

اندازه‌گیری قطر و تعیین میزان پرز آلودگی نخ به کمک پردازش تصویر

مسعود لطیفی
دانشیار

مجید صفرجوهری
دانشیار

حمید تاجری
فارغ التحصیل کارشناسی ارشد

محمد امانی تهران
دانشجوی دکترا

دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

هدف از انجام این تحقیق تهیه یک مجموعه سخت افزاری و نرم افزاری می باشد که توسط آن بتوان به کمک اطلاعات حاصل از تصاویر کامپیوتری نخ و پردازش بر روی آنها، به روش تصویری و ریاضی، مرز بین پرزها و بدنه اصلی نخ را مشخص کرده و با استفاده از آن قطر و میزان پرز آلودگی نخ را تعیین نمود.

Measurement of Yarn Diameter and Hairiness by Means of Image Analysis System

M. Johsri
Associate Professor

M. Latifi
Associate Professor

M. Amani
Ph. D. Student

H. Tajeri
M. Sc. Student

Textile Engineering Department,
Amirkabir University of Technology

Abstract

The aim of the present work is to design and fabricat a computerized system which can graphically and mathematically analyze the Image of yarn in order to determine the boundry of the yarn's core and hairs and calculate the value of yarn diameter and hairiness.

روش همسایگی حذف گردیده و از روی تصاویر حاصل، متوسط قطر محاسبه می‌گردد.

آنچه که از بررسی این دو تحقیق مشخص می‌گردد، آن است که عملیات‌های به کار رفته در آنها علاوه بر زمان گیر بودن، حاوی ضمانت عملی جهت گزارش یک قطر واقعی نمی‌باشد. بنابراین ارائه روشی که در آن تنها یک عدد برای قطر در تمامی طول نخ اعلام شود، ارجحیت دارد.

میزان پرز آلودگی نخ نیز به صورت مجزا از قطر آن با استفاده از روش‌های وزنی [۴]، نوری [۵] و فتوالکتریکی [۶] اندازه‌گیری شده است.

در پژوهش حاضر باتوجه به روش‌های ارائه شده مختلف، سعی بر آن است تا با استفاده از اطلاعات تصاویر کامپیوتری نخ و پردازش آنها به صورت تصویری و ریاضی هر دو عامل قطر و میزان پرز آلودگی را به طور همزمان تعیین نمود. بر این اساس لازم است تا در ابتدا مفهوم دقیق واژه‌های نخ، قطر و پرز آلودگی آن به صورتی که در انجام این پژوهش به کار رفته، بیان گردد.

۱-۱- نخ

در این تحقیق نخ در دو بعد و به صورت یک تابع تراکمی از الیاف برحسب مکان تعریف شده است که در ناحیه‌ای به نام بدنه یا هسته دارای رفتار فشردگی (شکل a-۱) و در ناحیه‌ای دیگر به نام پرز دارای رفتار پراکندگی می‌باشد. (شکل b-۱) فصل مشترک این دو ناحیه که در آنجا تابع تراکمی از نظر پردازش عددی دارای تغییرات ناگهانی می‌باشد، به نام خط مرزی نامیده می‌شود (شکل c-۱).

۱-۲- قطر نخ

فاصله بین دو خط مرزی که در دو طرف نخ مشخص می‌گردد، به عنوان قطر نخ در نظر گرفته می‌شود.

۱-۳- میزان پرز آلودگی نخ

عبارت است از حاصل نسبت سطح کل اشغال شده توسط نخ در یک فاصله شعاعی مشخص به سطح اشغال شده توسط بدنه اصلی نخ در همان فاصله.

قطر و پرز آلودگی از ویژگی‌های بسیار مهم نخ جهت تعیین کیفیت آن می‌باشد. این عوامل ضمن ارتباط داشتن با خواص همچون استحکام، میزان تاب مورد نیاز، آرایش یافتگی و... بر خواص دیگری از جمله خاصیت اصطکاکی، پوشانندگی، سایشی و... و نیز برخواص منسوج حاصل از آن مانند افتادگی، خاصیت حرارتی، رطوبتی، هندسه پارچه و... تأثیر بسزایی دارد.

اندازه‌گیری قطر به روش معمول بصری به سبب مویی بودن نخ (پرزدار بودن سطح نخ) همیشه مورد اختلاف نظر بوده است. این بدین علت است که تشخیص مرز بین هسته و پرزها بستگی به نظر شخص آزمایش کننده داشته و در نتیجه جواب‌های به دست آمده از یک فرد تا فرد دیگر متفاوت می‌گردد. در تحقیقاتی که تاکنون انجام گرفته، روش‌های دیگری نظیر استفاده از خازن‌های القایی [۱]، اندازه‌گیری نوری [۲] و استفاده از تصویرهای کامپیوتری [۳] جهت اندازه‌گیری قطر و تعیین یکنواختی به کار گرفته شده است که بعضی به صورت آزمایش‌های ممتد و بعضی دیگر به صورت مرحله‌ای می‌باشند. در روش‌های ممتد که نخ به طور مداوم از زیر یک دوربین ویدیویی عبور می‌کند، از آنجایی که فرصت لازم جهت ضبط و پردازش تصویری از یک قسمت نخ موجود نمی‌باشد، از اطلاعات خروجی دوربین جهت تعیین ناپیکنواختی قطری نخ استفاده گردیده است [۷].

در تحقیقی که اساس آن شیوه غیرمداوم می‌باشد [۸]، برای تعیین قطر نخ ابتدا تصاویری در فواصل مساوی از نخ دریافت شده و روی صفحه نمایشگر ظاهر می‌گردد. پس از دودویی (سیاه و سفید) شدن تصاویر، لبه‌های کناری نخ (مرز نخ) با رسم تغییرات تعداد نقاط سیاه در هر ردیف نسبت به ردیف قبل، مشخص می‌شود. برای محاسبه قطر نیز با کمک یک روش ابداعی، کوتاهترین فاصله بین دو لبه نخ در فواصل مساوی از طول نخ به دست آمده و میانگین آنها به عنوان قطر گزارش می‌شود. اشکال اساسی این روش استفاده از متوسط گیری‌های عددی است که بر حسب لبه‌های متفاوت به دست آمده، و به صورت حسابی متوسط گیری می‌شوند.

در تلاش دیگر [۹] جهت اندازه‌گیری قطر نخ، به طور مشابه بعد از تهیه تصاویر سیاه و سفید بر روی نمایشگر، مجموعه نقاط تشکیل دهنده پرز با استفاده از

۲- کارهای انجام گرفته

۲-۱- تهیه مجموعه سخت افزاری و نرم افزاری

مورد نیاز

نمودار مجموعه دریافت و ضبط تصویر در شکل (۲) نشان داده شده است. در این مجموعه از یک میکروسکوپ نوری مجهز به سیستم عدسی گردان با بزرگنمایی‌های مختلف و یک دوربین ویدیویی جهت دریافت علائم تصویری نخ، استفاده شده است. علایم دریافتی توسط یک رقومی کننده به صورت دیجیتالی درآمده و سپس توسط یک پردازشگر به صفحه نمایش ارسال و نیز در حافظه ذخیره می‌گردد. نرم افزار آماده‌ای که ارتباط بین سخت افزارها را برقرار می‌سازد، به نحوی تنظیم می‌شود تا اطلاعات تصویر نخ را با قالب گرافیکی PCX و در ۲۵۶ سطح خاکستری در یک فایل ضبط می‌نماید.

یک مجموعه مکانیکی نیز طراحی گردیده تا با پیش‌نخ، قسمت‌های مختلفی از آن را به صورت افقی و با کشیدگی قابل تنظیم در حدی که نخ به صورت مستقیم نگهداری شود، در زیر میکروسکوپ ثابت نگهدارد. مقدار کشیدگی لازم با استفاده از یک وزنه ۵ گرمی تأمین گردید و آزمایش‌های مقدماتی نشان داد که تغییرات مقدار کشیدگی در این محدوده، بر قطر نخ تأثیری ندارد.

۲-۲- تهیه نرم افزار جهت پردازش و اندازه گیری

با استفاده از زبان برنامه نویسی Pascal نرم افزاری تهیه گردید تا مراحل عملیاتی ذیل را به انجام برساند:

۲-۲-۱- بازیابی فایل PCX و دودویی سازی تصویر نخ

نظر به اینکه تجزیه و تحلیل تصویر در ۲۵۶ سطح خاکستری بسیار وقت گیر بوده و به علاوه ضروری نیز نمی‌باشد، شدت روشنایی هر نقطه بعد از بازیابی از فایل اطلاعاتی با مقایسه با مقدار دروازه‌ای به حداقل و یا حداکثر ممکن تغییر نموده و بر روی نمایشگر ظاهر می‌گردد.

شماره رنگ‌های در نظر گرفته شده برای نمایش حداقل و حداکثر روشنایی هر نقطه بر روی نمایشگر در زبان پاسکال O (سیاه) و ۱۵ (سفید) می‌باشد.

۲-۲-۲- رسم تابع تجمعی نقاط تصویر بر حسب تغییر مکان

پس از اعمال یک صافی زیرگذر بر روی تصویر، کلیه نقاط دارای ارزشی معادل یک برای نقاط سیاه و صفر

برای نقاط سفید می‌شوند. تابع $f(x, y)$ نشان دهنده مقدار عددی هر نقطه بر حسب فاصله از لبه شکل است. برای به دست آوردن تابع تجمعی ابتدا نمودار فراوانی نقاط در محور y به کمک رابطه ذیل به دست می‌آید (شکل ۳):

$$D(y) = \sum_{i=1}^n f(x_i, y) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه $D(y)$ نشان دهنده تعداد نقاط سیاه قرار گرفته روی خط افقی در هر y و n تعداد نقاط افقی تصویر است.

اکنون می‌توان نمودار تابع تجمعی مورد نظر را به کمک رابطه زیر رسم نمود (شکل ۴):

$$I(y) = \frac{\sum_{i=1}^y D(y_i)}{\sum_{j=1}^m D(y_j)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

این رابطه که حاصل تقسیم تعداد نقاط سیاه تصویر از ابتدا تا y مورد نظر، بر کل نقاط سیاه تصویر می‌باشد، جمع نسبی نقاط تصویر را به صورت بدون بعد بیان می‌دارد.

در رابطه (۲)، m تعداد نقاط عمودی تصویر است. مشخص است که $I(y) = 0$ در $y = 0$ برابر صفر و در $y = m$ برابر یک خواهد بود. شکل (۵) نشانگر رسم تابع $I(y)$ روی یک تصویر نخ است.

همانگونه که مشخص است رفتار تابع $I(y)$ در محدوده بدنه اصلی نخ به علت ثابت باقی ماندن تراکم، یک رفتار خطی است و لذا بهترین معیار جهت تشخیص مرزهای نخ است.

۲-۲-۳- تعیین نقاط مرزی

برای به دست آوردن مرزهای نخ ابتدا تابع $I(y)$ از دو جهت رسم گردیده و سپس مختصات محل تلاقی آنها که تقریباً مرکز نخ می‌باشد، مشخص می‌گردد. چنانچه به کمک این نقطه و دو نقطه مجاور آن روی هر منحنی، معادله یک خط به کمک روش رگرسیون به دست آید، در این صورت معادله خط به صورت زیر خواهد شد:

$$I_1(y) = A \cdot y + B \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$A = \frac{\sum I_i \sum y_i - \sum I_i y_i}{(\sum y_i)^2 - \sum y_i^2}, B = \frac{\sum I_i - A \sum y_i}{N}$$

در حالیکه $i = 1, 2, 3$

۱-۳-۲- دقت و تکرارپذیری نتایج در روش ارائه شده جهت آزمون تکرارپذیری نتایج قطر و میزان پرزآلودگی، از هفت بسته نخ متفاوت در سه نوبت و در هر نوبت ۱۰ نمونه اتفاقی مورد آزمایش قرار گرفت. فاصله نوبت دوم از اول ۲ ساعت و فاصله نوبت سوم از دوم ۷۲ ساعت در نظر گرفته شد و در هنگام آزمایش نیز تغییرات مختصری در محل قرارگیری نمونه، نورپردازی، کشیدگی نخ و نیز افقی بودن مسیر نخ انجام گرفت تا به این ترتیب شرایط محیطی و تنظیمات متفاوت و اجتناب ناپذیر برای کاربر یا کاربرها در مواقع مختلف، شبیه سازی گردد.

در رابطه (۳)، $i = 1$ و $i = 3$ مربوط به نقاط مجاور نقطه تلاقی دو منحنی و $i = 2$ مربوط به نقطه تلاقی دو منحنی است. تابع $I_1(y)$ قسمت خطی تابع $I(y)$ است. اکنون برای به دست آوردن مختصات نقاط مرزی کافی است دو نقطه در طرفین ۲ نقطه تلاقی ($i = 2$) به گونه ای پیدا شوند که فاصله آنها با خط قابل توجه باشد.

$$y = y_m \text{ (نقطه مرزی)} \Rightarrow \text{بنابر این } \frac{I_1(y_m) - I(y_m)}{I(y_m)} > 0.05 \text{ چنانچه}$$

نتایج اندازه گیری های قطر و میزان پرزآلودگی به صورت آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول های ۱ و ۲). نتایج حاصل بیانگر آن است که ضریب نایکنواختی های (CV%) به دست آمده برای نخ های مختلف، در روش ارائه شده با دقت بسیار بالایی تکرار پذیر بوده و تأثیر شرایط متفاوت بر آنها قابل توجه نمی باشد.

عدد $0.05/0$ در معادله فوق به عنوان معیار انحراف منحنی از خط، تطبیق بسیار خوبی با مشاهده بصری در تشخیص مرز نخ دارد. با به دست آوردن ۲ نقطه برای هر منحنی به خوبی می توان بدنه نخ را مشخص نمود.

۴-۲-۲- محاسبات و گزارش نتایج

با اتصال هر دو نقطه از چهار نقطه به دست آمده که در یک طرف نخ قرار دارند و امتداد آنها تا انتهای تصویر نخ، بدنه اصلی نخ با یک مستطیل شبیه سازی می گردد (شکل ۶). با مشخص کردن مقدار عرض این مستطیل برحسب نقطه تصویر (پیکسل) و مقایسه آن با تعداد نقاط تشکیل دهنده قطر یک میله (نمونه شاهد) با ضخامت معین، قطر نخ بر حسب میلیمتر و با دقت $0.1/0$ میلیمتر محاسبه می گردد.

۲-۳-۲- مقایسه نتایج حاصل از روش چشمی و روش ارائه شده

جهت بررسی نتایج اندازه گیری قطر از طریق روش چشمی و کامپیوتری از هفت نمونه نخ انتخابی، ۳۰ نمونه تصادفی توسط چهار آزمایشگر (جدول ۳) و نیز نمونه های دیگر توسط مجموعه تهیه شده (جدول ۱)، مورد آزمایش قرار گرفت و میزان نایکنواختی اندازه گیری دو روش با هم مقایسه گردید (جدول ۴). همانگونه که مشاهده می شود نایکنواختی اندازه گیری در روش چشمی به مراتب بیشتر از نایکنواختی اندازه گیری بینایی کامپیوتری می باشد.

پس از تعیین قطر نخ، از طریق تقسیم تعداد کل نقاط تشکیل دهنده تصویر نخ به تعداد نقاط قرار گرفته در هسته نخ، مشخصه پرزآلودگی تعیین می گردد (شکل ۶). بدیهی است در روش ارائه شده میزان بزرگنمایی تصویر بر روی هیچکدام از نتایج قطر و میزان پرزآلودگی تأثیر نخواهد داشت.

۳- نتیجه گیری

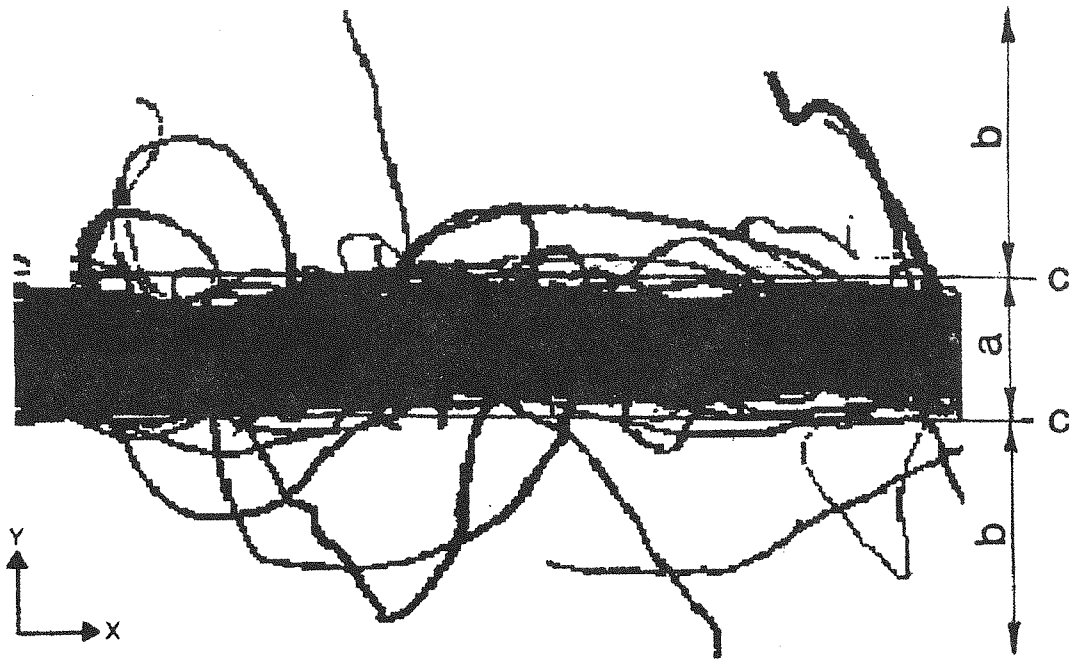
بررسی نتایج به دست آمده گویای آن است که روش پردازش تصاویر با کمک توابع تجمعی، جهت تعیین نواحی خطی و غیرخطی منحنی ایجاد شده، موجب تولید نتایج تکرارپذیر با دقت بالا می گردد و می تواند به صورت گسترده در تحقیقات نساجی به ویژه در مواردی که احتیاج به مشاهده مستقیم می باشد، به کار گرفته شود. با استفاده از روش فوق در اندازه گیری قطر نخ و تعیین پرز آلودگی، تنها یک عدد برای قطر و یک عدد جهت میزان پرزآلودگی در طول یک نمونه به دست می آید

۳-۲- اندازه گیری و بررسی نتایج

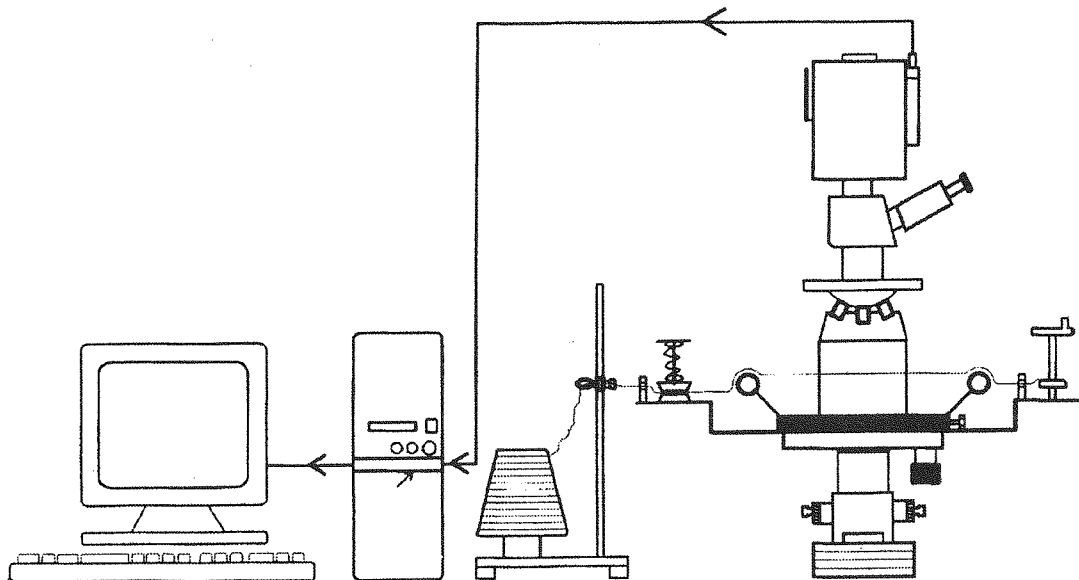
جهت ارزیابی صحت کارکرد مجموعه سخت افزاری و نرم افزاری تهیه شده، آزمایش هایی بر روی نمونه های نخ پنبه ای رینگ با نمره ۲۴ تکس که تحت سرعت های دوک متفاوتی تولید شده بودند، انجام گرفت و نتایج حاصل از نقطه نظرهای مختلف مورد بحث قرار گرفت. علت انتخاب سرعت های متفاوت، تولید نخ هایی با موئیگی های متفاوت بوده است.

در مقایسه با روش چشمی مشخص گردید که می توان به کمک ابزار تهیه شده به کاهش میزان خطا، امکان نمونه گیری زیاد بدون صرف انرژی انسانی، کاهش زمان آزمایش و افزایش سرعت ارزیابی، دست یافت.

در نتیجه نیاز به متوسط گیری های نامفهوم که در روش های دیگر رایج است، نمی باشد. بررسی نتایج حاصل از روش ارائه شده همچنین گویای آن است که اندازه گیری ها با دقت و تکرارپذیری بالا همراه می باشد.



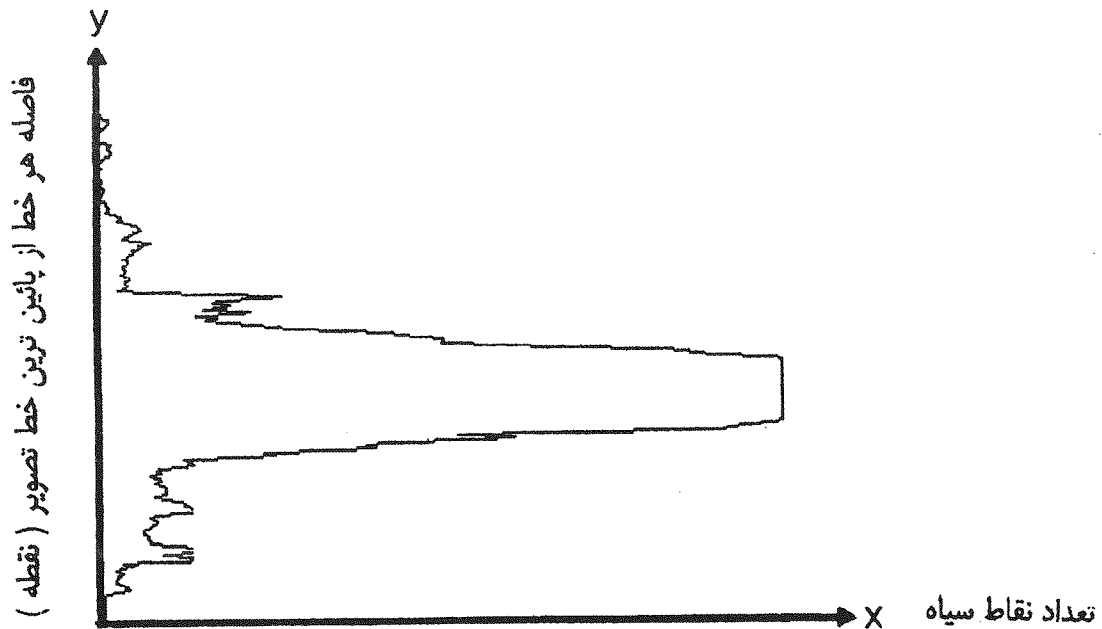
شکل (۱) قسمت های مختلف نخ.



شکل (۲) نمودار مجموعه دریافت و ضبط تصویر.

جدول (۱) نتایج اندازه گیری قطر توسط مجموعه تهیه شده.

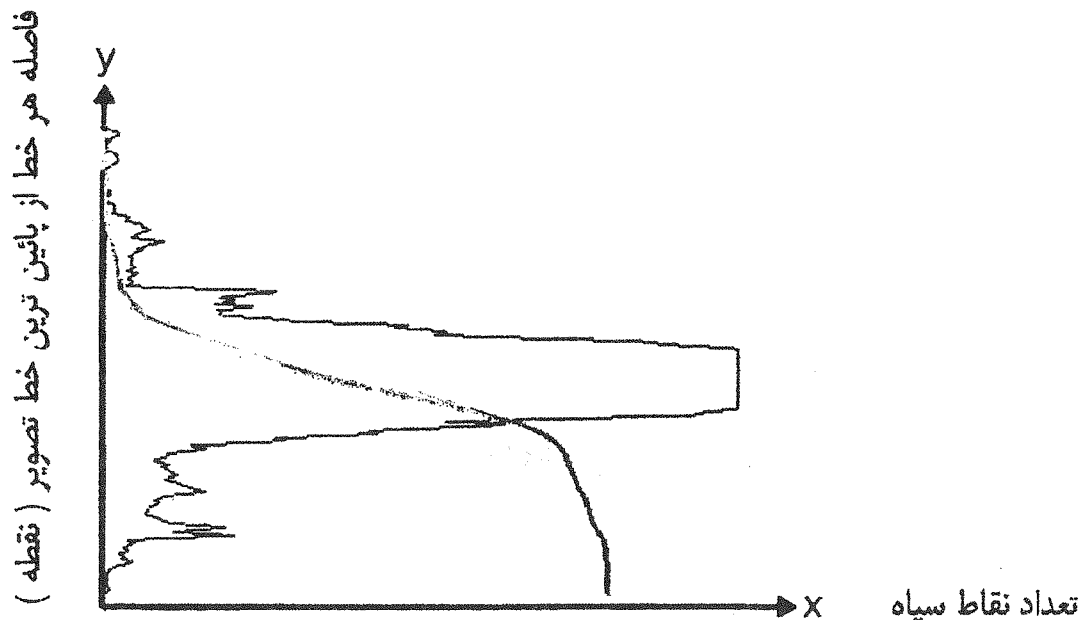
نوبت آزمایش بارومتر دوک	نوبت اول	نوبت دوم	نوبت سوم	مجموع
1	0.225	0.226	0.227	0.226
σ^2	1.49×10^{-5}	5.12×10^{-4}	1.71×10^{-5}	1.63×10^{-3}
CV%	1.72	1.83	1.82	1.78
2	0.31	0.31	0.31	0.31
σ^2	5.94×10^{-6}	5.83×10^{-6}	7.41×10^{-7}	3.9×10^{-6}
CV%	0.775	0.774	0.276	0.63
3	0.20	0.20	0.20	0.20
σ^2	9.1×10^{-7}	4.44×10^{-8}	7.9×10^{-8}	3.79×10^{-7}
CV%	0.48	0.28	0.14	0.31
4	0.22	0.22	0.22	0.22
σ^2	5.57×10^{-6}	4.21×10^{-6}	6.66×10^{-6}	1.22×10^{-6}
CV%	1.07	0.92	1.17	1.04
5	0.33	0.33	0.33	0.33
σ^2	1.17×10^{-6}	1.11×10^{-6}	7.1x	1.22×10^{-6}
CV%	0.33	0.32	0.25	0.33
6	0.21	0.21	0.21	0.21
σ^2	5.20×10^{-7}	2.33×10^{-7}	0	5.35×10^{-7}
CV%	0.34	0.23	0	0.34
7	0.20	0.20	0.20	0.20
σ^2	1.98×10^{-6}	1.8×10^{-6}	4.70×10^{-7}	9.02×10^{-7}
CV%	0.70	0.67	0.35	0.47



شکل (۳) نمودار فراوانی نقاط تصویر نخ.

جدول (۲) نتایج اندازه گیری های میزان پرز آلودگی توسط مجموعه تهیه شده.

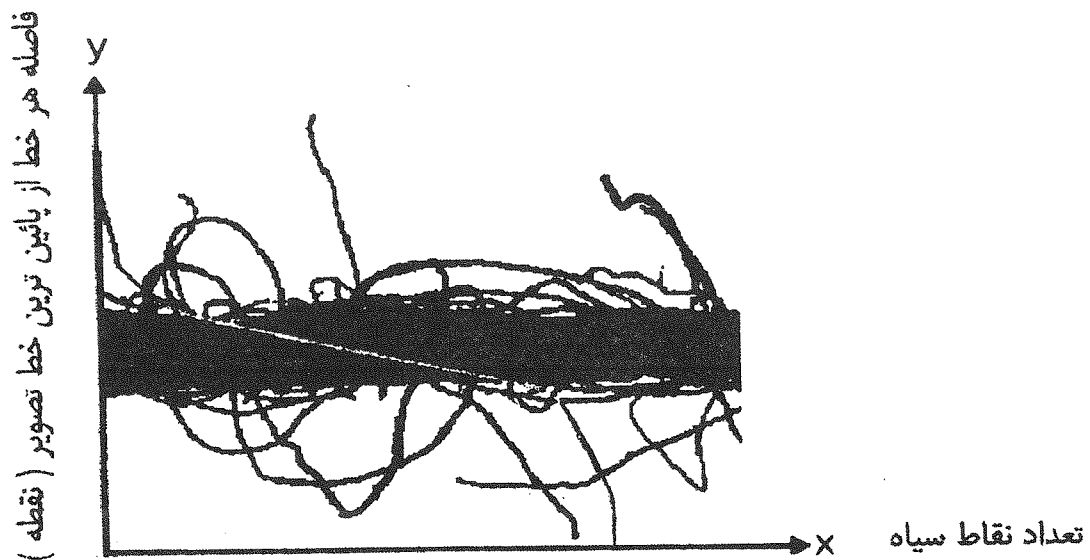
نوبت آزمایش پارامتر	نوبت اول	نوبت دوم	نوبت سوم	مجموع	
1	(ind.) AVE	1.69	1.68	1.69	1.69
	σ^2	2.33×10^{-5}	602×10^{-5}	9.49×10^{-3}	9.38×10^{-5}
	CV%	0.28	0.47	0.562	0.57
2	AVE	1.53	1.52	1.54	1.53
	σ^2	1.21×10^{-4}	1.28×10^{-4}	4.89×10^{-5}	1.27×10^{-4}
	CV%	0.72	0.75	0.45	0.74
3	AVE	1.76	1.75	1.75	1.75
	σ^2	4.56×10^{-5}	1.66×10^{-4}	8.89×10^{-5}	1.03×10^{-4}
	CV%	0.38	0.73	0.54	0.58
4	AVE	10.72	1.72	1.73	1.72
	σ^2	7.83×10^{-4}	3.21×10^{-4}	7.11×10^{-4}	1.72
	CV%	1.63	1.04	0.48	1.14
5	AVE	1.33	1.34	1.34	1.34
	σ^2	1.06×10^{-4}	1.15×10^{-4}	1.78×10^{-5}	1.10×10^{-4}
	CV%	0.78	0.80	0.31	0.78
6	AVE	1.51	1.51	1.53	1.52
	σ^2	1.6×10^{-4}	1.07×10^{-4}	2.78×10^{-5}	1.43×10^{-4}
	CV%	0.84	0.68	0.35	0.79
7	AVE	1.46	1.46	1.46	1.46
	σ^2	3.22×10^{-5}	2.33×10^{-5}	1.78×10^{-4}	7.40×10^{-5}
	CV%	0.39	0.33	0.91	0.59



شکل (۴) نمودار فراوانی نقاط تصویر نخ و نمودار تابع تجمعی آنها.

جدول (۳) نتایج اندازه گیری های قطر توسط روش چشمی.

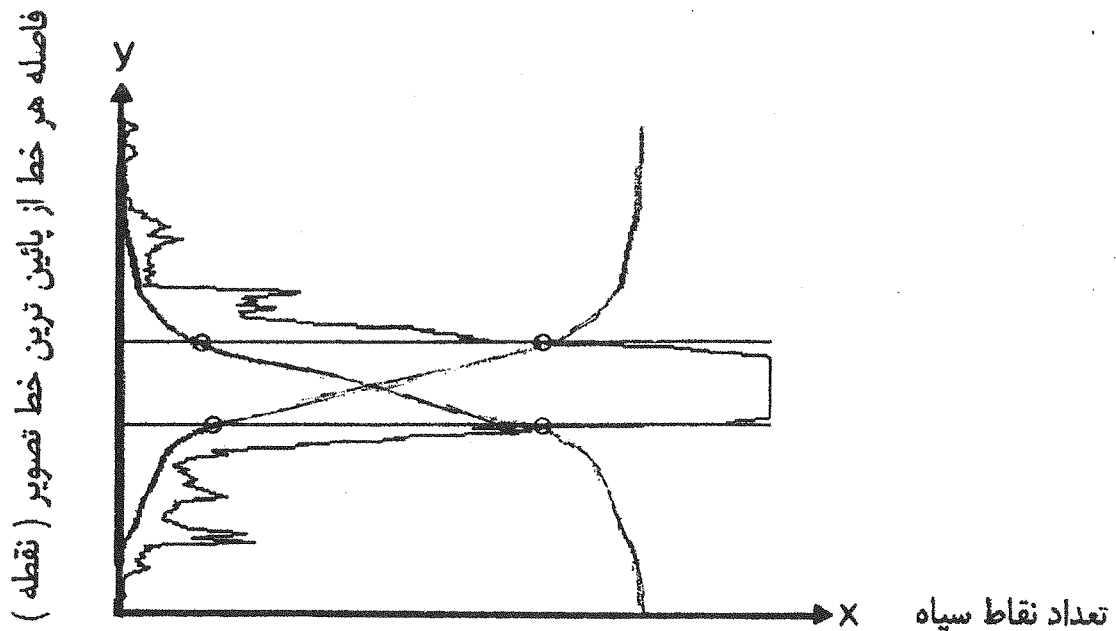
دوک	آزمایشگر	نفر اول	نفر دوم	نفر سوم	نفر چهارم
۱	AVE (m.m.)	0.211	0.22	0.224	0.228
	σ^2	0.00083	6.48×10^{-4}	4.91×10^{-4}	6.88×10^{-4}
	CV%	13.71	12.03	9.89	11.58
۲	AVE	0.245	0.222	0.239	0.241
	σ^2	8.32×10^{-4}	6.83×10^{-4}	8.49×10^{-4}	9.81×10^{-4}
	CV%	11.78	11.78	12.19	13.0
۳	AVE	0.243	0.210	0.240	0.222
	σ^2	9.72×10^{-4}	4.71×10^{-4}	1.18×10^{-3}	1.053×10^{-3}
	CV%	12.83	10.33	14.31	14.62
۴	AVE	0.235	0.230	0.227	0.222
	σ^2	1.18×10^{-3}	5.62×10^{-4}	5.88×10^{-4}	5.60×10^{-4}
	CV%	14.60	10.31	10.68	10.66
۵	AVE	0.213	0.258	0.230	0.264
	σ^2	8.10×10^{-4}	7.97×10^{-4}	9.08×10^{-4}	1.44×10^{-3}
	CV%	13.36	10.94	13.10	14.36
۶	AVE	0.220	0.217	0.217	0.220
	σ^2	1.12×10^{-3}	1.07×10^{-3}	7.73×10^{-4}	7.56×10^{-4}
	CV%	15.23	15.07	12.82	12.50
۷	AVE	0.234	0.206	0.217	0.227
	σ^2	1.62×10^{-3}	5.45×10^{-4}	9.33×10^{-4}	1.70×10^{-3}
	CV%	17.21	11.33	14.08	18.18



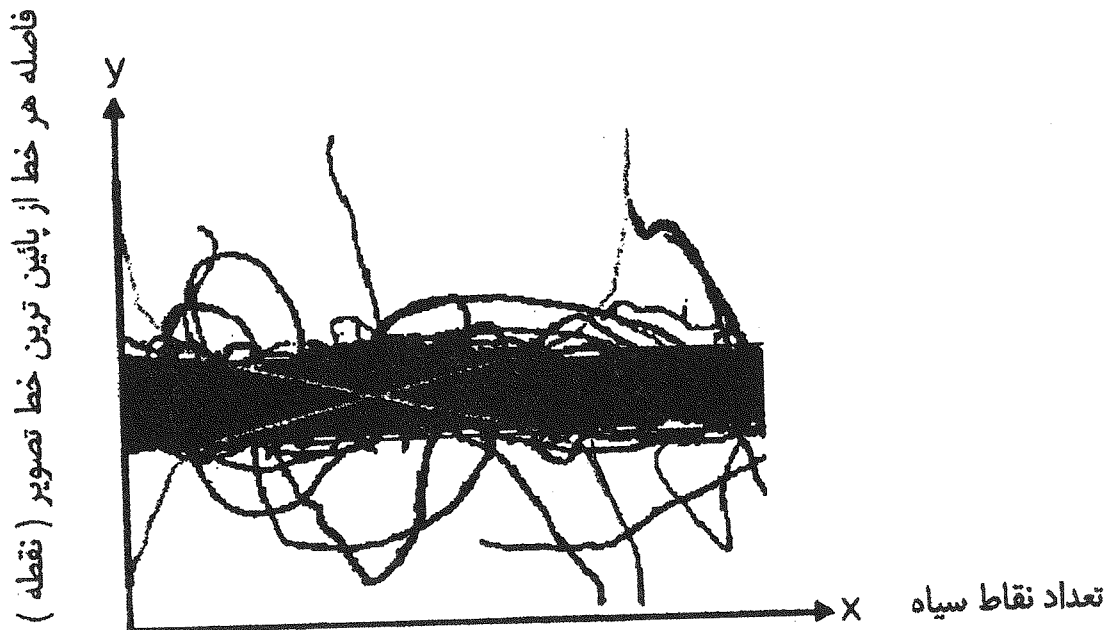
شکل (۵) نمودار تابع تجمعی نقاط تصویر نخ در ارتباط با تصویر نخ

جدول (۲) مقایسه ضریب نایکنواختی اندازه گیری قطر توسط مجموعه تهیه شده و روش چشمی.

دوک	نوع اندازه گیری	ضریب نایکنواختی اندازه گیری چشمی	ضریب نایکنواختی اندازه گیری مجموعه
۱		11.85	1.78
۲		12.20	0.63
۳		13.10	0.31
۴		11.62	1.04
۵		12.98	0.33
۶		13.95	0.34
۷		15.20	0.47



الف - شبیه سازی بدنه اصلی نخ.



ب- مطابقت مستطیل شبیه سازی شده با بدنه اصلی نخ.

Result:

Diameter(mm):0.31 Hairness Index:1.51

ج- گزارش قطر نخ و مشخصه پرز آلودگی.

شکل (۶) شبیه سازی بدنه نخ با استفاده از نمودارها و تصویر نخ و گزارش نتایج.

مراجع

- [1] A. Barella, 'The Hairiness of Yarn', Textile Progress, Vol 24, No 3.
- [2] R. Pijanowski, Przegląd wlok, 1987, 41, 7.
- [3] P. w. Harrison, Text Horiz 1991, 11, No. 8. 14.
- [4] A. Barella., a. Egio, L. Castro and A.M. Manich., Melliland Textilber, 1989, 70, 557 (E237)
- [5] T. Furukawa., Daily News Rec. 1990, 20, 4 sept., 12.
- [6] M. Bona., 'La Qualita nel Tessile', Paravia, Turin, ITALY, 1992.
- [7] Sarabi P., Gusick G.E., Kennon W. R., x Broad-bent A.D., 'Measurement of yarn Diameter Periodic Variability', Internaional conference on Fiber and Textile Science, pp. 197-202, 1991.
- [8] Lin H.C., 'A study on Measurement of the yarn's Diameter by Image Process', the 3rd Asian Textile conference, vol I, pp. 499-505, 1995.
- [9] کرباسی پ. و لطیفی م.، اندازه گیری قطر نخ و تعیین نا یکنواختی قطری آن (در فاصله ای محدود) با استفاده از بینایی کامپیوتری، کنفرانس علوم و تکنولوژی نساجی، ص ۲۱۷ - ۲۱۱، ۱۳۷۶.