

آنالیز آنترپومتری چهره به منظور کاربرد در جراحی چهره با استفاده از توزیع گوسین مکانی

علی فهمی جعفرقلخانلو^۱، موسی شمسی^{۲*} و هوشنگ روحی^۳
^۱دانشکده مهندسی پزشکی، گروه بیوالکتریک، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران
^۲دانشکده علوم، گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

چکیده

آنالیز تصاویر چهره انسان به دلیل کاربردهای فراوان آن در جراحی‌های چهره دارای اهمیت زیادی است. وجود ابزارهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در زمینه آنالیز جراحی‌های چهره کمک شایانی را می‌تواند به متخصصان جراحی‌های چهره در قبل و بعد عمل جراحی داشته باشد. در این راستا، نیاز به دانستن آنترپومتری‌های موردنظر در آنالیز جراحی‌های چهره و استخراج ویژگی هستیم. جهت استخراج کانتور نمای جانبی چهره و ناحیه گوش برای آنالیز در جراحی‌های رینوپلاستی و اتوپلاستی از مدل کانتور فعال مبتنی بر توزیع گوسین مکانی (مدل LGDF) استفاده شده است. در جراحی‌های اشاره‌شده، ابتدا کانتور ناحیه موردنظر را با استفاده از مدل LGDF استخراج کرده و در مرحله بعد با اعمال گوشه‌یاب هریس نقاط شاخص موردنظر جهت آنالیز آنترپومتری موردنظر آشکارسازی شده‌اند. دقت الگوریتم پیشنهادی در جراحی رینوپلاستی برای پایگاه داده دانشگاه سهند بالای ۹۰٪ بوده و در جراحی اتوپلاستی دقت الگوریتم پیشنهادی برای پایگاه داده AMI جهت اندازه‌گیری طول، عرض و زاویه خارجی گوش به ترتیب ۹۶/۴۳٪، ۹۷/۴۲٪ و ۸۵/۴۶٪ هستند.

واژگان کلیدی: آنالیز آنترپومتری بافت نرم چهره، آنالیز جراحی چهره، سامانه تصویربرداری متعامد چهره، نقاط کلیدی چهره، مدل LGDF

Anthropometric Analysis of Face using Local Gaussian Distribution Fitting Applicable for Facial Surgery

Ali Fahmi Jafargholkhanloo¹, Mousa Shamsi^{2*} & Houshang Rouhi³

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

³Faculty of Science, Islamic Azad University, Ardabil, Iran

Abstract

Human facial plays a very important role in the human's appearance. Many defects in the face affect the facial appearance, significantly. Facial plastic surgeries can correct the defects on the face. Analysis of facial color images is very important due to its numerous applications in facial surgeries. Different types of facial surgeries, such as Rhinoplasty, Otoplasty, Belpharoplasty and chin augmentation are performed on the face to make beautiful structure. Rhinoplasty and Otoplasty are widely used in the facial plastic surgeries. the former is performed to correct air passage, correct structural defects, and make a beautiful structure on bone, cartilage, and soft nasal tissue. Also, the latter is performed to correct defects in the ear area. Development of different tools in the field of facial surgery analysis can help surgeons before and after surgery. The main purpose of this study is the anthropometry analysis of facial soft tissue based on image processing methods applicable to Rhinoplasty and Otoplasty surgeries. The proposed method includes three parts: (1) contour detection, (2) feature extraction, and (3) feature selection. An Active Contour Model (ACM) based on Local Gaussian Distribution Fitting (LGDF) has been used to extract contours from facial lateral view and ear area. The LGDF model is a region-based model which unlike other models such as the

* Corresponding author

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات

Chan-Vese (CV) model is not sensitive to the inhomogeneity of image spatial intensity. Harris Corner Detector (HCD) has been applied to extracted contour for feature extraction. HCD is a method based on calculating of auto-correlation matrix and changing the gray value. In this study, dataset of orthogonal stereo imaging system of Sahand University of Technology (SUT), Tabriz, Iran has been used. After detecting facial key points, metrics of facial profile view and ear area have been measured. In analysis of profile view, 7 angles used in the Rhinoplasty have been measured. Analysis of ear anthropometry includes measuring the length, width and external angle. In the Rhinoplasty analysis, accuracy of the proposed method was about %90 in the all measurement parameters, as well as, it was %96.432, %97.423 and %85.546 in the Otoplasty analysis for measuring in the length, width and external angle of the ear on AMI database, respectively. Using the proposed system in planning of facial plastic surgeries can help surgeons in the Rhinoplasty and Otoplasty analysis. This research can be very effective in developing simulation and evaluation systems for the mentioned surgeries.

Keyword: Facial Soft Tissue Analysis, Surgery Analysis, Orthogonal Stereo Imaging, Facial Key Points, LGDF Model.

چهره بیمار به منظور همانند کردن چهره، به طور طبیعی بازسازی می‌شود و به طور معمول با چهره اصلی یکسان نیست، مانند: ترمیم پوست آسیب دیده ناشی از سوختگی یا تصادف [4-6].

از ابزارهای بررسی و توصیف ظاهر انسان، می‌توان به علم آنتروپومتري یا اندازه‌گیری ابعاد بدن انسان اشاره کرد. یکی از زمینه‌های مهم مرتبط با علم آنتروپومتري، جراحی پلاستیکی است. هدف از اعمال جراحی‌های زیبایی و ترمیمی مناسب کردن اجزای بدن تا حد نرمال است. یکی از مهمترین بخش‌های جراحی زیبایی و ترمیمی، جراحی چهره است، بنابراین دانش تناسبات نرمال در چهره انسان یکی از ضروری‌ترین اصول در آنالیز آنتروپومتري چهره برای متخصصان است. نخستین قدم در ارزیابی بیمارانی که جهت اعمال جراحی‌های زیبایی و ترمیمی به متخصصین مراجعه می‌کنند، آنالیز اجزای چهره است تا با معیارهای استاندارد مقایسه شده و بر اساس آن عمل جراحی مناسب انجام شود [7-10]. با توجه به اینکه در بین جراحی‌های ترمیمی و زیبایی چهره، پرکاربردترین و مهم‌ترین جراحی‌ها در کشور ایران به ترتیب، جراحی‌های رینوپلاستی^۳ و اتوپلاستی^۴ هستند، در نتیجه، در این پژوهش به آنالیز آنتروپومتري چهره به منظور کاربرد در جراحی‌های یاد شده پرداخته شده است.

رینوپلاستی یک عمل جراحی بر روی استخوان، غضروف و بافت نرم بینی است که به منظور اصلاح عبور هوا در بینی، اصلاح نقص‌های ساختاری و دادن یک فرم زیبا به بینی انجام می‌شود. عمل جراحی سیتورینوپلاستی^۵ نیز شامل عمل جراحی بر روی دیواره یا دیواره بین دو طرف از

³ Rhinoplasty Surgery

⁴ Otoplasty Surgery

⁵ Septorhinoplasty Surgery

۱- مقدمه

امروزه آنالیز تصاویر چهره انسان به دلیل کاربردهای فراوان آن اهمیت زیادی پیدا کرده است. از جمله این کاربردها می‌توان به چهره‌نگاری پلیسی، تشخیص حالات چهره، پویانمایی چهره انسان، واسط‌های کاربری با تصاویر چهره انسان، جراحی‌های ترمیمی و زیبایی چهره اشاره کرد. چهره انسان نقش بسیار مهمی را در ظاهر فرد ایفا می‌کند؛ ناهنجاری‌های خیلی کم در چهره انسان، به میزان قابل توجهی شکل ظاهری فرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اهمیت انجام جراحی‌های چهره امروزه بر هیچ کسی پوشیده نیست و همواره با حساسیت بسیار زیادی هم از طرف بیمار و هم از طرف جراح همراه بوده است [1-3].

هدف اصلی در جراحی‌های پلاستیکی، برقراری مجدد عملکرد پوست و نزدیک کردن ساختار بافت به سطح عملکرد در حالت طبیعی است. جراحی‌های پلاستیکی به خاطر سه هدف مهم: (۱) کاهش کاستی‌های مادرزادی، (۲) ترمیم پوست و بافت آسیب دیده ناشی از بیماری، (۳) ترمیم پوست و بافت آسیب دیده ناشی از صدمه انجام می‌پذیرد. جراحی‌های پلاستیکی در حالت کلی به دو دسته جراحی پلاستیکی محلی^۱ (LPS) و جراحی پلاستیکی همه‌جانبه^۲ (GPS) متمایز می‌شوند. در جراحی‌های LPS پزشک یک محل مشخصی از بدن را مورد جراحی قرار می‌دهد، در حالی که در جراحی‌های GPS پزشک می‌تواند یک ناحیه از بدن را مورد عمل جراحی قرار دهد. جراحی‌های LPS به منظور اصلاح نواقص موجود در چهره، اصلاح فک و ساختار دندان، ساختار بینی، چانه، پیشانی و پلک چشم به کار می‌رود. در جراحی‌های GPS، قیافه، بافت و ویژگی‌های

¹ Local Plastic Surgery

² Global Plastic Surgery

در خط میانی، Li^9 نقطه خط میانی لب پایین در مرز ورمیلیون، Sm^{10} نقطه میانی چین لابیومنرال^{۱۱} بین لب پائین و چانه، Pg^{12} قدامی ترین نقطه چانه [14]، هستند. مهم ترین پارامترهای مورد نظر یک متخصص رینوپلاستی شامل موارد زیر هستند [15-17]:

• **زاویه نازوفرونرال^{۱۳}**: زاویه بین خط شکل گرفته از نقطه گلابلا تا نقطه نازیون، و خط شکل گرفته از نقطه نازیون تا نوک بینی، با محدوده ۱۱۵-۱۳۵ درجه، شکل (۲-الف).

• **زاویه نازومنرال^{۱۴}**: زاویه بین خط شکل گرفته از نقطه نوک بینی تا نقطه نازیون، و خط شکل گرفته از نقطه نازیون تا نقطه پاگونسیون، با محدوده ۲۰-۳۰ درجه، شکل (۲-ب).

• **زاویه نوک بینی^{۱۵}**: زاویه بین خط شکل گرفته از نقطه نازیون تا نوک بینی، و خط شکل گرفته از نوک بینی تا نقطه سابنازال، با محدوده ۷۰-۸۸ درجه، شکل (۲-ج).

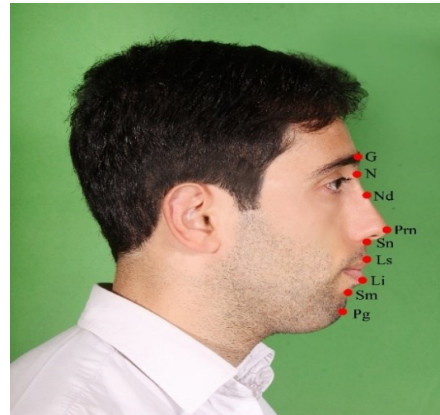
• **زاویه تقعر چهره شامل بینی^{۱۶}**: زاویه بین خط شکل گرفته از نقطه نازیون تا نوک بینی، و خط شکل گرفته از نوک بینی تا نقطه پاگونسیون، با محدوده ۱۲۰-۱۳۰ درجه، شکل (۲-د).

• **زاویه تقعر چهره بدون بینی^{۱۷}**: زاویه بین خط شکل گرفته از نقطه گلابلا تا نقطه ساب نازال، و خط شکل گرفته از نقطه سابنازال تا نقطه پاگونسیون، با محدوده ۱۵۰-۱۷۰ درجه، شکل (۲-و).

• **زاویه منتولابیال^{۱۸}**: زاویه بین خط شکل گرفته از نقطه قسمت پایینی لب تا نقطه سوپرامنتال، و خط شکل گرفته از نقطه سوپرامنتال تا نقطه پاگونسیون، با محدوده ۱۰۷-۱۱۸ درجه، شکل (۲-ه).

• **زاویه نازولابیال^{۱۹}**: زاویه بین خط شکل گرفته از نوک بینی تا نقطه سابنازال، و خط شکل گرفته از نقطه سابنازال تا نقطه قسمت بالایی لب، با محدوده ۹۰-۱۱۰ درجه.

بینی بوده و بر روی افرادی که نمی‌توانند به خوبی از طریق بینی نفس بکشند، انجام می‌شود. جراحی رینوپلاستی به دلیل ایجاد ساختار مناسب و زیبا در بیمار، یک چالش همیشگی برای متخصصان است، که در آن ارزیابی درست از پارامترهای تقارن چهره، اجازه تغییرات هارمونیک مناسب بر روی بیمار را می‌دهد. به منظور رسیدن به این هدف، ارزیابی درست از پارامترهای زیبایی جهت به دست آوردن تغییرات هارمونیک ضروری بوده و یک متخصص جراحی رینوپلاستی باید درک قوی‌ای از این مفاهیم را داشته باشد [11-13].



(شکل-۱): نقاط شاخص نمای جانبی چهره
(Figure-1): Facial landmarks in the lateral view

با توجه به اینکه درک زیبایی چهره یک فرد با آنالیز آنتروپومتری چهره از نمای جانبی چهره بیشتر قابل فهم است، و از طرف دیگر به دلیل تنوع و پیچیدگی‌های موجود در نمای جانبی چهره، تمرکز اصلی متخصصان رینوپلاستی در قبل و بعد عمل جراحی، بیشتر در نمای جانبی چهره است. به منظور نشان دادن آنتروپومتری‌های مهم چهره از نمای جانبی در جراحی رینوپلاستی، نقاط شاخص مهم در این نما از چهره شکل (۱) شامل: G^1 برجستگی ظریف بین ابروها، N^2 عمیق ترین نقطه گودی بین پیشانی و بینی، Nd^3 اتصال استخوانی و غضروفی بینی در خط میانی، Prm^4 نوک بینی یا برآمده ترین قسمت بینی، Sn^5 نقطه‌ای که کولوملا^۶ با لب فوقانی در صفحه ساجیتال ادغام می‌شود، Ls^7 محل اتصال قرمزی و پوستی قسمت بالایی لب در مرز ورمیلیون^۸

- 1 Glabella
- 2 Nasion
- 3 Nasal Dorsum
- 4 Pronasal
- 5 Subnasal
- 6 Columella
- 7 Labial Superior
- 8 Vermilion

⁹ Labial Inferior

¹⁰ Supramental

¹¹ Labiomenral

¹² Pagonion

¹³ Nasofronal Angle

¹⁴ Nasomenral Angle

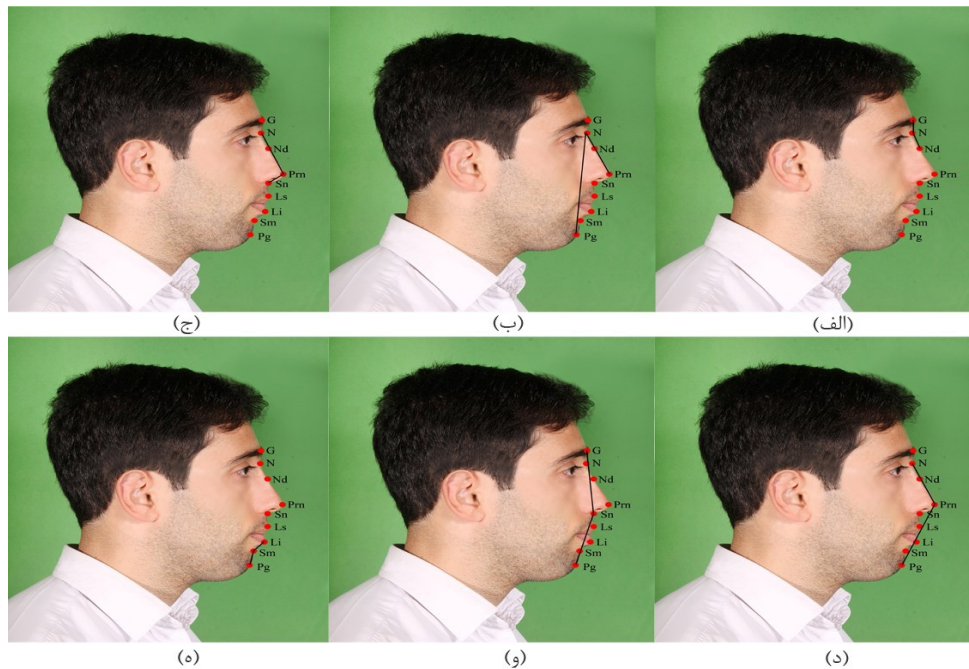
¹⁵ Nose Tip Angle

¹⁶ Convexity of Including Nose

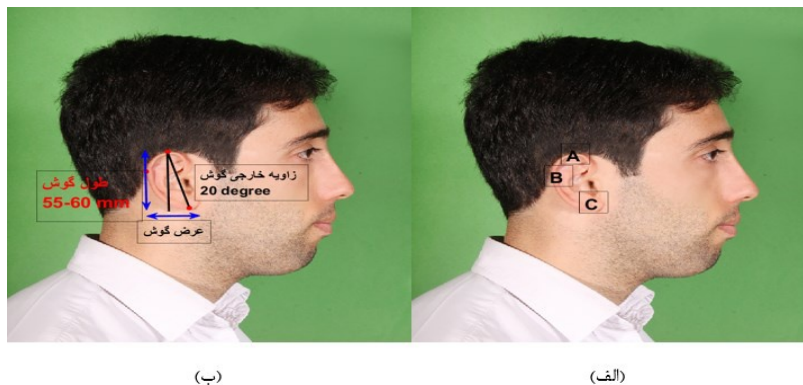
¹⁷ Convexity of Excluding Nose

¹⁸ Mentolabial Angle

¹⁹ Nasolabial Angle



(شکل-۲): آنالیز آنترپومتری چهره برای جراحی رینوپلاستی.
(Figure-2): Facial anthropometry analysis for Rhinoplasty surgery.



(شکل-۳): نمایی از ساختار طبیعی گوش. (الف): فاصله نقاط A، B و C از پوست در حالت طبیعی به ترتیب ۱۰-۱۲، ۱۶-۲۰ و ۲۰-۲۲ میلی‌متر است. (ب): نمایی از آنترپومتری طبیعی گوش.

(Figure-3): Structure of ear normal. (A): The distance of between points including: A, B and C from the skin in the normal state is 10-12, 16-20 and 20-22 mm. (B): Anthropometry of ear normal.

اتوپلاستی برقراری دوباره ظاهر طبیعی برای لاله گوش^۱ و ارتباط آن با سر است [18-20].
ظاهر گوش خارجی در حالت طبیعی دارای فاصله کمتر از دو سانتی‌متر از سر و زاویه‌ی کمتر از ۲۰ درجه نسبت به آن است. در صورت بیش‌تر بودن این حدود، از نمای روبه‌رو و یا پشتی ظاهر گوش به‌صورت برجسته به‌نظر خواهد آمد. در عمل جراحی اتوپلاستی، در صورت برجسته‌بودن گوش، از طریق بخیه‌زدن گوش، می‌توان لاله گوش را صاف و

¹ Auricle

جراحی اتوپلاستی روشی است که در آن اندازه و حالت گوش‌ها تغییر پیدا می‌کنند. در این جراحی، ساختار نامناسب گوش را که به‌صورت مادرزادی در طول رشد، یا به‌دلیل حوادث به‌وجود آمده است، می‌توان اصلاح کرد. بسیاری از افراد از دوران کودکی با اندازه و ظاهر گوش خود مشکل دارند، یا اینکه برآمدگی گوش آن‌ها دارای تقارن مناسب نبوده و یا دارای مشکل افتادگی بیش از حد در گوش‌های خود هستند، در نتیجه هدف اصلی یک متخصص

رادون، ابتدا نواحی موردنظر در تصویر انتخاب و سپس بر روی تصویر رنگی فیلتر میانه اعمال شده است، و در نهایت با آشکارسازی کانتور نمای جانبی چهره با استفاده از مدل کانتور فعال و پیدا کردن دو نقطه کمینه با استفاده از تبدیل رادون، خطوط موردنظر جهت اندازه‌گیری زوایای یادشده آشکارسازی شده‌اند. بخش‌علی و همکارانش [23] جهت اندازه‌گیری دقیق بیومتریک چهره و ایجاد تصویری روشن و شفاف از چین و چروک اطراف چشم، سامانه‌ای را طراحی کرده‌اند که این سامانه به منظور کاربرد در جراحی بلفاروپلاستی^۴ به کار گرفته می‌شود. در این سامانه با به‌کارگیری فیلتر فازی، ابتدا تصاویر بیماران مورد عمل جراحی بلفاروپلاستی از پایگاه داده دکتر استین بهبود بخشیده شده و در نهایت چین و چروک اطراف ناحیه چشم مشخص شده است. در [24] جهت آشکارسازی نقاط شاخص نمای جانبی چهره بر روی تصاویر سفالوگرام جهت کاربرد در آنالیز جراحی رینوپلاستی، ابتدا کانتور نمای جانبی چهره با استفاده از مدل کانتور فعال بدون لبه آشکار شده است. پس از استخراج کانتور نمای جانبی، با استفاده از هیستوگرام گرادینان‌های جهت‌دار (HOG^۵) و ماشین بردار پشتیبان (SVM^۶)، ۴ نقطه شاخص از ناحیه چانه جهت اندازه‌گیری زوایای موجود در نواحی چانه آشکارسازی شده‌اند. تقی‌زاده و همکارانش [25] به منظور آشکارسازی نقاط شاخص نمای جانبی چهره بر روی تصاویر سفالوگرام از مدل AAM^۷ استفاده کرده‌اند. در این روش از ۱۹۱ نقطه شاخص جهت یادگیری اولیه استفاده شده، و از بین این نقاط، چهارده نقطه اصلی برای آنالیز در جراحی ارتودنسی به کار گرفته شده و در نهایت، با آشکارسازی این نقاط شاخص، هشت زاویه مهم در جراحی ارتودنسی اندازه‌گیری شده است. در این پژوهش یک روش کانتور فعال مبتنی بر توزیع گوسین مکانی به منظور استخراج کانتور نمای جانبی چهره و کانتور گوش جهت آنالیز آنتروپومتری چهره برای جراحی رینوپلاستی و اتوپلاستی ارائه شده است. ساختار کلی مقاله به این صورت است: در بخش ۲ مدل کانتور فعال مبتنی بر توزیع گوسین مکانی توضیح داده می‌شود. بخش ۳ شامل نحوه استخراج ویژگی در سامانه‌های جراحی رینوپلاستی و جراحی اتوپلاستی است. در بخش ۴ نتایج پیاده‌سازی‌ها و در بخش ۵ نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها را خواهیم داشت.

⁴ Belpharoplasty Surgery

⁵ Histogram Oriented Gradient

⁶ Support Vector Machine

⁷ Active Appearance Model

به سر نزدیک‌تر کرد، همچنین در صورتی که یکی از گوش‌ها نسبت به دیگری بالاتر باشد، از طریق عمل جراحی اتوپلاستی می‌توان آن‌ها را نسبت به هم متقارن کرد [21].

از لحاظ زیباشناسی، مناسب‌ترین افکنش^۱ لاله گوش، در حدود ۲۰-۳۰ درجه از مجسمه است. در حالت طبیعی، طول گوش به‌طور تقریبی ۵۵-۶۰ میلی‌متر و عرض آن در حدود ۵۵٪ طول گوش بوده که در شکل (۳-ب) نشان داده شده است. یکی از مهم‌ترین اندازه‌گیری‌ها، فاصله هلیکس تا پوست سر است، که در سه نقطه شامل: نقطه بالایی دیواره هلیکس، نقطه میانی هلیکس و لوبول، شکل (۳-الف)، قابل اندازه‌گیری است. محدوده این فواصل به ترتیب ۱۰-۱۲، ۱۶-۲۰ و ۲۰-۲۲ میلی‌متر هستند [18].

شاید در ارتباط با افراد در جامعه، بعضی از اشخاص را دیده‌اید که لاله هر دو گوششان یا یکی از آن‌ها نسبت به دیگری برجسته باشد. گوش برجسته^۲، یک تغییر شکل در ساختار گوش خارجی^۳ است. این ناهنجاری می‌تواند باعث تنش‌های فیزیولوژیکی، آسیب‌های عاطفی و اختلالات رفتاری به‌ویژه در کودکان شود. تمامی این مشکلات از طریق جراحی اتوپلاستی برطرف می‌شود [19].

با توجه به اینکه با مفهوم و آنالیز آنتروپومتری دو جراحی مهم و پرکاربرد در کشور ایران، به ترتیب جراحی رینوپلاستی و جراحی اتوپلاستی آشنا شدیم، در ادامه به توضیح مختصر بر پیشینه کارهای پژوهشی در زمینه آنالیز چهره با کاربرد در جراحی‌های چهره، که تعداد این روش‌ها محدود هستند، خواهیم پرداخت.

بخش‌علی و شمسی [22] به منظور اندازه‌گیری سه زوایای نازولابیال، چانه و نوک بینی، خطوط موردنظر جهت اندازه‌گیری زوایای یادشده را از طریق تبدیل رادون آشکارسازی کرده‌اند. تبدیل رادون یکی از مهم‌ترین اصول‌های ریاضی در تصویربرداری توموگرافی از یک شیء است. در توابع دوبعدی، انطباق یک انعکاس تمام اشعه در طول یک جهت مشخص، سینوگرام نامیده می‌شود. مقدار یک نقطه در فضای رادون برابر با حاصل جمع نقاط روی خط در فضای دوبعدی است. در [22] جهت اندازه‌گیری زوایای نازولابیال، چانه و نوک بینی با استفاده از تبدیل

¹ Projection

² Prominent Ear

³ External Ear

گوش خارجی فقط در پستانداران وجود داشته و مسئول هدایت ارتعاشات به قسمت میانی و درونی گوش است.

۲- مدل کانتور فعال مبتنی بر توزیع گوسین مکانی

مدل‌های کانتور فعال یکی از موفق‌ترین روش‌ها به‌منظور بخش‌بندی تصاویر و آشکارسازی مرزها هستند. ایده اصلی در این مدل‌ها حرکت منحنی تحت تعدادی محدودیت‌ها، جهت استخراج شیء موردنظر است. با توجه به ماهیت محدودیت‌های موجود در مدل‌های کانتور فعال، این مدل‌ها تحت تنظیم سطح به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: مدل‌های مبتنی بر لبه و مدل‌های مبتنی بر ناحیه. مدل‌های مبتنی بر لبه [26] از اطلاعات لبه مانند گرادیان تصویر برای حرکت کانتور فعال استفاده می‌کنند، این نوع از مدل‌ها به نطفه حساس بوده و در نتیجه برای تصاویر با شدت نور پایین مناسب نیستند؛ در مقابل مدل‌های مبتنی بر ناحیه [27,28] به اطلاعات آماری داخل و خارج ناحیه محدود شده توسط کانتور وابسته بوده و نسبت به مدل‌های مبتنی بر لبه دارای مزایای زیادی هستند. نخست این‌که، به گرادیان تصویر وابستگی‌ای ندارند و می‌توانند اشیای با لبه ضعیف یا بدون لبه را به‌صورت رضایت‌بخش بخش‌بندی کنند. دوم این‌که، با استفاده از اطلاعات مکانی حساسیت کمتری به نویز دارند [29].

یکی از محبوب‌ترین مدل‌های مبتنی بر ناحیه مدل چان-ویس [30] است. عیب مدل چان-ویس (C-V) این است که برای تصاویر با شدت مکانی یکنواخت مناسب است و در عمل در بخش‌بندی تصاویر با شدت مکانی غیریکنواخت نتیجه ضعیفی را ارائه می‌کند؛ به‌همین دلیل، به‌منظور استخراج کانتور موردنظر نمای جانبی چهره از روش LGDF استفاده شده است که در عمل به غیریکنواختی بودن شدت مکانی تصویر حساس نیست.

مدل کانتور فعال مبتنی بر LGDF جهت بخش‌بندی تصاویر با شدت مکانی غیریکنواخت مناسب بوده و در این مدل، شدت‌های مکانی تصویر به‌وسیله توزیع گوسین با میانگین و واریانس‌های متغیر توصیف می‌شود. در این مدل از تطبیق انرژی با توزیع گوسین مکانی استفاده کرده و تابع مجموعه سطح با میانگین و واریانس‌های مکانی به‌عنوان متغیرها تعریف می‌شود. در مدل LGDF تابع مجموعه سطح به‌عنوان جریان گرادیان طراحی شده که تابع انرژی را کمینه کرده و باعث حرکت تابع سطح صفر به سمت مکان‌های موردنظر می‌شود [29].

با فرض بر اینکه $\{\Omega_i\}_{i=1}^N$ مجموعه‌ای از نواحی گسسته در یک تصویر Ω با تعداد نواحی N باشد، در این صورت، دو شرط کلی برای بخش‌بندی یک تصویر به‌صورت زیر است [29]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Omega = \bigcup_{i=1}^N \Omega_i \\ \Omega_i \cap \Omega_j \neq \emptyset \text{ for } i \neq j \end{array} \right\} \quad (1)$$

اگر برای هر نقطه X در تصویر یک همسایگی دایره‌ای به شعاع کوچک ρ به‌صورت زیر تعریف کنیم [29]:

$$\vartheta_x \triangleq \{y: |x - y| \leq \rho\} \quad (2)$$

در این صورت با فرض بر اینکه $p(y \in \Omega_i \cap \vartheta_x | I(y))$ برای مقیاس خاکستری $I(y)$ ، احتمال پسین زیرنواحی $\Omega_i \cap \vartheta_x$ باشد، در این صورت بر اساس قاعده بیز احتمال پسین به‌صورت زیر تعریف خواهد شد [29]:

$$p(y \in \Omega_i \cap \vartheta_x | I(y)) = \frac{p(I(y) | y \in \Omega_i \cap \vartheta_x) p(y \in \Omega_i \cap \vartheta_x)}{p(I(y))} \quad (3)$$

که در آن $p(I(y) | y \in \Omega_i \cap \vartheta_x)$ توزیع مقدار خاکستری در ناحیه $\Omega_i \cap \vartheta_x$ بوده و با نماد $p_{i,x}(I(y))$ نشان داده می‌شود. $p(y \in \Omega_i \cap \vartheta_x)$ احتمال پیشین ناحیه $\Omega_i \cap \vartheta_x$ بوده و $p(I(y))$ نیز احتمال پیشین مقدار خاکستری $I(y)$ بوده و به‌دلیل مستقل بودن از انتخاب ناحیه، می‌توان از آن صرف‌نظر کرد.

با فرض بر اینکه پیکسل‌های درون هر ناحیه مستقل باشند، در این صورت بیشینه احتمال پسین تنها در صورتی به‌دست خواهد آمد که عبارت زیر بیشینه شود [29]:

$$\prod_{i=1}^N \prod_{y \in \Omega_i \cap \vartheta_x} p_{i,x}(I(y)) \quad (4)$$

در صورتی که از رابطه (۴) لگاریتم گرفته شود، بیشینه انرژی به کمینه انرژی تبدیل خواهد شد [29]:

$$E_x^{LGDF} = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i \cap \vartheta_x} -\log(p_{i,x}(I(y))) dy \quad (5)$$

به‌منظور مدلینگ توزیع مقدار خاکستری در ناحیه $\Omega_i \cap \vartheta_x$ انواع متفاوتی از روش‌ها شامل: تابع چگالی گوسین و تخمین غیر پارامتری Parzen وجود دارد. در مدل LGDF جهت مدلینگ احتمال شدت‌ها از تابع چگالی گوسین استفاده می‌کنیم و فرض بر این است که میانگین و واریانس توزیع گوسین مکانی متغیر هستند [29]:

$$p_{i,x}(I(y)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_i(x)} \exp\left(-\frac{(u_i(x) - I(y))^2}{2(\sigma_i(x))^2}\right) \quad (6)$$

$$- \int \omega(x-y) \log(p_{2,x}(I(y))) M_2(\phi(y)) dy$$

جهت کنترل صافی مجموعه سطح صفر و کنترل نوفه برای رابطه (۱۱) یک طول منحنی به صورت زیر تعریف می‌شود [29]:

$$L(\phi) = \int |\nabla H(\phi(x))| dx = \int \delta(\phi(x)) |\nabla \phi(x)| dx \quad (12)$$

برای محاسبه دقیق شامل تابع مجموعه سطح و پایداری آن از عبارت تنظیم^۱ استفاده می‌کنیم. عبارت تنظیم مجموعه سطح به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_p(\phi) \triangleq \int_{\Omega} p(|\nabla \phi|) dx \quad (13)$$

که در آن p یک تابع پتانسیل است. یک انتخاب ساده از تابع پتانسیل برای عبارت تنظیم $p(s) = s^2$ است. به عبارت دیگر می‌توان بیان کرد که: عبارت تنظیم با یک تابع پتانسیل تعریف می‌شود، به طوری که دامنه گرادیان تابع مجموعه سطح را به یکی از نقاط کمینه به منظور نگه داشتن شکل مورد نظر تابع مجموعه سطح اعمال می‌کند. یکی از این توابع پتانسیل Single Well Potential [28] است که دارای یک کمینه در نقطه $S=1$ بوده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$p(\phi) = \int \frac{1}{2} (|\nabla \phi(x)| - 1)^2 dx \quad (14)$$

در نتیجه با ترکیب روابط (۱۴-۱۱) عملکرد انرژی به صورت زیر نوشته می‌شود [29]:

$$E_x^{LGDF}(\phi, u_1(x), u_2(x), \sigma_1^2(x), \sigma_2^2(x)) - \int \omega(x-y) \log(p_{2,x}(I(y))) M_2(\phi(y)) dy + \nu L(\phi) + \mu p(\phi) \quad (15)$$

که در آن متغیرهای میانگین و واریانس به صورت زیر تعریف می‌شوند [29]:

$$p(\phi) = \int \frac{1}{2} (|\nabla \phi(x)| - 1)^2 dx \quad (16)$$

$$\sigma_i(x)^2 = \frac{\int \omega(x-y) (u_i(x) - I(y))^2 M_i(\phi(y)) dy}{\int \omega(x-y) M_i(\phi(y)) dy} \quad (17)$$

یک روش استاندارد جهت کمینه‌کردن عملکرد انرژی نسبت به ϕ حل معادله جریان گرادیان $\frac{\partial \phi}{\partial t} = - \frac{\partial F}{\partial \phi}$ است، که در آن $\frac{\partial F}{\partial \phi}$ مشتق Gateaux عملکرد انرژی است. در نتیجه برای کمینه‌کردن انرژی کافی است که از رابطه (۱۵) مشتق Gateaux گرفته شود، که در آن ما به نتیجه مشتق

^۱ Regularization Term

که در آن $u_i(x)$ و $\sigma_i(x)$ به ترتیب میانگین و واریانس توزیع گوسین متغیر شدت مکانی هستند.

برای هر نقطه $X \in \Omega$ ، از یک تابع کرنل گوسین $\omega(x-y)$ به عنوان یک تابع وزنی استفاده می‌کنیم، در این صورت عملکرد انرژی مکانی برای یک نقطه X به صورت زیر تعریف می‌شود [29]:

$$E_x^{LGDF} = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i \cap \Omega_x} -\omega(x-y) \log(p_{i,x}(I(y))) dy(y)$$

که در آن تابع کرنل گوسین با واریانس σ به صورت زیر تعریف می‌شود [29]:

$$\omega(x-y) = \begin{cases} \frac{1}{a} \exp\left(-\frac{|x-y|^2}{2\sigma^2}\right) & \text{if } |x-y| \leq \rho(\lambda) \\ 0 & \text{if } |x-y| > \rho \end{cases}$$

که در آن a یک پارامتر ثابت بوده و $\int \omega(x-y) = 1$ است. وجود تابع کرنل گوسین باعث می‌شود که: اگر y نزدیک به x باشد، در این صورت مقدار تابع کرنل گوسین بزرگ بوده و سهم شدت $I(y)$ برای عملکرد انرژی قابل توجه خواهد بود. از طرف دیگر، زمانی که y دورتر از x است، در این صورت مقدار تابع کرنل گوسین به شدت به سمت صفر کاهش یافته، به طوری که سهم شدت $I(y)$ برای عملکرد انرژی به صفر برسد. برای تمامی نقاط مرکزی x در تصویر Ω هدف نهایی کمینه‌کردن عبارت زیر است [29]:

$$E_x^{LGDF} = \int_{\Omega} \left(\sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} -\omega(x-y) \log(p_{i,x}(I(y))) dy \right) dx \quad (9)$$

به دلیل اینکه رابطه (۹) در N ناحیه $\{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_N\}$ بیان شده است، انرژی توصیف شده برای ارائه یک جواب جهت کمینه‌کردن انرژی سخت خواهد بود. بنابراین یک تابع مجموعه سطح برای نشان دادن یک نواحی جدا از هم به کار گرفته می‌شود. با فرض بر اینکه تصویر می‌تواند به دو ناحیه پیش‌زمینه Ω_1 و پس‌زمینه Ω_2 تقسیم شود، در این صورت این نواحی می‌توانند به عنوان نواحی بیرون و درون مجموعه سطح صفر ϕ نشان داده شوند. یعنی [29]:

$$\Omega_1 = \{\phi > 0\} \quad \text{and} \quad \Omega_2 = \{\phi < 0\} \quad (10)$$

با استفاده از تابع Heaviside (H) و تابع مجموعه سطح برای نواحی پیش‌زمینه و پس‌زمینه بیان شده، عملکرد انرژی به صورت زیر تعریف می‌شود [29]:

$$E_x^{LGDF}(\phi, u_1(x), u_2(x), \sigma_1^2(x), \sigma_2^2(x)) = - \int \omega(x-y) \log(p_{1,x}(I(y))) M_1(\phi(y)) dy$$

Gateaux عبارت نخست نیاز داریم، با تغییر مرتبه انتگرالی، انرژی را می‌توان به صورت زیر دوباره نوشت [29]:

$$E_x^{LGDF}(\phi, u_1(x), u_2(x), \sigma_1^2(x), \sigma_2^2(x)) - \int \omega(x-y) \log(p_{2,x}(I(y))) M_2(\phi(y)) dy + vL(\phi) + \mu p(\phi) \quad (18)$$

در نتیجه مشتق Gateaux رابطه (18) به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{\partial E}{\partial \phi} = \delta_\varepsilon(\phi)(e_1 - e_2) - v\delta_\varepsilon(\phi) \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) - \mu \left(\nabla^2 \phi - \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \right) \quad (19)$$

که در آن توابع Heaviside، دیراک و e_i به صورت زیر تعریف می‌شوند [29]:

$$H_\varepsilon(Z) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arctan \left(\frac{Z}{\varepsilon} \right) \right) \quad (20)$$

$$\delta_\varepsilon(Z) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\varepsilon}{Z^2 + \varepsilon^2} \quad (21)$$

$$e_i = \int \omega(x-y) \left(\log(\sigma_i(x)) + \frac{(I(y) - u_i(x))^2}{2\sigma_i(x)^2} \right) \quad (22)$$

رابطه (19) در حالت عددی می‌تواند با استفاده از روش تفاضلی محدود حل شود. تقریبی از رابطه (19) می‌تواند به صورت زیر گسسته‌سازی شود:

$$\phi_{i,j}^{n+1} = \phi_{i,j}^n + \Delta t \cdot Q(\phi_{i,j}^n) \quad (23)$$

که در آن Δt گام زمانی و $Q(\phi_{i,j}^n)$ تقریبی از سمت راست رابطه (19) است.

فرآیند اصلی مدل کانتور فعال مبتنی بر LGDF به طور خلاصه به صورت زیر است:

مرحله نخست: مقداردهی یک تابع مجموعه سطح ϕ .

مرحله دوم: به روزرسانی میانگین مکانی با استفاده از رابطه (16).

مرحله سوم: به روزرسانی واریانس مکانی با استفاده از رابطه (17).

مرحله چهارم: به روزرسانی تابع مجموعه سطح با استفاده از رابطه $\frac{\partial \phi}{\partial t}$.

مرحله پنجم: برگشتن به مرحله دوم تا زمانی که معیار هم‌گرایی وجود دارد.

۳- توصیف پایگاه داده

به منظور آزمایش الگوریتم پیشنهادی در سامانه‌های جراحی رینوپلاستی و اتوپلاستی، به ترتیب، از پایگاه داده دانشگاه

صنعتی سهند تبریز و پایگاه داده AMI استفاده شده است. تصاویر پایگاه داده دانشگاه صنعتی سهند تبریز از طریق سامانه تصویربرداری استریو گرفته شده که متعام بوده و در آنالیز جراحی‌های چهره کاربرد زیادی دارد. سامانه متعام شامل ساخت ثابت نگه‌دارنده سر بوده که دقت تصویربرداری را افزایش داده و در عمل باعث قرارگیری سر در بهترین موقعیت خود می‌شود. کنترل این موقعیت توسط یک قرقره و وزنه تعادلی انجام گرفته که باعث قرارگیری سامانه در بهترین مکان می‌شود. سامانه تصویربرداری متعام مزایای بسیار مهمی در آنالیز جراحی‌های چهره دارد. از جمله مزایای مهم می‌توان به: ارائه سه تصویر از سه نمای چهره به صورت هم‌زمان و متعام، کالیبراسیون دقیق، جلوگیری از هرگونه لرزش اشکال در حین تصویربرداری و استفاده آسان در بیمارستان‌ها و کلینیک‌های زیبایی و ترمیمی چهره اشاره کرد. داده‌های جمع‌آوری شده از طریق سامانه تصویربرداری متعام به عنوان ورودی برای سامانه جراحی رینوپلاستی به کار قرار گرفته شده‌اند. در سامانه جراحی رینوپلاستی از ۲۴ تصویر نمای جانبی و روبروی چهره استفاده شده است. این تصاویر در اندازه ۸۰۰×۸۰۰ پیکسل مقیاس‌بندی شده و از شرایط روشنایی پیچیده‌ای بهره‌مند نیستند. در تمامی تصاویر به کار گرفته شده یک نشان‌گر کالیبره وجود دارد، که از طریق آن تصاویر به مقیاس واقعی تبدیل می‌شوند.

در سامانه جراحی اتوپلاستی، به منظور اندازه‌گیری طول، عرض و زاویه خارجی گوش از پایگاه داده AMI [31] استفاده شده است. این پایگاه داده حاوی تصاویر ناحیه گوش از نماهای روبه‌رو، راست، چپ، پائین و بالا هستند. در سامانه جراحی اتوپلاستی از ۳۱ تصویر نمای روبه‌روی گوش استفاده شده است. تمامی تصاویر این پایگاه داده در اندازه ۴۹۲×۷۰۲ پیکسل بوده که به صورت دوبعدی و رنگی هستند.

۳-۱- سامانه جراحی رینوپلاستی

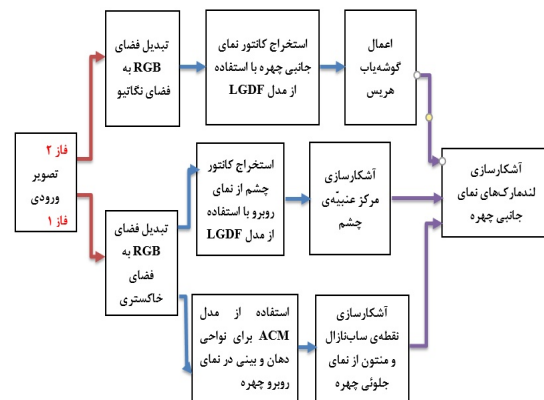
به منظور اندازه‌گیری هفت زاویه توضیح داده شده در بخش ۱، نیازمند آشکارسازی ۹ نقطه شاخص نشان داده شده در شکل (۱) هستیم. همان‌طوری که در شکل (۴) نیز نشان داده شده است، سامانه جراحی رینوپلاستی در دو گام انجام می‌پذیرد.

با توجه به این که تصاویر سامانه جراحی رینوپلاستی متعام هستند و در عمل متعام‌بودن تصاویر باعث می‌شوند

تصاویر، تمامی نقاط مختصه y گوشه‌های به‌دست‌آمده از طریق HCD را بر مختصه y خط عبوری از نقطه گلابلا در نمای روبه‌روی چهره تقسیم کرده و از بین نتایجی که در بازه $[0/97 - 1]$ قرار گرفته‌اند، بیشینه مقدار به‌عنوان نقطه گلابلا از نمای جانبی چهره انتخاب می‌شود. به‌منظور پیدا کردن نوک بینی از نمای جانبی چهره، کافی است، بیشینه مختصه y موجود در مختصات به‌دست‌آمده از طریق HCD را پیدا کنیم. جهت پیدا کردن نقطه ساب‌نازال، تمامی نقاط مختصه y به‌دست‌آمده از طریق HCD بر مختصه y خط عبوری از نقطه ساب‌نازال از نمای روبه‌روی چهره (قسمت کمینه کانتور استخراج شده بینی) تقسیم کرده و از بین نتایجی که در بازه $[0/97 - 1]$ قرار گرفته‌اند، بیشینه مقدار را به‌عنوان نقطه ساب‌نازال از نمای جانبی چهره انتخاب می‌کنیم. الگوریتم مورد استفاده به‌منظور به‌دست‌آوردن نقاط SM و Nasion از نمای جانبی چهره به‌ترتیب در شکل (۶-الف) و (۶-ب) نشان داده شده است. جهت پیدا کردن نقطه SI، مختصه y های (HCD) قرار گرفته بین مختصه y خط عبوری از ساب‌نازال از نمای روبه‌روی چهره (نقطه کمینه کانتور بینی به‌دست آمده با استفاده از ACM) و مختصه y خط عبوری از قسمت بالایی لب از نمای روبه‌روی چهره را به‌دست آورده، و از بین این نقاط، بیشینه نقطه به‌عنوان نقطه SI خواهد بود. جهت پیدا کردن نقطه Si ، مختصه y های قرار گرفته بین مختصه y خط عبوری از ساب‌نازال از نمای روبه‌روی چهره و مختصه y خط عبوری از قسمت پایین لب از نمای روبه‌روی چهره را به‌دست آورده و مکان آن‌ها را به X ها نیز تعمیم داده و از بین این نقاط X ، بیشینه نقطه به‌عنوان نقطه Si خواهد بود. جهت پیدا کردن نقطه پاگونیون از نمای جانبی چهره، از بین نقاط HCD قرار گرفته در زیر قسمت پایینی لب از نمای جانبی چهره، بیشینه مختصه y از بین نقاط HCD به‌عنوان نقطه پاگونیون از نمای جانبی چهره خواهد بود. نقاط شاخص آشکارسازی شده از نمای جانبی چهره بر روی نمونه‌ای از تصاویر در شکل (۷) نشان داده شده است.

پس از استخراج ۹ نقطه شاخص از نمای جانبی چهره، به‌منظور کاربرد در جراحی رینوپلاستی، آنتروپومتری‌های توضیح داده‌شده در بخش ۱، اندازه‌گیری می‌شوند، نمونه‌ای از این آنالیز در شکل (۸) نشان داده شده است.

که نقاط ساب‌نازال، خط بالایی و پایینی لب از نمای روبه‌روی چهره با مختصه y دارای همان مختصه از نمای جانبی چهره باشند، به‌منظور پیدا کردن این نقاط از نمای روبه‌روی چهره از مدل کانتور فعال [26] استفاده شده است. همچنین با توجه به این‌که مختصه y خط عبوری از مرکز عنبیه چشم نمای روبه‌روی چهره، از مختصه y نقطه گلابلا از نمای جانبی چهره عبور می‌کند، در مرحله بعدی گام یک الگوریتم پیشنهادی، با استفاده از مدل LGDF کانتور ناحیه عنبیه چشم را استخراج کرده و مختصه مرکز مردمک چشم را به‌دست می‌آوریم. در گام دو الگوریتم پیشنهادی، به‌منظور استخراج کانتور نمای جانبی چهره با استفاده از مدل LGDF، ابتدا به‌خاطر بهتر دیده شدن لبه‌های کانتور از زمینه تصویر، تصویر را به فضای نگاتیو تبدیل کرده، و کانال دوم این فضا که باعث می‌شود نور منعکس شده از سطحی با پوشش بنفش خالص شامل رنگ سبز نباشد [32] را به‌عنوان ورودی برای مدل LGDF انتخاب می‌کنیم. نحوه استخراج کانتور نمای جانبی چهره با استفاده از مدل LGDF در شکل (۵) نشان داده شده است.

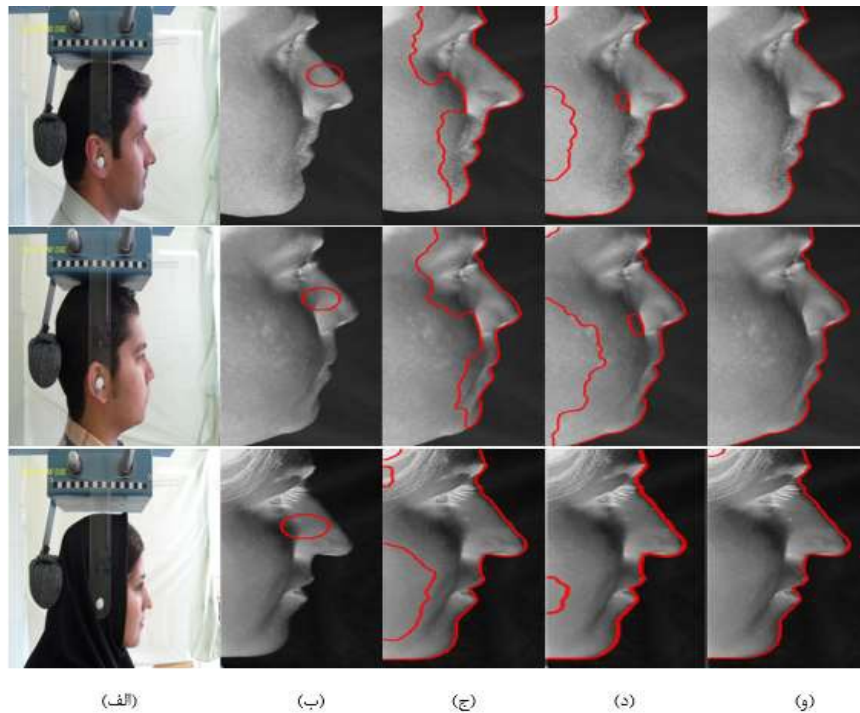


(شکل-۴): نمودار جعبه‌ای الگوریتم پیشنهادی برای سامانه جراحی رینوپلاستی

(Figure-4): Block diagram of proposed algorithm for Rhinoplasty surgery system

پس از استخراج کانتور نواحی بینی و دهان با استفاده از [26]، مختصات نقاط ساب‌نازال، قسمت بالایی، میانی و پایینی دهان از نمای روبه‌روی چهره را از طریق قسمت کمینه و بیشینه کانتور استخراج شده به‌دست می‌آوریم. پس از استخراج کانتور نمای جانبی چهره، آشکارساز گوشه هریس (HCD^1) [33] را به کانتور استخراج شده از نمای جانبی چهره اعمال می‌کنیم. با توجه به ویژگی متعام بودن

¹ Harris Corner Detector



(شکل-۵): استخراج کانتور نمای جانبی چهره. (الف): تصویر اصلی، (ب): کانتور اولیه، (ج): تکرار مرحله ۲۰۰، (د): تکرار مرحله ۴۰۰، (و): تکرار مرحله ۱۸۰۰

(Figure-5): Facial contour extraction from lateral view. (A): Original image, (B): Initial contour, (C): Iteration 200, (D): Iteration 400, (E): Iteration 1800.

$$\begin{cases} B_y = \max(Y) \\ B_x = X(\text{local}(B_y)) \\ \text{if } \text{numel}(B_x) > 1 \rightarrow B_x = \max(B_x) \end{cases} \quad (25)$$

$$\begin{cases} C_x = \min(X) \\ C_y = Y(\text{local}(C_x)) \\ \text{if } \text{numel}(C_y) > 1 \rightarrow C_y = \max(C_y) \end{cases} \quad (26)$$

جهت محاسبه زاویه لاله گوش با استخوان ماستوئید در پشت آن، ابتدا باید قسمت لوبول (نقطه D) را به دست آوریم. برای این منظور طول گوش را به چهار قسمت تقسیم کرده و مختصات نقطه مورد نظر را از قسمت $\frac{1}{4}$ انتهایی به صورت زیر به دست می آوریم:

$$\begin{cases} D_x = \max(X) \\ D_y = Y(\text{local}(D_x)) \\ \text{if } \text{numel}(D_y) > 1 \rightarrow D_y = \max(D_y) \end{cases} \quad (27)$$

همان طوری که در شکل (۱۱) نیز نشان داده شده است، پس از آشکارسازی چهار نقطه شاخص از نمای روبروی ناحیه گوش، آنالیز آنتروپومتری گوش شامل: طول، عرض و زاویه خارجی گوش جهت جراحی اتوپلاستی انجام می شود.

۳-۲- سامانه جراحی اتوپلاستی

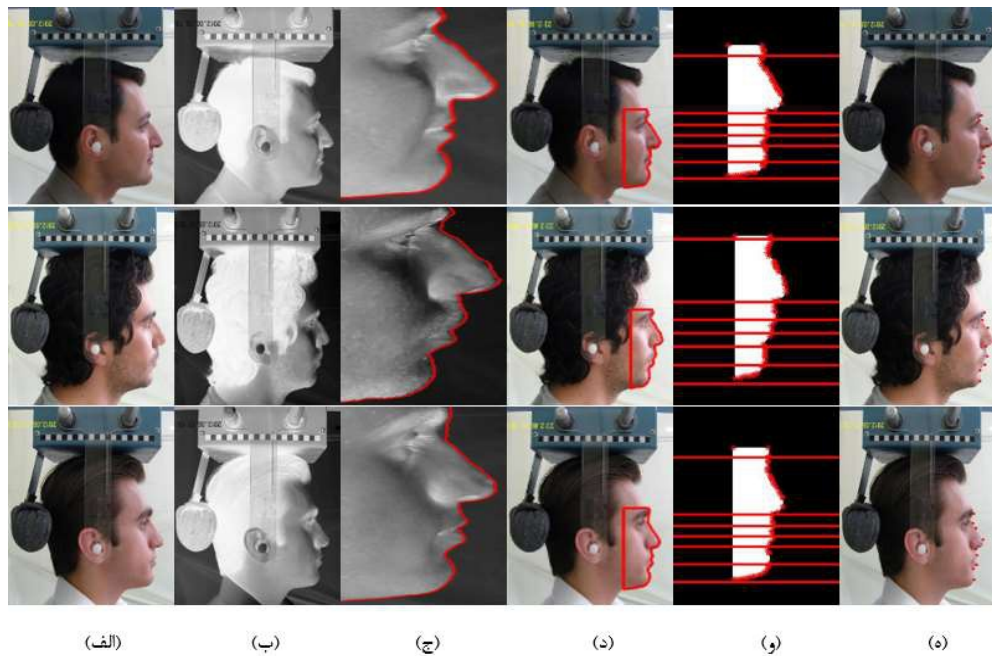
به منظور اندازه گیری طول، عرض و زاویه خارجی گوش، جهت آنالیز در جراحی اتوپلاستی نیازمند آشکارسازی چهار نقطه شاخص از ناحیه گوش هستیم. الگوریتم پیشنهادی برای آنالیز آنتروپومتری ناحیه گوش در شکل (۹) نشان داده شده است.

به منظور حرکت کانتور اولیه به سمت لبه های خارجی ناحیه گوش و استخراج کانتور آن، ابتدا پس زمینه تصویر را با استفاده از عملیات مورفولوژیکی باززدگی تقریب زده و سپس کانال نخست فضای نگاتیو را از پس زمینه تصویر کم کرده، و خروجی این فرآیند را به عنوان تصویر ورودی برای مدل LGDF به کار می بریم. پس از استخراج کانتور ناحیه گوش، شکل (۱۰)، به منظور استخراج نقاط کلیدی، گوشه یاب هریس را به ناحیه کانتور استخراج شده اعمال می کنیم. از بین نقاط به دست آمده از طریق گوشه یاب هریس، مختصات چهار نقطه (A,B,C,D) را به صورت زیر به دست می آوریم:

$$\begin{cases} A_y = \min(Y) \\ A_x = X(\text{local}(A_y)) \\ \text{if } \text{numel}(A_x) > 1 \rightarrow A_x = \min(A_x) \end{cases} \quad (28)$$

<pre> new_contour = lateral_contour(GlabellaLine: Nose Tip Line) (x, y) = use Harris corner detector for new_contour X_{Nasion} = min(x) local(X_{Nasion}) = find(x = X_{Nasion}) Y_{Nasion} = y(local(X_{Nasion})) if numel(Y_{Nasion}) > 1 Y_{New_Nasion} = max(Y_{Nasion}) end </pre> <p style="text-align: right;">(ب)</p>	<pre> y = y_{Harris detector} and y_{new} = Y₄ < y < Y₅ x = x_{Harris detector} and x_{new} = x(local(y_{new})) X_{SM} = min(x_{new}) local(X_{SM}) = find(x_{new} = X_{SM}) Y_{SM} = y_{new}(local(X_{SM})) if numel(Y_{SM}) > 1 Y_{New_SM} = max(Y_{SM}) end </pre> <p style="text-align: right;">(الف)</p>
---	--

(شکل-۶): استخراج نقاط شاخص SM و Nasion از نمای جانبی چهره.
(Figure-6): Extraction of SM and Nasion landmarks from facial lateral view.

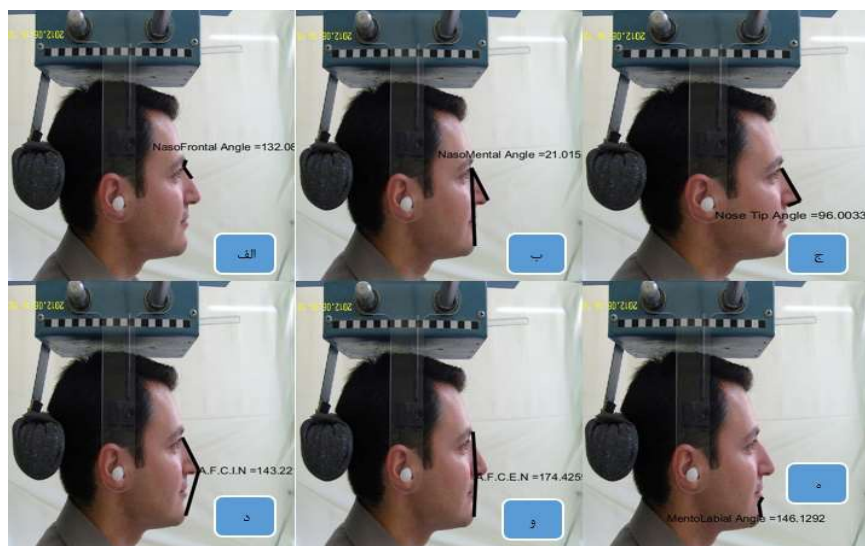


(شکل-۷): استخراج نقاط شاخص نمای جانبی چهره. (الف): تصویر اصلی، (ب): کانال دوم فضای نگاتیو، (ج): استخراج کانتور با استفاده از مدل LGDF، (د): تطبیق کانتور استخراج شده و مجموعه سطح اولیه بر روی تصویر اصلی، (و): اعمال گوشه‌یاب هریس بر روی کانتور استخراج شده، (ه): آشکارسازی نقاط شاخص.

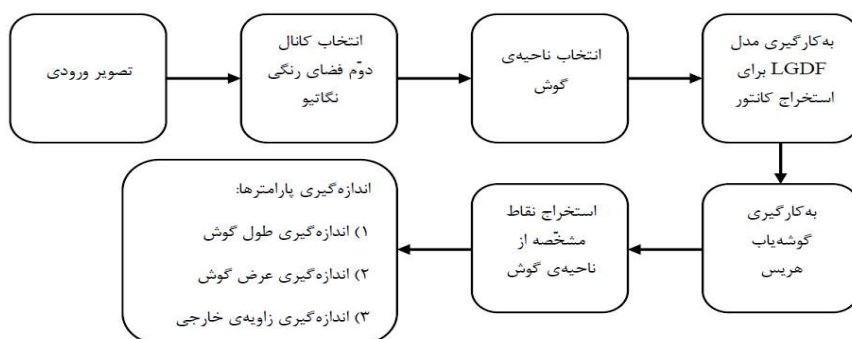
(Figure-7): Facial landmarks extraction from lateral view. (A): Original image, (B): The second channel of negative space, (C): Contour extraction with LGDF model, (D): Match of extracted contour and initial level set on the original image, (E): Enforcement of Harris Corner Detector to the extracted contour, (F): Landmarks detection.

شدند. در مرحله بعد از استخراج کانتور، به کانتور استخراج شده در هر سامانه، گوشه‌یاب هریس اعمال شد و سرانجام نقاط شاخص موردنظر آشکارسازی شدند. در این پژوهش با آشکارسازی سیزده نقاط شاخص، دو سامانه به ترتیب برای جراحی‌های رینوپلاستی و اتوپلاستی طراحی شدند.

جهت اندازه‌گیری متریک‌های نمای جانبی چهره و نمای روبه‌روی گوش، نخستین قدم استخراج کانتور این نواحی بود. روش ارائه شده برای این منظور، باید به غیریکنواختی تصویر حساس نباشد. به همین دلیل، به منظور استخراج کانتور نواحی یادشده از مدل LGDF استفاده شد. در گام بعدی سامانه‌های طراحی شده، نواحی موردنظر به‌عنوان مجموعه سطح اولیه، برای مدل LGDF انتخاب

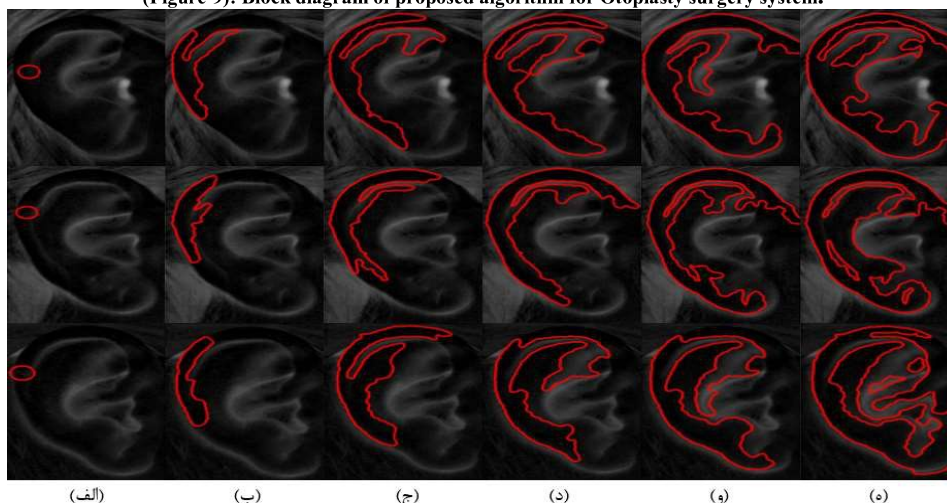


(شکل-۸): نتیجه الگوریتم پیشنهادی برای سامانه جراحی رینوپلاستی. (الف): زاویه نازوفرونتال، (ب): زاویه نازومنتال، (ج): زاویه نوک بینی، (د): زاویه تقعر چهره شامل بینی، (و): زاویه تقعر چهره بدون بینی، (ه): زاویه منتولابیال.
 (Figure-8): Result of proposed algorithm for Rhinoplasty surgery system. (A): Nasofrontal Angle, (B): Nasomental Angle, (C): Nose Tip Angle, (D): Convexity of including nose, (E): Convexity of excluding nose, (F): Mentolabial Angle.



(شکل-۹): بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی برای سامانه جراحی اتوپلاستی.

(Figure-9): Block diagram of proposed algorithm for Otoplasty surgery system.

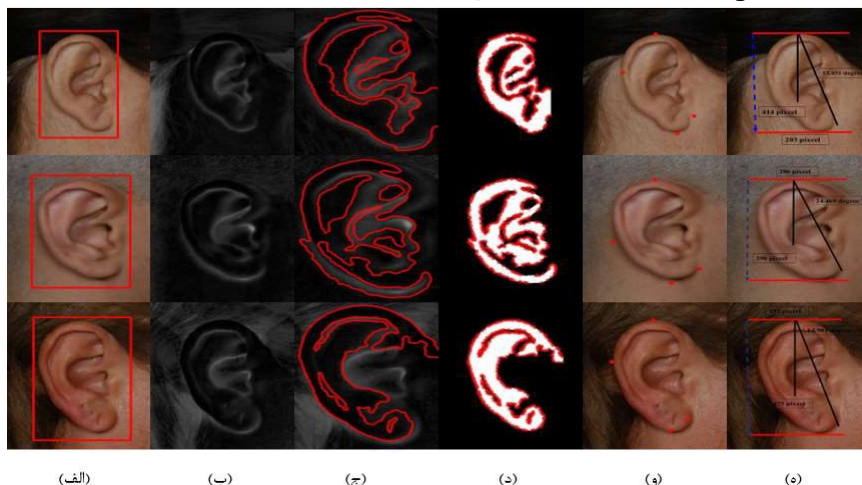


(شکل-۱۰): نمائی از نحوه استخراج کانتور ناحیه گوش بر روی پایگاه داده AMI. (الف): کانتور اولیه، (ب): تکرار ۴۰۰، (ج): تکرار ۸۰۰، (د): تکرار ۱۲۰۰، (و): تکرار ۱۶۰۰، (ه): تکرار ۲۰۰۰.

(Figure-10): An overview of contour extraction of the ear area for AMI data. (A): Initial contour, (B): Iteration 400, (C): Iteration 800, (D): iteration 1200, (E): Iteration 1600, (F): Iteration 2000.

۴- نتایج پیاده‌سازی

الگوریتم ارائه شده جهت اندازه‌گیری متریک‌های نمای جانبی چهره جهت آنالیز در جراحی رینوپلاستی، شامل: زوایای نازوفرونتال، نازومنتال، نوک بینی، منتولابیال، نازولابیال، تقعر چهره شامل بینی، تقعر چهره بدون بینی و برای جراحی اتوپلاستی شامل: طول، عرض و زاویه خارجی گوش به‌کار گرفته شده است. نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از



(شکل-۱۱): اندازه‌گیری پارامتر گوش بر روی پایگاه داده AMI. (الف): انتخاب سطح اولیه، (ب): نحوه‌ی حذف پس‌زمینه تصویر، (ج): استخراج کانتور، (د): اعمال گوشه‌یاب هریس به کانتور استخراج شده، (و): استخراج نقاط شاخص مهم گوش، (ه): آنالیز آنتروپومتری گوش. (Figure-11): Measurement of ear parameters for AMI data. (A): Initial level set selection, (B): How to remove the image background, (C): Contour extraction, (D): Enforcement of Harris Corner Detector to extracted contour, (E): Extraction of ear important landmarks, (F): Ear anthropometry analysis.

مشخص توسط متخصصین می‌تواند تشخیص دقیق‌تری را از طبیعی و غیرطبیعی بودن متریک‌های چهره، تقارن و تناسب طبیعی موجود در چهره، انجام داده و متناسب با آن طرح درمان مناسب‌تری نیز ریخته شود. مطابق با جدول (۳)، دقت الگوریتم پیشنهادی در سامانه‌ی جراحی رینوپلاستی در تمامی متریک‌ها بالای ۹۰٪ است، و این سامانه می‌تواند در آنالیز آنتروپومتری چهره در قبل و بعد عمل جراحی رینوپلاستی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مطابق با جدول (۴)، دقت الگوریتم پیشنهادی در سامانه جراحی اتوپلاستی برای اندازه‌گیری طول، عرض و زاویه خارجی گوش به ترتیب ۹۶/۴۳۲٪، ۹۷/۴۲۳٪ و ۸۵/۵۴۶٪ بوده که این سامانه نیز می‌تواند در آنالیز آنتروپومتری جراحی اتوپلاستی برای نمای روبه‌روی گوش مورد استفاده قرار گیرد.

الگوریتم‌های پیشنهادی برای دو سامانه جراحی رینوپلاستی و اتوپلاستی بر روی یک سیستم AMD A10-7400p با حافظه رم 4GB با سرعت 3.4GHz و نرم‌افزار متلب 2015b انجام شده است.

در رابطه (۲۸)، φ_{pa} و φ_m به ترتیب نشان‌دهنده زاویه اندازه‌گیری شده به صورت دستی و زاویه اندازه‌گیری شده با الگوریتم پیشنهادی است. V و E نیز به ترتیب نشان‌دهنده خطا و درستی الگوریتم پیشنهادی است. میانگین این مقادیر برای سامانه رینوپلاستی و اتوپلاستی به ترتیب در جدول (۳) و جدول (۴) نشان داده شده‌اند. مقادیر کمینه، بیشینه، مقدار متوسط و انحراف معیار آنالیز آنتروپومتری برای دو سامانه موردنظر را به ترتیب در جدول (۱) و جدول (۲) نشان داده‌ایم. همان‌طوری که در جدول (۱) نیز نشان داده شده است، مطابق با محدوده زوایای یادشده در بخش نخست، میانگین زاویه نازوفرونتال با میانگین ۱۴۰/۵۵۸ درجه برای ۲۴ نمونه از تصاویر پایگاه داده دانشگاه صنعتی سهند تبریز، خارج از محدوده تعریف شده است. همچنین زوایای نوک بینی، تقعر چهره شامل بینی، منتولابیال و نازولابیال به ترتیب با میانگین مقادیر ۱۱۰/۹۳، ۱۴۲/۴۲۹، ۱۵۳/۲۷ و ۱۳۶/۴۵۷ درجه نیز مطابق با محدوده یادشده در بخش ۱، خارج از محدوده تعریف شده است. اندازه‌گیری این متریک‌ها در قبل و بعد عمل جراحی و مقایسه آن‌ها با استانداردهای

(جدول-۱): مقایسه نتایج به دست آمده برای الگوریتم پیشنهادی و اندازه گیری دستی بر حسب درجه برای سامانه رینوپلاستی.
(Table-1): Comparison of the obtained results for the proposed algorithm and manual measurement for Rhinoplasty surgery system.

زاویه اندازه گیری	اندازه گیری با الگوریتم پیشنهادی				اندازه گیری دستی			
	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
نازوفرونتال	۱۱۳/۶۱۶	۱۷۱/۲۳۳	۱۴۰/۵۵۸	۱۲/۷۴۳	۱۲۸/۷۹۳	۱۵۱/۳۴۲	۱۳۸/۴۶۱	۷/۳۰۹
نازومنرال	۱۳/۲۳۹	۲۶/۲۷۴	۲۲/۳	۳/۳۴۵	۱۷/۲۲۶	۲۷/۰۴۸	۲۳/۱۳۴	۲/۷۴۷
نوک بینی	۹۵/۵۳۸	۱۲۹/۰۲	۱۱۰/۹۳	۱۰/۲۵۸	۹۸/۳۰۲	۱۱۸/۸۶	۱۰۷/۵۲	۶/۲۴۸
تقعر چهره شامل بینی	۱۳۴/۹۶۴	۱۵۵/۳۳۴	۱۴۲/۴۲۹	۵/۲۸	۱۳۲/۷۵۶	۱۵۱/۰۰۳	۱۴۱/۴۵۷	۵/۱۶۵
تقعر چهره بدون بینی	۱۵۸/۶۳	۱۷۹/۵۷۹	۱۶۹/۲۷۲	۵/۷۶۹	۱۶۲/۵۷	۱۷۹/۳۰۱	۱۷۰/۳۴۱	۴/۹۳۱
منتولابیال	۱۲۹/۸۹	۱۷۸/۹۷	۱۵۳/۲۷	۱۴/۸۸۱	۱۳۴/۰۵۳	۱۶۴/۰۵۴	۱۴۸/۶۰۳	۸/۶۴۷
نازولابیال	۱۰۵/۸۰۷	۱۶۲/۰۵۸	۱۳۶/۴۵۷	۱۶/۹۰۱	۱۱۵/۳۰۱	۱۴۱/۴۳۸	۱۳۰/۴۴۵	۸/۷۶۳

(جدول-۲): مقایسه نتایج به دست آمده برای الگوریتم پیشنهادی و اندازه گیری دستی بر روی پایگاه داده AMI برای سامانه اتوپلاستی.
(Table-2): Comparison of the obtained results for the proposed algorithm and manual measurement for the Otoplasty surgery system on the AMI dataset.

آنتروپومتري	اندازه گیری با الگوریتم پیشنهادی				اندازه گیری دستی			
	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
طول گوش بر حسب پیکسل	۳۳۷	۵۱۸	۴۳۱/۱۵۶	۴۰/۸۶۱	۳۰۶	۵۸۰	۴۶۲/۸۷۵	۵۲/۹۴۹
عرض گوش بر حسب پیکسل	۱۵۴	۳۰۷	۲۳۳/۹۳۷	۴۵/۷۹۱	۱۷۶	۲۹۴	۲۴۷/۶۲۵	۲۲/۵۹۲
زاویه خارجی گوش بر حسب درجه	۱/۶۸۸	۲۸/۱۹۳	۱۴/۶۶۴	۷/۰۸۹	۶/۲	۲۲/۳۱	۱۴/۴۹۶	۴/۴۰۴

(جدول-۳): مقادیر به دست آمده برای خطا و درستی الگوریتم پیشنهادی در سامانه رینوپلاستی.
(Table-3): Accuracy and error values for the proposed algorithm in the Rhinoplasty surgery system.

پارامتر	زاویه نازوفرونتال	زاویه نازومنرال	زاویه نوک بینی	زاویه تقعر چهره شامل بینی	زاویه تقعر چهره بدون بینی	زاویه منتولابیال	زاویه نازولابیال
دقت	۹۵/۰۵۳٪	۹۰/۱۲۱٪	۹۲/۶۵۷٪	۹۷/۸۳٪	۹۸/۱۹۸٪	۹۲/۶۴٪	۹۲/۶۶٪
خطا	۴/۹۴۶	۹/۸۷۸	۷/۳۴۲	۲/۱۶۶	۱/۸۰۱	۷/۳۵۹	۷/۳۳

(جدول-۴): مقادیر به دست آمده برای خطا و درستی الگوریتم پیشنهادی در سامانه اتوپلاستی.
(Table-4): Accuracy and error values for the proposed algorithm in the Otoplasty surgery system.

پارامتر	طول گوش	عرض گوش	زاویه خارجی گوش
دقت	۹۶/۴۳۲٪	۹۷/۴۲۳٪	۸۵/۵۴۶٪
خطا	۳/۵۶۸	۲/۵۷۷	۱۴/۴۵۴

حوادث و رسیدن به یک ساختار زیبا در چهره، جراحی‌های پلاستیکی افزایش چشم‌گیری را در جوامع داشته است. در این امر یکی از کارهای متخصصان این زمینه دانستن متریک‌های موجود در نواحی چهره در قبل و بعد عمل جراحی است. از نظر ساختاری و وجود نرم‌افزار، ابزارهای شبیه‌سازی در حوزه جراحی‌های چهره محدود هستند. بدیهی است که ارتباط متخصصان با ابزارهای شبیه‌سازی می‌تواند نتیجه مؤثرتری را در آنالیز جراحی داشته باشد. در

۵- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

در این پژوهش گامی نو در عرصه پردازش تصویر در حوزه آنالیز جراحی‌های چهره برداشته شد. اهمیت آنالیز تصاویر چهره به دلیل کاربردهای فراوان آن در آنالیز جراحی‌های چهره، به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. چهره انسان نقش بسیار مهمی را در ظاهر شخص ایفا می‌کند؛ حتی کوچک‌ترین تغییر شکل در چهره انسان، به‌شدت بر روی ظاهر فرد تأثیر می‌گذارد. امروزه به‌دلیل مشکلات مادرزادی،

Journal of Science and Research, vol. 4, pp. 1473-1478, 2015.

- [6] M. Mun, and A. Deorankar, "Implementation of plastic surgery face recognition using multimodal biometric features". *Int. J. Comput. Sci. Inform. Technol*, vol. 5(3), 2014, pp. 3711-3715.
- [7] L. G. Farkas, M. J. Katic, and C. R. Forrest, "Comparison of craniofacial measurements of young adult African-American and North American white males and females". *Annals of plastic surgery*, vol. 59(6), 2007, pp. 692-698.
- [8] J. P. Porter and K. L. Olson, "Anthropometric facial analysis of the African American woman". *Archives of facial plastic surgery*, vol. 3(3), 2001, pp. 191-197.
- [9] J. P. Porter, "The average African American male face: an anthropometric analysis", *Archives of facial plastic surgery*, vol. 6(2), 2004, pp. 78-81.
- [10] L. G. Farkas, M. J. Katic and C. R. Forrest, "International anthropometric study of facial morphology in various ethnic groups/races", *Journal of Craniofacial Surgery*, vol. 16(4), pp. 615-646, 2005.
- [11] T. Ozkul, and M. H. Ozkul, "A study towards fuzzy logic-based assessment of nasal harmony of rhinoplasty patients", *Journal of the Franklin Institute*, vol. 343(4-5), 2006, pp. 329-339.
- [12] <https://www.seattlechildrens.org>.
- [13] K. Sinko, R. Jagsch, B. Benes, G. Millesi, F. Fischmeister, and R. Ewers, "Facial aesthetics and the assignment of personality traits before and after orthognathic surgery", *International journal of oral and maxillofacial surgery*, vol. 41(4), pp. 469-476, 2012.
- [14] P. M. Prendergast, "Facial Proportions," *In Advanced Surgical Facial Rejuvenation*, 2012, pp. 15-22.
- [15] S. Pattanaik and S. Pathuri, "Establishment of aesthetic soft tissue norms for Southern India population: A photogrammetric study". *Orthodontic Journal of Nepal*, vol. 4(1), pp. 29-35, 2014.
- [16] F. B. Naini, M. T. Cobourne, F. McDonald and D. Wertheim, "Aesthetic impact of the upper component of the nasolabial angle: a quantitative investigation", *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology*, vol. 27(4), pp. 470-476. 2015.
- [17] C. Eliakim-Ikechukwu, A. Ekpo, M. Etika, C. Ihentuge, and O. Mesembe, "Facial aesthetic angles of the Ibo and Yoruba ethnic groups of Nigeria", *IOSR J Pharm Biol Sci*, vol. 5, pp. 14-17, 2013.

این پژوهش با ارائه سامانه‌ای برای دو جراحی پر کاربرد و مهم در کشور ایران به نام‌های جراحی رینوپلاستی و جراحی اتوپلاستی، پلی میان حوزه پزشکی و مهندسی برداشته شد. با وجود اینکه سامانه‌های طراحی شده در آنالیز جراحی‌های چهره دارای محدودیت‌هایی هستند، ولی در آینده به‌کارگیری این ابزارها و سامانه‌ها گسترش خواهند یافت تا برنامه‌ریزی مناسب و دقیق‌تری قبل از عمل جراحی داشته باشیم. طراحی نرم‌افزاری به‌منظور گرفتن هم‌زمان سه تصویر متعامد چهره و مدیریت داده‌ها بر روی رایانه در ادامه کار مطرح است. همچنین سعی می‌شود از سامانه طراحی شده در مراکز درمانی جهت گرفتن داده‌های قبل و بعد از عمل جراحی بهره برد. براساس تصاویر متعامد گرفته‌شده از چهره می‌توان مدل سه‌بعدی آن را استخراج کرده و اندازه‌گیری پارامترهای چهره را بر روی مدل سه‌بعدی انجام داد. همچنین آنالیز جراحی‌های دیگر چهره از قبیل جراحی شکاف لب و سقف دهان و جراحی بلفاروپلاستی توسط سامانه طراحی شده می‌تواند مطرح باشد.

6- References

۶- مراجع

- [1] M. Shamsi, R. A. Zoroofi, C. Lucas, M. S. Hasanabadi, and M. R. Alsharif, "Automatic Facial Skin Segmentation based on EM Algorithm under Varying Illumination", *IEICE Transaction on Information and Systems*, vol. 91(5), pp. 1543-1551, 2008.
- [2] S. C. Matz, and R. J. de Figueiredo, "A nonlinear image contrast sharpening approach based on Munsell's scale", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15(4), pp. 900-909, 2006.
- [۳] محمدی دشتی مینا، هارونی مجید، "اشکارسازی حالات لبخند و خنده چهره افراد بر پایه نقاط کلیدی محلی کمینه"، پردازش علائم و داده‌ها، ۱۳۹۷؛ ۱۵ (۲): ۸۸-۶۹.
- [3] M. Mohammadi Dashti, M. Harouni, "Smile and Laugh Expression Detection Based on Local Minimum Key Points", *JSDP*, vol.15 (2): pp.69-88, 2018.
- [4] S. Prabahaar and K. U. K. Devi, "An optimistic approach for plastic surgery face recognition", *Journal of Research in Electrical and Electronics Engineering*, vol. 3(3), pp. 38-43, 2014.
- [5] S. Roy, and S. K. Bandyopadhyay, "A Comparative Study between PCA and SOM for Plastic Surgery Face Recognition", *International*

- [29] L. Wang, L. He, A. Mishra and C. Li, "Active contours driven by local Gaussian distribution fitting energy", *Signal Processing*, vol. 89(12), pp. 2435-2447, 2009.
- [30] T. F. Chan and L. A. Vese, "Active contours without edges," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 10(2), pp. 266-277, 2001.
- [31] http://www.ctim.es/research_works/ami_ear_data_base/.
- [32] M. Woods, R.G.a, "Digital image processing", Ed. 2nd, Prentice Hall. 2002.
- [33] W. Peng, X. Hongling, L.Wenlin and S. Wenlong, "Harris Scale Invariant Corner Detection Algorithm Based on the Significant Region", *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, vol. 9(3), pp. 413-420, 2016.



علی فهمی جعفرقلخانلو دوره

کارشناسی خود را در رشته مهندسی پزشکی-بیوالکترونیک در سال ۱۳۹۴ سپری کرد. در سال ۹۴ برای دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی

پزشکی-بیوالکترونیک وارد دانشگاه صنعتی سهند تبریز شد. اکنون نیز به عنوان دانشجوی دکترا در رشته مهندسی پزشکی-بیوالکترونیک در این دانشگاه مشغول به تحصیل است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان بازشناسی آماری الگو، شبکه‌های عصبی، پردازش تصاویر پزشکی، الگوریتم‌های فراابتکاری و آنالیز جراحی‌های چهره است. نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

a_fahmi@sut.ac.ir



موسی شمسی مدرک کارشناسی و

کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۷۸ در رشته‌های مهندسی برق-الکترونیک و مهندسی پزشکی-بیوالکترونیک از دانشگاه

تبریز و دانشگاه تهران و همچنین مدرک دکترای خود را در رشته مهندسی پزشکی-بیوالکترونیک در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه تهران دریافت کردند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش تصاویر پزشکی و سیگنال‌های حیاتی، شناسایی آماری الگو و الگوریتم‌های بهینه‌سازی بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی سهند تبریز با مرتبه دانشیاری هستند.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

shamsi@sut.ac.ir

- [18] E. B. Handler, T. Song and C. Shih, "Complications of otoplasty", *Facial Plastic Surgery Clinics*, vol. 21(4), 2013, pp. 653-662.
- [19] S. Stal, M. Klebuc and M. Spira, "An algorithm for otoplasty", *Operative Techniques in Plastic and Reconstructive Surgery*, vol. 4(3), 1997, pp. 88-103.
- [20] D. G. Becker, S. S. Lai, I. Schipor, and S. S. Becker, "Analysis in otoplasty". *Facial Plastic Surgery Clinics*, vol. 11(3), 2003, pp. 297-305.
- [21] Gutowski, K. A. "Grabb & Smith's Plastic Surgery", *Plastic and Reconstructive Surgery*, vol. 120(2), 2007, pp. 570.
- [22] M. A. Bakhshali and M. Shamsi, "Estimating facial angles using Radon transform," *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 23(3), pp. 804-812, 2015.
- [23] Bakhshali, M. A., Shamsi, M., and Golzarfar, A. "Facial color image enhancement for aesthetic surgery blepharoplasty". In *Industrial Electronics and Applications, IEEE Symposium*, 2012, pp. 351-354.
- [24] Le-Tien, T., and Pham-Chi, H. "An Approach for Efficient Detection of Cephalometric Landmarks", *Procedia Computer Science*, vol. 37, 2014, pp. 293-300.

[۲۵] تقی‌زاده حسن، حقی‌پور سیامک، "انجام آنالیزهای

سفالومتری بر روی تصاویر سفالوگرام با استفاده از روش

AAM"، کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر

ایران، ۸، ۱۶۹-۱۷۳، زنجان، ۱۳۹۲.

- [25] H. Taghizadeh and S. Haghypour, "Perform Cephalometric Analysis on the Cephalogram Images with Active Appearance Model," *Iranian Machine Vision and Image Processing Conference*, vol. 8, 2013, pp. 169-173.
- [26] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour models", *International journal of computer vision*, vol. 1(4), pp. 321-331, 1998.
- [27] M. B. Gharsallah and E. B. Braiek, "Automatic local Gaussian distribution fitting level set active contour for welding flaw extraction", In *Image Processing, Applications and Systems*, 2016, pp. 1-5.
- [28] C. Li, C. Xu, C. Gui and M. D. Fox, "Distance regularized level set evolution and its application to image segmentation", *IEEE transactions on image processing*, vol. 19(12), pp. 3243, 2010.



هوشنگ روحی مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۵ در رشته‌های فیزیک و فیزیک پزشکی از دانشگاه تبریز و دانشگاه تهران و همچنین مدرک دکترای خود را در گرایش فیزیک پزشکی در سال ۱۳۸۴ از دانشگاه Middle East ترکیه دریافت کردند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان روش‌های تصویربرداری غیرخطی، پردازش تصویر، فیزیک محاسباتی و فیزیک پزشکی است. ایشان بیش از هجده سال سابقه تدریس در دانشگاه‌های ایران در رشته‌های فیزیک، بیوفیزیک و مهندسی پزشکی دارد.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

h.rohi@iauardabil.ac.ir

