

DEVELOPMENT OF HAND EVALUATION SYSTEMS FOR SPECIALTY TEXTILES

MEENAKSHI AHIRWAR



**DEPARTMENT OF TEXTILE AND FIBRE ENGINEERING
INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI**

August 2022

DEVELOPMENT OF HAND EVALUATION SYSTEMS FOR SPECIALTY TEXTILES

by

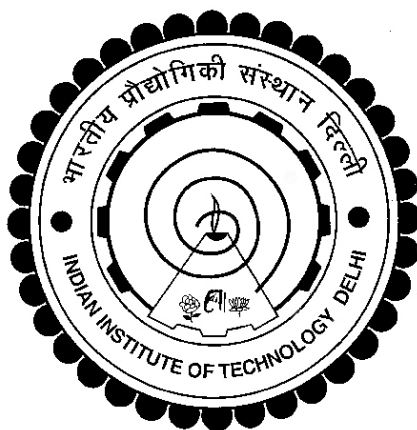
MEENAKSHI AHIRWAR

Department of Textile and Fibre Engineering

Submitted

in fulfilment of the requirement of the degree of Doctor of Philosophy

to the



**DEPARTMENT OF TEXTILE AND FIBRE ENGINEERING
INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI**

August 2022

© Indian Institute of Technology Delhi (IITD), New Delhi, 2022

Dedicated To My Parents

CERTIFICATE

This is to certify that the thesis entitled “**Development of hand evaluation systems for specialty textiles**” being submitted by **Ms. Meenakshi Ahirwar**, Entry No. **2018TTZ8455** to the Indian Institute of Technology Delhi for the award of the degree of **Doctor of Philosophy** is a record of bonafide research work carried out by her. Ms. Meenakshi Ahirwar has worked under my guidance and supervision and fulfilled the requirements for the submission of the thesis. The results contained in the thesis have not been submitted, in part or full, to any other university for the award of any degree or diploma.

Date: 29/08/2022

Place: New Delhi

Prof. B K Behera

Department of Textile and Fibre Engineering

Indian Institute of Technology Delhi

New Delhi-110016

ACKNOWLEDGEMENTS

Words of appreciation and gratitude fall short of acknowledging the inspiring guidance, valuable suggestions, and constant encouragement provided by Prof. B. K. Behera at every stage of this research. I enjoyed and learned a lot working under him throughout my Ph.D. I gratefully acknowledge the help and suggestions by my SRC members Prof. Rengasamy, Dr. Javed Sheikh, Prof. Joby Joseph (Department of Physics), and other faculty members of the department.

I gratefully acknowledge the help and cooperation of the lab staff, especially Mr. Vikas Khatkar, Mr. Mahafuj Ali, Mr. Manoranjan Kundu, Mr. Veerender Sharma, and Mr. B. Biswal. I am thankful to all my friends especially Mr. Shubham Agnihotri, Mr. Gaurav Singh Chandel, Mr. Rochak Rathour, Dr. Zunjarrao Kamble, Ms. Lekhani Tripathi, Mr. Sandeep Olhan, Mr. Soumya Choudhary, Ms. Jaya Sharma, Ms. Shivangi Shukla, Ms. Shikha Yadav, Mr. Dushyant Dubey, Mr. Omender for their constant help, support, and encouragement. At last, I would like to thank everyone who had contributed directly or indirectly during my research work.

I express my sincere gratitude to my mother, father, brother, and friends for their motivation, moral support, and understanding.

Date: 29/08/2022

Meenakshi Ahirwar

Place: New Delhi

Abstract

Fabric hand is the quality of a fabric assessed by the reaction obtained from the sense of touch. Fabric hand is the person's estimation when feeling fabrics between fingers and thumb. Assessment of a textile material obtained from the sense of touch is an essential consideration in fabric development and marketing. Technological developments have introduced new or modified non-conventional textile products like automotive textiles, home textiles, diapers, nappies etc. also known as specialty textiles. And the first assessment made of these new fabrics is that of hand. There are various existing technologies, techniques, and Kawabata hand equations available to determine hand for conventional textiles such as shirting, suiting, lady dress material etc. And these equations cannot be applied to the specialty textiles because the kind of stresses acting on these fabrics are completely different from those of apparel fabrics. Therefore, a driving force for the development of various approaches to determine hand of non-conventional textile products is rising due to increased demand of these products. Four specialty fabrics such as automotive car seat fabrics, bed linen fabrics, stretch fabrics, and denim fabrics were selected for development of hand evaluation system, as these fabrics account for a major market share in technical textile, home textile, comfort clothing, and denim clothing sectors respectively.

In this research, in the first section, the experiment was planned to determine the effect of weave design, spinning technology, yarn count, fabric construction parameters and post weaving treatment on the fabric hand. The influence of these parameters was studied on low-stress mechanical properties such as bending, shear, compression, tensile, and surface properties. Different approaches were studied that can be used to develop hand evaluation systems for textile fabrics. So that these approaches can further be utilized to develop hand

evaluation system for specialty fabrics. The different approaches used were subjective, experimental, computational, and artificial neural network.

The computational approach was used to develop the primary and total hand equations. And the artificial neural network was used to determine the hand values of specialty fabrics. The suitability of the already existing Kawabata hand equations (experimental equations) using primary hand values similar to the specialty fabrics' primary hand values was also checked. For validating the results, the correlation coefficient was determined. The computational approach uses the multiple stepwise block regression method. The first step in the computational approach is the subjective assessment of the fabrics and the primary attributes. For this purpose, the judges/experts were selected from the field relating to the shortlisted products (bed linen, denim etc.) such as manufacturing field, product development, quality assurance, academics, etc. Technical experts in respective fields, middle commercial professionals, and actual users of the fabrics were considered. Using systematic statistical methodologies and questionnaires, the role of various mechanical stresses and their respective weightage in generating hand equations was determined.

The subjective assessment of fabrics was conducted by a panel of judges to identify the primary hand attributes and the related mechanical parameters playing an important role in the fabric hand evaluation of the specialty fabrics. The primary hand expression was identified along with their weightages. The coefficient of concordance was determined to find out the agreement among the judges and to check the reliability of the subjective hand results. The Kawabata Evaluation System (KES) was used to evaluate the low-stress mechanical properties of the fabrics.

In the second step, the low-stress mechanical properties were regressed with the subjective primary hand values. The order of blocks was obtained according to their importance to the

primary hand values. The regression process continues till the order of importance of each block was determined. Thus, a linear equation was obtained for predicting objective primary hand values. The translation equation from PHV to THV will follow the same regression method. The obtained primary hand values were regressed with the subjective total hand values. The sequence of importance of the primary attributes blocks was obtained. And thus, the coefficients were obtained for the primary and total hand equations.

In the artificial neural network method, the multi-layered feed-forward back-propagation trained neural network was used. Training is an important feature of neural networks. The objective of the training process is to minimize the squared error between the network output and the desired output. All neurons in the next layers are connected to each other, and the output neuron has no forward connection to another layer. After building a model, the model was trained for predictive analysis, where it develops an understanding of how output parameters were influenced by input factors. The data points are separated into two groups: a train set and a test set. A training set and a test set were used to train the model and to test it for unknown data and prediction. The number of epochs is the number of times this process is repeated. A larger number of epochs will take longer, but it will also improve the accuracy of present data.

After testing the model, authentication of the model was done by determining the correlation coefficient and grand mean error percentage. The model architecture and parameters are modified if there are no noteworthy outcomes in the model. In this research, the low-stress mechanical properties were chosen as inputs to the neural networks. The output layer had one node total hand values of the specialty fabrics. It was observed that the THV obtained using the computational approach were the most correlated with the experimental values followed by artificial neural network values. In comparison to the experimental values, the computational

model is highly correlated with subjective values. It depicts that the computational values more accurately portray and grasp consumer preferences, which is a critical part of hand evaluation.

In this research, an attempt was made to develop an objective method of fabric hand evaluation of automotive car seat fabrics to engineer, design and produce good quality car seat fabrics. Five primary hand attributes such as conformability, smoothness, softness, flexibility, and stretchability were defined and considered for car seat fabrics. Computational method was used to develop primary and total hand equations for car seat fabrics. From consumer point of view, smoothness got the highest weightage in the survey. Conformability a new primary attribute included that plays an important role in the evaluation of THV. The surface properties and shear properties have the greatest influence on the THV followed by bending and compression properties for car seat fabrics.

A computational method was also developed for the prediction of hand value of the bed linen fabrics by using stepwise block regression method. The objective evaluation of fabric hand would contribute to engineering and developing the bed linen fabrics that offers maximum comfort while sleeping. The four primary hand properties such as soft feeling, smoothness, fullness, and stiffness were defined and considered for the bed linen fabrics. The experimental total hand values were also determined by using existing hand equation for futon's cloth and the statistical approach was applied to investigate the correlation between subjective, experimental, and computational total hand values. An excellent correlation of 0.89 was found between the subjective and computational total hand values. And the moderate correlation of 0.77 was found between subjective and experimental hand values. The friction, roughness, and compression were the dominant factors as they are involved in the real dynamics of bed linen use.

Performance index is an estimation of how well a product works to meet its defined goals. Performance of bed linens depends on many factors such as fabric dimensional parameters, comfort related transmission behavior, hand value and aesthetic properties. Therefore, a committee comprising academia and industry experts were involved to find out what else could be considered to determine the performance of the bed linen fabrics and an effort has been made to develop a standard equation to evaluate the Bed Linen Performance Index (BLPI) objectively. The fabric properties considered for BLPI were total hand value, one-way transport capacity, abrasion resistance, air permeability, pilling resistance, crease recovery angle, thermal resistance, and drapability.

Stretch woven textiles are widely employed because of their excellent elongation and recovery properties. The stretch fabrics used in this research can be used as action stretch sportswear fabrics. Computational and artificial neural network models were developed to predict total hand value of stretch fabrics. Five primary hand attributes such as softness, smoothness, fullness, stiffness, and stretchability were defined and considered for stretch fabrics. Stretch% was also included along with low-stress mechanical properties to predict primary hand values. The correlation between subjective, computational, and artificial neural network total hand values was investigated using a statistical method. The prediction accuracy of both the models was found to be very high. The study finds that both the models can predict the total hand value of stretch materials with a tolerable level of accuracy.

Denim fabrics has become a wardrobe staple due to its versatility to be worn in a variety of fashions. In this research, denim fabrics were studied to understand their unique hand by developing hand evaluation system using computational method. Also, the effect of various washes like enzymatic, bleach, acidic, and stone wash were also studied on the hand behavior and surface morphology of denim fabrics. Five primary hand attributes such as softness,

smoothness, fullness, flexibility, and stretchability were defined and considered for denim fabrics. Due to its basic material and structure, denim fabrics are sometimes associated with drawbacks such as poor insulation and cooler sensations. Therefore, the Q_{\max} and thermal conductivity were also considered as the primary attributes for estimation of total hand value. The subjective and computational hand values without thermal characteristics had a correlation of 0.85. And a correlation of 0.88 was found between the subjective and computational hand values with inclusion of thermal properties. This indicates that the thermal properties also play a significant role in determining the hand of the denim fabrics. It was observed that the enzymatic wash fabric has the highest total hand value followed by the acid, bleach, and stone washed fabrics.

Thus, it could be stated that the major stresses on these specialty fabrics were being identified under real-world dynamics and the hand evaluation systems for these specialty fabrics were developed using various approaches. This hand evaluation system tool helps to facilitate the construction of new specialty and high-quality fabrics as per consumer requirement. The total hand value of the specialty fabrics could be estimated well using the developed equations and can be utilized by the fabric manufacturers, product development and quality assurance for development of new specialty products.

सार

कपड़े का हैंड स्पर्श की भावना से प्राप्त प्रतिक्रिया द्वारा मूल्यांकन किए गए कपड़े की गुणवत्ता है। उंगलियों और अंगूठे के बीच कपड़े को महसूस करते समय कपड़े का हैंड व्यक्ति का अनुमान है। कपड़े के विकास और विपणन में स्पर्श की भावना से प्राप्त कपड़ा सामग्री का आकलन एक आवश्यक विचार है। तकनीकी विकास ने नए या संशोधित गैर-पारंपरिक कपड़ा उत्पादों जैसे ऑटोमोटिव टेक्सटाइल, होम टेक्सटाइल, डायपर, लंगोट आदि को पेश किया है जिन्हें विशेष वस्त्र के रूप में भी जाना जाता है। और इन नए कपड़ों का पहला आकलन हैंड का होता है। पारंपरिक वस्त्रों जैसे शर्टिंग, सूटिंग, लेडी ड्रेस सामग्री इत्यादि के लिए हैंड निर्धारित करने के लिए विभिन्न मौजूदा प्रौद्योगिकियां, तकनीकें और कावाबाता हैंड समीकरण उपलब्ध हैं। और इन समीकरणों को विशेष वस्त्रों पर लागू नहीं किया जा सकता है क्योंकि इन कपड़ों पर lagne वाले तनाव हैं परिधान के कपड़ों से बिल्कुल अलग। इसलिए, इन उत्पादों की बढ़ती मांग के कारण गैर-पारंपरिक कपड़ा उत्पादों का हैंड निर्धारित करने के लिए विभिन्न दृष्टिकोणों के विकास के लिए एक प्रेरक शक्ति बढ़ रही है। हैंड मूल्यांकन प्रणाली के विकास के लिए ऑटोमोटिव कार सीट फैब्रिक्स, बेड लिनेन फैब्रिक्स, स्ट्रेच फैब्रिक्स और डेनिम फैब्रिक्स जैसे चार विशेष फैब्रिक्स का चयन किया गया था, क्योंकि ये फैब्रिक्स टेक्निकल टेक्सटाइल, होम टेक्सटाइल, कम्फर्ट क्लोदिंग और डेनिम में एक प्रमुख मार्केट शेयर के लिए जिम्मेदार हैं।

इस शोध में, पहले खंड में, कपड़े के हैंड के उपर बुनाई डिजाइन, कताई प्रौद्योगिकी, यार्न गिनती, कपड़े निर्माण मानकों और बुनाई के बाद के उपचार के प्रभाव को निर्धारित करने के लिए प्रयोग की योजना बनाई गई थी। झुकने, कतरनी, संपीड़न, तन्यता और सतह के गुणों जैसे कम तनाव वाले यांत्रिक गुणों पर इन मापदंडों के प्रभाव का अध्ययन किया गया था। विभिन्न दृष्टिकोणों का अध्ययन किया गया जिनका उपयोग कपड़ा वस्त्रों के लिए हैंड मूल्यांकन प्रणाली विकसित करने के लिए किया जा सकता है। ताकि इन दृष्टिकोणों का उपयोग विशेष कपड़ों के लिए हाथ मूल्यांकन प्रणाली विकसित करने के लिए किया जा

सके। इस्तेमाल किए गए विभिन्न दृष्टिकोण व्यक्तिपरक, प्रयोगात्मक, कम्प्यूटेशनल और कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क थे।

प्राथमिक और कुल हैंड समीकरणों को विकसित करने के लिए कम्प्यूटेशनल दृष्टिकोण का उपयोग किया गया था। और कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क का उपयोग विशेष कपड़ों के हैंड के मूल्यों को निर्धारित करने के लिए किया गया था। पहले से मौजूद कावाबाता हस्त समीकरणों (प्रायोगिक समीकरणों) की उपयुक्तता की भी जांच की गई थी, जो विशेष कपड़े के प्राथमिक हैंड मूल्यों के समान प्राथमिक हैंड मूल्यों का उपयोग करते हैं। परिणामों को मान्य करने के लिए, सहसंबंध गुणांक निर्धारित किया गया था। कम्प्यूटेशनल दृष्टिकोण एकाधिक चरणवार ब्लॉक रिग्रेशन विधि का उपयोग करता है। कम्प्यूटेशनल दृष्टिकोण में पहला कदम कपड़े और प्राथमिक विशेषताओं का व्यक्तिपरक मूल्यांकन है। इस उद्देश्य के लिए, विशेषज्ञों का चयन शॉर्टलिस्ट किए गए उत्पादों (बेड लिनन, डेनिम आदि) जैसे विनिर्माण क्षेत्र, उत्पाद विकास, गुणवत्ता आश्वासन, शिक्षाविदों, आदि से संबंधित क्षेत्र से किया गया था। संबंधित क्षेत्रों में तकनीकी विशेषज्ञ, मध्यम वाणिज्यिक पेशेवर , और कपड़ों के वास्तविक उपयोगकर्ताओं पर विचार किया गया। व्यवस्थित सांख्यिकीय पद्धतियों और प्रश्नावली का उपयोग करते हुए, विभिन्न यांत्रिक तनावों की भूमिका और हस्त समीकरणों को उत्पन्न करने में उनके संबंधित भार का निर्धारण किया गया था।

प्राथमिक हैंड विशेषताओं और संबंधित यांत्रिक मापदंडों की पहचान करने के लिए विशेषज्ञों के एक पैनल द्वारा कपड़े का व्यक्तिपरक मूल्यांकन किया गया था, जो विशेष कपड़े के कपड़े के हैंड के मूल्यांकन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। प्राथमिक हैंड अभिव्यक्ति की पहचान उनके भार के साथ की गई। समन्वय का गुणांक विशेषज्ञों के बीच समझौते का पता लगाने और व्यक्तिपरक हैंड परिणामों की विश्वसनीयता की जांच करने के लिए निर्धारित किया गया था। कावाबाता मूल्यांकन प्रणाली (केईएस) का उपयोग कपड़ों के कम तनाव वाले यांत्रिक गुणों का मूल्यांकन करने के लिए किया गया था।

दूसरे चरण में, कम-तनाव वाले यांत्रिक गुणों को व्यक्तिपरक प्राथमिक हैंड मूल्यों के साथ वापस ले लिया गया। प्राथमिक हैंड मूल्यों के लिए उनके महत्व के अनुसार ब्लॉकों का क्रम प्राप्त किया गया था। प्रतीपगमन प्रक्रिया तब तक जारी रहती है जब तक कि प्रत्येक ब्लॉक के महत्व का क्रम निर्धारित नहीं हो जाता। इस प्रकार, वस्तुनिष्ठ प्राथमिक हस्त मानों की भविष्यवाणी के लिए एक रैखिक समीकरण प्राप्त किया गया था। PHV से THV में अनुवाद समीकरण उसी समाश्रयण विधि का अनुसरण करेगा। प्राप्त प्राथमिक हैंड मूल्यों को व्यक्तिपरक कुल हैंड मूल्यों के साथ पुनः प्राप्त किया गया था। प्राथमिक विशेषता ब्लॉकों के महत्व का क्रम प्राप्त किया गया था। और इस प्रकार, प्राथमिक और कुल हैंड समीकरणों के लिए गुणांक प्राप्त किए गए थे।

कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क पद्धति में, बहु-स्तरीय फ़ीड-फ़ॉरवर्ड बैक-प्रचार प्रशिक्षित तंत्रिका नेटवर्क का उपयोग किया गया था। प्रशिक्षण तंत्रिका नेटवर्क की एक महत्वपूर्ण विशेषता है। प्रशिक्षण प्रक्रिया का उद्देश्य नेटवर्क आउटपुट और वांछित आउटपुट के बीच त्रुटि वर्ग को कम करना है। अगली परतों में सभी न्यूरॉन्स एक दूसरे से जुड़े हुए हैं, और आउटपुट न्यूरॉन का दूसरी परत से कोई आगे का कनेक्शन नहीं है। एक मॉडल बनाने के बाद, मॉडल को भविष्य कहनेवाला विश्लेषण के लिए प्रशिक्षित किया गया था, जहां यह समझ विकसित करता है कि आउटपुट पैरामीटर इनपुट कारकों से कैसे प्रभावित होते हैं। डेटा बिंदुओं को दो समूहों में विभाजित किया गया है: एक ट्रेन सेट और एक परीक्षण सेट। मॉडल को प्रशिक्षित करने और अज्ञात डेटा और भविष्यवाणी के लिए इसका परीक्षण करने के लिए एक प्रशिक्षण सेट और एक परीक्षण सेट का उपयोग किया गया था। अवधियों की संख्या इस प्रक्रिया को दोहराए जाने की संख्या है। बड़ी संख्या में अवधियों में अधिक समय लगेगा, लेकिन यह वर्तमान डेटा की सटीकता में भी सुधार करेगा।

मॉडल का परीक्षण करने के बाद, सहसंबंध गुणांक और महामाध्य त्रुटि प्रतिशत का निर्धारण करके मॉडल का प्रमाणीकरण किया गया था। मॉडल में कोई उल्लेखनीय परिणाम नहीं होने पर मॉडल आर्किटेक्चर

और मापदंडों को संशोधित किया जाता है। इस शोध में, कम तनाव वाले यांत्रिक गुणों को तंत्रिका नेटवर्क के इनपुट के रूप में चुना गया था। आउटपुट लेयर में स्पेशलिटी फैब्रिक के एक नोड टोटल हैंड वैल्यू थे। यह देखा गया कि कम्प्यूटेशनल दृष्टिकोण का उपयोग करके प्राप्त कुल हैंड वैल्यू कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क मूल्यों के बाद प्रयोगात्मक मूल्यों के साथ सबसे अधिक सहसंबद्ध थे।

प्रयोगात्मक मूल्यों की तुलना में, कम्प्यूटेशनल मॉडल व्यक्तिपरक मूल्यों के साथ अत्यधिक सहसंबद्ध है। यह दर्शाता है कि कम्प्यूटेशनल मूल्य उपभोक्ता वरीयताओं को अधिक सटीक रूप से चित्रित करते हैं और समझते हैं, जो हैंड वैल्यू के मूल्यांकन का एक महत्वपूर्ण हिस्सा है। इस शोध में, ऑटोमोटिव कार सीट फैब्रिक के इंजीनियर, डिजाइन और अच्छी गुणवत्ता वाली कार सीट फैब्रिक का उत्पादन करने के लिए फैब्रिक हैंड वैल्यू मूल्यांकन की एक वस्तुनिष्ठ विधि विकसित करने का प्रयास किया गया था। पांच प्राथमिक हैंड विशेषताओं जैसे अनुरूपता, समतलता, कोमलता, लचीलापन और खिंचाव को परिभाषित किया गया था और कार सीट के कपड़े के लिए माना जाता था। कार सीट फैब्रिक के लिए प्राथमिक और कुल हैंड समीकरण विकसित करने के लिए कम्प्यूटेशनल विधि का उपयोग किया गया था। उपभोक्ता के दृष्टिकोण से, सर्वेक्षण में समतलता को सबसे अधिक महत्व मिला। अनुरूपता एक नई प्राथमिक विशेषता है जो कुल हैंड वैल्यू के मूल्यांकन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। सतह के गुणों और कतरनी गुणों का कुल हैंड वैल्यू पर सबसे अधिक प्रभाव पड़ता है, इसके बाद कार सीट के कपड़े के लिए झुकने और संपीड़न गुण होते हैं।

स्टेपवाइज ब्लॉक रिग्रेसन पद्धति का उपयोग करके बेड लिनन फैब्रिक के हैंड वैल्यू की भविष्यवाणी के लिए एक कम्प्यूटेशनल विधि भी विकसित की गई थी। फैब्रिक हैंड का वस्तुनिष्ठ मूल्यांकन इंजीनियरिंग और बेड लिनन फैब्रिक विकसित करने में योगदान देगा जो सोते समय अधिकतम आराम प्रदान करता है। चार प्राथमिक हैंड वैल्यू जैसे नरम भावना, समतलता, परिपूर्णता और कठोरता को परिभाषित किया गया था और बेड लिनन कपड़ों के लिए माना जाता था। फ़्यूटन के कपड़े के लिए मौजूदा हैंड समीकरण का उपयोग करके प्रयोगात्मक कुल हैंड वैल्यू को भी निर्धारित किया गया था और व्यक्तिपरक,

प्रयोगात्मक और कम्प्यूटेशनल कुल हैंड वैल्यू के बीच सहसंबंध की जांच के लिए सांख्यिकीय दृष्टिकोण लागू किया गया था। व्यक्तिपरक और कम्प्यूटेशनल कुल हैंड वैल्यू के बीच 0.89 का उत्कृष्ट सहसंबंध पाया गया। और व्यक्तिपरक और प्रयोगात्मक हैंड वैल्यू के बीच 0.77 का मध्यम सहसंबंध पाया गया। घर्षण, खुरदरापन और संपीड़न प्रमुख कारक थे क्योंकि वे बेड लिनन के उपयोग की वास्तविक गतिशीलता में शामिल हैं।

प्रदर्शन सूचकांक एक अनुमान है कि कोई उत्पाद अपने निर्धारित लक्ष्यों को पूरा करने के लिए कितनी अच्छी तरह काम करता है। बेड लिनन का प्रदर्शन कई कारकों पर निर्भर करता है जैसे कि कपड़े के आयामी पैरामीटर, आराम से संबंधित संचरण व्यवहार, हैंड वैल्यू और सौंदर्य संबंधी गुण। इसलिए, अकादमिक और उद्योग विशेषज्ञों की एक समिति यह पता लगाने के लिए शामिल थी कि बेड लिनन कपड़ों के प्रदर्शन को निर्धारित करने के लिए और क्या विचार किया जा सकता है और बेड लिनन प्रदर्शन सूचकांक (बीएलपीआई) का निष्पक्ष मूल्यांकन करने के लिए एक मानक समीकरण विकसित करने का प्रयास किया गया है। BLPI के लिए विचार किए जाने वाले कपड़े के गुणों में कुल हैंड वैल्यू, एक तरफ़ा परिवहन क्षमता, घर्षण प्रतिरोध, वायु पारगम्यता, पिलिंग प्रतिरोध, क्रीज रिकवरी कोण, थर्मल प्रतिरोध और ड्रेपेबिलिटी शामिल थे।

खिंचाव बुने हुए वस्त्रों को उनके उत्कृष्ट बढ़ाव और पुनर्प्राप्ति गुणों के कारण व्यापक रूप से नियोजित किया जाता है। इस शोध में इस्तेमाल किए गए स्ट्रेच फैब्रिक्स को एक्शन स्ट्रेच स्पोर्ट्सवियर फैब्रिक के रूप में इस्तेमाल किया जा सकता है। खिंचाव के कपड़े के कुल हैंड वैल्यू की भविष्यवाणी करने के लिए कम्प्यूटेशनल और कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क मॉडल विकसित किए गए थे। पांच प्राथमिक हैंड विशेषताओं जैसे कोमलता, समतलता, परिपूर्णता, कठोरता और खिंचाव को परिभाषित किया गया था और खिंचाव के कपड़े के लिए माना जाता था। प्राथमिक हैंड वैल्यू की भविष्यवाणी करने के लिए कम तनाव वाले यांत्रिक गुणों के साथ स्ट्रेच% भी शामिल किया गया था। सांख्यिकीय पद्धति का उपयोग करके व्यक्तिपरक, कम्प्यूटेशनल और कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क के कुल हैंड वैल्यू के बीच संबंध की जांच की गई।

दोनों मॉडलों की भविष्यवाणी सटीकता बहुत अधिक पाई गई। अध्ययन में पाया गया है कि दोनों मॉडल सटीकता के सहनीय स्तर के साथ खिंचाव सामग्री के कुल हैंड वैल्यू की भविष्यवाणी कर सकते हैं।

विभिन्न प्रकार के फैशन में पहने जाने की उनकी बहुमुखी प्रतिभा के कारण डेनिम कपड़े एक अलमारी प्रधान बन गए हैं। इस शोध में कम्प्यूटेशनल पद्धति का उपयोग करके हैंड मूल्यांकन प्रणाली विकसित करके डेनिम कपड़ों का अध्ययन उनके अद्वितीय हैंड को समझने के लिए किया गया था। इसके अलावा, डेनिम कपड़ों के हैंड के व्यवहार और सतह आकारिकी पर एंजाइमैटिक, ब्लिच, एसिडिक और स्टोन वॉश जैसे विभिन्न वॉश के प्रभाव का भी अध्ययन किया गया। पांच प्राथमिक हैंड विशेषताओं जैसे कोमलता, समतलता, परिपूर्णता, लचीलापन और खिंचाव को परिभाषित किया गया और डेनिम कपड़ों के लिए विचार किया गया। इसकी मूल सामग्री और संरचना के कारण, डेनिम कपड़े कभी-कभी खराब इन्सुलेशन और ठण्ड संवेदना जैसी कमियों से जुड़े होते हैं। इसलिए, कुल हैंड वैल्यू के आकलन के लिए अधिकतम उष्मा और तापीय चालकता को प्राथमिक विशेषताओं के रूप में भी माना जाता था। थर्मल विशेषताओं के बिना व्यक्तिपरक और कम्प्यूटेशनल हैंड वैल्यू में 0.85 का सहसंबंध था। और थर्मल गुणों को शामिल करने के साथ व्यक्तिपरक और कम्प्यूटेशनल हैंड वैल्यू के बीच 0.88 का सहसंबंध पाया गया। यह इंगित करता है कि डेनिम कपड़ों के हैंड को निर्धारित करने में थर्मल गुण भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। यह देखा गया कि एंजाइमैटिक वॉश फैब्रिक का कुल हैंड वैल्यू सबसे अधिक होता है, इसके बाद एसिड, ब्लिच और स्टोन वॉश फैब्रिक होते हैं।

इस प्रकार, यह कहा जा सकता है कि वास्तविक दुनिया की गतिशीलता के तहत इन विशेष कपड़ों पर प्रमुख तनावों की पहचान की जा रही थी और विभिन्न दृष्टिकोणों का उपयोग करके इन विशेष कपड़ों के लिए हैंड मूल्यांकन प्रणाली विकसित की गई थी। यह हैंड मूल्यांकन प्रणाली उपकरण उपभोक्ता की आवश्यकता के अनुसार नई विशेषता और उच्च गुणवत्ता वाले कपड़ों के निर्माण को सुविधाजनक बनाने में मदद करता है। विकसित समीकरणों का उपयोग करके विशेष कपड़ों के कुल हैंड वैल्यू का अनुमान

लगाया जा सकता है और कपड़े निर्माताओं, उत्पाद विकास और नए विशेष उत्पादों के विकास के लिए गुणवत्ता आश्वासन द्वारा उपयोग किया जा सकता है।

Contents

	Page No.
Certificate	i
Acknowledgement	ii
Abstract	iii
Table of Contents	xvi
List of Figures	xxvi
List of Tables	xxx
List of Abbreviations	xxxiii
Chapter 1: Introduction	2
1.1 Background	2
1.2 Motivation	7
Chapter 2: Research objectives	10
2.1 Principal objective	10
2.2 Sub-objectives	11
Chapter 3: Literature review	13
3.1 Specialty fabrics	13
3.1.1 Automotive car seat fabrics	13
3.1.2 Bed linen fabrics	14
3.1.3 Stretch fabrics	15
3.1.4 Denim fabrics	16
3.2 Fabric Hand	17
3.2.1 Definition of fabric hand	17
3.2.2 Fabric hand perception - Physiological and - Neurophysiological approach	18
3.2.3 Thermal sensation related to fabric hand	19
3.2.4 Evolution of fabric hand research	19
3.3 Approaches to fabric hand evaluation	19
3.3.1 Evaluation of fabric hand using subjective approach	20

3.3.2	Objective hand evaluation techniques	22
3.3.2.1	BM (Binomial Model) technique	22
3.3.2.2	Empirical model for fabric hand	23
3.3.2.3	Haptic Simulation of Hand	23
3.3.2.4	Fabric hand evaluation by PhabrOmeter	23
3.3.2.5	Predicting hand value from the parameters of weave structure	24
3.3.2.6	Fuzzy comprehensive evaluation method	24
3.3.2.7	Fabric hand evaluation by Fabric Touch Tester	25
3.3.2.8	Weighted Euclidean Distance method	27
3.3.2.9	Ordinal model of regression	27
3.3.2.10	Fabric evaluation by artificial neural network (ANN) prediction	28
3.4	Instrumental measurement of fabric low stress mechanical properties	29
3.4.1	Kawabata Evaluation System (KES System)	30
3.4.2	Fabric Assurance by Simple Testing (FAST System)	32
3.4.3	FAST and KES-FB comparison	33
3.5	Kawabata Hand equations	34
3.5.1	Standard Kawabata equations available for conventional textiles	34
3.5.1.1	Men's suit fabrics	34
3.5.1.2	Women's fine dress fabrics	36
3.5.1.3	Men's dress shirt fabric	36
3.5.2	Hand equation for Knitted fabrics	37
3.5.3	Standard Kawabata equations available for specialty textiles	37
3.5.3.1	Futon's covering fabrics	38
3.5.3.2	BJ-105 (BijoyaJitendra-105) for terry fabrics	38
3.5.3.3	Total hand value of top sheet for disposable diapers	39
3.6	Factors contributing to fabric hand	39
3.6.1	Hand is influenced by eye (vision)	40
3.7	Application of objective evaluation of fabric hand	40
3.7.1	Quality control in garment industry	40

3.7.2	Product development	41
3.7.3	Quality control in fabric manufacturing	41
Chapter 4:	Materials and Methods	43
4.1	Materials	43
4.2	Methodology	44
4.2.1	Evaluation of low-stress mechanical properties of specialty fabrics	44
4.2.1.1	KES FB1 Tensile and Shear tester	45
4.2.1.2	KES FB2 Bending tester	45
4.2.1.3	KES FB3 Compression tester	46
4.2.1.4	KES FB4 Surface roughness and friction tester	46
4.2.2	Fabric areal density of specialty fabrics	47
4.2.3	Characterization of the bed linen fabrics	47
4.2.3.1	Crease recovery angle	47
4.2.3.2	Pilling resistance	47
4.2.3.3	Abrasion resistance	48
4.2.3.4	Drapability	48
4.2.3.5	Air permeability	49
4.2.3.6	Thermal resistance	49
4.2.3.7	Moisture Management	49
4.2.4	Characterization of the stretch fabrics	50
4.2.4.1	Determination of stretch percentage	50
4.2.5	Characterization of the denim fabrics	50
4.2.5.1	Surface morphology using scanning electron microscope	50
4.2.6	Objective evaluation of fabric hand using computational and artificial neural network approach	50
Chapter 5:	Investigation of the influence of various attributes such as fiber mix, Yarn count, fabric construction, finishing treatments, yarn structure,	

and weave design on fabric hand	53
5.1 Introduction	53
5.2 Materials	54
5.2.1 Recipe used for different finishing treatments	56
5.3 Methodology	56
5.3.1 Procedure and parameters used for finishing treatments	56
5.3.2 Evaluation of low-stress mechanical properties	56
5.4 Results and Discussion	57
5.4.1 Effect of different weave designs	57
5.4.2 Effect of different yarn counts	58
5.4.3 Effect of different fiber mix	59
5.4.4 Effect of variable pick density	60
5.4.5 Effect of different finishing treatments	62
5.4.6 Effect of different spinning technology (yarn structure)	63
5.5 Conclusions	65
Chapter 6: Determination of primary and total hand values of textile fabrics using experimental, computational, and artificial neural network approaches	68
6.1 Introduction	68
6.2 Materials	69
6.3 Methodology	72
6.3.1 Approaches to determine the primary and total hand values for the shirting fabrics	72
6.3.1.1 Experimental approach	72
6.3.1.2 Computational approach	72
6.3.1.2.1 Subjective evaluation	73
6.3.1.2.2 Stepwise block regression	74
6.3.1.3 Artificial Neural Network and back-propagation Algorithm	77
6.3.1.3.1 Characterization of properties considered for hand evaluation of shirting fabrics	78
6.3.1.3.2 Building a machine learning model to predict total hand value using	

Artificial Neural Network	78
6.3.1.3.3 Training the artificial neural network model	80
6.3.1.3.4 Testing the model on test data set	81
6.3.1.3.5 Authentication and using the model for prediction of new data set	81
6.3.1.4 Neural network parameters and neural network model	82
6.4 Results and Discussion	83
6.4.1 Primary-hand expressions short-listed for shirting fabric along with their weightage	83
6.4.2 Primary hand equations developed for shirting fabric	84
6.4.2.1 New primary hand equation for fullness	84
6.4.2.2 New primary hand equation for crispness	86
6.4.2.3 New primary hand equation for anti-drape	88
6.4.2.4 New primary hand equation for stiffness	90
6.4.3 New total hand equations developed for shirting fabric using different approaches	93
6.4.3.1 New total hand value equations derived using computational method	93
6.4.3.2 Total hand value equation derived using experimental method	94
6.4.3.3 Total hand value derived using artificial neural network method	94
6.4.4 Determination of correlation coefficient of subjective, experimental, ANN and computational total hand values	95
6.5 Conclusions	97

Chapter 7: Developing a hand evaluation system for automotive car seat fabrics

using computational approach	100
7.1 Introduction	100
7.2 Materials	102
7.3 Methodology	104
7.3.1 Algorithm to develop hand equation for automotive car seat fabrics	104

7.3.2	Evaluation of low-stress mechanical properties of the car seat fabrics	105
7.3.3	Determination of the primary hand attributes along with weightage contribution	106
7.3.4	Subjective assessment of primary and total hand value	108
7.3.5	Development of primary hand equations of automotive car seat fabrics	109
7.3.6	Development of total hand value equation of automotive car seat fabrics	110
7.4	Results and Discussion	111
7.4.1	New primary hand equation for smoothness (BM-201-AT)	111
7.4.2	New primary hand equation for softness (BM-202-AT)	113
7.4.3	New primary hand equation for conformability (BM-203-AT)	116
7.4.4	New primary hand equation for flexibility (BM-204-AT)	118
7.4.5	New primary hand equation for stretchability (BM-204-AT)	120
7.4.6	Total hand value developed for automotive car seat fabrics (BM-205-AT1)	122
7.4.7	Determination of subjective and objective primary hand value correlation coefficient	124
7.4.8	Correlation between subjective total hand value and computational total hand value	127
7.5	Conclusions	128

Chapter 8: Developing a hand evaluation system and performance index for

	bed linen fabrics	131
8.1	Introduction	131
8.2	Materials	134
8.3	Methods	134
8.3.1	Chemical processing of bed linen fabrics	134
8.3.2	Computational approach to develop primary and total hand equations of bed linen fabrics	136

8.3.2.1	Determination of primary hand attributes and their weighted contribution	136
8.3.2.2	Subjective hand evaluation of fabrics	137
8.3.2.3	Computational approach using stepwise block regression	137
8.3.2.4	Experimental evaluation of total hand value of bed linen fabrics	139
8.3.3	Approach to develop Bed Linen Performance Index	139
8.3.3.1	Characterization of the bed linen properties	139
8.3.3.1.1	Crease recovery angle	139
8.3.3.1.2	Pilling resistance	139
8.3.3.1.3	Abrasion resistance	140
8.3.3.1.4	Drapability	140
8.3.3.1.5	Air permeability	141
8.3.3.1.6	Thermal resistance	141
8.3.3.1.7	Moisture Management	141
8.3.3.1.8	Determination of total hand value of bed linen fabrics	141
8.3.3.2	Descriptive quantitative survey to determine the bed linen performance indicators and their weighted contribution	142
8.3.3.3	Subjective assessment of performance index of bed linen fabrics	143
8.3.3.4	Approach to develop bed linen performance index	144
8.4	Results and Discussion	145
8.4.1	New primary hand equation for soft feeling (BM-101)	145
8.4.2	New primary hand equation for smoothness (BM-102)	147
8.4.3	New primary hand equation for fullness (BM-103)	149
8.4.4	New primary hand equation for stiffness (BM-104)	151
8.4.5	New bed linen total hand value equation (BM-105)	153
8.4.6	Experimental total hand value of the bed linen fabrics	155
8.4.7	Correlation between subjective and computational primary hand value	155

8.4.8	Correlation between subjective, experimental, and computational total hand value	157
8.4.9	Characterization of short-listed properties of bed linen fabrics	159
8.4.10	Evaluation of Bed Linen Performance Index (BLPI)	160
8.5	Conclusions	162

Chapter 9: Developing hand evaluation systems for stretch fabrics using computational and artificial neural network approach 165

9.1	Introduction	165
9.2	Materials	168
9.3	Methodology	170
9.3.1	Evaluation of low-stress mechanical properties of the stretch fabrics	170
9.3.2	Determination of stretch percentage of the stretch fabrics	170
9.3.3	Algorithm of computational approach to determine total hand value of stretch fabrics	170
9.3.3.1	Determination of primary hand attributes and subjective hand evaluation of fabrics	171
9.3.3.2	Computational approach to develop primary and total hand equation	173
9.3.4	Artificial neural network approach to determine total hand value	174
9.3.4.1	Artificial Neural Network and back-propagation algorithm	174
9.3.4.2	Neural network parameters and neural network model	175
9.4	Results and Discussion	
9.4.1	New primary hand equation for softness (ST-101)	178
9.4.2	New primary hand equation for smoothness (ST-102)	180
9.4.3	New primary hand equation for fullness (ST-103)	182
9.4.4	New primary hand equation for stiffness (ST-104)	184
9.4.5	New primary hand equation for stretchability (ST-105)	186
9.4.6	Development of new total hand equation for stretch fabrics	

(ST-106)	188
9.4.7 Prediction performance by ANN	190
9.4.8 Correlation between subjective, computational, and ANN total hand value	190
9.5 Conclusions	192
Chapter 10: Developing a hand evaluation system for denim fabrics and to determine the effect of various washing treatments on surface properties and hand value of denim fabrics	194
10.1 Introduction	194
10.2 Materials	197
10.3 Methodology	198
10.3.1 Denim washing treatment	198
10.3.1.1 Enzyme wash	198
10.3.1.2 Bleach wash	198
10.3.1.3 Acid wash	199
10.3.1.4 Stone wash	199
10.3.2 Surface morphology using scanning electron microscope	199
10.3.3 Algorithm to develop hand evaluation system of denim fabrics using computational approach	199
10.3.3.1 Selection of judges for subjective hand evaluation and identification of primary hand expression for denim fabrics	200
10.3.3.2 Subjective evaluation of primary hand value and total hand value of denim fabrics	202
10.3.3.3 Evaluation of low-stress mechanical properties of denim fabrics	203
10.3.3.4 Computational approach to develop hand equations for denim fabrics	203
10.4 Results and Discussion	204
10.4.1 New primary hand equation for softness (DM-1)	204
10.4.2 New primary hand equation for smoothness (DM-2)	206
10.4.3 New primary hand equation for fullness (DM-3)	208
10.4.4 New primary hand equation for flexibility (DM-4)	210

10.4.5	New primary hand equation for stretchability (DM-5)	213
10.4.6	New total hand equation with thermal properties (DM-6) and without thermal properties (DM-7)	214
10.4.7	Correlation between subjective and computational primary and total hand value	217
10.4.8	Effect of different washing treatments on surface characteristics and hand value of denim	220
10.4.8.1	Surface characteristics and hand value of as woven fabric (without wash)	221
10.4.8.2	Surface characteristics and hand value of denim fabric with enzymatic wash	221
10.4.8.3	Surface characteristics and hand value of denim fabric with bleach wash	221
10.4.8.4	Surface characteristics and hand value of denim fabric with acid wash	222
10.4.8.5	Surface characteristics and hand value of denim fabric with stone wash	222
10.5	Conclusions	223
Chapter 11:	Summary and Conclusions	226
11.1	Summary	226
11.2	Conclusions	229
	Scope for future work	235
	References	238
	Annexure – I	252
	Annexure – II	254
	Annexure – III	256
	Annexure – IV	258
	List of Publications	260
	Curriculum Vitae	262

List of Figures

Figures	Title	Page No.
Figure 3.1	Types of stretch fabrics (2 way and 4-way stretch)	15
Figure 3.2	Fabric hand evaluation techniques	20
Figure 3.3	Subjective assessment of the fabric hand	22
Figure 3.4	Flowchart of fuzzy comprehensive evaluation	25
Figure 3.5	Fabric Touch Tester	26
Figure 3.6	Model architecture of artificial neural network	29
Figure 3.7	Kawabata Evaluation System instruments	32
Figure 3.8	Different factors affecting fabric hand	39
Figure 3.9	Fabric hand assessment by touch only	40
Figure 5.1	Effect of different weaves on fabric hand	58
Figure 5.2	Effect of different yarn count on fabric hand	59
Figure 5.3	Effect of different fibre mix on fabric hand	60
Figure 5.4	Effect of pick density on fabric hand of plain weave fabric	61
Figure 5.5	Effect of pick density on fabric hand of twill weave fabric	61
Figure 5.6	Effect of different finishing treatments on fabric hand	63
Figure 5.7	Effect of ring and compact yarn on fabric hand	64
Figure 5.8	Effect of spinning technology on fabric hand	65
Figure 6.1	Algorithm to develop hand equations using computational method	73
Figure 6.2	Model architecture of Artificial Neural Network	77
Figure 6.3	Model architecture for total hand value prediction	83
Figure 6.4	Stepwise block regression for the analysis of fullness	85

Figure 6.5	Stepwise block regression for the analysis of crispness	87
Figure 6.6	Stepwise block regression for the analysis of anti-drape	89
Figure 6.7	Stepwise block regression for the analysis of stiffness	91
Figure 6.8	Correlation between computational and experimental total hand values	96
Figure 6.9	Correlation between artificial neural network and experimental total hand values	96
Figure 6.10	Correlation between computational and subjective total hand values	97
Figure 6.11	Correlation between subjective and experimental total hand values	97
Figure 7.1	Algorithm to develop automotive car seat hand equations	105
Figure 7.2	Discriminant analysis of weightage of primary hand attributes	108
Figure 7.3	Stepwise block regression for the investigation of smoothness attributes (PHV1)	111
Figure 7.4	Stepwise block regression for the investigation of softness attributes (PHV2)	114
Figure 7.5	Stepwise block regression for the investigation of conformability attributes (PHV3)	116
Figure 7.6	Stepwise block regression for the investigation of flexibility attributes (PHV4)	119
Figure 7.7	Stepwise block regression for the investigation of stretchability attributes (PHV4)	121
Figure 7.8	Correlation between subjective and calculated stretchability	125
Figure 7.9	Correlation between subjective and calculated flexibility	125

Figure 7.10	Correlation between subjective and calculated smoothness	126
Figure 7.11	Correlation between subjective and calculated softness	126
Figure 7.12	Correlation between subjective and calculated conformability	127
Figure 7.13	Correlation between subjective and objective total hand value	128
Figure 8.1	Process sequence of chemical processing of fabrics	135
Figure 8.2	Discriminant analysis of the weightage of bed linen properties	143
Figure 8.3	Stepwise block regression for the analysis of soft feeling BM-101	146
Figure 8.4	Stepwise block regression for the analysis of smoothness BM-102	148
Figure 8.5	Stepwise block regression for the analysis of fullness BM-103	150
Figure 8.6	Stepwise block regression for the analysis of stiffness BM-104	152
Figure 8.7	Correlation between the subjective and computational PHV (soft feeling)	156
Figure 8.8	Correlation between the subjective and computational PHV (smoothness)	156
Figure 8.9	Correlation between the subjective and computational PHV (fullness)	157
Figure 8.10	Correlation between the subjective and computational PHV (stiffness)	157
Figure 8.11	Correlation between the subjective and computational THV	158
Figure 8.12	Correlation between the subjective and experimental THV	159
Figure 8.13	Correlation between subjective and objective Bed Linen Performance Index (BLPI)	162
Figure 9.1	Types of stretch fabrics (2-way and 4-way stretch)	166
Figure 9.2	Algorithm to develop primary and total hand equations	171
Figure 9.3	Model architecture for total hand value prediction	176

Figure 9.4	Stepwise block regression for the analysis of softness ST-101	180
Figure 9.5	Stepwise block regression for the analysis of smoothness ST-102	181
Figure 9.6	Stepwise block regression for the analysis of fullness ST-103	183
Figure 9.7	Stepwise block regression for the analysis of stiffness ST-104	185
Figure 9.8	Stepwise block regression for the analysis of stretchability ST-10	187
Figure 9.9	Correlation between subjective and computational total hand value	191
Figure 9.10	Correlation between subjective and artificial neural network total hand value	191
Figure 10.1	Manufacturing process of denim	194
Figure 10.2	Algorithm to develop hand equations for denim fabrics	200
Figure 10.3	Stepwise block regression for the analysis of softness	205
Figure 10.4	Stepwise block regression for the analysis of smoothness	207
Figure 10.5	Stepwise block regression for the analysis of fullness	209
Figure 10.6	Stepwise block regression for the analysis of flexibility	211
Figure 10.7	Stepwise block regression for the analysis of stretchability	214
Figure 10.8	Correlation between subjective and computational PHV (a) Softness (b) Smoothness (c) Fullness (d) Stretchability (e) Flexibility	219
Figure 10.9	Correlation between subjective and computational THV with thermal properties	219
Figure 10.10	Correlation between subjective and computational THV without thermal properties	219
Figure 10.11	Denim fabrics with different washing treatments (a) As woven (b) Bleach wash (c) Enzymatic wash (d) Acid wash (e) Stone wash	221
Figure 10.12	Surface morphology of denim fabrics with different washes	223

List of Tables

Tables	Title	Page No.
Table 3.1	Rating for primary hand value	21
Table 3.2	Rating for total hand value	21
Table 3.3	Fabric Touch Tester output characteristics	26
Table 3.4	Fabric low-stress mechanical properties	31
Table 3.5	FAST output properties	33
Table 3.6	Primary hand attributes and their meaning	35
Table 4.1	Selection criteria of the fabrics	44
Table 4.2	Intensity of pilling scale	48
Table 5.1	Particulars of the textile fabrics	55
Table 6.1	Particulars of the shirting fabrics	70
Table 6.2	Primary hand expressions and their weightage	84
Table 6.3	Coefficient of primary hand equation for fullness	86
Table 6.4	Coefficient of Primary hand equation for crispness	88
Table 6.5	Coefficient of primary hand equation for anti-drape	90
Table 6.6	Coefficient of primary hand equation for stiffness	92
Table 6.7	Primary hand expressions and coefficients of total hand equation ($C_{00} = 3.33$)	93
Table 6.8	Prediction performance of the neural network	94
Table 7.1	Particulars of the automotive car seat fabrics	103
Table 7.2	Final selected primary hand attributes and their weightage contribution	107
Table 7.3	Primary hand attributes and their expression	107

Table 7.4	Coefficients of primary hand equation BM-201-AT	112
Table 7.5	Coefficients of primary hand equation BM-202-AT	115
Table 7.6	Coefficients of primary hand equation BM-203-AT	118
Table 7.7	Coefficients of primary hand equation BM-204-AT	120
Table 7.8	Coefficients of primary hand equation BM-204-AT	122
Table 7.9	Coefficients of primary hand expressions ($C_{00} = 3.155$)	123
Table 8.1	Particulars of bed linen fabrics	134
Table 8.2	Recipe and process parameters used in chemical processing	135
Table 8.3	Term and definition of primary hand properties	136
Table 8.4	Primary hand expression and their weighted contribution	137
Table 8.5	Intensity of pilling scale	140
Table 8.6	Ranking and weightage of bed linen properties	142
Table 8.7	Subjective bed linen performance index	144
Table 8.8	Coefficient of Primary hand equation (BM-101)	147
Table 8.9	Coefficient of Primary hand equation (BM-102)	149
Table 8.10	Coefficient of Primary hand equation (BM-103)	151
Table 8.11	Coefficient of Primary hand equation (BM-104)	153
Table 8.12	Primary hand expressions and coefficients of total hand equation BM-105 ($C_{00} = 3.256$)	154
Table 8.13	Computational & Experimental total hand value	155
Table 8.14	Bed linen performance properties	160
Table 8.15	Normalized bed linen performance properties	161
Table 8.16	Objective bed linen performance index	162
Table 9.1	Particulars of stretch fabrics	168
Table 9.2	Term and definition of primary hand properties	172

Table 9.3	Primary hand expression and their weighted contribution	173
Table 9.4	Maximum and minimum values of input and output parameters	177
Table 9.5	Coefficient of Primary hand equation for softness ST-101	179
Table 9.6	Coefficient of Primary hand equation for smoothness ST-102	182
Table 9.7	Coefficient of Primary hand equation for fullness ST-103	184
Table 9.8	Coefficient of Primary hand equation for stiffness ST-104	186
Table 9.9	Coefficient of Primary hand equation for stretchability ST-105	188
Table 9.10	Primary hand expressions and coefficients of total hand equation ST-106 ($C_{00} = 1.71$)	189
Table 9.11	Prediction performance of the neural network	190
Table 10.1	Particulars of denim fabrics	197
Table 10.2	Term and definition of primary hand attributes	201
Table 10.3	Primary hand expression and their weighted contribution without thermal properties	201
Table 10.4	Primary hand expression and their weighted contribution with thermal properties	202
Table 10.5	Coefficient of Primary hand equation for softness (DM-1)	206
Table 10.6	Coefficient of Primary hand equation for smoothness (DM-2)	208
Table 10.7	Coefficient of primary hand equation for fullness (DM-3)	210
Table 10.8	Coefficient of primary hand equation for flexibility (DM-4)	212
Table 10.9	Coefficient of primary hand equation for stretchability (DM-5)	215
Table 10.10	Primary hand expressions and coefficients of total hand equation with thermal properties DM-6 ($C_{00} = 4.20$)	216
Table 10.11	Primary hand expressions and coefficients of total hand equation without thermal properties DM-7 ($C_{00} = 3.91$)	217

LIST OF ABBREVIATIONS

Abbreviation	Description
PHV	: Primary Hand Value
THV	: Total Hand Value
ANN	: Artificial Neural Network
KES	: Kawabata Evaluation System
KN	: Kawabata and Niwa
HESC	: Hand Evaluation and Standardization Committee
AATCC	: American Association of Textile Chemists and Colorists
ASTM	: American Society for Testing and Materials
ISO	: International Organization for Standardization
BM	: Binomial Model
FTT	: Fabric Touch Tester
FAST	: Fabric Assurance by Simple Testing
TAV	: Total Appearance Value
CFF	: Crossing over Firmness Factor
FYF	: Floating Yarn Factor
BLPI	: Bed Linen Performance Index
GSM / W	: Gram per Square Meter
T	: Thickness