

Cephalometry Analysis of Facial Soft Tissue based on MRI Images Applicable for Facial Reconstruction Surgeries

Ali Fahmi Jafargholkhanloo¹, Mousa Shamsi^{2*}

Department of Bioelectric, Faculty of Biomedical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran^{1,2}

E-mails: a_fahmi@sut.ac.ir; shamsi@sut.ac.ir

* means corresponding author

Abstract

Nowadays, facial plastic surgeries have increased significantly in societies due to the elimination of defects in a person's appearance caused by congenital problems, accidents and beautiful facial structure. Therefore, the development of hardware and software systems in the field of facial plastic surgeries can help to surgeons in the Cephalometry analysis of patients' faces before and after surgery. This study presents a new method in the analysis of facial reconstruction surgeries based on MRI images. The presented method includes three main parts (1) pre-processing, (2) feature extraction, and (3) feature selection. In the pre-processing step, the optimized fuzzy clustering (FCM) using reptile search algorithm (RSA) is used for image segmentation. The feature extraction phase includes: (1) using the aggregate channel features (ACF) method to locate the eyes and mouth components from the front view, (2) contour simplification (CS), (3) signal smoothing using Savitzky-Golay (SG) fitting, and (4) Hough transform. In the feature selection phase, nine anatomical landmarks of facial soft tissue are localized from the profile view. Experimental results show that the presented method has high accuracy in estimating angles and locating facial landmarks and is considered as a new method in the field of facial reconstruction surgeries. This study is effective in the developing simulation systems and can be used as a software package in hospitals and medical clinics.

Keywords

Reptile Search Algorithm, Fuzzy C-means Clustering, Cephalometry Analysis of Facial Soft Tissue, Magnetic Resonance Imaging, Aggregate Channel Feature, Contour Simplification .

1- Short Introduction

Cephalometry analysis of facial soft tissue plays an important role for anthropologists in facial plastic surgeries. Nowadays, facial plastic surgeries have increased significantly in societies due to the elimination of defects in a person's appearance caused by congenital problems, accidents and beautiful facial structure. Image calibration and its management are two important problems in facial plastic surgery analysis. Also, using the mechanical tools such as a ruler for the manual analysis of facial cephalometry are highly error-inclined. Therefore, the development of hardware and software systems can help to surgeons in the Cephalometry analysis of patients' faces before and after surgery.

2- Proposed Work and Methodology

In this study an automatic method was presented for facial reconstruction surgery analysis based on MRI images. The optimized fuzzy clustering (FCM) using reptile search algorithm (RSA) was used for image segmentation. Aggregate channel features (ACF) method was used to locate the eyes and mouth components from the front view. Also, contour simplification (CS), signal smoothing using Savitzky-Golay (SG) fitting, and Hough transform methods were applied for feature extraction. Finally, nine anatomical landmarks were localized from the profile view. Experimental results show that the accuracy of presented method is above 90% in all measurements.

3- Conclusion

In this study, by detection 9 landmarks and measuring 14 facial metrics, an effective step was presented for analysis of facial reconstruction surgeries. In the segmentation step, the reptile search algorithm was used to optimize the fuzzy clustering. Using the ACF detector showed that this method is an effective method for object identification and can be used for identification of facial soft tissue components. Also, using the contour simplification method showed that the polygonal simplification and line simplification methods can improve the performance of line detection based methods.

آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره مبتنی بر تصاویر MRI جهت کاربرد در جراحی‌های بازسازی چهره

علی فهمی جعفرقلخانلو

دکتری، گروه بیوالکتریک، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

موسی شمسی

استاد، گروه بیوالکتریک، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

چکیده

امروزه، جراحی‌های پلاستیک چهره به دلیل برطرف کردن نقص‌های موجود در ظاهر یک شخص ناشی از مشکلات مادرزادی، تصادفات و ساختار چهره‌ی زیبا به‌طور چشم‌گیری در جوامع افزایش پیدا کرده است. در نتیجه، رشد و توسعه‌ی امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در حوزه‌ی جراحی‌های پلاستیک چهره می‌تواند کمک شایانی به متخصصین در آنالیز سفالومتری چهره‌ی بیماران قبل و بعد عمل جراحی داشته باشد. در این مقاله یک روش جدید جهت آنالیز جراحی‌های بازسازی چهره مبتنی بر تصاویر MRI ارائه می‌شود. روش ارائه شده شامل سه بخش اصلی (۱) پیش‌پردازش، (۲) استخراج ویژگی، و (۳) انتخاب ویژگی است. در بخش پیش‌پردازش، جهت بخش‌بندی تصویر روش مبتنی بر بهینه‌سازی خوشه‌بند فازی (FCM) با استفاده از الگوریتم جستجوی خزندگان (RSA) به کار گرفته می‌شود. مرحله استخراج ویژگی شامل: (۱) به کارگیری روش جمع‌شدن ویژگی‌های کانال (ACF) جهت مکان‌یابی اجزای چشم‌ها و دهان از نمای روبروی چهره، (۲) ساده‌سازی کانتور (CS)، (۳) صاف‌سازی سیگنال با استفاده از روش SG، و (۴) تبدیل هاف است. فاز انتخاب ویژگی شامل آشکارسازی ۹ لندمارک آناتومیک نمای جانبی بافت نرم چهره است. نتایج پژوهش نشان می‌دهند که روش ارائه شده دقت بالایی در تخمین زوایا و مکان‌یابی لندمارک‌های چهره داشته و به‌عنوان روشی جدید در حوزه‌ی جراحی‌های بازسازی چهره محسوب می‌شود.

کلمات کلیدی

الگوریتم جستجوی خزندگان، الگوریتم خوشه‌بند فازی، آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره، تصاویر MRI، جمع‌شدن ویژگی‌های کانال، ساده‌سازی کانتور.

نام نویسنده مسئول: دکتر موسی شمسی

ایمیل نویسنده مسئول: shamsi@sut.ac.ir

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹

تاریخ(های) اصلاح مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۱۳

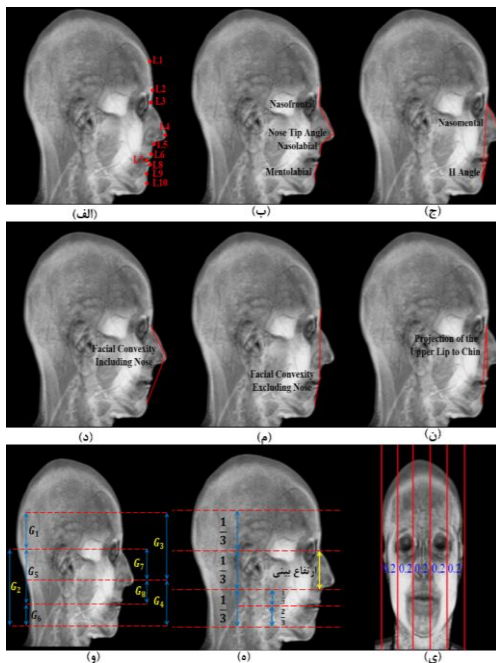
۱- مقدمه

مقطع‌نگاری محاسباتی، جهت ارزیابی ویژگی‌های چهره به کار گرفته می‌شوند. در آنالیز ویژگی‌های چهره به‌صورت دستی از ابزارهای مکانیکی نظیر کولیس و خط‌کش استفاده می‌شود. این روش‌ها به دلیل کم هزینه بودن ابزارهای موردنظر می‌تواند روش مناسبی جهت آنالیز سفالومتری چهره باشند، اما عیب اصلی و مهم این روش‌ها در این است که به زمان بیشتری جهت اندازه‌گیری نیاز دارند. فوتوگرامتری دوبعدی یک روش جایگزین برای روش اول از طریق أخذ تصاویر بیماران قبل و بعد عمل جراحی است. عیب اصلی این روش در این است که اطلاعاتی از ساختارهای زیر پوستی (ساختارهای استخوانی) چهره در اختیار نمی‌گذارد. فوتوگرامتری سه‌بعدی از اسکنرهای لیزری سه‌بعدی با قابلیت چرخش در زوایای مختلف استفاده می‌کند. عیب مهم این روش در بالا بودن هزینه‌ی دستگاه‌های مورد استفاده است [۴-۸].

آشکارسازی نقاط کلیدی چهره، یا مکان‌یابی لندمارک‌ها، تشخیص نقاط

چهره‌ی یک فرد تأثیرگذارترین قسمت ظاهر فیزیکی بوده و به‌عنوان یک معیار خیلی مهم در روابط اجتماعی محسوب می‌شود. تحقیقات روانشناسی نشان می‌دهند که در مقایسه با افرادی که چهره‌ی جذابی ندارند، افراد با چهره‌ی جذاب معمولاً بالاترین 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 چهره‌ی زیبا به‌طور چشم‌گیری در جوامع افزایش پیدا کرده است. در نتیجه، رشد و توسعه‌ی امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در حوزه‌ی جراحی‌های پلاستیک چهره می‌تواند کمک شایانی به متخصصین در آنالیز سفالومتری چهره‌ی بیماران قبل و بعد عمل جراحی داشته باشد [۱-۳]. در آنالیز جراحی‌های چهره، انواع متفاوتی از روش‌ها شامل: آنتروپومتری دستی، فوتوگرافی دوبعدی، فوتوگرامتری سه‌بعدی و

سفالوگرام نمای جانبی چهره ارائه کرده‌اند. در این مطالعه ۱۹ لندمارک آناتومیک سفالوگرام چهره آشکارسازی شده است. Ozkul و همکاران [۲۶] سامانه‌ی شبیه‌سازی کامپیوتری جهت برنامه‌ریزی جراحی رینوپلاستی را ارائه کرده‌اند. ژانگ و همکاران [۲۷]، روش مبتنی بر مدل‌های زیباشناسی را جهت آنالیز زیبایی چهره ارائه کرده‌اند. لیو و همکاران [۲۸]، روش مبتنی بر فیزیوگنومی چهره را جهت استخراج ویژگی و شناسایی چهره ارائه کرده‌اند. فان و همکاران [۲۹]، روش مبتنی بر یادگیری عمیق را به منظور محاسبه‌ی زیبایی چهره ارائه کرده‌اند. چن و همکاران [۳۰]، روش مبتنی بر مدل ریخت فعال (ASM^3) را جهت آنالیز، پیش‌بینی و بازبینی چهره ارائه کرده‌اند. رازی و همکاران [۳۱]، روش مبتنی بر هیستوگرام اجزای چهره را جهت آنالیز زیبایی چهره ارائه کرده‌اند. مارسیکو و همکاران [۳۲]، روش مبتنی بر PCA را جهت شناسایی چهره بعد از جراحی پلاستیک ارائه کرده‌اند. Sable و همکاران [۳۳]، روش مبتنی بر آنتروپی را به منظور شناسایی چهره پس از عمل جراحی ارائه کرده‌اند. فهمی و شمسی [۳۴] جهت آنالیز آنتروپومتری نمای روبروی تصاویر رنگی چهره، روش مبتنی بر مدل رگرسیون آبشاری وزن‌دار ($WCRM^4$) را ارائه کردند. در این روش با آشکارسازی ۳۳ لندمارک آناتومیک، متریک‌های نمای روبروی چهره جهت کاربرد در آنالیز جراحی‌های چهره اندازه‌گیری شده است. فهمی و شمسی [۳۵] به منظور اندازه‌گیری متریک‌های زاویه‌ای نمای جانبی چهره جهت کاربرد در جراحی‌های رینوپلاستی و منتوپلاستی روش مبتنی بر استخراج کانتور نمای جانبی با ویژگی متعامد بودن تصاویر رنگی چهره را معرفی کردند.



شکل ۱- لندمارک‌ها و اندازه‌گیری‌های به‌کار گرفته شده جهت آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره مبتنی بر تصاویر MRI: (الف) لندمارک‌های نمای جانبی چهره، (ب) زوایای نازوفرونتال، نوک بینی، نازولابیال، و منتولابیال، (ج) زوایای نازومنتال و H، (د) تقعر چهره شامل بینی، (م) تقعر چهره بدون بینی، (ن) پروجکشن لب بالا تا چانه، (و) معیارهای اندازه‌گیری نسبت طلایی چهره، (ه) نسبت یک به سه عمودی چهره و ارتفاع بینی، (ی) نسبت یک به پنج افقی چهره.

کلیدی بوده که ریخت یک چهره را نشان می‌دهد. مکان‌یابی نقاط کلیدی چهره یک نقش مهم در کاربردهای وابسته به پردازش تصاویر چهره، نظیر: شناسایی حالات چهره، تخمین موقعیت سر، انیمیشن چهره و جراحی‌های بازسازی چهره ایفا می‌کند [۹-۱۱]. جهت آنالیز جراحی‌های رینوپلاستی و منتوپلاستی، دانش زوایای نمای جانبی چهره ضروری بوده که این امر براساس نقاط کلیدی بافت نرم چهره امکان‌پذیر است. در این مطالعه از ۹ لندمارک آناتومیک شامل گلابلا (L_2)، نازیون (L_3)، پرونازال (L_4)، ساب‌نازال (L_5)، لب بالا (L_6)، استومیون (L_7)، لب پایین (L_8)، سوپرامنتال (L_9)، و پاگونیون (L_{10}) (شکل ۱، الف) به منظور اندازه‌گیری زوایای نازوفرونتال، نوک بینی، نازولابیال، نازومنتال، منتولابیال، H، تقعر چهره با در نظر گرفتن ساختار بینی، تقعر چهره بدون در نظر گرفتن ساختار بینی و پروجکشن لب بالا تا چانه (شکل ۱، ب-ن) به‌کار گرفته می‌شوند [۱۲-۱۴]. یکی از مهم‌ترین معیارهای آنالیز سفالومتری چهره، اندازه‌گیری نسبت طلایی چهره (شکل ۱، و) بوده که به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{G_1 + G_2}{G_1} = \frac{G_3 + G_4}{G_3} = \frac{G_5 + G_6}{G_5} = \frac{G_4 + G_7}{G_4} = \frac{G_7 + G_8}{G_7} = 1.618 \quad (۱)$$

بیشتر کارهای تحقیقاتی انجام گرفته در زمینه جراحی‌های چهره و زیباشناسی شامل دو رویکرد مبتنی بر تصاویر رنگی و مبتنی بر تصاویر رادیوگرافی هستند. کارهای تحقیقاتی محدودی در زمینه آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره مبتنی بر تصاویر MRI به‌صورت تمام‌خودکار انجام شده است. با توجه به اینکه عمده‌ی کارهای انجام گرفته شامل: بخش‌بندی پوست چهره، آشکارسازی لندمارک‌های چهره جهت اندازه‌گیری کمی معیارهای چهره مبتنی بر تصاویر رنگی و رادیوگرافی، آنالیز زیبایی چهره و شناسایی چهره پس از انجام جراحی‌های پلاستیک چهره هستند، در ادامه به توضیح مختصر بر کارهای تحقیقاتی انجام گرفته در زمینه‌های ذکر شده خواهیم پرداخت.

شمسی و همکاران [۱۵]، جهت بخش‌بندی خودکار پوست نماهای روبرو و جانبی چهره تحت تغییرات روشنایی، مدل مبتنی بر تخمین EM^1 را ارائه کرده‌اند. بخشی و همکاران [۱۶]، جهت بازبینی تصویر چهره روش مبتنی بر استخراج ویژگی‌های مکان-فرکانسی را ارائه کرده‌اند. روش ارائه شده، با استخراج ویژگی‌های مناسب، فاصله‌ی بین چهره‌ی افراد در فضای ویژگی را افزایش می‌دهد. صادقی و همکاران [۱۷]، جهت شناسایی حالات چهره روش مبتنی بر تبدیل موجک مختلط را ارائه کرده‌اند. فرانسیکو و همکاران [۱۸]، جهت آشکارسازی چهره روش مبتنی بر آنتروپی فازی را ارائه کرده‌اند. Gorbenko و همکاران [۱۹]، به منظور بخش‌بندی خودکار بافت نرم چهره در تصاویر MRI روش مبتنی بر نرمال‌سازی غیرسخت جهت کاربرد در اندازه‌گیری ضخامت بافت نرم را ارائه کرده‌اند. سال‌آذر و همکاران [۲۰]، روش مبتنی بر استخراج کانتور ناحیه‌ی دهان را به منظور آشکارسازی حالت دهان در کودکان مبتلا به شکاف لب ارائه کرده‌اند. Vucinic و همکاران [۲۱]، به منظور آشکارسازی لندمارک‌های تصاویر سفالوگرام چهره روش مبتنی بر مدل ظاهر فعال (AAM^2) را ارائه کرده‌اند. در این مطالعه، ۱۳۱ لندمارک آناتومیک چهره آشکارسازی شده است. بخشعلی و شمسی [۲۲]، جهت تخمین زوایای چهره شامل: نوک بینی، چانه، و نازولابیال روش مبتنی بر تبدیل رادون را ارائه کرده‌اند. فهمی و شمسی [۲۳] جهت اندازه‌گیری متریک‌های گوش به منظور کاربرد در آنالیز جراحی اتوپلاستی روش مبتنی بر استخراج کانتور مبتنی بر تنظیم گوسین مکانی را ارائه کردند. Geros و همکاران [۲۴]، یک محیط گرافیکی به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های چهره مبتنی بر تصاویر RGB-D را جهت کاربرد در جراحی‌های بازسازی چهره طراحی کردند. وانگ و همکاران [۲۵]، روش مبتنی بر انتخاب رگرسیون درخت تصمیم‌گیر چند وضوحه را به منظور آنالیز

³ Active Shape Model

⁴ Weighted Cascade Regression Model

¹ Expectation Maximization

² Active Appearance Model

تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به‌منظور غلبه بر این مسئله، الگوریتم‌های فراابتکاری به‌کار گرفته می‌شوند. [۳۶]. تابع هدف این الگوریتم به‌صورت زیر بیان می‌شود:

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

که در آن u_{ij} و v_j به‌ترتیب ماتریس عضویت و مراکز خوشه هستند. خوشه‌بند FCM را می‌توان به‌عنوان یک مسئله‌ی بهینه‌سازی در نظر گرفت، برای غلبه بر مشکلات ذکر شده، در ادامه الگوریتم جستجوی خزندگان معرفی می‌شود.

الگوریتم RSA [۳۷] در سال ۲۰۲۲ توسط Abualigah و همکاران معرفی شد. ایده‌ی اصلی این الگوریتم از نحوه‌ی رفتار محاصره و شکار کوروکودیل‌ها الهام گرفته شده است. کوروکودیل‌ها خزندگان نیمه آبی هستند که در مناطق گرمسیر مانند استرالیا، آفریقا و آسیا زندگی می‌کنند. کوروکودیل‌ها مقاومت بسیار کمی در برابر جریان هوا و آب دارند، به‌طوری‌که بدنه‌ی خطی شکل آن‌ها باعث افزایش سرعتشان شده و در هنگام راه رفتن پاهایشان را به سمت پهلو بلند می‌کنند تا بتوانند سریع‌تر بدونند. همچنین، پاهای شبکه‌ای یا پرده‌دار کوروکودیل‌ها باعث چرخش سریع‌تر و انجام حرکات ناگهانی در هنگام شنا کردن می‌شود. از ویژگی‌های اصلی کوروکودیل‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

بینایی: کوروکودیل‌ها بینایی کامل در شب دارند و عمدتاً شکارچیان شبانه هستند. آن‌ها از ضعف سایر حیوانات در بینایی برای شکارشان بهره می‌برند.

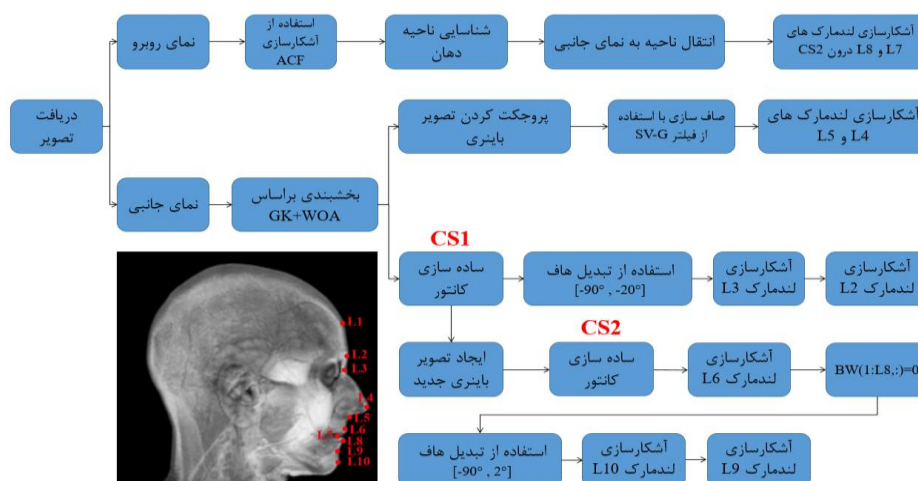
شکار و رژیم غذایی: کوروکودیل‌ها از ماهی‌ها، خزندگان، سخت‌پوستان، پرندگان و گاهی اوقات کوروکودیل‌های کوچک‌تر هم تغذیه می‌کنند. اغلب ماهی‌های کوچک و بی‌مهرگان را شکار می‌کنند و به تدریج به سمت طعمه‌های بزرگ می‌روند. کوروکودیل‌ها شکارچیان قدرتمندی محسوب می‌شوند که براساس نوع شکار سایر شکارچیان نظیر گوزن‌ها و کوسه‌ها به انواع مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند. در صورت وجود شرایط، فیل‌های جوان یا در حال مرگ را هم شکار می‌کنند. همچنین، دیده شده که از انواع میوه‌ها نیز تغذیه می‌کنند. **جنبش:** کوروکودیل‌ها می‌توانند در فواصل کوچک، حتی خارج از آب نیز بدونند. جهت حرکت و پیاده‌روی سریع، پاهایشان را در وضعیت صاف و مستقیم در زیر بدن نگه می‌دارند [۳۷].

۲- الگوریتم پیشنهادی

در آنالیز جراحی‌های بازسازی چهره، تصویر MRI دارای مزایای مهمی نسبت به تصویر رنگی است. تصاویر MRI تباین خوبی را بین بافت نرم ایجاد می‌کند. این تصاویر در تمامی زوایا نسبت به هم کاملاً متعامد هستند. کانتور نمای جانبی چهره کاملاً قابل آشکارسازی است. بافت‌های درونی و ساختار استخوانی چهره در اختیار است. در نتیجه، در این مقاله یک روش جدید جهت آنالیز نمای روبرو و جانبی چهره مبتنی بر تصاویر MRI به‌منظور کاربرد در جراحی‌های بازسازی چهره ارائه می‌شود. شکل ۲ بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد. در ابتدا، تصاویر چهره از هر دو نمای روبرو و جانبی چهره بخش‌بندی می‌شوند. جهت بخش‌بندی تصویر، الگوریتم خوشه‌بند فازی (FCM) به‌کار گرفته می‌شود. الگوریتم FCM قادر به شناسایی خوشه‌های سراسری نبوده و ممکن است در کمینه محلی قرار بگیرد. برای غلبه بر این مشکل، الگوریتم جدید جستجوی خزندگان (RSA^۵) به‌کار گرفته می‌شود. شناسایی ناحیه‌ی دهان از نمای روبرو نقش خیلی مهمی در آشکارسازی لندمارک‌های (L_{۱۰}-L_۶) ایفا می‌کند. برای این هدف، روش جمع شدن ویژگی‌های کانال (ACF^۶) به‌کار گرفته می‌شود. پس از بخش‌بندی تصویر نمای جانبی چهره، جهت آشکارسازی لندمارک‌های L_۴ و L_۵ ابتدا تصویر باینری در راستای افقی نگاشت شده و سپس با استفاده از فیلتر ساویتزکی-گولای (SG) صاف می‌شود. در نهایت، با استفاده از ویژگی‌های بیشینه و کمینه مکانی این لندمارک‌ها آشکار می‌شوند. جهت آشکارسازی لندمارک‌های L_۳ و L_{۱۰} تبدیل هاف به‌کار گرفته می‌شود. ساده‌سازی کانتور^۷ نقش خیلی مهمی در آشکارسازی خط با استفاده از تبدیل هاف ایفا می‌کند. قبل از به‌کارگیری تبدیل هاف، رویکرد ساده‌سازی کانتور بر روی تصویر باینری نمای جانبی چهره اعمال می‌شود.

۲-۱- خوشه‌بند فازی بهینه شده با استفاده از الگوریتم جستجوی خزندگان

الگوریتم FCM، روشی قدرتمند بوده که در کاربردهای مختلف نظیر پردازش تصویر، طبقه‌بندی داده و شناسایی سیستم به‌کار گرفته شده است. حساسیت به مقدار اولیه ممکن است باعث شود که این الگوریتم در کمینه مکانی قرار بگیرد. به عبارت دیگر، ساختار اصلی الگوریتم FCM اعمال روش گرادیان نزولی و پیدا کردن جواب بهینه است. در نتیجه، با یک مسئله‌ی بهینه‌سازی مکانی مواجه هستیم که سرعت همگرایی به وسیله‌ی مقادیر اولیه

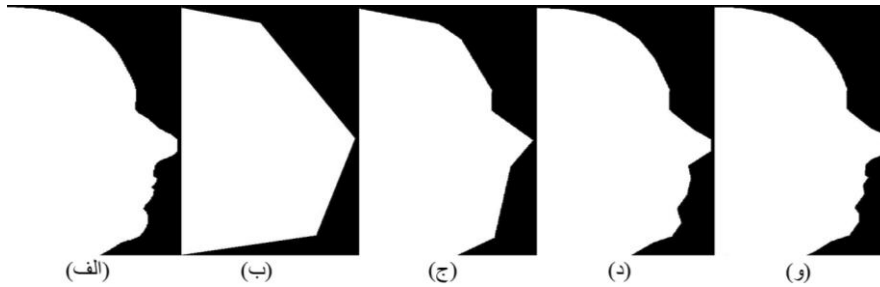


شکل ۲- بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی جهت آشکارسازی لندمارک‌های نمای جانبی چهره.

⁷ Contour Simplification

⁵ Reptile Search Algorithm

⁶ Aggregate Feature Channel



شکل ۴- ساده سازی کانتر با آستانه متفاوت: (الف) تصویر بخش بندی شده، (ب) آستانه ۵، (ج) آستانه ۱۰، (د) آستانه ۲۰، (و) آستانه ۳۰.

که برابر ۰/۰۰۵ در نظر گرفته شده است. همچنین، حس تکاملی (ES) یک نسبت احتمال بوده که به صورت تصادفی در طول فرآیند تکرار از ۲ تا ۲- کاهش پیدا می کند. پارامترهای η ، R و ES به صورت زیر تعریف می شوند [۳۷]:

$$\eta_{(i,j)}(t) = Best_j(t) \times P_{(i,j)} \quad (4)$$

$$R_{(i,j)}(t) = \frac{Best_j(t) - x_{(r_2,j)}}{Best_j(t) + \epsilon} \quad (5)$$

$$\eta_{(i,j)}(t) = Best_j(t) \times P_{(i,j)} \quad (6)$$

$$ES(t) = 2 \times r_3 \times \left(1 - \frac{1}{T}\right) \quad (7)$$

$$P_{(i,j)}(t) = \alpha + \frac{x_{(i,j)} - M(x_i)}{Best_j(t) \times (UB_j - LB_j) + \epsilon} \quad (8)$$

$$M(x_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{(i,j)} \quad (9)$$

که در آن r_3 عدد تصادفی در محدوده ۱- و ۱+، α پارامتر کنترل کننده دقت اکتشاف برای همکاری شکار در طول تکرار که برابر ۰/۱ در نظر گرفته می شود، $M(x_i)$ میانگین موقعیت تأمین جواب است.

۵-۱-۲- فاز شکار (استخراج) الگوریتم RSA

با توجه به رفتار شکار کوروکودیل ها، در فرآیند فاز استخراج دو رویکرد هماهنگی و همکاری برای شکار طعمه به کار گرفته می شوند. این رویکردها به روش های مختلف استخراج اشاره داشته و تضمین کننده جستجوی مکانی هستند. برخلاف فرآیند محاصره، این دو رویکرد به کوروکودیل ها اجازه نزدیک شدن به سمت طعمه را به دلیل تشدید می دهد. در نتیجه، جستجوی استخراج پوشش دهنده جواب نزدیک بهینه است. این فرآیند براساس رابطه ی (۱۰) مدل شده است [۳۷]:

$$x_{(i,j)}(t+1) = \begin{cases} Best_j(t) \times P_{(i,j)}(t) \times rand, 2\frac{T}{4} < t \leq 3\frac{T}{4} \\ Best_j(t) - \eta_{(i,j)}(t) \times \epsilon - R_{(i,j)}(t) \times rand, 3\frac{T}{4} < t \leq T \end{cases} \quad (10)$$

که در آن پارامتر P نشان دهنده درصد اختلاف بین تأمین موقعیت بهترین جواب به دست آمده و تأمین موقعیت جواب فعلی است.

۲-۲- جمع شدن ویژگی های کانال

جمع شدن ویژگی های کانال توسط دلار و همکاران [۳۸] ارائه شد. ایده ی اصلی در آشکارساز ACF نمایش تصویر به صورت کانال های چندگانه است. یک کانال نگاشت به دست آمده از یک تصویر ورودی اصلی است. کانال ها می توانند از طریق تبدیلات خطی یا غیرخطی محاسبه شوند. سه نوع از کانال ها شامل: کانال رنگی LUV، دامنه ی گرادیان نرمال شده، و هیستوگرام های گرادیان (شش کانال) در آشکارساز ACF به کار گرفته می شوند. ده کانال تجمیع شده انواع متفاوت اطلاعات را کدگذاری خواهند کرد. آشکارساز ACF نواحی موردنظر

شناسایی: کوروکودیل ها از مهارت های شناختی پیشرفته ای برخوردار هستند. آن ها می توانند الگوهای رفتاری طعمه را تشخیص داده و از آن ها در فرآیند شکار استفاده کنند. مانند زمانی که طعمه مکرراً جهت نوشیدن آب به رودخانه نزدیک می شود.

شکار کردن: کوروکودیل ها شکارچیان پیشرفته ای هستند که به صورت گروهی طعمه را شکار می کنند. فرآیند شکار براساس رویکرد هماهنگی و مشارکت انجام می شود. شکار هماهنگ شکل پیچیده ای از شکار مشترک است که در آن شکارچیان خاص در حرکات تنظیم شده ی یکدیگر در طول فرآیند شکار برای طعمه ی هدف مشارکت می کنند. در برخی موارد یک کوروکودیل خاص، نقش کمین گر را که شیرها در فرآیند شکار دارند ایفا می کند [۳۷].

هماهنگی و همکاری: فرآیند شکار کوروکودیل ها پیچیده بوده، به طوری که این کار را از طریق کمین کردن انجام می دهند. آن ها به دلیل کند بودن سوخت و ساز بدنشان، گاه به گاه غذا می خورند و اکثراً شکارشان را در شب و شاید در آب های کم عمق انجام دهند. کوروکودیل ها با اندازه های مختلف، اغلب نقش های متفاوتی را ایفا می کنند. کوروکودیل های غول پیکر، طعمه را از ناحیه ی عمیق تالاب به سمت ناحیه ی کم عمق هدایت می کنند، جایی که کوروکودیل های کوچک تر و باهوش تر مانع از فرار طعمه می شوند [۳۷].

۵-۱-۱- فاز محاصره (اکتشاف) الگوریتم RSA

در طول فرآیند محاصره طعمه، کوروکودیل های دو پیاده روی بلند (High) و شکمی (Belly) را انجام می دهند. این حرکات به نواحی مختلف اشاره کرده و تضمین کننده جستجوی سراسری الگوریتم هستند. برخلاف فاز شکار، فاز محاصره اجازه نزدیکی به سمت طعمه ی هدف را نمی دهد. بنابراین، فرآیند اکتشاف، جستجوی گسترده ای را افزاز کرده و می تواند نواحی متراکم را پس از چندین بار تلاش پیدا کند. الگوریتم RSA می تواند براساس چهار شرط (تقسیم کل فرآیند تکرار به چهار قسمت) از فاز محاصره (اکتشاف) به فاز شکار (استخراج) منتقل شود. فاز اکتشاف براساس دو شرط انجام می پذیرد. رویکرد پیاده روی ایستاده به $t \leq T/4$ و پیاده روی شکمی به $t = [T/4, 2T/4)$ مشروط می شود. به عبارت دیگر، نصف تعداد تکرارهای مربوط به فرآیند اکتشاف به صورت پیاده روی ایستاده و نصف دیگر به صورت پیاده روی شکمی مدل شده است. رابطه ی (۳) جهت مدل کردن رفتار محاصره توسط کوروکودیل ها به کار گرفته شده است [۳۷]:

$$x_{(i,j)}(t+1) = \begin{cases} Best_j(t) - \eta_{(i,j)}(t) \times \beta - R_{(i,j)}(t) \times rand, t \leq \frac{T}{4} \\ Best_j(t) \times x_{(r_1,j)}(t) \times ES(t) \times rand, \frac{T}{4} \leq t < 2\frac{T}{4} \end{cases} \quad (3)$$

که در آن $Best_j(t)$ تأمین موقعیت در بهترین جواب به دست آمده تا الان، $\eta_{(i,j)}$ عمل گر شکار برای تأمین موقعیت در تأمین جواب، $R_{(i,j)}(t)$ تابع کاهشی، $x_{(r_1,j)}$ موقعیت تصادفی تأمین جواب است. تابع کاهشی یک تابع موردنظر جهت کاهش ناحیه ی جستجو است. β پارامتر حساس کنترل کننده دقت فاز اکتشاف بوده

سیگنال را از طریق یک پنجره‌ی گوسین صاف کرده و تقریب بهتری از محل‌های تغییر جهت کانتور چهره ارائه می‌کند. سرانجام، رابطه‌ی (۱۲) به‌عنوان خروجی اصلی جهت آشکارسازی لندمارک‌های L_4 و L_5 به‌کار گرفته می‌شود:

$$A_1 = SG_{12,13} - GWMA(SG_{12,13}) \quad (12)$$

که در آن $SG_{a,b}$ یک فیلتر SG با مرتبه‌ی a و طول b را نشان می‌دهد. بیشینه‌ی نقاط به‌دست آمده از طریق A_1 (Y_l) به‌عنوان لندمارک L_4 (نوک بینی) در نظر گرفته می‌شود. با حرکت از لندمارک L_4 به سمت لندمارک L_6 ، شیب انحناء در لندمارک L_5 تغییر می‌کند. بنابراین، اولین نقطه‌ی کمینه ($\min(-A_1)$) پس از لندمارک L_4 به‌عنوان لندمارک L_5 انتخاب می‌شود. شیب خط شکل گرفته از لندمارک L_3 تا لندمارک L_4 منفی است. اعمال روش ساده‌سازی کانتور ($CS1$) باعث خواهد شد که آشکارسازی خط L_3 تا L_5 ساده باشد. به‌منظور آشکارسازی لندمارک L_3 ، یک ناحیه‌ی مناسب برای وردی تبدیل هاف [۴۲] در نظر گرفته می‌شود. این ناحیه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$BW_{CS_1}(X_{L5}; end, :) = 0 \rightarrow Area_{L3} = BW_{CS_1} \quad (13)$$

نقاط ابتدایی تمام خطوط به‌دست آمده ($Start_{(x,y)}$) مشخص شده و مختصات لندمارک L_3 از طریق رابطه (۱۴) به‌دست آورده می‌شود:

$$X_{L3} = \min((Start_{(x,y)})) \text{ and } Y_{L3} = (Start_{(x,y)})(local(X_{L3}), 2) \quad (14)$$

ناحیه‌ی موردنظر برای آشکارسازی لندمارک L_2 و مختصات آن به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{cases} CS_1(1; X_{L3}, :) = 0 \\ Y_{L2} = \min(Y_{CS_1}) \text{ and } X_{L2} = X_{CS_1}(local(Y_{L2}), 1) \end{cases} \quad (15)$$

به‌منظور آشکارسازی لندمارک L_{10} ، ابتدا ناحیه‌ی دهان شناسایی شده از نمای روبرو به نمای جانبی منتقل شده و ناحیه‌ی آشکارسازی لندمارک L_{10} به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$BW_{CS_1}(1; X2_{Mouth}, :) = 0 \rightarrow Area_{L10} = BW_{CS_1} \quad (16)$$

شیب خط شکل گرفته از لندمارک L_9 تا لندمارک L_{10} منفی است. سرانجام، $Area_{L10}$ به‌عنوان ورودی برای تبدیل هاف در نظر گرفته می‌شود. نقاط انتهایی تمام خطوط به‌دست آمده ($End_{(x,y)}$) را مشخص کرده و مختصات لندمارک L_{10} از طریق رابطه‌ی (۱۷) به‌دست آورده می‌شود:

$$X_{L10} = \min(End_{(x,y)}) \text{ and } Y_{L10} = End_{(x,y)}(local(X_{L10}), 2) \quad (17)$$

لندمارک L_9 کمینه‌ی Y را در بین لندمارک‌های L_8 تا L_{10} دارد. ناحیه‌ی موردنظر جهت آشکارسازی لندمارک L_9 و مختصات آن از طریق رابطه‌ی (۱۸) تعریف می‌شود:

$$\begin{cases} BW_{CS_1}(1; X2_{Mouth}, :) = 0 \rightarrow Area_{L9} = BW_{CS_1} \\ Y_{L9} = \min(Y_{Area_{L9}}) \text{ and } X_{L9} = Area_{L9}(local(Y_{L9}), 1) \end{cases} \quad (18)$$

همان‌طوری که در شکل ۵ نشان داده شده است، لندمارک‌های L_6 تا L_8 درون ناحیه‌ی دهان شناسایی شده از طریق شناساگر ACF قرار دارند. جهت آشکارسازی بهتر این لندمارک‌ها، ورودی (CS_2) به‌کار گرفته می‌شود. این ناحیه به دو قسمت تقسیم می‌شود. لندمارک‌های L_6 و L_8 به‌ترتیب در ناحیه‌ی اول و دوم قرار دارند. این لندمارک‌ها بیشینه Y را دارند. پس از آشکارسازی لندمارک‌های L_6 و L_8 ، جهت به‌دست آوردن مختصات لندمارک L_7 رابطه‌ی (۱۹) به‌کار گرفته می‌شود:

$$\begin{cases} X_{L7} = \frac{X_{L6} + X_{L8}}{2} \\ Y_{L7} = BW_{CS_2}(X_{L7}, end) \end{cases} \quad (19)$$

متشکل از مثبت و منفی را آشکار می‌کند. نواحی مثبت از طریق آموزش مشخص می‌شوند، اما نواحی منفی به‌طور خودکار از طریق برش‌بندی پنجره در تمامی ناحیه‌ی تصویر به‌جز نواحی مثبت استخراج می‌شوند [۴۱-۳۹]. یک هیستوگرام گرادیان، توزیع زوایای گرادیان درون یک تصویر را اندازه‌گیری می‌کند. دامنه‌ی گرادیان $M(x,y)$ و جهت $O(x,y)$ به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{cases} M(x,y)^2 = \left(\frac{\partial I}{\partial x}(x,y)\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}(x,y)\right)^2 \\ O(x,y) = \arctan\left(\frac{\frac{\partial I}{\partial y}(x,y)}{\frac{\partial I}{\partial x}(x,y)}\right) \end{cases} \quad (11)$$

در آشکارساز ACF ، هیستوگرام گرادیان در شش جهت 0° 30° 60° 90° 120° [۱۵۰] محاسبه می‌شود. سرانجام، فرایند طبقه‌بندی براساس درخت تصمیم‌گیر ارتقاء داده شده انجام می‌پذیرد. برای جزئیات بیشتر در مورد آشکارساز ACF به [۳۸] مراجعه کنید.

۲-۳- ساده‌سازی کانتور

این بخش نقش مهمی در آشکارسازی لندمارک‌های نمای جانبی چهره ایفا می‌کند. فرض کنید که یک مجموعه از مختصات به‌دست آمده (S) از طریق کانتور نمای جانبی وجود دارد، به‌طوری‌که لندمارک‌های تعریف شده را می‌توان در داخل این مجموعه پیدا کرد. فرایند ساده‌سازی کانتور یک زیر مجموعه (S') از مختصات S را پیدا خواهد کرد. ساده‌سازی کانتور از دو قسمت ساده‌سازی چندضلعی و تبدیل ناحیه‌ی موردنظر ROI چندضلعی به تصویر تشکیل شده است. اولین قدم در ساده‌سازی چندضلعی به‌دست آوردن مختصات کانتور نمای جانبی (C_x, C_y) است. سپس، برای هر نقطه از کانتور دو همسایگی (N_1, N_2) پیدا می‌شود. از طریق سه نقاط C, N_1 و N_2 دو بردار تشکیل داده و زاویه‌ی بین بردار محاسبه می‌شود. سرانجام، به‌صورت تکراری مکان کمینه زاویه به‌دست آمده و مختصات مکان موردنظر حذف شده و مختصات مکان‌های همسایگی جایگزین می‌شوند. این فرایند تا زمان رسیدن به تعداد نقاط مطلوب ترسیم، تکرار خواهد شد.

در تبدیل ناحیه‌ی موردنظر ROI چندضلعی به تصویر، باید مشخص شود که کدام پیکسل‌ها در ناحیه قرار خواهند گرفت. برای این منظور، مراحل زیر به‌کار گرفته می‌شوند:

- (۱) تقسیم هر پیکسل به زیرپیکسل 5×5 .
 - (۲) تنظیم موقعیت رئوس. هر رأس چند ضلعی به نزدیک‌ترین تقاطع زیرپیکسل 5×5 منتقل می‌شود.
 - (۳) ترسیم یک مسیر بین رئوس تنظیم شده. آن یک مسیر از هر رأس تنظیم شده به رأس بعدی را تشکیل می‌دهد.
 - (۴) تشخیص پیکسل‌های مرزی درون چند ضلعی. اگر زیرپیکسل مرکزی در داخل مرزهای تعیین شده از طریق مسیر بین رئوس تنظیم شده باشد، پیکسل در داخل ناحیه قرار خواهد گرفت.
- انتخاب تعداد نقاط (آستانه) جهت ساده‌سازی کانتور مهم است. در این مقاله، دو بار از روش ساده‌سازی کانتور استفاده می‌شود. در ابتدا تعداد نقاط ۳۰ انتخاب شده و لندمارک‌های L_2 و L_3 آشکار می‌شوند. سپس، تعداد نقاط را ۱۵ در نظر گرفته و لندمارک‌های ناحیه‌ی دهان آشکار می‌شوند. شکل ۴ انواع مقادیر آستانه متفاوت جهت ساده‌سازی کانتور را نشان می‌دهد.

۲-۴- آشکارسازی لندمارک

آشکارسازی لندمارک‌های L_4 و L_5 نقش مهمی در آشکارسازی سایر لندمارک‌ها ایفا می‌کند. پس از نگاشت کردن تصویر، فیلتر میانگین حرکتی وزن‌دار گوسین ($GWMA$) به خروجی فیلتر SG اعمال می‌شود. این روش

۳- نتایج پیاده‌سازی

در این بخش، نتایج آزمایشگاهی روش پیشنهادی را ارائه می‌دهیم. جهت ارزیابی روش پیشنهادی ۲۵۰ تصویر پایگاه داده‌ی [۴۳] را به کار برده‌ایم. تصاویر این پایگاه داده حاوی تصاویر وزنی T_1 ، T_2 و PD از افراد سالم هستند. رزولوشن مکانی هر تصویر $9375 \times 9375 \times 1/2$ میلی‌متر است. همچنین، این پایگاه داده حاوی تصاویر بافت نرم چهره در تمامی زوایا بوده که کاملاً نسبت به هم متعامد هستند. اندازه‌ی هر تصویر در این حالت 566×566 است. در روش ACF، ۵۰ نمونه از تصاویر به عنوان داده‌های آموزشی و ۲۰۰ نمونه به عنوان داده‌های ارزیابی به کار گرفته شده‌اند. همچنین، پارامترهای ثابت در این روش ضریب نمونه منفی (NSF)، تعداد گام، و بیشینه یادگیرنده ضعیف (MWL) به ترتیب $1/5$ ، 10 ، و 5000 انتخاب شده‌اند. تعداد مراکز خوشه ۵ انتخاب شده است. این عدد به صورت تجربی انتخاب شده که بهترین نتیجه را در بخش بندی تصاویر دارد. پس از بخش بندی تصویر نمای جانبی چهره، مرکز تصویر بخش بندی شده را به دست آورده و ناحیه‌ی مورد نظر (شکل ۷ ج)، ناحیه‌ی قرمز رنگ افقی) برای نگاشت کردن تصویر انتخاب می‌شود. به منظور آنالیز روش پیشنهادی در مکان‌یابی لندمارک، فاصله‌ی اقلیدسی زیر به کار گرفته می‌شود:

$$Dist = \sqrt{(X_M - X_A)^2 + (Y_M - Y_A)^2} \quad (20)$$

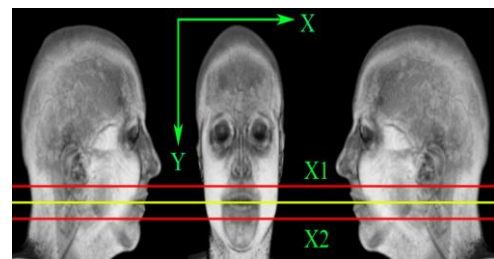
که در آن (X_M, Y_M) و (X_A, Y_A) به ترتیب مختصات لندمارک‌های به دست آمده به صورت خودکار و دستی هستند. همچنین، به منظور مشخص کردن دقت (A) و خطا (E) روش ارائه شده در اندازه‌گیری پارامترهای ذکر شده، رابطه‌ی (۲۱) به کار گرفته می‌شود:

$$\begin{cases} Error = \frac{|Angle_M - Angle_A|}{Angle_M} \times 100 \\ Accuracy = 100 - Error \end{cases} \quad (21)$$

که در آن $Angle_M$ و $Angle_A$ به ترتیب اندازه‌گیری به صورت دستی و خودکار هستند.

دقت و خطای پارامترهای ذکر شده در مقایسه با اندازه‌گیری دستی در جدول ۱ نشان داده شده است. مرز خط رویش مو (لندمارک L_1) در تصاویر MRI قابل تشخیص نیست. در نتیجه، در اندازه‌گیری نسبت طلایی دو مورد ارائه شده برای اندازه‌گیری پارامترهای چهره در ۱۲ مورد بالای ۹۰٪ است. این نتایج نشان می‌دهند که روش ارائه شده می‌تواند به عنوان یک روش موثر در آنالیز جراحی‌های بازسازی چهره به کار گرفته شود.

عملکرد فاصله‌ی اقلیدسی برای مکان‌یابی لندمارک‌ها در جدول ۲ آورده شده است. مطابق رابطه‌ی (۲۰)، اگر فاصله‌ی اقلیدسی به صفر میل کند، این فرآیند نشان می‌دهد که دقت مکان‌یابی لندمارک‌ها بالا است. مطابق جدول ۲، میانگین فاصله‌ی اقلیدسی تنها در یک مورد (لندمارک L_2) بالای ۱۰ بوده و در بقیه موارد این معیار پایین‌تر از ۱۰ است. این فرآیند نشان می‌دهد که روش ارائه شده عمل کرد خوبی در مکان‌یابی لندمارک‌های نمای جانبی چهره دارد.



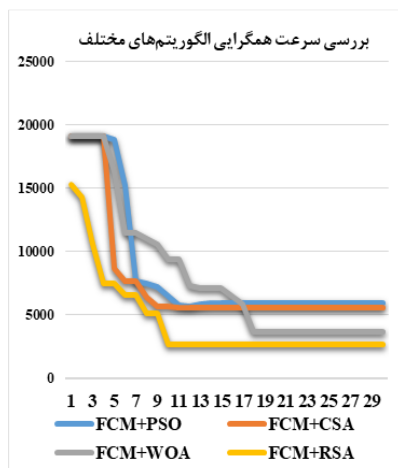
شکل ۵: تقسیم ناحیه‌ی دهان به دو قسمت جهت آشکارسازی لندمارک‌های L_6 تا L_8 .

همچنین، آنالیز آماری روش پیشنهادی در مقایسه با اندازه‌گیری دستی در جدول ۳ نشان داده شده است. جدول ۳ نشان می‌دهد که انحراف تمامی زوایای به دست آمده به صورت خودکار، به جز زاویه‌ی نازوفرونتال، به انحراف معیار زوایای به دست آمده به صورت دستی خیلی نزدیک است. این موضوع اثبات می‌کند که روش پیشنهادی نتایج مناسبی در آنالیز سفالومتری چهره ارائه داده و می‌تواند به عنوان بسته‌ی نرم‌افزاری در مراکز درمانی جهت کاربرد در جراحی‌های بازسازی چهره به کار گرفته شود. براساس [۴۴-۴۶]، محدوده‌ی طبیعی زوایای نازوفرونتال، نوک بینی، نازولابیال، منتولابیال، نازومناتال، تقعر چهره با در نظر گرفتن بینی، و تقعر چهره بدون در نظر گرفتن بینی، به ترتیب $(115^\circ-125^\circ)$ ، $(70^\circ-80^\circ)$ ، $(90^\circ-110^\circ)$ ، $(107^\circ-118^\circ)$ ، $(20^\circ-30^\circ)$ ، $(120^\circ-130^\circ)$ ، و $(150^\circ-170^\circ)$ گزارش شده است. براساس نتایج به دست آمده از ۲۵۰ تصاویر، برای زوایای ذکر شده به ترتیب 98% ، 99% ، 96% ، 90% ، 88% ، 33% ، و 26% افراد دارای معیارهای طبیعی در چهره‌ی خود نیستند. این نتایج نشان می‌دهند که تمامی افراد مورد مطالعه از لحاظ زیبایی دارای چهره‌ی زیبا نبوده و نیازمند جراحی‌های پلاستیک چهره هستند.

به منظور مقایسه‌ی روش ACF جهت شناسایی ناحیه‌ی دهان با روش‌های مبتنی بر Cascade شامل ویژگی‌های [۴۷]، ویژگی‌های LBP [۴۸]، و ویژگی‌های HOG [۴۹]، ما از پارامترهای دقت، حساسیت، ویژگی، نرخ خطا، و نرخ مثبت کاذب استفاده کرده‌ایم. این پارامترها از طریق رابطه‌ی (۲۲) تعریف می‌شوند:

$$\begin{cases} Precision = \frac{TP}{TP+FP} \\ Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \\ Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \\ MissRate = \frac{FN}{FN+TP} \\ FalsePositiveRate = \frac{FP}{FP+TN} \end{cases} \quad (22)$$

که در آن TP، FP و FN به ترتیب نشان دهنده‌ی معیارهای مثبت صحیح، مثبت کاذب و منفی کاذب هستند.



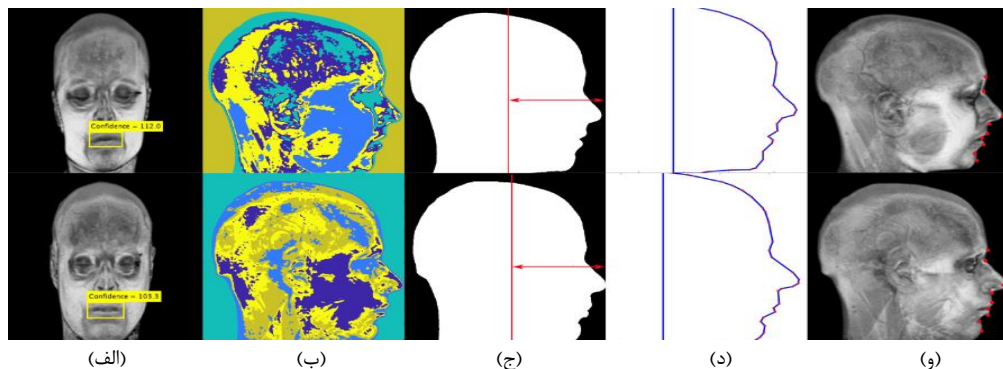
شکل ۶: نمونه‌ای از رفتار همگرایی انواع الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه کردن خوشه‌بند FCM.

جدول ۴ عملکرد انواع روش‌ها را در شناسایی ناحیه‌ی دهان نشان می‌دهد. عملکرد ACF نشان می‌دهد که این روش دارای بالاترین مقدار در پارامترهای دقت و حساسیت است. روش HOG کمترین مقدار را در شاخص MR و بیشترین مقدار را در شاخص ویژگی دارد. همچنین، روش ACF کمترین مقدار را در شاخص FPR دارد. جدول ۴ نشان می‌دهد که روش ACF بهترین عملکرد را در مقایسه با روش‌های آشکارسازی Cascade در شناسایی ناحیه دهان دارد. به منظور بهینه‌سازی الگوریتم FCM، ابتدا باید پارامترهای RSA مشخص شوند.

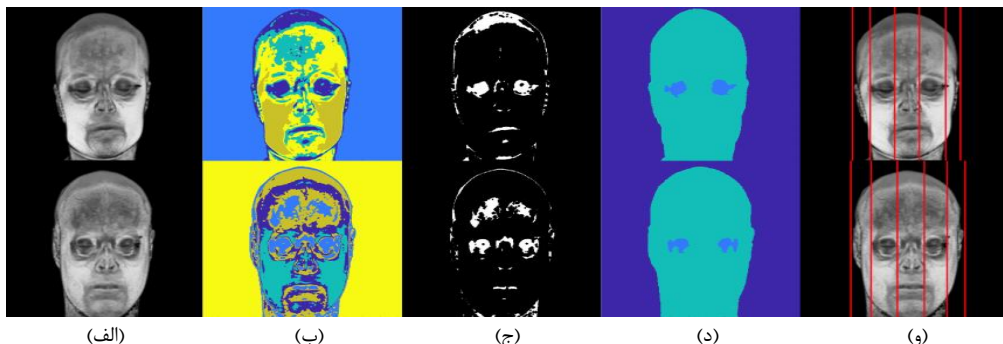
دوم، بلعکس ماتریس عضویت از طریق الگوریتم فراابتکاری به‌روزرسانی شده و سپس مراکز خوشه از طریق رابطه (۲) به‌دست آورده می‌شود. این فرآیند نیز، تحت عنوان بهینه‌سازی گسسته شناخته شده است. فرآیند بهینه‌سازی پیوسته یک مسئله بهینه‌سازی با بُعد پایین در حالی که فرآیند بهینه‌سازی گسسته یک مسئله با بُعد بالا است. تقریباً نتایج الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه کردن خوشه‌بند FCM در حالت پیوسته مشابه هم بوده و تغییرات معناداری مشاهده نمی‌شود. توانایی الگوریتم‌های فراابتکاری بیشتر در حل مسائل بهینه‌سازی با بُعد بالا قابل ارزیابی است. در نتیجه، در این مطالعه از بیان الگوریتم FCM به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی در بُعد بالا (فضای گسسته) استفاده شده تا بتوانیم عمل‌کرد انواع الگوریتم‌های فراابتکاری مبتنی بر جمعیت را در بهینه‌سازی خوشه‌بند FCM بهتر مورد ارزیابی قرار دهیم. با توجه به توانایی الگوریتم RSA در حل مسائل بهینه‌سازی با بُعد بالا، در این مطالعه از این الگوریتم جهت بخش‌بندی استفاده شده است. در فرآیند بهینه‌سازی گسسته با توجه به اینکه مقادیر ماتریس عضویت در الگوریتم FCM بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند، در نتیجه مسئله بهینه‌سازی در محدوده بین ۰ و ۱ تعریف می‌شود. نمونه‌ای از رفتار همگرایی انواع الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه کردن خوشه‌بند FCM در فضای گسسته در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طوری که در این شکل نیز قابل مشاهده است، الگوریتم RSA نسبت به سایر الگوریتم‌های فراابتکاری شامل PSO، CSA و WOA عمل‌کرد سریع‌تر همگرا می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که الگوریتم RSA می‌تواند انتخاب مناسبی جهت حل یک مسئله بهینه‌سازی در فضای بُعد بالا باشد.

در این روش، ۲۰ کورودیل به‌عنوان جمعیت اولیه جهت به‌دست آوردن جواب بهینه از طریق فرآیند جستجو در ۳۰ تکرار انتخاب شده است. تعداد مراکز خوشه ۵ انتخاب شده است. این انتخاب به‌صورت تجربی پس از اجرای الگوریتم با تعداد مراکز مختلف به‌دست آمده است. مقایسه عمل‌کرد الگوریتم RSA در مقایسه با الگوریتم‌های ازدحام ذرات (PSO) [۵۰]، جستجوی کلان (CSA) [۵۱] و الگوریتم نهنگ (WOA) [۵۲] در جدول ۵ نشان داده شده است. روش ارائه شده (FCM+RSA) جهت بخش‌بندی تصاویر MRI به‌کار گرفته شده است. این روش جهت بخش‌بندی نواحی چشم از نمای روبرو و نمای جانبی چهره مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه‌ای از نتایج بخش‌بندی نواحی چشم با استفاده از روش FCM+RSA در شکل ۸ نشان داده شده است. شکل ۸، ب تصویر بخش‌بندی شده‌ی نمای روبرو را در ۵ خوشه نشان می‌دهد. نواحی چشم خوشه‌ای با کم‌ترین تعداد پیکسل‌ها را شامل می‌شود. پس از به‌دست آوردن تصویر باینری نواحی چشم (شکل ۸، ج)، به‌منظور آشکارسازی نواحی چشم تصویر را به سه قسمت عمودی تقسیم می‌کنیم. نواحی چشم در قسمت دوم تصویر قرار دارند. به‌منظور جدا کردن چشم راست و چپ، تصویر را به‌صورت افقی به دو قسمت جدا می‌کنیم که چشم راست در قسمت اول و چشم چپ در قسمت دوم قرار دارند. پس از مشخص کردن نواحی چشم (شکل ۸، د)، اندازه‌گیری نسبت یک-پنجم افقی چهره (شکل ۸، و) انجام می‌شود.

الگوریتم FCM در دو حالت می‌تواند به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی مطرح شود. در حالت اول، به‌روزرسانی مراکز خوشه از طریق الگوریتم فراابتکاری انجام گرفته و سپس ماتریس عضویت از طریق رابطه (۲) به‌دست آورده می‌شود. این فرآیند تحت عنوان مسئله بهینه‌سازی پیوسته شناخته شده است. در حالت



شکل ۷- نمایی از نتایج روش پیشنهادی جهت آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره مبتنی بر تصاویر MRI: (الف) شناسایی ناحیه‌ی دهان با استفاده از ACF، (ب) تصویر بخش‌بندی شده با استفاده از روش پیشنهادی، (ج) تصویر باینری و ناحیه‌ی موردنظر جهت آنالیز سفالومتری، (د) خروجی ساده‌سازی کانتور، (و) آشکارسازی لندمارک‌های نمای جانبی چهره.



شکل ۸- نتایج روش آشکارسازی چشم بر روی تصاویر MRI: (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر بخش‌بندی شده با استفاده از روش پیشنهادی، (ج) تصویر باینری جهت آشکارسازی نواحی چشم، (د) تصویر بخش‌بندی شده‌ی چشم، (و) اندازه‌گیری نسبت یک به پنج افقی چهره.

جدول ۱- دقت و خطای پارامترهای اندازه‌گیری شده در آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره.

خطا	دقت	معیار	خطا	دقت	معیار
۱/۱۱۵۵	۹۸/۸۸۴۵	تقعر چهره بدون بینی	۳/۶۳۰۴	۹۶/۳۶۹۶	زاویه نازوفرونتال
۱۶/۹۵۴۰	۸۳/۰۴۶۰	پروجکشن لب بالا تا چانه	۳/۳۸۹۶	۹۶/۶۱۰۴	زاویه نوک بینی
۴/۸۱۰۲	۹۵/۱۸۹۸	نسبت طلایی ۱	۵/۷۶۶۳	۹۴/۲۳۳۷	زاویه نازولابیال
۶/۰۵۶۴	۹۳/۹۴۳۶	نسبت طلایی ۲	۷/۲۳۳۵	۹۲/۷۶۶۵	زاویه منتولابیال
۸/۱۲۵۹	۹۱/۸۷۴۱	نسبت طلایی ۳	۷/۰۳۸۱	۹۲/۹۶۱۹	زاویه نازومننتال
۸/۱۱۳۶	۹۱/۸۸۶۴	نسبت طلایی ۴	۱۷/۳۴۵۷	۸۲/۶۵۴۳	زاویه H
۳/۴۳۴۹	۹۶/۵۶۵۱	ارتفاع بینی	۱/۳۴۶۰	۹۸/۶۵۴۰	تقعر چهره شامل بینی

جدول ۲- عمل کرد فاصله‌ی اقلیدسی برای مکان‌یابی لندمارک‌ها.

Std	Mean	Max	Min	لندمارک	Std	Mean	Max	Min	لندمارک
۳/۷۱۳۷	۶/۰۹۷۴	۱۸/۴۷۵۲	۰/۴۳۶۱	L7	۹/۱۰۷۰	۱۱/۰۹۵۳	۴۴/۷۳۱۴	۰/۷۹۲۴	L2
۳/۷۶۱۹	۴/۴۹۸۶	۲۹/۳۶۰۸	۰/۳۶۶۷	L8	۴/۲۳۱۸	۷/۶۰۰۵	۱۸/۱۹۵۰	۰/۹۷۸۰	L3
۵/۰۶۰۵	۴/۴۸۴۳	۴۷/۴۱۱۴	۰/۱۹۲۷	L9	۲/۲۱۵۴	۴/۱۸۸۶	۱۰/۶۷۳۳	۰/۵۸۳۹	L4
۵/۹۶۹۵	۸/۶۳۵۰	۳۳/۳۹۳۶	۰/۹۴۱۱	L10	۳/۵۵۴۷	۴/۹۶۳۶	۲۳/۰۶۷۱	۰/۲۶۳۵	L5
					۴/۲۴۲۹	۵/۵۱۵۳	۲۳/۵۶۶۴	۰/۱۶۰۳	L6

جدول ۳- آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره مبتنی بر تصاویر MRI.

اندازه‌گیری خودکار				اندازه‌گیری دستی				روش	
Std	Mean	Max	Min	Std	Mean	Max	Min	زاویه	روش
۹/۶۸۳۲	۱۴۳/۰۰۳۲	۱۶۹/۸۰۷۳	۱۲۱/۵۰۸۱	۷/۲۷۸۴	۱۳۹/۶۸۸۹	۱۵۶/۸۷۷۲	۱۱۸/۳۹۹۴	نازوفرونتال	زاویه
۶/۲۸۶۸	۹۲/۲۸۰۷	۱۰۸/۴۹۳۰	۷۶/۷۵۱۶	۶/۴۲۸۷	۹۰/۴۱۶۹	۱۰۸/۵۹۷۸	۷۳/۷۵۵۶	نوک بینی	نوک بینی
۱۲/۶۷۸	۱۲۹/۹۹۹۶	۱۷۳/۰۷۱۷	۸۶/۹۹۶۸	۱۲/۲۴۱۲	۱۲۴/۳۳۳۲	۱۵۴/۱۵۷۶	۸۷/۱۸۲۸	نازولابیال	نازولابیال
۱۶/۳۷۹	۱۳۵/۳۷۴۱	۱۶۶/۷۹۰۳	۵۵/۷۵۱۰	۱۶/۶۳۹۴	۱۳۵/۰۲۴۸	۱۷۰/۹۴۹۶	۸۱/۴۲۴۸	منتولابیال	منتولابیال
۴/۱۵۴۵	۳۵/۰۱۲۵	۵۰/۵۷۲۵	۲۴/۳۴۹۲	۳/۸۰۱۶	۳۲/۹۵۳۵	۴۰/۸۸۴۸	۲۱/۱۹۱۲	نازومننتال	نازومننتال
۴/۵۰۱۹	۱۰/۲۷۷۵	۲۱/۲۲۲۵	۰/۶۱۹۶	۴/۴۳۸۱	۱۱/۰۲۸۵	۲۰/۵۰۳۸	۱/۰۵۹۰	H	H
۵/۷۰۲۳	۱۲۴/۳۹۹۲	۱۴۱/۲۲۷۰	۱۰۸/۹۸۹۴	۵/۸۰۰۱	۱۲۴/۳۹۱۱	۱۴۳/۶۴۳۲	۱۱۳/۰۹۴۰	تقعر چهره با در نظر گرفتن بینی	تقعر چهره با در نظر گرفتن بینی
۶/۶۵۷۰	۱۶۵/۷۰۸۱	۱۷۹/۶۱۲۱	۱۴۹/۶۳۶۷	۶/۵۰۰۴	۱۶۵/۴۸۸۹	۱۷۹/۴۹۹۶	۱۴۹/۲۵۶۶	تقعر چهره بدون در نظر گرفتن بینی	تقعر چهره بدون در نظر گرفتن بینی
۲/۸۲۱۰	۵/۹۶۸۶	۱۸/۸۲۳۹	۰/۲۵۶۶	۲/۷۴۳۹	۶/۰۰۰۵	۱۴/۹۶۸۱	۰/۵۲۸۱	پروجکشن لب بالا تا چانه	پروجکشن لب بالا تا چانه

جدول ۴- مقایسه عمل کرد روش‌های آشکارسازی شیء در شناسایی ناحیه دهان.

نرخ مثبت کاذب	نرخ خطا	ویژگی	حساسیت	دقت	روش
۰/۰۰۷۸	۰/۳۵۱۶	۰/۹۹۲۲	۰/۶۴۹۸	۰/۶۳۷۶	Haar [۴۷]
۰/۰۱۴۱	۰/۶۵۹۰	۰/۹۸۵۹	۰/۳۴۱۰	۰/۳۱۷۵	LBP [۴۸]
۰/۰۰۳۵	۰/۱۹۵۶	۰/۹۹۶۵	۰/۸۰۴۴	۰/۸۲۱۷	HOG [۴۹]
۰/۰۰۳۷	۰/۱۱۶۹	۰/۹۹۶۳	۰/۸۸۳۱	۰/۸۴۹۱	ACF [۳۸]

جدول ۵- عمل کرد الگوریتم‌های فرا-ابتکاری در بخش‌بندی نواحی چشم.

M _S	M _E	S	NSE	روش
۰/۴۰۵۲	۰/۲۸۶۶	۰/۶۰۵۵	۰/۰۰۲۴	FCM+PSO [۵۰]
۰/۴۷۳۴	۰/۳۳۴۸	۰/۵۵۷۲	۰/۰۰۲۵	FCM+CSA [۵۱]
۰/۲۴۷۳	۰/۱۶۸۷	۰/۷۴۲۶	۰/۰۰۳۲	FCM+WOA [۵۲]
۰/۲۲۲۳	۰/۱۴۹۵	۰/۸۰۲۱	۰/۰۰۲۶	FCM+RSA

۴- نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات

در این مقاله، یک روش تمام-خودکار به‌منظور آنالیز سفالومتری بافت نرم چهره مبتنی بر تصاویر MRI ارائه شد. مراحل اصلی پردازش شامل (۱) بخش‌بندی، (۲) روش ACF، (۳) ساده‌سازی کانتور، (۴) آشکارسازی خط، و (۵) آشکارسازی لندمارک بودند. در قسمت بخش‌بندی به‌منظور بهینه‌سازی خوشه‌بند فازی الگوریتم جستجوی خزندگان به‌کار گرفته شد. به‌کارگیری آشکارساز ACF نشان داد که این روش یک روش موثر در شناسایی شیء است و می‌تواند در شناسایی اجزای بافت نرم چهره به‌کار گرفته شود. روش ساده‌سازی کانتور نشان داد که به‌کارگیری روش‌های ساده‌سازی چندضلعی و ساده‌سازی خطوط می‌تواند باعث بهبود عمل‌کرد روش‌های مبتنی بر آشکارسازی خط شوند. در این مطالعه، با آشکارسازی ۹ لندمارک و اندازه‌گیری ۱۴ متریک چهره گام موثری در آنالیز جراحی‌های بازسازی چهره برداشته شد. در آینده، تمرکز ما بر روی ترکیب روش‌های تصویربرداری MRI و CT جهت ادغام تصاویر چهره و به‌کارگیری انواع مدل‌های شکل‌پذیر نظیر ASM و WRCM جهت مکان‌یابی لندمارک‌های سفالومتریکی چهره به‌منظور کاربرد در جراحی‌های چهره خواهد بود.

مراجع

- [19] Gorbenko, Iryna, et al, "Automatic segmentation of facial soft tissue in MRI data based on non-rigid normalization in application to soft tissue thickness measurement," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 56, 2020.
- [20] Salazar, Augusto, et al, "Feature extraction & lips posture detection oriented to the treatment of CLP children," *2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE, 2006.
- [21] Vučinić, Predrag, et al, "Automatic landmarking of cephalograms using active appearance models," *The European Journal of Orthodontics*, vol. 32, no. 3, pp. 233-241, 2010.
- [22] Bakhshali, Mohamad Amin, and Mousa Shamsi, "Estimating facial angles using Radon transform," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 23, no. 3, 2015.
- [23] Fahmi Jafargholkhanloo, Ali, and Shamsi, Mousa, "Estimation of Ear Parameters Applicable to Otoplasty Surgery," *Journal of Soft Computing and Information Technology*, Vol. 9, no. 1, pp. 36-45, 2020.
- [24] Gerós, Ana, et al, "Facegram-Objective quantitative analysis in facial reconstructive surgery," *Journal of biomedical informatics*, vol. 61, pp. 1-9, 2016.
- [25] Wang, Shumeng, et al, "Automatic analysis of lateral cephalograms based on multiresolution decision tree regression voting," *Journal of Healthcare Engineering* 2018.
- [26] Ozkul, Tarik, and Murat Haluk Ozkul, "Computer simulation tool for rhinoplasty planning," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 34, no. 8, pp. 697-718, 2004.
- [27] Zhang, David, et al, "Quantitative analysis of human facial beauty using geometric features," *Pattern Recognition*, vol. 44, no. 4, pp. 940-950, 2011.
- [28] Liu, Yujie, et al, "A physiognomy based method for facial feature extraction and recognition," *Journal of Visual Languages & Computing*, vol. 43, pp. 103-109, 2017.
- [29] Fan, Yang-Yu, et al, "Label distribution-based facial attractiveness computation by deep residual learning," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 20, no. 8, pp. 2196-2208, 2017.
- [30] Chen, Fangmei, et al, "Data-driven facial beauty analysis: prediction, retrieval and manipulation," *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 9, no. 2, pp. 205-216, 2016.
- [31] Rhazi, Manal El, et al, "Facial beauty analysis by age and gender," *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*, vol. 18, no. 1-2, pp. 179-203, 2019.
- [32] De Marsico, Maria, et al, "Robust face recognition after plastic surgery using region-based approaches," *Pattern Recognition*, vol. 48, no. 4, pp. 1261-1276, 2015.
- [33] Sable, Archana Harsing, et al, "Recognition of plastic surgery faces and the surgery types: An approach with entropy based scale invariant features," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 31, no. 4, pp. 554-560, 2019.
- [34] Ali Fahmi Jafargholkhanloo, and Mousa Shamsi, "Quantitative Analysis of Facial Soft Tissue Using Weighted Cascade Regression Model Applicable for Facial Plastic Surgery," *Signal Processing: Image Communication*, pp. 117086, 2023.
- [35] Ali Fahmi Jafargholkhanloo, and Mousa Shamsi, "Cephalometry analysis of facial soft tissue based on two orthogonal views applicable for facial plastic surgeries," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 82, no. 20, pp. 1-26, 2023.
- [36] Sameer, F. O., et al, "A new algorithm of modified binary particle swarm optimization based on the Gustafson-Kessel for credit risk assessment," *Neural Computing and Applications*, vol. 31, pp. 337-346, 2017.
- [37] Abualigah, L, et al, "Reptile Search Algorithm (RSA): A nature-inspired meta-heuristic optimizer," *Expert Systems with Applications*, vol. 191, pp. 116158, 2022.
- [38] P. Dollar, et al, "Fast Feature Pyramids for Object Detection," *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, vol. 36, no. 8, pp. 1532-1545, 2014.
- [39] Yuan, J., et al, "Pedestrian detection using integrated aggregate channel features and multitask cascaded convolutional neural-network-based face detectors," *Sensors*, vol. 22, no. 9, pp. 3568, 2022.
- [40] Yang, Bin, et al, "Aggregate channel features for multi-view face detection," In *IEEE international joint conference on biometrics*, pp. 1-8. IEEE, 2014.
- [41] Verma, Ankit, et al, "Pedestrian detection via mixture of CNN experts and thresholded aggregated channel features," In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*, pp. 163-171. 2015.
- [42] Mukhopadhyay, Priyanka, and Bidyut B. Chaudhuri, "A survey of Hough Transform," *Pattern Recognition*, vol. 48, no. 3, pp. 993-1010, 2015.
- [43] IXI Available from: <https://brain-development.org/ixi-dataset/>.
- [1] Attractiveness of the Face," *European journal of orthodontics*, vol. 38, no. 6, pp. 602-608, 2016.
- [2] K. S. Kaya, B. Turk, et al, "Assessment of facial analysis measurement by Golden Proportion," *Brazilian journal of otorhinolaryngology*, vol. 85, no. 4, pp. 494-501, 2019.
- [3] A. E. Kaipainen, et al, "Regional Facial Asymmetries and Sh. Liu, et al, "Advances in computational facial attractiveness methods," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 75, no. 23, pp. 16633-16663, 2016.
- [4] Gode, Sercan, et al, "Photogrammetric analysis of soft tissue facial profile in Turkish rhinoplasty population," *Aesthetic plastic surgery*, vol. 35, no. 6, pp. 1016-1021, 2011.
- [5] Malkoç, Siddik, et al, "Angular photogrammetric analysis of the soft tissue facial profile of Turkish adults," *The European Journal of Orthodontics*, vol. 31, no. 2, pp. 174-179, 2009.
- [6] Fortes, Helena Nunes da Rocha, et al, "Photometric analysis of esthetically pleasant and unpleasant facial profile," *Dental press journal of orthodontics*, vol. 19, no. 2, pp. 66-75, 2014.
- [7] Fariaby, Javad, et al, "Photographic analysis of faces of 20-year-old students in Iran," *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, vol. 44, no. 5, pp. 393-396, 2006.
- [8] Ukoha, U., et al, "Angular craniofacial photo-metric analysis of the facial profile of Igalas in Nigeria," *Anthropol Open J*, 2017.
- [9] Tang, Xin, et al, "Facial landmark detection by semi-supervised deep learning," *Neurocomputing*, vol. 297, pp. 22-32, 2018.
- [10] Park, Byung-Hwa, et al, "Face alignment using a deep neural network with local feature learning and recurrent regression," *Expert Systems with Applications*, vol. 89, pp. 66-80, 2017.
- [11] Wu, Yue, et al, "Facial landmark detection with tweaked convolutional neural networks," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 40, no. 12, pp. 3067-3074, 2017.
- [12] Mala, Pavla Zedni, et al, "How tight is the relationship between the skeletal and soft-tissue facial profile: A geometric morphometric analysis of the facial outline," *Forensic science international*, Vol. 292, pp. 212-223, 2018.
- [13] Beugre, Jean-Bertin, et al, "Angular photogrammetric analysis and evaluation of facial esthetics of young Ivorians with normal dental occlusion," *International orthodontics*, Vol. 15, pp. 25-39, 2017.
- [14] Ajami, et al, "Angular photogrammetric analysis of the soft tissue facial profile of Iranian young adults," *Iran. J. Orthod*, 2015.
- [15] Shamsi, Mousa, et al, "Automatic Facial Skin Segmentation Based on EM Algorithm under Varying Illumination," *IEICE transactions on information and systems*, vol. 91, no. 5, pp. 1543-1551, 2008.
- [۱۶] محمد مهدی بخشی، حمید حسن پور، منصور فاتح، «استخراج ویژگی‌های مکان-فرکانسی جهت بازیابی تصویر چهره از پایگاه داده‌ی حجیم تصاویر»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۸، شماره ۲، صفحات ۵۰۹-۵۱۷، ۱۳۹۷.
- [۱۷] حمید صادقی، فضائل آیت اللهی، ابوالقاسم اسدالله راعی، «شناسایی حالت چهره با استفاده از نرمالیزاسیون هندسی و تبدیل موجک مختلط Dual-Tree»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۵، شماره ۳، صفحات ۷۹-۸۷، ۱۳۹۴.
- [18] Pujol, Francisco A., et al, "Face detection based on skin color segmentation using fuzzy entropy," *Entropy*, vol. 19, no. 1, 2017.

- Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 7, pp. 971–987, 2002.
- [49] Dalal, N., and B. Triggs, “Histograms of Oriented Gradients for Human Detection,” *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 886–893, 2005.
- [50] Kennedy, James, and Russell Eberhart, “Particle swarm optimization,” *Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks*, vol. 4. IEEE, 1995.
- [51] A. Askarzadeh, “A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm,” *Computers and Structures*, vol. 169, pp. 1-12, 2016.
- [52] S. Mirjalili, A. Lewis, “The Whale Optimization Algorithm,” *Advances in Engineering Software*, vol. 92, pp. 51-67, 2016.
- [44] Pattanaik, S., and Pathuri, S, “Establishment of aesthetic soft tissue norms for Southern India population: A photogrammetric study,” *Orthodontic Journal of Nepal*, vol. 4, no. 1, pp. 29-35., 2014.
- [45] Naini, F. B., et al, “Aesthetic impact of the upper component of the nasolabial angle: a quantitative investigation,” *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology*, vol. 27, no. 4, pp. 470-476., 2015.
- [46] Eliakim-Ikechukwu, C., et al, “Facial aesthetic angles of the Ibo and Yoruba ethnic groups of Nigeria,” *IOSR J Pharm Biol Sci*, vol. 5, pp. 14-17., 2013.
- [47] Viola, P., and M. J. Jones, ‘Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features.,’ *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference*, vol. 1, pp. I-511–I-518, 2001.
- [48] Ojala, T, et al, “Multiresolution Gray-scale and Rotation Invariant Texture Classification With Local Binary Patterns,” *IEEE*