



Computational Intelligence in Electrical Engineering

Vol. 15, No. 1, 2024

pp. 73-90

Research Paper

## Measurement of Facial Golden Criteria Using Cascade Regression Model for Facial Beauty Analysis

Ali Fahmi Jafargholkhanloo<sup>1</sup>, Mousa Shamsi<sup>2\*</sup>

PhD, Faculty of Biomedical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Professor, Faculty of Biomedical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

### Abstract:

Nowadays, facial plastic surgeries are performed for the correction of congenital anomalies, correction of injuries caused by accidents, treatment of burns, and the creation of a beautiful structure in the face. Therefore, surgeons need to analyze and measure quantitative facial metrics. Facial landmark detection plays an important role in the measurement of the facial golden ratio. In this study, 33 landmarks from the frontal view were detected using the Cascade Regression Model (CRM). Face detection is the first step in facial landmark detection to put the initial shape on the face. Therefore, the fuzzy c-means algorithm optimized by Harris Hawk Optimization (HHO) has been used for facial segmentation. In CRM, the regression function is used for mapping input face images to the desired output. For feature extraction, the Histogram Orientation Gradient (HOG) method was applied around the defined landmarks on three channels of RGB color space. Experiment results showed that feature extraction in three channels of RGB color space is more accurate than feature extraction in the gray scale. Also, results confirmed that the proposed method has a high accuracy in facial landmark detection and can be used as an effective method in the Cephalometry analysis of facial soft tissue.

**Keywords:** Detection of Facial Key Point, Facial Cephalometry Analysis, Segmentation, Harris Hawk Optimization, Facial Plastic Surgery, Cascade Regression Model.



This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<https://doi.org/10.22108/ISEE.2023.130586.1511>

## اندازه‌گیری نسبت‌های طلایی چهره با استفاده از مدل مبتنی بر رگرسیون آبشاری برای

### کاربرد در آنالیز زیبایی چهره

علی فهمی جعفرقلخانلو<sup>۱</sup>، موسی شمسی<sup>۲\*</sup>

۱- دکتری، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

a\_fahmi@sut.ac.ir

۲- استاد، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

shamsi@sut.ac.ir

**چکیده:** امروزه، جراحی‌های پلاستیک چهره به دلیل اصلاح نقص‌های ناشی از مشکلات مادرزادی، ترمیم بافت آسیب‌دیده از سوختگی و ایجاد ساختار زیبا در چهره به‌طور چشمگیری افزایش یافته است؛ بنابراین، متخصصان به آنالیز و اندازه‌گیری معیارهای کمی چهره نیازمند هستند. آشکارسازی نقاط کلیدی (لندمارک) چهره، نقش مهمی در اندازه‌گیری معیارها و نسبت‌های طلایی چهره دارد. در این مقاله، ۳۳ لندمارک نمای روبه‌روی چهره با استفاده از مدل مبتنی بر رگرسیون آبشاری (CRM) آشکارسازی شده‌اند. نخستین گام در آشکارسازی لندمارک‌های چهره، آشکارسازی چهره برای قرارگیری ریخت اولیه است؛ بر همین اساس، الگوریتم خوشه‌بند فازی (FCM) بهینه‌سازی‌شده با الگوریتم شاهین هریس (HHO) برای بخش‌بندی چهره به کار گرفته شده است. در CRM، تابع رگرسیون برای نگاشت تصاویر چهره ورودی به خروجی مدنظر به کار گرفته می‌شود. برای استخراج ویژگی، روش هیستوگرام‌گردایان جهت‌دار (HOG) روی هر سه کانال فضای رنگی RGB در اطراف لندمارک‌های تعریف‌شده اعمال شد. نتایج آزمایش نشان دادند استخراج ویژگی در سه کانال فضای رنگی RGB دقت بیشتری نسبت به استخراج ویژگی در مقیاس خاکستری دارد. همچنین، نتایج تأیید کردند روش پیشنهادی دقت بالایی در آشکارسازی لندمارک‌های چهره داشته است و می‌تواند به‌عنوان روشی مؤثر در آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره به کار گرفته شود.

**واژه‌های کلیدی:** آشکارسازی نقاط کلیدی چهره، آنالیز سفالومتری چهره، بخش‌بندی، بهینه‌سازی شاهین هریس، جراحی پلاستیک چهره، مدل مبتنی بر رگرسیون آبشاری.

### ۱- مقدمه

سطح از مقبولیت اجتماعی را دریافت می‌کنند. امروزه جراحی‌های پلاستیک چهره به دلیل برطرف کردن نقص‌های موجود در ظاهر یک شخص ناشی از مشکلات مادرزادی، تصادفات و ساختار چهره زیبا به‌طور چشمگیری در جوامع افزایش یافته است؛ در نتیجه، رشد و توسعه امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در حوزه جراحی‌های پلاستیک چهره کمک شایانی به متخصصان در آنالیز سفالومتری چهره بیماران در قبل و بعد از عمل جراحی می‌تواند داشته باشد [۱-۳]. ساختارهای بافت نرم و سخت بر شکل چهره تأثیر می‌گذارد. در آماده‌سازی بیماران برای جراحی‌های پلاستیک چهره، متخصصان به آنالیز بافت سخت و نرم چهره نیازمند

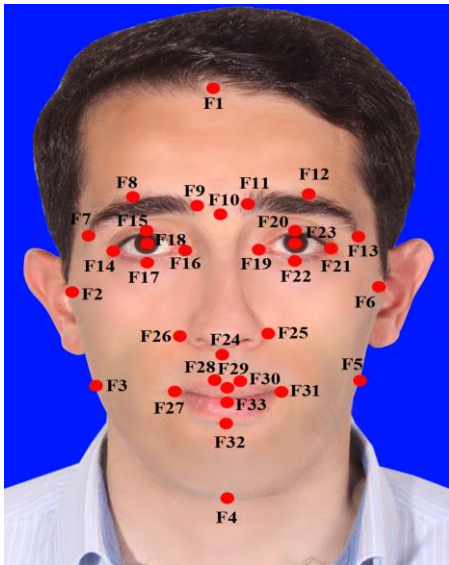
چهره انسان تأثیرگذارترین قسمت ظاهر فیزیکی است و معیاری مهم در روابط اجتماعی محسوب می‌شود. تحقیقات روان‌شناسی نشان می‌دهند افراد با چهره جذاب در مقایسه با افرادی که چهره جذابی ندارند، معمولاً بالاترین

<sup>۱</sup> تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹

نام نویسنده مسئول: موسی شمسی

نشانی نویسنده مسئول: ایران، تبریز، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی پزشکی



شکل (۱): لندمارک‌های آناتومیکی برای اندازه‌گیری معیارهای زیبایی چهره

فهمی و همکاران [۱۰] به‌منظور آنالیز آنتروپومتری نمای جانبی چهره، روش کانتور فعال مبتنی بر توزیع گوسین مکانی (LGDF) را برای کاربرد در جراحی‌های رینوپلاستی (جراحی بینی)، جراحی اتوپلاستی (جراحی گوش) و جراحی بلغاروپلاستی ارائه کردند. ابتدا کانتور نمای جانبی چهره با استفاده از روش LGDF استخراج شد. سپس با استفاده از ویژگی متعامد بودن تصاویر و گوشه‌یاب هریس (HDC) ۹ لندمارک نمای جانبی چهره آشکارسازی شدند؛ درنهایت، ۹ معیار آنتروپومتری چهره به‌منظور کاربرد در جراحی رینوپلاستی اندازه‌گیری شدند. فهمی و شمسی [۱۱] برای تخمین پارامترهای گوش، شامل طول، عرض و زاویه خارجی گوش، ابتدا ناحیه گوش را به‌طور دستی مشخص کردند. با توجه به اینکه روش LGDF در حضور غیر-یکنواختی شدت روشنایی عملکرد خوبی نسبت به مدل کانتور فعال استاندارد در استخراج کانتور مرز ناحیه گوش دارد، این روش برای استخراج کانتور ناحیه گوش به کار گرفته شد. درنهایت، براساس ویژگی‌های آناتومیکی ناحیه گوش، ۴ لندمارک آناتومیکی آشکارسازی شدند و براساس آن، معیارهای آنتروپومتری گوش برای کاربرد در جراحی اتوپلاستی اندازه‌گیری شدند.

سینگ و آرورا [۱۲] روشی تمام‌خودکار را برای ارزیابی

هستند. متخصصان می‌توانند از طریق آنالیز سفالومتری (آنتروپومتری) چهره، شرایط بیمار را ارزیابی کنند و براساس آن برنامه‌ریزی مناسبی برای انجام عمل جراحی داشته باشند.

آشکارسازی نقاط کلیدی چهره یا مکان‌یابی لندمارک‌ها، تشخیص نقاط کلیدی است که ریخت چهره را نشان می‌دهند. مکان‌یابی نقاط کلیدی چهره نقش مهمی در کاربردهای وابسته به پردازش تصویر چهره نظیر (۱) شناسایی حالات چهره، (۲) تخمین موقعیت سر، (۳) انیمیشن چهره و (۴) جراحی‌های پلاستیک چهره دارد [۶-۴]. لندمارک‌های آناتومیکی نمای روبه‌روی چهره در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین، توضیح آناتومیکی این لندمارک‌ها در جدول ۱ آمده است. براساس لندمارک‌های نمای روبه‌روی چهره، معیارهای مهم این نما در آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. شکل ۲ (الف) نشان‌دهنده معیارهای طول و عرض نواحی چشم، بینی و دهان است. شکل ۲ (ب) برای اندازه‌گیری طول و عرض چهره و همچنین برای اندازه‌گیری معیار تقارن چهره به کار گرفته می‌شود. شکل‌های ۲ (ج و د) برای اندازه‌گیری موضوع مهم با عنوان نسبت طلایی چهره استفاده می‌شود. شکل ۲ (و، ی)، به ترتیب نشان‌دهنده نسبت یک به پنج قسمت افقی چهره و نسبت یک به سه قسمت عمودی چهره است. این نسبت‌ها جزء نسبت‌های مهم در شناسایی یک چهره استاندارد از لحاظ معیارهای زیبایی چهره هستند. یکی از معیارهای مهم در تناسب چهره، اندازه‌گیری دقیق معیارهای زیباشناسی چهره است. عدد  $\phi$ ، نسبت طلایی چهره، از مهم‌ترین معیارهای زیبایی چهره است که نقش مهمی در فهم برقراری ساختار طبیعی چهره دارد. در یک چهره طبیعی، این نسبت بیان می‌کند که:

$$\frac{G_1+G_2}{G_2} = \frac{G_3+G_4}{G_3} = \frac{G_5+G_6}{G_5} = \frac{G_4+G_7}{G_4} = \frac{G_7+G_8}{G_7} = \frac{G_6+G_8}{G_6} = 1.618 \quad (1)$$

فاصله‌های  $G_1$  تا  $G_8$  در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

زیبایی‌های چهره به دستاوردهای مهمی در زمینه پیش‌بینی چهره، زیباسازی چهره، زیباسازی پوست چهره و ... رسیده است. ژانگ و همکاران [۱۷] به منظور ارزیابی کمی چهره مدل مبتنی بر ویژگی‌های چهره را ارائه کردند. در روش ارائه شده ابتدا ویژگی هندسی و فضای شکل چهره انسان تعریف شد. سپس با استفاده از مدل ریخت فعال (ASM) نقاط کلیدی چهره استخراج شد؛ در نهایت، زیبایی چهره روی تصاویر چهره مردان و زنان آنالیز شد. شو لیو و همکاران [۱۸] به منظور ارزیابی زیبایی چهره، مدل هیبریدی 2.5D را ارائه کردند. به منظور تشخیص اثر مدل محاسباتی، ویژگی‌های انتخاب شده از طریق روش رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) به یک معیار زیبایی نگاشت شده‌اند. در روش ارائه شده با استفاده از روش ASM، ۸۲ نقطه کلیدی از نمای روبه‌رو و ۴۰ نقطه کلیدی از نمای جانبی چهره استخراج شده است؛ در نهایت، به منظور عملکرد مدل محاسباتی از SVR استفاده شد که در آن ورودی‌های مدل، مؤلفه‌های اصلی استخراج شده ویژگی‌های هندسی چهره هستند. باب ژانگ و همکاران [۱۹] یک مطالعه جامع شامل پیش‌بینی زیبایی چهره، زیباسازی شکل، پوست و میانگین چهره به منظور آنالیز زیبایی چهره انجام داده‌اند. آنالیز زیبایی بر اساس ویژگی‌های هندسی، بافت، مدل نسبت طلایی و مدل میانگین چهره انجام شده است. فان و همکاران [۲۰] برای محاسبه زیبایی چهره، روش مبتنی بر یادگیری عمیق رسوبی (DRL) را ارائه کردند. ResNet استاندارد برای چالش‌های طبقه‌بندی به کار گرفته شده‌اند. در این مطالعه، نسخه وفقی شده این معماری یعنی نگه‌داشتن تمامی لایه‌ها به جز لایه تماماً متصل به کار گرفته شده است. شبکه مدنظر شامل لایه پیچشی، لایه پیشینه تجمعی و چهار بلوک گلوگاه پیچشی است. نرمال‌سازی مسیر بعد از هر لایه پیچشی انجام شده است. عمق معماری شبکه وابسته به تعداد چهار بلوک بوده است؛ به طوری که برای لایه‌های ۵۰ و ۱۰۱ به ترتیب تعداد بلوک‌ها ۲، ۳، ۵، ۲ و ۲، ۲، ۳، ۲ در نظر گرفته شده است.

مکان‌یابی سه‌بعدی نقاط کلیدی چهره با اسکن سطوح روشی رایج در آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره است. فوتوگرامتری سه‌بعدی به طور معمول برای ارزیابی تغییرات

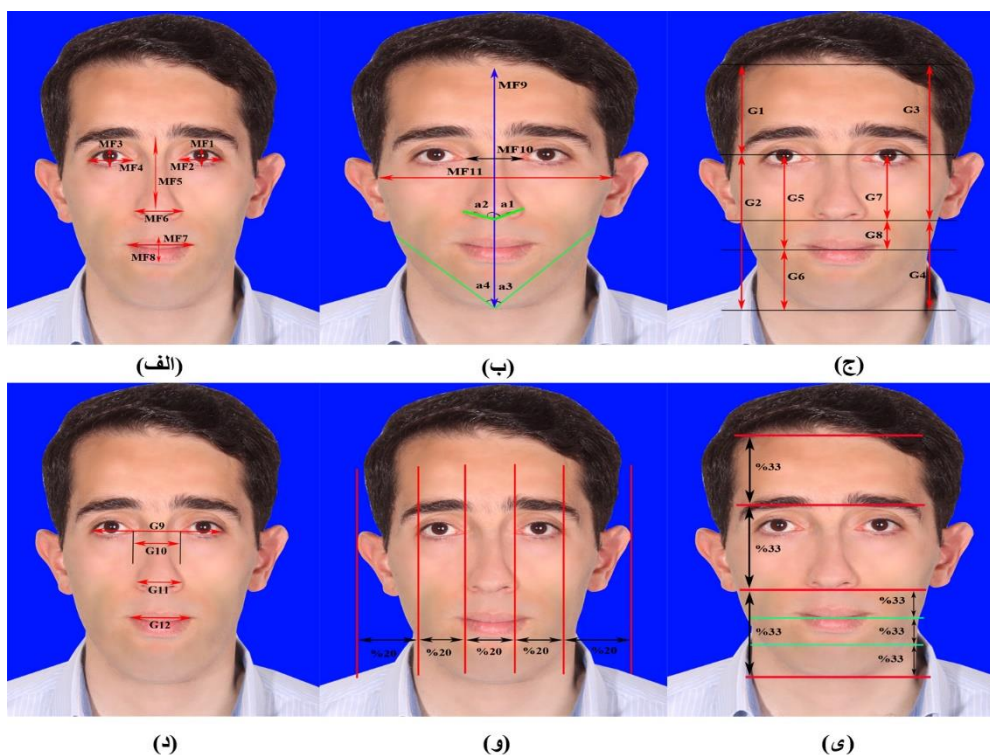
پارامترهای تصاویر ترموگرافی چهره ارائه کردند. ابتدا سیستمی برای گرفتن تصاویر حرارتی طراحی شد. سپس به منظور بخش‌بندی تصویر چهره روش آستانه‌گذاری آتسو به کار گرفته شد. پس از شناسایی ناحیه چهره، تعدادی از ویژگی‌های چهره بر اساس اطلاعات هندسی نمای جانبی چهره آشکارسازی شدند؛ در نهایت، روش معرفی شده برای ارزیابی تشخیص مشکلات ناحیه سر و صورت به کار گرفته شد. بخشعلی و شمسی [۱۳] برای آنالیز آنتروپومتری نمای جانبی چهره روش مبتنی بر تبدیل رادون را ارائه کردند. ابتدا مدل کانتور فعال برای استخراج کانتور نمای جانبی به کار گرفته شد. از فیلتر میانه برای محاسبه نگاشت لبه استفاده شد. سپس با استفاده از ویژگی‌های سینوگرام در حوزه رادون، با آشکارسازی ۷ لندمارک نمای جانبی چهره، ۳ معیار آنتروپومتری برای کاربرد در جراحی رینوپلاستی اندازه‌گیری شدند. لیو و همکاران [۱۴] روش مبتنی بر فیزیوگنومی (معیارهای زیباشناسی) چهره را برای آنالیز نسبت‌های چهره ارائه کردند. ابتدا با استفاده از آستانه‌گذاری آتسو ناحیه چهره شناسایی شد. بر اساس مؤلفه اتصال تصویر باینری، مرز ویژگی‌های چهره استخراج شد؛ در نهایت، ۷ نوع از فیزیوگنومی چهره‌های افراد چینی طبقه‌بندی شدند. سال‌آذر و همکاران [۱۵] روش مبتنی بر رنگ را برای آشکارسازی حالات لب در آنالیز جراحی شکافت لب ارائه کردند. ابتدا بر اساس فضای رنگی HSV و یک روش آستانه‌گذاری سخت، ناحیه دهان آشکارسازی شد. پس از بخش‌بندی لب، کانتور ناحیه لب با استفاده از مدل ۸-نقطه استخراج شد؛ در نهایت، روش ارائه شده برای آنالیز جراحی شکافت لب به کار گرفته شد. علی سیدصالحی و زهره سیدصالحی [۱۶] برای آنالیز تصاویر چهره، با برقراری اتصال بازگشتی در شبکه‌های عصبی خودانجمنی، قابلیت رفتار جاذب‌گونه را به شبکه اضافه کردند. روش ارائه شده نشان داد برای یک نورون با تابع غیرخطی تانژانت هیپربولیک، با برقراری این نوع اتصال بازگشتی، همواره در محل نمونه تعلیم داده شده و قرینه آن دو جاذب ایجاد می‌شود؛ اما در تابع سیگموئید برای محدوده خاصی جاذب تشکیل می‌شود. با رشد و توسعه تکنولوژی‌های پردازش تصویر، مطالعات انجام گرفته روی

جدول (۱): توصیف لندمارک‌های آناتومیکی چهره [۹-۷].

لندمارک	تعریف	لندمارک	تعریف
F1	نقطه میانی خط رویش مو	F18	مرکز مردمک چشم راست.
F2	جانبی‌ترین نقطه روی قوس استخوان گونه (راست)	F19	محل اتصال بیرونی شیار چشم چپ
F3	جانبی‌ترین نقطه در زاویه فک (راست)	F20	قسمت بالایی پلک چشم چپ
F4	متون: پایین‌ترین نقطه در خط میانی روی مرز پایین چانه	F21	محل اتصال درونی شیار چشم چپ
F5	جانبی‌ترین نقطه در زاویه فک (چپ)	F22	قسمت پایینی پلک چشم چپ
F6	جانبی‌ترین نقطه روی قوس استخوان گونه (چپ)	F23	مرکز مردمک چشم چپ
F7	جانبی‌ترین نقطه ابروی راست	F24	محل اتصال حد تحتانی تیغی بینی و سطح لب فوقانی
F8	بالا‌ترین نقطه ابروی راست	F25	جانبی‌ترین نقطه روی کانتور بال بینی (چپ).
F9	درونی‌ترین نقطه ابروی راست	F26	جانبی‌ترین نقطه روی کانتور بال بینی (راست)
F10	برجسته‌ترین نقطه خط میانی بین ابروها	F27	گوشه بیرونی دهان. (راست)
F11	درونی‌ترین نقطه ابروی چپ	F28	نقطه‌ای برجسته روی فیلتروم در لب بالا
F12	بالا‌ترین نقطه ابروی چپ	F29	نقطه میانی در بالای خط ورمیلیون
F13	جانبی‌ترین نقطه ابروی چپ	F30	نقطه‌ای برجسته روی فیلتروم در لب بالا
F14	محل اتصال بیرونی شیار چشم راست	F31	گوشه بیرونی دهان (چپ)
F15	قسمت بالایی پلک چشم راست	F32	نقطه بین مرز ورمیلیون لب پایین
F16	محل اتصال درونی شیار چشم راست	F33	نقطه میانی شکاف لب هنگام بسته شدن لب‌ها
F17	قسمت پایینی پلک چشم راست	-	-

حجمی بعد از عمل جراحی چهره به کار گرفته می‌شود. Bugaighis و همکاران [۲۱] برای مشخص کردن تفاوت جنسیتی در فرم چهره روش مبتنی بر آنالیز سه‌بعدی تصویر را ارائه کردند. در این مطالعه، ۳۹ لندمارک آناتومیکی با استفاده از نرم‌افزار MorphAnalyser مکان‌یابی شد. عدم تقارن سه‌بعدی لندمارک‌های چهره با استفاده از انعکاس هر اسکن چهره روی خودش و مقایسه نسخه‌های اصلی و منعکس شده ارزیابی شد. در گام بعدی آنالیز پروکراسستس برای به دست آوردن پارامترهای انتقال، چرخش و مقیاس به کار گرفته شد. فاصله بین هر لندمارک و مختصات لندمارک منعکس شده، اندازه‌گیری و عدم تقارن برای هر لندمارک محاسبه شد. سپس یک چهره متوسط برای مردان و زنان با استفاده از نرم‌افزار مدنظر بازسازی شد. لیپولد و همکاران [۲۲] روش مبتنی بر تشخیص انحراف بین کانتور نمای جانبی در قبل و بعد عمل جراحی چهره را ارائه کردند. اندازه‌گیری‌های مدنظر در این پژوهش با استفاده از سیستم FastSCAN انجام شده است. انحنای کانتور نمای جانبی براساس رویکرد به‌کارگیری یک همسایگی در اطراف نقاط مدنظر از چهره استخراج شد؛ در نهایت، تغییرات انحنای مدنظر در قبل و بعد عمل جراحی اندازه‌گیری شدند. مرکان و همکاران [۲۳] رویکرد سه‌بعدی برای آنالیز ریخت بینی در کودکان مبتلا به شکاف لب را ارائه کردند. در این مطالعه، تصاویر سه‌بعدی با استفاده از سیستم 3dMD آخذ شدند. با استفاده از این تصاویر انحراف پایه بینی، کلوملا و تقارن نوک بینی اندازه‌گیری شدند.

با توجه به اهمیت آنالیز آنتروپومتری چهره برای کمک به متخصصان جراحی‌های ترمیمی و زیبایی، هدف اصلی این مقاله برقراری ارتباط بین حوزه پزشکی و مهندسی است تا با ارائه روش مبتنی بر الگوریتم‌های هوشمند گامی مهم در حوزه آنالیز جراحی‌های چهره برداشته شود. در ادامه مقاله، روش پیشنهادی برای این منظور معرفی خواهیم کرد.



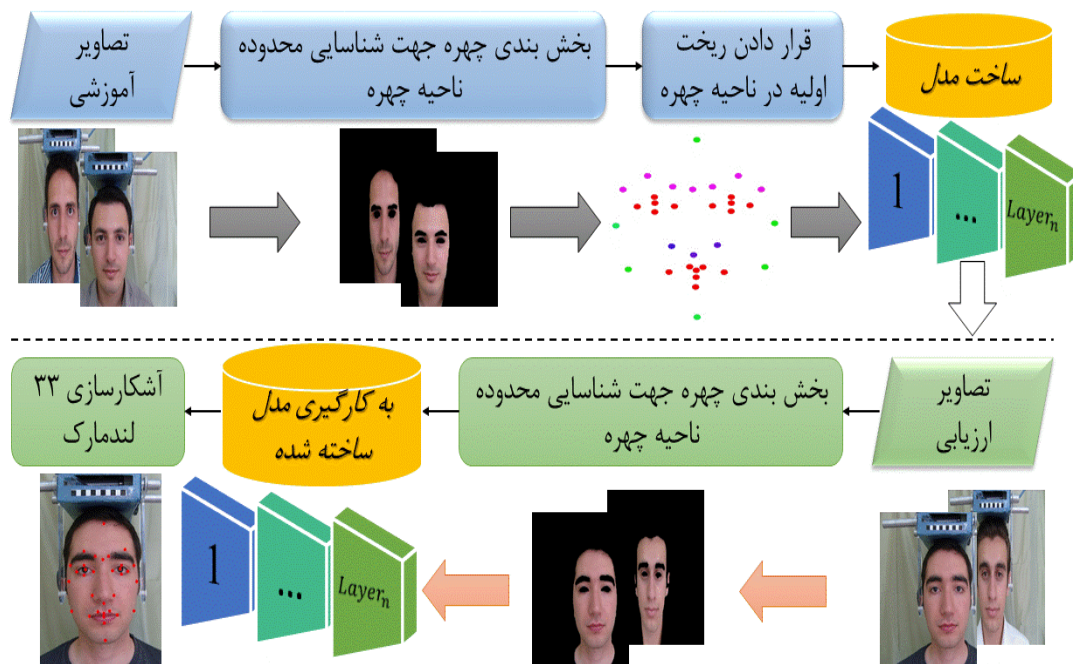
شکل (۲): معیارهای آنالیز سفالومتری نمای روبه‌رو چهره. (الف): معیار طول و عرض نواحی چشم، بینی و دهان. (ب): معیار بررسی تقارن چهره و بینی. (ج، د): معیارهای اندازه‌گیری نسبت طلایی چهره. (و): بررسی نسبت یک-پنج عرض چهره. (ی): بررسی نسبت یک-سه طول چهره.

## ۲- روش پیشنهادی

مکان‌یابی دقیق نقاط کلیدی (لندمارک) چهره، گامی ضروری در برنامه‌ریزی جراحی‌های پلاستیک چهره است. در آنالیز جراحی‌های چهره، لندمارک‌ها می‌توانند به صورت دستی یا خودکار انتخاب شوند. انتخاب لندمارک‌ها به صورت دستی زمان‌بر و سخت است. همچنین، اندازه‌گیری معیارها و نسبت‌های طلایی چهره نقش مهمی در آنالیز جراحی‌های بازسازی چهره دارد؛ بنابراین، هدف اصلی این مقاله استخراج نقاط آناتومیکی چهره (شکل ۱) برای آنالیز سفالومتری بافت نرم و کاربرد در جراحی‌های پلاستیک چهره است. بلوک‌دیگرام روش پیشنهادی در شکل ۳ نشان داده شده است

ساختار مقاله به صورت زیر تدوین شده است. شناسایی ناحیه چهره و قرارگیری مدل ریخت اولیه در آن اولین گام روش پیشنهادی به منظور آشکارسازی نقاط آناتومیکی چهره است. در این مطالعه، برای شناسایی محدوده چهره الگوریتم

خوشه‌بند فازی (FCM) به کار گرفته می‌شود. خوشه‌بند فازی یک الگوریتم مؤثر در بخش‌بندی تصویر است؛ اما حساسیت به مقدار اولیه ممکن است باعث شود این الگوریتم در کمینه مکانی بیافتد. به منظور غلبه بر این مسئله، الگوریتم فراابتکاری شاهین هریس (HHO) به کار گرفته می‌شود. در بخش ۲-۱ الگوریتم HHO را توضیح خواهیم داد. در بخش ۲-۲ مدل مبتنی بر رگرسیون آبشاری (CRM) برای آشکارسازی ۳۳ لندمارک آناتومیکی چهره معرفی خواهد شد. در بخش ۳ نتایج پیاده‌سازی توصیف داده خواهند شد. در بخش ۳-۱ به مقایسه عملکرد الگوریتم HHO در بهینه‌سازی خوشه‌بند FCM با سایر روش‌های بهینه‌سازی الگوریتم خوشه‌بند فازی برای بخش‌بندی چهره اشاره خواهیم کرد. همچنین، در بخش ۳-۲ دقت روش پیشنهادی در آشکارسازی لندمارک‌های چهره و اندازه‌گیری نسبت‌های طلایی آن ارائه خواهد شد؛ در نهایت، در بخش ۴ مقاله نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه خواهند شد.



شکل (۳): بلوک-دیگرام روش پیشنهادی جهت آشکار سازی لندمارک‌های نمای روبروی چهره به منظور کاربرد در جراحی‌های پلاستیک چهره

## ۱-۲- بهینه‌سازی شاهین هریس

حیدری و همکاران [۲۴] الگوریتم شاهین هریس (HHO) را ارائه کردند. ایده اصلی بهینه‌سازی شاهین هریس از رفتار مشارکتی و سبک تعقیب شاهین هریس در شکار طعمه‌های درحال فرار، در بیشتر موارد خرگوش‌ها، الهام گرفته شده است. براساس مطالعات لويس، شاهین‌ها می‌توانند بین باهوش‌ترین پرندگان طبیعت قرار داده شوند. روش اصلی شاهین هریس برای شکار یک طعمه به‌عنوان استراتژی هفت قتل شناخته شده است. در این استراتژی هوشمند، تعدادی از شاهین‌ها به‌طور مشارکتی تلاش می‌کنند از جهت‌های مختلف حمله کنند و به‌طور هم‌زمان روی یک خرگوش درحال فرار شناسایی شده همگرا شوند. حمله می‌تواند در چندین ثانیه تکمیل شود؛ اما گاهی اوقات براساس توانایی‌ها و رفتارهای طعمه درحال فرار، استراتژی هفت قتل ممکن است چندگانه، طول کوتاه، یورش سریع در نزدیکی طعمه در طول چند دقیقه باشد. شاهین هریس وابسته به طبیعت دینامیک و الگوهای طعمه درحال فرار می‌تواند انواع مختلف روش تعقیب را نشان دهد که با عنوان یورش غافل‌گیرانه شناخته شده است. هنگامی که

بهترین شاهین یا رهبر گروه طعمه را گم کند، شاهین‌ها استراتژی تعویض را به کار خواهند برد. در این حالت، فرایند تعقیب توسط یکی از اعضای گروه ادامه خواهد یافت. این روش برای گنج کردن خرگوش درحال فرار مناسب است. مزیت اصلی استراتژی همکاری این است که شاهین‌های هریس می‌توانند خرگوش شناسایی شده را تا خسته شدن طعمه دنبال کنند که این کار آسیب‌پذیری طعمه را افزایش خواهد داد. شاهین‌های هریس می‌توانند شکار را از طریق چشمان قدرتمند خود ردیابی و شناسایی کنند؛ اما گاهی اوقات طعمه به‌راحتی قابل دیده شدن نیست. در این حالت، شاهین‌ها منتظر می‌مانند، مشاهده می‌کنند و برای شناسایی یک شکار اطراف صحرا را تماشا می‌کنند. این کار ممکن است چندین ساعت طول بکشد.

در الگوریتم HHO، در هر مرحله شاهین‌ها و طعمه هدف به ترتیب به‌عنوان جواب‌های انتخابی و بهترین جواب انتخابی در نظر گرفته می‌شوند. زمانی که شاهین‌ها نمی‌توانند شکار را ببینند، روی تعدادی از مکان‌ها اوج می‌گیرند و براساس دو رویکرد (۱) اوج‌گیری شاهین‌ها براساس موقعیت سایر اعضای خانواده و (۲) اوج‌گیری

با یورش سریع تدریجی وجود دارد. طعمه‌ها همیشه درحال فرار از موقعیت‌های خطرناک هستند. فرض می‌شود پارامتر  $r$  احتمال یک طعمه درحال فرار از موقعیت‌های خطرناک است. هنگامی که  $r < 0.5$  است، طعمه قبل از یورش غافل‌گیرانه در فرار موفق است و هنگامی که  $r \geq 0.5$  است، طعمه قبل از یورش غافل‌گیرانه در فرار موفق نیست. به عبارت دیگر، وابسته به انرژی باقی‌مانده طعمه، شاهین‌ها از جهت‌های مختلف به‌صورت نرم یا سخت طعمه را محاصره خواهند کرد. برای مدل‌کردن استراتژی محاصره، پارامتر  $E$  به کار گرفته می‌شود. در این حالت، هنگامی که  $|E| \geq 0.5$ ، محاصره نرم و در صورتی که  $|E| < 0.5$  محاصره سخت رخ خواهد داد.

هنگامی که  $r \geq 0.5$  و  $|E| \geq 0.5$  است، خرگوش هنوز دارای انرژی کافی برای فرار از طریق پرش‌های گمراه‌کننده به‌صورت تصادفی است. در طول این فرایند، شاهین‌های هریس خرگوش را تا زمانی محاصره می‌کنند که خسته شود و در آخر شاهین‌ها یورش غافل‌گیرانه را به کار خواهند برد. این رفتار به‌صورت زیر مدل می‌شود:

$$x(t+1) = \begin{cases} \Delta x(t) - E |Jx_{rabbit}(t) - x(t)| \\ \Delta x(t) = x_{rabbit}(t) - x(t) \\ J = 2(1 - r_5) \end{cases} \quad (4)$$

که در آن،  $J$  شدت پرش تصادفی خرگوش را نشان می‌دهد.  $r_5$  یک عدد تصادفی در محدوده  $(0,1)$  است. هنگامی که  $r \geq 0.5$  و  $|E| < 0.5$  است، طعمه خسته می‌شود و انرژی کافی برای فرار را نخواهد داشت. در مجموع، شاهین‌های هریس به‌صورت سخت طعمه هدف را برای انجام یورش غافل‌گیرانه محاصره می‌کنند. این رفتار به‌صورت زیر مدل خواهد شد:

$$x(t+1) = x_{rabbit}(t) - E |\Delta x(t)| \quad (5)$$

در الگوریتم HHO، برای مدل‌کردن الگوهای فرار خرگوش، پرواز لوی به کار گرفته شده است. پرواز لوی برای تقلیدکردن حرکات فریبنده زیگزاگی خرگوش در طول فاز فرار و یورش‌های نامنظم، ناگهانی و سریع شاهین‌های اطراف طعمه درحال فرار به کار گرفته می‌شود. نشان داده

شاهین‌ها براساس موقعیت خرگوش (طعمه) شکار را شناسایی می‌کنند؛ در نتیجه، موقعیت جدید شاهین‌ها به‌صورت زیر به‌روزرسانی خواهد شد:

$$x(t+1) = \begin{cases} x_{rand}(t) - r_1 |x_{rand}(t) - 2r_2 x(t)|, & q \geq 0.5 \\ x_{rabbit}(t) - x_m(t) - r_3 (LB + r_4 (UB - LB)), & q < 0.5 \\ x_m(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t) \end{cases} \quad (2)$$

که در آن،  $x_{rand}(t)$ ،  $x_{rabbit}(t)$  و  $x_m(t)$  به‌ترتیب، موقعیت تصادفی یک شاهین از جمعیت‌های فعلی، موقعیت طعمه (خرگوش) و میانگین موقعیت جمعیت‌های فعلی شاهین‌ها هستند.  $(r_1, r_2, r_3, r_4)$  اعداد تصادفی در محدوده  $(0,1)$  هستند. همچنین، پارامتر  $q$  احتمال برای هر استراتژی اوج‌گیری را نشان می‌دهد.

در الگوریتم HHO، فاز اکتشاف می‌تواند براساس انرژی درحال فرار طعمه به فاز استخراج تبدیل شود. انرژی خرگوش در طول فاز فرار به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. انرژی درحال فرار طعمه به‌صورت زیر مدل می‌شود:

$$E = 2E_0 \left(1 - \frac{t}{T}\right) \quad (3)$$

که در آن،  $E_0$  و  $T$  به‌ترتیب انرژی اولیه طعمه درحال فرار و بیشینه تعداد تکرار را نشان می‌دهند.  $E_0$  به‌طور تصادفی در هر تکرار در بازه  $(-1,1)$  کاهش می‌یابد. اگر مقدار  $E_0$  از صفر تا  $-1$  کاهش یابد، انرژی خرگوش تضعیف می‌شود و هنگامی که مقدار  $E_0$  از صفر تا  $+1$  افزایش یابد، انرژی خرگوش افزایش خواهد یافت. به عبارت دیگر، هنگامی که  $|E| \geq 1$  است، فاز اکتشاف رخ می‌دهد، درحالی‌که در فاز استخراج  $|E| < 1$  خواهد بود.

در فاز استخراج، شاهین‌های هریس یورش غافل‌گیرانه را انجام می‌دهند. در این حالت، طعمه‌ها اغلب تلاش می‌کنند که از موقعیت‌های خطرناک فرار کنند؛ با وجود این، استراتژی‌های متفاوت تعقیب در موقعیت‌های واقعی اتفاق خواهد افتاد. براساس رفتار فرار - تعقیب، ۴ استراتژی احتمالی (۱) محاصره نرم، (۲) محاصره سخت، (۳) محاصره نرم با یورش سریع تدریجی و (۴) محاصره سخت



کافی برای فرار ندارد و یک آستانه سخت قبل از یورش غافل‌گیرانه برای کشتن خرگوش اعمال می‌شود. در این فرایند، شاهین‌ها تلاش می‌کنند فاصله متوسط موقعیت خود را با خرگوش در حال فرار کاهش دهند؛ در نتیجه، استراتژی نهایی برای به‌روزرسانی موقعیت شاهین‌ها در فاز محاصره سخت به صورت زیر انجام خواهد شد:

$$x(t+1) = \begin{cases} Y, & F(Y) < F(x(t)) \\ Z, & F(Z) < F(x(t)) \\ Y = x_{rabbit}(t) - E | Jx_{rabbit}(t) - x_m(t) | \\ Z = Y + S \times LF(D) \end{cases} \quad (9)$$

## ۲-۲- آشکارسازی نقاط کلیدی چهره

آشکارسازی لندمارک چهره، مکان‌یابی نقاط کلیدی چهره، یک گام پیش‌پردازش ضروری در سیستم‌های آنالیز خودکار چهره است. الگوریتم‌های آشکارسازی لندمارک‌های چهره در حالت کلی می‌توانند به دو دسته (۱) روش‌های مبتنی بر دوبعدی و (۲) روش‌های مبتنی بر سه‌بعدی طبقه‌بندی شوند. در روش‌های مبتنی بر دوبعدی، ابتدا ناحیه چهره با یک پنجره مستطیلی شناسایی می‌شود و سپس مکان لندمارک‌های از قبل تعریف‌شده در داخل ناحیه چهره به‌روزرسانی می‌شوند. در مقابل، روش‌های سه‌بعدی روی داده‌های سه‌بعدی چهره، مانند مش‌های سه‌بعدی چهره اعمال می‌شوند.

الگوریتم‌های آشکارسازی نقاط کلیدی چهره می‌توانند به دو دسته طبقه‌بندی شوند: (۱) مدل ریخت فعال (ASM) و مدل ظاهر فعال (AAM) نقاط کلیدی چهره را براساس رویکردهای بهینه‌سازی آشکار می‌کنند. این روش‌ها فقط روی پایگاه داده‌های خاص کار می‌کنند. (۲) روش‌های مبتنی بر رگرسیون، به‌خصوص رگرسیون آبخاری (CRM)، از تابع رگرسیون استفاده می‌کنند که تصاویر چهره ورودی را به خروجی مدنظر نگاشت می‌کند. مدل‌های مبتنی بر رگرسیون موقعیت لندمارک‌های چهره را به‌طور مستقیم از تصاویر چهره تخمین می‌زنند. در این روش‌ها، یک مسئله رگرسیون استاندارد مطرح می‌شود که در آن مقادیر هدف اختلاف بین بردارهای یک ریخت اولیه و ریخت واقعی براساس ویژگی‌های استخراج‌شده از تصاویر هستند. ریخت

شده است فعالیت‌های مبتنی بر LF، رویکرد جست‌وجوی بهینه برای شکارچیان در شرایط غیرمخرب اکتشاف هستند. همچنین، نشان داده شده است الگوهای مبتنی بر LF می‌توانند در فعالیت‌های تعقیب حیوانات مانند میمون‌ها و کوسه‌ها دیده شوند. در الگوریتم HHO، فرض می‌شود در صورت گرفتن طعمه از سوی شاهین‌ها در شرایط رقابتی، شاهین‌ها می‌توانند به‌طور تدریجی بهترین یورش ممکن به سمت خرگوش را انتخاب کنند. سپس نتیجه یورش فعلی با یورش قبلی مقایسه خواهد شد. اگر نتیجه یورش خوب نباشد، شاهین‌ها همچنان به یورش‌های نامنظم، ناگهانی و سریع خود ادامه خواهند داد. فرض می‌شود شاهین‌ها می‌خواهند یورش مبتنی بر الگوهای LF را با استفاده از قانون زیر انجام دهند:

$$\begin{cases} Z = Y + S \cdot LF(D) \\ Y = x_{rabbit}(t) - E | Jx_{rabbit}(t) - x(t) | \end{cases} \quad (6)$$

که در آن، S و D به ترتیب، بعد مسئله و بردار تصادفی در اندازه  $1 \times D$  هستند. در این صورت تابع پرواز لوی به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$\begin{cases} LF(x) = 0.01 \times \frac{u - \sigma}{|v|^{\frac{1}{\beta}}} \\ \sigma = \left( \frac{\Gamma(1 + \beta) \cdot \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1 + \beta}{2}\right) \cdot \beta \cdot 2^{\frac{\beta-1}{2}}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \end{cases} \quad (7)$$

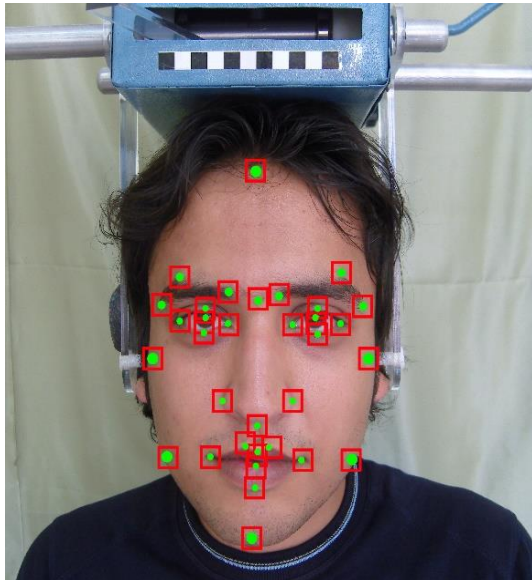
که در آن، u و v مقادیر تصادفی در محدوده (0,1) است و  $\beta$  نیز یک پارامتر ثابت با مقدار ۱/۵ است؛ در نتیجه، هنگامی که هنوز  $|E| \geq 0.5$  است، اما  $r < 0.5$  است، طعمه انرژی کافی برای یک فرار موفقیت‌آمیز را دارد و همچنان یک محاصره نرم قبل از یورش غافل‌گیرانه اعمال می‌شود. استراتژی نهایی برای به‌روزرسانی موقعیت شاهین‌ها در فاز محاصره نرم به صورت زیر خواهد بود:

$$x(t+1) = \begin{cases} Y, & F(Y) < F(x(t)) \\ Z, & F(Z) < F(x(t)) \end{cases} \quad (8)$$

هنگامی که  $|E| < 0.5$  و  $r < 0.5$  است، خرگوش انرژی

زمانی که ریخت نهایی به دست آید. درواقع، CRM یک الگوریتم تکراری است که در آن  $m$  امین ریخت از طریق رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

$$P_m = P_{m-1} + A_m \cdot f(I, P_{m-1}) + b_m \quad (12)$$



شکل (۴): نحوه استخراج ویژگی اطراف لندمارک‌های تعریف شده با استفاده از هیستوگرام گرادیان جهت‌دار

### ۳-۲- جزئیات پیاده‌سازی

در این مطالعه، برای آنالیز روش پیشنهادی، ۱۵۰ تصاویر نمای روبه‌رو پایگاه داده دانشگاه صنعتی سهند (SUT) [۲۸] به کار گرفته شده‌اند. این تصاویر از دو نمای روبه‌رو و جانبی گرفته شده‌اند که نسبت به هم متعام هستند. تصاویر حاوی نشانگری است که با استفاده از آن می‌توان پیکسل‌ها را براساس سانتی‌متر بیان کرد. اندازه واقعی تصاویر  $۳۰۰۰ \times ۴۰۰۰$  است که به مقیاس  $۳۰۰ \times ۴۰۰$  تغییر اندازه داده شده‌اند. به منظور گزارش نتایج روش پیشنهادی و مقایسه آن با سایر روش‌ها برای بخش‌بندی تصاویر رنگی چهره، پیکسل‌های پوست و غیرپوست برحسب‌گذاری شده‌اند. ۱۰۰ تصویر برای آموزش و ۵۰ تصویر برای ارزیابی روش پیشنهادی به منظور آشکارسازی ۳۳ لندمارک آناتومیکی نمای روبه‌روی چهره به کار گرفته شده‌اند. جزئیات روش پیشنهادی در آموزش و ارزیابی تصاویر، به ترتیب در الگوریتم ۱ و الگوریتم ۲ آمده‌اند.

اولیه معمولاً میانگین ریخت‌های داده آموزشی در نظر گرفته می‌شود [۲۷-۲۵].

ریخت یک چهره از طریق مجموعه لندمارک‌های از قبل تعریف شده به صورت  $P = [x_1, y_1, \dots, x_L, y_L]^T$  تعریف می‌شود که  $L$  تعداد لندمارک است. برای تصاویر آموزشی  $\{I(1), I(2), \dots, I(N)\}$  با ریخت چهره مقداردهی شده  $\{P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(N)\}$  ابتدا ویژگی‌های مرتبط با ریخت  $\{f(I(1), P_0(1)), \dots, f(I(N), P_0(N))\}$  با استفاده از تابع نگاشت ویژگی  $\{f(I, P)\}$  استخراج می‌شوند. سپس مدل تمایزی (DM)، تابع نگاشت، از طریق کمینه‌کردن تابع هزینه زیر آموزش داده می‌شود:

$$cost: \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N \left\| P_0(n) + \Delta P(n) - P^*(n) \right\|_2^2 \quad (10)$$

که در آن،  $P^*(n)$  موقعیت ریخت واقعی  $m$  امین تصویر آموزشی و  $\Delta P(n) = \phi(f(I, P_0))$  مشخصات ریخت به‌روزرسانی شده است. در CRM، تابع نگاشت  $\phi$  یک رگرسیون قوی است که از طریق توالی رگرسورهای ضعیف در آبشار تشکیل شده است؛ به طوری که:

$$\begin{cases} R_m = \{A_m, b_m\} \quad (m=1, 2, \dots, M) \\ A_m^T = (F_{m-1} F_{m-1}^T + \lambda I)^{-1} F_{m-1} \Delta P_{m-1}^T \end{cases} \quad (11)$$

که در آن،  $R_m = \{A_m, b_m\}$ ،  $m$  امین رگرسور ضعیف،  $F \in \mathbb{R}^{2L \times F}$  با  $A_m \in \mathbb{R}^{2L \times F}$  ویژگی،  $b_m \in \mathbb{R}^{2L \times 1}$  مؤلفه بایاس و  $F$  بردار ویژگی وابسته به ریخت  $f(I, P)$  است. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، در مرحله آموزش اطراف هر لندمارک مشخص شده یک بردار ویژگی استخراج می‌شود. به منظور استخراج ویژگی روش هیستوگرام گرادیان جهت‌دار (HOG) به کار گرفته می‌شود. همچنین، فرایند به‌کارگیری مدل در مرحله ارزیابی داده‌ها برای رگرسیون آبشاری در شکل ۵ نشان داده شده است.

با فرض بر آموزش یک رگرسور قوی  $\Phi$ ، برای یک تصویر ورودی  $I$  داده شده و یک ریخت اولیه  $P_0$ ، ابتدا اولین رگرسور ضعیف ریخت مدنظر تا  $P_1$  تخمین زده می‌شود. سپس  $P_1$  به رگرسور ضعیف بعدی انتقال داده می‌شود تا

ارزیابی، روش HOG اطراف لندمارک‌ها در هر سه مؤلفه R, G و B فضای رنگی RGB اعمال و یک بردار ویژگی به اندازه  $1900 \times 8 \times 66$  ایجاد می‌شود. در بخش نتایج نشان خواهیم داد که دقت آشکارسازی لندمارک‌ها با استخراج ویژگی در فضای رنگی RGB نسبت به استخراج ویژگی در فضای خاکستری بالا است.

الگوریتم (۱): فرایند آموزش مدل رگرسیون آبخاری.

- 1: for  $n = 1:N$  do
- 2: Segment the Facial Image Using FCM+HHO
- 3: Obtain the Coordinates of Face Region
- 4: Project the Facial Landmarks to the Face Region
- 5: Compute HOG Features
- 6: Obtain the  $\{A_m, b_m\}$  Parameters Using Eq. (11)
- 6: end for

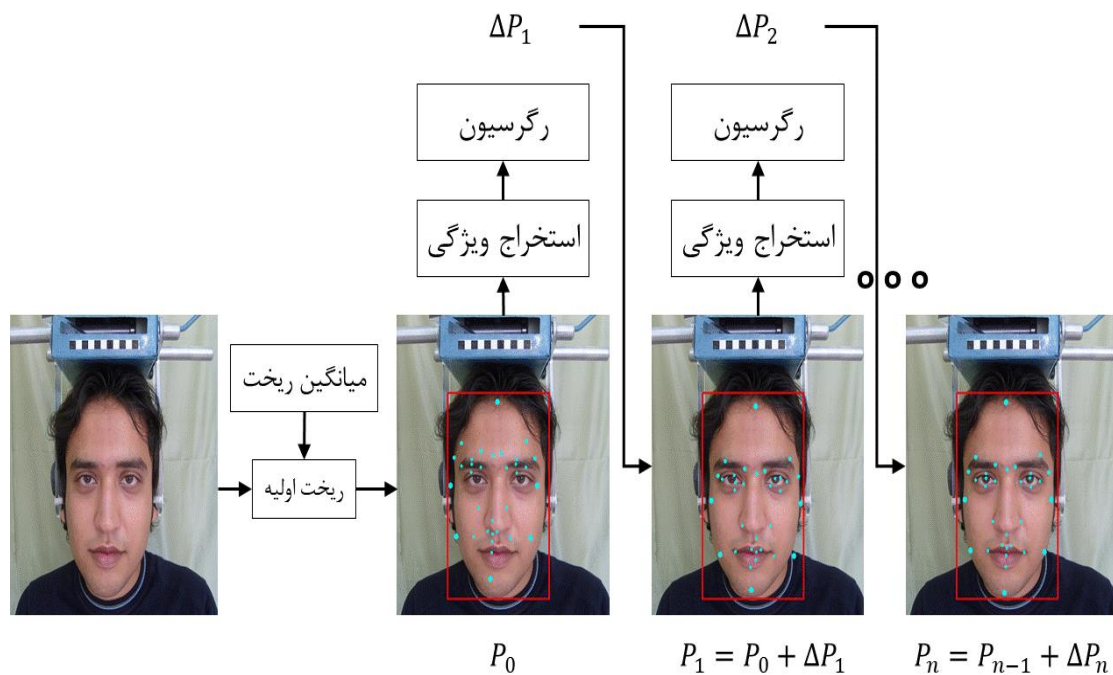
الگوریتم (۲): به کارگیری مدل ایجادشده برای پیش‌بینی

لندمارک‌های چهره در تصویر جدید.

- 1: for  $m = 1:M$  do
- 2: Segment the Facial Image Using FCM+HHO
- 3: Obtain the Coordinates of Face Region
- 4: Project the Mean of Shapes to the Face Region
- 5: Compute HOG Features
- 6: Update Landmarks Using Eq. (12)
- 7: end for

همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، روش CRM از طریق  $M$  رگرسیون آبخاری  $\{R^1, R^2, \dots, R^M\}$  تشکیل می‌شود که از یک ریخت اولیه شروع می‌شود و به‌طور تکراری درون ناحیه چهره لندمارک‌های مدنظر را تخمین می‌زند. در این مقاله، تعداد لایه‌های رگرسیون ۵ انتخاب شده است.

مطابق الگوریتم ۱، در فاز آموزش، ابتدا لندمارک‌های آناتومیکی چهره روی تصاویر آموزشی برچسب زده می‌شوند. در مرحله بعد، روش پیشنهادی FCMHHO برای شناسایی ناحیه چهره به کار گرفته و لندمارک‌ها داخل ناحیه چهره قرار داده می‌شوند. به عبارت دیگر، لندمارک‌های آناتومیکی به درون ناحیه چهره پروجکت می‌شوند. در مرحله آخر، پارامترهای  $\{A_m, b_m\}$  از طریق رابطه (۱۱) تخمین زده می‌شوند. مؤلفه بایاس در ابتدا به صورت واحد به انتهای سطرهای بردار ویژگی الحاق می‌شود. مطابق الگوریتم ۲، در فاز ارزیابی برای تصویر جدید، ابتدا روش پیشنهادی FCMHHO برای شناسایی ناحیه چهره به کار گرفته و میانگین تمامی ریخت‌های داده‌های آموزشی به درون ناحیه چهره پروجکت می‌شود. سپس از طریق رابطه (۱۲) مکان ۳۳ لندمارک در طول ۵ رگرسیون تخمین زده می‌شود. برای استخراج ویژگی، در هر دو فاز آموزش و



شکل (۵): نمایش تصویر عملکرد الگوریتم رگرسیون آبخاری در پیش‌بینی لندمارک‌های چهره

### ۳- نتایج پیاده‌سازی

پارامترهای الگوریتم FCM است. الگوریتم HHO توانایی بالایی در بهینه‌کردن مسائل با ابعاد بالا دارد. الگوریتم با جمعیت اولیه به‌عنوان موقعیت شاهین‌ها شروع می‌شود و هدف این است که شاهین‌ها موقعیت خود را رفته‌رفته به موقعیت طعمه (خرگوش) نزدیک کنند. در نظر گرفتن درجه عضویت ( $u_{ij}$ ) به‌عنوان جمعیت اولیه برای هر عامل جست‌وجو یک مسئله بهینه‌سازی گسسته برای الگوریتم FCM است. در این مطالعه، تعداد جمعیت برای الگوریتم‌های فراابتکاری، ۱۲ و تعداد مراحل تکرار ۴۰ انتخاب شده است. همچنین، تعداد مراکز خوشه به‌صورت تجربی ۴ در نظر گرفته شده است. در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای [۲۹-۳۴] در زمینه بهینه‌سازی الگوریتم FCM با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری انجام شده‌اند. با توجه به بالا بودن بُعد مسئله در حالت در نظر گرفتن الگوریتم FCM به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی گسسته، در ادامه نشان خواهیم داد الگوریتم HHO توانایی بالایی در بهینه‌سازی مسائل با بُعد بالا دارد.

فضاهای رنگی چهره نقش خیلی مهمی در مدل‌کردن پوست چهره برای بخش‌بندی تصویر دارند. انواع مختلفی از فضاهای رنگی مانند YcbCr و HSV به‌منظور مدل‌کردن پوست چهره به کار گرفته می‌شوند. در این مقاله، از فضای رنگی YPbPr برای مدل‌کردن پوست چهره استفاده شده است. فضای رنگی YPbPr، مدل آنالوگ فضای رنگی YCbCr است [۳۵]. تبدیل خطی از فضای رنگی RGB به فضای رنگی YPbPr به‌صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Pb \\ Pr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.212 & 0.701 & 0.086 \\ -0.116 & -0.383 & -0.500 \\ 0.500 & -0.445 & -0.055 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (15)$$

برای ارزیابی کمی عملکرد روش پیشنهادی (FCMHHO) در بخش‌بندی پوست چهره از ۴ معیار مختلف استفاده کرده‌ایم. معیار خطای پوست (SE)، تعداد پیکسل‌های پوست شناسایی شده به‌عنوان غیرپوست به‌صورت خودکار تقسیم بر تعداد پیکسل‌های پوست بخش‌بندی شده به‌صورت دستی است. معیار خطای غیرپوست (NSE)، تعداد پیکسل‌های غیرپوست شناسایی شده به‌عنوان پوست به‌صورت خودکار تقسیم بر

در این بخش، روش پیشنهادی در دو قسمت ارزیابی می‌شود. در قسمت اول، نتایج روش پیشنهادی FCMHHO با سایر روش‌های خوشه‌بند فازی بهینه‌سازی شده با الگوریتم‌های فراابتکاری مقایسه می‌شود. در قسمت دوم، نتایج آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره ارائه می‌شود. این قسمت شامل دو بخش است. در بخش اول، میانگین فاصله اقلیدسی لندمارک‌های پیش‌بینی شده روی داده‌های ارزیابی ارائه می‌شود. در معیار اقلیدسی، فاصله بین لندمارک‌های مشخص شده به‌صورت دستی و لندمارک‌های به‌دست‌آمده از طریق روش پیشنهادی محاسبه می‌شود. در بخش دوم، دقت معیارهای آنتروپومتریکی نشان داده شده در شکل ۲ گزارش می‌شود.

#### ۳-۱- نتایج بخش‌بندی

بیشتر الگوریتم‌های خوشه‌بند فازی، تابع هزینه زیر را کمینه می‌کنند:

$$\begin{cases} J_{FCM} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m d(x_i, v_j) \\ d(x_i, v_j) = x_i - v_j^2 \\ \sum_{j=1}^C u_{ij} = 1, u_{ij} \in [0, 1] \end{cases} \quad (13)$$

به‌منظور به‌روزرسانی پارامترهای تابع عضویت و مراکز خوشه، ابتدا تابع هزینه به فرم دو-گان، نوشته و نسبت به آنها از تابع هزینه مشتق گرفته می‌شود؛ در نتیجه، پارامترهای  $v_j$  و  $u_{ij}$  به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{cases} u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^C \left( \frac{d(x_i, v_j)}{d(x_i, v_k)} \right)^{\frac{1}{m-1}}} \\ v_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_i u_{ij}^m}{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m} \end{cases} \quad (14)$$

در تمامی الگوریتم‌های فراابتکاری  $J_{FCM}$  به‌عنوان تابع هزینه در نظر گرفته می‌شود و هدف اصلی بهینه‌کردن

که در آن،  $(X_M, Y_M)$  و  $(X_A, Y_A)$  به ترتیب مختصات لندمارک‌های به دست آمده به صورت خودکار و دستی هستند. همچنین، به منظور مشخص کردن دقت (A) و خطای (E) روش ارائه شده در اندازه‌گیری پارامترهای ذکر شده، رابطه (۱۸) به کار گرفته می‌شود:

$$\begin{cases} \text{Error} = |\text{Angle}_M - \text{Angle}_A| \\ \text{Accuracy} = 1 - \text{Error} \end{cases} \quad (18)$$

$\text{Angle}_A$  و  $\text{Angle}_M$  به ترتیب اندازه‌گیری دستی و اندازه‌گیری با روش پیشنهادی هستند که در محدوده  $[0,1]$  نرمال‌سازی شده‌اند.

جدول ۲ مقایسه نقاط کلیدی استخراج شده با استفاده از CRM استاندارد و روش پیشنهادی را براساس فاصله اقلیدسی نشان می‌دهد. نتایج به وضوح نشان می‌دهند روش پیشنهادی در مکان‌یابی تمامی لندمارک‌ها عملکرد بهتری دارد. جدول ۲ تأیید می‌کند اعمال روش HOG روی سه کانال R, G و B در فاز آموزش داده‌ها دقت بیشتری نسبت به اعمال روش HOG روی فضای خاکستری تصویر دارد. به جز لندمارک F12، عملکرد فاصله اقلیدسی تمامی لندمارک‌های مکان‌یابی شده با استفاده از روش پیشنهادی نسبت به روش [۲۵] کمتر است و در ادامه می‌تواند به عنوان روشی کاربردی در آنالیز جراحی‌های پلاستیک چهره به کار گرفته شود. در این مطالعه، ۳۳ لندمارک آشکارسازی شده برای آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره از نمای روبه‌رو به منظور کاربرد در جراحی‌های ترمیمی سر و صورت به کار گرفته می‌شوند. ۱۵ معیار آنتروپومتری نمای روبه‌روی چهره (شکل ۲) برای آنالیز سفالومتری چهره به کار گرفته می‌شوند. جدول ۳ دقت و خطای معیارهای آنتروپومتریکی اندازه‌گیری شده با استفاده از روش پیشنهادی را براساس رابطه (۱۸) نشان می‌دهد. جدول ۳ نشان می‌دهد دقت روش پیشنهادی در ۵ مورد از اندازه‌گیری‌ها، بالای ۹۵ درصد و در تمامی موارد، به جز اندازه‌گیری عرض دهان، بالای ۹۰ درصد است. نتایج تأیید می‌کنند روش پیشنهادی عملکرد قابل قبولی در مکان‌یابی نقاط کلیدی و اندازه‌گیری متریک‌های چهره برای کاربرد در آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره دارد. نمونه‌ای از نتایج گرافیکی روش پیشنهادی برای

تعداد پیکسل‌های غیرپوست بخش‌بندی شده به صورت دستی است. معیار S، نسبت پیکسل‌های پوست درست تشخیص داده شده است. براساس دو پارامتر SE و NSE، دو معیار دیگر را نیز می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\begin{cases} M_E = \sqrt{SE^2 + NSE^2} \\ M_S = \sqrt{SE^2 + NSE^2 + (1-S)^2} \end{cases} \quad (16)$$

معیار  $M_E$  هر دو نوع خطا را یکجا محاسبه می‌کند. همچنین، معیار  $M_S$  نتیجه کل آشکارسازی پوست چهره را ارزیابی می‌کند. براساس رابطه ۱۶، الگوریتمی که پایین‌ترین مقدار در معیارهای  $M_S$  و  $M_E$  و بالاترین مقدار در معیار S را داشته باشد، عملکرد مناسب را در بخش‌بندی تصویر ارائه خواهد کرد. مطابق جدول ۱، روش پیشنهادی با دقت ۹۶/۱۴ درصد بهترین عملکرد را در شاخص S نسبت به سایر روش‌های مقایسه شده دارد. مطابق با معیارهای  $M_E$  و  $M_S$ ، روش پیشنهادی عملکرد بهتری در شناسایی پیکسل‌های غیرپوست به طور صحیح دارد. براساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که الگوریتم‌های گرگ خاکستری (GWO) و HHO توانایی بالایی در بهینه‌سازی مسائل با بُعد بالا دارند. در مقابل، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) عملکرد قابل قبولی در بهینه‌سازی الگوریتم FCM به صورت گسسته ندارد. الگوریتم FCM را در دو حالت پیوسته و گسسته می‌توان به صورت یک مسئله بهینه‌سازی مطرح کرد. در حالت پیوسته، مسئله با بُعد پایین، مراکز خوشه به عنوان عامل جست‌وجو برای الگوریتم‌های فراابتکاری، در نظر گرفته و ماتریس عضویت به‌روزرسانی می‌شود. نتایج نشان می‌دهند الگوریتم‌های GWO و HHO برای بهینه‌سازی مسائل با بُعد بالا مناسب هستند.

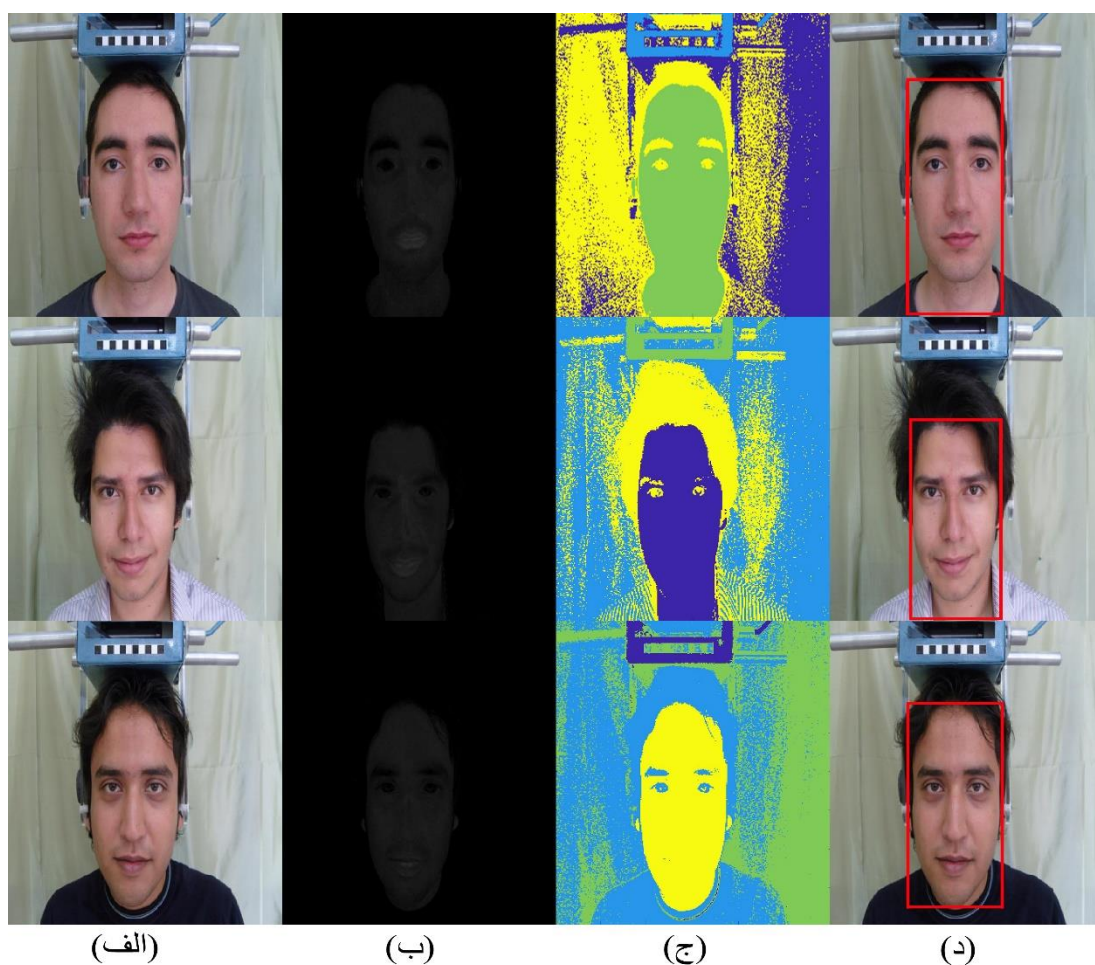
## ۲-۳- نتایج آنالیز نسبت‌های طلایی چهره

به منظور آنالیز روش پیشنهادی در مکان‌یابی لندمارک، فاصله اقلیدسی زیر به کار گرفته می‌شود:

$$\text{Dist} = \sqrt{(X_M - X_A)^2 + (Y_M - Y_A)^2} \quad (17)$$

جراحی‌های پلاستیک چهره در آنالیز سفالومتری چهره بیماران در قبل و بعد از عمل جراحی داشته باشد. نتایج پیاده‌سازی تأیید می‌کنند روش پیشنهادی با دقت بالا می‌تواند به‌عنوان یک روش هوشمند برای طراحی بسته نرم‌افزاری به‌منظور آنالیز سفالومتری چهره به کار گرفته شود.

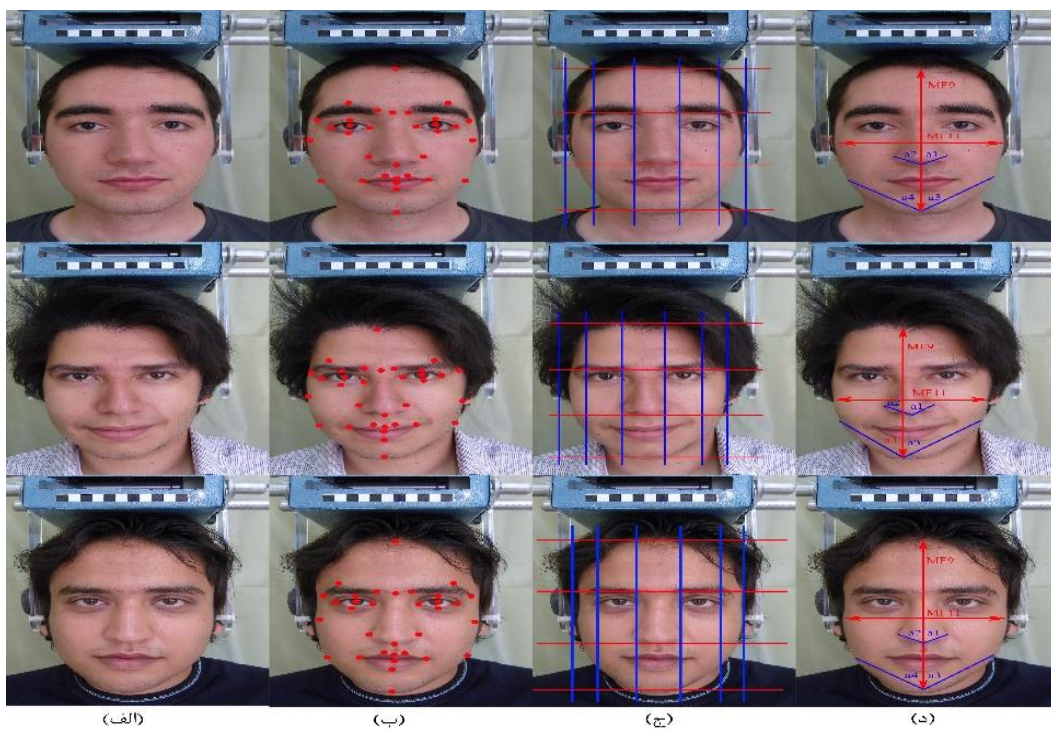
مکان‌یابی و اندازه‌گیری معیارهای آنترپومتریک چهره در شکل ۴ نشان داده شده است. در برنامه‌ریزی جراحی‌های ترمیمی و زیبایی چهره، اندازه‌گیری تمامی معیارهای آنترپومتریک چهره به‌صورت دستی سخت و زمان‌بر است. همچنین، این نوع از اندازه‌گیری به آموزش و مهارت نیازمند است؛ در نتیجه، ارائه روش‌های مبتنی بر پردازش تصویر و بینایی کامپیوتر می‌تواند کمک شایانی به متخصصان



شکل (۳): بخش‌بندی تصاویر رنگی نمای روبه‌رو چهره با روش پیشنهادی برای شناسایی ناحیه چهره. (الف): تصاویر اصلی. (ب): نگاشت چهره در کانال Pr. (ج): نتایج بخش‌بندی برای کانال Pr. (د): شناسایی ناحیه چهره.

جدول (۱): نتایج بخش‌بندی تصاویر رنگی چهره با استفاده از روش پیشنهادی FCMHHO.

روش	معیار SE		معیار NSE		معیار S		معیار $M_E$		معیار $M_S$	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
Standard FCM	۰/۱۷۶۱ <sup>۷</sup>	۰/۱۶۱۳	۰/۰۰۹۰ <sup>۳</sup>	۰/۰۱۰۴	۰/۸۲۳۹ <sup>۷</sup>	۰/۱۶۱۳	۰/۱۷۹۷ <sup>۷</sup>	۰/۱۵۷۸	۰/۲۵۲۰ <sup>۷</sup>	۰/۲۲۵۱
FCMPSO [۲۹]	۰/۲۰۹۳ <sup>۸</sup>	۰/۱۶۱۰	۰/۰۰۷۷ <sup>۱</sup>	۰/۰۰۸۳	۰/۷۹۰۷ <sup>۸</sup>	۰/۱۶۱۰	۰/۲۱۱۵ <sup>۸</sup>	۰/۱۵۸۵	۰/۲۹۷۸ <sup>۸</sup>	۰/۲۲۵۵
FCMCSA [۳۰]	۰/۰۶۵۵ <sup>۲</sup>	۰/۱۳۲۰	۰/۰۲۰۶ <sup>۸</sup>	۰/۰۴۱۲	۰/۹۳۴۵ <sup>۲</sup>	۰/۱۳۲۰	۰/۰۷۲۲ <sup>۲</sup>	۰/۱۳۶۴	۰/۰۹۸۱ <sup>۳</sup>	۰/۱۸۹۵
FCMWOA [۳۱]	۰/۱۱۴۲ <sup>۴</sup>	۰/۱۵۲۷	۰/۰۱۲۳ <sup>۵</sup>	۰/۰۱۱۹	۰/۸۸۵۸ <sup>۴</sup>	۰/۱۵۲۷	۰/۱۲۰۳ <sup>۴</sup>	۰/۱۴۸۹	۰/۱۶۶۶ <sup>۴</sup>	۰/۲۱۲۷
FCMBBO [۳۲]	۰/۱۲۳۰ <sup>۵</sup>	۰/۱۵۴۳	۰/۰۱۰۵ <sup>۴</sup>	۰/۰۰۷۱	۰/۸۸۷۰ <sup>۵</sup>	۰/۱۵۴۳	۰/۱۲۶۴ <sup>۵</sup>	۰/۱۵۲۰	۰/۱۷۶۷ <sup>۵</sup>	۰/۲۱۶۴
FCMGA [۳۳]	۰/۱۵۷۶ <sup>۶</sup>	۰/۱۵۶۵	۰/۰۰۸۸ <sup>۲</sup>	۰/۰۰۷۷	۰/۸۴۲۴ <sup>۶</sup>	۰/۱۵۶۵	۰/۱۵۹۹ <sup>۶</sup>	۰/۱۵۴۶	۰/۲۲۴۷ <sup>۶</sup>	۰/۲۱۹۸
FCMGWO [۳۴]	۰/۰۳۹۶ <sup>۲</sup>	۰/۰۸۹۴	۰/۰۱۴۹ <sup>۷</sup>	۰/۰۱۰۹	۰/۹۶۰۲ <sup>۲</sup>	۰/۰۸۹۴	۰/۰۴۶۸ <sup>۲</sup>	۰/۰۸۷۷	۰/۰۶۲۰ <sup>۲</sup>	۰/۱۲۴۹
FCMHHO	۰/۰۳۸۶ <sup>۱</sup>	۰/۰۸۵۳	۰/۰۱۴۶ <sup>۶</sup>	۰/۰۱۰۶	۰/۹۶۱۴ <sup>۱</sup>	۰/۰۸۵۳	۰/۰۴۵۵ <sup>۱</sup>	۰/۰۸۳۸	۰/۰۶۰۳ <sup>۱</sup>	۰/۱۱۹۲



شکل (۴): آنالیز سفالومتری نمای روبه‌روی چهره با استفاده از روش پیشنهادی. (الف): تصویر اصلی. (ب): لندمارک‌های مکان‌یابی شده. (ج): اندازه‌گیری نسبت‌های یک‌سوم قسمت عمودی و یک‌پنجم قسمت افقی چهره. (د): نمونه‌ای از متریک‌های اندازه‌گیری شده.

جدول (۲): مقایسه نتایج میانگین فاصله اقلیدسی لندمارک‌های آشکارسازی شده براساس CRM استاندارد [۲۵] و روش پیشنهادی

روش پیشنهادی	[۲۵]	لندمارک	روش پیشنهادی	[۲۵]	لندمارک
۱/۹۳۰	۲/۷۷۷	F18	۲/۹۹۸	۳/۰۲۴	F1
۲/۴۴۹	۳/۳۰۳	F19	۳/۴۳۴	۴/۰۴۳	F2
۲/۷۵۷	۳/۷۳۸	F20	۴/۴۰۳	۴/۶۴۱	F3
۲/۹۳۷	۴/۱۸۲	F21	۳/۵۴۴	۳/۷۸۸	F4
۲/۸۳۴	۳/۸۱۸	F22	۴/۴۹۸	۴/۷۰۷	F5
۲/۵۱۰	۳/۵۰۰	F23	۴/۱۰۴	۴/۹۶۰	F6
۳/۶۲۵	۴/۱۵۲	F24	۴/۹۷۴	۵/۲۸۰	F7
۳/۴۸۹	۴/۱۰۲	F25	۳/۲۲۷	۴/۰۶۷	F8
۳/۱۵۵	۳/۶۸۶	F26	۳/۴۳۸	۴/۰۳۷	F9
۳/۰۱۸	۳/۴۰۲	F27	۲/۶۱۰	۳/۳۳۷	F10
۳/۲۴۱	۳/۶۷۸	F28	۳/۲۲۶	۳/۸۷۰	F11
۲/۷۷۴	۳/۲۷۸	F29	۳/۴۸۲	۴/۴۶۹	F12
۳/۳۳۴	۳/۶۹۷	F30	۴/۵۷۳	۵/۲۶۱	F13
۲/۶۱۴	۳/۰۶۲	F31	۲/۴۶۵	۳/۴۲۸	F14
۲/۸۲۵	۳/۲۸۹	F32	۲/۰۶۵	۲/۹۹۷	F15
۲/۷۳۵	۳/۱۸۱	F33	۲/۲۲۸	۲/۹۶۴	F16
-	-	-	۲/۶۵۳	۳/۵۰۸	F17

جدول (۳): دقت و خطای روش پیشنهادی در آنالیز بافت نرم چهره برای اندازه‌گیری معیارهای چهره

خطا (%)	دقت (%)	متریک	خطا (%)	دقت (%)	متریک
۶,۷۶	۹۳,۲۴	MF7	۶,۸۵	۹۳,۱۵	MF1
۱۲,۹۱	۸۷,۰۹	MF8	۴,۴۴	۹۵,۵۶	MF2
۱,۶۰	۹۸,۴۰	MF9	۹,۳۳	۹۰,۶۷	MF3
۳,۴۷	۹۶,۵۳	MF10	۵,۲۳	۹۴,۷۷	MF4
۲,۰۵	۹۷,۹۵	MF11	۳,۸۱	۹۶,۱۹	MF5
-	-	-	۳,۸۶	۹۶,۱۴	MF6

#### ۴- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

متخصصان جراحی‌های پلاستیک چهره، در آنالیز آنتروپومتری چهره با تعدادی مشکلات مواجه‌اند. (۱) اندازه‌گیری متریک‌های چهره با به‌کارگیری ابزارهای مکانیکی مانند کولیس و خطکش سخت و دشوار است. (۲) کالیبره کردن و مدیریت داده‌ها در قبل و بعد از عمل جراحی دشوار است. در این مقاله، با تکیه بر روش‌های هوشمند در حوزه پردازش تصویر و بینایی کامپیوتر روشی برای حل

مشکلات مطرح شده در حوزه پزشکی ارائه شد. در این پژوهش، برای اندازه‌گیری نسبت‌های طلایی چهره به مکان‌یابی ۳۳ نقطه آناتومیکی چهره نیازمند بودیم. در این راستا، تخمین اولیه مکان چهره در فرایند ارزیابی داده‌های جدید و به‌کارگیری روشی مناسب برای آشکارسازی لندمارک‌های چهره جزء چالش‌های اصلی تحقیق مطرح بودند. برای این منظور، در این مطالعه دو نوآوری اصلی مطرح شدند. (۱) بخش‌بندی چهره برای تخمین اولیه مکان چهره نقش کلیدی در مکان‌یابی نقاط کلیدی چهره دارد.



محاسبه میزان تشابه هر ریخت از هر داده با سایر ریخت‌ها و با رتبه‌بندی کردن آنها، می‌توان به‌جای میانگین گرفتن از تمامی ریخت‌ها از ریخت‌های برتر میانگین گرفت. (۲) مکان‌یابی اجزای چهره مانند چشم و دهان و قراردادن لندمارک‌های مربوط به این نواحی در محدوده مشخص شده می‌تواند باعث افزایش سرعت همگرایی در مرحله آموزش شود؛ در نتیجه، آشکارسازی نواحی چشم و دهان می‌تواند به‌عنوان بخشی از روش ارائه‌شده مطرح شود. (۳) آنالیز سفالومتری و اندازه‌گیری متریک‌های چهره به‌طور هم‌زمان از هر دو نمای روبه‌رو و جانبی چهره اطلاعات مهمی را از ساختار و وضعیت چهره بیمار در اختیار متخصص قرار می‌دهد. بر همین اساس، به‌کارگیری روش پیشنهادی برای آشکارسازی لندمارک‌های نمای جانبی چهره و اندازه‌گیری زوایای این نما نیز می‌تواند به‌عنوان یکی از کارهای آینده برای این حوزه مطرح شود.

## مراجع

- [1] Kaipainen, AE, Sieber KR, Nada RM, Maal TJ, Katsaros C, Fudalej PS. Regional facial asymmetries and attractiveness of the face. *European journal of orthodontics*. 2016 Dec 1;38(6):602-8. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjv087>
  - [2] Kaya, KS, Türk B, Cankaya M, Seyhun N, Coşkun BU. Assessment of facial analysis measurements by golden proportion. *Brazilian journal of otorhinolaryngology*. 2019 Aug 29;85:494-501. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2018.07.009>
  - [3] Liu, S, Fan YY, Samal A, Guo Z. Advances in computational facial attractiveness methods. *Multimedia Tools and Applications*. 2016 Dec;75:16633-63. <https://doi.org/10.1007/s11042-016-3830-3>
  - [4] Tang, X, Guo F, Shen J, Du T. Facial landmark detection by semi-supervised deep learning. *Neurocomputing*. 2018 Jul 5;297:22-32. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.01.080>
  - [5] Park, BH, Oh SY, Kim IJ. Face alignment using a deep neural network with local feature learning and recurrent regression. *Expert Systems with Applications*. 2017 Dec 15;89:66-80. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.07.018>
  - [6] Wu, Y, Hassner T, Kim K, Medioni G, Natarajan P. Facial landmark detection with tweaked convolutional neural networks. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 2017 Dec 25;40(12):3067-74. DOI: 10.1109/TPAMI.2017.2787130
  - [7] Abrishami, M, Mahdavi Shahri N. Photographic study of lip anthropometric pattern development in the Fars family in Mashhad. *Anatomical Sciences Journal*. 2014 Nov 10;11(4):175-82.
- برای این منظور الگوریتم FCM به کار گرفته شد. عیب مهم این الگوریتم این است که به مقادیر اولیه حساس است و در کمینه محلی می‌افتد. برای غلبه بر این مسئله، این الگوریتم به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی مطرح شد. خوشه‌بند FCM در دو حالت پیوسته و گسسته می‌تواند به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی مطرح شود. در حالت بهینه‌سازی پیوسته، مراکز خوشه به‌عنوان عامل‌های جست‌وجو برای الگوریتم‌های فراابتکاری در نظر گرفته می‌شوند؛ درحالی‌که در بهینه‌سازی گسسته ماتریس عضویت به‌عنوان جمعیت‌های اولیه برای این الگوریتم‌ها در نظر گرفته می‌شوند. بهینه‌سازی شاهین هریس (HHO) عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسائل با بُعد بالا دارد. با توجه به بالا بودن بُعد مسئله بهینه‌سازی مطرح‌شده در این مطالعه، از الگوریتم HHO برای بهینه‌کردن خوشه‌بند FCM استفاده شد. نتایج نشان دادند بهینه‌سازی الگوریتم FCM در حالت گسسته عملکرد بهتری نسبت به بهینه‌سازی آن در حالت پیوسته دارد. (۲) مکان‌یابی نقاط کلیدی چهره، آشکارسازی لندمارک، نقش مهمی در اندازه‌گیری متریک‌های چهره دارد. روش‌های مبتنی بر رگرسیون آبخاری (CRM) جزء محبوب‌ترین روش‌های مبتنی بر شکل برای آشکارسازی لندمارک‌های چهره بود که در کاربردهای مختلفی نظیر انیمیشن چهره، شناسایی هویت و حالات چهره، تخمین سن و آنالیز سفالومتری چهره به کار گرفته می‌شوند. در مرحله آموزش، ابتدا ویژگی‌های هیستوگرام جهت‌دار (HOG) اطراف هر لندمارک تعریف‌شده در فضای خاکستری به دست آمد. سپس با ایجاد مدل داده‌های تست ارزیابی شدند. استخراج ویژگی اطراف لندمارک‌های تعریف‌شده در فضای خاکستری تصویر، عملکرد مناسبی در مکان‌یابی نقاط کلیدی چهره از خود نشان نداد. برای این منظور، استخراج ویژگی در هر سه کانال فضای رنگی RGB برای بهبود عملکرد روش CRM به کار گرفته شد؛ درنهایت، الگوریتم پیشنهادی با نوآوری‌های مطرح‌شده برای اندازه‌گیری نسبت‌های طلایی چهره به کار گرفته شد. به‌منظور بهبود روش ارائه‌شده، ۳ موضوع اصلی می‌تواند در ادامه مطرح شوند. (۱) در مرحله آموزش داده‌ها در الگوریتم CRM، میانگین ریخت‌ها به‌عنوان الگوی اولیه مطرح می‌شود. با

- computation by deep residual learning. *IEEE Transactions on Multimedia*. 2017 Dec 6;20(8):2196-208.  
DOI: 10.1109/TMM.2017.2780762
- [21] Bugaighis, I, Mattick CR, Tiddeman B, Hobson R. Three-dimensional gender differences in facial form of children in the North East of England. *The European Journal of Orthodontics*. 2013 Jun 1;35(3):295-304.  
<https://doi.org/10.1093/ejo/cjr033>
- [22] Lippold C, Liu X, Wangdo K, Drerup B, Schreiber K, Kirschneck C, Moiseenko T, Danesh G. Facial landmark localization by curvature maps and profile analysis. *Head & Face Medicine*. 2014 Dec;10:1-7. <https://doi.org/10.1186/1746-160X-10-54>
- [23] Mercan, E, Morrison CS, Stuhag E, Shapiro LG, Raymond WT. Novel computer vision analysis of nasal shape in children with unilateral cleft lip. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2018 Jan 1;46(1):35-43.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcms.2017.10.018>
- [24] Heidari, AA, Mirjalili S, Faris H, Aljarah I, Mafarja M, Chen H. Harris hawks optimization: Algorithm and applications. *Future generation computer systems*. 2019 Aug 1;97:849-72.  
<https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.028>
- [25] Feng, ZH, Hu G, Kittler J, Christmas W, Wu XJ. Cascaded collaborative regression for robust facial landmark detection trained using a mixture of synthetic and real images with dynamic weighting. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2015 Jun 17;24(11):3425-40.  
DOI: 10.1109/TIP.2015.2446944
- [26] Bai, R, Hou Q, Wang J, Gong Y. Facial Animation Based on 2D Shape Regression. In *Advances in Multimedia Information Processing-PCM 2016: 17th Pacific-Rim Conference on Multimedia, Xi'an, China, September 15-16, 2016, Proceedings, Part II 2016* (pp. 33-42). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48896-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48896-7_4)
- [27] Gogić, I, Ahlberg J, Pandžić IS. Regression-based methods for face alignment: A survey. *Signal Processing*. 2021 Jan 1;178:107755.  
<https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2020.107755>
- [28] Bakhshali, M, Shamsi M, Sadeghi M. Evaluation of facial soft tissue parameters for Northwestern students in Iran. *Journal of Craniomaxillofacial Research*. 2015 Oct 13:78-82.
- [29] Verma, H, Verma D, Tiwari PK. A population-based hybrid FCM-PSO algorithm for clustering analysis and segmentation of brain image. *Expert systems with applications*. 2021 Apr 1;167:114121.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114121>
- [30] Lenin, Fred A, Kumar SN, Padmanaban P, Gulyas B, Ajay Kumar H. Fuzzy-crow search optimization for medical image segmentation. *Applications of hybrid metaheuristic algorithms for image processing*. 2020:413-39.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-40977-7\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-40977-7_18)
- [31] Tongbram, S, Shimray BA, Singh LS, Dhanachandra N. A novel image segmentation
- [8] Asghari, A, Rajaeih S, Hassannia F, Tavakolifard N, Neisyani HF, Kamrava SK, Jalessi M, Omidian P. Photographic facial soft tissue analysis of healthy Iranian young adults: anthropometric and angular measurements. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*. 2014;28:49.
- [9] Almukhtar, A, Khambay B, Ju X, McDonald J, Ayoub A. Accuracy of generic mesh conformation: The future of facial morphological analysis. *JPRAS Open*. 2017 Dec 1;14:39-48.  
<https://doi.org/10.1016/j.jptra.2017.08.003>
- [10] Fahmi, A, Shamsi M, Rouni H. Anthropometric Analysis of Face using Local Gaussian Distribution Fitting Applicable for Facial Surgery. *Signal and Data Processing*. 2020 Jun 10;17(1):61-78. DOI: 10.29252/jsdp.17.1.61 [In Persian].
- [11] Fahmi Jafargholkhanloo A, Shamsi M. Estimation of Ear Parameters Applicable to Otoplasty Surgery. *Journal of Soft Computing and Information Technology*, 2020 May 21;9(1):36-45.
- [12] Singh, J, Arora AS. An automated approach to enhance the thermographic evaluation on orofacial regions in lateral facial thermograms. *Journal of thermal biology*. 2018 Jan 1;71:91-8.  
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.11.001>
- [13] Bakhshali, MA, Shamsi M. Estimating facial angles using Radon transform. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*. 2015;23(3):804-12. DOI: <https://doi.org/10.3906/elk-1302-87>
- [14] Liu, Y, Huang ML, Huang W, Liang J. A physiognomy-based method for facial feature extraction and recognition. *Journal of Visual Languages & Computing*. 2017 Dec 1;43:103-9.  
<https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2017.09.006>
- [15] Salazar, A, Daza GS, Sánchez L, Prieto F, Castellanos G, Quintero C. Feature extraction & lips posture detection oriented to the treatment of CLP children. In *2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2006 Aug 30* (pp. 5747-5750). IEEE. DOI: 10.1109/IEMBS.2006.260478
- [16] Seyedsalehi, SZ, Seyedsalehi SA. Attractor analysis in associative neural networks and its application to facial image analysis. *Computational Intelligence in Electrical Engineering*. 2018 Aug 19;9(1):79-96. DOI: 10.22108/ISEE.2018.90029.0 [In Persian].
- [17] Zhang, D, Zhao Q, Chen F. Quantitative analysis of human facial beauty using geometric features. *Pattern Recognition*. 2011 Apr 1;44(4):940-50.  
<https://doi.org/10.1016/j.patcog.2010.10.013>
- [18] Liu, S, Fan YY, Guo Z, Samal A, Ali A. A landmark-based data-driven approach on 2.5 D facial attractiveness computation. *Neurocomputing*. 2017 May 17;238:168-78.  
<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.01.050>
- [19] Zhang, B, Xiao X, Lu G. Facial beauty analysis based on features prediction and beautification models. *Pattern Analysis and Applications*. 2018 May;21:529-42. <https://doi.org/10.1007/s10044-017-0647-2>
- [20] Fan YY, Liu S, Li B, Guo Z, Samal A, Wan J, Li SZ. Label distribution-based facial attractiveness

- Intelligent Computing: Theory and Applications: FICTA 2016, Volume 1 2017 (pp. 435-443). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3153-3\\_43](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3153-3_43)
- [34] Li, MQ, Xu LP, Xu N, Huang T, Yan B. SAR image segmentation based on improved grey wolf optimization algorithm and fuzzy c-means. *Mathematical Problems in Engineering*. 2018 Jan 1;2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4576015>
- [35] Ford, A, Roberts A. *Colour space conversions*. Westminster University, London. 1998 Aug 11;1998:1-31.
- approach using fcm and whale optimization algorithm. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*. 2021 Jan 2:1-5. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02762-w>
- [32] Zhang, M, Jiang W, Zhou X, Xue Y, Chen S. A hybrid biogeography-based optimization and fuzzy C-means algorithm for image segmentation. *Soft computing*. 2019 Mar 29;23:2033-46. <https://doi.org/10.1007/s00500-017-2916-9>
- [33] Das, S, De S. A modified genetic algorithm based FCM clustering algorithm for magnetic resonance image segmentation. In *Proceedings of the 5th International Conference on Frontiers in*