

# اتوماسیون آنالیز سفالومتری جهت تشخیص ناهنجاری های اسکلتی - صورتی

محمد مهدی عبادزاده  
فارغ التحصیل کارشناسی ارشد

رضا صفابخش  
استادیار

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

آنالیز سفالومتری یکی از مهمترین ابزارهای تشخیص ناهنجاری های اسکلتی - صورتی در ارتودنسی است. اولین مرحله آنالیز سفالومتری یافتن نقاط خاصی از تصویر رادیوگرافی نیمرخ، که شاخص های سفالومتری نامیده می شوند، می باشد. نقاط شاخص با یکدیگر خطوط و زوایایی تشکیل می دهند که با ارزیابی و تجزیه و تحلیل روابط بین آنها نوع ناهنجاری ها تشخیص و براساس آن طرح درمان مناسب ارائه می گردد. آنالیز سفالومتری در حال حاضر توسط متخصصین و به صورت دستی انجام می پذیرد. به دلیل وجود انواع خطاها و معایب موجود در این روش، ضرورت اتوماسیون آنالیز سفالومتری به صورت مبرمی احساس می گردد. در این مقاله ضمن طرح مشکلات آنالیز سفالومتری دستی، مزایای خودکار نمودن این فرآیند بیان می شود. آنگاه با معرفی سیستم ها و روش های موجود برای خودکار نمودن آنالیز سفالومتری و بررسی معایب آنها، روشی برای اتوماسیون این فرآیند ارائه می شود که فاقد معایب و اشکالات روش های قبلی است. در روش ارائه شده از تکنیک های جدید و اصلاح شده ای استفاده شده است که آنالیز سفالومتری را به طور کامل اتوماتیک و با سرعت و دقت بالایی بر روی کامپیوترهای شخصی میسر می سازد. نتایج حاصل، عملکرد مناسب و مطلوب روش خودکار شده پیشنهادی را نشان می دهند.

## *Automation of Cephalometric Analysis for the Diagnosis of Skeletofacial Abnormalities*

R. Safabakhsh  
Assistant Professor

M. M. Ebadzadeh  
Graduate Student

Computer Engineering Department,  
Amirkabir University of Technology

### Abstract

*Cephalometric analysis is one of the most important tools for the diagnosis of skeletofacial abnormalities in orthodontics. The first step in cephalometric analysis consists of specifying certain points on the radiographic image of the face profile called cephalometric landmarks. Relationships between these landmarks and the lines joining certain pairs of them constitute the basis for diagnosis and treatment for most skeletofacial abnormalities. The effectiveness of the analysis, however, is highly dependent on the degree of accuracy of determining landmarks and the relationships between them. Presently, the landmarks are determined manually by orthodontists. Due to the introduction of different kinds of errors in the manual method, automation of the analysis is very necessary. In this paper, we introduce a method for automated cephalometric analysis which incorporates improved image analysis techniques and allows very accurate and high speed cephalometric analysis on ordinary personal computers. Results obtained from this system are compared to those given by orthodontists, and show the high performance of the automated method.*

ارتودنسی یکی از شاخه‌های دندانپزشکی است که وظیفه اصلی آن درمان ناهنجاری‌های صورت و دندان‌ها و بررسی و پیش‌بینی روند رشد ساختمان‌های اسکلتی سر و صورت می‌باشد. مهمترین اهداف علم ارتودنسی شامل پیشگیری از پیدایش بیماری‌های لثه، اصلاح اختلالات عمل جویدن، اصلاح اختلالات مفصل گیجگاهی فکی، اصلاح اختلالات تکلمی که در اثر بد قرار گرفتن دندان‌ها بر روی هم پدید می‌آیند و بالاخره زیبایی می‌باشد [۱].

اولین قدم برای درمان ناهنجاری‌های فوق تشخیص علت آن است. اساس تشخیص ناهنجاری‌های ارتودنسی آنالیز سفالومتری است، که توسط آن طبقه‌بندی و تعیین شدت ناهنجاری‌ها، میزان تغییرات در طول درمان و پیش‌بینی روند رشد صورت می‌گیرد. تصویر سفالومتری یک تصویر رادیوگرافی است که با یک روش خاص و استاندارد از قسمت جانبی سر و صورت تهیه می‌شود [۲]. تشخیص ناهنجاری‌های اسکلتی - صورتی با توجه به شاخص‌های آناتومیکی موجود در تصویر سفالومتری و روابط بین آنها انجام می‌پذیرد [۳]. شکل ۱ شماتیک تصویر رادیوگرافی نیم‌رخ و نقاط شاخص سفالومتری را نشان می‌دهد. عمل یافتن منحنی‌های ویژه‌ای که شاخص‌های آناتومیک بر روی آنها واقع شده‌اند، در حال حاضر معمولاً توسط دست صورت می‌گیرد. به واسطه وجود انواع خطاها و مشکلات و معایب آنالیز سفالومتری دستی، ضرورت استفاده از روشی که بتواند مشکلات فوق برطرف نماید احساس می‌شود. معایب آنالیز سفالومتری دستی و امکاناتی که خودکار نمودن این عمل برای رفع این معایب در اختیار می‌گذارد را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

۱ - وجود انواع خطاها در آنالیز سفالومتری باعث کاهش دقت در این عمل شده است. مهمترین خطاها و نحوه رفع آنها با کمک خودکار نمودن این آنالیز، عبارتند از:

الف) خطای ناشی از اعمال نظر شخصی افراد مختلف در تعیین شاخص‌ها: بدیهی است که در روش کامپیوتری چون شاخص‌ها با توجه به تعاریف دقیق ریاضی به دست می‌آیند، این خطا از بین می‌رود.

ب) خطاهای ناشی از اغتشاش احتمالی در تصویر: با توجه به استفاده از تکنیک‌های حذف نویز، خطای فوق در روش خودکار به مقدار قابل ملاحظه‌ای از

بین می‌رود.

ج) خطای دید در تشخیص دقیق لبه‌ها: با توجه به اینکه چشم انسان قادر به تشخیص همزمان حداکثر حدود ۲۴ سطح خاکستری است، در حالی که روش کامپیوتری کلیه سطوح خاکستری تصویر را به طور همزمان تشخیص می‌دهد، با کامپیوتری شدن این عمل خطای موجود در تشخیص لبه‌ها از بین می‌رود.

د) بالا رفتن خطای اندازه‌گیری دستی در مقایسه‌های کوچک به علت محدودیت تشخیص چشم و ابزارهای اندازه‌گیری: به دلیل اینکه اندازه‌گیری توسط کامپیوتر و بدون دخالت چشم انجام می‌گیرد، خطای اندازه‌گیری به طور کلی از بین می‌رود.

ه) خطای ناشی از انحراف موقعیت سر از موقعیت استاندارد آن به هنگام تهیه تصویر رادیوگرافی: تعاریف ریاضی شاخص‌ها براساس موقعیت استاندارد سر تعیین شده‌اند. از آنجا که انحراف موقعیت سر از وضعیت استاندارد به هنگام تهیه تصویر رادیوگرافی معمولاً اجتناب ناپذیر است، خطای ناشی از آن در تعیین موقعیت شاخص‌ها نیز همواره وجود دارد. با کامپیوتری شدن آنالیز سفالومتری می‌توان تصویر را طوری چرخاند که موقعیت سر در وضعیت استاندارد قرار گیرد و خطای فوق برطرف گردد.

و) وجود خطا در محاسبه رشد به دلیل یکسان نبودن خطا در دفعات مختلف اندازه‌گیری: به دلیل یکسان بودن خطا در دفعات مختلف اندازه‌گیری توسط کامپیوتر، این خطا نیز از بین می‌رود.

۲ - وقت‌گیر بودن آنالیز سفالومتری به صورت دستی و نیاز به فرد متخصص جهت انجام آن که منجر به افزایش هزینه درمان می‌شود. بدیهی است با کامپیوتری شدن آنالیز سفالومتری این مشکل دیگر وجود نخواهد داشت.

۳ - معمولاً رشد بین شاخص‌ها در زمان طولانی و به میزان ناچیزی صورت می‌گیرد، و اندازه‌گیری این رشد با چشم و ابزارهای اندازه‌گیری موجود امکان‌پذیر نیست. اما با توجه به اینکه دقت مکانی تصویر رقمی شده می‌تواند بسیار بالا باشد، اندازه‌گیری رشد در روش کامپیوتری میسر می‌باشد.

۴ - نتایج تشخیص به دلیل وجود اختلاف در خطای

شخصی متخصصین مختلف یکسان نیست. کامپیوتری شدن آنالیز سفالومتری باعث استاندارد شدن نتایج آنالیز سفالومتری می شود و این عمل نه تنها موجب تشخیص قطعی تر و درمان مناسب تر می گردد، بلکه نتایج آماری معتبر و قابل استنادی جهت تحقیقات و مطالعات آینده در اختیار محققان قرار می دهد، که این خود باعث پیشرفت علم ارتودنسی خواهد گردید.

خودکار نمودن آنالیز سفالومتری علاوه بر برطرف کردن معایب آنالیز سفالومتری دستی مزایای دیگری نیز به شرح زیر به همراه دارد:

- ۱ - امکان ذخیره سازی آسان اطلاعات و دسترسی سریع به آنها در حین درمان در موارد لازم.
- ۲ - امکان روی هم قرار دادن مستقیم تصاویر سفالومتری به منظور مطالعه رشد.
- ۳ - ایجاد یک پایگاه داده از اطلاعات سفالومتری به منظور دسترسی و محاسبه سریع اطلاعات آماری مختلف جهت تحقیقات و پیشرفت دانش ارتودنسی.

## ۲ - پیشینه کار

کارهای انجام شده در زمینه آنالیز خودکار سفالومتری در این قسمت معرفی و ارزیابی می گردند. این ارزیابی راهنمای مناسبی جهت یافتن روش عملی مناسب که بتواند علاوه بر رفع معایب کارهای قبلی، اهداف مورد نظر دیگری را نیز برآورده سازد، می باشد. سیستم های کامپیوتری آنالیز سفالومتری را می توان به دو گروه کلی تقسیم نمود. هدف سیستم های گروه اول تنها شامل پردازش هایی از قبیل افزایش کیفیت تصویر، واضح ساختن جزئیاتی از تصویر که قابل مشاهده نیست، حذف نویز، و استخراج لبه ها می باشد. در این نوع سیستم ها نقاط شاخص بایستی توسط کاربر تعیین گردند و تنها کمکی که سیستم به کاربر می کند آن است که کیفیت تصویر را افزایش می دهد و لبه ها را به نحوی بهسازی می کند که کاربر بتواند با راحتی بیشتر نقاط شاخص را شناسایی کند. مزیت دیگر این سیستم ها قابلیت شناسایی شاخص هایی است که در تصویر اصلی قابل شناسایی نمی باشند. در این سیستم ها به دلیل اینکه شاخص ها توسط کاربر تعیین می شوند، بسیاری از خطاها از جمله خطای شخصی کاربر هنوز وجود دارد. در حقیقت تنها خطایی که در این نوع سیستم ها حذف می گردد، خطای ابزار اندازه گیری است. به دلیل حذف خطای ابزار اندازه گیری، دقت اندازه گیری

شاخص های خطی و زاویه ای به مراتب بالاتر از سیستم دستی است. نمونه هایی از این نوع سیستم عبارتند از: الف) سیستم ساگووارا که در سال ۱۹۸۰ بر روی سخت افزار متصل به یک کامپیوتر بزرگ پیاده سازی شده است [۴].

ب) سیستم جکسون که در سال ۱۹۸۵ بر روی سیستم IBM SERIES/1, IBM 4341 پیاده شده است [۵].

ج) سیستم جاگر که در سال ۱۹۸۹ بر روی سیستم VAX 8600 پیاده سازی شده است [۶].

د) سیستم دالر که در سال ۱۹۹۰ بر روی سخت افزار موازی مخصوص پردازش تصویر MIAP متصل به یک کامپیوتر بزرگ پیاده سازی شده است [۷].

گروه دوم سیستم های پردازش تصویر که به منظور انجام آنالیز سفالومتری طراحی شده اند، سیستم هایی هستند که در آنها تلاش شده است تا شناسایی نقاط شاخص بدون دخالت کاربر باشد. هر چند که در سیستم های فوق عمل شناسایی شاخص ها به طور کاملاً اتوماتیک صورت نمی گیرد، ولی با مشخص کردن محدوده شاخص ها توسط کاربر، این امکان بوجود می آید که محل دقیق شاخص ها تعیین گردد. این عمل باعث از بین رفتن خطای مربوط به کاربر شده و در نتیجه دقت تعیین شاخص ها افزایش می یابد. نمونه هایی از این نوع سیستم ها به شرح زیر می باشند:

الف) سیستم کوهن که در سال ۱۹۸۴ بر روی سخت افزار موازی مخصوص پردازش تصویر CLIP4 پیاده سازی شده است. این سیستم فقط برای شناسایی شاخص های منتون و سلا طراحی شده است. مراحل شناسایی شاخص ها شامل تعیین محدوده شاخص ها و سرانجام تعیین محل شاخص ها توسط الگوریتم تطبیق الگو می باشد. تعیین محدوده شاخص ها با استفاده از یک پنجره توسط کاربر، تقطیع شاخص ها توسط الگوریتم ریدلر و کالوارد و نازک سازی توسط ماسک های آرسلی انجام می گیرد. این سیستم دارای دقت مکانی ۹۶×۹۶ و ۶۴ سطح خاکستری می باشد [۸].

ب - سیستم لوی مندل که در سال ۱۹۸۶ بر روی سخت افزار متصل به یک کامپیوتر بزرگ پیاده سازی شده است. مراحل شناسایی شاخص ها شامل تعیین محدوده شاخص ها با استفاده از یک پنجره توسط کاربر، حذف نویز با استفاده از فیلتر میانه، استخراج

لبه‌ها با استفاده از اپراتور مرو - واسی (نسخه ساده شده اپراتور هیوکل)، استخراج منحنی‌ها با استفاده از الگوریتم حرکت در مسیر بیشترین گرادیان و سرانجام تعیین شاخص‌ها توسط الگوریتم تطبیق الگو می‌باشد. سیستم دارای دقت مکانی  $256 \times 256$  و  $256$  سطح خاکستری می‌باشد [۹].

ج - سیستم حسین در سال ۱۹۹۴ بر روی سخت افزار موازی مخصوص پردازش تصویر CLIP4 پیاده‌سازی شده است. مراحل شناسایی شاخص‌ها شامل تعیین محدوده شاخص با استفاده از یک پنجره توسط کاربر، حذف نویز، بهسازی لبه‌ها توسط فیلتر میانه و اکستریم، استخراج لبه‌ها، آستانه‌ای کردن، نازک‌سازی، استخراج شاخص مورد نظر، و استفاده از الگوریتم تطبیق الگو می‌باشد. این سیستم دارای دقت مکانی  $1/0$  میلی‌متر و  $256$  سطح خاکستری می‌باشد [۱۰].

هر یک از سیستم‌های فوق دارای محدودیت‌هایی هستند که موجب تضعیف و کاربرد محدود آنها می‌گردند. به عنوان نمونه می‌توان از نیاز به پوششگر مخصوص دارای دقت مکانی حداقل  $1/0$  میلی‌متر و  $256$  سطح خاکستری، نیاز به سیستم‌های موازی خاص جهت پردازش سریع اطلاعات حجیم تولید شده، نیاز به کاربر برای تعیین محدوده شاخص‌ها، تعیین موقعیت شاخص‌ها با خطا و وابسته بودن عملکرد سیستم‌ها به کیفیت کنتراست و روشنایی تصاویر رادیوگرافی نام برد. در این مقاله سعی شده است روشی برای آنالیز سفالومتری ارائه شود که مشکلات و محدودیت‌های سیستم‌های گذشته را نداشته باشد.

### ۳- شاخص‌های سفالومتری

شاخص‌های سفالومتری ایده‌آل در حقیقت مکان‌های واقعی در روی جمجمه هستند که در خلال رشد مشی تقریباً ثابتی دارند [۱]. تعداد نقاط شاخص و ارزیابی روابط بین آنها در روش‌های مختلف ارزیابی تا حدودی باهم متفاوت است. در این قسمت چند شاخص مهم سفالومتری که در تمام روش‌های ارزیابی مورد استفاده قرار می‌گیرند، تعریف می‌شوند. نقاط شاخص معمولاً داخل یا روی منحنی‌هایی قرار دارند که در این مقاله آنها را منحنی‌های شاخص می‌نامیم. بنابراین برای تعریف نقاط شاخص ابتدا باید منحنی‌های شاخص تعریف شوند. چند منحنی شاخص مهم عبارتند از [۲]:

الف - منحنی درزبینی - پیشانی (Nasofrontal) در پلان میانی که در شکل ۲ نمایش داده شده است.

ب - منحنی سلاتورسیکا (منحنی فاسای هیپوفیز) که در شکل ۳ نشان داده شده است.

ج - منحنی بین خاربینی قدامی و نوک تاج قدامی ترین ثنایای میانی فک بالا که در شکل ۴ نمایش داده شده است و در اینجا منحنی پرماگزایلا (Premaxilla) نامیده می‌شود.

د - منحنی ناحیه استخوانی چانه در صفحه میانی سر که در شکل ۵ نشان داده شده و در این مقاله منحنی سمفیز نامیده می‌شود.

مهمترین نقاط شاخص مربوط به منحنی‌های تعریف شده عبارتند از [۲]:

- ناسیون، Nasion، (N) : قدامی ترین نقطه درزبینی - پیشانی در پلان میانی (شکل ۲).

- سلا، Sella، (S) : مرکز انحنا منحنی سلاتورسیکا (شکل ۳).

- ساب اسپینال، Subspinale، (A) : عمیق ترین نقطه در انحنا استخوان پرماگزایلا (شکل ۴).

- خاربینی قدامی، Ant. Nasal Spine، (Ans) : نوک خار استخوانی بینی قدامی در پلان میانی (شکل ۴).

- سوپرامنتال، Supramental، (B) : عمیق ترین نقطه منحنی چانه (شکل ۵).

- پوگونیون، Pogonion، (Pog) : قدامی ترین نقطه استخوان ناحیه چانه (شکل ۵).

- گناسیون، Gnathion، (Gn) : قدامی ترین و تحتانی ترین نقطه ناحیه استخوان چانه (شکل ۵).

- منتون، Menton، (Me) : تحتانی ترین نقطه استخوان چانه (شکل ۵).

نقاط فوق از مهمترین شاخص‌هایی هستند که برای ساختن تعداد زیادی از خطوط و زوایا مورد استفاده قرار می‌گیرند. با ارزیابی روابط بین شاخص‌ها (خطوط و زوایای به دست آمده از شاخص‌ها) می‌توان نوع ناهنجاری را تشخیص داد. به عنوان مثال اگر زاویه SNA (زاویه شاخص قدامی - خلفی فک بالا) از حد نرمال بیشتر باشد، می‌توان نتیجه گرفت که فک بالا جلوتر از حالت نرمال است، و یا اگر زاویه SNB (زاویه شاخص قدامی - خلفی فک پایین) کوچکتر از حد نرمال باشد، نتیجه گیری می‌شود که فک پایین عقب‌تر از حالت نرمال است.

## ۴- آنالیز اتوماتیک پیشنهادی

در این بخش روش پیشنهادی برای آنالیز اتوماتیک تصاویر سفالومتری به شرح زیر ارائه می شود.

### ۴-۱- کسب تصویر رقمی

برای آنالیز سفالومتری کامپیوتری ابتدا باید تصاویر مورد نیاز با دقت مکانی و دقت سطوح خاکستری هر چه بالاتر رقمی شوند. تصاویر سفالومتری معمولاً روی فیلم های رادیوگرافی استاندارد ثبت میشوند و دارای کانتراست و وضوح بالایی نیستند. لذا برای رقمی نمودن آنها باید از ابزار بسیار دقیقی استفاده نمود. از این رو استفاده از دوربین های ویدیو و دیجیتالیزرهای معمول برای این کاربرد مناسب نمی باشد. در این پژوهش برای کسب تصاویر رقمی یک پوشگر معمولی مورد استفاده قرار گرفت. اما برای آنکه کیفیت مطلوب در تصاویر رقمی ظاهر شود، دستگاهی ساخته شد که هنگام پوشش فیلم رادیوگرافی از بالا بر روی فیلم نور تابش کند. نور تابش شده یکنواخت اما دارای شدت قابل تنظیم است و برای فیلم های با کیفیت مختلف نتایج خوبی ایجاد نموده است. با کمک دستگاه مزبور تصاویر رادیوگرافی با دقت ۰/۱ میلیمتر و با ۲۵۶ سطح خاکستری رقمی گردید و برای پردازش به مراحل بعدی سیستم داده شد.

### ۴-۲- تعیین منحنی های شاخص

از متداولترین روش های شناسایی یک الگو روش «تطبیق الگو» است که در آن بین کلیشه ای از الگوی مورد نظر و نواحی مختلف تصویر همبستگی محاسبه می گردد و محل حداکثر شدن همبستگی به عنوان محل وجود الگو در تصویر مشخص می شود. مشکل اصلی این روش وابستگی شدید آن به کانتراست و روشنایی تصویر و زمانبر بودن محاسبات لازم است.

برای تعیین منحنی های موجود در یک تصویر می توان از تبدیل هاف نیز استفاده نمود. مزیت این روش در آن است که شناسایی منحنی ها براساس زاویه خط مماس بر هر نقطه از منحنی است و مانند روش تطبیق به کانتراست و روشنایی تصویر وابسته نیست. این ویژگی تبدیل هاف را برای تحلیل تصاویر رادیوگرافی با کانتراست ها و روشنایی های متفاوت روشی جذاب می گرداند. اما استفاده از تبدیل استاندارد هاف مشکلاتی نیز در بر دارد. از جمله این مشکلات آن که اگر منحنی

موجود در تصویر با منحنی مدل تطبیق کامل نداشته باشد، ممکن است روش موفق به شناسایی منحنی در تصویر نشود. همچنین امکان عدم تطابق کامل زاویه خط مماس بر منحنی مدل با زاویه خط مماس بر منحنی موجود در تصویر وجود دارد، که این امر در تصاویر رادیوگرافی اجتناب ناپذیر است. لذا تعیین منحنی ها با استفاده از تبدیل هاف در صورتی موفقیت آمیز خواهد بود که منحنی موجود در تصویر و زاویه خط مماس بر هر نقطه از منحنی با مدل در نظر گرفته شده در تبدیل هاف مطابقت کامل داشته باشد. پس برای هر منحنی شاخص بایستی یک مدل جداگانه در نظر گرفت که این عمل به دلیل تعداد زیاد حالات ممکن برای هر منحنی شاخص ناممکن و یا در بهترین حالات کند و نامطلوب خواهد بود.

باتوجه به نکات فوق در این پژوهش تغییراتی در روش استاندارد هاف ایجاد گردید. تبدیل حاصل علاوه بر شناسایی سریعتر منحنی ها، در شناسایی مدل های مختلف نیز دارای قدرت بیشتری می باشد. این تغییرات در این بخش ارائه می گردد، اما قبل از آن بخشی پیرامون استخراج لبه ها خواهیم داشت که در آن استخراج لبه ها با روش جدیدی انجام می پذیرد.

### ۴-۲-۱- تشخیص لبه ها

باتوجه به آنکه منحنی های شاخص در تصاویر سفالومتری بر روی لبه ها قرار دارند و شناسایی دقیق این منحنی ها مبتنی بر نقشه لبه های تصویر است، لازم است نقشه لبه های تصویر تهیه گردد. استفاده از این نقشه همچنین دارای این مزیت است که می توان شناسایی منحنی های شاخص را با استفاده از روش هاف و تنها بر روی لبه ها انجام و سرعت عملیات شناسایی را به مقدار قابل ملاحظه و چشمگیری افزایش داد. لذا در این مقاله روش جدیدی ارائه شد که قادر است لبه های تصویر را به صورت پیوسته و نازک شده و مطابق با تعریف ریاضی آنها تعیین کند.

روش ارائه شده مبتنی بر مشتق های جهت دار است، بدین ترتیب که مشتق های جهت دار تصویر در چهار جهت افقی، عمودی، ۴۵ درجه و ۱۳۵ درجه تعیین می شوند. باتوجه به اینکه مشتق جهت دار نشان دهنده تغییرات سطوح خاکستری در جهت مورد نظر است، وقتی از یک تصویر مشتق جهت دار گرفته می شود، لبه های پهنی ایجاد می شوند. نظر به اینکه لبه های

می باشد. این تعریف موجب بهبود چشمگیری در لبه های به دست آمده خواهد گردید.

#### ۴-۲-۲-۴ اصلاح الگوریتم هاف

در تبدیل هاف یک منحنی معین مانند یک منحنی شاخص، نقطه مرجع دلخواهی مانند  $(X_0, Y_0)$  انتخاب می شود و زاویه خط مماس بر منحنی در هر نقطه آن تعیین می گردد. سپس جدولی که براساس زوایای خط مماس مرتب شده است تشکیل می شود. به این ترتیب به ازاء نقاطی که دارای زاویه خط مماس یکسان هستند، مقادیری که باید به مختصات نقاط اضافه شوند تا نقطه مرجع به دست آید، محاسبه شده و در جدول فوق ذخیره می شوند. از آنجا که زاویه گرادیان در حقیقت بیان کننده زاویه مماس بر منحنی در هر نقطه است، جدول فوق جدول زاویه گرادیان نامیده می شود.

با در دست داشتن جدول مورد بحث برای یک منحنی خاص، برای شناسایی آن منحنی در تصویر، ابتدا زاویه گرادیان برای هر نقطه از تصویر محاسبه می شود. اگر زاویه گرادیان مزبور در جدول موجود باشد، با توجه به جدول، نقاطی از تصویر که می توانند مرجع باشند، علامت گذاری می شوند. پس از اینکه برای تمام نقاط تصویر عملیات فوق انجام شد، نقطه ای از تصویر که بیشتر از نقاط دیگر مرجع واقع شده است، نشان دهنده نقطه مرجع منحنی مورد شناسایی می باشد.

در روش فوق مشکل اصلی آن است که اگر شکل منحنی موجود در تصویر با منحنی مدل مطابقت کامل نداشته باشد، شناسایی منحنی می تواند با شکست روبرو شود. اما در تصاویر سفالومتری زاویه گرادیان نمونه های مختلف منحنی های شاخص مشابه با یکدیگر کاملاً یکسان نیستند. لذا برای آنکه تبدیل هاف بتواند منحنی های مشابه مختلف را شناسایی کند، باید برای حالات مختلف یک منحنی مدل های مختلفی در نظر گرفته شود. این کار برای شناسایی منحنی های شاخص میسر نیست، چون حالات مختلف هر منحنی شاخص بسیار زیاد است. اما اگر این امر امکان پذیر هم بود، به علت زیاد بودن تعداد مدل ها سرعت شناسایی یک منحنی شاخص بسیار کاهش می یافت.

در این پژوهش به منظور رفع مشکل فوق و افزایش قابلیت تعمیم و سرعت الگوریتم هاف تغییراتی به شرح زیر در این الگوریتم ایجاد گردید:

واقعی در حقیقت مکان هایی از تصویر هستند که تغییرات سطوح خاکستری در آنجا به حداکثر میرسد، ماکزیمم های محلی نوارهای مذکور می توانند لبه های واقعی نازک شده را مشخص کنند. اگر مشتق های جهت دار را در چهار امتداد مورد بحث به صورت زیر در نظر بگیریم:

$$f_{0-180}(i, j) = |f(i-1, j) - f(i+1, j)| \quad (1)$$

$$f_{45-225}(i, j) = |f(i-1, j-1) - f(i+1, j+1)| \quad (2)$$

$$f_{90-270}(i, j) = |f(i, j-1) - f(i, j+1)| \quad (3)$$

$$f_{135-215}(i, j) = |f(i+1, j-1) - f(i-1, j+1)| \quad (4)$$

آنگاه با انتخاب مقادیر حداکثر به صورت:

$$g_1(i, j) = \begin{cases} f_{0-180}(i, j) & f_{0-180}(i, j) > \text{Max}\{f_{0-180}(i-1, j), f_{0-180}(i+1, j)\} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

$$g_2(i, j) = \begin{cases} f_{45-225}(i, j) & f_{45-225}(i, j) > \text{Max}\{f_{45-225}(i-1, j-1), f_{45-225}(i+1, j+1)\} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

$$g_3(i, j) = \begin{cases} f_{90-270}(i, j) & f_{90-270}(i, j) > \text{Max}\{f_{90-270}(i, j-1), f_{90-270}(i, j+1)\} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

$$g_4(i, j) = \begin{cases} f_{135-215}(i, j) & f_{135-215}(i, j) > \text{Max}\{f_{135-215}(i+1, j-1), f_{135-215}(i-1, j+1)\} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

مقدار لبه را به صورت:

$$g(i, j) = g_1(i, j) + g_2(i, j) + g_3(i, j) + g_4(i, j) \quad (9)$$

تعریف می نماییم. در این تعریف، چون  $g_1(i, j)$  الی  $g_4(i, j)$  به ترتیب لبه های نازک شده در امتدادهای ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه را می دهند، مقدار  $g(i, j)$  که برابر مجموع آنهاست، حاوی تأثیر وجود لبه ها در همه امتدادهای فوق

۱ - برای هر زاویه گرادیدان به جای آنکه فقط یک مقدار در نظر گرفته شود، یک همسایگی خاص در نظر گرفته می شود. این همسایگی در تنظیم جدول و در عملیات شناسایی به کار گرفته می شود. شعاع همسایگی برای زوایای مختلف متفاوت است و باتوجه به اطلاعات آماری استخراج شده از تصاویر نمونه به دست می آید. با این عمل از آنجا که زاویه گرادیدان برای منحنی های مشابه در تصاویر رادیوگرافی دقیقاً یکسان نیست، وابستگی شدید تبدیل هاف به زاویه گرادیدان از بین می رود. به منظور تشکیل جدول زاویه گرادیدان منحنی های شاخص، ابتدا حالات ممکن برای هر منحنی شاخص از روی تصاویر رادیوگرافی متعدد تعیین می شود و بهترین نقطه شاخص بر روی منحنی شاخص به عنوان نقطه مرجع در نظر گرفته می شود. آنگاه نمونه های مختلف هر منحنی شاخص در نقطه مرجع روی هم قرار داده شده محدوده تغییرات هر منحنی شاخص تعیین و مدل منحنی شاخص به صورت میانگین محدوده تغییرات در نظر گرفته می شود.

۲ - با داشتن یک مدل برای هر منحنی شاخص به هنگام محاسبه نقطه مرجع در عملیات شناسایی، به جای تعیین یک نقطه به عنوان نقطه مرجع، یک همسایگی خاص افقی یا عمودی به عنوان ناحیه نقطه مرجع تعیین می شود. مزیت این عمل آن است که علاوه بر بالا بردن انعطاف در تبدیل هاف، در نظر گرفتن تنها یک مدل برای هر منحنی شاخص لازم می شود و لذا سرعت شناسایی افزایش می یابد. در واقع با شروع از یک سوی مدل منحنی شاخص، زاویه گرادیدان حداقل و حداکثر برای هر نقطه از روی نمونه ها تعیین می شود و برای هر نقطه از مدل منحنی شاخص، باتوجه به محدوده تغییرات منحنی شاخص، اندازه همسایگی عمودی برای قسمت افقی منحنی با اندازه همسایگی افقی برای قسمت عمودی منحنی جهت تعیین همسایگی نقطه مرجع تعیین می گردد. بدین ترتیب می توان جدول زاویه گرادیدان هر منحنی شاخص را تکمیل کرد.

#### ۴-۲-۳ - موقعیت تقریبی منحنی های شاخص

باتوجه به رشد محدود مجموعه مجموعه ای - صورتی (حدود یک تا ده میلیمتر در سال) لازم است دقت اندازه گیری میزان رشد کمتر از ۰/۵ میلیمتر باشد.

به دلیل اینکه قطر ذرات حساس فیلم های رادیوگرافی حدود ۰/۱ میلیمتر است، حداکثر دقت مکانی که می توان برای تصاویر رادیوگرافی در نظر گرفت، برابر با ۰/۱ میلیمتر خواهد بود. از سوی دیگر اندازه یک تصویر رادیوگرافی نیمرخ ۱۸×۲۳ سانتیمتر می باشد و لذا دقت مکانی تصویر برابر با ۲۳۰۰ × ۱۸۰۰ نقطه می شود. اما کار با تصویری با این اندازه دشوار بوده، سیستم دارای سرعت بالا نخواهد بود. برای رفع این مشکل، ابتدا تصویر را کوچک نموده و با تبدیل هاف اصلاح شده شکل و موقعیت تقریبی منحنی شاخص را به دست می آوریم. آنگاه با داشتن این اطلاعات و بکارگیری یک الگوریتم «تشخیص دقیق»، شکل و محل دقیق منحنی شاخص را تعیین می کنیم. مراحل شناسایی تقریبی منحنی های شاخص به طور خلاصه به صورت زیر خواهند بود:

۱ - کوچک کردن ابعاد تصاویر در این پروژه با تقسیم تصویر به بلوک های ۳×۳ و انتخاب مقدار میانه هر بلوک به جای بلوک انجام شده است. این روش علاوه بر آنکه حداقل تأثیر را در مخدوش کردن لبه ها خواهد داشت، موجب حذف نویز از تصویر نیز می گردد.

۲ - نقشه لبه ها در واقع حاوی منحنی های شاخص می باشد و لذا بایستی به مطلوبترین وضع تعیین شود. این کار با اعمال روش پیشنهاد شده در بخش ۴-۲-۱ بر روی تصویر کوچک شده انجام و نقشه بهسازی شده ای از لبه ها ایجاد می شود.

۳ - باتوجه به جدول زاویه گرادیدان منحنی شاخص و نقشه لبه به دست آمده، شکل و موقعیت تقریبی منحنی شاخص توسط تبدیل هاف اصلاح شده معین می شود. برای افزایش سرعت شناسایی می توان به جای جستجو در کل تصویر، تنها در محدوده ای از تصویر که با توجه به اطلاعات آماری به دست آمده از تصاویر رادیوگرافی نیمرخ، امکان وجود منحنی های شاخص در آن زیاد است، جستجو کرد. همچنین می توان زاویه گرادیدان را فقط برای لبه های تصویر تعیین و با استفاده از جدول زاویه گرادیدان مدل منحنی شاخص و تبدیل هاف، موقعیت و شکل تقریبی منحنی های شاخص را تعیین نمود.

#### ۴-۲-۴ - موقعیت دقیق منحنی های شاخص

پس از تعیین شکل و موقعیت تقریبی منحنی های

شاخص، با استفاده از الگوریتم «تشخیص دقیق» شکل و موقعیت دقیق منحنی های شاخص تعیین می گردد. الگوریتم تشخیص دقیق شامل مراحل زیر است:

۱ - یک همسایگی افقی ثابت برای قسمت عمودی منحنی و یک همسایگی عمودی ثابت برای قسمت افقی منحنی برای هر نقطه از منحنی شاخص تقریبی در نظر گرفته می شود. از روی نقشه لبه تصویر در هر همسایگی افقی یا عمودی، نقطه ای که دارای بیشترین مقدار گرادیان است، تعیین می شود. منحنی حاصل از این نقاط احتمالاً دارای شکستگی هایی می باشد. برای حذف این شکستگی ها از قدم های زیر استفاده می کنیم.

۲ - منحنی هایی که از نقاط به دست آمده در قدم ۱ تشکیل شده اند و دارای شرایط زیر هستند به منظور تشکیل منحنی شاخص انتخاب می گردند:

الف - منحنی دارای پیوستگی بوده و امتداد منحنی متناسب با امتداد مدل منحنی شاخص در آن ناحیه باشد.

ب - زاویه گرادیان نقاط منحنی ها در محدوده قابل قبول برای منحنی های شاخص باشد. محدوده زاویه گرادیان باتوجه به موقعیت نقطه از روی جدول مدل منحنی شاخص تعیین می شود.

ج - هر قطعه منحنی باید حداقل دارای سه نقطه باشد. ترکیبات دو نقطه ای و نقاط تنها را در نظر نمی گیریم.

۳ - منحنی های مجاور انتخاب شده در این مرحله در صورتی که شرایط زیر ارضا شود به یکدیگر متصل می شوند:

الف - در رفتن از انتهای یک منحنی به ابتدای منحنی مجاور، حرکت در مسیر بیشترین مقدار گرادیان باشد.

ب - زاویه گرادیان نقاط اتصال در محدوده قابل قبول برای منحنی شاخص باشد. محدوده زاویه گرادیان باتوجه به موقعیت منحنی در منحنی شاخص تعیین می شود.

ج - در صورتی که اتصال بین منحنی ها با شرایط فوق انجام نشود، اتصال بین منحنی ها باتوجه به انحنا منحنی مدل در این ناحیه بازسازی می شود. لازم به تأکید است که به علت جستجوی الگوریتم در مسیر بیشترین گرادیان، منحنی شاخص به طور دقیق بدست می آید و حتی اگر قسمتی از تصویر دارای

کیفیت نامطلوب یا از بین رفته باشد، این الگوریتم قادر به بازسازی و ترمیم قسمت مزبور می باشد. تا این مرحله منحنی شاخص دقیق در تصویر کوچک شده بدست آمده است. حال برای آنکه شکل و موقعیت دقیق منحنی شاخص در تصویر اصلی مشخص شود، از الگوریتمی مشابه الگوریتم تشخیص دقیق فوق دوباره در تصویر اصلی استفاده می شود.

#### ۴-۳. تعیین نقاط شاخص و روابط بین آنها

با تعیین دقیق موقعیت منحنی های شاخص در تصویر اصلی و باتوجه به تعاریف ریاضی، نقاط شاخص محاسبه می گردد. محل تلاقی دو بخش منحنی درز بینی - پیشانی را به عنوان نقطه N در نظر می گیریم. باتوجه به زوایای گرادیان نقاط روی منحنی سلاتورسیکا، خطوط عمود بر خط مماس بر منحنی را بدست آورده، متوسط محل تلاقی آنها را به عنوان مرکز انحنای منحنی سلاتورسیکا مشخص می کنیم. برای تعیین سایر نقاط شاخص، ابتدا باید تصویر را در حالت استاندارد (زاویه SN با افق برابر ۷ درجه) قرار داد. برای این کار تصویر را به اندازه لازم می چرخانیم. بر روی منحنی سمفیز، بیرونی ترین نقطه سمت راست و بالا و بیرونی ترین نقطه سمت راست و پایین منحنی را مشخص می کنیم. محل تلاقی عمود منصف خط بدست آمده از این دو نقطه با منحنی سمفیز نقطه B را به ما می دهد. به روش مشابه نقطه A بر روی منحنی پرمگزیلا مشخص می شود. بیرونی ترین و پایین ترین نقطه سمت راست منحنی سمفیز نقطه Pog است، و پایین ترین و جلوترین نقطه این منحنی نقطه گناسیون، و پایین ترین نقطه آن نقطه منتون است. نقطه ANS نیز محل تلاقی دو بخش منحنی پرمگزیلا می باشد.

بعد از بدست آوردن نقاط شاخص، روابط بین آنها محاسبه گردید. این روابط شامل زوایای ANB, SNB, SNA، زاویه SN با افق، فواصل بین نقاط شاخص مختلف و ترکیبات آنها می باشند.

#### ۵- نتایج نمونه و ارزیابی روش

برای ارزیابی روش پیشنهاد شده در این پژوهش، ابتدا تعداد یکصد تصویر سفالومتری متنوع انتخاب و رقمی گردید. آنگاه با آنالیز تصاویر به روش ذکر شده، اطلاعات لازم برای تشکیل مدل های منحنی های شاخص از روی آنها استخراج و مدل ها تشکیل گردید. مدل های



مربوط به منحنی‌های درز بینی - پیشانی، پرماگزیلا، سلاتورسیکا و سمفیز به ترتیب در جدول‌های شماره ۱ الی ۴ ارائه شده‌اند. در این جدول‌ها برای چهار مدل مذکور به ترتیب نقاط B, S, A, N روی مبدأ مختصات قرار داده شده‌اند و مختصات نسبی سایر نقاط روی منحنی‌ها ارائه شده‌اند. با داشتن مدل‌های منحنی‌های شاخص، تعداد ۵۰ عدد تصویر سفالومتری بکار گرفته شد تا کارائی روش مطالعه شود. یک نمونه از تصاویر مزبور به صورت تصویر اولیه اصلی، نقشه لبه کوچک شده آن که منحنی‌ها و نقاط شاخص دقیق روی آن نشان داده شده‌اند، نقشه لبه تصویر اصلی و منحنی‌های شاخص دقیق پیدا شده در تصویر اصلی برای آن در شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ نمایش داده شده‌اند. نتایج برای ۵۰ تصویر مزبور مشخص و با نتایج بدست آمده به صورت دستی (tracing) توسط متخصصین ارتودنسی مقایسه گردید. این مقایسه نشان داد که سیستم اتوماتیک پیشنهادی دارای دقت و کارائی بسیار بالایی بوده می‌تواند به نحو مطلوبی در تحلیل تصاویر سفالومتری مورد استفاده قرار گیرد.

سفالومتری ارائه گردید. تصاویر سفالومتری با یک دستگاه اسکنر معمولی که به کمک یک دستگاه ساخته شده از بالا بر آنها نور تابانده می‌شد، رقمی گردیده و مورد پیش پردازش قرار گرفتند. لبه‌ها با استفاده از یک روش پیشنهادی استخراج شد و برای منحنی‌های شاخص مختلف مدل هاف تعریف گردید. این مدل با ایجاد تغییراتی در تبدیل هاف و از روی نمونه‌های متعدد هر منحنی شاخص بدست آمد. با استفاده از مدل‌های بدست آمده، عملکرد روش با روش دستی مقایسه گردید و کارائی و دقت آن نسبت به روش دستی مورد تأیید قرار گرفت.

روش مورد بحث نسبت به سیستم‌های مشابه مزایای متعددی دارد، از جمله آنکه سخت افزار لازم برای اجرای روش تا حد کامپیوترهای شخصی و اسکنرهای معمولی پایین آورده شده، تحلیل تصاویر نیازی به ملاحظه انسان ندارد، الگوریتم‌های بکار رفته سریع بوده و در تصاویر هیچ خدشه‌ای وارد نمی‌آورند و با هر نوع تصویر و با هر درجه روشنایی و کانتراست قابل اجرا هستند و هزینه سیستم به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است.

## ۶- خلاصه

در این مقاله سیستمی برای تحلیل اتوماتیک تصاویر

جدول (۱) مدل منحنی درز بینی - پیشانی (مختصات نسبی نقاط با انتقال نقطه N به مبدأ)

(-۲۴، ۷)	(-۲۵، ۷)	(-۲۶، ۷)	(-۲۷، ۷)	(-۲۸، ۷)	(-۲۹، ۷)	(-۳۰، ۷)
(-۱۷، ۷)	(-۱۸، ۷)	(-۱۹، ۷)	(-۲۰، ۷)	(-۲۱، ۷)	(-۲۲، ۷)	(-۲۳، ۷)
(-۱۰، ۴)	(-۱۱، ۵)	(-۱۲، ۵)	(-۱۳، ۵)	(-۱۴، ۶)	(-۱۵، ۶)	(-۱۶، ۶)
(-۳، ۲)	(-۴، ۲)	(-۵، ۳)	(-۶، ۳)	(-۷، ۳)	(-۸، ۴)	(-۹، ۴)
(۴، ۴)	(۳، ۳)	(۲، ۲)	(۱، ۱)	(۰، ۰)	(-۱، ۱)	(-۲، ۱)
(۱۱، ۷)	(۱۰، ۷)	(۹، ۶)	(۸، ۶)	(۷، ۵)	(۶، ۵)	(۵، ۴)
(۱۸، ۱۳)	(۱۷، ۱۲)	(۱۶، ۱۱)	(۱۵، ۱۰)	(۱۴، ۹)	(۱۳، ۸)	(۱۲، ۸)
(۲۵، ۲۰)	(۲۴، ۱۹)	(۲۳، ۱۸)	(۲۲، ۱۷)	(۲۱، ۱۶)	(۲۰، ۱۵)	(۱۹، ۱۴)
(۳۰، ۲۵)	(۲۹، ۲۴)	(۲۸، ۲۳)	(۲۷، ۲۲)	(۲۶، ۲۱)	(۲۵، ۲۰)	(۲۴، ۱۹)

جدول (۲) مدل منحنی پرماتریلا (مختصات نسبی نقاط با انتقال نقطه A به مبدأ)

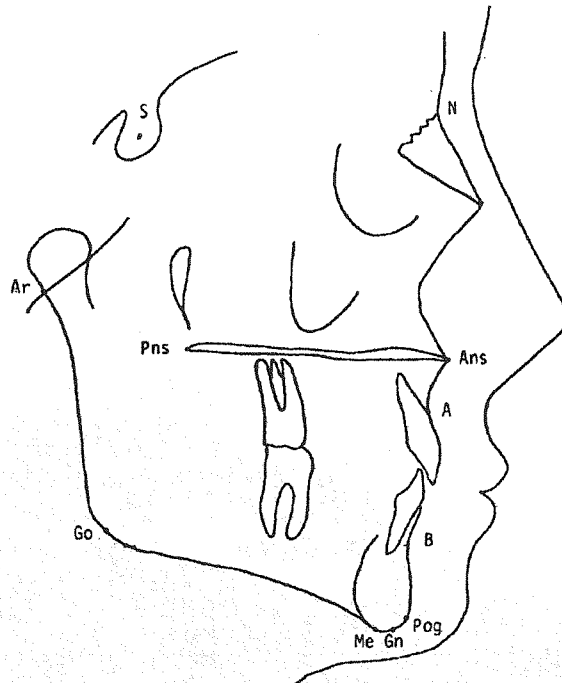
$(-20, -7)$	$(-20, -6)$	$(-20, -5)$	$(-20, -4)$	$(-20, -3)$	$(-20, -2)$	$(-20, -1)$
$(-20, 1)$	$(-20, 2)$	$(-20, 3)$	$(-20, 4)$	$(-19, 5)$	$(-18, 5)$	$(-17, 4)$
$(-16, 4)$	$(-15, 3)$	$(-14, 3)$	$(-13, 3)$	$(-12, 2)$	$(-11, 2)$	$(-10, 2)$
$(-9, 1)$	$(-8, 1)$	$(-7, 1)$	$(-6, 0)$	$(-5, 0)$	$(-4, 0)$	$(-3, 0)$
$(-2, 0)$	$(-1, 0)$	$(0, 0)$	$(1, 0)$	$(2, 0)$	$(3, 0)$	$(4, 0)$
$(5, 0)$	$(6, 0)$	$(7, 1)$	$(8, 1)$	$(9, 1)$	$(10, 2)$	$(11, 2)$
$(12, 2)$	$(13, 3)$	$(14, 3)$	$(15, 3)$	$(16, 4)$	$(17, 4)$	$(18, 4)$
$(19, 5)$	$(20, 5)$	$(21, 6)$	$(22, 6)$	$(23, 7)$	$(24, 7)$	$(25, 8)$
$(26, 9)$	$(27, 10)$	$(28, 11)$	$(29, 12)$	$(30, 13)$	$(31, 14)$	$(32, 15)$
$(33, 16)$	$(34, 17)$	$(35, 18)$	$(36, 19)$	$(36, 19)$	$(35, 18)$	$(34, 17)$
$(33, 16)$						

جدول (۳) مدل منحنی سلانورسیکلا (مختصات نسبی نقاط با انتقال نقطه S به مبدأ)

$(-8, 10)$	$(-7, 9)$	$(-6, 9)$	$(-5, 8)$	$(-4, 8)$	$(-3, 8)$	$(-2, 8)$
$(-1, 8)$	$(0, 8)$	$(1, 7)$	$(2, 7)$	$(3, 6)$	$(4, 6)$	$(5, 5)$
$(7, 3)$	$(7, 2)$	$(8, 1)$	$(8, 0)$	$(8, -1)$	$(7, -2)$	$(7, -3)$
$(6, 4)$	$(7, -4)$	$(6, -5)$	$(5, -6)$	$(4, -7)$	$(3, -7)$	$(2, -8)$
$(1, -8)$	$(0, -8)$	$(-1, -8)$	$(-2, -8)$	$(-3, -9)$	$(-4, -10)$	$(-5, -11)$
$(-6, -12)$	$(-6, -13)$					

جدول (۳) مدل منحنی سمفیز (مختصات نسبی نقاط با انتقال نقطه B به مبدأ)

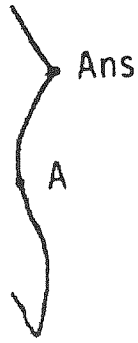
(-۲۵، ۸)	(-۲۶، ۰۹)	(-۲۷، ۱۰)	(-۲۸، ۱۱)	(-۲۸، ۱۲)	(-۲۸، ۱۳)	(-۲۸، ۱۴)
(-۲۸، ۱۵)	(-۲۷، ۱۶)	(-۲۶، ۱۶)	(-۲۵، ۱۶)	(-۲۴، ۱۶)	(-۲۳، ۱۵)	(-۲۲، ۱۵)
(-۲۱، ۱۵)	(-۲۰، ۱۴)	(-۱۹، ۱۴)	(-۱۸، ۱۳)	(-۱۷، ۱۳)	(-۱۶، ۱۲)	(-۱۵، ۱۲)
(-۱۴، ۱۱)	(-۱۳، ۱۰)	(-۱۲، ۹)	(-۱۱، ۸)	(-۱۰، ۷)	(-۹، ۶)	(-۸، ۵)
(-۷، ۴)	(-۶، ۳)	(-۵، ۲)	(-۴، ۲)	(-۳، ۱)	(-۲، ۱)	(-۱، ۰)
(۰، ۰)	(۱، -۱)	(۲، -۱)	(۳، -۱)	(۴، -۱)	(۵، -۱)	(۶، -۱)
(۷، -۱)	(۸، -۱)	(۹، -۱)	(۱۰، -۱)	(۱۱، -۱)	(۱۲، -۱)	(۱۳، -۱)
(۱۴، -۱)	(۱۵، -۱)	(۱۶، -۱)	(۱۷، -۱)	(۱۸، -۱)	(۱۹، -۱)	(۲۰، -۱)
(۲۱، -۱)	(۲۲، -۲)	(۲۳، -۲)	(۲۴، -۳)	(۲۵، -۳)	(۲۶، -۴)	(۲۷، -۴)
(۲۸، -۵)	(۲۹، -۶)	(۳۰، -۷)	(۳۰، -۸)	(۳۰، -۹)	(۳۰، -۱۰)	(۳۰، -۱۱)
(۳۰، -۱۲)	(۳۰، -۱۳)	(۳۰، -۱۴)	(۲۹، -۱۵)	(۲۹، -۱۶)	(۲۸، -۱۷)	(۲۸، -۱۸)
(۲۷، -۱۹)	(۲۷، -۲۰)	(۲۶، -۲۱)	(۲۵، -۲۲)	(۲۴، -۲۳)		



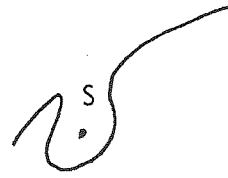
شکل (۱) شماتیک رادیو گرافی نیم رخ و نقاط شاخص سفالومتری



شکل (۵) منحنی سمفیز



شکل (۴) منحنی پرماگزبلا



شکل (۳) منحنی سلانور سیکلا

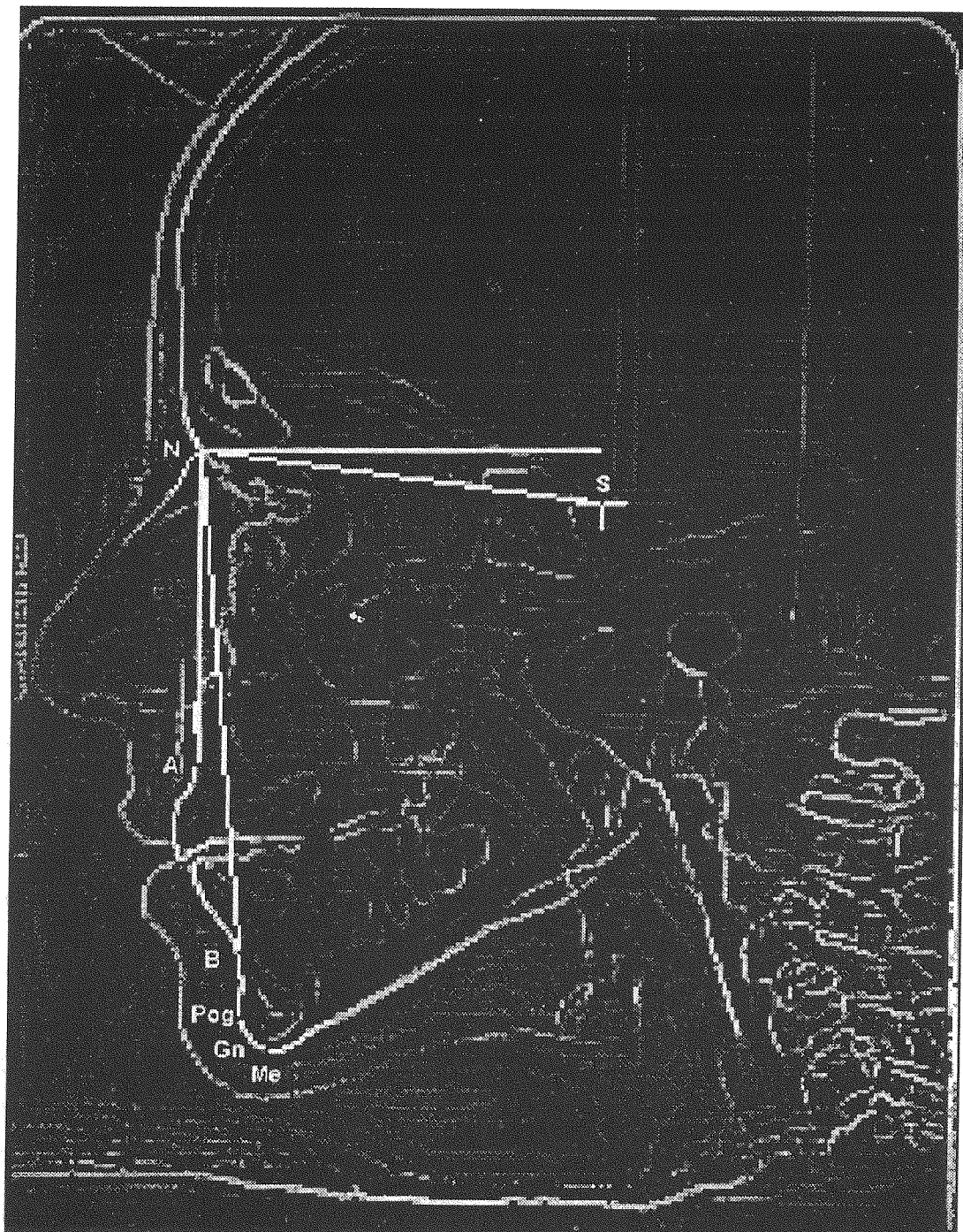


شکل (۲) منحنی درز بینی - پیشانی

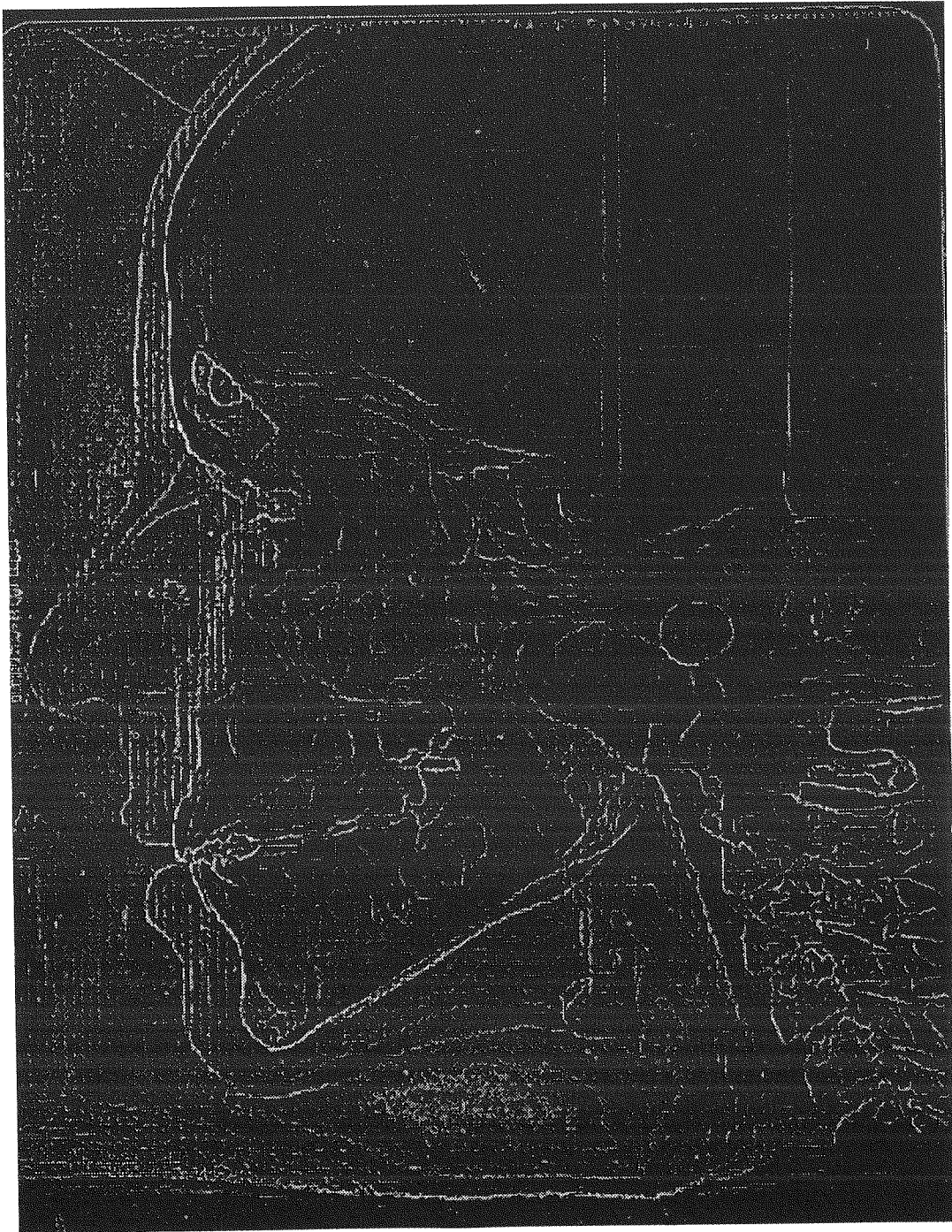


امیر کبیر / سال دهم / شماره ۴۰

شکل (۶) تصویر سفالومتری اولیه



شکل (۷) نقشه لبه‌ها برای تصویر سفالومتری کوچک شده -



شکل (۸) نقشه لبه‌ها برای تصویر سفالومتری اولیه .



شکل (۹) منحنی‌ها و نقاط شاخص پیدا شده .

- [1] R. E. Moyers [1973]. "Handbook of Orthodontics", 3rd ed., Chicago: Mosby-Year Book.
- [2] T. Rakosi [1979]. "An Atlas and Manual of Cephalometric Radiography", Munchen: Hanser.
- [3] W. Proffit [1993]. "Contemporary Orthodontics". 2nd ed., New York: George Stamathis.
- [4] J. Sugaware [1980]. "Analysis of Mandibular form in Orthodontics", MEDINFO 80, PP. 1168-1172.
- [5] P.H. Jackson [1985]. "Digital Image Processing of Cephalometric Radiographs", British Journal of Orthodontics, Vol. 12, pp. 122-132.
- [6] A. Jager, and W. Doler [1989], "Digital Image Processing in Cephalometric Analysis", Schweiz Monatsschr Zahnmed, Vol. 99. No. 1, pp. 19-23.
- [7] W. Doler, N. Steinhofel and A. Jager [1991]. "Digital Image Processing Techniques for Cephalometric Analysis", Comput. Biol. Med., Vol. 21, No. 1/2, pp. 23-33.
- [8] A. M. Cohen [1984]. "A Preliminary Study of Computer Recognition and Identification of Skeletal Landmarks as a New Method of Cephalometric Analysis", British Journal of Orthodontics, vcol. 11, No. 3. pp. 143.
- [9] A. D. Lavy-Mandel [1986]. " Knowledge Based Landmarking of Cephalograms," Computers and Biomedical Research, Vol. 19. pp. 282-309.
- [10] Z. Hussain [1994]. "Digital Image Processing", London: Addison Wesley.
- [11] W. K. Pratt [1978] . "Digital Image Processing", New York: Wiley.
- [12] A. Rosenfeld, and Kak, A. V. [1976]. "Digital Image Processing", New York: Academic Press.
- [13] R. C. Gonzalez, and P. Wintz [1987]. "Digital Image Processing" London: Addison Wesley.
- [14] S. Baumrind, and R. Frantz [1971]. "The Reliability of Headfilm Measurements. Part 1. Landmark Identification", Am. J. Orthod Vol. 60, pp. 111-127.
- [15] B. Solow [1970]. "Computers in Cephalometric Research", Comput . Biol. Med, Vol, 1, pp. 41-49.