

## Automatic Human Dental Identification based on Posterior and Anterior Teeth

F. Aeini<sup>1\*</sup>, A. Ghonoodi<sup>2</sup>, R. Aeini<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Instructor, Department of Software Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

<sup>3</sup> Department of Software Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

Receipt in the Online Submission System: 4 June 2018, Received in Revised Form: 23 July 2018, Accepted: 14 November 2018

---

### Abstract

Forensic dentistry is the subdivision of forensics that determines the identity of the victim based on dental features. In this paper, we propose a framework for human identification based on dental. The proposed framework consists of two main stages: the first stage is teeth classification and numbering, and the second stage is human recognition. In this study, a new feature has been proposed for each of these two stages: Crown mesiodistal neck and anatomic crown length for the first and a feature vector based on the geodesic distance between important points of teeth contours for the second. The proposed method is capable of solving principally, and automatically problems such as diagnosis of posterior and also anterior teeth, posterior and anterior teeth classification, diagnosis of number and kind of all kind pulled teeth from, which are overlooked or have been left with the simple premises in previous works. To evaluate the proposed method, we experiment on a set of bitewings, periapical and panoramic images. The practical results show an improvement in accuracy of classification with discovering anterior teeth, and also 9% improvement in the first rank of the accuracy of teeth recognition, in comparison with the previous works.

**Keywords:** *Human Identification, Teeth Contours, Classification and Numbering, Posterior Teeth, Anterior Teeth, Geodesic Distance*

---

### \*Corresponding Author

**Address:** Department of Computer Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, P. O. Box: 48164-194 Sari, Iran  
**Tel:** +98-11-33032891  
**Fax:** +98-11-33032891  
**E-mail:** [faeini@iausari.ac.ir](mailto:faeini@iausari.ac.ir)

## تشخیص خودکار هویت انسان بر اساس ویژگی دندان‌های خلفی و قدامی

فرایین آیینی<sup>۱\*</sup>، علیرضا غنودی<sup>۲</sup>، راشین آیینی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>اومربی، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری  
<sup>۲</sup>کارشناسی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری

تاریخ ثبت در سامانه: ۱۳۹۷/۳/۱۴، بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۱، پذیرش قطعی: ۱۳۹۷/۸/۲۳

### چکیده

دندان‌پزشکی قانونی، شاخه‌ای از پزشکی قانونی است که به تشخیص هویت انسان بر اساس ویژگی‌های دندان می‌پردازد. در این مقاله، سیستم خودکار تشخیص هویت انسان بر اساس ویژگی‌های دندان ارائه شده است. هدف از این سیستم، شناسایی منطبق‌ترین تصاویر رادیوگرافی پایگاه داده با تصویر پرس‌وجوی پس از مرگ فرد مورد نظر می‌باشد. چارچوب کاری پیشنهاد شده، شامل دو مرحله اصلی است، که مرحله اول، مربوط به دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها و مرحله دوم، مربوط به بازشناسی دندان‌ها می‌باشد. در این پژوهش، ویژگی‌های جدیدی برای هر مرحله پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به روابط جدید میان عرض مزیدسیتال طوق و طول تاج آناتومیک برای مرحله اول و بردار ویژگی مبتنی بر فاصله‌ی ژئودزیک بین نقاط مهم خط محیطی دندان برای مرحله دوم اشاره کرد. روش پیشنهادی قادر است مشکلاتی نظیر تشخیص دندان‌های خلفی و قدامی، دسته‌بندی دندان‌های خلفی و قدامی، و تشخیص تعداد و نوع دندان‌های کشیده شده، که در کارهای گذشته نادیده گرفته شده و یا با فرض‌های ساده کنار گذاشته شده‌اند را به طور اصولی و خودکار حل نماید. برای ارزیابی روش‌های پیشنهادی، آزمایش‌هایی روی مجموعه‌ی تصاویر بایتوینگ و پری‌اپیکال انجام شده است. نتایج عملی، بهبود کارایی دسته‌بندی دندان‌ها را که ناشی از بازشناسی دندان‌های قدامی است و نیز افزایش ۱۲ درصدی در طبقه‌ی اول بازشناسی دندان در مقایسه با روش‌های پیشین را نشان می‌دهند.

**کلیدواژه‌ها:** تشخیص هویت، بازشناسی دندان‌ها، دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها، دندان خلفی، دندان قدامی، فاصله‌ی ژئودزیک

\* نویسنده مسئول

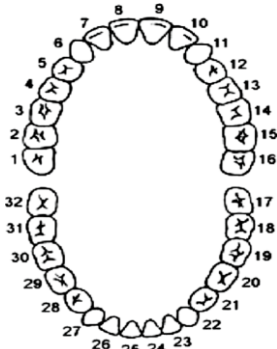
نشانی: گروه مهندسی کامپیوتر، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران. کد پستی: ۱۹۴-۴۸۱۶۴

تلفن: ۳۳۰۳۲۸۹۱ (۱۱) ۹۸+

دورنگار: ۳۳۰۳۲۸۹۱ (۱۱) ۹۸+

پست الکترونیکی: f.aeini@iausari.ac.ir

می‌کند، در نتیجه با کاهش فضای جستجو، دقت تشخیص هویت نیز بهبود خواهد یافت. در پژوهش حاضر نیز این نکته مد نظر قرار داده شده و در چارچوب کاری پیشنهادی، روشی جدید برای دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها پیشنهاد شده است.



شکل (۱) - سیستم جهانی شماره‌گذاری دندان‌ها

در اکثر پژوهش‌های انجام شده، فرض شده است که تصویر ورودی، تصویر بایتونینگ بوده و بر اساس مقایسه‌ی شکل دندان و شیوه‌ی درمان دندان‌های خلفی، به تشخیص هویت پرداخته شده است، اما همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، انواع دیگری از تصویر رادیوگرافی در دندان‌پزشکی رایج است که در تشخیص هویت خودکار بر اساس ویژگی‌های دندان مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. تصاویر بایتونینگ، دندان‌های آسیاب کوچک و بزرگ، تصاویر پری‌اپیکال، بخشی از دندان‌های یک فک و تصاویر پانورامیک، تمام دندان‌های دو فک را نشان می‌دهند. هر یک از این تصاویر برای استخراج ویژگی‌های متمایزی در پروسه‌ی درمان، مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل (۲) - نمونه‌ای از تصاویر رادیوگرافی رایج دندان  
(الف) بایتونینگ، (ب) پری‌اپیکال، (ج) پانورامیک

در این مقاله، به جای صرفاً استفاده از تصاویر بایتونینگ، از تمام تصاویر رادیوگرافی دندان، به عنوان تصویر ورودی استفاده شده است. همچنین، علاوه بر استفاده از هر سه نوع تصویر رادیوگرافی، تصاویر دندان‌های خلفی و قدامی نیز مورد پردازش قرار گرفته است. در چارچوب کاری پیشنهادی، علاوه بر دندان‌های خلفی، به دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های قدامی نیز پرداخته شده و با به کار بردن تمام انواع دندان‌ها در

## ۱- مقدمه

در شرایطی مانند حوادث کشتار جمعی، آتش‌سوزی یا سقوط هواپیما و یا در شرایطی که تشخیص هویت فرد، هفته‌ها پس از مرگ او انجام می‌شود، اکثر بافت‌های نرم بدن تخریب خواهد شد، بنابراین نمی‌توان از اغلب بیومتریک‌های فیزیولوژیکی رایج برای تشخیص هویت فرد استفاده نمود. دندان، به دلیل سختی و مقاومت در برابر تحلیل، به عنوان یکی از بهترین کاندیدها برای شناسایی بیومتریک پس از مرگ شناخته می‌شود. بدین منظور، در این مقاله، روش خودکار تشخیص هویت بر اساس ویژگی‌های دندان‌های ارائه شده است که شامل قطعه‌بندی، دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها و بازشناسی هویت فرد می‌باشد [۱-۳]. کارشناسان دندان‌پزشکی قانونی، بر اساس ویژگی‌های مختلفی مانند پیر شدن دندان، ویژگی‌های ترمیم، شکل ظاهری ریشه و مورفولوژی دندان، به بررسی، آزمایش، تشخیص هویت و ارزیابی شواهد مربوط به دندان فرد می‌پردازند [۴، ۵].

دندان‌های یک فرد بالغ بر اساس سیستم بین‌المللی، مطابق شکل (۱)، شماره‌گذاری می‌شوند [۷]. یک انسان بالغ دارای ۱۶ دندان در هر یک از فک‌های بالا و پایین و در مجموع دارای ۳۲ دندان می‌باشد. بر اساس سیستم شماره‌گذاری شکل (۱)، دندان‌های شماره‌ی ۱، ۲ و ۳، به ترتیب سومین، دومین و اولین دندان آسیاب بزرگ و دندان‌های شماره‌ی ۴ و ۵، به ترتیب دومین و اولین دندان آسیاب کوچک فک بالا می‌باشند. دندان شماره‌ی ۶، دندان نیش بوده و دندان‌های ۷ تا ۱۰، دندان‌های پیش یا ثنایا می‌باشند. در نیمه‌ی چپ فک بالا، دندان‌های شماره‌ی ۱۱ تا ۱۶، دندان‌های نیش، اولین و دومین آسیاب کوچک و اولین تا سومین آسیاب بزرگ هستند. در فک پایین، نیز دندان‌های شماره‌ی ۱۷-۲۲ و ۲۳-۲۷، سومین تا اولین آسیاب بزرگ، دومین تا اولین آسیاب کوچک و دندان نیش نیمه‌ی چپ و راست فک پایین و دندان‌های ۲۳-۲۶، دندان‌های پیش فک پایین هستند. به مجموعه‌ی دندان‌های آسیاب کوچک و آسیاب بزرگ، دندان‌های خلفی و به دندان‌های پیش و نیش، دندان‌های قدامی گفته می‌شود.

در روش‌های سنتی تشخیص هویت بر اساس ویژگی‌های دندان، هر دندان از تصویر پرس‌وجو با تمام دندان‌های ذخیره شده در پایگاه داده مقایسه می‌شود. دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان می‌تواند هر دندان را به عنوان یک دندان با شماره‌ی مشخص بر اساس سیستم جهانی شماره‌گذاری دندان شناسایی کند. این راه‌کار، فضای جستجو را تنها به دندان‌های هم‌شماره محدود

قطعه‌بندی تصاویر، جدا کردن دندان از سایر نواحی تصاویر رادیوگرافی است. با استفاده از انتگرال پروجکشن، ابتدا فک بالا را از فک پایین جدا کرده و سپس هر دندان جدا می‌شود [۹]. پس از جداسازی دندان‌ها، نقاط مهم خط محیطی هر دندان شناسایی شده و با استفاده از روش پیشنهادی، برای نقاط مهم استخراج شده، برداری بر اساس فاصله‌ی ژئودزیک ساخته می‌شود. در طول جستجو، نمره‌ی انطباق میان بردارهای ویژگی تصاویر هم‌شماره‌ی دندان، برای حالت‌های پیش و پس از مرگ محاسبه می‌شود. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که سیستم پیشنهادی در مقایسه با روش‌های پیشین تشخیص هویت بر اساس ویژگی دندان، دارای کارایی بالاتری است.



شکل (۳) - مفهوم فاصله‌ی اقلیدسی و فاصله‌ی ژئودزیک

در ادامه‌ی این مقاله، ابتدا در بخش دوم، پژوهش‌های پیشین مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در بخش سوم، روش پیشنهادی این مقاله، با جزئیات توصیف می‌شود. در بخش چهارم، نتایج عملی در رابطه با روش پیشنهادی و مقایسه‌ی آن با روش‌های پیشین ارائه می‌شود و در بخش آخر، نتیجه‌گیری و کارهای آتی ذکر شده است.

## ۲- پژوهش‌های پیشین

در این بخش، برخی از کارهای مرتبط با تشخیص هویت در رابطه با دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها و انطباق ویژگی‌های دندان، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه، هر کدام از حوزه‌ها به اختصار معرفی و مراجعی برای هر یک ذکر می‌گردد.

### ۲-۱- دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها

با توجه به این‌که ترتیب دندان‌ها در دهان ثابت است، با دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها می‌توان هر دندان را با استفاده از سیستم‌های شماره‌گذاری دندان‌ها، با یک شماره شناسایی کرد. لازم به یادآوری است که در اغلب روش‌های پیشین، به طور پیش‌فرض، کار روی تصاویر بایتونینگ صورت گرفته که صرفاً شامل دندان‌های خلفی می‌باشند.

فرایند تشخیص هویت، امکان شناسایی دقیق‌تر افراد بیش‌تری فراهم شده است. به عبارت دیگر، در این مقاله روشی خودکار برای جداسازی دندان‌های خلفی و قدامی و دسته‌بندی و شماره‌گذاری آن‌ها پیشنهاد شده که برای این منظور، از عرض مزیدسیستال طوق استفاده شده است.

هدف این مقاله، ارائه‌ی سیستمی خودکار برای جستجو در پایگاه داده‌ی تصاویر پیش از مرگ، به منظور یافتن بهترین انتخاب برای تصویر پس از مرگ فرد مورد نظر می‌باشد. بر اساس مطالعاتی که در این مقاله روی پژوهش‌های پیشین در زمینه‌ی تشخیص هویت خودکار انسان بر اساس ویژگی‌های دندان، صورت گرفته است، مشخص گردید که یک محدودیت مشترک در میان تمام این روش‌ها وجود دارد، که این محدودیت، محاسبه‌ی معیار انطباق در فضای اقلیدسی می‌باشد، در حالی‌که تصویر هر دندان در فضای منیفولد<sup>۱</sup> قرار دارد. منیفولد به هر فضای مجرد ریاضی اطلاق می‌شود که به صورت موضعی دارای همسایگی (هرچند کوچک) شبیه به فضای اقلیدسی است، اما از نظر ساختار سراسری می‌تواند از آن پیچیده‌تر باشد [۸]. فاصله‌ی ژئودزیک<sup>۲</sup> به معنای کوتاه‌ترین مسیر بین نقاط در فضای منیفولد است. به عبارت دیگر، فاصله‌ی ژئودزیک تعمیمی از مفهوم خط مستقیم به روی منیفولد است. در شکل (۳)، تفاوت فاصله‌ی بین دو نقطه در فضای اقلیدسی و فاصله‌ی ژئودزیک در فضای منیفولد، با مثالی ساده نشان داده شده است. در این شکل،  $d$ ، فاصله‌ی نقاط  $P1$  و  $P2$  در فضای اقلیدسی بوده، اما فاصله‌ی واقعی بین این نقاط، برابر با فاصله‌ی ژئودزیک در فضای منیفولد می‌باشد که با نقطه‌چین روی خط محیطی از نقطه‌ی  $P1$  تا نقطه‌ی  $P2$  مشخص شده است. از آن‌جا که خط محیطی دندان در فضای منیفولد قرار دارد، محاسبه‌ی معیار انطباق در فضای اقلیدسی، به ویژه هنگامی که شکستگی یا خرابی در دندان وجود دارد، به راحتی می‌تواند موجب خطای تشخیص هویت گردد، زیرا در این حالت، ساختار هندسی دندان که در تشخیص هویت بسیار اهمیت دارد، نادیده گرفته شده و صرفاً به بررسی کوتاه‌ترین خط مستقیم متصل‌کننده‌ی دو نقطه‌ی روی خط محیطی، تمرکز می‌شود. در این پژوهش، برای در نظر گرفتن ساختار هندسی دندان، روی یک معیار انطباق بر اساس فاصله‌ی ژئودزیک بین نقاط تمرکز شده است.

در روش پیشنهادی، ابتدا تصاویر رادیوگرافی مربوط به پیش و پس از مرگ افراد، قطعه‌بندی شده و هر دندان جدا می‌گردد. سپس، بردار ویژگی برای هر دندان استخراج می‌شود. هدف از

<sup>۲</sup> Geodesic Distance

<sup>۱</sup> Manifold Space

بر اساس فاصله‌ی بین بردارهای تصاویر دندان پیش و پس از مرگ، محاسبه شده و تصویر دارای بالاترین امتیاز، در رتبه‌ی اول بازیابی قرار می‌گیرد. نومیر و عبدالمطلب، الگوریتمی را برای انطباق تصاویر رادیوگرافی دندان، بر اساس یک الگوریتم سلسله مراتبی سطوح روشنایی، برای انطباق خط محیطی دندان‌ها ارائه دادند [۱۸]. ژانگ و هم‌کارانش، روشی را برای تشخیص هویت از مدل‌های سه‌بعدی دندان پیشنهاد دادند [۱۹]. ریت و هم‌کارانش [۲۰]، از ابزار شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای تشخیص هویت با تصاویر سه‌بعدی استفاده کردند که در این روش، از ویژگی کاسپ دندان برای بازشناسی دندان استفاده شده است.

### ۳- روش پیشنهادی این مقاله

در این بخش، روش‌های پیشنهادی برای مرحله‌ی دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها و نیز تشخیص هویت خودکار بر اساس ویژگی‌های دندان در فضای منیفلد، با بیان جزئیات توضیح داده می‌شود.

در تمامی کارهای گذشته، که تعدادی از آن‌ها در بخش قبل مورد بررسی قرار گرفت، با فرض این‌که تصویر ورودی، یک تصویر بایتونینگ شامل تصویر دندان‌های خلفی است، به دسته‌بندی دندان‌ها به دو دسته‌ی آسیاب کوچک و بزرگ پرداخته شده و سپس به هر دندان شماره‌ای بر اساس سیستم شماره‌گذاری بین‌المللی دندان‌ها اختصاص داده شده است. از جمله نوآوری‌های این مقاله، نادیده گرفتن فرض اولیه‌ی بایتونینگ بودن تصویر ورودی و نیز خلفی بودن تصویر دندان‌ها می‌باشد، به طوری که پیش از دسته‌بندی دندان‌ها، خلفی یا قدامی بودن آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد که با توجه به بررسی‌های انجام شده، جزء اولین روش‌ها برای دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های قدامی به شمار می‌رود. با به کار بردن تمام دندان‌ها در فرایند تشخیص هویت، می‌توان افراد بیش‌تری را با دقتی بالاتر شناسایی کرد. نمودار کلی سیستم پیشنهادی برای دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است. در زیربخش ۳-۱، به توصیف لایه‌های پیش‌پردازش در تشخیص هویت و تکنیک‌های به کار گرفته شده یا پیشنهاد داده شده، پرداخته می‌شود.

تشخیص دندان کشیده شده، در شماره‌گذاری دندان‌ها اهمیت زیادی دارد. با توجه به این‌که در مطالعات پیشین برای تشخیص هویت روی دندان‌های خلفی تمرکز شده، روشی برای شناسایی

ماهور و مطلب، الگوریتمی را برای طبقه‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها برای تصاویر بایتونینگ ارائه دادند [۱۰]. آن‌ها از طبقه‌بندی‌کننده‌ی بیزین برای دسته‌بندی دندان‌ها به آسیاب بزرگ و کوچک استفاده کردند. کیاتیسین و هم‌کارانش، روشی دیگر را برای دسته‌بندی دندان‌ها به یک ریشه‌ای و دو ریشه‌ای پیشنهاد دادند [۱۱]، اما روش آن‌ها نتایج قابل‌اعتمادی را به دست نیاورد. لین و هم‌کارانش نیز، روشی را برای دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها در تصاویر بایتونینگ ارائه نمودند [۱۲]. آن‌ها از نسبت طول به عرض دندان، نسبت طول به عرض اتافک پالپ و اندازه‌ی تاج، به عنوان ویژگی در ماشین بردار پشتیبان دودویی، برای دسته‌بندی دندان‌ها به آسیاب بزرگ و کوچک استفاده کرده و در انتها، با ترکیب الگوریتم تشخیص دندان کشیده و ترتیب دندان‌ها، شماره‌ای به هر دندان اختصاص دادند. روش ارائه شده توسط محمودی و آیینی [۱۳]، جزء نخستین روش‌هایی است که محدود به تصاویر بایتونینگ نبوده و قادر به استخراج دندان‌های خلفی از تصاویر بایتونینگ، پری‌اپیکال و پانورامیک می‌باشد. محمودی و آیینی، روشی را برای دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های خلفی، بر اساس عرض مزودیستال طوق، ارائه دادند. روش محمودی، جزء معدود روش‌هایی است که قادر به شناسایی تعداد و نوع دندان کشیده شده بوده که باعث بالا رفتن دقت شماره‌گذاری دندان‌ها می‌شود.

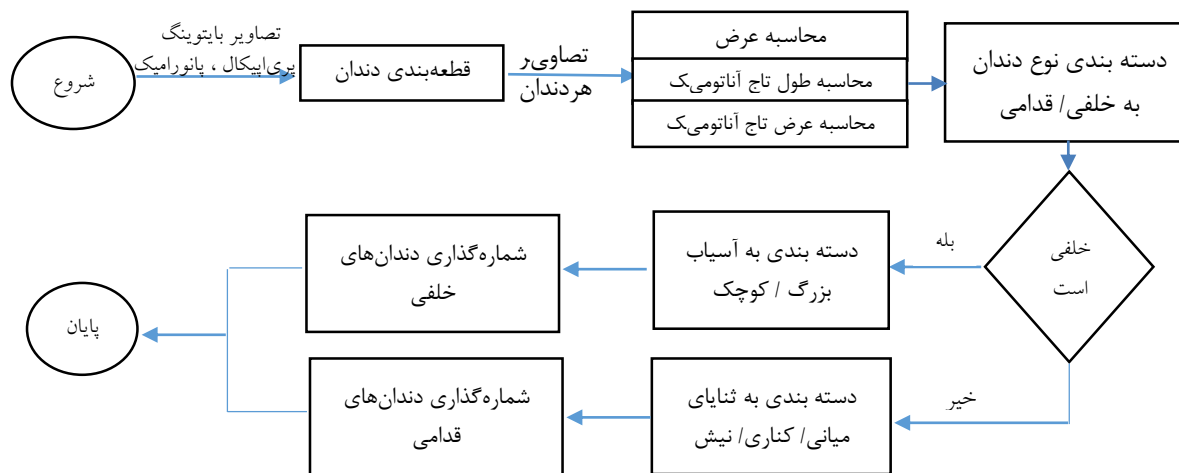
### ۲-۲- تشخیص هویت

تصاویر استخراج شده‌ی دندان‌ها از تصویر پرس‌وجوی پس از مرگ، با تصاویر پیش از مرگ موجود در پایگاه داده، مقایسه شده و تصاویر کاندید به دست می‌آیند. میتیلی، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، به ثبت تصاویر رادیوگرافی دندان پرداخت [۱۴]. ژو و عبدالمطلب، روشی خودکار را برای ذخیره‌سازی و بازیابی تصاویر دندان ارائه کردند [۱۵]. در این روش، چارچوب کاری بازیابی‌کننده، تصاویر پیش از مرگ را که شباهت بیش‌تری به دندان‌های موجود در تصویر جستجو دارند، بر اساس فاصله‌ی هاس‌درف<sup>۱</sup> بین خط محیطی دندان‌ها، بازیابی می‌کند. عبدالمطلب و هم‌کارانش، روشی را برای ذخیره‌سازی و بازیابی تصاویر پایگاه داده، برای یافتن بهترین انطباق با تصویر پس از مرگ، ارائه نمودند [۱۶، ۱۷]. در این روش، پس از قطعه‌بندی و جداسازی هر دندان از تصویر بایتونینگ، مجموعه‌ای از بردارهای ویژگی برای هر دندان استخراج شده و در پایگاه داده ذخیره می‌شود. در هنگام بازیابی، نمره‌ی انطباق

<sup>۱</sup>Hause Dorff

مهم است. بردار ویژگی، اطلاعات هندسی خط محیطی دندان را ذخیره می‌کند. هر عنصر از این بردار، بیان‌گر فاصله‌ی ژئودزیک بین یکی از نقطه‌های مهم تا نقطه‌ی مرجع انتخاب شده روی خط محیطی دندان می‌باشد. تشخیص هویت با بررسی نمره‌ی انطباق بردار ویژگی دندان‌ها انجام می‌شود. نقاط مهم، به عنوان نقاط با انحنای بالا روی خط محیطی شناسایی می‌شوند. در بخش ۳-۳ به توصیف جزئیات روش پیشنهادی برای بازشناسی دندان پرداخته شده است.

دندان کشیده شده در دندان‌های قدامی ارائه نشده است. در بخش ۳-۲-۳ به توسعه‌ی روش ارائه شده در [۱۳] برای شناسایی دندان‌های کشیده شده‌ی قدامی پرداخته شده است. در این مقاله، روشی جدید برای توصیف شکل و انطباق تصاویر دندان، توسعه داده شده است. روش پیشنهادی برای تشخیص هویت، از انطباق خط محیطی دندان در فضای منیفرم بهره می‌گیرد. این روش، مبتنی بر انتخاب مجموعه‌ای از نقاط مهم از خط محیطی دندان و ساخت بردار ویژگی بر اساس این نقاط



شکل (۴) - نمودار کلی روش پیشنهادی در رابطه با دسته‌بندی دندان‌ها

پیشنهادی در رابطه با دسته‌بندی دندان‌ها نشان داده شده است. در ادامه، به جزئیات روش پیشنهادی اشاره خواهد شد، اما پیش از دسته‌بندی دندان‌ها، پیرامون محاسبه‌ی ویژگی‌های مورد نیاز برای دسته‌بندی توضیحاتی داده خواهد شد.

### ۳-۱-۱-۳- محاسبه‌ی عرض مزبودیستال طوق

یکی از مسائل مهم در استخراج ویژگی‌های دندان، جدا نمودن تاج از ریشه است. در این مقاله، با توجه به مورفولوژی دندان، از روش [۲۱] برای تشخیص خط آناتومیک لثه و عرض مزبودیستال طوق استفاده شده است. با توجه به مورفولوژی دندان، تاج تمام دندان‌ها، در مرز تاج و ریشه، کم‌ترین عرض را دارا بوده و در عین حال، ریشه‌ها در ناحیه‌ی طوق، پهن‌تر و در انتهای ریشه، باریک‌تر می‌شوند و تقریباً در قسمت یک‌سوم ابتدایی ریشه، عرض ثابتی دارند [۶].

در این مقاله، برای محاسبه‌ی طول تاج آناتومیک، قاعده‌ی ۱ پیشنهاد داده شده و در مرحله‌ی دسته‌بندی تصاویر، از آن به عنوان ویژگی استفاده شده است.

### ۳-۱-۲- دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها

هدف از مرحله‌ی دسته‌بندی در تصاویر بایتونینگ، پانورامیک و پیری اپیکال، جدا کردن دندان‌های خلفی از قدامی و سپس تعیین نوع هر دندان است. در تشخیص هویت سنتی، لازم است تا هر دندان از تصویر جستجو، با تمام دندان‌های ذخیره شده در پایگاه داده مقایسه شود که کاری وقت‌گیر و خسته‌کننده می‌باشد.

با دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها با یکی از سیستم‌های شماره‌گذاری دندان، می‌توان فضای جستجو را تنها به دندان‌های هم‌شماره محدود کرد و در نتیجه دقت شناسایی را بهبود بخشید.

مقاله‌ی حاضر، در واقع توسعه‌ی کار انجام شده در مقاله‌ی [۱۳] است که نوآوری صورت گرفته در این مقاله، تشخیص و دسته‌بندی تمام دندان‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، در روش پیشنهادی این مقاله، علاوه بر دندان‌های خلفی، به دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های قدامی نیز پرداخته شده و با به کار بردن تمام دندان‌ها در فرایند تشخیص هویت، امکان شناسایی افراد بیش‌تری فراهم شده است. در شکل (۴)، نمودار کلی روش

**جدول (۱) - عرض مزبویستال طوق و طول تاج آناتومیک دندان [۶]**

دندان	فک پایین		فک بالا	
	عرض مزبویستال طوق	طول تاج آناتومیک	عرض مزبویستال طوق	طول تاج آناتومیک
ثنا یا میانی	۳,۸	۱۱,۳	۶,۵	۱۰
ثنا یا کناری	۴	۱۰,۱	۵	۱۰,۶
نیش	۵,۵	۱۱,۴	۶	۱۱,۵
آسیاب کوچک ۱	۵	۹,۳	۵,۳	۹,۵
آسیاب کوچک ۲	۵,۲	۸,۸	۵,۳	۹
آسیاب بزرگ ۱	۹,۲	۸	۸	۸,۲
آسیاب بزرگ ۲	۹,۲	۷,۸	۷,۵	۸
آسیاب بزرگ ۳	۸,۷	۷,۵	۷,۵	۷,۵

**۳-۲-۱-۱ - دسته‌بندی دندان‌های خلفی به آسیاب بزرگ و کوچک**

دسته‌بندی دندان‌های خلفی بر اساس روش ارائه شده در [۱۳] و طبق قاعده‌ی ۴ انجام می‌شود.

**قاعده‌ی ۴:** در هر فک، با توجه به نسبت موجود میان عرض مزبویستال طوق (MNW) دندان‌های مجاور، نوع دندان (آسیاب بزرگ یا کوچک) طبق فرمول (۲) تعیین می‌شود:

$$ratio = \frac{MNW(t_1)}{MNW(t_2)} \quad (2)$$

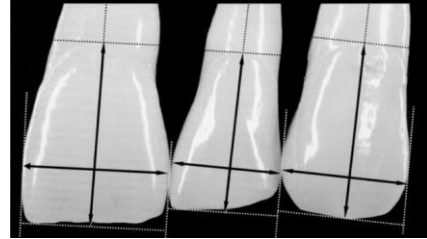
$$\begin{cases} ratio \geq 1.2 \Rightarrow t_1 \equiv \text{آسیاب کوچک}, t_2 \equiv \text{آسیاب بزرگ} \\ ratio \leq 0.8 \Rightarrow t_1 \equiv \text{آسیاب کوچک}, t_2 \equiv \text{آسیاب بزرگ} \\ \text{نوع مشابه دارند } t_1, t_2 \Rightarrow \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

که  $t_1$  و  $t_2$  دو دندان مجاور هستند. به دلیل استفاده از نسبت دندان‌ها در یک تصویر، این قاعده نسبت به تغییر مقیاس مقاوم است.

**۳-۲-۱-۲ - دسته‌بندی دندان‌های قدامی و آسیاب‌های کوچک**

از آن‌جا که طول تاج آناتومیک و عرض مزبویستال تاج در مقابل شکستگی دندان مقاوم نیستند، سعی شده است تا با تحلیل مقادیر متوسط ارائه شده در جدول (۱)، روشی بر اساس عرض مزبویستال طوق برای دسته‌بندی دندان‌ها ارائه شود. از آن‌جا که مقادیر عرض مزبویستال طوق دندان‌های آسیاب

**قاعده‌ی ۱:** طولانی‌ترین فاصله، به موازات محور طولی، بین عرض مزبویستال طوق و انسيزال‌ترین نقطه‌ی تاج، به عنوان طول تاج آناتومیک در نظر گرفته می‌شود که روش اندازه‌گیری آن در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵) - روش اندازه‌گیری طول و عرض تاج آناتومیک

**۳-۲-۱-۳ - محاسبه‌ی عرض تاج آناتومیک**

برای محاسبه‌ی عرض تاج آناتومیک، قاعده‌ی ۲ پیشنهاد داده شده است.

**قاعده‌ی ۲:** عرض مزبویستال تاج آناتومیک، به عنوان عریض‌ترین بخش دندان، عمود بر محور طولی در نظر گرفته می‌شود.

**۳-۲-۲ - دسته‌بندی دندان‌ها****۳-۲-۱-۲ - تقسیم دندان‌ها به دو دسته‌ی خلفی و قدامی**

از آن‌جا که ویژگی مورد استفاده برای دسته‌بندی دندان‌های خلفی و قدامی، متفاوت می‌باشد، لازم است تا در این مرحله، دندان‌های این دو دسته از هم جدا گردند. روش مورد استفاده برای یافتن دندان‌های خلفی، مبتنی بر قاعده‌ی ۳ می‌باشد.

**قاعده‌ی ۳:** بر اساس تحلیل اندازه‌ی دندان‌ها طبق جدول (۱)،

و استفاده از رابطه‌ی (۱)، وجود یا عدم وجود دندان آسیاب بزرگ در تصویر، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورتی که تصویر حاوی دندان آسیاب بزرگ باشد، مربوط به ناحیه‌ی خلفی بوده و در غیر این صورت، حتی اگر تصویر حاوی دندان آسیاب کوچک باشد، دسته‌بندی دندان‌ها بر اساس ویژگی‌های دندان‌های قدامی انجام می‌شود.

$$ratio = \frac{MNW(t)}{CL(t)}$$

$$\begin{cases} \text{if } ratio > 0.9 \rightarrow \text{دندان آسیاب بزرگ است.} \\ \text{else} \rightarrow \text{دندان آسیاب بزرگ نیست.} \end{cases} \quad (1)$$

**قاعده‌ی ۶:** دندان ثنایای میانی، اولین دندان در خط وسط در هر نیمه‌ی فک می‌باشد.

**قاعده‌ی ۷:** ترتیب دندان‌های ثنایای کناری، نیش و آسیاب کوچک، باید از الگوهای زیر تبعیت کند:

تصویر چهارتایی چپ:

CI-LI-C-P-P, CI-LI-C-P, CI-LI-C, LI-C-P-P, C-P-P, C-P

تصویر چهارتایی راست:

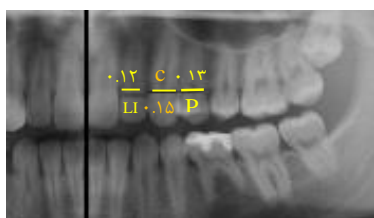
P-C, P-P-C, P-P-C-LI, C-LI-CI, P-C-LI-CI, P-P-C-LI-CI

در این مقاله، CI نشان دهنده‌ی دندان ثنایای میانی، LI ثنایای کناری، C دندان نیش، P آسیاب کوچک و M آسیاب بزرگ می‌باشد.

در روش پیشنهادی، با توجه به موقعیت مکانی خاص دندان ثنایای میانی، این دندان طبق قاعده‌ی ۶ به راحتی قابل تشخیص است.

در تطبیق نوع دندان‌های تشخیص داده شده و الگوی بالا، لازم است که فضای خالی مربوط به دندان کشیده شده بین دندان‌های مجاور را در نظر گرفت. به عنوان مثال، در صورتی که بین دندان نیش و آسیاب کوچک، دندان آسیاب کوچک کشیده شده‌ای، تشخیص داده شود، مشاهده می‌شود که این پدیده به راحتی با الگوی c-p-p هم‌خوانی داشته و بنابراین دندان آسیاب کوچک تشخیص داده شده، مربوط به آسیاب کوچک دوم می‌باشد.

در شکل (۶)، تصویری برای نمونه ارائه شده که تاثیر سه قاعده‌ی ۵، ۶ و ۷ روش پیشنهادی، در آن به خوبی قابل مشاهده است. با توجه به نسبت میان عرض مزیدیستال طوق دندان‌ها، ابتدا دندان نیش تشخیص داده شده و به عنوان دندان معیار در نظر گرفته می‌شود. سپس با توجه به ترتیب دندان‌ها در قاعده‌های ۶ و ۷، نوع دندان‌های ثنایای میانی، ثنایای کناری و آسیاب کوچک، مشخص خواهد شد.



شکل (۶) - مثالی از دسته‌بندی دندان‌های قدامی

تشخیص صحیح نوع دندان (ثنایای کناری، نیش و آسیاب کوچک) توسط روش پیشنهادی

کوچک قدامی به هم نزدیک هستند، نوع یکی از دندان‌ها، به عنوان معیار، به درستی تشخیص داده شده و نوع دندان‌های مجاور آن، بر اساس الگوی قرارگیری دندان‌ها و بررسی وجود دندان کشیده شده، تعیین خواهد شد.

بسیاری از محققان اندازه‌گیری‌هایی را روی تاج دندان زنان و مردان مختلف انجام داده و مزایایی را در رابطه با استفاده از دندان نیش بیان کردند. این مزایا از آن‌جا ناشی می‌شود که دندان‌های نیش، اغلب کم‌تر دچار پوسیدگی و بیماری‌های پریدونتال شده و حتی با افزایش سن نیز به ندرت کشیده می‌شوند [۶، ۲۲]. دندان نیش، به دلیل ضخامت تاج و لنگرگاه ریشه، یکی از پایدارترین دندان‌ها در مقابل پوسیدگی به شمار می‌روند. بخش تاج دندان نیش با داشتن چنین شکلی موجب تمیزی دندان می‌شود. این خودپاک‌کننده و لنگرگاهی بودن ریشه در فک‌ها موجب حفاظت از دندان می‌شود. با توجه به این یافته‌ها، دندان نیش در دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های قدامی، به عنوان دندان معیار در نظر گرفته می‌شود. برای دسته‌بندی دندان ثنایای کناری، نیش و آسیاب‌های کوچک، طبق قاعده‌ی ۵ که از تحلیل مقادیر جدول (۱) به دست آمده، از عرض مزیدیستال طول استفاده می‌شود.

**قاعده‌ی ۵:** در فک بالا، با توجه به نسبت موجود بین عرض مزیدیستال و طول دندان‌های مجاور آن، نوع دندان بر حسب ثنایای کناری، نیش و آسیاب‌های کوچک، طبق رابطه‌ی (۳) تعیین می‌شود:

$$ratio = \frac{MNW(t_1)}{MNW(t_2)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} ratio \geq 1.1 \Rightarrow t_1 \equiv \text{دندان نیش} \\ t_1 \text{ دندان نیش نیست} \Rightarrow \text{در غیر این صورت} \end{array} \right. \quad (3)$$

از میان هر دو دندان مجاور، به دندانی که عرض بیش‌تری دارد  $t_1$  و به دندان دیگر  $t_2$  گفته می‌شود.

برای تصمیم‌گیری در رابطه با نوع دندان  $t_2$ ، باید از تطبیق الگوی طبیعی دندان‌ها طبق قاعده‌ی ۶ و ۷ و بررسی تعداد دندان کشیده شده بر اساس روش پیشنهادی استفاده کرد. در صورتی که نتوان دندان نیش را در میان دندان‌های قدامی پیدا کرد، از دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های قدامی صرف نظر کرده و از دندان‌های شماره‌گذاری نشده در بازشناسی هویت نیز استفاده نخواهد شد.



بررسی می‌شود که در پهنای خط لثه بین دو دندان متوالی، چه تعداد و چه نوع دندانی می‌تواند وجود داشته باشد که این بررسی با توجه به الگوی دندان‌ها آغاز می‌شود. نمودار روش پیشنهادی در شکل (۷) نشان داده شده است. مزیت مهم روش پیشنهادی شده، این است که با وجود این‌که کشیدن دندان باعث چرخش دندان‌های مجاور در مکان خود در جهت نزدیک شدن به هم می‌شود، این چرخش تأثیری روی خط لثه بین دندان‌ها نخواهد داشت.

در روش‌های گذشته، کم‌تر به تشخیص نوع دندان‌های کشیده شده توجه شده است. به عنوان مثال، هنگامی که دو دندان کشیده شده بین دندان آسیاب بزرگ و آسیاب کوچک تشخیص داده شود، تحقیقات پیشین روشی برای تشخیص آسیاب بزرگ یا آسیاب کوچک بودن این دو دندان ارائه نداده‌اند.

### ۳-۲-۳- شماره‌گذاری دندان‌ها

در این بخش، با در نظر گرفتن موقعیت مکانی هر دندان در فک و با توجه به سیستم شماره‌گذاری جهانی، یک شماره به هر دندان اختصاص داده می‌شود. از آن‌جا که ترتیب دندان‌ها از الگوی مشخصی پیروی می‌کند، با توجه به دندان‌های همسایه، می‌توان اعتبار تشخیص صورت گرفته را مورد سنجش قرار داد. سپس تطابق یا عدم تطابق رشته‌ی دندان تشخیص داده شده با الگوی قرارگیری دندان‌ها بررسی می‌شود.

در انتها، اگر رشته‌ی برجسب‌ها صحیح و معتبر بود، به هر دندان شماره‌ای مطابق با موقعیت آن اختصاص داده می‌شود. تشخیص تعداد و نوع دندان‌های کشیده شده، نقش مهمی در این فرایند دارد. پیش از اختصاص دادن یک شماره‌ی منحصر به فرد بر اساس سیستم شماره‌گذاری دندان‌ها، نوع و تعداد دندان‌های کشیده شده بررسی می‌شود.

### ۳-۲-۳- بازشناسی دندان

برای شناسایی هویت انسان پس از مرگ، لازم است تا تصویر پایگاه داده‌ی دندان، که شامل دندان‌های خلفی و قدامی است، در حداقل یک فک با دندان‌های هم‌شماره‌ی آن شخص، که در پرونده‌ی دندان‌پزشکی او موجود است، مورد مقایسه و بازشناسی قرار گیرد.

برای مستقل از مقیاس نمودن تصاویر دندان، تصویر تمامی دندان‌های هم‌شماره، بر اساس یک‌سان‌سازی عرض مزودیستال طوق، نرمال می‌شوند. عرض مزودیستال طوق (که همواره ویژگی ثابتی است) با استفاده از روش پیشنهاد شده در [۱۳]

برای دسته‌بندی دندان‌های قدامی و آسیاب کوچک در فک پایین نیز از موقعیت مکانی دندان ثنایای میانی طبق قاعده‌ی ۶ که از آناتومی دندان به دست آمده، استفاده می‌شود. برای دسته‌بندی دندان ثنایای کناری، نیش و آسیاب‌های کوچک استفاده از عرض مزودیستال طوق طبق قاعده‌ی ۸ که از تحلیل مقادیر جدول (۱) به دست آمده است، پیشنهاد می‌شود.

**قاعده‌ی ۸:** در فک پایین، با توجه به نسبت موجود بین عرض مزودیستال طوق دندان‌های مجاور، نوع دندان بر حسب ثنایای کناری، نیش و آسیاب‌های کوچک، طبق رابطه‌ی (۴) تعیین می‌گردد:

$$ratio = \frac{MNW(t_1)}{MNW(t_2)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} ratio \geq 1.15 \Rightarrow t_1 \equiv \text{دندان ثنایا کناری} \\ t_1 \text{ دندان ثنایا کناری نیست} \Rightarrow \text{در غیر این صورت} \end{array} \right. \quad (4)$$

از میان هر دو دندان مجاور، به دندانی که عرض بیش‌تری دارد  $t_1$  و به دندان دیگر  $t_2$  گفته می‌شود. مشخص است که اگر بتوان از میان چهار دندان، نوع یکی از آن‌ها را تشخیص داد، نوع دندان‌های دیگر را می‌توان به راحتی بر اساس الگوی آناتومی دندان، طبق قاعده‌ی ۷ و تشخیص دندان‌های کشیده شده، به دست آورد.

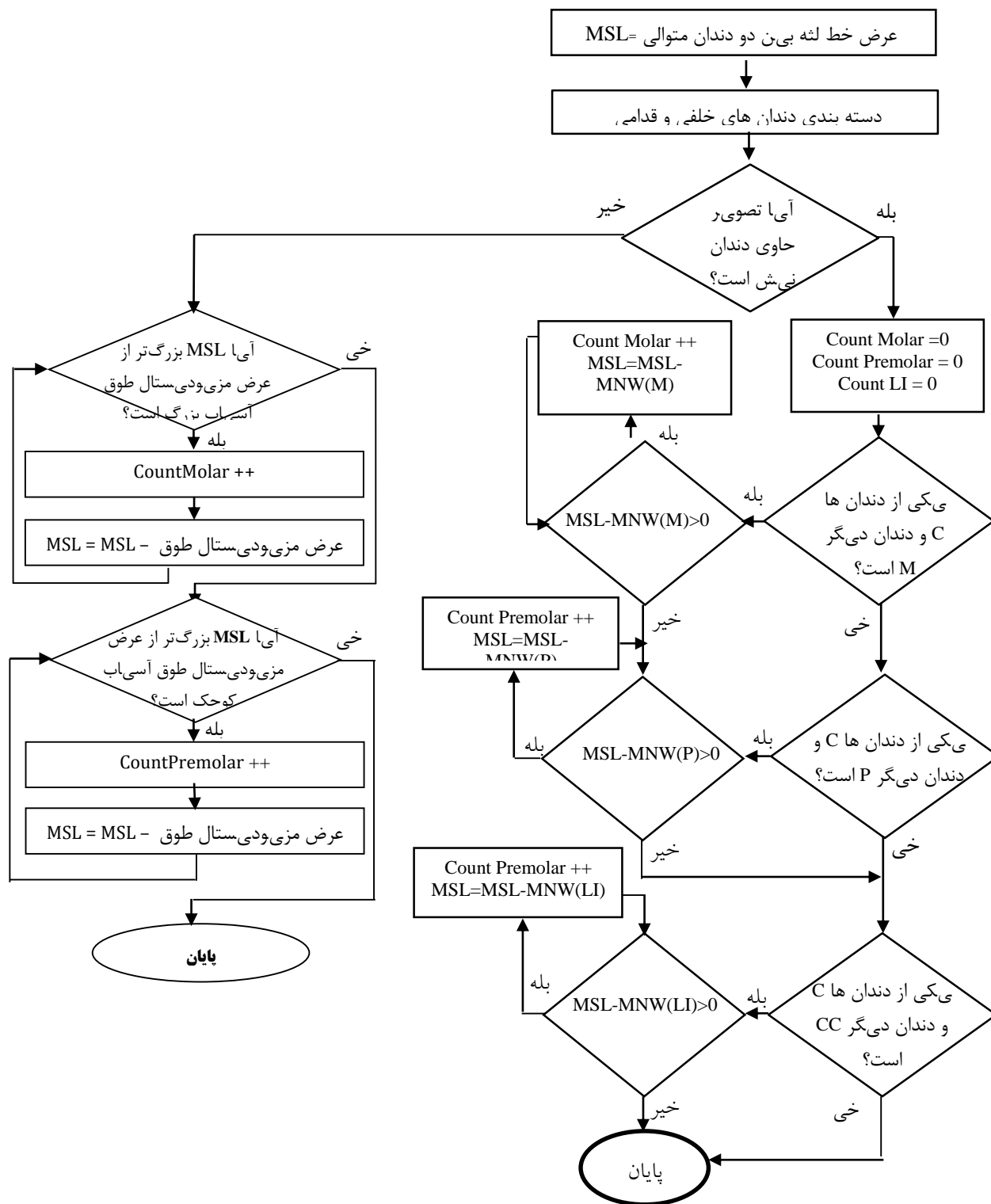
### ۳-۲-۳- تشخیص دندان کشیده شده

در این مقاله، روشی برای تشخیص تعداد و نوع دندان کشیده شده، ارائه شده است. تشخیص تعداد دندان کشیده شده، تأثیر مهمی در بررسی موقعیت دندان در دهان و نیز شماره‌گذاری دندان‌ها دارد. ویژگی به کار گرفته شده برای تشخیص تعداد و نوع دندان‌های کشیده شده، اندازه‌ی خط لثه میان دو دندان متوالی می‌باشد. در واقع، روش پیشنهادی مقاله برای تشخیص دندان کشیده شده، نسخه‌ی توسعه داده شده‌ی روش پیشنهادی شده در مقاله‌ی [۱۳] است.

در روش پیشنهادی برای تشخیص دندان کشیده شده، پس از یافتن عرض مزودیستال طوق هر دندان، پهنای خط لثه بین دو دندان متوالی به دست آورده می‌شود. منظور از پهنای خط لثه بین دو دندان همسایه، اندازه‌ی پاره‌خط متصل‌کننده‌ی اولین نقطه از عرض‌های مزودیستال طوق در سطوح نزدیک به هم در دو دندان همسایه می‌باشد. سپس با توجه به عرض مزودیستال طوق تعیین شده برای دندان‌ها در جدول (۱)،

پیکسل‌های موجود در ناحیه‌ی مشخص کننده‌ی هر دندان نیز برابر خواهد شد. پایین‌ترین نقطه از سمت چپ روی خط محیطی هر دندان، به عنوان نقطه‌ی مرجع آن دندان در نظر گرفته می‌شود.

محاسبه می‌شود، بنابراین تفاوت‌های باقی‌مانده در اندازه‌ی تاج دندان‌ها، مربوط به تفاوت ذاتی دندان‌ها می‌باشد. پس از این تنظیمات، نزدیک‌ترین مستطیل در اطراف دندان‌های هم‌شماره، به نحوی که چپ‌ترین نقطه از خط محیطی دندان به ضلع چپ این مستطیل چسبیده باشد، رسم می‌گردد. با این کار، تعداد



شکل (۷) - دیاگرام روش پیشنهادی برای شناسایی تعداد و نوع دندان‌های کشیده شده

در این مقاله، برای محاسبه‌ی نمره‌ی انطباق میان تصویر پرس‌وجو پس از مرگ و تصاویر پایگاه داده، روشی مبتنی بر محاسبه‌ی فاصله‌ی ژئودزیک بین بردار ویژگی تصاویر دندان، با نام  $M-SV^1$  پیشنهاد شده است. در این روش، برای تقریب زدن فاصله‌ی ژئودزیک بین نقطه‌ی مرجع و نقاط مهم انتخاب شده، از این نکته استفاده می‌شود که فضای منیفولد، دارای همسایگی (هر چند کوچک) شبیه به فضای اقلیدسی است. بنابراین با شمردن تعداد قطعاتی که می‌توان با اندازه‌ی  $0.5$  سانتی‌متر از خط محیطی دندان جدا کرد، می‌توان فاصله‌ی ژئودزیک را تخمین زد. به ازای هر نقطه‌ی مهم، فاصله‌ی ژئودزیک آن نقطه تا نقطه‌ی مرجع، محاسبه می‌شود. بنابراین بردار ویژگی هر دندان به صورت فاصله‌ی ژئودزیک نقاط مهم تا نقطه‌ی مرجع تعریف می‌شود، که بر اساس انحنای نقاط مهم مرتب شده‌اند. نمره‌ی انطباق، بر اساس فاصله‌ی بین بردار ویژگی تصویر قبل و پس از مرگ محاسبه می‌شود. با توجه به این که در هر تصویر موجود از بایگانی دندان‌های افراد، مجموعه‌ای از چند دندان وجود دارد، در هنگام جستجوی تصویر پس از مرگ ( $PM^2$ ) باید تصویری از پایگاه داده‌ی پیش از مرگ ( $AM^2$ ) یافت شود که بیش‌ترین تعداد دندان هم‌شماره‌ی منطبق را دارا باشد. نمره‌ی انطباق  $D$ ، برای هر زوج تصویر هم‌شماره‌ی پرس‌وجوی پس از مرگ و تصاویر پایگاه داده‌ی پیش از مرگ، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$D = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (PM_i - AM_i)^2}} \quad (5)$$

که  $PM_i$ ، عضو  $i$ -ام از بردار ویژگی تصویر پس از مرگ و  $AM_i$ ، عضو  $i$ -ام از بردار ویژگی تصویر پیش از مرگ است. با رتبه‌بندی  $D$  به صورت صعودی، بهترین انطباق دندان  $AM$  با کم‌ترین مقدار  $D$  خواهد شد. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، برای افزایش دقت و کاهش فضای جستجو، تنها دندان‌های هم‌شماره با هم مقایسه می‌شوند.

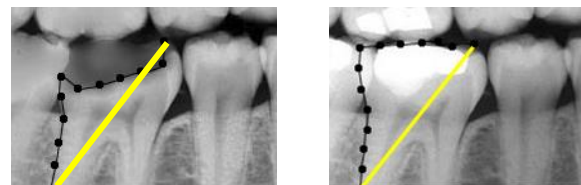
#### ۴- نتایج عملی

در این بخش، نتایج آزمایش‌های عملی روی روش پیشنهادی به منظور ارزیابی و مقایسه‌ی کارایی آن با روش‌های موجود، آورده شده است. برای نشان دادن کارایی انطباق دندان‌ها با روش پیشنهادی، از مجموعه‌ی داده‌ی جمع‌آوری شده توسط آیینی و محمودی استفاده شده است. از این مجموعه‌ی داده برای ارزیابی

از آن‌جا که در روش پیشنهادی، عرض مزیدستال طوق هر دندان به عنوان مقیاسی برای مقایسه‌ی فاصله‌ی بین دندان‌ها عمل می‌کند، امکان تشخیص نوع دندان کشیده شده به راحتی حاصل می‌شود. سپس با توجه به نوع و موقعیت دندان، بر اساس سیستم جهانی شماره‌گذاری، به هر دندان شماره‌ای اختصاص داده می‌شود. البته از شماره‌گذاری مواردی که تنها از یک نوع دندان تشکیل شده است، صرف نظر می‌شود.

با به کارگیری روش نمونه‌برداری تعداد نقاط برابر، هر دندان از تصاویر پایگاه داده و تصویر پرس‌وجو، با تعداد نقاط مساوی نمایش داده می‌شود. الگوریتم محاسبه‌ی انحنای هر نقطه اعمال شده و انحنای هر نقطه محاسبه می‌شود. سپس،  $n$  نقطه با بیش‌ترین انحنای، به عنوان نقاط مهم آن دندان در نظر گرفته می‌شود [۲۳]. آزمایشی نیز برای حذف نقاط نویز انجام می‌شود. نقاطی که شیب آن‌ها به طور قابل توجهی از شیب نقاط همسایه بیش‌تر باشد، به عنوان نقاط نویز در نظر گرفته شده و حذف می‌شوند. در این مقاله، مقدار  $n$  برابر با ۲۰ فرض شده است.

با توجه به این نکته که خط محیطی دندان روی منیفولد خمیده قرار دارد، استفاده از فاصله‌ی ژئودزیک به جای فاصله‌ی اقلیدسی پیشنهاد می‌شود. با استفاده از فاصله‌ی ژئودزیک، می‌توان ساختار هندسی دندان را به درستی مدل کرد و نتایج بهتری را در تشخیص هویت به دست آورد (شکل ۸). همان‌طور که در شکل (۸) ملاحظه می‌شود، خط زرد نشان دهنده‌ی فاصله‌ی اقلیدسی نقطه‌ی مرجع تا یکی از نقاط مهم انتخاب شده است. با وجود تفاوت بسیار زیاد در خط محیطی دندان در تصاویر (الف) و (ب)، هر دو نقطه‌ی مهم فاصله‌ی اقلیدسی کاملاً برابر هستند. همان‌طور که قابل مشاهده است، فاصله‌ی اقلیدسی میان نقاط مهم تا نقطه‌ی مرجع، نمی‌تواند تفاوت موجود در خط محیطی دندان ترمیم شده و دندان شکسته شده را نشان دهد، اما با استفاده از فاصله‌ی ژئودزیک، که با نقطه‌چین روی خط محیطی شکل (۸ الف و ب) نشان داده شده است، به راحتی می‌توان تفاوت موجود در خط محیطی را مشخص کرد.



شکل (۸) - تفاوت فاصله‌ی اقلیدسی و فاصله‌ی ژئودزیک

<sup>۱</sup> Antemortem

<sup>۱</sup> Manifold-Signature Vector

<sup>۲</sup> Postmortem

#### ۴-۱- نتایج دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، انطباق ویژگی‌ها روی دندان‌های هم‌شماره انجام می‌شود، بنابراین، صحت روش دسته‌بندی و شماره‌گذاری، باعث بهبود نتایج تشخیص هویت خواهد شد. در این بخش، نتایج دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های آسیاب بزرگ، آسیاب کوچک، نیش، ثنایای کناری و ثنایای میانی، ارائه می‌شود. کارهای انتخاب شده در این بخش، تحقیقات ماهور [۲۶]، لین [۱] و آیینی [۱۳] می‌باشند. این مراجع، از مطالعات بنیادین در بخش دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان به شمار رفته و در مراجع جدیدتری نظیر [۲۷-۲۹] نیز مورد ارجاع و استفاده قرار گرفته‌اند. در این بخش، به مقایسه‌ی نتایج روش پیشنهادی و این سه روش پرداخته می‌شود. به دلیل وجود خطا در قطعه‌بندی، ناهموازی‌های موجود در خط محیطی دندان در روش [۳۰]، اغلب با خطا همراه خواهد شد. بنابراین، روش پیشنهادی با این روش مورد مقایسه قرار نگرفته است.

جدول (۲) نتایج مقایسه‌ی روش‌های پیشین با روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. از آن‌جا که دسته‌بندی دندان‌های خلفی/ غیرخلفی، در کارهای پیشین انجام نشده است، بنابراین معیاری برای مقایسه‌ی دقت وجود ندارد. اما نتایج، به تنهایی نشان دهنده‌ی مقاوم بودن ویژگی‌های انتخاب شده و نیز مطلوب بودن دقت روش پیشنهادی در بازشناسی نوع دندان‌های قدامی می‌باشند. روش پیشنهادی این مقاله، در تمام موارد، نتیجه‌ی بهتری نسبت به روش‌های پیش از خود به دست آورده است. خطای روش پیشنهادی مربوط به زمانی است که بخش اندکی از دندان در تصویر قابل مشاهده باشد و عرض مزیدستال طوق به طور کامل در تصویر دیده نشود.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۲)، می‌توان به تاثیر دقت تشخیص خط لثه بر سایر مراحل پی برد. سطر آخر جدول (۲) مربوط به اجرای روش پیشنهادی روی تصاویر است که نشان می‌دهد این روش در بیش از ۹۰٪ موارد در تشخیص دندان‌های قدامی، عمل کرد خوبی داشته است. شناسایی دندان‌های قدامی فک پایین، ساده‌تر از شناسایی دندان‌های قدامی فک بالا است.

روش‌های پیشنهادی در مقالات [۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵] استفاده شد. پایگاه داده‌ی استفاده شده در این مقاله، از ۱۲۴ تصویر بایوتینگ (۳۷ تصویر جستجو و ۸۷ تصویر قبل از مرگ) شامل ۲۲۵ دندان آسیاب بزرگ و ۱۹۱ آسیاب کوچک در فک پایین، ۱۸۷ دندان آسیاب بزرگ و ۱۸۸ آسیاب کوچک در فک بالا و ۱۲۰ تصویر پانورامیک (۳۰ تصویر جستجو و ۹۰ تصویر قبل از مرگ) تشکیل شده است. بخشی از این تصاویر، از پایگاه داده‌ی تصاویر رادیوگرافی دندان CJIS گرفته شده که دسترسی به این تصاویر با کمک هانی عمار ممکن شده است. سایر تصاویر با همکاری دانشگاه دندان پزشکی آزاد اسلامی واحد تهران و مرکز رادیولوژی دندان، جمع‌آوری شده است. مجموعه‌ی داده‌ی جمع‌آوری شده دارای تنوع قابل قبولی از انواع دندان‌ها، شامل دندان کشیده شده، شکسته شده، پر شده، درمان ریشه، دندان مصنوعی و ... می‌باشد. از آن‌جا که تنوع مجموعه‌ی داده‌ی مورد استفاده در کارهای پیشین، پایین‌تر از تنوع مجموعه‌ی داده در این مقاله بود، به منظور ارزیابی و مقایسه‌ی جامع‌تر روش پیشنهادی و کارهای پیشین، الگوریتم روش‌های پیشین، روی مجموعه‌ی داده‌ی این مقاله پیاده‌سازی شده و تمام روش‌ها، با داده‌های یک‌سان مورد ارزیابی قرار گرفتند. در ادامه، نتایج آزمایش‌های مختلف روی این مجموعه‌ی داده آورده شده است. به منظور مقایسه‌ی نتایج روش پیشنهادی با روش‌های پیشین، از شرایط آزمایش یک‌سان با مجموعه‌ی داده‌های ذکر شده و سخت‌افزاری مجهز به یک پردازنده‌ی اینتل core i7 ۲/۵ گیگاهرتز و حافظه‌ی رم ۸ گیگابایت استفاده شده است.

در مرحله‌ی انطباق، هر دندان از تصویر پرس‌وجو، قطعه‌بندی، دسته‌بندی و شماره‌گذاری می‌شود. سپس ویژگی M-SV هر تصویر پرس‌وجو با دندان‌های هم‌شماره از تصاویر پایگاه داده مقایسه می‌گردد. منطبق‌ترین فک، دارای بیش‌ترین تعداد دندان، با کم‌ترین مقدار  $D$  می‌باشد. در ادامه، علاوه بر مقایسه‌ی روش پیشنهادی با روش‌های پیشین انطباق، تاثیر دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

جدول (۲) - نتایج ارزیابی دسته‌بندی دندان‌ها ( بر حسب % )

دندان		آسیاب کوچک		آسیاب بزرگ		نیش		فنک بالا		فنک پایین	
روش								ثنایای کناری		ثنایای میانی	
Mahoor, ۲۰۰۵		۸/۶۴		۸/۷۱		-		-		-	
Lin, ۲۰۰۹		۳/۸۹		۷/۷۸		-		-		-	
محمودی, ۱۳۹۴		۵۰/۹۸		۲۰/۹۹		-		-		-	
روش پیشنهادی		۵۰/۹۸		۲۰/۹۹		۲۴/۹۰		۲۴/۹۰		۶۱/۹۲	
										۶۱/۹۲	
										۱۲/۹۵	
										۶۱/۹۲	

در [۱۳] برای کاهش فضای جستجو اعمال شده است. همچنین برای ارزیابی روش N-SV [۲۱]، از توسعه‌ی روش مبتنی بر بردار امضای (sv) نومیر و هم‌کارانش [۲۳]، روش بهبود یافته‌ی توصیف‌گر فوریه (CFD) [۲۵] و نیز روش WSV [۱۳] استفاده شده است. روش SV، روشی پایه در این زمینه به شمار رفته و روش CFD بر پایه‌ی روش توصیف‌گر فوریه است، که هر دو، روش‌هایی مبتنی بر خط محیطی دندان بوده و در پژوهش‌های اخیر نظیر [۳۱، ۳۲] مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

به جهت ارزیابی و مقایسه، تمامی این روش‌ها با تنظیمات مناسب و مشابه، پیاده‌سازی شده و با مجموعه‌ی داده‌ی معرفی شده مورد آزمایش قرار گرفتند. لازم به یادآوری است که مطالعات پیشین ذکر شده در مراجع، از دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها استفاده نکرده‌اند. در مرجع [۱۳]، این روش‌ها با اعمال دسته‌بندی و شماره‌گذاری روی روش‌های ذکر شده مورد آزمایش قرار گرفتند.

در این مقاله، روش پیشنهادی برای دسته‌بندی و شماره‌گذاری اعمال می‌شود. همان‌طور که بیان شد، روش پیشنهادی قادر به دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های قدامی بوده که تا کنون در مقاله‌ی دیگری به آن پرداخته نشده است. دسته‌بندی و شماره‌گذاری انواع جدید دندان از دو جهت می‌تواند منجر به افزایش تعداد افراد قابل شناسایی گردد. ممکن است تصویر دندان‌های خلفی در دسترس نبوده و یا بر اثر عواملی مانند شکستن در حین حادثه، با تصاویر موجود در پایگاه داده تفاوت داشته باشد که در این حالت با بررسی دندان‌های قدامی هم‌شماره، می‌توان این مشکل را برطرف نمود. از طرف دیگر، با بررسی تعداد دندان بیش‌تر برای هر فرد، احتمال شناسایی صحیح، بالاتر می‌رود.

همان‌گونه که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، تعداد تصاویر بازیابی شده در رتبه‌های بالاتر، برای روش پیشنهادی بیش‌تر است. روش پیشنهادی در رتبه‌ی یک می‌تواند ۷۵ درصد، در رتبه‌ی دو ۸۳ درصد و در رتبه‌ی سه بیش از ۹۰ درصد از افراد را به صورت صحیح بازشناسی کند. دلیل این کارایی بالا را می‌توان در توانایی روش پیشنهادی در دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های خلفی و قدامی، که منجر به افزایش تعداد دندان‌های مورد بررسی برای هر فرد می‌شود، و نیز توجه بیش‌تر این روش به ساختار خط محیطی دندان با استفاده از روش نمونه‌برداری پیشنهادی M-SV، بیان کرد.

از ایرادهای روش پیشنهادی، می‌توان به استخراج نادرست خط محیطی دندان در مرحله‌ی قطع‌بندی و یا دیده نشدن بخشی از دندان در تصویر اشاره کرد. لازم به ذکر است که در جدول

#### ۴-۲- نتایج تشخیص تعداد و نوع دندان کشیده شده

یکی دیگر از روش‌های پیشنهادی در این مقاله، مربوط به تشخیص تعداد و نوع دندان کشیده شده است. نتایج ارزیابی و مقایسه‌ی این روش با روش‌های پیشین، در جدول (۳) ارائه شده است که کارایی روش پیشنهادی را نسبت به روش‌های پیش از خود نشان می‌دهد. می‌توان تشخیص تعداد و نوع دندان‌های کشیده شده را به عنوان مهم‌ترین ویژگی روش پیشنهادی بیان کرد. در میان روش‌های ارائه شده برای تشخیص دندان کشیده شده، تنها روش لین قادر به تشخیص تعداد دندان‌های کشیده شده بوده، بنابراین نتایج روش پیشنهادی فقط با این روش مقایسه شده است. روش پیشنهادی این مقاله، از نخستین روش‌هایی می‌باشد که قادر است دندان کشیده شده‌ی قدامی را تشخیص دهد.

جدول (۳) - نتایج ارزیابی دندان کشیده شده (بر حسب %)

روش پیشنهادی در تشخیص نوع	روش Lin در تشخیص نوع	روش پیشنهادی در تشخیص	روش Lin در تشخیص
۲۴/۹۵	-	۲۳/۹۸	۵/۸۴

#### ۴-۳- تاثیر روش نمونه‌برداری پیشنهادی M-SV

در این بخش، به بررسی تاثیر بردار ویژگی پیشنهادی در فضای مینیفولد می‌پردازیم. در جدول (۴)، نتایج ارزیابی و مقایسه‌ی روش پیشنهادی و روش‌های پیشین، در تشخیص هویت آورده شده است.

جدول (۴) - دقت نتایج تشخیص هویت خودکار بر اساس

ویژگی‌های دندان

روش	تعداد تصویر صحیح بازیابی شده در رتبه‌ی						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	کم‌تر از ۱۰
N-SV [۲۱]	۵۰	۸	۱۲	۲	۲	۰	۰
CFD [۲۵]	۴۶	۲۰	۰	۲	۲	۰	۴
W-SV [۱۳]	۷۴	۶	۶	۲	۴	۶	۱۴
روش پیشنهادی (M-SV)	۸۴	۱۰	۷	۳	۲	۲	۴

در بازشناسی دندان‌ها، ۱۱۲ تصویر جستجو، مورد آزمایش قرار گرفتند. در این کار، پیش از ارزیابی، تمامی قواعد مطرح شده

## ۶- سپاس‌گزاری

بدین وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، به جهت حمایت از این طرح پژوهشی و جناب آقای دکتر حسین آیینی، به جهت مشاوره‌ی دندان‌پزشکی و کمک به پیش‌برد این طرح، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۷- مراجع

- [1] Lin, P.L., Y.H. Lai, and P.W. Huang, *An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour information*. Pattern Recognition, 2010. 43(4): p. 1380-1392.
- [2] American Society of Forensic Odontology, Forensic Odontology News, Summer 1997. 16(2)
- [3] Silva, R.F., et al., *Panoramic radiograph as a clue for human identification: A forensic case report*. Forensic Odontol 2017. 2: p. 85-87.
- [4] Balachander, N., et al., *Evolution of forensic odontology: An overview*. J Pharm Bioallied Sci., 2015. 7: p. 176-180.
- [5] Viner, M., *Chapter 19 – Overview of Advances in Forensic Radiological Methods of Human Identification*. New Perspectives in Forensic Human Skeletal Identification, 2018: p. 217-226.
- [6] ح. بهناز و ا. شفق، *آناتومی و مورفولوژی دندان*. ۱۳۸۵.
- [7] American Dental Association. *Current Dental Terminology*, third ed. (CDT-3), 1999.
- [8] Sun, S., Zakria Hussain, and John Shawe-Taylor, *Manifold-preserving graph reduction for sparse semi-supervised learning*. Neurocomputing, 2014. 124: p. 13-21.
- [9] Zhou, J.D. and M. Abedl-Mottaleb, *Automatic human identification based on dental X-ray images*. Proceedings of the SPIE Conference on Defense and Security, Biometric Technology for Human Identification, 2004.
- [10] Mahoor, M. and M. Abdel-Mottaleb, *Classification and numbering of teeth in dental bitewing images*. Pattern Recognition, 2005. 38: p. 577-586.
- [11] Kiattisins, S., et al., *A Match of X-ray Teeth Films Using Image Processing Based on Special Features of Teeth*, in *SICE IEEE: Japan*. 2008.
- [12] Lin, P.L., Y.H. Lai, and P.W. Huang, *An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour information*. Pattern Recognition, 2010. 43(4): p. 1380-1392.
- [۱۳] محمودی، ف. و ف. آیینی، *یک چارچوب پیشنهادی برای تشخیص هویت بر اساس خط محیطی دندان‌ها*. مجله مهندسی پزشکی زیستی ۱۳۹۴. ۹ جلد ۹، شماره ۲، صفحه: ۱۱۳-۱۳۱.
- [14] Mythili, O., *Multi resolution dental image registration based on genetic algorithm*. in Department of Electrical and Computer Engineering, WVU, USA, 2005.

(۴)، تمام عوامل دیگر، نظیر روش دسته‌بندی و ...، برای هر دو روش یکسان در نظر گرفته شده تا تنها اثر اندازه‌گیری فاصله‌ی ژئودزیک مورد بررسی قرار گیرد.

## ۵- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

هدف این مقاله، ارائه‌ی یک چارچوب کاری خودکار برای تشخیص هویت انسان بر اساس ویژگی‌های دندان است. در این مقاله، روشی کارآمد برای دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های خلفی و قدامی در تصاویر بایت‌وینگ، پری‌اپیکال و پانورامیک ارائه شده است. روش پیشنهادی برای دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌ها، شامل سه مرحله‌ی اصلی تشخیص مکان و اندازه‌ی دقیق عرض مزیدستال طوق، دسته‌بندی دندان‌ها با استفاده از مدل خطی و شناسایی نوع و تعداد دندان‌های کشیده شده می‌باشد. روش پیشنهادی برای دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های قدامی و هم‌چنین روش تشخیص نوع دندان کشیده شده، از نخستین روشی‌هایی است که تا کنون برای شناسایی دندان‌های قدامی پیشنهاد شده است. با این روش می‌توان با توجه به رابطه‌ی مکانی دندان‌ها در فک‌ها و سیستم جهانی شماره‌گذاری دندان‌ها، به تمام دندان‌های باقی‌مانده در دهان شماره‌ای منحصر به فرد را اختصاص داد. در این مقاله، برای طراحی و پیاده‌سازی یک چارچوب کاری به منظور تشخیص هویت بر اساس ویژگی‌های دندان، روشی جدید با نام M-SV ارائه شده است، که در آن به جای استفاده از فاصله‌ی اقلیدسی، از فاصله‌ی ژئودزیک در فضای منی‌فولد استفاده می‌شود. این ویژگی جدید در کنار سایر موارد پیشنهادی، نظیر دسته‌بندی و شماره‌گذاری دندان‌های خلفی و قدامی و هم‌چنین تشخیص تعداد و نوع دندان کشیده شده، یک چارچوب کاری مناسب را برای بازشناسی هویت افراد از طریق تصاویر دندان، پدید می‌آورد. نتایج ارزیابی روش پیشنهادی و مقایسه‌ی آن با روش‌های پیشین، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در رتبه‌ی اول بازیابی، به میزان ۹٪ و در رتبه‌ی دوم ارزیابی، ۱۲٪ نسبت به روش‌های پیشین، افزایش کارایی داشته است.

در این مقاله، تنها از شکل خط محیطی دندان به عنوان ویژگی برای تشخیص هویت استفاده شده است. از آنجا که ممکن است شکل دندان بر اثر عوامل زیادی تغییر کند، بهتر است در کارهای بعدی از ویژگی‌های ظاهری دندان، نظیر میزان پرشدن دندان نیز در تشخیص هویت استفاده کرد.

- [۲۵] آئینی، ف. و ف. محمودی، تشخیص هویت انسان براساس ویژگی‌های دندان مبتنی بر تبدیل فوریه و کاهش فضای جستجو، هفتمین کنفرانس بین المللی انجمن رمز ایران ۱۳۸۹: دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، صفحه ۴۱-۴۹.
- [26] Mahoor, M. and Mohamed Abdel-Mottaleb, *Classification and numbering of teeth indental bitewing images*. Pattern Recognition, 2005. **38**: p. 577 – 586.
- [27] Tangel, M.L., et al., *Dental Numbering for Periapical Radiograph Based on Multiple Fuzzy Attribute Approach*. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 2014. **18**(3): p. 253-261.
- [28] Pushparaj, V., U. Gurunathan, and B. Arumugam, *Victim identification with dental images using texture and morphological operations*. Electronic Imaging, 2014. **23**(1)
- [29] Arifin, A.Z., et al., *Decimation-Free Directional Filter Banks for Classification and Numbering on Posterior Dental Radiography Using Mesiodistal Neck Detection*. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 2014. **18**(649)
- [30] Kiattisin, S., et al., *A Match of X-ray Teeth Films Using Image Processing Based on Special Features of Teeth*. SICE Annual Conference, 2008.
- [31] B.C. Gowda, e.a., *Histological appearance of postmortem pink teeth: Report of two cases*. Journal of forensic dental sciences, 2015. **7**(2): p. 168.
- [32] P.L. Lin, e.a., *Teeth segmentation of dental periapical radiographs based on local singularity analysis*. Computer methods and programs in biomedicine, 2014. **113**(2): p. 433-445.
- [15] Zhou, J. and M. Abdel-Mottaleb, *A content-based system for human identification based on bitewing dental X-ray images*. Pattern Recognition, 2005. **38**: p. 2132 – 2142.
- [16] Nomir, O. and M. Abdel-Mottaleb, *A system for human identification from X-ray dental radiographs*. Pattern Recognition, 2005. **38**: p. 1295 – 1305.
- [17] Abdel-Mottaleb, M., et al., *Challenges of developing an automated dental identification system*, in *IEEE Mid-West Symposium for Circuits and Systems 2003: Cairo, Egypt*.
- [18] Nomir, O. and M. Abdel-Mottaleb, *Hierarchical contour matching for dental X-ray radiographs*. Pattern Recognition. 2008. **41**: p. 130 – 138.
- [19] Zhang, Z., et al., *Efficient 3D dental identification via signed feature histogram and learning keypoint detection*. Pattern Recognition, 2016. **60**: p. 189–204.
- [20] Raith, S., et al., *Artificial Neural Networks as a powerful numerical tool to classify specific features of a tooth based on 3D scan data*. Computers in Biology and Medicine, 2017. **80**: p. 65–76.
- [۲۱] آئینی، ف. و ف. محمودی، دسته‌بندی دندان براساس اطلاعات کانتور و عرض مزیدیستال طوق و تاج در تصاویر رادیوگرافی دندان، پانزدهمین کنفرانس انجمن کامپیوتر ایران. ۱۳۸۸.
- [۲۲] ع. خاقانی، کالبدشناسی آناتومی سر و گردن. ۱۳۷۱، فجر اسلام: خاقانی علی.
- [23] Nomir, O. and M. Abdel-Mottaleb, *A system for human identification from X-ray dental radiographs*. Pattern Recognition, 2005. **38**: p. 1295 – 1305.
- [24] Aeini, F. and F. Mahmoudi, *Classification and Numbering of Posterior Teeth in Bitewing Dental Images*, in *ICACTE, 2010*. .IEEE: China.