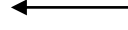


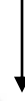
ALA M.M. AWAD



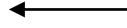
Adınızı soyadınızı giriniz

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ SAĞ. BİL. ENST.

Tez kabul edildikten sonra yapılan **sabit ciltte sırt yazısı** bu şablona göre yazılacak. Yazılar tek satır olacak
Cilt sırtı yazıların yönü yukarıdan aşağıya
(sol yandaki gibi) olacak .



DOKTORA TEZİ



Tez, Yüksek Lisans'sa, YÜKSEK LİSANS TEZİ;
Doktora ise DOKTORA TEZİ ifadesi kalacak

İSTANBUL-2021



Tez Sınavının yapılacağı yılı yazınız

**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

(DOKTORA TEZİ)

**BULK-FİLL KOMPOZİTLERİN UZUN DÖNEM
MONOMER SALINIMININ İN VİTRO İNCELENMESİ**

ALA M.M. AWAD

**DANIŞMAN
PROF. DR. UĞUR ERDEMİR**

**RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI
RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ DOKTORA PROGRAMI**

İSTANBUL-2021

TEZ ONAYI

(Bu sayfa yerine, başarılı geçen Tez Sınavı sonrası sınav tutanağı ekinde yer alan Tez Onay sayfası gelecektir.)



İTHAF

Gücüme güç, ümitlerime ümit katan, yolumu aydınlatan sevgili annem, hayatın anlamını ve tüm güzelliklerini öğreten adam sevgili babam, eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve bu tez çalışmasının gerçekleşmesini sağlayan sevgili aileme sevgilerimi sunarım.



TEŞEKKÜR

Tez kousunun belirlenmesi ve hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden geleni yapan, bu tez çalışmasını gerçekleştirmem için verdiği destek ve sağladığı önemli katkılar için danışman hocam sayın Prof. Dr. Uğur Erdemir'e teşekkürlerimi sunarım. Doktora eğitimim esnasında her türlü yardımda bulunan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Adli Tıp Enstitüsü emekli öğretim üyesi Prof. Dr. Salih Cengiz hocama ve doktora eğitimim boyunca ihtiyaç duyduğum her anımda yanımda olan, çalışmalarına her zaman ve her şekilde destek veren, üzerimde büyük emeği olan Prof. Dr. Esra Yıldız'a teşekkürlerimi sunarım. Monomer salınım analizlerimde bana yol gösteren ve çalışmamı yaparken büyük bir titizlikle yardımlarını esirgemeyen Sn. Murat Maviş ve Sn. Gökçe Göksu'ya teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmamın istatistiksel analizlerini yapan Sn. Sevda Özel Yıldız'a ve Dr. Günçe Ozan'a çalışmalarımın her aşamasında verdiği katkılar için teşekkür ederim. Anabilim Dalımızın değerli hocalarına, asistanlarına ve idari personeli ile ilk günden itibaren yanımda olup bana yardım eden Dr. Rasha Odeh'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 55068

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	ii
BEYAN.....	iii
İTHAF.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ	xvi
ÖZET	xviii
ABSTRACT.....	xix
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Reçine kompozitlerin yapısı	5
2.1.1. Organik polimer matriks yapı	5
2.1.2. İnorganik doldurucu partiküller	8
2.1.3. Silan bağlayıcı ajanlar (Ara faz)	9
2.2. Reçine Kompozitlerin Sınıflandırılması	13
2.2.1. Makrofil kompozitler	13
2.2.2. Mikrofil kompozitler.....	14
2.2.3. Hibrit ve mikrohibrit kompozitler.....	14
2.2.4. Nanokompozitler.....	16
2.2.5. Bulk fill kompozitler.....	17
2.3. Reçine kompozitlerin polimerizasyonunda kullanılan ışık kaynakları.....	21
2.3.1. Kuartz-Tungsten-Halojen (QTH) ışık kaynakları	21
2.3.2. LED ışık Kaynakları	22
2.3.3. Plazma Ark ışık kaynakları	23
2.3.4. Lazer ışık kaynakları	23
2.4. Polimerizasyon.....	24
2.4.1. Artık monomer.....	25
2.4.2. Reçine kompozitlerden monomer salınımını etkileyen faktörler.....	26

2.4.3. Artık monomer miktarının tespitinde kullanılan analiz yöntemleri.....	27
2.4.4. Likit Kromatografi-Kütle / Kütle Spektrometresi (LC-MS/MS).....	28
2.4.4.1. Güncel Klinik Kütle Spektrometresi - Enstrümantasyon ve Temel Prensipler	29
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	35
3.1. Çalışmada kullanılan reçine kompozit materyaller.....	35
3.1.1. Filtek Z250	36
3.1.2. Filtek Bulk Fill Flow.....	37
3.1.3. Tetric EvoCeram Bulk Fill.....	38
3.1.4. SonicFill Bulk Fill.....	39
3.2. Çalışmada kullanılan ışık kaynakları	39
3.2.1. Halojen ışık kaynağı (Optilux 501).....	40
3.2.2. LED ışık kaynağı (Demi Ultra).....	42
3.3. Numunelerin hazırlanması	44
3.4. Numunelerden monomer salınım prosedürü.....	49
3.5. LC-MS/MS cihazında monomer salınımının değerlendirilmesi.....	51
3.5.1. LC-MS/MS ölçümü için stok çözeltilerin, kalibrasyon çözeltilerinin ve numunelerin hazırlanması.....	53
3.5.2. LC-MS/MS analiz yöntemi	54
3.6. İstatistiksel Analiz.....	56
4. BULGULAR.....	57
4.1. Çalışmada kullanılan reçine kompozitlerden salınıma uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi.....	60
4.1.1. Filtek Z250 reçine kompozitinden salınıma uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçları	60
4.1.2. Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınıma uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçları	65
4.1.3. Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınıma uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçları	71
4.1.4. SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınıma uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçları	77
4.2. Işık uygulama sürelerine göre monomer salınım değerlerinin değerlendirilmesi	81
4.3. Işık cihazlarına göre monomer salınım değerlerinin değerlendirilmesi	84

4.4. Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazlarıyla farklı sürelerde polimerize edilmesinden sonra reçine kompozit materyallerden ölçüm periyotlarında salınma uğrayan monomerlerin değerlendirilmesi	89
5. TARTIŞMA	96
6. SONUÇLAR	117
KAYNAKLAR	119
HAM VERİLER	139
FORMLAR	140
ETİK KURUL KARARI	141
PATENT HAKKI İZNİ	142
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	143
ÖZGEÇMİŞ	144

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2-1: Reçine kompozitlerin kimyasal bileşenleri ve kullanılma nedenleri	11
Tablo 2-2: Kompozit reçinelerin dört farklı sınıflandırma yöntemi*	13
Tablo 2-3: Piyasada bulunan bazı bulk fill kompozit materyallerin uygulama derinliği ve kimyasal kompozisyonları (Üretici firma bilgileri)	20
Tablo 3-1: Çalışmada kullanılan reçine kompozitlerin monomer yapıları ve üretici firmaları	36
Tablo 3-2: Çalışmada kullanılan ışık kaynakları (Üretici firma bilgilerine göre)	40
Tablo 3-3: Kompozit numunelerin ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre gruplandırılması	45
Tablo 3-4: Çalışmada kullanılan monomerlerin özellikleri	53
Tablo 3-5: Analitlerin MRM geçişleri ve MS/MS koşulları.....	55
Tablo 4-1: Farklı sürelerde ve farklı ışık cihazlarıyla polimerize edilen reçine kompozitlerden salınan monomerlerin zamana göre salınım miktarları (Ortalama±standart sapma).....	58
Tablo 4-2: Çok yönlü varyans analizi (Multivariate ANOVA) sonuçları	59
Tablo 4-3: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınımına uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama±SS).	60
Tablo 4-4: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınımına uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama±SS).	62
Tablo 4-5: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınımına uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama±SS).	64
Tablo 4-6: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınımına uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama±SS).....	66
Tablo 4-7: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınımına uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama±SS).....	68

Tablo 4-8: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınım uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).....	70
Tablo 4-9: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınım uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).	72
Tablo 4-10: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınım uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).	74
Tablo 4-11: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınım uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).....	76
Tablo 4-12: SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınım uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).....	78
Tablo 4-13: SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınım uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).....	80
Tablo 4-14: Işık uygulama sürelerine göre salınım uğrayan monomerlerin toplam ortalama salınım değerleri ve istatistiksel karşılaştırmaları.....	82
Tablo 4-15: Işık cihazlarına göre salınım uğrayan monomerlerin toplam ortalama salınım değerleri ve istatistiksel karşılaştırmaları.....	85
Tablo 4-16: Işık uygulama sürelerine ve ışık cihazlarına göre salınım uğrayan monomerlerin toplam ortalama salınım değerleri.....	88

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2-1: Reçine matriks yapıda bulunan bazı monomerlerin kimyasal formülleri (Sakaguchi RL & Powers JM. Craig's restorative dental materials. 13 th ed., Elsevier-Mosby, Philadelphia, p.161-198, 2012.).....	8
Şekil 2-2: Kompozit reçinelerde kullanılan partiküller ve partikül büyüklüğüne göre yapılan sınıflandırma şekilleri. A) Makrofil kompozit, B) Mikrofil Kompozit, C) Hibrit kompozit (Hatrack & Eakle, 2016).	16
Şekil 2-3: Nano partiküller ve nano öbeklerin (cluster) nanofil reçine kompozitin yapısındaki şematik görüntüsü (Hatrack & Eakle, 2016, Saipullaev, 2017).	17
Şekil 2-4: Tandem kütle spektrometresinin temel bileşenleri. (A) Numune kaynaқта iyonize edilir, 1. kütle filtresine (Q1), ardından çarpışma hücresine (Q2), ardından 2. kütle filtresine (Q3) ve son olarak dedektöre geçer. (B) ve (C), mevcut klinik LC-MS / MS aletlerinde kullanılan iki temel iyonizasyon kaynağı türünün şematik olarak gösterimi, elektrosprey iyonizasyon (ESI, B) ve atmosferik basınçta kimyasal iyonizasyon (APCI, C). ESI'de, LC'den gelen çözücü-analit akışı, pozitif yüklü, çok dar bir kılcal damar içinden kaynağa geçer ve mikroskopik, pozitif yüklü çözücü-analit damlacıkları olarak nebülize edilir. Bu damlacıklar, iyonize bileşenlerinin itici yükü yüzey gerilimlerini aştığında, bir Coulomb patlamasında parçalanana kadar, yolda buharlaşan çözücü ile negatif yüklü ön yüz plakasına doğru uçarlar. Aynı ayrı iyonize analit molekülleri daha sonra ön çerçeve giriş deliğinden geçerek kütle spektrometresine girer. APCI'de, LC'den gelen çözücü-analit akışı, ısıtılmış nebülizatör gazı ve çözücü (ler) buharının polar bileşenleri ile buharlaştırılır. Korona iğnesinin yüksek akım boşalmasıyla iyonize edilir. Çözücü molekülleri daha sonra yüklerini iyonize edilebilir analit moleküllerine aktarırlar, bunlar ön yüz plakası giriş deliğinden kütle spektrometresine geçer (Grebe & Singh, 2011).	30
Şekil 2-5: Üçlü dört kutuplu kütle spektrometresi. Q1 ve Q3, kütle filtreleri görevi görür ve bağımsız olarak sabitlenebilir, taranabilir veya kademelendirilebilir. Q2, düşük basınçlı inert gaz içeren bir çarpışma hücresidir (Pitt, 2009).	31
Şekil 2-6: Kütle filtrelemeli tandem kütle spektrometreleri ile gerçekleştirilebilecek beş temel deney. A) Tam Tarama, B) Ürün İyon Taraması, C) Öncü İyon Taraması, D) Nötr Kayıp Taraması ve E) Selektif Reaksiyon İzleme. (CID-collision-induced dissociation, çarpışma kaynaklı ayrışma).	33

Şekil 3-1: Filtek Z250 reçine kompozit materyali	37
Şekil 3-2: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozit materyali	38
Şekil 3-3: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozit materyali	38
Şekil 3-4: SonicFill Bulk Fill reçine kompozit materyali ve sonik aktivasyon cihazı ...	39
Şekil 3-5: Halojen ışık cihazı (Optilux 501, Kerr).....	41
Şekil 3-6: Halojen ışık cihazının (Optilux 501) ışık gücünün dijital bir radyometre (Hilux Curing Light Meter) yardımıyla ölçülmesi	42
Şekil 3-7: LED ışık cihazı ve şarj ünitesi (Demi Ultra, Kerr)	43
Şekil 3-8: LED ışık cihazının (Demi Ultra) ışık gücünün dijital bir radyometre (Hilux Curing Light Meter) yardımıyla ölçülmesi	44
Şekil 3-9: Kompozit numunelerin hazırlanmasında kullanılan 8 mm çapında, 2 mm ve 4 mm yüksekliğindeki metal kalıplar.....	46
Şekil 3-10: Kompozit numunelerin metal kalıptaki silindirik yuvaya yerleştirilmesinden önce metal tabla üzerine şeffaf bant yerleştirilmesi.....	46
Şekil 3-11: Silindirik yuvaya reçine kompozitin yerleştirilmesinden sonra üzerine mikroskop lamelinin konularak parmak basıncı uygulamasıyla kompozit reçinenin fazlasının taşması ve yüzeyin düzleştirilmesi	47
Şekil 3-12: Reçine kompozit numunenin lamel üzerinden ışık ucunun numune yüzeyine dik gelecek şekilde ayarlanmasından sonra polimerizasyonu	47
Şekil 3-13: Numunelerin bitirme ve cila işlemlerinde kullanılan diskler (Sof-Lex; 3M ESPE).....	48
Şekil 3-14: Bitirme ve cila işlemleri tamamlanan numunelerin alt yüzeylerinin aeratör ve elmas rond frez kullanılarak numaralandırılması.....	49
Şekil 3-15: Numunelerin %75'lik etanol solüsyonu içerisinde saklandığı plastik kaplar.	50
Şekil 3-16: Saklama kaplarından çözeltilerin alınmasında kullanılan mikropipetler.	50
Şekil 3-17: Çözeltilerin kromatografi işlemine kadar buzdolabında saklandığı plastik şişe.	51
Şekil 3-18: Çalışmada kullanılan LC-MS/MS cihazı (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, ABD).....	52
Şekil 3-19: Çalışmada kullanılan Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA baz monomerleri ...	52
Şekil 3-20: Monomerlerin ayrılması için kullanılan kolon (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, ABD)	54

Şekil 3-21: Analiz edilen monomerlere ait pik değerlerin gösterildiği kromotogram....	56
Şekil 4-1: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	61
Şekil 4-2: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	63
Şekil 4-3: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınma uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	65
Şekil 4-4: Filtek Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	67
Şekil 4-5: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	69
Şekil 4-6: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınma uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	71
Şekil 4-7: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	73
Şekil 4-8: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	75
Şekil 4-9: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	77
Şekil 4-10: SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	79

Şekil 4-11: SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınım uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	81
Şekil 4-12: Bis-GMA monomerinin ışık uygulama sürelerine göre farklı ölçüm periyotlarındaki salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	83
Şekil 4-13: Bis-EMA monomerinin ışık uygulama sürelerine göre farklı ölçüm periyotlarındaki salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	83
Şekil 4-14: UDMA monomerinin ışık uygulama sürelerine göre farklı ölçüm periyotlarındaki salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	84
Şekil 4-15: Işık cihazlarına göre farklı ölçüm periyotlarında salınım uğrayan Bis-GMA monomerinin salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	86
Şekil 4-16: Işık cihazlarına göre farklı ölçüm periyotlarında salınım uğrayan Bis-EMA monomerinin salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	86
Şekil 4-17: Işık cihazlarına göre farklı ölçüm periyotlarında salınım uğrayan UDMA monomerinin salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.	87
Şekil 4-18: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 20 sn polimerize edilmesini takiben salınım uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.	89
Şekil 4-19: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 40 sn polimerize edilmesini takiben salınım uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.	90
Şekil 4-20: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 20 sn polimerize edilmesini takiben salınım uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.	91
Şekil 4-21: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 40 sn polimerize edilmesini takiben salınım uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.	92
Şekil 4-22: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 20 sn polimerize edilmesini takiben salınım uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.	93
Şekil 4-23: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 40 sn polimerize edilmesini takiben salınım uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.	94



SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ

- Bis-GMA: bisfenol-A-glisidil-metakrilat
Bis-EMA: etoksile bisfenol A dimetakrilat
UDMA: üretan dimetakrilat
TEGDMA: trietilen glikol dimetakrilat
EGDMA: etilen glikol dimetakrilat
DEGDMA: di-etilen glikol dimetakrilat
EBPDMA: etoksile bisfenol-A-dimetakrilat
Bis-MPEPP: 2,2-Bis[4-(methacryloxyethoxy)phenyl]propane
SIMA: 1-(tristrimethyl-siloxysilylpropyl)-methacrylate
Bis-PMA: 2,2-bis-(4-(3-methacryloxypropoxy)phenyl)propane
HEMA: 2-Hydroxyethyl Methacrylate
sn: saniye
LED: Light Emitting Diode
QTH: Kuartz-tungsten-halojen
PAC: Plazma ark
LC-MS/MS: (Liquid Chromatography-mass spectrometry/mass spectrometry; Sıvı kromatografi-kütle spektrometresi/kütle spektrometresi)
HPLC: High Performance Liquid Chromatography (Yüksek Performanslı Likit Kromatografi)
FDA: Food and Drug Administration (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi)
OH⁻: Hidroksil iyonu
g/mol: gram/molekül
 γ -MPS: γ -metakriloksipropil trimetoksisilan
 α : alfa
PPD: phenyl-propanedione
mm: milimetre
nm: nano metre
 μ m: mikro metre
UV: ultra viyole
SDR: Shrinkage Decreasing Resin

DFU: Direction for use

mW: mili watt

J: joule

C: Karbon

FTIR: Fourier transform infrared spectroscopy

NMR: Nükleer manyetik rezonans

MIRS: Multiple Internal Reflection Spectroscopy

GC: Gaz Kromotografi

ESI: Electrospray ionisation (Elektrosprey iyonizasyon)

SRM: Selective reaction monitoring (Selektif reaksiyon izleme)

MRM: Multiple reaction monitoring (Çoklu reaksiyon izleme)

°C: Derece santigrat

psi: Pounds per square inch

ppb: part per billion (milyarda bir)

SS: Standart sapma

ÖZET

AWAD M.M, ALA. (2021). Bulk-fill kompozitlerin uzun dönem monomer salınımının in vitro incelenmesi. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Restoratif Diş Tedavisi ABD. Doktora Tezi. İstanbul.

Bu çalışmanın amacı farklı ışık cihazlarıyla farklı sürelerde polimerize edilen farklı reçine kompozitlerden Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA monomer salınımlarının uzun dönem (6 ay) değerlendirilmesidir. Çalışmada 3 farklı bulk fill (Filtek Bulk Fill Flow, Tetric EvoCeram Bulk Fill, SonicFill Bulk Fill) ile geleneksel (Filtek Z250) reçine kompozitler kullanıldı. Geleneksel reçine kompozit için 2 mm, bulk fill reçine kompozitler için 4 mm yüksekliğinde, 8 mm çapında toplam 80 numune (n=20 her grup) metal kalıplar kullanılarak hazırlandı, halojen (Optilux 501) ve LED (Demi Ultra) ışık cihazlarıyla 20 sn ve 40 sn süre ile polimerize edildi (n=5). Polimerizasyondan hemen sonra numuneler %75 etanol/su çözeltisinde oda sıcaklığında monomer salınımı için bekletildi. Monomer salınımı analizleri LC-MS/MS cihazıyla 24 saat, 1 hafta, 1ay ve 6 ay periyotlarında yapıldı. Zamana bağlı salınım değerlerinin ve değişimin değerlendirilmesi için çok değişkenli varyans analizi (Multivariate ANOVA) ile tekrarlı ölçümler varyans analizi (Reperated measure ANOVA), gruplar arasında monomer salınımindaki farklılıkları belirlemek için Tukey HSD ve Tamhane çoklu karşılaştırma testleri yapıldı ($p<0.05$). Işık cihazı tipi monomer salınım değerlerini anlamlı şekilde etkiledi ($p<0.001$). Işık uygulama süresinin artması, anlamlı derecede monomer salınım değerlerinin azalmasına neden oldu ($p<0.001$). Toplam monomer salınımları açısından UDMA en yüksek salınım gösteren monomer olurken, en az salınım Bis-EMA monomerinde gözlemlendi. Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinde UDMA ve Bis-GMA monomerlerinin salınımının diğer reçine kompozitlere oranla anlamlı derecede yüksek olduğu belirlendi ($p<0.001$). Işık cihazı tipi ve ışık uygulama süresi monomer salınım değerleri üzerine önemli etkiye sahiptir. Reçine kompozitlerin kimyasal yapısı, uzun dönem monomer salınımını etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Monomer salınımı, Işık cihazı, Işık uygulama süresi, Bulk Fill kompozit, LC-MS/MS

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 55068

ABSTRACT

AWAD M.M, ALA. (2021). Long-term in vitro monomer release analysis of bulk-fill resin composites. Istanbul University, Institute of Health Science, Restorative Dentistry Department. Doctorate thesis. Istanbul.

The aim of this study was to evaluate the long-term (6 months) release of Bis-GMA, Bis-EMA and UDMA monomers from different resin composites polymerized at different times with different light curing units. In the study, 3 different bulk fill (Filtek Bulk Fill Flow, Tetric EvoCeram Bulk Fill, SonicFill Bulk Fill) and conventional (Filtek Z250) resin composites were used. A total of 80 samples (n=20 per group) of 2 mm in height and 8 mm in diameter for conventional resin composite and 4 mm for bulk fill resin composites were prepared using metal molds, polymerized with halogen (Optilux 501) and LED (Demi Ultra) light curing units for 20 seconds and for 40 seconds (n=5). Immediately after polymerization, the samples were stored in 75% ethanol/water solution at room temperature for monomer release. Monomer release analyzes were performed with LC-MS/MS device in 24 hours, 1 week, 1 month and 6 months periods. Multivariate analysis of variance (Multivariate ANOVA) and repeated measures analysis of variance (Repeated measure ANOVA) were used to evaluate time-dependent monomer release values and variation, Tukey HSD and Tamhane multiple comparison tests were used to determine differences in monomer releases between groups ($p < 0.05$). Type of light curing unit significantly affected the monomer release values ($p < 0.001$). Increasing the polymerization time caused a significant decrease in monomer release values ($p < 0.001$). In terms of total monomer release, UDMA was the monomer with the highest release, while the least release was observed in Bis-EMA monomer. It was determined that the release of UDMA and Bis-GMA monomers in Tetric EvoCeram Bulk Fill resin composite was significantly higher than other resin composites ($p < 0.001$). Type of light curing unit and polymerization time have a significant effect on monomer release values. The chemical structure of resin composites affects the long-term monomer release.

Key Words: Monomer release, Light curing unit, Polymerization time, Bulk Fill composite, LC-MS/MS

The present work was supported by the Research Fund of Istanbul University. Project No. 55068.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Reçine kompozit materyallerin klinik kullanımı, üstün mekanik özellikler göstermesi, hızlı polimerizasyonları, estetik açıdan doğal diş dokularını taklit edebilmeleri, uygulama kolaylığı ve diş dokularına iyi bağlanabilmeleri nedeniyle gün geçtikçe artmaktadır (Sideridou & Achilias 2005). Bununla birlikte, polimerizasyon büzülmesi, yetersiz monomer dönüşümüne bağlı olarak yapı içerisinde kalan reaksiyona girmemiş monomerlerin varlığı ve hidrolitik yolla materyal yapısının bozulabilmesi biyouyumluluğa, aşınma direncine ve reçine kompozit materyalin renk değişimine olumsuz etki edebilmektedir (Sideridou & Achilias 2005; Tanaka ve ark.1991; Geurtsen ve ark. 1998).

Reçine kompozitler genel olarak; organik reçine matriks, yapıyı güçlendirici inorganik doldurucular ve reçine matriks ile doldurucuları birbirine bağlayan silan bağlayıcı ajanların karışımından oluşan bir yapıya sahiptirler (Ferracane 1995). Organik matriks yapıda genel olarak bisfenol-A-glisidil-metakrilat (Bis-GMA), üretan dimeakrilat (UDMA) ve etoksile bisfenol A dimetakrilat (Bis-EMA) monomerlerinden biri veya bir kaç yer alırken, yüksek molekül ağırlıklı bu monomerleri seyreltmek amacıyla trietilen glikol dimetakrilat (TEGDMA), etilen glikol dimetakrilat (EGDMA), di-etilen glikol dimetakrilat (DEGDMA) gibi komonomerler sıklıkla kullanılmaktadır (Cebe ve ark. 2015; Polydorou ve ark. 2007; Polydorou ve ark. 2009). Bunların yanısıra matrik yapı içerisinde değişik oranlarda fotobaşlatıcılar, ko-inisiyatörler, polimerizasyon inhibitörleri ve fotostabilizatörler yer almaktadır (Polydorou ve ark. 2007; Polydorou ve ark. 2009).

Kompozit reçinelerin dönüşüm oranı, materyallerin biyouyumluluklarının değerlendirilmesinde oldukça önemlidir (dos Santos ve ark. 2014). Çok sayıda araştırmada dönüşüm oranının azalmasıyla birlikte kompozit reçinelerden monomerler dahil çeşitli bileşenlerin salınma uğradığı ve bunun sonucunda da pulpa dokusunun ve materyalin fiziksel ve mekanik özelliklerinin olumsuz etkilenebileceği bildirilmiştir (dos Santos ve ark, 2014; Sideridou ve ark. 2005; Kong ve ark. 2009; Geurtsen 1998). Bir çok çalışmada kompozit reçinelerden ağız ortamına çeşitli bileşenlerin salınarak (Sideridou ve ark, 2005; Tuna ve ark. 2010) bunların sitotoksik (Tadin ve ark. 2014), mutojenik (Schweikl & Schmalz, 1999), genotoksik (Visalli ve ark., 2013) ve östrojenik

(Darmani & Al-Hiyasat, 2006) etkilerinin olabileceği, pulpa dokusunda, dişetinde ve ağız mukozasında reaksiyonlara neden olabileceği belirtilmiştir (Teti ve ark., 2009). Ferracane (1994) kompozit reçinelerden salınan bileşenlerin miktarının; (1) serbest kalan bileşen miktarının direkt olarak polimerizasyon derecesi ile (örneğin çift bağların dönüşüm derecesi), (2) solventin kimyasal yapısına ve (3) salınımına uğrayan bileşenlerin boyutu ve kimyasal yapısı ile ilgili olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, kompozit materyalin kompozisyonunun da (doldurucu oranı) monomer salınım üzerine anlamlı etkisi olduğu bildirilmiştir (Wataha ve ark., 1999).

Araştırmalar, reçine kompozitlerin monomer-polimer dönüşüm oranının %35 ile %77 arasında değişim gösterdiğini bildirmektedir (Ferracane, 1994; Ferracane, 1999). Bir çok araştırmacı materyalin kimyasal stabilitesi ve çözünürlüğü açısından monomerlerin polimere dönüşüm oranı arasındaki korelasyonu değerlendirmişler ve polimerizasyon süresinin azaltılmasının anlamlı şekilde çözünürlüğü etkilediğini, polimerizasyon süresinin artırılmasının ise su ortamına salınan artık monomer miktarı ve içeriğinde anlamlı derecede azalmaya yol açtığını göstermiştir (Tanaka ve ark., 1991; Pearson & Longman, 1989).

Kompozit reçinelerin monomer dönüşüm derecesi intrinsik olarak materyalin kimyasal yapısı ve fotobaşlatıcıların konsantrasyonu ile ekstrinsik olarak polimerizasyon şekli gibi faktörlerden doğrudan etkilenebilmektedir (Cebe ve ark., 2015; Leprince ve ark., 2013). Kompozit reçinelerin polimerizasyonu esnasında uygulanan ışık miktarı ve dolayısıyla ışık gücü, alt tabakalara geçerken önemli miktarda düşmekte ve sonuçta dönüşüm oranını etkileyebilmektedir (Price ve ark., 2000). Bu nedenle ışık penetrasyonunun artırılarak optimal polimerizasyon ve monomer dönüşümünün sağlanabilmesi ve polimerizasyon büzülme streslerinin azaltılması için kompozit reçinelerin en fazla 2 mm tabakalar halinde uygulanması standart bir uygulama prosedürüdür (Cebe ve ark., 2015; Kim & Park, 2011). Tabakalar halinde kompozit reçinelerin uygulanmasının avantajları olmasına rağmen, tabakalar arasında hava kabarcığı kalabilmesi, kontaminasyon riski, tabakalar arası yetersiz bağlanma ve hem tabaka halinde yerleştirme hem de polimerizasyon işlemine bağlı olarak uzun çalışma süreleri gerektirmesi gibi pek çok dezavantajları mevcuttur (Cebe ve ark., 2015; Furness ve ark., 2014; Tarle ve ark., 2015). Bu problemlerin ortadan kaldırılması amacıyla yapısında yeni monomerler, daha translusent doldurucular ve yeni

fotobaşlatıcılar bulunan “bulk fill” reçine kompozitler son yıllarda kullanıma girmiştir (Goracci ve ark., 2014; Garoushi ve ark., 2013; Alrahlah ve ark., 2014). Bu materyaller 4 mm derinliğe sahip kavitelere tek tabaka halinde kütle olarak uygulanabilen, polimerize edilebilen, aynı zamanda derin kavitelere uygulandığında polimerizasyon büzülme streslerinin daha az olduğu bildirilen materyallerdir (Pongprueksa ve ark., 2015). Bulk fil kompozitler ile yapılan araştırmalar incelendiğinde, marjinal uyum, mikrosızıntı, dentine bağlanma, mekanik özellikler ve monomer dönüşüm derecesi ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır (Campos ve ark., 2014; Moorthy ve ark., 2012; Van Ende ve ark., 2013; Alrahlah ve ark., 2014; Alshali ve ark., 2013). Ancak, monomer salınımının incelendiği çok az sayıda araştırma bulunmaktadır.

Monomer salınımının incelenmesinde distile su, tükürük, etanol, metanol ve asetonitril gibi çözücüler sıklıkla kullanılmaktadır (Polydorou ve ark., 2009). Bu çözücülerden %75 etanol/su karışımının klinik olarak alkolik içecekler dahil pek çok içeceği, sebzeleri, meyveleri ve şurupların etkisini taklit edebilen en uygun çözücü olduğu Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından bildirilmektedir (Polydorou ve ark., 2009; Sideridou ve ark., 2007).

Monomer salınımının değerlendirilmesinde yaşanan problemlerden bir tanesi de kantitatif ve kalitatif olarak salınımın değerlendirilebilmesinde kullanılan yöntemdir. Araştırmalar incelendiğinde genellikle “Yüksek Performanslı Likit Kromatografi (HPLC; High Performance Liquid Chromatography)” yönteminin kullanıldığı görülmektedir (Cebe ve ark., 2015; Lempel ve ark., 2016; Sideridou & Achilias, 2005). Bu yöntemde salınıma uğrayan bileşiklerin tanımlanmasında ve nicelendirilmesinde saf komponentler harici standart olarak kullanılmaktadır (Polydorou ve ark., 2009). Ancak bu yöntem, salınıma uğrayan bileşenlerin kesin tanımlamasını yapamaması gibi bazı dezavantajlara sahiptir (Geurtsen, 1998). Monomer salınımının incelenmesinde kullanılabilen Likit Kromatografi-Kütle Spektrometri (LC-MS; Liquid Chromatography-Mass Spectrometry) yöntemi ise likit kromatografi ile kütle spektrometre yönteminin avantajlarını birleştiren analitik bir teknik olup, çok düşük konsantrasyonlarda maddenin miktar tayininin yapılabilmesini mümkün kılabilir (Grebe & Singh, 2011; Polydorou ve ark., 2009). Monomer salınımının değerlendirildiği araştırmalar incelendiğinde çok az sayıda çalışmada LC-MS/MS tekniğinin kullanıldığı göze çarpmaktadır.

Araştırmalar incelendiğinde, monomer salınımının değerlendirildiği çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen son yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşan ve tek seferde 4 mm halinde uygulanabilen bulk fill reçine kompozitlerin monomer salınımını değerlendiren çok az sayıda araştırma bulunmaktadır ve bunların pek çoğunda HPLC yöntemi kullanılmıştır. Bu nedenle, bu tez çalışmasının amacı bulk fill reçine kompozitlerin farklı sürelerde ve farklı ışık kaynakları ile polimerizasyonlarını takiben uzun dönemde (6 ay) %75 etanol/su içerisine salınan monomer (Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA) miktarlarının LC-MS/MS yöntemiyle incelenmesidir. Tez çalışmamızın sıfır hipotezleri; (1) Kullanılan ışık kaynaklarının monomer salınımı üzerine anlamlı farka neden olmayacağı, (2) Polimerizasyon süresinin artırılmasının reçine kompozitlerden salınan monomer miktarlarında azalmaya yol açacağı, (3) Geleneksel ve bulk fill kompozitlerden uzun dönemde salınan monomer miktarlarının benzer olacağı ve (4) Reçine kompozit tipine göre doldurucu içeriği daha düşük olan akışkan yapıdaki reçine kompozitten monomer salınımının daha fazla olacağı yönündedir.

2. GENEL BİLGİLER

Reçine kompozit materyallerin klinik kullanımları, materyalin yapısındaki olumlu yapısal değişiklikler ile birlikte hastaların artan estetik restorasyon beklentisi, civa toksisitesi ve civanın çevreye olan olumsuz etkisi nedeniyle son yıllarda oldukça artmıştır. Kompozit reçineler günümüzde gerek direkt gerekse de indirekt olarak uygulanabilen hem ön bölge restorasyonları için hem de arka bölge restorasyonları için farklı kullanım amacına hizmet etmek amacıyla geniş bir yelpazede piyasada bulunmaktadır (Sakaguchi & Powers, 2012). Reçine kompozitlerde yaşanan olumlu gelişmelere rağmen materyalin yetersiz polimerizasyonu, artık monomer salınımı ve biyouyumluluğu ile ilgili sorunlar halen devam etmektedir (Lempel ve ark., 2016; Alshali ve ark., 2015).

2.1. Reçine kompozitlerin yapısı

Reçine kompozitler temel olarak organik polimer matriks, matriks içerisine dağılmış değişik form ve büyüklükte inorganik doldurucular ile matriks ve inorganik partikülleri birbirine bağlayan silan bağlayıcı ajanlardan oluşan bir yapıya sahiptirler (Sakaguchi & Powers, 2012; Ferracane, 1995; Ferracane 2011). Bunun yanı sıra yapı içerisinde değişik oranlarda fotobaşlatıcılar (örn; kamforokinon), polimerizasyon inhibitörleri (örn; 2,4,6-tertiyer bütıl fenol, BHT) ve fotostabilizatörler (örn; benzofenon) gibi bileşenler de bulunmaktadır (Polydorou ve ark., 2007; van Noort, 2013).

2.1.1. Organik polimer matriks yapı

Reçine kompozitlerin monomer yapısını içeren ve taşıyıcı faz olarak da isimlendirilen bu yapı içerisinde değişik oranlarda ko-monomerler, polimerizasyon başlatıcılar, polimerizasyon inhibitörleri ve fotostabilizatörler de yer almaktadır. Reçine kompozitlerin hazırlanmasında polimerize olan organik yapı içerisinde sıklıkla bisfenol A glisidil dimetakrilat (Bis-GMA), üretan dimetakrilat (UDMA), etoksile bisfenol A dimetakrilat (Bis-EMA) ve seyreltici monomer olarak terietilen glikol dimetakrilat (TEGDMA) gibi çapraz bağlanabilen monomerler kullanılmaktadır (Şekil 2-1) (Sideridou & Achilias, 2005; Polydorou ve ark., 2009; Cebe ve ark., 2015). Genellikle yapı içerisinde bu monomerler bir karışım halinde bulunmaktadırlar. Organik matriks

yapı içerisinde kullanılacak monomerlerin farklı yapıda olması, monomerin reaktivitesini, viskozitesini ve polimerizasyon büzülmesini oldukça etkilemekte olup bunun sonucunda reçine yapının mekanik özellikleri, su emilimi ve renk stabilitesi üzerine de etkili olabilmektedir (Moszner & Salz, 2001; Sideridou & Achilias, 2005).

Reçine kompozitlerin yapısında molekül ağırlığı 512.599 g/mol olan Bis-GMA monomeri yapısının sertliği ile basma dayanımını artırması ve su emilimini azaltması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir (Sakaguchi & Powers, 2012; van Noort, 2013). Ancak, monomerin yapısında bulunan iki hidroksil (OH^-) grup monomerler arasında hidrojen bağlarını oluşturarak monomerin yüksek viskoziteye sahip olmasına yol açmakta ve bunun sonucunda polimerizasyon büzülmesinde artma meydana gelmektedir (Davy ve ark., 1998).

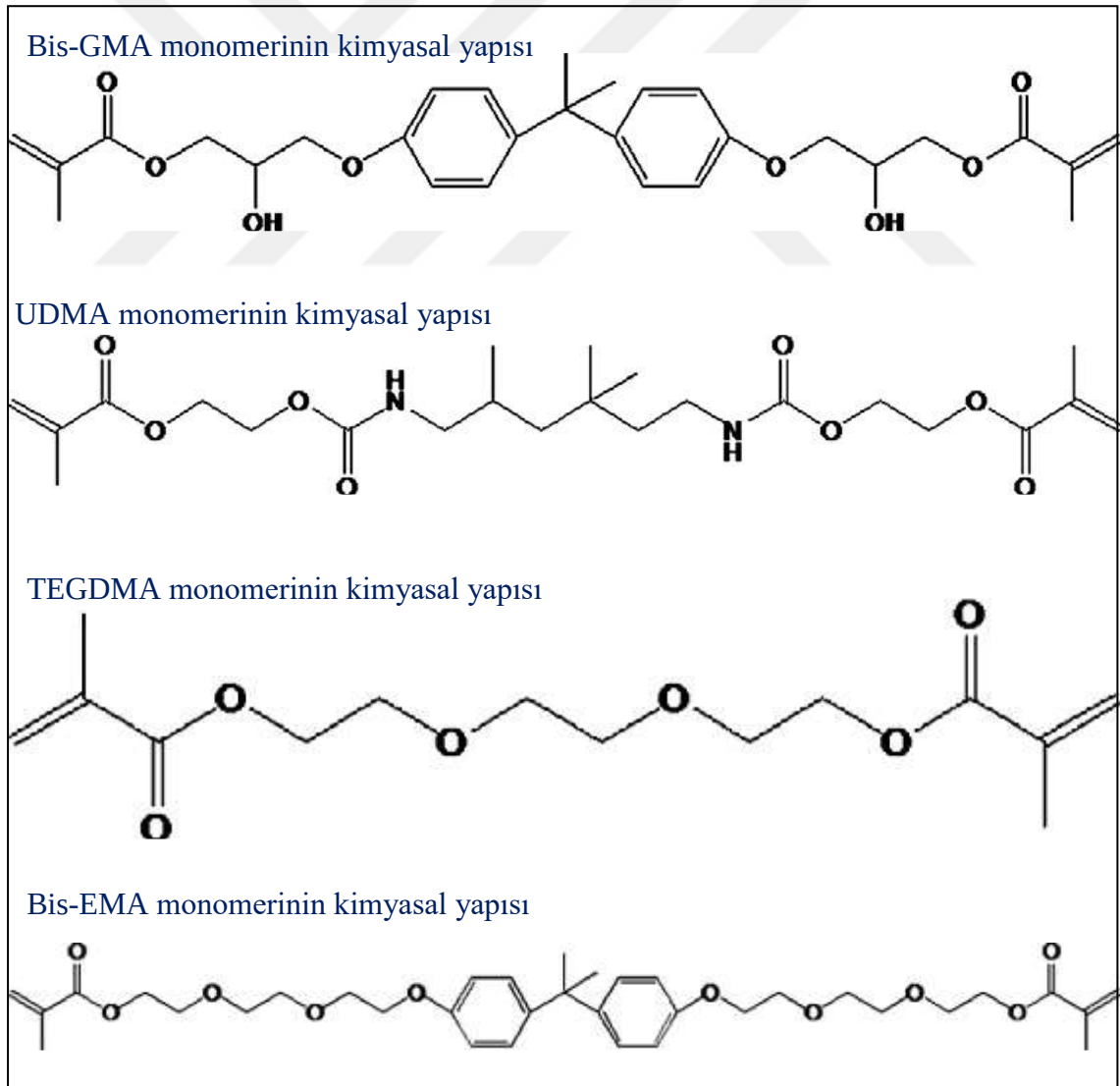
Bis-GMA monomerinin yapısında bulunan OH⁻ grubunun yarattığı olumsuzluklarının giderilebilmesi amacıyla yapısında OH⁻ grup bulunmayan ve Bis-GMA'ya benzeyen, monomer dönüşüm oranı daha yüksek, düşük viskoziteye ve daha iyi mekanik özelliklere sahip olan Bis-EMA monomeri organik matris yapıya ilave edilmiştir (Gajewski ve ark., 2012; Ogliari ve ark., 2008).

Son yıllarda Bis-GMA monomerinin yarattığı olumsuzlukların üstesinden gelebilmek amacıyla yüksek molekül ağırlığına (470 g/mol), Bis-GMA monomerine göre daha düşük viskoziteye ve yüksek fleksibiliteye sahip UDMA monomeri reçine kompozit materyallerin organik matriksinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Floyd & Dickens, 2006; Gajewski ve ark., 2012). UDMA monomerinin genel olarak daha yüksek bükülme direnci, elastik modül ve sertlik değerleri sergilediği aynı zamanda üstün renk stabilitesine sahip olduğu bildirilmiştir (Tanimoto ve ark., 2005; Gajewski ve ark., 2012).

Ancak, yüksek moleküler ağırlığa ve viskoziteye sahip hem Bis-GMA hem de UDMA monomerlerinin viskozitelerini düşürebilmek amacıyla organik matriks yapı içerisine değişik seyreltici monomerler ilave edilmektedir (Moszner ve ark., 2008). Bu amaçla daha düşük viskozitelere sahip TEGDMA, etilen glikol dimetakrilat (EGDMA), dietilen glikol dimetakrilat (DEGDMA) gibi değişik monomerler yapıya ilave edilmektedir (Polydorou ve ark., 2007, Sakaguchi & Powers, 2012; O'Brien, 2008; van Noort, 2013). Ancak, yapıya seyreltici olarak ilave edilen bu monomerler yapının

mekanik özelliklerini, su emilimini ve renk stabilitesini olumsuz etkilemektedir (Janda ve ark., 2007).

Geçtiğimiz yıllarda polimerizasyon büzülmesini azaltmak amacıyla Bis-GMA monomerine kıyasla daha iyi özelliklere sahip olduğu bildirilen, karbon çift bağları yerine açık halkalı polimerizasyon sergileyen Silorane ve Oksiran gibi organik reçineler polimer matrik yapı içerisinde kullanılmış ve Siloran kompozit reçineler geliştirilmiştir (Eick ve ark., 2007). Ancak, bu reçine kompozitlerin monomer yapı ile inorganik doldurucu partikülleri arasındaki bağlantının zayıf olması nedeniyle geleneksel reçine kompozitlere oranla daha yüksek yüzey pürüzlülüğü ve aşınma değerleri gösterdiği bildirilmiştir (Ishikiriama ve ark., 2014).



Şekil 2-1: Reçine matriks yapıda bulunan bazı monomerlerin kimyasal formülleri
(Sakaguchi RL & Powers JM. Craig's restorative dental materials. 13th ed., Elsevier-Mosby, Philadelphia, p.161-198, 2012.)

2.1.2. İnorganik doldurucu partiküller

İnorganik doldurucu partiküller kompozit reçine materyallerin mekanik, optik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek amacıyla reçine matriks içerisine ilave edilen ve dağınık halde bulunan değişik şekil ve miktarlardaki kuartz, silikat (lityum-aluminyum silikat, baryum aluminyum silikat, borosilikat gibi), stronsiyum, baryum, yitriyum, zirkonyum ve çinko gibi partiküllerden oluşmaktadır (van Noort, 2013; Sakaguchi & Powers, 2012; Ilie & Hickel, 2011).

İlk üretilen kompozit reçinelerin yapısında inorganik doldurucu olarak sıklıkla kuartz kullanılmış ancak, partikül büyüklüğü, polimer reçine matriks ile bağlantısındaki sorunlar, gerek çiğneme sırasında gerekse de kompozit reçinenin bitirme ve cila işlemleri sırasında organik matriks yapısından kolayca ayrılması nedeniyle pürürlü bir yüzey oluşması ve doldurucunun radyolusent yapıda olması en büyük dezavantajlarını oluşturmuştur (Ferracane, 1995).

Daha sonraları polimer matriks yapı içerisine doldurucu olarak amorf silika partiküller eklenmeye başlanmış ve bu sayede aşınmaya ve kopmalara karşı daha dirençli ve daha pürüzsüz bitim yüzeyleri elde edilebilen mineye benzer şeffaflığa sahip kompozit reçineler geliştirilmiştir (Ferracane, 1995).

Kompozit reçinelerin radyoopasitesinin sağlanabilmesi amacıyla organik polimer matriks yapı içerisine yüksek atom ağırlığına sahip baryum, zirkonyum, iterbiyum, lityum veya stronsiyum gibi partiküller ilave edilmiştir (Ferracane, 1995; Dayangaç, 2000).

Günümüzde kullanılan reçine kompozitlerin yapısında bulunan bu inorganik doldurucu partiküller sayesinde organik matriks oranlarında düşmeler kaydedilmiş ve bu sayede materyallerin ısısal genleşme katsayıları, polimerizasyon büzölmeleri ve su emilimi gibi özelliklerinde düşmeler gözlenirken, estetik özellikleri, elastisite modülü ve aşınma dirençlerinde olumlu yönde gelişmeler kaydedilmiştir (Ilie & Hickel, 2011; van Noort, 2013; Dayangaç, 2000).

Son yıllarda kompozit reçinelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve polimerizasyon büzülmesine bağlı sorunların ortadan kaldırılabilmesi amacıyla organik matriks yapı içerisine değişik konsantrasyona ve oryantasyona sahip fiberler de ilave edilmiş ve fiber ile güçlendirilmiş kompozit reçineler üretilmiştir (Bijelic-Donova ve ark., 2016; Abouelleil ve ark., 2015).

2.1.3. Silan bağlayıcı ajanlar (Ara faz)

Silan ile muamele edilmiş doldurucu partiküllerin organik reçine matriks ile (Bis-GMA) daha iyi bağlantı sergilediği ve reçine yapının daha iyi mekanik özellikler gösterdiğinin bildirilmesinden (Bowen, 1963) bu yana kompozit reçinelerin yapısında organik reçine matriks yapı ile doldurucu partiküller arasındaki bağlantının sağlanması ve devamlılığı için silan bağlayıcı ajanları kullanılmaktadır.

Kompozit reçinelerde ara faz olarak sıklıkla organik silisyum bileşiği olan “ γ -metakriloksipropil trimetoksisilan” (γ -MPS) kullanılmaktadır (Sakaguchi & Powers, 2012; O’Brien, 2008a). Organik polimer matriks yapı ile inorganik doldurucu partiküllerin kimyasal bağlarla birbirine bağlanmasını sağlayan silan bağlayıcı ajanların iyi bir bağlantı sergilemesi, kompozit reçinelerin daha iyi mekanik ve fiziksel özellikler sergilemesine, su emilimine ve çözünürlüğe olumlu katkılar sağladığı belirtilmiştir (van Noort, 2013; Ferracane, 2011). Bağlantının optimal gerçekleşmemesi yapı içerisinde poroziteye neden olarak kompozit reçinenin uzun dönem klinik performansı ve çözünürlüğü üzerine olumsuz etkiler yaratacaktır (Santerre, 2001).

İnorganik doldurucu partiküller organik matrikse genel olarak kimyasal bağlarla bağlanmaktadır (Ferracane, 2011). Organik matriks fazı ile inorganik doldurucu partiküller arasında ara bağlantı fazının iyi bir bağlantı sergilemesi, kompozit reçinelerin mekanik özelliklerinin daha iyi olmasına katkıda bulunacaktır (van Noort, 2013). Eğer iki faz arasında iyi bir bağlanma sağlanmaz ise yapı içerisinde porozite ve mikro çatlaklar oluşarak materyalin degradasyonu ve uzun dönem performansı üzerine olumsuz etkiler yaratacaktır (Santerre ve ark., 2001).

Silan bağlayıcı ajanları, inorganik yapıdaki silika partiküllerinin yüzeyinde bulunan OH⁻ grupları ve organik polimer reçine matriks arasında bağlantı sergileyen çift fonksiyonlu ajanlardır (Bensor & Pearson, 2013; Zakir ve ark., 2016). MPS asit aktif bir

yapıdadır ve doldurucular ile reaksiyona girdiğinde, metoksi gruplar hidroksil gruplara hidrolize olurlar ve bu da doldurucu yapıdaki hidroksil gruplar ile reaksiyona girerler (Bensor & Pearson, 2013). Silan bağlayıcı ajanlar doldurucu partiküllerin özellikle silika ve cam grupları üzerinde olumlu sonuçlar verdiğinden değişik oranlarda (%0.025-%2) inorganik doldurucu partiküller ile muamele edilerek organik polimer matrikse katılmaktadır (Santerre ve ark., 2001; Zakir ve ark., 2016).

Kompozit reçinelerin yapısını oluşturan bu üç ana fazın dışında ilave başka karışımlar da organik matriks yapı içerisinde yer almaktadır. Bu karışımlardan bir tanesi “inhibitörler” dir. İnhibitörler, kompozit reçinenin ışık, ısı veya farklı kimyasal yollarla kendiliğinden polimerize olmasını engellemek ve materyalin raf ömrünü uzatmak için reçine matriks yapıya katılmaktadırlar. Bu amaçla sıklıkla kullanılan fenol türevi inhibitör ajanlar 4-metoksi fenol ve 2,4,6-terciyer bütıl fenol bileşikleridir (Gül, 2012; Willems ve ark., 1993).

Reçine matriks yapı içerisinde bulunan bir diğer bileşen ise polimerizasyon başlatıcılardır. Bu bileşenler serbest radikallerin oluşmasına yol açarak polimerizasyon reaksiyonunun başlamasına yardımcı olurlar. Polimerizasyonları kimyasal yolla başlayan reçine kompozitlerde “benzoil peroksit” polimerizasyon başlatıcı olarak kullanılırken, polimerizasyon reaksiyonunun görünür ışıkla başladığı güncel kompozit reçine materyallerde ise sıklıkla α -diketon olan “kamforokinon” kullanılmaktadır. Görünür ışıkla polimerize olan kompozit reçinelerin yapısına ayrıca Lucirin-TPO (monoacylphosphine oxide), PPD (phenyl-propanedione) gibi polimerizasyon başlatıcılar da katılmış ve bu sayede polimerizasyon kinetiğinin daha da artacağı bildirilmiştir (de Oliveira ve ark., 2016; Alvim ve ark., 2017). Son yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşmakta olan bulk fill reçine kompozit materyal yapısında da ışığa duyarlılığı artırarak daha fazla serbest radikal oluşturduğu bildirilen, 385 nm dalga boyundaki ışığa duyarlı germanyum bileşiği olan “Ivocerin” kullanılmaya başlanmıştır (Farahat ve ark., 2016).

Bu bileşenlere ilaveten kompozit reçinelerin yapısında ultra viyole (U.V) stabilizatörler de katılmaktadır. Bu bileşenler ile reçine kompozitlerin gün ışığına maruz kalmasıyla zamanla oluşabilecek renk değişimi ve oksidasyon önlenabilmektedir. Bu amaçla reçine matriks yapı içerisine 2-hidroksi-4-metoksibenzofenon gibi U.V

stabilizatörler katılmakta olup, bu bileşenin elektro manyetik radyasyonu emerek etki gösterdiği bildirilmektedir (Bensor & Pearson, 2013).

Reçine kompozitlerin matriks yapısı içerisine diş dokularına benzer görüntü vermesi için pigmentler ve opaklaştırıcı materyaller de katılmaktadır. Bu pigmentler genellikle oksit yapıda olup “demir oksit” gibi inorganik oksit bileşikleri yapı içerisine çok az miktarlarda eklenerek materyalin hem renk hem de opasite ve translusent gibi optik özelliklerinin elde edilmesinde kullanılmaktadırlar (Bensor & Pearson, 2013). Reçine kompozitlerin yapısında bulunan bileşenler ve yapı içerisinde kullanım nedenleri Tablo 2-1’de gösterilmiştir.

Tablo 2-1: Reçine kompozitlerin kimyasal bileşenleri ve kullanılma nedenleri

Bileşen	Örnek	Kullanılma nedeni
Doldurucu (inorganik)	Cam	Yapıya güç kazandırır
	Seramik	Optik özellikleri etkiler
Ana monomerler	Bis-GMA	Polimer matriksi oluşturur
	Bis-EMA	Birincil monomerler olarak kullanılırlar
	UDMA	
Seyreltici monomerler	TEGDMA	Ana reçinenin viskozitesini azaltarak klinik kullanımını kolaylaştırır
	UDMA	
Silan bağlayıcı ajan	γ -methacryloxypropyl-trimethoxysilan	Doldurucu partikülleri reçineye bağlar
Fotobaşlatıcılar	Komferokinon	Polimerizasyon

	PPD	reaksiyonunun başlamasını sağlarlar
	Lucirin TPO	
	İvoserin	
Polimerizasyon reaksiyonu için diğer bileşenler	N,N-dimethyl-ptoluidene gibi tersiyer aminlar	Polimerizasyon reaksiyonunu hızlandırır
UV stabilizatörler	2-hydroxy-4-methoxybenzophenone	Oksidasyona bağlı olarak zaman içinde renk değişimini önler
İnhibitörler	Monometil eter hidrokinon	Kompozit reçinenin kendiliğinden polimerize olmasını engeller, raf ömrünü uzatır
Radyopak materyaller	Baryum, stronsium ve lityum tuzları	Radyografide görünürlüğü sağlar
Pigment ve opaklaştırıcılar	Demir ve titanyum oksitler	Final restorasyonun optik özelliklerinin ve renginin ayarlanmasına yardımcı olur
Bensor SJ & Pearson GJ, 2013.		

2.2. Reçine Kompozitlerin Sınıflandırılması

Reçine kompozitler; doldurucu partiküllerin miktarına, partiküllerin boyutuna, doldurucuların içeriğine, polimerizasyon tipine ve viskozitelerine göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadırlar (van Noort, 2013; Heymann ve ark., 2012). Günümüzde reçine kompozitler için sıklıkla kullanılan sınıflandırma şekli, Lutz ve Phillips (1983) tarafından doldurucu partiküllerin büyüklüğüne göre yapılmış olan sınıflandırma şeklidir. Kompozit reçinelerin dört farklı kritere göre sınıflandırması Tablo 2-2’de gösterilmiştir.

Tablo 2-2: Kompozit reçinelerin dört farklı sınıflandırma yöntemi*

Sınıflandırma şekli	Mikrofil	Mikrohibrit	Nanokompozit	Akışkan
Doldurucu miktarı (% Hacim)	30-50	60-70	78	30-55
Partikül büyüklüğü (µm)	Makro (10-100)	İnce (0.1-10)	Mikro (0.01-0.1)	Nano (0.001-0.01)
Matriks yapısı	Bis-GMA	Bis-GMA veya UDMA	Silorane	Bis-GMA veya UDMA, TEGDMA
Polimerizasyon yöntemi	Oto / ışıkla	Oto / ışıkla	Işıkla	Işıkla
*Hatrack CD & Eakle WS, 2016				

2.2.1. Makrofil kompozitler

Makrofil kompozitler 1960’lı yılların başında piyasaya sürülen ilk reçine kompozitlerdir. Birinci nesil kompozit reçineler olarak bilinen bu materyaller, ağırlıkça %75-80 oranında doldurucu partikül içeren, 10 ila 100 µm arasında değişen büyük partiküllerin doldurucu olarak kullanıldığı materyallerdir (Hatrack CD & Eakle WS,

2016; Heymann ve ark., 2012). Organik matriks yapıda büyük doldurucu partiküllerin bulunması (Şekil 2-2), matriksin dolduruculardan daha hızlı aşınmasına neden olarak yüzeyde pürüzlü bir yapının oluşmasına ve bu nedenle de restorasyonun mat görünüm sergilemesine neden olan kompozit reçinelerdir (Willems ve ark., 1993; Hatrick & Eakle, 2016; Heymann ve ark., 2012). Kolay aşınabilmeleri ve pürüzlü bir yüzey sergilemeleri nedeniyle bu kompozitler günümüzde artık kullanılmamaktadırlar.

2.2.2. Mikrofil kompozitler

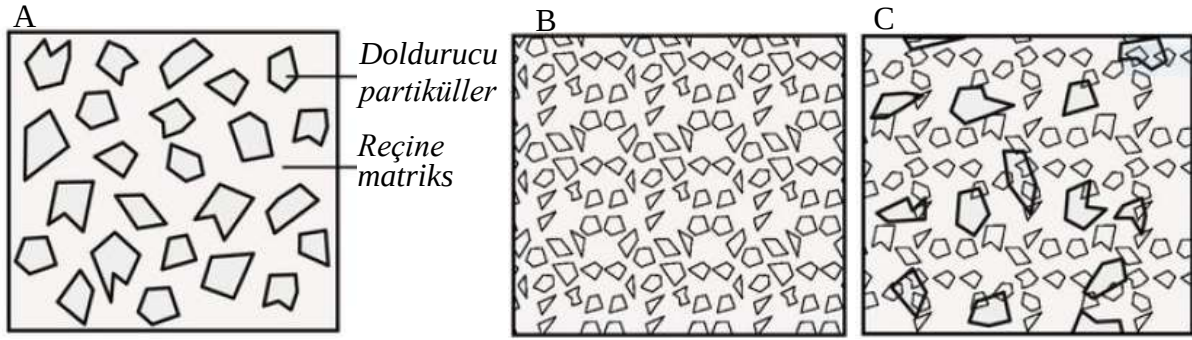
Mikrofil kompozitler 1970'li yılların sonlarında, geleneksel kompozit reçinelerin sergilediği pürüzlü yüzey karakteristiğinin yerini alacak diş minesine benzer pürüzsüz yüzey özellikleri sergileyecek kompozitler olarak tanıtılmıştır (Hatrack & Eakle, 2016; Heymann ve ark., 2012). Bu kompozit reçineler, geleneksel kompozitlerde yer alan büyük doldurucu partiküller yerine ortalama partikül büyüklüğü 0.01 ila 0.04 µm olan kolloidal silika partikülleri içerirler (Heymann ve ark., 2012). Bu küçük doldurucu partiküllerin (Şekil 2-2) reçine matrikse eklenmesiyle restorasyonların plak retansiyonuna ve renklenmesine neden olan pürüzlü yüzeyler yerine daha pürüzsüz ve cilalı bir yüzeye sahip olması sağlanmıştır (Heymann ve ark., 2012). Mikrofil kompozitlerde küçük partiküllerin birim hacmi başına daha büyük yüzey alanı gerektiğinden, reçine matriks içerisine yüksek oranlarda bu küçük partiküllerden doldurabilmek oldukça güçtür (Heymann ve ark., 2012; Lutz & Phillips, 1983; Hatrick & Eakle, 2016). Tipik olarak mikrofil kompozitlerin inorganik doldurucu içeriği ağırlıkça %35 ile %60 arasında olduğundan, daha yüksek doldurucu içeriğine sahip geleneksel veya hibrit kompozitlere oranla daha düşük fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptirler (Heymann ve ark., 2012; Hatrick & Eakle, 2016). İyi cilalanabilir özelliklerinden ötürü parlak ve pürüzsüz bir yüzey oluşumuna neden olan mikrofil kompozitlerin, düşük elastik modülü nedeniyle stres birikiminin yoğun olduğu servikal alanlarda diş-restorasyon arayüzünün daha iyi korunmasına neden olduğu ve bu alanlarda başarılı bir şekilde kullanılabileceği bildirilmiştir ((Heymann ve ark., 2012; Hatrick & Eakle, 2016).

2.2.3. Hibrit ve mikrohibrit kompozitler

Hibrit kompozitler, 1980'lerin sonlarında makrofil kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile mikrofil kompozitlerin iyi cilalanabilir ve pürüzsüz yüzey

özelliklerini bir araya getirmek amacıyla geliştirilen kompozitlerdir (Lutz & Phillips, 1983; Heymann ve ark., 2012; Hatrick & Eakle, 2016). Hibrit kompozitler, ortalama partikül büyüklüğü 2 μm ile 4 μm arasında olan partiküller ile %5-%15 oranında, büyüklüğü 0.04 ile 0.2 μm olan genellikle silika partiküllerin kullanıldığı farklı büyüklükteki doldurucuların bir arada bulunduğu (Şekil 2-2) kompozit reçinelerdir (Sakaguchi & Powers, 2012). Farklı büyüklüklere sahip doldurucu kombinasyonunun kullanılması, fiziksel ve mekanik özellikleri artmış, iyi cilalanabilen reçine kompozitlerin oluşmasına imkan sağlamıştır. Daha küçük partikül boyutlarına sahip doldurucuların, büyük partiküller arasında bulunması materyalin ağırlıkça daha yüksek doldurucu içeriğine (ağırlıkça %70-80) sahip olmasına neden olmuştur (Sakaguchi & Powers, 2012; Heymann ve ark., 2012; Hatrick & Eakle, 2016). Doldurucu oranının artmasına bağlı olarak organik matriks yapının azalması, bu kompozitlerde polimerizasyon büzülmesinin azalmasına da imkan sağlamıştır (Ferracane, 1995).

Hibrit kompozitlerden sonra geliştirilen mikro hibrit kompozitler, daha düşük ortalama partikül boyutuna (0.04 - 1 μm) sahip küçük partiküller ile daha küçük partikül boyutuna sahip (0.01-0.1 μm) silika partiküller karıştırılarak elde edilmiştir (Sakaguchi & Powers, 2012; Heymann ve ark., 2012). Küçük boyutlu partiküller, camın (örn., Borosilikat cam, lityum veya baryum alüminyum silikat cam, stronsiyum veya çinko cam), kuvars veya seramik malzemelerin öğütülmesi ve düzensiz şekillere sahip olması suretiyle elde edilebilmektedir. Doldurucu partiküllerin dağılımının daha yüksek doldurucu içeriğinin yer almasına imkan sağladığı bu kompozit reçineler ağırlıkça %77-84, hacimce %60-70 oranında doldurucu partikül içerebilmektedir (Sakaguchi & Powers, 2012). Bu reçine kompozitler hem anterior hem de posterior dişlerin restorasyonunda kullanılabilmektedirler.

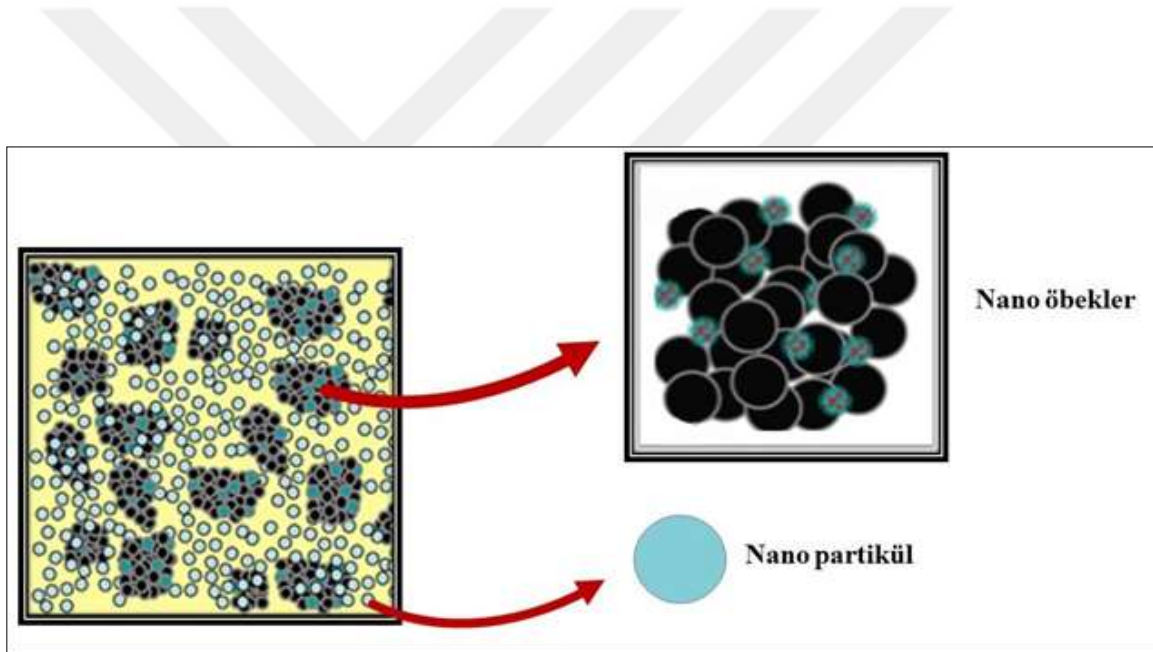


Şekil 2-2: Kompozit reçinelerde kullanılan partiküller ve partikül büyüklüğüne göre yapılan sınıflandırma şekilleri. A) Makrofil kompozit, B) Mikrofil Kompozit, C) Hibrit kompozit (Hatrack & Eakle, 2016).

2.2.4. Nanokompozitler

Teknolojik gelişmeler sayesinde reçine kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanısıra klinik performansını artırmaya yönelik gelişmeler de yaşanmış olup nano boyutta partiküller içeren reçine kompozitler geliştirilmiştir. Günümüzde hemen hemen tüm reçine kompozit üreten firmalar tarafından üretilmeye başlanan bu materyaller piyasada “nanohibrit” veya “nanofil” yapıda reçine kompozitler olarak yerini almış olup (Mitra ve ark., 2003), hem anterior bölgede hem de arka bölge dişlerin restorasyonunda sıklıkla kullanılan reçine kompozit materyal grubunu oluşturmuştur. Nano yapıdaki bu kompozit reçinelerden nanohibrit kompozitler, mikrohibrit yapıya 5-20 nm büyüklükteki (0,005-0,020 μm) doldurucu partiküller ilave edilerek elde edilen reçine kompozit materyalidir (Hatrack & Eakle, 2016). Nano boyutlarda yüksek miktarlarda inorganik doldurucu partikülün organik matriks yapı içerisine ilave edilmesiyle reçine miktarının azalması sağlanırken, reçine kompozitlerde karşımıza çıkan polimerizasyon büzülmesi değerlerinin de bu kompozitlerde %1-1,5 değerlerine düşmesi sağlanmıştır. İlave edilen yüksek miktardaki nano boyutlu partiküller materyalin mekanik özelliklerinin artmasını sağlarken, reçine kompozitin daha iyi cilalanabilmesi ve bu özelliğini daha uzun süre koruyabilmesine de imkan sağlamıştır (Hatrack & Eakle, 2016). Nano yapıdaki reçine kompozitlerden bir diğeri olan nanofil kompozitler ise 5-75 nm büyüklüğündeki doldurucu partiküllerin reçine matriks yapıya ilave edilmesiyle üretilen reçine kompozit sistemlerdir (Hatrack & Eakle, 2016). Partikül miktarlarının oldukça küçük olduğu bu reçine kompozitlerde, tekli küresel partiküller ile birlikte bu küresel partiküllerin füzyon yolu ile bir araya getirildiği öbeksleşmiş (cluster) daha büyük partiküllerin bir arada olduğu ve öbeksleşen

partiküllerin ara boşluklarının silan ile doldurularak organik matriks yapıya bağlanması sağlanmıştır (Hatrick & Eakle, 2016) (Şekil 2-3). Öbekteleşen partiküllerin partikül büyüklüğü $0,6 \mu\text{m} - 1,4 \mu\text{m}$ büyüklüğünde olup, organik matriks yapı içerisine çok küçük partiküllerin bu şekilde bir araya gelmesi diğer reçine kompozit sistemleri ile karşılaştırıldığında daha fazla oranda doldurucunun eklenebilmesine (ağırlıkça %78) olanak sağlamıştır (Hatrick & Eakle, 2016). Bu sayede materyalin polimerizasyon büzülmesi %1,4-1,6 değerlerine düşerken, hibrit yapıdaki kompozitlere oranla mekanik ve fiziksel özelliklerinin daha iyi olmasının yanı sıra optik özelliklerinin artması ile yüksek cilalanabilirlik ve bu özelliği uzun dönem sergileyebilmeleri de sağlanmıştır (Hatrick & Eakle, 2016; Mitra ve ark., 2003).



Şekil 2-3: Nano partiküller ve nano öbeklerin (cluster) nanofil reçine kompozitin yapısındaki şematik görüntüsü (Hatrick & Eakle, 2016, Saipullaev, 2017).

2.2.5. Bulk fill kompozitler

Son yıllarda reçine kompozit materyallerin organik matriks yapısında ve inorganik içeriğinde yapılan değişiklikler sonucunda kütle halinde uygulanabilen yeni bir reçine kompozit materyali *Bulk fill* kompozitler kullanıma sunulmuştur (Czasch & Ilie, 2013). Posterior dişlerin restorasyonunda uygulama kolaylığı sunan bu reçine kompozitlerin, geleneksel veya akışkan reçine kompozitlere oranla daha düşük polimerizasyon büzülmesi gösterdiği bildirilmiştir (Ilie & Hickel, 2011; Garcia ve ark.,

2014; El-Damanhoury & Platt, 2014). Polimerizasyon büzülmesinin bu restoratif materyallerde azalmasının; inorganik doldurucularında kullanılan teknoloji ve modifikasyondan, farklı polimerizasyon başlatıcıların kullanılmasından ve organik matriks yapısında yapılan değişikliklerden kaynaklandığı ileri sürülmüştür (Zorzin ve ark., 2015). Klinik uygulamalar esnasında 4 – 5 mm kalınlıkta kütle olarak uygulanabileceği belirtilen bu restoratif materyallerin kullanımıyla hekimin hasta başında harcadığı zamanın kısalacağı ve bu sayede hem hekimin hem de hastaların zaman kazandığı, geleneksel kompozitlere oranla daha basit bir uygulama gerektiği belirtilmiştir (Alrahlah ve ark., 2014; Garoushi ve ark., 2013; Czasch & Ilie, 2013). Bu restoratif materyallerin kullanılmasının ayrıca 2 mm yükseklikte uygulanması gereken geleneksel kompozitlerle yapılan restorasyonlar sırasında tabakalar arasında oluşabilen boşuklar ve hava kabarcıkları ile tabakalar arası oluşabilecek kontaminasyon riskinin azalmasına yol açarak, materyalin fiziksel ve mekanik özellikleri ile cilalanabilirliğine olumlu katkılar sağladığı bildirilmiştir (Tarle ve ark., 2015; Abed ve ark., 2015; Alrahlah ve ark., 2014; Hatrick & Eakle, 2016). Bulk fill reçine kompozit materyallerin organik matriks yapısının geleneksel kompozitlere oranla daha translusent olması, inorganik doldurucu partikül tipi, büyüklüğü ve dağılımının daha derin bir polimerizasyona yol açarken polimerizasyon büzülmesinin azalması üzerine olumlu katkılar sağladığı ileri sürülmüştür (Hatrack & Eakle, 2016).

Bulk fill reçine kompozitler düşük (akışkan) veya yüksek viskoziteye sahip restoratif materyaller olarak piyasada bulunmaktadır (Tablo 2-3). Bu grup materyallerden ilk olarak üretileni “Shrinkage Decreasing Resin – SDR” olarak bilinen reçine kompozit materyalidir. Düşük doldurucu içeriğine sahip akışkan yapıdaki bu bulk fill kompozit materyali “Surefill SDR flow” (Dentsply Caulk, Milford, DE, ABD) olarak kullanıma sunulmuş ve daha sonraları pek çok üretici firma tarafından bu tip reçine kompozitler üretilerek piyasada yerini almıştır. Doldurucu içeriği düşük olan bu materyallerin mekanik özelliklerinin de düşük olduğu (Leprince ve ark., 2014) bu nedenle de akışkan bulk fill reçine kompozitlerin uygulanmasını takiben üst yüzeylerinin geleneksel bir reçine kompozit ile kaplanarak örtülmesi gerektiği bildirilmiştir (Ilie & Stark, 2015).

Yüksek viskoziteye sahip bulk fill reçine kompozitler ise her hangi bir üst yüzey kaplaması gerektirmeyen ve hazırlanan kavitelere 4 – 5 mm kalınlıkta kütle olarak

uygulanabilen restorasyon materyalleridir (Ilie & Stark, 2015). Restoratif uygulamalar esnasında materyalin yüksek viskozitesi nedeniyle optimal adaptasyonun sağlanabilmesi için kaviteye dikkatli bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Yüksek viskoziteye sahip bu materyallerde uygulama ve manipulasyon kolaylığı sağlayabilmek için bulk fill reçine kompozit üreticisi bir firma tarafından sonik aktivasyon cihazının kullanılması önerilmiş ve bu sayede materyalin akıcılığının sağlanarak kavite yüzeylerine daha kolay adapte edilebileceğini bildirmiştir (Kerr Corporation, SonicFill DFU). Ancak, 4 – 5 mm kalınlıkta kavitelere uygulanabileceği bildirilen bu materyaller ile ilgili temel endişe, kavitenin derin bölgelerinde bu materyallerin optimal polimerizasyon sağlayıp sağlamadığı, fiziksel-mekanik özellikleri ve biyouyumluluğu konusundadır (van Dijken & Pallesen, 2014).

Bulk fill reçine kompozitlerin organik matriks yapısında Bis-GMA, TEGDMA, UDMA ve etoksile bisfenol-A-dimetakrilat (EBPDMA) gibi monomerler yer alırken doldurucu kısmını baryum-alumina-silika, stronsiyum yiterbium ve silika gibi partiküller oluşturmaktadır. Kütle halinde 4 – 5 mm kalınlıkta uygulanabilen bu reçine kompozitlerin kavite tabanına bakan alt yüzeylerinin optimal polimerize olabilmesi için doldurucu partikül teknolojisi geliştirilerek doldurucu partiküller ile organik matriks refraktif indeksleri birbirine benzer hale getirilmiş ve böylece materyalin daha translusent bir yapı sergileyerek derin tabakalara ışığın daha kolay ulaşması sağlanmıştır (El-Safty ve ark., 2012; Bucuta & Ilie, 2014, Van Ende ve ark., 2013). Ayrıca, organik matriks içerisine büyük partiküllerin eklenmesi ile doldurucu partiküller ve organik matriks ara yüzeyinin azalması sağlanmış, bu sayede ışık saçılımının azaltılarak daha fazla ışığın materyalden geçerek polimerizasyon derinliğinin artmasına katkı sağladığı da bildirilmiştir (Ilie ve ark., 2013). Bu bulk fill reçine kompozitlerin matriks yapısına kamforokinon'dan farklı olarak Ivoserin (Ivoclar Vivadent) gibi polimerizasyon başlatıcı da eklenmiş ve bu sayede polimerizasyonun artacağı bildirilmiştir (Tetric Evoceram Bulk Fill bilimsel döküman). Jang ve ark. (2015) Ivoserin'in ışık kaynakları ile kamforokinona'a göre daha iyi polimerizasyon sergilediği ve bu sayede materyalin daha derin polimerizasyonuna katkı sağlayabileceğini bildirmişlerdir.

Tablo 2-3: Piyasada bulunan bazı bulk fill kompozit materyallerin uygulama derinliği ve kimyasal kompozisyonları (Üretici firma bilgileri)

Materyal	Uygulama		Doldurucu oranı (% ağırlık/hacim)	Üretici firma
	Derinliği (mm)	Organik Matriks		
Venus Bulk Fill (Akışkan)	4	UDMA, EBPDMA	65/38	Heraeus Kulzer
Surefil SDR (Akışkan)	4	Modifiye UDMA, TEGDMA, EBPDMA	68/44	Dentsply/Sirona
Filtek Bulk Fill (Akışkan)	4	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA,	64,5/42,5	3M ESPE
Estelite Bulk Fill (Akışkan)	4	Bis-GMA, Bis- MPEPP, TEGDMA	70/56	Tokuyama
Tetric Evo Ceram Bulk Fill	4	Bis-GMA, Bis- EMA, UDMA	77/61	Ivoclar Vivadent
SonicFill	5	Bis-GMA, Bis- EMA, TEGDMA, SIMA	83,5/66	Kerr
X-tra Fil	4	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA	86/70	VOCO

2.3. Reçine kompozitlerin polimerizasyonunda kullanılan ışık kaynakları

Günümüzde, ışık kaynakları neredeyse tüm reçine kompozitlerin polimerizasyon reaksiyonlarının başlatılması için kullanılmaktadır. Işık kaynakları reçine kompozitlerin polimerizasyon büzülmesi, büzülmeye bağlı tüberkül hareketleri, artık monomer oluşması ile mekanik ve fiziksel özellikleri gibi birçok özelliği üzerinde önemli etkilere sahiptir (Fleming ve ark., 2007). Işıkla polimerize olan reçine kompozitler ilk kullanılmaya başlandığı andan bu yana çok gelişme göstermişlerdir. 1970'li yıllarda Ultraviyole ışığın kullanılmasıyla polimerize edilen reçine kompozitler (Murray ve ark., 1981), günümüzde oldukça güçlü ışık gücüne sahip sistemler kullanılarak polimerize edilmektedirler. Işık kaynakları kullanılarak polimerizasyon reaksiyonları başlatılan reçine kompozitler, organik matrikste bulunan ışığa duyarlı farklı polimerizasyon başlatıcıların aktive edilerek serbest radikallerin oluşmasına yol açmaktadır. Polimerizasyon başlatıcıların aktive edilmesi ise kullanılan ışığın dalga boyu ile polimerizasyonu başlatacak ışığa duyarlı bileşiklerin dalga boylarının birbirlerine yakın olmasıyla gerçekleşmektedir (O'Brien, 2008a; van Noort, 2013). Günümüzde reçine kompozitlerin polimerizasyonu için kullanılan ışık kaynakları; Kuartz-tungsten-halojen (QTH), ışık yayan diyot lambalar (Light Emitting Diode, LED), plazma ark (PAC) ve lazer ışık kaynakları olmak üzere dört farklı kategoriye ayrılmaktadırlar (O'Brien, 2008a; van Noort, 2013; Jiménez-Planas ve ark., 2008).

2.3.1. Kuartz-Tungsten-Halojen (QTH) ışık kaynakları

Ultraviyole ışık kaynaklarından sonra geliştirilen ve günümüzde de halen kullanılan geleneksel ışık kaynaklarıdır. Tungsten filamentin olduğu halojen ampulün ışık kaynağı olarak kullanıldığı bu sistemler, 380-520 nm dalga boyu aralığında, 300-850 mW/cm² ışık yoğunluğunda görünür mavi ışık üreten ışık kaynaklarıdır (Küçükeşmen, 2006; Jiménez-Planas ve ark., 2008). Bu ışık kaynakları beyaz ışığı absorbe ederek diğer dalga boylarındaki ışığı filtreleyen ve sadece polimerizasyonda kullanılan mavi ışığın üretildiği sistemlerdir (Jiménez-Planas ve ark., 2008). Işık kaynağının yapısında bulunan ışık absorbe eden filtrelerin özelliklerini kaybetmesi, ışığın yeterince filtre edilemeyerek ısı artışlarına yol açabileceği bildirilmiştir (Bektaş ve ark., 2006). Bu nedenle ışık verimliliği açısından bu cihazlar periyodik olarak kontrol edilmelidir. Işık cihazında bulunan halojen lamba ışık üretimi esnasında ısındığı için

lambanın ömrünü kısaltmakta olup, oluşan ısının düşürülmesi için cihaz içerisinde soğutucu bir fan bulunmaktadır (Leinfelder, 1999; Küçükeşmen, 2006). Bu fan, ekstra enerji gereksinimine yol açtığı için hem ışık gücünün hem de cihazın kullanım ömrünün azalmasına yol açmaktadır (Küçükeşmen, 2006; Bektaş ve ark., 2006). Halojen ışık kaynakları, ucuz maliyetli ve geniş dalga boyu aralığında (380-520 nm) ışık üretmesi nedeniyle avantajlı cihazlar olsa da, halojen lambanın kısa ömürlü olması, kullanıma bağlı olarak filtrelerin etkinliğini kaybetmesiyle ışık yoğunluğunda azalmalar yaşanması ve dezenfeksiyon ile ilgili sorunlara sahip cihazlardır (Küçükeşmen, 2006; Bektaş ve ark., 2006). Daha yüksek ışık gücüne sahip halojen ışık kaynakları (800-1000 mW/cm²) daha sonraları üretilmiş ve bu cihazlarda standart ışık uygulama modunun yanı sıra soft-start (düşük ışık gücü ile başlangıç) ve kademeli polimerizasyon uygulama modları cihaza eklenmiştir (Rueggeberg ve ark., 2000; Rueggeberg, 2011; Küçükeşmen, 2006). Bu yüksek ışık yoğunluğuna sahip cihazların, reçine kompozitlerin polimerizasyonunda kısa sürelerde daha güvenilir polimerizasyon gerçekleştirdiği bildirilmiştir (Rueggeberg, 2011; Küçükeşmen, 2006).

2.3.2. LED ışık Kaynakları

LED ışık kaynakları, QTH ışık kaynaklarında karşılaşılan sorunları giderebilmek amacıyla üretilmiş cihazlardır (Stahl ve ark., 2000; Bektaş ve ark., 2006). QTH ışık kaynaklarına göre daha dar bir dalga boyu aralığında (450-485 nm) görünür mavi ışık üreten bu cihazlar, reçine kompozitlerde bulunan kamforokinon'un aktivasyonunu sağlayabilecek dalga boyu aralığına sahiptir (Caughman & Rueggeberg, 2002; Jiménez-Planas, 2008; Santini, 2010). Cihazda bulunan galyum-nitrit yarı iletkenlerinde elektron geçişi sırasında ışık üretildiği için ısı oluşmamakta ve oluşan ışık uygun dalga boyunda olduğu için filtre edilmesine gerek duyulmamaktadır (Bektaş ve ark., 2006; Jiménez-Planas, 2008; Soygun ve ark., 2015). Fan bulunmadığı için sessiz çalışabilen, QTH sistemlere göre daha küçük boyutlu ve daha düşük güçte enerji kullanımı olan ışık cihazlarıdır (Caughman & Rueggeberg, 2002; Park ve ark., 2005; Bektaş ve ark., 2006). QTH ışık kaynakları ile kıyaslandığında daha uzun ömürlü lambaları olan (yaklaşık 10 bin saat) bu cihazların QTH cihazlarda soğutma fanlarının çalışmasına bağlı olarak meydana gelen ışık şiddeti değişiklikleri de gözlenmemektedir (Soh ve ark., 2004). Ancak, dar bir dalga boyu aralığına sahip bu cihazların, yapısında kamforokinondan farklı bir polimerizasyon başlatıcı bulunan reçine kompozitlerin optimal

polimerizasyonunda yetersiz kalabileceği ileri sürülmüştür (Hofmann ve ark., 2002; Bektaş ve ark., 2006). 1. nesil olarak üretilen bu LED cihazlarında yaşanan sorunların üstesinden gelebilmek için üretici firmalar daha geniş dalga boyu aralığına sahip yeni nesil LED cihazları üretmişlerdir. Bu yeni nesil ışık kaynakları $1000-1200 \text{ mW/cm}^2$ aralığında ışık gücüne sahip, $390 - 500 \text{ nm}$ dalga boyu aralığında görünür mavi ışık üreten cihazlar olarak kullanıma girmiştir (Price ve ark., 2003; Malhotra & Mala, 2010). Daha yüksek ışık gücüne sahip bu cihazlar sayesinde üretici firmalar, reçine kompozitlerin polimerizasyon sürelerinin daha kısa sürede (10-20 sn gibi) gerçekleştirilebileceğini bildirmişlerdir.

2.3.3. Plazma Ark ışık kaynakları

Bu ışık kaynakları, xenon doldurucuya sahip bir lambada bulunan iki elektrot arasında sıcak plazma oluşumu sağlayarak oldukça yüksek değerlerde ışık gücü oluşturabilen (yaklaşık 2400 mW/cm^2) cihazlardır (Caughman & Rueggeberg, 2002). QTH cihazlara göre daha geniş bir dalga boyu aralığına sahip olan bu cihazların (Malhotra & Mala, 2010; Caughman & Rueggeberg, 2002), yüksek ışık gücü sayesinde reçine kompozitlerin daha kısa sürelerde polimerizasyonunu sağlayabilmektedir (Park ve ark., 2006). QTH cihazlara benzer şekilde sadece mavi ışığın geçişine izin veren filtrelerin bulunduğu cihazda, elektrotlar arasında elektron geçişi sırasında yüksek ısılar oluşabilmektedir (Caughman & Rueggeberg, 2002). Yüksek ısı nedeniyle pulpal hasarlara neden olabilen cihazın, yüksek ışık gücü nedeniyle de reçine kompozitlerin hızlı polimerizasyonuna ve buna bağlı olarak polimerizasyon büzülmesine neden olabildiği belirtilmiştir (Peutzfeldt ve ark., 2000; Aw & Nicholls, 2001).

2.3.4. Lazer ışık kaynakları

Dişhekimliği pratiğinde farklı lazer sistemleri kullanılmasına rağmen, reçine kompozitlerin polimerizasyonunda $450-500 \text{ nm}$ dalga boyu aralığına sahip argon lazerler kullanılmaktadır (Fleming & Maillet, 1999; Caughman & Rueggeberg, 2002). Görünür mavi ışık kullanılan ışık kaynaklarına göre reçine kompozit materyallerini daha kısa sürelerde polimerize eden bu ışık kaynaklarında pulpal hasara yol açabilecek ısı artışları görülmemektedir (Fleming & Maillet, 1999; Caughman & Rueggeberg,

2002; Bektaş ve ark., 2006). Lazer ışık kaynaklarının, kompozit reçinelerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine olumlu katkıları olduğu, monomer salınımlarının ise geleneksel ışık kaynaklarına göre daha az oranlarda olduğu bildirilmiştir (Hicks ve ark., 2000; Tarle ve ark., 1995; Blankenau ve ark., 1991). Dalga boyu aralığının dar olması nedeniyle reçine kompozitlerin polimerizasyonda sıkıntılar yaşanabileceği ve cihazın pahalı olması gibi önemli dezavantajları bulunmaktadır (Caughman & Rueggeberg, 2002; Bektaş ve ark., 2006).

2.4. Polimerizasyon

Monomer adı verilen küçük moleküllü organik yapıların birbirleriyle bağlanması sonucu oluşan yapılara “polimer” oluşan bu işleme ise “polimerizasyon” adı verilmektedir (O’Brien WJ, 2008b). Reçine kompozitlerde kısa veya uzun zincire sahip monomer moleküllerinin bulunması, daha az polimerizasyona neden olarak materyalin direncini zayıflatıcı etki gösterirken, çapraz bağa sahip zincirlerin varlığı reçine kompozitlerde mekanik özelliklerin artmasına etki etmektedir (O’Brien WJ, 2008b). Reçine materyallerde tüm polimer yapıları materyallerde olduğu gibi monomerlerin polimer zincirine dönüşümü sırasındaki dizilişinden kaynaklanan bir büzülme söz konusudur. Monomerlerin polimer ağına dönüşürken oluşan bu büzülmenin sebebinin, başlangıçta monomer molekülleri arasında bulunan zayıf van der Waals kuvveti mesafesinin polimerizasyonla birlikte oluşan kovalent bağlar nedeniyle yarı yarıya düşmesi sonucunda meydana gelmesidir (Discacciati ve ark., 2004; Choi ve ark., 2000). Karbon çift bağlarının ($C = C$) karbon tek bağlarına ($C - C$) dönüşmesi neticesinde reçine kompozitlerde %1,5 – 3 arasında hacimsel bir büzülme söz konusudur ki oluşan bu hacimsel büzülme polimerizasyon büzülmesi olarak adlandırılmaktadır (Sakaguchi ve ark., 1991).

Reçine kompozitlerin polimerizasyonu sırasında monomerlerin polimerlere dönüşüm miktarı, dönüşüm (konversiyon) derecesi olarak isimlendirilmektedir (Dewaele ve ark., 2006). Reçine kompozitlerin polimerizasyonu esnasında dönüşüm oranının yüksek olmasının reaksiyona girmeyen monomer miktarının azalmasına, materyalin fiziksel ve mekanik özelliklerinin artmasına katkı sağlayacağı belirtilmiştir (Dewaele ve ark., 2006). Dönüşüm derecesinin kullanılan polimerizasyon yöntemine ve uygulama sürelerine göre farklılıklar gösterebileceği, önerilen sürelerden daha kısa süre

polimerize edilen reçine kompozitlerde fiziksel ve mekanik özelliklerin olumsuz etkilendiği bildirilmiştir (Schneider ve ark., 2006).

Reçine kompozitlerin yapısında bulunan monomerlerin farklı dönüşüm değerleri gösterdiği, Bis-GMA gibi yüksek molekül ağırlığına sahip monomerlerin, seyreltici olarak kullanılan TEGDMA monomerine oranla daha az dönüşüm gösterdiği bildirilmiştir (Elliott ve ark., 2001). TEGDMA monomeri yüksek dönüşüm oranı göstermesine rağmen polimerizasyon büzülmesini artırmaktayken, UDMA gibi monomerlerde daha düşük polimerizasyon büzülmesi görülmektedir (Elliott ve ark., 2001; Tuna, 2006). Bununla birlikte Bis-EMA içeren reçine kompozitlerin geleneksel kompozit reçinelerin aksine daha az polimerizasyon büzülmesi sergiledikleri bildirilmiştir (Palin ve ark., 2003).

2.4.1. Artık monomer

Reçine kompozitlerde karbon çift bağlarının karbon tek bağlarına dönüşüm oranı materyalin fiziko-mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Dönüşüm oranının düşük olması, materyalin su emilimi, mekanik özellikleri, renk uyumu, yetersiz polimerizasyon ve artık monomer miktarı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Soh ve ark 2004b; Ozturk ve ark., 2013). Işıkla polimerize olan reçine kompozitlerde materyalin nihai özellikleri karbon çift bağlarının polimerizasyon işlemi sırasında oluşan karbon tek bağlarına dönüşüm derecesinden doğrudan etkilenmekte olup, tam bir polimerizasyon için monomerlerin tamamının polimere dönüşmesi gerekmektedir. Ancak, reçine kompozitlerde bu dönüşüm oranının %35 ile %77 arasında değişim gösterdiği, dönüşüme girmeyen monomerlerin ise artık monomer olarak bulundukları ortama salınım gösterdikleri bildirilmiştir (Ferracane, 1994; Moldovan ve ark., 2019). Tanaka ve ark. (1991), reçine kompozitlerde polimerizasyon sürelerinin artırılmasının, artık monomer miktarının azalması üzerinde oldukça önemli etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Reçine kompozitlerde polimerize olmayarak kalan artık monomer miktarları; reçine kompozit materyalin yapısına, organik matrikste bulunan polimerizasyon başlatıcılar ile inhibitörlerin tipine ve oranına, ortamın ısısına, ışık gücüne ve ışık uygulama süresine bağlı olarak değişiklikler gösterebilmektedir (Stansbury & Dickens, 2001; Pongprueksa ve ark., 2015). Dönüşüme girmeyerek artık kalan monomerler organik matrikste dağınık halde bulunmaktadırlar. Organik matriksi

oluşturan monomerlerin tipi, monomerlerin birbirleriyle olan kombinasyonu, monomerlerin büyüklüğü ile tükürük yapısındaki değişikliklere bağlı olarak reçine kompozitlerden değişik oranlarda monomer salınımı gerçekleşebilmektedir (Tuna, 2006; Tabatabaee ve ark., 2009). Ağız ortamında reçine kompozitlerin değişik etkiler nedeniyle yıkıma uğraması sonucunda monomer salınımının olacağı, mekanik, enzimatik ve hidrolitik faktörlerin yanısıra ağız ortamında reçine kompozit materyalin yaşlanmasına bağlı olarak monomer salınımının artabileceği bildirilmiştir (Koin ve ark., 2008; Finer & Santerre, 2004; Santerre ve ark., 1999; Shajii & Santerre, 1999; Santerre ve ark., 2001).

2.4.2. Reçine kompozitlerden monomer salınımını etkileyen faktörler

Reçine kompozitlerde dönüşüme girmeyerek artık kalan monomerler çeşitli nedenlerle salınımına uğramaktadırlar. Bunlar;

- Reçine kompozitlerin yapısında bulunan inorganik doldurucu partiküller ile organik matriks arasında polimerizasyon esnasında oluşan büzülme ve genleşme,
- Optimal polimerizasyon sağlandığında çapraz bağa sahip zincirlerin daha çok oluşmasına bağlı olarak daha az artık monomer oluşması,
- Reçine kompozit materyallerin polimerizasyonu sonrasında yüzeyde kalan monomerden zengin tabakanın varlığı (oksijen inhibisyon tabakası),
- Artık monomer analizinde kullanılan test cihazları,
- Reçine kompozitlerin çözücü olarak bulunduğu ortam ile bu ortamda bekletilme sürelerinin monomer salınımı üzerine etkileri olduğu bildirilmiştir (Van Landuyt ve ark., 2011; Polydorou ve ark., 2009; Tuna, 2006; Sideridou & Achilias, 2005; Geurtsen W, 1998; Munksgaard ve ark., 2000).

Artık monomer analizlerinde farklı metodlar kullanılarak analizler yapılmakta olup, analizlerde kullanılan inorganik çözücülerin, su veya su bazlı çözücülere göre daha fazla monomer salınımına neden olduğu bildirilmiştir (Van Landuyt ve ark., 2011).

Birçok çalışmada su ve ağız ortamı/yiyecek benzeri sıvıları taklit eden solüsyonlar uygulanmış olup bunlar arasında en çok %75 etanol/su solüsyonu kullanılmıştır

(Polydrou ve ark., 2009a). Bu solüsyon Amerika Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) klavuzlarında bazı içeceklerin (alkollü içecekler dahil) sebze, meyve ve şurupların etkisini simüle eden ve gıda simülatörü olarak kullanılması önerilen bir solüsyondur (Sideridou ve ark., 2007; Polydrou ve ark., 2009a).

2.4.3. Artık monomer miktarının tespitinde kullanılan analiz yöntemleri

Reçine materyallerin monomer dönüşüm derecelerini ve salınan monomer miktarının analizi için değişik test metodları kullanılmaktadır (Viljanen ve ark., 2006; Polydrou ve ark., 2009a; Pongprueksa ve ark., 2015; Durner ve ark., 2015; Alshali ve ark., 2015; Saipullaev, 2017). Bunlar;

- Yüzey Sertliği analizleri,
 - Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (Fourier transform infrared spectroscopy - FTIR),
 - Ultraviyole spektrometri (Ultraviolet Spectrophotometry - UV),
 - Nükleer manyetik rezonans (NMR),
 - Çoklu İç Yansıma Spektroskopisi (Multiple Internal Reflection Spectroscopy - MIRS),
 - Kromotografik analizler
- Gaz Kromatografisi (GC)
 - Yüksek Basıncılı Likit Kromatografi (High Performance Liquid Chromatography-HPLC),
 - Elektrospray İyonizasyon/Kütle Spektrometrisi,
 - Likit Kromatografi/Kütle Spektrometri (LC-MS)

Reçine esaslı materyallerden salınan monomer miktarının analiz edilebilmesi için en uygun yöntemler kromotografik analizlerdir (Ortengren ve ark., 2001; Pongprueksa ve ark., 2015; Moldovan ve ark., 2019).

Bu yöntemlerden HPLC analiz yöntemi, salınma uğrayan monomerlerin kontrol edilebilir olması, nispeten daha ekonomik, yüksek seçiciliğe sahip ve tekrar edilebilir

bir yöntem olması bakımından sıklıkla tercih edilmektedir (Sideridou & Achilias, 2005; Moldovan ve ark., 2019). Ancak, LC-MS analiz yönteminin reçine materyallerden salınımına uğrayan bileşenlerin tespit edilmesinde HPLC analiz yöntemine göre daha düşük salınım değerlerini saptamasının daha doğru analiz yapılabilmesini sağladığı bildirilmiştir (Polydrou ve ark., 2009b; Pongprueksa ve ark., 2015). Bununla birlikte, Bis-GMA, Bis-EMA, Bis-PMA ve UDMA gibi yüksek moleküler ağırlığa sahip monomerlerin analizinde GC-MS analiz yönteminin uygun olmadığı, bu yöntem kullanıldığında UDMA gibi büyük moleküler ağırlığa sahip monomerlerde olduğu gibi hidroksietil metakrilat (HEMA) gibi küçük moleküllerin ayrışabildiği bildirilmiştir (Michelsen ve ark., 2012; Pongprueksa ve ark., 2015).

2.4.4. Likit Kromatografi-Kütle / Kütle Spektrometresi (LC-MS/MS)

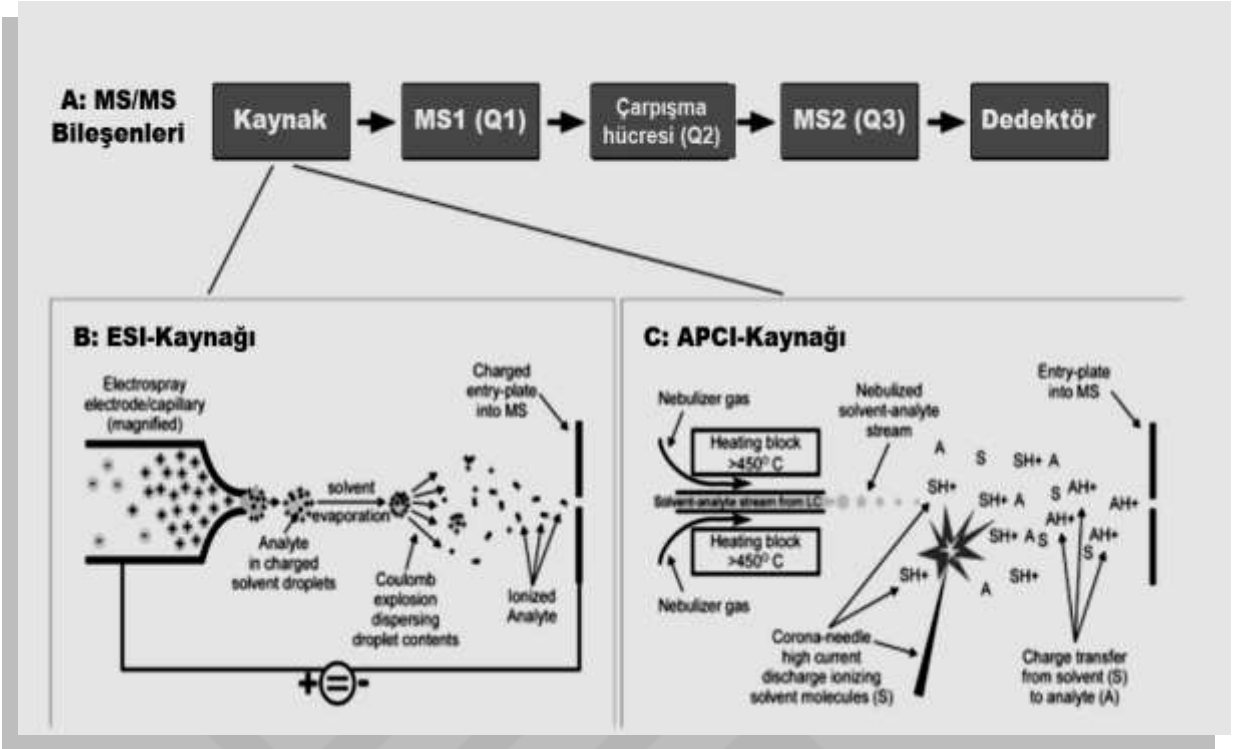
Kütle spektrometrisinin (MS) temel ilkeleri yüz yıldan fazla bir süre önce 1897 yılında Nobel ödüllü Sir Joseph John ('JJ') Thomson tarafından bir konferans sırasında tanımlanmış, ardından 1913'te iyonize neon gazı akışını manyetik ve elektriksel alan uygulayarak iki izotopik bileşene ayırdığı deneysel doğrulama izlemiştir (Grebe & Singh, 2011). Sonraki yıllarda ise MS hızlı bir teknik gelişme göstererek fiziksel ve kimyasal bilimlerde yaygın olarak kullanılan bir analitik teknik haline gelmiştir (Grebe & Singh, 2011). Bununla birlikte, bu tekniğin kullanımı biyolojik numunelerin analizinde sınırlı kalmıştır çünkü, mevcut iyonizasyon teknikleri yalnızca oldukça düşük moleküler ağırlıklı bileşikler için uygunken, o dönemlerde biyolojik numunelerin yüksek vakuma sokulmasını sağlayacak iyi yöntemler henüz mevcut değildir. Ancak, 1980'lerde elektrosprey iyonizasyon (ESI) yönteminin geliştirilmesi sayesinde büyük biyo-moleküllerin ESI tarafından yumuşak iyonizasyonu ve bu sayede numunelerin kütle spektrometresine kolay girmesine izin veren bazı temel teknolojik gelişmeler sayesinde değişmiştir (Fenn ve ark., 1989; Grebe & Singh, 2011). Daha sonraları, biyolojik numune analizi için MS kullanımı araştırma ve ilaç endüstrisinde ve ardından klinik laboratuvarlarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Biyolojik numune analizinde MS kullanımının artması, kütle spektroskopisi yöntemlerinden olan gaz kromatografisinden (GC) daha basit ve daha hızlı analitik geri dönüş imkanı sağlayan likit kromatografiye (LC) geçişi hızlandırmıştır (Grebe & Singh, 2011). Günümüzde likit kromatografi / kütle spektrometresi (LC-MS) dünya çapında klinik ve

laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılan bir teknoloji haline gelmiştir (Want ve ark., 2005; Grebe & Singh, 2011).

2.4.4.1. Güncel Klinik Kütle Spektrometresi - Enstrümantasyon ve Temel Prensipler

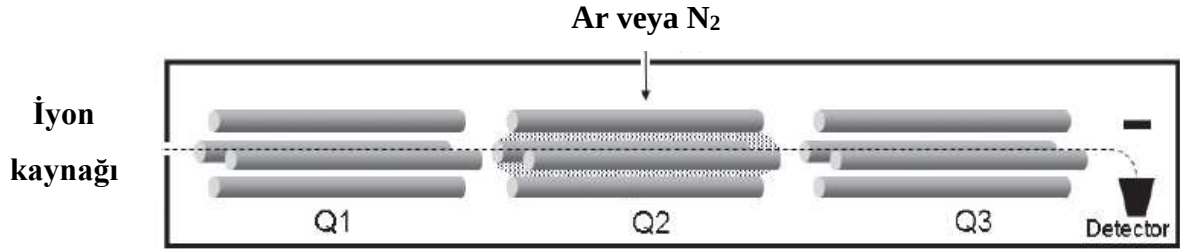
Kütle spektrometresi, yüklü parçacıkların (m / Q , m / q , m / Z veya m / z olarak kısaltılır) kütle-yük oranını ölçen bir cihazdır. Biyolojik numune analizinde kullanılmak üzere dört temel bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2-4). Bunlar;

1. Katı veya sıvı biyolojik numunenin gaz fazına geçişine aracılık eden bir numune giriş cihazı. Bu kısım sonraki tüm kütle analizi adımları için temel bir gerekliliktir.
2. Buharlaştırılan biyolojik örnekleri iyonlaştıran bir iyonizasyon cihazı,
3. Oluşan iyonları kaynağın atmosfer basıncına yakın basıncından gerçek kütle analizörünün yüksek vakumuna geçiren ve onları m / Q değerlerine göre birbirinden ayırırken bir detektöre doğru hareket ettiren bir iyon yolu,
4. İyonları tespit eden ve ölçen bir iyon dedektörü (Grebe & Singh, 2011).



Şekil 2-4: Tandem kütle spektrometresinin temel bileşenleri. (A) Numune kaynağa iyonize edilir, 1. kütle filtresine (Q1), ardından çarpışma hücreğine (Q2), ardından 2. kütle filtresine (Q3) ve son olarak dedektöre geçer. (B) ve (C), mevcut klinik LC-MS / MS aletlerinde kullanılan iki temel iyonizasyon kaynağı türünün şematik olarak gösterimi, elektrosprey iyonizasyon (ESI, B) ve atmosferik basınçta kimyasal iyonizasyon (APCI, C). ESI'de, LC'den gelen çözücü-analit akışı, pozitif yüklü, çok dar bir kılcal damar içinden kaynağa geçer ve mikroskobik, pozitif yüklü çözücü-analit damlacıkları olarak nebulize edilir. Bu damlacıklar, iyonize bileşenlerinin itici yükü yüzey gerilimlerini aştığında, bir Coulomb patlamasında parçalanana kadar, yolda buharlaşan çözücü ile negatif yüklü ön yüz plakasına doğru uçarlar. Aynı ayrı iyonize analiz molekülleri daha sonra ön çerçeve giriş deliğinden geçerek kütle spektrometresine girer. APCI'de, LC'den gelen çözücü-analit akışı, ısıtılmış nebulizatör gazı ve çözücü (ler) buharının polar bileşenleri ile buharlaştırılır. Korona iğnesinin yüksek akım boşalmasıyla iyonize edilir. Çözücü molekülleri daha sonra yüklerini iyonize edilebilir analiz moleküllerine aktarırlar, bunlar ön yüz plakası giriş deliğinden kütle spektrometresine geçer (Grebe & Singh, 2011).

Klinik uygulamada hemen hemen tüm kütle spektrometreleri tekli veya tandem kütle filtresi (dört kutuplu) tasarımlarıdır ve GC veya LC önlerinde bulunur. Geçtiğimiz 20 yıl içerisinde LC ön uçları ve özellikle üçlü dört kutuplu (tandem olarak da adlandırılan) (Şekil 2-5) MS, GC-MS ve LC'nin yerini alan LC-MS/MS'ye odaklanmıştır ve klinik laboratuvarındaki aletlerin pek çoğunu oluşturmaktadır (Grebe & Singh, 2011).



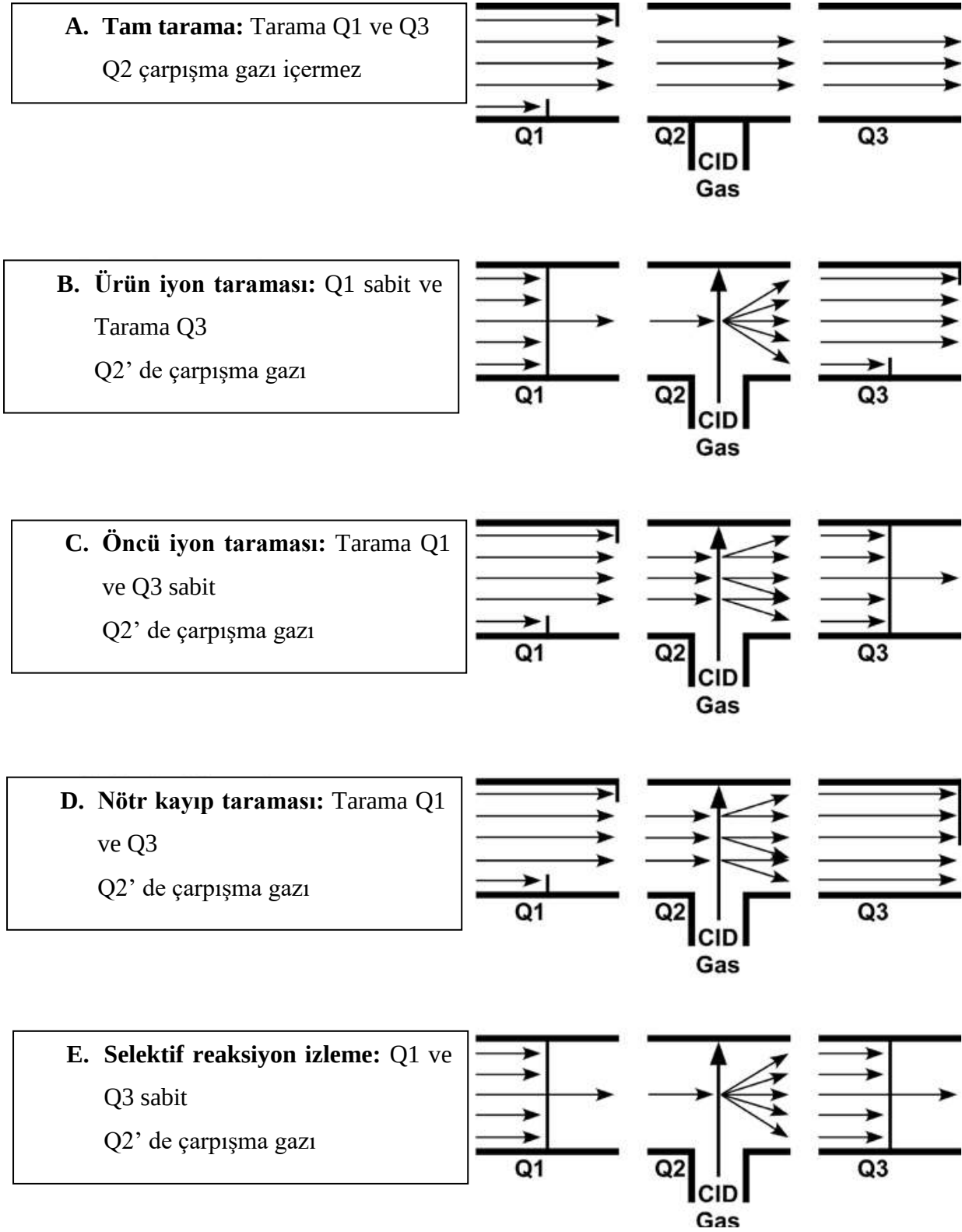
Şekil 2-5: Üçlü dört kutuplu kütle spektrometresi. Q1 ve Q3, kütle filtreleri görevi görür ve bağımsız olarak sabitlenebilir, taranabilir veya kademelendirilebilir. Q2, düşük basınçlı inert gaz içeren bir çarpışma hücresidir (Pitt, 2009).

LC-MS/MS analiz yönteminde fizikokimyasal özelliklerine göre ayrıştırılan moleküller, kütle dedektörü ile analiz edilirler. Moleküller iyonizasyon işlemi ile uyarılarak yüklü iyonize moleküller haline gelir ve Q1 filtrede m/z (kütle/yük) oranına göre ayrıştırılan moleküller, yüksek saflığa sahip özel bir gaz (Azot gazı) ile çarpışmaya bağlı ayrışma işlemine tabi tutulur. Q2 filtrede ise parçalanma ile oluşan iyonlar üzerinden miktar tayini ve teşhis yapılmaktadır. Numunede bulunan bileşenlerin miktarı, molekül ağırlığı ve yapısı hakkında yüksek hassasiyette ve hızlı bir şekilde bilgi edinilir. Çok düşük konsantrasyonlarda bile miktar tayininin yapılabildiği cihazda sonuçların tekrardan doğrulanmasına gerek de duyulmamaktadır (Pitt JJ, 2009).

Bir LC-MS / MS cihazı, bir (i) atmosferik basınç iyonizasyon kaynağı, tipik olarak bir ESI kaynağı veya bir (ii) iyon girişi ve odaklama bileşeni ile birleştirilmiş atmosferik basınçta kimyasal iyonizasyon (APCI) kaynağı içerir ki bu da, hem atmosferik basınçtan vakuma hem de iyon odaklamaya geçişi sağlayarak (iii) birinci kütle filtreleme cihazına (Q1) geçişe imkan verir ve bu da çarpışmanın neden olduğu ayrışma için düşük basınçlı gazla doldurulmuş bir (iv) çarpışma odasına yol açar (Q2). Ardından, (v) ikinci bir kütle filtreleme cihazı (Q3) ve son olarak bir (vi) ionimpacekt dedektörü (elektron çarpanı) bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 2-4) (Grebe & Singh, 2011).

Bu donanım, kullanıcının enstrümanın hassasiyeti ve kütle çözünürlüğü sınırları dahilinde beş farklı türde deney yapmasına olanak tanır;

1. **Tam Tarama:** Q2 herhangi bir çarpışma gazı içermezken tarama, her iki kütle filtresinin (Q1 ve Q3) kütle aralığının tamamı (veya bir kısmını) taranır. Bu deney, kullanıcının bir numunede bulunan tüm iyonları görmesini sağlar (Şekil 2-6A).
2. **Ürün İyon Taraması:** Q1'de belirli bir m / Q seçilir, seçilen m / Q 'yu parçalara ayırmak için Q2 çarpışma gazıyla doldurulur ve ardından Q3 ile tüm (veya bir kısmını) kütle aralığı taranır. Bu deney kullanıcının seçilen öncü iyonun tüm ürün iyonlarını/fragmanlarını görmesini sağlar (Şekil 2-6B).
3. **Öncü İyon Taraması:** Q1'in kütle aralığının tamamı (veya bir kısmını) taranır, tarama aralığındaki tüm iyonları parçalamak için Q2 çarpışma gazıyla doldurulur ve ardından Q3'te belirli bir m / Q seçilir. Bu deney kullanıcıya, hangi m / Q öncül iyon (lar) ının seçilen ürün iyonuna yol açmış olabileceğini belirlemek için ürün iyonu ve tespitinden hemen önce gelen m / Q tespitinin zamansal korelasyonu ile (Şekil 2-6C). Bu deney, kullanıcının, ürün iyonunun tespitinin zamansal korelasyonu ile tespitinden hemen önce gelen m / Q 'nun, seçilen ürün iyonunu hangi m / Q öncü iyon (lar) ının meydana getirmiş olabileceğini belirlemesine izin verir.
4. **Nötr Kayıp Taraması:** Q1'in kütle aralığının tamamı (veya bir kısmını) taranır, tarama aralığındaki tüm iyonları parçalamak için Q2 çarpışma gazı ile doldurulur ve daha sonra Q3, öncül tarama aralığındaki her potansiyel iyon için meydana gelen belirli bir kütlenin fragmantasyonla indüklenen bir kaybına karşılık gelen önceden belirlenmiş bir aralık boyunca taranır. Bu deney, seçilen bir ortak kimyasal grubu kaybeden tüm öncüllerin, örneğin, bir metil grubuna karşılık gelen kütleyi kaybeden tüm öncülerin taanınmasına imkan sağlar (Şekil 2-6D).
5. **Selektif (veya çoklu) Reaksiyon İzleme (SRM veya MRM):** Q1'de belirli bir m / Q seçilir, seçilen m / Q 'yu parçalara ayırmak için Q2 çarpışma gazı ile doldurulur ve ardından Q3'te bu parçalardan belirli bir m / Q seçilir. Bu deney, Q1'de seçilen m / Q ile özellikle Q3'e seçilen ürün iyonuna parçalandığı bilinen bir analitin oldukça spesifik tespitine izin verir. Bu spesifik iyon çifti için algılama hassasiyeti de büyük ölçüde artmıştır, çünkü dedektör artık birincil olarak (veya yalnızca) bu tek analite özgü iyon çiftini işler ve bunu birkaç döngü boyunca tekrar tekrar yapabilir (Şekil 2-6E) (Grebe & Singh, 2011).



Şekil 2-6: Kütle filtrelemeli tandem kütle spektrometreleri ile gerçekleştirilebilecek beş temel deney. A) Tam Tarama, B) Ürün İyon Taraması, C) Öncü İyon Taraması, D) Nötr Kayıp Taraması ve E) Selektif Reaksiyon İzleme. (CID-collision-induced dissociation, çarpışma kaynaklı ayrışma).

Bu deneylerin ilk üçü, ilgilenilen bir molekülün öncüsü m / Q'yu belirlemek için (Tam Tarama), parçaladığı m / Q'ları belirlemek için (Ürün İyon Taraması) ve biyolojik bir matriste sadece ilgilenilen molekülün son yöntem için seçilen m / Q ürün iyonuna (Öncü İyon Taraması) yol açtığını doğrulamak için yöntem geliştirme esnasında sıklıkla kullanılan deneylerdir. Seçilmiş uygulamalar için, ortak metabolitler veya ilgili bileşikler ailesi aranırken Nötr Kayıp Taramaları kullanılabilir, ancak klinik kullanımdaki son LC-MS/MS yöntemlerinin % 90'ından fazlası SRM (Selective Reaction Monitoring-Selektif Reaksiyon İzleme) yöntemleridir.



3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmada farklı sürelerde (20 sn, 40 sn) farklı ışık cihazları (QTH, LED) kullanılarak polimerize edilen farklı reçine kompozit materyallerden uzun dönemde (6 ay) salınma uğrayan Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA monomerlerinin miktarının LC-MS/MS cihazıyla analiz edilmesi amaçlanmıştır. LC-MS/MS cihazında test edilecek reçine kompozit numunelerin hazırlanması ve deney aşamasına kadar saklanması İstanbul Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiş, numunelerin saklanacağı %75'lik etanol solüsyonu İ.Ü. Tıp Fakültesi Biyokimya Anabilim Dalı Laboratuvarında hazırlanmıştır. LC-MS/MS cihazında monomer salınım analizleri ise Sem Laboratuvar Cihazları Pazarlama Sanayi ve Ticaret A.Ş., R&D laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.1. Çalışmada kullanılan reçine kompozit materyaller

Çalışmada, bir universal reçine kompozit (Filtek Z250; 3M ESPE, St. Paul, MN, ABD), bir akışkan bulk fill reçine kompozit (Filtek Bulk Fill Flow; 3M ESPE) ve yüksek viskoziteli iki farklı bulk fill reçine kompozit materyaller (Tetric EvoCeram Bulk Fill; Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihteyştayn; SonicFill Bulk Fill; Kerr Corp., CA, ABD) kullanıldı. Çalışmada kullanılan reçine kompozitlerin monomer yapıları ve üretici firmaları Tablo 3-1'de gösterilmiştir.

Tablo 3-1: Çalışmada kullanılan reçine kompozitlerin monomer yapıları ve üretici firmaları

Materyal	Tipi	Monomer yapı	Üretici Firma
Filtek Z250	Universal Reçine Kompozit	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGDMA	3M ESPE, St. Paul, MN, ABD
Filtek Bulk Fill Flow	Akışkan Bulk Fill Kompozit	Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, Proakrilat reçineler	3M ESPE, St. Paul, MN, ABD
Tetric EvoCeram Bulk Fill	Yüksek viskoziteli Bulk Fill Kompozit	Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA	Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihteyştayn
SonicFill Bulk Fill	Yüksek viskoziteli Bulk Fill Kompozit	Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA, SIMA	Kerr, CA, ABD

3.1.1. Filtek Z250

Filtek Z250 (3M ESPE) hem anterior hem de posterior dişlerin restorasyonunda kullanılabilen mikrohürit yapıda üniversal bir reçine kompozit materyaldır (Şekil 3-1). İnorganik doldurucu kısmı ağırlıkça %82, hacim olarak %68 oranında 0,01µm – 3,5 µm arasında ortalama 0,6 µm partikül büyüklüğüne sahip zirkonya/silika doldurucu partiküllerinden oluşmakta olup, organik matriks yapısında Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA ve TEGDMA monomerleri bulunmaktadır (Tablo 3-1). Klinik uygulama esnasında en fazla 2 mm yükseklikte tabaka uygulamasının 20 sn polimerize edilmesi gerektiği bildirilmiştir (Filtek Z250 ürün teknik bilgisi).



Şekil 3-1: Filtek Z250 reçine kompozit materyali

3.1.2. Filtek Bulk Fill Flow

Filtek Bulk Fill Flow (3M ESPE) akışkan özelliğe sahip, düşük viskoziteli, görünür ışıkla polimerize edilebilen radyoopak bir reçine kompozit materyaldir (Şekil 3-2). Yarı saydam özelliği sayesinde 4 mm derinliğe sahip kavitelere kütle halinde uygulanabilen materyaldir. İnorganik doldurucu kısmı ağırlıkça %64,5, hacim olarak da %42,5 oranında ve partikül boyutları $0,01\mu\text{m}$ – $3,5\mu\text{m}$ arasında değişen zirkonya/silika doldurucular ve partikül boyutları $0,1\mu\text{m}$ - $5\mu\text{m}$ arasında değişen ytterbium trifluoride partiküllerinden oluşmaktadır. Düşük doldurucu partikül miktarından dolayı klinik uygulamalar esnasında üzerinin geleneksel bir kompozit reçine ile kapatılması gerekmektedir. Organik matriks yapıda Bis-GMA, UDMA ve Bis-EMA monomerlerinin bulunduğu reçine kompozit materyal (Tablo 3-1) için 550 mW/cm^2 ışık gücüne sahip QTH cihaz kullanıldığında universal renklerin 20 sn, diğer renklerin 40 sn süre ile polimerize edilmesi gerektiği bildirilmiş olup, yüksek ışık gücüne sahip (en az 1000mW/cm^2) LED ışık cihazı kullanıldığında polimerizasyon sürelerinin yarı yarıya azaltılması gerektiği belirtilmiştir (Filtek Bulk Fill Flow ürün teknik bilgisi).



Şekil 3-2: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozit materyali

3.1.3. Tetric EvoCeram Bulk Fill

Tetric EvoCeram Bulk Fill (Ivoclar Vivadent) posterior bölge dişlerin restorasyonunun yanı sıra Sınıf V restorasyonlarda da kullanılabilen nanohibrit yapıda reçine kompozit materyaldir (Şekil 3-3). İnorganik doldurucu partikül yapısı ağırlıkça %77, hacim olarak da %61 oranında 0,04µm - 3µm arasında değişen baryum cam, itterbium trifluoride, karışık oksitler ve prepolimerlerden oluşmaktadır. Organik matriks yapıda Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA monomerlerinin bulunduğu reçine kompozit materyalde fotobaşlatıcı olarak Ivocerin bulunmaktadır. Klinik uygulamalarda 4 mm yüksekliğe kadar kütle halinde uygulanabilen materyalin polimerizasyonunun en az 1000mW/cm² ışık gücüne sahip cihazlar ile 10 sn sürede gerçekleştirilebileceği bildirilmiştir (Tetric EvoCeram ürün teknik bilgisi).



Şekil 3-3: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozit materyali

3.1.4. SonicFill Bulk Fill

SonicFill Bulk Fill (Kerr Corp.) posterior dişlerin direkt restorasyonunda kullanılabilen reçine kompozit materyaldir (Şekil 3-4). İnorganik doldurucu partikülleri ağırlıkça %83,5 ve hacim olarak %66 oranında silikon dioksit, cam ve oksit dolduruculardan oluşmaktadır. Materyalin yüksek visköz yapısından dolayı klinik kullanımda uygulanabilirliğini kolaylaştırmak amacıyla sonik titreşime sahip bir aktivasyon cihazı (Şekil 3-4) ile kullanılması ve viskozitesinin düşürülmesi önerilmektedir. Sonik aktivasyon cihazının kullanılması uygulama kolaylığı sağlarken materyalin içerisinde hava kabarcığı oluşumunu da önlemektedir. Organik matriks yapıda Bis-GMA, Bis-EMA ve TEGDMA monomerlerinin bulunduğu reçine kompozit, klinik uygulamada 5 mm yüksekliğe kadar kütle halinde kaviteye uygulanabilmektedir.



Şekil 3-4: SonicFill Bulk Fill reçine kompozit materyali ve sonik aktivasyon cihazı

3.2. Çalışmada kullanılan ışık kaynakları

Çalışmada reçine kompozitlerin polimerizasyonu için halojen ışık kaynağı (Optilux 501; Kerr Corp., Orange, CA, ABD) ve LED ışık kaynağı (Demi Ultra; Kerr Corp., Orange, CA, ABD) kullanılmış olup, ışık kaynaklarına ait bilgiler Tablo 3-2’de gösterilmiştir.

Tablo 3-2: Çalışmada kullanılan ışık kaynakları (Üretici firma bilgilerine göre)

Işık Kaynakları	Tipi	Işık gücü	Üretici Firma
Optilux 501	Halojen (QTH)	*850 mW/cm ²	Kerr Corp., Orange, CA, ABD
Demi Ultra	LED	≥1250mW/cm ²	Kerr Corp., Orange, CA, ABD

* Standard mod kullanımında

3.2.1. Halojen ışık kaynağı (Optilux 501)

Reçine kompozitlerin polimerizasyonunu sağlamak için kuartz-tungstem-halojen (QTH) ışık kaynağı Optilux 501 (Kerr Corp.) çalışmada kullanılmıştır (Şekil 3-5). Işık kaynağında ana cihaza kablo ile bağlı olan bir ışık tabancası ve tabanca ucunda 11 mm çapa sahip fiber optik ışık iletici vardır. Işık cihazı dört farklı ışık uygulama moduna sahiptir (standart, ramp, boost ve bleach). Işık uygulama süresi ve uygulama modu cihaz üzerinde bulunan ayarlama düğmelerinden ayarlanabilir ve cihazın dijital göstergesinden kontrol edilebilir. Işık dalga boyu 400-510 nm arasında olan cihaz, ortalama 850 mW/cm² ışık yoğunluğuna sahiptir. Çalışmada kullanılan reçine kompozitlerin polimerizasyonu öncesinde cihazın ışık yoğunluğu dijital bir radyometre (Hilux Curing Light Meter, Benlioğlu Dental, Ankara, Türkiye) yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 3-6). Çalışmada kullanılan reçine kompozitlerin polimerizasyonu için cihaz standart moda ayarlanmış ve ışık ucunun numune yüzeyine dik gelmesine dikkat edilerek 1 mm kalınlığındaki ince bir lamel üzerinden 20 sn ve 40 sn sürelerde polimerizasyon sağlanmıştır.



Şekil 3-5: Halojen ışık cihazı (Optilux 501, Kerr).



Şekil 3-6: Halojen ışık cihazının (Optilux 501) ışık gücünün dijital bir radyometre (Hilux Curing Light Meter) yardımıyla ölçülmesi

3.2.2. LED ışık kaynağı (Demi Ultra)

Reçine kompozitlerin polimerizasyonu için çalışmada yeni nesil LED ışık cihazı Demi Ultra (Kerr Corp.) kullanılmıştır (Şekil 3-7). Kablosuz olan cihazın ayrı bir şarj ünitesi vardır. Cihazın 60° açığa sahip 8 mm çapında fiber optik ışık ileticisi bulunmakta olup, fiber optik uç 360° dönebilmektedir ve klinik kullanımda klinisyene uygulama kolaylığı sağlamaktadır. Cihaz 450-470 nm dalga boyu aralığında 1250-1600 mW/cm² ışık gücüne sahiptir. Hızlı şarj olabilme özelliği (40 sn) sayesinde klinik kullanımda zaman açısından pratiklik sağlamaktadır. Cihazın ışık uygulama süresi cihaz üzerinde bulunan kontrol düğmesi aracılığıyla yapılabilmekte olup, 5, 10, 20 sn

sürelerinde ayarlanabilmektedir. Çalışmada kullanılan reçine kompozit numunelerin polimerizasyonu öncesinde ışık cihazının ışık yoğunluğu dijital radyometre yardımıyla (Hilux Curing Light Meter) ölçülmüştür (Şekil 3-8). Numunelerin polimerizasyonu 1 mm kalınlığındaki ince lamel üzerinden ışık ucunun numune yüzeyine dik gelecek şekilde ayarlanmasından sonra 20 ve 40 sn sürelerde tamamlanmıştır.



Şekil 3-7: LED ışık cihazı ve şarj ünitesi (Demi Ultra, Kerr)



Şekil 3-8: LED ışık cihazının (Demi Ultra) ışık gücünün dijital bir radyometre (Hilux Curing Light Meter) yardımıyla ölçülmesi

3.3. Numunelerin hazırlanması

Her bir grup için belirlenecek numune sayısının tespitinde power analiz yapılmamış olup, monomer salınımının incelendiği önceki çalışmalar (Cebe ve ark., 2015; Rothmund ve ark., 2017; Lempel ve ark., 2016) ve LC-MS/MS cihazının çok düşük konsantrasyonlarda bile analiz yapılacak numunelerde miktar tayini yapabilmesi ve analizlerin tekrardan doğrulamaya gerek olmamasının bildirilmesi nedeniyle (Hsu ve ark., 2012), her grup için numune sayısının beş ($n=5$) olması kararlaştırıldı.

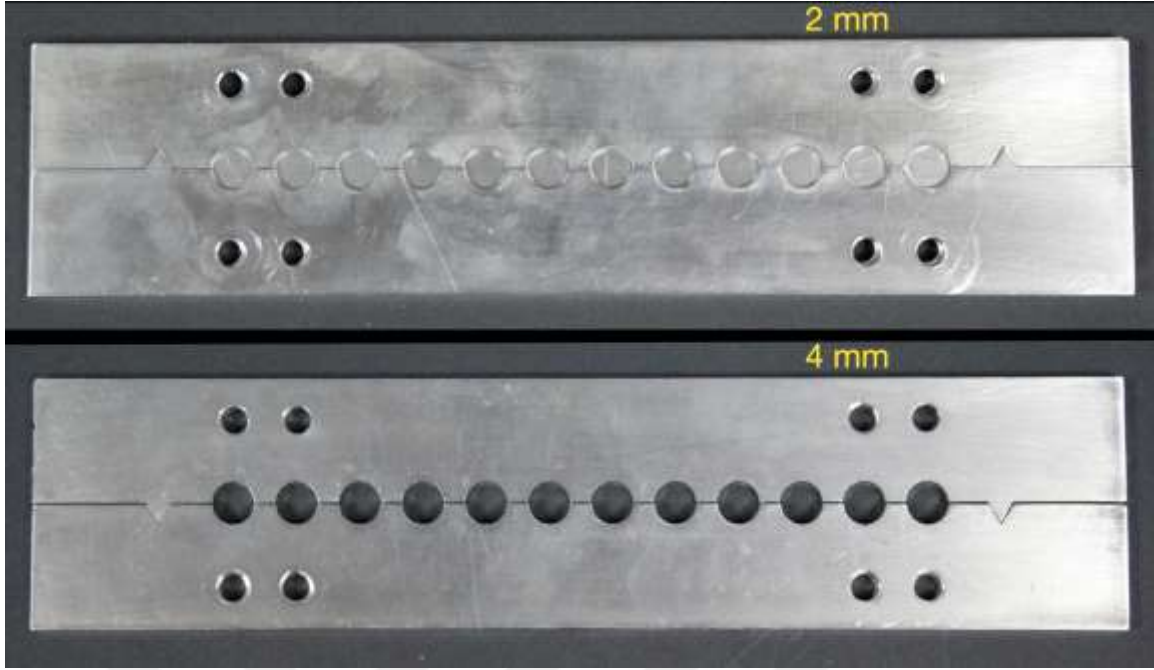
Her bir numune grubundan 20 örnek olmak üzere toplam 80 numune hazırlandı. Numuneler farklı ışık cihazı grubu (QTH, LED; $n=10$), farklı ışık uygulama süreleri (20 sn, 40 sn; $n=5$ her bir grup için) olmak üzere gruplandırıldı (Tablo 3-3).

Numunelerin hazırlanması için düz bir metal zemin üzerine dört kenardan vidalarla sabitlenen çapı 8 mm, yükseklikleri 2 mm ve 4 mm olan silindirik metal kalıplar kullanıldı (Şekil 3-9). Reçine kompozit materyallerin silindirik yuvalara yerleştirilmesinden önce metal tabla üzerine şeffaf bant yerleştirildi ve sonrasında üst silindirik metal parçalar metal tabla üzerine vidalanarak sabitlendi (Şekil 3-10). Yuva içerisine reçine kompozit materyallerin şırınga formunda olanları şırınga yardımıyla,

pasta formunda olanları ise uygun bir el aleti yardımıyla yerleştirildi, oksijen inhibisyon tabakasının önlenmesi için (Polydorou ve ark., 2009a; Pongprueksa ve ark., 2015) üzerine şeffaf bant ve ince bir mikroskop lameli yerleştirilerek parmak basıncı uygulandı ve böylece hem fazla kompozitin taşması hem de yüzeyin düz olması sağlandı (Şekil 3-11). Kontrol grubunu oluşturan Filtek Z250 (3M ESPE) reçine kompozit materyali 2 mm yükseklikteki, bulk fill reçine kompozit materyalleri ise 4 mm yükseklikteki silindirik metal kalıplara yerleştirildi. Bu şekilde silindirik metal kalıplara yerleştirilen numunelerin yarısı halojen ışık cihazı ile diğer yarısı da LED ışık cihazı ile 20 sn ve 40 sn sürelerde polimerize edildi. Polimerizasyon esnasında ışık cihazı ucu, reçine kompozit numuneye ve lamele dik gelecek şekilde yerleştirildi (Şekil 3-12). Polimerizasyonun tamamlanmasını takiben numune yüzeyinden lamel ve şeffaf matriks bandı uzaklaştırıldı ve metal kalıp içerisinde bulunan numunenin üst yüzeyine düşük hızla (10.000 rpm) döner alet (mikromotor/angldurva) kullanılarak alüminyum oksit partikülleri içeren cila diskleri (Sof-Lex; 3M ESPE) ile bitirme ve cila işlemleri uygulandı (Şekil 3-13). Bitirme ve cila işlemleri esnasında su soğutması olmaksızın orta (medium) grenden ince (fine) ve süper ince (super fine) gerene doğru diskler 10 sn süre ile sırasıyla kullanıldı ve diskler her numunede yenisiyle değiştirildi.

Tablo 3-3: Kompozit numunelerin ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre gruplandırılması

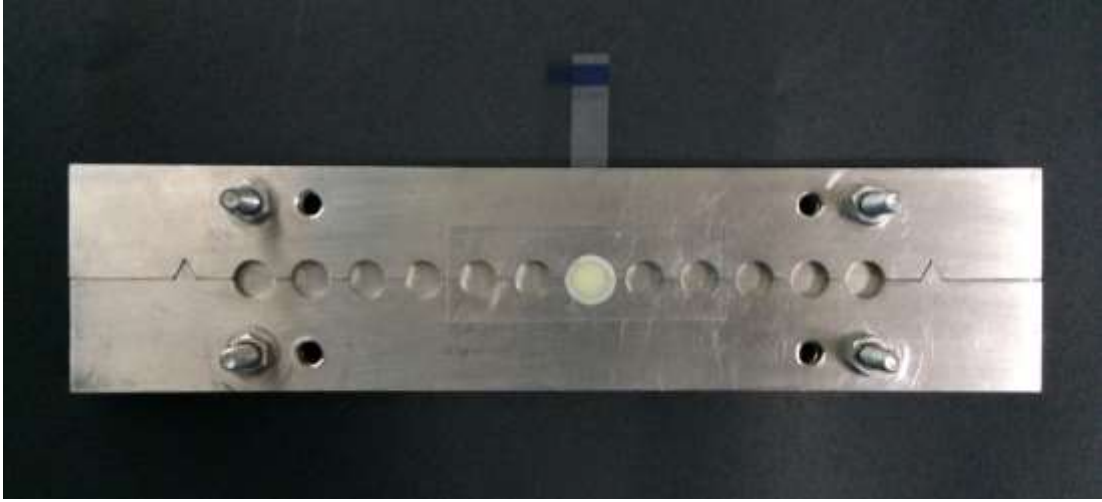
	QTH 20 sn	QTH 40 sn	LED 20 sn	LED 40 sn
Filtek Z250	N=5	N=5	N=5	N=5
Filtek Bulk Fill Flow	N=5	N=5	N=5	N=5
Tetric EvoCeram Bulk Fill	N=5	N=5	N=5	N=5
SonicFill Bulk Fill	N=5	N=5	N=5	N=5
Toplam	N=20	N=20	N=20	N=20



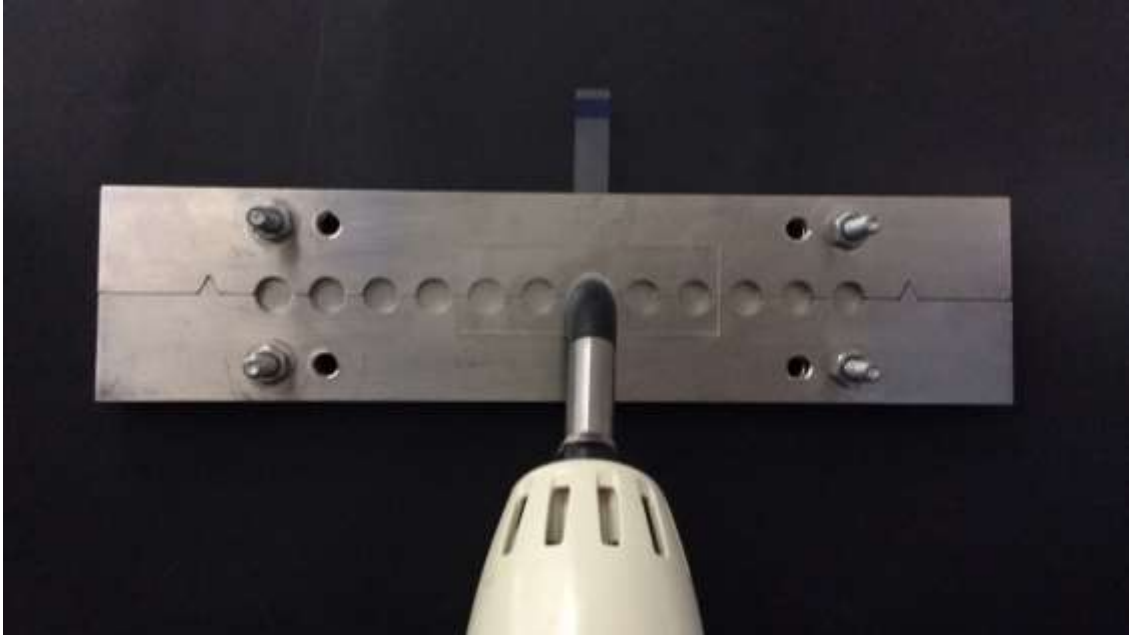
Şekil 3-9: Kompozit numunelerin hazırlanmasında kullanılan 8 mm çapında, 2 mm ve 4 mm yüksekliğindeki metal kalıplar



Şekil 3-10: Kompozit numunelerin metal kalıptaki silindirik yuvaya yerleştirilmesinden önce metal tabla üzerine şeffaf bant yerleştirilmesi



Şekil 3-11: Silindirik yuvaya reçine kompozitin yerleştirilmesinden sonra üzerine mikroskop lamelinin konularak parmak basıncı uygulamasıyla kompozit reçinenin fazlasının taşması ve yüzeyin düzleştirilmesi



Şekil 3-12: Reçine kompozit numunenin lamel üzerinden ışık ucunun numune yüzeyine dik gelecek şekilde ayarlanmasından sonra polimerizasyonu



Şekil 3-13: Numunelerin bitirme ve cila işlemlerinde kullanılan diskler (Sof-Lex; 3M ESPE)

Bitirme ve cila işlemleri tamamlanan numuneler metal kalıptan çıkartıldı ve her bir numunenin ışık uygulanmayan alt yüzeyine aeratör ve elmas bir rond frez kullanılarak numaralandırma yapıldı (Şekil 3-14).



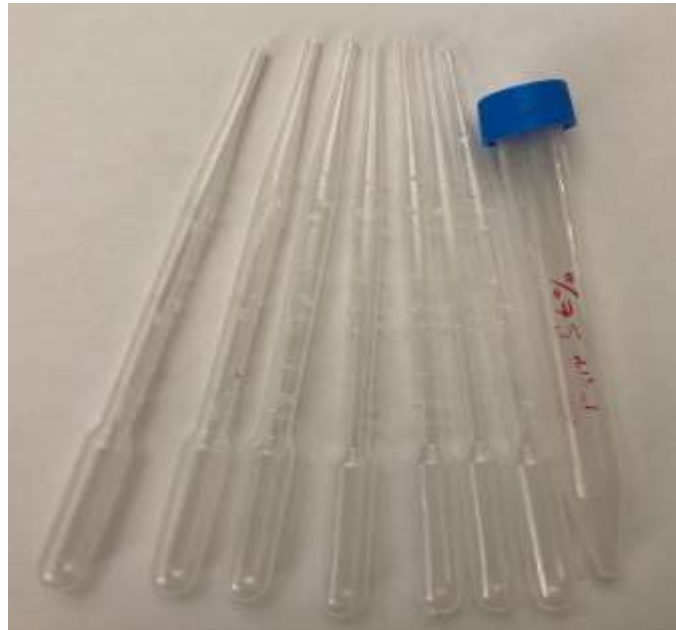
Şekil 3-14: Bitirme ve cila işlemleri tamamlanan numunelerin alt yüzeylerinin aeratör ve elmas rond frez kullanılarak numaralandırılması

3.4. Numunelerden monomer salınım prosedürü

Numaralandırma işlemi tamamlanan her bir numune, monomer salınımının gerçekleşebilmesi için içerisinde daha önceden hazırlanmış 5 ml %75'lik etanol solüsyonu bulunan plastik kaplara konuldu, ağzı sıkıca kapatıldı ve ışık etkileşiminin önlenmesi için kapların etrafı alüminyum folyo ile sarıldı (Şekil 3-15). Bu şekilde kaplara konulan numuneler oda sıcaklığında ($\sim 22^{\circ}\text{C}$) (Polydorou ve ark., 2007; Polydorou ve ark, 2009a) saklandı. Işık geçirmez kaplara konulan numunelerin bulunduğu çözeltilerden, polimerizasyon işleminden sonra 24 saat, 7 gün, 30 gün ve 6 ay olarak belirlenen zaman dilimlerinde mikropipetler (Şekil 3-16) kullanılarak hacimleri 1 mL olan etanollü çözelti örnekleri alındı. Alınan örnekler steril şeffaf plastik şişeler (Şekil 3-17) içerisine konularak ağzı sıkıca kapatıldı, ışık geçirmemesi için alüminyum folyolar ile sarıldı ve kromatografik incelemelerin yapılacağı zamana kadar $+4^{\circ}\text{C}$ 'de buzdolabında saklandı.



Şekil 3-15: Numunelerin %75'lik etanol solüsyonu içerisinde saklandığı plastik kaplar.



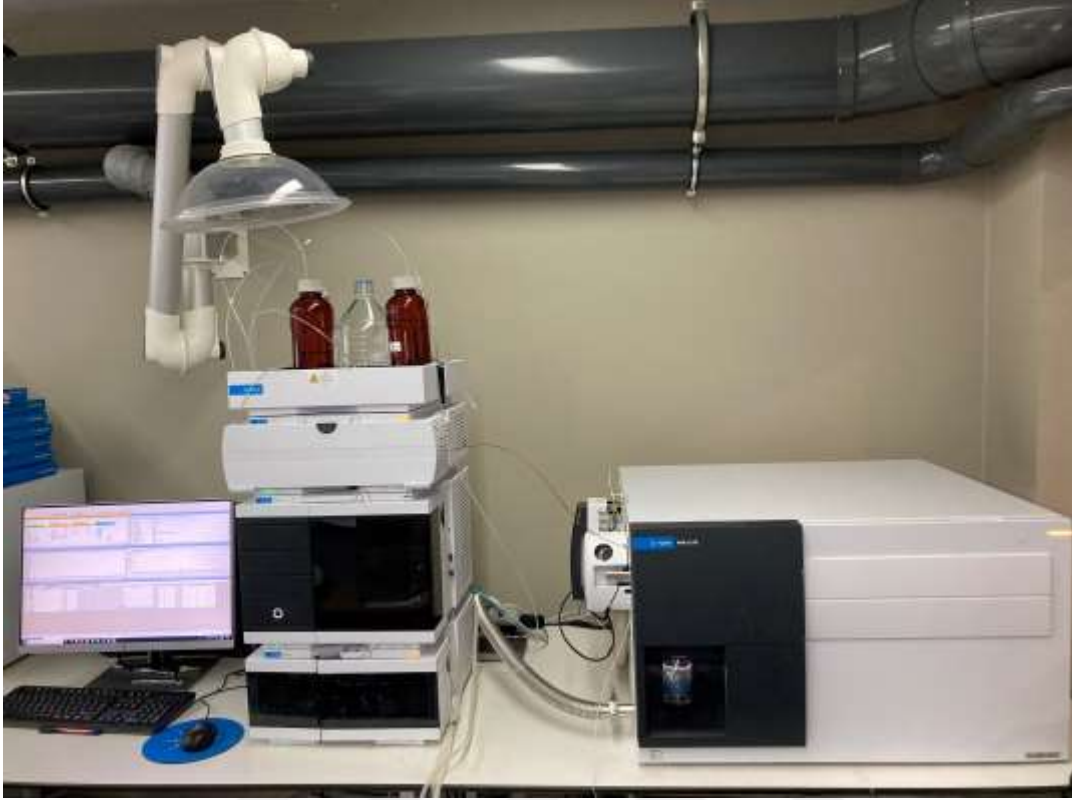
Şekil 3-16: Saklama kaplarından çözeltilerin alınmasında kullanılan mikropipetler.



Şekil 3-17: Çözeltilerin kromatografi işlemine kadar buzdolabında saklandığı plastik şişe.

3.5. LC-MS/MS cihazında monomer salınımının değerlendirilmesi

Buzdolabında +4 °C’de saklanan etanollü çözeltilerin monomer salınım miktarlarının değerlendirilmesi işlemi Sem Laboratuvar Cihazları Pazarlama Sanayi ve Tic. A.Ş. R&D laboratuvarlarında bulunan LC-MS/MS cihazında (Şekil 3-18) gerçekleştirildi. Çalışmada kullanılan Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA monomerlerine (Şekil 3-19) ait özellikler Tablo 3-4’te gösterilmiştir.



Şekil 3-18: Çalışmada kullanılan LC-MS/MS cihazı (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, ABD)



Şekil 3-19: Çalışmada kullanılan Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA baz monomerleri

Tablo 3-4: Çalışmada kullanılan monomerlerin özellikleri

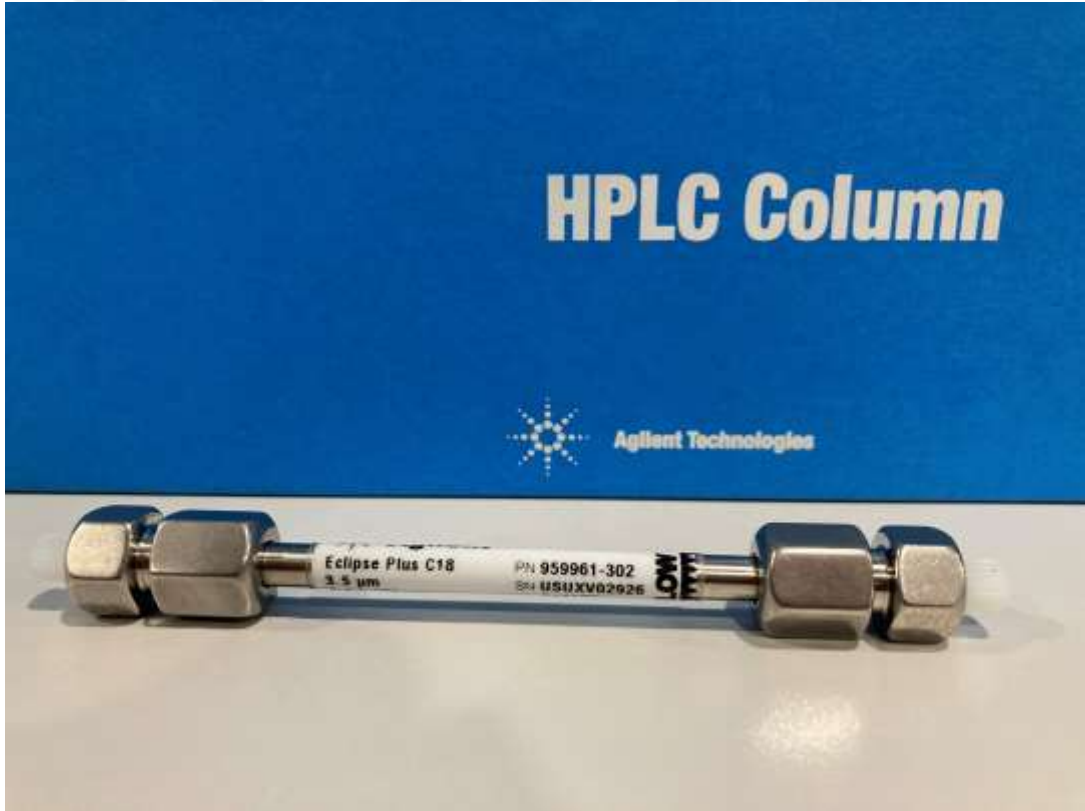
Monomer	Ticari isim	Moleküler formül	Moleküler ağırlık	LOT No	Üretici
Bis-GMA	Bisphenol A-glycidyl methacrylate	$C_{29}H_{36}O_8$	512.60	MKCL0375	Sigma–Aldrich, St. Louis, MO, ABD
Bis-EMA	Bisphenol A ethoxylateddimethacrylate	$C_{35}H_{48}O_{10}$	628.70	MKBV5833V	Sigma–Aldrich, St. Louis, MO, ABD
UDMA	Urethane dimethacrylate	$C_{23}H_{38}N_2O_8$	470.56	MKBQ7398V	Sigma–Aldrich, St. Louis, MO, ABD

3.5.1. LC-MS/MS ölçümü için stok çözeltilerin, kalibrasyon çözeltilerinin ve numunelerin hazırlanması

Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA'nın stok çözeltileri, bir etanol:su (3:1 v/v) karışımı içinde 1000 µg/ml konsantrasyonda ticari referans standartlarından hazırlandı ve karanlıkta -18°C'de tutuldu. Kalibrasyon için bu üç monomerin standart çözeltileri %75 etanol içinde 0,1 ppb, 0,5 ppb, 1 ppb, 5 ppb, 10 ppb, 50 ppb, 100 ppb, 300 ppb ve 500 ppb konsantrasyonlarda hazır hale getirildi. Numune hazırlama prosedürü iki adımda gerçekleştirildi. İlk olarak 100 µL kalibrant/numune bir numune şişesine aktarıldı. Daha sonra, numune şişesine 375 µL asetonyitril eklendi ve LC-MS/MS enjeksiyonundan önce 5 saniye vortekslendi.

3.5.2. LC-MS/MS analiz yöntemi

Numunelerin analizleri, Agilent 6470 üçlü dört kutuplu (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, ABD) ikili pompa (G4220A), kolon bölmesi (G1316C) ve otomatik numune alma cihazından (G7167B) oluşan Agilent HPLC sistemi üzerinde yapılmıştır. Örneklerdeki monomerlerin konsantrasyonlarını belirlemek için kurum içi geliştirilen ve onaylanmış analitik yöntem uygulandı (Sem Ar-Ge Merkezi Laboratuvarı, İstanbul, Türkiye). Monomerlerin ayrılması, 5 mM amonyum format, %0,1 formik asit (mobil faz A) ve asetonitrilden (mobil faz B) oluşan bir solvent gradyan programı uygulayan Zorbax Eclipse Plus C18 3x100 mm 3,5 μ kolon (Şekil 3-20) ile 0,5 ml/dak akış hızında gerçekleştirildi.



Şekil 3-20: Monomerlerin ayrılması için kullanılan kolon (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, ABD)

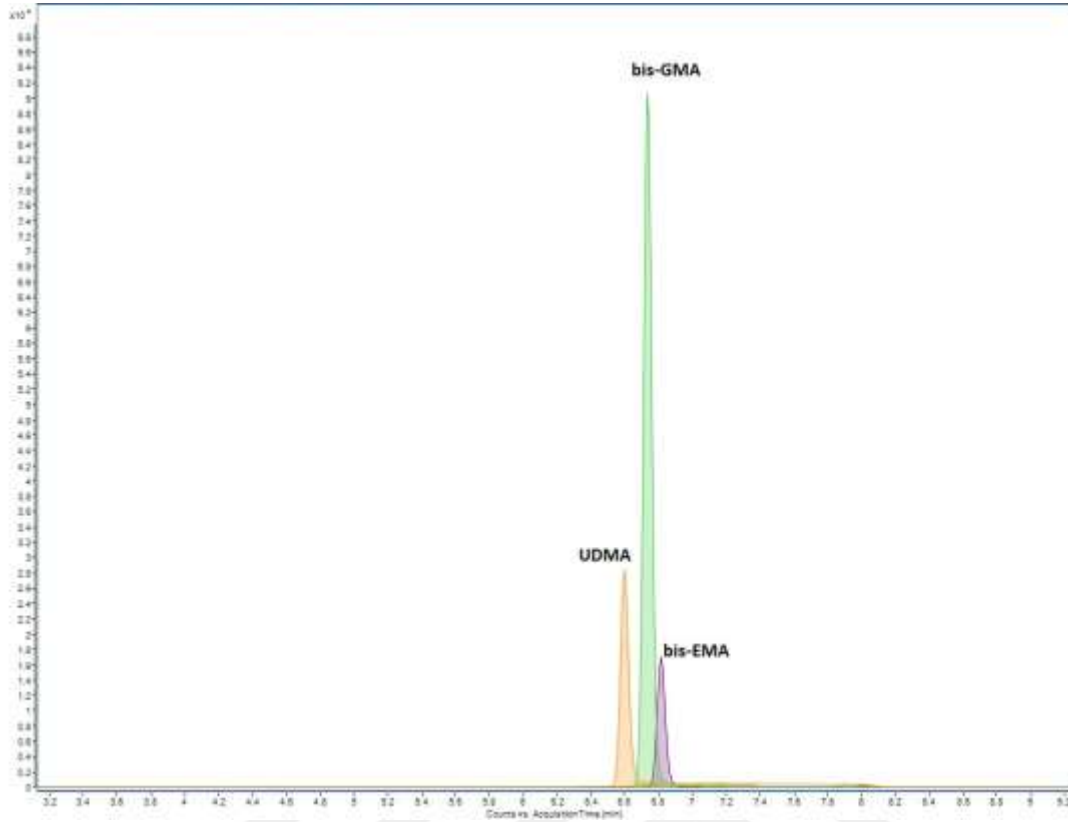
%2'lik asetonitril başlangıç gradyanı 1 dakika tutuldu. Ardından gradyan, 4 dakika içinde lineer olarak %100 asetonitril'e yükseltildi ve gradyan, 1 dakika boyunca %100 de tutuldu. Son olarak, gradyan 2 dakikada başlangıç durumuna döndürüldü.

Toplam çalışma süresi 8 dakika sürdü ve numune enjeksiyon hacmi 3 µL idi. Analitik kolon ve otomatik numune alma cihazının sıcaklıkları sırasıyla 40 °C ve 8 °C'de tutuldu. Hedeflenen monomerlerin MS/MS tespiti için çoklu reaksiyon izleme (MRM) modunda pozitif elektrosprey iyonizasyonu (ESI) çalıştırıldı. Yöntemin kütle spektrometresinde, kurutma gazı sıcaklığı 300 °C, kurutma gazı akışı 11 L/dk, nebulizör basıncı 40 psi, kılıf gazı sıcaklığı 400 °C, kılıf gazı akışı 11 L/dk ve kapiller gerilim voltajı 2500 V olarak ayarlandı. Monomerlerin MS / MS algılamaları, karşılık gelen öncü iyonun çarpışmaya bağlı ayrışması (CID) ile oluşturulan ürün iyon geçişleri ile sağlandı. Monomerlerin MS/MS saptamaları, karşılık gelen öncü iyonun çarpışma kaynaklı ayrışması (CID) ile oluşturulan ürün iyon geçişleriyle elde edildi. Monomerlerin MRM geçişleri, her bir öncü iyon-ürün iyon kütle geçişleri için ortak değeri temsil eden optimum parçalanma gerilimlerinde (FV) ve her bir ürün iyonu için voltaj (V) birimi cinsinden spesifik değeri gösteren optimum çarpışma enerjilerinde (CE) izlendi (Tablo 3-5). Analitin miktar tayini, ekstrakte edilmiş iyon kromatogramlarının (Şekil 3-21) pik alanları kullanılarak oluşturulan harici kalibrasyonların yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Veri toplama ve niceleme, sırasıyla Agilent MassHunter Acquisition ve Quantitative Analysis yazılım programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Salınıma uğrayan monomerlerin hesaplama alt limiti Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA için sırasıyla 0.05 ppb, 0.03 ppb ve 0.07 ppb (part per billion) olarak belirlendi ve bu limit değerinin üzerindeki değerler analiz edildi.

Tablo 3-5: Analitlerin MRM geçişleri ve MS/MS koşulları

Numune adı	Öncü iyon (m/z)	*Ürün iyon (m/z)	FV (V)	*CE(s) (V)	Polarite
Bis-GMA	530	495.6/143.4	110	10/28	Pozitif
Bis-EMA	795.1	113.1/245.5	175	30/24	Pozitif
UDMA	471	385.6/341.5	100	12/6	Pozitif

* Ürün iyonları olarak kütle geçişleri sırasıyla karşılık gelen CE değeriyle gösterilmektedir.



Şekil 3-21: Analiz edilen monomerlere ait pik değerlerin gösterildiği kromotogram

3.6. İstatistiksel Analiz

Elde edilen verilerin istatistiksel analizleri İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Bioistatistik Anabilim Dalı'nda SPSS 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) programı kullanılarak yapıldı. Elde edilen veriler “ortalama $\pm$ standart sapma (SS)” değerleri olarak gösterildi. Verilerin çok değişkenli normal dağılıma uygunluğu Box's M testi ile değerlendirildi. Zamana bağlı salınım değerlerinde çok değişkenli normal dağılım görülmediğinden tekrarlı ölçümler varyans analizinde (Repeated Measure ANOVA) çok değişkenli varyans analizi (Multivariate ANOVA) yaklaşımı ile Pillai's iz testi sonuçları kullanıldı (Alpar, 2011). Zamana göre değişimin değerlendirilmesinde tekrarlı ölçümler varyans analizi (Repeated Measure ANOVA) ve Bonferroni yöntemleri kullanıldı. Farklılığın tespit edildiği gruplarda, farklılığın hangi gruptan kaynaklandığının analiz edilmesi için Tukey HSD ve Tamhane çoklu karşılaştırma testleri yapıldı. Tüm testlerde anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak belirlendi.

4. BULGULAR

Çalışmada kullanılan reçine kompozit materyallerin farklı sürelerde (20 sn, 40 sn) halojen ve LED ışık cihazlarıyla polimerizasyonundan sonra %75'lik etanol solusyonunda 24 saat, 1 hafta, 1 ay ve 6 ay bekletilmesini takiben salınımına uğrayan Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA monomerlerinin ortalama ve standart sapma değerleri (ppb; part per billion olarak) Tablo 4-1'de gösterilmiştir. Çalışmada SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinde UDMA salınımı saptanmazken, kullanılan tüm reçine kompozit materyallerden Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA salınımı gerçekleşmiştir. Çok yönlü varyans analizi sonuçlarına göre kullanılan reçine kompozitlerden salınımına uğrayan Bis-GMA ($F=545526265,32$), Bis-EMA ($F=3551,534$) ve UDMA ($F=301908303,884$) monomerlerinin zamana bağlı olarak salınımlarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlemlendi ($p<0,001$). Bunun yanı sıra tüm monomerlerin salınım değerlerinin; salınım süresi * kompozit reçine ($p<0,001$), salınım süresi * ışık cihazı ($p<0,001$), salınım süresi * kompozit reçine * ışık cihazı ($p<0,001$), salınım süresi * kompozit reçine * ışık uygulama süresi ($p<0,001$), salınım süresi * ışık cihazı * ışık uygulama süresi ($p<0,001$) ve salınım süresi * kompozit reçine * ışık cihazı * ışık uygulama süresi etkileşimlerinden istatistiksel olarak anlamlı derecede etkilendiği gözlemlendi ($p<0,001$) (Tablo 4-2).

Tablo 4-1: Farklı sürelerde ve farklı ışık cihazlarıyla polimerize edilen reçine kompozitlerden salınan monomerlerin zamana göre salınım miktarları (Ortalama±standart sapma)

Reçine Kompozit	Monomer	Işık Kaynağı	20 sn				40 sn			
			24 saat	1 hafta	1 ay	6 ay	24 saat	1 hafta	1 ay	6 ay
Filtek Z250	Bis-GMA	Halojen	18519,26±0,70	12487,51±0,06	17855,84±0,30	26317,27±0,26	13828,63±0,69	11273,97±0,20	7215,22±0,33	9136,55±0,39
		LED	19647,20±0,70	10033,82±0,89	12083,89±0,83	25367,98±0,20	15507,56±0,69	10637,21±0,29	7829,32±0,34	5025,70±0,28
	Bis-EMA	Halojen	4,69±0,20	5,17±0,09	6,68±0,24	4,71±0,17	4,10±0,02	5,08±0,04	4,35±0,19	4,44±0,27
		LED	5,54±0,07	3,89±0,15	4,33±0,05	5,31±0,20	5,62±0,05	5,11±0,04	7,46±0,12	3,94±0,05
	UDMA	Halojen	22004,00±4,76	15320,93±0,53	21492,89±0,70	26011,03±0,16	17884,80±0,42	15505,84±0,13	10692,39±0,20	13550,45±0,12
		LED	21559,19±0,48	13057,57±0,39	15371,37±0,06	22573,97±0,46	17499,35±1,20	9743,13±0,38	7372,84±0,14	7530,99±0,41
Filtek Bulk Fill	Bis-GMA	Halojen	103,85±0,19	297,88±0,67	508,37±0,09	3267,27±0,37	275,16±0,17	407,84±0,49	6530,54±0,14	3238,61±0,13
		LED	251,90±0,66	564,31±0,15	6946,32±0,13	326,46±0,25	434,07±0,03	569,82±1,05	297,92±0,64	4602,77±0,14
	Bis-EMA	Halojen	3,95±0,22	4,13±0,25	4,01±0,11	5,76±0,14	3,97±0,17	4,15±0,02	4,29±0,07	6,25±0,12
		LED	4,37±0,19	3,96±0,14	4,22±0,17	3,94±0,10	3,95±0,10	4,06±0,08	4,06±0,24	4,41±0,06
	UDMA	Halojen	21556,47±0,24	16605,27±0,22	19699,37±0,24	14009,69±0,33	13956,09±0,58	8350,05±0,56	12385,00±0,11	7407,82±0,35
		LED	14145,15±0,16	12050,83±0,10	13443,61±0,41	11332,20±0,41	10831,19±0,10	6703,28±0,07	4906,34±0,25	5305,00±0,23
Tetrik Bulk Fill	Bis-GMA	Halojen	27430,09±0,36	31137,22±0,22	26954,48±0,28	26341,28±4,49	28544,66±0,16	21109,04±0,68	19041,80±0,46	21519,66±0,14
		LED	26451,18±0,44	23340,42±0,22	26599,36±0,43	26599,29±0,15	29851,28±0,13	17102,34±0,27	25971,26±0,04	16759,01±0,17
	Bis-EMA	Halojen	12,30±0,19	3,92±0,10	6,53±0,14	5,17±0,04	12,74±0,09	7,07±0,15	5,65±0,01	4,79±0,04
		LED	6,85±0,02	7,20±0,02	6,04±0,02	4,47±0,13	8,73±0,14	4,94±0,12	5,05±0,11	4,79±0,08
	UDMA	Halojen	29158,01±0,10	27501,83±0,12	25265,82±0,19	22331,14±0,06	28535,60±0,20	24828,20±0,09	24857,07±0,05	19168,77±0,12
		LED	26712,31±0,17	24909,47±0,26	25117,28±0,21	24080,59±0,35	28230,72±0,12	21138,95±0,23	23259,31±0,15	21997,21±0,10
SonicFill Bulk Fill	Bis-GMA	Halojen	5937,21±0,09	4414,50±0,40	9421,08±0,05	5822,10±0,06	6185,57±0,19	2267,26±0,08	7537,70±0,16	2354,20±0,25
		LED	4563,73±0,48	3349,18±0,19	2167,29±0,67	3379,05±0,43	3774,53±0,48	1546,10±0,28	8456,62±0,27	5124,30±0,52
	Bis-EMA	Halojen	8,59±0,07	8,82±0,09	8,15±0,01	7,87±0,01	8,93±0,12	5,32±0,13	6,70±0,12	4,29±0,05
		LED	6,96±0,04	8,75±0,08	6,13±0,02	6,65±0,06	6,07±0,09	5,31±0,07	6,20±0,06	7,06±0,01
	UDMA	Halojen	--	--	--	--	--	--	--	--
		LED	--	--	--	--	--	--	--	--

Tablo 4-2: Çok yönlü varyans analizi (Multivariate ANOVA) sonuçları

Monomer	Kaynak (Source)	Value	F	Hypothesis df	<i>p</i>
Bis-GMA	Salınım süresi	1,000	545526265,320	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit	2,997	22008,354	9,000	p<0,001
	Salınım süresi * Işık cihazı	1,000	53670820,527	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * ışık uyg. süresi	1,000	101583051,534	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit * ışık cihazı	2,970	2127,035	9,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit * ışık uyg.süresi	2,998	26709,438	9,000	p<0,001
	Salınım süresi * ışık cihazı * ışık uyg.süresi	1,000	20043980,088	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit * ışık cihazı * Işık uyg.süresi	2,978	2884,806	9,000	p<0,001
					<i>p</i>
Bis-EMA	Salınım süresi	0,994	3551,534	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit	2,918	761,575	9,000	p<0,001
	Salınım süresi * Işık cihazı	0,978	898,372	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * ışık uyg. süresi	0,941	331,026	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit * ışık cihazı	2,800	298,213	9,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit * ışık uyg.süresi	2,798	296,031	9,000	p<0,001
	Salınım süresi * ışık cihazı * ışık uyg.süresi	0,989	1879,202	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit * ışık cihazı * Işık uyg.süresi	2,882	523,055	9,000	p<0,001
					<i>p</i>
UDMA	Salınım süresi	1,000	301908303,884	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit	2,000	183032942,005	6,000	p<0,001
	Salınım süresi * Işık cihazı	1,000	255167411,344	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * ışık uyg. süresi	1,000	464613298,071	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit * ışık cihazı	2,000	193638382,264	6,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit * ışık uyg.süresi	2,000	186940663,666	6,000	p<0,001
	Salınım süresi * ışık cihazı * ışık uyg.süresi	1,000	8294557,519	3,000	p<0,001
	Salınım süresi * Kompozit * ışık cihazı * Işık uyg.süresi	2,000	40774713,264	6,000	p<0,001

4.1. Çalışmada kullanılan reçine kompozitlerden salınımına uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

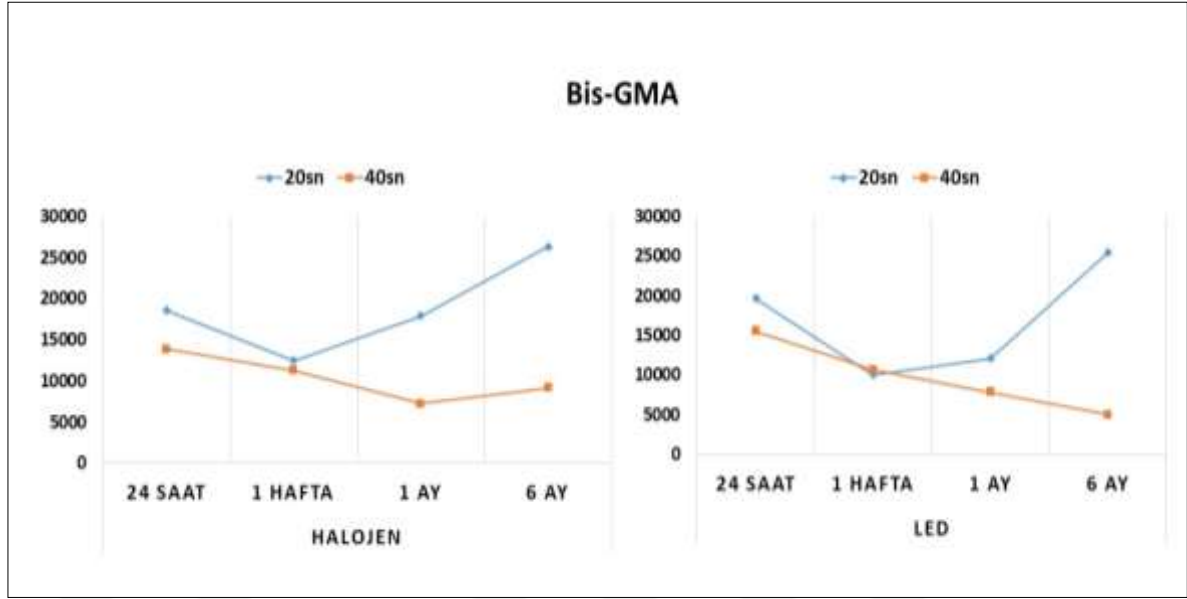
4.1.1. Filtek Z250 reçine kompozitinden salınımına uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçları

Filtek Z250 reçine kompozitinin halojen ve LED ışık cihazlarıyla 20 sn ve 40 sn polimerize edilmesinden sonra 24 saat, 1 hafta, 1 ay ve 6 aylık periyotlarda salınımına uğrayan Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA monomerlerin ölçüm sonuçları Tablo 4-3, 4-4, 4-5'te ve grafiksel olarak Şekil 4-1, 4-2 ve 4-3'de gösterilmiştir.

Tablo 4-3: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınımına uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).

Ölçüm periyodu	20 sn		40 sn	
	Halojen	LED	Halojen	LED
24 saat	18519,26 $\pm$ 0,70 ^a	19647,20 $\pm$ 0,70 ^e	13828,63 $\pm$ 0,69 ⁱ	15507,56 $\pm$ 0,69 ⁿ
1 hafta	12487,51 $\pm$ 0,06 ^b	10033,82 $\pm$ 0,89 ^f	11273,97 $\pm$ 0,20 ^j	10637,21 $\pm$ 0,29 ^p
1 ay	17855,84 $\pm$ 0,30 ^c	12083,89 $\pm$ 0,83 ^g	7215,22 $\pm$ 0,33 ^k	7829,32 $\pm$ 0,34 ^r
6 ay	26317,27 $\pm$ 0,26 ^d	25367,98 $\pm$ 0,20 ^h	9136,55 $\pm$ 0,39 ^m	5025,70 $\pm$ 0,28 ^s
p*	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Aynı sütunda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir. * Bonferroni karşılaştırması p<0,05.				

Filtek Z 250 reçine kompozitinden salınımına uğrayan Bis-GMA monomerinin zamana bağlı olarak salınım değerleri karşılaştırıldığında, hem halojen hem de LED ışık cihazlarının 20 sn ve 40 sn süre ile kullanılmasının tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak farklı salınım değerleri gösterdiği saptandı (p<0,001; Tablo 4-3). Işık cihazlarının 20 sn süre ile kullanıldığı gruplarda monomer salınım değerleri 1.hafta ve



Şekil 4-1: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

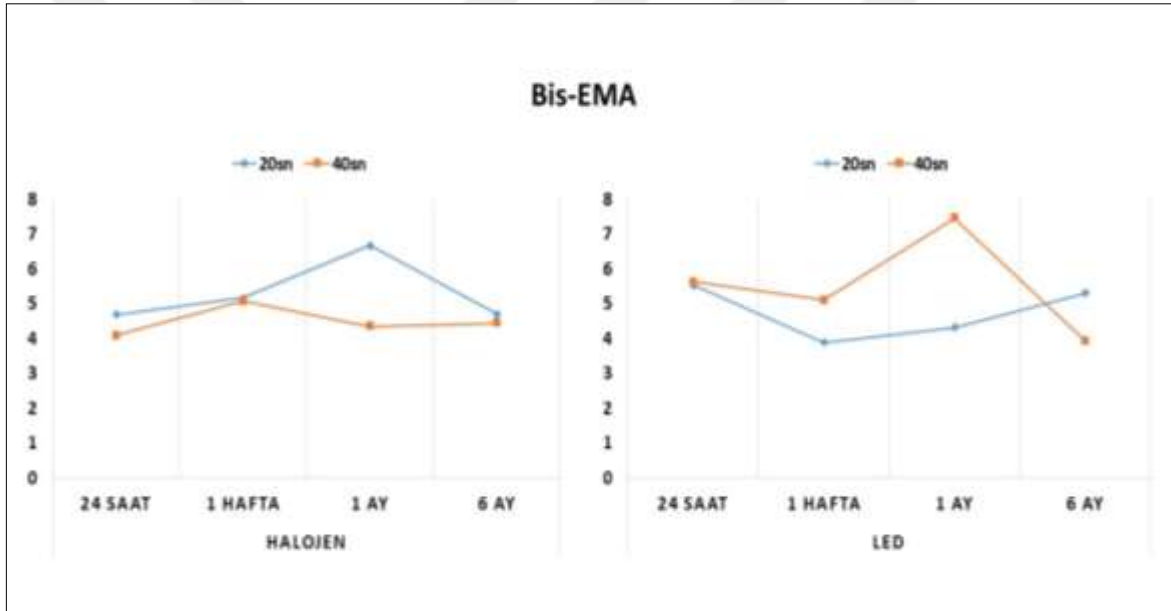
1. ay ölçüm periyotlarında azalma gösterse de 6.ay ölçüm periyodunda monomer salınımlarının arttığı tespit edildi. Işık cihazlarının 40 sn süre ile kullanıldığı gruplarda ise, halojen ışık cihazı grubunda 1.hafta ve 1. ay ölçüm periyotlarında salınım değerlerinde 24 saat ölçüm periyoduna göre istatistiksel olarak anlamlı azalma gözlenirken ($p<0,001$), 6.ay ölçüm periyodunda salınım değerinde artma gözlemlendi. Ancak, 24 saat ile kıyaslandığında 6.ay ölçüm periyodunda istatistiksel olarak anlamlı azalma olduğu tespit edildi ($p<0,001$). LED ışık cihazı grubunda ise 1.hafta, 1. ay ve 6.ay ölçüm periyotlarında, 24 saat ölçüm değerlerine göre anlamlı derecede salınım değerlerinde azalmalar olduğu tespit edildi ($p<0,001$).

Tablo 4-4: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).

Ölçüm periyodu	20 sn		40 sn	
	Halojen	LED	Halojen	LED
24 saat	4,69 $\pm$ 0,20 ^a	5,54 $\pm$ 0,69 ^a	4,10 $\pm$ 0,19 ^a	5,63 $\pm$ 0,40 ^a
1 hafta	5,17 $\pm$ 0,08 ^a	3,89 $\pm$ 0,14 ^b	5,08 $\pm$ 0,04 ^b	5,11 $\pm$ 0,03 ^b
1 ay	6,68 $\pm$ 0,23 ^c	4,33 $\pm$ 0,04 ^c	4,35 $\pm$ 0,18 ^a	7,46 $\pm$ 0,11 ^c
6 ay	4,71 $\pm$ 0,17 ^a	5,31 $\pm$ 0,20 ^a	4,44 $\pm$ 0,26 ^a	3,94 $\pm$ 0,03 ^d
Aynı sütunda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir. Bonferroni karşılaştırması p<0,05.				

Filtek Z250 reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-EMA monomerinin zamana bağlı olarak salınım değerleri Tablo 4-4'te ve grafiksel olarak Şekil 4-2'de gösterilmiştir. Halojen ışık cihazıyla 20 sn polimerize edilen gruplarda, 24 saat ölçüm periyodu ile 1 hafta ($p=0,100$) arasında anlamlı farklılık gözlenmezken ($p>0,05$), 1 ay ($p=0,003$) arasında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri tespit edildi ($p<0,05$). 24 saat ölçüm periyodu ile 6 aylık monomer salınımları arasında farklılık tespit edilmemiş olup ($p=1,000$; $p>0,05$), 1 hafta ve 1 ay ölçüm periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlemlendi ($p<0,05$). Halojen ışık cihazıyla 40 sn polimerize edilen gruplarda 24 saat ile 1 hafta ölçüm periyodu arasında monomer salınım değerlerinde artış gözlemlendi ve istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,001$). 24 saat ile 1.ay ($p=0,317$) ve 6.ay ($p=0,299$) ölçüm periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadı ($p>0,05$) ve bu ölçüm periyotlarında (1 ay, 6 ay), 1 haftalık monomer salınım değerlerine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha az salınım tespit edildi ($p<0,05$). LED ışık cihazı ile 20 sn polimerize edilen gruplarda, 24 saat ile 1 haftalık ve 1 aylık ölçüm periyotları arasında monomer salınım değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı derecede azalma gösterdiği tespit edildi ($p<0,001$). 1 haftalık salınım değerleri ile 1 aylık salınım değerleri arasında artış olduğu ve bu farkın

istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edildi ($p=0,021$; $p<0,05$). 24 saat ile 6 aylık ölçüm periyotları arasında monomer salınım değerleri açısından anlamlı farklılığın bulunmadığı gruplarda ($p=0,353$; $p>0,05$), 1 hafta ile 1 aylık monomer salınım değerlerinin ise 6 aylık değerlere oranla istatistiksel olarak anlamlı derecede az olduğu gözlemlendi ($p=0,004$; $p<0,05$). LED ışık cihazı ile 40 sn polimerize edilen gruplar karşılaştırıldığında, monomer salınımının 1.ay ölçüm periyodunda en yüksek salınım değerleri gösterdiği ve tüm ölçüm periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri olduğu belirlendi ($p<0,001$).



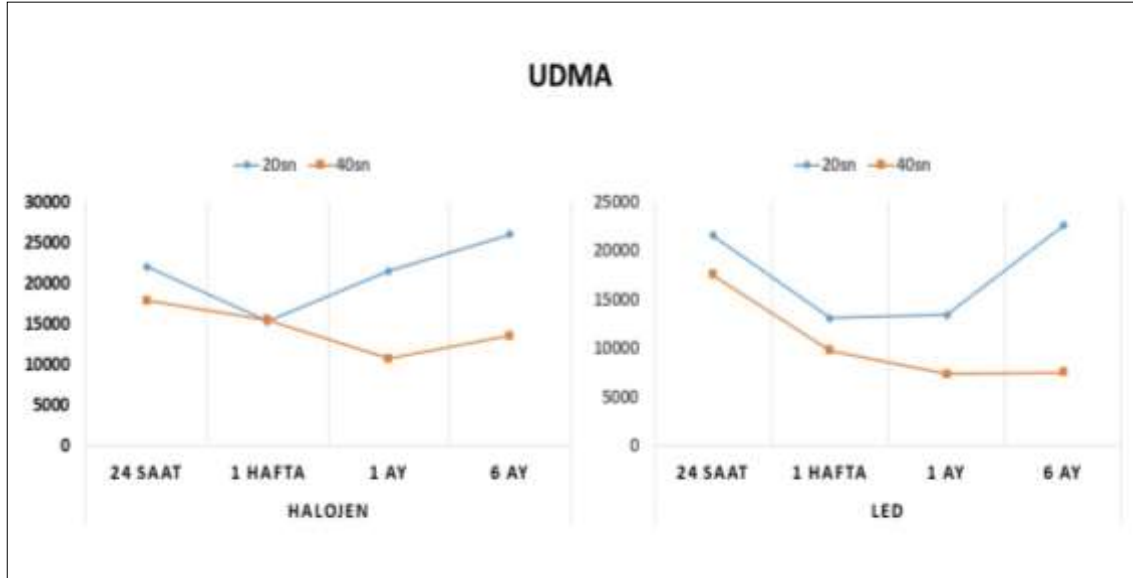
Şekil 4-2: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

Tablo 4-5: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınım uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).

Ölçüm periyodu	20 sn		40 sn	
	Halojen	LED	Halojen	LED
24 saat	22004,00 $\pm$ 4,76 ^a	21559,19 $\pm$ 0,48 ^a	17884,80 $\pm$ 0,42 ^a	17499,35 $\pm$ 1,20 ^a
1 hafta	15320,93 $\pm$ 0,53 ^b	13057,57 $\pm$ 0,39 ^b	15505,84 $\pm$ 0,13 ^b	9743,13 $\pm$ 0,38 ^b
1 ay	21492,89 $\pm$ 0,70 ^c	13443,61 $\pm$ 0,41 ^c	10692,39 $\pm$ 0,20 ^c	7372,84 $\pm$ 0,14 ^c
6 ay	26011,03 $\pm$ 0,16 ^d	22573,97 $\pm$ 0,46 ^d	13550,45 $\pm$ 0,12 ^d	7530,99 $\pm$ 0,41 ^d
<i>p</i> *	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Aynı sütunda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir. * Bonferroni karşılaştırması p<0,05.				

Filtek Z 250 reçine kompozitinden salınım uğrayan UDMA monomerinin zamana bağlı olarak salınım değerleri Tablo 4-5'te ve grafiksel olarak Şekil 4-3'te gösterilmiştir. Monomer salınım değerleri karşılaştırıldığında, hem halojen hem de LED ışık cihazlarının 20 sn ve 40 sn süre ile kullanılmasının tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri gösterdiği saptandı ($p<0,001$). Işık cihazlarının 20 sn süre ile kullanıldığı gruplarda monomer salınım değerleri 1.hafta ve 1. ay ölçüm periyotlarında 24 saatlik ölçüm periyoduna göre azalma gösterse de, 6.ay ölçüm periyodunda monomer salınımlarının anlamlı derecede arttığı tespit edildi ($p<0,001$). Işık cihazlarının 40 sn süre ile kullanıldığı gruplarda ise, halojen ışık cihazı grubunda 1.hafta ve 1. ay ölçüm periyotlarında salınım değerlerinde 24 saat ölçüm periyoduna göre istatistiksel olarak anlamlı azalma gözlenirken ($p<0,001$), 6.ay ölçüm periyodunda salınım değerinde artma gözlemlendi. Ancak, 24 saat ile kıyaslandığında 6.ay ölçüm periyodunda istatistiksel olarak anlamlı derecede daha az salınım olduğu tespit edildi ($p<0,001$). LED ışık cihazı grubunda ise 1.hafta, 1. ay ve

6.ay ölçüm periyotlarında, 24 saat ölçüm değerlerine göre anlamlı derecede salınım değerlerinde azalmalar olduğu tespit edildi ($p<0,001$).



Şekil 4-3: Filtek Z250 reçine kompozitinden salınım uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

4.1.2. Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınım uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçları

Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinin halojen ve LED ışık cihazlarıyla 20 sn ve 40 sn polimerize edilmesinden sonra 24 saat, 1 hafta, 1 ay ve 6 aylık periyotlarda salınım uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçları Tablo 4-6, 4-7, 4-8'de ve grafiksel olarak Şekil 4-4, 4-5 ve 4-6'da gösterilmiştir.

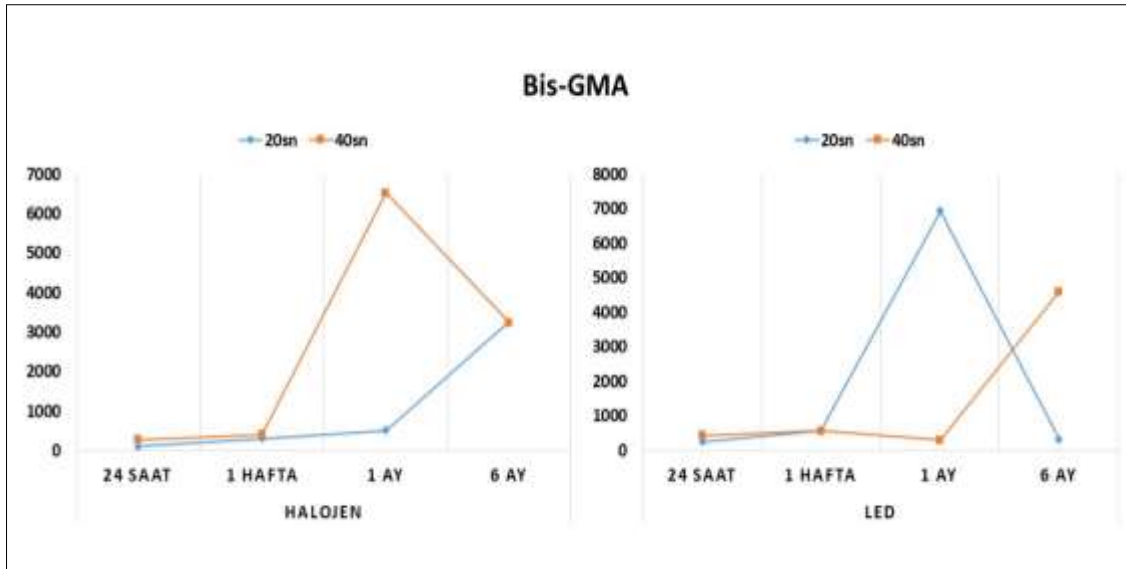
Tablo 4-6: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama±SS).

Ölçüm periyodu	20 sn		40 sn	
	Halojen	LED	Halojen	LED
24 saat	103,85±0,19 ^a	251,90±0,66 ^a	275,16±0,17 ^a	434,07±0,03 ^a
1 hafta	297,88±0,67 ^b	564,31±0,15 ^b	407,84±0,49 ^b	569,82±1,05 ^b
1 ay	508,37±0,09 ^c	6946,32±0,13 ^c	6530,54±0,14 ^c	297,92±0,64 ^c
6 ay	3267,27±0,37 ^d	326,46±0,25 ^d	3238,61±0,13 ^d	4602,77±0,14 ^d
<i>p</i> *	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Aynı sütunda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir. * Bonferroni karşılaştırması p<0,05.				

Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-GMA monomerinin zamana bağlı olarak salınım değerleri Tablo 4-6'da ve grafiksel olarak Şekil 4-4'te gösterilmiştir. Halojen ışık cihazıyla 20 sn polimerize edilen gruplarda, tüm ölçüm periyotlarında monomer salınım miktarı istatistiksel olarak anlamlı şekilde artış göstermiştir ($p<0,001$). LED ışık cihazıyla 20 sn polimerize edilen gruplarda 1.ay ölçüm periyoduna kadar salınım miktarları anlamlı derecede artış göstermiş ($p<0,001$) ve en yüksek salınım değeri bu ölçüm periyodunda tespit edilmiştir. 6. Ay ölçüm periyodunda salınım miktarı, 1.ay ölçüm periyoduna göre önemli miktarda azalma göstermiştir ($p<0,001$).

Halojen ışık cihazıyla 40 sn polimerize edilen gruplarda tüm ölçüm periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri tespit edildi ($p<0,001$). Salınım miktarı 1.ay ölçüm periyodunda en yüksek değerde tespit edildi ve 6.ayda salınım miktarı 1.ay salınım miktarına göre anlamlı derecede düşüş gösterse de ($p<0,001$), salınım miktarı 24 saat ve 1 hafta ölçüm periyoduna göre anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,001$). LED ışık cihazıyla 40 sn polimerize edilen gruplarda tüm

ölçüm periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım miktarları tespit edildi ($p<0,001$). Salınım miktarı 1.ay ölçüm periyodunda en düşük olarak tespit edilmesine rağmen, 6.ay ölçüm periyodunda salınım miktarı anlamlı derecede artış gösterdi ($p<0,001$).



Şekil 4-4: Filtek Bulk Fill reçine kompozitinden salınımına uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

Tablo 4-7: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama±SS).

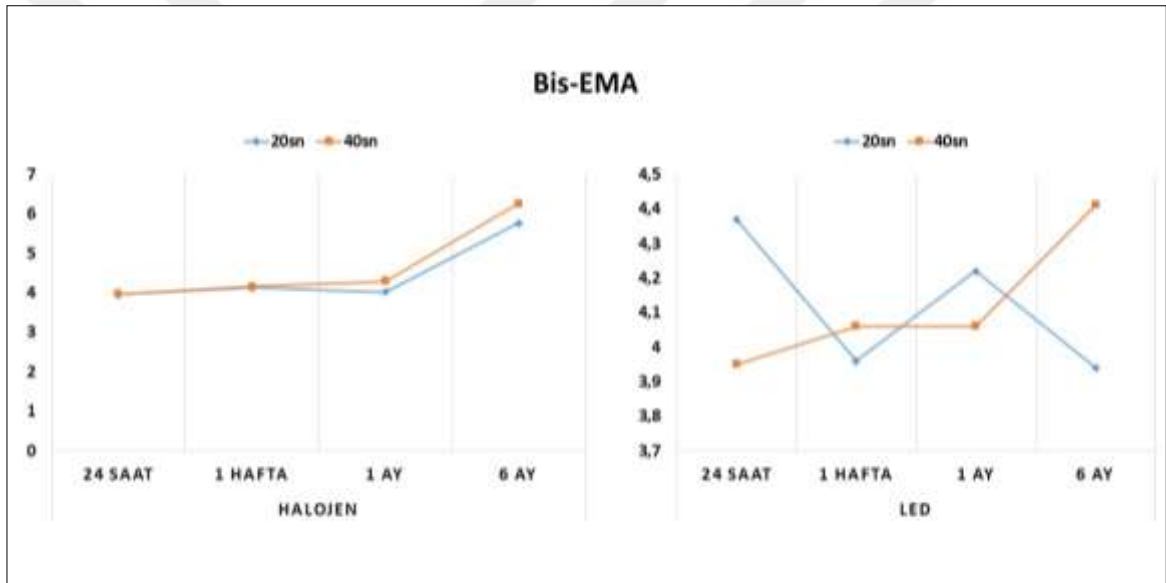
Ölçüm periyodu	20 sn		40 sn	
	Halojen	LED	Halojen	LED
24 saat	3,95±0,22 ^{a,b}	4,37±0,19 ^{a,b}	3,97±0,17 ^a	3,95±0,10 ^a
1 hafta	4,13±0,25 ^a	3,96±0,14 ^{a,c}	4,15±0,02 ^b	4,06±0,08 ^a
1 ay	4,011±0,11 ^b	4,22±0,17 ^b	4,29±0,07 ^c	4,06±0,24 ^a
6 ay	5,76±0,14 ^c	3,94±0,10 ^c	6,25±0,12 ^d	4,41±0,06 ^b
Aynı sütunda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir. Bonferroni karşılaştırması p<0,05.				

Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-EMA monomerinin zamana bağlı olarak salınım değerleri Tablo 4-7’de ve grafiksel olarak Şekil 4-5’de gösterilmiştir. Halojen ışık cihazıyla 20 sn polimerize edilen gruplarda, 24 saat ölçüm periyodu ile 1 hafta ($p=0,661$) ve 1 ay ($p=1.000$) ölçüm periyotları arasında salınım miktarı açısından anlamlı bir farklılık tespit edilmedi ($p>0,05$). 1 hafta ile 1 ay ölçüm periyotları arasında anlamlı farklılık tespit edildi ($p=0,002$; $p<0,05$). 6.ay ölçüm periyodunda monomer salınım miktarı tüm ölçüm periyotlarına oranla anlamlı derecede artış gösterdi ($p<0,001$). LED ışık cihazıyla 20 sn polimerize edilen gruplarda salınım miktarları açısından 24 saat ile 1 hafta ($p=0,072$) ve 1 ay ($p=0,874$) ölçüm periyotları arasında anlamlı farklılık tespit edilmedi ($p>0,05$). 24 saat ile 6 ay ölçüm periyodu arasında anlamlı farklılık tespit edildi ($p=0,041$; $p<0,05$). 1.ay ölçüm periyodunda salınım miktarı 1 hafta ölçüm periyoduna göre artış gösterdi ve bu artış oranı istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0,001$). 6.ay ölçüm periyodunda salınım miktarında azalma gözlemlendi ve belirlenen salınım miktarının 24 saat ($p<0,05$) ile 1. ay ($p<0,001$) ölçüm periyotları ile anlamlı farklılık gösterdiği tespit edildi.

Halojen ışık cihazı ile 40 sn polimerize edilen gruplarda, monomer salınım miktarının tüm ölçüm periyotlarında artış gösterdiği ve istatistiksel olarak anlamlı

farklılıklar gösterdiği belirlendi ($p<0,001$). LED ışık cihazı ile 40 sn polimerize edilen gruplarda ise salınım miktarı açısından 24 saat, 1 hafta ve 1 ay ölçüm periyotları arasında anlamlı farklılık gözlenmezken ($p>0,05$), 6.ay ölçüm periyodunda salınım miktarında artma olduğu ve bu artışın diğer ölçüm periyotları ile anlamlı farklılık gösterdiği belirlendi ($p<0,05$).

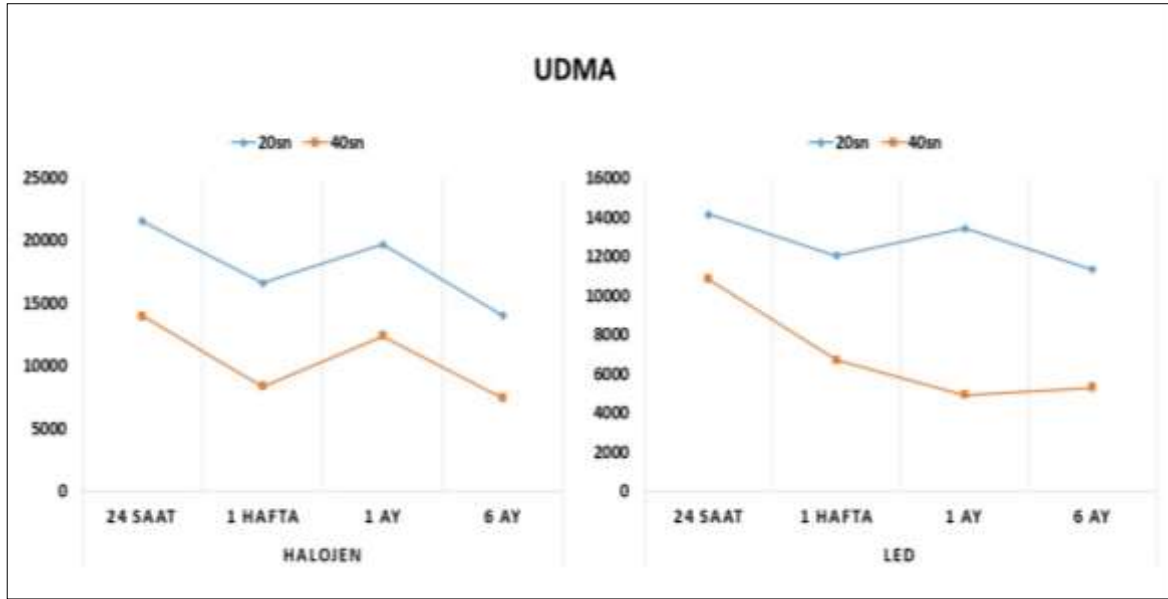
Şekil 4-5: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınıma uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.



Tablo 4-8: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınma uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).

Ölçüm periyodu	20 sn		40 sn	
	Halojen	LED	Halojen	LED
24 saat	21556,47 $\pm$ 0,24 ^a	14145,15 $\pm$ 0,16 ^a	13956,09 $\pm$ 0,58 ^a	10831,19 $\pm$ 0,10 ^a
1 hafta	16605,27 $\pm$ 0,22 ^b	12050,83 $\pm$ 0,1 ^b	8350,05 $\pm$ 0,56 ^b	6703,28 $\pm$ 0,07 ^b
1 ay	19699,37 $\pm$ 0,24 ^c	13443,61 $\pm$ 0,41 ^c	12385,00 $\pm$ 0,11 ^c	4906,34 $\pm$ 0,25 ^c
6 ay	14009,69 $\pm$ 0,33 ^d	11332,20 $\pm$ 0,41 ^d	7407,82 $\pm$ 0,35 ^d	5305,00 $\pm$ 0,23 ^d
<i>p</i> *	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Aynı sütunda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir. *Bonferroni karşılaştırması p<0,05.				

Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınma uğrayan UDMA monomerinin zamana bağlı olarak salınım değerleri Tablo 4-8’de ve grafiksel olarak Şekil 4-6’da gösterilmiştir. Monomer salınım değerleri karşılaştırıldığında, hem halojen hem de LED ışık cihazlarının 20 sn ve 40 sn süre ile kullanılmasının tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak farklı salınım değerleri gösterdiği saptandı ($p<0,001$). LED ışık cihazı ile 40 sn polimerize edilen grup dışında, halojen ve LED ışık cihazlarının 20 sn ve 40 sn süre ile kullanıldığı gruplarda monomer salınım değerleri 1. ay ölçüm periyotlarında 1 haftalık ölçüm periyotlarına göre artma gösterse de, 6.ay ölçüm periyodunda monomer salınımlarının anlamlı derecede azaldığı tespit edildi ($p<0,001$). Sadece LED ışık cihazı ile 40 sn polimerize edilen gruplarda 6.ay ölçüm periyodunda 1.ay ölçümüne göre anlamlı bir artış olduğu tespit edildi ($p<0,001$).



Şekil 4-6: Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınma uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

4.1.3. Tetrik EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçları

Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinin halojen ve LED ışık cihazlarıyla 20 sn ve 40 sn polimerize edilmesinden sonra 24 saat, 1 hafta, 1 ay ve 6 aylık periyotlarda salınma uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçları Tablo 4-9, 4-10, 4-11’de ve grafiksel olarak Şekil 4-7, 4-8 ve 4-9’da gösterilmiştir.

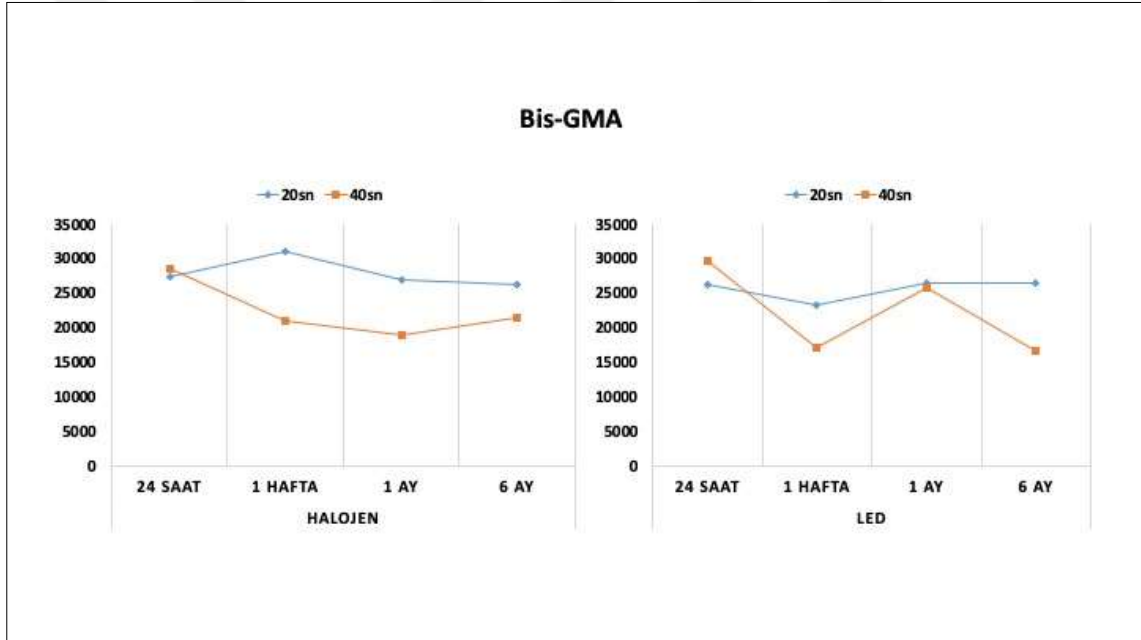
Tablo 4-9: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınım uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).

Ölçüm periyodu	20 sn		40 sn	
	Halojen	LED	Halojen	LED
24 saat	27430,09 $\pm$ 0,36 ^a	26451,18 $\pm$ 0,44 ^a	28544,66 $\pm$ 0,16 ^a	29851,28 $\pm$ 0,13 ^a
1 hafta	31137,22 $\pm$ 0,22 ^b	23340,42 $\pm$ 0,22 ^b	21109,04 $\pm$ 0,68 ^b	17102,34 $\pm$ 0,27 ^b
1 ay	26954,48 $\pm$ 0,28 ^c	26599,36 $\pm$ 0,43 ^c	19041,80 $\pm$ 0,46 ^c	25971,26 $\pm$ 0,04 ^c
6 ay	26341,28 $\pm$ 4,49 ^c	26599,29 $\pm$ 0,15 ^c	21519,66 $\pm$ 0,14 ^d	16759,01 $\pm$ 0,17 ^d
Aynı sütunda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir. *Bonferroni karşılaştırması p<0,05.				

Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınım uğrayan Bis-GMA monomerinin zamana bağlı olarak salınım değerleri Tablo 4-9'da ve grafiksel olarak Şekil 4-7'de gösterilmiştir. Halojen ışık cihazıyla 20 sn polimerize edilen gruplarda, 24 saat ölçüm periyodu ile 1 hafta ($p<0,001$), 1 ay ($p<0,001$) ve 6 ay ($p<0,05$) ölçüm periyotları arasında salınım miktarı açısından anlamlı bir farklılık tespit edildi. 1.hafta ölçüm periyodunda salınım miktarı 24 saat ölçüm periyoduna göre istatistiksel olarak anlamlı bir artış gösterirken, 1.ay ve 6. ay ölçüm periyotlarında salınım miktarı azalma gösterdi. 1.ay ve 6.ay ölçüm periyotları arasında salınım miktarı açısından anlamlı bir farklılık tespit edilmedi ($p=0,163$; $p>0,05$). LED ışık cihazıyla 20 sn polimerize edilen gruplarda 24 saat ölçüm periyoduna göre 1.hafta ölçüm periyodunda salınım miktarında anlamlı derecede azalma olduğu tespit edildi ($p<0,001$). 1.ay ölçüm periyodunda salınım miktarı 24 saat ve 1.hafta ölçüm periyoduna göre anlamlı bir artış gösterirken ($p<0,001$), 6.ay ölçüm miktarı ile benzer salınım değerlerine sahip olduğu gözlemlendi ($p=1,000$; $p>0,05$).

Halojen ışık cihazıyla 40 sn polimerize edilen gruplarda, tüm ölçüm periyotlarında anlamlı derecede farklı salınım miktarları tespit edildi ($p<0,001$). Salınım miktarı 24

saat ölçüm periyoduna göre 1. hafta ve 1.ay ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı bir azalma gösterdi ($p<0,001$). 6. ay ölçüm periyodunda, 1.hafta ve 1.ay ölçümlerine göre salınım miktarının anlamlı miktarda arttığı tespit edildi ($p<0,001$). LED ışık cihazı ile 40 sn polimerize edilen gruplarda tüm ölçüm periyotlarında anlamlı şekilde farklı salınım miktarları tespit edildi ($p<0,001$). 24 saat ölçüm periyoduna göre 1.haftada anlamlı derecede salınım miktarı azalırken, 1.ay da salınım miktarında anlamlı bir artış ve 6.ay ölçüm periyodunda ise anlamlı şekilde en düşük salınım miktarı tespit edildi ($p<0,001$).



Şekil 4-7: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınımına uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

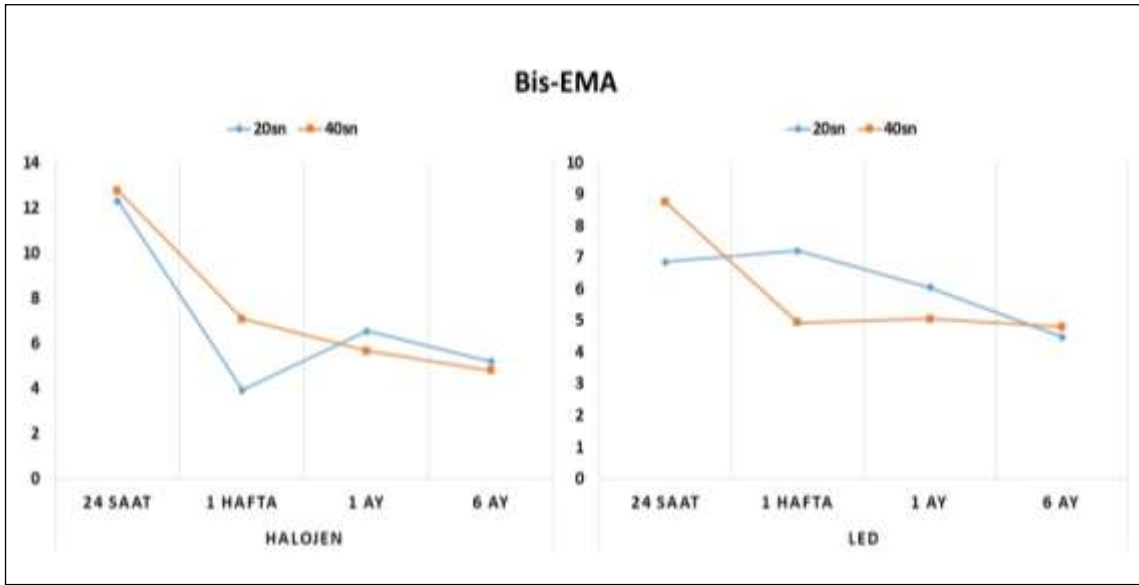
Tablo 4-10: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınım uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).

Ölçüm periyodu	20 sn		40 sn	
	Halojen	LED	Halojen	LED
24 saat	12,30 $\pm$ 0,19 ^a	6,85 $\pm$ 0,02 ^a	12,74 $\pm$ 0,09 ^a	8,73 $\pm$ 0,14 ^a
1 hafta	3,92 $\pm$ 0,10 ^b	7,20 $\pm$ 0,02 ^b	7,07 $\pm$ 0,15 ^b	4,94 $\pm$ 0,12 ^b
1 ay	6,53 $\pm$ 0,14 ^c	6,04 $\pm$ 0,02 ^c	5,65 $\pm$ 0,01 ^c	5,05 $\pm$ 0,11 ^c
6 ay	5,17 $\pm$ 0,04 ^d	4,47 $\pm$ 0,13 ^d	4,79 $\pm$ 0,04 ^d	4,79 $\pm$ 0,08 ^d
<i>p</i> *	<i>p</i> <0,001	<i>p</i> <0,001	<i>p</i> <0,001	<i>p</i> <0,001
Aynı sütunda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir. *Bonferroni karşılaştırması <i>p</i> <0,05.				

Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınım uğrayan Bis-EMA monomerinin zamana bağlı olarak salınım değerleri Tablo 4-10'da ve grafiksel olarak Şekil 4-8'de gösterilmiştir. Halojen ışık cihazı ile 20 sn polimerize edilen gruplarda, tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri tespit edildi (*p*<0,001). En yüksek salınım değeri 24 saat ölçüm periyodunda tespit edilirken, en düşük salınım miktarı 1.hafta ölçüm periyodunda tespit edildi (*p*<0,001). 6.ay ölçüm periyodunda tespit edilen salınım miktarının 24 saat ölçüm periyoduna göre anlamlı derecede düşük olduğu tespit edildi (*p*<0,001). LED ışık cihazı ile 20 sn polimerize edilen gruplarda, salınım miktarı 1.haftada artış gösterse de 1.ay ve 6.ay ölçüm periyotlarında anlamlı derecede azalarak devam ettiği ve en düşük salınım miktarının 6.ay ölçüm periyodunda olduğu tespit edildi (*p*<0,001).

Halojen ışık cihazı ile 40 sn polimerize edilen gruplarda tüm ölçüm periyotlarında salınım değerlerinin azalarak devam ettiği ve en düşük salınım miktarının 6.ay ölçüm periyodunda olduğu belirlendi (*p*<0,001). LED ışık cihazı ile 40 sn polimerize edilen gruplarda, tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım

değerlerinin olduğu gözlemlendi ($p<0,001$). 24 saat ölçüm periyoduna göre, 1 hafta, 1 ay ve 6 ay ölçüm periyotları arasında ileri derecede anlamlı farklı salınım değerleri tespit edilirken ($p<0,001$), 1.hafta ve 1.ay ölçüm periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri olduğu tespit edildi ($p=0,003$; $p<0,05$).

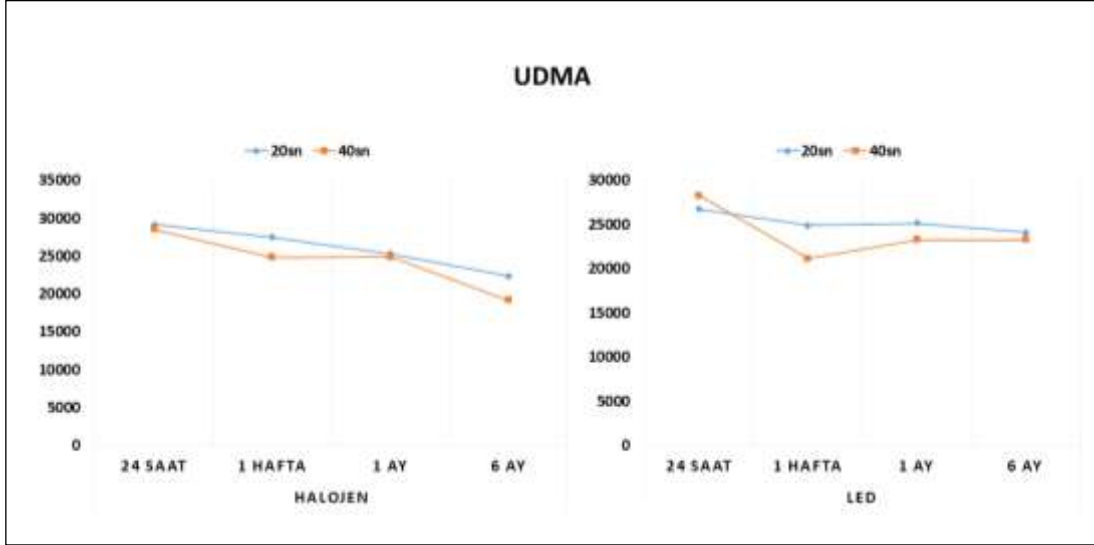


Şekil 4-8: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

Tablo 4-11: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).

Ölçüm periyodu	20 sn		40 sn	
	Halojen	LED	Halojen	LED
24 saat	29158,01 $\pm$ 0,10 ^a	26712,31 $\pm$ 0,17 ^a	28535,60 $\pm$ 0,20 ^a	28230,72 $\pm$ 0,12 ^a
1 hafta	27501,83 $\pm$ 0,12 ^b	24909,47 $\pm$ 0,26 ^b	24828,20 $\pm$ 0,09 ^b	21138,95 $\pm$ 0,23 ^b
1 ay	25265,82 $\pm$ 0,19 ^c	25117,28 $\pm$ 0,21 ^c	24857,07 $\pm$ 0,05 ^c	23259,31 $\pm$ 0,15 ^c
6 ay	22331,14 $\pm$ 0,06 ^d	24080,59 $\pm$ 0,35 ^d	19168,77 $\pm$ 0,12 ^d	21997,21 $\pm$ 0,10 ^d
<i>p</i> *	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Aynı sütunda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir. *Bonferroni karşılaştırması p<0,05.				

Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan UDMA monomerinin zamana bağlı olarak salınım değerleri Tablo 4-11’de ve grafiksel olarak Şekil 4-9’da gösterilmiştir. Halojen ve LED ışık cihazları ile hem 20 sn hem de 40 sn polimerize edilen gruplarda, tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri tespit edildi ($p<0,001$). Farklı sürelerde polimerize edilen tüm gruplarda, 24 saat ölçüm periyoduna göre 6.ay ölçüm periyodunda monomer salınım miktarı açısından anlamlı derecede azalma olduğu tespit edildi ($p<0,001$).



Şekil 4-9: Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

4.1.4. SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçları

SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinin halojen ve LED ışık cihazlarıyla 20 sn ve 40 sn polimerize edilmesinden sonra 24 saat, 1 hafta, 1 ay ve 6 aylık periyotlarda salınma uğrayan monomerlerin ölçüm sonuçları Tablo 4-12, 4-13’de ve grafiksel olarak Şekil 4-10 ve 4-11’de gösterilmiştir. Bu reçine kompozit grubunda, UDMA monomerinin salınımı tespit edilmemiştir.

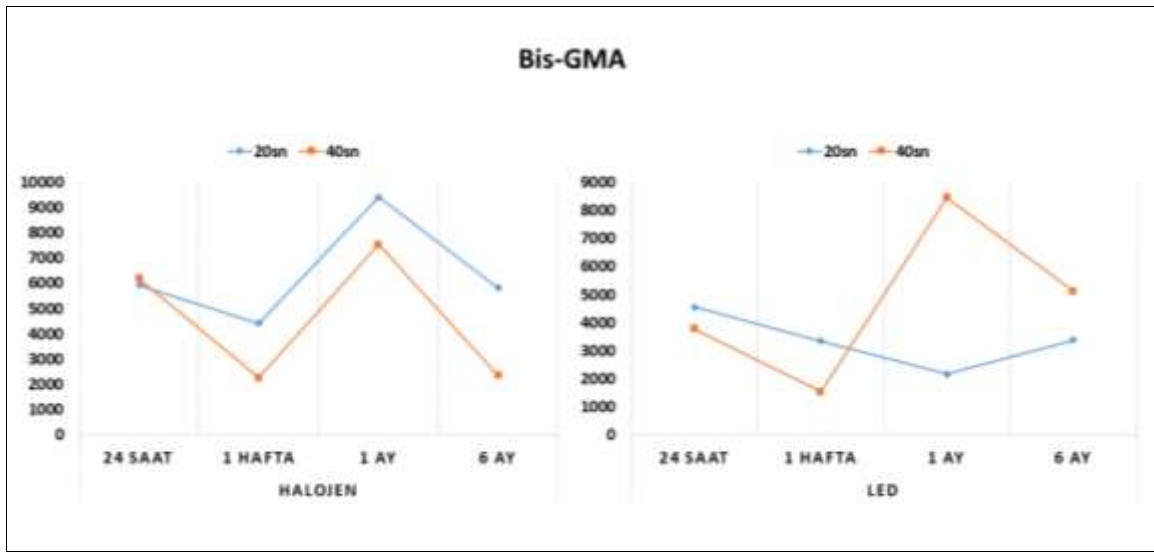
Tablo 4-12: SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama $\pm$ SS).

Ölçüm periyodu	20 sn		40 sn	
	Halojen	LED	Halojen	LED
24 saat	5937,21 $\pm$ 0,09 ^a	4563,73 $\pm$ 0,48 ^a	6185,57 $\pm$ 0,19 ^a	3774,53 $\pm$ 0,48 ^a
1 hafta	4414,50 $\pm$ 0,40 ^b	3349,18 $\pm$ 0,19 ^b	2267,26 $\pm$ 0,08 ^b	1546,10 $\pm$ 0,28 ^b
1 ay	9421,08 $\pm$ 0,05 ^c	2167,29 $\pm$ 0,67 ^c	7537,70 $\pm$ 0,16 ^c	8456,62 $\pm$ 0,27 ^c
6 ay	5822,10 $\pm$ 0,06 ^d	3379,05 $\pm$ 0,43 ^d	2354,20 $\pm$ 0,25 ^d	5124,30 $\pm$ 0,52 ^d
<i>p</i> *	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Aynı sütunda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir. *Bonferroni karşılaştırması p<0,05.				

SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-GMA monomerinin zamana bağlı olarak salınım değerleri Tablo 4-12’de ve grafiksel olarak Şekil 4-10’da gösterilmiştir. Halojen ışık cihazı ile 20 sn polimerize edilen gruplarda, tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri tespit edildi ($p<0,001$). En yüksek salınım değeri 1.ay ölçüm periyodunda tespit edilirken ($p<0,001$), 6.ay ölçüm periyodu salınım değerlerinin 24 saat ölçüm periyodundan istatistiksel olarak anlamlı derecede daha az olduğu tespit edildi ($p<0,001$). LED ışık cihazı ile 20 sn polimerize edilen gruplarda salınım değerleri 24 saat ölçüm periyodundan itibaren 1.ay salınım periyoduna kadar anlamlı derecede azalma gösterirken ($p<0,001$), 6.ay periyodunda tekrar artma göstermiş ancak bu ölçüm periyodundaki salınım miktarının 24 saat ölçüm periyoduna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha az olduğu belirlendi ($p<0,001$).

Halojen ışık cihazı ile 40 sn polimerize edilen gruplarda tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri tespit edildi. 1.hafta ölçüm periyodunda en düşük salınım değeri tespit edilirken ($p<0,001$), en

yüksek salınım değerinin 1.ay ölçüm periyodunda olduğu tespit edildi ($p<0,001$). 6. Ay ölçüm periyodunda 24 saat ölçüm periyoduna göre salınım miktarının anlamlı derecede daha az olduğu belirlendi ($p<0,001$). LED ışık cihazı ile 40 sn polimerize edilen gruplarda 1.hafta ölçüm periyodunda en düşük salınım miktarı tespit edilirken, 1.ay ölçüm periyodunda en yüksek salınım miktarı tespit edildi ($p<0,001$). 6. Ay ölçüm periyodunda belirlenen salınım miktarının 24 saat ölçüm periyoduna göre anlamlı derecede daha yüksek olduğu gözlemlendi ($p<0,001$).



Şekil 4-10: SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınıma uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

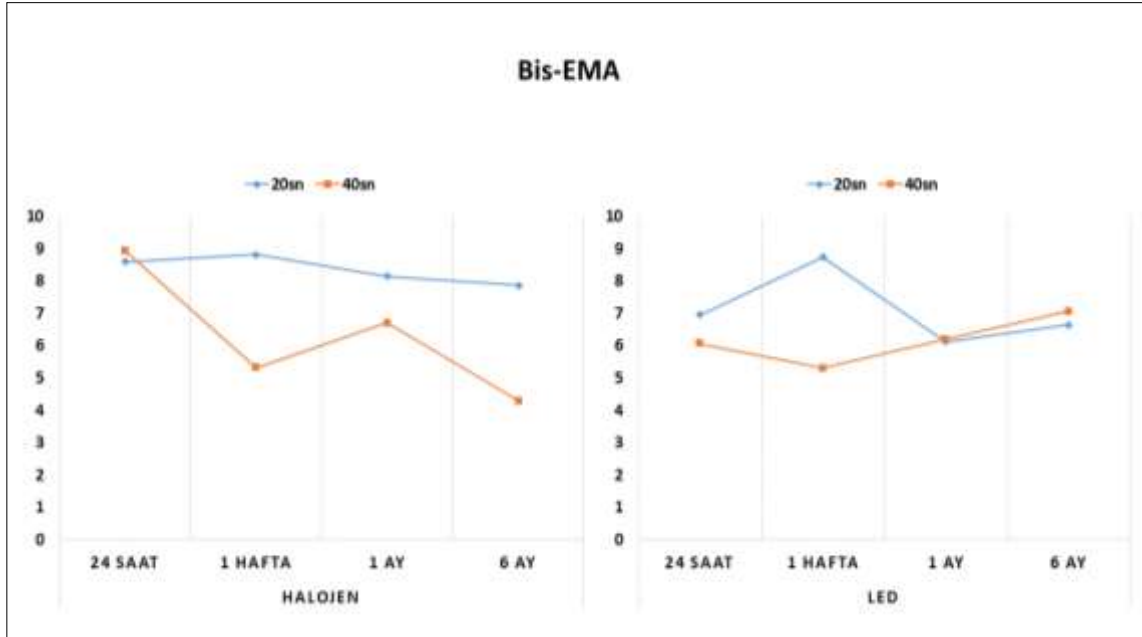
Tablo 4-13: SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınımına uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerleri (ppb; ortalama±SS).

Ölçüm periyodu	20 sn		40 sn	
	Halojen	LED	Halojen	LED
24 saat	8,59±0,07 ^a	6,96±0,04 ^a	8,93±0,12 ^a	6,07±0,09 ^a
1 hafta	8,82±0,09 ^b	8,75±0,08 ^b	5,32±0,13 ^b	5,31±0,07 ^b
1 ay	8,15±0,01 ^c	6,13±0,02 ^c	6,70±0,12 ^c	6,20±0,06 ^c
6 ay	7,87±0,01 ^d	6,65±0,06 ^d	4,29±0,05 ^d	7,06±0,01 ^d
<i>p</i> *	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Aynı sütunda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel olarak farklılığı göstermektedir. *Bonferroni karşılaştırması p<0,05.				

SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınımına uğrayan Bis-EMA monomerinin zamana bağlı olarak salınım değerleri Tablo 4-13'te ve grafiksel olarak Şekil 4-11'de gösterilmiştir. Halojen ışık cihazı ile 20 sn polimerize edilen gruplarda, tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri tespit edildi ($p<0,001$). En yüksek salınım değeri 1.hafta ölçüm periyodunda belirlenirken ($p<0,001$), 6.ay ölçüm periyodu salınım değerlerinin, 24 saat ölçüm periyodundan istatistiksel olarak anlamlı derecede daha az olduğu tespit edildi ($p<0,001$). LED ışık cihazı ile 20 sn polimerize edilen gruplarda, tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri tespit edildi ($p<0,001$). En yüksek salınım değeri 1.hafta ölçüm periyodunda saptanırken ($p<0,001$), 6.ay ölçüm periyodu salınım değerlerinin 24 saat ölçüm periyodundan istatistiksel olarak anlamlı derecede daha az olduğu tespit edildi ($p<0,001$).

Halojen ışık cihazı ile 40 sn polimerize edilen gruplarda tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı salınım değerleri tespit edildi. En yüksek salınım değeri 24 saat ölçüm periyodunda tespit edilirken, en düşük salınım değerinin 6.ay ölçüm periyodunda olduğu tespit edildi ($p<0,001$). LED ışık cihazı ile 40

sn polimerize edilen gruplarda 1.hafta ölçüm periyodunda en düşük salınım miktarı tespit edilirken, 1.aydan itibaren salınım miktarının arttığı ve 6.ay ölçüm periyodunda en yüksek salınım miktarının olduğu belirlendi ($p<0,001$).



Şekil 4-11: SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınma uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotları, ışık cihazları ve uygulama sürelerine göre salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

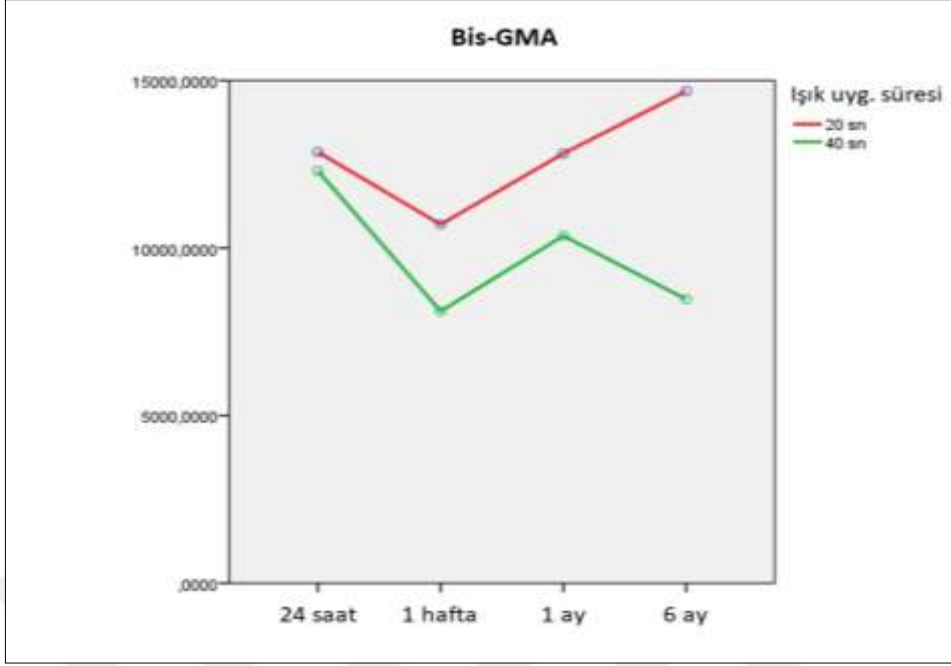
4.2. Işık uygulama sürelerine göre monomer salınım değerlerinin değerlendirilmesi

Işık uygulama sürelerine göre (20 sn, 40 sn) monomer salınım değerleri, ışık cihazlarından bağımsız olarak değerlendirildi. Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA monomerlerinin 20 sn ve 40 sn ışık uygulamalarındaki toplam monomer salınım değerlerinin ortalaması üzerinden ikili karşılaştırmalar yapıldı. Salınma uğrayan monomerlerin ortalama değerleri, alt ve üst sınır değerleri ile istatistiksel farklılıklarının karşılaştırılması Tablo 4-14'te ve her bir monomerin ışık uygulama sürelerine göre ölçüm periyotlarındaki salınım değerleri grafiksel olarak Şekil 4-12, 4-13 ve 4-14'te gösterilmiştir.

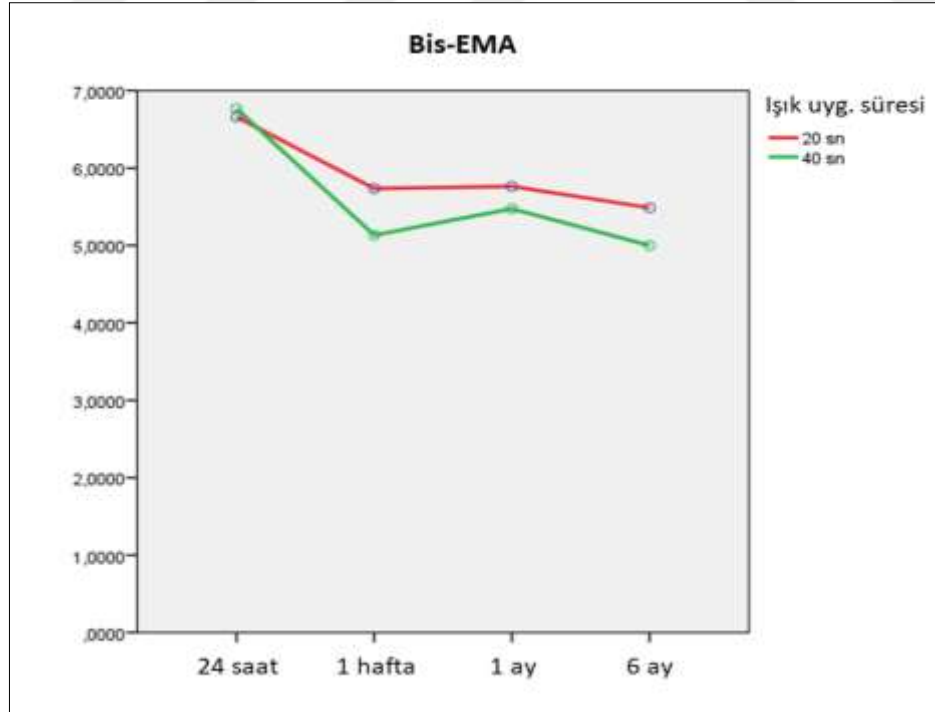
Tablo 4-14: Işık uygulama sürelerine göre salınım uğrayan monomerlerin toplam ortalama salınım değerleri ve istatistiksel karşılaştırmaları

Monomer	Işık uyg. süresi	Ortalama	Std.hata	%95 güven aralığı (CI)	
				Alt sınır	Üst sınır
Bis-GMA	20 sn	12765,21 ^a	3,978	12757,26	12773,15
	40 sn	9811,13 ^b	3,978	9803,191	9819,083
Bis-EMA	20 sn	5,91 ^c	0,005	5,901	5,923
	40 sn	5,59 ^d	0,005	5,582	5,604
UDMA	20 sn	20221,25 ^e	0,070	20221,11	20221,39
	40 sn	15068,354 ^f	0,070	15068,21	15068,49
Her bir monomer için aynı sütunda gösterilen farklı küçük harfler istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,05, Bonferroni testi)					

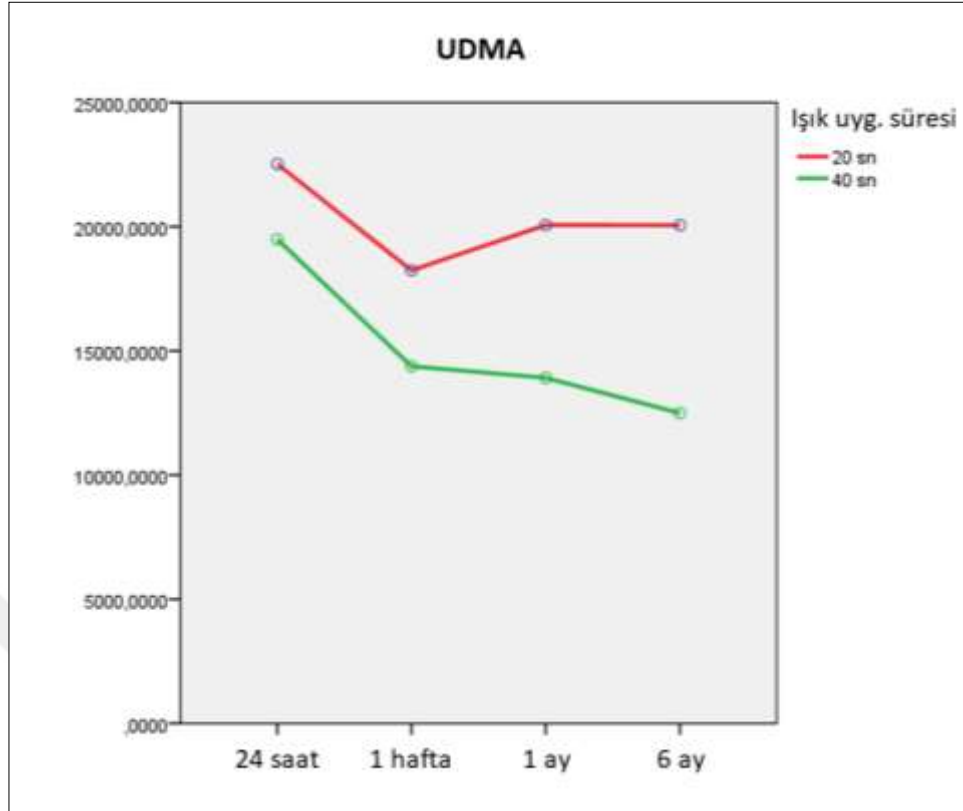
Işık uygulama sürelerine göre her bir monomerin salınım değerleri karşılaştırıldığında, 40 sn ışık uygulama süresinin 20 sn ışık uygulama süresine oranla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha az monomer salınımına neden olduğu tespit edildi (p<0,001).



Şekil 4-12: Bis-GMA monomerinin ışık uygulama sürelerine göre farklı ölçüm periyotlarındaki salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.



Şekil 4-13: Bis-EMA monomerinin ışık uygulama sürelerine göre farklı ölçüm periyotlarındaki salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.



Şekil 4-14: UDMA monomerinin ışık uygulama sürelerine göre farklı ölçüm periyotlarındaki salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

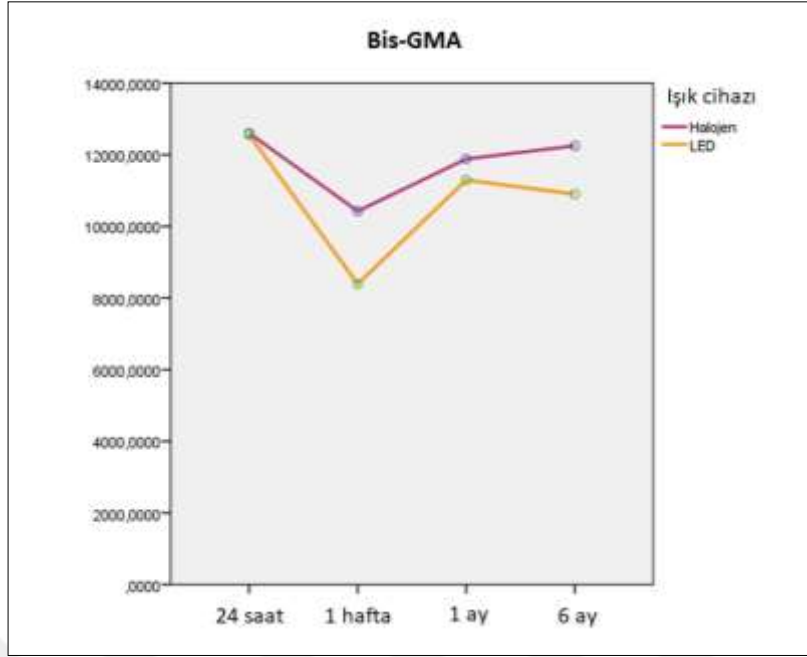
4.3. Işık cihazlarına göre monomer salınım değerlerinin değerlendirilmesi

Işık cihazlarına göre (Halojen, LED) monomer salınım değerleri, ışık uygulama sürelerinden bağımsız olarak değerlendirildi. Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA monomerlerinin halojen ve LED ışık cihazları kullanıldığında toplam monomer salınım değerlerinin ortalaması üzerinden ikili karşılaştırmalar yapıldı. Salınımına uğrayan monomerlerin ortalama değerleri, alt ve üst sınır değerleri ile istatistiksel farklılıklarının karşılaştırılması Tablo 4-15'te ve her bir monomerin ışık cihazlarına göre ölçüm periyotlarındaki salınım değerleri grafiksel olarak Şekil 4-15, 4-16 ve 4-17'de gösterilmiştir.

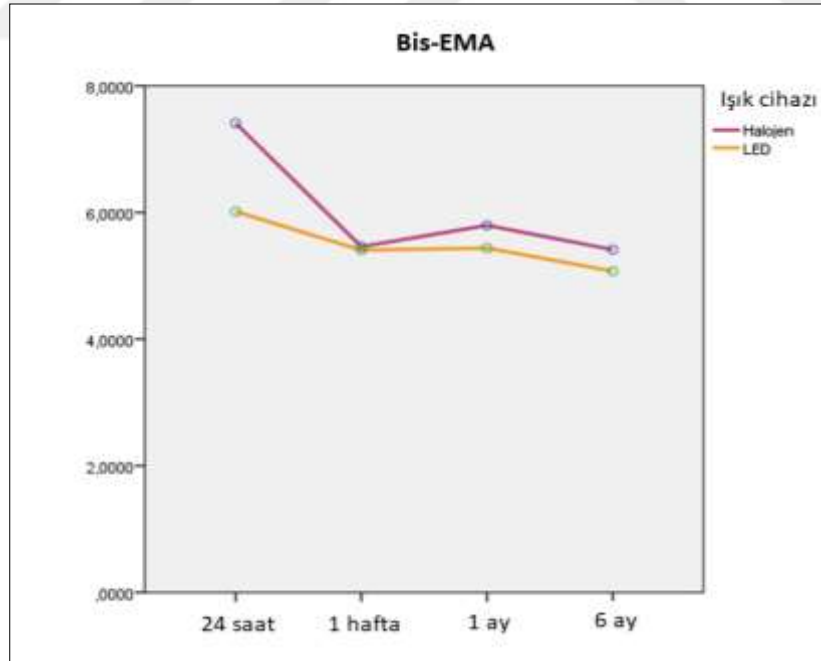
Tablo 4-15: Işık cihazlarına göre salınım uğrayan monomerlerin toplam ortalama salınım değerleri ve istatistiksel karşılaştırmaları

Monomer	Işık cihazı	Ortalama	Std.hata	%95 güven aralığı (CI)	
				Alt sınır	Üst sınır
Bis-GMA	Halojen	11790,05 ^a	3,978	11782,10	11798,01
	LED	10786,29 ^b	3,978	10778,34	10794,23
Bis-EMA	Halojen	6,02 ^c	0,005	6,01	6,03
	LED	5,48 ^d	0,005	5,47	5,49
UDMA	Halojen	19086,61 ^e	0,070	19086,46	19086,75
	LED	16202,99 ^f	0,070	16202,85	16203,13
Her bir monomer için aynı sütunda gösterilen farklı küçük harfler istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,05, Bonferroni testi)					

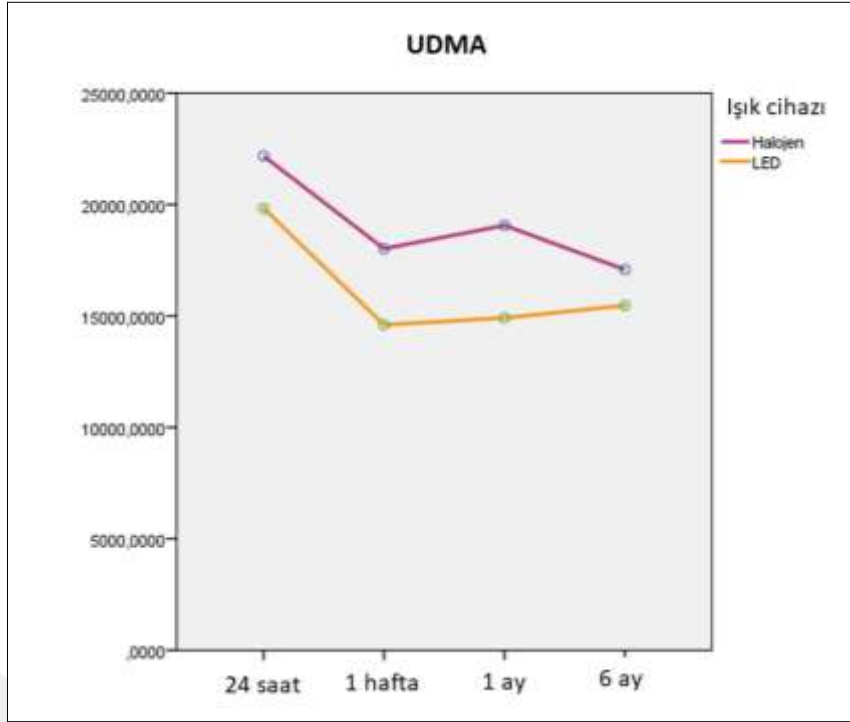
Işık cihazlarına göre her bir monomerin salınım değerleri karşılaştırıldığında, LED ışık cihazının halojen ışık cihazına göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha az monomer salınımına neden olduğu tespit edildi (p<0,001).



Şekil 4-15: Işık cihazlarına göre farklı ölçüm periyotlarında salınımına uğrayan Bis-GMA monomerinin salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.



Şekil 4-16: Işık cihazlarına göre farklı ölçüm periyotlarında salınımına uğrayan Bis-EMA monomerinin salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.



Şekil 4-17: Işık cihazlarına göre farklı ölçüm periyotlarında salınma uğrayan UDMA monomerinin salınım değerlerinin grafiksel gösterimi.

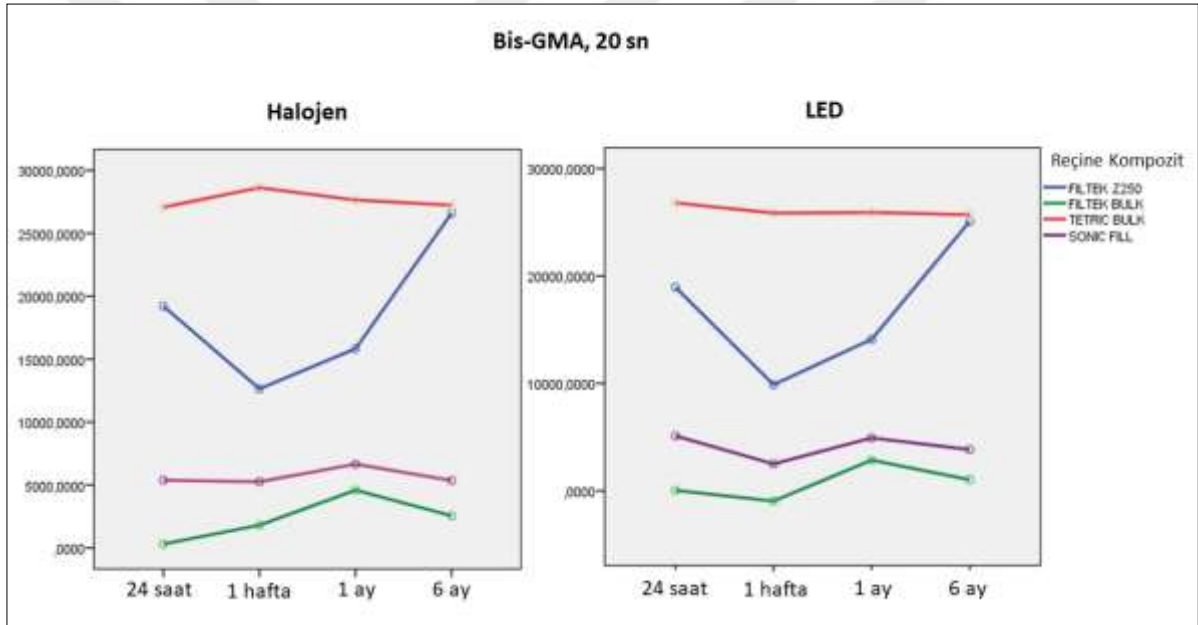
Işık uygulama süreleri ve ışık cihazlarına göre her bir monomer için toplam salınım değerlerinin ortalaması, alt ve üst sınır değerleri toplu olarak Tablo 4-16'da gösterilmiştir. Her bir monomer için 40 sn ışık uygulanan gruplarda 20 sn ışık uygulanan gruplara oranla daha az monomer salınımının olduğu, ışık cihazlarında ise LED ışık cihazının halojen ışık cihazına göre hem 20 sn hem de 40 sn süre ile polimerize edilen gruplarda halojen ışık cihazına kıyasla daha az monomer salınımına neden olduğu tespit edildi.

Tablo 4-16: Işık uygulama sürelerine ve ışık cihazlarına göre salınım uğrayan monomerlerin toplam ortalama salınım değerleri

Monomer	Işık cihazı	Işık uyg. süresi	Ortalama	Std.hata	%95 güven aralığı (CI)	
					Alt sınır	Üst sınır
Bis-GMA	Halojen	20 sn	13550,95	5,625	13539,71	13562,19
		40 sn	10029,15	5,625	10017,91	10040,39
	LED	20 sn	11979,46	5,625	11968,22	11990,70
		40 sn	9593,11	5,625	9581,88	9604,35
Bis-EMA	Halojen	20 sn	6,28	0,008	6,26	6,297
		40 sn	5,76	0,008	5,74	5,77
	LED	20 sn	5,54	0,008	5,52	5,55
		40 sn	5,42	0,008	5,41	5,44
UDMA	Halojen	20 sn	21746,37	0,099	21746,17	21746,57
		40 sn	16426,84	0,099	16426,64	16427,04
	LED	20 sn	18696,13	0,099	18695,93	18696,33
		40 sn	13709,86	0,099	13709,66	13710,06

4.4. Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazlarıyla farklı sürelerde polimerize edilmesinden sonra reçine kompozit materyallerden ölçüm periyotlarında salınma uğrayan monomerlerin değerlendirilmesi

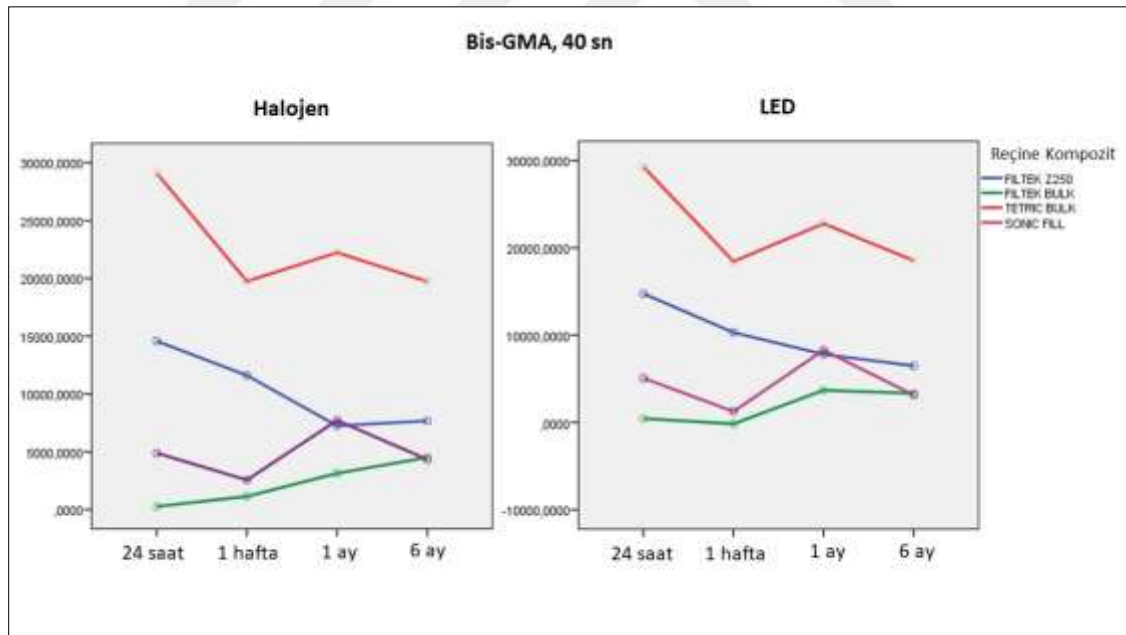
Çalışmada kullanılan reçine kompozitlerin halojen ve LED ışık cihazlarıyla 20 sn ve 40 sn süre ile polimerize edilmesini takiben 24 saat, 1 hafta, 1 ay ve 6 ay ölçüm periyotlarında salınma uğrayan Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA monomerlerinin salınım miktarları grafiksel olarak Şekil 4-18 ile Şekil 4-23 arasında gösterilmiştir.



Şekil 4-18: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 20 sn polimerize edilmesini takiben salınma uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.

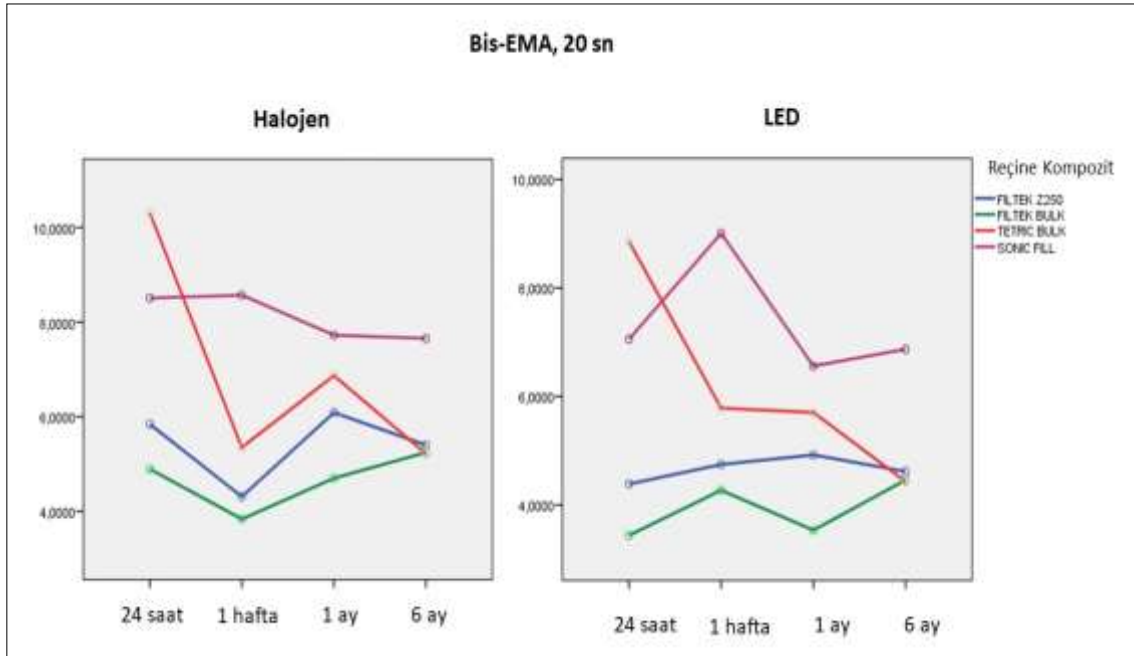
Halojen ve LED ışık cihazlarıyla 20 sn polimerize edilen reçine kompozitlerden ölçüm periyotlarına göre salınma uğrayan Bis-GMA monomeri değerlendirildiğinde, Tetric Evo Ceram Bulk Fill reçine kompozitinden diğer reçine kompozitlere oranla her iki ışık cihazında da tüm ölçüm periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek salınım olduğu tespit edildi ($p<0,001$). Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinde salınım değerleri halojen ışık ile polimerize edilen gruplarda 6.ay ölçüm periyodunda 24 saat ölçüm periyoduna göre azalma gösterse de, LED ışık cihazı kullanılan gruplarda

6.ay ölçüm periyodunda, 24 saat ölçüm periyodu değerlerine göre artma gösterdi. Her iki ışık cihazında da 24 saat ölçüm değerlerine oranla, 6.ay ölçüm periyodunda salınım değerleri istatistiksel olarak anlamlı derecede azalma gösterdi ($p<0,001$). Filtek Z250 reçine kompoziti Bis-GMA monomeri salınımının en yüksek olduğu ikinci reçine kompozit grubu olduğu tespit edildi ve salınım değerinin her iki ışık cihazının kullanıldığı grupta da benzer şekilde 24 saat ölçüm periyoduna göre 6.ay ölçüm periyodunda arttığı tespit edildi. Monomer salınımının Sonic Fill Bulk Fill ve Filtek Bulk Fill Flow grubunda diğer reçine kompozitlere oranla daha düşük tespit edilmesine rağmen, istatistiksel olarak anlamlı derecede düşük Bis-GMA salınımının Filtek Bulk Fill Flow grubunda olduğu tespit edildi ($p<0,001$). Her iki ışık cihazı grubunda da monomer salınımı 24 saat ölçüm değerlerine oranla 6.ay ölçüm periyodunda istatistiksel olarak anlamlı derecede artış gösterdi ($p<0,001$) (Şekil 4-18).



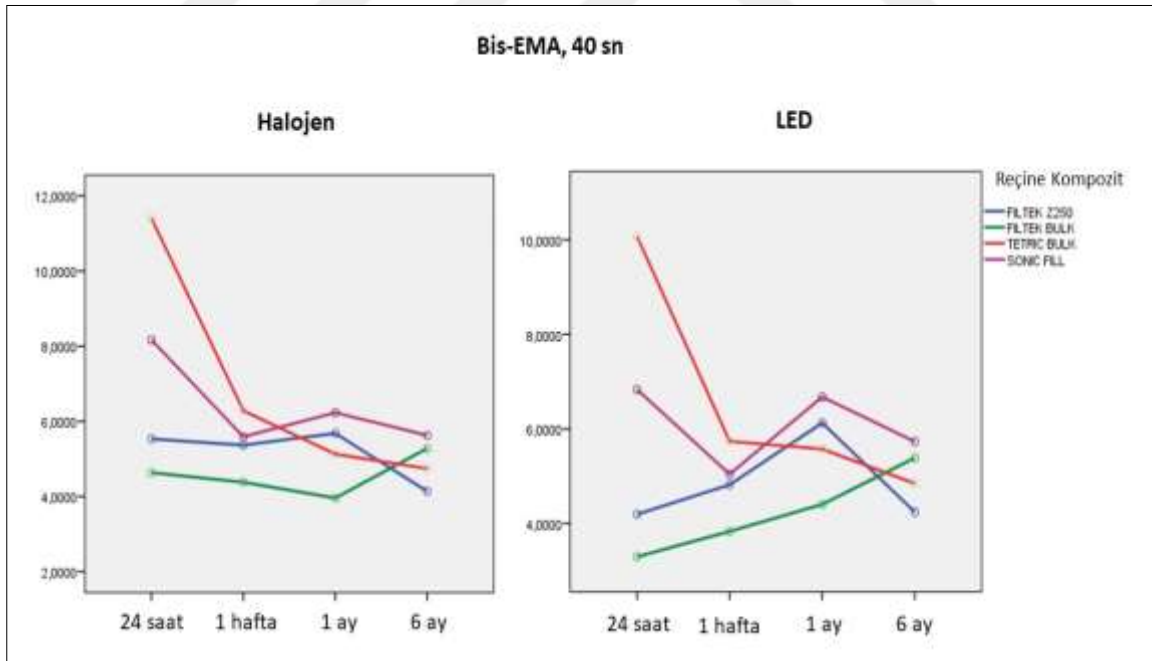
Şekil 4-19: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 40 sn polimerize edilmesini takiben salınımına uğrayan Bis-GMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.

Halojen ve LED ışık cihazlarıyla 40 sn polimerize edilen reçine kompozitlerden ölçüm periyotlarına göre salınımına uğrayan Bis-GMA monomeri değerlendirildiğinde, diğer reçine kompozitlere oranla istatistiksel olarak anlamlı derecede en yüksek monomer salınımının Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinde olduğu tespit edildi ($p<0,001$). Her iki ışık cihazı grubunda da, salınım değerlerinin 24 saat ölçüm periyoduna göre 6.ay ölçüm periyodunda istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük olduğu gözlemlendi ($p<0,001$). Filtek Z250 reçine kompozitinden salınımına uğrayan Bis-GMA monomeri ikinci en yüksek salınım görülen reçine kompozit olurken, 24 saat ölçüm periyoduna oranla salınım değerlerinin 6.ay ölçüm periyodunda anlamlı derecede daha düşük olduğu tespit edildi ($p<0,001$). SonicFill Bulk Fill ve Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitleri en düşük salınım gözlenen gruplar olurken, Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinde istatistiksel olarak anlamlı derecede en düşük salınım olduğu belirlendi ($p<0,001$). Her iki ışık cihazı grubunda da, Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinden salınımına uğrayan monomer miktarının 6.ay ölçüm periyodunda, 24 saat ölçüm periyoduna göre daha yüksek olduğu tespit edildi ($p<0,001$) (Şekil 4-19).



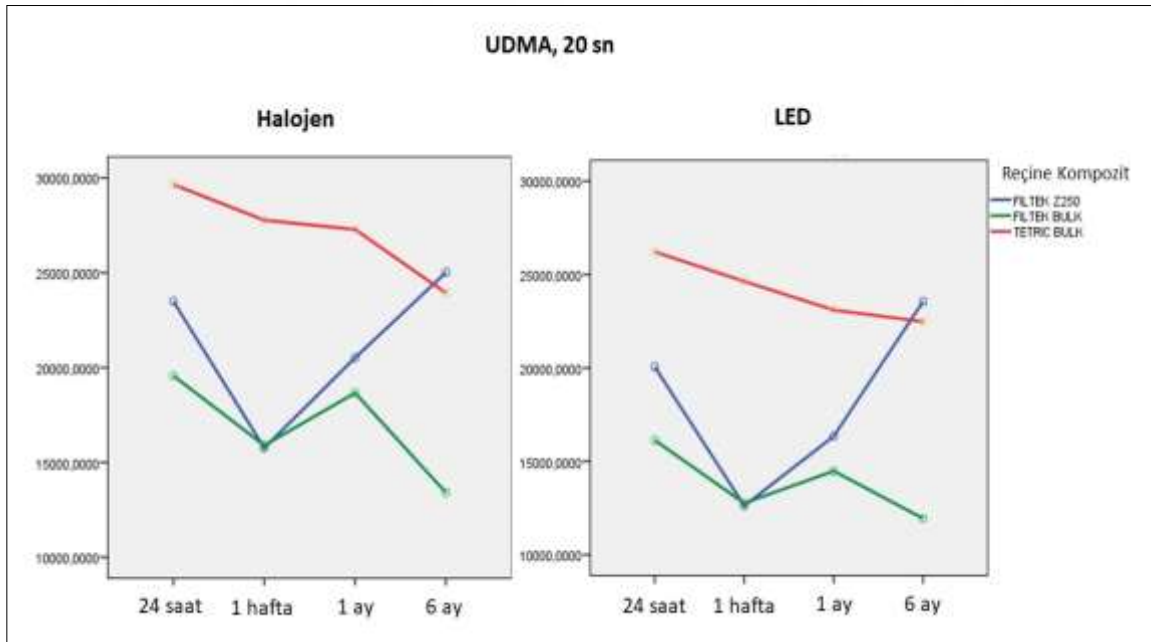
Şekil 4-20: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 20 sn polimerize edilmesini takiben salınımına uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.

Halojen ve LED ışık cihazlarıyla 20 sn polimerize edilen reçine kompozitlerden ölçüm periyotlarına göre salınımına uğrayan Bis-EMA monomeri değerlendirildiğinde, Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden 24 saat ölçüm periyodunda her iki ışık cihazı grubunda da diğer reçine kompozitlere oranla istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek salınım değerleri tespit edildi ($p<0,001$). Monomer salınımı 6.ay ölçüm periyodunda her iki ışık cihazı grubunda da 24 saat ölçüm periyoduna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede düşüş gösterdi ($p<0,001$). SonicFill reçine kompoziti salınımının en yüksek görüldüğü ikinci reçine kompozit grubu olurken, salınım değerlerinin her iki ışık cihazı grubunda da 6.ay ölçüm periyodunda 24 saat ölçüm periyoduna göre düşme gösterdiği tespit edildi. En düşük salınım değeri Filtek Bulk Fill reçine kompozitinde tespit edilirken ($p<0,001$), salınım değerinin 24 saat ölçüm periyoduna göre 6.ay da artış gösterdiği belirlendi (Şekil 4-20).



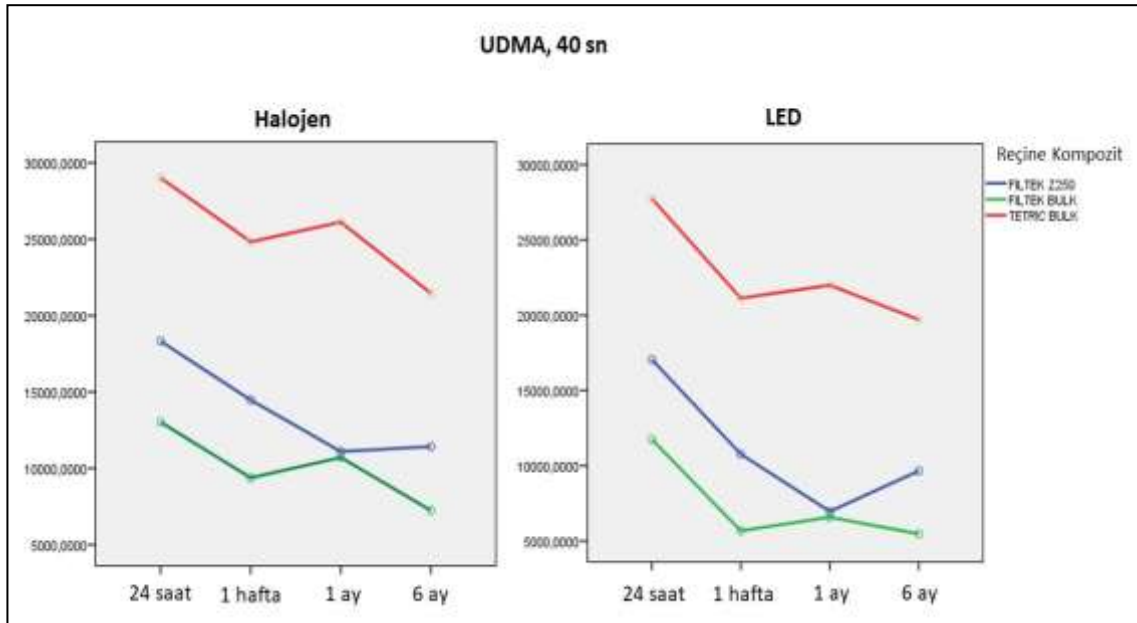
Şekil 4-21: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 40 sn polimerize edilmesini takiben salınımına uğrayan Bis-EMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.

Halojen ve LED ışık cihazlarıyla 40 sn polimerize edilen reçine kompozitlerden ölçüm periyotlarına göre salınma uğrayan Bis-EMA monomeri değerlendirildiğinde, her iki ışık cihazı grubunda da 24 saat ölçüm periyodunda diğer reçine kompozitlere kıyasla anlamlı derecede en yüksek salınım değerlerinin Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozit grubunda olduğu ($p<0,001$), ancak salınım değerlerinin 1.hafta ölçüm periyodundan itibaren 6. Ay ölçüm periyoduna kadar düşme gösterdiği tespit edildi. SonicFill reçine kompozit grubu ikinci en yüksek monomer salınımının gözlemlendiği grup olurken, 6.ay ölçüm periyodunda 24 saat ölçüm periyoduna göre salınım değerlerinin düştüğü gözlemlendi. En düşük salınım değerlerinin Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozit grubunda her iki ışık cihazında da 1.ay ölçüm periyoduna kadar olduğu tespit edildi. Halojen ışık cihazı grubunda salınım değerlerinin 1.ay ölçüm periyoduna kadar azalma gösterirken 6.ay ölçüm periyodunda arttığı, buna karşın LED ışık cihazı grubunda 24 saat ölçüm periyodundan itibaren 6.ay ölçüm periyoduna kadar lineer bir artış olduğu gözlemlendi (Şekil 4-21).



Şekil 4-22: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 20 sn polimerize edilmesini takiben salınma uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.

Halojen ve LED ışık cihazlarıyla 20 sn polimerize edilen reçine kompozitlerden ölçüm periyotlarına göre salınma uğrayan UDMA monomeri değerlendirildiğinde, SonicFill reçine kompozit grubundan herhangi bir salınım olmadığı tespit edildi. İstatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek monomer salınımının ışık cihazları fark etmeksizin Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozit grubunda olduğu ($p<0,001$), monomer salınımının her iki ışık cihazı grubunda da 24 saat ölçüm periyodundan itibaren düşüş gösterdiği tespit edildi. Filtek Z250 reçine kompozit grubu, monomer salınımının ikinci en yüksek görüldüğü grup olurken, her iki ışık cihazı grubunda da 24 saat ölçüm periyoduna göre 1.hafta da monomer salınım değerlerinin düşme gösterdiği ancak 1.ay periyodunda salınımın tekrar artarak 24 saat ölçüm periyoduna göre 6.ay ölçüm periyodunda anlamlı derecede arttığı gözlemlendi ($p<0,001$). Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozit grubu her iki ışık cihazı kullanıldığında monomer salınımın diğer reçine kompozitlere oranla daha az görüldüğü grup olup, 6.ay da monomer salınımının 24 saat ölçüm periyoduna oranla daha düşük olduğu gözlemlendi (Şekil 4-22).



Şekil 4-23: Reçine kompozit materyallerin halojen ve LED ışık cihazları ile 40 sn polimerize edilmesini takiben salınma uğrayan UDMA monomerinin ölçüm periyotlarına göre salınım değerleri.

Halojen ve LED ışık cihazlarıyla 40 sn polimerize edilen reçine kompozitlerden ölçüm periyotlarına göre salınımına uğrayan UDMA monomeri değerlendirildiğinde, istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek monomer salınımının ışık cihazları fark etmeksizin Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozit grubunda olduğu ($p<0,001$), tespit edildi. Filtek Z250 reçine kompozit materyali monomer salınımının ikinci en fazla olduğu grup olurken, Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozit grubu monomer salınımının en düşük olduğu grup olmuştur. Tüm reçine kompozit materyal grubunda, ışık cihazı fark etmeksizin monomer salınımlarının 6.ay ölçüm periyodunda 24 saat ölçüm periyoduna göre daha düşük olduğu belirlendi (Şekil 4-23).



5. TARTIŞMA

Diş renginde estetik restoratif materyallere olan ilginin artması nedeniyle genel dişhekimliği uygulamalarında reçine kompozit materyallerin kullanımı giderek artmıştır. Bu konuda yapılan bir araştırmada, genel diş hekimliği uygulamalarında diş hekimlerinin reçine kompozit restorasyonları tercih etmesinin 1983 - 2009 yılları arasında %16'dan %95'lere çıktığı bildirilmiştir (Vidnes-Kopperud ve ark., 2011). Bu artışın nedenleri arasında, hastaların estetik restorasyon beklentisini karşılayabilecek nispeten ucuz materyaller olması, biyolojik uyumlulukları, mekanik özelliklerinin iyi olması ve diş sert dokularına adeziv materyaller ile oldukça iyi bağlanma değerleri göstermesi sayılabilir (van Dijken & Pallesen, 2014; Polydorou ve ark., 2009a). Diş hekimliği alanında yaşanan gelişmeler, üretici firmaları reçine kompozit materyallerin fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklerini artırarak materyalin uzun dönem performansını iyileştirmeye yönelik araştırmalara yöneltmiştir. Bunun yanında, reçine kompozitlerin güvenilir bir şekilde uzun dönem performans gösterebilmesi materyalin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra, dişhekiminin deneyimi ve materyali uygulama tekniğinden de etkilenmektedir (Sunnegårdh-Grönberg ve ark., 2009). Reçine kompozit materyallerde yapılan tüm olumlu gelişmelere rağmen, materyalin yetersiz polimerizasyon göstermesi ve hacimsel polimerizasyon büzülmesi gibi sorunların halen devam ediyor olması en önemli problemleri arasında yer almaktadır (Lempel ve ark., 2016). Bu sorunlar nedeniyle, materyalin fiziksel ve mekanik özellikleri olumsuz etilenmekte, diş sert dokularına yetersiz bağlanma, mikrosızıntı, post-operatif hassasiyet, pulpal hasarlar gibi olumsuzlukların olduğu pek çok araştırmada belirtilmiştir (Ferracane ve ark., 1997; Moore ve ark., 2008; Dalli'Magro ve ark., 2008; de Camargo ve ark., 2009).

Işıkla polimerize olan reçine bazlı kompozitlerin monomer dönüşüm derecesi materyalin mekanik özelliklerinin, uzun dönem performansının ve biyoyumluluğunun değerlendirilmesinde oldukça önemli bir faktördür (Ferracane, 1994; Lempel ve ark., 2016). Reçine kompozitlerin polimerizasyon reaksiyonu esnasında monomerlerinin büyük bir bölümünün polimerize olması oldukça önemlidir (Galvão ve ark., 2010; Ribeiro ve ark., 2012). Klinik uygulamalarda reçine kompozitlerin yapısında bulunan dimetakrilat monomerlerin polimerize olamayarak önemli bir miktarının artık monomer

olarak kaldığı ve yetersiz polimerizasyon neticesinde materyalin fiziksel özelliklerinin etkilenecek reçine yapıdan monomerlerin salınımına uğradığı bildirilmiştir (Durner ve ark., 2010; Lempel ve ark., 2016). Reçine kompozitlerin yapısında bulunan metakrilat monomerlerin polimerizasyon esnasında polimer yapıya optimal dönüşümünün sağlanması için; ışık kaynağının tipi, ışık gücü, dalga boyu, uygulama süresi, ışık uygulama mesafesi, reçine kompozitin organik matriks yapısı ve tipi, foto başlatıcı tipi ve miktarı, inorganik doldurucuların miktarı, boyutu, yapı içerisindeki dağılımı, reçine kompozitin rengi gibi pek çok parametrenin etkili olduğu bildirilmiştir. (Knezević ve ark., 2001; Kramer ve ark., 2008; Galvão ve ark., 2010; Ribeiro ve ark., 2012; Alonso ve ark., 2013; Galvao ve ark., 2013).

Reçine kompozitlerin monomer dönüşüm derecesinin artırılarak salınımına uğrayan monomer miktarının azaltılması, biyouyumluluğun artması ve materyalin uzun dönem performans göstermesinde etkili olan bir diğer yöntem ise tabakalı uygulama tekniğidir (Park ve ark., 2008; Hürmüzlü & Kılıç, 2020). Reçine kompozitlerin tabakalar halinde belirli bir kalınlıkta uygulanması, polimerizasyon derinliğinin artmasına ve monomer dönüşüm oranının yükselmesine neden olabilecek önemli bir uygulama tekniğidir. Geleneksel reçine kompozitlerde, materyalin ışık uygulanan üst yüzeyine kıyasla alt yüzeylerinde ışık penetrasyonunun azalmasına bağlı olarak daha az polimerizasyon meydana gelmektedir (Musanje & Darvell, 2006). Işık penetrasyonunun az olmasının nedenleri arasında; reçine ve doldurucuların farklı kırılma indisine sahip olması nedeniyle ışığın yapı içinde dağılım göstermesi, doldurucu içeriğinin artması ve düzensiz şekilli doldurucuların kullanılmasına bağlı olarak ışık geçirgenliğinin azalması gibi nedenler sayılabilir (Arikawa ve ark., 2007; Bucuta & Ilie, 2014). Geleneksel reçine kompozitler kullanılarak restorasyonları yapılan dişlerde optimal polimerizasyonun sağlanması, dönüşüm miktarının artması ve polimerizasyon büzülme streslerinin minimize edilmesi için materyalin en fazla 2 mm tabakalar halinde uygulanması önerilmektedir (Lindberg ve ark., 2004; D'Alpino ve ark., 2011, Alrahlah ve ark., 2014).

Bu nedenlerden ötürü, çalışmada kullanılan geleneksel reçine kompozit materyali Filtek Z250 (3M ESPE) materyalin optimal polimerizasyonunun sağlanabilmesi için 2 mm kalınlıkta uygulanarak farklı ışık cihazlarıyla polimerize

edilmiş ve diğer deney materyalleri ile monomer salınım değerleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Ancak, geleneksel reçine kompozitlerin tabakalı olarak yerleştirilmesi esnasında tabakalar arasında kontaminasyon riski, hava kabarcığı kalması, tabakalar arası bağlanmada sorunlar ve özellikle derin ve geniş kavitelere uzun uygulama süresi gibi bir takım dezavantajları bulunmaktadır (Alrahlah ve ark., 2014; Ilie ve ark., 2013; Alshali ve ark., 2015; Tarle ve ark., 2015). Belirtilen bu sorunların üstesinden gelebilmek amacıyla son yıllarda bulk fill reçine kompozitler kullanıma girmiş ve geleneksel kompozitlerin aksine 4 mm hatta 5 mm kalınlıkta tek tabaka halinde uygulanabilme avantajını hekimlere sunmuştur (Alrahlah ve ark., 2014; Bucuta & Ilie, 2014; Alshali ve ark., 2015; Tarle ve ark., 2015). Bu materyallerin artmış polimerizasyon özelliklerinin; yapılarında translusens yapıda ve stres önleyici monomerlerin bulunmasından, daha reaktif foto başlacılardan ve yapı içerisine prepolimerize partiküller ile fiber cam parçaların eklenmesi sayesinde sağlandığı belirtilmektedir (Fronza ve ark., 2015). Bununla birlikte, bulk fill reçine kompozitlerin inorganik doldurucu oranının genel olarak geleneksel reçine kompozitlere oranla daha düşük olması ve doldurucu boyutlarının daha büyük olması polimerizasyon derinliğinin artmasına olumlu katkı sağlayan faktörler olduğu da bildirilmiştir (Bucuta & Ilie, 2014). Akışkan ve yüksek vizkoziteli (restoratif form) olmak üzere iki şekilde kullanıma sunulmuş olan bulk fill reçine kompozitlerden akışkan olanların mekanik dirençlerinin zayıf olması nedeniyle en üst tabakanın geleneksel bir reçine kompozitle kapatılması önerilmektedir. Genel olarak tüp şeklinde kullanıma sunulmuş olan yüksek viskoziteli bulk fill reçine kompozitlerde, materyalin viskozitesinin düşürülüp kullanılmasının ve adaptasyonunun artmasına olanak sağlayan sonik aktivasyon cihazı ile kullanılan formu da bulunmaktadır (Bucuta & Ilie, 2014; Orłowski ve ark., 2015). Bulk fill reçine kompozitlerin uygulamaya yönelik pekçok avantajları bildirilmesine karşın, tek tabaka halinde 4 – 5 mm kalınlıkta kütle olarak uygulanmasının, materyalin polimerizasyon derinliği, monomer dönüşüm oranları ve monomer salınımları halen dişhekimliğinin tartışmalı konuları arasındadır (Alshali ve ark., 2013; Garcia ve ark., 2014; Par ve ark., 2016).

Bu nedenlerle çalışmada, düşük viskoziteli (Filtek Bulk Fill Flow, 3M ESPE), yüksek viskoziteli (Tetric EvoCeram Bulk Fill, Ivoclar Vivadent) sonik aktivasyonla

aktive edilen (SonicFill Bulk Fill; Kerr) bulk fill reçine kompozitler, 4 mm kalınlığında tek tabaka olarak farklı ışık cihazlarıyla farklı sürelerde polimerize edildikten sonra uzun dönem monomer salınımları açısından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Reçine kompozitlerin polimerizasyonlarında kullanılan ışık cihazlarında reçine materyalin polimerizasyon etkinliğini artırmaya yönelik gelişmeler kaydedilmiş ve araştırmalar bu yönde halen devam etmektedir (Vandewalle ve ark., 2005; Vandenbulcke ve ark., 2010). Halojen ışık cihazları ışıkla polimerize olan reçine materyallerin polimerizasyonunda en sık kullanılan ışık cihazlarıdır (Genç Şen ve ark., 2016). Maliyeti ucuz olan ve geniş dalga boyu aralığında ışık üreten bu cihazların, kısa lamba ömrüne sahip olması, kullanım süresine bağlı olarak filtre ve reflektörlerinin etkisinin azalması nedeniyle ışık gücünün düşmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır (Küçükeşmen, 2006; Bektaş ve ark., 2006; Topcu ve ark., 2010; Genç Şen ve ark., 2016). İlk üretilen halojen ışık kaynaklarındaki düşük ışık gücü, günümüzde geliştirilen ve kullanıma sunulan daha yüksek ışık gücüne (800-1000 mW/cm²) sahip ışık cihazları sayesinde reçine kompozitlerin polimerizasyonunda daha kısa sürelerde daha optimal seviyelerde polimerizasyona neden olmuştur (Rueggeberg ve ark, 2000; Bağış & Yamanel, 2000; Küçükeşmen, 2006). Işık cihazları teknolojisinde yaşanan gelişmeler sayesinde LED ışık cihazları, daha kısa sürelerde daha etkin ışık gücünün iletilmesine imkan sağlayan cihazlar olarak kullanıma sunulmuştur (Bektaş ve ark., 2006; Kopperud ve ark., 2013). LED ışık cihazları, yapısında kamforokinon bulunan reçine kompozitlerin polimerizasyonu için uygun dalga boyu aralığına (450-485 nm) sahip, mavi ışık üreten cihazlardır (Caughman & Rueggeberg, 2002; Jiménez-Planas, 2008; Santini, 2010). Bu cihazlar, halojen ışık cihazlarıyla karşılaştırıldığında; ısı üretmemeleri, fan olmadığı için daha sessiz çalışmaları, enerji tüketimlerinin daha az olması, gereken dalga boyu aralığında ışık üretmeleri ve daha uzun ömürlü cihazlar olmaları gibi avantajlara sahiptirler. (Park ve ark., 2005; Bektaş ve ark., 2006; Jiménez-Planas, 2008; Soygun ve ark., 2015). İlk üretilen LED ışık cihazlarında yaşanan sorunların üstesinden gelmek üzere üretici firmalar, paralel ışık demetleri ile tek tip, homojen polimerizasyon sunarak ekstra ışık gücü yoğunluğu ile daha etkili polimerizasyon sağlayan 2. nesil LED cihazlarını üretmişlerdir (Hürmüzlü & Kılıç, 2020). Daha sonraları ise yine yüksek ışık gücü yoğunluğuna sahip fakat kamforokinon dışında diğer foto başlatıcıların polimerizasyon reaksiyonunu başlatabilecek geniş dalga boyu aralığına sahip 3. nesil LED ışık cihazları kullanıma girmiştir (Hürmüzlü & Kılıç,

2020). Reçine kompozitlerin polimerizasyonunda klinik uygulamalarda kullanım kolaylığı ve ekonomik açıdan avantajlara sahip olmaları nedeniyle genellikle halojen ve LED ışık cihazları tercih edilmektedir. Bu nedenle, çalışmamızda klinik uygulamalarda sıklıkla kullanılan ve araştırmalarda altın standart olarak kabul edilen (Price ve ark., 2010) halojen ışık cihazı (Optilux 501; Kerr) ile yeni nesil LED ışık cihazı (Demi Ultra; Kerr) kullanılarak reçine kompozitlerin polimerizasyonları standart uygulama modunda farklı sürelerde sağlanmış ve ışık cihazlarının farklı reçine kompozitlerden salınımına uğrayan monomerler üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca, araştırmalar incelendiğinde monomer salınımının değerlendirildiği çalışmalarda sıklıkla LED ışık cihazları kullanılmış, halojen ve LED ışık cihazlarının etkinliklerini inceleyen sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmış ve bu nedenle de iki farklı ışık cihazının monomer salınım değerleri üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Işık cihazlarının ışık yoğunluğu, dalga boyu aralığı, ışık uygulama süreleri gibi farklı karakteristik özellikleri olmasına rağmen, monomer dönüşümünü artırmak, ışık uygulama süresini azaltmak ve polimerizasyon büzülmesi ile ilişkili stresleri azaltmak gibi kullanım amaçları vardır (Yap, 2000; Peutzfeldt ve ark., 2000; Karadas ve ark., 2018). Reçine kompozitlerin yetersiz polimerizasyonu neticesinde kütsel ve/veya marjinal kırılmalar, renk değişikliği, aşınma direncinde azalma ve hücrelerde sitotoksik etkileri gibi pek çok olumsuz özellikler meydana gelebilmektedir (Ferracane & Berge, 1995; Ferracane ve ark., 1997; Rüttermann ve ark., 2008; Aranha ve ark., 2010; Karadas ve ark., 2018). Bir ışık cihazının reçine kompozitin polimerizasyon etkinliği üzerine etkileri, ışık yoğunluğu, ışık uygulama işleminin hızı, spesifik fotobaşlatıcılar tarafından absorbe edilen spektral emisyon ve ışık cihazı ucundan yayılan ışığın dağılımı ile belirlenir (Ferracane ve ark., 1997; Karadas ve ark., 2018). LED ışık cihazlarının polimerizasyon etkinliğinin, yapısında foto başlatıcı olarak kamforokinon bulunan reçine kompozitlerde halojen ışık cihazlarından daha üstün olduğu bunun nedeni olarak da LED ışık cihazlarının spektrum merkezinin kamforokinon'un absorpsiyon zirvesi ile aynı değerde olduğu bildirilmiştir (Leprince ve ark., 2010). Bununla birlikte, halojen ve LED ışık cihazlarıyla polimerize edilen reçine kompozitlerden salınımına uğrayan monomer miktarının değerlendirildiği pek çok çalışmada farklı sonuçlar da bildirilmiştir (Yap ve ark., 2004; Carvalho ve ark., 2010; Karadas ve ark., 2010; Botsali ve ark., 2016). Çalışmamızda kullanılan reçine kompozitlerin tipine ve polimerizasyon sürelerine bakılmaksızın LED ışık cihazı, halojen ışık cihazına oranla tüm ölçüm

periyotlarında değerlendirilen tüm monomerler için daha az salınım değerlerine yol açmıştır. Bu nedenle, çalışmanın birinci hipotezi olan “Kullanılan ışık kaynaklarının monomer salınımı üzerine anlamlı farka neden olmayacağı” hipotezi kabul edilmemiştir. LED ışık cihazıyla elde ettiğimiz bu sonucun, cihazın gelişmiş kolimasyon teknolojisi sayesinde fiber ışık iletim sisteminin daha homojen ışık iletebilmesi ve bu sayede daha etkili ve derin polimerizasyon sağlamış olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz. LED cihazlarına göre halojen ışık kullanılarak polimerize edilen reçine sistemlerde daha fazla sıcaklık artışı olduğu ve bu sıcaklık artışının dimetakrilat bazlı reçine sistemlerin polimerizasyon davranışını etkileyebileceği gösterildiğinden (Uhl ve ark., 2003), halojen ışık cihazından daha düşük enerji çıkışına (Jafarzadeh ve ark., 2015) neden olarak monomer salınımının artmasına neden olduğu kanısındayız. Ayrıca LED ışık cihazının ışık yoğunluğunun ($>1250\text{mW/cm}^2$) halojen ışık cihazına ($\leq 850\text{ Mw/cm}^2$) kıyasla daha fazla olmasının bu sonuca neden olduğu kanısındayız. Leprince ve ark. (2010) LED ışık cihazlarının yapısında foto başlatıcı olarak kamforokinon bulunan reçine kompozitlerde halojen ışık cihazlarına kıyasla daha yüksek polimerizasyon etkinliği sağladığını bildirmişlerdir. Karadas ve ark. (2018) LED ve halojen ışık cihazlarının bulk fill reçine kompozitlerden salınıma uğrayan artık monomerlerin salınım miktarına etkilerini inceledikleri çalışmalarında, çalışmamızda elde ettiğimiz bulgularla paralel olarak en az salınım miktarlarının LED ışık cihazıyla polimerize edilen gruplarda olduğunu bildirmişlerdir. Hürmüzlü ve Kılıç (2020) ise yapmış oldukları çalışmalarında, farklı ışık cihazlarının reçine kompozitlerden salınıma uğrayan monomer miktarı üzerine etkilerini araştırmışlar ve çalışmamızla benzer şekilde 2.jenerasyon ve 3.jenerasyon LED ışık cihazlarının halojen ışık cihazına göre daha az monomer salınımına neden olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, çalışmada elde ettiğimiz bulgulardan farklı olarak Öztürk ve ark. (2013) LED, halojen ve plazma ark ışık cihazlarının polimerizasyon derecesi üzerine etkilerinin anlamlı farklılık göstermediğini bildirmişlerdir. Manojlovic ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmalarında nano hibrit, mikro hibrit ve ormoser reçine kompozitleri LED ve halojen ışık cihazlarıyla polimerize etmişler ve ışık kaynaklarının monomer dönüşüm derecesini etkilemesine rağmen monomer salınımı üzerine önemli bir fark yaratmadığını bildirmişlerdir. Ancak, monomer salınımının çok karmaşık bir mekanizmaya sahip olduğunu ve reçine materyalin matriks yapısı, kimyasal bileşimi ve yapıdaki

monomerlerin pozisyonu (Lempel ve ark., 2016) gibi farklı faktörlerin salınım üzerine etkilerinin olduğunu unutmamak gerektiği kanısındayız.

Reçine kompozitlerden salınan monomer miktarının azaltılabilmesi için optimal şekilde polimerize edilmeleri gereklidir. Işık kaynağının enerji yoğunluğu ve spektral özelliklerinin reçine kompozitlerin nihai polimerizasyon oranını etkilediği bildirilmiştir (Munksgaard ve ark., 2000; Tarle ve ark., 2015; Łagocka ve ark., 2016). Enerji yoğunluğu (J/cm^2), ışık yoğunluğu (mW/cm^2) ile ışık uygulama süresinin (sn) çarpımı olarak ifade edilmektedir. Çalışmada kullanılan LED ve halojen ışık cihazları arasındaki ışık yoğunluğu farkının, enerji yoğunluğu farkına neden olması nedeniyle, test edilen reçine kompozitlerden salınma uğrayan monomer miktarları üzerine etkileri olduğu ve bu nedenle de LED ışık cihazı ile polimerize edilen numunelerden kümülatif olarak daha az monomer salınımı gerçekleştiğini düşünmekteyiz. Her ne kadar LED ışık kaynaklarının halojen ışık kaynaklarına göre daha fazla polimerizasyon derinliğine sahip olduğu vurgulansa da (Mills ve ark., 1999), çalışmada elde ettiğimiz bulgulardan farklı olarak Yap ve ark. (2004) LED ve halojen ışık kaynaklarıyla standart polimerizasyon modlarında enerji yoğunlukları (ışık yoğunluğu $\times$ zaman) arasındaki farka rağmen, kompozit reçinelerden salınan TEGDMA, Bis-GMA oranları arasında herhangi bir fark bulamadıklarını bildirmişlerdir.

Monomer salınımının incelendiği çalışmalarda çoğunlukla yapay tükürük, distile su, etanol, metanol ve asetonitril gibi değişik çözücüler kullanılmıştır (Sideridou & Achilias, 2005; Polydorou ve ark., 2009a; Tuna ve ark., 2010; Karaarslan ve ark., 2011; Cebe ve ark., 2015). Araştırmalar, kullanılan çözücü tipinin reçine materyallerden salınma uğrayan monomer miktarı üzerinde etkili olduğunu göstermiştir (Polydorou ve ark., 2009a; Van Landuyt ve ark., 2011; Polydorou ve ark., 2012). Ağız ortamı, organik çözücüler (etanol, metanol, asetonitril) ile su arasında bir ortam sunar (Ferracane, 1994; Karadas ve ark., 2018). İnsan tükürüğü içerdiği tükürük proteinleri ve gıda artıkları ile su ve yapay tükürüğe oranla daha agresif karmaşık bir yapı olup, içerdiği enzimlerin reçine kompozitlerin monomer bileşimini bozarak monomer salınımını artırtabileceği belirtilmektedir (Larsen & Munksgaard, 2001; Karadas ve ark., 2018). %75 etanol-su solüsyonu, monomer salınımının incelendiği pek çok çalışmada kullanılmış (Polydorou ve ark., 2009a; Cebe ve ark., 2015; Karadas ve ark., 2018) ve Amerika Birleşik Devletleri Federal İlaç İdaresi (US FDA) tarafından gıdaları simüle eden ağız sıvısı

olduğu bildirilmiştir (US FDA, 1988). Bu nedenle çalışmamızda %75 etanol-su solüsyonu çözelti olarak kullanılmıştır.

Çalışmalar incelendiğinde monomer salınımının analizinde sıklıkla Yüksek Performans Likit Kromatografi (HPLC) yönteminin kullanılmasına rağmen (Sideridou & Achilias, 2005; Tuna ve ark., 2010; Tabatabaee ve ark., 2009; Cebe ve ark., 2015; Łagocka ve ark., 2016; Karadas ve ark., 2018; Dundar ve ark., 2020) bu yöntemin monomer salınımının analizinde uygun olmadığı bildirilmiştir (Geurtsen, 1998; Polydrou ve ark., 2007). Çalışmamızda etanol solüsyonları HPLC yöntemine göre daha doğru ve daha düşük bir saptama sınırına sahip olduğu bildirilen (Polydrou ve ark., 2009a; Polydrou ve ark., 2009b) LC-MS/MS kullanılarak analiz edilmiştir.

Çalışmada farklı polimerizasyon sürelerinin (20 sn, 40 sn) reçine kompozitlerden salınımına uğrayan monomer miktarları üzerine etkileri incelendiğinde, ışık cihazlarından bağımsız olarak 40 sn süre ile polimerize edilen reçine kompozitlerden salınımına uğrayan toplam ortalama monomer miktarlarının istatistiksel olarak daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, çalışmanın ikinci hipotezi olan “Polimerizasyon süresinin artırılmasının reçine kompozitlerden salınan monomer miktarlarında azalmaya yol açacağı” hipotezi kabul edilmiştir. Polimerizasyon süresinin artmasına bağlı olarak monomer salınımında meydana gelen azalmanın, reçine kompozitlere uygulanan enerji yoğunluğunun sürenin artmasına bağlı olarak iki katına çıkmasına ve bu sayede daha etkili bir polimerizasyonun sağlanmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz. Bununla birlikte, polimerizasyon süresinin iki katına çıkması ile reçine kompozit yapıda kalan bağlanmamış monomerlerin erişilebilirliğinin etkilendiği ve daha az agresif olduğu bildirilen %75 etanol çözeltisinde salınımlarının daha zor hale geldiği kanısındayız (Łagocka ve ark., 2016). Ilie & Stark (2015) 4 mm kalınlığındaki bulk fill reçine kompozitlerin 20 sn ve 40 sn süre ile polimerize edilmesinin materyallerin mikromekanik özellikleri üzerine etkisinin benzer olduğunu bildirmişlerdir. Ancak, monomer salınım miktarları değerlendirildiğinde, araştırmacıların belirttiği sonuçlardan farklı bulgular çalışmamızda elde edilmiştir. Çalışmamızla benzer şekilde, Łagocka ve ark. (2016) yapmış oldukları çalışmalarında SDR Bulk Fill reçine kompozitinden salınan TEGDMA monomerini incelemişler ve polimerizasyon süresinin 20 sn’den 40 sn’ye çıkarılmasının yani, enerji yoğunluğunun iki katına çıkarılmasının 4 mm kalınlığındaki numunelerden distile su ve %75 etanol

çözeltilerine salınan monmer miktarında azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Polydorou ve ark. (2009a) yapmış oldukları çalışmalarında reçine kompozitleri farklı sürelerde (20 sn, 40 sn ve 80 sn) polimerize etmişler ve sürenin 20 sn'den 40 sn'ye çıkmasının Filtek Supreme XT reçine kompozitinden salınan monomer miktarında azalmaya yol açtığını, 80 sn süre ile polimerizasyonun ise 40 sn süreye göre daha az salınma neden olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde Tanaka ve ark. (1991), polimerizasyon süresinin 30 sn'den 50 sn'ye çıkarılmasının sudaki artık monomer miktarında önemli bir azalmaya yol açtığını bildirmişlerdir. Zorzin ve ark. (2015) ise yapmış oldukları çalışmalarında, ışık uygulama süresinin uzatılmasının polimerizasyon özellikleri üzerine pozitif etkisi olduğunu ve derin kavitelerde bulk fill reçine kompozitler kullanıldığında ışık uygulama süresinin artırılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Literatürler incelendiğinde reçine kompozitlerden salınma uğrayan monomerlerin analizi için gerekli zaman periyodu hakkında kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Literatürde reçine kompozitlerden salınan monomerlerin polimerizasyondan sonraki ilk 24 saatte gerçekleştiği bildirilmektedir (Karadas ve ark., 2018; Gul ve ark., 2020). Ferracane ve Condon (1990), reçine kompozitlerden salınan monomerlerin yarısının 3 saat içerisinde suda salınım gösterdiğini, %85-100 oranındaki monomerlerin ise polimerizasyondan sonraki 24 saat içerisinde gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Bunun yanında, monomer salınımının 1 hafta, 1 ay, 3 ay (Sideridou & Achilias, 2005; Polydorou ve ark., 2007; Tabatabaee ve ark., 2009; Dundar ve ark., 2020) ve uzun dönem olarak 6 ay (Ortengren ve ark., 2001) ve 12 aylık (Polydorou ve ark., 2009a) periyotlarda incelendiği araştırmalar bulunmaktadır. Bu nedenle, çalışmada reçine kompozitlerden salınma uğrayan monomerlerin analizi 24 saat, 1 hafta, 1 ay ve uzun dönem olarak 6 aylık periyotlarda değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen veriler değerlendirildiğinde, ışık cihazlarından bağımsız olarak reçine kompozitlerden salınma uğrayan UDMA monomeri miktarının ilk 24 saat zaman periyodunda en fazla salınım gösterdiği gözlenirse de, Bis-GMA ve Bis-EMA monomerlerinde farklı zaman periyotlarında farklı salınım miktarları gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan reçine kompozitlerin tipi, monomer içeriği, monomerin moleküler boyutu ve kimyasal bileşimi, polimerizasyon derecesi, numune kalınlığı ve oksijen inhibisyon tabakası (Mun ve ark., 2000) gibi faktörlerin bu farklılığa neden olduğunu düşünmekteyiz. Reçine kompozitlerin polimerizasyonu sonrasında ilk salınma uğrayan monomerlerin

numune yüzeyinde reaksiyona girmemiş monomerlerden kaynaklandığı bildirilmiştir (Łagocka ve ark., 2016). Yüzeyden ilk salınımın gerçekleşmesinden sonra reçine kompozit kütlesinden daha yavaş ve daha uzun süre monomer salınımı meydana gelir (Manojlovic ve ark., 2013) ve bu salınım reçine kompozitlerin heterojen bir yapıda olduğunu göstermektedir (Łagocka ve ark., 2016). Dimetakrilat yapıdaki reçine kompozitlerde hem düşük hem de yüksek çapraz bağlantılı polimer alanları bulunabilmektedir (Łagocka ve ark., 2016). Reaksiyona girmemiş monomerler, ya polimer zincirleri arasında ya da polimer kümeleri arasındaki boşluklarda mikrojeller içinde tutulabilir ve bu bir monomer havuzunun oluşmasına neden olmaktadır. Bir monomer belirli bir ekstraksiyon ortamında çözünürse, reçine kompozit yapıdan ayrışabilir (Łagocka ve ark., 2016). Reçine kompozit numunelerin yüzeyinde oluşan mikropor yapıda tutulan monomerlerin mikrojel içinde bulunanlara oranla salınımına daha duyarlı olduğu bildirilmiş ve bu nedenle de organik matriks açısından monomerden zengin olan numune yüzeyinden polimerizasyondan sonra çözücüler içerisinde bekletilen numunelerin mikropor yapısından ilk hızlı monomer salınımı olacağı belirtilmiştir (Łagocka ve ark., 2016). Bu ifade ile paralel olarak çalışmamızda numune yüzeylerinde meydana gelen mikroporlar ile reçine kompozit kiyasal yapısının birlikte monomer salınımının ilk 24 saat içerisinde farklı olarak meydana gelmesine neden olduğu kanısındayız. Bununla birlikte, uzun dönem monomer salınımının değerlendirildiği çalışmamızda, 6 ay sonunda halen monomer salınımının tüm materyallerde devam ettiği gözlenmiştir. Çalışmamızın bulguları ile uyumlu olarak Alshali ve ark. (2015), bulk-fill de dahil olmak üzere çeşitli reçine kompozitlerin monomer salınımı üzerine yaptıkları çalışmada, monomer salınımının 3 ay boyunca devam ettiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Dundar ve ark. (2020) Bulk fill reçine kompozitlerden salınan monomerleri inceledikleri çalışmalarında, monomer salınımının 3 ay sonunda devam ettiğini bildirmişlerdir. Yukarıda da ifade edildiği gibi %75 etanol çözeltisinin reçine matrikse nüfuz ederek polimer zincirleri arasındaki boşlukları kademeli olarak genişletmesi sonucunda, monomerlerin kompozit yapıdan salınımına neden olduğu (Sideridou & Achilias, 2005; Dundar ve ark., 2020) ve heterojen yapıdaki reçine kompozitlerde meydana gelen boşluklar nedeniyle reaksiyona girmemiş monomerlerin, reçine matriksten uzun dönemde (6 ay) salınımına devam etmesine yol açtığını düşünmekteyiz.

Bis-GMA monomeri toksik etkileri nedeniyle monomer salınımının değerlendirildiği çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir monomerdur (Geurtsen ve ark., 1998; Goldberg, 2008; Alshali ve ark., 2015; Cebe ve ark., 2015; Pongprueksa ve ark., 2015; Łagocka ve ark., 2016). Reçine kompozitlerin organik yapısında farklı moleküler ağırlığa sahip UDMA monomerlerinin kullanıldığı bildirilse de (Polydrou ve ark., 2007; Łagocka ve ark., 2016) hepsi UDMA monomeri adlandırılmaktadır ve monomer salınımının incelendiği çalışmalarda da sıklıkla kullanılan bir monomerdur (Alshali ve ark., 2015; Lempel ve ark., 2016; Łagocka ve ark., 2016). Yüksek çapraz bağlı, düşük viskoziteye sahip reçine kompozit üretmek için Bis-EMA monomeri kullanılmaya başlanmış ancak çalışmalar incelendiğinde, diğer monomerlere oranla monomer salınımının incelendiği daha az sayıda çalışmada bu monomerin kullanıldığı gözlenmiştir (Sideridou & Achilias, 2005; Alshali ve ark., 2015; Pongprueksa ve ark., 2015). Bu nedenlerden ötürü, çalışmamızda bu üç monomeri organik yapısında bulunduran reçine kompozitler seçilerek uzun dönem monomer salınımı incelenmiştir.

Organik matriksinde Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA gibi monomerler bulunan geleneksel mikrohibrit reçine kompozit Filtek Z250 monomer salınımının değerlendirildiği pek çok çalışmada kullanılmış (Sideridou & Achilias, 2005; Manojlovic ve ark., 2013; Tabatabaee ve ark., 2014; Alshali ve ark., 2015; Karadas ve ark., 2018) ve bu materyalin hem monomer salınımının değerlendirilmesi hem de karşılaştırmalar için referans bir materyal olduğu bildirilmiştir (Alshali ve ark., 2015). Bu nedenle, Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA monomerlerinin salınımlarının incelendiği çalışmamızda, klinik uygulama prosedürüne uygun olarak 2 mm yüksekliğinde uygulanmış ve referans materyal olarak kullanılmıştır. Bulk fill reçine kompozitler düşük (akışkan) ve yüksek viskoziteli olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır. Çalışmamızda organik matriksinde Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA monomerleri bulunan Filtek Bulk Fill Flow reçine kompoziti de monomer salınımının incelenmesi için test edilmiştir. Üretici firma direktiflerine göre liner ve kaide materyali olarak kullanılabilen bu materyalin, zayıf estetik özelliklerinin yanı sıra düşük aşınma direnci ve mekanik özellikleri nedeniyle geleneksel bir reçine kompozit materyali ile kaplanarak uygulanması gerekmektedir. Üst katmanın geleneksel bir reçine kompozitle kaplanarak uygulandığı akışkan yapıdaki bu materyallerden salınan bileşenlerin ağız ortamı üzerinde küçük bir etkisi olduğu bildirilse de (Rothmund ve ark., 2017; Karadas ve ark., 2018), salınma uğrayan monomerlerin dentin kanalları yoluyla pulpa

hücrelerini etkileyebildiği bildirilmiştir (Van Landuyt ve ark., 2011). Organik matriksinde analiz edilmek istenen monomerlerin bulunduğu yüksek viskoziteli Tetric EvoCeram Bulk Fill ile SonicFill bulk fill reçine kompozitler de monomer salınımının uzun dönem değerlendirilmesi için çalışmamızda incelenmiştir. Üretici firma bilgilerine göre Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitin yapısında farklı foto başlatıcı (İvocerin) bulunmakta olup, 4 mm yüksekliğe kadar kütle olarak kullanılabilir. Yüksek viskoziteli diğer reçine kompozit materyal olan SonicFill Bulk Fill ise, materyalin yüksek viskozitesini azaltmak ve kavite duvarlarına daha iyi adapte olmasını sağlamak için sonik aktivasyon cihazı ile kullanılabilen ve 5 mm yüksekliğe kadar kütle halinde kullanılabilen materyaldir. Çalışmamızda tüm bulk fill reçine kompozitler kütle olarak standart uygulama şeklinde 4 mm yüksekliğinde uygulanmış ve monomer analizine tabi tutulmuştur.

Monomerlerin polimere dönüşüm oranına monomer dönüşüm derecesi (DC; Degree of conversion) denilmektedir ve reçine matriksin kimyasal yapısı (intrinsik faktör) ile polimerizasyon koşulları (ekstrinsik faktör) gibi değişik faktörlerden etkilenmektedir (Leprince ve ark., 2013). Işıkla polimerize olan reçine kompozitlerde dönüşüm oranının %40-75 arasında olduğu (Alshali ve ark., 2015), monomer dönüşüm oranı ile monomer salınımı arasında ters bir korelasyon bulunduğu bildirilmiştir (Neves ve ark., 2005; Cebe ve ark., 2015). Bulk fill reçine kompozitlerde ise >%55'lik bir dönüşüm oranının klinik olarak kabul edilebilir aralıkta olduğu ancak geleneksel kompozitlerden daha düşük bir değer sergilediği belirtilmiştir (Alshali ve ark., 2013). Bu nedenle, reçine kompozitlerden polimere dönüşemeyen monomerlerin önemli miktarının salınımına uğrayacağı bildirilmiştir (Durner ve ark., 2010). Reçine kompozitlerden salınımına uğrayan bu monomer/komonomerlerin astım, kontak dermatit gibi allerjik reaksiyonlara neden olabileceği (Lindström ve ark., 2002) ve artan hücre ölümü ile plazma membran hasarına neden olabilecek sitotoksik etkilerinin görülebileceği yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Geurtsen ve ark., 1998; Urcan ve ark., 2010). Çalışmamızda test edilen tüm monomerlerin hem deney grubunu oluşturan bulk fill reçine kompozitlerden hem de kontrol grubunu oluşturan reçine kompozitten salınımına uğradığı ve bu salınımın uzun dönem (6 ay) boyunca devam ettiği gözlenmiştir.

Monomer salınımını etkileyen en önemli faktör, organik matriksteki monomerlerin doğası ve moleküler boyutudur (Cebe ve ark., 2015). Küçük moleküler ağırlığa sahip monomerlerin, büyük moleküler ağırlığa sahip monomerlerden daha yüksek miktarda salınıma uğradığı ve TEGDMA gibi yüksek mobilitte sergileyen bir monomerin daha büyük moleküler yapıya sahip olan Bis-GMA gibi bir monomere göre daha yüksek salınım gösterdiği bildirilmiştir (Tanaka ve ark., 1991; Ferracane, 1994). Ancak, çalışmamızda TEGDMA monomerinin salınımı incelenmemiştir. Çalışmamızda kullanılan reçine kompozitlerden SonicFill Bulk Fill reçine kompozitin organik matriksinde UDMA monomeri bulunmamakta olup, monomer salınım analizinde de bu materyalde UDMA monomerinin salınımına rastlanmamıştır. Çalışmamızdan elde ettiğimiz monomer salınım sonuçları toplam ortalama değerler üzerinden değerlendirildiğinde, ışık uygulama süresine ve kullanılan ışık cihazı tipine bakılmaksızın en fazla salınımın UDMA monomerinde olduğu tespit edilmiştir. Van Landuyt ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmalarında monomer salınım oranlarının yüksek oranda HEMA monomerinde olduğunu ve en az salınımın ise UDMA monomerinde olduğunu belirterek monomer salınım oranlarının sırasıyla HEMA>TEGDMA>Bis-GMA>UDMA şeklinde olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, Alshali ve ark. (2015), Lempel ve ark. (2016) ile Hürmüzlü ve Kılıç (2020) monomer salınımını inceledikleri çalışmalarında, Bis-GMA, UDMA ve TEGDMA içeren reçine kompozitlerden en fazla monomer salınımın UDMA monomerinde olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda monomer salınım oranları açısından sıralamaya bakıldığında UDMA>Bis-GMA>Bis-EMA şeklinde sıralama oluşmakta olup, en fazla salınım gösteren monomerin UDMA monomeri olduğunu bildiren araştırmacıların sonuçları ile uygunluk göstermektedir. Reçine kompozitlerde UDMA monomerinin kullanımının Bis-GMA'ya oranla monomer dönüşüm derecesini ve polimerizasyon derinliğini artırdığı bildirilmiştir (Walters ve ark., 2016). Bununla birlikte, TEGDMA ve UDMA gibi esnek monomerlerin ise daha visköz olan Bis-GMA gibi monomere kıyasla bozulmaya karşı daha az dirençli oldukları bildirilmiştir (Achilias ve ark., 2008). Belirtilen bu çalışmaların sonuçlarının, neden çalışmamızda en fazla salınımın UDMA monomerinde gözlemlendiğini açıkladığı kanısındayız. Ancak, farklı çalışmalarda UDMA salınımı ile ilgili elde edilen farklı sonuçların, kullanılan reçine kompozit materyal ve monomer salınımının incelendiği metodoloji farklılığından kaynaklanmış olabileceğini düşünmekteyiz. Ayrıca monomer analizinde kullanılan reçine kompozit materyallerin

organik yapısında UDMA ve Bis-GMA monomerlerinin daha fazla oranda bulunmasının bu sonucu elde etmemize neden olabileceğini düşünmekteyiz. Çalışmamızda ışık uygulama süresi ve ışık cihazlarından bağımsız olarak toplam ortalama değerler üzerinden ikinci en yüksek salınım miktarı ise Bis-GMA monomerinde gözlenmiştir. Polydorou ve ark. (2009a) %75 etanol çözeltisinin Bis-GMA ile eşleşen bir çözünürlük parametresine sahip olduğunu ve bu nedenle yüksek oranda salınıma uğradığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, polimerizasyon oranının ve dolayısıyla dönüşüm miktarının düşük olmasının (Kilambi ve ark., 2009; Lempel ve ark., 2016) salınım miktarının fazla olmasına yol açtığı kanaatindeyiz. Çalışmamızın sonuçları değerlendirildiğinde en az salınımın Bis-EMA monomerinde olduğu tespit edilmiştir. Her ne kadar Bis-GMA gibi yüksek moleküler ağırlığa sahip bir monomer olsa da, Bis-EMA monomerinin farklı bir kompozisyona ve salınım kinetiğine sahip olmasının (Pongprueksa ve ark., 2015) daha az oranda salınıma yol açtığı kanısındayız. Cornelio ve ark. (2014), Bis-EMA monomeri içeren veya Bis-GMA'dan daha yüksek oranda Bis-EMA monomeri bulunan reçine kompozitlerde daha yüksek oranda monomer dönüşümü ve daha az su emilimi olacağını belirtmişlerdir. Bu nedenle, daha yüksek monomer dönüşümüne sahip olan Bis-EMA monomerinin salınımın daha az oranda gerçekleşmesine neden olduğu kanısındayız. Diğer taraftan, Bis-GMA monomerinin su molekülleri ile güçlü hidrojen bağları oluşturabilen hidroksil gruplarına sahip olmasına rağmen, Bis-EMA monomerinin eter ve karbonil grupları nedeniyle daha zayıf moleküller arası bağlar oluşturmasının bu monomer için su emilimini azaltmasına (Cornelio ve ark., 2014) ve daha düşük monomer salınımına neden olduğu kanısındayız. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara bakıldığında, Bis-EMA monomerinin salınımında farklılıklar gözlenmektedir (Durner ve ark., 2015; Alshali ve ark., 2015; Cebe ve ark., 2015, Karadas ve ark., 2018). Bu farklılığın nedeni olarak Bis-EMA monomerinin çok reaktif bir monomer olmasından, etoksilasyon reaksiyonundaki zorluklardan, TEGDMA ve Bis-GMA gibi tekil bir monomer olmamasından kaynaklanmış olduğu kanısındayız (Karadas ve ark., 2018).

Çalışmamızda reçine kompozitlerden salınan monomer miktarları değerlendirildiğinde, farklı reçine kompozitlerin (geleneksel ve bulk fill) uzun dönemde farklı miktarda monomer salınımları sergilediği görülmüştür. Bu nedenle, çalışmamızın üçüncü hipotezi olan “Geleneksel ve bulk fill kompozitlerden uzun dönemde salınan monomer miktarlarının benzer olacağı yönündedir” hipotezi kabul edilmemiştir.

Çalışmada kullanılan Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinin, tüm ölçüm periyotlarında uygulanan polimerizasyon süresi ile kullanılan ışık cihazı tipine bakılmaksızın UDMA ve Bis-GMA monomeri toplam ortalama salınım oranlarının diğer reçine kompozitlere oranla daha fazla olduğu ve bu monomerlerin uzun dönem salınım miktarlarının da diğer reçine kompozitlerden salınan miktarlardan fazla olduğu tespit edilmiştir. Üretici firma verilerine göre Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinde TEGDMA monomeri bulunmamaktadır. Düşük moleküler ağırlığa, düşük viskoziteye ve daha yüksek reaktiviteye sahip TEGDMA monomerinin UDMA ve Bis-GMA'ya oranla reçine kompozitlerde dönüşüm oranının artmasına neden olduğu bildirilmiştir (Sideridou ve ark., 2002; Cebe ve ark., 2015). Ayrıca, yapısında prepolimerize doldurucu partiküller bulunan Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinde reaksiyona girmemiş karbon çift bağlarının salınıma uğrayacak monomer havuzunun artmasına yol açabileceği de belirtilmiştir (Manojlovic ve ark., 2011; Cebe ve ark., 2015). Yapısında prepolimerize doldurucu partiküller bulunmasının yanısıra, TEGDMA monomerinin bulunmaması nedeniyle yeterli monomer dönüşüm oranının sağlanamamış olması bu sonuçlarının elde edilmesine neden olduğu kanısındayız. Çalışmamızın bulguları ile benzer şekilde Cebe ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmalarında, Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinden yüksek oranda UDMA ve Bis-GMA salınımı olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde LED ışık cihazı ile polimerize edilen Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinde halojen ışık cihazı ile polimerize edilen gruplara oranla 6.ay sonunda daha fazla UDMA monomeri salınımı gözlenmiştir. Benzer şekilde LED ışık cihazının 20 sn süre ile kullanıldığı gruplarda halojen ışık cihazı kullanılan gruplara oranla 6.ay sonunda daha fazla Bis-GMA monomerinin salınıma uğradığı, 40 sn süre ile polimerize edilen gruplarda ise LED ışık cihazı kullanılan gruplarda 1.ay sonunda daha fazla Bis-GMA salınımı gözlenirken 6.ay sonunda halojen ışık cihazı kullanılan grupta daha fazla Bis-GMA salınımı olduğu tespit edilmiştir. Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinde polimerizasyon başlatıcı olarak "Ivocerin" bulunmaktadır ve 420 nm'de maksimum ışık absorpsiyonuna sahiptir (Alshali ve ark., 2015). Çalışmada kullanılan LED ışık cihazı ise polimerizasyon başlatıcı olarak kullanılan Ivocerin'i polimerize etmek için gereken dalaga boyu aralığından daha fazla (450-470 nm) spektral emisyon aralığına sahiptir. Bu nedenle, uzun dönemde özellikle LED ışık cihazı ile polimerize edilen gruplarda elde ettiğimiz fazla orandaki monomer salınım değerlerinin, kullanılan LED ışık

cihazının Ivocerin'i yeterli oranda aktive edemeyerek düşük monomer/polimer dönüşümüne yol açtığı ve salınım değerlerinin artmasına neden olduğu kanısındayız. Alshali ve ark. (2015) geleneksel ve bulk fill reçine kompozitlerden monomer salınımını inceledikleri araştırmalarında, çalışmamızla benzer sonuçlar elde etmişler ve Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinin LED ışık cihazı ile polimerizasyonundan sonra çalışmada kullanılan diğer reçine kompozitlerden yaklaşık olarak 15 kat daha fazla Bis-GMA monomerinin %70 etanol-su solüsyonuna salınım gösterdiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Polydorou ve ark. (2012) yapısında polimerizasyon başlatıcı olarak Lucirin TPO (380-425 nm dalga boyu) bulunan geleneksel reçine kompozit Tetric EvoCeram kullandıkları araştırmalarında, LED ile polimerize edilen numunelerin, halojen ışık cihazı kullanılan gruplara oranla etanol çözeltisi içerisine UDMA ve Bis-GMA monomerlerinin salınımının daha fazla olduğunu göstermişlerdir.

Çalışmada kullanılan geleneksel reçine kompozit Filtek Z250'den salınıma uğrayan monomerler değerlendirildiğinde, yüksek oranda UDMA ve Bis-GMA monomerinin salınıma uğradığı ve bu salınımın ışık cihazlarının 20 sn uygulandığı gruplarda uzun dönemde artış gösterdiği, 40 sn uygulanan gruplarda ise azalarak devam ettiği gözlenmiş olup, uzun dönemde LED ışık cihazının daha az monomer salınımına neden olduğu gözlenmiştir. Yapısında polimerizasyon başlatıcı olarak kamforokinon bulunan geleneksel reçine kompozitin polimerizasyonunda kullanılan ışık cihazlarının enerji yoğunluğunun monomer salınımı üzerine etkili olduğu, ışık uygulama süresinin artmasıyla enerji yoğunluğunun iki katına çıkmasının monomer salınım oranlarının daha da azalmasına neden olduğu kanısındayız. Ayrıca, organik yapı içerisinde ana monomer grubun UDMA ve Bis-GMA monomerlerinden oluşması, reaksiyona girmemiş yüksek oranda bu monomerlerden bulunmasına yol açarak dönüşüm oranının etkilenmesine ve dolayısıyla da salınım miktarlarının artmasına neden olabileceğini düşünmekteyiz. Salınıma uğrayan monomerlerin konsantrasyonu ve materyalden ayrılma hızı sadece reaksiyona girmemiş monomerlerin konsantrasyonuna değil, aynı zamanda reçinelerin yapısına ve monomerlerin polimer ağı içindeki konumuna da bağlıdır (Łagocka ve ark., 2018). Çalışmada kullanılan Filtek Z250 reçine kompozitinden yüksek oranda salınıma uğrayan UDMA ve Bis-GMA monomerlerinin kompozit numunelerin yüzeyinde ve %75 etanol solventi için kolayca erişilebilen yüzeylerde bulunan monomerler olabileceği ve bu nedenle de bu materyalden yüksek oranda ve uzun dönem bu

monomerlerin salınımına neden olmuş olabileceğini düşünmekteyiz. Organik matriks içerisinde UDMA kullanımının Bis-GMA'ya kıyasla monomer dönüşümünü ve polimerizasyon derinliğini artırdığı belirtilse de (Walters ve ark., 2016), UDMA ve TEGDMA gibi daha esnek monomerlerin, Bis-GMA gibi visköz monomerlerden daha heterojen bir polimer ağı ürettiği ve bu nedenle de artık monomerlerin sızabilmesi için gözeneklerin açılmasına yol açabileceği belirtilmiştir (Karadas ve ark., 2018). Alshali ve ark. (2013) yüksek moleküler ağırlığa sahip Bis-EMA monomerinin UDMA'nın reaktivitesini ve dönüşüm oranını azaltarak yüksek oranda salınımına neden olabileceğini bildirmişlerdir. Bu nedenlerden ötürü bu materyalden salınım miktarının fazla oranda gerçekleştiği kanısındayız. Sideridou ve ark. (2002), monomer dönüşüm oranlarını inceledikleri çalışmalarında UDMA monomeri için dönüşüm oranının %70 civarında olduğunu ancak yüksek moleküler ağırlığa sahip Bis-GMA monomerinde ise bu oranın %39 olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek moleküler ağırlığa ve düşük dönüşüm oranına sahip monomerlerde artık monomer miktarının fazla olabileceği (Dundar ve ark., 2020) ve bu nedenle de salınım miktarının Bis-GMA monomerinde artmış olduğu kanısındayız. Sideridou ve ark. (2003), Bis-GMA/TEGDMA monomer matriksine sahip reçine kompozitlerin, diğer monomer kombinasyonları ile karşılaştırıldığında daha düşük çözünürlük ve daha yüksek çapraz bağlar sergileyeceğini bildirmişlerdir. Her ne kadar, UDMA ve Bis-GMA monomerlerinin organik matriks içerisinde ana monomer grubu oluşturduğu belirtilse de, reçine kompozitlerin üretici firmaları tarafından tam monomer oranları malesef belirtilmemektedir ve kesin olarak bu nedene bağlamayı mümkün kılmamaktadır. Karadas ve ark. (2018) geleneksel reçine kompozit (Filtek Z250) ile farklı bulk fill reçine kompozitlerden salınan monomerleri inceledikleri çalışmalarında, çalışmamızla benzer şekilde LED ışık cihazının Filtek Z250'den daha az monomer salınımına neden olduğunu bildirmişlerdir. Ancak çalışmamızdan farklı olarak araştırmacılar hem 2 mm hem de 4 mm kalınlıkta Filtek Z250 reçine kompozit örnekleri hazırlamışlar ve monomer salınımını incelemişlerdir. Çalışmamızdan farklı olarak, Alshali ve ark. (2015) ise Filtek Z250 reçine kompozitinden 24 saat sonra su ve etanol çözeltisine salınıma uğrayan UDMA ve Bis-GMA monomerlerinin diğer test edilen reçine kompozitlere oranla düşük oranda olduğunu bildirmişlerdir. Daha önce belirtildiği gibi (Van Landuyt ve ark., 2011) salınıma uğrayan monomerlerin konsantrasyon değerlerinin, ışık uygulama ve numunelerin saklanma koşulları, numune

boyutları, analitik yöntem (HPLC, LC/MS-MS, GC/MS) gibi metodolojik farklılıklar nedeniyle farklı çalışmalar arasında değişik sonuçların alınabileceği kanısındayız.

Çalışmada kullanılan akışkan bulk fill reçine kompozit Filtek Bulk Fill Flow materyalinde en yüksek monomer salınımının UDMA monomerinde olduğu tespit edilmiştir. Lempel ve ark. (2016) çalışmamızın bulguları ile benzer şekilde bu materyal için yüksek monomer salınım sonuçları bildirmişlerdir. Üretici firma materyal güvenlik bilgi formu (MSDS) incelendiğinde, ticari sır olmakla birlikte ağırlıkça %10-20 arasında en yüksek oranda UDMA monomerinin organik matrikste bulunduğu görülmektedir. Organik matriksinde yüksek oranda UDMA monomerinin bulunması, doldurucu oranının diğer reçine kompozitlere oranla daha düşük olması nedeniyle de bu monomer salınımının daha fazla olduğu kanısındayız. Diğer taraftan, organik matriksinde %1-5 gibi daha düşük miktarlarda yüksek moleküler ağırlığa sahip Bis-GMA ve Bis-EMA monomerlerinin bulunması nedeniyle de bu monomerlerin UDMA monomerine oranla daha az salınımına uğradığı kanısındayız. Daha önce de belirtildiği gibi, numune yüzeyinde ve mikro por yapı içerisinde bulunan monomerlerin mikro jel içerisinde bulunanlardan daha fazla salınımına uğramaktadır (Łagocka ve ark., 2016). Bu nedenle, organik matriks içerisinde ağırlıkça yüksek oranda bulunan UDMA monomerinin numune yüzeyinde ve mikro porlarda daha fazla oranda bulunmuş olabileceği ve uzun dönemde yüksek oranda salınımına uğradığı kanısındayız.

Çalışmada kullanılan SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinden salınımına uğrayan monomer oranları değerlendirildiğinde, organik matriksinde UDMA monomeri bulunmayan bu reçine kompozitten UDMA salınımı olmadığı, Bis-GMA monomerinin ise diğer reçine kompozitlere oranla daha az salınım gösterdiği gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan reçine kompozitlere oranla toplam ortalama monomer salınım değerlerinin daha az olmasının, doldurucu oranının yüksek olmasından kaynaklanmış olabileceğini düşünmekteyiz. Monomer kompozisyonunun da farklı olmasının daha az monomer salınımına yol açtığını düşünmekteyiz. Yapısında UDMA monomeri bulunmamasının monomer dönüşüm oranının artmasına ve daha az monomer salınımının oluşmasına yol açtığını düşünmekteyiz. Çalışmamızın bulguları ile benzer şekilde Karadas ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmalarında, SonicFill Bulk Fill reçine kompozitin test edilen tüm bulk fill reçine kompozitlerden daha düşük oranda toplam monomer salınımı gösterdiğini ve yüksek doldurucu içeriğinin bu sonuca yol açmış olduğunu

bildirmişlerdir. Ayrıca organik matriksinde TEGDMA monomeri bulunmasının polimerizasyon oranının artmasında ve monomer salınım oranlarının düşmesinde olumlu katkısı olduğu kanısındayız. Organik matriksinde SIMA monomeri de bulunan materyalin, bu sayede Bis-GMA bazlı reçine kompozitlere kıyasla daha düşük polimerizasyon büzülmesine, daha düşük çözünürlüğe ve su emilimine sahip olduğu bildirilmiştir (Liang ve ark., 2014). Bu yapısal farklılığın da materyalden salınımına uğrayan monomer miktarlarına olumlu yönde katkı sağladığı kanısındayız.

Reçine kompozitlerde monomer salınımını etkileyen diğer bir faktörde inorganik doldurucu oranlarıdır. Çalışmada kullanılan reçine kompozitlerin ağırlıkça doldurucu oranları Filtek Z250 için %82, Filtek Bulk Fill Flow için %64,5, Tetric EvoCeram Bulk Fill için %77 ve SonicFill Bulk Fill için %83,5'tir. Yüksek doldurucu içeriğine sahip SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinde daha az monomer salınımı gözlenmiştir. Çalışmalar, yüksek doldurucu içeriğine sahip reçine kompozitlerde düşük olanlara göre daha az absorpsiyon olacağını (Ortengren ve ark., 2001; Lempel ve ark., 2016) bildirmiştir. Bu nedenle, yüksek doldurucu içeriğine sahip SonicFill Bulk Fill reçine kompozitinde daha az solvent absorpsiyonu olduğunu ve bu nedenle de daha az monomer salınımı gerçekleştiğini düşünmekteyiz. Lempel ve ark. (2016) çalışmamızla benzer şekilde yüksek doldurucu içeriğine sahip X-tra base bulk fill (Voco, Cuxhaven, Almanya) reçine kompozitinin yüksek doldurucu içeriği nedeniyle çalışmada kullandıkları diğer reçine kompozitlere oranla en az monomer salınımı gösteren materyal olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda diğer reçine kompozitlere göre daha düşük doldurucu içeriğine sahip Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinde ise toplam ortalama monomer salınım oranları daha yüksek doldurucu içeriğine sahip Filtek Z250 ve Tetric EvoCeram Bulk Fill materyallerine oranla daha az oranda salınım göstermiştir. Bu nedenle, çalışmamızın dördüncü hipotezi olan "Reçine kompozit tipine göre doldurucu içeriği daha düşük olan akışkan yapıdaki reçine kompozitten monomer salınımının daha fazla olacağı yönündedir" hipotezi kabul edilmemiştir. Bunun nedeni olarak, akışkan yapıdaki Filtek Bulk Fill Flow reçine kompozitinin diğer reçine kompozitlere oranla daha şeffaf yapıda olmasının polimerizasyon etkinliğini artırarak monomer salınım oranlarını etkilediği kanısındayız. Ayrıca, materyalin düşük viskozitesinin, organik matrikste bulunan serbest radikallerin aktivasyonuna olumlu katkı sağlayarak monomer dönüşüm oranının artmasına dolayısıyla da daha az monomer salınımına neden olduğunu düşünmekteyiz. Polydorou ve ark. (2007)

çalışmamızın bulguları ile benzer şekilde yapısında daha fazla monomer bulunan Tetric Flow (Ivoclar Vivadent) reçine kompozitinin daha az monomer içeriğine sahip Tetric Ceram (Ivoclar Vivadent) reçine kompozitine göre tüm polimerizasyon koşullarında ve saklama sürelerinde daha az monomer salınımı gösterdiğini bildirmişler ve bunun akışkan yapıdaki reçine kompozit materyalin polimerizasyon etkinliğinin daha yüksek olmasından kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. Bu nedenle, materyallerin kimyasal kompozisyonlarının monomer salınımına etki edeceği (Sideridou & Achilias, 2005; Polydorou ve ark., 2007), silan bağlayıcı ajanın yapısı ile doldurucu partiküllere bağlantısının reçine kompozitlerde çözünürlüğü ve solvent içerisine monomer salınımı üzerine etkilerinin (Lempel ve ark., 2016) dikkate alınması gerektiği kanısındayız.

Reçine kompozitlerden salınıma uğrayan monomerlerin analizi, sadece materyalin mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi için değil, aynı zamanda bu materyallerin biyouyumluluğunun değerlendirilmesi içinde önem taşımaktadır. Reçine kompozitlerin sitotoksik etkileri in vitro olarak değişik hücre tiplerinde değerlendirilmiştir (Geurtsen ve ark., 1998; Emmeler ve ark., 2008). Guertsen ve ark. (1998), insan pulpa fibroblastlarında Bis-GMA monomerinin sitotoksik konsantrasyonunun 72 µg/ml, Bis-EMA monomerinin sitotoksik konsantrasyonunun 63 µg/ml ve UDMA monomerinin sitotoksik konsantrasyonunun ise 221 µg/ml olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda monomer analizi sonuçları LC-MS/MS cihazında milyarda bir (ppb, part per billion) olarak ölçülmüş olup, 1 µg/ml değeri ise 1000 ppb olarak dönüştürülebilmektedir. Bu dönüşüm sağlandığında, kullanılan ışık cihazları ve ışık uygulama süreleri dikkate alınmadan değerlendirildiğinde toplam ortalama değerler üzerinden en yüksek salınımın 21.746 ppb (21,746 µg/ml) ile UDMA monomerinde olduğu, bunu sırasıyla 13.550 ppb (13,55 µg/ml) salınım oranıyla Bis-GMA ve 6,22 ppb (0.0062 µg/ml) salınım oranıyla Bis-EMA monomerinin izlediği görülmektedir. Reçine kompozit materyal bazında salınıma uğrayan monomer olarak değerlendirildiğinde, çalışmada en yüksek salınımın 31.137 ppb (31.137 µg/ml) salınım oranıyla halojen ışık cihazı ile 20 sn polimerize edilen Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinde olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızdan elde edilen monomer salınımı sonuçlarına göre, monomerlerin pulpa fibroblast hücrelerinde sitotoksik konsantrasyon olarak belirtilen değerlerin oldukça altında olduğu görülmüştür. Ancak, çalışmamızda geleneksel ve bulk fill reçine kompozitlerden salınıma uğrayan Bis-GMA, Bis-EMA ve UDMA monomerlerinin uzun dönem salınım değerleri değerlendirilmiş olup, sitotoksik etkileri

incelenmemiştir. Bu nedenle, monomer salınımı ile birlikte sitotoksik etkilerin birlikte değerdendirileceğı çalışmaların bu konuda daha aydınlatıcı sonuçlar vereceğı kanısındayız.



6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasının sınırları dahilinde, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. LED ışık cihazı halojen ışık cihazına oranla toplam ortalama monomer salınımı üzerine istatistiksel olarak daha az monomer salınımı neden olmuştur,
2. Reçine kompozitlerden salınımı uğrayan monomer miktarının azaltılması için klinik kullanımda yüksek ışık gücüne sahip ışık kaynaklarının kullanılmasının daha iyi bir polimerizasyona neden olabilecektir,
3. Işık uygulama süresinin iki katına çıkarılması, reçine kompozitlerden salınımı uğrayan monomer oranlarında azalmaya yol açmıştır,
4. Reçine kompozitlerden salınımı uğrayan monomer miktarları, materyalin tipine ve kimyasal yapısına bağlı olarak farklılıklar göstermiştir,
5. Tüm reçine kompozitlerden test edilen monomerler tüm zaman periyotlarında salınımı uğramış ve bu salınım uzun dönem (6 ay) devam etmiştir,
6. Kullanılan ışık kaynağı tipine ve ışık uygulama süresine bakılmaksızın, UDMA monomerinin en yüksek toplam ortalama monomer salınım değerini gösterdiği, ikinci en yüksek salınımın Bis-GMA monomerinde ve en az salınım değerinin ise Bis-EMA monomerinde olduğu,
7. Reçine kompozitlerden, en yüksek kümülatif monomer salınım değerinin Tetric EvoCeram Bulk Fill reçine kompozitinde olduğu,
8. Reçine kompozit tipine (akışkan, restoratif) bağlı olarak monomer salınımlarının farklılık gösterebileceği,
9. Yalnızca bazı artık monomerlerin (Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA) salınım analizi, salınımı uğrayan bileşenlerin miktarının mutlak bir ölçümünü sağlamayacaktır. Ayrıca çalışmada gıda simüle edici ajan olarak sadece %75 etanol kullanılırken, kompozit restorasyonların ağız ortamında birçok kimyasal ve mekanik etkiye maruz kaldığını ve bunun da salınım miktarları üzerinde etkili olacağının unutulmaması gerektiği,
10. Kullanılan analiz yöntemi, ışık kaynağı, süresi, çözücü olarak kullanılan solüsyon, saklama süresi ve numune boyutlarındaki farklılıklar gibi nedenlerden

dolayı monomer salınım miktarlarında farklılıklar olabileceği göz önünde bulundurularak reçine kompozitler için optimal polimerizasyon koşullarının sağlanarak monomer salınımının azaltılmasına yönelik daha kapsamlı çalışmalar yapılması gerektiğini düşünmekteyiz..



KAYNAKLAR

- Abed YA, Sabry HA, Alrobeighy NA. Degree of conversion and surface hardness of Bulk fill composite versus incremental-fill composite. *Tanta Dent J* 2015; 12: 71-80.
- Abouelleil H, Pradelle N, Villat C, Attik N, Colon P, Grosogeat B. Comparison of mechanical properties of a new fiber reinforced composite and bulk filling composites. *Restor Dent Endod* 2015; 40: 262-270.
- Achilias DS, Karabela MM, Sideridou ID. Thermal degradation of light-cured dimethacrylate resins: part I. Isoconversional kinetic analysis. *Thermochim Acta* 2008; 472: 74–83.
- Alonso RC, de Souza-Junior EJ, Dressano D, de Araujo GA, Rodriguez JM, Hipolito VD, Anauate-Netto C, Puppini-Rontani RM, Sinhoreti MA. Effect of photoinitiator concentration on marginal and internal adaptation of experimental composite blends photocured by modulated methods. *Eur J Dent* 2013; 7(Suppl 1): S1-8.
- Alpar CR. Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemler. Detay Yayıncılık, Ankara, 2011. s.205.
- Alrahlah A, Silikas N, Watts DC. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. *Dent Mater* 2014; 30: 149-154.
- Alshali RZ, Salim NA, Sung R, Satterthwaite JD, Silikas N. Analysis of long-term monomer elution from bulk-fill and conventional resin-composites using high performance liquid chromatography. *Dent Mater* 2015; 31: 1587-1598.
- Alshali RZ, Silikas N, Satterthwaite JD. Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. *Dent Mater* 2013; 29: 213-217.
- Alvim HH, Campos NM, Vasconcellos WA, Silva VA, Moreira AN, Gatti A. Influence of Different Photoinitiators on Polymerization Kinetics and Marginal Microleakage in Restorations using Photopolymerizable Dental Composites. *Pesq Bras Odontoped Clin Integr* 2017; 17: e2833.

Aranha AM, Giro EM, Hebling J, Lessa FC, Costa CA. Effects of light-curing time on the cytotoxicity of a restorative composite resin on odontoblast-like cells. *J Appl Oral Sci* 2010; 18: 461-6.

Arikawa H, Kanie T, Fujii K, Takahashi H, Ban S. Effect of filler properties in composite resins on light transmittance characteristics and color. *Dent Mater J* 2007; 26: 38-44

Aw TC, Nicholls JJ. Polymerization shrinkage of composite resins using plasma-arc photocuring. *Gen Dent* 2001; 49:473-9.

Bağış YH, Yamanel K. Işık ile polimerize olan kompozit rezinin renk farklılıklarının absorpsiyon katsayılarına etkisi. *AÜ Diş Hek Fak Derg* 2000; 27: 151-7.

Bektaş ÖÖ, Siso ŞH, Eren D. Işık kaynakları, polimerizasyon ve klinik uygulamalar. *EÜ Dişhek Fak Derg* 2006; 27: 117-124.

Bensor SJ, Pearson GJ. A clinical guide to applied dental materials. Churchill Livingstone Elsevier, China, p.55-216, 2013.

Bijelic-Donova J, Garoushi S, Lassila LV, Keulemans F, Vallittu PK. Mechanical and structural characterization of discontinuous fiber-reinforced dental resin composite. *J Dent* 2016; 52: 70-78.

Blankenau RJ, Kelsey WP, Powell GL, Shearer GO, Barkmeier WW, Cavel WT. Degree of composite resin polymerization with visible light and argon laser. *Am J Dent* 1991; 4: 40–42.

Bociong K, Szczesio A, Sokolowski K, Domarecka M, Sokolowski J, Krasowski M, Lukomska-Szymanska M. The Influence of Water Sorption of Dental Light-Cured Composites on Shrinkage Stress. *Materials (Basel)* 2017; 10: 1142.

Botsali MS, Sozer OA, Altunsoy M, Demir A, Ulker HE. Residual monomer release from orthodontic adhesives cured with different light sources. *J Adhes Sci Technol* 2016; 30: 1354–1363.

Bowen RL. Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. *J Am Dent Assoc* 1963; 66: 57-64.

Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clin Oral Investig* 2014; 18: 1991-2000.

Cadenaro M, Antoniolli F, Sauro S, Tay FR, Di Lenarda R, Prati C, Biasotto M, Contardo L, Breschi L. Degree of conversion and permeability of dental adhesives. *Eur J Oral Sci* 2005; 113: 525–530.

Campos EA, Ardu S, Lefever D, Jassé FF, Bortolotto T, Krejci I. Marginal adaptation of class II cavities restored with bulk-fill composites. *J Dent* 2014; 42: 575-581.

Carvalho Fde A, Almeida RC, Almeida MA, Cevidanes LH, Leite MC. Efficiency of light-emitting diode and halogen units in reducing residual monomers. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138: 617-22.

Caughman WF, Rueggeberg FA. Shedding new light on composite polymerization. *Oper Dent* 2002; 27: 636-8.

Cebe MA, Cebes F, Cengiz MF, Cetin AR, Arpag OF, Ozturk B. Elution of monomer from different bulk fill dental composite resins. *Dent Mater* 2015; 31: 141-149.

Choi KK, Condon JR, Ferracane JL. The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. *J Dent Res* 2000; 79: 812-817.

Cornelio RB, Wikant A, Mjøsund H, Kopperud HM, Haasum J, Gedde UW, Örtengren UT. The influence of bis-EMA vs bis GMA on the degree of conversion and water susceptibility of experimental composite materials. *Acta Odontol Scand* 2014; 72: 440-7.

Czasch P, Ilie N. In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of bulk fill composites. *Clin Oral Investig* 2013; 17: 227-35.

D'Alpino PH, Bechtold J, dos Santos PJ, Alonso RC, Di Hipólito V, Silikas N, Rodrigues FP. Methacrylate- and silorane-based composite restorations: hardness, depth of cure and interfacial gap formation as a function of the energy dose. *Dent Mater* 2011; 27: 1162-9.

Darmani H, Al-Hiyasat AS. The effects of BIS-GMA and TEG-DMA on female mouse fertility. *Dent Mater* 2006; 22: 353-358.

Dalli'Magro E, Sinhoreti MA, Correr AB, Consani RL, Sicoli EA, Mendoça MJ, Correr-Sobrinho L. Effect of different modes of light modulation on the bond strength and knoop hardness of a dental composite. *Braz Dent J* 2008; 19: 334-40.

Davy KW, Kalachandra S, Pandain MS, Braden M. Relationship between composite matrix molecular structure and properties. *Biomaterials* 1998; 19: 2007-2014.

Dayangaç B. Kompozit Rezin Restorasyonlar. Güneş Kitabevi, Ankara, s. 2-20, 2000.

de Camargo EJ, Moreschi E, Baseggio W, Cury JA, Pascotto RC. Composite depth of cure using four polymerization techniques. *J Appl Oral Sci* 2009; 17: 446-50.

de Oliveira DCRS, Rocha MG, Correa IC, Correr AB, Ferracane JL, Sinhoreti MAC. The effect of combining photoinitiator systems on the color and curing profile of resin-based composites. *Dent Mater* 2016; 32: 1209-1217.

Dewaele M, Truffier-Boutry D, Devaux J, Leloup G. Volume contraction in photocured dental resins: The shrinkage-conversion relationship revisited. *Dent Mater* 2006; 22: 359-365.

Discacciati JA, Neves AD, Orefice RL, Pimenta FJ, Sander HH. Effect of light intensity and irradiation time on the polymerization process of a dental composite resin. *Materials Res* 2004; 2: 313-318.

dos Santos RL, de Sampaio GA, de Carvalho FG, Pithon MM, Guênes GM, Alves PM. Influence of degree of conversion on the biocompatibility of different composites in vivo. *J Adhes Dent* 2014; 16: 15-20.

Dundar A, Barutcugil C, Gul Batmaz S, Yildirim K, Gucluer O. Long-term monomer elution from bulk-fill composite resins . *Ann Med Res* 2020; 27: 2731–36.

Durner J, Schrickel K, Watts DC, Ilie N. Determination of homologous distributions of bisEMA dimethacrylates in bulk-fill resin-composites by GC-MS. *Dent Mater* 2015; 31: 473-80.

Durner J, Spahl W, Zaspel J, Schweikl H, Hickel R, Reichl FX. Eluted substances from unpolymerized and polymerized dental restorative materials and their Nernst partition coefficient. *Dent Mater* 2010; 26: 91-9.

Eick JD, Kotha SP, Chappelow CC, Kilway KV, Giese GJ, Glaros AG, Pinzino CS. Properties of silorane-based dental resins and composites containing a stress-reducing monomer. *Dent Mater* 2007; 23: 1011-7.

El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of Bulk fill resin composites. *Oper Dent* 2014; 39: 374-82.

Elliott JE, Lovell LG, Bowman CN. Primary cyclization in the polymerization of Bis-GMA and TEGDMA: a modeling approach to understanding the cure of dental resins. *Dent Mater* 2001; 17: 221-229.

El-Safty S, Silikas N, Watts DC. Creep deformation of restorative resin-composites intended for Bulk fill placement. *Dent Mater* 2012; 28: 928-35.

Emmmer J, Seiss M, Kreppel H, Reichl FX, Hickel R, Kehe K. Cytotoxicity of the dental composite component TEGDMA and selected metabolic by-products in human pulmonary cells. *Dent Mater* 2008; 24: 1670-5.

Farahat F, Daneshkazemi AR, Hajiahmadi Z. The Effect of Bulk Depth and Irradiation Time on the Surface Hardness and Degree of Cure of Bulk-Fill Composites. *J Dent Biomater* 2016; 3: 284-291.

Fenn JB, Mann M, Meng CK, Wong SF, Whitehouse CM. Electrospray ionization for mass spectrometry of large biomolecules. *Science* 1989; 246: 64-71.

Ferracane JL, Berge HX. Fracture toughness of experimental dental composites aged in ethanol. *J Dent Res* 1995; 74: 1418–1423.

Ferracane JL, Condon JR. Rate of elution of leachable components from composite. *Dent Mater* 1990; 6: 282-287.

Ferracane JL, Mitchem JC, Condon JR, Todd R. Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure. *J Dent Res* 1997; 76: 1508-16.

Ferracane JL. Current trends in dental composites. *Crit Rev Oral Biol Med* 1995; 6: 302-318.

Ferracane JL. Elution of leachable components from composites. *J Oral Rehabil* 1994; 21: 441-452.

Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater* 2011; 27: 29-38.

Finer Y, Santerre JP. Salivary esterase activity and its association with the biodegradation of dental composites. *J Dent Res* 2004; 83: 22-26.

Fleming GJ, Khan S, Afzal O, Palin WM, Burke FJ. Investigation of polymerisation shrinkage strain, associated cuspal movement and microleakage of MOD cavities restored incrementally with resin-based composite using an LED light curing unit. *J Dent* 2007; 35: 97-103.

Fleming MG, Maillet WA. Photopolymerization of composite resin using the argon laser. *J Can Dent Assoc* 1999; 65: 447-50.

Floyd CJ, Dickens SH. Network structure of Bis-GMA- and UDMA-based resin systems. *Dent Mater* 2006; 22: 1143-1149.

Fronza BM, Rueggeberg FA, Braga RR, Mogilevych B, Soares LE, Martin AA, Ambrosano G, Giannini M. Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites. *Dent Mater* 2015; 31: 1542-51.

Furness A, Tadros MY, Looney SW, Rueggeberg FA. Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of Bulk fill composites. *J Dent* 2014; 42: 439-449.

Gajewski VE, Pfeifer CS, Fróes-Salgado NR, Boaro LC, Braga RR. Monomers used in resin composites: degree of conversion, mechanical properties and water sorption/solubility. *Braz Dent J* 2012; 23: 508-514.

Galvao MR, Caldas SG, Bagnato VS, Rastelli AN, Andrade MF. Evaluation of degree of conversion and hardness of dental composites photoactivated with different light guide tips. *Eur J Dent* 2013; 7: 86-93.

Galvao MR, Costa SXS, Victorino KR, Ribeiro AA, Menezes FCH, Rastelli ANS, Bagnato VS, Andrade MF. Influence of light guide tip used in the photo-activation on degree of conversion and hardness of one nanofilled dental composite. *Las Phys* 2010; 20: 1-6.

Garcia D, Yaman P, Dennison J, Neiva G. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk fill flowable composite resins. *Oper Dent* 2014; 39: 441-8.

Garoushi S, Säilynoja E, Vallittu PK, Lassila L. Physical properties and depth of cure of a new short fiber reinforced composite. *Dent Mater* 2013; 29: 835-841.

Genç Şen Ö, Eligüzeloğlu Dalkılıç E, Deniz Arısu H, Ömürlü H, Eskitaşçıoğlu G. (2016). HPLC analysis of monomers eluted from self-adhesive resin cements. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2016; 33: 109-14.

Geurtsen W, Lehmann F, Spahl W, Leyhausen G. Cytotoxicity of 35 dental resin composite monomers/additives in permanent 3T3 and three human primary fibroblast cultures. *J Biomed Mater Res* 1998; 41: 474-480.

Geurtsen W. Substances released from dental resin composites and glass ionomer cements. *Eur J Oral Sci* 1998; 106: 687-695.

Goldberg M. In vitro and in vivo studies on the toxicity of dental resin components: a review. *Clin Oral Investig* 2008; 12: 1-8.

Goracci C, Cadenaro M, Fontanive L, Giangrosso G, Juloski J, Vichi A, Ferrari M. Polymerization efficiency and flexural strength of low-stress restorative composites. *Dent Mater* 2014; 30: 688-694.

Grebe SK, Singh RJ. LC-MS/MS in the Clinical Laboratory - Where to From Here? *Clin Biochem Rev* 2011; 32: 5-31.

Gul P, Alp HH, Özcan M. Monomer release from bulk-fill composite resins in different curing protocols. *J Oral Sci* 2020; 62: 288-292.

Gül P. Kompozit dolgu maddesinden zamanla salınan artık monomer miktarları ve bu monomerlerin tükürük malondialdehit (MDA) düzeyi ve bazı antioksidan enzim seviyeleri üzerine etkileri. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Diş Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı. Doktora tezi, Erzurum: Atatürk Üniversitesi, 2012.

Hatrack CD, Eakle WS. Dental Materials: Clinical Applications for Dental Assistants and Dental Hygienists. Saunders, Elsevier, St. Louis Missouri, USA, p. 64-95, 2016.

Heymann HO, Swift EJ, Ritter AV, Sturdevant CM. Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry, 6th ed., Elsevier/Mosby, 2012.

Hicks MJ, Westerman GH, Flaitz CM, Powell GL. Surface topography and enamel-resin interface of pit and fissure sealants following visible light and argon laser polymerization: an in vitro study. ASDC J Dent Child 2000; 67: 169-75.

Hofmann N, Hugo B, Klaiber B. Effect of irradiation type (LED or QTH) on photo-activated composite shrinkage strain kinetics, temperature rise, and hardness. Eur J Oral Sci 2002; 110: 471-9.

Hsu WY, Wang VS, Lai CC, Tsai FJ. Simultaneous determination of components released from dental composite resins in human saliva by liquid chromatography/multiple-stage ion trap mass spectrometry. Electrophoresis 2012; 33: 719-25.

<https://multimedia.3m.com/mws/media/783430/3m-filtek-z250-universal-restorative-technical-product-profile.pdf> (Erişim tarihi, Haziran 2020).

<https://multimedia.3m.com/mws/media/9763000/3m-filtek-bulk-fill-flowable-restorative-technical-product-profile.pdf> (Erişim tarihi, Haziran 2020).

Hürmüzlü F, Kılıç V. Analysis of Monomer Elution from Bulk-fill and Nanocomposites Cured with Different Light Curing Units Using High Performance Liquid Chromatography. J Photopolymer Sci Technol 2020; 33: 27-36.

Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance. Oper Dent 2013; 38(6):618-25.

Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials. *Aust Dent J* 2011; 56 Suppl 1: 59-66.

Ilie N, Stark K. Effect of different curing protocols on the mechanical properties of low-viscosity Bulk fill composites. *Clin Oral Investig* 2015; 19: 271-9.

Ishikiriama SK, De Oliveira GU, Maenosono RM, Wang L, Duarte MA, Mondelli RF. Wear and surface roughness of silorane composites after pH cycling and toothbrushing abrasion. *Am J Dent* 2014; 27: 195-198.

Jafarzadeh TS, Erfan M, Behroozibakhsh M, Fatemi M, Masaeli R, Rezaei Y, Bagheri H, Erfan Y. Evaluation of Polymerization Efficacy in Composite Resins via FT-IR Spectroscopy and Vickers Microhardness Test. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2015; 9: 226-32.

Janda R, Roulet JF, Latta M, Rüttermann S. Water sorption and solubility of contemporary resin-based filling materials. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2007; 82: 545-551.

Jang JH, Park SH, Hwang IN. Polymerization shrinkage and depth of cure of Bulk fill resin composites and highly filled flowable resin. *Oper Dent* 2015; 40: 172-80.

Jimenez-Planas A, Martín J, Abalos C, Llamas R. Developments in polymerization lamps. *Quintessence Int* 2008; 39: e74-84.

Karaarslan ES, Altintas SH, Bulbul M, Cebe MA, Usumez A. High performance liquid chromatography analysis of monomers from one composite resin cured with different polymerisation methods. *Mater Res Innov* 2011;15:124–9.

Karadas, M, Hatipoglu, O, Havva, ER, Turumtay EA. Influence of different light-curing units on monomer elution from bulk fill composites. *J Adhes Sci Technol* 2018; 32: 2631–2646.

Kerr Corporation SonicFill DFU. [http://www.kerrdental.com/index/cms-filesystem-action?file=/kerrdental-products-dfu/2011_SonicFill_\[NA\].pdf](http://www.kerrdental.com/index/cms-filesystem-action?file=/kerrdental-products-dfu/2011_SonicFill_[NA].pdf). 2011. Erişim tarihi, Haziran 2020.

Kilambi H, Cramer NB, Schneidewind LH, Shah P, Stansbury JW, Bowman CN. Evaluation of highly reactive mono-methacrylates as reactive diluents for BisGMA-based dental composites. *Dent Mater* 2009; 25: 33-8.

Kim ME, Park SH. Comparison of premolar cuspal deflection in bulk or in incremental composite restoration methods. *Oper Dent* 2011; 36: 326-334.

Knezević A, Tarle Z, Meniga A, Sutalo J, Pichler G, Ristić M. Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 586-91.

Koin PJ, Kilislioglu A, Zhou M, Drummond JL, Hanley L. Analysis of the degradation of a model dental composite. *J Dent Res* 2008; 87: 661-665.

Kong N, Jiang T, Zhou Z, Fu J. Cytotoxicity of polymerized resin cements on human dental pulp cells in vitro. *Dent Mater* 2009; 25: 1371-1375.

Kopperud HM, Johnsen GF, Lamolle S, Kleven IS, Wellendorf H, Haugen HJ. Effect of short LED lamp exposure on wear resistance, residual monomer and degree of conversion for Filtek Z250 and Tetric EvoCeram composites. *Dent Mater* 2013; 29: 824-34.

Kramer N, Lohbauer U, Garcia-Godoy F, Frankenberger R. Light curing of resin-based composites in the led era. *Am J Dent* 2008; 21: 135–42.

Küçükeşmen Ç. Farklı ışık kaynakları ve yeni polimerizasyon teknikleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hek Fak Dergisi* 2006; 9: 127-137.

Łagocka R, Jakubowska K, Chlubek D, Buczkowska-Radlińska J. The Influence of Irradiation Time and Layer Thickness on Elution of Triethylene Glycol Dimethacrylate from SDR® Bulk-Fill Composite. *Biomed Res Int* 2016;2016:3481723.

Łagocka R, Mazurek-Mochol M, Jakubowska K, Bendyk-Szeffer M, Chlubek D, Buczkowska-Radlińska J. Analysis of Base Monomer Elution from 3 Flowable Bulk-Fill Composite Resins Using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). *Med Sci Monit* 2018; 24: 4679-4690.

Larsen IB, Munksgaard EC. Effect of human saliva on surface degradation of composite resins. *Scand J Dent Res*. 1991; 99: 254–261.

Leinfelder KF. Ask the expert. What intensity is best in light curing? J Am Dent Assoc 1999; 130: 534.

Lempel E, Czibulya Z, Kovács B, Szalma J, Tóth Á, Kunsági-Máté S, Varga Z, Böddi K. Degree of Conversion and BisGMA, TEGDMA, UDMA Elution from Flowable Bulk Fill Composites. Int J Mol Sci 2016; 17: pii: E732.

Leprince J, Devaux J, Mullier T, Vreven J, Leloup G. Pulpal-temperature rise and polymerization efficiency of LED curing lights. Oper Dent 2010; 35: 220-30.

Leprince JG, Palin WM, Hadis MA, Devaux J, Leloup G. Progress in dimethacrylate-based dental composite technology and curing efficiency. Dent Mater 2013; 29: 139-156.

Leprince JG, Palin WM, Vanacker J, Sabbagh J, Devaux J, Leloup G. Physico-mechanical characteristics of commercially available Bulk fill composites. J Dent 2014; 42: 993-1000.

Liang X, Liu F, He J. Synthesis of none bisphenol A structure dimethacrylate monomer and characterization for dental composite applications. Dent Mater 2014; 30: 917-925.

Lindberg A, Peutzfeldt A, van Dijken JWV. Curing depths of a universal hybrid and a flowable resin composite cured with QTH and LED units. Acta Odontol Scand 2004; 62: 97-101.

Lindström M, Alanko K, Keskinen H, Kanerva L. Dentist's occupational asthma, rhinoconjunctivitis, and allergic contact dermatitis from methacrylates. Allergy 2002; 57: 543-5.

Lutz F, Phillips RW. A classification and evaluation of composite resin systems. J Prosthet Dent 1983; 50: 480-8.

Malhotra N, Mala K. Light-curing considerations for resin-based composite materials: a review. Part I. Compend Contin Educ Dent 2010; 31: 498-505.

Manojlovic D, Radisic M, Lausevic M, Zivkovic S, Miletic V. Mathematical modeling of cross-linking monomer elution from resin-based dental composites. J Biomed Mater Res B Appl Biomater 2013; 101: 61-7.

Manojlovic D, Radisic M, Vasiljevic T, Zivkovic S, Lausevic M, Miletic V. Monomer elution from nanohybrid and ormocer-based composites cured with different light sources. *Dent Mater* 2011; 27: 371-8.

Michelsen VB, Kopperud HBM, Lygre GB, Björkman L, Jensen E, Kleven IS, Svahn J, Lygre H. Detection and quantification of monomers in unstimulated whole saliva after treatment with resin-based composite fillings in vivo. *Eur J Oral Sci* 2012; 120: 89-95.

Mills RW, Jandt KD, Ashworth SH. Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. *Br Dent J* 1999; 186: 388-91.

Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J Am Dent Assoc* 2003; 134: 1382-90.

Moldovan M, Balazsi R, Soanca A, Roman A, Sarosi C, Prodan D, Vlassa M, Cojocaru I, Saceleanu V, Cristescu I. Evaluation of the Degree of Conversion, Residual Monomers and Mechanical Properties of Some Light-Cured Dental Resin Composites. *Materials (Basel)* 2019; 12: 2109.

Moorthy A, Hogg CH, Dowling AH, Grufferty BF, Benetti AR, Fleming GJ. Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with bulk-fill flowable resin-based composite base materials. *J Dent* 2012; 40: 500-505.

Moszner N, Fischer UK, Angermann J, Rheinberger V. A partially aromatic urethane dimethacrylate as a new substitute for Bis-GMA in restorative composites. *Dent Mater* 2008; 24: 694-699.

Moszner N, Salz U. New developments of polymer dental composites. *Prog Polym Sci* 2001; 26: 535-576.

Mun HJ, Im BS, Lee YG, Kim CW. Determination of Residual Monomers in Dental Pit and Fissure Sealants. *Bull Korean Chem Soc* 2000; 21: 1115-8.

Munksgaard EC, Peutzfeldt A, Asmussen E. Elution of TEGDMA and BisGMA from a resin and a resin composite cured with halogen or plasma light. *Eur J Oral Sci* 2000; 108: 341-5.

Murray GA, Yates JL, Newman SM. Ultraviolet light and ultraviolet light-activated composite resins. *J Prosthet Dent* 1981; 46: 167-70.

Musanje L, Darvell BW. Curing-light attenuation in filled-resin restorative materials. *Dent Mater* 2006; 22: 804-17.

Neves AD, Discacciati JA, Oréface RL, Yoshida MI. Influence of the power density on the kinetics of photopolymerization and properties of dental composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2005; 72: 393-400.

O'Brien WJ. *Dental Materials and Their Selection*. 4th ed. Quintessence Publishing Co, Inc. p. 114-133, 2008a.

O'Brien WJ. *Dental Materials and Their Selection*. 4th ed. Quintessence Publishing Co, Inc. p. 75-90, 2008b.

Ogliari FA, Ely C, Zanchi CH, Fortes CB, Samuel SM, Demarco FF, Petzhold CL, Piva E. Influence of chain extender length of aromatic dimethacrylates on polymer network development. *Dent Mater* 2008; 24: 165-171.

Orlowski M, Tarczydło B, Chalas R. Evaluation of marginal integrity of four Bulk fill dental composite materials: in vitro study. *Scientific World Journal* 2015; 2015: 701262.

Ortengren U, Weelendorf H, Karlsson S, Ruyter IE. Water sorption and solubility of dental composites and identification of monomers released in an aqueous environment. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 1106-1115.

Ozturk B, Cobanoglu N, Cetin AR, Gunduz B. Conversion degrees of resin composites using different light sources. *Eur J Dent* 2013; 7: 102-109.

Palin WM, Fleming GJ, Burke FJ, Marquis PM, Randall RC. Monomer conversion versus flexure strength of a novel dental composite. *J Dent* 2003; 31: 341-351.

Par M, Lapas-Barisic M, Gamulin O, Panduric V, Spanovic N, Tarle Z. Long Term Degree of Conversion of two Bulk-Fill Composites. *Acta Stomatol Croat* 2016; 50: 292-300.

Park J, Chang J, Ferracane J, Lee IB. How should composite be layered to reduce shrinkage stress: incremental or bulk filling? *Dent Mater* 2008; 24: 1501-5.

Park SH, Kim SS, Cho YS, Lee SY, Noh BD. Comparison of linear polymerization shrinkage and microhardness between QTH-cured & LED-cured composites. *Oper Dent* 2005; 30: 461-7.

Park SH, Noh BD, Cho YS, Kim SS. The linear shrinkage and microhardness of packable composites polymerized by QTH or PAC unit. *Oper Dent* 2006; 31: 3-10.

Pearson GJ, Longman CM. Water sorption and solubility of resin-based materials following inadequate polymerization by a visible-light curing system. *J Oral Rehabil* 1989; 16: 57-61.

Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E. Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. *Dent Mater* 2000; 16: 330-6.

Pitt JJ. Principles and applications of liquid chromatography-mass spectrometry in clinical biochemistry. *Clin Biochem Rev* 2009; 30: 19-34.

Polydorou O, Huberty C, Wolkewitz M, Bolek R, Hellwig E, Kummerer K. The effect of storage medium on the elution of monomers from composite materials. *J Biomed Mater Res B* 2012;100B:68–74.

Polydorou O, König A, Hellwig E, Kümmerer K. Long-term release of monomers from modern dental-composite materials. *Eur J Oral Sci* 2009a; 117: 68-75.

Polydorou O, König A, Hellwig E, Kümmerer K. Urethane dimethacrylate: a molecule that may cause confusion in dental research. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2009b; 91: 1-4.

Polydorou O, Trittler R, Hellwig E, Kümmerer K. Elution of monomers from two conventional dental composite materials. *Dent Mater* 2007; 23: 1535-1541.

Pongprueksa P, De Munck J, Duca RC, Poels K, Covaci A, Hoet P, Godderis L, Van Meerbeek B, Van Landuyt KL. Monomer elution in relation to degree of conversion for different types of composite. *J Dent* 2015; 43: 1448-55.

Price RB, Fahey J, Felix CM. Knoop microhardness mapping used to compare the efficacy of LED, QTH and PAC curing lights. *Oper Dent* 2010; 35: 58-68.

Price RB, Felix CA, Andreou P. Evaluation of a second-generation LED curing light. *J Can Dent Assoc* 2003; 69: 666.

Price RB, Murphy DG, Dérand T. Light energy transmission through cured resin composite and human dentin. *Quintessence Int* 2000; 31: 659-667.

Ribeiro BC, Boaventura JM, Brito-Gonçalves Jd, Rastelli AN, Bagnato VS, Saad JR. Degree of conversion of nanofilled and microhybrid composite resins photo-activated by different generations of LEDs. *J Appl Oral Sci* 2012; 20: 212-7.

Rothmund L, Reichl FX, Hickel R, Styllou P, Styllou M, Kehe K, Yang Y, Högg C. Effect of layer thickness on the elution of bulk-fill composite components. *Dent Mater* 2017; 33: 54-62.

Rueggeberg FA, Ergle JW, Mettenberg DJ. Polymerization depths of contemporary light-curing units using microhardness. *J Esthet Dent* 2000; 12: 340-9.

Rueggeberg FA. State-of-the-art: dental photocuring--a review. *Dent Mater* 2011; 27: 39-52.

Rüttermann S, Servos A, Raab WH, Janda R. In vitro effect of light-emitting diode light polymerization on the color stability of three resin-based restorative materials. *Acta Odontol Scand* 2008; 66: 43-9.

Saipullaev M. Farklı ışık kaynakları ile farklı sürelerde polimerize edilen bulk fill kompozitlerin alt-üst yüzey sertlik değerlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, 2017.

Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's restorative dental materials. 13th ed., Elsevier-Mosby, Philadelphia, p.161-198, 2012.

Sakaguchi RL, Sasik CT, Bunczak MA, Douglas WH. Strain gauge method for measuring polymerization contraction of composite restoratives. *J Dent* 1991; 19: 312-316.

Santerre JP, Shajii L, Leung BW. Relation of dental composite formulations to their degradation and the release of hydrolyzed polymeric-resin-derived products. *Crit Rev Oral Biol Med* 2001; 12: 136-151.

Santerre JP, Shajii L, Tsang H. Biodegradation of commercial dental composites by cholesterol esterase. *J Dent Res* 1999; 78: 1459-1468.

Santini A. Current status of visible light activation units and the curing of light-activated resin-based composite materials. *Dent Update* 2010; 37: 214-227.

Schneider LF, Consani S, Ogliari F, Correr AB, Sobrinho LC, Sinhoreti MA. Effect of time and polymerization cycle on the degree of conversion of a resin composite. *Oper Dent* 2006; 31: 489-95.

Schweikl H, Schmalz G. Triethylene glycol dimethacrylate induces large deletions in the hprt gene of V79 cells. *Mutat Res* 1999; 438: 71-78.

Scientific Documentation Tetric Evoceram Bulk Fill. IvoclarVivadent; 2013. [http://www.ivoclarvivadent.com/en/competence-in-composites/tetric-evoceram-Bulk fill](http://www.ivoclarvivadent.com/en/competence-in-composites/tetric-evoceram-Bulk-fill). Erişim tarihi, Haziran 2020.

Shajii L, Santerre JP. Effect of filler content on the profile of released biodegradation products in micro-filled bis-GMA/TEGDMA dental composite resins. *Biomaterials* 1999; 20: 1897-1908.

Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials* 2002; 23: 1819-29.

Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials* 2003; 24: 655-65.

Sideridou ID, Achilias DS, Karabela MM. Sorption kinetics of ethanol/water solution by dimethacrylate-based dental resins and resin composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2007; 81: 207-218.

Sideridou ID, Achilias DS. Elution study of unreacted Bis-GMA, TEGDMA, UDMA, and Bis-EMA from light-cured dental resins and resin composites using HPLC. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2005; 74: 617-26.

Soh MS, Yap AU, Siow KS. Comparative depths of cure among various curing light types and methods. *Oper Dent* 2004a; 29: 9-15.

Soh MS, Yap AU, Yu T, Shen ZX. Analysis of the degree of conversion of LED and halogen lights using micro-Raman spectroscopy. *Oper Dent* 2004b; 29: 571-577.

Soygun K, Unal M, Ozer A, Gulnazar E, Bolayır G. Effects of Different Curing Unites on Bulk Fill Composites. *Int J Oral Dent Health* 2015; 1:3.

Stahl F, Ashworth SH, Jandt KD, Mills RW. Light-emitting diode (LED) polymerisation of dental composites: flexural properties and polymerisation potential. *Biomaterials* 2000; 21: 1379-1385.

Stansbury JW, Dickens SH. Determination of double bond conversion in dental resins by near infrared spectroscopy. *Dent Mater* 2001; 17: 71-9.

Sunnegardh-Grönberg K, van Dijken JW, Funegard U, Lindberg A, Nilsson M. Selection of dental materials and longevity of replaced restorations in Public Dental Health clinics in northern Sweden. *J Dent* 2009; 37: 673-8.

Tabatabaee MH, Arami S, Ghavam M, Rezaii A. Monomer release from nanofilled and microhybrid dental composites after bleaching. *J Dent (Tehran)* 2014; 11: 56–66.

Tabatabaee MH, Mahdavi H, Zandi S, Kharrazi MJ. HPLC analysis of eluted monomers from two composite resins cured with LED and halogen curing lights. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2009; 88: 191-6.

Tadin A, Marovic D, Galic N, Kovacic I, Zeljezic D. Composite-induced toxicity in human gingival and pulp fibroblast cells. *Acta Odontol Scand* 2014; 72: 304-311.

Tanaka K, Taira M, Shintani H, Wakasa K, Yamaki M. Residual monomers (TEGDMA and Bis-GMA) of a set visible-light- cured dental composite resin when immersed in water. *J Oral Rehabil* 1991;18:353–362.

Tanimoto Y, Hayakawa T, Nemoto K. Analysis of photopolymerization behavior of UDMA/TEGDMA resin mixture and its composite by differential scanning calorimetry. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2005; 72: 310-315.

Tarle Z, Attin T, Marovic D, Andermatt L, Ristic M, Tauböck TT. Influence of irradiation time on subsurface degree of conversion and microhardness of high-viscosity Bulk fill resin composites. *Clin Oral Investig* 2015; 19: 831-840.

Tarle Z, Meniga A, Ristic M, Sutalo J, Pichler G. Polymerization of composites using pulsed laser. *Eur J Oral Sci* 1995; 103: 394-8.

Teti G, Mazzotti G, Zago M, Ortolani M, Breschi L, Pelotti S, Ruggeri A, Falconi M. HEMA down-regulates procollagen alpha1 type I in human gingival fibroblasts. *J Biomed Mater Res A* 2009; 90: 256-262.

Topcu FT, Erdemir U, Sahinkesen G, Yildiz E, Uslan I, Acikel C. Evaluation of microhardness, surface roughness, and wear behavior of different types of resin composites polymerized with two different light sources. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2010; 92: 470-8.

Tuna EB, Aktoren O, Oshida Y, Gencay K. Elution of residual monomers from dental composite materials. *Eur J Paediatr Dent* 2010; 11: 110-114.

Tuna EB. Süt ve Sürekli Dişlerde Kullanılan Dört Farklı Kompozit Materyalden Monomer Salınımının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Pedodonti Anabilim Dalı. Doktora tezi, İstanbul: İstanbul Üniversitesi, 2006.

Uhl A, Mills RW, Jandt KD. Polymerization and light-induced heat of dental composites cured with LED and halogen technology. *Biomaterials* 2003; 24: 1809–20.

United States Food and Drug Administration (US FDA). Recommendations for Chemistry Data for Indirect Food Additives Petitions. USA: US FDA; 1988.

Urcan E, Haertel U, Styllou M, Hickel R, Scherthan H, Reichl FX. Real-time xCELLigence impedance analysis of the cytotoxicity of dental composite components on human gingival fibroblasts. *Dent Mater* 2010; 26: 51-8.

van Dijken JW, Pallesen U. A randomized controlled three year evaluation of "Bulk filled" posterior resin restorations based on stress decreasing resin technology. *Dent Mater* 2014; 30: e245-51.

Van Ende A, De Munck J, Van Landuyt KL, Poitevin A, Peumans M, Van Meerbeek B. Bulk-filling of high C-factor posterior cavities: effect on adhesion to cavity-bottom dentin. *Dent Mater* 2013; 29: 269-277.

Van Landuyt KL, Nawrot T, Geebelen B, De Munck J, Snauwaert J, Yoshihara K, Scheers H, Godderis L, Hoet P, Van Meerbeek B. How much do resin-based dental materials release? A meta-analytical approach. *Dent Mater* 2011; 27: 723-747.

van Noort R. Introduction to dental materials. 4th ed. China: Mosby Elsevier; p. 73-75, 2013.

Vandenbulcke JD, Marks LA, Martens LC, Verbeeck RM. Comparison of curing depth of a colored polyacid-modified composite resin with different light-curing units. *Quintessence Int* 2010; 41: 787-94.

Vandewalle KS, Roberts HW, Tiba A, Charlton DG. Thermal emission and curing efficiency of LED and halogen curing lights. *Oper Dent* 2005; 30: 257-64.

Vidnes-Kopperud S, Tveit AB, Espelid I. Changes in the treatment concept for approximal caries from 1983 to 2009 in Norway. *Caries Res* 2011; 45: 113-20.

Viljanen EK, Langer S, Skrifvars M, Vallittu PK. Analysis of residual monomers in dendritic methacrylate copolymers and composites by HPLC and headspace-GC/MS. *Dent Mater* 2006; 22: 845-851.

Visalli G, Baluce B, La Maestra S, Micale RT, Cingano L, De Flora S, Di Pietro A. Genotoxic damage in the oral mucosal cells of subjects carrying restorative dental fillings. *Arch Toxicol* 2013; 87: 2247-2248.

Walters NJ, Xia W, Salih V, Ashley PF, Young AM. Poly(propylene glycol) and urethane dimethacrylates improve conversion of dental composites and reveal complexity of cytocompatibility testing. *Dent Mater* 2016; 32: 264-77.

Want EJ, Cravatt BF, Siuzdak G. The expanding role of mass spectrometry in metabolite profiling and characterization. *ChemBiochem* 2005; 6: 1941-51.

Wataha JC, Rueggeberg FA, Lapp CA, Lewis JB, Lockwood PE, Ergle JW, Mettenberg DJ. In vitro cytotoxicity of resin-containing restorative materials after aging in artificial saliva. *Clin Oral Investig* 1999; 3: 144-149.

Willems G, Lambrechts P, Braem M, Vanherle G. Three-year follow-up of five posterior composites: in vivo wear. *J Dent* 1993; 21: 74-78.

Yap AU, Han VT, Soh MS, Siow KS. Elution of leachable components from composites after LED and halogen light irradiation. *Oper Dent* 2004; 29: 448-53.

Yap AU. Effectiveness of polymerization in composite restoratives claiming bulk placement: impact of cavity depth and exposure time. *Oper Dent* 2000; 25: 113–120.

Zakir M, Ashraf U, Tian T, Han A, Qiao W, Jin X, Zhang M, Kit-Hon Tsoi J, Matinlinna JP. The Role of Silane Coupling Agents and Universal Primers in Durable Adhesion to Dental Restorative Materials - a Review. *Curr Oral Health Rep* 2016; 3: 244-253.

Zorzin J, Maier E, Harre S, Fey T, Belli R, Lohbauer U, Petschelt A, Taschner M. Bulk fill resin composites: polymerization properties and extended light curing. *Dent Mater* 2015; 31: 293-301.

HAM VERİLER

FORMLAR

ETİK KURUL KARARI

PATENT HAKKI İZİNİ

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

BULK-FİLL KOMPOZİTLERİN UZUN DÖNEM MONOMER
SALINIMININ İN VİTRO İNCELENMESİ

ÖZETİMLİK RAPORU

% 10	% 9	% 4	%
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİBLİYOLİK KAYNAKLAR

1	nek.istanbul.edu.tr:4444 İnternet Kaynağı	% 1
2	dergipark.ulakbim.gov.tr İnternet Kaynağı	% 1
3	adudspace.adu.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	% 1
4	tuberktoraks.org İnternet Kaynağı	<% 1
5	www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
6	sagens.erciyes.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
7	acikerisim.dicle.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
8	www.istanbulsaglik.gov.tr İnternet Kaynağı	<% 1
9	dspace.gazi.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1