



یادداشت فنی

پایش بیماری، کاربردی جدید از پایش آماری پروفایل ها - مورد کاوی: بیماری ریوی

عباس سقایی* و مسرت نعمت

چکیده:

کاربرد روش های کنترل کیفیت آماری در بخش بهداشت و درمان، روز به روز در حال گسترش است. در کاربردهای متداول کنترل فرآیند آماری، کیفیت فرآیند یا محصول توسط رابطه بین دو یا چند متغیر بیان می شود. این دسته از مسائل در قالب مفهومی به نام "پروفایل" مورد بررسی قرار می گیرند و نقش مهمی در فرآیند کنترل آماری ایفا می کنند. با وجود استفاده موردی موفق از روش پایش پروفایل ها در صنعت، این روش تاکنون در بهداشت و درمان برای پایش بیماری ها مورد استفاده قرار نگرفته است. در این مقاله، پایش پروفایل، در دو فاز I و II، بر روی تست عملکرد ریه یک بیمار انجام گرفت. از مدل های پروفایل، رگرسیون چند جمله ای برای این مطالعه مناسب تشخیص داده شد و از بین روش های موجود در پایش پروفایل های چند جمله ای، روش آماره F در فاز I و روش چند جمله ای های متعامد در فاز II، انتخاب شدند. اجرای یک مطالعه موردی واقعی نشان داد که این روش در بهبود بهداشت و درمان نیز مناسب و کارآمد است.

کلمات کلیدی

فاز I و II، پروفایل های چند جمله ای، نمودارهای کنترل، مطالعه موردی، بهداشت و درمان

۱. مقدمه

کنترل فرآیند آماری (SPC)²، به روش های آماری اطلاق می شود که به منظور کنترل و بهبود کیفیت و بازدهی سیستم تولیدی و یا خدمت رسانی، به طور گسترده ای به کار گرفته می شوند. SPC عمدتاً به دنبال تشخیص تغییرات در فرآیند از طریق به کارگیری نمودارهای کنترل می باشد که می توانند بر روی عملکرد سیستم تأثیر بگذارند. نمودارهای کنترل از مهم ترین و پرکاربردترین ابزارها در آمار هستند. کاربردهای آن امروزه فراتر از سیستم های

تولیدی رفته است و در حوزه های دیگری مانند مهندسی، محیط زیست، بیولوژی، ژنتیک، پزشکی، مالی، و حتی در اجرای قانون و ورزش نیز کاربرد دارد. [۱]. اولین نمودارهای کنترل توسط والتر شوهارت در سال ۱۹۲۰ بیان و توسعه داده شدند. فرآیند های کنترل آماری شامل دو فاز I و II می باشند که در فاز I هدف اطمینان از پایداری فرآیند و تشخیص انحرافات با دلیل در صورت ناپایداری و خارج از کنترل بودن فرآیند با استفاده از داده های گذشته می باشد، هم چنین در این فاز پارامترهای نمودار و حدود کنترل تعیین می شوند. در فاز II با استفاده از پارامترها و حدود کنترل به دست آمده در فاز I، نمونه های جدید کنترل می شوند تا در صورت تغییر در پارامترهای مدل، علت بررسی شود [۲-۳].

در کاربردهای متداول کنترل کیفیت آماری، برخی اوقات کیفیت فرآیند یا محصول توسط رابطه بین یک متغیر پاسخ و یک یا چند متغیر مستقل بیان میشود. کنگ و آلبین [۳] این دسته از مسائل را در قالب مفهومی به نام "پروفایل" عنوان کردند. پروفایل ها می توانند

تاریخ وصول: ۸۹/۳/۲۲

تاریخ تصویب: ۸۹/۸/۵

*نویسنده مسئول مقاله: دکتر عباس سقایی، دانشیار گروه مهندسی صنایع، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، a.saghaei@srbiau.ac.ir

مسرت نعمت، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، maserrat_ne@yahoo.com

² - Statistical Process Control

است که روش موجود می تواند به کمک تکنیک های کنترل فرآیند آماری بهبود یابد. در بخش سوم، به شرح روشهایی که نسبت به سایر روش های موجود، برای پایش پروفایل های چند جمله ای در فاز I و II، مناسب تر تشخیص داده شده اند، پرداخته ایم. در فاز ۱، روش آماره $F [20]$ که توسعه یافته ی روش F محمود و وودال [۸] است، و در فاز II، روش چند جمله ای های متعامد [۲۳] انتخاب شده اند. بخش چهارم، شامل مطالعه موردی می باشد، که بر روی داده های جمع آوری شده از تست عملکرد ریه یک بیمار، انجام داده ایم.

۲. تعریف مسئله

تست عملکرد ریه، عملکرد ظرفیت ریه، مکانیک دیواره ریه و قفسه سینه را به منظور تشخیص وجود مشکل در ریه بیمار، می سنجد. این تست معمولاً با نام "PFT"^۱ شناخته می شود. هنگامی که یک بیمار توسط پزشک، برای این تست مراجعه می کند، به این معنی است که برخی از تست های زیر، بایستی بر روی بیمار انجام شوند: اسپیرومتری ساده، اندازه گیری حجم ریه در حالت استاتیک، ظرفیت انتشار مونوکسید کربن، مقاومت مسیر های جریان هوا، قدرت عضلات تنفسی و گازهای شریان خون. منحنی های جریان - حجم^۲ یکی از مشخص ترین تست های عملکرد ریه هستند. در بسیاری از لابراتوارهای ریه، این نمودارها اولین تست از سری تست های اسپیرومتری می باشند. متخصصان می توانند با کمک شکل و اطلاعات این نمودار، نحوه ورود و خروج هوا به ریه ها را بررسی کرده و بیماری های معین ریوی را که در غیر این صورت سخت قابل تشخیص هستند شناسایی کنند. با اطلاعاتی که از این تست به دست می آید، می توان درباره آنچه درون ریه رخ می دهد به نتایج قطعی رسید.

به طور خاص ما در اینجا بر بیماری های انسدادی ریوی تمرکز می کنیم. بیماری انسداد مزمن ریوی عبارت است از شرایطی که در آن جریان هوا به وسیله ی وجود آمفیزم، برونشیت مزمن یا هردو مسدود می گردد. انسداد جریان هوا معمولاً پیشرونده و غیرقابل برگشت بوده و با افزایش فعالیت راه های هوایی همراه می باشد. تمامی این عوامل به باریک شدن راه هایی هوایی محیطی، محدودیت در به جریان افتادن هوا و تغییر بافت عروق ریوی منجر می گردند [۳۳].

۲-۱. شناسایی پارامترهای نمودار جریان-حجم

در این تحقیق تلاش شده است تا با ارائه یک روش کنترل فرآیند آماری، پایش بیماری انسداد ریوی بهبود یابد. شکل-۱، نمودار جریان - حجم را به طور کلی نشان می دهد. این شکل نمایانگر

خطی باشند که در مراجع [۴-۱۱] نمونه های مختلفی از این مورد عنوان شده است. در زمینه پروفایل های غیر خطی نیز تلاش هایی صورت گرفته که می توان به مراجع [۱۲-۱۸] اشاره کرد. در برخی از کاربردها نیز، پروفایل می تواند در قالب رگرسیون چند جمله ای مدل شود [۱۹]. سه روش نقطه ی تغییر، روش F و روش آماره ی T^2 ، توسط کاظم زاده و همکاران [۲۰] در پایش پروفایل های چند جمله ای در فاز I توسعه داده شده اند. روش های موجود در فاز II برای پایش پروفایل های چند جمله ای، روش $T^2 [5]$ ، روش MEWMA [۲۱]، روش $MCUSUM/\chi^2 [22]$ ، روش چند جمله ای های متعامد [۲۳] می باشند. در پایش پروفایل ها هدف اصلی، کنترل ضرائب رابطه بین متغیر پاسخ و متغیرهای مستقل می باشد. یعنی بررسی نمونه های اولیه جهت ارزیابی و کشف انحراف با دلیل و برآورد پارامترهای پروفایل در حالت تحت کنترل (در فاز یک) و استفاده از حدود کنترل برآورد شده از فاز یک برای پایش پروفایل در طول زمان (در فاز دو) می باشد.

در این مقاله پروفایل چند جمله ای مورد نظر، در قالب رگرسیون چند جمله ای درجه ی k ام برای یک متغیر مستقل به صورت زیر $y = B_0 + B_1x + B_2x^2 + \dots + B_kx^k + \varepsilon$ می باشد که در آن ε از توزیع نرمال استاندارد تبعیت می کند. به منظور کاهش اثر هم خطی چندگانه در پروفایل های چند جمله ای مقادیر X از مقدار میانگین خود کم شدند. هم چنین فرض شده است که X ها دارای فاصله یکسان می باشند.

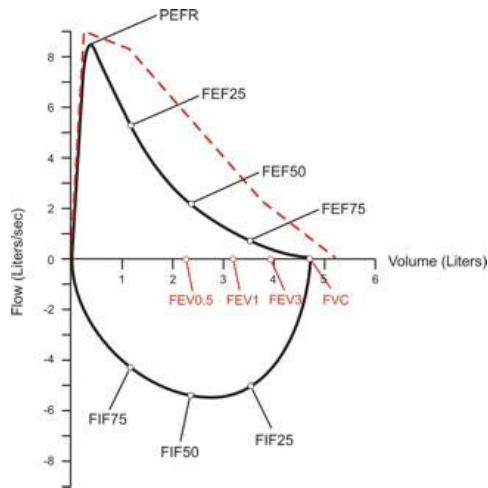
نیاز به کارگیری نمودارهای کنترل در بهداشت و درمان توسط افرادی مانند وودال [۲۴] بیان و به بحث در آمده است. هم چنین نمودارهای کنترل استاندارد اغلب برای بهبود و پایش بیماری ها پیشنهاد می شوند. رجوع شود به بنیان [۲۵-۲۶]، لی و مک گریو [۲۷-۲۸] و بنیان و همکاران [۲۹]. نیاز در زمینه پایش متغیرهای پزشکی برای هر فرد بیمار نیز توسط افرادی همچون آلمی و نیوهایس [۳۰] بیان شده است. همانطور که وودال و همکاران [۳۱] عنوان کردند، نرخ یک بیماری نسبت به یک منطقه جغرافیایی می تواند به صورت یک رویه در نظر گرفته شود و این مورد ایده پایش پروفایل مشخصه کیفی را مطرح می کند. از منابع مفید دیگر در زمینه نیاز پزشکی و درمان به پایش پروفایل ها می توان به لاونسن و کلیمین [۳۲] اشاره کرد.

با وجود معرفی کاربرد روش های پایش پروفایل ها در بهداشت و درمان، تا کنون ایده پایش وضعیت بیمار توسط این روش ها بررسی نشده است. ما در اینجا برای نخستین بار، این ایده را مطرح و بر روی یک بیمار ریوی اجرا کرده ایم. نتایج به دست آمده از این تحقیق، حاکی از کاربرد موثر و مناسب این روش ها در زمینه پایش بیماری ها است.

ساختار این مقاله بدین صورت است که، در بخش دوم، مسئله ی پایش نتایج تست عملکرد ریه، تشریح گردیده و نشان داده شده

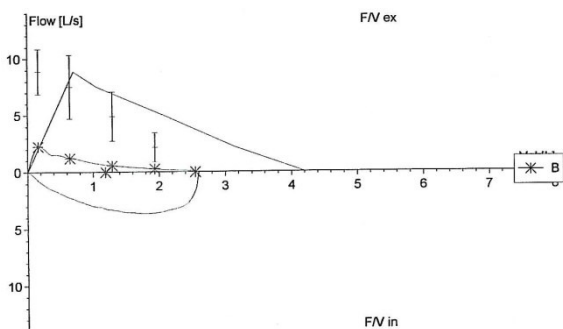
¹ Pulmonary Function Test-

² - Flow-Volume loop



شکل ۱. نمودار جریان-حجم

تا کنون، متخصصان ریه برای تشخیص بیماری های ریوی، تنها از پارامترهایی که بر روی نمودار جریان-حجم در تست عملکرد ریه، تعریف شده است، استفاده می کردند. اما هم اکنون، ما برای اولین بار با به کارگیری روش های آماری پایش پروفایل ها، امکان استفاده از کلیه منابع نمودار، یعنی تمامی نقاط آن را مهیا کردیم. با این روش، دقت و سرعت، در پایش بیماری و تشخیص تغییرات در وضع بیمار، افزایش می یابد. بدین ترتیب متخصصان ریه قادر خواهند بود، همزمان، با توجه به پارامترهای استاندارد و مقایسه وضعیت بیمار با شرایط استاندارد، وضع بیمار را در طی زمان با خود او، مقایسه و کنترل کنند.



شکل ۲. نمونه ای از نمودار جریان-حجم به دست آمده از تست عملکرد ریه فرد بیمار

۳. روش های پایش پروفایل چند جمله ای در فاز I و II

همواره در طی زمان، روش های متعددی برای پایش پروفایل ها پیشنهاد شده است. در زمینه پروفایل های چند جمله ای نیز، چندین روش مختص فاز I و II ارائه شده که در مقدمه به تمامی این روش ها اشاره کرده ایم. در این تحقیق، در فاز I و II، به ترتیب روش F [۲۰] و روش چند جمله ای متعامد [۲۳] انتخاب شده اند. در زمینه انتخاب روش F در فاز I در مرجع مذکور با

نقاط کلیدی در تست عملکرد ریه است. منحنی بخش بالا و بخش پایین این نمودار، به ترتیب نشان دهنده ی جریان بازدم و دم فرد می باشند.

شکل-۲ همین نمودار را برای بیمار مورد نظر نشان داده است، همانطور که با مقایسه ی این دو نمودار در می یابیم، وضعیت بیمار در قسمت بالا، شکل نا مناسب تری دارد. در نتیجه ی این موضوع، تحقیق ما به این بخش از نمودار، که همان منحنی جریان بازدم بیمار است، محدود گردید. پارامترهای این بخش عبارت اند از PEFr^۱، FEF25^۲، FEF50^۲ و FEF75^۲.

PEFr، نرخ حداکثر جریان بازدمی و نقطه ی اوج نمودار است. اولین جریان هوا در بازدم بیمار، تقریباً به سرعت، به این نرخ می رسد. سپس نرخ جریان، همزمان با خروج هوا (در بازدم) به سرعت کاهش می یابد.

این نقطه برای قضاوت درباره بیشترین تلاش بیمار، کیفیت تست، توانایی ماهیچه های بازدم، و وضعیت راه های هوایی بزرگ مانند نای و نایژه اصلی، بسیار مهم می باشد.

FVC^۳، ظرفیت حیاتی با نیرو، برابر کل حجم هوایی است که با حداکثر تلاش از ریه خارج می شود. این پارامتر یکی از نتایج مهم نمودار جریان-حجم به شمار می آید. بسیاری از سایر نتایج به مقدار این پارامتر وابسته هستند.

FEF25، جریان بازدمی با نیرو، در سطح ۲۵٪ از FVC رخ می دهد. با فرض حداکثر تلاش، این نرخ جریان، نشان دهنده ی شرایط نایچه، با سایز نسبتاً بزرگ تا متوسط می باشد. این پارامتر در محاسبات، به همراه FEF75، برای بیان FEF25-75، استفاده می شود. FEF25-75، متوسط نصف FVC است، که بسیاری از پزشکان به آن به عنوان عدم وابستگی به تلاش بیمار و مشخصه ی مسدود شدن مسیر هوایی کوچک، نگاه میکنند. این مقدار کاملاً به FVC وابسته و در هر آزمایش متغیر است.

FEF50، جریان بازدمی با نیرو، در سطح ۵۰٪ از FVC اتفاق می افتد. این پارامتر، نقطه وسط FVC و نشان دهنده ی وضعیت مسیر هوای سایز متوسط تا سایز کوچک، است. گاهی اوقات به جای FEF25-75، به این فاکتور توجه می شود.

FEF75، جریان بازدمی با نیرو، در سطح ۷۵٪ از FVC رخ می دهد. FEF75 نرخ جریان، در نقطه ی ۷۵٪ ظرفیت حیاتی با نیرو می باشد. این پارامتر، مشخص کننده ی وضعیت مسیر هوایی کوچک می باشد و در محاسبات FEF25-75، به کار می رود. آسیب به وجود آمده در اکثر بیماریهای ریوی مزمن، ابتدا در تنگ ترین مسیر های هوایی پدیدار می شود. علائم اولیه این آسیب، به سمت انتهای بخش بالایی نمودار جریان-حجم، یعنی منحنی بازدم، شروع به پدیدار شدن می کنند [۳۳].

¹ - Peak Expiratory Flow Rate

² - Forced Expiratory Flow

³ Force Vital Capacity -

یک از X ها از میانگین آنها کم شده است. پس از محاسبه ضرایب مذکور، آزمون یکسان بودن m منحنی رگرسیون برازش شده، انجام می گیرد. این آزمون معادل فرض های صفر و یک رابطه (۴) است.

$$y_{ij} = B_{0j} + B_{1j}X_{ij} + B_{2j}X_{ij}^2 + \dots + B_{kj}X_{ij}^k + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n_j; j = 1, 2, \dots, m$$

$$H0: B_{01} = B_{02} = \dots = B_{0m} = B_{11} = B_{12} = \dots = B_{1m} = \dots = B_{k1} = B_{k2} = \dots = B_{km} = 0 \quad (4)$$

$H1$: $H0$ صحیح نمی باشد

تحت فرض صفر، مدل به رابطه پروفایل مرجع در معادله (۵) کاهش پیدا می کند:

$$y_i = B_0 + B_1X_i + \dots + B_kX_i^k + \varepsilon_i \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

آماره پیشنهادی توسط محمود و وودال [۸] برای آزمون فرض فوق به صورت زیر تعریف شده است:

$$F = \frac{SSE(R) - SSE(F) / (df_R - df_F)}{SSE(F) / df_F} \quad (6)$$

در آماره فوق $SSE(R)$ ، مجموع مربعات خطای مدل کاهش یافته و $SSE(F)$ ، مجموع مربعات خطای مدل کامل، می باشند. آماره فوق از توزیع F با درجات آزادی $(m-1)k$ و

$\sum_{i \neq j}^m (n_j - k)$ تبعیت می کند. $k' = k + 1$ برابر تعداد

پارامترهای مدل چند جمله ای است. همان طور که محمود و وودال [۸]، استفاده از یک نمودار کنترل تک متغیره را برای پایش انحراف معیار خطا همزمان با استفاده از تست F پیشنهاد کردند، این روش توسط کاظم زاده و همکاران [۲۰] برای پایش انحراف معیار خطا در پروفایل های چند جمله ای نیز توسعه داده شد. آماره پیشنهادی توسعه داده شده توسط آنها در رابطه (۷) آمده است.

$$F_j = \frac{((n_j - k')MSE_j / \sigma^2(n_j - k'))}{\left(\sum_{i \neq j}^m (n_i - k')MSE_i / \sigma^2 \sum_{i \neq j}^m (n_i - k')\right)} \quad (7)$$

این آماره، توزیع F با درجات آزادی $n_j - k'$ و $\sum_{i \neq j}^m (n_i - k')$ دارد. حدود کنترل بالا و پایین برای این آماره به صورت زیر محاسبه می شوند:

استفاده از مطالعات شبیه سازی نشان داده شده که روش نقطه تغییر در تشخیص شیفت های پله ای در پارامترهای رگرسیون چند جمله ای، روش قوی تری نسبت به روش های F و T^2 می باشد. هم چنین روش F از روش T^2 جز در شیفت های بسیار کوچک و در ابتدا و انتهای نمونه ها بهتر است. از سوی دیگر روش T^2 روش غیر موثری برای تشخیص شیفت ها در انحراف معیار می باشد و می بایست نمودار کنترل دیگری همزمان با آن برای کشف شیفت در انحراف معیار مورد استفاده قرار بگیرد. این انتخاب به دلیل عملکرد بهتر این روش نسبت به روش آماره T^2 و محاسبات و پیچیدگی کمتر نسبت به روش نقطه تغییر بود. همچنین در فاز II روش چند جمله ای متعامد، برای پایش پروفایل های چند جمله ای با مرتبه ی ۳ و کمتر، مناسب تشخیص داده شده است [۲۳]. در ادامه ی این بخش، به شرح این دو روش پرداخته ایم.

۳-۱. روش F

بر اساس این روش فرض می شود که m نمونه از مشاهدات در دسترس است و آزمون یکسان بودن منحنی رگرسیون برازش شده به هر یک از نمونه ها، مورد نظر می باشد. ابتدا از متغیرهای نشانگر جهت کنترل پروفایل ها در فاز I استفاده می کنیم، کلیه مشاهدات تمامی نمونه ها را در یک نمونه به اندازه $\sum_{j=1}^m n_j = N$ ادغام و متغیرهای نشانگر را به صورت زیر تعریف می کنیم [۲۰]:

$$Z_{ji} = 1 \quad \text{اگر مشاهده } i \text{ ام متعلق به نمونه } j \text{ ام باشد} \quad (1)$$

$$Z_{ji} = 0 \quad \text{در غیر این صورت}$$

$$i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, m - 1$$

پس از آن بر روی داده های ادغامی، مدل رگرسیون چند گانه برازش می شود:

$$y_j = B_0 + B_1X_i + \dots + B_kX_i^k + B_{0j}Z_{ij} + B_{1j}Z_{ij}X_i + \dots + B_{kj}Z_{ij}X_i^k + \dots + B_{0m}Z_{mi} + B_{1m}Z_{mi}X_i + \dots + B_{km}Z_{mi}X_i^k + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

نمونه m ام به عنوان نمونه مرجع مد نظر قرار می گیرد. ضرایب مدل رگرسیونی چندگانه بالا، بدون در نظر گرفتن متغیرهای نشانگر معادل، برابر با ضرایب مدل رگرسیونی برازش شده به هر یک از m نمونه در دست، هستند. به همین سبب برای محاسبه ضرایب B_{ij} رابطه فوق، به ازای هر کدام از m نمونه موجود، یک تابع رگرسیون همانند معادله (۳) برازش می شود. همان طور که پیش از این هم اشاره شد X ها، اصلاح شده هستند، یعنی هر

¹ - Sum of Square Error (Reduced)

² - Sum of Square Error (Full)

$$EWMA_L(j) = \hat{\theta}B_{ij} + (1-\theta)EWMA_L(j-1); j = 1, 2, \dots \quad (۱۳)$$

$$LCL = B_L - K_L \sqrt{\frac{\theta}{(2-\theta)} \times \frac{\sigma^2}{\sum_{i=1}^n P_L^2(x_i)}} \quad (۱۴)$$

$$UCL = B_L + K_L \sqrt{\frac{\theta}{(2-\theta)} \times \frac{\sigma^2}{\sum_{i=1}^n P_L^2(x_i)}}$$

در روابط بالا $0 < \theta \leq 1$ ثابت هموارسازی ،
 $EWMA_L(0) = B_L$ و $K_L > 0$ می باشند. این مقادیر بر اساس
 میزان ARL مورد نظر در حالت تحت کنترل انتخاب می شوند.
 برای پایش پراکندگی خطاها آماره EWMA رابطه (۱۵) پیشنهاد
 می شود. حد کنترل بالا برای این آماره در رابطه (۱۶) آمده است:

$$EWMA_E(j) = \max\{\theta(MSE_j - 1) + (1-\theta)EWMA_E(j-1), 0\} \quad (۱۵)$$

$$j = 1, 2, \dots$$

$$UCL = L_E \sqrt{\frac{\theta \times Var(MSE_j)}{2-\theta}} \quad (۱۶)$$

$$Var(MSE_j) = \frac{2\sigma^4}{n} \quad (۱۷)$$

$$MSE_j = \frac{\sum_{i=1}^n e_{ij}^2}{n} \quad (۱۸)$$

$$e_{ij} = \hat{y}_{ij} - y_{ij} = y_{ij} - B_0 - B_1P_1(x_i) - B_2P_2(x_i) - \dots - B_kP_k(x_i) \quad (۱۹)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots$$

در روابط بالا $EWMA_E(0) = 0$ و $L_E > 0$ می باشند. این مقادیر بر
 اساس میزان ARL مورد نظر در حالت تحت کنترل انتخاب
 می شوند.

۴. مطالعه موردی

۴-۱. اجرای فاز I

مقادیر X و Y در این مقاله به ترتیب برابر با حجم ریه و جریان
 بازدم می باشند. مقادیر X برابر ۱،۸ ، ۲ ، ۲،۲ ، ۲،۴ ، ۲،۶ ، ۲،۸ ،
 ۱،۶ ، ۱،۴ ، ۱،۲ ، ۱ ، ۰،۸ ، ۰،۶ ، ۰،۴ ، ۰،۲ است. البته از
 آنجائیکه در این تحقیق اندازه ی نمونه های جمع آوری شده برای
 فاز I ، با هم مساوی نبودند ، مقدار ماکزیمم X ، در نمونه هایی با
 اندازه ی کوچکتر از ۱۴ ، کمتر از ۲،۸ می باشد.

$$UCL = F_{n_j - k, \sum_{i \neq j}^m (n_i - k), \alpha/2} \quad (۸)$$

$$LCL = F_{n_j - k, \sum_{i \neq j}^m (n_i - k), 1 - (\alpha/2)}$$

۳-۲. روش چندجمله ای متعامد

می توان برای پایش پروفایل های چند جمله ای در فاز II ، از روش
 چند جمله ای متعامد استفاده کرد. در این روش ابتدا به هدف
 مستقل کردن ضرایب مدل رگرسیون شده ، مدل رگرسیون چند
 جمله ای را به مدل رگرسیون چند جمله ای متعامد تبدیل
 می کنند و سپس به دلیل استقلال ضرایب امکان استفاده از
 نمودارهای کنترل مجزا برای هر یک از ضرایب به وجود می آید.
 مدل اصلی و مدل تغییر فرم یافته پروفایل چند جمله ای در فاز II
 به ترتیب در معادلات (۹) و (۱۰) آمده است [۲۳]:

$$y_{ij} = A_0 + A_1x_i + A_2x_i^2 + \dots + A_kx_i^k + \epsilon_{ij} \quad (۹)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots$$

$$y_{ij} = B_0P_0(x_i) + B_1P_1(x_i) + B_2P_2(x_i) + \dots + B_kP_k(x_i) + \epsilon_{ij} \quad (۱۰)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots$$

در رابطه (۹) ، $P_u(x_{ij})$ ، چند جمله ای متعامد از رتبه u
 می باشد. مقادیر چند جمله ای های متعامد برای ۲ رتبه ی اول
 توسط روابط (۱۱) قابل محاسبه می باشند. روش تخمین
 برآوردکننده به روش حداقل مربعات B_{ij} در رابطه (۱۲) آورده
 شده است:

$$P_1(x_i) = \frac{\lambda_1}{d}(x - \bar{x}) \quad (۱۱)$$

$$P_2(x_i) = \lambda_2 \left[\left(\frac{x - \bar{x}}{d} \right)^2 - \left(\frac{n^2 - 1}{12} \right) \right]$$

$$B_{Lj} = \frac{\sum_{i=1}^n P_L(x_i)y_{ij}}{\sum_{i=1}^n P_L^2(x_i)}; j = 1, 2, \dots; L = 0, 1, \dots, k \quad (۱۲)$$

بعد از مستقل کردن ضرایب ، از نمودارهای کنترل تک متغیره
 EWMA برای پایش ضرایب و آزمون تحت کنترل بودن آنها
 استفاده می شود. آماره EWMA رابطه (۱۳) برای پایش ضرایب
 مدل جدید پیشنهاد می شود ، حدود کنترل بالا و پایین برای این
 آماره نیز در رابطه (۱۴) آمده است :

فاز I

در قدم اول برای آزمون یکسان بودن منحنی رگرسیون برازش شده، تمامی نمونه‌ها را با هم در یک نمونه ادغام کردیم. اندازه این نمونه برابر با ۱۵۹ شد. در مرحله بعد ۱۱ متغیر نشانگر تعیین شدند. همان طور که پیش تر در روش F توضیح دادیم، برای محاسبه ضرایب B_{ij} ، بر روی هر یک از ۱۲ نمونه اولیه، به طور جداگانه، مدل معادله (۳) را با درجه دو برازش دادیم. مقادیر به دست آمده برای ضرایب B_{ij} در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. ضرایب B_{ij}

J	B_0	B_1	B_2
1	0.45	-0.77	0.4
2	0.49	-0.82	0.41
3	0.28	-0.69	0.53
4	0.21	-0.51	0.43
5	0.21	-0.55	0.49
6	0.24	-0.69	0.6
7	0.34	-0.65	0.39
8	0.16	-0.63	0.62
9	0.21	-0.68	0.61
10	0.29	-0.72	0.5
11	0.4	-0.69	0.43
12	0.34	-0.68	0.4

همزمان با برازش پروفایل چند جمله ای درجه دو توسط نرم افزار SPSS، مقادیر SSE و درجات آزادی برای هر یک از ۱۲ نمونه اولیه محاسبه شد. مقادیر $SSE(F)$ و df_f را از جمع تمامی مقادیر SSE و df هر یک از نمونه‌ها به دست آوردیم. ضرایب پروفایل مرجع را با برازش مدل چند جمله ای درجه دو، بر نمونه ی ادغامی، یعنی کلیه ی داده‌ها، به دست آوردیم. رابطه پروفایل مرجع در این تحقیق به صورت زیر به دست آمد:

$$y_i = 0.306 - 0.681X_i + 0.469X_i^2 + \varepsilon_i; i = 1, 2, \dots, 159 \quad (20)$$

مقدار $SSE(R) = 9.021$ و درجه آزادی پروفایل مرجع نیز برابر با $N - k - 1 = 156$ محاسبه شد. آماره F پیشنهاد شده برای آزمون فرض یکسان بودن ۱۲ منحنی رگرسیون برازش شده را بر اساس رابطه (۶)، به صورت زیر محاسبه کردیم:

$$F = \frac{9.021 - 7.131/(156 - 123)}{7.131/123} = 0.98$$

آماره فوق دارای توزیع F با درجات آزادی $(m-1) = 33$ و $N - k - 1 = 123$ است. مقدار آماره F محاسبه شده را با حدود

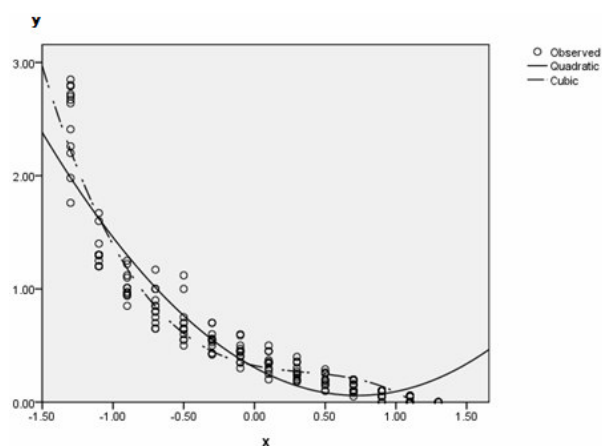
برای فاز I، از ۱۲ نمونه ی تست عملکرد ریه ($m = 12$) که از بیمار انسداد ریوی گرفته شده بود، استفاده کردیم. سپس مقادیر Y (جریان بازدم) را برای مقادیر مشخص X (حجم ریه) از روی نمودارهای جریان-حجم تست عملکرد ریه^۱، به دست آوردیم. با توجه به این نکته که شکل نمودار جریان-حجم از نقطه ی اوج به بعد، دارای اهمیت بیشتری در پایش این بیماری است، ما تحقیق خود را به این بخش از نمودار محدود کردیم. تابع چند جمله ای برای انطباق بر این بخش مناسب به نظر می رسید پس از آزمون انطباق از میان دو تابع درجه دو و درجه سه با مقادیر انطباق ۸۷ و ۹۱ درصد، تابع دوجه دو را بر گزیدیم. زیرا تفاوت اندکی میان درصد انطباق این دو تابع وجود داشت و هم چنین با افزایش مرتبه تابع چند جمله ای، روابط محاسباتی ضرایب تابع چند جمله ای متعادل به شدت طولانی و پیچیده می شوند، انطباق مرتبه های بالاتر نتیجه مطلوب و سودمندی را در بر نخواهد داشت. از سوی دیگر روش انتخابی برای فاز ۲ تنها مناسب پروفایل های چند جمله ای با رتبه ۳ و کمتر از آن است. در ادامه نتایج به دست آمده از انطباق دو تابع درجه دو و سه آورده شده است:

جدول ۱. نتایج انطباق تابع درجه دو بر کلیه داده ها

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.934	.872	.870	.240

جدول ۲. نتایج انطباق تابع درجه سه بر کلیه داده ها

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.959	.919	.918	.191



شکل ۳. انطباق دو تابع درجه دو و سه بر کلیه نمونه های

¹ - Flow-Volume Diagram

$$y_i = 0.324 - 0.708X_i + 0.475X_i^2 + \varepsilon_i; i = 1, 2, \dots, 135 \quad (21)$$

مقادیر SSE و درجات آزادی برای هر یک از ۱۰ نمونه اولیه در مرحله قبل محاسبه شده بود. مقادیر $SSE(F)$ و df_R را از جمع تمامی مقادیر SSE و df هر یک از ۱۰ نمونه باقی به دست آوردیم. $SSE(R) = 7.938$ محاسبه و درجه آزادی پروفایل مرجع برابر ۱۳۲ بود. آماره F پیشنهادی برای آزمون فرض یکسان بودن ۱۰ منحنی باقی مانده بر اساس رابطه ۶ دوباره محاسبه شد:

$$F = \frac{7.938 - 6.911/(132 - 105)}{6.911/105} = 0.577$$

این آماره دارای توزیع F با درجات آزادی ۲۷ و ۱۰۵ است. (مقدار m پس از حذف نمونه های ۴ و ۵ از ۱۲ به ۱۰ تقلیل می یابد). حدود کنترل UCL و LCL مربوط به این آماره به ترتیب برابر ۱.۷۳ و ۰.۵۱ می باشند که با توجه به اینکه مقدار این آماره در حدود کنترل خود قرار دارد فرض صفر آزمون یکسان بودن ۱۰ منحنی رگرسیون برآزش شده مورد قبول واقع شد. در ادامه آماره پیشنهادی توسعه داده شده توسط کاظم زاده و همکاران (۲۰۰۸) [۲۰] برای پایش انحراف معیار خطا در پروفایل های چند جمله ای، و حدود کنترل آن را با $\alpha = 0.05$ ، یک بار دیگر برای هر ۱۰ نمونه باقی مانده محاسبه کرده، این مقادیر در جدول ۵ آورده شده اند. همانطور که مشاهده می شود هیچ یک از مقادیر آماره F از حدود کنترل تعریف شده خارج نیست و این به معنای صحت آزمون انحراف معیار خطا می باشد.

جدول ۵. مقادیر آماره F و حدود کنترل مربوط به آن پس از

حذف نمونه های ۴ و ۵

j	Fj	Ucl	Lcl
1	1.281889	2.1331	0.3378
2	0.519098	2.1331	0.3378
3	1.295809	2.1864	0.3169
6	1.681702	2.1864	0.3169
7	0.458327	2.1331	0.3378
8	1.33141	2.1864	0.3169
9	1.550042	2.1864	0.3169
10	1.22825	2.1331	0.3378
11	0.282949	2.1864	0.3169
12	0.674676	2.1331	0.3378

درانتهای فاز I به تخمینی از پارامترهای A_0, A_1, A_2 دست یافتیم. با داشتن تخمین پارامترهای مدل و اطمینان از پایداری و تحت کنترل بودن پروفایل به دست آمده، فاز II را آغاز کردیم.

کنترل بالا و پایین مربوط به توزیع $F_{33,123}$ که به ترتیب برابر با ۱.۶۶ و ۰.۵۵ می باشند، مقایسه کردیم. از آنجائیکه مقدار این آماره، در حدود کنترل خود قرار داشت، فرض صفر آزمون یکسان بودن ۱۲ منحنی رگرسیون برآزش شده، مورد قبول واقع شد. در مرحله بعد آماره پیشنهادی توسعه داده شده توسط کاظم زاده و همکاران [۲۰] برای پایش انحراف معیار خطا در پروفایل های چند جمله ای را، برای هر ۱۲ نمونه اولیه، به همراه حدود کنترل بالا و پایین این آماره، با $\alpha = 0.05$ ، محاسبه کردیم. این مقادیر در جدول ۴ آورده شده اند:

جدول ۴. مقادیر آماره F و حدود کنترل مربوط به آن

j	Fj	UCL	LCL
1	1.472267	2.1101	0.3392
2	0.597865	2.1101	0.3392
3	1.486371	2.1639	0.3181
4	0.145346	2.2275	0.2946
5	0.26072	2.2275	0.2946
6	1.926557	2.1639	0.3181
7	0.527991	2.1101	0.3392
8	1.527027	2.1639	0.3181
9	1.776499	2.1639	0.3181
10	1.410939	2.1101	0.3392
11	0.325648	2.1639	0.3181
12	0.776605	2.1101	0.3392

پس از محاسبه آماره F_j و حدود کنترل برای انحراف خطا، مشاهده شد که این آماره برای نمونه های چهارم و پنجم، خارج از حدود کنترل است (این مقادیر در جدول با خط ضخیم تر نمایش داده شده اند). با بازگشت و بررسی مقادیر و نمودارهای جریان-حجم این دو نمونه، و تحقیق درباره وضعیت بیمار در زمان گرفتن تست تنفسی، افت کیفیت تنفس و وخیم تر شدن بیماری در آن دوره، به عنوان علت پزشکی تشخیص داده شد. با آگاهی از انحرافات با دلیل، داده های این دو نمونه را از نمونه های اولیه حذف و پارامترهای پروفایل چند جمله ای درجه دوم را دوباره محاسبه کردیم.

بدین منظور پس از حذف نمونه های مذکور، دوباره مدل رگرسیونی درجه دوم معادله (۳)، بر داده های ۱۰ نمونه باقی مانده برآزش داده شد. همانند بار گذشته ضرایب پروفایل مرجع با برآزش مدل چند جمله ای درجه دو برکلیه داده های ۱۰ نمونه باقی مانده به صورت معادله (۲۱) به دست آمد.

۲-۴. اجرای فاز II

با توجه به روش چند جمله ای متعامد [۲۳] در فاز II، مدل رگرسیون چند جمله ای می بایست به مدل رگرسیون چند جمله ای متعامد تبدیل می شود. در فاز I مدل اصلی را در حالت تحت کنترل به صورت معادله (۲۱) به دست آوردیم. مقادیر $P_{ii}(x_i)$ برای دو مرتبه ۱ و ۲، بر اساس روابط شماره (۱۱) محاسبه و نتایج آن در جدول ۶ آورده شده اند. $\lambda_1 = 1$ و $\lambda_2 = 4$ نیز به ترتیب در نتیجه محاسبه $P_1(x_i)$ و $P_2(x_i)$ به دست آمدند. با در اختیار داشتن پارامترهای A_0, A_1, A_2 و با استفاده از روابط (۲۲)، مقادیر پارامترهای B_0, B_1, B_2 محاسبه شدند. مقدار $d = 0.2$ برابر فاصله بین مقادیر x_i است.

$$B_2 = \frac{A_2 d^2}{\lambda_2} = 0.00475$$

$$B_1 = \frac{d}{\lambda_1} (A_1 + 2A_2 \bar{x}) = -0.1606 \quad (22)$$

$$B_0 = A_0 + \bar{x} A_1 + \left[\frac{-2}{x} + \left(\frac{n^2 - 1}{12} \right) d^2 \right] A_2 = 0.7083$$

در فاز II، ۵ نمونه ی جدید از تست عملکرد ریه ی فرد بیمار تهیه شد. برآورد کننده های روش حداقل مربعات B_{ij} را برای این ۵ نمونه توسط رابطه (۱۲) محاسبه و نتایج را در جدول ۷ آورده ایم. بعد از مستقل کردن ضرایب، آماره $EWMA$ رابطه (۱۳) را برای پایش ضرایب به دست آمده از نمونه های جدید به کار بردیم. هم چنین برای پایش پراکندگی خطا در هر یک از این ۵ نمونه از آماره $EWMA$ رابطه (۱۵) استفاده کردیم. مقدار این آماره برای هر نمونه در جدول ۷، و حدود کنترل بالا و پایین برای هر یک از آنها در جدول ۸ آورده شده است. مقادیر ثابت های استفاده شده در آماره های $EWMA$ و حدود کنترل آنها در این تحقیق برای دستیابی به $ARL = 200$ در حالت تحت کنترل، برابر با $L_c = 3.59; K_L = 3.1; \theta = 0.2$ ، و مقدار $EWMA_L(0) = B_L$ و $EWMA_E(0) = 0$ بودند. $\sigma^2 = 0.06$ را از برازش پروفایل چند جمله ای درجه دو بر داده های تحت کنترل در فاز I به دست آوردیم:

$$Var(MSE_j) = \frac{2\sigma^4}{n} = \frac{2 \times (0.06)^2}{14} = 0.0005$$

جدول ۷. مقادیر آماره های EWMA

J	1	2	3	4	5
B0j	0.631	0.638	0.654	0.688	0.674
EWMA0(j)	0.692	0.682	0.676	0.678	0.677
B1j	-0.127	-0.127	-0.119	-0.129	-0.122
EWMA1(j)	-0.153	-0.148	-0.144	-0.141	-0.137
B2j	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
EWMA2(J)	0.004	0.003	0.007	0.012	0.023
MSEj	0.074	0.090	0.090	0.114	0.298
EWMAe(j)	-0.185	-0.329	-0.445	-0.533	-0.567
EWMAe(j)	0	0	0	0	0

به عنوان مثال محاسبات مربوط به پارامترهای B_{01} و آماره های $EWMA_0(1)$ ، $EWMA_1(1)$ ، $EWMA_2(1)$ و حدود کنترل آنها در زیر آورده شده است. با نگاه به نتایج به دست آمده برای آماره های مورد نظر و مقایسه آنها با حدود کنترل خود، شیفی را در پارامترهای دوم و سوم پروفایل برازش شده، در نمونه های چهارم و پنجم مشاهده کردیم (این اعداد در جدول با خط ضخیم تر نمایش داده شده اند). از آنجایی که مقادیر این پارامترها نسبت به حد کنترل بالا افزایش یافته اند و با توجه به اینکه بالا رفتن سطح نمودار جریان-حجم و نزدیک شدن آن به نمودار نرمال فرد نشانه بهبود در وضعیت بیماری می باشد، این نتیجه به طور دقیق تر بررسی و مشخص شد

جدول ۶. مقادیر چند جمله ای های متعامد

Xi	P0(Xi)	P1(xi)	P2(xi)
-1.3	1	-6	79
-1.1	1	-5	35
-0.9	1	-4	-1
-0.7	1	-3	-29
-0.5	1	-2	-49
-0.3	1	-1	-61
-0.1	1	0	-65
0.1	1	1	-61
0.3	1	2	-49
0.5	1	3	-29
0.7	1	4	-1
0.9	1	5	35
1.1	1	6	79
1.3	1	7	131

با توجه به مقادیر محاسبه شده برای B_0, B_1, B_2 مدل تغییر فرم یافته (مدل پروفایل چند جمله ای متعامد) برای شروع فاز II به صورت معادله (۲۳) به دست آمد:

$$y_{ij} = 0.0047P_0(x_i) - 0.1606P_1(x_i) + 0.7083P_2(x_i) + \varepsilon_{ij} \quad (23)$$

$$i = 1, 2, \dots, 14; j = 1, 2, \dots$$

¹ - Average Run Length

اجرا شد. از بین روش های موجود در پایش پروفایل های چند جمله ای، روش آماره $F [20]$ در فاز I، و روش چند جمله ای های متعامد [22] در فاز II به کار گرفته شدند.

نتایج به دست آمده از پایش پروفایل ها در بخش پزشکی در کنترل وضعیت بیمار و تشخیص دقیق تغییر در این وضعیت، نشان دهنده توانایی آن در کمک به علم پزشکی می باشد. در نتیجه ی به کارگیری روش پایش پروفایل ها، در این حوزه، امکان کنترل وضعیت بیمار در طی زمان با خود او ایجاد می شود. یعنی هم اکنون متخصصان قادر هستند در کنار استفاده از مقادیر استاندارد از پایش تعیین شده، وضعیت بیمار را نسبت به شرایط سابق خود فرد پایش کرده و این امر در بهبود عملکرد درمان مفید می باشد. هر چند این موفقیت در یک نوع بیماری به دست آمده است اما می توان این نتیجه را به سایر حوزه های پزشکی و درمان تعمیم داد. همان طور که نیاز پزشکی در پایش بیماری ها به فرآیند های کنترل کیفیت و کارآمدی این روش ها در پاسخگویی به این نیاز اثبات شده است، می توان کاربرد آن را وسعت بخشید. پایش پروفایل ها قابل به کارگیری برای سایر بیماری ها است. استفاده از روش های پایش پروفایل ها بر روی طیف وسیع تری از بیماران می تواند مفید واقع شود. هم چنین به منظور بهبود در به کارگیری از سیر فرآیند این مقاله، امکان برآزش مدل رگرسیون چند جمله ای درجه ۳ نیز میسر می باشد.

مراجع

- [1] نورالسنا، ر. امیری. ا. "بهبود پایش پروفایل های خطی در فاز ۲".
مجله علمی پژوهشی امیرکبیر. سال ۱۸. شماره ب-۶۶. صفحه ۱۹-۲۷.
۱۳۸۶.

- [2] Raftery, A.E., Tanner, M.A., Wells, M.T., Statistics in the 21st Century, Chapman&Hall/CRC,2001.
- [3] British Deming Association, WHY SPC?, SPC Press, No 4, P 15,1992.
- [4] Montgomery, D.C., Introduction to Statistical Quality Control, Fifth Edition, John Wiley and Sons, Inc, 2005.
- [5] Jin, J., Shi, J., "Feature-Preserving Data Compression of Stamping Tonnage Information Using Wavelets", Technometrics, Vol. 41, No 4, Nov. 1999, pp. 327-339.
- [6] Kang, L., Albin, S.L., "On-Line Monitoring When the Process Yields a Linear Profile", Journal of Quality Technology, Vol. 32, No. 4, 2000, pp. 418-426.
- [7] Jin, J., Shi, J., "Automatic Feature Extraction of Waveform Signals for In-Process Diagnostic Performance Improvement", Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 12, No. 3, June 2001, pp. 257-268.
- [8] Kim, K., Mahmoud, M.A., Woodall, W.H., "On the Monitoring of Linear Profiles", Journal of Quality Technology, Vol. 35, No 3, 2003, pp. 317-328.

بیمار در دوره ی درمان پیش از تست ریه چهارم و پنجم، استفاده از یک اسپری تنفسی جدید را آغاز کرده بوده است. با تأیید این بهبود توسط پزشک، موفقیت به کارگیری روش پایش پروفایل در تشخیص و پایش وضعیت بیماری، همانطور که انتظار می رفت، به اثبات رسید.

$$\hat{B}_{0i} = \frac{\sum_{i=1}^4 P_0(x_i) y_{i1}}{\sum_{i=1}^4 P_0^2(x_i)} = 0.6314$$

$$EWMA_0(1) = \theta \hat{B}_{0i} + (1-\theta)EWMA_0(0) = 0.2 \times 0.6314 + 0.8 \times 0.7083 = 0.6929$$

$$LCL_0 = B_0 - K_0 \sqrt{\frac{\theta \sigma^2}{(2-\theta) \sum_{i=1}^n P_0^2(x_i)}} = 0.7083 - 3.1 \sqrt{\frac{0.2 \times 0.06}{1.8 \times 14}} = 0.6406$$

$$UCL_0 = B_0 + K_0 \sqrt{\frac{\theta \sigma^2}{(2-\theta) \sum_{i=1}^n P_0^2(x_i)}} = 0.7083 + 3.1 \sqrt{\frac{0.2 \times 0.06}{1.8 \times 14}} = 0.7759$$

$$EWMA_E(1) = \max \{ \theta(MSE_1 - 1) + (1-\theta)EWMA_E(0), 0 \} = \max \{ 0.2 \times (0.0744 - 1) + 0.8 \times (0), 0 \} = \max \{ -0.1851, 0 \} = 0$$

$$UCL_E = L_E \sqrt{\frac{\theta \times Var(MSE_j)}{2-\theta}} = 3.59 \times \sqrt{\frac{0.2 \times 0.0005}{1.8}} = 0.02714$$

جدول ۸. حدود کنترل پارامترهای مدل چند جمله ای

	متعامد			
	B0	B1	B2	MSE
UCL	0.776	0.144	0.009	0.027
LCL	0.641	0.177	5E-04	---

۵. نتیجه گیری

در این مقاله با دیدگاه گسترش کاربردهای روش های کنترل کیفیت آماری، و به ویژه روش های پایش پروفایل ها در بخش پزشکی و درمان، نمونه ای عملی از این ویژگی به اجرا درآمده است. نمودار جریان-حجم در تست عملکرد ریه، نمونه مناسبی برای به کارگیری روش های پایش پروفایل ها شناخته شد. پس از بررسی و برآزش مدل پروفایل های مختلف، مدل رگرسیون چند جمله ای انتخاب گردید.

اطلاعات یک بیمار در طی دوره درمان برای این تست جمع آوری و فرآیند کنترل کیفیت آماری در دو فاز I و II، بر روی این داده ها

- Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 42, No.7-8, June 2009, pp. 703-712.
- [24] Woodall, W.H., "Use of Control Charts in Health Care Monitoring and Public Health Surveillance (with Discussion)", Journal of Quality Technology, Vol. 38, 2006, PP. 89-104.
- [25] Benneyan, J.C., "Statistical Quality Control Methods in Infection Control and Hospital Epidemiology, Part I: Introduction and Basic Theory", Infection Control and Hospital Epidemiology, Vol. 19, 1998, pp. 194-214.
- [26] Benneyan, J.C., "Statistical Quality Control Methods in Infection Control and Hospital Epidemiology, Part II: Chart Use, Statistical Properties, and Research Issues". Infection Control and Hospital Epidemiology, Vol.19,1998, pp. 265-283.
- [27] Lee, K.Y., McGreevey, C., "Using Control Charts to Assess Performance Measurement Data". Journal on Quality Improvement, Vol. 28,2002a, pp. 90-101.
- [28] Lee, K.Y., McGreevey, C., "Using Comparison Charts to Assess Performance Measurement Data". Journal on Quality Improvement, Vol. 28, pp. 129-138.
- [29] Benneyan, J.C., Borgman, A.D., "Riskadjusted Sequential Probability Ratio Tests and Longitudinal Surveillance Methods". International Journal for Quality in Health Care, Vol. 15,2003, pp. 5-6.
- [30] Alemi, F., Neuhauser, D., "Time-Between Control Charts for Monitoring Asthma Attacks", Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety, Vol. 2, 2004, pp. 95-102.
- [31] Woodall, W.H., Spitzner, D.J., Montgomery, D.C., Gupta, S., "Using Control Charts to Monitor Process and Product Quality Profiles", Journal of Quality Technology, Vol. 36, 2004, pp. 309-320.
- [32] Ruppel, G., Manual of Pulmonary Function Testing, Mosby,1997.
- [9] Mahmoud, M.A., Woodall, W.H., "Phase I Monitoring of Linear Profiles with Calibration Application", Technometrics, vol. 46, 2004, PP. 380-391.
- [10] Noorossana, R., Amiri, A., Vaghefi, A., Roghanian, E., "Monitoring Quality Characteristics Using Linear Profile", Proc. 3rd Conf. International Industrial Engineering, Tehran, Iran, 2004.
- [11] Zou, C., Zhang, Y., Wang, Z., "Control Cchart Based on Change-Point Model for Monitoring Linear Profiles." , IIE Transactions, Vol.38, No.12, 2006.
- [12] Niaki, S.T.A., Abbasi, B., Arkat, J., "A Generalized Linear Statistical Model Approach to Monitor Profiles", International Journal of Engineering, Transactions A: Basics, Vol. 20, No.3, 2007, pp. 233-242.
- [13] Walker, E., Wright, S., "Comparing Curves Using Additive Models", Journal of Quality Technology, Vol. 34, 2002, pp. 118-129.
- [14] Williams, J.D., Woodall, W.H., Berch, J.B., "Phase I Monitoring of Nonlinear Profiles", Presented at the 2003 Quality and Productivity Research Conference, Yorktown Heights, New York, 2003.
- [15] Vaghefi, A., "Phase Two Monitoring Of Nonlinear Profiles", M.Sc Thesis. IUST University. Tehran, Iran, 2004.
- [16] Ding, Y., Zeng, L., Zhou, S., "Phase I Analysis for Monitoring Nonlinear Profiles in Manufacturing Processes", Journal of Quality Technology, Vol. 38,2006, pp. 199-216.
- [17] Williams J.D., Woodall W.H., & Birch J.B., "Statistical Monitoring of Nonlinear Product and Process Quality Profiles", Qual Reliab Eng Int, Vol. 23, 2007, pp. 925-941,
- [18] Jensen, W.A., Birch, J.B., "Profile Monitoring via Nonlinear Mixed Models", To appear in J. Qual. Technol, Vol. 41, 2008, pp. 18-34.
- [19] Vaghefi, A., Tajbakhsh, S.D., noorossana, R., "Phase II Monitoring of Nonlinear Profiles", to Appear in Communications in Statistics - Theory and Methods, 2008.
- [20] Jensen, D.R., Hui, Y.V., Ghare, P.M., "Monitoring an Input-Output Model for Production. I: The Control Charts", Management Science, Vol. 30, No.10, Nov. 1984, pp.1197-1206.
- [21] Kazemzadeh R. B., Noorossana R., & Amiri A., "Phase I Monitoring of Polynomial Profiles", Communications in Statistics - Theory and Methods, Vol. 37, No.10,2008, pp.1671 - 1686.
- [22] Zou C., Tsung F., Wang Z. "Monitoring General Linear Profiles using M, multivariate Exponentially Weighted Moving Average Schemes", Technometrics, Vol. 49,2007, pp. 395-408.
- [23] Kazemzadeh, R.B., Noorossana, R., Amiri, A., "On the Monitoring of Polynomial Profiles", International