فاصله این سال تا سال پیش‌بینی و مخرج کسر مجموع عکس فاصله تمام سالهای مؤثر

است. مثلاً برای نزدیکترین سال  $w_1 = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}} = 0.55$ ، و

به همین ترتیب برای دو سال دیگر  $w_2 = 0.27$  و  $w_3 = 0.18$  به دست خواهد آمد.

خلاصه نتایج پیش‌بینی به این روش در جدول (۳) آمده است. همان طوری که دیده می‌شود، تعداد خطاهای منفی و مثبت تقریباً یکسان است و از میان TSها فقط

میانگین متحرک وزنی استفاده شده و مقدار آن ۹۹/۱۲ سنت بر پوند برآورد گردیده است.

با توجه به اینکه مقدار واقعی قیمت مس در سال ۱۹۹۴ برابر ۱۱۱/۰۵ سنت بر پوند می‌باشد، قیمت در سال ۱۹۹۵ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{1995} = F_{1994} + \alpha(D_{1994} - F_{1994}) = 99.12 + 11.93\alpha$$

برای به دست آوردن بهترین مقدار برای  $\alpha$ ، قیمت سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ برای مقادیر مختلف  $\alpha$  محاسبه شده و برای هر مورد MAD و TS محاسبه گردید. با رسم منحنی تغییرات MAD و دامنه TS (شکل ۴) برحسب  $\alpha$ ، بهترین مقدار  $\alpha$  که منطبق بر کمترین MAD و دامنه TS حتی الامکان پایین بود، تعیین گردید.

در رابطه فوق داریم:

$$F_t: \text{مقدار پیش‌بینی برای دوره } t.$$

$$F_{t-1}: \text{مقدار پیش‌بینی برای دوره } t-1.$$

$\alpha$ : ثابت هموارسازی، میزان وزن داده شده به خطای

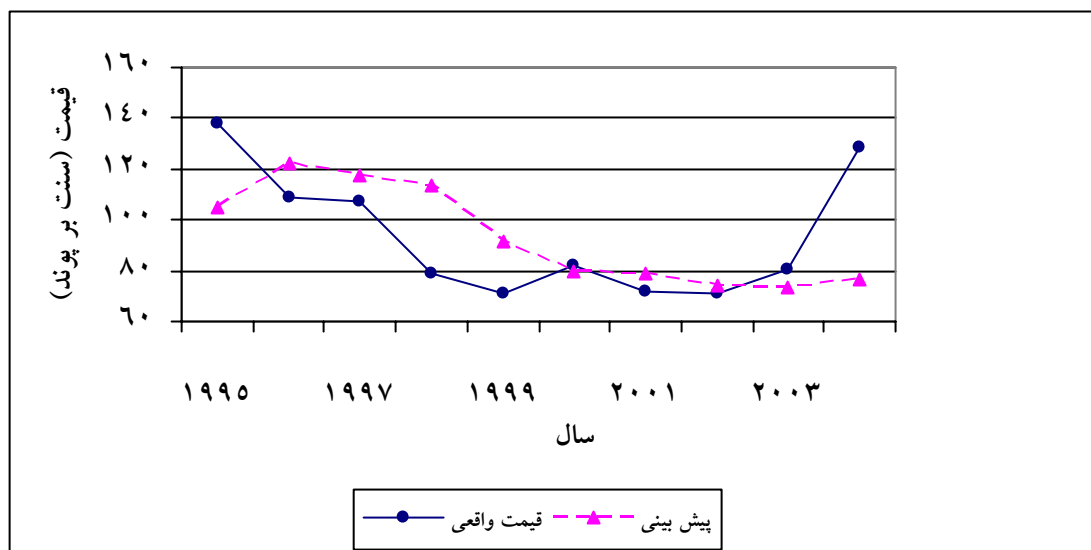
پیش‌بینی دوره قبل.

$$D_{t-1}: \text{مقدار واقعی دوره } t-1.$$

در پیش‌بینی با این روش معمولاً مقدار  $\alpha$  بین ۰ تا ۱ در نظر گرفته می‌شود. همان طوری که از معادله فوق پیداست، برای استفاده از این روش، دسترسی به مقدار پیش‌بینی شده برای سال قبل، مورد نیاز می‌باشد، به همین دلیل در محاسبات اولین دوره یعنی پیش‌بینی قیمت سال ۱۹۹۵، مقدار برآورد شده برای سال ۱۹۹۴ مورد نیاز است، که در اینجا برای محاسبه آن، از روش

جدول ۳: نتایج پیش‌بینی به روش میانگین متحرک وزنی.

سال	قیمت واقعی	قیمت پیش‌بینی شده	خطا	خطای نسبی (درصد)	MAD	خطای تجمعی	TS
۱۹۹۵	۱۳۸/۳۳	۱۰۵/۰۷	۳۳/۲۶	۲۴/۰۴	۳۳/۲۶	۳۳/۲۶	۱/۰۰
۱۹۹۶	۱۰۹/۰۴	۱۲۲/۳۹	-۱۳/۳۵	۱۲/۲۴	۲۳/۳۰	۱۹/۹۱	۰/۸۵
۱۹۹۷	۱۰۶/۹۲	۱۱۷/۳۹	-۱۰/۴۷	۹/۷۹	۱۹/۰۳	۹/۴۴	۰/۵۰
۱۹۹۸	۷۸/۶۴	۱۱۳/۲۱	-۳۴/۵۷	۴۳/۹۶	۲۲/۹۱	-۲۵/۱۳	-۱/۱۰
۱۹۹۹	۷۱/۳۳	۹۱/۸۸	-۲۰/۵۵	۲۸/۸۱	۲۲/۴۴	-۴۵/۶۹	-۲/۰۴
۲۰۰۰	۸۲/۲۴	۷۹/۷۹	۲/۴۵	۲/۹۸	۱۹/۱۱	-۴۳/۲۴	-۲/۲۶
۲۰۰۱	۷۱/۵۷	۷۸/۶۱	-۷/۰۴	۹/۸۴	۱۷/۳۸	-۵۰/۲۸	-۲/۸۹
۲۰۰۲	۷۰/۷۲	۷۴/۴۴	-۳/۲۷	۴/۶۲	۱۵/۶۸	-۵۳/۹۹	-۳/۴۴
۲۰۰۳	۸۰/۶۸	۷۳/۰۵	۷/۶۴	۹/۴۷	۱۴/۷۸	-۴۶/۳۶	-۳/۱۴
۲۰۰۴	۱۲۹/۹۶	۷۶/۳۱	۵۳/۶۵	۴۱/۶۵	۱۸/۶۷	۷/۲۹	۰/۳۹



شکل ۳: مقایسه قیمت‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده به روش WMA.

### روش هموار سازی نمایی تعدیل یافته<sup>۷</sup> (JES)

این روش همانند روش قبلی است با این تفاوت که یک مؤلفه جهت دار به آن اضافه می شود و مقدار برآورد شده برای هر دوره از روابط زیر به دست می آید:

$$F_t = \alpha D_{t-1} + (1-\alpha)(F_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$$

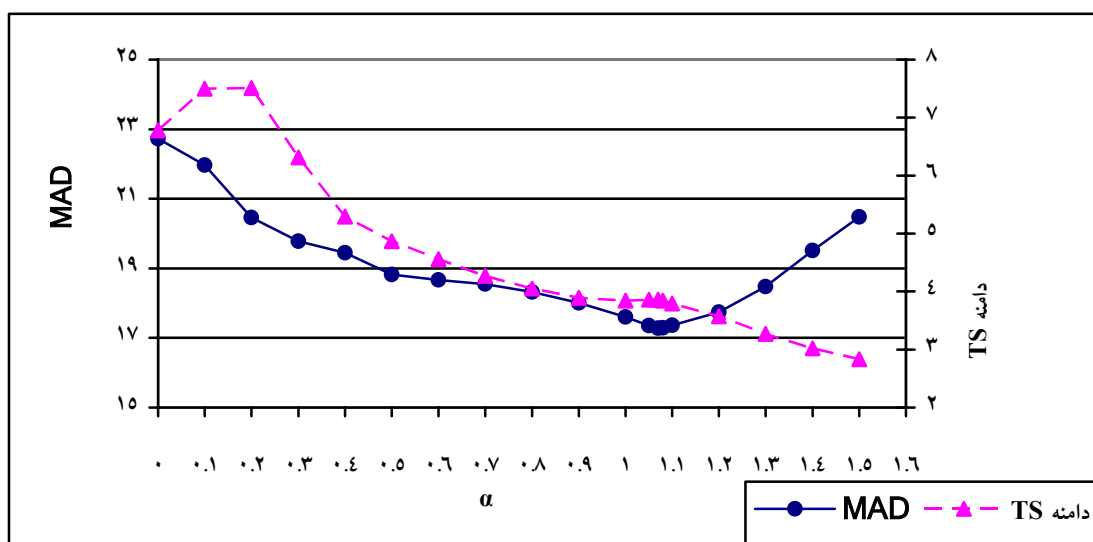
$$F_{t+1} = F_t + T_t$$

(۳)

در این روابط  $\alpha$  و  $\beta$  ثابتهای هموار سازی هستند. در اینجا نیز همانند روش قبل، برای پیش بینی قیمت سال ۱۹۹۴ از روش میانگین متحرک وزنی استفاده شده و مقدار  $T_t$  برای سال اول پیش بینی صفر در نظر گرفته شده است.

این مقدار  $\alpha$  معادل ۱/۰۷ برآورد گردید. مقدار بالای  $\alpha$  می تواند به مفهوم وجود روند کلی افزایشی در قیمتها باشد.

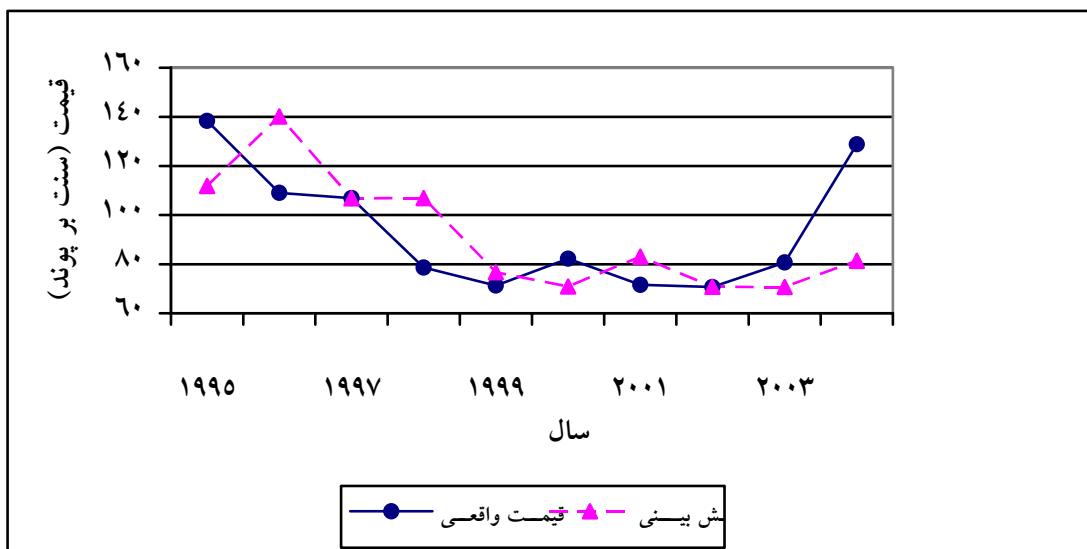
نتایج پیش بینی به روش نمایی ساده، با ضریب هموار سازی ۱/۰۷ در جدول (۴) آمده است. همان طوری که دیده می شود، تعداد خطاهای منفی و مثبت باهم برابر هستند و در حالی که صد درصد TSها بین ۳ و ۳- واقعند، فقط ۶۰ درصد آنها بین ۲ و ۲- قرار دارند. یعنی اعتبار پیش بینی نسبت به دو روش پیش گفته بهتر است، هر چند هنوز با معیارهایی که قبلاً ذکر شد، فاصله دارد. شکل (۵) انحراف مقادیر پیش بینی از قیمت های واقعی را در این روش نشان می دهد.



شکل ۴: نمودار تغییرات MAD و دامنه TS بر حسب  $\alpha$  جهت تعیین مقدار بهینه  $\alpha$ .

جدول ۴: نتایج پیش بینی به روش هموار سازی نمایی.

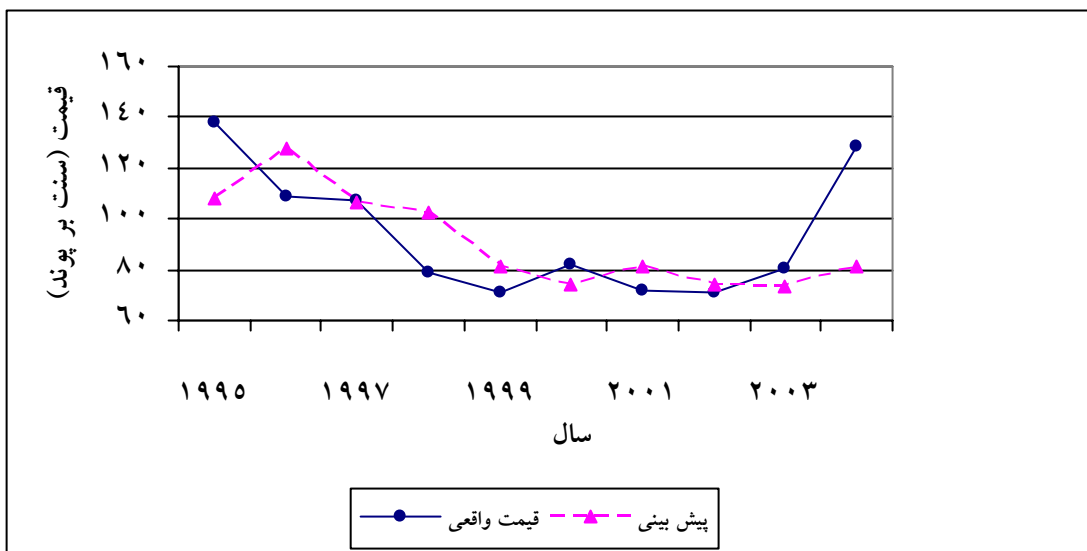
سال	قیمت واقعی	قیمت پیش بینی شده	خطا	خطای نسبی (درصد)	MAD	خطای تجمعی	TS
۱۹۹۵	۱۳۸/۳۳	۱۱۱/۸۹	۲۶/۴۴	۱۹/۱۱	۲۶/۴۴	۲۶/۴۴	۱/۰۰
۱۹۹۶	۱۰۹/۰۴	۱۴۰/۱۸	-۳۱/۱۴	۲۸/۵۶	۲۸/۷۹	-۴/۷۰	-۰/۱۶
۱۹۹۷	۱۰۶/۹۲	۱۰۶/۸۶	۰/۰۶	۰/۰۵	۱۹/۲۲	-۴/۶۴	-۰/۲۴
۱۹۹۸	۷۸/۶۴	۱۰۶/۹۲	-۲۸/۲۸	۳۶/۹۰	۲۱/۴۸	-۳۲/۹۲	-۱/۵۳
۱۹۹۹	۷۱/۳۳	۷۶/۶۶	-۵/۳۳	۷/۴۷	۱۸/۲۵	-۳۸/۲۵	-۲/۱۰
۲۰۰۰	۸۲/۲۴	۷۰/۹۵	۱۱/۲۹	۱۳/۷۳	۱۷/۰۹	-۲۶/۹۷	-۱/۵۸
۲۰۰۱	۷۱/۵۷	۸۳/۰۳	-۱۱/۴۶	۱۶/۰۱	۱۶/۲۹	-۳۸/۴۲	-۲/۳۶
۲۰۰۲	۷۰/۷۲	۷۰/۷۷	-۰/۰۵	۰/۰۷	۱۴/۲۵	-۳۸/۴۷	-۲/۷۰
۲۰۰۳	۸۰/۶۸	۷۰/۷۲	۹/۹۷	۹/۴۷	۱۳/۷۸	-۲۸/۵۱	-۲/۰۷
۲۰۰۴	۱۲۹/۹۶	۸۱/۳۸	۴۸/۵۸	۳۷/۳۸	۱۷/۲۶	۲۰/۰۷	۱/۱۶



شکل ۵: مقایسه قیمت‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده به روش ES.

جدول ۵: نتایج پیش‌بینی به روش هموارسازی نمایی تعدیل شده.

سال	قیمت واقعی	قیمت پیش‌بینی شده	خطا	خطای نسبی (درصد)	MAD	خطای تجمعی	TS
۱۹۹۵	۱۳۸/۳۳	۱۰۷/۷۱	۳۰/۶۲	۲۲/۱۴	۳۰/۶۲	۳۰/۶۲	۱/۰۰
۱۹۹۶	۱۰۹/۰۴	۱۲۷/۶۱	-۱۸/۵۷	۱۷/۰۳	۲۴/۷۶	۱۲/۰۵	۰/۴۹
۱۹۹۷	۱۰۶/۹۲	۱۰۶/۵۸	۰/۳۴	۰/۳۲	۱۶/۵۱	۱۲/۳۹	۰/۷۵
۱۹۹۸	۷۸/۶۴	۱۰۲/۵۱	-۲۳/۸۷	۳۰/۳۵	۱۸/۳۵	-۱۱/۴۷	-۰/۶۳
۱۹۹۹	۷۱/۳۳	۸۰/۹۴	-۹/۶۲	۱۳/۴۹	۱۶/۶۰	-۲۱/۰۹	-۱/۲۷
۲۰۰۰	۸۲/۲۴	۷۳/۹۴	۸/۳۰	۱۰/۰۹	۱۵/۲۲	-۱۲/۷۹	-۰/۸۴
۲۰۰۱	۷۱/۵۷	۸۱/۵۶	-۹/۹۹	۱۳/۹۶	۱۴/۴۷	-۲۲/۷۸	-۱/۵۷
۲۰۰۲	۷۰/۷۲	۷۴/۵۲	-۳/۸۰	۵/۳۷	۱۳/۱۴	-۲۶/۵۸	-۲/۰۲
۲۰۰۳	۸۰/۶۸	۷۳/۷۴	۶/۹۵	۸/۶۱	۱۲/۴۵	-۱۹/۶۳	-۱/۵۸
۲۰۰۴	۱۲۹/۹۶	۸۱/۳۸	۴۸/۵۸	۳۷/۳۸	۱۶/۰۶	۲۸/۹۴	۱/۸۰



شکل ۶: مقایسه قیمت‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده به روش JES.

آخرین سال، سال ۲۰۰۴، نسبت به سال قبل تغییر بسیار زیادی کرده است، و هیچکدام از مدلها، به دلیل آخرین سال بودن، فرصت سازگار شدن با این وضعیت را پیدا نکرده اند، لذا خطای سال آخر در همه مدلها تفاوت معنی داری با بیشتر سالها دارد. برای حذف این انحراف از نتایج، شاخصهای جدول ۶ بدون در نظر گرفتن نتایج سال ۲۰۰۴، در جدول ۷ ارائه گردیده است. همان طوری که مشاهده می شود، تقریباً تمام نتایج نسبت به جدول (۶) بهبود بسیار قابل ملاحظه ای پیدا کرده است، با این همه بازهم روش میانگین متحرک بدترین وضع و روش هموار سازی نمایی تعدیل شده، بهترین وضعیت را دارد. شکلهای (۷) و (۸) منحنی تغییرات MAD و TS روشهای مختلف را در سالهای مورد بررسی نشان می دهد.

همان طوری که از مقایسه نتایج به دست آمده مشاهده می شود، روش نمایی تعدیل شده دارای کمترین میزان خطا و کمترین میزان دامنه TS می باشد و پیشنهاد می شود به عنوان الگو برای برآورد قیمت مس مورد استفاده قرار گیرد.

مجدداً با استفاده از روش سعی و خطا و جایگزینی اعداد مختلف برای  $\alpha$  و  $\beta$  بهترین جواب برای آنها به ترتیب برابر ۰/۹ و ۰/۲- به دست می آید.

نتایج پیش بینی به روش هموارسازی نمایی تعدیل شده، با ضرایب هموارسازی پیش گفته در جدول (۵) آمده است. همان طوری که دیده می شود، تعداد خطاهای منفی و مثبت یکسان است و ۹۰ درصد TSها بین ۲ و ۲- و صددرصد آنها بین ۳ و ۳- قرار دارند. یعنی اعتبار پیش بینی نسبت به همه روشهای پیش گفته بهتر است، و با معیارهایی که قبلاً ذکر شد، کاملاً سازگار می باشد. شکل (۶) انحراف مقادیر پیش بینی از قیمت‌های واقعی را در این روش نشان می دهد.

## نتیجه گیری

جدول (۶) مقایسه شاخصهای مختلف روشهای فوق را در دوره مورد بررسی نشان می دهد. همان طوری که دیده می شود، از نظر شاخصهای اعتبارسنجی روش میانگین متحرک بدترین وضعیت و روش هموارسازی نمایی تعدیل شده بهترین وضعیت را از خود نشان می دهند. با توجه به اینکه قیمت مس در

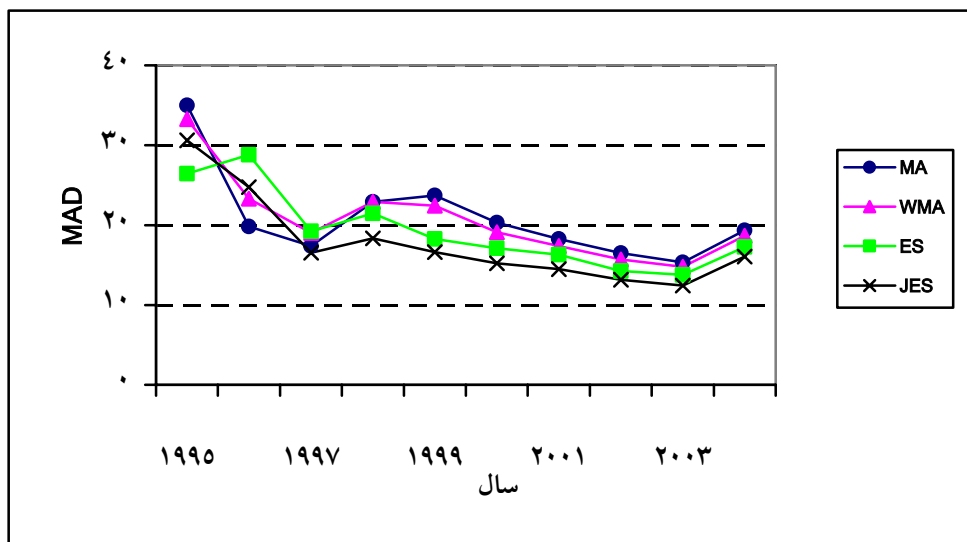
جدول ۶: مقایسه شاخصهای روشهای مختلف پیش بینی.

TS		MAD	خطای نسبی (درصد)			شاخص روش
حد بالا	حد پایین		میانگین	حداکثر	حداقل	
۱/۵۳	-۳/۷۶	۱۹/۳۵	۱۹/۷۹	۵۰/۱۸	۴/۱۲	MA
۱	-۳/۴۴	۱۸/۶۷	۱۸/۷۴	۴۳/۹۶	۲/۹۸	WMA
۱/۱۶	-۲/۷۰	۱۷/۲۶	۱۶/۸۷	۳۷/۳۸	۰/۰۵	ES
۱/۸۰	-۲/۰۲	۱۶/۰۶	۱۵/۸۷	۳۷/۳۸	۰/۳۲	JES

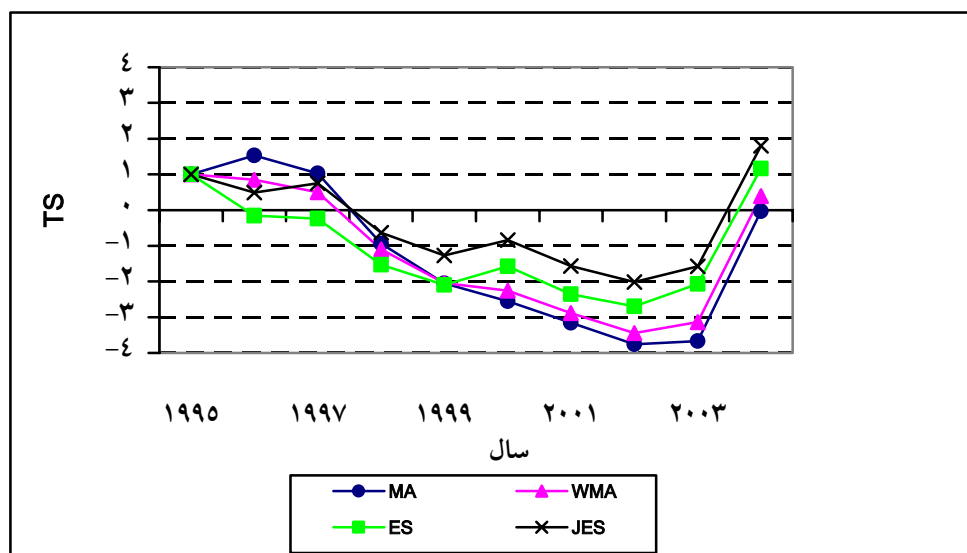
جدول ۷: مقایسه شاخصهای روشهای مختلف پیش بینی بدون در نظر گرفتن نتایج سال ۲۰۰۴.

TS		MAD	خطای نسبی (درصد)			شاخص روش
حد بالا	حد پایین		میانگین	حداکثر	حداقل	
۱/۵۳	-۳/۷۶	۱۵/۳۲	۱۷/۱۹	۵۰/۱۸	۴/۱۲	MA
۱	-۳/۴۴	۱۴/۷۸	۱۶/۱۹	۴۳/۹۶	۲/۹۸	WMA
۱	-۲/۷۰	۱۳/۷۸	۱۴/۶۰	۳۶/۹۰	۰/۰۵	ES
۱	-۲/۰۲	۱۲/۴۵	۱۳/۴۸	۳۰/۳۵	۰/۳۲	JES





شکل ۷: نمودار تغییرات MAD در روشهای مختلف.



شکل ۸: نمودار تغییرات TS در روشهای مختلف.

جدول ۸: پیش‌بینی قیمت مس در سال ۲۰۰۵ به روشهای مختلف

روش	میانگین متحرک	میانگین متحرک وزنی	هموارسازی نمایی	هموارسازی نمایی تعدیل شده
قیمت پیش‌بینی شده	۹۳/۴۰	۱۰۵/۱۲	۱۳۳/۳۶	۱۱۷/۷۳

### پیش‌بینی قیمت مس در سال ۲۰۰۵

با توجه به آنچه گفته شد، برآورد قیمت مس برای سال ۲۰۰۵ با استفاده از ۴ روش پیش گفته مطابق جدول (۸)

خواهد بود، که مقدار برآورد شده به روش هموارسازی نمایی تعدیل شده، یعنی ۱۱۷/۷۳ سنت بر پوند، از قابلیت اطمینان بیشتری برخوردار است.

### مراجع

1 - Jay, H. and Barry, R. (2001). *Principles of Operations Management*, 4<sup>th</sup> ed., Prentice Hall Inc., New Jersey.

- 2 - Chase, R. B., Aquilano, N. J. and Jacobs, F. R. (2001). *Operations Management for Competitive Advantage*, 9<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill Irwin.
- 3 - Panneerselvam, R. (2003). *Production and Operations Management*, 7<sup>th</sup> Pr., Prentice Hall of India, New Delhi.
- 4 - London Metal Exchange (LME): <http://www.LME.com> .

### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Forecasting
  - 2 - Mean Absolute Deviation (MAD)
  - 3 - Tracking Signal (TS)
  - 4 - Moving Average (MA)
  - 5 - Weighted Moving Average (WMA)
  - 6 - Exponential Smoothing (ES)
  - 7 - Justified Exponential Smoothing (JES)
-