



T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORTODONTİK VE PERİODONTAL TEDAVİ AMACIYLA
ÇEKİLMİŞ DAİMİ PREMOLAR DİŞLERDE MİKRO
BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ YARDIMIYLA MİNE VE DENTİN
DOKUSUNUN MİNERAL YOĞUNLUKLARI İLE HACİM
DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Dt. Şemsettin YILDIZ

DANIŞMAN

Prof. Dr. İzzet YAVUZ

PEDODONTİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR 2017



T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORTODONTİK VE PERİODONTAL TEDAVİ AMACIYLA
ÇEKİLMİŞ DAİMİ PREMOLAR DİŞLERDE MİKRO
BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ YARDIMIYLA MİNE VE DENTİN
DOKUSUNUN MİNERAL YOĞUNLUKLARI İLE HACİM
DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Dt. Şemsettin YILDIZ

DANIŞMAN

Prof. Dr. İzzet YAVUZ

PEDODONTİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR 2017

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ONAY

Dicle Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Pedodonti Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Şemsettin YILDIZ'ın hazırladığı "Ortodontik ve Periodontal Tedavi Amacıyla Çekilmiş Daimi Premolar Dişlerde Mikro Bilgisayarlı Tomografi Yardımıyla Mine ve Dentin Dokusunun Mineral Yoğunlukları İle Hacim Değerlerinin Karşılaştırılması" başlıklı tez Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca kapsam ve bilimsel kalite yönünden değerlendirilerek Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

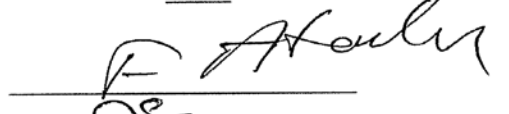
Danışman: Prof. Dr. İzzet YAVUZ



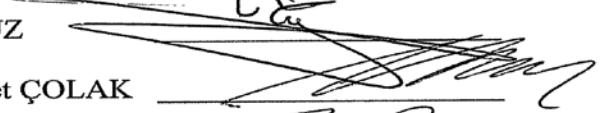
Jüri Üyeleri

İmza

Jüri Başkanı :Prof. Dr. Fatma ATAKUL



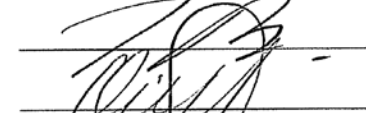
Üye :Prof. Dr. İzzet YAVUZ



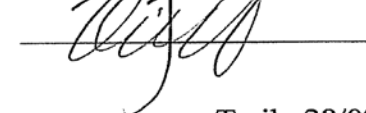
Üye :Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇOLAK



Üye : Yrd. Doç. Dr. Salih DOĞAN



Üye : Yrd. Doç. Dr. Osman ATAŞ



Tarih: 28/09/2017

Bu tez Dicle Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/....../.... tarih vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İzzet YAVUZ
Dicle Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü



BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve tezimi Dicle Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzu standartlarına uygun bir şekilde hazırladığımı beyan ederim.

16/08/2017

Şemsettin YILDIZ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda ve doktora eğitimim boyunca paylaştığı bilgi ve deneyimlerinin yanı sıra, gösterdiği ilgi ve desteğinden dolayı değerli tez danışmanım sayın Prof. Dr. İzzet YAVUZ'a,

Doktora eğitimim boyunca her konuda destek olan, bilgi ve tecrübesini benden esirgemeyen Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı Başkanı değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Fatma ATAKUL'a,

Doktora eğitimim süresince bana verdikleri eğitim ve ilgileri nedeniyle Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri'ne,

Doktora tez jüri komitemde bulunan, Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi, Sayın Yrd. Doç. Dr. Salih DOĞAN 'a ve Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi, Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman ATAŞ'a

Doktora eğitimim boyunca birlikte çalıştığım sevgili klinik arkadaşlarıma,

İstatistiksel değerlendirmelerdeki yardımlarından dolayı Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik Ana Bilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Zeki AKKUŞ'a,

Verilerin bilgisayar ortamında analizinde yardımcı olan Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Diş Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan KAMALAK'a,

Beni en iyi şartlarda büyütüp, yetiştirerek bu günlere gelmemi sağlayan canım aileme, bu zorlu ve yorucu dönemde de her zaman olduğu gibi, her an sevgisini ve desteğini hep yanımda hissettiğim sevgili eşim Rengin YILDIZ'a ve dünyaya gelişiyle bana uğur getiren ve hayatımıza anlam katan biricik oğlum Ahmed Erdem'e,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım...

Bu Doktora Tezi Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri

Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

Proje No: DİŞ.16.006

İÇİNDEKİLER

Ön Sayfalar	Sayfa No
Kapak	
İç Kapak	
Kabul ve Onay Sayfası.....	I
Beyan Sayfası.....	II
Teşekkür Sayfası	III
İçindekiler Dizini	IV
Resimler Dizini	VII
Şekiller Dizini	IX
Tablolar Dizini	X
Grafikler Dizini	XI
Simgeler ve Kısaltmalar Dizini.....	XII
Türkçe Özet.....	XIII
İngilizce Özet	XV
1. Giriş ve Amaç.....	1
2. Genel Bilgiler	4
2.1. Mikrobilgisayarlı Tomografi.....	4
2.1.1. Mikrobilgisayarlı Tomografinin Diş Hekimliğinde Kullanım Alanları.....	5
2.1.1.1. Kök Kanal Morfolojisinin Değerlendirilmesi	6
2.1.1.2. Kök Kanal Şekillendirilmesinin Değerlendirilmesi	8
2.1.1.3. Kök Kanal Dolgusunun Değerlendirilmesi	8
2.1.1.4. Tekrarlayan Tedavi İşlemlerinden Sonra Kök Kanalında Kalan Dolgu Materyalinin İncelenmesi	9
2.1.1.5. İmplant ve İmplant Çevresindeki Kemiğin Değerlendirilmesi	10
2.1.1.6. Kafa – Yüz Kemiklerinin Gelişimlerinin Değerlendirilmesi	10
2.1.1.7. Doku Mühendisliğinde Mikro BT İle Değerlendirilmesi.....	11
2.1.1.8. Mine Kalınlığının Ölçülmesi.....	11
2.1.1.9. Dişlerin Mineral Konsantrasyonu	13
2.1.2. Mikro BT’nin Getirdiği Yenilikler ve Bakış Açısı	14

2.2. Diş Gelişimi (Odontogenezis)	16
2.2.1. Büyüme	18
2.2.2. Apozisyon.....	21
2.2.3. Kalsifikasyon.....	21
2.2.4. Sürme.....	22
2.2.5. Mine.....	24
2.2.5.1. Minenin Bileşenleri	25
2.2.5.2. Mine Dokusu Histolojisi	26
2.2.6. Diş Sert Doku Aşınmaları	27
2.2.6.1. Dişlerde Abrasyon.....	27
2.2.6.2. Atrizyon.....	28
2.2.6.3. Erozyon	28
2.2.6.4. Abfraksiyon	29
2.2.7. Dentin	30
2.2.7.1. Primer Fizyolojik Dentin.....	30
2.2.7.2. Sekonder Fizyolojik Dentin.....	31
2.2.7.3. Tersiyer Dentin (Reparatif dentin, Reaksiyoner dentin)	32
2.2.7.4. Predentin.....	33
2.2.7.5. Peritübüler Dentin (İntratübüler Dentin).....	34
2.2.7.6. İntertübüler Dentin	34
2.2.7.7. İnterglobüler Dentin	35
2.2.7.8. Sklerotik Dentin	35
2.2.7.9. Dentinogenezis	35
2.2.8. Pulpa-Dentin Kompleksi	37
3. Gereç ve Yöntem	39
3.1. Çalışmada Kullanılacak Olan Diş ÖrneklerininToplanması	39
3.2. Hazırlanan Çalışma Gruplarındaki Örneklerin Mikro BT Cihazı ile Taranması	40
3.2.1 Görüntü Rekonstrüksiyonu.....	42
3.2.1.1 CTAn Software Programı.....	42
3.3. Mikro BT ile Taranan Gruplardaki Örneklerin Analizlerinin Yapılması.....	43
3.3.1. Çalışmamızda Kullanılan Karşılaştırma için Dişlerin Kron Hacimlerinin Hesaplanması.....	45

3.3.2. Çalışmamızda kullanılan Dişlerin Yoğunluklarının ölçülmesi	49
3.4. İstatistiksel İnceleme	54
4. Bulgular	55
5. Tartışma	63
6. Sonuç ve Öneriler	77
7. Kaynaklar.....	79
8. Özgeçmiş.....	87
9. Orijinallik Raporu.....	88



RESİMLER DİZİNİ

- Resim 1:** Çalışmamızda kullanılmış olan diş örnekleri. a:Grup 1, b:Grup 2.
- Resim 2:** Mikro BT Cihazı (Skyscan 1172, Bruker, Belgium).
- Resim 3:** Cihazın iç haznesine sabit pozisyonda durması için peçete rulosu içine yerleştirilmiş olan örnek dışın görünümü.
- Resim 4:** Örnek tutucusu.
- Resim 5:** Örnekler mikro BT cihazı ile taranırken elde edilen görüntü verileri bilgisayar ortamında kaydedilir.
- Resim 6:** Data Viewer Software programı çalışma ekranı
- Resim 7:** Kalibrasyon sağlamak için fantom çubuklarından DataViewer Software programı ile alınmış kesit görüntüsü. (a:3 boyutlu fantom çubuğu görüntüsü, b:sagital kesit, c:aksiyal kesit, d:koronal kesit)
- Resim 8:** Grup 2’den alınmış bir örneğin, DataViewer Software programı ile alınmış kesit görüntüsü. (a:3 boyutlu fantom çubuğu görüntüsü, b:sagital kesit, c:aksiyal kesit, d:koronal kesit)
- Resim 9:** Grup 2’den alınmış bir örneğin, DataViewer Software programı ile alınmış kesit görüntüsü. (a:3 boyutlu fantom çubuğu görüntüsü, b:sagital kesit, c:aksiyal kesit, d:koronal kesit)
- Resim 10:** CTAnsoftware programının ana çalışma ekranı görüntüsü.
- Resim 11:** CTAn Software programı ile çalışılacak dışın çalışma alanının belirlenip sınırlandırılması.
- Resim 12:** CTAn verilerinden volumetrik üç boyutlu verilerin elde edilmesi için kullanılan CTvol programı çalışma ekranı.
- Resim 13:** CTAn verilerinden CTvol programı ile elde edilmiş olan çalışma gruplarına ait bir dışın kron kısmının CTvol programı ile üç boyutlu volumetrik görüntüsü.
- Resim 14:** CTvol programı ekranında kron içerisindeki pulpa dokusunun volumetrik görüntüsü.
- Resim 15:** CTvol ekranında çalışmada kullanılan bir örnekte dışın kron, mine dentin ve pulpa dokularının ayrıştırılmış görüntüsü.
- Resim 16:** Mikro BT ekranında fantom çubuklarının sagital-koronal ve aksiyal görüntüsü.

- Resim 17:** CTAn programı ekranında 0.25 g.cm^{-3} yoğunluktaki fantom çubuğu için 0,00905 olan kalibrasyon değerinin görünümü.
- Resim 18:** CTAn programı ekranında 0.75 g.cm^{-3} yoğunluktaki fantom çubuğu için 0,01948 olan kalibrasyon değerinin görünümü.
- Resim 19:** CTAn programında belirlenen kalibrasyon değerlerinin sisteme yüklenmesi.
- Resim 20:** CTAn Software programı ile koronal üçlü bölümünün ayrıştırılması.
- Resim 21:** CTAn programı ile okluzal üçlü yoğunluk hesaplanması görünümü.
- Resim 22:** CTAn programı ile orta üçlü yoğunluk hesaplanması görünümü.
- Resim 23:** CTAn programı ile apikal üçlü yoğunluk hesaplanması görünümü.



ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 1:** Mikrotomografi şematik diagramı
- Şekil 2:** Diş oluşumundaki histolojik evreler A) Diş oluşumunun başlangıcı B) Tomurcuk evresi C) Şapka evresi D-E-F) Çan evresi G) Kök oluşumu
- Şekil 3:** Diş gelişiminin şapka evresi
- Şekil 4:** Dişin yaşam döngüsünün appozisyon evresinin şematik görünümü
- Şekil 5:** Dişin yaşam döngüsünün kalsifikasyon evresinin şematik görünümü
- Şekil 6:** Dişin yaşam döngüsünde sürme evresinin şematik görünümü
- Şekil 7:** Primer ve sekonder dentinin şematik gösterimi
- Şekil 8:** Peritübüler ve intertübüler dentinin şematik gösterimi

TABLolar DİZİNİ

- Tablo 1:** Ameleogenesis evrelerindeki tavşan keser minesinin kompozisyonunun yüzdelik dağılımı
- Tablo 2:** Çalışma grupları
- Tablo 3:** 1; Grup 1 ve 2; Grup 2 Dişlerden elde edilen yoğunluk ve standart sapma değerleri.
- Tablo 4:** Yoğunluk değerlerinin t- testine göre analizi sonuçları. Bütün değişkenler açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadı $p>0.05$.
- Tablo 5:** Gruplardaki tüm dişlerin ortalama dentin ve mine yoğunluk ve standart sapma değerleri arasında fark görüldü.
- Tablo 6:** Gruplardaki tüm dişlerin ortalama dentin ve mine yoğunluklarının t- Testi ile analiz sonuçlarına göre farklılık bulundu.*
- Tablo 7:** 1; Grup 1, 2; Grup 2 Ortalama pulpa, mine ve dentinin hacminin kron hacmine göre yüzdelik hacim ve standart sapma değerleri arasında bütün gruplar arasında fark görüldü.
- Tablo 8:** Pulpa, mine ve dentin hacimlerinin kron hacmine göre yüzdelik oranları bakımından t- testi analiz sonuçlarına göre farklılık görüldü.

GRAFİKLER DİZİNİ

- Grafik 1:** Grup 1 ve Grup 2 mineral yoğunluk değerlerinin değişimi
- Grafik 2:** Gruplardaki tüm dişlerin farklılık gösteren ortalama mine ve dentin yoğunluklarının grafiksel görünümü.
- Grafik 3:** Gruplar arasında istatistiksel olarak farklılıklar bulunan dentin hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranının grafiksel görünümü.
- Grafik 4:** Pulpa dokusu hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranının gruplar arasında değişiminin grafiksel görünümü.
- Grafik 5:** Mine dokusu hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranının değişim grafiği.



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

BT:	Bilgisayarlı tomografi
KIBT:	Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi
µm:	Mikrometre
cm:	Santimetre
mm:	Milimetre
ml:	Mililitre
nm:	Nanometre
g:	Gram
TGF-β :	Transforming büyüme faktörü-Beta
BMP:	Kemik morfogenetik protein
%:	Yüzde
p:	Anlamlılık derecesi
< :	Küçüktür
> :	Büyüktür
Std.:	Standart
mm³:	Milimetre küp
3D:	Üç boyutlu
2D:	İki boyutlu
TIFF:	Tagged image file format

**Ortodontik ve Periodontal Tedavi Amacıyla Çekilmiş Daimi Premolar Dişlerde
Mikro Bilgisayarlı Tomografi Yardımıyla Mine ve Dentin Dokusunun Mineral
Yoğunlukları İle Hacim Değerlerinin Karşılaştırılması**

Öğrencinin Adı ve Soyadı: Şemsettin YILDIZ

Danışman: Prof. Dr. İzzet YAVUZ

Anabilim Dalı: PEDODONTİ

ÖZET

Amaç: Çalışmamızın amacı; genç ve erişkin bireylerde ortodontik ve periodontal sebeplerle çekilmiş dişlerin mikro bilgisayarlı tomografi kullanılarak mine-dentin dokularının hacimlerinin ve mineral doku yoğunluklarının ölçülebilirliğini göstermektir.

Gereç ve Yöntem: Ortodontik ve periodontal problemler nedeniyle çekilmiş çürüksüz dişler kullanılmıştır. Dişler, Dicle Üniversitesi Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalına başvuran hastalardan elde edilmiştir. Dişler İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde mikro BT (Skyscan 1172, Bruker, Belgium) cihazıyla taranmıştır. Mikro BT ile taranan örneklerin görüntü verilerinin bilgisayar ortamında CTAn programı yardımıyla, mine, dentin dokularının hacimlerinin hesaplanması ve mineral yoğunlukları tespit edildi.

Bulgular: Gruplar arasında yapılan karşılaştırmalarda ortodontik tedavi amacıyla çekilmiş olan genç maksiller 1. premolar dişlerin (grup 1) mine ve dentin dokularının okluzal, orta, apikal bölge mineral yoğunluk değerleriyle, periodontal tedavi amacıyla çekilmiş olan dişler (grup 2) kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir ($p>0,05$). Ayrıca ortalama mine ve dentin dokusunun mineral yoğunluk değerleri kıyaslandığında istatistiksel bir fark görülmemiştir.

Gruplar kendi aralarında karşılaştırılmalarında mine, dentin ve pulpa hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranı arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0.05$). Grup 1 dişlerin mine ve pulpa hacminin kron

hacmine göre yüzdelik oranı grup 2 dişlere göre daha fazla olmasına rağmen dentin hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranı daha azdır.

Sonuç: Mikro BT tekniğinin, diş dokularında zamanla görülen hacimsel değişimlerin ve hassas ve doğru bir şekilde ölçüm yapılabilecek bir görüntüleme yöntemi olduğunu düşünmekteyiz. Bununla birlikte mikro BT ile çalışma gruplarındaki mine ve dentin dokularındaki yoğunlukların güvenilir bir şekilde ölçülebileceği sonucuna vardık.

Anahtar kelimeler: Mikro bilgisayarlı tomografi, hacim, mineral yoğunluk, mine, dentin.



**Comparision of Mineral Densities and Volume Values of Enamel and Dentine
Tissue by The Help of Micro CT in Permanant Premolar Teeth Which Were
Extracted For Ortodontic and Periodontal Treatment**

Student's Surname and Name: YILDIZ ŞEMSETTİN

Adviser of Thesis: Prof. Dr. İzzet YAVUZ

Department: PEDIATRIC DENTISTRY

ABSTRACT

Aim: The object of our study is; demonstrate the measurement of the volume of enamel-dentine tissues and the mineral tissue densities using micro CT of teeth extracted by orthodontic and periodontal reasons in young and adult individuals.

Materials and Method: Non-decayed teeth are used which are extracted for orthodontics reasons or periodontal problems. The teeth are supplied from patients consulted to Dicle University. Examples are scanned by the micro BT (Skyscan 1172, Bruker, Belgium) which is located in İnönü University. Enamel dentin tissue volumes are calculated and mineral densities are confirmed.

Results: As the result, comparisons between the study groups, there isn't statistically difference between occlusal, middle, apical mineral density values of enamel – dentin tissues belonging to young maxillary 1st premolar teeth which are extracted due to orthodontics treatments (Group 1) and the which are extracted due to periodontal treatments (Group 2). Besides there isn't statistical difference when the means of densities of enamel and dentin tissue are compared among the groups.

When the groups are compared by pair among themselves, statistically significant differences ($p < 0.05$) are found between the percentage of enamel, dentine and pulpa volume according to the volume of crone.

Conclusion: We have the opinion that Micro BT technique can sensitively and correctly measure the volume change of teeth tissue. Also, we have concluded that micro BT can measure the density of enamel and dentine tissues.

Key words: Micro- CT, volume, mineral density, enamel, dentin.



1. GİRİŞ ve AMAÇ

Son zamanlarda dijital tekniklerdeki yaşanan gelişmeler sayesinde diş hekimliği deneysel araştırmalarında mikro BT (mikro bilgisayarlı tomografi), kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır (1,2). Bilgisayarlı tomografi ile, X-ışınının bilgisayar teknolojisi ile beraber kullanılması sonucunda vücuttan kesitsel görüntüler alınır. Bilgisayarlı tomografi ile 1-2 mm kalınlıkta kesit alınmaktadır. Çözünürlüğü artırmak amacıyla kesitsel kalınlığı mikro metre cinsinden alınmasını sağlayan mikro BT cihazları geliştirilmiştir. Mikro BT ile 5-50 µm kalınlıkta kesit alınarak yüksek çözünürlükte taramalar mümkün olmaktadır (1,2,3).

Günümüzde mikro BT diş hekimliğinde, kök kanal morfolojisinin analizi, kök kanal şekillendirmesinin değerlendirilmesi, kök kanal dolgusunun değerlendirilmesi, retreatment tedavileri sonrasında kök kanalında kalan dolgu materyalinin incelenmesi, kafa yüz iskeletinin gelişiminin incelenmesi, implant ve kök çevresindeki kemiğin mikro yapısının değerlendirilmesi, mine kalınlığının ölçülmesi dişlerin mineral konsantrasyonunun belirlenmesi gibi birçok alanda yapılan in vitro çalışmalarda kullanılmaktadır (1,2,3).

Dişin kronu mine, dentin ve pulpadan oluşmaktadır. Olgunlaşmış mine vücudun en sert yapısıdır ve organik matriks yok denecek kadar azdır. Mine, dentin ve pulpa gibi canlı diş yapılarını korumakla birlikte, renk ve şekilleri nedeniyle estetik açıdan önemlidir (7). Mine dokusunun beyaz transparan üst yüzeyi, dentin dokusunu korumakta ve sertliği sayesinde gıdaların uygun olarak küçültülerek parçalanmasını sağlamaktadır. Mine, organik matriks yapısından gelişerek, mineralize olan ameloblast hücreleri tarafından oluşmaktadır. Mine dokusu, damarsız ve sinir paketi içermemektedir böylece yenilenme özelliği yoktur. Ayrıca sabit kalabilen bir doku değildir. Hayat boyunca çeşitli sebeplerden dolayı mineral değişikliğe uğramaktadır (7, 8,56).

Kemik ve diş dokusundaki mineral yoğunluk dağılımı bu yapıların mekaniksel özelliklerini etkilemektedir (108). Bundan dolayı diş dokusundaki mineral yoğunluk dağılımı klinisyenler ve araştırmacılar açısından önemlidir. Ayrıca yapılan çalışmalar sonucunda mineral yoğunluk miktarının diş çürümeleri açısından önemli bir faktör olarak görülmüştür. Bu sebeple diş dokularındaki mineral yoğunluk

miktarını ölçmek için birçok yöntem avantaj ve dezavantajlarından dolayı kullanılmıştır (15,115).

Dental sert dokulardaki mineral yoğunluk dağılımı ya direkt (kimyasal analiz) ya da indirekt yöntemlerle (kontakt mikro radyografi) ölçülebilmektedir. Son yıllarda tıbbi tomografinin küçük bir protitipi olan mikro BT ile diş sert dokularındaki mineral yoğunluğunun dağılımı doğru bir şekilde ölçülebilmektedir (45). Araştırmacılar tarafından diş ve kemik gibi sert dokuların mineral yoğunluğu ölçmek için iki yöntem altın standart olarak kabul edilmiştir. Bunlar histolojik/histomorfometrik analiz ve mikro BT yöntemidir (52).

Yaşla beraber mine yüzeyinde çiğnemenin etkisiyle aşınmalar (abrazyon, erozyon, atrizyon, abfraksiyon) olmaktadır. Buna ek olarak minenin renginde solma ve geçirgenliğinde azalma olmaktadır (8,10).

Dentin, dişin en hacimli mineralize dokusudur ve bir bağ dokusu olarak kabul edilebilir. Histolojik olarak ilk oluşan dentin yapısı primer dentindir. Primer dentin; diş formasyonu sırasında mine ya da sement apozisyonu ile birlikte hızlı bir şekilde oluşur. Primer dentin formasyonundan sonra hayatın devamında fizyolojik sekonder dentin; bariz bir diş uyaran olmaksızın nispeten yavaş apozisyon sonucu oluşmaktadır. Pulpa odasının tüm iç duvarlarında özellikle de pulpa odasının tavanı ve tabanı üzerinde daha fazla sekonder dentin birikimi ile pulpa odasının hacminde azalmalar gözlenmektedir (55). Diş çürüğü ve dişlerde bazı sebeplerden dolayı oluşan aşınmalardan ötürü sekonder dentin oluşumu hızlanır. Bu oluşan dentin tersiyer ya da reaksiyoner dentin olarak adlandırılır ve travma alanında sınırlı kalır (86). Buna ek olarak dentin dokusundaki odontoblast uzantılarının verdiği bir cevap sonucunda dentin sklerozu oluşmaktadır. Dentin sklerozunda temel olarak, dentin kanalcıklarına minerallerin dolması sonucunda kanalcıkların daralması veya tıkanmasıdır (87).

Diş tedavilerinde, diş anatomisi ve dişi oluşturan bütün dokular hakkında bilgi sahibi olmak, tedavinin başarısı açısından önemli yer tutmaktadır. Bu amaçla dişi oluşturan yapıların hacmini ve morfolojisini incelemek amacıyla birçok yöntem kullanılmıştır. Mikro BT'nin diğer yöntemlere nazaran uygulanmasının kolay olması ve örnekler üzerinde geri dönüşümsüz bir değişiklik oluşturmadığı için ve ayrıca cisimlerin yapısını yüksek çözünürlükte, mikron düzeyde incelemeye imkan sağlar.

Mikrobilgisayarlı tomografiler kullanılarak, mine, dentin dokuları ve pulpa odası hacim ölçümleri güvenli bir şekilde hesaplanabilmektedir (36,55, 105).

Bu tez çalışmasının amacı; genç ve erişkin bireylerde ortodontik ve periodontal sebeplerle çekilmiş dişlerin mikro bilgisayarlı tomografi kullanılarak elde edilen görüntü verileri ile mine-dentin dokularının hacimlerinin ve mineral doku yoğunluklarının ölçülebilirliğini göstererek elde edilen değerlerin karşılaştırılmasıdır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Mikrobilgisayarlı Tomografi

Röntgen tarafından 1895 yılında x ışınlarının keşfi ile birlikte, vücudun non - invaziv olarak iç yapısının görülmesini mümkün kılan bu teknoloji, teşhise dayalı tıpta büyük bir devrim niteliği taşımaktadır (2,6,5). Bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle deneysel araştırmalarda dijital tekniklerin önemi artmıştır. Bilgisayarlı tomografi, X-ışınının bilgisayar teknolojisi ile birleşmesinin sonucu vücudun kesitler şeklinde görüntü alınmasını sağlar (1). 20. Yüzyıla gelindiğinde, radyolojik datalar kullanılarak uygun üç boyutlu görüntü elde edilmesi arayışını girilmeye başlanmıştır.

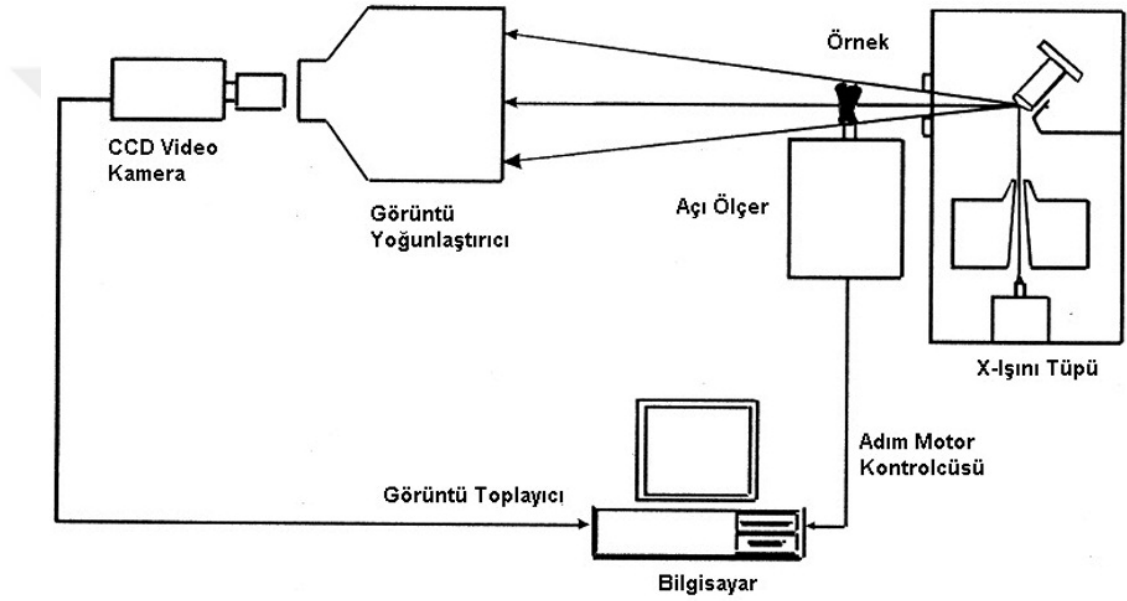
İlk olarak İngiliz mühendis Godfrey Hounsfield 1970’lerde bilgisayarlı tomografi taraycısını geliştirerek bu konuda en önemli adımı atmıştır. (2).

İlk yapılan üç boyutlu görüntülemeler, iki boyutlu aksiyel kesitlerin üst üste toplanarak iki boyutlu rekonstrüksiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Böyle bir durumda tarama zamanında uzama, görüntüde distorsiyonlar, artifaktlar, düşük çözünürlüklü görüntülerin oluşmasına neden olabilmekte. Teknolojinin zamanla gelişimiyle beraber çok daha az radyasyon dozlarıyla kabul edilebilir kalitede görüntü veren cihazlar geliştirilmiştir (11).

Mikrotomografi sistemi, 1980’li yılların başına gelindiğinde, ilk defa Jim Elliott tarafından geliştirilmiştir ve 50 μm çözünürlüklü bir küçük tropik yılan ilk olarak değerlendirilmiştir (1). Rhodes, 1999 yılında mikrotomografiyi deneysel endodonti çalışmalarında çok daha kullanışlı ve yenilikçi bir yöntem olarak tanımlayarak örnekleri incelemek amacıyla kesit almıştır. BT ile 1 mm^3 vokselle boyutlarında kesit alarak görüntüler elde edilirken, mikro BT’ler ile 5-10 μm^3 vokselle boyutlarında tarama yapılarak daha iyi bir çözünürlükte veriler elde edilmektedir. Böylece BT’den 1.000.000 kez daha küçük alanların görüntülenmesi mümkün olabilmekte ve alınan kesit sayısının çokluğu örnekten daha fazla bilginin alınmasını sağlayarak detaylı bir şekilde inceleme yapılabilmektedir. Bunlar araştırmacılar açısından devrim niteliğinde büyük bir gelişme olarak görülmüştür (1,2).

Çeşitli bilgisayar programlarından faydalananarak, mikro BT’den elde edilmiş olan veriler kullanılarak, üç boyutlu görüntüler oluşturulup istenilen bölgeler daha iyi incelenebilmektedir. Bu işlem yeniden yapılandırma olarak tanımlanır ve ‘3D rekonstrüksiyon’ olarak adlandırılır.

Mikro BT, genel yapı olarak BT'nin protitipine benzemektedir. Mikrotomografi cihazının ana parçalarını X-ışını tüpü, cihazın haznesine sabitlenen, örneği belirli periyotlarda çeviren ve bilgisayardan kontrol edilen bir adım motoru, ortamda bulunan X-ışınını kamera sensörü üstüne yoğunlaştırmak amacıyla kullanılan görüntü yoğunlaştırıcı, üzerine düşmüş olan X-ışınlarının görüntü verisine çevrilmesi için bir CCD kamera, elde edilmiş görüntülerin toplanmasını sağlayan görüntü toplayıcısı ve bütün bunları kontrol etmek için bir bilgisayar sistemi oluşturmaktadır (Şekil 1) (12).



Şekil 1. Mikrotomografinin şematik diagramı (1)

2.1.1. Mikrobilgisayarlı Tomografinin Diş Hekimliğinde Kullanım Alanları

İlk üretilmiş olan mikro BT'nin geniş kapsamlı bir kullanım alanı yoktu ve özel olarak yapılmaktaydı. Son yıllarda ticari amaçla üretilmeye başlanmış olan kompakt cihazlar, akademik çalışmalar ve endüstriyel araştırma laboratuvarlarının önemli bir parçaları haline gelmiştir ve yaygın olarak kullanılmaktadır (13).

Mikro BT kullanarak diş ve kemik gibi sert dokuları, seramikler, polimerler, ya da biyo-materyeller direkt olarak incelenebilmesi mümkündür (14,15). Bununla birlikte teknolojinin gelişimiyle birlikte yeni nesil mikro BT'lerin geliştirilmesi ile

küçük hayvanların canlı olarak in- vivo ortamda incelenmesini mümkün kılmaktadır (16,17). Miko BT'nin yumuşak doku kontrastı düşük olmasına rağmen, osmium, gümüş, altın, iodin gibi problemlerin kullanımıyla birlikte bu problem başarılı bir şekilde çözülmüştür (18).

Son yıllarda mikro BT diş hekimliği çalışmalarında giderek yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle kök kanal morfolojisinin analizinde, kök kanal şekillendirilmesinin değerlendirilmesi, tekrarlayan tedavi işlemlerinden sonra kök kanalında kalan dolgu materyalinin incelenmesi, kafa yüz iskeletinin gelişiminin incelenmesi, implant ve kök çevresi kemiğinin değerlendirilmesi, mine kalınlığının ölçülmesi, dişlerin mine konsantrasyonunun belirlenmesi gibi bir çok alanda yapılmış olan in-vitro çalışmalarda mikro BT' den faydalanılmaktadır (1,2,3,4,5,6).

2.1.1.1. Kök Kanal Morfolojisinin Değerlendirilmesi

Kök kanal morfolojisi oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Birden fazla foramen, genellikle ağ şeklinde olan bağlantılar, istmuslar ve lateral kanallar gibi düzensiz oluşumlar kök kanal morfolojisini oluşturmaktadır. Klinisyen için başarılı bir endodontik tedavi yapabilmek için kök kanal sistemlerinin üç boyutlu morfolojik özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak başarı için önemli bir kriterdir. Kök kanal yapısının morfolojik özellikleri geleneksel klinik radyografi ile sadece iki boyutlu görüntüler alınabilmektedir. Ayrıca dişlerin iç anatomisi hakkında bilgi almak için yapılan in- vitro çalışmalar örnekler üzerinde geri dönüşümsüz değişikliklere sebep olmaktadır. Geleneksel BT, bu amaç için invaziv olmayan bir yöntemdir. Ancak geleneksel BT ile elde edilen kesit kesit kalınlığı fazla ve bundan dolayı görüntülerin çözünürlüğü düşüktür (1,3).

Mikro BT sistemleriyle beraber, kök kanal sistemlerine zarar verilmeden etkili bir şekilde incelenebilmektedir. Bir mikro BT taramasıyla çok fazla bilgi elde edilebilmekte; elde edilmiş olan kesitler herhangi bir düzlem üzerinde yeniden oluşturularak ve veriler 2 veya 3 boyutlu görüntü şeklinde elde edilmektedir. İç ve dış yapılar aynı zamanda veya ayrı ayrı olarak da görüntülenebilir. Örneklerden alınan görüntüler nicel ve niteliksel açıdan incelenebilmektedir (19,20).

Bazı araştırmacılar, kök kanal sistemini oluşturan yapıların morfolojik özellikleri ve pulpa odasının değerlendirilmesi amacıyla mikro BT'den

faydalanmışlardır. Bu taramalar sonucunda elde edilen görüntülerle pulpa boşluğunun şekli, pulpa odasının tavan ve taban bölgeleri, pulpa boynuzlarındaki hacim oranları ve kök kanallarının bukkal ve lingual ağızlarının çapları araştırılıp değişik yaş gruplarındaki farklılıklar kıyaslanmıştır. Bir dişi oluşturan tüm yapılar 3 boyutlu bir şekilde elde edilebilir, Dişin hem iç hem de dış yapısını doğru bir şekilde değerlendirmek amacıyla, dişin sert yapıları saydam ve pulpa odası opak yapılarak yeniden yapılandırılmaktadır. Kök ile kronun iç ve dış morfolojisi arasındaki ilişki araştırılabilir (21).

Dişlerin anatomisindeki farklılıklar, kök kanal tedavisinin başarısında önemli bir etkidir. Kök kanal sisteminin en karmaşık anatomik farklılıklardan biri de C-şekilli kanallardır. Genellikle alt 2. büyük azı dişlerde mevcut olup kanal tedavisinde çeşitli zorluklar oluşturur. Bu sebepten dolayı bu kanallardaki anatomik değişiklikler ve morfolojik yapısı başarılı bir tedavi için aydınlığa kavuşması gerekmektedir. Bu amaçla C-kanallı dişler hakkında bilgi sahibi olmak için mikro BT sistemlerini kullanarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır (22).

Endodontik tedaviler yaygın olarak üst 1. büyük azı dişlere uygulanabilmektedir. Ancak kök kanal yapısı farklılıklar gösterdiğinden tedaviyi etkilemektedir. Genelde üç kanal ve üç köke sahip olarak kabul edilen üst 1. büyük azı dişlerin kanal konfigürasyonu ve sayıları uzun süredir tartışma konusu olmuştur. Günümüzde yapılan çalışmalarda üst 1 büyük azı dişin meziobukkal kökünde ikinci kanal varlığı % 56.8 – 96.1 oranları arasında değiştiği görülmüştür. Üst birinci büyük azıların meziobukkal kanalın palatinalinde lokalize olan ikinci kanal mikro BT ile elde edilen görüntülerde kolaylıkla tespit edilebilmiştir (1).

Mikro BT ile gelişimsel dental anomaliye sahip dişlerin morfolojisinin incelenebilmesi ve anlaşılmasına olanak tanımaktadır. Üst lateral dişlerdeki mevcut olan radiküler groove morfolojisinin araştırıldığı çalışmalar vardır (3).

Bundan dolayı, mikro BT ile elde edilen datalarla deneysel endodonti biliminde kök kanalının internal ve eksternal morfolojisinin daha ileri düzeyde analiz edilebilmektedir. Preklinik eğitimi için değerli bir kaynak görevi görmektedir (3).

2.1.1.2. Kök Kanal Şekillendirilmesinin Değerlendirilmesi

Endodontik başarı birçok faktöre bağlıdır. En önemli basamağı olarak kök kanal şekillendirilmesi kabul edilmektedir. Başlangıçta doğru bir şekilde yapılmış olan şekillendirme sonraki diğer aşamaların başarısını etkilemektedir (5).

Geliştirilmiş kök kanal aletleriyle beraber, kök kanal şekillendirilmesinin etkinliği oldukça artmaktadır. Ancak farklı kanal aletlerinin etkinliğini değerlendirmek ve kıyaslamak oldukça zordur. Bununla birlikte kanal şekillendirilmesinin üç boyutlu incelenmesi mikro BT sayesinde kolaylaşmıştır. El eğelerinin ve Ni-Ti döner eğelerin kök kanal şekillendirmesi yapılırken kök kanal yapısında meydana getirdiği değişiklikleri inceleyen ve kıyaslayan birçok çalışma vardır. İşlem öncesinde ve sonrasında kök kanalının yüzey alanının hacmi ve miktarı, uzaklaştırılmış olan dentin hacmi miktarı, kanal çapı, prepare edilmiş yüzey alanı, kanal transportasyonu, kurvatür, yapı modeli indeksi benzeri birçok farklılığı ölçülebilmektedir (3,23).

Mikro BT ile, değişik ege sistemlerinin etkinliklerinin, kanal preparasyonun öncesi ve sonrasında tarama yapılarak kıyaslanabilmekle birlikte, aynı tip eğelerin daha büyük çapta olanları kullanıldığı takdirde, aşamalı olarak yapılmış olan farklılıklar da gözlemlenebilmektedir. Yapılmış olan bir çalışmada eğri kök kanalların apikalinde yapılmış olan genişletme miktarının arttırılmasına rağmen istenilen miktarda debridman sağlanamamakla birlikte gerekli olmayan dentinin uzaklaştırıldığı sonucuna varılmıştır (3).

2.1.1.3. Kök Kanal Dolgusunun Değerlendirilmesi

Bakteri ve bakteri toksinlerinin periapikal dokuları etkilemesini önleyecek şekilde kök kanallarını üç boyutlu olarak iyi bir şekilde tıkayabilen kanal dolguların yapılabilmesi, başarılı bir kanal tedavisinin olmazsa olmazlarından biri olarak kabul edilmektedir (24,25). Bu amaçla kanal dolgu patları geliştirilmiştir. Dolgu patları gutaperka ve dentin duvarları arasındaki boşlukları doldurarak tekrar kanalların enfekte olmasını engellemektedir (26).

Birkaç yöntem kök kanal patının kalitesini değerlendirmek amacıyla araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Genel olarak endodontik araştırmaların çoğu mikrosızıntı üzerine yoğunlaşmaktadır. Çoğu zaman mikrosızıntı çalışmalarında,

sızıntının incelenmesi amacıyla doldurulmuş olan kanallardan yatay veya dikey kesitler alınarak değerlendirilmektedir. Bu işlem esnasında örneklerde madde kaybı olmaktadır. Sıvı filtrasyon yöntemi ile cam tüp içindeki sıvının hareketine bakılarak sızıntı miktarı dolaylı olarak ölçülebilir. Kök kanal dolgu patının kalitesini değerlendirmek amacıyla kök dentininin şeffaflaştırılması yapılarak incelenebilir. Ayrıca radyografi kullanarak kanal dolgu patı da değerlendirilebilir.

Mikro BT ile kök kanal patının değerlendirilmesinde diğer yöntemlerin aksine örnekler üzerinde geri dönüşümsüz bir değişiklik yapmadığı için bu yöntemlere göre üstün kabul edilmiştir (1,27).

2.1.1.4. Tekrarlayan Tedavi İşlemlerinden Sonra Kök Kanalına Kalan Dolgu Materyalinin İncelenmesi

Tekrarlayan tedavi yöntemlerinin başarısını değerlendirmede göz önünde bulundurulması gereken etkenlerden biri de kök kanal duvarının etkili bir şekilde temizliğinin yapılmış olmasıdır. Literatürde kanal duvarının temizliğini araştırmak amacıyla 2 boyutlu fotoğrafik teknikler ve 3 boyutlu mikro BT gibi farklı teknikler bu amaçla kullanılmıştır. Fotoğrafik yöntemlerde iki ayrı açıdan dijital radyograf ya da görüntü alınmasından sonra bir bilgisayar programından faydalanılarak ölçümler yapılabilmektedir.

Son zamanlarda mikro BT, tekrarlayan tedavilerde şekillendirme tekniğinin etkinliğini değerlendirmede sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Mikro BT ile elde edilen verilerle, kök kanal dolgusu uzaklaştırılmadan öncesi ve sonrasında, kanal konfigürasyonunu kıyaslamak ve kök kanal anatomisinde meydana gelen farklılıklar da incelenebilmektedir. Buna ek olarak yapılan tedavi sırasında uzaklaştırılan dentin miktarı, kök dolgularındaki kalan boşluklar ve tekrarlayan kök kanal tedavisinde sonra kalan dolgu patının miktarı incelenebilmektedir (1).

Hammad ve ark. mikro BT ile yaptıkları bir çalışmada değişik dolgu patları ile doldurulmuş olan kanalların tekrarlanmış olan tedavilerinde, ProTaper ve el eğeleri ile yapılmış olan retreatment tedavisine olan etkinliklerini kıyaslamışlardır (28).

2.1.1.5. İmplant ve İmplant Çevresindeki Kemiğin Değerlendirilmesi

İmplantın osteointegrasyonun ve stabilitesinin ölçümü, implant tedavisinin başarısında etkili bir faktör olarak görülmektedir. İmplantın stabilitesi, implant-kemik bağlantı yüzeyindeki mekanik özellikler, implant yüzeyi ve kemik arasındaki bağlantının özellikleri sayesinde belirlenmektedir. Ara yüzdeki osteointegrasyon sıklıkla histomorfik teknikle incelenir. Fakat bu teknik yıkıcı bir yöntem olmasının yanında aynı örnekler başka bir ölçüm için kullanılamaz. Mikro BT kemik yapısının değerlendirilmesi için yıkıcı olmayan hızlı ve güvenilir bir teknik olarak kabul edilmektedir (22).

Son zamanlarda mikro BT yaygın olarak, implant ve implantın çevresindeki kemiğin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda yaygın bir kullanım yöntemi haline gelmiştir. Bazı araştırmacılar mikro BT'yi bu amaçla kullanarak kabul edilebilir sonuçları bulmuşlardır (29,30).

Üç boyutlu mikro BT'den elde edilen verilerle, sonlu eleman analizi yapılarak implantın kortikal ve trabeküler kemikte meydana getirdiği stresleri değerlendirilebilir (32).

2.1.1.6. Kafa – Yüz Kemiklerinin Gelişimlerinin Değerlendirilmesi

Yüksek çözünürlüklü mikro BT ile kraniofasial iskeletin büyüme ve gelişimini incelemek mümkündür (2). Mikro BT'nin üstün özelliklerinden dolayı kemik yapısının gelişiminin ölçülmesinde altın standart yöntemlerden biri olarak kabul edilmiştir (5). Kök çevresindeki kemik yıkım miktarını mikro BT kullanarak niceliksel olarak ölçmek mümkündür (1).

Mulder ve ark. mikro BT kullanarak domuz kondilindeki mineralizasyonu, yapısı ve trabeküler kemikteki gelişimi değerlendirmiştir. Bu çalışma sonucunda mandibulanın kondil bölgesinde gerçekleşen remodeling şekli anterior ve posteriorda farklı olduğu ve kondilin posterioru anteriora göre daha fazla büyüdüğü izlenmiştir. Ayrıca kondildeki mineralizasyon miktarının posterior ve anteriorda aynı olduğu görülmüştür.

2007 tarihinde Renders ve ark. yaptıkları bir çalışmada, insan mandibuler kondillerindeki porözite miktarını mikro BT'den faydalananak değerlendirilmişlerdir.

Trabeküler kemikteki meydana gelen remodeling miktarının kortikal kemiğe göre daha çok olduğunu belirtmiştir (33).

2.1.1.7. Doku Mühendisliğinde Mikro BT ile Değerlendirilmesi

Doku mühendisliği genel olarak fonksiyonunu kaybetmiş bir dokunun veya organın tekrardan fonksiyon görmesini hedefleyen multidisipliner bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Doku iskeletini oluşturmuş olan materyallerin araştırılması için mikro BT'nin doku mühendisliğinde kullanımı son zamanlarda popüler bir yöntem olarak görülmüştür. Üç boyutlu mikro BT temel olarak; doku iskeletini oluşturan malzemelerin özelliklerinin değerlendirilmesinde polimerik ve kalsiyum fosfat gibi materyallerin kemik büyüme miktarı in-vitro olarak incelenmesi amacıyla kullanımı yaygınlaşmıştır (34).

Üç boyutlu alınan görüntüler iki boyutlu görüntülere nazaran daha etkili bilgiler elde edilebilmektedir. Mikro BT, kazanılmış dokuların incelenmesi mümkün olmakla birlikte, kaybedilen doku iskeleti materyalleri hakkında da bilgi elde edinmeyi de mümkün kılmaktadır (35).

Dursun ve ark. mikro BT'den faydalananarak, farklı greft materyallerini kullanarak pöröz titanyum granüllerinin sinüs augmentasyonu üzerindeki etkinliğini kıyaslamışlardır. Yeni kemik oluşumu için pöröz titanyum granüllerin yer açtığı ve bu materyalin uzun dönemde etkili olabileceği sonucuna varılmıştır (2).

Acar ve ark. yaptıkları bir çalışmada mikro BT kullanarak hidroksiapatit /beta- trikalsiyum fosfat ve trombosit zengin fibrinin tavşan kalvarial kemikler üzerindeki rejenerasyon etkinliğini değerlendirmişlerdir (3).

2.1.1.8. Mine Kalınlığının Ölçülmesi

Mine kalınlığının ölçülmesi, uzun zamandır antropolojik araştırmalarda ve insan evriminin değerlendirilmesi açısından kullanılacak iyi bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Genel olarak araştırmacılar fiziksel kesit alma yöntemini kullanmakla beraber başka yöntemler de günümüze kadar kullanılmıştır. Özellikle soyu tükenmekte olan ya da tükenmiş olan fosiller örneklerine zarar verdiği için fiziksel kesit alma yöntemi eleştirilere sebep olan yıkıcı bir yöntem olarak düşünülmüştür (3). Son yapılan araştırmalarda bilgisayarlı tomografi yardımıyla da mine kalınlığı

ölçülmüştür. Fakat düşük çözünürlük ve görüntü kalitesinin iyi olmaması sebebiyle istenilen bilgi yeterli olmamıştır (36). Bundan dolayı arkeolojik örneklerin mine kalınlığını ölçmek ve internal anatomik yapısını değerlendirmek için mikro BT kullanımı doğru bir yöntem olarak kabul edilmiştir (37, 38).

Mikro BT ile diş mine kalınlığı ölçümlerini fiziksel kesit alma tekniği ile karşılaştırılmıştır. Bütün örnekler her iki teknikle incelenmiş. Elde edilen veriler ışığında, mikro BT ile yapılan ölçümlerin fiziksel kesit alma yöntemine nazaran minenin iç ve dış yapısının araştırılmasında güvenilir bir yöntem olarak kabul edilmiştir (36). Mine kalınlığına ek olarak mikro BT ile elde edilen görüntüler kullanılarak 3D rekonstrüksiyon yöntemi ile mine, pulpa ve dentinin hacmi ölçülebilmektedir (39).

2015 yılında polarize ışık mikroskobu ve mikro BT verileri kullanarak dentinogenezis imperfekta dişlerin tübüler yapıları değerlendirilmiştir. Mikro BT yöntemi mine kalınlığının ölçülmesinde güvenilir bir yöntem olmasına karşı çok mineralize olmuş diş dokularının ayırt edilmesinde yetersiz olabilmektedir (2).

Bilinçli olarak insan dişlerinde yapılan değişikliklerin antropolojik ve sosyal açıdan önemlidir. Bu dişlerin incelenmesi sonucunda coğrafik, kültürel, dini ve estetik açıdan şimdi ve geçmişteki insanların algılarını anlamada yardımcı olabilmektedir. Mikro BT yardımıyla Mayalara ait 1600 yıllık dişlerin incelendiği bir araştırmada, sosyal konum ya da güzellik açısından ön dişlere inley yerleştirmek için açılan kaviterlerin pulpa odası ile ilişkisi ve neden olduğu pulpal ve periapikal hastalıklar izlenmiştir (40).

2000 yaş civarında olan ve dental anomali olan maksiller molar dişin mikro BT ile örneğe geri dönüşümsüz bir değişiklik yapmadan kök kanal sistemi ve anomalinin kök kanal anatomisini nasıl etkilediği araştırılmıştır (37).

Mikro BT mine kalınlığını ölçmek için güvenilir yöntem olmasına rağmen, çok fazla mineralize olmuş dişlerde güvenilir bir şekilde diş dokularını ayırt etmek mümkün olmayabilir. Ayrıca, minenin çok ince olduğu (100 μm ' den az) sadece piksel değerlerine dayanmakta olan ham mikro BT datalardan çözümleme zordur. Bu sebepten dolayı fosillerin mine kalınlıklarını mikro BT ile incelenmesinde dikkatli olunması tavsiye edilmektedir (38).

2.1.1.9. Dişlerin Mineral Konsantrasyonu

Diş sert dokularını oluşturan yapılarıdaki mineral konsantrasyon dağılımları direkt yöntemler (kimyasal analiz) veya indirekt tekniklerle (kontakt mikroradyografi) incelenebilmektedir. Fakat bu teknikler örneklerin yapısında geri dönüşümsüz etki yapmakta ve uzun sürmektedir. Son dönemlerde geliştirilen mikro BT sistemleri sayesinde, dişlerin ve kemiklerin mineral konsantrasyonunu % 1'den daha çok güvenilir bir doğrulukla ve 5-30 µm arasındaki bir çözünürlükle incelenebilmektedir. Mikro BT' nin avantajı; yıkıcı bir teknik olmaması ve kesit kalınlığı fiziksel olarak alınan yöntemlere göre sabit ve düzenli olmasıdır. Ayrıca, en küçük kesit kalınlığı sadece X-ışını demetinin büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Bundan dolayı bir kesme makinasından faydalanılarak elde edilen kesitlerden çok daha ince olabilmektedir ve örneklerle zarar verilmez. Ağartma ajanlarının mine ve dentin üzerindeki demineralizasyon etkisini inceleyen araştırmalarda mevcuttur (5,42,43,45).

Mikro BT ile, sağlam ve çürükten etkilenmiş mine ve dentinin mineral konsantrasyonu incelenebilmekte ve ne kadar etilediği belirlenebilmektedir (44).

Bütün bunların yanında mikro BT kullanılarak; yapılmış restorasyonların marjinal uyumlarının araştırılması, uygulanmış simanlarda oluşan porözite miktarı, restorasyonlardaki mikrosızıntı olan bölgelerin incelenmesi, kompozitteki polimerizasyon büzülmesinin hacimsel farklılıkların araştırılması, sonlu elemanlar analizinden faydalanılarak biyomekanik incelemelerin yapılması, ortodontik tedavide yapıştırılmış braketlerin mikrosızıntı olan bölgelerinin saptanması mümkün olabilmektedir (46,47).

Kamburoğlu ve ark. oklüzal çürük derinliğinin değerlendirilmesinde histolojik görüntülerle karşılaştırıldığında, mikro BT'den bire bir aynı sonuçlar elde etmiştir (48).

Memiş Ö. ve mikro BT ile mine çürüklerini önlemek amacıyla uygulanan değişik tekniklerin karşılaştırmışlar. Bunu örneklerde oluşan mineral densite farklılıklarını analiz yaparak değerlendirmişlerdir. Resin infiltrasyon yönteminin gelecekte çürük önlemede etkili bir yöntem olabileceği sonucuna varmışlardır (2).

2.1.2. Mikro BT'nin Getirdiği Yenilikler ve Bakış Açısı

MikroBT 'nin en önemli avantajlarından biri incelenen örneğin yapısını üç boyutlu olarak nitelik ve niceliksel açıdan güvenilir ve doğru bir şekilde ölçüm yapabilmek mümkündür. Örnekler analiz için hazırlanırken iç yapıları herhangi bir fiziksel işleme maruz kalmadan (kesit alma) veya kimyasal bir ajan uygulanmadan ayrıntılı bir şekilde incelenebilmektedir. Örnekler tarandığında herhangi bir invaziv işlem yapılmadığından, örneklerin yapılarına zarar verilmez. Böylece örnekler başka araştırma ve testler için kullanılabilir (4,6,50,51). Mikro BT'nin tüm bu olumlu özellikleri sayesinde diş hekimliği araştırmalarında uzmanlar tarafından her geçen gün yaygınlaşarak kullanılabilir (1).

Sert dokunun yoğunluğu ile kortikal ve trabeküler kemiklerin mikro mimarisini incelemek için mevcut iki teknik altın standart olarak kabul edilmiştir. Bunlardan biri histolojik/histomorfometrik analiz bir diğeri ise mikro BT'dir. Ancak histomorfometrik analizde, örnekler üzerinde yıkıcı etkisinin olması ve bireyler üzerinde uzun dönem çalışmalara izin vermemektedir. Ayrıca örnekler üzerinde analiz yapılırken iki boyutlu olarak değerlendirilir (6,53). Mikro BT, histomorfometrik analize nazaran daha az zaman alır ve maliyeti daha azdır (54).

Yaygın olarak kemiğin yapısının üç boyutlu olarak incelendiği teknik, stereo veya taramalı mikroskop ile yapılmaktadır. Bütün mikroskoplar, yalnızca alan bilgisi vermektedir. Üç boyutlu hacim ve lokalizasyonu hakkında bilgi alınamamaktadır. Mikro BT metodu diğer yöntemlere göre kıyaslandığında örneğin tümü hakkında bize daha detaylı bilgi vermektedir (50). Son zamanlarda araştırmacılar örneklerden yarı kesit alarak kemiğin yapısını nicel olarak araştırmışlardır. Bu araştırmalarda mikro BT kullanılmışlardır (52).

Mikro BT ve BT, diğer geleneksel in-vitro görüntüleme yöntemlerine nazaran daha çok avantajları vardır. Mikro BT ile klinik BT cihazları iki temel farkla birbirinden ayrılmaktadır. Bu farklardan biri x-ışınının kaynağı ve dedektör, klinik BT' de hastanın etrafında döndürülür ve bundan dolayı mekanik vibrasyon meydana gelir. Fakat mikro BT' de x-ışının kaynağı ve dedektör genellikle klinik BT'nin aksine sabit iken, incelenecek nesne kendi etrafında döndürülüp görüntü elde edilir; böylece vibrasyon azaldığından dolayı yüksek çözünürlükte veriler elde edilir. Bir diğer fark ise; klinik uygulamalarda kullanılan BT' de x-ışık kaynağının boyutu 1

mm iken mikro BT’de ise 5-10 μm ’dir. Nesnenin x-ışını kaynağının yakınına koyup çözünürlüğü arttıracak şekilde nesnenin ilk büyütmesini arttırmak mümkün olur. Optik görüntüler gerçeğe yakın büyütme sağladığından dolayı, çok küçük detaylar bile net olarak incelenebilir (3).

Mikro BT yapı olarak, radyologların rutinde sıklıkla kullandığı bilgisayarlı aksiyel tomografinin minyatür bir tipine benzer. Mikro BT keşfinden günümüze kadar, metalurji, elektronik, jeoloji, gibi farklı bilim dallarının araştırmalarında kullanılmıştır. Biyoloji alanında ise, bu yöntem kemik ve diş gibi vücuttaki en sert ve mineralize olan dokuların yapılarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Önceleri bu yapılar, iki boyutlu olarak değerlendiriliyordu. Bu amaçla örneklerden histolojik kesit alınarak yapılıyordu. Ancak uzmanlar canlı sert dokulardaki kalsifiye yapılarda gerçekleşen değişikliklerin ayrıntılı olarak değerlendirilebilmesi için yapıların üç boyutlu olarak incelenmesi gerektiği sonucuna varmışlardır (3).

Mikro BT kullanarak yapılan çalışmalarda restorasyona zarar verilmez. Bu yöntem ayna, sond ve diğer ölçüm yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan bu yeni yöntem sayesinde, birkaç μm aralıktaki herhangi bir restorasyon bölgesinin internal ve marjinal açıklığını iki ve üç boyutlu olarak incelenmesi mümkündür.

Diş hekimliğinde mikro BT ile, yeni keşfedilmiş bir dental materyalin SEM kullanarak elde edilen iki boyutlu görüntülemeyen ve histolojik olarak araştırılmasından daha avantajlı bir şekilde, üç boyutlu olarak bu materyalin görüntülenmesi mümkün olmaktadır ve mikro BT ile birden fazla defa örnekler taranabilmektedir.

Mikro BT tekniğinde kaliteli bir şekilde numunelerden iki veya üç boyutlu olarak görüntüler alınıp 360 derece bilgi alınabilir ve numerik veriler elde edilebilir. Rekonstrüksiyon işleminden sonra dental kron transparan gösterilerek restorasyon materyalindeki marjinal açıklıklar farklı renk ayarı yapılarak izlenebilmektedir. Bu marjinal açıklıkların hacimleri de mikro BT ile ölçülebilmeye mümkündür.

Mikro-BT; SEM (scanning electron microscope) tekniğinin yerine kullanılabilecek oldukça yeni ve faydalı bir yöntemdir.

Mikro BT’ de SEM analizlerinde olduğu gibi örnekler üzerinde oynamaya gerek yoktur. Horizontal ve vertikal olarak alınmış olan kesitler sayesinde adeziv

yüzeyin her bir bölgesi ayrıntılı incelenebilir. Ayrıca aynı örnek üzerine birçok kez uygulanan işlem öncesi ve sonrası Mikro-BT ile bakılabilir. Böylece yapılan işlemin aynı örnek üzerinde oluşturduğu etki araştırabilir (52).

Günümüzde mikro BT kullanarak mikron düzeyinde ölçüm yapılabilmektedir. Diş hekimliğinde bu teknik ile, birçok alanda kullanımının mümkün olduğuna dair oldukça fazla çalışma yapılarak ortaya konulmuştur. Bu yöntemin üstün yönlerinden dolayı kullanımı her geçen gün daha fazla yaygınlaşmaktadır. Günümüzde mikro BT, öğretim ve araştırma amacıyla yapılan çalışmalarda *in- vitro* bir yöntem olarak kullanılmakta olup *in-vivo* olarak kullanım alanı yoktur. Mikro BT cihazları her geçen gün gelişime açık bir teknoloji olduğundan daha yüksek kalitede görüntü elde edilmesi mümkündür. Gelecekte mikro BT, *in- vivo* araştırmalar için de kullanılabilir (1,2).

2.2. Diş Gelişimi (Odontogenezis)

Dişler, birinci branşiyal ark ile frontanazal çıkıntılarının yüzey ektoderminden ve orjin alarak nöral krest kaynaklı mezenşim dokusundan gelişir. Bu doku gelişiminde temel olarak mezenşimal ve epitel hücreler görev almaktadır. Mine organı oral epitelyal hücreler tarafından oluşurken, dental papil ise mezenşimal hücreler tarafından meydana getirilir. Bu oluşum sürecinde mine organı, minenin gelişiminde görev alırken, dentin-pulpa kompleksinin gelişim sürecinde ise dental papil rol oynamaktadır (7).

Dişler gelişirken hem ektoderm hem de mezoderm dokularından esas olarak oluşmaktadır. Fetüs yaklaşık olarak 6 haftalıkken, oral epitelyum alt tabakasında gerçekleşmiş olan aktivite yerlerinde ve dental arklar bölgesinde genişleme başlar. Bu gerçekleşmiş olan değişiklikler sonraki diş germinin dental laminasının oluşumunda rol oynayacaktır. Diş tomurcuğunu gelişimi sürerken, kep safhası olarak adlandırılan aşamaya gelindiğinde, dişin yapısına katılacak olan mezoderm dokusu bu gelişim sürecine katılmaktadır. Bu nedenle diş oluşturulan organ başlangıçta ektoderm dokusundan gelişmekte fakat kısa bir müddet sonra mezoderm dokusu da bu sürece dahil olur.

Dişin yaşam döngüsü, epitelyal dokuların genişlemesiyle başlamaktadır. Diş gelişim sürecinde aşağıda belirtilmiş olan üç şekillendirici doku rol oynamaktadır (57);

1. Dental organ
2. Dental papil
3. Dental kese

6 haftalık olan fetüste, gelişen maksilla ve mandibulanın okluzal kısmının üzerindeki on bölgede epitelyal aktiviteye rastlanılmaktadır. Epitel aktivitelerin olduğu bu bölgeler yan yana dizilerek ileride oluşacak olan hem maksilla hem de mandibulanın on süt dişinin konumunu belirlemektedir. Gelişen 20 süt dişlerine ilaveten, her birimden ileride daimi diş germinin oluşumunda rol oynayacak olan dental lamina da gelişir. Bu sebeple, süt santral, lateral ve kaninler dişler ilerideki daimi santral, lateral ve kaninler dişler için birer dental lamina meydana getirir. Aynı şekilde süt birinci ve ikinci molar dişler daimi birinci ve ikinci premolar dişler için birer dental lamina meydana getirir. Daimi molar dişler, süt ikinci molar dişlerin distale doğru uzanan dental laminasından meydana gelmektedir.

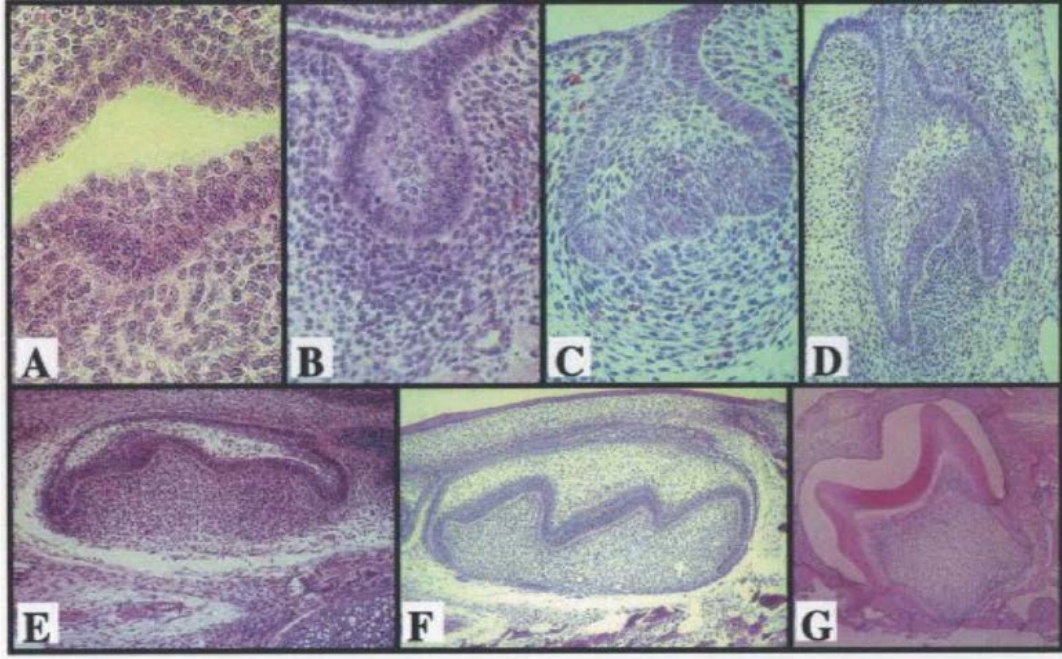
Diş germinin oluşum dönemleri aşağıdaki gibi sıralanır; (57).

Büyüme

- Başlangıç
- Proliferasyon
- Histolojik farklılaşma
- Morfolojik farklılaşma
- Apozisyon

Kalsifikasyon

Sürme



Şekil 2: Diş oluşumundaki histolojik evreler A) Diş oluşumunun başlangıcı B) Tomurcuk evresi C) Şapka evresi D-E-F) Çan evresi G) Kök oluşumu (58).

2.2.1. Büyüme

Başlangıç evresi; fetüs altı haftalık iken başlar. Bu evrede bazal membran üzerindeki oral kavitenin bazal çizgisinin başlangıç oluşumudur. Bazal çizgi olarak bilinen yapı mezoderm ve ektoderm dokuları arasındaki ayırıcı bir çizgi olarak kabul edilir.

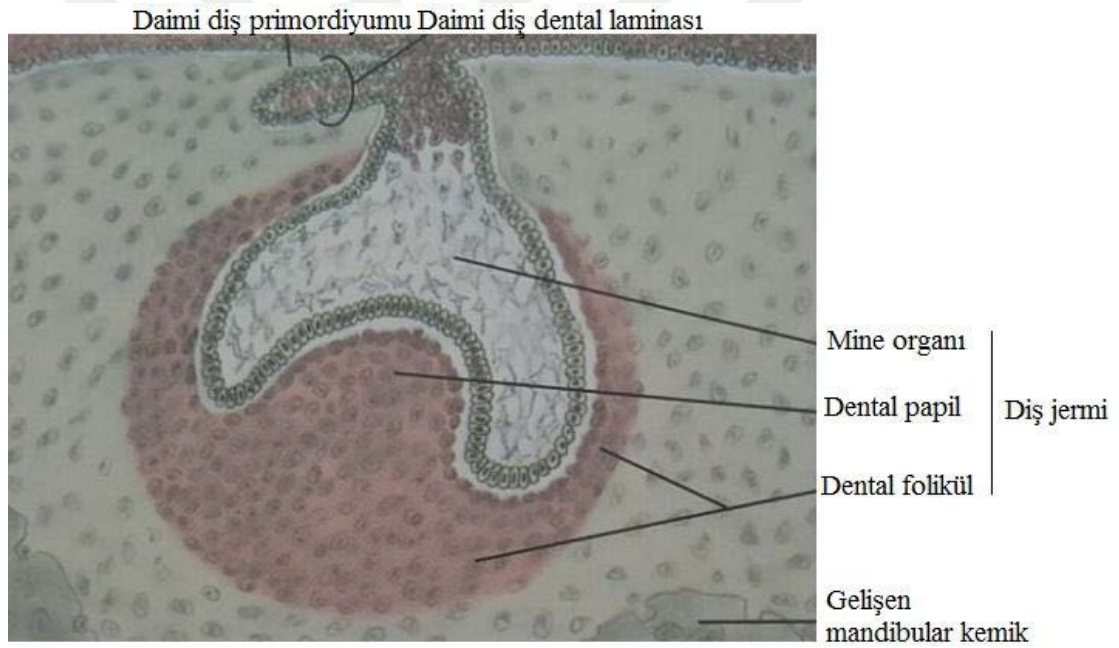
Bazal membran üzerindeki 10 özel bölgede bulunmakta olan bazal çizgi hücreleri, etrafındaki diğer hücrelere göre çok daha hızlı çoğalmaktadır. Bu gelişim süreci oral epitelyum üzerindeki diş tomurcuğu olarak bilinen ve dişin başlangıç büyümesinde rol oynayan noktastan oluşur.

Dişlerin oluşum dönemleri farklılık gösterir. Diş gelişiminin başlangıç dönemi kabul edilen bu evresi tomurcuk evresi olarak da adlandırılır. Böyle bir tanımlama getirilerek olgunlaşmamış diş gelişim sürecinin daha net bir şekilde anlaşılmasını ve bu gelişim sürecinin görselleştirilmesinde araştırmacıya yardımcı olmaktadır.

Proliferasyon; Bu dönem sonunda diş jermi oluşur. Aslında bu dönemde başlangıç evresinde meydana gelmiş olan hücrelerin daha ileri düzeyde çoğalması ve diş tomurcuğunun genişleyerek büyümesidir (57). Epitel hücreler, diş tomurcuğunun

alt bölgelerinde yoğunlaşmış olan mezenşimal dokuya doğru uzantı verecek şekilde gelişir. Tomurcuk olan diş germi "şapka" şeklini almaya başlar (59).

Diş gelişiminin bu döneminde şapka şeklini almış olan ektoderm kökenli epitelyal büyümeye mine organı olarak isimlendirilir. Mine organının altında yoğunlaşmış olan mezenşimal hücreler organize olup dental papilla'yı oluşturmaktadır. Dental papil ve mine organını çepeçevre saran ektomezenşimal hücre grubu da dental folikülü meydana getirir. Mine organı, dental papilla ve dental folikül olarak bilinen bu üç yapı bir araya gelerek diş jermini (dental organ) meydana getirir. Mine organı ileri dönemlerde diş minesinin oluşumunda, dental papil, dentin ve pulpanın, dental folikül (dental kese) ise periodonsiyumun oluşumunda rol almaktadır (8) (Şekil 3).



Şekil 3. Diş gelişiminin şapka evresi (7).

Histolojik farklılaşma; Bu evrede özelleşmiş olan diş germi hücrelerin görünümünde meydana gelen histolojik farklılıkla anlaşılır. Şapka uzantısı mezoderm dokusu içine doğru büyüyerek çan şeklini alır. Bu gelişim aşaması çan evresi olarak isimlendirilir. Dental papillanın oluşumunda çan içindeki doku rol oynar. Çan safhasında dental organ tamamen bazal membran ile çevrilidir. İç ve dış dental epitel olacak şekilde dental organ ayrılır ve dental organ mine halini almıştır.

Dental kese, oluşmuş olan çan yapısının dışında bulunan komşu dokunun oluşmasında etkilidir. Dental kese periodontal ligament ve sementin oluşmasında görev alır.

Dental lamina sıklıkla kordon görünümünde uzayarak gelişir. Daimi dişin gelişiminde etkili olan dental lamina, süt dişini oluşturan dental laminanın uzantısı şeklinde görülmeye başlar. Bazal çizgi bu safhada hala görülmektedir ve bu aşamada iç ve dış dental epitel olmak üzere iki yapıya ayrılır. Mine oluşumu için ortam hazırlanırken stellate retikulum büyüyerek daha fazla intersellüler sıvı ile birleşmek amacıyla organize olmaktadır.

Morfolojik farklılaşma; Bu evrede, hücrelerin dişin son şeklini ve boyutunu alacağı şekilde organize olduğu safhadır. Bu evre aslında bir anlamda ileri düzeyde gelişmiş çan safhası olarak da adlandırılabilir. Mine matriksinin oluşumunda görev alacak olan ameloblastlar iç dental epitelyum hücrelerinden gelişir. Ameloblastların ortaya çıkmasıyla beraber bazal membrana çok yakın komşuluk eden dental papilla odontoblastlara dönüşür. Odontoblastlar dentinin ve ameloblastlar ise minenin oluşmasında görev alır.

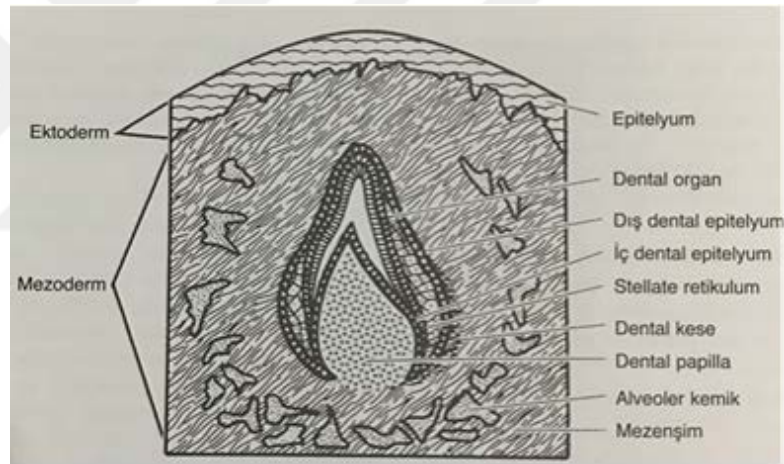
Pulpanın mezenşim dokusundan köken alan membranı ince retiküler fibrilleri içermektedir. Büyüme sürecinin devam ettiği pulpanın mezenşiminden orjin alan retiküler fibrillerle karışan pulpanın derinliklerinde yer alan düzensiz yapıdaki uzun spiral fibrillerin oluşumuyla birlikte anlaşılmaktadır. Bu fibriller Korff fibrilleri olarak isimlendirilir. Korf fibrilleri gelişmekte olan dentinin yapısal olarak desteklenmesini sağlar.

Bu evreden önceki safhanın özelleşmiş hücreleri bu aşamada, her bir dişin boyut ve şeklini oluşturmak amacıyla hazır halde bulunurlar. Gelişimi devam eden süt dişine komşuluk yapan esas dental lamina dışındaki, dental lamina ortadan kaybolur.

Asıl dental lamina, süt dişin lingualindeki bölgeye doğru gelişerek daimi diş germinin oluşumunu başlatır. Süt dişi germi bağımsız bir içsel organ haline dönüşür. Histolojik farklılaşma safhasında yer alan özelleşmiş hücrelerin organize olmasıyla, mine, dentin, pulpa, sement ve periodontal ligament benzeri dokular oluşur (7,8,57).

2.2.2. Apozisyon

Morfolojik safha ile birlikte dişin boyut ve şekli oluştuktan sonra, dişin ağ ve veya doku matriksinin oluşumuna takiben appozisyonel evre başlar (Şekil 4). Büyüme appozisyonel, katmanlı ve düzensiz değildir. Dentin ve minenin katmanlı bir görüntüsünün olması bu şekilde büyümesine bağlıdır. Bu evrede organize olmuş özel doku kademeli olarak katmanlar şeklinde mine ve dentin matriksinin daha fazla yığılmasında rol alır. Odontoblast ve Ameloblast hücreler sırasıyla mine ve dentin matriksinin salgılanmasında görev alır. Matriks dokusundadaki bu katmanlı yapı, dentin- mine ve dentin – sement birleşimlerindeki sınır boyunca yer alan büyüme merkezlerinden başlayarak oluşur (57). Her bir ameloblastın çapı 4 mikrometre ve uzunluğu 40 mikrometre kadardır. Ameloblastlar apozisyon aşamasında kromda sütun şeklinde görülmesine rağmen dişin kök bölgesinde bulunmazlar (7).

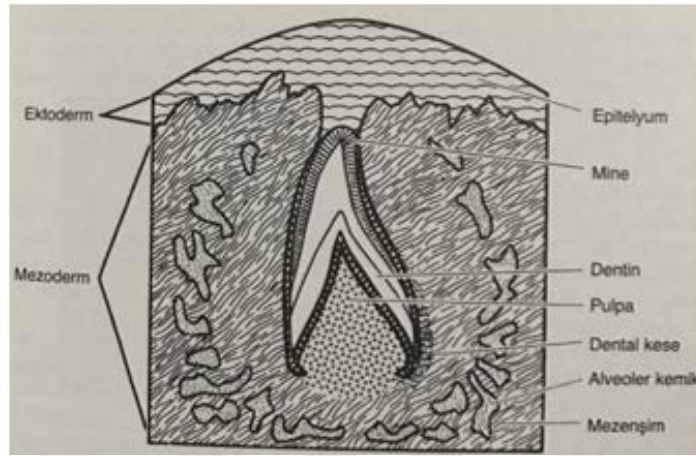


Şekil 4. Dişin yaşam döngüsünün appozisyon evresinin şematik görünümü (57)

2.2.3. Kalsifikasyon

Kalsifikasyon, daha önceden oluşmuş olan doku matriksine içerden mineral tuzların akışı sonucu oluşması olarak tanımlanır (Şekil 5). Dişlerin tüberkül tepelerine ve kesici kenarlarına minenin yığılması ile kalsifikasyon süreci başlarken küçük noktaların üzerine daha çok katman oluşmasıyla gelişim devam etmektedir. Bu sebeple en çok olgunlaşmış mine, tüberkül tepeleri veya kesici bölgelerde bulunurken yeni oluşmuş olan mine ise servikal bölgede rastlanır. Mine ve dentin dokularının kalsifikasyonu uzun vadede gerçekleşip oldukça hassas bir süreçtir. Bu sebeple tamamen gelişmiş herhangi bir dişteki oluşmuş olan kalsifikasyon bozukluğu

genellikle özel bir sistemik düzensizlikten dolayı meydana gelebilir. Dişi histolojik olarak incelemek amacıyla dişin kronundan alınan bir kesitte, çizgi ve şeritler gözlemlenmiş olup bu yapılar Retzius çizgileri olarak isimlendirilir. Kesit longitudinal veya horizontal olacak şekilde alınmıştır. Alınan kesitin şekline bağlı olarak Retzius çizgileri çizgi veya daire olarak görülebilmektedir. Bu çizgi ve daireler şeklindeki yapılar oluşmuş olan dişin gelişim modelini vermektedir.



Şekil 5. Dişin yaşam döngüsünün kalsifikasyon evresinin şematik görünümü (57)

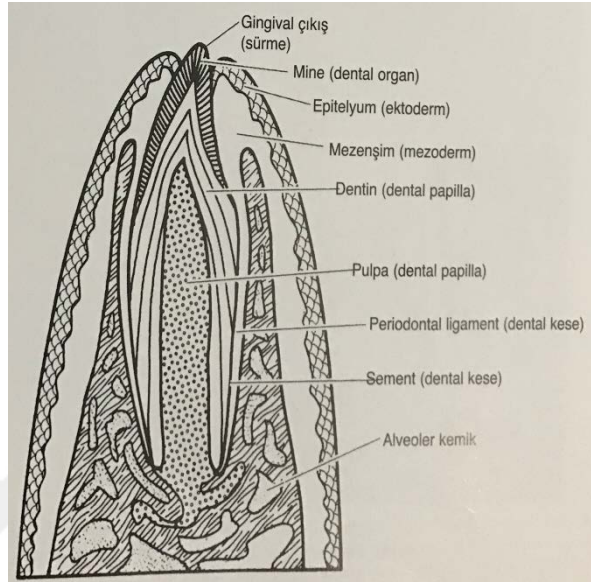
Herhangi bir çizginin oluşması genellikle dişin fizyolojik büyüme ve gelişim süresince herhangi bir değişikliğe bağlı olarak reaksiyoner bir cevap sonucunda oluşmaktadır. Süt dişlerindeki neonatal çizgi veya neonatal halka olarak bilinen Retzius çizgisi dişin gelişim ve kalsifikasyonunda meydana gelen bir rahatsızlık sonucu oluşmaktadır.

Kalsifikasyon süreci özetle, mineral tuzlarının çökmesi ile birlikte daha önceleri oluşmuş olan matriksin sertleşmesi olarak ifade edilir. Kalsifikasyon aşamasında, bu mineral tuzların yığılması dişin tüberkül tepesi ve kesici kenarlarından başlar. Ayrıca bu süreç yavaş yavaş ve kademeli olarak gerçekleşir (57).

2.2.4. Sürme

Dişin kronunun oluşumu tek bir seferde, çok fazla birbirleri üzerine geçen olayı kapsamaktadır. Aynı şekilde bu kök gelişiminde de bu olayların gerçekleşmesi söz konusudur. Kökün gelişiminde sürme etkilidir (Şekil 6). Diş klinik olarak

gelişimini tamamladığında, iç ve dış epitelin sement – mine birleşiminden katlanır. Önceden o bölgelerde stellate retikulum bulunur. Hertwig epitel kını olarak bilinen yapı kökün şekil ve boyutunu belirlenmesinde etkili olup ve dişin sürmesinde rol alır.



Şekil 6. Dişin yaşam döngüsünde sürme evresinin şematik görünümü (57)

Sürme üç farklı evrede gerçekleşir;

- Pre – erüptif dönem; diş kökünün oluşmaya başladığı ve oral kaviteye doğru hareket ettiği dönemi kapsar.
- Pre – fonksiyonel dönem; dişin diş etini yırtıp görüldüğü dönemdir. Sıklıkla dişin diş etinden görülmeye başladığı zaman, kökün sonuç itibarıyla oluşacağı uzunluğun yarısı veya üçte ikisi oluşur.
- Fonksiyonel dönem; diş oral kaviteye doğru sürüp karşıt dişle temas edip oklüzyona geldiği dönemdir.

Dişin sürmesinde birçok teori öne sürülmüştür. Sıklıkla diş sürme sebepleri olarak; kök oluşumu, Hertwig epitel kınının proliferasyonu, dental papillanın bağ dokusu proliferasyonu, çenelerin büyümesi, kas kuvvetine bağlı olarak oluşan kuvvetler ve kemik appozisyonu ve rezorpsiyonu gösterilir. Diş sürerken birçok olay gerçekleştiğinden dolayı, sadece bir etkeni dişin sürmesinde birincil sebep olarak seçmek pek mümkün değildir (57).

2.2.5. Mine

Olgunlaşmış mine vücudun en sert dokusunu oluşturmaktadır ve organik matriks yok denebilecek kadar azdır. Vücuttaki bu sert doku, diş oluşturan diğer yapılar olan dentin ve pulpa gibi canlı diş yapılarını korumaktadır. Ayrıca renk ve şekilleri sebebi ile dişe estetik özellikler kazandırır. Mine, yapı olarak damarsız ve sinir paketi içermediğinden dolayı kendini yenileme özelliği yoktur. Bununla birlikte her zaman sabit kalabilen bir doku özelliği yoktur. Yaşam süresince mine dokusu değişik nedenlerden ötürü mineral değişikliğe uğramaktadır. Diş minesinin bu özelliklerinden dolayı, bir ömür boyu korunması diş hekimliğinin açısından oldukça önemlidir (7,56).

İnsan bedenindeki en sert yapı olarak kabul edilen mine dokusunun beyaz, transparan olan en üstteki yüzeyi, dentin dokusunu korumakla birlikte sert bir yapıya sahip olduğundan dolayı gıdaların küçültülerek en uygun şekilde parçalanmasını sağlar. Mine yapı olarak sinir hücreleri bulundurmadiğinden, orjin olarak organik matriksten gelişmektedir. Minenin gelişiminde mineralize olan ameloblast hücreleri görev almaktadır. Mine–sement hududundan başlayarak bütün diş kronunu kaplamakta olan mine dokusu dişlerin en dış sınırını da belirler (8,7,56).

Mine dokusu dişin anatomik kuronunu çepeçevre sararak dişlerin her bölgelerinde farklı kalınlıkta olabilmektedir. Mine kalınlığı okluzal ve insizal bölgelerde en fazladır ve dişlerin kollelerine doğru incelerek devam etmektedir. Posterior dişlerde gelişimsel tüberküllerinin birleşim noktalarında mine kalınlığı genellikle azalmaktadır ve bazen birleşim bölgelerinin tam olarak kaynaşmamış olan fissürlerde sıfıra yaklaşmaktadır (56).

Mine dokusu yapısal olarak, % 96 inorganik bileşen, %1 organik bileşen ve % 3 sudan oluşur (7,8). Kristalize mineral yapıdan oluşan mine dokusu; sağlam oluşu, okluzal kuvvetler ve asitlerin neden olduğu demineralizasyon ve çürüğe karşı direnç gösterir. Ayrıca belirli sınırlarda kalmış olan demineralize bölgelerin tekrardan iyileşmesi anlamına gelmekte olan remineralizasyon özelliğinden dolayı klinisyenler açısından oldukça önemlidir (60).

2.2.5.1. Minenin Bileşenleri

Mine dokusunun ana bileşenini kalsiyum-fosfat kompleksi yapısındaki ve $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ olarak formülize edilen hidroksiapatitten oluşmaktadır. Kristalize yapıdaki poröz bir doku olarak matriks içinde yer almaktadır (7,8,56). Mine dokusundaki kalsiyum hidroksiapatit içeriği kemik, dentin ve sementten daha fazladır (8).

Minenin yapısındaki diğer mineraller; karbonat, magnezyum, potasyum, sodyum, stransiyum ve flordan oluşmaktadır (8,9).

Mine yapısal olarak milyonlarca sayıda mine prizmalarından, prizma kınından ve interprizmatik matriksten oluşmaktadır. Mine prizmaların yapısını, ince ve uzun kalsiyum hidroksiapatit kristallerinin sıkı bir şekilde bir birlerine kenetlenmiş yapılardan meydana gelir. Olgunlaşmış bir minenin majör inorganik bileşenini, yaklaşık olarak 50 nm genişlikte ve uzunluğu 100 μm ‘ den daha fazla uzun olduğu düşünülen hidroksiapatit kristalleri oluşturmaktadır.

Hayat döngüsü boyunca çevresel etmenler; yapıya katılmakta olan karbonhidrat, florit, magnezyum, sodyum ve diğer 40 kimyasal elementlerden dolayı hidroksiapatitin kristal yapısı, karma ve düzensiz bir yapıya dönüşebilmektedir. Mine dokusunun normalde hacimsel olarak %85‘ini mineral (kalsiyum ve fosfat bileşiği olan hidroksiapatit), %3‘ünü eşit hacimlerde olacak şekilde protein, lipidler ve su oluşturur. Minenin organik yapısını yaklaşık olarak %58 proteinler, %40 lipidler ve bunlara ek olarak karbonhidratlar, sitrat ve laktozlar oluşturur, ayrıca yapı sınırlı miktarda su, iyon, alkol ve boyar madde de içerir.

Mine dokusunun organik yapısının içeriğinde başta metionin ve histidin olmak üzere on altı farklı aminoasit vardır. Minenin organik bölümündeki organizasyonları sağlayan proteinler enomelin ve amelogenin olmakla beraber lösün ise diş minesinin organik yapısına katılmakta olan proteindir. Buna ek olarak organik kısımda bulunan yüksek orandaki fosfor kalsifikasyona yardımcı olarak bulunmaktadır. Minenin yapısındaki suyun %25‘lik kısmı apatit kristallerine bağlı olmakla birlikte, geri kalan diğer kısmı apatit kristallerini bir kabuk gibi sarmaktadır. Mine dokusunun organik kısmı metabolik aktivite göstermese de yapısının içerisindeki fluoroapatit oluşumu benzeri biyokimyasal reaksiyonlar oluşabilmektedir (8,56).

2.2.5.2. Mine Dokusu Histolojisi

Mineralize olmuş olan diş minesi epidermal bir dokudur. Minenin oluşumunda ilk olarak organik matris şekillenip oluşur ve sonraki aşamada organik yapı ameloblastik hücreler vasıtasıyla kısım kısım sindirilmektedir. Gelişen organik matriks içerisindeki hidroksiapatit çekirdeklerini kalsiyum ve fosfor iyonları tarafından oluşturulur ve hızlıca bu çekirdekler kristalleşerek büyümektedir.

Ameloblastların amelojenlesmesi sırasında oluşan mine prizmaları mine dokusunun histolojik olarak temel yapısını oluşturur. Mine prizmaları, ortalama olarak 1000 adet hidroksiapatit kristali ile birleşerek oluşur. Mine kristalleri her bir kesitte yaklaşık olarak 100 adet bulunur. Bu kristaller mine dentin hudutundan mine üst yüzeyine doğru giden yatay ve dikey doğrultularda dalga yapısına sahip mine prizmalarını meydana getirmektedir. Prizma merkezinde bulunan kristaller uzun eksenleri ve kendi prizmalarının eksenine paralel bir şekilde hareket ederler. Her bir prizmanın kenarında yer alan kristaller daima çaprazında bulunan interprizmatik maddelerin kristallerini kavrayacak esnekliğe sahiptir. Bu geçiş alanları prizma bölünmesi olarak adlandırılır. Prizma sınırlarındaki birbirini kavramakta olan apatit kristallerin yapısı minenin sertliğinde etkilidir.

Apatit kristalleri hidrasyon tabakasına sahip olmakla birlikte protein ve lipidlerden oluşmakta olan bir tabaka ile çevrili bir yapıdır. Apatit kristallerinin çapları yaklaşık olarak 50 nm ve uzunluğu genel olarak 100 nm'den fazla olup heksagonal bir yapıya sahiptir. Kristallerin arasındaki alan ise absorbe olan iyonlar tarafından doldurulmuştur (56).

Minenin yüzeyi birçok yapı tarafından oluşturulur. Bu yapılardan biri olan retzius çizgileri, dentin – mine bağlantısından genişleyerek perikimatanın en sığ yeri olarak bilinmekte olan bölgelerinde sonlanmaktadır. Mine yüzeyi yaşa bağlı olarak elektron mikroskopunda farklılık gösterdiği izlenmiştir. Buna ek olarak maturasyon safhalarında da değişkenlik göstermektedir (Tablo 1). Sürmemiş olan dışteki mine yüzeyi düzensiz bir yapıya sahiptir. Mineral içeriğinin daha az olmasından dolayı daha az kalsifiye olan genç mine, daha kolay mineralize olabileceğinden ötürü daha kolay çözünmektedir. Bu da çürük oluşum riskini arttırmaktadır.

İçerik	Salgı evresi	Orta Matür Evre	Matür Evre
Su	5	3	1
Mineral	29	93	95
Protein	66	4	4

Tablo 1. Ameleogenezis evrelerindeki tavşan keser minesinin kompozisyonunun yüzdelik dağılımı (8).

Mine dokusu, kendini yenileme yeteneği olmayan cansız bir yapıdır. Mine yüzeyi yaşla birlikte çiğnemenin de etkisiyle aşınmalar meydana gelmektedir. Bu değişikliğe ilaveten minenin renginde solma gerçekleşmekte ve geçirgenliğinde azalma gerçekleşmektedir (8).

2.2.6. Diş Sert Doku Aşınmaları

Diş sert dokularında çeşitli sebeplerle meydana gelen aşınmalar diş hekimliğinde gittikçe artan bir problem haline gelmiştir. Son zamanlarda bu artışın sebebi olarak, dişlerin daha uzun zaman ağızda kalmasından dolayı daha fazla aşınmalara maruz kalması gösterilmektedir. Dişlerin fonksiyon görürken oluşan mikron düzeyindeki kayıplar uzun sürede ölçülebilmektedir (10).

2.2.6.1. Dişlerde Abrasyon

Abrasyon, aşındırmaya sebep olan malzemelerin kullanımı, kötü alışkanlıklar ve doğru olmayan fırçalamadan dolayı, diş yüzeyinin patolojik olarak aşınması olarak açıklanabilir. Etyolojisine bağlı olarak farklı şekillerde görülür. Sıklıkla yanlış diş fırçalanmasına bağlı olarak meydana gelmektedir. Servikal bölgede genelde oluşmaktadır. Yapılan fırçalama tekniği, sıklığı, fırça kıllarının tasarımı, ve aşındırma yapabilme oranı yüksek olan partikülleri içeren macun kullanımı sebep olmaktadır. Sıklıkla kesiciler etkilenmekle beraber küçük azılar da etkilenir. Üst çene alt çeneye göre daha fazla etkilenmektedir. Sağ elle fırçalayan bireylerde sol tarafta, sol elle yapanlar ise sıklıkla sağ tarafta aşınmalar meydana gelir. Bu aşınmalar konkav, disk ve kama şeklinde olup, düzensiz, derinlik ve boyutta oluşabilmektedir. Yapılmış olan deneysel araştırmalara göre dikey olarak yapılan fırçalamada U

şeklinde aşınma görülür iken, çapraz fırçalamada ise V şeklinde aşınmalar olduğu görülmüştür.

Buna ek olarak; parsiyel protezlerde kroşenin geldiği yerde oluşan kroşe abrazyonu, kötü alışkanlar sonucu ve meslekle ilgili abrazyonlar oluşmaktadır (10).

2.2.6.2. Atrizyon

Çiğnemenin etkisi ile genel olarak dişlerin kesici ve çiğneyici yüzeylerinde olmakla beraber bazen de dişlerin ara yüzeylerinde yavaş ve düzenli olarak meydana gelen madde kaybı olarak tanımlanır. Bu aşınmayı bazı uzmanlar fizyolojik atrizyon olarak kabul ederken, diş pozisyonundaki anormal dizilim sonucunda meydana gelen aşınmayı da patolojik atrizyon olarak kabul edilmektedir.

Klinik olarak, kesici kenarlarda veya tüberkül tepelerinde görülmeye başlar. Atrizyon bölgesi cilalı bir yüzeye sahiptir. Bruksizim benzeri bazı yanlış alışkanlıklar atrizyonun oluşmasında etkili olabilmektedir. Atrizyon minede gerçekleştiği gibi dentini de etkileyebilmektedir; sık olmamakla birlikte atrizyon bazen derin dokuları da etkileyip pulpa bile perfore olabilmektedir. Ama genellikle sekonder dentin formasyonu ile pulpa kendini geri çekip korur (10).

Dişlerde meydana gelen aşınmalar eğitimsel, kültürel, diyet, mesleki, coğrafik etkenler, ayrıca yaşla beraber ve oklüzyona bağlı olarak farklılık göstermektedir. İlk olarak üst ve alt çenedeki dişlerin kesici kenarları atrizyondan etkilenmektedir. Atrizyon sebebiyle dişlerin birbirlerine temas ettiği noktalar yüzey haline gelirken, dişlerde orta hatta doğru yer değiştirirler ve bu hareket miktarı bir çenedeki üç büyük azıdan diğer üç büyük azya kadar olan dişlerde yaklaşık olarak 1 cm kadardır (10).

2.2.6.3. Erozyon

Herhangi bir bakteri etkili olmadan diş dokusunun kimyasal olarak çözünmesi sonucu diş sert doku kaybıdır. Erozyon klinik ve mikroskopik açıdan çürükten ve normal diş aşınmalarından farklıdır. Sıklıkla dişlerin fasiyal, okluzal ve lingual yüzeylerinde meydana gelmektedir (9,10).

Erozyonda tam bir aşınma gerçekleşmemektedir. Aslında asit ile birlikte zayıflayan mine yüzeylerinde diğer aşınmaların daha kolay olmasına sebep olmaktadır. Klinik olarak minenin yumuşaması izlenmez ancak dişteki sert dokuların

direnci kırılmakta bunun sonucunda da mine ve dentin, mekanik abrazyonla beraber daha rahat aşınır. Dişler asite maruz kaldıktan hemen sonra fırçalandığında erozyona yatkınlık artar (10).

Minenin erozyona uğramasında pelikülün engelleyici bir rolü vardır. Bundan dolayı süt ve daimi dişlerin minesini kaplayan pelikülün içeriğinin farklı olması asit karşısındaki çözünürlüğünde etkilidir (61). Daimi dişlerin minesi süt dişlerinin minesine göre 1.5 katı daha yavaş çözünebilmektedir (10).

Dentinin yüzeyi mine ile örtülü olduğundan dolayı asit ataklarından pek etkilenmez. Ancak mine aşınması, diş eti çekilmesi gibi durumlarda dentin açığa çıktığında aşınmalar olabilmektedir (9,62).

Erozyonun sınıflandırılması (10);

Dış kaynaklı;

- Çevresel faktörler
- Diyet
- İlaçlar
- Yaşam tarzı
- Ağız bakım ürünleri
- Profesyonel diş temizliği

İç kaynaklı

İdiopatik

2.2.6.4. Abfraksiyon

Latin dilinde ‘kırmak’ anlamında olan fractum kelimesinden köken almıştır. Dişlerin mine sement hudutunda kama şeklinde olan sert doku kaybıdır. Dişin uzun aksı boyunca gelen okluzal kuvvetlere karşılık diş esneyemediğinden dolayı meydana geldiği düşünülüyor (63,64).

Dişin mine-sement birleşim bölgelerinde kırılmaya karşı daha fazla direnç gösteren pürüzlü mine yüzeyleri az olup, bu bölgelerde bulunan prizmalar yapı olarak daha zayıftır. Servikale doğru mine kademeli olarak azalmaktadır. Mine ve

dentinin birleşimi mekanik olarak zayıf olup ve bu bölgede servikal aprizmatik mine mevcuttur ve bu bölge asit ataklarına karşı dirençli değildir (66).

2.2.7. Dentin

Dentinin ağırlığını %70 inorganik materyal, %20 organik materyal ve %10 su oluşturur. Hacimsel olarak ise %50'sinin inorganik, %30'unun organik yapıda olduğu, geriye kalan kısmı da sudan oluşan bir dokudur. Dentindeki mineral içerik mineye göre daha az olup sement ve kemiğe oranla daha fazladır. Bu mineral içerik yaşla artış göstermektedir. Temel olarak inorganik içeriğini mine kristallerine göre daha düzensiz bir şekilde dizilmiş olan kalsiyum hidroksiapatit partikülleridir. Dentin kristalleri mine kristallerine göre daha küçük olup uzunluğu 20-100 nm arasında olmakla birlikte genişliği 3 nm'dir. Organik matriksin yapısının çoğunluğunu tip I ve az miktarda ise tip V kollajen proteininden oluşmaktadır. Kollajen olmayan proteinlerden; en fazla dentin fosfoprotein (DPP) (fosforin), dentin matriks protein (AG1, Dmp1), dentin sialoprotein (DSP), osteopontin, osteokalsin ve kemik sialoprotein içermektedir (7,8,55).

Dişi oluşturan yapılar içinde hacmi en fazla olan mineralize doku dentin olup bir bağ dokusu olarak kabul edilebilir. Genel olarak bağ dokularında, hücre dışı alan bileşenleri dokuya fonksiyonel özelliklerini vermektedir. Dentindeki hücre dışı matriks mineralizasyon evresini içerecek şekilde modifiye olmuştur, bu durum fonksiyonel ihtiyaçların yerine getirilmesini mümkün kılmaktadır (55).

2.2.7.1. Primer Fizyolojik Dentin

Primer dentin, ilk olarak gelişir ve diş şeklini belirler. Diş gelişiminde, apikal foramen kapanmadan önce gelişen dentin yapısıdır. Büyük bir çoğunluğu diş sürmeden önce oluşur, ancak geri kalan kısmı dişin sürdükten sonra ve kök gelişimini tamamlayana kadar geçen yaklaşık 3 yıllık süre içerisinde primer dentin yapımı tamamlanır. Düzenli bir tübüler yapıya sahiptir. Odontoblast hareketinin yönüne bağlı olarak S-şekilli kurvatür oluşumunu sağlayan dentin tübülleri içerir. Mine veya sement apozisyonu ile beraber hızlı bir şekilde oluşmaktadır.

Dentin formasyonunun başlangıcında, mine organının altında bulunan dental papilladan çevresel bir şekilde birikerek oluşan primer dentinin ilk tabakası "manto dentin" olarak isimlendirilir. Yeni farklılaşmaya başlamış olan odontoblastlar

tarafından oluşturulur. Olgunlaşmış bir dişte manto dentin en yaşlı dentin olup ve mine tabakasına en yakın olarak bulunan dentin tabakasıdır. Manto dentinin genişliği yaklaşık olarak 150 µm dir ve mineralizasyonu oluşacak olan sirkumpulpal dentinden %4 daha azdır. Dentin tübülleri bulunmayan manto dentin bazen ince kanaliküller içermektedir (55). Dentinin geri kalanındaki mineralize olmuş kollajen liflerin doğrultusu açısından karşılaştırıldığında; manto dentin mine-dentin birleşimine dik lifleri ile farklılık göstermektedir (7).

Manto dentin oluştuktan sonra pulpanın dış duvarı sınırında oluşan ve geri kalan primer dentin yapısına "sirkumpulpal dentin" olarak isimlendirilir. Günlük yaklaşık olarak 4 µm civarında oluşur (67,68). Bu yapının kollajen lifleri genellikle mine-dentin birleşimine paralel olarak konumlanmıştır. Bir dişin dentin miktarının esas kısmını sirkumpulpal dentin meydana getirir (7,8). Mineralizasyonu süreci manto dentindeki aksine matriks vezikülleri yolu ile gerçekleşmediğinden, dentin fosfoprotein (DPP) ile oluşmaktadır. DPP kalsiyum bağlayabilmektedir ve kollajen matriks ağında mineral kristallerinin şekillenmesini ve büyümesini düzenlemektedir (69). Hidroksiapatit kristalleri, fibrillerin yüzeyine ve arasına birirmektedir. Mineralizasyon süreci ilerlerken, hidroksiapatit kristalleri büyümeye devam etmektedir. Sirkumpulpal dentin, mineralize olmuş dentin ve predentin arasında kalkosferitler (calcospherites) vasıtasıyla mineralize olmaktadır ve kalkosferitlerde mineral kristalleri ışıma şeklinde düzenlenmektedir. Dentin matriksi tamamen mineralize olana kadar büyüyen kalkosferitler bitişik kalkosferitler ile birleşmektedir (55).

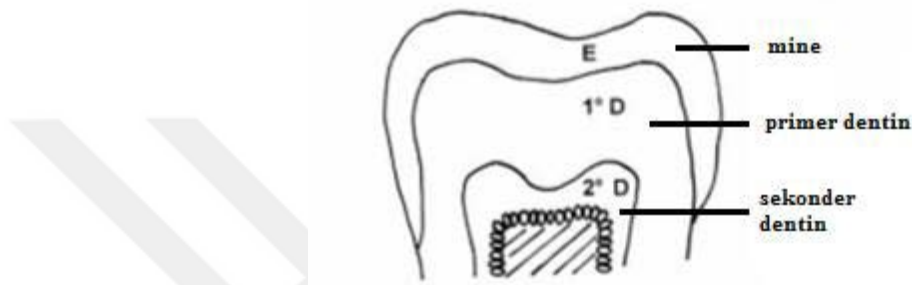
2.2.7.2. Sekonder Fizyolojik Dentin

Sekonder dentin, diş gelişimi tamamlandıktan sonra yaşam boyunca bariz bir uyaran olmadan devamlı ancak primer dentine göre daha yavaş apozisyon sonucu azalmış oranda dentin depozisyonu ile oluşmaktadır. Bu durumun fonksiyonel odontoblast sayısındaki azalmaya bağlı olduğu düşünülmektedir.

Kök oluşumu tamamlandıktan sonra primer dentinin oluşumunda görev alan odontoblastlar tarafından primer dentinin bir devamı olarak, temelde benzer yolla sekonder dentin oluşturulur. Primer dentine nispeten daha az mineralize olup (55) daha yavaş oluşur (70). Diş sürmeden önce oluşan primer dentin günde 4 µm oluşur

iken, diş sürdükten sonra gelişen sekonder dentin ise günde 0,5 µm civarında oluşmaktadır (71). Fizyolojik olarak şekillenen sekonder dentinin yapım oranı ve miktarı bireyler arasında değişkenlik göstermektedir (55).

Sekonder dentin, primer dentinin pulpaya komşu olan yüzünde simetrik olmayacak şekilde oluşmaktadır (68) (Şekil 7). Sekonder dentin pulpa odasının bütün iç duvarlarında oluşmasına rağmen, çok köklü dişlerde ise yan duvarlara göre daha çok pulpa odasının tavanı ve tabanında daha fazla oluşma eğilimindedir (55).



Şekil 7. Primer ve sekonder dentinin şematik gösterimi (68).

Primer dentine göre histolojik olarak dentin tübüllerinin daha az düzenli organizasyonu ve demarkasyon hattı ile ayırt edilmesi mümkündür. Dentin tabakası kalın olmasından dolayı, bazı iç bölgelerde odontoblastların bazı kısımlarının ölmesinden ötürü tübüller tamamen yok olabilmektedir (55).

2.2.7.3. Tersiyer Dentin (Reparatif dentin, Reaksiyoner dentin)

Tersiyer dentin; kimyasal uyaranlar, çürük, kavite preparasyonu yapılırken meydana gelen mekanik, kimyasal ve termik irritasyonlara bağlı olarak, atrizyon benzeri zararlı uyaranlara lokalize bir tepki olarak oluşan düzensiz yapıdaki dentindir. Uyarana maruz kalan bölgeye bakan pulpa odasının iç yüzeyinde daha az kalsifiye bir şekilde düzensiz tübüller veya tübüller yapıda olmayacak şekilde oluşmaktadır (55). Tersiyer dentinde tübüllerin düzensiz ve az sayıda olması sebebiyle, tersiyer dentin ile primer veya sekonder dentinin tübülleri arasında bir devamlılık olmadığından dolayı dentinin geçirgenliğini büyük oranda engellendiği düşünülmektedir (72).

Dentinin kalınlığı, pulpanın korunmasında görev alan fizyolojik bir bariyer olmasının yanında çürük lezyonlarda dahil dış uyaranlara karşı bir tepki olarak

gelişen tersiyer dentinin oluşumuyla artmaktadır. Eğer uyaranların derecesi nispeten daha hafif ise etkene maruz kalmış olan odontoblastlar tarafından artmış oranda matriks salgılanması uyarılmaktadır. Bunun aksine dış uyaranlar daha güçlü ise bu uyaranlardan etkilenen odontoblastlar canlılığını kaybedip ve dentin-pulpa kompleksi tarafından yeni odontoblast şeklinde hücreler farklılaşır. Tersiyer dentin; reaksiyoner ve reparatif dentin olmak üzere iki alt gruba ayrılır. Reaksiyoner dentinin oluşumunda önceden olan odontoblastlar rol oynarken, reparatif dentin gelişmesinde ise var olan odontoblastlar öldükten sonra oluşan odontoblast benzerindeki hücreler görev alır (68,71). Canlılığını kaybetmiş olan odontoblastların yerini alan yeni odontoblast benzerindeki hücrelerde genellikle sitoplazmik uzantı olmamasından dolayı bu hücrelerden sentezlenen matriksin yapısında tübül yoktur. Böyle durumlarda tersiyer dentinin geçirgenliği hemen hemen yok denecek kadar az olduğu belirtilmiştir (72).

Dentin birikim miktarı dış uyaranın derecesine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Uyaran derecesi fazla olduğu durumda daha hızlı oranda tersiyer dentin oluşmaktadır. Hızlı bir şekilde birikimden dolayı hücreler sıklıkla yeni oluşmuş olan matriks içinde sıkışabilir ve tübüler yapı daha fazla miktarda bozulduğu düşünülmektedir (55).

2.2.7.4. Predentin

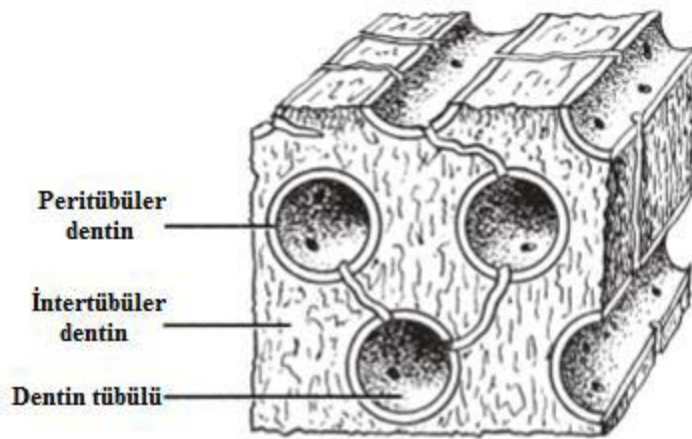
Kalsifiye olan dentin ve odontoblast tabakası arasında yer alan 15-20 µm' ye kadar kalsifiye olmamış dentin organik matriks tabakası predentin olarak isimlendirilir (55). Temel olarak protein tipleri tip I ve tip II kollajenlerdir. Kollajen yapıda olmayan elemanlar; dermatan sülfat, heparan sülfat, hyaluronat, keratin sülfat, kondrotin sülfat gibi birçok proteoglikan, glikoproteinler, glikozaminoglikanlar, Gla proteinleri ve dentin fosfoproteinlerdir (55,70). TGF-β, insülin gibi büyüme faktörü, platelet kaynaklı büyüme faktörü ve anjiyojenik büyüme faktörü benzeri büyüme faktörleri, olası dentin rezorpsiyonunda pulpaya salınarak tersiyer dentin oluşumunu uyarabilmektedir (55).

2.2.7.5. Peritübüler Dentin (İntratübüler Dentin)

Dentin tübüllerinin çevresinde oluşan, yüksek miktarda mineralize olan dentine "peritübüler dentin" olarak adlandırılır (55). Peritübüler dentin hacimsel olarak daha az hacim kaplar. Mineralizasyon miktarı daha çok olan peritübüler dentinin tübül lümeninin etrafında daha az sayıda kollajen, yüksek miktarda kollajen olmayan protein ve mineral içerir (55,67). Peritübüler dentinin yapısındaki daha düşük miktardaki kollajen sebebiyle intertübüler dentine göre daha sert bir yapıya sahiptir (55).

2.2.7.6. İntertübüler Dentin

Dentin tübülleri arasında bulunan dentine ise "intertübüler dentin" olarak adlandırılmaktadır (Şekil 8). Peritübüler dentine göre mineralizasyon miktarı daha azdır (55). İntertübüler dentin, dentinogenezis safhasında odontoblastların esas salgı ürünü olup primer dentin hacminin büyük bir kısmını oluşturur (55,67). Organik matriks, büyük ölçüde ağ yapısı şeklinde düzenlenmiştir (68), boyutlarının miktarı yaklaşık olarak 50-100 nm olan kollajen fibrilleri içermektedir (55). Bu kollajenler oldukça iyi mineralize olup, dentine gerilme direnci sağlayan ve genellikle dentin tübüllerine dik açı yapacak şekilde konumlanmışlardır (55).



Şekil 8. Peritübüler ve intertübüler dentinin şematik gösterimi (55).

2.2.7.7. İnterglobüler Dentin

Büyümekte olan kalkosferitlerin birleşiminde oluşan başarısızlık neticesinde meydana gelen ve içeriğinde mineralize olmamış organik matriks bulunduran dentin yapısıdır. Çoğunlukla kuron bölgesinde manto dentine yakın komşu olan sirkumpulpal dentinin yapısında ve kökün periferinde sıralanmış olan Tomes granüler tabakasının yakınında oluşmaktadır. Hipofosfatazya, D vitamini dirençli Rickets gibi patolojik dentin yapısına sahip dental anomalilerde geniş interglobüler dentin içermektedir (55).

2.2.7.8. Sklerotik Dentin

Dentin sklerozu; odontoblast uzantılarının uyarılara cevap olarak faaliyete geçmesi sonucunda dentin kanalcıklarının mineraller ile kısmen veya tamamen tıkanmasıyla karakterize olan dentin dokusunda meydana gelen yapısal bir değişikliktir (55). Dentin kanalları hidroksiapatit, kübik veya eşkenar dörtgen şekilli “whitlockite kristalleri” ile dolar (55,68).

Sklerotik dentin, yaşlanmaylaya da yavaş ilerleyen çürük gibi hafif irritasyonların sonucunda oluşmaktadır. Mine-dentin hudutundan başlayarak pulpaya doğru tübül lümenlerinin giderek daralıp ve hatta tamamen tıkanmasıdır. Böyle bir durumda peritübüler dentin daha çok genişler. Bu bölgeler sert, yoğun, daha az hassas ve pulpanın irritasyonlar karşısında daha çok korunmasını sağlar.

Yaşlanma ile birlikte ortaya çıkan kimyasal ve yapısal farklılıklar sonucunda oluşan skleroz "fizyolojik dentin sklerozu", kronik çürük benzeri hafif derecedeki irritasyonlar bağlı olarak tübül lümenine hidroksiapatit kristallerinin çökmesiyle oluşan dentin sklerozuna ise "reaktif ya da patolojik dentin sklerozu" olarak tanımlanmaktadır (55). Reaktif dentin sklerozu; pulpa-dentin kompleksinin mekanik abrazyon, kimyasal erozyon, atrizyon ve abfraksiyon gibi uzun süreli hafif veya orta şiddetteki dış kaynaklı uyarılara cevap olarak oluşmaktadır (73).

2.2.7.9. Dentinogenezis

Dentinogenezis diş gelişimindeki apozisyon aşamasında dentin matriksi ya da predentinin oluşması sürecidir. Hücrelerin farklılaşması ve etkileşimi, organik

matriksin salgılanması ve son olarak da ekstraselüler matriksin içerisinde mineral kristallerinin gelişmesi gibi basamakları içerir.

Bu sürecin başlangıcında dental papilla hücrelerinden odontoblastlar farklılaşıp, iç mine epitelinde yer alan hücrelerin transforming büyüme faktörü beta (TGF- β), kemik morfogenetik protein (BMP), insulin gibi büyüme faktörleri (IGFs) benzeri büyüme faktörleri ve sinyal moleküllerinin salgılanmasıyla oluşmaktadır (55). Dental papilla hücreleri ile iç mine epitelini, kollajen fibrillerini içermekte olan asellüler bir tabaka olan bazal membranla ayrılmaktadır. İç mine epitelinin ters polarizasyon kazanmasından sonra, meydana gelen değişiklikler komşu dental papillayı da etkiler ve ektomezenşimal hücreler mitotik bölünme ile bazal membrana dik bir şekilde yan yana sıralanır. Aselüler tabaka ile birleşen ektomezenşimal hücreler genişleyip uzayarak preodontoblastlara farklılaşır. Preodontoblastların sitoplazmalarının hacmi arttıkça protein sentezleyen organel sayısı da artar ve büyük oranda polarize olmuş, çekirdeği iç mine epitelinden uzağa doğru konumlanmış odontoblast hücreleri oluşur (67).

Odontoblastlar dental papillanın ektomezenşimal hücrelerinden geliştikten sonra diğer basamak da dentin yapımında organik matriks sentezlenmesidir. İlk olarak dentin kollajen fibrilleri oluşur. Sentezlenen fibriller arasında gözlenen, büyük çaplı tip III kollajen fibrillere "von Korff fibrilleri" olarak adlandırılmaktadır. Odontoblastlardaki boyut artışına bağlı olarak gelecekteki mine-dentin birleşimine paralel şekilde konumlanmış, daha küçük yapıda, tip I kollajen fibrilleri sentezlenmektedir. Böylece ilk olarak oluşan dentin olan manto dentinin organik matriksi şekillenmektedir.

Organik matriksin mineralizasyon aşamasında ilk olarak odontoblastlar tarafından üretilen matriks veziküllerinde kristaller halinde görülür. Bu kristaller hızlıca büyür ve veziküllerin parçalanmasıyla kollajen matrikse yayılarak mineralize olmuş matriksi oluşturur.

Yapısal ve bileşimsel açıdan koronal dentinden farklı olan kök dentini ise Hertwing epitel kılıfının epitel hücrelerinin odontoblastlara farklılaşması ile oluşur. Kökte bulunan manto dentindeki kollajen liflerin yerleşim yönü farklıdır. Kök dentininin fosforil içeriği koronal dentininkinden azdır (55). Dentin birikim oranı

koronal dentine göre daha yavaştır ve mineralizasyon derecesi biraz daha azdır (55,68).

2.2.8. Pulpa-Dentin Kompleksi

Dentin ile pulpa aynı embriyolojik kökenden orjin almasına rağmen aralarında pek çok fark bulunmaktadır. Örneğin; pulpa tip I, III, V, VI kollajen içerir iken, dentinin kollajen matriksi esas olarak %97 oranında tip I kollajenden oluşur. Kollajen olmayan proteinlerin dağılımına bakıldığında da dentin fosfoprotein manto dentin hariç mineralize olmuş dentinde bulunurken, pulpada yer almamaktadır. Osteokalsin ve kemik sialoproteini dentinde bulunurken pulpada bulunmamaktadır. Ayrıca proteoglikan ve fosfolipit bileşimi açısından da farklılıklar bulunmaktadır (67).

Pulpa ve dentinin kendilerine has yapısal özelliklere sahip iki farklı doku olmalarına karşılık fonksiyonları birleşmiş bir ünit şeklinde olup buna pulpa-dentin kompleksi denilmektedir. Odontoblastlar bu sistemin önemli unsurlarından biridir. Odontoblastlar dentinin iç kısmına doğru uzantıları ile pulpanın periferinde konumlanır ve dentinin sentezlenmesinde rol oynar. Dentini yapımında görev alan odontoblast hücrelerinin gövdeleri pulpanın içerisinde yer almakla beraber bu hücrelerin sitoplazmik uzantıları (Tomes lifleri) dentin tübüllerinin içlerine doğru uzanmaktadır. Odontoblastik uzantılarla tübül çeperi arasını, pulpanın interselüler bölgelerinde yer alan kolloidal bir sıvı olan dentin lenfi doldurmaktadır. Çeper ile uzantı arasında bulunan sinir liflerinin kaynağı "Raschkow sinir pleksusu" dur (55). Bu yapı nedeniyle, fizyolojik potansiyelinin kaynağı olarak pulpa görülen dentin, fizyolojik ve patolojik uyarılara reaksiyon verebilen canlı bir doku olarak kabul edilir (55,70).

Pulpanın dentin ve mine tarafından sağlanan korumaya ihtiyacı vardır (55). Dış etkenlere pulpadan önce maruz kalan dentin tübülü içindeki sıvı, uyarılara bir yanıt olarak hareket etmektedir. Dentinin sıvı hareketinin büyüklüğüne göre; odontoblastlarda, sinir sonlanmalarında, fibroblast yakınlarında ve kan damarlarında mekanik irritasyona, bozulmaya ya da parçalanmaya neden olduğu düşünülmektedir.

Sıvı hareketinin olmadığı durumlarda da dentin kanalları, bakteri ürünleri gibi zararlı maddelerin pulpaya doğru geçişi için bir difüzyon kanalı görevi görmektedir (74). Dentin üzerindeki herhangi bir etki, pulpa bileşenlerini de etkileyebilmektedir (55). Bu açıdan dentin dış uyaranlara karşı zayıf bir bariyerdir (74).

Pulpa ise dış etkenlere karşı, öncelikle mikroskopik olarak tübüllere mineral depolanması, dentin tübüllerinin sklerozu ve tersiyer dentin yapımıyla tepki gösterir (55). Bu şekilde dentinin bariyer özelliği artırılarak dentin geçirgenliği azaltılmış olur (72). Pulpa, dentin tübüllerinin sklerozu ve tersiyer dentin oluşumunun yanında, sinirlerini, kan damarlarını, immün sistemini ve hücreler arasındaki sıvı değişimini artırarak, etkilenmiş dentinin dışarıya doğru artan sıvı akışı ile de kendisini korur. Bu süreç başından sonuna kadar pulpa ile birlikte dentini de içermektedir. Dentinin irritasyonuna karşı pulpanın bu tepkileri pulpa-dentin kompleksinin dinamik yapısını göstermektedir (74).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, ortodontik tedavi amacıyla ve periodontal problemler nedeniyle çekilmiş olan çürüksüz dişler kullanılmıştır. Dişler, Dicle Üniversitesi Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalına başvuran hastalardan elde edilmiştir. Gruplardaki diş örnekleri, İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde mikro BT cihazı ile taranarak üç boyutlu görüntü verileri elde edilmiştir.

Çalışmamız üç aşamada gerçekleştirilmiştir;

1. Dişlerin toplanması

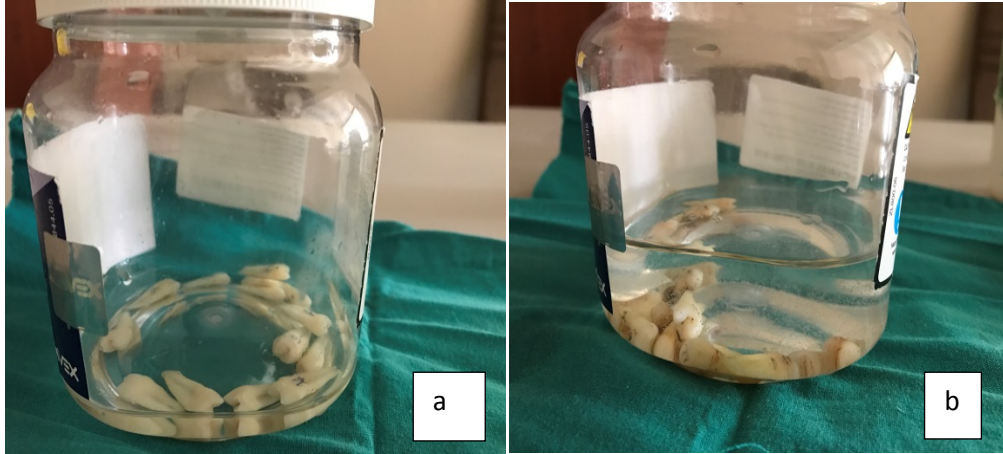
2. Çalışma gruplarındaki örneklerin Mikro BT cihazı ile Taranarak görüntü verilerinin elde edilmesi

3. Mikro BT ile taranan örneklerin görüntü verilerinin bilgisayar ortamında CTAn programı kullanılarak doku segmantasyonunun yapılarak mine, dentin dokularının hacimlerinin hesaplanması ve mineral yoğunluklarının tespit edilip istatistiksel analizlerin yapılması.

3.1. Çalışmada Kullanılacak Olan Diş Örneklerinin Toplanması

Bu tezde kullanılan diş örnekleri, Grup 1: ortodontik tedavi amacıyla çekilmiş olan genç daimi üst 1. premolar dişler ve Grup 2: periodontal tedavi amacıyla çekilmiş olan daimi üst 1. premolar dişlerden oluşturuldu. Dişler Dicle Üniversitesi Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalında toplanmıştır. Bunun için toplamda 30 diş toplanmıştır. Çürüksüz, kanal tedavisi, dolgu ve veneer kuron yapılmamış daimi dişler bu çalışma amacıyla kullanılmıştır.

Çekilen dişlerin köklerinin üzerindeki yumuşak doku ve artıklar bir kretuar yardımıyla uzaklaştırılıp dişler pomza ve politür fırçası yardımıyla temizlendikten sonra, oda sıcaklığında distile su içerisinde bekletildi.



Resim 1. Çalışmamızda kullanılmış olan diş örnekleri. a:Grup 1, b:Grup 2.

3.2. Hazırlanan Çalışma Gruplarındaki Örneklerin Mikro BT Cihazı ile Taranması

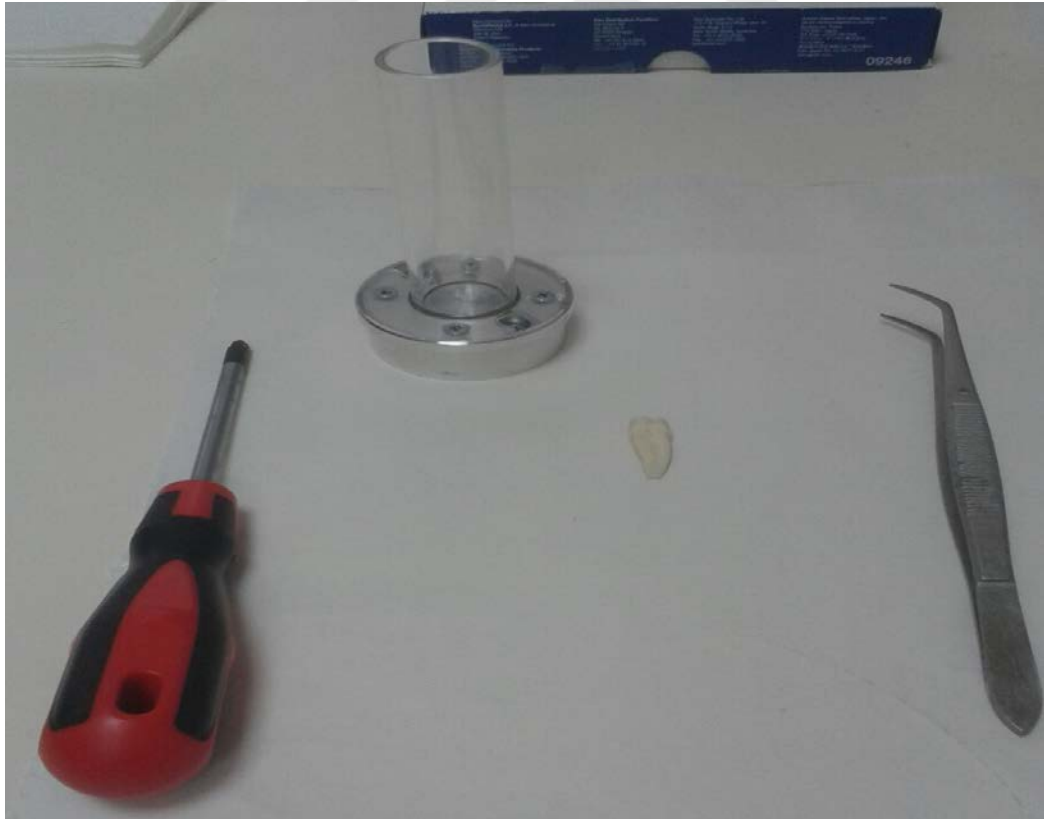
Örneklerin incelenmesi için masa üstü Mikro BT (Skyscan 1172, Bruker, Belgium) cihazı kullanıldı (Resim 2). Dişler tutucusuna yerleştirildi (Resim 4). Numuneler, numune tutucuyla beraber numune yatağına sabitlenir (Resim 3). Kapak kapatılır. Kamera piksel boyutu 9 μm , kamera açısı 0.9983, voltaj 85 kV, 118 miliamper, rekonstrüktör dönme açısı 360 derece, dönme açısı 2 derece olarak ayarlanmıştır ve her bir örnek 1 saat taranarak ortalama 1000-1200 görüntü kesit verileri elde edilmiştir. Sonrasında örneklerden elde edilen görüntü verileri rekonstrükte edilmiştir. Gruplardaki örnekler, yarım açıyla dönerken 180 dereceye tamamlanıncaya kadar projeksiyon görüntüleri alınır. 16 Bit’lik TIFF(Tagged Image File Format) formatında görüntüler kaydedilir (Resim 5).



Resim 2. Mikro BT Cihazı (Skyscan 1172, Bruker, Belgium).



Resim 3. Cihazın iç haznesine sabit pozisyonda durması için peçete rulosu içine yerleştirilmiş olan örnek dişin görünümü.



Resim 4. Örnek tutucusu.



Resim 5. Örnekler mikro BT cihazı ile taranırken elde edilen görüntü verileri bilgisayar ortamında kaydedilir.

3.2.1 Görüntü Rekonstrüksiyonu

Cihaz içerisine örnekler yerleştirildikten sonra nesne 180 veya 360 derece döndürülmektedir. Her açı pozisyonunda bir gölge görüntüsü ve geçiş görüntüsü oluşturulur. Görüntüler diske 16 bit TIFF dosyaları şeklinde kaydedilir. Tarama bittikten sonra bir dizi x-ray görüntüsü oluşur. Oluşan görüntü sayısı, cihazın seçilen döndürme hızına ve toplam dönüş sayısına bağlı olarak farklılıklar gösterir. Tüm bu işlemlerden sonra rekonstrüksiyona başlanabilir. Elde edilen 16 bit TIFF görüntüler, nesnenin tamamı boyunca sanal dilimlerin rekonstrüksiyonu için kullanılmaktadır. Rekonstrüksiyon sonrasında ham veri kesitleri oluşturulur. Rekonstrüksiyon yapılan kesitteki absorpsiyon değerini sağlayan kayan nokta matriksidir. Matriks boyutu bir kesitteki piksel sayısı gibidir (84).

3.2.1.1 CTAn Software Programı

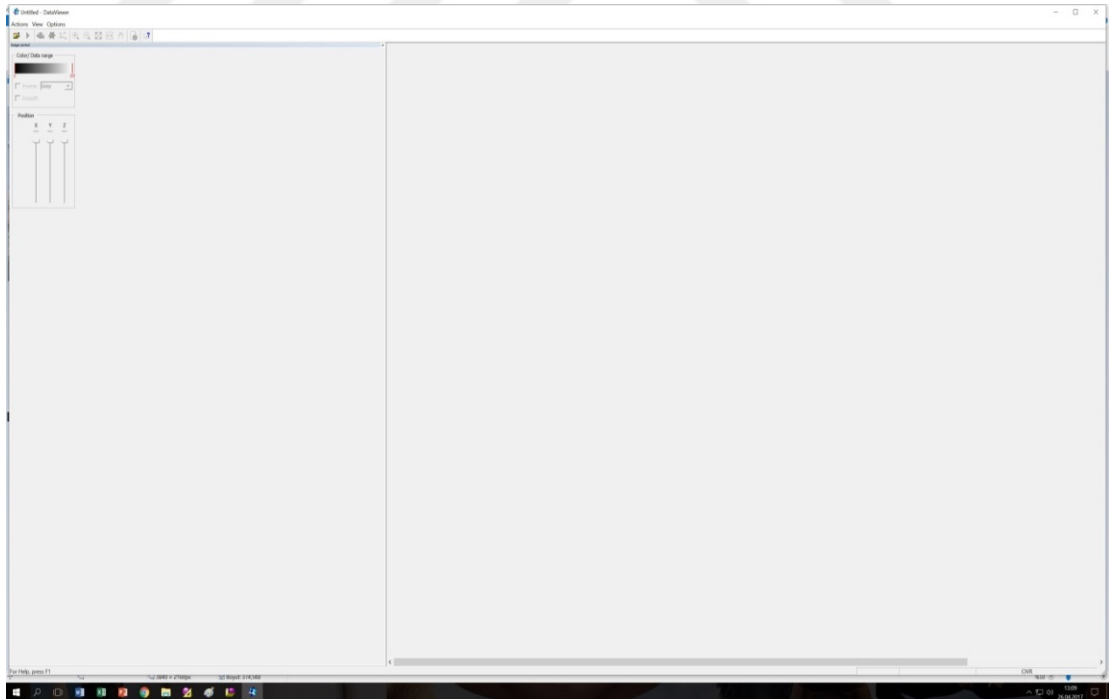
CT-Analizatörü; nicel parametreleri türetmek ve Skyscan mikro-BT(Skyscan 1172, Bruker, Belgium) araçları ile örneklerden elde edilen tarama görüntü verileri setlerinden üç boyutlu hacimsel görüntüler oluşturulması için kullanılan bir programdır. CTAn (computer tomography Analyzer) gerçek zamanlı işlenmiş hacim modeli oluşturup görüntülemeyi sağlar. Mikro BT taraması yapılmış örnek modellerden BT- hacimli görüntüleri CTAn tarafından oluşturulur. Nicel ölçümler, dansitometre (voksel zayıflama katsayısı veya kalibrasyon yoğunluğuna göre) değerleri elde edilerek yapılmış. Morfometre çalışmaları (büyüklük ve şekil analizi)

ikinci bir segmente dayalı (siyah ve beyaz) görüntülerin radyo opasitesine göre elde edilmiştir (84).

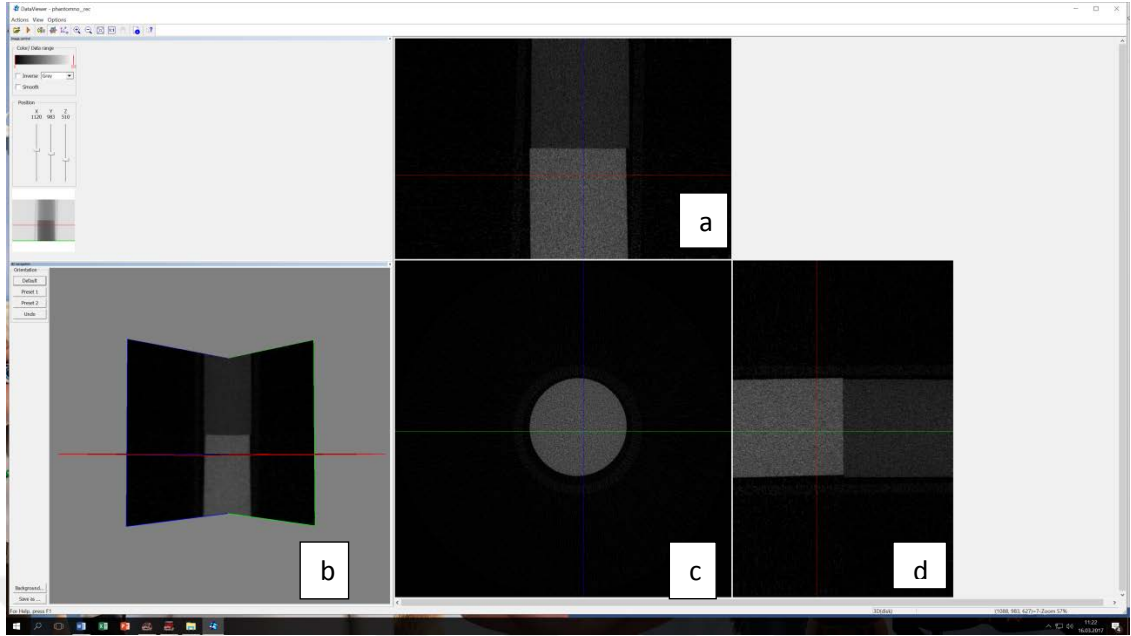
Thresholding (Eşikleme veya segmentasyon) basit global veya uyarlamalı yöntemlerle yapılır. Araçlar, yapısal görülecek olan tüm 3D nicel analiz, temel başlangıç noktasına göre konumlandırma dahil olmak üzere, ilgili kesit görüntülerinin tamamı (VOI) tanımlenilmesinin veri dizinleri ile sınırlandırılır. CTAn' dan yeni veri dizini olarak yazılabilir. CTAn; 3D modeli görüntüler ve mikro BT tarama veri setlerinden nicel veriler elde etmek için kapsamlı bir ortam oluşturmaktadır (84).

3.3. Mikro BT ile Taranan Gruplardaki Örneklerin Analizlerinin Yapılması

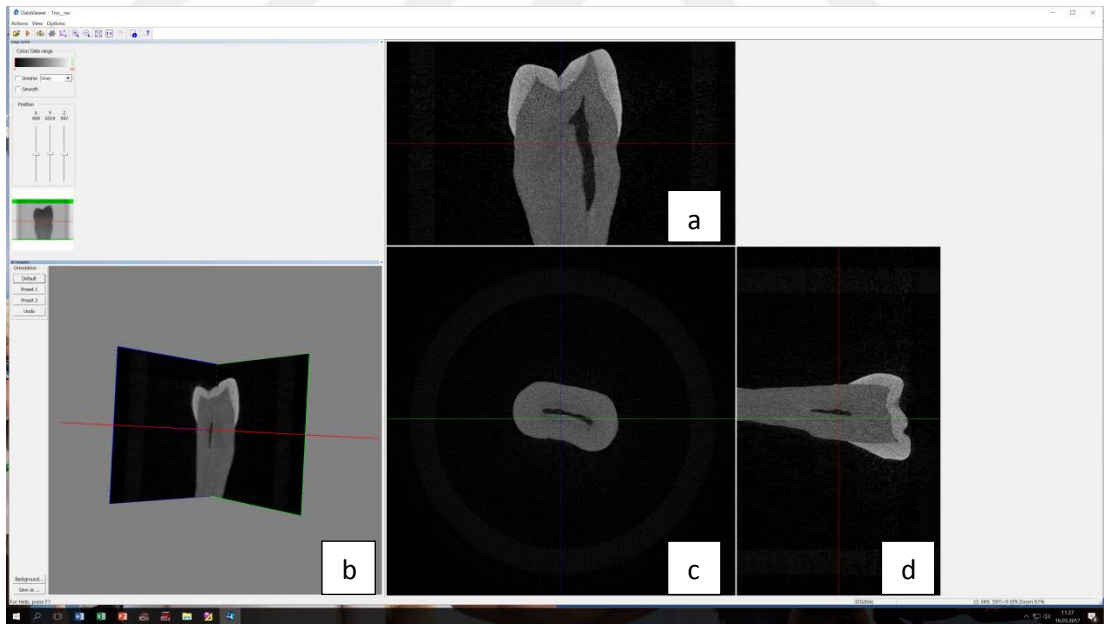
Mikro BT cihazı taranan materyallerden elde edilen kesitler öncelikle Data Viewer Software programı ile incelenmiştir (Resim 6,7,8,9). Taranan kesitlerde eksiklik, hata veya taranmaya bağlı olarak görülebilen saçılmalar tespit edilip düzeltilmiştir.



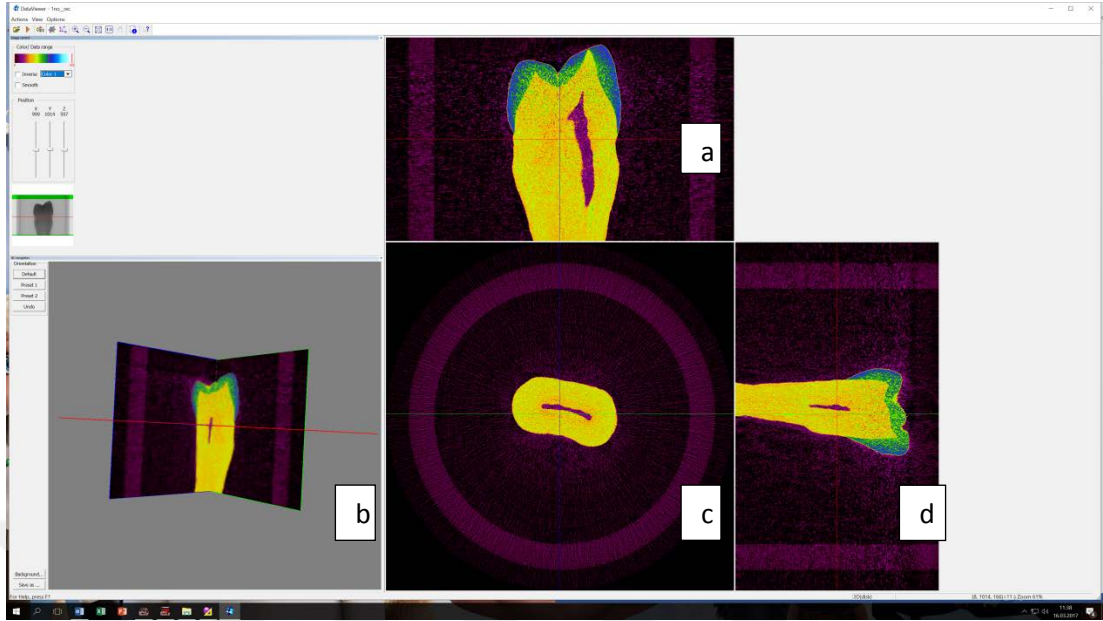
Resim 6. Data Viewer Software programı çalışma ekranı



Resim 7. Kalibrasyon sağlamak için fantom çubuklarından DataViewer Software programı ile alınmış kesit görüntüsü. (a:3 boyutlu fantom çubuğu görüntüsü, b:sagittal kesit, c:aksiyal kesit, d:koronal kesit)



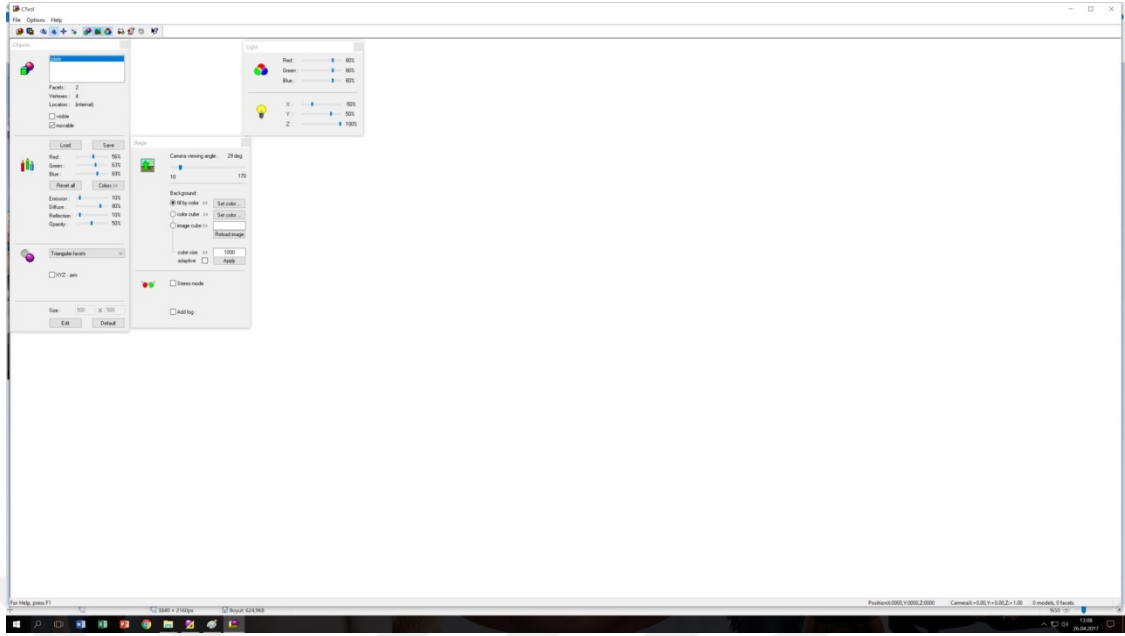
Resim 8. Grup 2'den alınmış bir örneğin, DataViewer Software programı ile alınmış kesit görüntüsü. (a:3 boyutlu diş görüntüsü, b:sagittal kesit, c:aksiyal kesit, d:koronal kesit)



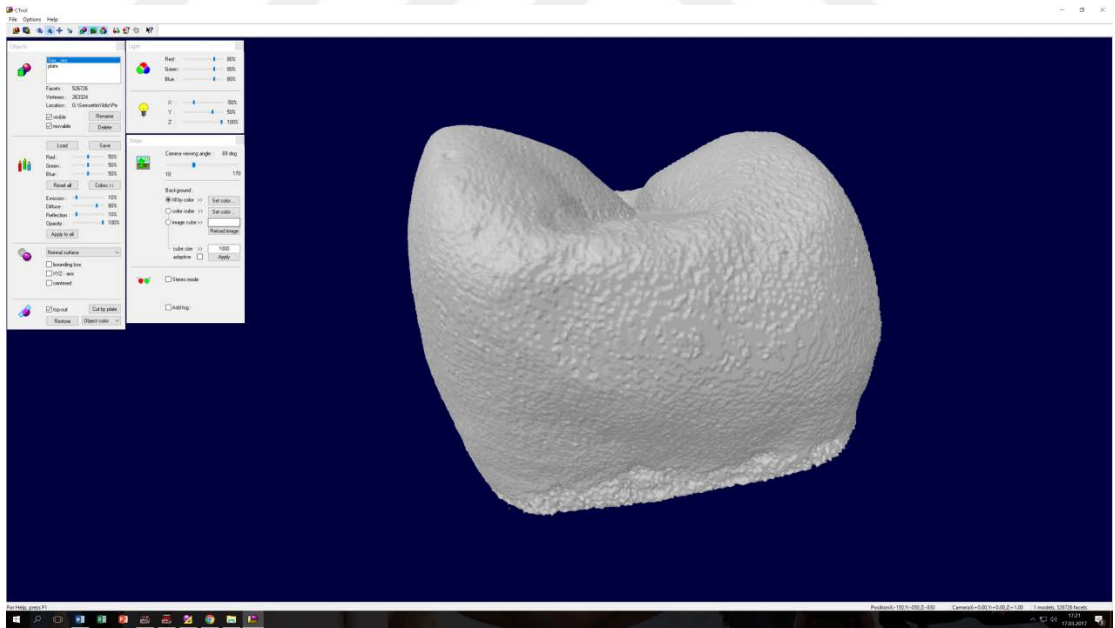
Resim 9. Grup 2’den alınmış bir örneğin, DataViewer Software programı ile alınmış kesit görüntüsü. (a:3 boyutlu dişin görüntüsü, b:sagital kesit, c:aksiyal kesit, d:koronal kesit)

3.3.1. Çalışmamızda Kullanılan Karşılaştırma için Dişlerin Kron Hacimlerinin Hesaplanması

Rekonstrüksiyonu yapılmış ve Data Viewer Software programı ile analiz edilmiş olan örneklerin kesitsel görüntü verilerinden CTAn software programı kullanılarak kron hacimleri mine-sement sınırı rehber alınarak hesaplanmıştır (Resim 10,11).

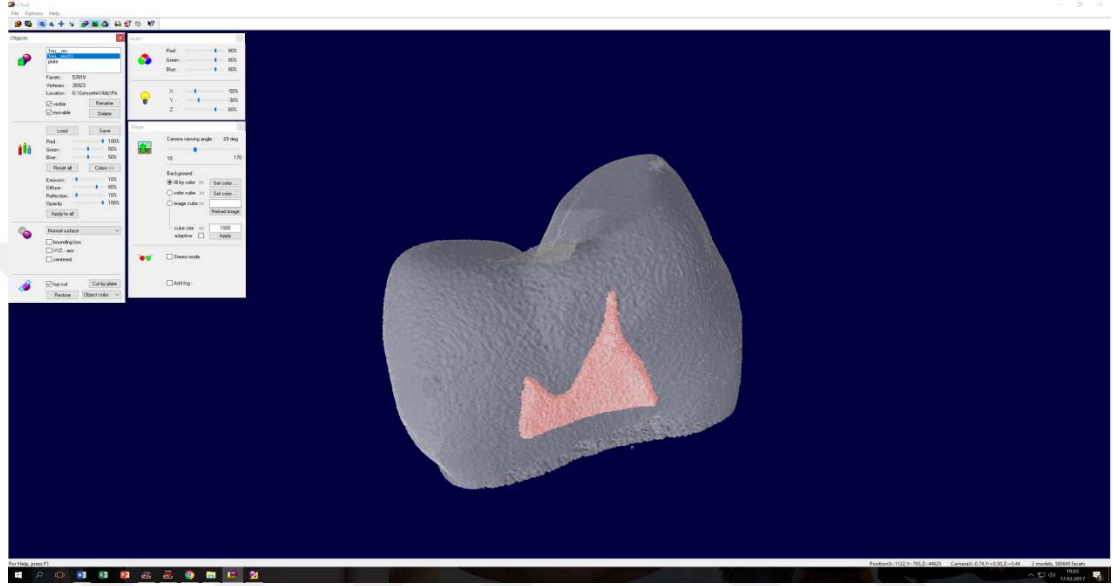


Resim 12. CTAn verilerinden volumetrik üç boyutlu verilerin elde edilmesi için kullanılan CTvol programı çalışma ekranı.

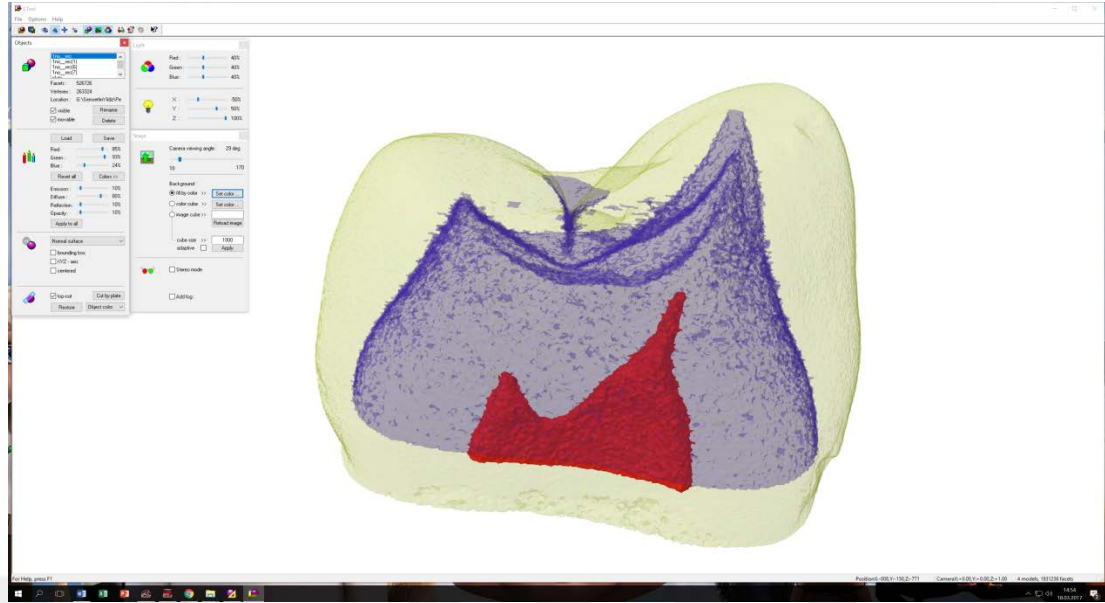


Resim 13. CTAn verilerinden CTvol programı ile elde edilmiş olan çalışma gruplarına ait bir dişin kron kısmının CTvol programı ile üç boyutlu volumetrik görüntüsü.

CTAn Software programı ile tüm çalışma guruplarına ait örneklerin kron kısımları ayrıştırılarak CTvol programı ile üç boyutlu volumetrik görüntü verileri elde edildi. Benzer şekilde CTvol programı kullanılarak çalışmamızda kullanılan örneklerin pulpa, mine ve dentin dokuları yoğunluk farklılıkları sayesinde ayrıştırıldı ve üç boyutlu volumetrik veriler elde edildi, pulpa, mine ve dentin dokularının hacimleri ölçülerek, karşılaştırmalar için elde edildi (Resim 12,13,14,15).



Resim 14. CTvol programı ekranında kron içerisindeki pulpa dokusunun volumetrik görüntüsü.

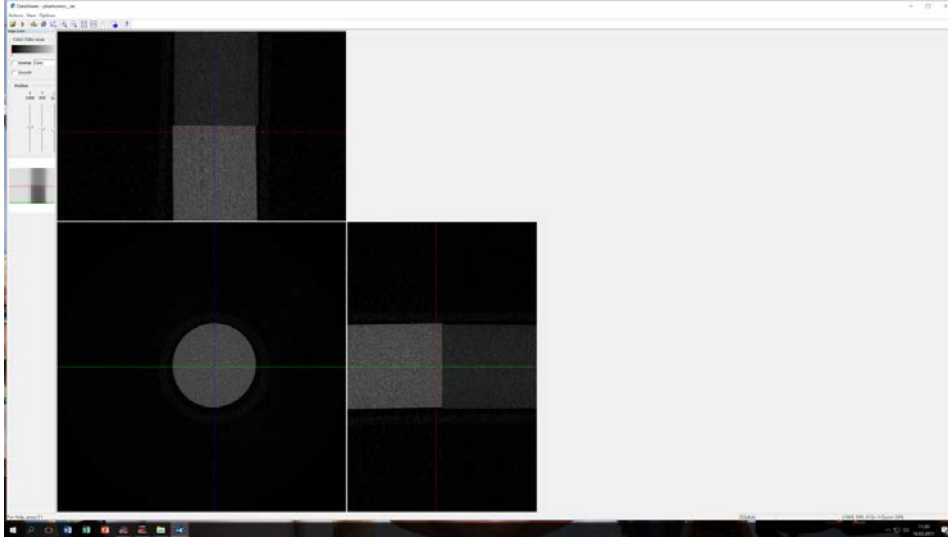


Resim 15. CTvol ekranında çalışmada kullanılan bir örnekte dişin kron, mine dentin ve pulpa dokularının ayrıştırılmış görüntüsü.

3.3.2. Çalışmamızda kullanılan Dişlerin Yoğunluklarının ölçülmesi

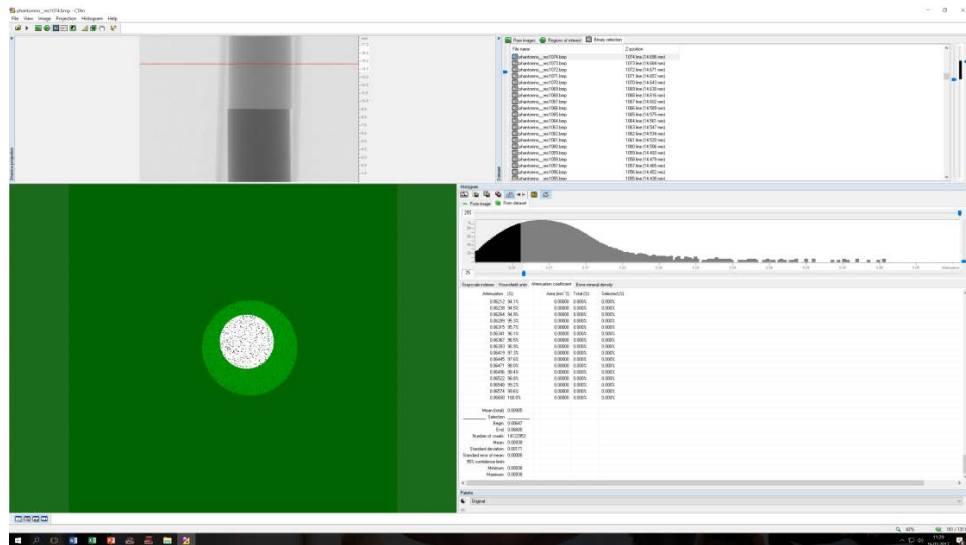
Gruplardaki dişlerin mine ve dentin dokularının yoğunlukları okluzal, orta ve apikal üçlü olarak farklı bölgelerden CTAn programı ile ayrı ayrı ölçülerek elde edildi. Materyallerin yoğunluklarının elde edilmesi için farklı yoğunluktaki iki adet fantom çubuğu Mikro BT cihazı ile taranarak kalibrasyon yapıldı.

Materyal X ışınına maruz kaldığı zaman materyalin yoğunluğu ile ilişkili bir zayıflama katsayısı belirlenmektedir. Mikro BT'de materyal yoğunluğunun belirlenmesinde kalibrasyon fantomları kullanılmaktadır. Bu kalibrasyon fantomlarının konsantrasyonları 0.25 ve 0.75 g.cm^{-3} arasında değişmektedir. 0.25 lik kalibrasyon fantomu için bir zayıflama katsayısı değeri bulunmuştur (Resim 16). Sonrasında 0.75 lik kalibrasyon fantomu için de bir zayıflama katsayısı değeri bulunmuştur. Bulunan bu değerler program sistemine kaydedilmiştir. Yoğunluğunu bulmak istediğimiz alanı program ile seçtikten sonra ilgili bölgenin yoğunluğu zayıflama katsayıları kullanarak tespit edilmiştir.

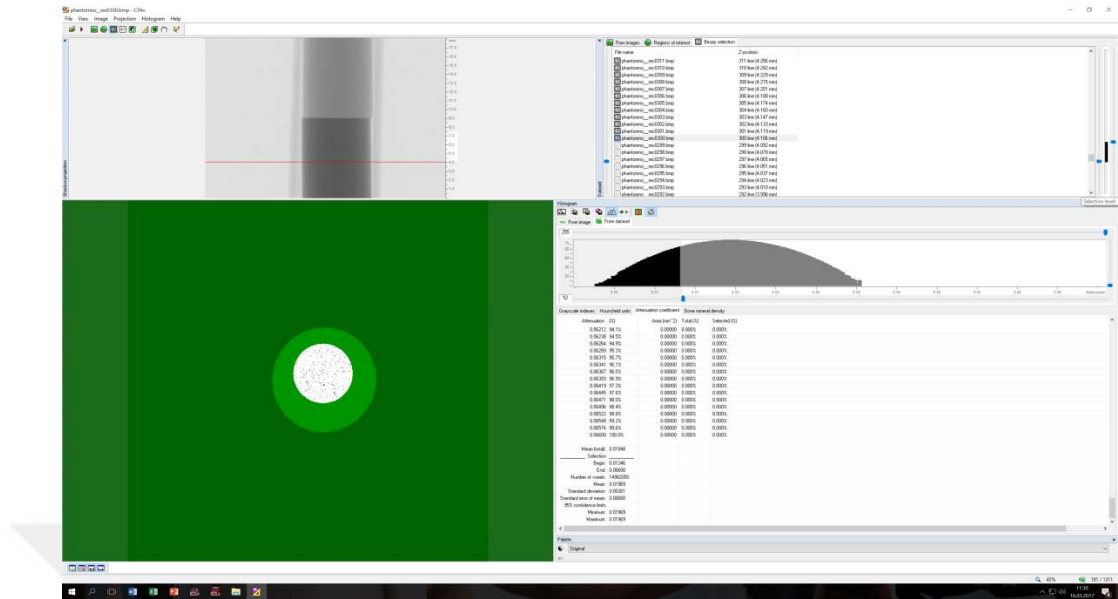


Resim 16. Mikro BT ekranında fantom çubuklarının sagital-koronal ve aksiyal görüntüsü.

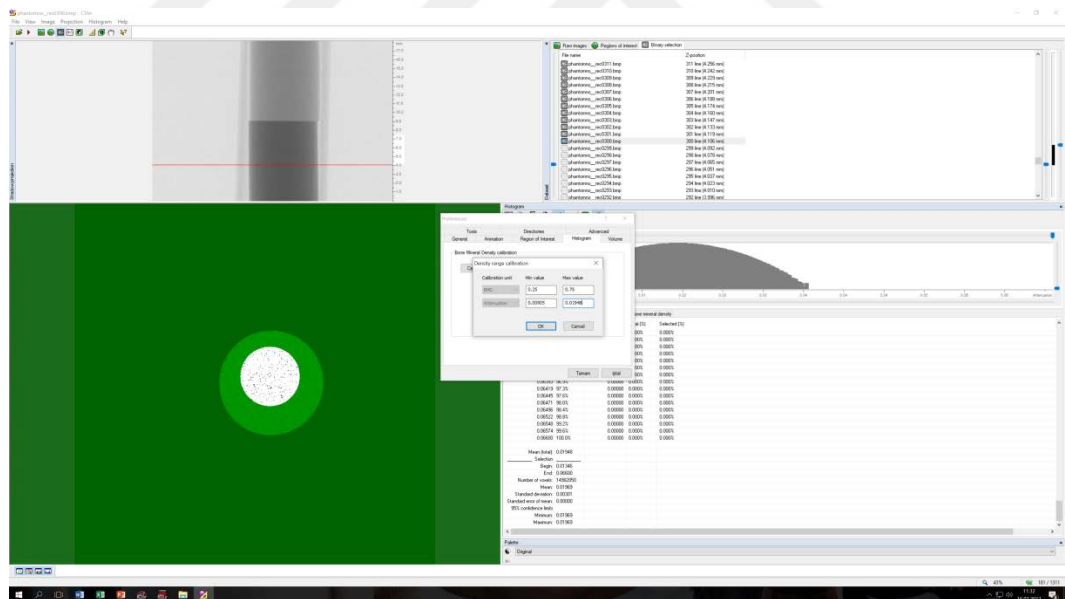
Radyopak olan fantom çubuğu 0.75 g.cm^{-3} yoğunlukta, radyolusent olan fantom çubuğu 0.25 g.cm^{-3} yoğunlukta 0.25 g.cm^{-3} yoğunluktaki fantom çubuğu için 0,00905 olan kalibrasyon değeri elde edildi. Benzer şekilde 0.25 g.cm^{-3} yoğunluktaki fantom çubuğu için 0,01948 olan kalibrasyon değeri elde edildi (Resim 17,18). Elde edilen bu değerler materyallerin yoğunluklarının doğru bir şekilde tespit edilmesi için sisteme yüklendi (Resim 19).



Resim 17. CTAn programı ekranında 0.25 g.cm^{-3} yoğunluktaki fantom çubuğu için 0,00905 olan kalibrasyon değerinin görünümü.



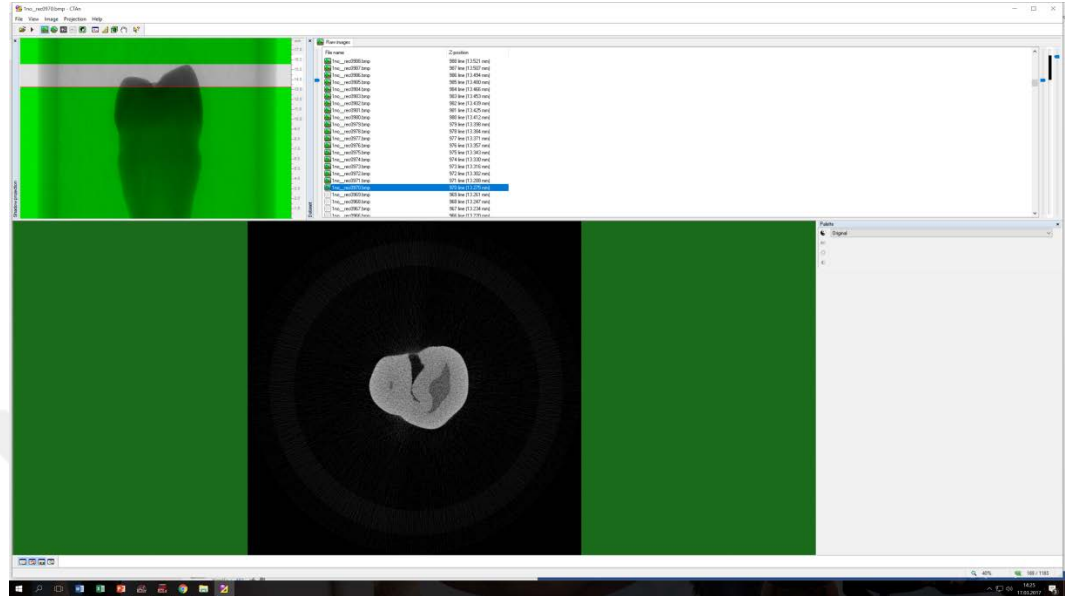
Resim 18. CTAn programı ekranında 0.75 g.cm^{-3} yoğunluktaki fantom çubuğu için 0,01948 olan kalibrasyon değerinin görünümü.



Resim 19. CTAn programında belirlenen kalibrasyon değerlerinin sisteme yüklenmesi.

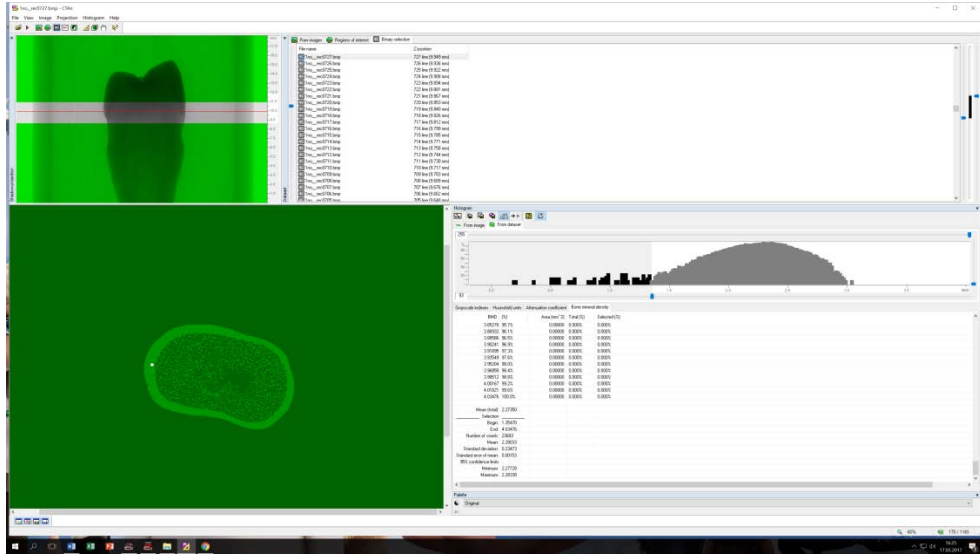
Kalibrasyon değerleri sisteme yüklendikten sonra kronun okluzal üçlü mine-dentin, orta üçlü mine-dentin, apikal üçlü mine-dentin yoğunlukları ayrı ayrı

hesaplandı. Bunun için CTAn Software programı ile öncesinde okluzal üçlü, orta üçlü ve apikal üçlü bölgeleri sınırlandırılarak belirlendi (Resim 20).



Resim 20. CTAn Software programı ile koronal üçlü bölümünün ayrıştırılması.

İşaretlemiş olduğumuz okluzal üçlü bölgede mine ve dentin kısmında hedef noktalar işaretlenerek yoğunluklar tespit edilmiştir. Okluzal üçlüde mine hacminin hesabı yapılan tüm koronal bölgeyi takip edecek şekilde alanlar işaretlendi. Resimde beyaz alanla gösterilen bölge hedef alınarak ölçümler yapıldı. Yoğunluklar okluzalden apikale doğru inilerek bakıldı. Tüm bu işlemler okluzal, apikal ve orta üçlü için ayrı ayrı uygulandı (Resim 21,22,23).



Resim 23. CTAn programı ile apikal üçlü yoğunluk hesaplanması görünümü.

Elde edilen veriler istatistiksel analiz için excel dosyasına aktarıldı ve Her bir örneğin analiz sonucunda dişlerin; kron, mine, dentin ve pulpasını gösteren üç boyutlu görüntüler elde edildi.

3.4. İstatistiksel İnceleme

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, parametrelerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-wilk testi ile test edildi. Bu sonuçlara göre veriler normal dağıldığından grupların kendi aralarında karşılaştırmalarında parametrik testlerden iki bağımsız grubun ortalamalarını test eden Student t-testi ile değerlendirildi.

4. BULGULAR

Çalışmamızda kullandığımız 15 örnek genç maksiller 1. premolar ve diğer 15 örnek ise erişkin maksiller 1. premolar olmak üzere toplam 30 örnek ile yapılmıştır (Tablo 2).

Çalışma Grubu

Gruplar	Örnek Sayısı/ yüzde
Grup 1 : Genç Maksiller 1. Premolar (ortodontik tedavi amacıyla çekilmiş dişler)	15 (%50)
Grup 2: Erişkin Maksiller 1. Premolar (Periodontal tedavi amacıyla çekilmiş dişler)	15 (%50)
Toplam Örnek Sayısı	30

Tablo 2. Çalışma grupları

Birinci ve ikinci gruptaki dişlerin mine dokularının okluzal, orta, apikal üçlü, dentin dokusunun okluzal, orta, apikal üçlü mineral yoğunlukları, ortalama mine ve dentin dokusunun mineral yoğunluk değerleri CTAn programı vasıtası ile ölçülerek elde edilen veriler Tablo 3’ de özetlenmiştir.

Çalışma grupları arasında yapılan ikili karşılaştırmalarda grup 1 dişlerin mine ve dentin dokularının okluzal, orta, apikal mineral yoğunluk değerleriyle, grup 2 dişlerin mine ve dentin dokularının okluzal, orta, apikal üçlü mineral değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir ($p>0,05$). Aynı zamanda ortalama mine ve dentin dokusunun mineral yoğunluk değerleri gruplar arasında

kıyaslandığında istatistiksel bir fark görülmemiştir (Tablo 3,4 ve Grafik 1). İstatistiksel olarak fark görülmemiş olmasına rağmen minenin okluzal, apikal üçlü ve dentinin okluzal üçlü yoğunluk değerleri, grup 1 dişlerde daha fazladır. Aynı zamanda mine dokusunun orta üçlü yoğunluğu ile dentin dokusunun orta ve apikal üçlü yoğunluğu, grup 2 dişlerde daha fazladır. Tüm numunelerde mine ve dentin dokusunun mineral yoğunluğu okluzal kısımda apikale göre daha fazladır.

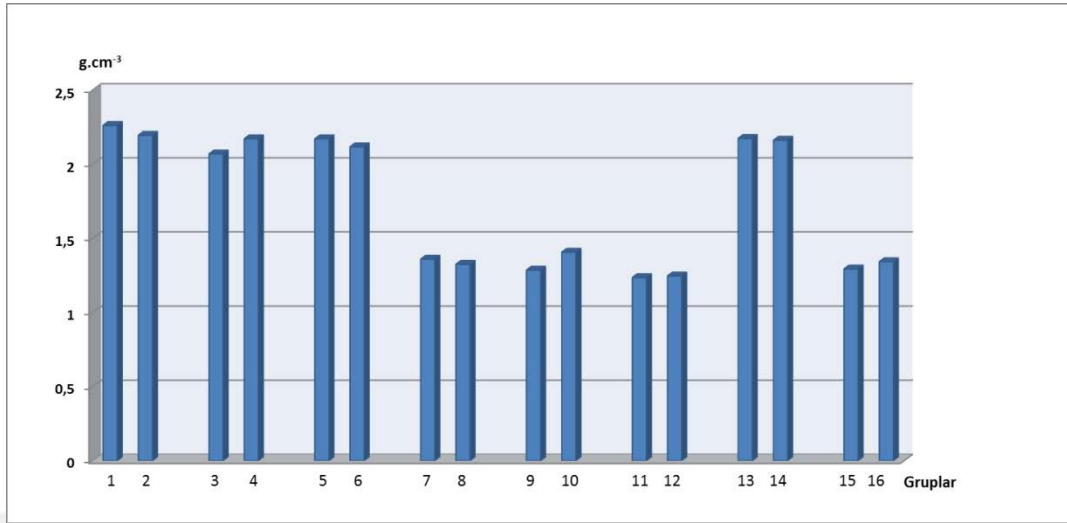
Çalışmamıza dahil edilmiş olan tüm dişlerin toplam mine ve dentin dokularının mineral yoğunluk değerleri (Tablo 5,6 ve Grafik 2) kıyaslandığında gruplardaki tüm dişlerin ortalama dentin yoğunluğu ($1,309 \pm 0,200 \text{ g.cm}^{-3}$) ve mine yoğunluğu ($2,164 \pm 0,195 \text{ g.cm}^{-3}$) arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,05$).

Gruplar		N	Ortalama(g.cm^{-3})	Std. Sapma
Mine Okluzal Üçlü	1	15	2,2619	,09246
Yoğunluğu	2	15	2,1950	,25167
Mine Orta Üçlü	1	15	2,0690	,24933
Yoğunluğu	2	15	2,1716	,23602
Mine Apikal Üçlü	1	15	2,1711	,09025
Yoğunluğu	2	15	2,1177	,14463
Dentin Okluzal Üçlü	1	15	1,3594	,06980
Yoğunluğu	2	15	1,3251	,15194
Dentin Orta Üçlü	1	15	1,2861	,11187
Yoğunluğu	2	15	1,4064	,41150
Dentin Apikal Üçlü	1	15	1,2358	,03896
Yoğunluğu	2	15	1,2468	,14524
Tüm Kron Mine	1	15	2,1740	,10747
Yoğunluğu	2	15	2,1614	,10101
Tüm Kron Dentin	1	15	1,2938	,05461
Yoğunluğu	2	15	1,3423	,20614

Tablo 3. 1; Grup 1 ve 2; Grup 2 Dişlerden elde edilen yoğunluk ve standart sapma değerleri.

Değişkenler	t	Sig. (2-tailed)
Mine Okluzal Üçlü Yoğunluğu	,967	,342
Mine Orta Üçlü Yoğunluğu	-1,158	,257
Mine Apikal Üçlü Yoğunluğu	1,212	,235
Dentin Okluzal Üçlü Yoğunluğu	,795	,433
Dentin Orta Üçlü Yoğunluğu	-1,093	,284
Dentin Apikal Üçlü Yoğunluğu	-,284	,779
Tüm Kron Mine Yoğunluğu	,331	,743
Tüm Kron Dentin Yoğunluğu	-,881	,386

Tablo 4. Yoğunluk değerlerinin t- testine göre analizi sonuçları. Bütün değişkenler açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadı $p>0.05$.



Grafik 1: Grup 1 ve Grup 2 mineral yoğunluk değerlerinin değişimi

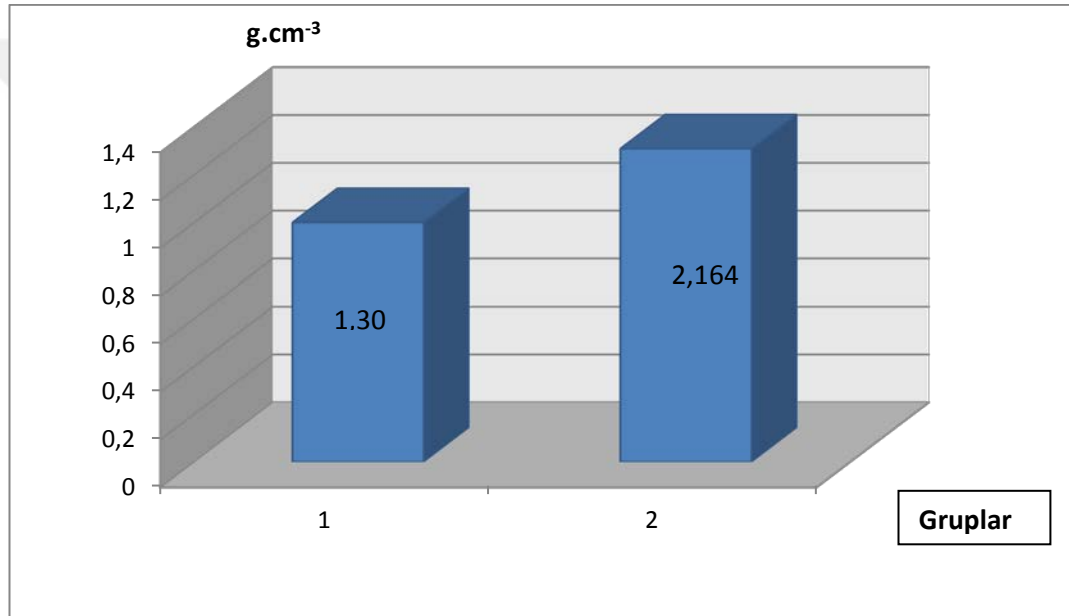
1; Grup 1 mine okluzal üçlü yoğunluğu, 2:Grup 2 mine okluzal üçlü yoğunluğu
 3:Grup 1 mine orta üçlü yoğunluğu, 4:Grup 2 mine orta üçlü yoğunluğu
 5: Grup 1 mine apikal üçlü yoğunluğu, 6: Grup 2 mine apikal üçlü yoğunluğu
 7:Grup 1 dentin okluzal üçlü yoğunluğu, 8: Grup 2 dentin okluzal üçlü yoğunluğu
 9: Grup 1 dentin orta üçlü yoğunluğu, 10: Grup 2 dentin orta üçlü yoğunluğu
 11: Grup 1 dentin apikal üçlü yoğunluğu, 12: Grup 2 dentin apikal üçlü yoğunluğu
 13: Grup 1 tüm kron mine yoğunluğu, 14: Grup 2 tüm kron mine yoğunluğu
 15: Grup 1 tüm kron dentin yoğunluğu, 16: Grup 2 tüm kron dentin yoğunluğu

Gruplar	N	Ortalama(g.cm ⁻³)	Std. Sapma
Gruplardaki Tüm Dişlerin Ortalama Dentin Yoğunluğu	90	1,309	,200
Gruplardaki Tüm Dişlerin Ortalama Mine Yoğunluğu	90	2,164	,195

Tablo 5. Gruplardaki tüm dişlerin ortalama dentin ve mine yoğunluk ve standart sapma değerleri arasında fark görüldü.

Gruplar	t	Sig. (2-tailed)
Tüm Dişlerin toplam mine ve dentin yoğunlukları	-28,954	,000*

Tablo 6. Gruplardaki tüm dişlerin ortalama dentin ve mine yoğunluklarının t-Testi ile analiz sonuçlarına göre farklılık bulundu.*İstatistiksel olarak anlamlı ($p < 0.05$)



Grafik 2. Gruplardaki tüm dişlerin farklılık gösteren ortalama mine ve dentin yoğunluklarının grafiksel görünümü.

1: Gruplardaki tüm dişlerin ortalama dentin yoğunluğu

2: Gruplardaki tüm dişlerin ortalama mine yoğunluğu

Gruplar		N	Ortalama	Std. Sapma
Pulpa Hacminin Kron Hacmine Göre Yüzdelik Oranı	1	15	% 1,690 mm ³	,423
	2	15	%1,322 mm ³	,573
Mine Hacmi Kron Hacmine Göre Yüzdelik Oranı	1	15	%48,81 mm ³	3,068
	2	15	%45,25 mm ³	3,760
Dentin Hacminin Kron Hacmine Göre Yüzdelik Oranı	1	15	% 49,49 mm ³	2,888
	2	15	% 53,42 mm ³	3,919
Kron Hacmi	1	15	284,2 mm ³	40,65
	2	15	253,8 mm ³	42,18

Tablo 7. 1; Grup 1, 2; Grup 2 Ortalama pulpa, mine ve dentinin hacminin kron hacmine göre yüzdelik hacim ve standart sapma değerleri arasında bütün gruplar arasında fark görüldü.

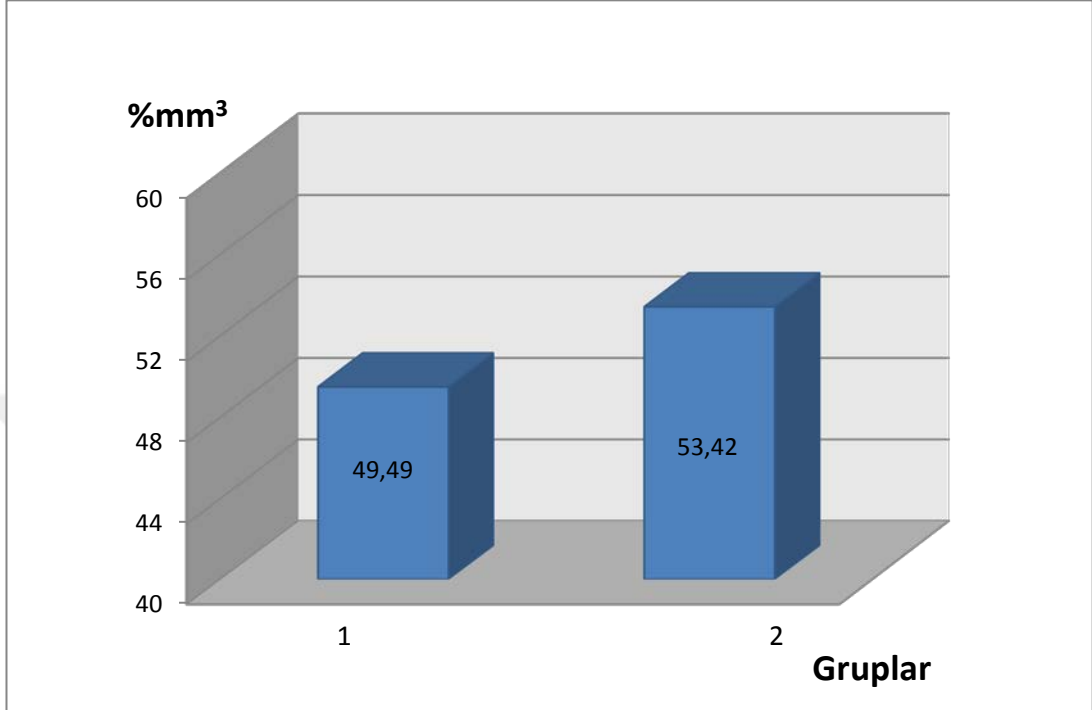
Değişkenler		
	t	Sig. (2-tailed)
Pulpa Hacminin Kron Hacmine Göre Yüzdelik Oranı	1,998	,050*
Mine Hacminin Kron Hacmine Göre Yüzdelik Oranı	2,843	,008*
Dentin Hacminin Kron Hacmine Göre Yüzdelik Oranı	-3,126	,004*
Kron Hacmi	2,007	,055

Tablo 8. Pulpa, mine ve dentin hacimlerinin kron hacmine göre yüzdelik oranları bakımından t- testi analiz sonuçlarına göre farklılık görüldü.

*İstatistiksel olarak anlamlı (p<0.05)

Gruplar kendi aralarında ikili karşılaştırmalarında mine, dentin ve pulpa hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranı arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur (p<0.05). Grup 1 dişlerin mine ve pulpa hacminin kron

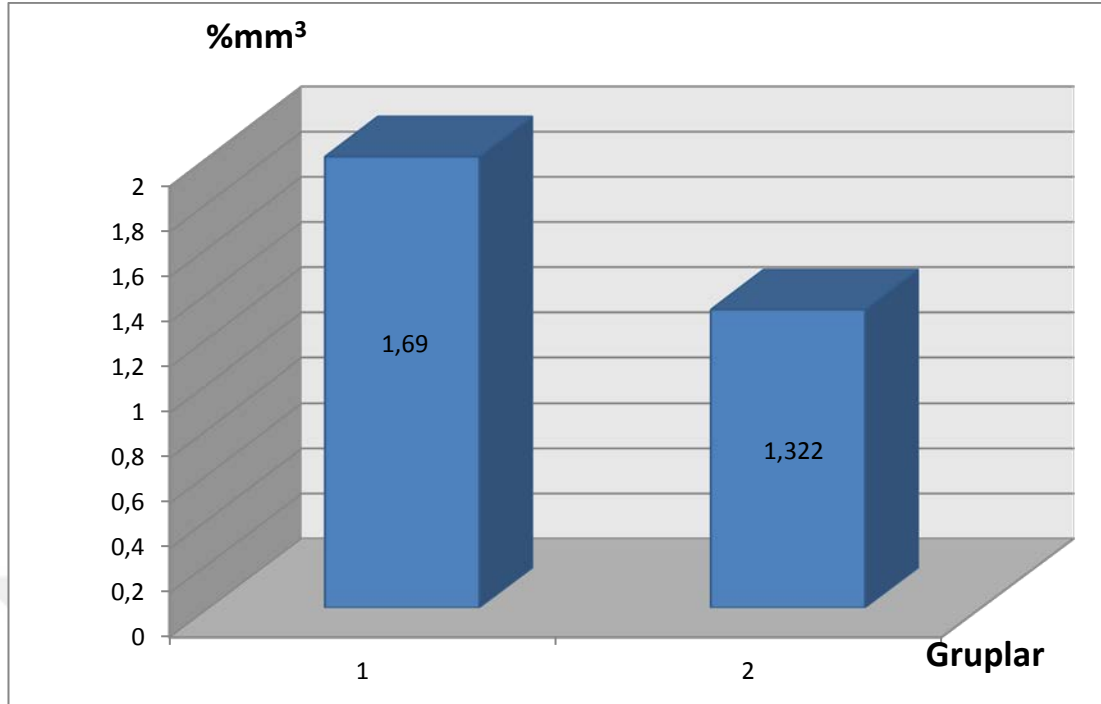
hacmine göre yüzdelik oranı Grup 2 dişlere göre daha fazla olmasına rağmen dentin hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranı daha azdır (Tablo 7,8 ve Grafik 3,4,5).



Grafik 3. Gruplar arasında istatistiksel olarak farklılıklar bulunan dentin hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranının grafiksel görünümü.

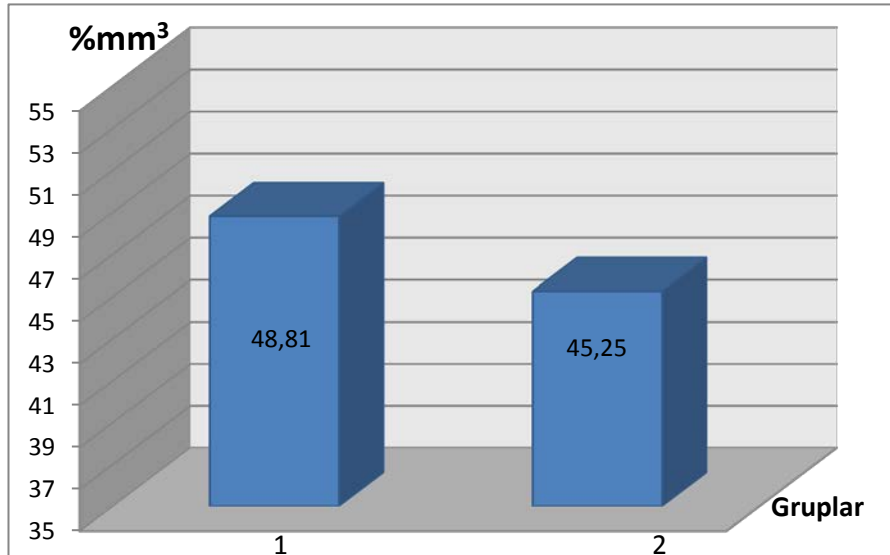
1: Grup 1 dentin dokusu hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranı

2: Grup 2 dentin dokusu hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranı



Grafik 4. Pulpa dokusu hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranının gruplar arasında değişiminin grafiksel görünümü.

- 1: Grup 1 pulpa dokusu hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranı
 2: Grup 2 pulpa dokusu hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranı



Grafik 5. Mine dokusu hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranının değişim grafiği.

- 1: Grup 1 pulpa dokusu hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranı
 2: Grup 2 pulpa dokusu hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranı

5. TARTIŞMA

Diş kronu en dıştan içe doğru mine, dentin ve pulpadan oluşmaktadır (7,8,57,86). Dişin sert ve yumuşak dokuları diş sürmesinden hemen sonra fiziksel ve biyolojik değişikliklere uğrar ve hayat boyu devam etmektedir (88).

Olgunlaşmış mine dokusu vücudun en sert kısmını oluşturmaktadır ve organik matriksi yok denecek kadar azdır. Mine dokusu, kendini yenileme yeteneği olmayan ve sinir damar paketi içermeyen cansız bir yapıdır (7,8,9,56). Yaşla beraber çığnemenin etkisiyle oluşan okluzal kuvvetler sonucunda mine dokusunda aşınmalar olmaktadır (9,10). Buna ilaveten minenin renginde solma geçirgenliğinde azalma olmaktadır. Ayrıca sabit renk ve boyutta kalabilen bir doku değildir ve hayat boyu değişikliklere uğramaktadır (7,56). Zamanla mine dokusundaki bu aşınmalara ek olarak, minenin mekaniksel özellikleri, difüzyon durumlarına göre değişebileceği iddia edilmiştir (88).

Dentin dişin hacimsel olarak en büyük kısmını oluşturmaktadır. Dişin hem kron hem de kökünde dentin bulunmaktadır (86). Dentin dokusunun canlı bir yapı olması sebebiyle, dentinin fizyolojik ve patolojik uyarılara cevap oluşturabilme yeteneği vardır. Yaşa bağlı olarak dentinde meydana gelen değişiklikler çok daha fazladır. Dentinogenezisin başlamasıyla birlikte yapımı başlanan ve kök gelişimi tamamlanana kadar devam eden dentine primer dentindir (87,55). Primer dentin tamamlandıktan sonra oluşmaya başlayan dentin ise sekonder dentindir ve tüm yaşam boyunca yapımı devam etmektedir. Fizyolojik olarak yaşlanmayla beraber düzenli bir şekilde pulpaya komşu olan duvarlarda tübüler şekilde oluşmaktadır. Sekonder dentinin, primer dentine kıyasla daha yavaş bir dentin yapımı vardır (7,8,55,57). Bunlara ek olarak bir diğer dentin tipi tersiyer dentindir. Çevresel dokulara cevap olarak lokalize ve düzensiz olarak oluşmaktadır. Reperatif ve rejeneratif dentin olarak iki alt gruba ayrılmaktadır (86,87).

Ayrıca dentin dokusundaki odontoblast uzantılarının uyarılarak verdiği bir cevap olarak dentin kanalcıklarının mineral ile dolması sonucunda kanalcık çaplarının daralması ya da tıkanmasına dentin sklerozu denir. Fizyolojik ve reaktif dentin olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Fizyolojik dentin sklerozu yaşlanmayla birlikte dişte oluşan kimyasal ve yapısal değişiklikler sonucunda oluşur.

Reaktif dentin sklerozu ise, abrazyon, erozyon ve bükülme kuvveti gibi uzun süreli dışsal etkenlere bağlı olarak pulpa-dentin kompleksinin bir cevabı sonucunda oluşmaktadır (87). Çalışmamızda pulpayı ve dentini etkileyebilecek çevresel etkenleri elimine etmek amacıyla çürüksüz, restorasyonsuz, anomalisi olmayan daimi maksiller 1. premolar dişleri incelenmiştir. Dolayısıyla tersiyer dentin birikimi elimine edilmeye çalışılmıştır.

Philippas ve ark. ilk olarak pulpa odalarının boyutları hakkında niceliksel bilgi sağlamak için radyolojik araştırmalar yapmışlardır. Okluzal kuvvetler ve yaşla beraber pulpa odasında ve dentinde olan değişikliklere bakılmıştır. Okluzal kuvvetler sonucu oluşan abrazyon ve atrizyona tepki olarak pulpanın ve dentinin cevabı sonucunda sekonder dentin oluşmaktadır. Pulpa odası tavanında, dentin formasyonuna bağlı olarak pulpa odasında küçülme olmaktadır. Bu değişikliklere tepki olarak pulpa kendini çekmektedir. Ayrıca yaşla beraber abrazyon miktarı artmaktadır ve doğal olarak sekonder dentin formasyonu artmaktadır. Sekonder dentin formasyonun artışı iki faktöre bağlanmıştır. Bunlar yaş ve dişlere gelen okluzal kuvvetlerdir (89). Günümüz üç boyutlu görüntüleme tekniklerine nazaran daha ilkel olmasına rağmen ilk olması açısından bizim için önemlidir. Bu çalışma bizim tezimizle paralellik göstermektedir. Yaşla birlikte oluşan aşınmalar sonucunda mine dokusunda hacimsel azalmalar olmaktadır ve dentin dokusundaki sekonder dentin formasyonu ile beraber dentin dokusunun hacminde artış görülmüştür. Ayrıca pulpa dokusunun hacminde azalma izlenmiştir.

Fanibunda ve ark. 1986 yılında ilk olarak çekilmiş alt ve üst daimi büyük azı dişlerde yaptığı çalışmada kronu mine-sement hudundan itibaren kökten ayırarak pulpa odasına vakum altında silikon ölçü maddesi enjekte etmişlerdir. Kök kanalları dahil tüm pulpa hacmi ölçülmüştür. Bu çalışmada yaşlara göre pulpa odasındaki boyutsal değişimleri incelenmemiştir. Diş hekimliğinde üç boyutlu görüntüleme teknikleri kullanılmadan önce çok detaylı bir ölçüm olmamasına rağmen pulpa hacminin ölçümü ilk defa yapıldığından değerli bir çalışmadır. Bu çalışmada dişler asit içerisinde eritilmiş ve ölçü maddesine göre hacim hesaplanması yapılmıştır. Bu yöntem, örneklerde geri dönüşümsüz değişikliklere sebep olmuştur (85).

Literatürde KIBT görüntüleri kullanılarak 3 boyutlu olarak hacim değerlendirmeleri yapılmıştır. Fang Y. ve ark. dental yaş tahmininde bulunmak

amacıyla kronolojik yaşını bildikleri kişilerden KIBT görüntülerini almıştır. Alınan görüntüler yarı otomatik software iDixel (J. Moritacorporotion, Kyoto, Japan) programı yardımıyla pulpa/diş hacim oranı hesaplanmıştır (90).

Yi Liu ve ark. ilk defa, in vivo olarak yaptıkları bir çalışmada, diş hacminin belirlenmesinde KIBT'ın doğruluğunu fiziksel ölçümle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, çekilmiş dişlerle yapılan fiziksel hacim ölçümü ile KIBT ile yapılan in vivo ölçüm arasında istatistiksel olarak fark bulunmuştur. KIBT ile yapılan hacim ölçümü fiziksel olarak yapılan hacim ölçümüne göre %3 ile %12 daha az bulunmuştur. Hacim ölçümü için yapılan segmentasyonun hacim ölçümünü daha az ölçebileceğini savunmuştur (75).

Jagannathan ve ark. çekilmiş, çürüksüz alt çene kanin dişlerinde KIBT görüntülerini kullanarak yaptıkları çalışmalarında, pulpa hacminin toplam diş hacmine oranını hesaplamışlar ve hacim oranı ile yaş arasında bir ilişki olup olmadığını incelemişlerdir (91). Pinchi ve arkadaşları ile Yang ve arkadaşları da üst sol santral dişlerde benzer hacim oranı hesaplaması yapmışlardır (92).

Kanin dişlerin cinsel dimorfizminin değerlendirildiği bir çalışmada diş ve pulpa boşluğu hacimlerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. 15-83 yaş aralığındaki 41 erkek ve 46 kadın toplam 87 hastadan alınan KIBT görüntülerinin analizleri yapılmış ve kanin dişlerin hacmi hesaplanmıştır. Diş hacimleri analiz edildiğinde istatistiksel olarak kadınlarda ($0,551 \text{ cm}^3$) ve erkeklerde ($0,745 \text{ cm}^3$) anlamlı fark görülmüştür. Tüm olguların sonuçları kafatası ve pelvis ile uyumlu görülmüştür. Çalışmanın erkekler ve kadınlar arasındaki dişsel cinsel dimorfizmin analizine büyük bir katkı sunduğu ve adli durumlarda cinsiyet tanısı için uygulanabilir bir yöntem olduğu belirtilmiştir (93).

Ortodontik tedavi sırasında pulpadaki değişikliklerin üç boyutlu değerlendirildiği bir araştırmada, 6 anterior diş pulpaları ile beraber Mimics programından faydalanarak tedavi öncesi ve sonrasındaki hacim değişiklikleri değerlendirilmiştir. Ortodontik tedavi gören deney grubunun, kontrol grubuna göre pulpa hacminin azaldığı görülmüştür (94).

Farklı iskelet yapılarına sahip genç bireylerde kondil hacmi, kondil alanı ve morfolojik özelliklerin incelendiği bir çalışmada iskeletsel sınıf I, sınıf II ve sınıf III şeklinde gruplara ayrılmış olan 15-30 yaş aralığındaki 200 hasatadan (95 erkek ve

105 kadın) alınan KIBT görüntüleri değerlendirilmiş, tüm örneklerde sağ ve sol kondil arasında istatistiksel fark görülmüştür. Kondil hacminin ve yüzey alanının değerleri erkeklerin kadınlara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir (95). Aynı şekilde Deguchi ve ark. KIBT ile sınıf I, sınıf II ve sınıf III maloklüzyona sahip hastaların maksilla ve mandibulanın hacmini hesaplanmıştır (96).

Akbaba H. ve ark. yaşa bağlı olarak süt 2. Molar dişlerin fizyolojik kök rezorpsiyonlarının hacim biriminde nicelik bakımından KIBT verileri kullanılarak üç boyutlu olarak değerlendirilebileceğini Mimics programını kullanarak göstermiştir. KIBT verilerini hacimsel olarak işleyebilen üç boyutlu yazılım programlarıyla istenilen dokuların hacim hesaplamalarının yapılabilirdiği ve bireye özgü üç boyutlu modellerin oluşturulabileceği gösterilmiştir (81).

Açıklar K. A. ve ark. alt ve üst çene daimi 1. büyük azı dişlerinin pulpa odası anatomisini üç boyutlu olarak göstermek, total pulpa odası hacmini yaşa ve cinsiyete göre karşılaştırmak, sekonder dentin birikimiyle pulpa odasının boyutundaki değişimi değerlendirmek amacıyla KIBT görüntüleri kullanılarak pulpa odasının segmentasyonu ve pulpa odası boyutlarının hacimsel olarak hesaplamaları 3D Slicer yazılım programı yardımıyla yapmıştır. Pulpa odası anatomisi ve boyutlarındaki değişimin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi yaşla birlikte oluşan sekonder dentin birikiminin tespiti için oldukça önemlidir. Pulpa odasının üç boyutlu olarak görüntülenmesi, hacim ölçümlerinin yapılması ve yaşa bağlı olarak total pulpa odası boyut değişimlerinin incelenmesinde KIBT' in kolay ve konservatif bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır (55).

KIBT, diş hekimliğinde diş oluşturan dokuları segmente edip yeniden yapılandırarak dokuların hacimlerinin üç boyutlu olarak yapıldığı birçok çalışma vardır (55). Daha önceden tanı ve tedavi amacıyla çekilmiş KIBT ile hastaların yüksek doza maruz kalmadan in vivo olarak hacim hesaplanması yapılabilmektedir (55,81). KIBT'ın radyasyon dozu geleneksel radyografilere göre daha yüksektir ve daha pahalıdır. Ayrıca KIBT cihazlarının görüntü çekim özelliklerinin korunması için aylık ve yıllık kalibrasyon bakımları yapılması gerekmektedir ve bulunduğu ortamdaki aşırı ısı değişimi görüntü kalitesini etkilemektedir (81).

Yi Lui ve ark. yaptıkları çalışma sonucunda KIBT ile hesaplanan hacim ölçümü için smoothing işlemi sonucunda dişlerin hacimlerinin daha düşük sonuç

verebileceğini ve araştırmacının dikkatli bir şekilde yapması gerektiğini savunmuşlardır (75).

Teşhis ve tedavi planlamasının yapılması amacıyla önceden çekilmiş KIBT görüntülerini kullanarak hacimsel hesaplamalar yapılabilir. Ancak sadece hacim ölçümü yapmak için hastalara yüksek dozda radyasyon verilerek KIBT alınması etik olmayacağından ve in vitro olarak çalışma yapacağımızdan dolayı tez çalışmamda mikro BT kullandık.

Mikro BT'nin en önemli avantajından biri, incelenen örneğin yapısında herhangi bir değişiklik yapmadan, dokuların yapılarını üç boyutlu olarak incelenebilmesidir. Örneklerin taranması için herhangi bir invaziv işlem yapılmadığından tekrar başka çalışmalar için kullanılabilir (1,2,3,4,6,50,51). Mikro BT diğer analize göre daha az zaman alır ve maliyeti daha azdır (54) .

Mikro BT'nin klinik BT'ye göre x-ışını kaynağı ve dedektör sabit olduğundan, küçük boyutlardaki nesne kendi etrafında döndürülür böylece vibrasyon en aza indirilip görüntü çözünürlüğü artmış olur. BT ile örnekler 1mm^3 voksel (volume+piksel) boyutunda tarama yapılırken mikro BT de örnekler $5-10\ \mu\text{m}^3$ voksel boyutunda taranarak daha yüksek çözünürlüğe sahip görüntüler elde edilmiş olur (2).

Tez çalışmamızda mikro BT'nin bu üstün yönlerinden dolayı dişi oluşturan dokuların hacim ölçümlerinin hesaplanmasında kullandık.

Literatürde cisimlerin yapısını yüksek çözünürlükte, mikron düzeyde incelemeye imkan sağlayan mikrobilgisayarlı tomografiler kullanılarak, mine, dentin dokuları ve pulpa odası hacim ölçümleri yapılmıştır (55).

Antropolojik araştırmalar için mine kalınlığı önemlidir. İlk yapılan araştırmalarda fiziksel kesit alınarak mine kalınlığı hesaplanmıştır. Özellikle soyu tükenmekte olan ve soyu tükenmiş fosillerin dişlerine zarar verdiği için eleştirilmiştir. Araştırmacıları farklı yöntemlere yöneltmişti. BT kullanılarak mine kalınlığı ölçülmüştür. Ancak görüntü kalitesinin iyi olmadığı görülmüştür ve mikro BT'nin kabul edilebilir bir yöntem olarak görülmüştür (37,38).

Fiziksel kesit alınarak 2 boyutlu olarak kalınlık ölçümü yapılabilmektedir. T.M. Smith ve arkadaşları, histolojik kesit alarak molar dişlerin mine dentin kalınlığı

ve dentin – mine bağlantısının uzunluğunu cinsiyete ve coğrafik bölgelere göre karşılaştırmışlardır (77).

Gant D. ve ark. insan, maymun ve eski çağlara ait bir fosilin dişlerini mikro BT ile incelemişler. Dişler mine-sement hududundan ayırarak mine kalınlığını hesaplamışlar. Ayrıca buna ek olarak örneklerin mine, dentin ve pulpa odalarının hacmi kabul edilebilir değerlerde ölçülmüştür. Mine miktarını ölçmek için bir dişin hacmini ölçerek daha doğru hesaplanabileceğini savunmuş. Aynı şekilde P. Hofmann ve ark. ve Anthony J. O. ve ark. fosillerin dişlerini mikro BT ile incelemişler. Mine dentin dokusunun hem kalınlığı hem de hacimleri hesaplanmıştır. Bu amaçla mine ve dentin dokusunun kapladığı alan ve miktarının destrukatif olmayan bir yöntem olarak mikro BT ile ölçülmesinin doğru bir tercih olduğunu söylemişler (39,106,107).

Bizim yapmış olduğumuz çalışmamız bu çalışmalara benzer şekilde mikro BT ile genç ve erişkin maksiller 1. premolar dişlerin mine-sement hududundan ayrılarak dokulardan elde edilen hacim ölçüm değerleri karşılaştırılmıştır.

Yaşla beraber sekonder dentin formasyonu artışına bağlı olarak pulpa odası hacminin azaldığı literatürde geçmektedir. Agematsu ve arkadaşları yaşa ve cinsiyete bağlı olarak sekonder dentin birikimi ile pulpa odasındaki hacim değişimini mikro bilgisayarlı tomografi görüntülerini kullanarak incelemişlerdir (97). Iwaka'nın alt daimi 1. büyük azı dişini mikro bilgisayarlı tomografide incelediği çalışmasında; yaş ile birlikte pulpa hacim oranında ve kanal ağızları boyutunda azalma olduğunu bildirmiştir (98). Benzer şekilde Oi ve arkadaşlarının mikro bilgisayarlı tomografi ile yaptıkları çalışmada, üst çene daimi 1. küçük azı dişinin pulpa odasını üç boyutlu olarak analiz etmişlerdir ve pulpa odası ile kanal ağızlarının boyutunun, yaş ile birlikte azaldığını rapor etmişlerdir. Yaşla bağlı olarak değişime uğrayan pulpa odasının boyutunun ve şeklinin üç boyutlu görüntüleme teknikleri ile incelenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Mikro BT'nin hacim ölçümü için güvenilirliğini savunmuşlardır (99).

Natsuko ve ark. okluzal kuvetler sonucunda büyümekte olan mandibular kemiğin yapısındaki değişikliklere mikro BT kullanarak bakmışlar. Fareler üzerinde yaptıkları çalışmada sert ve yumuşak diyetle beslenmiş farelerin mandibular kemiğinin mineral yoğunluğu ve hacmini kıyaslamışlardır. Bu çalışma sonucunda

kasların aktivitesinin mandibulanın büyümesinde önemli derece etkilidir. Mandibuların mineralizasyonu birbirine yakın olmasına rağmen korpus bölgesindeki mineralizasyon miktarı ramus bölgesinden fazla olduğunu ve ayrıca yumuşak diyetle beslenen farelerin mandibulasının molar bölgesinin mineralizasyonu sert diyetle beslenenlerden daha fazla bulunmuştur (66).

J.L Stroud ve arkadaşları mine ve dentin kalınlığını bite-wing radyografi tekniğini kullanarak cinsiyete göre farklılığını ölçmüşlerdir. Ayrıca bu teknikle pulpa odası morfolojisi iki boyutlu olarak incelenmiştir (79).

Volumetrik boya sızıntı yöntemi; mikrosızıntı araştırmalarında organik boyaların kullanımı çok eski yöntemlerden biridir. Ayrıca kullanımı kolay ve ucuzdur. Boya solüsyonuna konulduktan sonra dişler nitrik asit solüsyonunda çözündürülür. Asit içerisindeki konsantrasyonu bir spektrofotometre aleti yardımıyla sızıntının hacmi ölçülür (83).

Yavuz İ. ve arkadaşları, insan, köpek ve sığır dişlerine yapılan restorasyonlardaki mikrosızıntının hacmini ölçmek amacıyla metilen mavisi olan bir kaba dişler atılmıştır. Öncelikle dişlerden kesit alınmış ve önceden hacmi bilinen şişedeki metilen mavisinin, örnekler atıldıktan sonra ne kadar azaldığı ölçülmüştür. Şişeden azalan metilen mavisi miktarıyla mikrosızıntı hacmi ölçülmüştür (82).

Süt dişlerinde, daimi dişlere göre pulpa, kron hacmine göre daha fazla hacim kaplar böylece kavite açılırken dikkat etmek gerekir. Bu amaçla M. Amano ve ark. maksiller 2. süt molarların pulpa odasını üç boyutlu olarak mikro BT ile incelemişler. Kron konturuna göre pulpanın pozisyonuna ve pulpa odası hacmine bakılmıştır (100). Aynı şekilde A.I. Orhan ve ark. maksiller süt 2. molar dişlere mikro BT kullanarak kızlar ve erkeklerde pulpa hacmini kıyaslamışlar. Erkeklerde pulpa hacmi $77 \text{ mm}^3 \pm 4$, kızlarınsı ise $64 \text{ mm}^3 \pm 5$ bulunmuştur ve istatistiksel olarak fark görülmüştür (101). Yatsutoya I. ve arkadaşları da mikro BT ile mandibular süt 2. Moların pulpa odasının hacmine bakmıştır (102).

H. Aboshi ve ark. yaş tespiti için alt daimi 1.premolar dişlerin pulpa hacminin tüm diş hacmine oranını mikro BT yardımıyla hesaplamışlardır (103). Aynı şekilde H. Someda ve ark. yaş tespiti için mandibular dişlerin mine, dentin ve pulpa hacmine bakmış, yaşa ve cinsiyete göre kıyas yapılmıştır. Yaşla beraber mine de aşınmalar olacağında yaş tespitinde minenin dikkate alınmaması gerektiğini ve yaşla beraber

pulpa odasının hacmi oluşan sekonder dentinden dolayı etkilendiği sonucuna varmıştır (104).

Insoo K. ve ark. yaptığı bir çalışmada mikro BT'nin dişlerin yapısını ve hacimlerinin in vitro olarak ölçülmesinde diğer yöntemlere nazaran daha güvenilir bir metod olarak bulmuştur (36). Bu sonuç tez çalışmamızın güvenilirliği açısından destekleyici bir çalışmadır.

Diş tedavileri eğitiminde diş anatomisi ve diş oluşturan dokular hakkında bilgi sahibi olmak diş hekimleri açısından kritik bir öneme sahiptir (36). Diş morfolojisini incelemek için farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerden biri, çekilmiş dişlerden seri kesit alınıp elektron mikroskobu ile taranmasıdır. Dişlerin iç yapısı hakkında bilgi sahibi olmak için genelde kesit alma yöntemi güvenilir bir metod olarak kabul edilmiştir. Diğerleri, pulpa odasına metal veya rezin konulması, transparant diş modelleri ve konvansiyonel alınan radyografilerdir. Tüm bu yöntemlerin uygulanması zordur ve dişin yapısında geri dönüşümsüz değişiklikler yapmaktadır Mikro BT bunların aksine yıkıcı değildir (105). Ayrıca araştırmacılar tarafından 2 boyutlu datalar 3 boyutlu datalara çevrilerek dişler incelenmeye çalışılmış yeterli netlikte görüntüler elde edilememiştir (36)

Mikro BT ile farklı dokularda renk ayarı yapılarak pulpa odası ve diş sert dokuları oldukça iyi bir şekilde görselleştirilir (105).

Genellikle diş boyutunun belirlenmesinde mesiodistal ve bukkolingual olarak ölçümler yapılmıştır. Çoğu çalışmada mine kalınlığı ve yüzey alanı hesaplanmıştır. Martin ve ark. dişler üzerindeki mineyi ideal bir şekilde ölçmek için dokunun hacmine bakılmasını savunmaktadır (105).

Ketterl ve ark. 20–60 yaşları arasındaki bireylerden çekilen daimi 1. mandibular dişlerin pulpa hacimlerini kıyaslamışlar. 40 yıllık süre içinde pulpa odasının hacmi azalmıştır (88).

Jin Lan Ma ve ark. 5 ve 6 yaşındaki çocuklara ait mandibular santral keserlerin kron hacmini mikro BT kullanarak hesaplamışlardır. Yaşa ve cinsiyete bağlı olarak mine, dentin ve pulpa hacmi değişimine bakılmıştır. Pulpa hacminin tüm diş kronunun hacmine oranı 5 yaşındakilerin ($\%6.035 \pm 1.568$) 6 yaşındakilerden ($\%5.106 \pm 1.323$) fazladır. Dentin ve kronun hacmi erkeklerin bayanlara göre daha fazladır. Minenin hacmi cinsiyete bağlı olarak bir fark bulunmamıştır (105).

Bizim yaptığımız çalışmamızda, pulpa hacminin kron hacmine göre yüzdelik oranı; grup 1' de (% 1,690 mm³ ± 0,423) iken, grup 2' de (%1,322 mm³ ± 0,573) olarak hesaplanmıştır, Bu gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıydı, bundan dolayı pulpa hacminde yaş ilerlemesi ile birlikte anlamlı değişiklikler olduğu belirlendi.

Tez çalışmamızda mikro BT ile yaptığım hacimsel hesaplamalar sonucunda yaşla beraber minedede oluşan aşınmalar sonucunda mine dokusunun hacmi azalmaktadır. Ayrıca sekonder dentin oluşumundan dolayı dentin dokusunun hacmi artmakta ve pulpa dokusunun hacmi azalmaktadır. Böylece mikro BT kullanılarak mine, dentin ve pulpa dokularının hacminin güvenilir bir şekilde ölçülebildiğini göstermektedir. Çalışmamda varmış olduğum sonuç, literatürdeki yapılmış olan Açıklar A. K. ve ark. Agemetsu ve ark. Oİ ve ark. A.I Orhan ve ark. H. Someda ve ark. Ketterl ve ark. ve Jin Lan Ma ve arkadaşlarının hacimsel ölçümler ile paralellik göstermektedir.

Kalsifiye dokulardaki mineral yoğunluk dağılımının bilinmesi araştırmacılar için diş gelişim ve değerlendirmeleri açısından önemlidir. Mineral yoğunluk miktarı aynı zamanda diş çürümelerine yatkınlığın belirlenmesinde diş hekimleri tarafından bir parametre olarak görülmektedir. Bu amaçla birçok yöntem avantaj ve dezavantajları ile beraber mineral yoğunluk belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu yöntemler; SEM, konfokal laser tarayıcı mikroskop ve kimyasal analizler gibi tekniklerdir. Bu teknikler in vivo çalışmalarda kullanılamamaktadır, ayrıca bu yöntemlerin uygulanması teknik hazırlık gerektirmesinden dolayı kolay değil ve hazırlık süreçleri, multidisipliner yaklaşımlar gerektirmesinden dolayı zordur (15,115).

Mikroradyografi (MR) tekniği, bir x- ray teknolojisini soğurma teknolojidir, bu yöntemle dokuların mineral içeriği in vivo olarak belirlenebilmektedir, yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde en önemli sınırlama çözünürlüğü ne olursa olsun mineral içeriğinin değerlendirilmesinde kesit düzlemi, kesit kalınlığı üzerine entegre edilerek yapılır, böylece belirlenen düzlemdeki herhangi bir değişkenin ortalaması alınıp değerlendirilir. Bununla birlikte MR, yüksek çözünürlüğe sahip olmasına rağmen kemik yapısı üç boyutlu olarak incelenememektedir (15).

Son zamanlarda geliştirilen mikro BT sistemleri sayesinde, dişlerin ve kemiklerin mineral konsantrasyonu % 1'den daha küçük güvenlik aralığında ve 5-30 μm arasında bir çözünürlükle incelenebilmektedir. Ayrıca incelenen örnekler üzerinde yıkıcı etkileri olmaması ve kesit kalınlığının manuel olarak ayarlandığı yöntemlere göre daha düzenli ve güvenilirdir (45). Bu bilgiler ışığında çalışmamızda mine ve dentin dokularının mineral dağılımının saptanmasında mikro BT yöntemi tercih edilmiştir.

Mine dokusu mineralize bir yapıya sahiptir % 95 inorganik, % 4 su ve % 1 organik içeriğe sahiptir (15). Histolojik olarak mine gelişiminde ilk önce kısmen mineralize olmuş matriks oluşur ve sonra artarak sert doku yapısı oluşmaktadır. Kimyasal analizlerde bu mineralizasyon sürecinde mineral alımı artarken, su ve protein miktarı kaybedildiği bilinmektedir (109). Mine sekresyon ve mineralizasyonu tüberkül tepelerinden başlayarak servikaleve mine-dentin birleşimine doğru ilerler (108).

Dentin dişin büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır ve yapısını % 70 inorganik mineral, % 20 organik, % 10 su oluşturmaktadır (15). Dentin mineral içeriği mineye göre daha azdır, ayrıca sement ve kemiğe göre daha fazla mineralizedir. Dentinin mineral içeriği yaşla birlikte arttığı bilinmektedir (7,8,55).

Kinney ve ark. ilk defa 3 boyutlu olarak dişlerdeki mineral dağılımını çürük kanin dişte bakmışlardır. Mineral konsantrasyonu sağlıklı dentinde $1,29 \text{ g.cm}^{-3}$ ve demineralizedentin $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$ olarak bulunmuştur. (110).

Sabra I. ve ark. normal ve hastalıklı diş sert dokularının mineral yoğunlukları dağılımına mikro BT kullanarak karşılaştırmıştır. Kalsiyum/fosfat ve kalsiyum/çinko oranlarına bakılmıştır. Mine, dentin, sement ve kemik dokularının mineral yoğunlukları incelenmiştir. Bu çalışma ile mineral yoğunluk dağılımının, nicel yöntemler genişletilerek, üç boyutlu olarak mikro BT ile araştırılmıştır. Mineral yoğunluk dağılımının üç boyutlu olarak kesitlendirilebildiğini göstermiştir (111).

Christopher R. Hiller ve ark. fare keserlerinin gelişmekte olan mine kompozisyonundaki değişimi kimyasal yöntemle değerlendirmişler. İlk oluşan mine pöröz ve yumuşaktır ve mineral alındıkça minenin sertliği artar. Gelişmekte olan bölge boyunca kalsiyum/fosfat oranı sabitken, karbondioksit/fosfat ve magnezyum/fosfat oranları azalmıştır (109).

Dowker SEP ve ark. çürüğün gelişimi ve teşhisinde mineral yoğunluk dağılımının önemli olduğunu belirtmiştir. Bu amaçla mikro BT'den faydalanarak premolar dişlerinin fissürlerini üç boyutlu görselleştirerek minenin mineral yoğunluğu dağılımını incelemiş ve yöntemin kullanılabilirliğini göstermişlerdir. Tüm minenin ortalama mine yoğunluğu değeri 2.84 g.cm^{-3} bulunmuştur (112).

Yapmış olduğumuz çalışmamızda, kullanılmış olan tüm dişlerin mine dokularının ortalama yoğunluk değeri $2,164 \pm 0,19 \text{ g.cm}^{-3}$ olarak ve dentin dokularının ise $1,309 \pm 0,20 \text{ g.cm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızda kullandığımız Mikro tomografi eşliğinde CtAn bilgisayar yazılımı ile mine dokusunun dentin dokusuna göre daha mineralize doku olduğu kantitatif olarak belirlenebilmiştir. Bu veriler literatürdeki bilgilerle paralellik göstermektedir. Böylece mine ve dentin dokusunun mikro BT ile güvenilir bir şekilde ölçülebileceği sonucuna varılmıştır.

J. Fearne ve ark. mikro BT'den faydalanarak idiopatik mine hipoplazisi olan 1. daimi molar dişlerde mineral yoğunluğu dağılımına bakmışlardır. İdoaptik mine hipoplazisi olan dişlerin mineral yoğunluğu sağlıklı mineye göre %20 daha az bulunmuştur (113).

Anderson ve ark. mikro BT kullanarak, çekilmiş premolar dişler üzerinde mine incilerinin, mine ve dentinin mineral içeriğine bakmışlar. Mine incilerinin mineral yoğunluğunun en dıştan mine dentin bağlantısına doğru azaldığını, mine incilerindeki mineral içeriğinin mine dokusundaki ile benzer olduğunu bildirmişlerdir. Böylece Mikro BT'nin diş sert dokularının mineral yoğunluğunun araştırılmasında güvenilir bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. (5).

Mahdi S. ve ark. beyaz ve kahverengi nokta lezyonlarının mineral yoğunluk dağılımını karşılaştırmışlar. Kahverengi nokta lezyonlarının yüzey mineral yoğunluğu beyaz nokta lezyonlarına göre daha fazla olmasına rağmen istatistiksel olarak bir fark görülmemiştir. Diş sert dokularındaki mineral yoğunluk dağılımının mikro BT ile ölçülebileceğini göstermeyi amaçlamışlardır (114). Huang T.T. ve ark. beyaz nokta lezyonunun mineral yoğunluk dağılımını sağlık mine ile kıyaslamışlar. Sağlıklı minenin mineral yoğunluğu $2.65\text{--}2.89 \text{ g.cm}^{-3}$ iken beyaz nokta lezyonunun mineral yoğunluğu $1.48\text{--}2.03 \text{ g.cm}^{-3}$ olarak daha düşük olduğu bildirilmiştir (44).

R.A. Farah MIH'lı (molar insizör hipo mineralizasyon) bireylerin dişlerindeki mineral yoğunluk dağılımının sağlık dişlere sahip bireylere göre mikro BT ile kıyaslanmıştır. Mine–sement seviyesinde sağlıklı bireylerde mineral yoğunluk, okluzale doğru arttığını ve kusp/insizal tepelerinde en fazla olduğunu bildirmişlerdir. MIH olan bireylerde mine-sement hudundan okluzale bölgeye doğru mineral yoğunluk dağılımının azaldığı gösterilmiştir. Mineral yoğunluk değeri, mine-dentin birleşiminde normal değerde görülmüştür. MIH'lı bireylerde servikal mine etkilenmediğini ve okluzal yüzeyin etkilendiği sonucuna varmışlardır. Sağlıklı minenin ortalama mineral yoğunluk değeri $2,37-2,62 \text{ g.cm}^{-3}$ bulunmuştur. Clementino – Luedemann ve Kunzelman ortalama mine yoğunluk değeri $2,47 - 2,7 \text{ g.cm}^{-3}$ bulunmuştur (41). Dişler steril edilirken bırakıldıkları solüsyondan dolayı dehidrate olabileceğinden dolayı mineral yoğunluk değerleri biraz daha çok çıkabileceğini söylemişlerdir. Ayrıca incelenecek örneklerden alınan kesit kalınlığının mineral yoğunluk dağılımının ölçülmesini etkileyebildiği söylemişlerdir (108).

Mineral yoğunluk dağılımı aynı dişin farklı bölgelerinde değişkenlik göstermektedir. Bu mineral dağılımı mikro BT ile başarılı bir şekilde incelenebilmektedir. Robinson ve ark. biyokimyasal olarak sağlıklı premolar dişlerin mine dokularındaki kalsiyum ve fosfor miktarına bakmışlardır. Aynı kesitlerin farklı bölgelerindeki mineral yoğunluk dağılımı önemli ölçüde farklı bulunmuştur. Fakat buna benzer mikro BT ile yapılan çalışmalarda Robinson ve arkadaşlarından farklı olarak kalsiyum ve fosfor dağılımında önemli derecede farklılıklar görülmediği rapor edilmiştir (108).

Weidmann ve ark. olgunlaşmış minenin tüm mineral içeriğini ilk defa örneklerden mikron düzeyde kesit alıp kimyasal bir yöntemle incelemişlerdir. Daha sonra bu çalışmaya benzer şekilde Robinson ve ark ile Smith ve ark. tarafından kemirgenlerin minelerinin mineral içeriğine bakılmıştır (31,76,80). J.E. Schmitz ve ark. mine formasyonu esnasında oluşan mineral değişimini mikro BT ile analiz etmişler ve güvenilirliğini kimyasal yöntemle kıyaslamışlar. Minenin mineral içeriği ve mine hacmini doğrudan ölçmek oldukça zordur. Çünkü mine diş kronu boyunca dentine iki katmanlı biomineral oluşturmak üzere bağlanır. Bu amaçla invaziv ve invaziv olmayan yöntemler geliştirilmiştir. Mikro BT ile mineral içeriğinin güvenli

bir şekilde ölçülebileceğini göstermişler ayrıca kimyasal yöntemle benzer değerler bulunmuştur. Fare dişleri üzerinde yaptıkları bu çalışmada minenin mineral içeriğinin maturasyon fazında salgı fazından daha fazla olduğunu göstermiştir. Ayrıca sekresyon ve maturasyon fazındaki minenin hacmine de bakılmıştır. Keser mine hacmi, sekresyon fazı boyunca artmış ve maturasyon fazında en yüksek seviyeye ulaştığı bildirilmiştir (80).

Keiko N. ve ark. minenin remineralizasyon sürecinde longitudinal olarak çürükten etkilenmiş minenin 4 tabakasındaki (yüzey tabakası, lezyon bölgesi, orta tabaka, derin tabaka) mineral yoğunluk değişimini gözlemlemişler. 8 tane demineralize mine-dentin örnekleri her hafta olmak üzere 4 hafta remineralize edilmiş ve bu bloklar mikro BT ile incelenmiş. Demineralize alanlardaki mineral yoğunluk dağılımı, yüzey tabakası = lezyon bölgesi < orta tabaka < derin tabaka. Remineralizasyon en çok ilk hafta gözlemlenmiş. 4 hafta sonrası mineral yoğunluğun artması sırasıyla yüzey tabakası = lezyon bölgesi > orta tabaka > derin tabaka şeklinde olmuştur. Bu yaklaşımla mikro BT'nin mineral yoğunluk profilini oluşturmak için güvenilir bir yöntem olduğunu söylemişler (117).

F.S.L. Wang ve ark. süt dişlerinin minesindeki mineral yoğunluğunun dağılımına bakmışlar. Okluzal bölgedeki mineral yoğunluğun servikal bölgedeki yoğunluktan fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca çocuklarda, servikal bölgedeki mineral yoğunluğunun azlığı ve bu bölgedeki plak birikiminin fazla olmasından dolayı, servikal bölgede derin kavite ve rampant çürükler bu sebepten dolayı fazla olduğu düşünülmüşler (45)

Araştırmacılar mikro BT kullanarak çürükten etkilenmiş dişlerin demineralizasyon ve remineralizasyonundaki dinamik sürecin takibinde kullanılabileceği bildirilmiştir (116).

Yaptığımız çalışmamız, Clementino–Luedemann ve Kunzelmann, R.A. Farah ve ark. F.S.L. Wong ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalar ile paralellik göstermiştir, mine dokusunun mineral yoğunluklarının servikalden okluzale doğru ve ayrıca mine-dentin sınırından en dış mineye doğru arttığı görülmüştür. Buna ek olarak dentin dokusunun mineral yoğunlukları, dentin dokusunun kole tabakasından okluzal tabakaya doğru artmakta olduğu belirlenmiştir.

Bilindiđi gibi yaşla beraber dentin dokusunun mineral yoğunluğu artmaktadır (7,8,55), çalışmamızda elde ettiğimiz değerler literatürdeki bu bilgilerle paralellik göstermiştir. Böylece mikro BT'den faydalanarak yaptığımız bu çalışmamızın güvenilirliğini ve kullanılabilirliği desteklenmiştir.

Ayrıca alışmamızda, yaşla beraber istatistiksel olarak çok anlamlı olmasada mine dokusunun mineral yoğunluğunun çok düşük değerlerde azaldığı görölmüştür.



6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Genç ve erişkin bireylerde ortodontik ve periodontal sebeplerle çekilmiş dişlerin mikro bilgisayarlı tomografi kullanılarak elde edilen görüntü verileri ile mine-dentin dokularının hacimlerinin ve mineral doku yoğunluklarının ölçülebilirliğini göstermeyi amaçlayan bu çalışma ile şu sonuçlara ulaşılmıştır;

Çalışma grupları arasında yapılan ikili karşılaştırmalarda grup 1 dişlerin mine ve dentin dokularının okluzal, orta, apikal mineral yoğunluk değerleriyle, grup 2 dişlerin mine ve dentin dokularının okluzal, orta, apikal üçlü mineral değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir. Aynı zamanda ortalama mine ve dentin dokusunun mineral yoğunluk değerleri kendi grupları arasında kıyaslandığında istatistiksel bir fark görülmemiştir. İstatistiksel olarak fark görülmemiş olmasına rağmen minenin okluzal, apikal üçlü ve dentinin okluzal üçlü yoğunluk değerleri grup 1 dişlerde daha fazladır. Aynı zamanda mine dokusunun orta üçlü yoğunluğu ile dentin dokusunun orta ve apikal üçlü yoğunluğu grup 2 dişlerde daha fazladır. Tüm örneklerde mine ve dentin dokusunun mineral yoğunluğu okluzal kısımda apikale göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Çalışmamıza dahil edilmiş olan tüm dişlerin toplam mine ve dentin dokularının mineral yoğunluk değerleri kıyaslandığında gruptaki tüm dişlerin ortalama dentin yoğunluğu, mine yoğunluğuna göre daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Zamanla dişlerde oluşan aşınmalardan dolayı mine hacminin azaldığı, sekonder dentin birikimiyle dentin hacminin arttığı ve pulpa hacminin azaldığı izlenmiştir.

Zaman içinde değişime uğramış olan mine, dentin ve pulpa odasının değerlendirilmesinde daha gerçekçi sonuçlar vermesi açısından iki boyutlu yerine üç boyutlu görüntüleme teknikleri ile incelenmesi gerektiği görüşündeyiz. Diş dokularında görülen hacimsel değişimlerin mikro BT tekniği ile hassas ve doğru bir şekilde ölçülebilecek bir görüntüleme yöntemi olduğunu düşünmekteyiz.

Önceki çalışmalarla elde edilen sonuçlara paralel olarak çalışmamız sonucunda, yaşla beraber dentin dokusunun mineral yoğunluğu arttığını gözlemledik. Mine dokusunun mineral yoğunluk dağılımı servikalden okluzale doğru arttığı görülmüştür.

Ayrıca yaşla beraber istatistiksel olarak çok anlamlı olmasada mine dokusunun mineral yoğunluğu çok az miktarda azaldığı görülmüştür.

Mine ve dentin dokusundaki mineral yoğunluk dağılımının mikro BT ile doğru bir şekilde ölçülebileceği sonucuna vardık. Mikro BT ile çalışma için kullanılan diş örneklerin iç yapısında herhangi bir geri dönüşümsüz etki bırakmadan detaylı bir şekilde taranmaktadır, böylece diş örnekleri başka çalışmalar için kullanılabilirler. Ayrıca örnekler taranmadan önce herhangi bir işleme tabi tutulmadığından, diğer yöntemlere nazaran diş sert dokularındaki mineral yoğunluğun ölçülmesinde daha kolay bir yöntem olduğunu düşünmekteyiz.

Mikro BT kullanarak yapılan bu çalışma sonucunda dişi oluşturan mine, dentin, koronal pulpa dokusu hacminin üç boyutlu olarak doğru ölçülmesi ve mine–dentin dokusunun mineral yoğunluğunun incelenmesi sonucunda, gerektiğinde araştırmacıya ve klinisyene teşhis ve tedavi planlamasında rehber olması yönünden önemli olduğu düşünülmektedir.

Günümüzde mikro BT ile yapılmış olan çalışmalar eğitim ve araştırma uygulamaları için diş hekimliğinde güvenilir bir in vitro yöntem olarak görülmüştür. Mikro BT'nin doğruluğu ve tarama hızı hala gelişmektedir. İleride mikro BT daha fazla geliştirildiği takdirde örneklerden daha yüksek çözünürlükte görüntü elde edilebilecektir. Böylece mikro BT'nin diş hekimliğinde önemli bir in vitro araştırma yöntemi olacaktır. Teknolojinin ilerlemesiyle mikro BT in vivo çalışmalar için kullanılabilirliğinin oluşmasının bilimsel çalışmalarda büyük gelişmeler sağlayabileceği düşünüldü. Diş hekimliği araştırmalarında kullanılan mikro BT teknolojisi, araştırmacıların ufkunu daha fazla genişleteceğini düşünmekteyiz.

Mikro BT yardımıyla sağlam ve çürükten etkilenmiş mine ve dentinin mineral konsantrasyonu incelenebilmekte ve çürükten ne kadar etkilendiği belirlenebilmektedir. Buna ilaveten uygulanan dental bir ajanının örnekler üzerinde yaptığı değişiklikler uzun dönemde izlenmektedir. Bundan dolayı gelecek yıllarda bu yöntem, çürük ve remineralizasyon araştırmaları için güvenilir bir şekilde ve yaygın olarak kullanılabileceğini düşünmekteyiz.

Bu çalışmamızın, daha geniş ve değişik örnekleme grupları ile farklı cinsiyet gruplarında ileriki çalışmalara rehber olacağı düşünüldü.

7. KAYNAKLAR

1. Şahin Ünsal F, Topuz Ö. Diş hekimliği araştırmalarında mikrobilgisayarlı tomografi uygulamaları. *Acta Odontol Turc* 2014;31(2):114-20.
2. Kurt Mehmet H, Orhan K. Diş hekimliğinde mikro-bilgisayarlı tomografikullanımı. *Türkiye Klinikleri J Oral Maxillofac Radiol-Special Topics* 2016;2(1) :14-21.
3. Keleş A, Alçin H. mikro bilgisayarlı tomografi ve endodontik araştırmalardaki yeri. *Türkiye Klinikleri J Endod-Special Topics* 2015;1(3):32-9.
4. M.A. Marciano, M.A.H. Duarte, R. Ordinola – Zapata, A. Del Carpio Perochenea, B.C. Cavenago, M.H. Villas – Boas, P.G. Minotti, C.M. Bramante, I.G. Moraes. Application of micro-computed tomography in endodontic research. *Current microscopy contributions to advances in science and technology* (A. Mendez- vilas, Ed). 2012: Chapter january; p.782-788.
5. Fazal S, Mohammad Khursheed A, Mohd fadhli K. Application of micro-ct in various discipline of clinical and research dentistry. *Int J Pharm Bio Sci* 2015 July; 6(3): (B) 1194 – 1206.
6. Graham Roy D, Ferranti S. L. Wong. X-ray microtomography of bones and teeth. *Physiol. Meas* 1996;17:121–146.
7. Mary Bath – Balogh, Margaret J. Fehrenbach. *Illustrated dental embryology, histology and anatomy*. 2.ed. St. Louis:Elsevier Inc; 2006.p.61-91,179-200.
8. Antonia Nanci. *Ten Cate's Oral Histology: Development, Structure and Function*. 6. Ed. St. Louis: Mosby Elsevier;2003.p.79-110,145-195.
9. Cender Ebru U, Güler E. Dental erozyon. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2013;14 (2): 27-38.
10. Karaarslan Emine Ş, Ertaş E, Köprülü H. Diş sert doku aşınmaları ve tedavileri. *Ondokuz Mayıs Univ Dis Hekim Fak Derg* 2008 ;9 (1): 28-34.
11. Aboudara C, Nielsen I, Huang JC, Maki K, Miller AJ, Hatcher D. Comparison of airway space with conventional lateral headfilms and 3-dimensional reconstruction from cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135(4):468-79.
12. Rhodes JS, Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J* 1999;32:165-70.
13. Swain MV, Xue J. State of the art of micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci* 2009;1(4):177-88.
14. Neues F, Eppe M. X-ray microcomputer tomography for the study of biomineralized endo- and exoskeletons of animals. *Chem Rev* 2008;108(11):4734-41.
15. Zou W, Hunter N, Swain MV. Application of polychromatic CT for mineral density determination. *J Dent Res* 2011;90(1):18-30.

16. Guldborg RE, Ballock RT, Boyan BD, Duvall CL, Lin AS, Nagaraja S, et al. Analyzing bone, blood vessels, and biomaterials with microcomputed tomography. *IEEE Eng Med Biol Mag* 2003;22(5):77-83.
17. Guldborg RE, Lin AS, Coleman R, Robertson G, Duvall C. Microcomputed tomography imaging of skeletal development and growth. *Birth Defects Res C Embryo Today* 2004;72(3):250-9.
18. Mizutani R, Suzuki Y. X-ray microtomography in biology. *Micron* 2012;43(2-3):104-15.
19. Grande NM, Plotino G, Gambarini G, Testarelli L, D'Ambrosio F, Pecci R, et al. Present and future in the use of micro-CT scanner 3D analysis for the study of dental and root canal morphology. *Ann Ist Super Sanita* 2012;48(1):26-34.
20. Versiani MA, Ordinola-Zapata R, Keleş A, Alcin H, Bramante CM, Pécora JD, et al. Middle mesial canals in mandibular first molars: A. micro-CT study in different populations. *Arch Oral Biol* 2016;61:130-7.
21. Bjorndal L, Carlsen O, Thuesen G, Darvann T, Kreiborg S. External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *Int Endod J* 1999;32(1):3-9.
22. Swain MV, Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci* 2009;1:177-88.
23. Moore J, Fitz-Walter P, Parashos P. A microcomputed tomographic evaluation of apical root canal preparation using three instrumentation techniques. *Int Endod J* 2009;42(12):1057-64.
24. Keles A, Ahmetoglu F, Uzun I. Quality of different gutta-percha techniques when filling experimental internal resorptive cavities: a micro-computed tomography study. *Aust Endod J* 2014;40(3):131-5.
25. Somma F, Cretella G, Carotenuto M, Pecci R, Bedini R, De Biasi M, et al. Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J* 2011;44(4):362-9.
26. Angerame D, De Biasi M, Pecci R, Bedini R, Tommasin E, Marigo L, et al. Analysis of single point and continuous wave of condensation root filling techniques by micro-computed tomography. *Ann Ist Super Sanita* 2012;48(1): 35-41.
27. Zogheib C, Naaman A, Sigurdsson A, Medioni E, Bourbouze G, Arbab-Chirani R. Comparative micro-computed tomographic evaluation of two carrier-based obturation systems. *Clin Oral Investig* 2013;17(8):1879-83.
28. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Threedimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. *J Endod* 2008;34(11):1370-3.
29. Kim SH, Choi BH, Li J, Kim HS, Ko CY, Jeong SM, et al. Peri-implant bone reactions at delayed and immediately loaded implants: an experimental study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105(2): 144-8.

30. Rebaudi A, Koller B, Laib A, Trisi P. Microcomputed tomographic analysis of the peri-implant bone. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004(4);24:316-25.
31. Smith CE, Nanci A (1989). A method for sampling the stages of amelogenesis on mandibular rat incisors using the molars as a reference for dissection. *Anat Rec* 225:257-266.
32. Van Oossterwyck H, Duyck J, Vander Sloten J, van der Perre G, Jansen J, Wevers M, et al. Use of microfocus computerized tomography as a new technique for characterizing bone tissue around oral implants. *J Oral Implantol* 2000;26(1):5-12.
33. Renders GA, Mulder L, van Ruijven LJ, van Eijden TM. Porosity of human mandibular condylar bone. *J Anat* 2007;210(3):239-48.
34. Cartmell S, Huynh K, Lin A, Nagaraja S, Guldborg R. Quantitative microcomputed tomography analysis of mineralization within three-dimensional scaffolds in vitro. *J Biomed Mater Res A* 2004;69(1):97-104.
35. Hollister SJ, Lin CY, Saito E, Lin CY, Schek RD, Taboas JM, et al. Engineering craniofacial scaffolds. *Orthod Craniofac Res* 2005;8(3):162-73.
36. Kim I, Paik KS, Lee SP. Quantitative evaluation of the accuracy of micro-computed tomography in tooth measurement. *Clin Anat* 2007;20:27-34.
37. Keles A, Erdal YS, Ersöz M, Erdal ÖD. A micro computed tomography examination of dens invaginatus type 2 in an approximately 2000 year-old maxillary molar tooth-a case report. *Eurasian J Anthropology* 2013;4(2):45- 50.
38. Olejniczak AJ, Grine FE. Assessment of the accuracy of dental enamel thickness measurements using microfocal X-ray computed tomography. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol* 2006;288:263-75.
39. Gantt DG, Kappleman J, Ketcham RA, Alder ME, Deahl TH. Threedimensional reconstruction of enamel thickness and volume in humans and hominoids. *Eur J Oral Sci* 2006;114 Suppl 1:360-4; discussion 375-6, 382-3.
40. Versiani MA, Sousa-Neto MD, Pecora JD. Pulp pathosis in inlayed teeth of the ancient Mayas: a microcomputed tomography study. *Int Endod J* 2011;44(11):1000-4.
41. Clementino-Luedemann T, Kunzelmann K. Mineralconcentration of natural human teeth by a commercial micro-CT. *Dental Materials Journal* 2006;25:113.
42. Efeoglu N, Wood D, Efeoglu C. Microcomputerised tomography evaluation of 10% carbamide peroxide applied to enamel. *Journal of dentistry*. 2005;33(7):561-7.
43. Efeoglu N, Wood DJ, Efeoglu C. Thirty-five percent carbamide peroxide application causes in vitro demineralization of enamel. *Dent Mater* 2007;23(7):900-4.
44. Huang TT, Jones AS, He LH, Darendeliler MA, Swain MV. Characterisation of enamel white spot lesions using X-ray micro-tomography. *J Dent* 2007;35(9):737-43.
45. Wong FS, Anderson P, Fan H, Davis GR. X-ray microtomographic study of mineral concentration distribution in deciduous enamel. *Arch Oral Biol* 2004;49:937-44.

46. Pelekanos S, Koumanou M, Koutayas SO, Zinelis S, Eliades G. Micro-CT evaluation of the marginal fit of different In-Ceram alumina copings. *Eur J Esthet Dent* 2009;4(3):278-92.
47. Öztürk F, Ersöz M, Öztürk SA, Hatunoğlu E, Malkoç S. Micro-CT evaluation of microleakage under orthodontic ceramic brackets bonded with different bonding techniques and adhesives. *European Journal of Orthodontics*, First published online: 8 April 2015;1-7.
48. Kamburoğlu K, Kurt H, Kolsuz E, Öztaş B, Tatar I, Çelik HH. Occlusal caries depth measurements obtained by five different imaging modalities. *J Digit Imaging* 2011;24(5):804-13.
49. Sasov A, Van Dyck D. Desktop X-ray microscopy and microtomography. *J Microsc* 1998;191(2):151-8.
50. Demir N. Üç farklı tam seramik restorasyonun internal ve marjinal uyumunun mikro-bt tekniği ile değerlendirilmesi ve bağlanma dayanımlarının karşılaştırılması. Selçuk üniversitesi sağlık bilimleri enstitüsü. Doktora tezi. 2014; syf: 34-38.
51. Tiffany T.Y. Huang, LÍ- Hong He, Darendeliler M. Ali, Micheal V. Swain. Correlation of mineral density and elastic modulus of natural enamel White spot lesions using x- ray microtomography and nanoidentation. *Act Biomaterialia* 2010;6:4553-4559.
52. Yoon Jeong Kim, Jeffrey Henkin. Micro-computed tomography assessment of human alveolar bone: bone density and three-dimensional micro-architecture. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 2015;17(2): 307-313.
53. Rügsegger P, Koller B, Müller R. A microtomographic system for the non destructive evaluation of bone architecture. *Calcif Tissue Int* 1996; 58:24–29.
54. Uchiyama T, Tanizawa T, Muramatsu H, Endo N, Takahashi H, Hara T. A morphometric comparison of trabecular structure of human ilium between microcomputed tomography and conventional histomorphometry. *Calcif Tissue Int* 1997; 61:493–498.
55. Kavas Açıklar A. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi kullanılarak yaş ve cinsiyete göre alt ve üst daimi birinci büyük azı dişlerinde pulpa odasının hacimsel olarak ölçülmesi. Dicle Üniversitesi uzmanlık bitirme tezi. 2016.p.3-9.
56. Aras A. Farklı koruyucu uygulamaların mine yüzeyinde oluşturulan demineralize alanlara etkilerinin in-vitro olarak değerlendirilmesi. Dicle üniversitesi sağlık bilimleri enstitüsü 2014. p. 3-5.
57. Pinkham, Casamassimo, Fields, McTIGUE, Nowak: Bebekten Ergenliğe Çocuk Diş Hekimliği 4. Baskı ANKARA,2000; 173-192
58. Simmer J P, Hu J C. Dental Enamel Formation and Its Impact on Clinical Dentistry. *J Dent Educ.* 2001;65(9):896-905.
59. Jernvall J, Thesleff I. Tooth Shape Formation and Tooth Renewal: Evolving with the Same Signals. *Development.* 2012;139(19):3487-97.
60. Gwinnett A. Structure and composition of enamel. *Operative dentistry* 1991;10-17.
61. Hunter ML, West NX. Erosion of deciduous and permanent dental hard tissue in the oral environment. *J Dent.* 2000;28:257-63.

62. Lussi A, Schaffner M, Hotz P. Dental erosion in a population Swiss adults. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1991;19:286-90.
63. Grippo JO. Abfractions: A new classification of hard tissue lesions of teeth. *J Esthet Dent.* 1991;3:14-9.
64. Lee WC, Eakle WS. Possible role of tensile stress in the etiology of cervical lesions of teeth. *J Prosthet Dent.* 1984;52:374-80.
65. Goel VK, Khera SC, Ralston JL, Chang KH. Stress at dentino-enamel junction of human teeth: a finite element investigation. *J Prosthet Dent.* 1991;66:451-9
66. Natsuko H. Eliji T. Nobuhiko K. Leo J. Van R. Geerling E.J. Langenbach. Effect of decreased occlusal loading during growth on the mandibular bone characteristics. *Plos One journal* 2015;10:1-10
67. Goldberg M, Lasfargues J-J. Pulpo-dentinal Complex Revisited. *J Dent.* 1995;23(1):15-20.
68. Smith A J, Cassidy N, Perry H, Begue-Kirn C, Ruch JV, Lesot H. Reactionary Dentinogenesis. *The Int J Dev Biol.* 1995;39(1):273-80.
69. Butler W T, Ritchie H. The nature and functional significance of dentin extracellular matrix proteins. *Int J Dev Biol.* 2003;39(1):169-79.
70. Özçobanoğlu G, Durutürk L. Süt Dişlerinde Pulpa ve Dentinin Histolojik Yapısal Özellikleri. *Acta Odontol Turc.* 2013;30(2):99-109.
71. Kawashima N, Okiji T. Odontoblasts: Specialized Hard tissue forming Cells in the Dentin pulp Complex. *Congenital anomalies.* 2016.
72. Ulu K G, Kırzioğlu Z. Dentin Geçirgenliği ve Dentin Geçirgenliğini Etkileyen Faktörler: derleme. *Atatürk Ü Diş Hek Fak Derg.*;2012(6):60-5.
73. Çelik E U, Yıldız G, Katırcı G. Sklerotik Dentine Bağlanma. *Ege Ü Diş Hek Fak Derg.* 2009;30:61-74.
74. Kidd E, Fejerskov O. What Constitutes Dental Caries? Histopathology of Carious Enamel and Dentin Related to the Action of Cariogenic Biofilms. *J Dent Res.* 2004;83:35-8.
75. Yi Liu, Raphael Olszewski, Emanuel Stefan Alexandroni Reyes Enciso, Tianmin Xu, James K. Mah. The validity of in vivo tooth volume determinations from one-beam computed tomography. *Angle Orthodontist.*2010;80(1):160-166.
76. Weidmann SM, Weatherell JA, Hamm SM (1967). Variations of enamel density in sections of human teeth. *Arch Oral Biol* 12:85-97.
77. T.M. Smith, A.J. Olejniczak , D.J. Reid , R.J. Ferrell, J.J. Hublin. Modern human molar enamel thickness and enamel—dentine junction shape. *Archives of Oral Biology* .2006; 51: 974—995.
78. J.L. Stroud, P.H. Buschang, P.W. Goaz. Sexual dimorphism in mesiodistal dentin and enamel thickness. *Dentomaxillofac. Radiol.* 1994;23:169-171.
79. Evlice K.B. Öztunç H. Dijital radyografi ve diş hekimliğinde ileri görüntüleme yöntemleri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi . Archives Medical Review Journal.* 2013; 22(2):230-238.

80. Schmitz, J. E., et al. "Estimating mineral changes in enamel formation by ashing/BSE and MicroCT." *Journal of dental research* 93.3 (2014): 256-262.
81. Akbaba M.H. Yaşa bağlı süt ikinci molar dişlerin fizyolojik kök rezorpsiyonlarının konik ışınlı bilgisayarlı tomografi ile hacimsel olarak üç boyutlu değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi uzmanlık tezi 2015. P. 20-28.
82. Yavuz İ. Aydın H. Ülkü R. Kaya S. Tümen C. A new method: measurement of microleakage volume using human, dog and bovine permanent teeth. *Electronic Journal of Biotechnology*.2006;9(1):8-17.
83. Karadağ S. Mikrosızıntı araştırma teknikleri ve mikrosızıntıyı etkileyen faktörler. 2005;15(2):80-87.
84. N.V. (2005). SksScan 1172 X-ray mikrotomografi Kullanım klavuzu. V lunchtenburgstraat: Aartselaar.
85. Fanibunda K. A Method of measuring the volume of human dental pulp cavities. *Int Endod J*. 1986;19(4):194-7.
86. Orbak R. Dentin aşırı duyarlılığı. *Atatürk Üniv. Diş Hek. Fak. Derg.* 1995;5(1):104-111.
87. Çelik U. E. Yıldız G. Katırcı G. Sklerotik dentine bağlanma. *EÜ. Diş Hek. Fak. Derg.* 2009;30: 61-74.
88. Ketterl W. Age-induced changes in the teeth and their attachment apparatus. *Int Dent J*. 1983;33(3):262-71.
89. Philippas GG. Influence of occlusal wear and age on formation of dentin and size of pulp chamber. *J Dent Res* 1961;40:1186-98.
90. F. Yang, R. Jacobs, G. Willems. Dental age estimation through volume matching of teeth imaged by cone-beam CT. *Forensic Science International*.2006;159:78-83.
91. Jagannathan N, Neelakantan P, Thiruvengadam C, Ramani P, Premkumar P, Natesan A, et al. Age Estimation in an Indian Population Using Pulp/tooth Volume Ratio of Mandibular Canines Obtained from Cone Beam Computed Tomography. *J Forensic Odontostomatol*. 2011;29(1):1-6.
92. Pinchi V, Pradella F, Buti J, Baldinotti C, Focardi M, Norelli G A. A New Age Estimation Procedure Based on the 3D CBCT Study of the Pulp Cavity and Hard Tissues of the Teeth for Forensic purposes: A Pilot Study. *J Forensic Leg Med*. 2015;36:150-7.
93. De Angelis De, Gibelli D, Gaudio D, Cipriani Noce F, Varvara G, Sguazza E, Sforza C, Cattaneo C. Sexsuel dimorphism of canine volume: A pilot study. *Leg Med (Tokyo)*. 2015;17(3):163-166.
94. Venkatesh S. Ajmera S. Ganeshkar SV. Volumetric pulp changes after orthodontic treatment determined by cone-beam computed tomography. *J Endod*. 2014;40(11):1758-1763.
95. Saccuci M, Datillio M, Rodolfino D, Festa F, Polimeni A, Tesco S. Condylar volume and condylar area in class I,II,III young subjects. *Head Face Med*. 2012;8(34):1-8.

96. Dekuchi T Sr, Katashiba S, Inami T, Foong KW, Huak CY. Morfologic quantification of the maksilla and the mandible with cone- beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(2):218-222.
97. Agematsu H, Someda H, Hashimoto M, Matsunaga S, Abe S, Kim H, et al. Three-dimensional Observation of Decrease in Pulp Cavity Volume Using Micro-CT: Age-related Change. *Bull Tokyo Dent Coll.* 2010;51(1):1-6.
98. Iwaka Y. Three-dimensional Observation of the Pulp Cavity of Mandibular First Molars by Micro-CT. *J Oral Biosci.* 2006;48(2):94-102.
99. Oi T, Saka H, Ide Y. Three dimensional Observation of Pulp Cavities in the Maxillary First Premolar Tooth Using Micro CT. *Int Endod J.* 2004;37(1):46-51.
100. M. Amano , H. Agematsu , S. Abe , A. Usami , S. Matsunaga , K. Suto , Y. Ide. Three-dimensional analysis of pulp chambers in maxillary second deciduous molars. *Journal of Dentistry* 2006;34: 503 – 508.
101. A.I. Orhan, K. Orhan, B.M. Ozgul, F.T. Öz. Analysis of pulp chamber of primary maxillary second molars using 3D micro-CT system: an in vitro study. *European Journal of Paediatric Dentistry* 2015;16(4): 305- 310.
102. Yasutoya I. Hideaki K. Hiroko A. Hideki S. Satoru M. Yoshinobu I. Shinichi A. Three-dimensional analysis of pulp chambers in mandibular second deciduous molars. *Journal of Hard Tissue Biology* 2014;23(2): 211-216.
103. H. Aboshi, T. Takahashi, T. Komuro. Age estimation using microfocus X- ray computed tomography of lower premolars. *Forensic Science International.* 2010;200:35-40.
104. H. Someda, H. Saka, S. Matsunaga, Y. Ide,K. Nakahara, S. Hirata, M. Hashimoto. Age estimation on three- dimensional measurement of mandibular central incisors in japanese. *Forensic Science International.* 2009;185:110-114.
105. Jin-Lan Ma, Si-Zhen Shi, Y. Ide, H. Saka, S. Matsunaga, H. Agematsu. Volume measurement of crowns in mandibular primary central incisors by micro-computed tomography. *Acta Odontologica Scandinavica*, 2013; 71: 1032–1037.
106. P. Hofmann, R. Marschallinger, G. Daxner- Höck. 3D volume modeling of fossil small mammal teeth using micro CT and object based image analysis.<https://www.researchgate.net>.
107. Anthony J. Olejniczak, Paul Tafforeau, Robin N.M. Feeney, Lawrence B. Martin.Three-dimensional primate molar enamel thickness. *Journal of Human Evolution.* 2008;54:187-195.
108. R.A. Farah, M.V. Swain, B.K. Drummond, R. Cook, M. Atieh. Mineral density of hypomineralised enamel.journal of dentistry 38 (2010) 50 – 58.
109. C. R. Hiller, C. Robinson, J. A. Weatjerell. Variations in the composition of developing rat incisor enamel. *Calcif. Tiss. Res.* 1975;18:1-12.
110. Kinney JH, Marshall GW Jr, Marshall SJ. Three-dimensional mapping of mineral densities in carious dentin: theory and method. *Scanning Microsc.* 1994;8:197-204.

111. Sabra I. Djomehri¹, Susan Candell, Thomas Case, Alyssa Browning, Grayson W. Marshall¹, Wenbing Yun, S. H. Lau, Samuel Webb, Sunita P. Ho¹. Mineral Density Volume Gradients in Normal and Diseased Human Tissues. PLOS ONE Journal. 2015:1-24.
112. SEP. Dowker, J. C. Elliot, G.R. Davis, R.M. Wilson, P. Cloetens. Three- Dimensional study of human dental fissure enamel by synchrotron x-ray micro CT. Eur. J. Sci. 2006;114(1):353-359.
113. Fearne, J. P. Anderson, and G. R. Davis. "3D X-ray microscopic study of the extent of variations in enamel density in first permanent molars with idiopathic enamel hypomineralisation." British dental journal 2004;196(10): 634-638.
114. Shahmoradi, Mahdi, and Michael V. Swain. "Micro-CT analysis of naturally arrested brown spot enamel lesions." Journal of Dentistry 56 (2017): 105-111.
115. Ten Bosch JJ, Angmar-Mansson B. A review of quantitative methods for studies of mineral content of intra-oral caries lesions. J Dent Res 1991;70:2—14.
116. W. Zou, J. Gao, A.S. Jones, N. Hunter, M.V. Swain. Characterization of a novel calibration method for mineral density determination of dentine by X- ray mikro-tomography. Analyst. 2009;134:72-79.
117. Nakata, Keiko, et al. "An approach to normalizing micro-CT depth profiles of mineral density for monitoring enamel remineralization progress." Dental materials journal 31.4 (2012): 533-540.
118. Schmitz, J. E., et al. "Estimating mineral changes in enamel formation by ashing/BSE and MicroCT." Journal of dental research 93.3 (2014): 256-262.

8. ÖZGEÇMİŞ

01.01.1987 yılında Elazığ ili Palu ilçesinde doğdum. Elazığ'da 2002 yılında Yazıkonak İlk Öğretim Okulunu, 2006 yılında Elazığ Anadolu Lisesini bitirdim. 2006 yılında girdiğim Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nden 2011 yılında mezun oldum. 2011-2013 yılları arasın Muş Ağız ve Diş Sağlığı Merkezinde Diş Hekimi olarak görev yaptım ve 2013' ten itibaren Elazığ Ağız ve Diş sağlığı merkezinde Diş Hekimi olarak çalışmaktayım. 2013 yılı ağustos ayında girmiş olduğum Doktora sınavında başarılı olarak Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalında doktora eğitimime başladım. Halen Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalında doktora öğrencisi olarak eğitimimi sürdürmekteyim.

Dt. Şemsettin YILDIZ