



A Novel Framework for Predicting the Score of Nasal Aesthetic based on Machine Learning Algorithms

Ashoori, Maryam¹ / A. Zoroofi, Reza^{2*} / Sadeghi, Mohammad³

¹ - Ph.D. Student, Control and Intelligent Processing Center of Excellence, School of Electrical and Computer Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

² - Professor, Control and Intelligent Processing Center of Excellence, School of Electrical and Computer Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

³ - Professor, Imam Khomeini Hospital Complex, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

DOI: 10.22041/ijbme.2024.2014643.1867

Received: 2 November 2023

Revised: 30 December 2023

Accepted: 31 January 2024

KEYWORDS

Nasal Aesthetic
Machine Learning
Geometric Parameters
Face Shape
Skin Color
Skin Texture

ABSTRACT

Currently, the rapid growth of the beauty industry, along with the development of intelligent models based on machine learning algorithms, has led to an increase in extensive research in this field. Rhinoplasty is one of the most common and demanding facial cosmetic surgeries because the nose is the most prominence element of the face, which has a great impact on its attractiveness. The purpose of this article is to present a machine learning-based framework for predicting nasal aesthetic evaluation. In this article, a set of geometric parameters of the nose relative to the entire face are given as input and human rating as output to the popular machine learning regression algorithms. An ablation study was then carried out to examine the influence of facial shape, skin color, and texture on the beauty of the nose. Multilayer perceptron classification, K-means clustering, and grey level co-occurrence matrix were used to extract facial shape, skin color, and texture. The results show that the model based on geometric parameters has a moderate correlation with human rating, and by adding each subset of the features of face shape, color, and skin texture, the correlation of the obtained model increases until a high degree of correlation is achieved. The results also show that the random forest algorithm has the best performance among other algorithms based on the evaluation criteria of absolute mean error, root mean square error, and Pearson correlation. The results of this study show that the proposed framework can be helpful in determining the beauty of the nose.

***Corresponding Author**

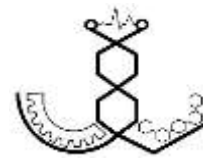
Address: Control and Intelligent Processing Center of Excellence, School of Electrical and Computer Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Postal Code: 14399-57131

E-Mail: zoroofi@ut.ac.ir

Tel: +98-21-82084302





یک چارچوب جدید برای پیش‌بینی نمره‌ی زیبایی مبتنی بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین

عاشوری، مریم^۱ / آقائی‌زاده ظروفی، رضا^{۲*} / صادقی، محمد^۳

- ^۱ - دانشجوی دکتری، قطب علمی کنترل و پردازش هوشمند، دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده‌ی فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۲ - استادی، قطب علمی کنترل و پردازش هوشمند، دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده‌ی فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۳ - استادی، مجتمع بیمارستانی امام خمینی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

مشخصات مقاله

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22041/ijbme.2024.2014643.1867

پذیرش: ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

بازنگری: ۹ دی ۱۴۰۲

ثبت در سامانه: ۱۱ آبان ۱۴۰۲

چکیده

واژه‌های کلیدی

در حال حاضر رشد سریع صنعت زیبایی در کنار توسعه‌ی مدل‌های هوشمند مبتنی بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین منجر به افزایش تحقیقات گسترده در این حوزه شده است. جراحی زیبایی بینی یکی از رایج‌ترین و چالش برانگیزترین جراحی‌های زیبایی چهره است زیرا بینی برجسته‌ترین عنصر چهره بوده که تاثیر زیادی بر جذابیت آن دارد. هدف این مقاله ارائه‌ی یک چارچوب مبتنی بر یادگیری ماشین برای پیش‌بینی نمره‌ی زیبایی بینی است. در این مقاله تعدادی از پارامترهای هندسی بینی در ارتباط با کل چهره به عنوان ورودی و نظر انسان به عنوان خروجی به الگوریتم‌های رگرسیونی متداول یادگیری ماشین داده شده است. سپس یک مطالعه‌ی فرسایشی جهت بررسی تاثیر شکل چهره و رنگ و بافت پوست بر زیبایی بینی انجام شده است. طبقه‌بند پرسپترون چندلایه، خوشه‌بندی k-means و ماتریس هم‌رخدادی سطح خاکستری برای استخراج شکل چهره و رنگ و بافت پوست مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داده که مدل مبتنی بر پارامترهای هندسی، همبستگی متوسطی با نظر انسان داشته و با افزودن هر زیرمجموعه از مجموعه‌ی ویژگی‌های شکل چهره و رنگ و بافت پوست همبستگی مدل حاصل شده، تا رسیدن به درجه‌ی بالای همبستگی افزایش یافته است. همچنین نتایج بیان گر آن است که الگوریتم جنگل تصادفی در بین سایر الگوریتم‌ها بهترین عمل کرد را بر اساس معیارهای ارزیابی میانگین مطلق خطا، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا و همبستگی پیرسون دارد. نتایج این مطالعه نشان داده است که چارچوب ارائه شده می‌تواند به تعیین میزان زیبایی بینی در چهره‌ی افراد کمک نماید.

زیبایی بینی

یادگیری ماشین

پارامترهای هندسی

شکل چهره

رنگ پوست

بافت پوست

*نویسنده‌ی مسئول

نشانی: قطب علمی کنترل و پردازش هوشمند، دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده‌ی فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
کد پستی: ۵۷۱۳۱-۱۴۳۹۹ zoroofi@ut.ac.ir پست الکترونیکی: تلفن: ۰۲۱-۸۲۰۸۴۳۰۲+۹۸



۱- مقدمه

پنجم رایج‌ترین جراحی‌های زیبایی با حدود ۸۵۰ هزار جراحی انجام شده در سال ۲۰۱۴ قرار دارد [۱۳]. آنالیز بینی اولین و شاید مهم‌ترین مرحله‌ی انجام عمل زیبایی بینی است [۱۴]. افزایش روزافزون تعداد جراحی‌های زیبایی بینی، چالش برانگیز بودن این نوع جراحی‌ها و نیز رشد سریع صنعت زیبایی و کاربرد آن در جذابیت چهره منجر به گسترش تحقیقات در این حوزه شده است [۱۵]. مطالعات حوزه‌ی جذابیت چهره از نظر سیر پیش‌رفت به چهار دوره تقسیم می‌شود. دوره‌ی اول شامل پیشنهادهای توصیف عددی در بررسی‌های اولیه بوده است. در دوره‌ی دوم معیارهای مبتنی بر اندازه‌ها در جراحی زیبایی مورد استفاده قرار گرفته است. سپس نظر روان‌شناسان مدرن به این حوزه وارد شده و در سال‌های اخیر از مدل‌های رایانه‌ای برای ارزیابی جذابیت چهره کمک گرفته شده است [۱۶، ۱۷].

کمی‌سازی اجزای چهره مهم‌ترین قسمت ارزیابی جذابیت آن است. تا کنون مطالعات انجام شده در زمینه‌ی ارزیابی جذابیت چهره معیارهای مختلفی را مورد توجه قرار داده که تعدادی از مطالعات صورت گرفته در جدول (۱) ارائه شده است.

جذابیت چهره حوزه‌ی پژوهشی مهمی در ژنتیک و روان‌شناختی بوده که نتایج آن برای مطالعه‌ی تکامل چهره و تکامل انسان معنادار است [۱]. جذابیت چهره روی جنبه‌های مهم زندگی فرد مانند اعتماد به نفس، تعامل با دیگران، موفقیت و غیره تاثیر دارد [۲]. ویژگی اصلی جذابیت چهره، تقارن و تناسب است [۳]. هرچه تقارن و تناسب چهره به نسبت طلایی نزدیک‌تر باشد، فرد دارای چهره‌ی زیباتری است [۵]. ناهنجاری‌های اندک در تناسب چهره می‌تواند تاثیر زیادی روی ظاهر فرد گذاشته که این مساله جنبه‌های زیبایی فرد را به چالش می‌کشد [۶، ۷]. جراحی بینی یکی از چالش برانگیزترین جراحی‌های زیبایی چهره است [۸، ۹] زیرا بینی برجسته‌ترین عنصر چهره بوده که نقش مهمی در جذابیت آن دارد [۱۰]. جراحی زیبایی بینی یک عمل جراحی است که برای رفع مشکلات عمل‌کرد یا ظاهر بینی انجام می‌شود [۱۱]. علی‌رغم پیچیدگی، جراحی زیبایی بینی یکی از رایج‌ترین عمل‌های زیبایی انجام شده توسط جراحان پلاستیک در جهان است [۱۲] به طوری که در دهه‌ی

جدول (۱) - مطالعات بررسی شده در زمینه‌ی جذابیت چهره

مرجع	سال	ویژگی	معیار / اندازه	روش انجام کار	بعد
[۱۹]	۱۹۹۴	نقاط کلیدی چهره	میانگین	تحلیل آماری	۲
[۲۰]	۱۹۹۹	شکل، بافت	شکل، بافت	تحلیل آماری	۳
[۲۱]	۲۰۰۱	پوست	رنگ پوست، بافت	تحلیل آماری	۲
[۲۲]	۲۰۰۴	پوست	لکه‌های پوست	تحلیل آماری	۲
[۲۳]	۲۰۰۶	تناسب چهره	نسبت طلایی، یک‌سوم افقی	یادگیری ماشین	۲
[۲۴]	۲۰۰۶	شکل، رنگ مو	تقارن	یادگیری ماشین	۲
[۲۵]	۲۰۰۶	پوست	رنگ پوست	تحلیل آماری	۳
[۲۶]	۲۰۰۸	تناسب چهره	نسبت طلایی، تقارن	تحلیل آماری	۲
[۲۷]	۲۰۰۸	فاصله‌ی نقاط کلیدی، پیکسل‌ها	تقارن، میانگین، دوشکلی جنسیتی	شبکه‌ی عصبی	۲
[۲۸]	۲۰۱۲	تناسب چهره	تناسب اجزای چهره	رگرسیون خطی چندگانه	۲
[۲۹]	۲۰۱۲	پوست چهره	همگن بودن رنگ پوست	تقسیم‌بندی تصویر هارالیک	۲
[۳۰]	۲۰۱۲	تناسب چهره	نسبت طلایی، تقارن	تحلیل آماری	۳
[۳۱]	۲۰۱۴	نسبت‌های تن‌سنجی	نسبت طلایی، یک‌سوم افقی، یک‌پنجم عمودی	تحلیل آماری	۲
[۳۲]	۲۰۱۶	پوست، شکل	رنگ پوست، شکل چهره	تحلیل آماری	۲
[۳۳]	۲۰۱۷	فاصله‌ی نقاط کلیدی	ویژگی‌های هندسی	یادگیری نیمه‌نظارتی هسین	۲
[۳۴]	۲۰۱۷	تناسب چهره	چهار مجموعه‌ی ویژگی نسبت چهره	یادگیری ماشین	۲
[۳۵]	۲۰۱۷	فاصله‌ی نقاط کلیدی، پوست	تقارن، میانگین، زنانگی، رنگ پوست	تحلیل آماری	۲
[۳۶]	۲۰۱۸	تناسب چهره	تناسب اجزای چهره	تحلیل آماری	۲
[۳۷]	۲۰۱۹	نقاط کلیدی، شکل	شکل چهره، پارامترهای هندسی ابرو	یادگیری ماشین	۲
[۱]	۲۰۲۰	نقاط کلیدی، شکل، بافت	شکل چهره، پارامترهای هندسی چهره، بافت پوست	یادگیری ماشین	۲
[۱۵]	۲۰۲۱	نقاط کلیدی، بافت، رنگ، شکل	پارامترهای هندسی چهره، بافت، رنگ، شکل چهره	یادگیری ماشین	۲
[۳۸]	۲۰۲۱	نقاط کلیدی، بافت عکس	پارامترهای هندسی چهره، بافت	یادگیری عمیق	۳
[۳۹]	۲۰۲۳	نقاط کلیدی، شکل، بافت	پارامترهای هندسی چهره، شکل چهره، بافت	یادگیری ماشین	۲
[۴۰]	۲۰۲۳	نقاط کلیدی	پارامترهای هندسی چهره	یادگیری ماشین	۲
[۴۱]	۲۰۲۳	اعضای چهره	پارامترهای هندسی اعضای چهره	یادگیری عمیق	۲



مطالعات صورت گرفته در حوزه‌ی زیبایی بینی طی ۲۰ سال اخیر در جدول (۲) ارائه شده است. اکثر این مطالعات با هدف کمی‌سازی بینی و با تمرکز بر تحلیل آماری و تولید مدل‌های توصیف کننده صورت گرفته است. نظر به اهمیت بینی در جذابیت چهره، کمی‌سازی بینی بسیار مورد توجه است.

بررسی این مطالعات نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر استفاده از روش‌هایی با قابلیت تکرار و دقت بالا بسیار مورد توجه بوده و تمرکز بسیاری از مطالعات انجام شده‌ی جدید در حوزه‌ی زیبایی چهره معطوف به استفاده از روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق است.

جدول (۲) - مطالعات بررسی شده در حوزه‌ی زیبایی بینی

مرجع	سال	ویژگی	معیار / اندازه	روش انجام کار	بعد
[۴۲]	۲۰۰۴	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۴۳]	۲۰۰۶	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۴۴]	۲۰۰۷	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۴۵]	۲۰۰۹			شبیه‌سازی	سه بعد
[۴۶]	۲۰۰۹	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۴۷]	۲۰۱۰			شبیه‌سازی	دو بعد
[۴۸]	۲۰۱۲	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۴۹]	۲۰۱۲	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۴۹]	۲۰۱۵	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۵۰]	۲۰۱۶	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۵۱]	۲۰۱۷	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۵۲]	۲۰۱۷	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	شبیه‌سازی	سه بعد
[۵۳]	۲۰۱۷	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۵۴]	۲۰۱۷	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۵۵]	۲۰۱۷	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۵۶]	۲۰۱۸			کدگذاری رنگ	دو بعد
[۵۷]	۲۰۱۸	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۵۸]	۲۰۱۸	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۵۹]	۲۰۱۸			شبیه‌سازی	سه بعد
[۶۰]	۲۰۱۸	نقاط کلیدی چهره و بینی	پارامترهای هندسی چهره و بینی	شبیه‌سازی	دو بعد
[۶۱]	۲۰۱۹	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۶۲]	۲۰۱۹	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۶۳]	۲۰۱۹	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۶۴]	۲۰۱۹	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۶۵]	۲۰۲۱			شبیه‌سازی	سه بعد
[۹]	۲۰۲۱			شبیه‌سازی	سه بعد
[۶۶]	۲۰۲۱	نقاط کلیدی بینی	پارامترهای هندسی بینی	تحلیل آماری	دو بعد
[۶۷]	۲۰۲۱			شبیه‌سازی	سه بعد
[۶۸]	۲۰۲۳			شبیه‌سازی	سه بعد
[۶۹]	۲۰۲۳			یادگیری عمیق	دو بعد

رنگ و بافت چهره، تاثیر آن‌ها بر زیبایی بینی بررسی شده است. بررسی مجموعه‌ی داده، مجموعه‌ی پارامترهای هندسی، ویژگی‌های شکل، رنگ و بافت چهره، نظر انسان در ارزیابی زیبایی بینی و مدل‌سازی در بخش ۲ ارائه شده است. یافته‌ها و بحث در بخش ۳ و نتیجه‌گیری نیز در بخش ۴ آمده است.

هدف این مطالعه دست‌یابی به یک چارچوب پیش‌بینی کننده جهت ارزیابی و کمی‌سازی زیبایی بینی با تمرکز بر ویژگی‌های مهم جذابیت چهره و با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. در این راستا از پارامترهای هندسی بینی در ارتباط با کل چهره استفاده شده و در ادامه با افزودن سایر ویژگی‌های شکل،

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مجموعه‌ی داده

مجموعه‌ی داده‌های تحت بررسی متعلق به ۴۳۴ بیمار مراجعه کننده به مطب نویسنده‌ی سوم این مقاله در فاصله‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۹ بوده که از نماهای روبرو، جانبی چپ و راست و پایه، قبل و بعد از عمل جراحی زیبایی بینی تهیه و جمع‌آوری شده است. تعداد ۳۶۵ نفر از بیماران زن و ۶۹ نفر مرد بوده‌اند. رضایت‌نامه‌ی کتبی از بیماران قبل از عمل جراحی جهت استفاده از تصاویر در تحقیقات پژوهشی اخذ شده است.

۲-۲- محلی‌سازی نقاط کلیدی

در این‌جا از کتاب‌خانه‌ی Face_Alignment [۱۸] برای پردازش تصویر نماهای روبرو و جانبی چهره جهت استخراج ۶۸ نقطه‌ی کلیدی به صورت خودکار استفاده شده است. نقاط کلیدی نمای پایه‌ی بینی با حاشیه‌نویسی تصاویر نمای پایه‌ی چهره استخراج شده است. در ابتدا برای اصلاح زاویه‌ی چرخش سر، زاویه‌ی کجی θ طبق رابطه‌ی (۱) محاسبه و سپس مختصات جدید هر نقطه‌ی کلیدی از طریق روابط (۲) و (۳) اصلاح شده است.

$$\theta = \arctan\left(\frac{y_{left_eye} - y_{right_eye}}{x_{left_eye} - x_{right_eye}}\right) \quad (1)$$

$$x_{new} = x \times \cos \theta + y \times \sin \theta \quad (2)$$

$$y_{new} = -x \times \sin \theta + y \times \cos \theta \quad (3)$$

در این روابط θ کجی تصویر، $(x_{left_eye}, y_{left_eye})$ مختصات افقی و عمودی گوشه‌ی داخلی چشم چپ، $(x_{right_eye}, y_{right_eye})$ مختصات افقی و عمودی گوشه‌ی داخلی چشم راست و x_{new} و y_{new} مختصات اصلاح شده‌ی افقی و عمودی نقطه‌ی کلیدی با مختصات اولیه‌ی (x, y) است. مشخصه‌ی ساختاری بینی در ارتباط با کل چهره طبق رابطه‌ی (۴) و با نظر متخصصان گوش، حلق و بینی جهت ارزیابی زیبایی بینی ایجاد شده است.

$$F_{structure} = [f_{s_1}, f_{s_2}, \dots, f_{s_{29}}] \quad (4)$$

مشخصه‌ی ساختاری شامل ۲۹ اندازه‌ی خطی و زاویه‌ای بوده که در روابط (۵) تا (۳۳) ارائه شده است. روابط (۵) تا (۱۶) مربوط به ویژگی‌های ساختاری بینی از نمای روبرو بوده که در آن‌ها p_i نقطه‌ی i -ام، d فاصله، a زاویه و L خط مربوط به شکل (۱-الف) است. روابط (۱۷) تا (۲۲) مربوط به ویژگی‌های ساختاری بینی از نمای جانبی در شکل (۱-ب) است. روابط

(۲۳) تا (۳۳) نیز مربوط به ویژگی‌های ساختاری بینی از نمای پایه در شکل (۱-ج) است. ویژگی‌های ساختاری که با نماد f_{s_i} نشان داده شده در دو دسته‌ی تناسب (۱۴ ویژگی) و تقارن (۱۵ ویژگی) قرار داشته که مقدار ایده‌آل این ویژگی‌ها در جدول (۳) ارائه شده است. معیارهای $f_{s_{14}}$ ، $f_{s_{17}}$ و $f_{s_{18}}$ به ترتیب بیان‌گر زوایای نازوفران탈^۱، نازولوبیال^۲ و برجستگی بینی^۳ هستند.

$$f_{s_1} = d(p_2, p_3) / d(p_4, p_8) \quad (5)$$

$$f_{s_2} = d(p_4, p_8) / d(p_{10}, p_{11}) \quad (6)$$

$$f_{s_3} = d(p_4, VRL) / d(p_8, VRL) \quad (7)$$

$$f_{s_4} = d(p_5, VRL) / d(p_7, VRL) \quad (8)$$

$$f_{s_5} = d(p_4, HRL) / d(p_8, HRL) \quad (9)$$

$$f_{s_6} = d(p_5, HRL) / d(p_7, HRL) \quad (10)$$

$$f_{s_7} = d(p_5, p_6) / d(p_6, p_7) \quad (11)$$

$$f_{s_8} = d(p_4, p_8) / d(p_1, p_6) \quad (12)$$

$$f_{s_9} = a(p_9, L(p_2, p_3), VRL) \quad (13)$$

$$f_{s_{10}} = a(L(p_6, p_9), VRL) \quad (14)$$

$$f_{s_{11}} = a(L(p_4, p_8), HRL) \quad (15)$$

$$f_{s_{12}} = a(L(p_5, p_7), HRL) \quad (16)$$

$$f_{s_{13}} = d(p_2, p_3) / d(p_2, p_4) \quad (17)$$

$$f_{s_{14}} = a(L(p_1, p_2), L(p_2, p_3)) \quad (18)$$

$$f_{s_{15}} = a(L(p_2, p_3), L(p_3, p_4)) \quad (19)$$

$$f_{s_{16}} = a(L(p_2, p_3), VRL) \quad (20)$$

$$f_{s_{17}} = a(L(p_3, p_4), L(p_4, p_5)) \quad (21)$$

$$f_{s_{18}} = a(L(p_2, p_3), L(p_2, p_4)) \quad (22)$$

$$f_{s_{19}} = d(p_7, VRL) / d(p_{18}, VRL) \quad (23)$$

$$f_{s_{20}} = d(p_{11}, VRL) / d(p_{19}, VRL) \quad (24)$$

$$f_{s_{21}} = d(p_7, C) / d(p_{18}, C) \quad (25)$$

$$f_{s_{22}} = d(p_5, C) / d(p_{12}, C) \quad (26)$$

$$f_{s_{23}} = d(p_{10}, C) / d(p_{17}, C) \quad (27)$$

$$f_{s_{24}} = d(p_5, p_{10}) / d(p_{12}, p_{17}) \quad (28)$$

$$f_{s_{25}} = d(p_8, p_9) / d(p_{15}, p_{16}) \quad (29)$$

$$f_{s_{26}} = d(p_2, p_3) / d(p_2, p_1) \quad (30)$$

$$f_{s_{27}} = d(p_4, p_6) / d(p_{13}, p_{14}) \quad (31)$$

$$f_{s_{28}} = d(p_1, p_3) / d(p_7, p_{18}) \quad (32)$$

$$f_{s_{29}} = a(L(p_5, p_{10}), VRL) / a(L(p_{12}, p_{17}), VRL) \quad (33)$$

^۳ Nasal Prominence

^۱ Nasofrontal

^۲ Nasolabial



نشان داده شده است. در این مطالعه برای استخراج شکل چهره از یک طبقه‌بند پرسپترون چندلایه استفاده شده است. شکل چهره از ۱ (کم‌ترین) تا ۵ (بیش‌ترین) به صورت ۱: مربع، ۲: کشیده، ۳: گرد، ۴: بیضی و ۵: قلب و زیر نظر زیبایی‌شناسان تعریف شده است (رابطه‌ی ۳۴).

$$F_{shape} = i, \quad i = 1 \dots 5 \quad (34)$$



۲-۳-۲- رنگ چهره

به منظور استخراج رنگ چهره از ماسک پوست روی ناحیه‌ی هدف استفاده شده است تا سایر قسمت‌های متفاوت با رنگ پوست زیر ماسک مشکلی پنهان شوند. سپس رنگ‌های موجود در تصویر ماسک شده در سه خوشه جای گرفته و بر اساس فراوانی تعداد نقاط رنگی، خوشه‌ها مرتب شده و مرکز هر خوشه به دست آمده است. در نهایت مولفه‌های رنگی مرکز خوشه با بیش‌ترین فراوانی استخراج شده و رنگ چهره طبق رابطه‌ی (۳۵) به دست آمده است.

$$F_{color} = [R, G, B] \quad (35)$$

۲-۳-۳- بافت چهره

استخراج بافت به دو روش الگوهای باینری محلی^۱ و ماتریس هم‌رخدادی سطح خاکستری^۲ انجام می‌شود. در این مطالعه از روش ماتریس هم‌رخدادی سطح خاکستری برای استخراج بافت چهره استفاده شده است. در مقاله‌ی هارالیک و هم‌کارانش [۷۹] ۱۴ معیار مختلف برای محاسبه‌ی بافت از طریق GLCM در ۴ جهت، پیشنهاد شده است. معیارهای استخراج بافت از طریق GLCM طبق جدول (۴) در سه گروه قرار می‌گیرند. در روابط این جدول $P_{i,j}$ عضو (i,j) ماتریس وابستگی فضایی نرمال شده^۳، μ میانگین و σ^2 واریانس است. در این مقاله از معیارهای تباین، تجانس، انرژی و همبستگی به دلیل متداول‌تر بودن [۱۵]، [۸۱] برای استخراج بافت طبق رابطه‌ی (۳۶) استفاده شده است.

$$F_{texture} = [Contrast, Homogeneity, Energy, Correlation] \quad (36)$$



شکل (۱) - نقاط کلیدی بینی در نمای: الف) روبه‌رو، ب) جانبی، ج) پایه، VRL: خط مرجع عمودی، HRL: خط مرجع افقی، C: محور کلوملار

جدول (۳) - مقدار ایده‌آل برای ویژگی‌های $f_{s,i}$

ویژگی	i	مقدار ایده‌آل	مرجع
تناسب	۸، ۲	۰/۶۲۵	[۷۰، ۱]
	۱۲-۹	صفر	[۵۴، ۵۳]
	۱۳	۰/۹۲۴	[۷۱]
	۱۴	۱۳۰°-۱۱۵°	[۷۲]
	۱۵	۹۰°	[۷۳]
	۱۶	۴۰°-۳۰°	[۷۴]
	۱۷	۱۲۰°-۹۰°	[۷۲]
	۱۸	۲۲/۵°	[۷۱]
	۲۶	۲	[۷۲]
	۲۸	۰/۶۱۸	[۷۵]
تقارن	۱، ۳-۷، ۱۹-۲۵، ۲۹، ۲۷	۱	[۷۰، ۱]

۲-۳- سایر ویژگی‌ها

بررسی جدول (۲) نشان می‌دهد که در برخی از مطالعات، پارامترهای هندسی چهره در ارزیابی زیبایی بینی در نظر گرفته شده است [۶۰]. مرور جدول (۱) نشان می‌دهد که نقاط کلیدی چهره و نسبت‌های مبتنی بر نقاط کلیدی به تنهایی برای ارائه‌ی نتایج ایده‌آل در پیش‌بینی زیبایی چهره کافی نیست. لذا در این بخش سایر ویژگی‌های تاثیرگذار بر زیبایی چهره جهت بررسی اثر آن‌ها در زیبایی بینی استخراج شده است. برای استخراج ویژگی‌های شکل، رنگ و بافت پوست چهره از کتابخانه‌ی dlib [۷۶] جهت استخراج ۸۱ نقطه‌ی کلیدی استفاده شده است. سپس با یافتن مقادیر کمینه و بیشینه برای مختصات افقی و عمودی، از روی مختصات نقاط کلیدی به دست آمده، چهره (ناحیه‌ی هدف) از تصاویر در حال بررسی استخراج شده است.

۲-۳-۱- شکل چهره

به طور کلی پنج نوع شکل چهره شامل کشیده، قلب، گرد، مربع و بیضی وجود دارد [۷۷]، [۷۸] که در شکل (۲) از راست به چپ

^۱ Normalized Spatial Dependence Matrix

^۱ Local Binary Patterns (LBP)

^۲ Grey Level Co-Occurrence Matrix (GLCM)

چهره‌ی معمولی بیش‌تر بوده، افراد با چهره‌های کمی غیرجذاب و کمی جذاب به نسبت افراد معمولی کم‌تر هستند و افراد با چهره‌های خیلی غیرجذاب و خیلی جذاب نسبت به سایر طبقات فراوانی کم‌تری را در جامعه دارند. پس از رتبه‌بندی نظرات جمع‌آوری شده، چارک دوم (میانه) مجموعه‌ی نظرات (r_1, \dots, r_n) مربوط به هر تصویر به عنوان نمره‌ی زیبایی (R_f) آن تصویر طبق رابطه‌ی (۳۷) در نظر گرفته شده است.

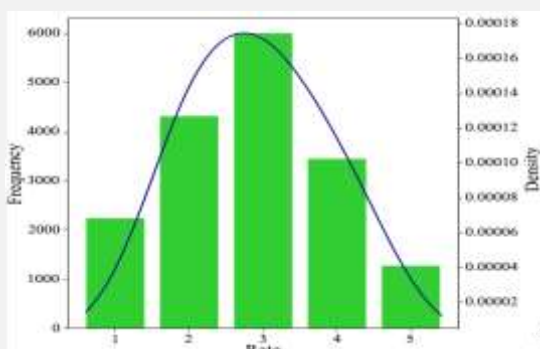
$$R_f = \text{Quartile}_2(r_1, \dots, r_n), n = 20 \quad (37)$$



شکل (۳) - تصاویر آماده شده برای پرسش‌نامه‌ی تصویری

جدول (۵) - فراوانی و مشخصات پاسخ دهندگان

ردیف	مدرک تحصیلی			جمع
	دکتری	رشد	کارشناسی	
زن	۲۲	۱۲	۱۵	۴۹
مرد	۵	۵	۷	۱۷
جمع	۲۷	۱۷	۲۲	۶۶



شکل (۴) - توزیع نمرات زیبایی در مجموعه‌ی داده

جدول (۴) - معیارهای استخراج بافت از طریق GLCM [۸۰]

گروه	ویژگی	رابطه ریاضی
اول	تباين ^۱ (تضاد)	$\sum_{i,j} i - j ^2 P_{i,j}$
	عدم تشابه ^۲	$\sum_{i,j} i - j P_{i,j}$
	تجانس ^۳ (همگنی)	$\sum_{i,j} \frac{P_{i,j}}{1 + i - j ^2}$
دوم	گشتاور دوم زاویه‌ای ^۴	$\sum_{i,j} P_{i,j}^2$
	انرژی ^۵	$\sqrt{\sum_{i,j} P_{i,j}^2}$
	حداکثر احتمال ^۶	$\max_{i,j} P_{i,j}$
سوم	انترپوی ^۷	$\sum_{i,j} P_{i,j} (-\ln P_{i,j})$
	میانگین ^۸	$\mu_i = \sum_{i,j} i \times P_{i,j}$ $\mu_j = \sum_{i,j} j \times P_{i,j}$
	واریانس ^۹	$\sigma_i^2 = \sum_{i,j} (i - \mu_i)^2 \times P_{i,j}$ $\sigma_j^2 = \sum_{i,j} (j - \mu_j)^2 \times P_{i,j}$
	همبستگی ^{۱۰}	$\sum_{i,j} P_{i,j} \left[\frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)}{\sqrt{(\sigma_i^2)(\sigma_j^2)}} \right]$

۲-۴- نظر انسان در ارزیابی زیبایی بینی

پرسش‌نامه‌ی تصویری اولین گام جهت دستیابی به نظر انسان در تعیین زیبایی بینی بر اساس سایر اجزای چهره است. در این راستا ابتدا تصویری شامل نماهای مختلف بینی در کنار تصویر کامل چهره برای تمام بیماران مطابق شکل (۳) تهیه شده و در قالب پرسش‌نامه‌ی تصویری در اختیار پاسخ دهندگان خبره قرار گرفته است. پاسخ دهندگان شامل سه گروه متخصصان جراحی زیبایی بینی، زیبایی‌شناسان (فارغ‌التحصیلان رشته‌های هنری) و افراد عادی بوده‌اند. فراوانی و مشخصات پاسخ دهندگان در جدول (۵) ارائه شده است. برای هر تصویر آماده شده نظر ۲۰ پاسخ دهنده (۱۴ زن و ۶ مرد) جمع‌آوری شده است.

بازه‌ی رتبه‌بندی از ۱ تا ۵ به شکل ۱: خیلی غیرجذاب، ۲: کمی غیرجذاب، ۳: معمولی، ۴: کمی جذاب و ۵: خیلی جذاب تعریف شده است. توزیع نمره‌ی هر طبقه در شکل (۴) نشان داده شده که در آن محور افقی نمره‌ی زیبایی، محور عمودی چپ فراوانی و محور عمودی راست چگالی است. این نمودار بیان‌گر آن است که نمره‌ی زیبایی از توزیع نرمال پیروی کرده و این با واقعیت زیبایی در جامعه تطابق دارد بدین صورت که تعداد افراد با

^۶ Maximum Probability (MAX)

^۷ Entropy

^۸ Mean

^۹ Variance

^{۱۰} Correlation

^۱ Contrast

^۲ Dissimilarity

^۳ Homogeneity (Inverse Difference Moment)

^۴ Angular Second Moment (ASM)

^۵ Energy

به صورت زیر به عنوان ورودی و نمره‌ی زیبایی ($R_f \in [1, \dots, 5]$) به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شده است.

$$\{\mathcal{F}_{structure}, \mathcal{F}_{shape}, \mathcal{F}_{color}, \mathcal{F}_{texture}\}$$

۲-۵-۲- معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی عمل کرد مدل از معیارهای میانگین مطلق خطا^۹، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا^{۱۰} و همبستگی پیرسون^{۱۱} طبق روابط (۳۸) تا (۴۰) استفاده شده است. آزمون t جفت شده^{۱۲} به منظور ارزیابی معناداری شباهت نتایج حاصل شده توسط مدل‌ها، بین خروجی مدل‌ها انجام شده است.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \tilde{y}_i| \quad (38)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \tilde{y}_i|^2} \quad (39)$$

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(\tilde{y}_i - \bar{\tilde{y}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - \bar{\tilde{y}})^2}} \quad (40)$$

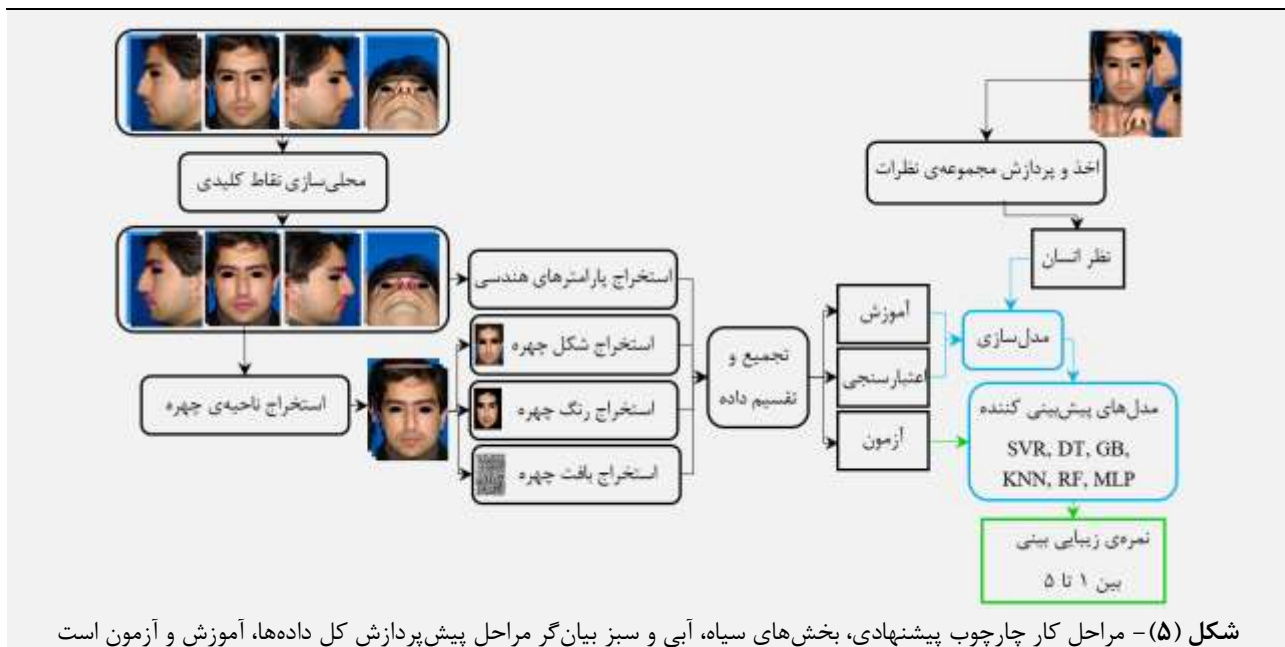
در این روابط n تعداد تصاویر، y_i نمره‌ی زیبایی تصویر i -ام، \tilde{y}_i نمره‌ی زیبایی تخمین زده شده برای تصویر i -ام توسط مدل، \bar{y} میانگین نمرات زیبایی و $\bar{\tilde{y}}$ میانگین نمرات تخمین زده شده توسط مدل است. مراحل کار چارچوب پیشنهادی این مقاله در شکل (۵) نشان داده شده است.

۲-۵- مدل‌سازی

رگرسیون بردار پشتیبان^۱، درخت تصمیم^۲، تقویت گرادیان^۳، جنگل تصادفی^۴، k نزدیک‌ترین همسایه^۵ و شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه^۶ شش الگوریتم یادگیری ماشین برای حل مسائل رگرسیونی بوده که در این مقاله از آن‌ها برای پیش‌بینی نمره‌ی زیبایی بینی استفاده شده است. از آن‌جا که نمره‌ی زیبایی یک کمیت عددی بوده و مقادیر هدف برای مسائل رگرسیونی و طبقه‌بندی عددی و طبقه‌ای هستند [۸۴] لذا از الگوریتم رگرسیونی استفاده شده است. از کتابخانه‌ی sklearn جهت پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها استفاده شده است.

۲-۵-۱- جزئیات پیاده‌سازی

مجموعه‌ی داده‌ی تحت بررسی در این مطالعه به سه زیر مجموعه‌ی آموزش، آزمون و اعتبارسنجی به نسبت ۶۰، ۲۰ و ۲۰ تقسیم شده است. روش اعتبارسنجی متقاطع ۵ فولد^۷ برای مدل‌سازی و الگوریتم gridsearch برای تنظیم مقدار ابرپارامترها^۸ مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از اعتبارسنجی متقاطع در هنگام ساخت مدل علاوه بر ارائه‌ی تخمینی از عمل کرد مدل نهایی روی داده‌ی جدید، میزانی برای تعمیم‌پذیری مدل و استقلال از داده‌ی آموزشی است [۸۶]. مقدار ابرپارامترها برای شش الگوریتم مورد نظر در جدول (۶) ارائه شده است. زیرمجموعه‌ای از تمام ویژگی‌های استخراج شده



^۷ 5-Fold Cross Validation

^۸ Hyperparameters

^۹ Mean Absolute Error (MAE)

^{۱۰} Root Mean Squared Error (RMSE)

^{۱۱} Pearson Correlation (PC)

^{۱۲} Paired T-Test

^۱ Support Vector Regression (SVR)

^۲ Decision Tree (DT)

^۳ Gradient Boosting (GB)

^۴ Random Forest

^۵ K-Nearest Neighbors (KNN)

^۶ Multi-Layer Perceptron (MLP)

۳- یافته‌ها و بحث

هدف از انجام این پژوهش پیش‌بینی نمره‌ی زیبایی بینی با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. در این مطالعه تعداد ۲۹ ویژگی هندسی با صلاح‌دید متخصصان گوش، حلق و بینی از روی نقطه‌های کلیدی نماهای روبه‌رو، جانبی و پایه‌ی

تصاویر چهره استخراج گردیده و به عنوان ورودی به الگوریتم‌های مورد نظر داده شده است. پس از آن نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها با چارک دوم مجموعه‌ی نظرات انسان مقایسه شده و عمل کرد هر مدل برای معیارهای ارزیابی در جدول (۶) ارائه گردیده است.

جدول (۶) - معیارهای ارزیابی برای شش الگوریتم مورد نظر جهت پیش‌بینی نمره‌ی زیبایی بینی

الگوریتم	میانگین مطلق خطا	ریشه‌ی میانگین مربعات خطا	همبستگی پیرسون
رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)	۰/۶۳۸۴	۰/۸۰۹۰	۰/۳۴۰۲
درخت تصمیم (DT)	۰/۶۵۷۵	۰/۸۲۰۰	۰/۲۲۸۴
تقویت گرادیان (GB)	۰/۶۳۸۹	۰/۷۹۰۴	۰/۳۳۲۵
k نزدیک‌ترین همسایه (KNN)	۰/۶۳۶۳	۰/۸۰۲۵	۰/۲۸۶۵
جنگل تصادفی (RF)	۰/۶۲۰۷	۰/۷۸۵۴	۰/۳۴۷۵
شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه (MLP)	۰/۷۷۸۰	۰/۹۹۳۶	۰/۲۲۲۳

الگوریتم‌های رگرسیون بردار پشتیبان، تقویت گرادیان و جنگل تصادفی درجه‌ی متوسطی از همبستگی را دارند که در بین مدل‌های ساخته شده با این الگوریتم‌ها، مدل RF به دلیل پایین بودن معیارهای میانگین مطلق خطا و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا نسبت به دو مدل دیگر دارای عمل کرد بهتری است. همبستگی مدل SVR نسبت به GB بالاتر بوده اما GB نسبتاً خطای کم‌تری از SVR دارد. مدل‌های درخت تصمیم، k نزدیک‌ترین همسایه و شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه همبستگی کم‌تری با نظر انسان دارند. مدل KNN خطایی در حدود مدل SVR دارد اما به دلیل همبستگی پایین‌تر نسبت به SVR عمل کرد آن ضعیف‌تر است. یک مطالعه‌ی فرسایشی با هدف سنجش تاثیر سایر ویژگی‌های شکل، رنگ و بافت چهره روی نمره‌ی زیبایی بینی نیز انجام شده است.

این جداول تاثیر شکل، رنگ و بافت چهره در تعیین نمره‌ی زیبایی بینی را تایید می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم RF عمل کرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها روی مجموعه‌ی داده‌های اعتبارسنجی و آزمون با روش اعتبارسنجی متقاطع ۵ فولد داشته به طوری که میانگین معیارهای ارزیابی میانگین مطلق خطا و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا برای مدل‌های هشت‌گانه‌ی تولید شده توسط RF (ردیف آخر جداول ۷ و ۸) نسبت به سایر الگوریتم‌ها کم‌تر است. این الگوریتم بالاترین همبستگی بین نتایج مدل با نظر انسان را روی مجموعه‌ی داده‌های اعتبارسنجی و آزمون (ردیف آخر جدول ۹) دارد.

ترکیب بافت چهره با مدل اولیه تاثیر مثبتی بر میزان همبستگی دارد به طوری که در مدل‌هایی که ویژگی بافت اضافه شده، همبستگی مجموعه‌ی داده‌های اعتبارسنجی و آزمون نسبت به مدل‌های قبلی افزایش اکیدا صعودی داشته است.

نتایج حاصل از اجرای آزمون t جفت شده در سطح معناداری ۰/۰۵ برای مدل‌های هشت‌گانه در جدول (۱۰) ارائه شده است. بررسی این نتایج برتری الگوریتم RF نسبت به سایر الگوریتم‌ها را تایید کرده زیرا معناداری شباهت نتایج مدل RF با مدل‌های DT، KNN و MLP در تمام حالت‌های هشت‌گانه رد می‌شود. الگوریتم‌های RF، GB و SVR طبق نتایج جداول (۷) تا (۹) عمل کرد نزدیک به یک‌دیگر دارند اما طبق نتایج آزمون t جفت شده در جدول (۱۰) معناداری شباهت نتایج مدل‌های RF و SVR در حالت‌های (ج)، (ه)، (ز) و (ح)، مدل‌های RF و GB در حالت (ج) و مدل‌های GB و SVR در حالت‌های (ج) و (ه) رد می‌شود. مقادیر P-Value بین ترکیب دوتایی نتایج مدل‌های RF، GB و SVR در سایر حالت‌های جدول (۱۰) بیان‌گر کم بودن شباهت نتایج مدل RF با دو مدل GB و SVR است.

مقادیر معیارهای ارزیابی میانگین مطلق خطا، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا و همبستگی پیرسون روی مجموعه‌ی داده‌های اعتبارسنجی و آزمون برای بررسی عمل کرد الگوریتم‌های مورد نظر در جداول (۷) تا (۹) ارائه شده است. مشاهده می‌شود که افزودن هر زیرمجموعه از مجموعه‌ی ویژگی‌های شکل، رنگ و بافت چهره به ویژگی‌های هندسی در مدل‌سازی، روند نزولی معیارهای خطا و روند صعودی معیار همبستگی پیرسون نسبت به مدل مبتنی بر پارامترهای هندسی (مدل اولیه) ارائه شده در جدول (۶) را به دنبال دارد. طبق این جداول، ترتیب اضافه شدن ویژگی‌های شکل، رنگ و بافت چهره علاوه بر بهبود مدل اولیه، مدل مرحله‌ی قبل خود را نیز بهبود بخشیده است. البته الگوریتم DT از این روند پیروی نکرده و مدل‌های ترکیب پارامتر هندسی با رنگ چهره و پارامتر هندسی با شکل و رنگ چهره سبب عدم بهبود عمل کرد مدل اولیه شده است. نتایج

جدول (۷) - عمل کرد الگوریتم‌های مختلف برای معیار میانگین مطلق خطا با روش اعتبارسنجی متقاطع ۵ فولد

مجموعه‌ی داده‌ی آزمون						مجموعه‌ی داده‌ی اعتبارسنجی						تعداد	ویژگی
MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR	MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR		
۰/۷۸۸۰	۰/۶۲۰۷	۰/۶۳۶۳	۰/۶۳۸۹	۰/۶۵۷۵	۰/۶۳۸۴	۰/۷۷۴۴	۰/۶۳۶۶	۰/۶۶۴۵	۰/۶۳۲۸	۰/۶۸۸۴	۰/۶۳۲۶	۲۹	F_s^*
۰/۸۰۴۸	۰/۶۲۰۵	۰/۶۴۱۸	۰/۶۴۲۲	۰/۶۵۵۱	۰/۶۴۸۳	۰/۷۵۲۳	۰/۶۳۶۳	۰/۶۵۴۸	۰/۶۳۲۵	۰/۶۶۷۸	۰/۶۲۹۴	۳۰	$F_s + F_{sh}$
۰/۷۷۲۶	۰/۵۸۳۱	۰/۶۱۷۹	۰/۶۰۰۶	۰/۶۵۷۳	۰/۶۳۰۶	۰/۷۶۱۲	۰/۶۱۰۹	۰/۶۵۳۶	۰/۶۰۷۴	۰/۷۱۱۹	۰/۶۱۵۷	۳۲	$F_s + F_c$
۰/۷۱۸۹	۰/۵۷۷۵	۰/۵۹۶۸	۰/۵۹۲۰	۰/۶۱۱۷	۰/۵۹۲۳	۰/۶۸۱۳	۰/۵۸۶۶	۰/۶۱۷۱	۰/۵۹۸۲	۰/۶۵۱۷	۰/۵۹۰۰	۳۳	$F_s + F_t$
۰/۷۶۸۵	۰/۵۸۵۸	۰/۶۲۶۹	۰/۶۰۰۲	۰/۶۷۹۷	۰/۶۳۷۰	۰/۷۴۹۰	۰/۶۱۲۵	۰/۶۴۶۵	۰/۶۱۰۰	۰/۷۱۶۹	۰/۶۱۶۲	۳۳	$F_s + F_{sh} + F_c$
۰/۷۲۴۳	۰/۵۷۶۴	۰/۵۹۸۱	۰/۵۹۰۹	۰/۶۲۵۹	۰/۶۰۰۸	۰/۶۶۷۵	۰/۵۸۳۹	۰/۶۱۶۳	۰/۵۹۸۷	۰/۶۵۵۶	۰/۵۹۰۱	۳۴	$F_s + F_{sh} + F_t$
۰/۷۰۴۱	۰/۵۴۹۴	۰/۵۶۹۸	۰/۵۶۷۷	۰/۶۰۵۸	۰/۵۷۲۶	۰/۶۶۷۱	۰/۵۵۴۹	۰/۵۸۹۲	۰/۵۶۹۱	۰/۶۱۱۵	۰/۵۵۷۳	۳۶	$F_s + F_c + F_t$
۰/۷۱۲۸	۰/۵۵۲۶	۰/۵۷۲۳	۰/۵۶۶۴	۰/۶۱۸۶	۰/۵۸۰۷	۰/۶۶۰۵	۰/۵۵۵۳	۰/۵۹۰۰	۰/۵۶۷۱	۰/۵۹۸۳	۰/۵۶۰۴	۳۷	$F_s + F_{sh} + F_c + F_t$
۰/۷۴۹۳	۰/۵۸۳۲	۰/۶۰۷۵	۰/۵۹۹۹	۰/۶۳۹۰	۰/۶۱۲۶	۰/۷۱۹۸	۰/۵۹۷۱	۰/۶۲۹۰	۰/۶۰۲۰	۰/۶۲۲۸	۰/۵۹۹۰		میانگین

 $F_s: F_{structure}, F_{sh}: F_{shape}, F_c: F_{color}, F_t: F_{texture}$
جدول (۸) - عمل کرد الگوریتم‌های مختلف برای معیار ریشه‌ی میانگین مربعات خطا با روش اعتبارسنجی متقاطع ۵ فولد

مجموعه‌ی داده‌ی آزمون						مجموعه‌ی داده‌ی اعتبارسنجی						تعداد	ویژگی
MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR	MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR		
۰/۹۹۳۶	۰/۷۸۵۴	۰/۸۰۲۵	۰/۷۹۰۴	۰/۸۲۰۰	۰/۸۰۹۰	۰/۹۴۷۶	۰/۷۷۲۹	۰/۸۱۰۲	۰/۷۶۸۹	۰/۸۳۲۹	۰/۷۷۴۵	۲۹	F_s^*
۱/۰۱۰۰	۰/۷۸۰۴	۰/۸۰۱۵	۰/۷۹۱۰	۰/۸۱۷۱	۰/۸۱۴۷	۰/۹۴۰۱	۰/۷۷۰۸	۰/۷۹۷۴	۰/۷۶۸۲	۰/۸۰۴۵	۰/۷۷۵۴	۳۰	$F_s + F_{sh}$
۰/۹۸۴۰	۰/۷۳۸۷	۰/۷۸۰۰	۰/۷۵۰۱	۰/۸۲۷۲	۰/۸۰۰۸	۰/۹۶۲۰	۰/۷۴۳۶	۰/۷۹۸۵	۰/۷۴۱۹	۰/۸۵۵۶	۰/۷۵۸۷	۳۲	$F_s + F_c$
۰/۹۰۷۲	۰/۷۳۰۹	۰/۷۵۵۴	۰/۷۴۰۳	۰/۷۶۰۶	۰/۷۴۸۴	۰/۸۵۱۳	۰/۷۱۴۷	۰/۷۴۹۶	۰/۷۲۶۴	۰/۷۸۶۲	۰/۷۲۶۳	۳۳	$F_s + F_t$
۰/۹۷۱۸	۰/۷۴۰۹	۰/۷۸۱۷	۰/۷۵۰۳	۰/۸۳۷۱	۰/۸۰۴۲	۰/۹۴۰۴	۰/۷۴۳۰	۰/۷۸۷۴	۰/۷۴۴۴	۰/۸۶۱۲	۰/۷۵۹۶	۳۳	$F_s + F_{sh} + F_c$
۰/۹۳۴۸	۰/۷۲۸۶	۰/۷۵۱۳	۰/۷۳۹۹	۰/۷۸۲۳	۰/۷۵۲۳	۰/۸۴۱۱	۰/۷۱۰۷	۰/۷۴۸۲	۰/۷۲۵۸	۰/۷۸۲۵	۰/۷۲۸۴	۳۴	$F_s + F_{sh} + F_t$
۰/۸۹۹۳	۰/۶۹۸۲	۰/۷۳۱۱	۰/۷۱۳۵	۰/۷۸۳۷	۰/۷۲۴۶	۰/۸۲۶۶	۰/۶۸۴۸	۰/۷۲۲۴	۰/۶۹۹۵	۰/۷۷۶۹	۰/۶۹۵۴	۳۶	$F_s + F_c + F_t$
۰/۸۹۴۲	۰/۶۹۹۰	۰/۷۲۵۳	۰/۷۱۱۳	۰/۷۶۰۷	۰/۷۲۷۵	۰/۸۱۸۴	۰/۶۸۴۶	۰/۷۲۳۸	۰/۶۹۶۰	۰/۷۳۷۰	۰/۶۹۷۶	۳۷	$F_s + F_{sh} + F_c + F_t$
۰/۹۴۹۴	۰/۷۳۷۸	۰/۷۶۶۱	۰/۷۴۸۴	۰/۷۹۸۶	۰/۷۷۲۷	۰/۸۹۰۹	۰/۷۲۸۱	۰/۷۶۷۶	۰/۷۳۳۹	۰/۷۹۲۱	۰/۷۳۹۵		میانگین

 $F_s: F_{structure}, F_{sh}: F_{shape}, F_c: F_{color}, F_t: F_{texture}$
جدول (۹) - عمل کرد الگوریتم‌های مختلف برای معیار ضریب همبستگی پیرسون با روش اعتبارسنجی متقاطع ۵ فولد

مجموعه‌ی داده‌ی آزمون						مجموعه‌ی داده‌ی اعتبارسنجی						تعداد	ویژگی
MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR	MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR		
۰/۲۲۲۳	۰/۳۴۷۵	۰/۳۸۶۵	۰/۳۳۲۵	۰/۲۲۸۴	۰/۳۴۰۲	۰/۳۶۱۱	۰/۴۸۶۶	۰/۳۵۷۳	۰/۴۷۴۵	۰/۲۸۷۸	۰/۴۵۸۷	۲۹	F_s^*
۰/۱۹۸۸	۰/۳۶۳۸	۰/۲۹۲۸	۰/۳۳۱۵	۰/۲۶۳۱	۰/۳۳۲۲	۰/۳۳۰۹	۰/۴۹۰۸	۰/۴۰۰۹	۰/۴۷۶۹	۰/۳۷۸۳	۰/۴۵۶۸	۳۰	$F_s + F_{sh}$
۰/۲۱۵۰	۰/۴۹۲۳	۰/۳۶۲۱	۰/۴۴۳۶	۰/۱۷۷۶	۰/۳۵۳۶	۰/۳۴۵۰	۰/۵۴۳۰	۰/۳۹۷۸	۰/۵۲۸۳	۰/۱۹۱۱	۰/۴۸۹۵	۳۲	$F_s + F_c$
۰/۳۵۱۱	۰/۴۹۳۴	۰/۴۳۰۵	۰/۴۶۷۳	۰/۴۱۶۶	۰/۴۷۴۱	۰/۴۵۹۷	۰/۵۸۶۴	۰/۵۱۴۲	۰/۵۵۶۷	۰/۴۳۲۲	۰/۵۵۴۰	۳۳	$F_s + F_t$
۰/۲۴۱۱	۰/۴۸۷۵	۰/۳۵۶۱	۰/۴۴۳۴	۰/۱۳۷۲	۰/۳۵۲۶	۰/۳۶۳۹	۰/۵۴۴۷	۰/۴۲۵۷	۰/۵۲۳۳	۰/۱۷۱۲	۰/۴۸۸۶	۳۳	$F_s + F_{sh} + F_c$
۰/۳۱۲۱	۰/۴۹۹۸	۰/۴۴۰۰	۰/۴۶۸۲	۰/۳۶۶۷	۰/۴۷۲۶	۰/۴۵۶۳	۰/۵۹۳۳	۰/۵۱۴۱	۰/۵۵۶۴	۰/۴۳۱۸	۰/۵۵۱۴	۳۴	$F_s + F_{sh} + F_t$
۰/۳۴۶۷	۰/۵۶۱۱	۰/۴۸۵۹	۰/۵۲۶۸	۰/۳۵۹۰	۰/۵۱۲۶	۰/۴۹۷۷	۰/۶۳۰۲	۰/۵۶۸۰	۰/۵۹۹۲	۰/۴۴۹۳	۰/۶۰۱۴	۳۶	$F_s + F_c + F_t$
۰/۳۵۳۷	۰/۵۵۸۴	۰/۴۹۸۳	۰/۵۳۱۲	۰/۴۳۰۰	۰/۵۱۰۱	۰/۴۹۸۰	۰/۶۳۰۸	۰/۵۶۰۸	۰/۶۰۵۰	۰/۵۲۵۸	۰/۵۹۸۲	۳۷	$F_s + F_{sh} + F_c + F_t$
۰/۲۸۰۱	۰/۴۷۵۵	۰/۳۹۴۵	۰/۴۴۳۱	۰/۲۹۷۳	۰/۴۱۸۵	۰/۴۱۴۱	۰/۵۶۳۲	۰/۴۶۷۴	۰/۵۴۰۰	۰/۳۵۸۴	۰/۵۲۴۸		میانگین

 $F_s: F_{structure}, F_{sh}: F_{shape}, F_c: F_{color}, F_t: F_{texture}$

در برخی مطالعات پارامترهای هندسی چهره عوامل تاثیرگذار در زیبایی بینی تلقی می‌شود [۶۰]. این مطالعات اکثراً مبتنی بر تحلیل آماری یا روش‌های شبیه‌سازی بوده در حالی که پژوهش حاضر با هدف ارائه‌ی چارچوبی برای پیش‌بینی نمره‌ی زیبایی بینی مبتنی بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین، تاثیر شکل، رنگ و بافت چهره را بر نمره‌ی زیبایی بینی بررسی نموده

در حال حاضر رویکردهای یادگیری ماشین مرکز توجه تولید و توسعه‌ی مدل‌های هوشمند بوده و در تمام زمینه‌ها و به ویژه ارزیابی جذابیت چهره توسعه یافته‌اند. عوامل تاثیرگذار در جذابیت چهره شامل طیف وسیعی از پارامترهای هندسی، تناسب، تقارن، سلامت ظاهری، رنگ پوست و مو، بافت پوست و شکل چهره است. از سوی دیگر پارامترهای هندسی بینی و

در جدول (۱۱) با این مطالعه مقایسه شده است تا ضمن ارائه‌ی بینشی جامع و کامل نسبت به این پژوهش، درک تفاوت‌ها نسبت به سایر مطالعات انجام شده آسان‌تر شود.

است. مطالعات اخیر انجام شده با الگوریتم‌های یادگیری ماشین از جهت نمای تصاویر پردازش شده برای استخراج نقاط کلیدی، نوع پارامترهای هندسی مورد استفاده و سایر ویژگی‌های چهره

جدول (۱۰) - مقادیر P-Value در آزمون t جفت شده برای مقایسه‌ی عمل‌کرد مدل‌های مختلف

MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR
۰/۰۱	۰/۳۵	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۰۳	-
۰/۰۲	۰/۰۵	۱/۰۰	۰/۰۸	-	-
۰/۰۱	۰/۴۳	۰/۰۳	-	-	-
۰/۰۲	۰/۰۲	-	-	-	-
۰/۰۱	-	-	-	-	-
-	۰/۰۱	-	-	-	-

$\mathcal{F}_{structure} + \mathcal{F}_{shape}$ (ب)

MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR
۰/۰۰	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۸۱	۰/۰۴	-
۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۴۲	۰/۰۱	-	-
۰/۰۱	۰/۲۶	۰/۰۳	-	-	-
۰/۰۱	۰/۰۱	-	-	-	-
۰/۰۰	-	-	-	-	-
-	۰/۰۰	-	-	-	-

$\mathcal{F}_{structure} + \mathcal{F}_{texture}$ (د)

MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR
۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۶۱	۰/۰۵	-
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۵۱	۰/۰۳	-	-
۰/۰۰	۰/۲۲	۰/۰۶	-	-	-
۰/۰۱	۰/۰۲	-	-	-	-
۰/۰۱	-	-	-	-	-
-	۰/۰۱	-	-	-	-

$\mathcal{F}_{structure} + \mathcal{F}_{shape} + \mathcal{F}_{texture}$ (و)

MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR
۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۷۳	۰/۰۱	-
۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۴۲	۰/۰۸	-	-
۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۳	-	-	-
۰/۰۱	۰/۰۲	-	-	-	-
۰/۰۱	-	-	-	-	-
-	۰/۰۱	-	-	-	-

$\mathcal{F}_{structure} + \mathcal{F}_{shape} + \mathcal{F}_{color} + \mathcal{F}_{texture}$ (ح)

MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR
۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۰۰	-
۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۰	-	-
۰/۰۱	۰/۶۲	۰/۰۴	-	-	-
۰/۰۲	۰/۰۲	-	-	-	-
۰/۰۱	-	-	-	-	-
-	۰/۰۱	-	-	-	-

$\mathcal{F}_{structure}$ (الف)

MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۷	-
۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۴۸	۰/۰۳	-	-
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	-	-	-
۰/۰۳	۰/۰۱	-	-	-	-
۰/۰۱	-	-	-	-	-
-	۰/۰۱	-	-	-	-

$\mathcal{F}_{structure} + \mathcal{F}_{color}$ (ج)

MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR
۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۱	-
۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۱	-	-
۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۱	-	-	-
۰/۰۱	۰/۰۱	-	-	-	-
۰/۰۰	-	-	-	-	-
-	۰/۰۰	-	-	-	-

$\mathcal{F}_{structure} + \mathcal{F}_{shape} + \mathcal{F}_{color}$ (ه)

MLP	RF	KNN	GB	DT	SVR
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۷۳	۰/۰۲	-
۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۲	۰/۰۱	-	-
۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۶	-	-	-
۰/۰۳	۰/۰۱	-	-	-	-
۰/۰۱	-	-	-	-	-
-	۰/۰۱	-	-	-	-

$\mathcal{F}_{structure} + \mathcal{F}_{color} + \mathcal{F}_{texture}$ (ز)

برای انواع مختلف افراد و به نوعی تعمیم مدل‌های فعلی می‌تواند منجر به مدل‌های جامع‌تر و دقیق‌تر شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه یک چارچوب مبتنی بر یادگیری ماشین برای پیش‌بینی نمره‌ی زیبایی بینی ارائه شده است. پارامترهای

بررسی جداول (۶) تا (۱۱) نشان می‌دهد که این مطالعه مانند مطالعه‌ی آیر و هم‌کارانش [۱۵] با به کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین توانسته است برای پیش‌بینی نمره‌ی زیبایی بینی افراد سودمند باشد. به طور کلی مدل‌های ارائه شده و پیش‌بینی نمره‌ی زیبایی بینی در این مقاله محدود به استفاده از تصاویر مردان و زنان ایرانی بوده است و آنالیز زیبایی بینی

شده نسبت به مدل اولیه را بهبود بخشیده است. مدل ارائه شده علاوه بر نشان دادن قدرت یادگیری ماشین در درک زیبایی بینی، به افراد جهت تعیین نمره‌ی زیبایی بینی کمک می‌نماید. تعمیم چارچوب پیشنهادی با داده‌های اقوام و نژادهای مختلف به دلیل تاثیر آن روی پایه‌ی بینی و نیز به کارگیری چارچوب ارائه شده در لحظه، می‌تواند زمینه‌ساز پژوهش‌های آتی باشد.

هندسی بینی به عنوان ورودی و نظر انسان به عنوان خروجی جهت مدل‌سازی به الگوریتم‌های یادگیری ماشین وارد شده و طی یک مطالعه‌ی فرسایشی اثر شکل، رنگ و بافت چهره نیز بررسی شده است. نتایج مدل‌سازی نشان داده که الگوریتم جنگل تصادفی عمل‌کرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها داشته و افزودن سایر ویژگی‌های چهره عمل‌کرد مدل تولید

جدول (۱۱) - مرور مطالعات مبتنی بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین

مرجع	نمای تصاویر			پارامتر هندسی		سایر ویژگی‌ها		هدف	
	روبرو	جانبی	پایه	خطی	زاویه‌ای	شکل چهره	رنگ پوست/ مو	بافت پوست	نمره‌ی زیبایی چهره
[۲۳]	✓			✓					✓
[۲۴]	✓			✓			✓		✓
[۲۷]	✓			✓					✓
[۳۴]	✓			✓					✓
[۳۷]	✓			✓		✓			✓
[۱]	✓			✓		✓		✓	✓
[۱۵]	✓			✓		✓	✓	✓	✓
این مقاله	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

- [8] H. M. T. Foda, "Challenging Problems in Rhinoplasty," *Facial Plast Surg*, vol. 32, no. 4, pp. 331-332, August, 2016.
- [9] C. Guevara and M. Matouk, "In-office 3D printed guide for rhinoplasty," *Int J Oral Maxillofac Surg*, vol. 50, no. 12, pp. 1563-1565, December, 2021.
- [10] F. Hafezi, K. Kochakzadeh and B. Naghibzadeh, "History and Status of Nose Surgery," *Iranian Journal of Surgery*, vol. 17, no. 2, pp. 88-94, 2009.
- [11] J. B. Surowitz and S. P. Most, "Complications of Rhinoplasty," *Facial Plastic Surgery Clinics*, vol. 21, no. 4, pp. 639-651, 2013.
- [12] J. Layliev, V. Gupta, C. Kaoutzanis, N. G. Kumar, J. Winocour, J. C. Grotting and K. K. Higdon, "Incidence and Preoperative Risk Factors for Major Complications in Aesthetic Rhinoplasty: Analysis of 4978 Patients," *Aesthet Surg J*, Vols. 37-7, pp. 757-767, July, 2017.
- [13] "ISAPS International Survey on Aesthetic/ Cosmetic Procedures Performed in 2014," 2017.
- [14] N. Mehta and R. K. Srivastava, "The Indian Nose: An anthropometric analysis," *J Plast Reconstr*, vol. 70, no. 10, pp. 1472-1482, October, 2017.
- [15] T. J. Iyer, R. K. R. Nersisson, Z. Zhuang, A. Noel, J. Raj and I. Refayee. (2021). Machine Learning-Based Facial Beauty Prediction and Analysis of Frontal Facial Images Using Facial Landmarks and Traditional Image Descriptors, *Comput. Intell. Neurosci*. Available: <https://www.hindawi.com/journals/cin/2021/4423407/>
- [16] O. G. Cula, K. J. Dana, F. P. Murphy and B. K. Rao, "Skin texture modeling," *Int J Comput Vis*, vol. 62, no. 1, pp. 97-119, April, 2005.

۵- مراجع

- [1] J. Zhao, M. Zhang, C. He, X. Xie and J. Li, "A novel facial attractiveness evaluation system based on face shape, facial structure features and skin," *Cogn Neurodyn*, vol. 14, no. 5, pp. 643-656, 2020.
- [2] R. Martos, A. Valsecchi, O. Ibáñez and I. Alemán, "Estimation of 2D to 3D dimensions and proportionality indices for facial examination," *Forensic Sci. Int.*, vol. 287, pp. 142-154, June, 2018.
- [3] G. Rhodes, F. Proffitt, J. M. Grady and A. Sumich, "Facial symmetry and the perception of beauty," *Psychon. Bull. Rev.*, vol. 5, no. 4, p. 659-669, December, 1998.
- [4] M. Eaves and D. G. Leathers, *Successful Nonverbal Communication: Principles and Applications*, Routledge, 2015, p. 142.
- [5] S. Goodstein, *Face This: Real advice from real models, photographers and makeup artists on how to become Picture Perfect*, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2011, p. 39.
- [6] S.-H. Liao, R. Tong, J. Geng and M. Tang, "Inhomogeneous volumetric Laplacian deformation for rhinoplasty planning and simulation system," *Comput Animat Virtual Worlds*, vol. 21, no. 3-4, pp. 331-341, May, 2010.
- [7] J.-x. Wang, S.-h. Liao, X.-h. Zhu, Y. Wang, C.-x. Ling, X. Ding, Y.-m. Fang and X.-h. Zhang, "Real time 3D simulation for nose surgery and automatic individual prosthesis design," *Comput Methods Programs Biomed*, vol. 104, no. 3, pp. 472-479, December, 2011.



- [32] M. d. L. Carrito, I. M. B. d. Santos, C. E. Lefevre, R. D. Whitehead, C. F. d. Silva and D. I. Perrett, "The role of sexually dimorphic skin colour and shape in attractiveness of male faces," *Evol. Hum. Behav.*, vol. 37, no. 2, pp. 125-133, 2016.
- [33] Z. Lei, Z. David, S. Ming-Ming and C. Fang-Mei, "Facial beauty analysis based on geometric feature: Toward attractiveness assessment application," *Expert Syst. Appl.*, vol. 82, pp. 252-265, October, 2017.
- [34] Y.-J. Hong, G. P. Nam, H. Choi, J. Cho and I.-J. Kim, "A Novel Framework for Assessing Facial Attractiveness Based on Facial Proportions," *Symmetry*, vol. 9, no. 12, 2017.
- [35] A. L. Jones, "The influence of shape and colour cue classes on facial health perception," *Evol. Hum. Behav.*, vol. 39, no. 1, pp. 19-29, 2018.
- [36] M. Przylipiak, J. Przylipiak, R. Terlikowski, E. Lubowicka, L. Chrostek and A. Przylipiak, "Impact of face proportions on face attractiveness," *J Cosmet Dermatol*, vol. 17, no. 6, pp. 954-959, 218.
- [37] J. Zhao, M. Zhang, C. He and K. Zuo, "Data-Driven Research on the Matching Degree of Eyes, Eyebrows and Face Shapes," *Front. Psychol.*, vol. 10, 2019.
- [38] Q. Xiao, Y. Wu, D. Wang, Y.-L. Yang and X. Jin, "Beauty3DFaceNet: Deep geometry and texture fusion for 3D facial attractiveness prediction," *Comput Graph*, vol. 98, pp. 11-18, 2021.
- [39] H. Chen, W. Li, X. Gao and B. Xiao, "Novel Multi-feature Fusion Facial Aesthetic Analysis Framework," *IEEE Trans. Big Data*, vol. 9, no. 5, pp. 1302 - 1320, March, 2023.
- [40] A. Żejmo, M. Gielert, M. Grabski and B. Kostek, "Assessing the attractiveness of human face based on machine learning," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 225, pp. 1019-1027, 2023.
- [41] T. Sano and H. Kawabata, "A computational approach to investigating facial attractiveness factors using geometric morphometric analysis and deep learning," *Sci. Rep.*, vol. 13, 2023.
- [42] E. Okur, I. Yildirim, B. Aydogan and M. A. Kilic, "Outcome of Surgery for Crooked Nose: An Objective Method of Evaluation," *Aesthetic Plast Surg*, vol. 28, no. 4, pp. 203-207, July, 2004.
- [43] A. Daelemans, T. Leloup, C. Decaestecker and A. D. Mey, "New digital method for quantitative assessment of nasal morphology," *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg Suppl*, vol. 40, no. 6, pp. 335-344, 2006.
- [44] K. NAGY and M. Y. MOMMAERTS, "Analysis of the cleft-lip nose in submental-vertical view, Part I – Reliability of a new measurement instrument," *J Craniomaxillofac Surg*, vol. 35, no. 6-7, pp. 265-277, September–October, 2007.
- [45] M. Terajima, Y. Furuichi, Y. Aoki, T. K. Goto, K. Tokumori and A. Nakasima, "A 3-dimensional method for analyzing facial soft-
- [17] B. S. Atiyeh and S. N. Hayek, "Numeric expression of aesthetics and beauty," *Aesthetic Plast Surg*, vol. 32, no. 2, pp. 209-216, March, 2008.
- [18] Face_alignment, Available: http://dlib.net/face_alignment.py.html.
- [19] D. I. Perrett, K. A. May and S. Yoshikawa, "Facial shape and judgements of female attractiveness," *Nature*, vol. 368, no. 6468, pp. 239-242, 1994.
- [20] A. O'Toole, T. Price, T. Vetter, J. Bartlett and V. Blanz, "3D shape and 2D surface textures of human faces: the role of "averages" in attractiveness and age," *Image Vis Comput*, vol. 18, no. 1, pp. 9-19, 1999.
- [21] B. Fink, K. Grammer and R. Thornhill, "Human (Homo sapiens) facial attractiveness in relation to skin texture and color," *J. Comp. Psychol.*, vol. 115, no. 1, pp. 92-99, 2001.
- [22] B. C. Jones, A. C. Little, D. M. Burt and D. I. Perrett, "When facial attractiveness is only skin deep," *Perception*, vol. 33, no. 5, pp. 569-576, 2004.
- [23] H. Gunes and M. Piccardi, "Assessing facial beauty through proportion analysis by image processing and supervised learning," *Int. J. Hum. Comput.*, vol. 64, no. 12, pp. 1184-1199, 2006.
- [24] Y. Eisensthal, G. Dror and E. Ruppim, "Facial attractiveness: beauty and the machine," *Neural Comput.*, vol. 18, no. 1, pp. 119-142, 2006.
- [25] B. Fink, K. Grammer and P. J. Madsen, "Visible skin color distribution plays a role in the perception of age, attractiveness, and health in female faces," *Evol. Hum. Behav.*, vol. 27, no. 6, pp. 433-442, 2006.
- [26] K. Schmid, D. Marx and A. Samal, "Computation of a Face Attractiveness Index Based on Neoclassical Canons, Symmetry, and Golden Ratios," *Pattern Recognit*, vol. 41, pp. 2710-2717, 2008.
- [27] P. M. Bronstad, J. H. Langlois and R. Russell, "Computational models of facial attractiveness judgments," *Perception*, vol. 37, no. 1, pp. 126-142, 2008.
- [28] J. Fan, K. Chau, X. Wan, L. Zhai and E. Lau, "Prediction of facial attractiveness from facial proportions," *Pattern Recognit*, vol. 45, no. 6, pp. 2326-2334, 2012.
- [29] B. Fink, P. J. Madsen, D. D'Emiliano, L. Bunse, B. Weege and S. Röder, "Colour homogeneity and visual perception of age, health and attractiveness of male facial skin," *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.*, vol. 26, no. 12, pp. 1486-1492, 2012.
- [30] Q. Liao, X. Jin and W. Zeng, "Enhancing the symmetry and proportion of 3D face geometry," *IEEE Trans Vis Comput Graph*, vol. 18, no. 10, pp. 1704-1716, 2012.
- [31] J. Milutinovic, K. Zelic and N. Nedeljkovic, "Evaluation of facial beauty using anthropometric proportions," *Sci. World J.*, vol. 20, pp. 1-8, 2014.

- [55] O. E. Linden, H. O. Taylor, S. Vasudavan, M. E. Byrne, C. K. Deutsch, J. B. Mulliken and S. R. Sullivan, "Three-Dimensional Analysis of Nasal Symmetry Following Primary Correction of Unilateral Cleft Lip Nasal Deformity," *Cleft Palate Craniofac*, vol. 54, no. 6, pp. 715-719, November, 2017.
- [56] D. Al-Rudainy, X. Ju, S. Stanton, F. V. Mehendale and A. Ayoub, "Assessment of Regional Asymmetry of the Face Before and After Surgical Correction of Unilateral Cleft Lip," *J Craniomaxillofac Surg*, vol. 46, no. 6, pp. 974-978, June, 2018.
- [57] Z. Liang, J. Yao, P. K. T. Chen, C. Zheng and J. Yang, "Effect of Presurgical Nasoalveolar Molding on Nasal Symmetry in Unilateral Complete Cleft Lip/Palate Patients after Primary Cheiloplasty without Concomitant Nasal Cartilage Dissection: Early Childhood Evaluation," *Cleft Palate Craniofac*, vol. 55, no. 7, pp. 935-940, August, 2018.
- [58] E. Mercan, C. S. Morrison, E. Stuhaug, L. G. Shapiro and R. W. Tse, "Novel Computer Vision Analysis of Nasal Shape in Children with Unilateral Cleft Lip," *J Craniomaxillofac Surg*, vol. 46, no. 1, pp. 34-43, January, 2018.
- [59] S. G. Maliha, J. Bekisz, H. A. Liss, L. Witek, P. Coelho and R. L. Flores, "Precision Rhinoplasty Using Virtual Surgical Planning and Departmentally-Manufactured, 3D-Printed, Sterilizable, Patient-Specific Anatomic Models," *Plast Reconstr Surg Glob Open*, vol. 6, no. 9, pp. 87-88, September, 2018.
- [60] O. Ekrami, P. Claes, A. A. Zaidi, M. D. Shriver and S. V. Dongen, "Measuring asymmetry from high-density 3D surface scans: An application to human faces," *PLoS One*, vol. 13, no. 12, 2018.
- [61] R. Denadai, C. A. Raposo-Amaral, C. L. Buzzo and C. E. Raposo-Amaral, "Paranasal Fat Grafting Improves the Nasal Symmetry in Patients With Parry-Romberg Syndrome," *J. Craniofac. Surg.*, vol. 30, no. 3, pp. 658-960, May, 2019.
- [62] Y. Cheng-I, J. A. Zelken, C. Chun-Shin, L. Lun-Jou, Y. Jui-Yung, C. Shiow-Shuh, C. A. Araniego and H. Yen-Chang, "Computer-aided design and three-dimensional printing improves symmetry in heminasal reconstruction outcomes," *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.*, vol. 72, no. 7, pp. 1198-1206, July, 2019.
- [63] L. Mancini, T. L. Gibson, B. H. Grayson, R. L. Flores, D. Staffenberg and P. R. Shetye, "Three-Dimensional Soft Tissue Nasal Changes After Nasoalveolar Molding and Primary Cheilorhinoplasty in Infants With Unilateral Cleft Lip and Palate," *Cleft Palate Craniofac*, vol. 56, no. 1, pp. 31-38, January, 2019.
- [64] N. Kimura, E. Nozoe, T. Okawachi, K. Ishihata, T. Fuchigami and N. Nakamura, "Three-dimensional analyses of nasolabial forms and upper lip surface symmetry after primary lip repair in patients with complete unilateral cleft tissue morphology of patients with jaw deformities," *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, vol. 135, no. 6, pp. 715-722, 2009.
- [46] R. Rosati, C. Dellavia, A. Colombo, M. D. Menezes and C. Sforza, "Nasal base symmetry: a three dimensional anthropometric study," *Minerva Stomatol*, vol. 58, no. 7-8, pp. 347-357, July-August, 2009.
- [47] C. Roxbury, M. Ishii, A. Godoy, I. Papel, P. J. Byrne, K. D. O. Boahene and L. E. Ishii, "Impact of Crooked Nose Rhinoplasty on Observer Perceptions Of Attractiveness," *Laryngoscope*, vol. 122, no. 4, pp. 773-778, 2012, April.
- [48] R. Karube, H. Sasaki, S. Togashi, T. Yanagawa, S. Nakane, N. Ishibashi, K. Yamagata, K. Onizawa, K. Adachi, K. Tabuchi, M. Sekido and H. Bukawa, "A novel method for evaluating postsurgical results of unilateral cleft lip and palate with the use of Hausdorff distance: presurgical orthopedic treatment improves nasal symmetry after primary cheiloplasty," *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, vol. 114, no. 6, pp. 704-711, December, 2012.
- [49] D. J. Desmedt, T. J. Maal, M. A. Kuijpers, E. M. Bronkhorst, A. M. Kuijpers-Jagtman and P. S. Fudalej, "Nasolabial symmetry and esthetics in cleft lip and palate: analysis of 3D facial images," *Clin Oral Investig*, vol. 19, no. 8, pp. 1833-1842, November, 2015.
- [50] D. Mosmuller, R. Tan, F. Mulder, Y. Bachour, H. d. Vet and P. D. Griot, "The use and reliability of SymNose for quantitative measurement of the nose and lip in unilateral cleft lip and palate patients," *J Craniomaxillofac Surg*, vol. 44, no. 10, pp. 1515-1521, October, 2016.
- [51] O. L. Abbas, A. Kurkcuoglu, C. D. Aytap, C. Uysal and C. Pelin, "Perception of Symmetry in Aesthetic Rhinoplasty Patients: Anthropometric, Demographic, and Psychological Analysis," *Perception*, vol. 46, no. 10, pp. 1151-1170, October, 2017.
- [52] A. Ç. Özkan, "Rhinoplasty Setsquare Device: A Novel Instrument to Verify Columellar and Nasal Dorsal Position at the Midsagittal Line," *Plast Reconstr Surg Glob Open*, vol. 5, no. 7, p. e1399, July, 2017.
- [53] P. Pietruski, M. Majak, T. Debski and B. Antoszewski, "A novel computer system for the evaluation of nasolabial morphology, symmetry and aesthetics after cleft lip and palate treatment. Part 1: General concept and validation," *J Craniomaxillofac Surg*, vol. 45, no. 4, pp. 491-504, April, 2017.
- [54] P. Pietruski, M. Majak, E. Pawlowska, A. Skiba and B. Antoszewski, "A novel computer system for the evaluation of nasolabial morphology, symmetry and aesthetics after cleft lip and palate treatment. Part 2: Comparative anthropometric analysis of patients with repaired unilateral complete cleft lip and palate and healthy individual," *J Craniomaxillofac Surg*, vol. 45, no. 4, pp. 505-514, April, 2017.



- [74] Niechajev, "Prominent nose, its modalities and their treatment," *Eur J Plast Surg*, vol. 41, pp. 543-556, 2018.
- [75] Z. Yang, X. Tan and J. Fang, "Assessment of nasal base morphology using new proportion indices in Chinese," *Springer plus*, vol. 5, no. 1, p. 1275, 2016.
- [76] Dlib C++ Library, Available: <http://dlib.net/>.
- [77] N. K. Bansode and P. K. Sinha, "Face Shape Classification Based on Region Similarity, Correlation and Fractal Dimensions," *Int. J. Comput. Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 24-31, January, 2016.
- [78] W. Sunhem and K. Pasupa, "An approach to face shape classification for hairstyle recommendation," in *Eighth International Conference on Advanced Computational Intelligence*, Chiang Mai, Thailand, ICACI, February, 2016.
- [79] R. M. Haralick, K. Shanmugam and I. Dinstein, "Textural Features for Image Classification," *IEEE Trans. Syst., Vols. SMC-3*, no. 6, pp. 610 - 621, November, 1973.
- [80] M. Hall-Beyer, "GLCM Texture: A Tutorial v. 3.0," 2017.
- [81] N. Naouar, E. Vidal-Salle, J. Schneider, E. Maire and P. Boisse, "3D composite reinforcement meso F.E. analyses based on X-ray computed tomography," *Compos Struct*, vol. 132, pp. 1094-1104, November, 2015.
- [82] S. Jia, H. Li, X. Wu and Q. Li, "Laboratory-based hyperspectral image analysis for the classification of soil texture," *J Appl Remote Sens*, vol. 13, no. 4, pp. 1-11, November, 2019.
- [83] E. R. Vimina and K. P. Jacob, "Content Based Image Retrieval Using Low Level Features of Automatically Extracted Regions of Interest," *J. Image Graph*, vol. 1, no. 1, pp. 7-11, 2013.
- [84] S. M. Mastelini, V. G. T. d. Costa, E. J. Santana, F. K. Nakano, R. C. Guido, R. Cerr and S. B. Jr, "Multi-Output Tree Chaining: An Interpretative Modelling and Lightweight Multi-Target Approach," *J Signal Process Syst*, vol. 91, pp. 191-215, 2019.
- [85] scikit-learn: machine learning in Python, Available: <https://scikit-learn.org/stable/>.
- [86] D. Berrar, "Cross-Validation," in *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology*, 2019.
- lip and palate," *J Craniomaxillofac Surg*, vol. 47, no. 2, pp. 245-254, February, 2019.
- [65] Z. Fishman, C. Whyne, A. Hope and J. Fialkov, "Modeling and measuring average nasal asymmetry by dorsum midline and nose tip lateral deviation," *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, vol. 74, no. 4, pp. 857-865, April, 2021.
- [66] B. C. Cho, J. W. Lee, J. S. Lee, J. H. Lee, J. Y. Ryu, L. Tian, K. Y. Choi, J. D. Yang and H. Y. Chung, "Correction of Secondary Unilateral Cleft Lip Nasal Deformity in Adults Using Lower Lateral Cartilage Repositioning, Columellar Strut, and Onlay Cartilage Graft on the Nasal Tip with Open Rhinoplasty Combined with Reverse-U Incision," *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, vol. 74, no. 5, pp. 1077-1086, May, 2021.
- [67] M. J. Kim, H. Lim and D. H. Park, "Current strategies for aesthetic soft tissue refinement in nasal reconstruction," *Arch Craniofac Surg*, vol. 23, no. 3, pp. 95-102, Jun, 2022.
- [68] R. Li, F. Shu, Y. Zhen, Z. Song, Y. An and Y. Jiang, "Artificial Intelligence for Rhinoplasty Design in Asian Patients," *Aesthetic Plast Surg*, August, 2023.
- [69] R. T. Bhowmik, C. K. Kandathil and S. P. Most, "Automating the Standardized Cosmesis and Health Nasal Outcomes Survey Classification with Convolutional Neural Networks," *Facial Plast Surg Aesthet Med*, vol. 25, no. 6, pp. 487-493, November-December, 2023.
- [70] R. M. A. Kiekens, A. M. Kuijpers-Jagtman, M. A. v. Hof, B. E. v. Hof, H. Straatman and J. C. Maltha, "Facial esthetics in adolescents and its relationship to "ideal" ratios and angles," *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, vol. 133, no. 2, pp. e1-8, 2008.
- [71] P. A. Lines, R. R. Lines and C. A. Lines, "Profilemetrics and facial esthetics," *Am. J. Orthod.*, vol. 36, no. 7, pp. 648-657, 1978.
- [72] B. J. Bailey, *Atlas of Head & Neck Surgery-otolaryngology*, Lippincott Williams & Wilkins, 2001, pp. 458-459.
- [73] J. Jacques, *Nasenplastik und sonstige Gesichtsplastik nebst einem Anhang über Mammoplastik und einigen weiteren Operationen aus dem Gebiete der äusseren Körperplastik. Ein Atlas und Lehrbuch*, Germany, 1931.