

**Diş Görüntülerinin Biyometrik Olarak
Kullanılarak Otomatik Kimlik Belirlenmesi**

Program Kodu: 3501

Proje No: 113E114

Proje Yürütücüsü:
Yrd. Doç. Dr. Ayşe Betül Oktay

Bursiyerler:
Selma Güzel
Sinem İlda Birdal



Önsöz

Bu çalışmanın yürütülmesinde önemli katkıları olan doktora öğrencisi Sinem İlde Birdal'a ve Selma Güzel'e teşekkür ederim. İstanbul Medeniyet Üniversitesi personeline ve özellikle Özlem Tekin'e, projenin yürütülmesi esnasındaki bürokratik işlemlerde yardımcı oldukları için teşekkür ederim. TÜBİTAK tarafından görevlendirilen çalışmamızın anonim izleyici hakeme çalışmaya katkısı ve yürüttüğü özenli hakemlik görevi için teşekkürü borç bilirim. Bu çalışma, 113E114 numaralı ve "Dış Görüntülerinin Biyometrik olarak kullanılarak otomatik kimlik belirlenmesi" başlığı adı altında Tübitak tarafından desteklenerek geliştirilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Ayşe Betül Oktay



İÇİNDEKİLER TABLOSU

1	GİRİŞ	1
1.1	Biyometrik Veriler	1
1.2	Dişlerin Yapısı ve X-Işını Görüntüleri.....	2
1.3	Motivasyon	5
2	LİTERATÜR ÖZETİ	7
3	YÖNTEM	11
3.1	Ağız Boşluğunun Bulunması	11
3.2	Makine Öğrenmesi ile Aday Dişlerin Tespiti	16
3.3	Kesin Diş Pozisyonlarının ve Etiketlerinin Bulunması	24
3.3.1	Olasılıksal Grafik Model	24
3.3.2	Dinamik Programlama ile Kesin Çıkarım	26
3.3.3	Eksik Dişlerin Bulunması	27
3.4	Dental Restorasyonların Tespiti	28
3.5	Eşleme Algoritması	29
4	DENEYLER ve BULGULAR	32
4.1	Veri kümesi	32
4.2	Aday Dişlerin Bulunması	32
4.3	Diş konumlandırma ve etiketleme.....	35
4.4	Eşleştirme	36
5	SONUÇLAR	39
6	REFERANSLAR	41



Tablolar Listesi

Tablo 1 Dişler arası ortalama, medyan uzaklık ve standard sapma	25
Tablo 2. HOG ve PHOG öznitelikleri ve SVM ile dişlerin bulunma yüzdeleri	33
Tablo 3. Bulunan diş adaylarının doğruluk yüzdeleri.....	34
Tablo 4 Diş konumlandırma yüzdeleri.....	36

Şekiller Listesi

Şekil 1. (a) Diş tipleri. (b) Palmer notasyonu ile dişlerin numaralandırılması.	3
Şekil 2. (a) Periapikal diş görüntüsü,	4
Şekil 3. Aynı kişinin (a) önce ve (b) sonra çekilmiş panoramik diş X-ray görüntüleri. Görüntüler daha iyi gösterim sağlamak amacıyla kesilmiştir.....	5
Şekil 4. Metottaki temel adımlar.....	11
Şekil 5. Bir panoramik görüntü örneği.....	12
Şekil 6. (a) Bir panoramik diş görüntüsünde bulunan ağız boşluğu ve nasal sinüs. Lacivert alan ağız boşluğu merkezinin arandığı alanı, turkuaz (cyan) renk eşik değerlerini otomatik belirlemek için kullanılan ve resimde en parlak çıkan yerleri, yeşil pencere ise nasal sinüsün arandığı alanı göstermektedir. (b) Noktalar ağız boşluğunu belirleyen noktaları, kırmızı ve mavi dikdörtgenler ise aramanın yapıldığı alanı göstermektedir.....	14
Şekil 7. Bulunan ağız boşluğu ve diş gruplarının muhtemel pozisyonları	16
Şekil 8. Haar Filtreleri (Viola ve Jones, 2001)	17
Şekil 9. HOG Filtresi Bileşenleri ve Oluşumu: (a) hücre, (b) blok ve blokların kesişimi, (c) hücre ve histogram ilişkisi, (d) bloklardan meydana gelen filtre ve bunu temsil eden histogram tabanlı gösterim (Seemann, 2008)	18
Şekil 10. PHOG tanımlayıcısının bulunması	19
Şekil 11. Destek vektörleri çalışma prensibi.....	20
Şekil 12. Örnek bir oto-kodlayıcı yapısı	22
Şekil 13 Oto-kodlayıcı ile öğrenilen gösterimler	23
Şekil 14. Olasılıksal grafik model ile bir ağız çeyreğindeki dişlerin gösterimi.....	24
Şekil 15. Örnek Restorasyonlar	28
Şekil 16. Her satırda bir kişiye ait panoramik dental görüntünde tespit edilen aday dişler ve sonunda tespit edilen kesin diş konumları. (a), (c) ve (e)'de aday diş olarak bulunan pencerelerin merkezleri gösterilmiştir. Büyük azı dişler kırmızı, küçük azı dişler mavi ve öndişler yeşil renk gösterilmiştir. (b), (d), ve (f) bulunan dişlerin merkezleri gösterilmiştir.....	35
Şekil 17. 4 adet en başarısız eşleştirme sonuçları. Bir satırda kişinin önce ve sonra çekilmiş görüntüleri gösterilmiştir.	38



ÖZET

Dişlerin şekli ve dizilişleri insana özgüdür ve bu nedenle diş x-ışını görüntüleri biyometrik özellik olarak adli tıp odontoloji bilim dalı tarafından kullanılmaktadır. Motorlu taşıt kazaları ve yangın, tsunami gibi afetlerde kimliği belli olmayan cesetler ortaya çıkmaktadır. Cesedin diş görüntüsü, eski görüntülerle karşılaştırılarak kişinin kimlik tespiti yapılmaktadır. Bu proje ile diş x-ışını görüntülerini otomatik olarak karşılaştırılarak en benzeyen görüntülerin veri tabanından bulan bir yeni bir metot geliştirilmiştir.

Proje bünyesinde dişleri bulmak, etiketlemek ve karşılaştırmak için özgün metotlar kullanılmıştır. Diş adayları makine öğrenmesi metodu ile bulunmaktadır ve dişler olasılıksal grafik model kullanılarak etiketlenmiştir. Grafik model kullanımı ile eksik dişler de bulunmaktadır. Dişler bulunduktan sonra dişler hem geometrik hem de görünüş özelliklerine göre görüntüler arasındaki benzerliğe göre eşleştirme yapılmaktadır.

Geliştirilen metot 170 kişiye ait toplam 206 görüntü üzerinde test edilmiştir ve doğrulanmıştır. Proje kapsamında bir adet yüksek lisans tezi ve bir adet uluslararası bildiri üretilmiştir. Ayrıca, bir adet makale uluslararası bir dergiye değerlendirilmek üzere gönderilmiştir.

Anahtar kelimeler: Diş x-ışını görüntüsü, makine öğrenmesi, olasılıksal grafik model, dvm



ABSTRACT

The shape and arrangement of the teeth are human specific and therefore dental x-ray images are used as a biometric feature by forensic odontology. Motor vehicle accidents and disasters such as tsunami and fire result in unidentified bodies. Dental X-ray images are used in determining the identity of the person by comparing with the old dental images in the database. A new method that compares the dental X-ray images with the database and finds the matching images for human identification is developed with this project

In this project, novel methods are used for detection, labeling, and matching of teeth in dental images. Candidate tooth locations are detected with machine learning techniques and labeled with probabilistic graphical models. Usage of probabilistic graphical models also provides the labeling of missing teeth. After the teeth are detected, matching is performed according to the geometric and appearance similarities between the tooth images.

The develop method is tested and validated on a dataset containing 206 different images of 170 subjects. A master thesis and an international conference paper is presented in the scope of the project. In addition, a manuscript is submitted to an international journal for review.

Keywords: Dental x-ray image, machine learning, probabilistic graphical model, svm



1 GİRİŞ

1.1 Biyometrik Veriler

Biyometri, bireyin ölçülebilir fiziksel ve davranışsal özelliklerini tanıyarak kimlik saptamak üzere geliştirilmiş otomatik sistemler için kullanılan bir terimdir. Biyometri kişinin ölçülebilir biyolojik izlerini ifade etmektedir. Mesela, parmak izi, DNA, iris gibi veriler kişilerin biyometrik verileridir.

Dünyada deprem, yangın gibi doğal afetlerde veya uçak düşmesi gibi ulaşım kazalarında, toplu katliam, saldırı gibi terör ve savaş olaylarında çok fazla kimliği belirsiz ceset ortaya çıkmakta ve kimlik tespiti yapılması gerekmektedir. Felaketlerde, insan vücudundaki yumuşak dokular çok fazla zarar gördüğü için cesedin yakınları tarafından görsel olarak teşhis edilmesi çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Cesetlerin kimliğini belirlemek amacıyla uzmanlar tarafından DNA testi, parmak izi eşleşmesi, diş görüntülerinin eşleştirilmesi gibi biyometrik verilerle incelemeler yapılmaktadır. Bu incelemelerde, cesedin biyometrik özellikleri ile kişilerin hayattayken sahip oldukları biyometrik özellikler karşılaştırılmakta ve eşleme yapılmaktadır. DNA testi çok kapsamlı ve etkin bir test olmasına karşın, pahalı, uzun zaman alan ve emek yoğun bir yöntemdir (Gonzales vd., 2006). Yumuşak dokuların tahrip olduğu durumlarda parmak izi kullanılamamaktadır. Bu yüzden, ağız yapısının tek bir insana özgü olması ve sert doku olduğundan dolayı zor ve yavaş tahrip olması nedenleri ile diş görüntüleri kimlik belirleme yöntemi olarak sıkça kullanılmaktadır.

Diş görüntülerinden kimlik belirlemek için insanların hayattayken çektikleri diş görüntüleri ile cesetlerden çekilen diş görüntüleri birbirleri ile uzmanlar (adli tıp doktoru) tarafından görsel olarak karşılaştırılmakta ve bu şekilde kimliklendirme yapılmaktadır. Bu sebeple insanların hayattayken çektikleri diş görüntülerinin saklanması büyük avantajlar sağlamaktadır. Türkiye’de 2012 yılında yapılan “Suç Araştırması ve Adli Bilimler” konulu sempozyum sonucunda Türkiye’de diş ile ilgili dijital panoramik görüntülerin saklanması ve kimliklendirme için kullanılabilmesi amacıyla gerekli yasal çalışmaların yapılması kararı alınmıştır (Sonuc bildirgesi, 2012).

Büyük afetlerde binlerce kayıp kişi ve kimliği belirsiz ceset olduğu durumlarda görsel olarak diş görüntülerini incelemek ve manuel olarak eşleştirme yöntemi ile kimlik tespiti yapmak -DNA ve parmak izi testlerine göre çok daha hızlı olsa bile- yine de zor ve zaman alıcı bir iştir. Mesela, 2004 yılındaki tsunami sonrasında Tayland’da, diş görüntüleri en çok kullanılan yöntem olmuş ve kimliği belirlenen insanların %46.2’sinde diş görüntüleri



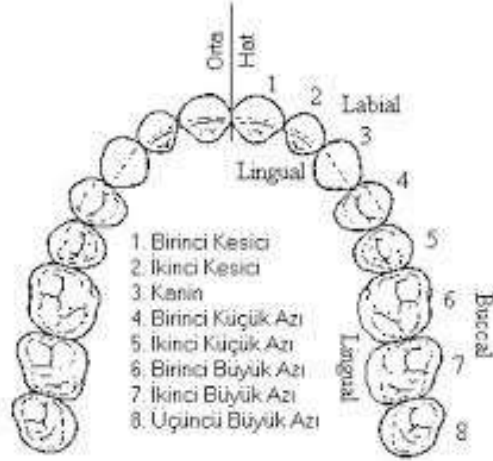
kullanılmıştır (Petju vd. 2007). Ayrıca, diş görüntüleri ile kimlik tespiti 4 ay gibi bir süre alırken, DNA ve parmak izi testleri 1 yıl kadar sürmüştür. Bu yüzden, diş görüntüleri ile kimlik tespiti DNA ve parmak izi gibi diğer biyometrik bilgiden faydalanan metotlara göre daha hızlı ve kolaydır.

1.2 Dişlerin Yapısı ve X-Işını Görüntüleri

Yetişkin bir insanda genellikle toplam 32 adet diş bulunmaktadır. Bunlar yapılarına göre 4 sınıfa ayrılmışlardır:

- Büyük azı dişleri (molar) : 4'ü 20 yaş diş olmak üzere toplam 12 adet büyük azı diş bulunmaktadır. Bunlar şekil ve yapı olarak birbirlerinden farklıdır. Üst çenedeki büyük azılarda dörder tümsekçik; alt çenedeki büyük azılarda beşer tümsekçik vardır.
- Küçük azı (premolar): Kaninlerin arkasında, küçük azı dişleri yer alır. Küçük azıların çiğneme ve kenetlenmeye yarayan ikişer tümsekçikleri vardır. İnsan ağzında toplam 8 adet küçük azı diş bulunmaktadır.
- Köpek dişleri (kanin): Premolar ve kesici ön dişler arasında bulunurlar. Toplam 4 tanedir ve uzun köklere sahiptirler.
- Kesici dişler (incisor) : Alt ve üst çenedeki ön dişler kesici diş olarak adlandırılır. Üst çenede genişliği 9-10 mm. olanlar orta kesici; 6-7 mm. olanlar ise üst yan kesicilerdir.

Şekil 1(a)'da normal bir insanın ağzındaki dişler ve bunların tipleri verilmiştir. Dişlerin kolayca belirlenebilmesi için çeşitli numaralandırma sistemleri geliştirilmiştir. Federation Dentaire Internationale (FDI) ve Ünlversal Numaralandırma Sistemleri sıklıkla kullanılan sistemlerdir. Projemizde ve sonuç raporunda dişleri tanımlamak için Palmer numaralandırma sistemi kullanılmıştır. Bu sistem diş hekimi Corydon Palmer tarafından geliştirilmiştir. Sistemde numaralandırma 4 çeyrek çeneye bölünerek yapılmaktadır. Yine aynı şekilde numaralandırma orta noktaya en yakın dişin 1 sayısı ile numaralandırılması ile başlar ve en arka dişin (3.molar diş) 8 ile temsil edilmesiyle son bulur. Şekil 1(b)'de 32 dişin Palmer sistemine göre numaralandırılması gösterilmiştir. Her diş bulunduğu konumu temsilen sayısının içinde bulunduğu şekilleriyle (J L 7 7) temsil edilir. Mesela L3 üst sol kanin diş i ifade etmektedir. Bu çalışmada, dişler Palmer numaralandırma sistemi ile ifade edilmiştir.



(a)

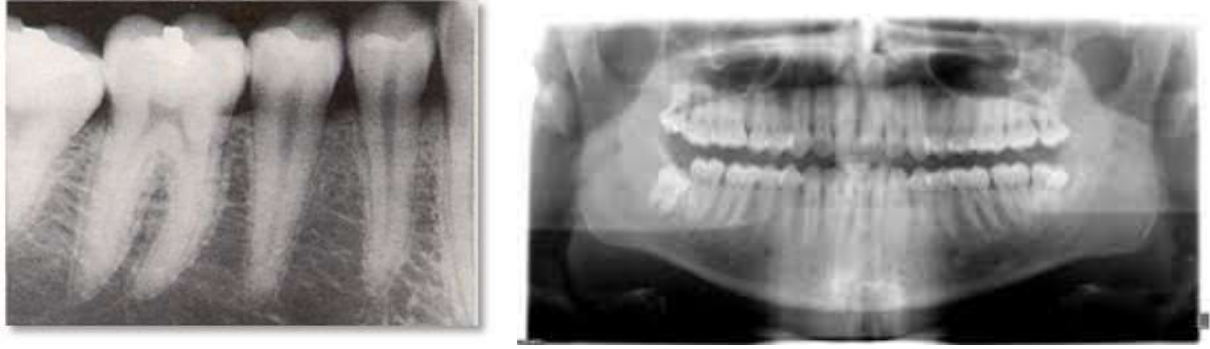
Palmer Sistemi															
Üst sağ								Üst sol							
8J	7J	6J	5J	4J	3J	2J	1J	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
8j	7j	6j	5j	4j	3j	2j	1j	┐1	┐2	┐3	┐4	┐5	┐6	┐7	┐8
Alt sağ								Alt sol							

(b)

Şekil 1. (a) Diş tipleri. (b) Palmer notasyonu ile dişlerin numaralandırılması.

Diş görüntüleri X-ışını kullanılarak çekilen ve dijital olarak saklanabilen görüntülerdir. Diş görüntüleri, diş hekimleri tarafından tanı koymada, tedavide ve takipte sıkça kullanılmaktadır. Bu görüntüler X-ışını kullanılarak çekilmektedir ve radyasyon miktarı çok azdır. Radyolojik teşhis amaçlı iki farklı diş röntgeni çeşidi olup bunlar tüm ağzın ve dişlerin bir arada görüldüğü panoramik röntgen filmi ve dişlerin tek tek görüldüğü periapikal röntgen filmidir. Panoramik röntgenlerde tüm dişler, sinüs ve çene kemikleri görülmektedir. Panoramik

filmlerde X-ışını değişik açılardan verilmekte ve bu küçük görüntüler birleştirilerek tüm ağız görüntüsü elde edilmektedir. Görüntüler birleştirilirken yapılan projeksiyonlardan dolayı bazen dişler üstüste binebilmektedir. Periapikal röntgen filmleri ise sadece birkaç dişi içermektedir. Periapikal görüntülerde kişi daha az radyasyona maruz kalmaktadır ve dişler daha ayırık durmaktadır.



Şekil 2. (a) Periapikal diş görüntüsü, (b) Panoramik diş görüntüsü

Diş görüntüleri klinik uygulamanın yanında insan öldükten sonra kimliğinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. İngiltere, Amerika gibi ülkeler diş görüntülerinin ne kadar ve nasıl saklanacağı ile ilgili resmi düzenlemelerini yapmıştır (American Dental Association, 2014; Charangowda 2010) ve bu görüntüleri herhangi bir afet, kaza vb. bir durumda kullanmak üzere belirledikleri süre içinde saklamaktadır. Şekil 3'te aynı kişinin farklı zamanlarda çekilmiş 2 farklı ağız görüntüsü gösterilmiştir. Önce çekilmiş görüntüde sol alt molar 7 dişi varken sonra çekilen görüntüde bu dişi yoktur. Ayrıca, birçok dişte sonradan uygulanmış dolgu, kanal tedavisi gibi dental restorasyonlar vardır. Görüntülerden de anlaşılacağı üzere zaman içinde oluşabilecek farklılıklardan dolayı dişler tamamen aynı olmasa bile genel olarak şekil ve görünüş olarak yapılarını korumaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3. Aynı kişinin (a) önce ve (b) sonra çekilmiş panoramik diş X-ray görüntüleri. Görüntüler daha iyi gösterim sağlamak amacıyla kesilmiştir.

1.3 Motivasyon

Bu projenin amacı otomatik olarak diş görüntülerinden dişleri tek tek tanıyıp, etiketleyerek veritabanındaki benzer görüntüler ile eşleme yapacak bir sistem geliştirmektir. Bu şekilde elde edilen bilgilerle toplu ölümlerin gerçekleştiği afet, kaza, savaş vb. olaylar sonrasında hızlı ve doğru bir şekilde otomatik kimlik tespiti yapılabilecektir. Geliştirilen sistem, eşleme yapılacak hedef panoramik diş görüntüsünü girdi olarak aldıktan sonra veri tabanında bu görüntüdeki dişlere en çok benzeyen görüntüleri vermektedir.



Literatürde, ağız içinden çekilen birkaç diş içeren periapikal görüntüler için birçok kimliklendirme metodu bulunmaktadır fakat tüm ağız içeren panoramik görüntüler için geliştirilen metod sayısı çok azdır. Bu çalışmada, panoramik görüntülerdeki dişler ilk olarak belirlenmiş ve her biri tek tek etiketlenmiştir. Daha sonra dişlerdeki restorasyonlar otomatik olarak bulunmuştur. Görüntülerin restorasyonlara ve etiketli dişlerin benzerliğine göre yakınlık değerleri belirlenmiştir. Geliştirilen diş tanıma ve etiketleme metodu başka bilgisayarla diş görüntüsü tanıma, tanı koyma vb. sistemde de kullanılabilecektir.



2 LİTERATÜR ÖZETİ

Sel, deprem, tsunami gibi afetler veya uçak düşmesi gibi büyük kazalar sonucunda toplu ölümlerin gerçekleşmesi cesetlerin kimliklerini tespit etme durumunu da beraberinde getirmektedir. Kimlik tespitinde DNA testi, parmak izi gibi biyometrik bilgiler kullanılarak insanların hayattayken ve öldükten sonraki bilgileri karşılaştırılmaktadır. Afetlerde ve kazalarda yumuşak dokularda kayıp meydana gelme ihtimali yüksek olduğu için çoğu durumda parmak izi, iris gibi biyometrik bilgiler her zaman kullanılamamaktadır. Ağız yapısı ve dişler de insana özgü olan ve insanları birbirinden ayırt edebilecek fiziksel özelliklerin bulunduğu yapılardır. Dişler sert dokulardır ve tahrip olma süresi yumuşak dokulara göre çok daha uzundur; dolayısıyla ölüm sonrası kimlik tespiti için kullanımı oldukça uygundur. Son yıllarda, Amerika'daki 11 Eylül saldırısında ölen kişilerin ve Hint okyanusundaki tsunamide ölen kişilerin kimliklerinin belirlenmesinde diş görüntüleri kullanılmıştır (Marana vd., 2011).

2004 yılında Hint okyanusundaki deprem sonrası oluşan tsunamide 12 ülkede 200.000'den fazla insan ölmüştür ve tsunami sonrasında 39 farklı ülkeden 3547 kişi kayıp olarak bildirilmiştir (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, 2005). Cesetlerin kimlik tespitinde ilk olarak ağız görüntüleri kullanılmıştır ve hayattayken diş görüntüsü kaydı bulunan kişilerin %90'ndan fazlasının kimliği ilk 4 ayda tespit edilmiştir (Petju vd. 2007); DNA ve parmak izi ile kimlik belirleme süreci ise yaklaşık 1 yıl kadar sürmüştür.

Günümüzde, CAPMI (Lorton vd. 1988) ve WinID (Winid, 2014) gibi ağız ve diş bilgisini kullanan bilgisayar destekli kimlik belirleme sistemleri bulunmaktadır. Bu yazılımlar diş görüntülerini kullanarak karşılaştırma yapmamaktadır. Kişinin ağızında dolgu olup olmadığı, altın kaplama dişin olup olmadığı gibi bilgiler sisteme yazılı olarak girilmekte, bununla ilgili bir kod oluşturulmakta ve sistem metin bazlı karşılaştırma yapmaktadır. Bu sistemlerin, veri tabanı büyük olduğu zaman başarılı bir şekilde karşılaştırma yapması mümkün görünmemektedir. Çünkü veri tabanında çok kişi olduğu zaman eşleştirme algoritması fazla sayıda benzer kişi bulacaktır ve manüel olarak diş görüntülerine bakarak karşılaştırma yapmak gerekecektir.

Literatürde, ağız görüntülerini kullanarak ölü kişilerde kimlik tanıma metotları geliştirilmiştir. Bu metotlar gri-düzeydeki parlaklık bilgisini doğrudan kullanan metotlardır. FBI'nın 2001 yılında başlattığı ADIS projesi (Fahmy vd. 2004) kapsamında imge işleme metotları kullanılarak ölü insanların kimliğini belirlemek için bazı çalışmalar yapılmıştır ve bu çalışmalarda gri-düzeyde parlaklık bilgisini doğrudan kullanılmıştır. ADIS projesi kapsamında geliştirilen sistem yarı-otomatik olup, girdi olarak diş sınırlarının manüel işaretlendiği diş görüntülerini alıp eşleme yapma temeline dayanmaktadır. Bu proje kapsamında, Jain ve Chen

(Jain ve Chen, 2004) tümlev izdüşüm (İng. Integral projection) ve Bayes kuralı kullanarak yarı-otomatik bir diş sınırı bulma metodu sunmuştur. Bu metotta dişlerin arasındaki bölgenin manüel işaretlenmesi gerekmektedir. Zhou ve Abdel-Mottaleb (Zhou ve Abdel-Mottaleb, 2005) ilk olarak ağız görüntülerini sınıflandırmakta ve yılan metodu ile bölütleme yaparak diş sınırlarını veri tabanında tutmaktadır. Daha sonra diş sınırları birbirleri ile karşılaştırılmakta ve eşleme yapılmaktadır. Nomir ve Abdel-Mottaleb (Nomir ve Abdel-Mottaleb, 2005) döngülü ve uyarlamalı eşikleme (iterative and adaptive thresholding) ile resimlerdeki diş sınırlarını belirginleştirdikten sonra tümlev izdüşüm yöntemi ile diş sınırlarını bulmuşlardır. ADIS için patent (Ammar vd., 2008) alınmıştır. Patent, sadece ağız içinden çekilen röntgen filmleri için çalışan ve eşikleme gibi birçok ön işleme (İng. pre-processing) adımı sonrasında dişleri bulup veritabanındaki görüntülerle eşleme yapan bir sistem için alınmıştır. Patentte anlatılan sistemin veritabanından eşleme yapma ve dişleri bulma özellikleri bizim sistemimizle benzerdir. Fakat bizim sistemimizin kullanacağı yöntemler ve özellikler patenti alınmış sistemden daha gelişmiştir. Bizim sistemimizin farkları bölümün sonunda anlatılmıştır.

ADIS dışında, dişlerin etrafına manüel olarak kutucuk çizilmesinden sonra Otsu metodu ile dişlerin sınırlarını bulan ve Hu'nun moment değişmezliğini (Hu's moment invariant) kullanarak dişlerde eşleme yapan bir metot geliştirilmiştir (Pattanachai vd.,2012) . Yukarıda anlatılan metotlar küçük veri kümeleri üzerinde test edilmiştir. Ayrıca, doğrudan parlaklık bilgisini kullandıkları için dişler ve diğer yapılar arasında karşıtlığın alçak olduğu (İng. low contrast) görüntülerde başarılı sonuçlar vermemektedir. Bunun yanında metotlar eksik olan dişleri hesaba katmamışlardır. Bu metotlar çeşitli varsayımlar (dişler arası uzaklıklar gibi) üzerinde kurulmuştur ve sıra dışı durumlarda çalışmamaktadırlar.

Kimlik belirlenmesinin yanında dişlerle ilgili başka çalışmalar da yapılmıştır. Dişleri birbirinde ayırt etmek için gri-düzey görüntülerde tümlev izdüşüm yöntemi ve adaptif pencereleme yöntemi ile eksik dişleri de göz önünde bulundurarak bir metot geliştirilmiştir (Huang vd. 2012). Dişleri bölütlemek için tümlev izdüşüm yöntemi ile üst ve alt çene birbirinden ayrılmış ve yön bilgisi de işin içine katılarak yine tümlev izdüşüm yöntemi ile dişler bölütlenmiştir (Dinp vd., 2008). Bu metotlar da gri-düzey parlaklık bilgisine dayanmaktadır. Gri-düzey parlaklık bilgisi görüntünün alındığı makineden makineye değişiklik göstermektedir. Ayrıca, görüntülerde meydana gelen bozulma, gürültü gibi problemler gri-düzeydeki parlaklığı direk etkilemektedir. Dolayısıyla, sadece parlaklık bilgisine dayanan sistemler her durumda başarılı sonuçlar üretmemektedir.

Dişleri numaralandırmak için de bazı çalışmalar yapılmıştır. Mahoor ve Abdel- Mottaleb, 2005 tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dişler sınır bilgisine göre sınıflandırıldıktan sonra diş atlasına uyan örüntülere göre dişlere etiket atamaktadır; bu sistem az sayıda diş içeren görüntüler için geliştirilmiştir ve ağızdaki tüm dişleri gösteren panoramik görüntülerde çalışmamaktadır. (Jain ve Chen 2005) tarafından saklı Markov modeller kullanılarak bir diş numaralandırma sistemi sunulmuştur. Bu sistem en fazla 2 diş eksik olduğunda çalışmaktadır ve panoramik görüntülerde çalışmamaktadır. Doku bilgisini kullanarak az sayıda diş içeren görüntülerde dişleri bulup numaralandıran bir yöntem geliştirilmiştir (Lin vd., 2010). Bu yöntem, görüntüleri ilk olarak çeşitli filtreleme teknikleri ile iyileştirmekte (diş etleri ve dişler arasındaki benzerliği azaltmakta) ve dişleri azı diş ve azı olmayan diş olmak üzere 2 sınıfa ayırmaktadır. Daha sonra diş atlasındaki diş sırası örüntüsüne göre dişleri numaralandırmaktadır. Bu yöntem, (Mahoor ve Abdel-Mottaleb, 2015)'de sunulan yöntemden daha başarılı olmakla birlikte sadece az sayıda diş içeren görüntülerde çalışmakta ve eksik/fazla sayıda diş olması durumunda çalışmamaktadır.

Yukarıda anlatılan sistemler düşük seviyedeki bilgileri kullanarak diş bölütlemekte, diş sınırlarını bulmakta, eşleme yapmakta veya dişleri numaralandırmaktadır. Genel yaklaşım, diş röntgenlerinde dişler daha parlak gözüktüğü için tümlev izdüşüm yöntemi ile piksellerin parlaklık değerlerini toplayarak dişleri diş olmayan bölgelerden ayırmak şeklindedir. Bu yöntemler, görüntülerde bozulma veya fazla gürültü olduğu zaman çalışmamaktadır. Ayrıca, dolgu gibi yapıların parlaklık değerleri dişlere nazaran daha fazladır; sistemler eşikleme gibi tekniklere dayandığı için dolgu, kaplama gibi durumlarda başarılı sonuçlar üretememektedir.

Sunulan yaklaşımlarda, üst seviye bir bilgisayarla görme metodu kullanılmamış; bunun yerine piksel tabanlı metotlarla dişler bulunduğundan sonra çeşitli varsayımlar üzerinden modelleme yapılmış ve küçük çaplı veri kümelerinde metotlar test edilmiştir. Literatürde, tüm dişleri sınıflayıp numaralandırabilen, eksik dişlerde başarılı sonuçlar verebilen bir metot bulunmamaktadır. Bununla birlikte dişlerdeki dolgu, kaplama, implant gibi sonradan yapılan restorasyonların otomatik olarak bulunarak kimlik tespitinde kullanılması gerçekleştirilmemiştir.

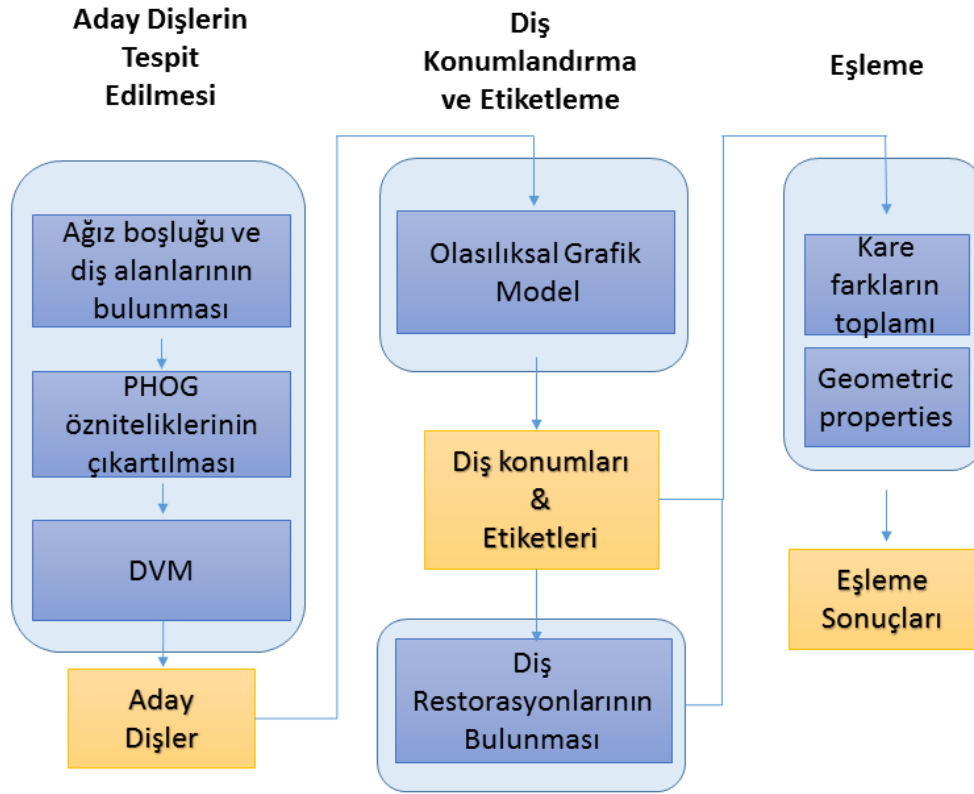
Literatürde, makine öğrenmesi organları bulma (Pauly vd., 2001), tümörlü hücreleri bulma (Linguraru vd., 2009) gibi metotlarda sıkça kullanılmakta ve başarılı sonuçlar vermektedir. Yüz tanıma için Viola ve Jones tarafından geliştirilen Haar filtreleri kullanan sistemin (Viola ve Jones, 2001) başarısından sonra, öz nitelik çıkartma metotları ve makine öğrenmesi bilgisayarla görme yöntemlerinde birçok alana uygulanmıştır. Mesela, yayaları bulmak için Dalal ve Triggs tarafından bulunan Histogram of Oriented Gradients (HOG) öz nitelik çıkarma



yöntemi (Dalal ve Triggs, 2005) ve destek vektör makineleri ile de birçok başarılı sistem geliştirilmiştir. Bu çalışmada da dişler HOG, Haar gibi öznitelik çıkarma ve makine öğrenmesi teknikleri ile tanınmıştır.

3 YÖNTEM

Gerçekleştirilen projede ilk aşamada dişler ve dental restorasyonlar bulunmaktadır. Daha sonra dişler arasındaki benzerlikler tetkik edilerek veritabanındaki en benzeyen görüntüler bulunmaktadır. Şekil 4'te metodun genel bağlamda adımları gösterilmiştir. İlk olarak önışleme ile ağız boşluğu bulunmakta ve öznitelikler çıkartılarak makine öğrenmesi ile aday diş pozisyonları bulunmaktadır. Daha sonra olasılıksal grafiksel model yardımıyla kesin diş pozisyonları ve etiketleri bulunmaktadır. Her bir diş başka görüntülerdeki dişlerle karşılaştırıldıktan sonra eşleme yapılmaktadır.

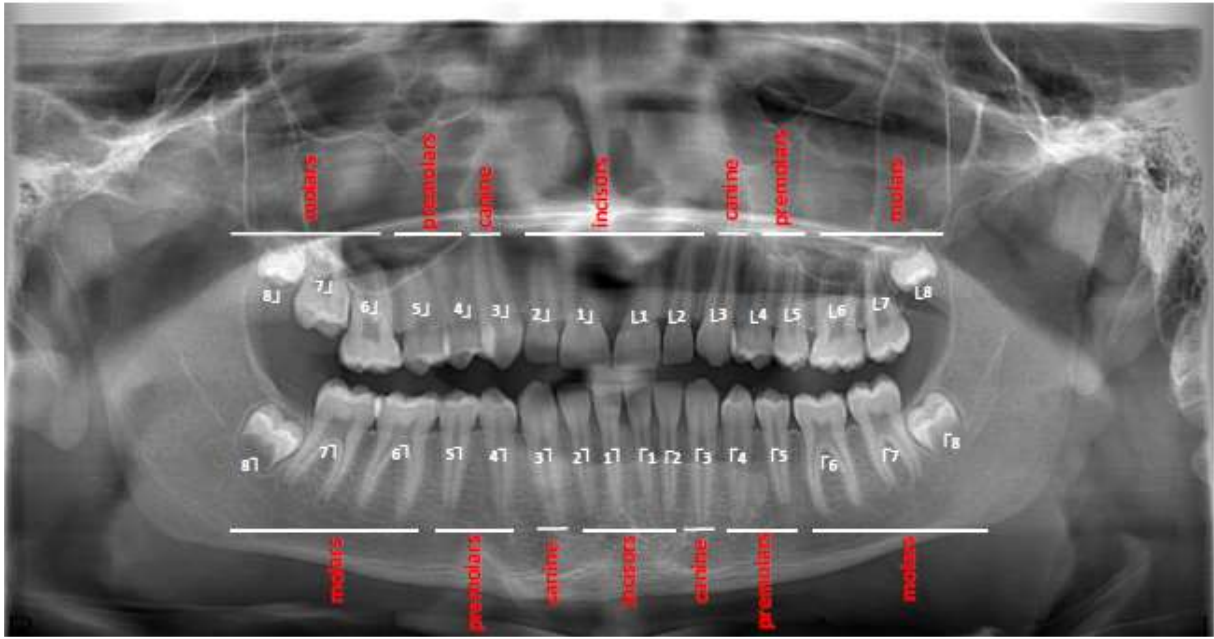


Şekil 4. Metottaki temel adımlar

3.1 Ağız Boşluğunun Bulunması

Panoramik röntgen, çenelerin, tüm dişlerin, çene ve dişlerdeki birçok rahatsızlığın tek bir filmde görülmesini sağlayan röntgen filmleridir. Panoramik dental görüntüler çekilirken kişi plastik bir çubuğu ısırakta ve bu da ağzın açık kalmasını sağlamaktadır çünkü ağız

kapalıyken alt ve üst dişler birbirlerinin görünmesini engellemektedir. Kişi hareketsiz beklerken, bir X-ışını üreticisi ve alıcısı kafanın etrafında dönmekte ve ağız kapsayan X-ışını görüntülerini çekmektedir. Bu çekilen görüntüler birbirleriyle birleştirilerek panoramik görüntü elde edilmektedir. Kafanın 3 boyutlu hali 2 boyutlu görüntüye aktarıldığı için imge bozukluğu (distorsiyon) olmakta ve bu da özellikle sık dişlerin birbirlerini kapatmasına ve sanki üst üste duruyormuş gibi gözükmeye neden olabilmektedir. Şekil 5'te bir panoramik dental görüntü ve diş etiketleri gösterilmiştir. Sağ üst küçük azılar görüntü oluşturulurken meydana gelen bozulmadan dolayı birbirleriyle üst üste duruyormuş gibi gözükmektedir.



Şekil 5. Bir panoramik görüntü örneği

Ağız boşluğunu bulmak için literatürde histogram projeksiyonu tabanlı birçok yöntem vardır. Projede iki farklı yöntemle ağız boşluğunun bulunması gerçekleştirilmiştir.

1. Yöntem – Eşik Değerlerle Ağız Boşluğunun Bulunması

Önişlemlerle ağız boşluğunun bulunması hem aday dişlerin aranması alanını ve zamanını kısaltmakta ve de dişlerin etiketlenmesi iş paketinde bize yeni bir kriter sunmaktadır. Dişlerin ağız içindeki pozisyonları bellidir ve bunların önceden kısmi olarak belirlenmesi diş adaylarının bulunması başarımını artıracaktır. Bu nedenle ağız boşluğunun otomatik olarak bulunması ve ağız boşluğu ve diğer yapılar göz önünde bulundurularak diş adaylarının aranma işlemi gerçekleştirilmiştir.

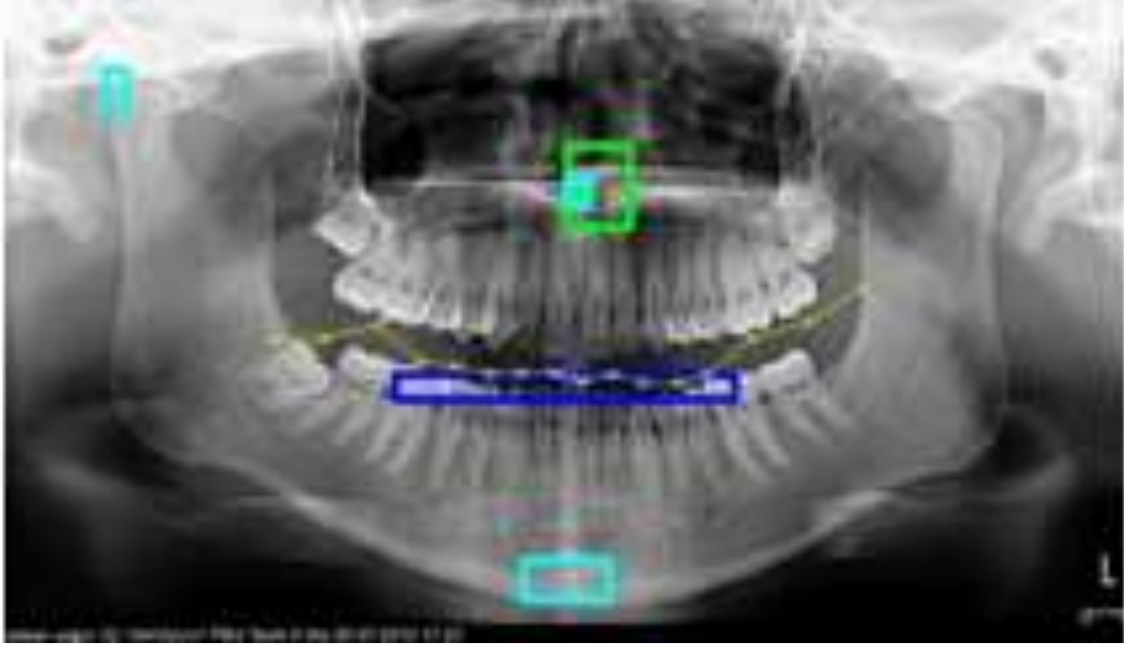


Panoramik diş görüntüleri çekilirken, kafanın sabit durması için alın bir yüzeye yaslanmakta ve ön dişler bir yapıyı ısırılmaktadır. Bu nedenle, görüntünün yatay olarak ortasında bu ısırılan yapı bulunmaktadır ve ağız açık olduğu için ağız boşluğu panoramik görüntülerde gözükmemektedir.

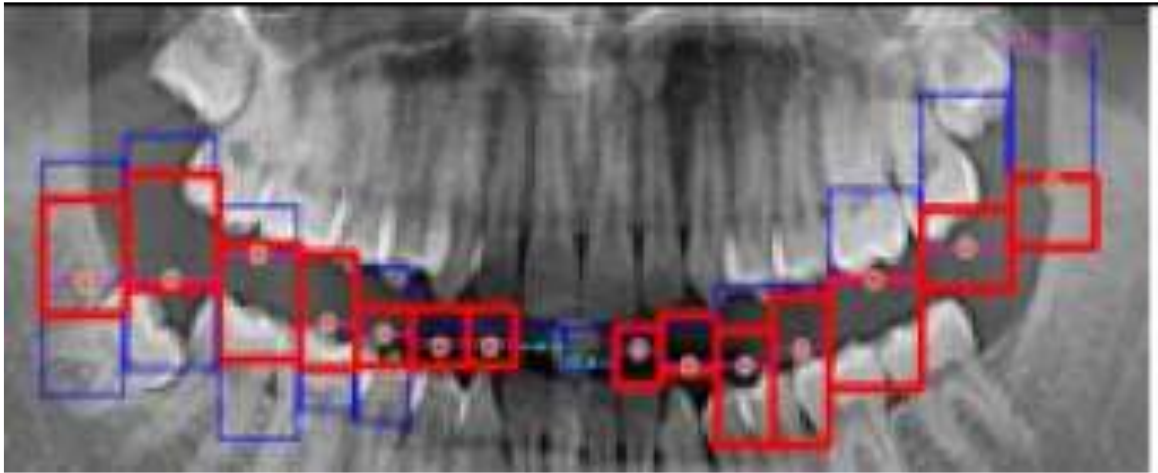
I , $m \times n$ boyutunda bir görüntü olsun. $(n/2) \pm k$ konumundaki piksellerde ısırılan yapı bulunmaktadır. Resmin yüksekliğinin %40-%60 arası bölümünde bu yapı olmaktadır. Arama uzayı bu aralıkta tutularak, ilk olarak ağız ortasının bulunduğu en koyu kısım aranmaktadır. Arama yapılırken, yatayda histogram izdüşümü (histogram projection) yöntemi ile minimum değeri veren noktalar bulunmuştur. Daha sonra bu noktaların komşularının da belirli sayıda satırı bir eşik değerinin altında ise orası ağız boşluğu merkezi olarak seçilmiştir.

Ağız boşluğu merkezinden sağa ve sola diş boyutları ile orantılı olarak pencereleri kaydırarak, yine histogram izdüşü yöntemi ile tüm ağız boşluğu bulunmuştur. Ağız boşluğu merkezinin üzerinde bir burun kemiği ve boşluğu (nasal sinüs) bulunmaktadır. Benzer yöntemde, minimum değil, maksimum parlaklık değerini veren noktalar bulunarak nasal sinüs bulunmuştur.

Bu içerik bilgileri (ağız boşluğu merkezi, ağız boşluğu ve nasal sinüs) özniteliklerin çıkartılırken çok büyük fayda sağlamıştır. Özniteliklerin çıkartılacağı alan bu bilgiler doğrultusunda belirlenmiştir. Ayrıca ağız boşluğunun geometrik özelliği grafiksel modelde düğümler arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılmaktadır. Şekil 6'da arama yapılan alanlar ve bulunan ağız boşluğu gösterilmiştir. Bunların yanında eşik değerler görüntülerdeki en parlak ve en koyu olan yerlerden otomatik olarak belirlenmektedir. Yine bu alanlar turkuaz renk ile gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6. (a) Bir panoramik diş görüntüsünde bulunan ağız boşluğu ve nasal sinüs. Lacivert alan ağız boşluğu merkezinin arandığı alanı, turkuaz (cyan) renk eşik değerlerini otomatik belirlemek için kullanılan ve resimde en parlak çıkan yerleri, yeşil pencere ise nasal sinüsün arandığı alanı göstermektedir. (b) Noktalar ağız boşluğunu belirleyen noktaları, kırmızı ve mavi dikdörtgenler ise aramanın yapıldığı alanı göstermektedir.

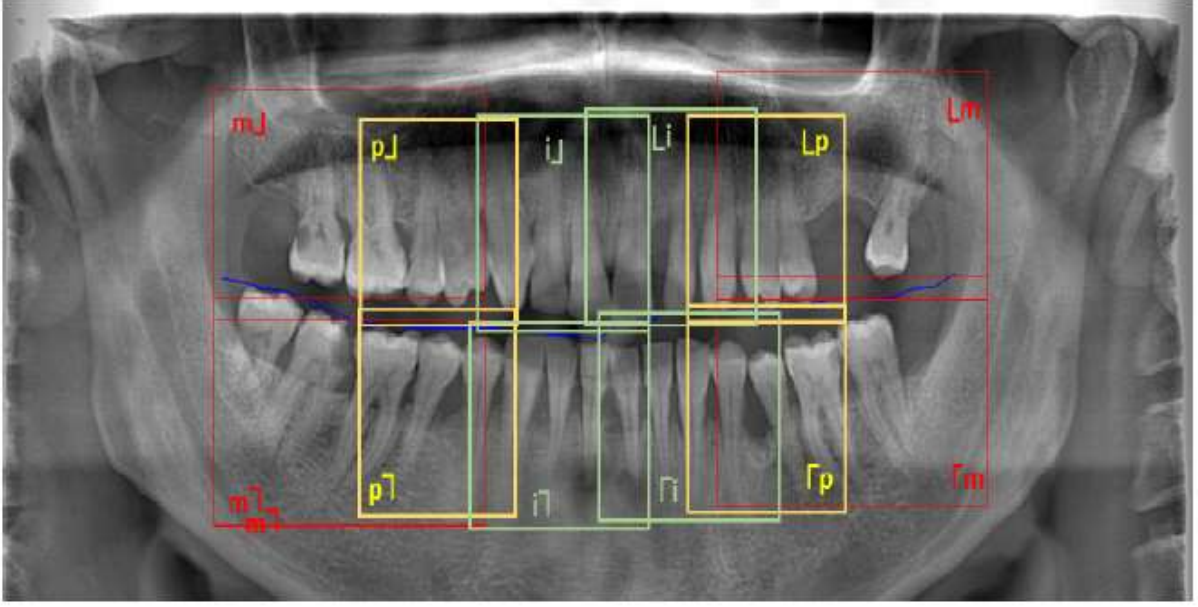
2. Yöntem: Yatay Histogramla Ağız Boşluğunun Bulunması

Panoramik görüntüler için önerilen ve histogram projeksiyonu kullanan metot projemizde de kullanılmıştır. I , w eninde ve h yüksekliğine sahip bir görüntü olsun Ağız boşluğunun orta noktası genellikle görüntünün yüksekliğinin %40-%60'lık bölümünde bulunmaktadır. İlk olarak, $w/2-100:w/2+100$ ve $h*0.4:h*0.6$ aralığındaki piksellerin yatay parlaklık projeksiyonu alınmakta ve nu değerin en küçük olduğu yer bulunmaktadır. Bu yer ağız boşluğunun orta noktası olarak kabul edilmektedir. Daha sonra, $Pv_i(D_i)$ yatay histogram projeksiyon ve $Pv_i(y_i)$ son seçilen çizginin pozisyonu olmak üzere

$$p(v_i, D_i) = (1 - Pv_i(D_i))Pv_i(y_i),$$

formülü ile ağız boşluğu bulunmaktadır. En düşük parlaklık değerlerine sahip ve en son seçilen yere en yakın çizgi bu şekilde ağız boşluğu olarak seçilmektedir. Yatay histogram projeksiyonunda 100 yatayda piksellik adımlarla ilerlenerek tüm ağız boşluğu bulunmaktadır.

Ağız orta noktası ve ağız boşluğu bulunduktan sonra, dişlerin muhtemel konumları da belli olmaktadır. Eğitim kümesindeki en büyük diş boyutlarına ve konumlarına göre muhtemel diş pozisyonları belirlenmiştir. Dişler, ağzın her çeyrek bölümü için büyük azılar m , küçük azılar p ve ön ve kesici dişler i olarak 3 ana gruba ayrılmıştır. Şekil 7'te bir panoramik görüntü için bulunan ağız boşluğu mavi çizgi ile ve muhtemel diş grubu pozisyonları da farklı renklerle gösterilmiştir. Bu şekilde dişler tespit edilirken tüm panoramik görüntünün aranması yerine daha az bir alanda arama yapılarak dişler bulunabilmektedir.



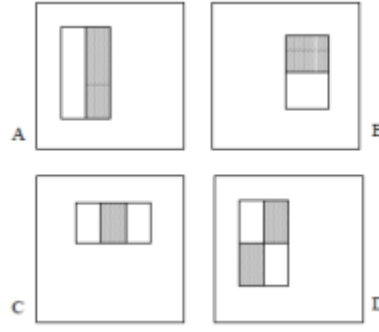
Şekil 7. Bulunan ağız boşluğu ve diş gruplarının muhtemel pozisyonları

3.2 Makine Öğrenmesi ile Aday Dişlerin Tespiti

Ağız boşluğu ve muhtemel diş pozisyonları bulunduğundan sonra her bulunan pozisyon için aday dişler tespit edilmektedir. Literatürdeki HOG ve Haar filtreleri ile öznelilik çıkarma yöntemleri başarılı sonuçlar üretmektedir. Bu projede her iki öznelilik çıkarma metodu da denenmiş ve PHOG tanımlayışının çok daha başarılı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Öznelilikler Adaboost ve DVM makine öğrenmesi yöntemleri ile eğitilmiştir. Makine öğrenmesi metodunun sonuçları ve atlas tabanlı diş etiketleme metodu (Güzel vd. 2015) bildirisinde ve (Guzel, 2014) tez çalışmasında yayınlanmıştır.

Haar Filtreleri

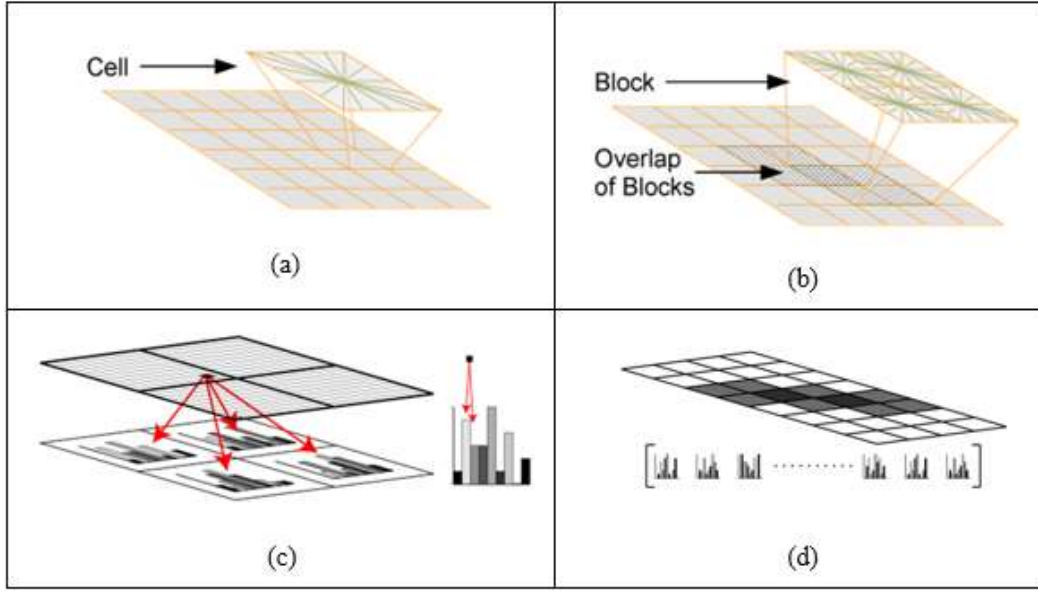
Birbirine yatay veya dikey komşuluğu olan, aynı boyutlardaki dikdörtgenlerden meydana gelen filtredir (Şekil 8). Filtreler kapsadığı dikdörtgen sayısına göre ikili, üçlü veya dördü Haer filtresi şeklinde isimlendirilir. Algoritma, ikili filtrelerde, bir dikdörtgenin kapsadığı piksel değerleri toplamının diğerinden çıkarılması, üçlü filtrelerde, kenardaki dikdörtgenler için olan toplamın ortadakinden çıkarılması, dördü filtrelerde ise, çapraz toplamaların farkının bulunması hesabına dayanmaktadır.



Şekil 8. Haar Filtreleri (Viola ve Jones, 2001)

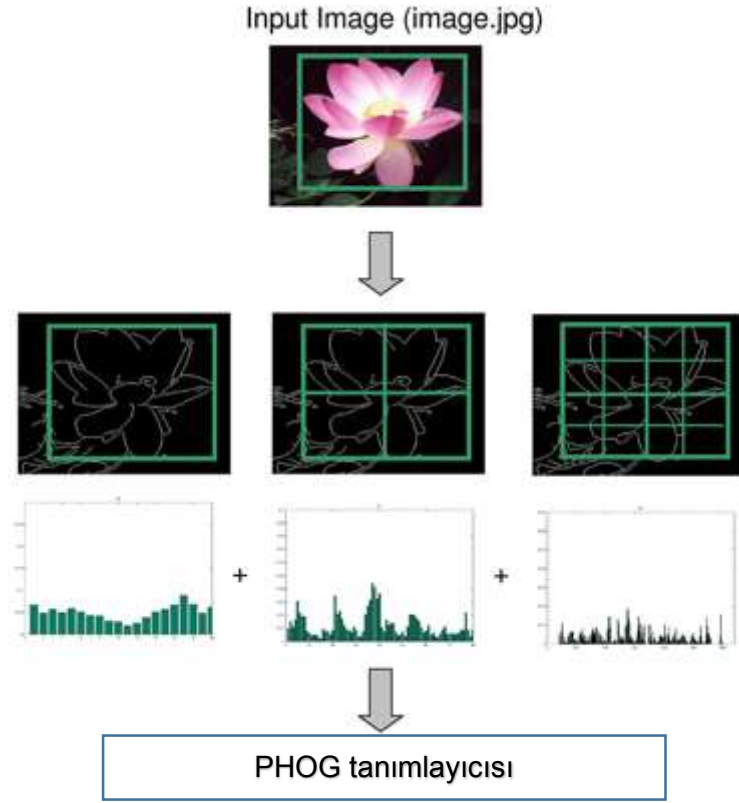
HOG Tanımlayısı

HOG filtreleri, lokal parlaklık gradyanlarının ve kenar doğrultularının dağılımlarını temsil etmektedir. Direkt gradyan ve kenar bilgileri yerine bunların dağılımlarına göre işlem yapılmasının sebebi, literatürde yapılan çalışmalarda bunun piksel bilgisi eksikliğinde dahi, direkt kullanıma göre daha iyi sonuç vermesidir. Bir HOG filtresi, dikdörtgen veya daire şeklindeki bloklardan oluşmaktadır. Her bir blok, hücelere bölünmüştür. Bir HOG özniteliği, bir bloğa karşılık gelir. Bir HOG özniteliğinin çıkarılması için, bloktaki her bir hücrenin kapsadığı alandaki her bir pikselin gradyan değeri hesaplanır. Dağılıma bakıldığı için, bir hücredeki gradyanların yön histogramları elde edilir. Histogram, işaretli değerler için 0-360, işaretsiz değerler içinse 0-180 aralığında değerler alır. Buna göre, bir hücredeki bütün pikseller için hesaplanan gradyan, histogramdaki karşılık gelen değeri bir artırır. Sonuç olarak, bir hücre gradyan dağılımını temsil eden histogram ile gösterilir. Bir blok da, içerdiği hücreleri temsil eden histogramların yanyana gelmesi ile gösterilir. Her bir blok için, HOG özniteliği bu şekilde çıkarıldıktan sonra, dış ortamın etkisini azaltmak için blok tabanlı normalizasyon işlemi yapılır (Şekil 9).



Şekil 9. HOG Filtresi Bileşenleri ve Oluşumu: (a) hücre, (b) blok ve blokların kesişimi, (c) hücre ve histogram ilişkisi, (d) bloklardan meydana gelen filtre ve bunu temsil eden histogram tabanlı gösterim (Seemann, 2008)

Piramit HOG'da gradyanların histogramlarının konumları da kısmi olarak hesaba katılmaktadır. Şöyle ki; bir pencerenin HOG tanımlayıcısı çıkartıldıktan sonra, pencere 4 eşit parçaya bölünerek her parçanın yeniden HOG tanımlayıcısı çıkartılmaktadır. Bu, piramitsel şekilde istenildiği kadar parçaya bölünerek istenilen seviyede yapılabilir. En son çıkartılan tanımlayıcılar birleştirilerek kesin tanımlayıcı oluşturulur.

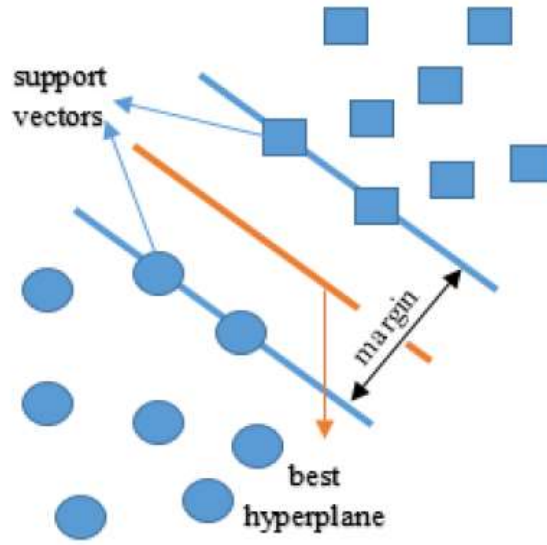


Şekil 10. PHOG tanımlayıcısının bulunması

Makine Öğrenmesi

Bir önceki adımda yapılan, özelliklerin çıkarılmasındaki amaç, bu özelliklerden hangilerinin dış, hangilerinin arka plan özelliği olduğunun, oluşturulan akıllı sisteme öğretilmesi ve her bir dış sınıfı için, bu dış-arka plan sınıflandırmasının sistem tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmesinin sağlanmasıdır. Bu amaçla, DVM ve Boosting makine öğrenme teknikleri kullanılmıştır.

DVM, bir işlem için, bir grup verinin ilgi derecesini tespit eden bir öğrenme algoritmasıdır. Verileri, hem ilgili/ilgisiz şeklinde sınıflandırmak, hem de regresyon yaparak ilgi derecesini belirlemek için kullanılabilir. Bu ayrıştırma, ilgili veriler ile ilgisiz veriler arasındaki uzaklığı maksimize eden hiperdüzleme göre yapılmaktadır. Hiperdüzlemi belirlemek için sadece temsili veriler kullanılır ve bunlara destek vektörleri (support vectors) denir (Şekil 11).



Şekil 11. Destek vektörleri çalışma prensibi

Adaboost algoritması, herhangi bir öğrenme algoritmasının daha iyi sınıflandırma yapması için geliştirilmiştir. Sınıflandırmayı bir kerede yapmak iyi netice vermeyebileceğinden, bir sınıflandırıcının ayırt etme yeteneği aşama aşama ilerletilir. Bunun yapılması için, sınıflandırıcının, bir önceki adımda doğru sınıflandıramadığı veriler üzerinde çalışmasına yönelik olarak, bu verilerin ağırlıkları artırılır. En son aşamada, bütün sınıflandırıcılar etki derecelerine göre birleştirilir ve güçlü sınıflandırıcı elde edilir.

Aday Dışlerin Tespiti

Projemizde hangi öznelilik çıkarma ve makine öğrenmesi metodunun dış görüntüleri için uygun olacağını belirlemek amacıyla bu metotlar teker teker küçük bir veri kümesi üzerinde denenmiştir. Yapılan deneylerde Piramit HOG tanımlayıcısının diğerlerine göre daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu nedenle aday dışlerin belirlenmesinde PHOG tanımlayıcısı ve DVM makine öğrenmesi metodu kullanılmıştır.

$q \in \{ \text{L}, \text{L}, \text{L}, \text{L} \}$ Palmer notasyonuna göre dişin hangi ağız çeyreğinde olduğunu ve $1 \leq i \leq 8$ diş numarasını göstermek üzere t_i^q bir diş etiketi olsun. Her ağız çeyreği q için, belirlenen diş gurupları şunlardır: büyük azı $m^q = \{t_6^q, t_7^q, t_8^q\}$, küçük azı $p^q = \{t_4^q, t_5^q\}$ ve öndiş gurubu $i^q = \{t_1^q, t_2^q, t_3^q\}$. Görüldüğü üzere köpek dişi (kanin) ön kesici dişlerler aynı grupta değerlendirilmiştir.



Her bir diş gurubunun muhtemel konumu belirlendiği için aday dişlerin tespiti bir miktar kolaylaşmıştır. Ağız boşluğu dişlerin konumlarını kısmi olarak belirlemiştir. Eğer diş gurupları belirlenmemiş olmasaydı, çok sınıflı kullanıcı ile her bir pencerenin öndiş, küçük azı ve büyük azı guruplarından hangisinin olduğu belirlenmeye çalışılacaktı. Fakat muhtemel alanlar belirlendiği için her bir alana bir diş gurubu mu yoksa arkaplan mı olduğu sorulmaktadır. Bu şekilde çok sınıflı sınıflandırma yapmaya gerek kalmamaktadır. İki sınıflı sınıflandırma yapılarak çok daha hızlı bir şekilde aday dişler bulunabilmektedir.

Ayrıca, her ağız çeyreğindeki diş sınıfı m , p ve i ayrı bir sınıf olarak değerlendirilmektedir. Bunun nedeni diş görünümlerindeki ve yapısındaki değişikliklerdir. Mesela üst ve alt azı dişler birbirlerinden farklıdır; şöyle ki alt azı dişin 4 kökü varken, üst azı dişin 3 kökü vardır. Yine, sağ ve sol taraftaki azıların köklerinin yönleri farklıdır. Bu nedenlerle, her ağız çeyreğindeki diş gurubu yarı değerlendirilmiştir. Büyük azı, küçük azı ve öndişler gurupları ve 4 ağız çeyreği bulunduğu için eğitilen DVM sayısı $4 \times 3 = 12$ 'dir. Kısacası, her muhtemel diş gurubu pozisyonu için bir adet DVM eğitilmiştir.

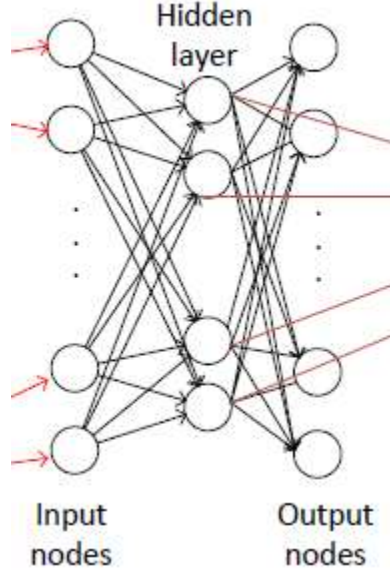
Diş yapıları birbirlerine benzediği için eğitim sırasında çok fazla sayıda pozitif örneğe ihtiyaç duyulmamaktadır. Tüm bir dişi içermeyen rastgele seçilmiş pencereler ise negatif örnekler olarak seçilmiştir. Bu pencereler sabit bir boyuta yeniden-ölçeklendirilmiş ve hepsi sabit bir ölçekte eğitilmiştir.

Test sırasında kayan pencere metodu ile her bir pencereye bir sınıf atanmıştır. Pencere boyutları şu şekilde seçilmiştir. Eğitim kümesindeki en büyük ve en küçük diş boyutları tespit edilmiş ve bu aralıkta pencere boyutları kullanılarak çok fazla sayıda pencere sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. DVM ile her pencereye bir skor s_k atanmıştır. Bu skor pencerenin içinde diş olma ihtimalini göstermektedir. Skoru belirli bir eşik değerinin üzerinde olan pencereler aday diş olarak belirlenmiştir. Makine öğrenmesi ile bir diş için çok sayıda aday pencere belirlenmiştir. Bir sonraki adımda bu aday dişler arasından her bir için tek bir pencere seçilecektir.

Oto-Kodlayıcı ile Aday Dişlerin Tespit Edilmesi

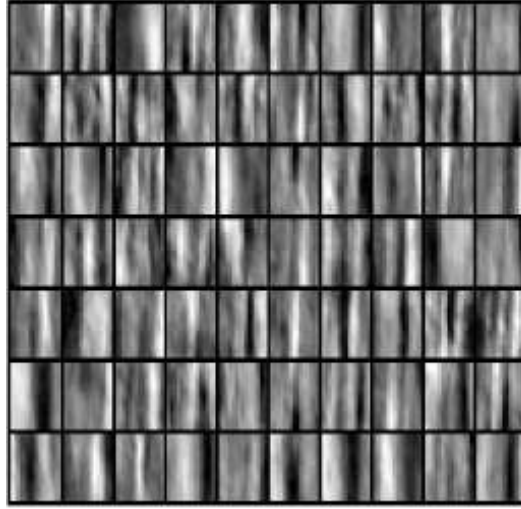
Derin öğrenme günümüzde güncel konulardan biridir. Derin öğrenme ile genellikle herhangi bir el ile tasarlanmış öznitelik çıkarma metodu olmadan gösterimi çok sayıda katman ve örnek ile öğrenmeyi amaçlamaktadır. Son yıllarda, yüz tanıma ve ses tanıma gibi problemler derin öğrenme ile çok daha başarılı bir şekilde çözülmektedir.

Bu nedenle, derin öğrenme ile aday dişleri bulma bu projede de denenmiştir. Bunun için yığın oto-kodlayıcı (İng. stacked auto-encoder) yöntemi kullanılmıştır. Şekil 12’de örnek 1 katmanlı oto-kodlayıcı gösterilmiştir.



Şekil 12. Örnek bir oto-kodlayıcı yapısı

Dental panoramik imgelerden $r \times r$ boyutunda rastgele yamalar (patchler) alınmıştır. Bu kare şeklindeki yamalar tek boyutlu bir vektör haline getirilmiş ve oto-kodlayıcının girdisi (X) olmuştur. Oto-kodlayıcı tıpkı bir yapay sinir ağındaki gibi ağırlıkları hesaplamaktadır ve görevi giriş düğümlerinin aynısını çıkış düğümünde (X') oluşturmaktır. Bir bakıma X ve X' arasındaki benzerlik fonksiyonunun ağırlıkları öznitelikleri oluşturmaktadır. Her katmanda öğrenilen öznitelikler bir sonraki katmanın girdisi olacak şekilde çok katmanlı yani derin bir ağ yapısı tasarlanmıştır. Sisteme çok fazla sayıda girdi vermek gereklidir, bu da çalışma zamanını ciddi derecede artırmıştır. Yama boyutu $r=15$ ve $r=20$ olarak farklı boyutlar seçilmiş ve 2 katmanlı bir derin oto-kodlayıcı bu şekilde eğitilmiştir. Öğrenilen öznitelikler Şekil 5’te gösterilmiştir. Bunlar öndiş bölgesinden rastgele seçilmiş 10000 yama ve 70 saklı katman düğümü ile eğitimin sonucudur.



Şekil 13 Oto-kodlayıcı ile öğrenilen gösterimler

Şekil 13'te de görüldüğü gibi anlamlı öznitelikler öğrenilememiştir. Bunun nedenleri şunlardır:

- Örnek sayısının az olması: Eğitilecek çok sayıda örnek olsa, oto-kodlayıcı daha başarılı olabilirdi. Bunun binlerce örnek üzerinde eğitildiği takdirde gösterimi öğrenebileceği düşünülmektedir.
- Yama boyutunun öznitelikleri kapsayacak kadar büyük olmaması: Benzer diğer özniteliklerinin gözetimsiz öğrenilebilmesi için çok sayıda girdi vermek gereklidir. Elimizdeki iş istasyonu ile eğitim yapılmış fakat 10000 yamalı ve 70 saklı katmanlı küçük bir oto-kodlayıcının eğitilmesi bile 5 gün sürmüştür. Yama boyutu artırıldığında sistemin çalışma zamanı eksponansiyel artmaktadır. Bu nedenle 50x50 gibi boyutları kullanmak mümkün olmamıştır.
- Röntgenlerdeki bozulmalar: Derin öğrenme metotları özellikle MR görüntüleri üzerinde başarılı sonuçlar vermektedir. X-ray görüntülerinde SNR nedeniyle çok fazla gürültü ve sinyal azalması gibi çeşitli sorunlar ve imgelerde bozulmalar mevcuttur. Derin öğrenmede beyazlaştırma gibi ön işlemler de tarafımızdan denenmiş fakat yine de başarılı sonuçlar elde edilememiştir.
- Hizalama problemi: Literatürdeki derin öğrenme çalışmalarına bakarken görüntü özelliklerinin eğitimden önce hizalandığı görülmektedir. Mesela, yüz imgeleri eğitilirken göz kenarları, dudaklar vs. hizalanmakta, sonra eğitim gerçekleştirilmektedir. Dişler eğitilirken neredeyse 200x60 boyundaki dişler çok küçük boyutlara getirilmiş ve hizalama işlemi gerçekleştirilememiştir. Hizalama işlemi için daha büyük yamalar kullanmak gerekecektir. Bu da başarısızlığın bir sebebi olarak görülmektedir.

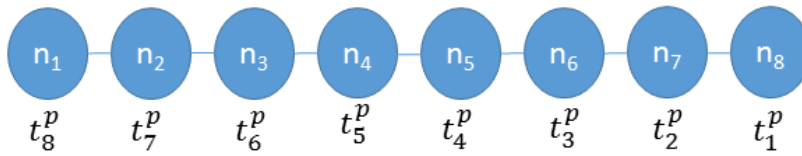
- Oto-kodlayıcı düğüm ve katman sayısının az olması: Daha derin ve daha çok düğümü olan bir oto-kodlayıcının dış özniteliklerini gözetimsiz öğrenme durumu vardır. Nitekim bunu gerçekleştirmek iş istasyonları ile mümkün olmamıştır, belki daha büyük bir iş istasyonu kümesinden (cluster) GPU kullanarak bunu eğitmek mümkün olacaktır.

3.3 Kesin Dış Pozisyonlarının ve Etiketlerinin Bulunması

Makine öğrenmesi ile öğrenilen özniteliklere göre dış olabilecek aday pencereler belirlenmiştir. Farklı pencere boyutlarının kullanması ve gürültü gibi özelliklerden dolayı bir dış için birden fazla aday pencere belirlenmektedir. Bu nedenle, adaylar arasından var olan bir dışın kesin yerinin tespiti için bir pikselin tespit edilmesi ve bu dışın etiketinin belirlenmesi gerekmektedir.

3.3.1 Olasılıksal Grafik Model

Olasılıksal Grafiksel Modeller (İng. Probabilistic Graphical Models) ağızdaki dış yapılarının tanımlanması için çok uygundur. Dışların görünüş ve geometrik özellikleri grafiksel modeller ile etkili bir şekilde gösterilmektedir. Şekil 14'de bir ağız çeyreğindeki 8 dış için zincir şeklinde bir grafiksel model gösterilmiştir. Bir $G=\{V;E\}$ çizgesinde (İng. graph) V düğümleri, E ise düğümler arasındaki ayrıtları gösterebilir. Her bir düğüm $n_i \in V$ bir dışı, ayrıt E ise iki dış arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. Her düğüm $i \in V$ bir rastgele değişkeni indekslemekte ve onu bilinmeyen görüntü lokasyonuna atamaktadır. $n=\{n_1, n_2, \dots, n_8\}$ bir konfigürasyon olup, bir çeyrekteki olası dış konumlarını göstermektedir. Bu çalışmadaki amaç düğümlerin optimal (en uygun) konfigürasyonunu $n'=\{n_1, n_2, \dots, n_8\}$ belirlemek ve böylece kesin dış pozisyonlarına karar vermektir.



Şekil 14. Olasılıksal grafik model ile bir ağız çeyreğindeki dışların gösterimi

I görüntüsü için en optimal konfigürasyonu n' bulacak Maximum a Posteriori (MAP) Tahmini şu şekildedir.



$$n' = \operatorname{argmax} P(n|I, \alpha).$$

$P(n|I, \alpha)$ Gibbs modeli ile aşağıdaki gibi modellenmiştir:

$$P(n|I, \alpha) = \frac{1}{Z} \exp(-E(n|I; \alpha)),$$

α öğrenilen parametreler ve I de görüntü olmak üzere E fonksiyonu iki farklı fonksiyon içermektedir.

$$E(n|I; \alpha) = \sum \psi_I(n_k, I) + \lambda \sum \psi_G(n_k, n_{\{k+1\}}, \alpha)$$

İlk fonksiyon $\psi_I(n_k, I)$ her bir dişin lokal görünüşünü tanımlayan potansiyel fonksiyonudur. Dişlerin görünüş özellikleri PHOG tanımlayıcıları ile diş adayları tespit etme sürecinde belirlenmiştir. Bu nedenle, her bir pencereye atanan skor değeri s_k 1'den çıkartılarak $\psi_I(n_k, I)$ olarak kullanılmıştır.

İkinci fonksiyon ise $\psi_G(n_k, n_{\{k+1\}}, \alpha)$ ise iki komşu diş olan n_k ve n_{k+1} arasındaki geometrik bağlantıyı göstermektedir. Bu geometrik bilginin içine içerik olarak farklı şeyler konulabilir. Dişlerin birbirlerine olan uzaklığı, dişlerin açısız olarak ağız boşluğuyla farkı ve birbirleriyle açısız farklı bu bağlamda değerlendirilebilecek olan özelliklerdir. Bu çalışmada dişlerin birbirlerine olan uzaklığı ve ağız boşluğu ile olan açısız farkları değerlendirilmiştir.

Dişlerin büyüklükleri diş tipine göre değiştiği gibi, dişler arasındaki uzaklık da diş tipine göre değişmektedir. Önişlemden geçirilmiş ve ağız boşluğuna göre yeniden boyutlandırılmış diş görüntüleri incelendiğinde dişlerin Gaussian dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Tablo 1'de herbir ağız çeyreğindeki diş grubunun birbirlerine olan uzaklıkların ortalama, medyan ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Tablo 1 Dişler arası ortalama, medyan uzaklık ve standard sapma

	Büyükazı			Küçükazı			Öndişler		
	Medyan	Orta-lama	Standard sapma	Medyan	Orta-lama	Standard sapma	Medyan	Orta-lama	Standard sapma
Sol ust	129	121	35	87	86	49	93	89	26
Sol alt	165	156	63	105	100	29	81	78	23
Sag ust	123	115	34	99	93	27	99	94	28
Sag alt	129	116	48	93	87	24	69	68	22

Olasılıksal grafiksel modelde, iki diş arası uzaklığın ortalama değere yakın olması hedeflenmektedir ve bundan uzaklaştıkça da cezalandırılmaktadır. Bunun için geometrik özellik potansiyel fonksiyonu $\psi_G(n_k, n_{\{k+1\}}, \alpha)$ için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\psi_G(n_k, n_{\{k+1\}}, \alpha) = \frac{(|n_k - n_{k+1}| - \mu)^2}{\sigma^2}$$

İki komşu diş adayı n_k ve n_{k+1} arasındaki Öklid uzaklık $|n_k - n_{k+1}|$ ile ifade edilmiştir. Eğitim kümesindeki diş tipine göre ortalama μ bu uzaklıktan çıkartılmakta ve bu değer varyans değerine (σ^2) bölünmektedir. ψ_G fonksiyonu eğer iki diş arası uzaklık ortalamaya yakınsa 0'a yakın bir değer, ortalamadan uzaksa çok daha büyük bir değer üretmektedir.

İki diş arası belirli bir uzaklıktan fazla ya da küçük olamaz. Bu nedenle veri kümesindeki iki diş arası minimum *mind* ve maksimum *maxd* diş uzaklıkları belirlenmiştir. İki diş uzaklığın *mind-t* ve *max+t* arasında olması beklenmektedir. Eğer Öklid uzaklık $|n_k - n_{k+1}|$ bu değerler arasında değilse $\psi_G(n_k, n_{\{k+1\}}, \alpha)$ fonksiyonu sonsuz değeri almaktadır. Bu şekilde iki dişin birbirine çok uzak veya yakın olma ihtimali ortadan kaldırılmakta ve dinamik programlama yapılırken hızlı bir şekilde çözülmesi sağlanmaktadır.

3.3.2 Dinamik Programlama ile Kesin Çıkarım

MAP tahminini çözmek için dinamik programlama kullanılmaktadır. Belirli bir eşik değerinden büyük s_k değerine sahip aday dişlerin tüm kombinasyonları için $E(n|I; \alpha)$ değeri hesaplanmakta ve sonuçta en küçük değere sahip optimal kombinasyon n' seçilerek kesin diş pozisyonları etiketleri bulunmaktadır.

I diş pozisyonlarının bulunacağı hedef görüntü olsun. Her bir diş için m adet iyi skora sahip aday olduğunu farzedelim. Eğer her ihtimali deneyerek kaba kuvvet yöntemiyle (brute force) çözecek olsak her ağız çeyreği için 8^m ihtimal olacak şekilde toplam $4 \cdot 8^m$ ihtimalin enerjisi hesaplanarak aralarından en küçüğü seçilecekti. Fakat, dinamik programla ile bu ihtimallerin hepsi çok daha hızlı bir şekilde çözülebilmektedir. E enerji fonksiyonu $E(n|I; \alpha)$ olmak üzere, grafiksel modeldeki Markov özelliğinden dolayı

$$E(n_1, n_2, \dots, n_8) = [E_1(n_1, n_2) + E_2(n_2, n_3) + \dots + E_7(n_7, n_8)]$$



şeklinde yazılabilir. Dolayısıyla her bir düğüm, sadece bir komşusuna bağlı hale gelmektedir. Bu şekilde grafiksel modeldeki ilk düğümden başlanarak optimal değer fonksiyonu $c_{j-1}(n_{j-1}, n_j)$ tanımlanmaktadır. Optimal değer fonksiyonu $c_{j-1}(n_{j-1}, n_j)$ birinci düğümden j'inci düğüme kadar olan en iyi enerji konfigürasyonunu belirlemektedir. Bu durumda

$$c_0(n_0, n_1) = ||n_1 - m||, \quad m = \text{ağız boşluğu merkezi}$$

$$c_1(n_1, n_2) = \min E_1(n_1, n_2),$$

$$c_2(n_2, n_3) = \min E_2(n_2, n_3) + c_1(n_1, n_2),$$

$$c_3(n_3, n_4) = \min E_3(n_3, n_4) + c_2(n_2, n_3),$$

....

$$c_7(n_7, n_8) = \min E_7(n_7, n_8) + c_6(n_6, n_7).$$

şeklinde yazılabilmektedir. Grafiksel modelin $c_7(n_7, n_8)$ değerlerinden minimum olanı bize minimum enerji E'yi vermektedir. Minimum değerden geriye giderek (memoization) her düğüm değerlendirilerek optimal konfigürasyon n' bulunmaktadır. Bu şekilde dinamik programlama ile $O(8m^2)$ zamanda çıkarım yapılmaktadır.

3.3.3 Eksik Dişlerin Bulunması

Ağızda diş çekiminden, kazalardan vs. ortaya çıkan eksik dişler bulunabilmektedir. Bu dişlerinde tespit edilerek eksik olarak belirlenmesi ve etiketlenmesi gerekmektedir. Eksik dişlerin bulunması için şöyle bir yöntem kullanılmaktadır: Her bir düğüm için ekstra bir eksikdiş adayı bulundurulmaktadır. Böylece bir diş için k tane aday varsa k+1'inci aday eksik diş olmaktadır. Eksik diş için uzaklığa ve görünüşe bakarak herhangi bir enerji fonksiyonu hesaplamak kolay değildir. Bu nedenle, normal potansiyel fonksiyonun çok üzerinde bir değer eksik diş enerji fonksiyonu olarak atanmaktadır. Eğer o etiket için uygun hiçbir diş makine öğrenmesi ile bulunamadıysa eksik diş adayı minimum değeri vermekte ve o dişin eksik olduğu otomatikman bulunmaktadır. Birden fazla eksik diş olması durumunda bile bu şekilde eksik dişler bulunmaktadır.

Bazen diş hemen kaybedildikten sonra panoramik görüntü çekilmekte, diş etinde bir değişiklik olmamakta ve PHOG tanımlayıcısı diş varmış gibi bir değer üretmektedir. Bu durumlarda, eksik diş olsa bile PHOG tarafından bir sk değeri verildiği için enerji fonksiyonu daha düşük olmakta ve orada diş varmış gibi etiketleme yapılabilmektedir. Bu nedenle, eksik dişin bulunabilmesi için PHOG tarafından hiçbir değer atanmaması gerekmektedir.

3.4 Dental Restorasyonların Tespiti

Kişinin dental panoramik görüntüsü çekildikten sonra dişlerde uzman tarafından yapılan dental restorasyonlar olması olasıdır. Genellikle adli tıp uzmanları, bu diş restorasyonlarına bakarak otomatik olmayan kişi eşleştirmesi yapmaktadır.

Bu çalışmada restorasyonlar 2 grupta incelenmiştir:

1. Grup Restorasyonlar: Bu grup dolgu, kanal tedavisi ve köprüleri içermektedir. Bu restorasyonlar amalgam ve porselen gibi malzemelerden yapılmakta ve X-ışını görüntülerinde dişten çok daha parlak çıkmaktadır. Şekil 15'te restorasyon örnekleri bir görüntü üzerinde gösterilmiştir.
2. Grup Restorasyonlar: Bu grup implantları içermektedir. İmplantlar çene kemiğine yerleştirilen ve protezlere destek için yapılan yapay diş kökleridir. Bunlar eksik dişlerin yerine yapılan, uzun ömürlü ve yaşam boyu sorunsuz şekilde kullanılabilen daha çok titanyumdan yapılan vidalardır. Bunlar diş doktorları tarafından steril ortamlarda küçük bir cerrahi işlemle çene kemiğine yerleştirilirler.



Şekil 15. Örnek Restorasyonlar

İlk grup restorasyonlar şu şekilde bulunmaktadır. Bunların parlaklıkları yüksek olduğu için diş etiketlendikten sonra elimizde onu içine alan pencere bulunmaktadır. Bu pencere makine öğrenmesinde kullanılan penceredir. Eğer dişi içeren pencerede parlaklık değeri belirli



bir eşik değerinden fazla olan büyüklükte x adet komşu piksel var ise bu 1. Grup restorasyon olarak tespit edilmektedir.

İkinci grup restorasyon olan implantlar da tıpkı dişler gibi PHOG öznitelikleri ve DVM ile bulunmaktadır. Tıpkı dişler gibi kayan pencere ile her pencereye implant olup olmadığı sorulmaktadır. Eğer implant olarak yakın bölgede en az 10 pencere işaretlendiyse bu diş yerine implant yapıldığı tespit edilmekte ve olasılıksal modelde implant olarak etiketlenmektedir.

3.5 Eşleme Algoritması

Diş lokasyonları, etiketleri ve restorasyonlar belirlendikten sonra hedef görüntü ve veritabanındaki görüntülerinin benzerlik skorları bulunarak en benzeyen görüntüler seçilmektedir.

Literatürdeki genel yöntem diş sınırlarının ve özelliklerinin bulunarak birbirleriyle karşılaştırılmasıdır. Bu yöntemler genellikle az sayıda diş içeren ve görüntülerde distorsiyonun az olduğu ve dişlerin birbirini kapatmadığı ağız içinden çekilen periapikal görüntüler için geliştirilmiştir. Bu tip metodların panoramik görüntüler için başarılı olması çok zordur. Bu nedenle, bu proje kapsamında çok daha farklı bir yol izlenmiştir. Diş görüntülerini dişlerin lokal özelliklerine göre karşılaştırma yapma yerine dişler görünüş ve geometrik olarak benzerliklerine göre değerlendirilmiştir.

I_1 bir kişinin önceden çekilmiş panoramik ağız görüntüsü ve I_2 de aynı kişinin sonradan çekilmiş görüntüsü olsun. I_1 veritabanında kayıtlı yüzlerce resimden biriyken, I_2 ise veritabanından en benzeri bulunacak olan hedef görüntüdür.

Veritabanındaki görüntüler ilk olarak dental restorasyonlara göre elenmektedir. Bunun için çeşitli kurallar çıkartılmıştır. Bunlar:

- Eğer I_2 görüntüsündeki bir diş t_i restorasyonu olmayan normal bir diş ise; I_1 görüntüsündeki t_i etiketli diş de benzer şekilde restorasyonsuz normal bir diş olmalıdır.
- Eğer I_2 görüntüsündeki t_i etiketli diş 1. grup restorasyona sahipse, I_1 görüntüsündeki t_i etiketli diş eksik ya da implant olamaz.
- Eğer I_2 görüntüsünde t_i etiketli diş implant değilse, I_1 görüntüsünde t_i etiketli diş de implant değildir.

w_1^1 I_1 'de ti dişini içeren ve w_1^2 I_2 'de ti dişini içeren pencereler olsun. w_1^1 makine öğrenmesinden kaynaklanan sorunlar nedeniyle dişin tümünü değil, belirli bir kısmını içerebilir. Eşleme sırasında, buradan kaynaklanabilecek problemleri engellemek nedeniyle w_1^1 penceresi 4 yönden de v ofseti kadar büyütülmüştür. Böylece, w_1^1 penceresi diş ve yanındaki ekstra yapıları da kapsamaktadır.

İki dental panoramik görüntü I_1 ve I_2 arasındaki benzerlik şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$S(I_1, I_2) = \sum_q \left\{ \sum_{i=1}^7 [SSD(w_i^1, w_i^2) + \beta G(w_i^1, w_i^2, m)] \right\}.$$

Bu denklemde β dengeleme parametresi olup, q ise ağız çeyreğini ve m de ağız boşluğu merkezini ifade etmektedir. Burada i bir çeyrekteki diş sayısını belirtmektedir ve 7 olarak alınmış, en sondaki 8. Diş olan büyük azı benzerlik fonksiyonuna dahil edilmemiştir. Bunun nedeni bu dişin tanıma oranının düşük olması, bazen diş eti içinde gömülü kalması gibi nedenlerdir. SSD aşağıdaki gibi tanımlanan karelerin farkları toplamıdır:

$$SSD(w_i^1, w_i^2) = \arg \min_v \sum_{x,y \in W} [w_2(x, y) - w_1(x + 2v, y + 2v)]$$

Bu denklemde v , w_1 penceresinin büyütülme ofsetini göstermektedir. x ve y ise piksel pozisyonlarıdır. SSD fonksiyonu iki pencere arasındaki görünüş olarak benzerliği tanımlamaktadır. Her iki pencere w_1 ve w_2 , ti etiketli diş görüntüsünü içermektedir. w_1 penceresi v ofseti kadar büyütüldüğü için w_2 'den daha büyüktür. Burada w_2 penceresi, w_1 penceresi içinde en çok benzerliğin yani minimum SSD değerinin olduğu yeri belirlemektedir. Yani görüntüler aynı kişiye aitse, w_1 ve w_2 pencerelerindeki diş görüntüleri benzer olacağı için SSD değeri de düşük olacaktır ve fonksiyon küçük bir değer üretecektir.

İki pencere w_1 ve w_2 arasındaki geometrik benzerlik şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$G(w_1, w_2, m) = ||w_1 - m^1|| - ||w_2 - m^2||$$

Bu denklemdeki m^1 ve m^2 , I_1 ve I_2 görüntülerindeki ağız boşluğu orta noktasını ifade etmektedir. Yani, her iki diş içeren pencerenin ağız boşluğuna olan uzaklıklarının farkı bulunmaktadır. Böylece, yeniden ölçeklendirilmiş görüntülerde dişlerin birbirlerine göre göreceli konumları değerlendirilmektedir. Bu şekilde diş büyüklükleri vs. gibi özellikler de dolaylı olarak işin içine



katılmaktadır. Eğer görüntüler aynı kişiye ait ise merkeze olan diş uzaklıkları benzer olacağı için bu fonksiyon küçük bir değer verecektir.

Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta şudur. Eğer bir diş ti eksik diş olarak etiketlenmişse, o diş benzerlik fonksiyonuna dahil edilmemektedir. Görüntüler arasındaki benzerlik eksik diş kapsamamaktadır çünkü eksik dişin önceki görüntüde olma olasılığı fazladır. Bu nedenle benzerlik kriterlerinde dâhil edilmemiştir.

4 DENEYLER ve BULGULAR

4.1 Veri kümesi

Geliştirilen sistemin test edilmesi için Kocaeli Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi ve Hastanesindeki cihazlardan görüntüler toplanmıştır. Toplam 170 farklı kişiden 206 adet görüntü alınmıştır. 21 kişinin farklı zamanlarda çekilmiş 2'şer adet görüntüsü, 6 kişinin 3'er adet görüntüsü ve 1 kişinin de 4 adet görüntüsü bulunmaktadır.

Projenin gerçek ante-mortem (ölmeden önce) ve post-mortem (öldükten sonra) çekilmiş dental görüntülerle test edilip doğrulanması daha manalı olabilirdi. Fakat, proje önerisinde de belirtildiği gibi çok sayıda post-mortem görüntünün toplanması çok zordur. Az sayıda görüntü ile sistemin test edilmesi sistemin performansını göstermeyecektir. Bu nedenle, tüm görüntüler ante-mortem görüntülerdir. Diş yapıları afetlerde etkilenmediği için post-mortem görüntülerde de yapısal olarak fark olmayacağı adli tıp uzmanları tarafından belirtilmiştir.

Alınan görüntüler farklı kişilerden toplanmış olup, birden fazla cihazla çekilmiştir. Bu nedenle görüntülerin boyutları 2871x1577, 1435x791 ve 2612x1244'tür. Görüntülerdeki, dişler projemiz bursiyeri uzman diş hekimi Sinem İlda Birdal tarafından işaretlenmiştir. Her bir diş bir kutu içine alınmıştır. Ayrıca, dişlerin etiketleri de kendisi tarafından belirlenmiştir. Dişlerdeki restorasyonlar ve tipleri de uzman tarafından belirlenmiştir. Bu işaretlenmiş görüntü ve bilgiler hem eğitimde hem de sistemi test ederken yerel gerçeklik (ground truth) olarak kullanılmıştır.

Projede, bu farklı görüntü boyutlarına sahip olan görüntüler yeniden ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirme yapılırken bulunan ağız boşluğu uzunluğu her görüntüde aynı olacak şekilde işlem yapılmıştır. Bu nedenle yeniden ölçeklendirme sırasında, her görüntünün boyutu standart bir boyuta getirilmemekte, sadece aynı ağız boşluğu uzunluğuna sahip olmaları sağlanmaktadır. Böylece, dişler de benzer boyuta sahip olmaktadır. Bu da eğitim sırasında dişin fazla deforme olmamasını ve test sırasında da çok fazla farklı boyutta pencere kullanmama avantajını sunmaktadır. Bir önemli faktör de eşleme algoritmasındaki benzerlikle ilgilidir. İki dişin görünüş olarak benzerliği hesaplanırken, dişler benzer boyutlara sahip oldukları için herhangi fazladan bir işlem yapmaya gerek kalmamıştır.

4.2 Aday Dişlerin Bulunması

Aday dişlerin bulunması için ilk olarak farklı öznitelik çıkarma metotlarının (Haar ve HOG) performansları değerlendirilmiştir. İlk gelişim raporunda elimizde çok az veri olduğu için az sayıda örnekle sistemler test edilmiştir. Henüz yeniden ölçeklendirme metodu geliştirilmediği için farklı ölçeklerde pencerelerde sistem test edilmiş ve Haar filtrelerin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Yeniden ölçeklendirme yapıldıktan ve çok sayıda örnek elde edildikten sonra yapılan çalışmalar PHOG metodunun çok iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Tablo 1Tablo 2’de aynı eğitim kümesi ile eğitilen HOG ve PHOG özniteliklerinin başarımı verilmiştir. Eğitim için diş ve rastagele kesilmiş arkaplan görüntüleri kullanılmıştır. PHOG metodunun HOG’dan çok daha iyi olduğu açıktır. Değerlendirmek için bulunduğu pencerenin dışı içine alan yerel gerçeklik diş sınırının en az %70’ini kapsaması öngörülmüştür. Metot genellikle komşu dişleri de bulduğu için hatalar buradan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle sonraki adımlara PHOG ile devam edilmiştir.

Tablo 2. HOG ve PHOG öznitelikleri ve SVM ile dişlerin bulunma yüzdeleri

	HOG		PHOG	
	Sağ	Sol	Sağ	Sol
Azı diş	0.54	0.79	0.88	0.85
Küçük azı	0.28	0.29	0.68	0.72
Ön diş	0.63		0.89	

PHOG öznitelik çıkarma metodunun kullanılmaya karar verilmesinden sonra, sistem için gerçek eğitim kümesi oluşturulmuştur. Eğitim kümesinde tek bir görüntüye sahip olan ve dişlerinde eksik bulunmayan 10 kişi seçilmiştir. Bu kişilerin görüntülerindeki dişler pozitif örnek olarak, her görüntüden her diş gurubu için 10 adet diş tamamıyla içermeyen pencere de negatif örnek olarak kullanılmıştır. Pozitif örnekler uzman tarafından işaretlenen dışı içine alan en küçük pencerelerdir. Test için, ağız boşluğu bulunduktan sonra tespit edilen muhtemel diş konumları kullanılmaktadır. Kayan pencere yöntemi ile en küçük ve en büyük diş boyutları arasında öznitelikler çıkartılmakta ve SDVM ile sınıflama yapılması beklenmektedir.

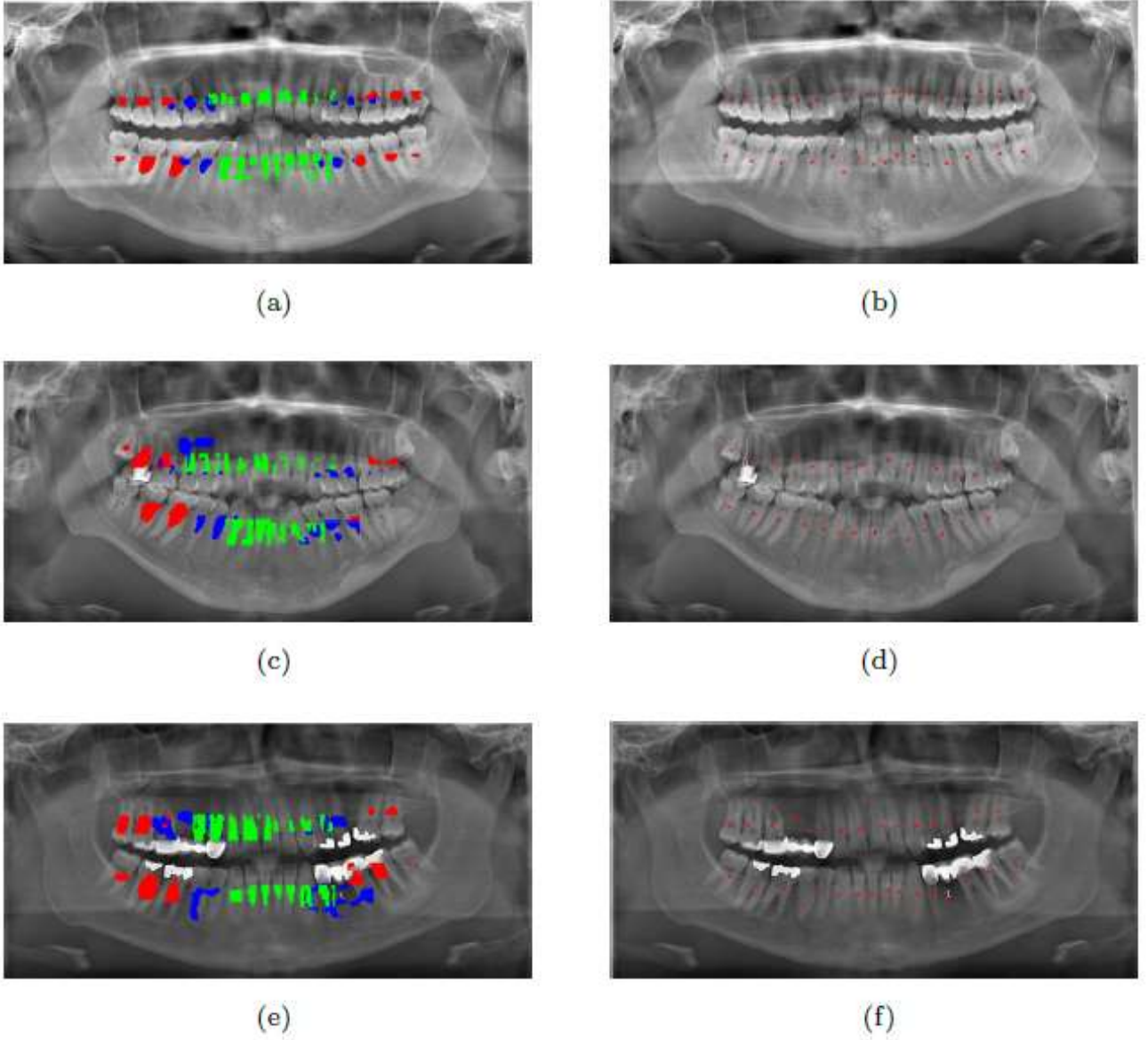
DVM’nin doğruluğunu değerlendirmek için şu metrik kullanılmıştır: Eğer pozitif olarak tespit edilen bir pencere o diş gurubuna ait dişin en az %50’sini kapsıyorsa, doğru olarak değerlendirilmektedir. Tablo 3’te test gurubundaki 196 görüntüdeki tüm dişler için doğruluk yüzdeleri verilmiştir. Yanlış tespitler genellikle, aynı muhtemel diş alanı içinde bulunan başka diş gurubuna ait dişlerin olmasından kaynaklanmaktadır. Mesela, büyük azı diş adayları bulunmaya çalışılırken, alana giren küçük azı dişler de tespit edilmektedir. Ayrıca, yeni çekilen dişler de bazen diş olarak tespit edilebilmektedir. Sonuçlar değerlendirildiği zaman küçük azı

gurubundaki dişlerin doğruluğunun daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi yandaki büyük azı ve öndişlerin de bulunmasıdır. Ayrıca, aranan muhtemel alan büyük olduğu için hata olasılığı da artmaktadır. Büyük azı dişlerin doğruluk oranının çok daha yüksek olduğu gözükmemektedir.

Tablo 3. Bulunan diş adaylarının doğruluk yüzdeleri

	J	l	L	l
Molar	91	93	95	94
Premolar	75	73	77	71
Incisor	83	81	88	79

Şekil 16'da 3 farklı kişiye ait panoramik görüntü ve tespit edilen aday dişler gösterilmiştir. İlk kolon bulunan aday diş merkezlerini gösterirken, ikinci kolon ise bulunan final noktaları göstermektedir. Büyük azı dişler kırmızı, küçük azı dişler mavi ve öndişler yeşil renkle gösterilmiştir. Tüm pencerelerin çerçevelerini çizmek karışıklığa sebep olduğu için, pencerelerin merkezleri çizilmiştir. Görüldüğü üzere genellikle farklı guruptaki komşu dişler de işaretlenmiştir. Mesela, Şekil 16 (a)'da üst çenedeki 6. Numaralı dişler hem büyük azı hem de küçük azı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, Şekil 16 (c)'de sol üst çenede çok küçük ve gömülü olan 8 numaralı diş sistem tarafından tespit edilememiştir. Görüntüler netliği sağlamak amacıyla kesilmiştir.



Şekil 16. Her satırda bir kişiye ait panoramik dental görüntünde tespit edilen aday dişler ve sonunda tespit edilen kesin diş konumları. (a), (c) ve (e)'de aday diş olarak bulunan pencerelerin merkezleri gösterilmiştir. Büyük azı dişler kırmızı, küçük azı dişler mavi ve öndişler yeşil renk gösterilmiştir. (b), (d), ve (f) bulunan dişlerin merkezleri gösterilmiştir.

4.3 Diş konumlandırma ve etiketleme

Diş adayları bulunduktan sonra her diş için tek bir merkez ve etiket belirlenmelidir. Bu nedenle grafiksel model kullanılıp, dinamik programlama ile çıkarım yapılmıştır. Diş konumlandırma ve etiketleme sonuçlarını değerlendirmek için şu şekilde bir yöntem izlenmiştir. Eğer son olarak dinamik programlama ile tespit edilen dişi içine alan pencere ve yerel gerçeklik olan pencere en az %50 civarında kesişiyorsa, bu diş doğru tespit edildi olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4 Diş konumlandırma yüzdeleri

Tooth number	1	2	3	4	5	6	7	8
[	90	93	89	86	86	85	82	66
[	92	93	89	92	85	91	88	71
]	94	92	87	89	90	86	83	72
]	91	94	88	91	89	85	83	74

Tablo 4'te veri kümesindeki görüntüler için her bir dişin konumlandırma yüzdesi verilmiştir. Görüldüğü üzere ön dişler daha başarılı konumlandırılırken, özellikle en son 20'lik diş olarak tanımlanan azı dişlerin konumlandırılma oranı oldukça düşüktür. Bu genellikle yirmilik dişlerin farklı şekillerde olması, gömülü olması ve çok küçük olması gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır. Diş varken aday diş olarak bulunamadığı zaman zaten eksik diş olarak bulunmakta ve konumlandırılmamaktadır.

Şekil 16 (b), (d) ve (f) konumlandırılan ve etiketlendirilen dişleri göstermektedir. Dişlerin merkezleri kırmızı renk ile gösterilmiştir. Şekil 16(d)'de sol üst çene için başarısı düşük bir konumlandırma gösterilmiştir. 3 ve 8 numaralı dişler başarılı bir şekilde konumlandırılmamışlardır çünkü 3 numaralı diş geometrik özellikleri sağlamamakta ve 8 numaralı diş de aday olarak DVM tarafından tespit edilmemiştir. Görüntülere bakıldığı zaman restorasyon durumlarında bile dişlerin başarıyla konumlandırıldığı gözükmemektedir.

4.4 Eşleştirme

Görüntülerdeki dişler konumlandırılıp etiketlendirildikten sonra eşleştirme yapılmaktadır. Veri kümesinde test için ayrılan 160 kişinin 196 panoramik diş görüntüsündeki her resim için sırayla eşleştirme yapılmıştır. Veri kümesindeki 28 kişinin 1'den fazla farklı zamanlarda çekilmiş diş görüntüsü bulunmaktadır. 'den fazla görüntüsü olan kişilerin de 2.ci görüntüsü 3 ile eşleştirilebileceği için toplam 36 tane eşleştirme yapılabilecek görüntü vardır. Özellikle bu 36 kişinin eşleştirilmesi yapıldığı zaman ilk sırada kendisinin sonradan çekilmiş görüntüsünün gelmesi beklenilmektedir.



Geliştirilen sistem sonuçları şu şekildedir: 29 kişinin sonradan çekilmiş görüntüsü 1. Sırada eşleştirilmiştir ve 3 kişinin görüntüsü 2. en benzeyen olarak bulunmuştur. 3 kişi ise 4, 8,,17 ve 81. sırada eşleştirilmiştir.

Şekil 17’de 4 en kötü eşleştirme sonucu gösterilmiştir. İlk kolon önce çekilen dental görüntüler olup, ikinci kolon ise aynı kişini sonra çekilen görüntüleridir. İncelendiği zaman önce ve sonraki görüntülerde çok büyük değişiklik olduğu gözlemlenmektedir. Mesela ikinci satırda diş telleri vardır, bunlar proje kapsamında ele alınmamıştır. İlk satırda ise, üst dişlere sonradan kaplama yapılmıştır. Bu etkenler benzerlik hesaplanırken görünüş terimini negatif yönde etkilemiştir.



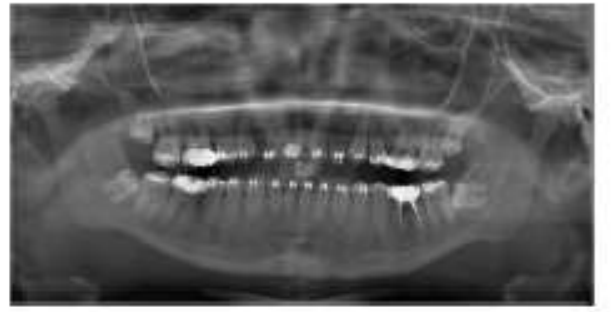
(a)



(b)



(c)



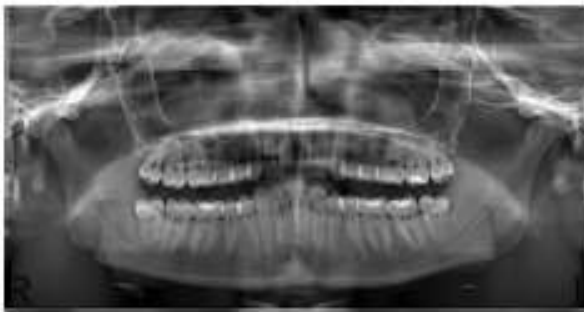
(d)



(e)



(f)



Şekil 17. 4 adet en başarısız eşleştirme sonuçları. Bir satıda kişinin önce ve sonra çekilmiş görüntüleri gösterilmiştir.



5 SONUÇLAR

Özellikle afetlerden ve motor kazaları gibi yangınla sonuçlanan ölümlerden sonra diş görüntülerinden kimlik tespiti yapılmaktadır. Bu projede, uzmanların işlerini kolaylaştırmak amacıyla, bir görüntü verildiği zaman ona en benzeyen görüntüler otomatik olarak veri tabanından getirilmektedir.

Proje kapsamında, diş panoramik x-ışını görüntülerinden otomatik olarak dişleri bulmak, etiketlemek ve daha sonra dişlerin benzerliğine göre eşleme yapılacak bir metot geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, literatürdeki sistemlerden farklı olarak diş bazlı benzerliklere göre görüntüleri eşleştirmektedir. Bu nedenle, oldukça verimli çalışan PHOG öznitelikleri ve DVM ile diş adayları belirlenmektedir. Daha sonra olasılıksal grafiksel model yardımıyla kesin diş pozisyonları ve etiketleri bulunmaktadır. Proje kapsamında geliştirilen diş bulma ve etiketleme metodu başka bilgisayar tabanlı diş görüntüleri uygulamaları için de ileride kullanılabilme potansiyeli taşımaktadır. Mesela, diş hastalıkları belirlenirken hastalığın diş bazında belirtilmesi gerekmektedir. Diş bulunduktan sonra hastalık tespiti yapılabilecektir.

İlk olarak, ağız boşluğunu bulmak ve farklı boyutlardaki görüntüleri buna göre yeniden eşleştirmek için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu şekilde farklı cihazlardan alınan görüntüler farklı boyutlardaki görüntülerdeki dişler ortak bir uzaya taşınmaktadır. Dişlerin yaklaşık olarak boyutları benzer oranlara gelmektedir. Ayrıca, geliştirilen yeniden ölçeklendirme yöntemi güvenli bir şekilde muhtemel diş grubu pozisyonlarının bulunmasını sağlamaktadır. Böylece, diş gurubunun DVM sırasında test olarak aranacağı alan tüm görüntüye göre çok küçülmekte ve bu da zaman olarak aramayı kısaltmaktadır.

Diş konumlarının bulunması amacıyla olasılıksal grafiksel model kullanılması birçok avantajı beraberinde getirmiştir. İlk olarak dişlerindeki görünüş ve geometrik özellikler birlikte ele alınabilmiştir. Görünüş özelliği olarak PHOG ve DVM skorlarının doğrudan kullanılması hesaplama zamanı açısından büyük bir fayda sağlamıştır. Ayrıca, grafiksel model sayesinde eksik dişler etkili bir şekilde bulunmuş ve etiketlenmiştir. Dinamik programlama ile polinom zamanda kesin çıkarım yapılabilmesi ile grafiksel modelin diğer bir avantajı olmuştur.

Geliştirilen sistem 196 görüntü üzerinde test edilmiştir. Bu literatürdeki en büyük dental veri kümelerinden birisidir. Sistemin gerçek post-mortem görüntüler üzerinde test edilememesi bir eksidir fakat proje önerisinde de bu hedeflenmemiştir. Geliştirilen sistemin test sonuçları oldukça başarılıdır.



Sisteminde geliştirilmesi mümkün olan kısımlar mevcuttur. Bunlardan ilki ağız boşluğu bulunduktan sonra geometrik transformasyon uygulanmasıdır. Bu işlem ağız boşluğundaki eğriliği azaltarak makine öğrenmesinin daha etkili çalışmasını sağlayabilir. Dental görüntülerde diş dışında sinüs, çene kemiği gibi belirleyici yapılar da gözükmemektedir. Bu yapıların da otomatik olarak bulunup eşleme algoritmasına katılması sistemi daha da güçlendirebilir.

Özetle, bu proje kapsamında geliştirilen dental görüntüler için makine öğrenmesi ve grafiksel model tabanlı diş bazlı eşleme başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. İleride, binlerce görüntüden oluşan daha büyük veri tabanlarında test edilerek sistem gerçek hayat uygulamalarında kullanılabilme potansiyeli taşımaktadır.



6 REFERANSLAR

Charangowda, B.K., 2010. "Dental records: An overview", Journal of Forensic Dental Sciences, vol. 2(1), 5–10.

American Dental Association, "Dental Records",
http://www.ada.org/sections/professionalResources/pdfs/dentalpractice_dental_records.pdf,
Erişim tarihi:09.08.2015

Ammar H.H., Mohamed Nassar D.E., Said E.H., Abaza A., 2008. "Automated dental identification system", USA patent, no. 0172386.

Dalal, N.; Triggs, B.; , "Histograms of oriented gradients for human detection," Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on , vol.1, no., pp.886-893 vol. 1, 25-25 June 2005

Dinh P., Hoai B., "Dental Radiographs Segmentation Based on Anatomy", IEEE-RIVF International Conference on Research, Innovation and Vision for the Future in Computing & Communication Technologies, HCMC University of Science, , Vietnam, July 13-17, 2008.

Fahmy G., Nassar D., Haj Said E., Chen H., Nomir O., Zhou J., Howell R., Ammar H., Abdel Mottaleb M., Jain A., 2004. "Towards an automated dental identification system (ADIS)," in Biometric Authentication'04, pp. 789–796.

Gonzales A.R, Schofield, R. B., Schmitt G. R., 2006. "Lessons Learned From 911: DNA Identification in Mass Fatality Incidents," U.S Department of Justice, Office of Justice Programs, 810 Seventh Street N.W. Washington, DC 20531, President's DNA Initiative NCJ 214781.

Guzel S., Oktay A.B., Tufan K., "Automatic Tooth Identification In Dental Panoramic Images With Atlas-Based Models", International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM 2015), Lizbon, 9-12 Ocak 2015, pp.136-141.

Guzel S, 2014. "Automatic tooth detection and labelling from radiographic images", Fatih Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği,

Huang P.W., Lin P.L., Kuo C., Cho, Y.S.; , "An effective tooth isolation method for bitewing dental X-ray images," International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), 2012 , vol.5, no., pp.1814-1820, 15-17 July 2012

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. 2005."World Disaster Report 2005", London: Eurospan.

<http://www.ifrc.org/Global/Publications/disasters/WDR/69001-WDR2005-english-LR.pdf>

Erişim tarihi:21.01.2016



Jain A.K., Chen H., "Matching of dental X-ray images for human identification", *Pattern Recognition*, vol. 37, 1519–1532, 2004.

Jain A.K., Chen H., Registration of dental atlas to radiographs for human identification, *Proc. of SPIE Conf. on Biom. Technol. Hum. Identification 5779* (2005) 292–298.

Lin P.L., Lai Y.H., Huang P.W., 2010. "An effective classification and numbering system for dental bitewing radiographs using teeth region and contour information", *Pattern Recognition*, Volume 43, Issue 4, Pages 1380-1392.

Linguraru M.G., Yao J., Gautam R., Peterson J., Li Z., Linehan W.M., and Summers R.M. "Renal tumor quantification and classification in contrast-enhanced abdominal CT". *Pattern Recogn.* Vol 42, issue 6, 1149-1161, 2009.

Lorton L, Rethman M, Friedman R., 1988. "The Computer-Assisted Postmortem Identification (CAPMI) System: a computer-based identification program." *J Forensic Sci.* Jul;33(4):977-84.

Mahoor M.H., Abdel-Mottaleb M., 2005. "Classification and numbering of teeth in dental bitewing images", *Pattern Recognition* vol. 38, pp. 577–586.

Marana A. N., Barboza E. B, Papa J. P., Hofer M. and Oliveira D. T., "Dental Biometrics for Human Identification", *Biometrics - Unique and Diverse Applications in Nature Science, and Technology*, Intech, 41- 56, 2011.

Nomir O., Abdel-Mottaleb M., 2005. "A system for human identification from X-ray dental radiographs, *Pattern Recognition*", 38, 1295–1305.

Oktaç, A.B., 2015. "Human Identification from Dental Panoramic Radiographic Images with Tooth Labeling and Localization", submitted to *Pattern Recognition*.

Pattanachai, N., Covavisaruch, N., Sinthanayothin, C., , "Tooth recognition in dental radiographs via Hu's moment invariants," *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2012 9th International Conference on , vol., no., pp.1-4, 16-18 May 2012.

Pauly O., Glocker B., Criminisi A., Mateus D., Möller A.M., Nekolla S., and Navab N., "Fast multiple organ detection and localization in whole-body MR Dixon sequences", In *Proceedings of the 14th international conference on Medical image computing and computer-assisted intervention - Volume Part III (MICCAI'11)*, Gabor Fichtinger, Anne Martel, and Terry Peters (Eds.), Vol. Part III. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 239-247, 2011.



Petju M., Suteerayongprasert A., Thongpud R., Hassiri K. 2007. "Importance of dental records for victim identification following the Indian Ocean tsunami disaster in Thailand", Public Health, Vol. 121, Issue 4, 251-257.

Sonuç bildirgesi, "Suç Araştırması ve Adli Bilimler Sempozyumu", 23-24 Mayıs 2012, Kahramanmaraş, Türkiye.

<http://...> Adresini bul

Viola, P.; Jones, M.; , "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on , vol.1, no., pp. I-511- I-518 vol.1, 2001

WinID3, Dental Identification System,

<http://www.winid.com/>,

Erişim tarihi: 01.08.2015

Zhou j., Abdel-Mottaleb M., 2005. "A content-based system for human identification based on bitewing dental X-ray images", Pattern Recognition, vol. 38, 2132–2142.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Yrd. Doç. Dr. AYŞE BETÜL OKTAY
Proje No:	113E114
Proje Başlığı:	Diş Görüntülerinin Biyometrik Olarak Kullanılarak Otomatik Kimlik Belirlenmesi
Proje Türü:	3501 - Kariyer
Proje Süresi:	24
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İSTANBUL MEDENİYET Ü.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/10/2013 - 01/10/2015
Onaylanan Bütçe:	125019.0
Harcanan Bütçe:	74515.34
Öz:	Dişlerin şekli ve dizilişleri insana özgüdür ve bu nedenle diş x-ışını görüntüleri biyometrik özellik olarak adli tıp odontoloji bilim dalı tarafından kullanılmaktadır. Motorlu taşıt kazaları ve yangın, tsunami gibi afetlerde kimliği belli olmayan cesetler ortaya çıkmaktadır. Cesedin diş görüntüsü, eski görüntülerle karşılaştırılarak kişinin kimlik tespiti yapılmaktadır. Bu proje ile diş x-ışını görüntülerini otomatik olarak karşılaştırılarak en benzeyen görüntülerin veri tabanından bulan bir yeni bir metot geliştirilmiştir. Proje bünyesinde dişleri bulmak, etiketlemek ve karşılaştırmak için özgün metotlar kullanılmıştır. Diş adayları makine öğrenmesi metodu ile bulunmaktadır ve dişler olasılıksal grafik model kullanılarak etiketlenmiştir. Grafik model kullanımı ile eksik dişler de bulunmaktadır. Dişler bulunduktan sonra dişler hem geometrik hem de görünüş özelliklerine göre görüntüler arasındaki benzerliğe göre eşleştirme yapılmaktadır. Geliştirilen metot 170 kişiye ait toplam 206 görüntü üzerinde test edilmiştir ve doğrulanmıştır. Proje kapsamında bir adet yüksek lisans tezi ve bir adet uluslararası bildiri üretilmiştir. Ayrıca, bir adet makale uluslararası bir dergiye değerlendirilmek üzere gönderilmiştir.
Anahtar Kelimeler:	Diş x-ışını görüntüsü, makine öğrenmesi, olasılıksal grafik model, dvm
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Automatic Tooth Identification In Dental Panoramic Images With Atlas-Based Models (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum), 2- Automatic Tooth Detection And Labelling From Panoramic Radiographic Images (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi),