

# اولین نتایج بازشناسی دست نوشته‌های زبان فارسی میانه زردشتی توسط روشهای بازشناسی آماری و عصبی با استفاده از ویژگیهای زرنیک و شبه زرنیک

حسن آقایی نیا  
استادیار  
دانشکده برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

شاهپور علیرضایی  
دانشجوی دکتری  
دانشکده برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

داریوش اکبرزاده  
استادیار  
پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی

کریم فائز  
استاد  
دانشکده برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

در این مقاله برای اولین بار الگوریتمهای شناسایی آماری الگو و شبکه عصبی روی دست نوشته‌های باستانی فارسی میانه زردشتی پیاده‌سازی شده است. پس از حذف نویز و پردازشهای مقدماتی، گشتاورهای هندسی و متعاقب آن ویژگی‌های زرنیکی و شبه زرنیکی محاسبه شده است. ویژگیهای زرنیکی و شبه زرنیکی با درجات مختلف جهت دسته‌بندی مورد آزمایش قرار گرفته است. روشهای دسته‌بندی نزدیکترین فاصله از میانگین  $k$  نزدیکترین همسایه  $k$  (KNN) ( $K=1,3,5,7$ )، پارزن ( $W=0.08, 0.09, 0.1, 0.11$ ) و شبکه عصبی جلوسو بایک لایه پنهان روی دست نوشته‌های فارسی میانه زردشتی اعمال شده است. بهترین دقت طبقه‌بندی روشهای آماری با روش کمترین فاصله از میانگین مقیاس شده با ماتریس کواریانس مرکب نمونه‌ها بمیزان  $97/14\%$  و با ویژگی شبه زرنیک مرتبه چهارم حاصل شده است. بهترین دقت طبقه‌بندی شبکه عصبی با ویژگی شبه زرنیک مرتبه سوم و چهارم با  $10$  و  $32$  لایه پنهان  $85/71\%$  و  $91/43\%$  می‌باشد.

## کلمات کلیدی

پردازش تصویر، بازشناسی آماری الگو، شبکه عصبی، طبقه‌بندی، استخراج ویژگی، زرنیک، شبه زرنیک

## The First Results on Recognition of Handwritten Middle Persian Texts

S. Alirezae  
Ph. D. Student  
Department Electrical Engineering,  
Amirkabir University of Technology

H. Aghaenia  
Assistant Professor  
Department Electrical Engineering,  
Amirkabir University of Technology

K. Faez  
Professor  
Department Electrical Engineering,  
Amirkabir University of Technology

D. Akbarzadeh  
Assistant Professor  
Research Center of Culture

## Abstract

*In this paper for a first-time, statistical pattern recognition algorithms applied to handwritten middle Persian texts. After noise cancellation and pre-processing, geometrical moments and then zernike and psudu-zernike moments calculated. Zernike and psudo-zernike moments with different orders have been tested. For classificatin, minimum mean distance, KNN and parzen method and feedforward neural network have been applied. Minimum classification error in statistical methods is 2.86% and in neural network is 8.57%.*

## Keywords

*Image processing, Statistical pattern recognition, Neural network, Classification, Feature Extraction, Zernike, Psudo-Zernik*

## مقدمه

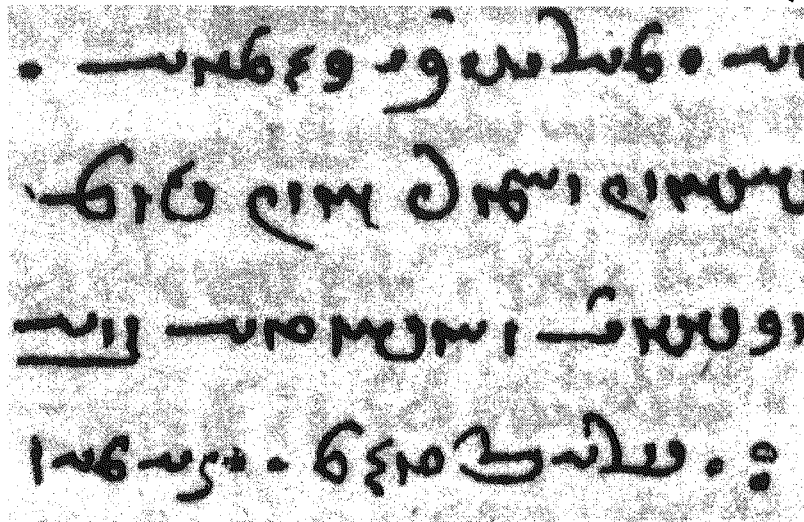
فارسی میانه دنباله فارسی باستان است. به این زبان پهلوی و پهلوی ساسانی نیز گفته می‌شود. این زبان در دوره ساسانی زبان رسمی ایران بوده و از آن چهار نوع اثر با چهار الفبا برجای مانده است [۱] که عبارتند از: الف) کتیبه‌های شاهان و رجال ساسانی (فارسی میانه کتیبه‌ای)، ب) نوشته‌های مسیحیان ایران (فارسی میانه مسیحی)، ج) نوشته‌های زردشتیان ایران (فارسی میانه زردشتی)، د) نوشته‌های مانی و پیروان او (فارسی میانه ترفانی).

در این مقاله الگوریتمهای بازشناسی آماری الگو و شبکه عصبی روی نوشته‌های فارسی میانه زردشتی پیاده‌سازی شده است. تعداد الفبای این زبان ۲۱ عدد می‌باشد. از آنجائیکه کلمات این زبان از کنار هم قرار گرفتن حروف حاصل می‌شوند اساس کار این تحقیق بر شناسایی حروف قرار گرفته است. شایان ذکر است که در حال حاضر ۵۷ جلد کتاب از متون فارسی میانه زردشتی در ایران موجود است. روشهای نزدیکترین فاصله از میانگین  $k$ ، نزدیکترین همسایه، پنجره پارزن و شبکه عصبی روی ویژگیهای زرنیکی و شبه زرنیکی دادگان مذکور اعمال شده است. در این مقاله تعداد نمونه‌های آموزشی برای هر کلاس ۳۰ نمونه و تعداد نمونه‌های آزمایشی برای هر کلاس ۲۰ نمونه می‌باشد که بصورت یک بانک اطلاعاتی از دست نوشته‌های مختلف فراهم شده است (توسط نویسندگان مقاله). نحوه تهیه بانک اطلاعاتی بدین صورت است که پس از اسکن دست نوشته‌های مذکور و بکمک همکار زبان شناس تعداد ۵۰ نمونه از هر یک از حروف انتخاب و جهت انجام آزمایشات در یک بانک اطلاعاتی قرار داده شده است. لازم بذکر است که بدلیل پاره‌ای شباهتها بین حروف و مخدوش شدن بسیاری از این متون در تشخیص بعضی حروف استخراجی حتی بین متخصصین امر نیز اتفاق نظر وجود ندارد.

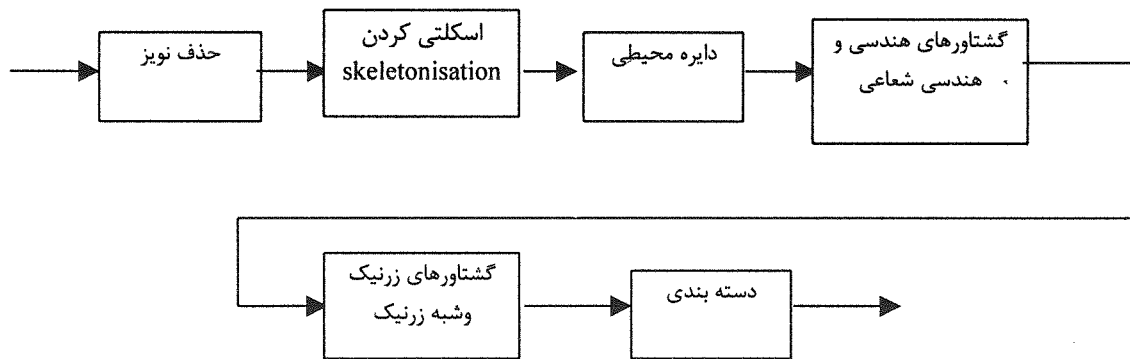
در ادامه در بخش ۲ پردازشهای اولیه مورد نیاز جهت طبقه‌بندی الگو مطرح شده و ویژگی‌های زرنیکی و شبه زرنیکی معرفی می‌گردد. سپس در بخش ۳، طبقه‌بندی کننده‌های مورد استفاده در این مقاله که عبارتند از: نزدیکترین فاصله از میانگین، KNN و طبقه‌بندی کننده پارزن و شبکه عصبی معرفی و نتایج طبقه‌بندی ارائه می‌شود. در انتها در بخش ۴ به بحث و نتیجه‌گیری در مورد کار انجام شده، خواهیم پرداخت.

## ۱- پردازشهای مقدماتی و استخراج ویژگی

هدف از استخراج ویژگی، توصیف الگوهای ورودی با یک سری ویژگی می‌باشد. این ویژگی‌ها باید الگوها را به خوبی توصیف کنند. در مسائل دسته‌بندی، یک ویژگی مناسب در حالت کلی باید بتواند دسته‌های مختلف را از یکدیگر متمایز سازد. اما در مساله پردازش الگو بطور خاص، باید خواصی از قبیل مستقل بودن از چرخش، اندازه و جابجایی را نیز داشته باشد. بدلیل شباهت تقریبی حروف پهلوی ساسانی و تعدادی از حروف فارسی و نتایج خوب استفاده از گشتاورهای زرنیکی و شبه زرنیکی در بازشناسی الگوهای فارسی، در این مقاله نیز از این ویژگیها استفاده شده است [۴ و ۷] (شکل ۱). در ادامه ویژگیهای زرنیکی و شبه زرنیکی بطور خلاصه توضیح داده شده است. دیاگرام بلوکی پردازشهای مورد نیاز در دسته بندی الگو در شکل ۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است که تمامی تصاویر از مرجع [۲] اسکن شده است.



شکل (۱) نمونه‌ای از متون فارسی میانه.



شکل (۲) دیاگرام بلوکی پردازشهای لازم در دسته‌بندی الگو.

### ۱-۱- حذف نویز

با توجه به اینکه متون دست نویس عمدتاً دارای دو سطح سیاه (نوشته) و سفید به اضافه نویز می‌باشند، بهترین و ساده‌ترین راه جهت حذف نویز استفاده از آستانه می‌باشد. در این تحقیق نیز از این روش جهت حذف نویز استفاده شده است.

### ۱-۲- نازک سازی (اسکلتی کردن)

برای اینکه تشخیص الگوها از قلم مستقل شود لازم است نازک شوند. روشهای مختلفی برای نازک‌سازی حروف عربی پیشنهاد شده است [۵ و ۶]. اما الگوریتم استفاده شده در این مقاله، الگوریتم ارائه شده در مرجع [۳] می‌باشد. منظور از نازک کردن یک شکل باینری، بدست آوردن اسکلت آن می‌باشد. این کار با حذف کردن نقاط مرزی صورت می‌گیرد. حذف کردن نقاط مرزی آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا اسکلت شکل باقی بماند. نازک کردن شکل نباید باعث ایجاد حفره در شکل شود. همچنین این کار نباید باعث قطع ارتباط قسمتهای مختلف شکل با یکدیگر شود. فرض می‌کنیم که نقاط شکل مقدار یک و نقاط زمینه مقدار صفر داشته باشند. بنابراین نقاط مرزی شکل، نقاطی هستند که حداقل یکی از هشت همسایه آنها مقدار صفر داشته باشد (نقطه n همسایه شمالی، s همسایه جنوبی، e همسایه شرقی، w همسایه غربی، ne همسایه شمال شرقی، nw همسایه شمال غربی، se همسایه جنوب شرقی و sw همسایه جنوب غربی).

$$1) n'ws'e+nw'se'=0$$

$$2) n'(ne)e'+e'(se)s'+s'(sw)w'+w'(nw)n'=0$$

$$3) nesw+(ne)(nw)(se)(sw)+n's'e'w'=0$$

$$4) n'(ne)'e(se)'s'+n'(nw)'w(sw)'s'+e'(ne)'w(sw)'s'+e'(ne)'n(nw)'w'+e'(se)'s(sw)'w'=0$$

### ۱-۳- گشتاورهای زرنیکی

گشتاورهای زرنیکی، تصویر یک تابع دوبعدی به چند جمله ایهای مختلط متعامد است [۳ و ۷]. این چند جمله ایها داخل دایره واحد تعریف شده و یک مجموعه کامل هستند. مجموعه این چند جمله ایها با  $\{V_{nm}(x, y)\}$  نشان داده شده و بصورت زیر تعریف می شود:

$$V_{n,m}(x, y) = R_{n,m}(x, y) \cdot \exp(j \cdot m \cdot \tan^{-1}(y/x)) \quad x^2 + y^2 \leq 1 \quad (1)$$

که در این رابطه  $n, m$  بترتیب مرتبه و تکرار نامیده شده و دارای شرایط زیر می باشند:  
 $n$  عددی صحیح و بزرگتر یا مساوی صفر. ( $n \geq 0$ )

$m$  عددی صحیح (مثبت یا منفی) با شرایط  $|m| \leq n$  و زوج.  
 چند جمله ای شعاعی بوده و بصورت زیر تعریف می شود:

$$R_{n,m}(x, y) = \sum_{s=0}^{\frac{n-|m|}{2}} B_{n,|m|,s} \cdot (x^2 + y^2)^{n-2s/2} \quad (2)$$

$$B_{n,|m|,s} = (-1)^s \cdot \frac{(n-s)!}{s! \cdot \left(\frac{n+|m|}{2} - s\right)! \cdot \left(\frac{n-|m|}{2} - s\right)!} \quad (3)$$

گشتاورهای زرنیکی تصویر یک تابع دوبعدی روی این توابع پایه می باشد. گشتاورهای زرنیکی از مرتبه  $n$  و تکرار  $m$  برای تابع گسسته دوبعدی  $f(x, y)$  که فقط در داخل دایره یکه مقدار داشته باشد بصورت زیر محاسبه می شوند:

$$A_{n,m} = \frac{n+1}{\pi} \cdot \sum_x \sum_y f(x, y) \cdot V_{n,m}^*(x, y) \quad x^2 + y^2 \leq 1 \quad (4)$$

بجای محاسبه گشتاورهای زرنیکی توسط رابطه ۴ می توان آنها را با استفاده از گشتاورهای هندسی توسط رابطه زیر محاسبه کرد:

$$A_{n,m} = \frac{n+1}{\pi} \sum_{s=0}^{n-|m|/2} \sum_{a=0}^b \sum_{d=0}^{|m|} (-j)^d \cdot \binom{|m|}{d} \cdot \binom{b}{a} \cdot B_{n,|m|,s} \cdot G_{n-2s-2a-2d, 2a+d} \quad (5)$$

که در رابطه بالا  $G$  گشتاور هندسی مرکزی میاس شده می باشد و با روابط زیر محاسبه می شود:

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y f(x, y) \cdot x^p \cdot y^q \quad (6)$$

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y f(x, y) \cdot (x-x_0)^p \cdot (y-y_0)^q$$

$$x_0 = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad y_0 = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

$$G_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\alpha^{(p+q+2)/2}}$$

### ۱-۴- گشتاورهای شبه زرنیکی

گشتاورهای شبه زرنیکی تصویر یک تابع دوبعدی روی توابع پایه مختلط و متعامد  $\{V_{nm}(x,y)\}$  است. این توابع داخل دایره واحد تعریف می‌شوند و یک مجموعه کامل هستند. چندجمله‌ایهای  $\{V_{nm}(x,y)\}$  بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$V_{n,m}(x,y) = R_{n,m}(x,y) \cdot \exp(j \cdot m \cdot \tan^{-1}(y/x)) \quad x^2 + y^2 \leq 1 \quad (7)$$

که در این رابطه  $n, m$  بترتیب مرتبه و تکرار نامیده شده و دارای شرایط زیر می‌باشند:

$n$  عددی صحیح و بزرگتر یا مساوی صفر ( $n \geq 0$ )

$m$  عددی صحیح (مثبت یا منفی) با قدر مطلق کوچکتر یا مساوی  $n$ .

نت چندجمله‌ای شعاعی بوده و بصورت زینا تعریف می‌شود:

$$R_{n,m}(x,y) = \sum_{s=0}^{n-|m|} S_{n,|m|,s} \cdot (x^2 + y^2)^{\frac{n-s}{2}} \quad (8)$$

که  $S_{n,|m|,s}$  بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{n,|m|,s} = (-1)^s \cdot \frac{(2n+1-s)!}{s! \cdot (n-|m|-s)! \cdot (n+|m|+1-s)!} \quad (9)$$

بوضوح دیده می‌شود که  $R_{n,-m}(x,y) = R_{n,m}(x,y)$  می‌باشد (بنابراین رابطه  $V_{n,m}(x,y) = V_{n,-m}^*(x,y)$  برقرار خواهد بود).

گشتاورهای شبه زرنیکی تصویر یک تابع دوبعدی روی این توابع پایه می‌باشند. گشتاورهای شبه زرنیکی از مرتبه  $n$  و تکرار  $m$  برای تابع گسسته دوبعدی  $f(x,y)$  که در خارج از دایره واحد مقدار صفر دارد، بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$A_{n,m} = \frac{n+1}{\pi} \cdot \sum_x \sum_y f(x,y) \cdot V_{n,m}^*(x,y) \quad (10)$$

تفاوت گشتاورهای زرنیکی و شبه زرنیکی در تکرار گشتاورها ( $m$ ) می‌باشد. در گشتاورهای زرنیکی لازم است که  $n-|m|$  زوج باشد، در صورتیکه در گشتاورهای شبه زرنیکی این شرط وجود ندارد. بنابراین تعداد گشتاورهای شبه زرنیکی از مرتبه  $n$  تقریباً دو برابر گشتاورهای زرنیکی از همان درجه است.

بجای محاسبه گشتاورهای شبه زرنیکی توسط رابطه ۱۰ می‌توان آنها را با استفاده از گشتاورهای هندسی و هندسی شعاعی توسط رابطه زیر محاسبه کرد:

$$A_{n,m} = \frac{n+1}{\pi} \cdot \sum_{\substack{s=0 \\ (n-s-m)\text{even}}}^{n-|m|} S_{n,|m|,s} \cdot \sum_{a=0}^k \sum_{b=0}^m \binom{k}{a} \cdot \binom{m}{b} \cdot (-j)^b \cdot G_{(2,k-2,a+m-b),(2,a+b)} \\ + \frac{n+1}{\pi} \cdot \sum_{\substack{s=0 \\ (n-s-m)\text{odd}}}^{n-|m|} S_{n,|m|,s} \cdot \sum_{a=0}^d \sum_{b=0}^m \binom{d}{a} \cdot \binom{m}{b} \cdot (-j)^d \cdot R_{(2,d-2,a+m-b),(2,a+b)} \quad (11)$$

که در این رابطه  $G_{p,q}$  گشتاور هندسی مقیاس شده و  $R_{p,q}$  گشتاور هندسی شعاعی مقیاس شده و  $k=(n-s-m)/2$  و  $d=(n-s-m-1)/2$  است. گشتاورهای هندسی مقیاس شده و  $R_{p,q}$  گشتاور هندسی شعاعی مقیاس شده توسط روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\rho_{pq} = \sum_x \sum_y f(x,y) \cdot (x^2 + y^2)^{1/2} \cdot x^p \cdot y^q \quad p, q = 0, 1, 2, \dots, \infty \quad (12)$$

$$\rho'_{pq} = \sum_x \sum_y f(x,y) \cdot \left( (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 \right)^{1/2} \cdot (x-x_0)^p \cdot (y-y_0)^q \quad R_{pq} = \frac{\rho'_{pq}}{\alpha^{p+q+3/2}}$$

گشتاور زرنیکی  $A_{00}$  نشان‌دهنده سطح الگو بوده و معمولاً "گشتاورها بر آن تقسیم میشوند. این کار باعث مقیاس شدن گشتاورها شده  $A_{00}$  و برابر یک می‌باشد. چون در گشتاورهای هندسی مرکزی  $G_{01}, G_{10}$  همواره برابر صفر می‌باشد،  $A_{11}$  برای همه الگوها مقدار صفر خواهد داشت. بنابراین در این مقاله از دو گشتاور  $A_{00}, A_{10}$  استفاده نشده است. با توجه به اینکه  $A_{mm} = A_{n,-m}^*$  می‌باشد، گشتاورهای شبه زرنیکی فقط برای  $m$  های مثبت محاسبه شده است.

## ۲- طبقه‌بندی کننده‌ها

پس از استخراج بردارهای ویژگی نوبت به طبقه‌بندی می‌رسد. در این مقاله سه روش طبقه‌بندی آماری [۸] روی ویژگیهای زرنیکی و شبه زرنیکی اعمال شده است. روشهای آماری فوق عبارتند از: نزدیکترین فاصله از میانگین، KNN و پارزن. نحوه محاسبه خطا به این صورت است که نمونه‌های گروه تست (۲۰×۲۱ الگو) را توسط طبقه‌بندی کننده، مورد آزمون قرار داده و درصد خطای طبقه‌بندی دادگان گروه تست بعنوان درصد خطای طبقه‌بندی کننده منظور می‌گردد. در ادامه پس از معرفی مختصر روشهای مذکور نتایج طبقه‌بندی روی دست نوشته‌های فارسی میانه زردشتی ارائه می‌شود.

### ۲-۱- طبقه‌بندی کننده نزدیکترین فاصله از میانگین

ساده‌ترین طبقه‌بندی کننده‌ای که می‌توان طرح کرد طبقه‌بندی کننده نزدیکترین فاصله از میانگین می‌باشد. در این روش، فاصله الگوی ورودی تا میانگین هر کلاس محاسبه شده و الگوی ورودی به کلاسی که فاصله میانگین آن تا این الگو حداقل است طبقه‌بندی می‌شود. برای اندازه‌گیری فاصله می‌توان از فاصله اقلیدسی (۱۳) یا فاصله اقلیدسی مقیاس شده توسط ماتریس کواریانس کلاس (۱۴) یا ماتریس کواریانس مرکب کلاسها (۱۵) استفاده کرد. روابط مذکور بشرح زیر است:

$$D(X) = d^2(X, M_i) = (X - M_i)^T \cdot (X - M_i) \quad (13)$$

$$D_i(X) = d^2(X, M_i) = (X - M_i)^T \cdot \Sigma_i^{-1} \cdot (X - M_i) \quad (14)$$

$$D_i(X) = d^2(X, M_i) = (X - M_i)^T \cdot \Gamma^{-1} \cdot (X - M_i) \quad (15)$$

که  $M_i$  میانگین کلاس  $i$ ام،  $\Sigma_i$  ماتریس کواریانس کلاس  $i$ ام و  $\Gamma$  ماتریس کواریانس مرکب کلاسها بوده و با استفاده از نمونه‌های آموزشی تخمین زده می‌شود. برای تخمین میانگین و ماتریس کواریانس و ماتریس کواریانس مرکب کلاسها از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$M_i = \frac{1}{N_i} \cdot \sum_{k=1}^{N_i} X_{ik} \quad (16)$$

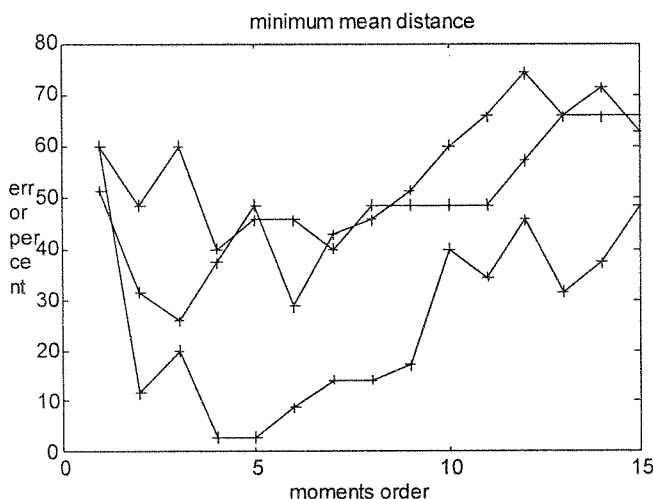
$$\Sigma_i = \frac{1}{N_i - 1} \cdot \sum_{k=1}^{N_i} (X_{ik} - M_i)^T \cdot (X_{ik} - M_i) \quad (17)$$

$$\Gamma = \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^L p_i \cdot \Sigma_i \quad (18)$$

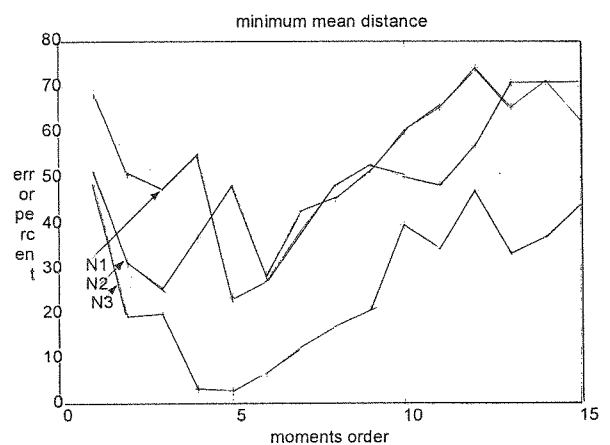
مزایای این طبقه‌بندی کننده، سرعت زیاد و کم بودن حافظه مورد نیاز آن است. در جداول ۲ و ۱ و اشکال ۴ و ۵ نتایج طبقه‌بندی ارائه شده است. کمترین خطای ممکن ۲/۸۶٪ بوده و توسط ویژگی شبه زرنیکی مرتبه چهار و طبقه‌بندی کننده مقیاس شده توسط ماتریس کواریانس مرکب حاصل شده است.

جدول (۱) نتایج اعمال نزدیکترین فاصله از میانگین N1، مقیاس شده با ماتریس کواریانس N2، و کواریانس مرکب N3 روی ویژگی‌های زرنیکی.

مرتبۀ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
تعداد ویژگی	1	4	8	13	19	26	34	43	53	64	76	89	103	118	134
N1	68.4	51	47.6	55.2	23.5	27.2	38.4	48.5	53.1	50.4	48.5	57.1	71	71	71
N2	51.4	31.4	25.7	37.1	48.5	28.5	42.8	45.7	51.4	60.6	65.7	74.3	65.7	71.4	62.8
N3	48.5	19.3	20	3.4	2.9	6.7	12.6	17.3	21	40	34.3	47.2	33.7	37.1	44



شکل (۵) نتایج اعمال نزدیکترین فاصله از میانگین N1، مقیاس شده توسط ماتریس کواریانس N2 و کواریانس مرکب N3 روی ویژگی‌های شبه زرنیکی.



شکل (۴) نتایج اعمال نزدیکترین فاصله از میانگین N1، مقیاس شده توسط ماتریس کواریانس N2 و کواریانس مرکب N3 روی ویژگی‌های شبه زرنیکی.

جدول (۲) نتایج اعمال نزدیکترین فاصله از میانگین N1، مقیاس شده توسط ماتریس کواریانس N2 و کواریانس مرکب N3 روی ویژگی‌های شبه زرنیکی.

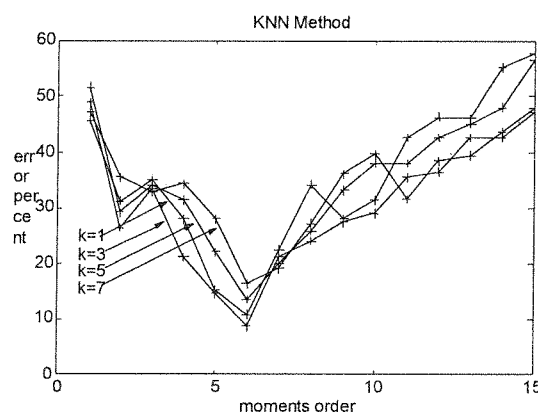
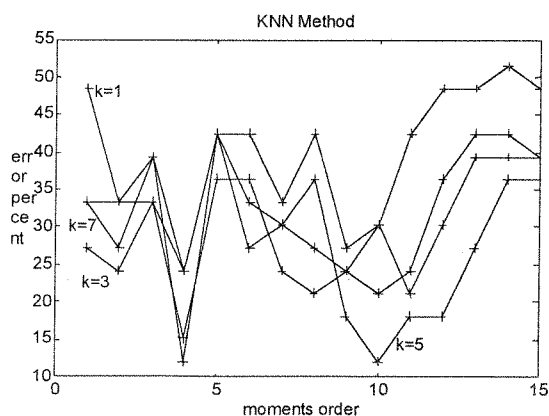
مرتبۀ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
تعداد ویژگی	1	4	8	13	19	26	34	43	53	64	76	89	103	118	134
N1	60	48.5	60	40	45.7	45.7	40	48.5	48.5	48.5	48.5	57.1	65.7	65.7	65.7
N2	51.4	31.4	25.7	37.1	48.5	28.5	42.8	45.7	51.4	606	65.7	74.3	65.7	71.4	62.8
N3	60	11.4	20	2.86	2.86	8.57	14.3	14.3	17.1	40	34.3	45.7	31.4	37.1	48.5

## ۲-۲- روش طبقه‌بندی k نزدیکترین همسایه KNN

در روش KNN، برای طبقه‌بندی الگوی ورودی، فاصله آن با همه نمونه‌های آموزشی محاسبه شده و K نمونه که از بقیه نمونه‌ها به الگوی ورودی نزدیکتر هستند پیدا می‌شوند. نمونه ورودی به کلاسی که بیشترین تعداد را در K همسایه دارد دسته‌بندی می‌شود. در این روش لازم است تمامی نمونه‌های آموزشی در حافظه ذخیره شوند. از مشکلات دیگر این روش انتخاب مقدار k می‌باشد. لازم بذکر است که برای جلوگیری از ابهام در تصمیم‌گیری مقدار فرد ( $k=1, 3, 5, \dots$ ) مناسب است. نتایج اعمال KNN روی الگوهای فارسی میانه زردشتی در جداول ۳ و ۴ و اشکال ۶ و ۷ ارائه شده است. کمترین میزان خطا ۱/۱۲/۱ با  $k=5$  و ویژگی زرنیک مرتبه دهم حاصل شده است.

جدول (۳) نتایج اعمال KNN روی ویژگی‌های زرنیکی.

مرتبۀ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
تعداد ویژگی	1	4	8	13	19	26	34	43	53	64	76	89	103	118	134
K=1		33.3	39.4	12.1	42.4	42.4	33.3	42.4	27.3	30.3	42.4	48.5	48.5	51.5	48.5
K=3		24.2	33.3	15.1	36.4	36.4	24.2	21.2	24.2	21.2	24.2	36.4	42.4	42.4	39.4
K=5		33.3	33.3	24.2	42.4	27.3	30.3	36.4	18.2	12.1	18.2	18.2	27.3	36.4	36.4
K=7		27.4	39.4	24.2	42.4	33.3	30.3	27.4	24.2	30.3	21.2	30.3	39.4	39.4	39.4



شکل (۷) نتایج اعمال KNN روی ویژگی‌های شبه زرنیکی.

شکل (۶) نتایج اعمال KNN روی ویژگی‌های زرنیکی.

جدول (۴) نتایج اعمال KNN روی ویژگی‌های شبه زرنیکی.

K=1	48.5	33.3	39.4	12.1	42.4	42.4	33.3	42.4	27.3	30.3	42.4	48.5	48.5	51.5	48.5
K=3	27.3	24.2	33.3	15.1	36.4	36.4	24.2	21.2	24.2	21.2	24.2	36.4	42.4	42.4	39.4
K=5	33.3	33.3	33.3	24.2	42.4	27.3	30.3	36.4	18.2	12.1	18.2	18.2	27.3	36.4	36.4
K=7	33.3	27.4	39.4	24.2	42.4	33.3	30.3	27.4	24.2	30.3	21.2	30.	39.4	39.4	39.4



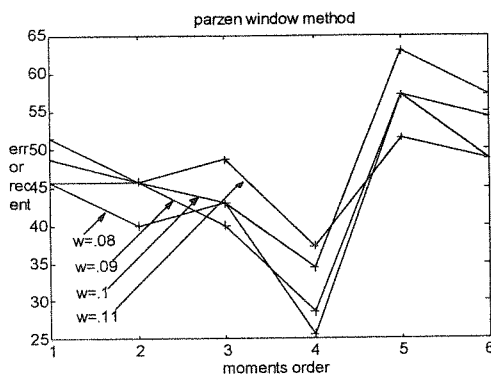
## ۲-۳- روش طبقه بندی پارزن

در این روش یک پنجره روی نمونه ورودی قرار داده شده و نمونه‌های آموزشی که در این پنجره واقع می‌شوند شمرده می‌شود. الگوهای ورودی به کلاسی که تعداد بیشتری از نمونه‌های آن در این پنجره واقع می‌شوند دسته‌بندی می‌شود. ابعاد پنجره از ۰/۰۸ تا ۰/۱۱ تغییر داده شده است.

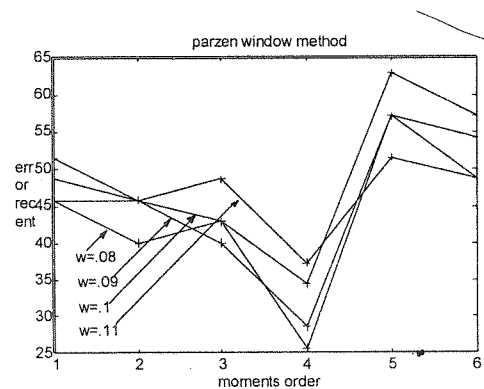
اگر پنجره خیلی کوچک انتخاب شود در اکثر مواقع هیچ نمونه‌ای در پنجره واقع نمی‌شود که در این حالت نمونه وازده می‌شود. همچنین اگر ابعاد پنجره بزرگ انتخاب شود تعداد نمونه‌هایی که در پنجره واقع می‌شوند خیلی زیاد بوده و در اکثر مواقع تمامی نمونه‌های چند کلاس در این پنجره واقع می‌شوند که در این حال نیز نمونه ورودی وازده می‌شود. در این مقاله مقادیر  $w$  (۰/۱۱، ۰/۱، ۰/۰۹، ۰/۰۸) را بخود گرفته و نتایج دسته بندی، به ازای مقادیر متفاوت پنجره و با تغییر مرتبه ممانها در جداول ۵، ۶ و اشکال ۸ و ۹ آمده است. لازم بذکر است که افزایش تعداد ممانها منجر به ازدیاد خطا خواهد شد.

جدول (۵) نتایج اعمال پارزن روی ویژگی‌های زرنیکی.

مرتبۀ گشتاور	1	2	3	4	5	6
تعداد ویژگی	1	4	8	13	19	26
W=.08 درصد خطا	39.1	46	38.4	31	56.4	54.5
W=.09 درصد خطا	53	47.2	40	26.1	51.8	50.3
W=.1 درصد خطا	41	34.3	37	22.6	34	39.8
W=.11 درصد خطا	50.3	41.6	48.5	28.7	52.1	58.9



شکل (۹) نتایج اعمال پارزن روی ویژگی‌های شبه زرنیکی.



شکل (۸) نتایج اعمال پارزن روی ویژگی‌های زرنیکی.

جدول (۶) نتایج اعمال پارزن روی ویژگی‌های شبه زرنیکی.

مرتبۀ گشتاور	1	2	3	4	5	6
تعداد ویژگی	1	4	8	13	19	26
W=.08 درصد خطا	45.7	40	42.8	34.3	62.8	57.1
W=.09 درصد خطا	48.5	45.7	40	28.5	57.1	54.3
W=.1 درصد خطا	45.7	45.7	42.8	25.7	57.1	48.5
W=.11 درصد خطا	51.4	45.7	48.5	37.1	51.4	48.5

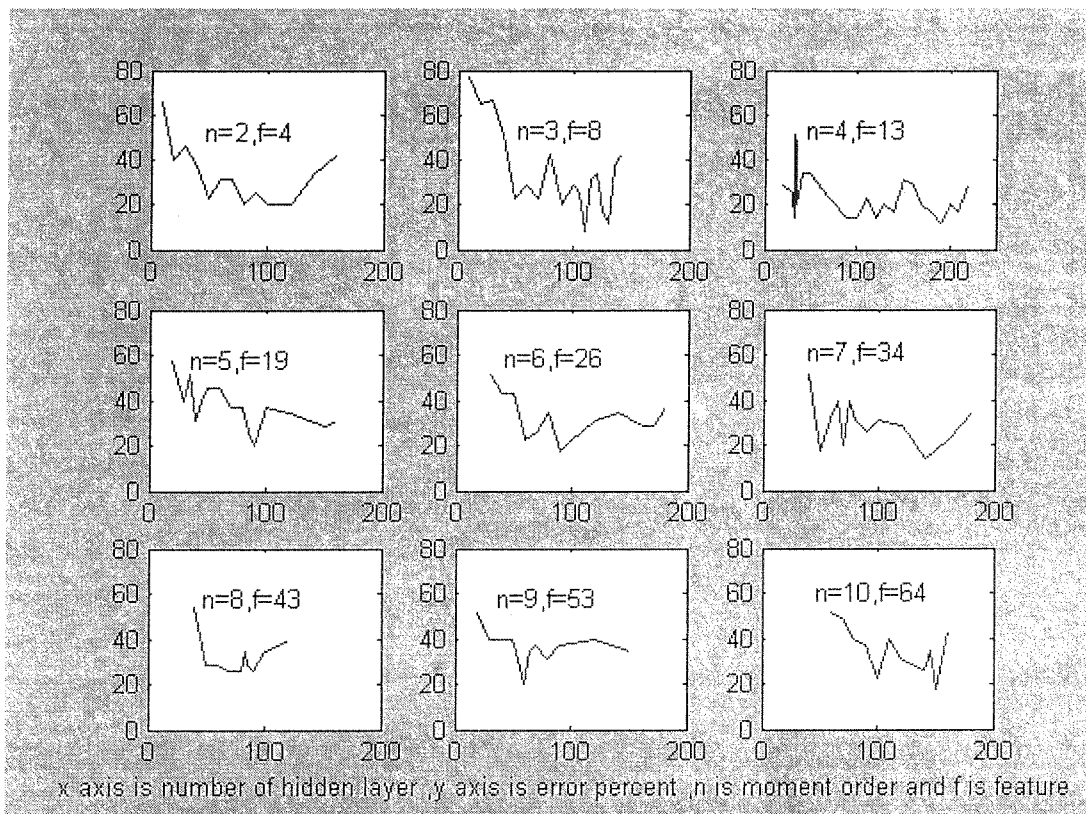
## ۲-۴- طبقه بندی کننده عصبی

در این مقاله علاوه بر روشهای آماری فوق از یک شبکه عصبی پرسپترون جلوسو با سه لایه نرون (ورودی، میانی یا پنهان، خروجی) نیز بکار گرفته شده است [۴]. مشخصات شبکه بصورت زیر است:

تعداد نرونهای لایه ورودی: تعداد ویژگیهای استخراج شده  $f$  که وابسته به مرتبه ممان شبه زرنیکی است.

تعداد نرونهای لایه خروجی: تعداد الگوها

تعداد بهینه نرونهای لایه پنهان: در این مقاله با تغییر تعداد نرونهای لایه پنهان و اندازه گیری درصد خطا حاصل شده است. منحنیهای شکل ۱۰ خطای طبقه بندی شبکه های عصبی طراحی شده برای الگوهای فارسی میانه با تغییر نرونهای لایه پنهان را نشان می دهد. مشاهده می شود که به ازای مقادیر خاصی از نرونهای لایه پنهان حداقل خطا حاصل شده است. تعداد بهینه لایه پنهان و حداقل خطای قابل دسترسی به ازای مراتب مختلف ممانهای شبه زرنیکی در جدول ۷ ارائه شده است.



شکل (۱۰) درصد خطای طبقه بندی به ازای تغییر مرتبه ممانهای شبه زرنیکی و تغییر تعداد نرونهای لایه میانی (پنهان).

جدول (۷) مشخصات شبکه عصبی بهینه طراحی شده جهت طبقه بندی الگوهای فارسی میانه.

مرتبۀ ویژگی	تعداد ویژگی	تعداد نرون لایه ورودی	تعداد نرون لایه پنهان	تعداد نرون لایه خروجی	درصد خطا
2	4	4	50	21	22.86
3	8	8	110	21	8.57
4	13	13	32	21	14.29
5	19	19	90	21	20
6	26	26	90	21	17.14
7	34	34	50	21	17.14
8	43	43	70	21	25.71
9	53	53	60	21	20
10	64	64	100	21	22.86

### ۳- نتیجه گیری

در این مقاله برای اولین بار الگوریتمهای طبقه‌بندی آماری الگو (پنج روش) و شبکه عصبی روی دست نوشته‌های فارسی میانه زردشتی پیاده‌سازی شد. بهترین دقت دسته بندی روشهای آماری در روش نزدیکترین فاصله از میانگین وزن داده شده توسط ماتریس کواریانس مرکب و با ویژگی شبه زرنیک مرتبه چهارم حاصل شده و میزان خطا  $2/86\%$  است. بهترین دقت دسته‌بندی شبکه عصبی با ویژگی شبه زرنیک مرتبه سوم و چهارم بمیزان  $8/57\%$  و  $14/29\%$  و با  $110$  و  $32$  نرون لایه پنهان حاصل شده است. لازم بذکر است که در بخشهایی از متون باستانی حتی در شناسایی توسط زبان شناسان نیز اتفاق نظر وجود ندارد و این امر باعث برخی ابهامات در بازشناسی شده و حتی دقت بازشناسی توسط متخصصین امر نیز هرگز  $100\%$  نخواهد بود. با توجه به توضیحات فوق و نظر متخصصین امر، دقت حاصله در این تحقیق در حد قابل قبول می‌باشد. بطور کلی عوامل اصلی خطا در طبقه‌بندی دست نوشته‌های فارسی میانه را می‌توان به چهار دسته تفکیک کرد که عبارتند از:

- ۱- خطای ناشی از تعداد پایین دادگان آموزش و تست (قابل حل با بالا بردن مجموعه دادگان).
  - ۲- خطای طبقه‌بندی کننده (قابل حل با تغییر طبقه‌بندی کننده یا پارامترهای آن).
  - ۳- خطای ناشی از ابهامات بازشناسی توسط متخصصین (غیر قابل حل).
  - ۴- مخدوش شدن و تغییر شکل پاره‌ای از متون در اثر گذشت زمان (غیر قابل حل).
- با توجه به موارد ۳ و ۴، رسیدن به دقت  $100\%$  در این نوع بازشناسی غیر ممکن بنظر می‌رسد.

### زیر نویس‌ها

- 1-Zernike moments
- 2-Complex orthogonal polynomials
- 3-Complete set
- 4-order
- 5-repetition
- 6-Pseudo-zernike moments
- 7-multi layer feedforward perceptron

### مراجع

- [۱] محسن ابولقاسمپور، راهنمای زبانهای باستانی ایران، جلد اول، تهران انتشارات سمت ۱۳۷۵.
- [۲] گنجینه دست نویسه‌های پهلوی.
- [۳] شیر علی شهرضا، تشخیص کلمات و ارقام دست نویس فارسی بوسیله شبکه‌های عصبی (خط نسخ)، پایان‌نامه دکتری، تهران دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [۴] ختن زاد علیرضا، شیر علی شهرضا محمد حسن، تشخیص اعداد چاپی فارسی مستقل از اندازه و جابجایی با استفاده از گشتاورهای زرنیک و شبکه‌های عصبی، دومین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۴، جلد ۵، صفحات ۴۱۷-۴۲۴.
- [5] M.Tellache, M.A.Sid-Ahmed and B.Abaza "Thining algorithms for Arabic OCR", proceeding of IEEE pacific Rin conference on communications, computer and signal processing. pp.248-251, 1993.
- [6] S.A.Mahmoud, "Arabic character recognition using furrier descriptors and character contour encoding", pattern recognition, VOL.27, NO.6, PP815-824, 1994.
- [7] C.H.The and R.T.chin, "on image analysis by the methods of moments", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. Vol.10, pp496-513, 1988.
- [8] K.Fukunaga. Introduction to statistical pattern recognition, Academdic press. SAN DEGO 1990.