

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

SERAMİK MALZEME TABANLI YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI



MEHRAN MAHOUTİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÜRETİM PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. NİLGÜN KUŞKONMAZ**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERAMİK MALZEME TABANLI YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI

Mehran MAHOUTİ tarafından hazırlanan tez çalışması 22.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ercan AÇMA

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cemalettin YAMAN

Yıldız Teknik Üniversitesi



Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2015-07-02-YL03 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı değerli hocam Prof. Dr. Nilgün Kuşkonmaz'a

Elektronik alanında bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan ve tezimin oluşmasında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Filiz Güneş'e

Yüksek lisans programına, katılmaya değer olduğumu kanaat getiren ve lisans döneminde her zaman destek olan hocam Prof. Dr. Ahmet EKERİM'e,

Her türlü akademik destek ve bilgiyi projem sırasında bana sunan ve akıl veren hocam Doç. Dr. Yaman ERARSLAN'a,

Elektronik ölçümlerinde ve laboratuvar çalışmalarında emeği geçen ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali Belen'e

Tez çalışmalarım ve eğitim hayatım boyunca her an yanımda olan, motive eden ve yüksek lisans programına başlamam ve devam etmemde en büyük paya sahip olan fedakâr eşim Dr. Golpoone MAHOUTİ'ye,

Tez çalışmam boyunca akademik ve manevi olarak yardım ve desteğini esirgemeyen kardeşim Dr. Peyman MAHOUTİ'ye,

Üniversite hayatım boyunca her zaman yanımda olan, eksiklerimi tamamlayan ve bu tezin tamamlanmasında katalizör etkisi olan en iyi arkadaşım Yük. Müh. Mahdi RANJBAR MOULE'e,

Yaşamım boyunca her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmemi sağlayan değerli Annem Gümüş MAHOTİ ve değerli Babam Mohammad Reza MAHOTİ'ye,

Son olarak yanımda olarak bana manevi destek olan ve benimle aynı üniversite ve aynı bölümde okuyan kardeşim ve meslektaşım Tarlan MAHOUTİ'ye,

Sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunar, hayatım boyunca yanımda olmalarını en içten dileklerle temenni ederim.

Aralık, 2017

Mehran MAHOUTİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
1.3 Hipotez.....	1
BÖLÜM 2	
TEORİK ÇALIŞMALAR.....	2
2.1 Alümina.....	2
2.2 Elektronik Altlıklar ve Antenler.....	4
2.2.1 Dielektrik Malzemeler.....	4
2.2.2 Yansıtıcı Antenler.....	4
2.2.3 Korna (Horn) Antenler.....	5
2.2.4 Dizi Anten.....	6
2.2.5 Elektronik Altlıklar.....	6
2.3 Şerit Döküm Yöntemi İle Altlık Üretimi.....	7
2.3.1 Şerit Dökümün Özellikleri.....	7
2.3.2 Şerit Döküm Prosesi.....	8
2.3.3 Döküm Prosesi.....	9
2.3.4 Çözücüler.....	10
2.3.4.1 Çözücülerin Seramik Tozları ile Etkileşimleri.....	12
2.3.5 Plastikleştiriciler.....	12

2.3.6	Bağlayıcılar.....	14
2.3.7	Dağıtıcılar.....	15
2.3.8	Ajanlar.....	17
2.3.9	Solüsyonun Hazırlanması ve Döküm İşlemi.....	18
2.3.9.1	Tozların Öğütülmesi.....	18
2.3.9.2	Solüsyonun Karıştırılması.....	19
2.3.9.3	Numunenin Dökümü.....	19
2.3.9.4	Yüzey Buharlaşması.....	20
2.3.9.5	Çözücülerin Bünyeden Yüze Difüzyonu.....	20
2.4	Şerit Döküm Yöntemi İçin Seramik Toz Seçimi.....	21
2.4.1	Toz Özellikleri.....	21
2.4.2	Toz Yüzey Alanı.....	21
2.4.3	Tane Boyutu, Dağılımı, Şekli ve Yoğunluğu.....	22
2.4.4	Safılık.....	22
2.5	Yaygın Kullanılan Seramik Tozları İlave Edilen Diğer Katkı Malzemeleri ..	22
2.6	Kurutma, Sinterleme ve Bağlayıcının Giderilmesi.....	23
BÖLÜM 3		
LİTERATÜRDE MEVCUT BENZER ÇALIŞMALAR.....		26
BÖLÜM 4		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....		28
4.1	Kullanılan Hammaddeler ve Katkı Malzemeleri.....	28
4.1.1	Oleik Asit.....	28
4.1.2	Metil Etil Keton (MEK).....	29
4.1.3	Poli Vinil Bütiral (PVB).....	30
4.1.4	Dibutil Ftalat (DBP).....	30
4.2	Döküm İçin Kullanılan Cihazlar.....	30
BÖLÜM 5		
DENEYLERİN YAPILIŞI.....		36
5.1	Homojen Solüsyon Elde Edilmesi.....	36
5.2	Gaz Giderme.....	37
5.3	Döküm ve Kurutma.....	37
5.4	Döküm Şeridinden Ayırma, Kurutma ve Sinterleme.....	39
5.5	Döküm Şeridinden Ayırma ve Sinterleme.....	40
BÖLÜM 6		
DENEY SONUÇLARIN İRDELENMESİ.....		42
6.1	TG-DTA Analizi.....	42
6.2	SEM Analizleri.....	45
6.3	XRD Analizi.....	46
6.4	Yüzey Pürüzlülüğü Analizi.....	47
6.5	Dielektrik Katsayı Ölçümü.....	49
6.6	Örnek Bir Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı.....	51

6.7	3D Yazıcı Yardımıyla Plastik Reflectarray Anteni Maketi Üretimi.....	59
6.8	3D Yazıcı Yardımıyla Seramik Esaslı Reflectarray Anten Üretimi.....	59

BÖLÜM 7

DENEY SIRASINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ.....		61
7.1	Toz Seçimi Sırasında Karşılaşılan Sorunlar	61
7.2	Solüsyon Reçetesinin Oluşturulması.....	62
7.3	Numune Et Kalınlığının Etkileri	64
7.4	Sinterleme Sırasında Oluşan Sorunlar	65

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER		68
KAYNAKLAR		70
ÖZGEÇMİŞ		73

SİMGE LİSTESİ

Δr	Malzemenin dielektrik katsayısı
λ	Dalga boyu
$\Delta 0$	Serbest uzayın di-elektrik katsayısı
$^{\circ} C$	Santigrat derece
A	Levhaların ve malzemenin alanı
cm ²	Santimetrenin karesi
cm ³	Santimetrenin küpü
C	Işık hızı
C	Kapasitans değeri
d	İki levha arasındaki mesafe farkı
dk	Dakika
ER	Dielektrik
f	Elektromanyetik sinyalin frekansı
GHz	Giga-Hertz
gr	Gram
kal	Kalori
kg	Kilogram
MPa	Mega paskal
%	Yüzde oranı
μm	Mikrometre

KISALTMA LİSTESİ

BBP	Bütil benzin ftalat
BHA	Birim hacim ağırlığı
CIP	Soğuk presleme
CMC	Karboksi metil selüloz
DBP	Dibutil ftalat
LTA	Işık geçirimsizlik analizi
MEK	Metil etil keton
MIBK	Metil izobütil keton
PCB	Printed circuit board
PV	Polivinil
PVA	Polivinilalkol
PVB	Polivinilbütiral
TCE	Trikloretilen
3D	3 boyutlu
PLA	Polilaktik Asit Termoplastik Polyester
X bant	8-14 GHz frekans aralığı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Alümina kristali ve birim hücresi, oktahedral [8]	3
Şekil 2.2 Alüminanın polimorfları (Hard, 1990; Munz ve Fett, 1999) [8]	3
Şekil 2.3 örnek bir Koni korna anten yapısı [11]	5
Şekil 2.4 Bir yansıtıcı dizi anten yapısının örnek çalışma şekli [11]	6
Şekil 2.5 Örnek bir mikroşerit yama antene ait görsel [11]	7
Şekil 2.6 Şerit döküm prosesi şeması	9
Şekil 2.7 Endüstride şerit döküm makinesi [15]	10
Şekil 2.8 Şerit döküm akış modeli [16]	10
Şekil 2.9 Dağıtıcıların taneleri uzaklaştırma görseli	16
Şekil 2.10 Dağıtıcı etkisi ile çökelme davranışları	17
Şekil 2.11 Dağıtıcı etkinliği için maksimum katı yükü testi	17
Şekil 2.12 Çözücülerin ıslak numuneyi terk etmesi	20
Şekil 2.13 Alümina tozunun SEM görüntüsü [20]	22
Şekil 2.14 (a) Oda sıcaklığında tozların pozisyonları (b) Sinter sıcaklığına yaklaştıkça başlayan kısmi ergimeler ve sonucunda oluşan taneler arası boyun ve tane büyüme başlangıcı (c) Sinterleme sıcaklığında solüsyondan ayrılan katkı maddeleri ve tane büyümesinden dolayı tane sınırlarının kaybolması. (SEM görüntüleri [24])	25
Şekil 4.1 YTÜ - Metalürji ve malzeme bölümü seramik laboratuvar şerit döküm cihazı	31
Şekil 4.2 YTÜ - Metalürji ve malzeme bölümü üretim laboratuvarı bilyalı değirmen	31
Şekil 4.3 YTÜ – Metalürji ve malzeme bölümü seramik Laboratuvar Sinterleme Fırını .	32
Şekil 4.4 YTÜ – Metalürji ve malzeme bölümü malzeme Laboratuvar Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı “Mitutoyo SJ400”	32
Şekil 4.5 Antenlerin sinyal kayıp ve kazançlarını ölçümlendiğimiz analiz cihazı “Rohde & Schwarz ZVL Vector Network Analyzer”	33
Şekil 4.6 PLA baskı malzeme kullanan “CEL robox” 3D yazıcı	34
Şekil 4.7 3D seramik baskı cihazı [30]	34
Şekil 5.1 Bilyalı değirmende karıştırılan solüsyon	37
Şekil 5.2 Farklı kalınlıklarda dökülmüş numune örnekleri (a) 500 mikron (b) 100 mikron (c) 1000 mikron	38
Şekil 5.3 Sinterleme öncesi malzemenin esneklik durumu	38
Şekil 5.4 Kurutma rejimi diyagramı	39
Şekil 5.5 Kullanılan sinterleme rejimi grafiği	40
Şekil 5.6 Şerit döküm prosesi akım şeması	41
Şekil 6.1 TG-DTA-DTG analiz grafiği	42
Şekil 6.2 DTG diyagramı 25-200°C aralığında bulunan düzensizlik	43

Şekil 6.3 TG-DTG-DTA diyagramı 25-300°C aralığı.....	44
Şekil 6.4 TG-DTG-DTA yanma aralıkları	44
Şekil 6.5 1500 °C 'de 2 saat sinterlenmiş 7nolu numunenin SEM görüntüleri.....	45
Şekil 6.6 Yüzey pürüzlülüklerinde meydana gelen soyulmanın düşünülen sebebi	46
Şekil 6.7 XRD analiz sonuçları grafiği	46
Şekil 6.8 Yüzey pürüzlülüğü test sonuç diyagramı.....	47
Şekil 6.9 No: 7.2 ve No: 7.3 diyagramlarının yakından incelenmiş diyagramı.....	48
Şekil 6.10 Mikroşerit iletim hat parçasının 3D CST Microwave Studio'da çizimi	50
Şekil 6.11 Şerit döküm numunesinden üretilen prototip.....	50
Şekil 6.12 Üretilen mikroşerit yama antene ait (a) simülasyon ve (b) ölçümü yapılmış, saçılma parametreleri.	51
Şekil 6.13 Üniform olmayan dielektrik katmanlı Yansıtıcı Dizi anten birim hücrelerine ait simülasyon düzeneği.....	52
Şekil 6.14 Üniform olmayan dielektrik katmanlı yansıtıcı dizi anten yansıtma şeması..	52
Şekil 6.15 Üniform olmayan dielektrik katmanlı Yansıtıcı Dizi anten birim hücrelerinin (a) değişken yüksekliklerdeki 3D görünümü, (b) değişken yüksekliklerdeki benzetimi yapılmış saçılma parametresine ait yansıma açısı değeri	53
Şekil 6.16 Çok katmanlı algılayıcı tabanlı yansıtıcı dizin antene ait kara kutu modeli ...	54
Şekil 6.17 Örnek bir korna anten yapısı.....	55
Şekil 6.18 örnek Bir korna antene ait benzetimi yapılmış olan(a) Geri donuş kaybı, (b) 3D uzak alan ışınma paterni, (c) Polar düzlemde uzak alan kazanç değeri	56
Şekil 6.19 Seramik malzeme ile hazırlanan yansıtıcı dizi anten modeli	57
Şekil 6.20 örnek Bir korna anten beslemeli yansıtıcı dizi antene ait 3B görsel (a) besleme anten varken, (b) besleme anten yokken	57
Şekil 6.21 Horn anten beslemeli yansıtıcı dizi antene ait benzetimi yapılmış olan (a) Geri donuş kaybı, (b) 3B uzak alan ışınma paterni, (c) polar düzlemde uzak alan kazanç değeri	58
Şekil 6.22 - 3D yazıcı teknolojisi ile üretilen yansıtıcı dizi anten maketi	59
Şekil 6.23 - 3D seramik yazıcı ile üretilen reflectarray anten (koyu renkli parça henüz kurumamıştır)	60
Şekil 7.1 Işık mikroskobunda farklı büyütme oranlarında alümina tozların karşılaştırılmaları .	62
Şekil 7.2 Reçete formülü geliştirme sırasında elde edilen döküm sonuçları.....	64
Şekil 7.3 Fazla vazelin kullanılması sonucu bir hafta sonra bile kurumamış olan numune örneği, ıslak alanlar işaretlenmiştir.....	65
Şekil 7.4 İnce numunelerde sinterleme sonrası meydana gelen bükülme	66
Şekil 7.5 ince numunenin bükülmesini engellemek için kullanılan refrakter altlık ve kapak.....	66
Şekil 7.6 Sinterlenmiş numune örnekleri (a) 6 ve 7nolu numuneler 1mm et kalınlığı (b) 7nolu numuneler 2 mm et kalınlığı (c) 7nolu numune ile çok katmanlı numune örneği (d) 7nolu reçete ile hazırlanmış 200µm et kalınlığına sahip numune	67

TABLO LİSTESİ

Çizelge 2.1 Alümina oranına göre bazı örnek kullanım alanları.....	4
Çizelge 2.2 Tape casting prosesinde kullanılan bazı organik çözücüler.....	11
Çizelge 2.3 Bazı çözücülerin termal özellikleri.....	12
Çizelge 2.4 Plastikleştiricilerin gerilim-gerinim eğrisine etkisi	13
Çizelge 2.5 Şerit dökümde kullanılan bazı plastikleştiriciler.....	13
Çizelge 2.6 Yaygın kullanılan bağlayıcıların uygulama alanları ve avantajları	15
Çizelge 2.7 En sık kullanılan dağıtıcı örnekleri	16
Çizelge 2.8 Numune davranışlarını etkileyen toz özellikleri [19]	21
Çizelge 2.9 Solüsyon hazırlamada kullanılan katkı malzemeler ve etkileri	23
Çizelge 4.1 Alkalo alüminası içerik değerleri	28
Çizelge 4.2 Oleik asitten istenilen özellikler [13]	29
Çizelge 4.3 Oleik asit özellikleri.....	29
Çizelge 4.4 MEK özellikleri	29
Çizelge 4.5 Etanol özellikleri	30
Çizelge 4.6 Poli Vinil Bütiral Özellikleri	30
Çizelge 4.7 Dibutil Ftalat Özellikleri	30
Çizelge 5.1 Deneylerde oluşturulan reçeteler	40
Çizelge 6.1 Solüsyonda bulunan malzemelerin kaynama ve yanma sıcaklıkları	43
Çizelge 6.2 Yüzey pürüzlülüğü analizi sonucu elde edilen ortalama pürüzlülük değerleri	48
Çizelge 6.3 YSA modelinin eğitimi için hazırlanan veriler.....	54

SERAMİK MALZEME TABANLI YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI

Mehran MAHOUTİ

Üretim Metalurjisi Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ

Alümina yüksek ergime sıcaklığına, dayanıma ve sertliğe sahip seramik esaslı bir mühendislik malzemesidir ve bu özelliklerinden dolayı ileri teknoloji projelerinde uzay sanayinde ve askeri uygulamalarda kullanılmaktadır.

Uygulama alanlarından biri olarak, elektronik devre tasarımı için devrelerin taban malzemesinin dielektrik katmanının bu malzemeden üretildiğinden bahsedebiliriz.

Her ne kadar ülkemizde elektronik altlık malzeme üretimi yaygın olmasa da, basit, verimsiz ve sinyal kaybı yüksek ürünler üretilmektedir ve üretilen bu malzemeler yüksek performans gerektiren ileri elektronik devre tasarımlarında kullanılamamaktadır.

Elektronik altlık olarak istenilen ebatlarda ve kalınlıkta çatlaksız, empüritesiz ve istenilen elektronik özelliklere sahip bir malzeme üretmek oldukça zor bir işlemdir, bu kadar ince bir malzemenin istenilen yüzey özellikleriyle dökmek ve çatlamadan sinterlemek birçok problemi beraberinde getirecektir.

Bu tarz ileri teknoloji uygulamalar için yurt dışından, özellikle Amerika, Almanya ve Çin olmak üzere, yüksek performanslı elektronik altlık malzemesi ithal edilmesi gerekmektedir. Ancak "Rogers" firması gibi ileri seviye malzeme üretimi yapan firmaların ürünleri Türkiye ve gelişmekte olan ülkelere tedariki yasaklanmıştır.

Proje kapsamında elde edilen sonuçlarla elektronik altlık malzemeye son derece

bağımlı olan yansıtıcı dizi antenin (reflectarray) şerit döküm (Dr. Blade) yöntemiyle tasarımı ve gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Yansıtıcı dizi antenler genellikle yer uydusu haberleşmesi, radar ve benzer frekansta çalışan, anten kazancı yüksek ve boyutu olabildiğince küçük olması gereken bir araçtır.

Türkiye’de üretimi yapılmakta olan tek altlık malzeme FR4 (Cam Elyaf) altlık malzemesi olduğundan ve bu malzemenin en fazla 7GHz’e kadar elverişli tasarımlarda kullanılabilen bir malzeme olduğundan, ülkemizdeki imkânlar ile bu tasarımların yapılması mümkün değildir ve tasarımda kullanılması gereken malzemeler yurt dışı menşeli olarak elde edilebilir.

Projenin amacı Alümina temelli dielektrik bir altlık malzemenin şerit döküm yöntemi ile hazırlanması ve akabinde tasarım esasları, parametreleri ve modellenmesi ile ilgili çalışmalar yapılarak performansı yüksek, sinyal kaybı düşük, 10GHz ve üzeri frekanslarda çalışma olanağı sağlayacak bir malzemenin üretimi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alümina, Al_2O_3 , Elektronik devre tasarımı, Dielektrik, elektronik altlık malzeme, modellenme, FR4, Askeri projeler, Yapay Sinir Ağları (YSA), Metaheuristik Algoritmalar

DESIGNING OF REFLECTARRAY ANTENNA USING CERAMIC SUBSTRATE

Mehran MAHOUTİ

Department of Extractive Metallurgy

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ

Alumina is an engineering material that has a high melting temperature, strength and hardness. The use of aluminum in Turkey is becoming increasingly more common.

As one of its areas of application, one can mention the fact that the dielectric layer of the base material for the circuits that are part of the circuit design is made of this material.

Even though the production of electronic base material is common in Turkey, the products are simple, inefficient and have high signal loss; unfortunately, these produced materials cannot be used for advanced electronic circuit designs that require high performance.

For such applications, it becomes necessary to import high-performance electrical base material especially from the USA, Germany and China. Furthermore, products by companies that manufacture advanced level materials such as Rogers are banned from being supplied in Turkey and developing countries; hence, such materials cannot be used in Turkey or they are supplied by mediator companies. For that reason, it becomes unavoidable to use low-quality electronic base materials in Turkey and the base materials produced are lower quality and more costly.

The priority objective of the project is to conduct studies on the design principles, parameters and modelling of an alumina-based dielectric base material and to work on

the production of a material with high performance, low signal loss and ability to operate at frequencies of 10GHz and above. Furthermore, it is aimed to ensure the production of base materials with different dielectric conductivities and material heights with the data acquired as a result of this study and to facilitate the production of advanced electronic and electromagnetic circuit designs, which are costly and difficult in terms of design and implementation in Turkey.

Another aim is to design and implement a reflective array antenna, which is highly dependent on the electronic base material according to the results obtained in the project. The importance of this project can be briefly summarized as follows: Reflective array antennas are generally used in the fields of earth-to-satellite link, radar and similar areas and these materials should enable the production of products that are high in gain and small in size.

Unfortunately, the only base material manufactured in Turkey is FR4 (Glass Fiber) base material and this material can be used in favorable designs of up to 7GHz; therefore, it is not possible to enable these designs using the possibilities in Turkey and the materials that need to be used in design are supplied as being of international origin.

We believe that the data to be obtained as part of the project and the high-performance base material to be designed will contribute to the development of such designs within the framework of possibilities in Turkey and also trigger the start of a foundation and research required for more advanced and sophisticated studies. This would ensure that high-cost consumable material costs and dependency on external resources in communication and military projects would reduce to a great extent.

Keywords: Alumina, Al_2O_3 , Electronic circuit design, Dielectric, electronic base material, modeling, FR4, Military projects, Artificial Neural Networks (YSA), Metaheuristic Algorithms

1.1 Literatür Özeti

Son 10 yıl içerisinde ileri teknoloji seramiklerin kullanım miktarı ve alanları gelişen teknoloji ve doğan ihtiyaçlar doğrultusunda ciddi bir artış göstermiştir.

Özellikle elektronik alanında oluşan yüksek sıcaklık dayanımı ve üstün elektriksel özellikler ihtiyaçlar nedeni ile ileri teknolojik seramiklerin elektronik alanına her zamandan fazla kullanılmaya başlamıştır.

1.2 Tezin Amacı

Projemizin başlama esası, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme bölümü tarafından belli elektriksel özelliklere ve ayrıca özel bir tasarıma sahip seramik esaslı bir reflectarray anten (dizi anten) tasarımı için yaptıkları çalışmada, malzemenin yurt içinde üretilmemesinden dolayı karşılaştıkları sorunlar neticesinde üretimin Metalürji ve Malzeme mühendisliği bölümünde gerçekleşmesini talep etmişlerdir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada istenilen elektronik altlık malzeme elektriksel değerleri esas alınarak Alümina (Al_2O_3) kullanımı tercih edilmiştir, istenilen hassas tasarım koşulların sağlanması için ise Dr. Blade şerit döküm yönteminin kullanılması kararı alınmıştır.

TEORİK ÇALIŞMALAR

2.1 Alümina

Alümina (Al_2O_3), alüminyum elementinin oksitlenmesi sonucu oluşan üründür ve dünyada en çok kullanılan oksit maddeler arasındadır. Dünyadaki alümina üretiminin %90'dan fazlası Bayer prosesi ile yapılmaktadır. Hammadde olarak genellikle boksitler kullanılmaktadır [1].

Seramik bir madde olan alüminanın kullanımı esnasında Na_2O içeriği kısıtlayıcı bir etki yapar. Yalıtkanlık özelliklerinin çok önemli olduğu durumlarda, sodyum oksit içeriği %0,1'in altında olması gerekirken, mekanik özelliklerin ön planda olduğu uygulamalarda bu seviye %0,5'e kadar çıkabilmektedir [2].

Alümina kararlı bir halde olduğundan organik ve inorganik asitlere, zayıf alkali çözeltilere, ergiyik ve çözünmüş tuzlara, hidrokarbonlara, hidrojen sülfüre, susuz amonyaka, ergimiş Ba, Na, Sr, Be, Fe, P, As, Bi, Co, Sb ve serbest molekül halindeki hidrojen gibi maddelere karşı bozunma direnci yüksektir [3,4].

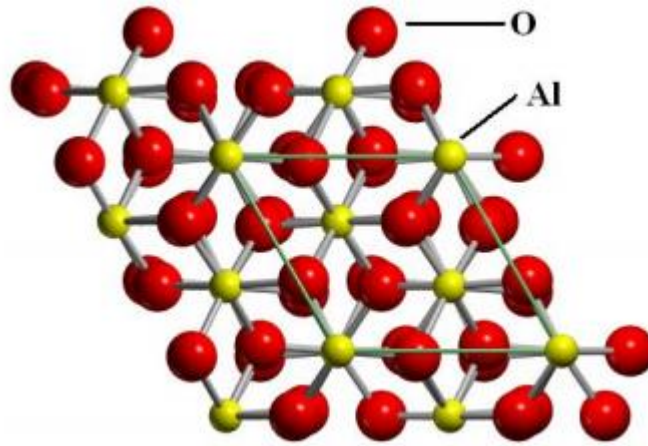
Buna karşın hidroflorik asit, ergimiş veya sıcak alkaliler, ergimiş Al, Ti, Zr, Si ve florürler (örneğin NaF ve Na_3AlF_6) ve bazı hidrürler Al_2O_3 'e hızlıca bozundurabilir. Alümina yüksek sıcaklıklarda su buharı, C ve Mg ile tepkimeye girer. Serbest C ile olan tepkime şöyledir;



Bu tepkimenin serbest tepkime enerjisi 443,8 cal/mol değerindedir. Yine bu tepkimede olduğu gibi alümina CaC_2 , ZrC ve TiC ile indirgenebilir, fakat SiC ile (en az 1850 °C'ye kadar

sıcaklıklarda) indirgenmez. Alüminanın tane sınırı bileşimi bozunma direncine önemli etkide bulunabilir. Al₂O₃ bileşiminde SiO₂ bulunması bozulma direncini düşürür. SiO₂ oranı önemlidir. SiO₂ oranında milyonda 100-290 arasındaki küçük farklılık bile bozunmada ölçülebilir bir artışa yol açmıştır [6].

Tabiatta kararlı halde bulunan alümina, “Korund (α -Al₂O₃)” olarak adlandırılmıştır. Korund, elmas ve elmas formundaki sentetik birkaç bileşikten sonra en sert yapıdır. Alümina doğada değişik kristal yapılarda bulunur, üstün mekanik ve elektriksel özelliklerinden dolayı ticari olarak kullanılan formu α -Al₂O₃'dür. Saf alümina, düşük sıcaklıklarda birkaç kristal formda bulunabilmektedir. Fakat bütün bu formlar, zaman, kristal boyutu ve atmosfere bağlı olarak, 750 °C - 1200 °C arasında α - Al₂O₃'ya dönüşür. 1200 °C'nin üzerinde yapılan ısıtma bu dönüşümü hızlandırır ve dönüşüm tersinir değildir [7]. α - Al₂O₃ hegzagonal - rombohedral kristal yapısına sahiptir. Bu örgü yapısı, oksijen iyonlarının hegzagonal sıkı paketlenmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.1 Alümina kristali ve birim hücresi, oktahedral [8]

Polimorf	Kristal Yapı	Birim Hücre Boyutu		
		a (nm)	b(nm)	c (nm)
α	Hegzagonal / Rombohedral	0,475	-	1,299
δ	Tetragonal	0,794	-	2,350
ϵ	Hegzagonal	0,784	-	1,618
θ	Monoklinik	0,562	0,291	1,179
γ	Kübik	0,792	-	-
K	Hegzagonal	0,554	-	0,902
χ	Hegzagonal	0,557	-	0,864

Şekil 2.2 Alüminanın polimorfları (Hard, 1990; Munz ve Fett, 1999) [8]

Alümina seramiklerin özellikleri, içerdikleri alümina miktarının artmasıyla iyileşir. En çok tercih edilen kullanım ise %90 ve üstü alümina içeriğidir.

Çizelge 2.1 Alümina oranına göre bazı örnek kullanım alanları

%90 alümina içerikli malzemeler genel olarak mekanik kullanımlarda
%94 bütünleşmiş devre ve transistör altlık olarak
%96 özellikli elektronik uygulamalarda
%98-99,5 ince film altlık
%99,8 korozif ortamlarda kullanılan fırın tüpü ve laboratuvar gereçlerinde aynı zamanda kesme uçlarında ve nükleer seramik olarak kullanılırlar [4].

Kullanım alanları ve tasarımını yapmaya çalıştığımız yansıtıcı dizi antenin istenilen elektriksel değerlere sahip olması durumunu göz önünde bulundurarak alüminanın kullanımına karar verilmiştir.

2.2 Elektronik Altlıklar ve Antenler

2.2.1 Dielektrik Malzemeler

Dielektrik malzemeler veya yalıtkanlar genel olarak elektronlarının sıkı atomik bağlantıları nedeni ile akıma direnç gösteren ve akımı iletme yeteneği az olan maddelere verilen isimdir. Dielektrik malzemeler akımı iletmeme özellikleri endüstrisi alanında birçok uygulamada kullanılmaktadır, bu uygulamalara örnek olarak elektrik sistemlerinin birbirinden yalıtımının sağlanması ve kaçak akım veya benzeri sistemler arası girişimlerin engellenmesi veya dielektrik malzemelerin kendi üzerlerinde yükleyebildikleri için geçici yük depolama ünitesi (Kondansatör) olarak kullanılmaktadırlar [9].

2.2.2 Yansıtıcı Antenler

Günümüz kablosuz haberleşme sistemlerinin en temel devre yapısı antenlerdir. Antenler iki ana gruba ayrılmaktadırlar, aktif ve pasif anten yapıları. Aktif antenler kendilerine

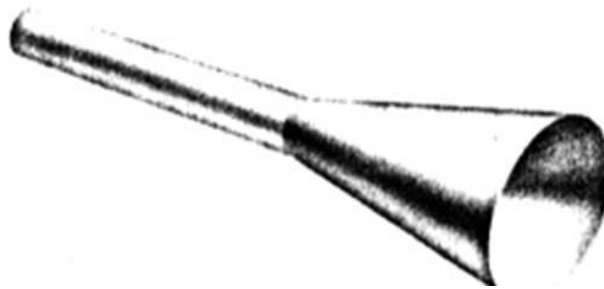
ayrı verilen bir güç kaynağı ile (genellikle anahtarlama devreleri veya varaktör diyot gibi yapılar) çalışma frekansları veya ışınım patern yapıları değişebilen anten tipleridir. İkinci tip olan pasif anten yapıları ise genellikle uzaydan üzerine gelen elektromanyetik alanı veya girişine verilen bir mesaj sinyalini geometrik şekline bağlı olacak şekilde sabit bir frekans aralığında sabit bir ışınım paterni ile uzaya yayılım yapan yapılardır. Anten yapıları ışınım paternleri ve performanslarına bağlı olarak ikinci bir sınıflamaya da dâhil edilirler, alıcı veya verici anten.

Verici antenlerde antenin girişine uygulanan modüle edilmiş elektriksel mesaj sinyalinin antenin yapısına bağlı olan sabit veya değişken operasyon becerisine bağlı olarak uzaya belli bir yöne (yönlendirici anten) veya yönsüz her yöne eşit şekilde girişine verilen elektriksel mesaj işaretini elektromanyetik alanlar cinsinden uzaya yayan yapılardır.

Anten yapıları haberleşme sisteminde alıcı olarak da kullanıldıklarında ise, bu antenlerin yüzeylerine gelen elektromanyetik alanlar iletken yüzey üstünde modüle edilmiş mesaj sinyalinin frekansına sahip bir elektrik akımı indükleyeceklerdir. Daha sonra haberleşme sistemindeki kuvvetlendiriciler ve de-modülatör yapıları kullanılarak bu mesaj sinyali elde edilmektedir [10].

2.2.3 Korna (Horn) Antenler

Yansıtıcı dizi antenler genellikle ile elektromanyetik alan propagasyon yayılımının yüksek yönlendiriciliği olan anten yapıları ile birlikte kullanılmaktadırlar. Yüksek yönlendirmeye sahip anten yapılarına örnek olarak Korna antenler uygun bir örnek olacaktır. Bu anten yapıları genellikle kolay monte edilebilmesi ve farklı şekil boyutlarda üretildikleri için kullanımları diğer anten tiplerine göre daha yoğundur [10].



Şekil 2.3 örnek bir Koni korna anten yapısı [11]

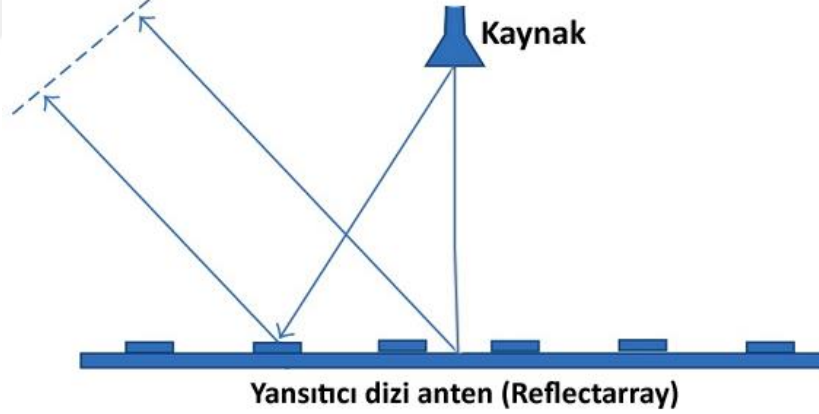
2.2.4 Dizi Anten

Antenlerin performans ölçeklerinden biri olan ışınma kazancı, anten yapısına gelen elektromanyetik sinyali ne kadar iyi topladığı veya girişine uygulanan elektriksel işareti nasıl bir yoğunlukla hangi yöne odakladığını belirten bir performans ölçüsüdür.

Yüksek yönlendiricilik gerekesimi duyulan uygulamalarda genellikle ile bir yerine birden fazla anten yapısının aynı anda kullanımı ile yapıya ait kazanç ve ışınma paterni performansları artırılabilir.

Bu olay verici antenlerin her birinin ayrı ayrı uygulanan sinyallerin uzak alandaki iz düşümlerinin birbirlerinin üstüne gelmesi, alıcı antenlerde ise daha büyük bir yüzeye sahip olan dizi antenlerin üzerlerine daha fazla elektromanyetik alan gelmesi dolayısı ile sisteme odaklanarak iletilecek elektrik akım miktarının artması ile sağlanmaktadır.

Bu olayın gerçekleşmesi için en önemli parametreler, dizi anten yapısındaki antenlerin sayısı, her bir antenin bireysel olarak performansı, antenlerin dizilimi gibi önemli tasarım parametrelerine bağlıdır [11].

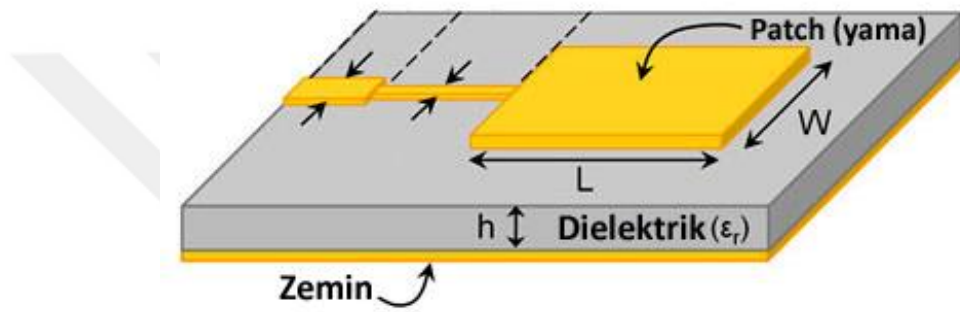


Şekil 2.4 Bir yansıtıcı dizi anten yapısının örnek çalışma şekli [11]

2.2.5 Elektronik Altılıklar

Mikroşerit veya baskı devre teknolojisi ile üretim uygun maliyeti, düşük boyutlu tasarımlar, ve diğer sistemler ile kolaylıkla entegre edilebilirliği bu tarz devrelerin kullanımı yaygın hale getirmiştir. Mikroşerit iletim hatları iki iletken levha arasında (bakır veya gümüş), yer alan bir dielektrik katmanın bir araya gelmesinden oluşurlar. Mikroşerit yapılarında bulunan levhalar genellikle ile üst katman ve toprak katmanı olarak

kullanılmaktadır. Alt kısımda bulunan levha topraklama katmanı olarak kullanılırken, üst tarafta kalan levha ise elektronik komponentlerin lehimlenerek veya özel olarak kesilen uzunluk ve kalınlıktaki hatlar ile yapıya istenilen empedans değeri verilmekte ve bu yapıyı elektromanyetik dalgaların ilerlemesini kolaylaştıracak ve kaybı azaltacak bir dalga kılavuzunu dönüştüre bilmekteyiz. Anten yapılarında ise kesilen levhanın boyutlarına bağlı olarak antenin performans ölçüleri ve çalışma frekansı belirlenmektedir. Ayrıca mikroşerit altlığın dielektrik katsayısı üretilen devrelerin boyutlarını özellikle etkilediğinden küçük ve performansı yüksek devrelerin üretimi için dielektrik katsayısı yüksek malzemelere ihtiyaç olmaktadır [9].



Şekil 2.5 Örnek bir mikroşerit yama antene ait görsel [11]

2.3 Şerit Döküm Yöntemi İle Altlık Üretimi

2.3.1 Şerit Dökümün Özellikleri

Şerit döküm yöntemi geniş alanlı, ince ve düzgün seramik parçaların üretiminde kullanılır. Bu yöntemin başlıca avantajı 100-2000µm aralığındaki kalınlıklarda parçaların üretilmesidir. Mikro elektronik alanında gelişmeler, düz ve iletken olmayan devre altlıklarının önemini arttırmıştır. Bu altlıklarda öncelikle mekanik mukavemet, yapıldığı malzemelerden ise sıcaklık dayanımı istenir. Altlık aynı zamanda kabul edilebilir seviyede termal iletkenliğe sahip olmalıdır, ayrıca kimyasallardan etkilenmemelidir. Bir diğer gereksinim ise yüksek derecede yüzey düzgünlüğüdür ve kolay şekil alabilmeleridir. Bahsi geçen özelliklerin tümüne şerit-döküm yöntemiyle ulaşmak mümkündür. [12] [13]

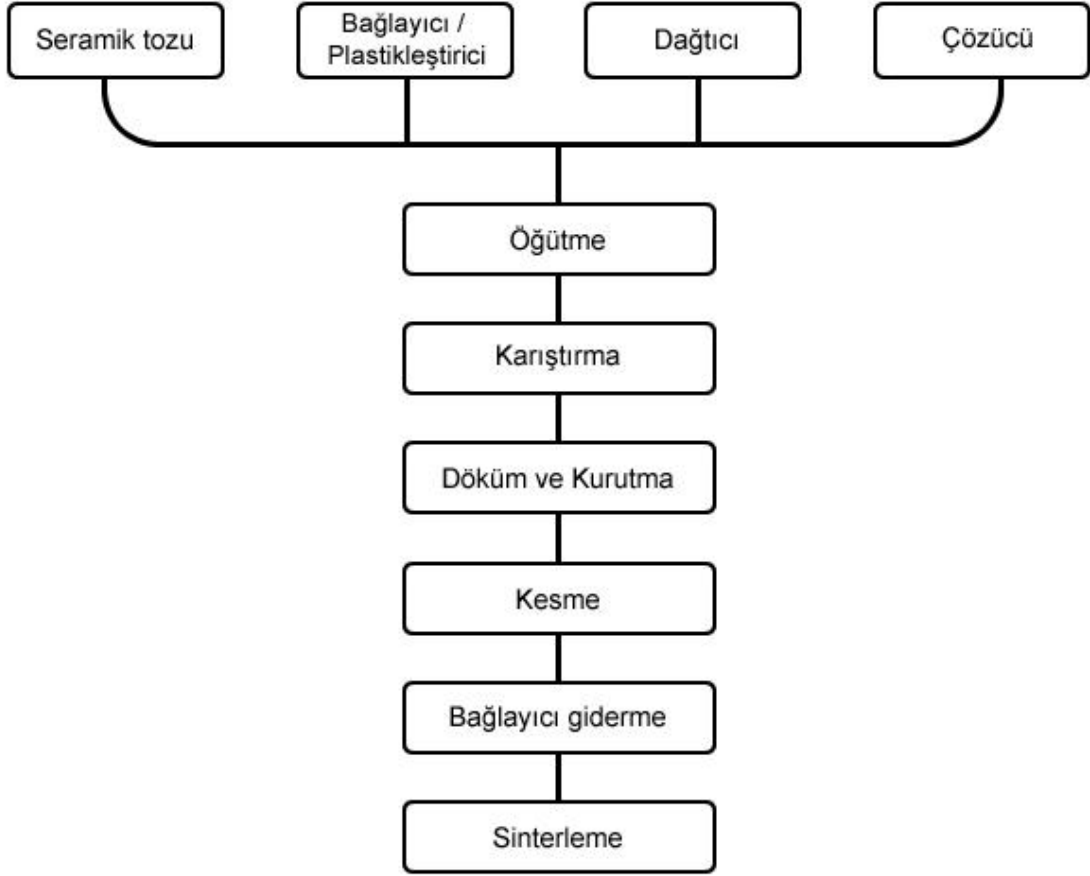
2.3.2 Şerit Döküm Prosesi

Şerit Döküm yöntemi, inorganik seramik malzemenin sıvı içerisinde dağıldığı seramik çamurunun hazırlanması ile başlar. Burada sıvı faz, solvent içerisinde seyreltilmiş halde organik bağlayıcılar ile plastisiteyi modifiye eden katkı maddelerini içermektedir.

Şekil 2.6 şerit döküm prosesinin akım şemasını göstermektedir. Proseste ilk basamak uygun seramik tozunu bulmak, bağlayıcı ve plastikleştirici ilave edilerek uygun kıvamdaki çamuru üretmektir.

Hazırlanan çamur, düz bir yüzeye yayılır ve solventin bünyeden uçurularak uzaklaşması sağlanır. Kurutulan malzeme inorganik seramiği ve plastik bağlayıcıyı içerir. Kurutulan şerit, yüzeyden sıyrılabilir ve kâğıt veya deri gibi ele alınabilir. Doktor bıçağı (Dr. Blade) ile üretilen şeritler çok katmalı kapasitörlerde ve termistör, ferrit, piezoelektrikler gibi pasif elektronik komponentlerde geniş ölçüde kullanılmaktadır [14].

Kapasitörlerde, seramik şeritler 0,025mm kalınlığında olabilmektedir. Alüminyum oksit, berilyum oksit ve diğer dielektrik malzemelerden üretilen 0,25 ile 1,00 mm kalınlığındaki seramik şeritler, mikro elektronik devrelerde taban (substrate) olarak kullanılmaktadır. Bu seramik tabanlarının ebatları istenilen elektronik cihaza göre değişiklik göstermektedir ancak anten kullanımı için 50x50 mm boyutlarında bir parça kullanılabilir.

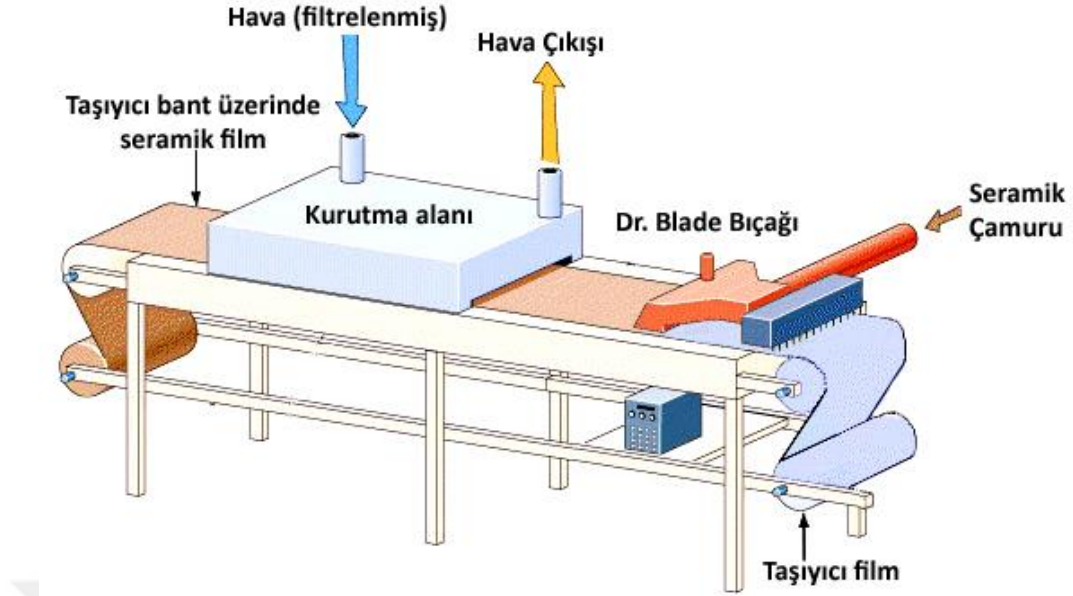


Şekil 2.6 Şerit döküm prosesi şeması

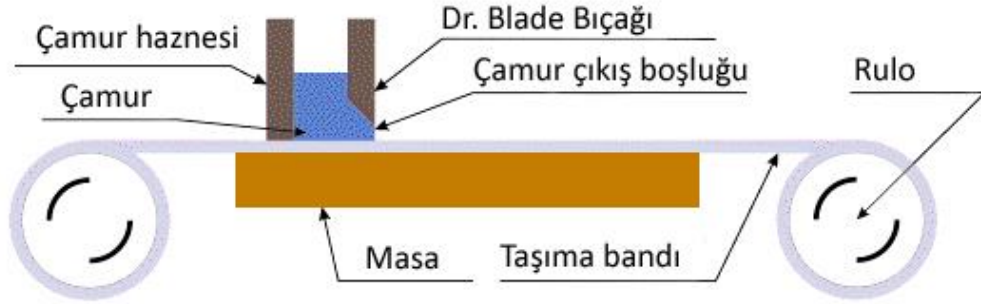
2.3.3 Döküm Prosesi

Şerit dökümde kullanılan çamurun özellikleri tekrar ve kontrol edilebilir olmalıdır. Döküm çamuru prostesten anlaşılabilceği üzere kayma incelmesi davranışı gösterir. Bu nedenledir ki hem ortamın hem de çamurun sıcaklığı çok büyük önem arz eder.

Şerit kalınlığı, taşıyıcı üzerindeki bıçağın yüksekliği, taşıyıcının hızı ve kuruma çekmesi ile doğrudan alakalıdır. Şekil 2.7'de endüstriyel ortamlarda kullanılan bir şerit döküm makinası, Şekil 2.8'de ise doktor bıçağı modeli gösterilmektedir. Bıçak altındaki akış basıncı hareketli yüzey tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 2.7 Endüstride şerit döküm makinesi [15]



Şekil 2.8 Şerit döküm akış modeli [16]

Şerit döküm süreç tekniğinde çamur hareketli yüzey üzerine yapılmakta (genellikle ince asetat selüloz filmi, teflon, selofan ve temperlenmiş cam) ve çamur pürüzsüz uzun kanatla kontrollü kalınlığa kadar dağıtılmaktadır. Çözücünün alınması buharlaşma ile gerçekleşir. Buharlaşma, kontrollü ısıtma veya hava akışı ile sağlanır [13].

2.3.4 Çözücüler

Şerit döküm prosesi için hazırlanan çamurun akışkanlığını sağlayıcı, tozları içinde çözen bir sıvı kullanılmaktadır. Sıvının çamurun içindeki bileşenleri iyi şekilde dağıtabilmeli ve seramikle tepkimeye girmemelidir.

Çizelge 2.2 Tape casting prosesinde kullanılan bazı organik çözücüler

Etanol	Metil etil keton
Metanol	Ksilen
Tolüen	1.1.1 trikloreten

Şerit döküm prosesinde kullanılacak çözücüyü seçerken dikkat edilmesi gereken en temel faktör çevreye ve insan sağlığına zarar vermemesidir. Aynı zamanda çözücünün, kullanılan tozun özelliklerine zarar vermemesi gerekmektedir. Diğer önemli bir faktör ise çamura katılan diğer katkı maddelerini de çözme kabiliyetine sahip olmalıdır.

Çözücünün seçimi eklenecek diğer katkı maddelerine bağlı olarak epey aşamadan oluşmaktadır. Örneğin çamur reçetesi hazırlarken öncelikle toz, ardından bağlayıcı seçilir. Seçilen bağlayıcıyı çözecek şekilde çözücü seçilir ve bu çözücü diğer katkı maddelerini de çözebilme kabiliyetine sahip olmalıdır. Ayrıca çamur hazırlarken istenilen duruma göre birden fazla çözücü de kullanılabilir [17].

Organik çözücü kullanılan şerit döküm proseslerinde ikili ya da çoklu çözücü kullanımı oldukça yaygındır. Bunun nedeni çoklu çözücünün, çözme kabiliyetinin daha yüksek olması ve kuruma hızı, akış, ekonomi ve güvenlik gibi konularda daha fazla kontrol imkanı sağlamasıdır [17].

Çözücü seçimindeki önemli faktörler çözücünün, katkı maddelerini çözmesi, toz ve diğer eklenen maddelerin içerisinde üniform olarak dağılması, hızlı buharlaşması ve ek olarak insan sağlığı ve çevreye zarar teşkil etmemesidir [17].

Kuruma hızı bu hususta çok önemli bir faktördür hatta bu yüzden birçok üretici su bazlı çözücülerden kaçınırlar. Çünkü su bazlı çözücüler organik bazlılara kıyasla daha yavaş buharlaşırlar.

Üretim hızı, kurutma hızına bağlı olduğu için, en uçucu çözücülerini kullanmak ve onları mümkün olduğunca hızlı buharlaştırmak iyi bir yoldur. Ancak bu seçenek çoğu durumda faydadan çok engel oluşturur. Örneğin, metil etil keton (MEK) kullanan tek çözücülü bir sistem düşünülürse, MEK hızla kururken, hızlı bir üretim sağlar, ancak beklenenden erken kuruma ve hazne üzerinde tabaka oluşturma gibi riskleri de vardır. Bu durum, döküm boyunca şeritler ve oluklara karşılık gelir. Hızlı kuruma aynı zamanda sıyırma

bıçağında aşağı yönde öbekler oluşmasına da sebep olur. Bunlar mekanik problemlerdir [18].

2.3.4.1 Çözücülerin Seramik Tozları ile Etkileşimleri

Seramik süper iletkenlerde, ferroelektrik malzemelerde hammadde olarak kullanılan alüminyum nitrür su ile etkileşime geçtiğinde su tarafından saldırıya uğrar ve özellikleri değişir. Bazı durumlarda toz yüzeyi hidrofobik absorbe olmuş bir tabaka içerir. Alüminyum nitrür için silan veya sterik asit yüzeyi korumak için kullanılır. Fakat ince koruyucu tabaka öğütme sırasında zarar görür. Bu sistemde pH 6' da çalışarak alüminyum nitrürün hidrasyonu önlenir. Kullanılan çözücülerin seramik tozuna zarar vermemesi gerekir [13].

Çizelge 2.3 Bazı çözücülerin termal özellikleri

Çözücü	Buharlaştırma ısı (Kal/g)	Kaynama noktası (°C)	Yanma noktası (°C)	Patlama limitleri % hacim
Su	540	100	-	-
Etanol	204	78	20	3-19
Di etil eter	84	35	40	1-37
Heptan	76	98	1	1-7
Tri klor etilen	57	87	-	-

2.3.5 Plastikleştiriciler

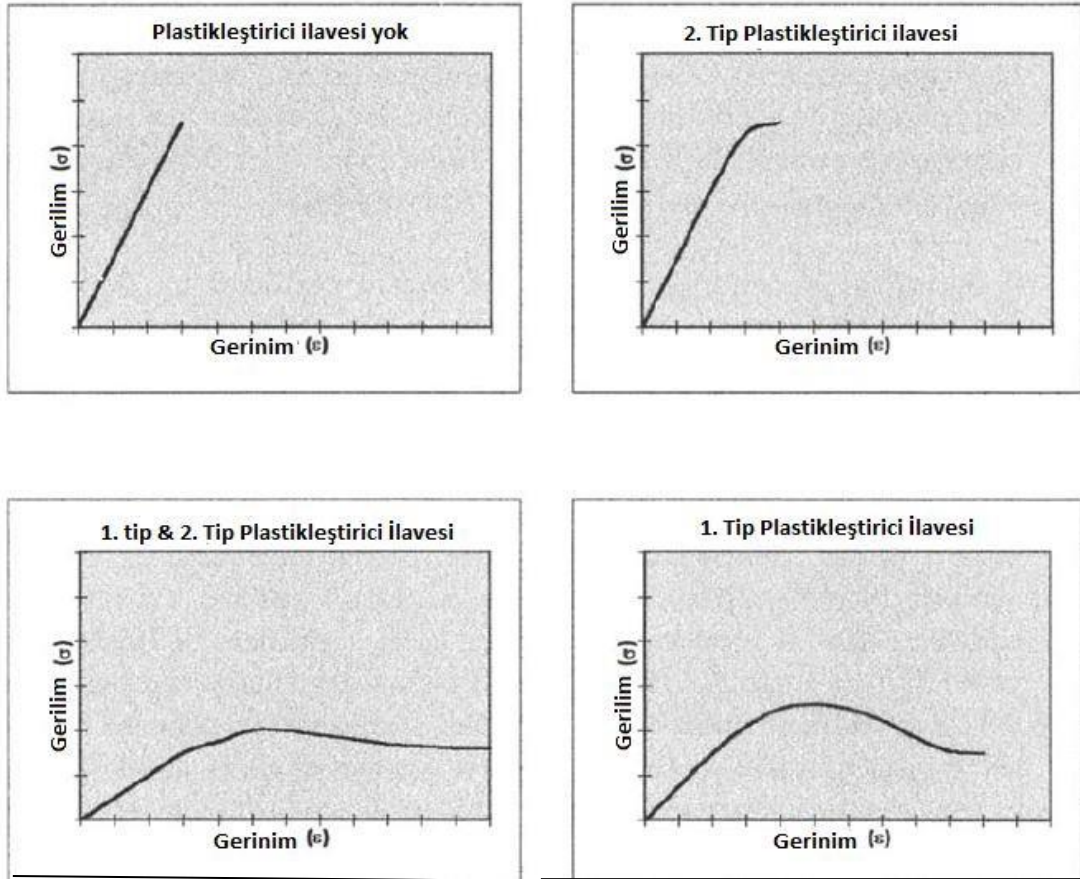
Sert plastıklere ilave edilip onları yumuşak, işlenebilir ve kalıplanabilir hale getiren katkı malzemesidir.

Plastikleştiriciler şekillenebilirlik ve ürünün kırılmadan elle tutulabilmesini sağlayan katkılardır. Seramik çamur içinde hem bileşenleri birbirinden sterik itmeye uzaklaştırır hem de onları bir arada tutar.

Plastikleştirici şeridi elastik hale getirir ve böylelikle şerit çok kolaylıkla elle tutulur hale gelir. Plastikleştirici ile şerit kırılmadan kolay bir şekilde şekillendirilebilir. Plastikleştirici şerit döküm sisteminde şekillenebilirlik ve plastikliği sağlayan ilavelerdir.

Kuru dökümün oluşturulması ve montaj için yumruklama, kesme, yuvarlama ve çekme gerekir.

Çizelge 2.4 Plastikleştiricilerin gerilim-gerinim eğrisine etkisi



Çizelge 2.5 Şerit dökümde kullanılan bazı plastikleştiriciler

<u>Ftalatlar</u>	<u>Glikoller</u>	<u>Diğerleri</u>
n-Butil (dibutil)	(Poli) etilen	Etiltoluen sulfanamid
Dioktil	Poliaklen	Gliserin
Butil benzil	(Poli) propilen	Tributil fosfat
Karışık esterler	Trietilen	Butil sterat
Dimetil	Dipropilglikol	Metil abitat
	Dibenzot	Triksesil fosfat
		Propilen karbonat

Ftalatlar, insan sağlığına olan zararlarından dolayı tedarik edilmesi kısıtlı ve kullanımı riskli olan plastikleştiricilerdir.

2.3.6 Bağlayıcılar

Solüsyon hazırlama aşamasında, bağlayıcı muhtemelen sistemin en önemli katkı maddesidir. Bağlayıcı; sonraki işlemler için tüm sistemde bulunan malzemeleri bir arada tutan polimer bir matristir.

Bu matris solüsyona esneklik, dayanıklılık, tokluk, 3D yazıcılarda yazdırılabilirlik ve pürüzsüzlük gibi özellikler kazandırmada en büyük görevi üstlenir, bu özellikler havada kurutma ve sinterleme esnasında da malzemenin hacim kaybından ötürü kırılma ve çatlamasını engellemeye yardımcı olurlar. Bu özelliklerinin yanı sıra doğru bağlayıcı seçilmemesi aynı şekilde sorunlar yaratacaktır.

Şerit dökümde bağlayıcı seçerken dikkate alınması gereken faktörler;

- Kül kalıntısı bırakmaması
- Yanma (burnout) sıcaklığı
- Yanma yan ürünleri
- Çözünbilme oranı
- Viskozite
- Maliyet
- T_g değiştirme yeteneği

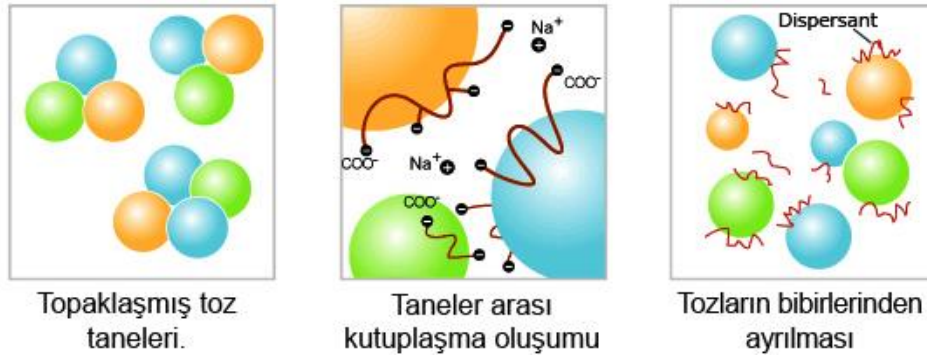
En çok tercih edilen bağlayıcılar Poliviniller ve Poliakriliklerdir, bu bağlayıcılar özelliklerine göre farklı alanlarda kullanılırlar, projemizde Polivinil grubundan PVB malzemesi bağlayıcı olarak kullanılmıştır.

Çizelge 2.6 Yaygın kullanılan bağlayıcıların uygulama alanları ve avantajları

Uygulama alanı	Bağlayıcı	Avantajlar
Slip döküm	Nişasta	Ucuz
	Sodyum ligno sulfat	Ucuz
	Sodyum karbo metil selüloz	Ucuz
	Sodyum silikat	Güçlü
	Amonyumpoli akrilat	Yüksek katı yükü
Şerit döküm	Polivinil butral	Güçlü
	Metil akrilat (MEK içinde)	Kolay buharlaşan
	Metil akrilat (solüsyon)	Kolay buharlaşan
	Amonyumpoli akrilat	Yüksek katı oranı
Ektrüzyon	Metil selüloz	Isı ile kolay jelleşme
	Nişasta	Ucuz
	Sodyum silikat	Güçlü
Enjeksiyon kalıplama	Bal mumu ve polietilen	Kolay buharlaşma
	Epoksi	Çok güçlü
Baskılama	Alginatlar	Ucuz
	Sakızlar	Ucuz
	Etil selüloz	Pseudoplastik
	Polivinil butral	Kolay buharlaşma
Sır kaplama	Sakızlar	Ucuz
	Sodyum karbo metil selüloz	Ucuz
	Sodyum silikat	Güçlü

2.3.7 Dağıtıcılar

Dağıtıcı; sistem içerisindeki toz tanelerini kaplayıp kutuplaştırma sonucu tozları birbirlerinden ayrı tutan katkı maddesidir. Solüsyonda kullanımının en büyük amacı daha sonradan ilave edilecek plastikleştirici ve bağlayıcıların taneler arasına girmesini kolaylaştırmak ve olabildiğince çok sayıda toz tanesinin kaplanmasına izin vermesidir.



Şekil 2.9 Dağıtıcıların taneleri uzaklaştırma görseli

Tanelerin birbirlerinden uzaklaşması viskoziteyi arttıracığından topaklaşma azalır ve daha az miktarda çözücü kullanımına olanak tanır, sonuç olarak kuruma özellikleri iyileşir ve çatlama ihtimali azalır, ayrıca kolaylıkla sistemden uzaklaşarak kalıntı bırakmaz.

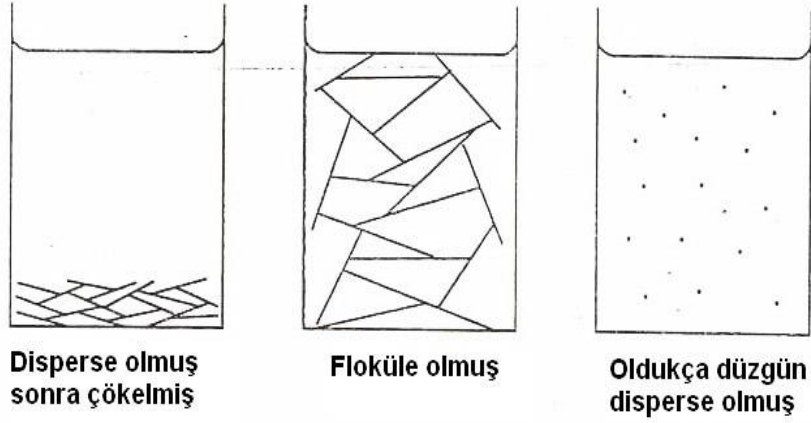
Sulu ve susuz sistemlerde taneler arası boşluğu sağlamak için genelde dağıtıcı olarak organik zincirli moleküller kullanılır.

Çizelge 2.7 En sık kullanılan dağıtıcı örnekleri

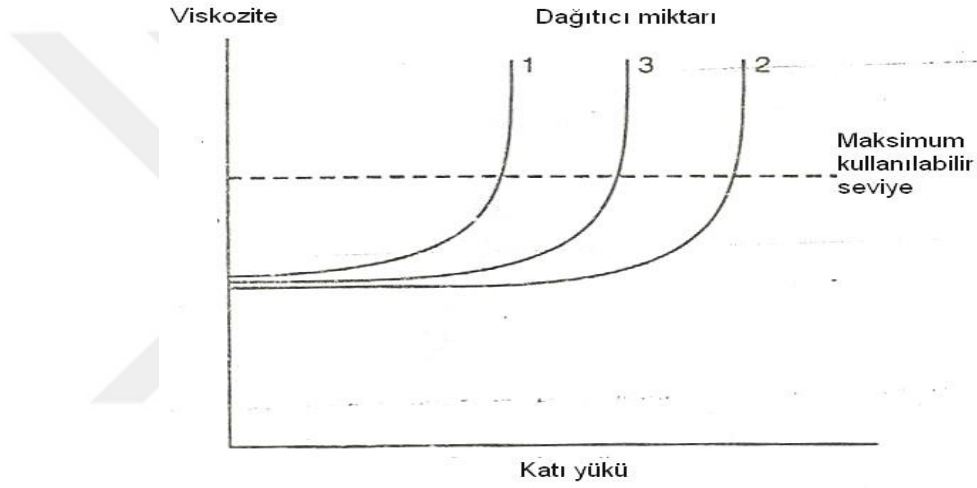
Polyisobutylene	pH adjustments
Linoleic acid	Sodium silicate
Oleic acid	Dibutylamine
Citric acid	Substituted imidazolines
Stearic acid	Sulfanates
Lanolin fatty acids	Aliphatic hydrocarbons
Salts of polyacrylic acids	2-amino-2-methyl-1 –propanol
Blown menhaden fish oil	Polyethylene glycol
Corn oil	Polyvinyl butyral
Safflower oil	Sodium sulfosuccinates
Linseed oil	Ethoxylate
Glycerol trioleate	Phosphate ester
Synthetic waxy esters	Glycerol tristearate

Polimerik bağlayıcı ilave edildiği zaman partikül tanelerini teker teker sarmak yerine partikül gruplarını sarar. Bu olay fermuarlı çanta teorisi (zipper bag theory), partikül gruplarını kalıcı hale getirir prosesin beklemesi süresince.

Paketleme yoğunluğunun fazla olması bant üzerinde daha yüksek yoğunluk ve sinterleme sonrası daha iyi sonuçlar elde etmemizi sağlar.



Şekil 2.10 Dağıtıcı etkisi ile çökeltme davranışları



Şekil 2.11 Dağıtıcı etkinliği için maksimum katı yükü testi

2.3.8 Ajanlar

Katkı maddelerinin eklenmesinin amacı genelde tane büyümesini önlemek veya sinterlemeyi kolaylaştırmaktır. Kullanılan katkı maddeleri; CaO, SiO₂, MgO, Cr₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MnO₂, TiO₂ ve SiO₂'dir.

MgO gözenekleri tane sınırlarına bağlayarak, tane sınırı hareketini zayıflatıp tane büyümesini önlemektedir. Böylelikle daha küçük tane yapılı alümina elde edilmektedir. Kütlece (wt%) 0,1, 0,3 ve 0,5 oranında MgO içeren ve atmosferik basınçta 1750°C de 4 saat sinterlenen alümina numunelerinin incelenmesiyle aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- MgO'nun sabit bileşiminde bağıl yoğunluğun yüzdece değişimi sıcaklığın artışı ile lineer değildir.

- Sabit sıcaklıkta artan MgO miktarı ile alüminanın ortalama tane boyutunun azaldığı gözlenmiştir.
- MgO eklenmesiyle alüminadaki tane boyutu azalmış ve yüzde bağıl yoğunluk artmıştır.

Alüminaya, MgO ilavesiyle sinterlemeyi kolaylaştırmak (tane boyutu kontrolü) ve yoğunluk arttırmak (mekanik dayanım kazandırmak) mümkündür.

Cr₂O₃ ilavesiyle oluşan katı eriyikte; Al⁺³ ün yerini Cr⁺³ almaktadır. Bu değişimle oluşan kompozisyonlardan dolayı tüm yayınma akışları etkilenmektedir. Fazlar arasındaki sınırdaki gözenek oluşumu ile sınırın hareketi zorlaştığı için tane büyümesi önlenmektedir. %3 Cr₂O₃ ilavesiyle sertliğin %10 arttığı, %0,5-1,5 arasında yapılan Cr₂O₃ katkılarının 1450°C'de yapılan sinterlemede homojen mikroyapı görünmesine rağmen, saf alüminaya göre yoğunluğu düşürdüğü belirtilmiştir. Ancak 1550°C'de yapılan sinterlemede yoğunlukla birlikte sertlik ve mukavemetin arttığı belirtilmektedir.

MnO₂ alüminayla katı eriyik yaparak, oluşturduğu oksijen boşlukları sayesinde yayılmasını kolaylaştırır ve yoğunlaşmayı artırır. %0,5-1,5 MnO₂ ilavesi ile yapılan sinterleme çalışmasında, 1450°C'ye yapılan sinterlemelerde saf alüminada yoğunluk %93 iken, MnO₂ katkılılarda %97 yoğunluğa ulaşıldığı bunun üzerindeki sıcaklıklarda yapılan sinterlemelerde yoğunluğun iyileşmeyip aşırı tane büyümesi olduğu bildirilmektedir.

TiO₂ ilavesi yapıldığında Ti atomlarının Al atomlarının yerini alarak alümina içerisinde çözülmektedir. Böylece, katı eriyik Al atomlarının hareketini zorlaştırmaktadır. Artan hacimsel latis yayılımı ile sinterleme ve tane büyümesi artmaktadır.

Özetle, MgO; yoğunlaşmayı artırır, tane büyümesini önler, TiO₂; yoğunlaşmayı artırır, tane büyümesini kolaylaştırır, Ni₂O₃; yoğunlaşmayı zorlaştırır, tane büyümesini önler ve son olarak SiO₂ ilavesi de yoğunlaşmayı zorlaştırıp, tane büyümesini kolaylaştırır.

2.3.9 Solüsyonun Hazırlanması ve Döküm İşlemi

2.3.9.1 Tozların Öğütülmesi

Şerit dökümün hazırlanmasındaki ilk adım tozun öğütücü yardımı ve dağıtıcı ile beraber harmanlanmasıdır. Bilyeli öğütücülerin boyutu, işlenecek yığının büyüklüğüne göre

seçilir. Bilyeli öğütücülerin işleme Aralığı 0,3 litreden 3000 litreye kadardır. Laboratuvar ve küçük ölçekli üretimlerde 5-100 litrelikler kullanılır. En çok tercih edilen öğütücü standart döner bilyeli öğütücülerdir.

Öğütme dağılımı içindeki katı yüzdesi aşağıda ki gibi tanımlanabilir:

$$\%Katı = \text{Toz ağırlığı} / (\text{Toz ağırlığı} + \text{Çözelti ağırlığı})$$

Öğütme dağılımı içindeki katı yüzdesi hesaplanırken tozun yoğunluğu, parçacık boyutu ve dağıtıcının etkinliğine bağlı olarak katı yüzdesi %20'den daha az olabilir.

2.3.9.2 Solüsyonun Karıştırılması

Hazırlanan solüsyon içeriğinde bağlayıcı ve plastikleştiriciler çözünmemiş durumdadırlar ve topaklaşmalar mevcuttur, bu sorunların giderilmesi amacıyla solüsyon kabının içine yeterli sayıda alümina bilye eklenerek değirmene bırakılır, istenilen homojen dağılıma ulaşmak için en az 48 saat karıştırılmaya bırakılmalıdır.

2.3.9.3 Numunenin Dökümü

Şerit döküm prosesi Dr. Blade bıçağı adı verilen kesme aparatı ile destek arasındaki kısmi hareket ile iki şekilde gerçekleştirilir:

1. Sabit zemin (Şerit) üzerine hareket eden bıçak (laboratuvar ortamları için)
2. Sabit bıçak altından hareket eden şerit (sürekli döküm için)

Şerit döküm yönteminde, döküm tabakasının kurutulması iki ana mekanizma ile gerçekleşir:

- Çözücülerin numune yüzeyden buharlaşma miktarı
- Çözücülerin numune bünyesinden yüzeye difüzyon miktarı

Seramik malzemelerde bünyedeki difüzyon oranı şunlarla ayarlanabilir;

- Bağlayıcı konsantrasyonunu değiştirerek
- Parçacık boyutunu değiştirerek
- Islak film tabaka sıcaklığını ayarlayarak

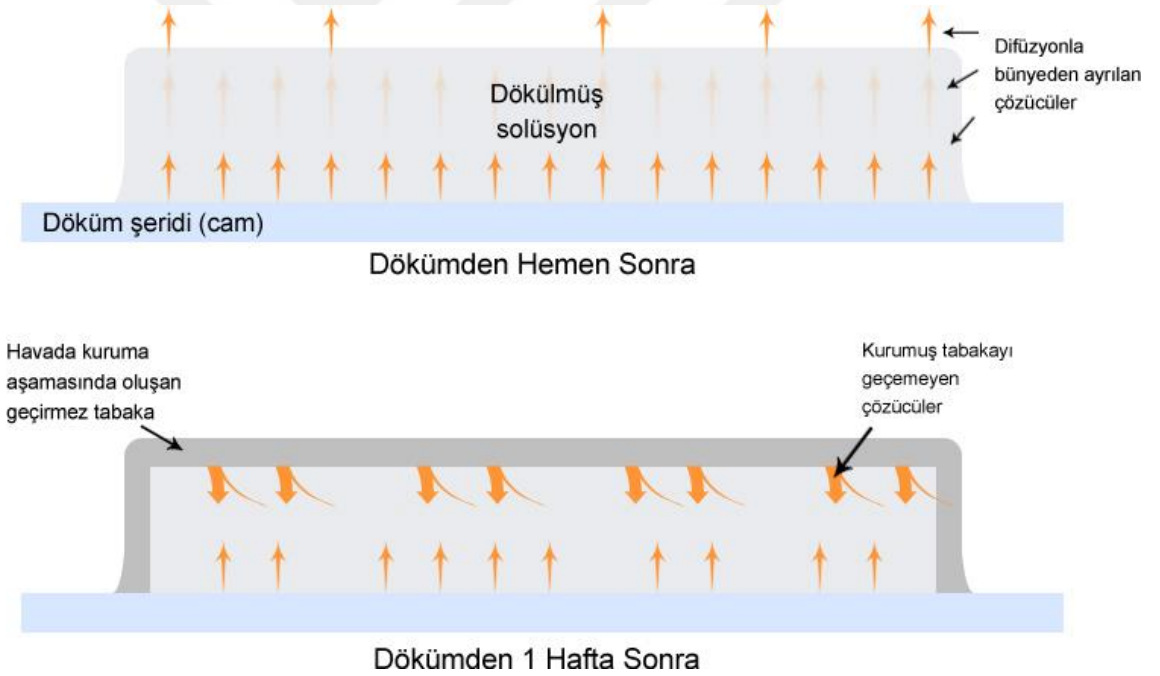
2.3.9.4 Yüzey Buharlaşması

Çözücülerin numunenin yüzeyinden buharlaşarak ayrılma işlemidir, bu adımda numune bünyesinden oda sıcaklığında belli miktarda çözücüü uzaklaştırarak fırında kurutma esnasında daha az büzülme yaşanması ve çatlakların önlenmesi planlanmaktadır.

Ayrıca numunenin döküm şeridi üzerinden hasarsız ayırmak numunenin kuruyarak belli bir yoğunluğa ulaşması beklenmektedir.

2.3.9.5 Çözücülerin Bünyeden Yüze Difüzyonu

Solüsyonun yoğunluk oranına bağlı olarak çözücülerin difüzyon hızı değişiklik gösterecektir, bu durum göz önünde bulundurularak numunenin istenilen yoğunluğa ulaşma süresi belirlenmelidir. Solüsyonun yoğunluk oranı ise içeriğine eklenen bağlayıcı, plastikleştirici, dağıtıcı, oluşan kanallar ve homojenlik oranına bağlıdır.



Şekil 2.12 Çözücülerin ıslak numuneyi terk etmesi

Difüzyon ile çözücülerin bünyeden ayrılması yüzeyin tamamen kurumasıyla sonlanmaktadır. Şekil 2.12 Çözücülerin ıslak numuneyi terk etmesi 'de görüldüğü gibi yüzey tamamen kurduğunda oluşan kuru yüzey geçirgenliği olmayan bir katman olarak davranır, o aşamadan sonra bünyede kalan tüm çözücüler çıkmak için gerekli enerjiye sahip olmadıklarından içerde hapis kalırlar. Bu çözücüler ancak fırında kurutma

aşamasında numuneyi terk etme enerjisini elde ederler ancak eğer yüksek oranda çözücü hala içeride kaldıysa fırında kurutma aşamasında yüzeyde porozitelere sebep olacaktır.

2.4 Şerit Döküm Yöntemi İçin Seramik Toz Seçimi

2.4.1 Toz Özellikleri

Tape casting yönteminde kullanılacak seramik toz belli özelliklere sahip olmalıdır. Bu özellikler doğrultusunda malzeme mukavemeti, elektrik direnci, dielektrik özellikleri ve kimyasal direnci belirlenir [19].

Çizelge 2.8 Numune davranışlarını etkileyen toz özellikleri [19]

Parçacık boyutu ve dağılımı
Parçacıkların topaklanması
Parçacıkların yüzey alanı
Parçacıklar arası sürtünme
Akış ve paketleme
İçyapı
Empürite oranı

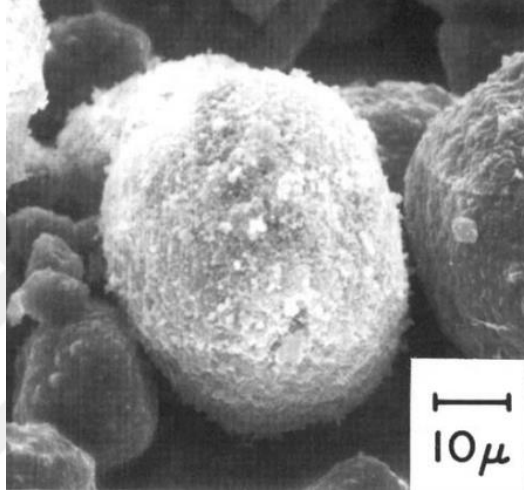
2.4.2 Toz Yüzey Alanı

Toz seçimi sırasında en çok önem verilen özelliklerden biri tozun yüzey alanıdır. Yüzey alanı değeri tozun geometrik şekli ve ebatlarından yola çıkarak belirlenir ve bu değer artış gösterdikçe malzemenin paketleme oranı artar ve akışkanlık değeri düşer. Bunların sebebi ise yüzey alanı arttıkça tozların birbirlerine tutunma ve sürtünme oranları artmasıdır.

Yüzey alanının belirlenmesinde kullanılan en yaygın teknik; toz yüzeyi üzerine tek tabakalı azot, helyum gibi gazların buharı ile adsorpsiyonunun uygulandığı BET yöntemidir. Yüzey alanının ölçüm birimi genellikle m^2/g (alan/birim kütle) olarak kullanılır.

2.4.3 Tane Boyutu, Dağılımı, Şekli ve Yoğunluğu

Tane boyutu numunenin yoğunluk oranını etkiler, toz boyutu küçüldükçe yoğunluk artış gösterir ancak şerit döküm işleminde tane boyutlarının homojen aralıkta olmaları istenmez. Eşit boyut dağılımı parçacıklar arası doldurulamaz boşlukların oluşmasına sebep olur ve sinterleme özellikleri istenilen oranda olmayan bir malzeme üretilir. Ancak boyut dağılım aralığı daha geniş seçildiği takdirde, oluşacak olan boşluklar daha küçük toz parçacıkları tarafından doldurulacaktır ve sonuç olarak daha yüksek yoğunluğa ve sinterleme sonuçlarına sahip bir malzeme üretilacaktır. [17]



Şekil 2.13 Alümina tozunun SEM görüntüsü [20]

2.4.4 Sıfık

Özellikle elektronik alanında kullanılacak malzemelerde sıfık oranı büyük önem arz eder. Sıfık seramik malzemelerin mukavemet, gerilmeye dayanım ve oksidasyon direnci gibi yüksek sıcaklık özelliklerini belirler. Mukavemete olan etki, seramiğin tane boyutuyla karşılaştırıldığında inklüzyonun tane boyutuna bağlıdır. Yine matris ve inklüzyon termal genişleme ve elastik özellikleri de belirlemektedir [21].

2.5 Yaygın Kullanılan Seramik Tozları İlave Edilen Diğer Katkı Malzemeleri

Solüsyon hazırlama esnasında istenilen yoğunluk, viskozite ve paketlenme faktörlerine ulaşmak için bazı katkı maddeleri kullanılmalıdır, Çizelge 2.9 Solüsyon hazırlamada kullanılan katkı malzemeler ve etkileri’da bu malzemeler ve etkileri gösterilmiştir.

Çizelge 2.9 Solüsyon hazırlamada kullanılan katkı malzemeler ve etkileri

Katkı Malzemesi	Etki ve Özellikleri
Bağlayıcılar	Toz süspansiyonuyla karıştırılmış 10.000-70.000 molekül ağırlıklı polimerler: Kurutmadan sonra yaş şeride esneklik ve mukavemet verir. Örnek: PVB ve PVA
Plastikleştiriciler	Şekillendirme sırasında plastikliği arttırmalar. Bağlayıcı molekülleri başına çapraz bağlanması azaltan küçük-orta boylu moleküllerdir. Bu şeridi daha katlanabilir yapar. Örnek: Dibutil ftalat (DBF)
Dağıtıcılar (dispersantlar)	Toz yüzeylerindeki elektrik yükünü, dispersiyonu veya topaklanmayı kontrol eder. Seramik tozların dağıtılmasına yardım eden, tipik olarak 1.000-10.000 molekül ağırlıklı polimer molekülleridir. Örnek: Oleik Asit, Triton X-100.
Sinterleme için ilaveler	Yoğunlaştırıcılar Örnek: Cr ₂ O ₃ ve MgO

2.6 Kurutma, Sinterleme ve Bağlayıcının Giderilmesi

Dökülen numunenin istenilen sertlik, yoğunluk ve yüzey özelliklerine ulaşması için gerekli son aşamadır. Döküm aşamasından sonra numune yarı katı haldedir ve cam üzerinden hasarsız olarak kaldırılması mümkün değildir. Öncelikli gerekli işlem kurutmadır, bu aşamada katkı maddelerinin bir kısmı numuneden ayrılırlar ve numunenin cam yüzeyinden hasarsız çıkarılmasına olanak sağlar ancak bu sırada poröz bir yüzey oluşumunu sağlayabilirler.

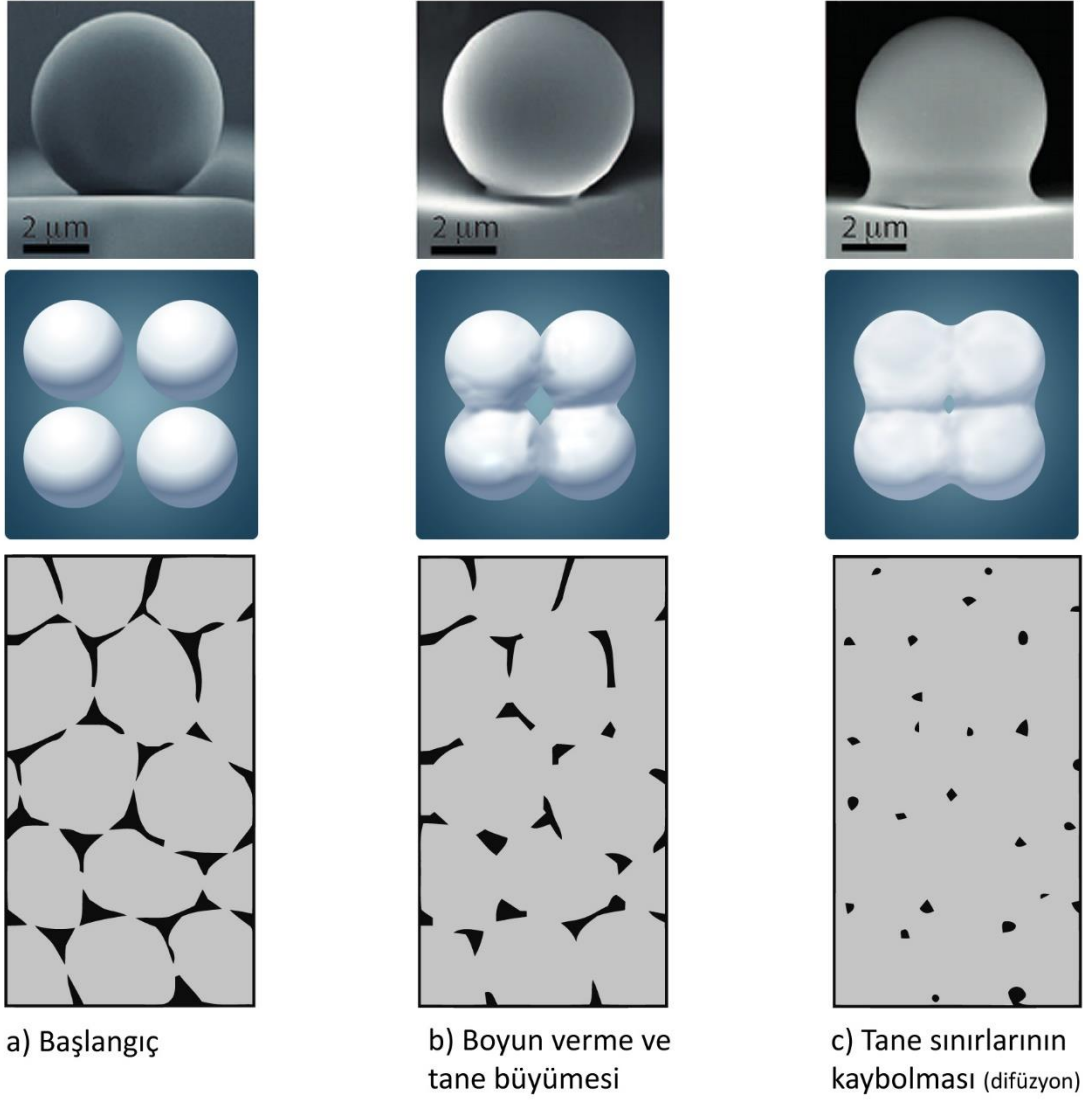
Sinterleme esnasında geri kalan katkı maddelerinin giderilmesi hedeflenmekle beraber yoğunluk artışı ve sıkışma ile oluşan bu gözeneklerin olabildiğince kapatılması beklenir [22].

Sinter prosesi üç aşamada gerçekleşir;

Birinci aşamada birbirine değen taneler boyun oluşturur. Oluşan boyunun çapının tane çapına oranı yaklaşık olarak $2 \mu\text{g}$ 'dir. Şekil 2.14'te boyun oluşumunun SEM fotoğrafı ve sinter aşamaları sırasıyla gösterilmiştir.

Birinci aşama oda sıcaklığında tanelerin birbirlerine olan pozisyonları görülmektedir, ikinci aşamada ise malzemenin yoğunluğu teorik yoğunluğun %90-95'ine ulaşır. Bu aşamada gözenekler hala numunede görülür durumdadırlar.

Üçüncü ve son aşamada yoğunluk teorik yoğunluğun %100'üne ulaşmıştır ve tane sınırları kaybolmaya başlamıştır. Yoğunluk artışı ve sınırların kapanması sonucu numune içeriğinde bulunan gözeneklerin kaybolması beklenmektedir ancak uygulanacak olan sinter rejimi tane büyüme hızını etkileyeceğinden gözeneklerin bünyede kalmasına sebep olabilir [23].



Şekil 2.14 (a) Oda sıcaklığında tozların pozisyonları (b) Sinter sıcaklığına yaklaştıkça başlayan kısmi ergimeler ve sonucunda oluşan taneler arası boyun ve tane büyüme başlangıcı (c) Sinterleme sıcaklığında solüsyondan ayrılan katkı maddeleri ve tane büyümesinden dolayı tane sınırlarının kaybolması. (SEM görüntüleri [24])

LİTERATÜRDE MEVCUT BENZER ÇALIŞMALAR

Yüksek kararlılığa sahip bir konsantre süspansiyon hazırlığı şerit döküm prosesi için çok önemlidir. Düşük viskoziteye sahip ve yüksek katı yük oranlı döküm çamuru geliştirmekte dağıtıcılar önemli bir rol oynar. Mingxian Yu ve çalışma arkadaşlarının 2015 yılında yaptıkları çalışmada hint yağı, fosfat ester ve hint yağı fosfat, alümina süspansiyonu için dağıtıcı olarak seçilmiştir. Bu dağıtıcılar ve alümina tozu arasındaki etkileşimler, emme ve viskozite ölçümleri ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar alümina süspansiyonları için hint yağı fosfatın çok daha etkili bir dağıtıcı olduğunu göstermiştir. Reçetelerinin optimizasyonu sonucu son alümina seramik ürünlerinde bariz bir mekanik özellik artışı gözlenmiştir [25].

Jérémy Marie ve araştırma grubu 2017 yılı içerisinde yaptıkları çalışmada, çalışmanın amacını, yeni organik tabanlı alümina süspansiyonunun reolojik özelliklerini çevreye etkisi en az olacak şekilde şerit döküm prosesine uygun hale getirmek olarak tanımlamışlardır. Bitkilerden elde edilen doğal polimerlerin, klasik organik katkılarının yerine geçebilecek oldukça umut verici adaylar olduğu gözlenmiştir. Su bazlı süspansiyon biyopolimer katkılarla hazırlanmış ve her bir katkının alümina tozları ile nasıl etkileşimlerde bulunduğu zeta potansiyel ve katı kristal mikro terazi ölçümleri ile belirlenmiştir. Sonuç olarak çevre dostu bu katkılar ile yapılan şerit döküm prosesinin geleneksel şerit döküm prosesine çok yakın sonuçlar verdiği ve istenilen özelliklerde son ürün eldesinin mümkün olduğu tespit edilmiştir [26].

2006 yılında Yongheng Zhang ve meslektaşları Chengwei Qin ve Jon Binner tarafından yapılan çalışmada şerit döküm prosesi ile ince çok kanallı alümina seramik zar üretilmiş

ve su bazlı süspansiyon ile bağlayıcı olarak lateks kullanılmıştır. Çalışmada vinil/akrilik, vinil asetat/akrilik ve akrilik/stiren olmak üzere 3 farklı lateks bağlayıcı türü ve plastikleştirici olarak da Dibutil ftalat veya gliserol kullanılarak bunların her birinin döküm çamurunun reolijisine ve yaş şeritlerin mekanik özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Plastikleştirici olarak gliserolun etkisiz olmasıyla birlikte dibütil ftalatın epeyce başarılı olduğu ve özellikle akrilik/stiren ile iyi bir sistem oluşturarak yaş şeritlerin kopma noktasını iki kat arttırdığı, buna rağmen gerilme direncini sadece küçük bir miktar düşürdüğü gözlenmiştir. Ağırlıkça %15 bağlayıcı miktarı ve 1500°C sinterleme sıcaklığının son ürünün porozitesi ve mukavemeti açısından oldukça verimli olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu şartlar altında son ürün olan alümina seramik zarda yüzeyler arası çarpılma ve deformasyon tespit edilmemiştir [27].

Ning Li ve çalışma arkadaşlarının 2009 yılında yaptıkları çalışmada Na-beta"-alümina ince filmlerini şerit döküm prosesi ile hazırlamaya odaklanmışlardır. Çözücü olarak metil etil keton ve etanol azeotropik karışımı, dağıtıcı olarak ağırlıkça %2 trietanolamin ve bağlayıcı olarak ağırlıkça %7 PVB eklenerek 4 saat boyunca karıştırılarak seramik tozlarının çamur içinde dağılımı sağlanmış ve homojen bir mikroyapı elde edilmiştir. Yaş şerit filmler 100 mikrometre kalınlığında dökülüp 1600°C sıcaklığında sinterlenerek mukavim film tabakaları elde edilmiştir. Bu seramik filmlerin iletkenlik değerleri geleneksel şekilde izostatik pres ve sinterleme yöntemi ile elde edilmiş filmler ile kıyaslanabilir durumdadır [28].

Xuesong Lu, Julian R.G. Evans ve Stephen N. Heavens'in 2012 yılında yaptıkları çalışmada düşük maliyetli ancak sadece birkaç raporda ham halde kullanıldığı belirtilen beta-alümina ile daha maliyetli ancak daha iyi sonuçlar veren α -alüminayı karşılaştırmışlardır. İlk olarak her iki alümina tozunu da ayrı ayrı kullanarak PVB ve geleneksel reçetelerle bir döküm çamuru hazırlayıp şerit döküm yapmışlardır. α -alüminadan homojen ve iyi özelliklerde bir şerit elde edilirken beta-alümina alt tabakaya yapışmış ve çatlaklar oluşmuştur. Sonra bağlayıcı polimetlakrilat olarak değiştirilerek, beta-alümina ve 3 farklı α -alümina tozu ile farklı toz tiplerine toleransı daha iyi olan bir reçete elde edilene kadar denemeler yapılmıştır. Farklı dağıtıcı katkıları da araştırılarak her iki toz tipiyle de etkili ve PMMA ve MEK/etanol çözücü ikilisi ile uyumlu bir dağıtıcı da belirlenmiştir [29].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Kullanılan Hammaddeler ve Katkı Malzemeleri

Tasarımını planlanan reflectarray antenin istenilen elektriksel değerlerine en yakın malzeme alümina olduğundan bu çalışmada hammadde olarak seçilmiştir. Saflık ve tane boyut ve dağılımı açısından Alkao alüminası tercih edilmiş olup içeriği Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Alkao alüminası içerik değerleri

Malzeme İçeriği	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
%	99,7	0,05	-	0,1	0,03

4.1.1 Oleik Asit

Yapılan benzer çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda dağıtıcı (dispersant) olarak en çok kullanılan ve en iyi sonucun elde edilmesine olanak sağlayan malzeme oleik asit olmuştur, bu sebeplerin yanı sıra alümina tozları üzerindeki etkisi ve sinterleme esnasında malzemedan ayrılmasından dolayı projede dağıtıcı olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.2 Oleik asitten istenilen özellikler [13]

Plastikleştirici ve bağlayıcıların homojen olarak dağılımı
Viskoziteyi düşürerek akışkanlıkta artış
Daha düşük çözücü gereksiniminin sağlanması
Maliyet düşürme (çözücü miktarının düşmesinden dolayı)
Daha hızlı kuruma (çözücü miktarının düşmesinden dolayı)
Büzülme ve çatlamada azalma (çözücü miktarının düşmesinden dolayı)
Çökelti oluşumunu engellemek

Çizelge 4.3 Oleik asit özellikleri

Kimyasal Formül: $C_{18}H_{34}O_2$	Kaynama Noktası: 360 °C
Molar Kütle: 282,47 g/mol	Suda Çözünürlük: -
Yoğunluk: 895 kg/m ³	Etanolde çözünürlük: +

4.1.2 Metil Etil Keton (MEK)

Metil Etil Keton, keton tipi aktif bir organik solventtir. Fenolik, alkid, vinil reçine içeren sistemlerde, selülozik sistemlerde; boya sökücülerde ve yapıştırıcılarda kullanılır. Ayrıca yiyecek ve içecek endüstrisi için profesyonel temizlik ve bakım ürünlerinde de kullanımı vardır. Solüsyonda kullanılacak plastikleştirici ve bağlayıcıyla uyumlu olması açısından Metil etil keton'un çözücü olarak kullanımına karar verilmiştir.

Çizelge 4.4 MEK özellikleri

Kimyasal formül: C_4H_8O	Serbest asit oranı: <0,002 %
Moleküler ağırlık: 72.11 g/mol	Su oranı: < 0,1 %
Yoğunluk: 0.805 g/cm ³	Suda çözünürlük: 27,5g/100mL
Safılık: %99	Kaynama noktası: 79,64°C

Etanol ilave malzemelerin çözünmesini kolaylaştırmak amacı ile etil alkol çözücü olarak MEK ile birlikte kullanılmıştır, özellikleri Çizelge 4.3 Oleik asit özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.5 Etanol özellikleri

Kimyasal formül: C ₂ H ₅ OH	Kaynama noktası: 78 °C
Moleküler ağırlık: 46,07 g/mol	Donma noktası: -112 °C
Yoğunluk: 0.79 g/cm ³	Fiziksel görünüş: Renksiz ve sıvı

4.1.3 Poli Vinil Bütiral (PVB)

Yapılan çalışmaların büyük bir bölümünde plastikleştirici olarak kullanılan malzeme PVB olarak gözlemlenmiştir. Döküm ve kurutma esnasında gerekli esnekliği ve tutunmayı malzemede sağlamak ayrıca çatlamadan malzemeyi şeritten ayırmak ve sinterlemek için tercih edilmiş termoplastik tipinde bir reçinedir.

Çizelge 4.6 Poli Vinil Bütiral Özellikleri

Yoğunluk 1.07g/cm ³	Su emme: az - 0,4%
Molekül ağırlığı: 30-45k	Yumuşama sıcaklığı: 60-65 °C
Kırılma indisi: 1.488 (20 °C)	Cam geçiş sıcaklığı: 66-84 °C

4.1.4 Dibutil Ftalat (DBP)

Dibutil ftalat genellikle plastikleştirici olarak kullanılan bir kimyasal maddedir. Ayrıca yapıştırıcılarda ya da matbaa mürekkeplerinde katkı maddesi olarak da kullanılır. DBP alkol, eter ve benzen gibi organik çözücülerde çözünebilir. Bu çalışmada DBP plastikleştirici olarak kullanılmıştır.

Çizelge 4.7 Dibutil Ftalat Özellikleri

Formül: C ₁₆ H ₂₂ O ₄	Kaynama noktası: 340 °C
Yoğunluk: 1,05 g/cm ³	İçinde çözüldüğü madde: Su, Alkol, Eter
Molar kütle: 278,34 g/mol	Saflik derecesi: %99

4.2 Döküm İçin Kullanılan Cihazlar

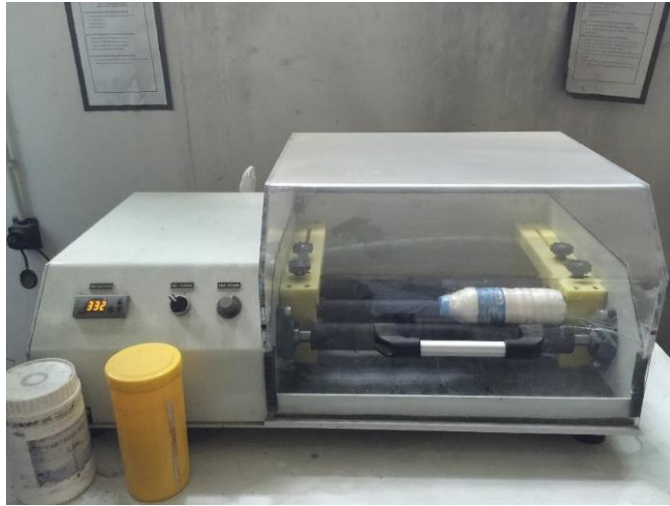
Çalışma esnasında ihtiyaç duyulan ve kullanılan cihazlar:

- Doctor blade şerit döküm makinası - Şekil 4.1 YTÜ - Metalürji ve malzeme bölümü seramik laboratuvar şerit döküm cihazı
- Bilyalı değirmen - Şekil 4.2 YTÜ - Metalürji ve malzeme bölümü üretim laboratuvarı bilyalı değirmen
- Zaman ayarlı sinter fırını - Şekil 4.3 YTÜ – Metalürji ve malzeme bölümü seramik Laboratuvar Sinterleme Fırını



Şekil 4.1 YTÜ - Metalürji ve malzeme bölümü seramik laboratuvar şerit döküm cihazı

Kullanılan şerit döküm cihazı 0,1-10 mm et kalınlığında numune üretim kabiliyetine sahip ve 12 farklı hız kademesiyle üretim yapabilmektedir. Tüm çalışmalarda en düşük hız kademesi kullanılmıştır.



Şekil 4.2 YTÜ - Metalürji ve malzeme bölümü üretim laboratuvarı bilyalı değirmen



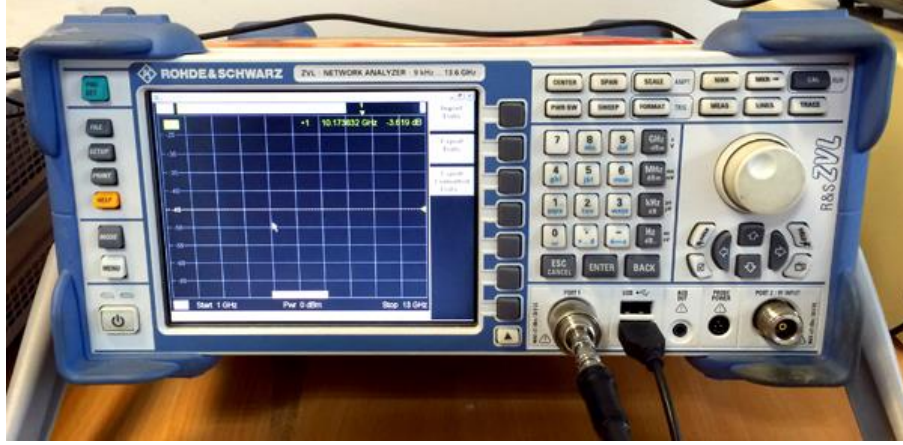
Şekil 4.3 YTÜ – Metalürji ve malzeme bölümü seramik Laboratuvar Sinterleme Fırını

1600°C sıcaklığa çıkabilen fırın kullanılarak Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te gösterilen kurutma ve sinterleme rejimleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4 YTÜ – Metalürji ve malzeme bölümü malzeme Laboratuvar Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı “Mitutoyo SJ400”

Şekil 4.4'te kullanılan yüzey pürüzlülüğü analiz cihazı 0.000125µm (500 nm) çözünürlüğe sahip olup tarama yaptığı her 1mm için 2000 veri toplayabilmektedir. Analizler sonu elde ettiğimiz bu veriler Şekil 6.8'de gösterilmiştir.

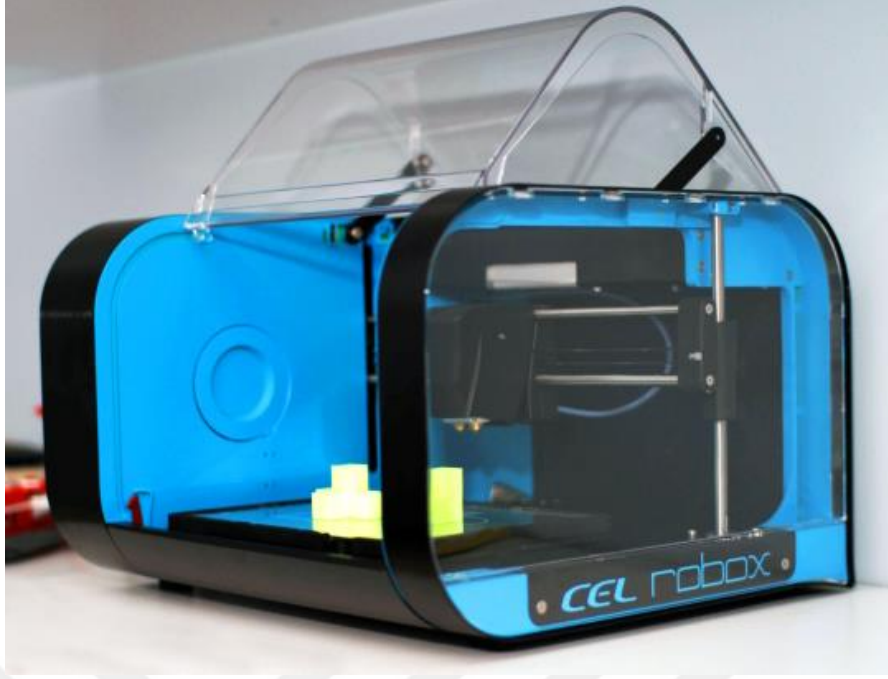


Şekil 4.5 Antenlerin sinyal kayıp ve kazançlarını ölçümlendiğimiz analiz cihazı “Rohde & Schwarz ZVL Vector Network Analyzer”

Network analizörün cihazında bulunan network kavramının bilinen bilgisayar ağları ile hiçbir ilgisi yoktur. Burada radyo frekanslı bir sistem network olarak tanımlanmaktadır. Bu bir filtre, amplifikatör veya pasif bir devre elamanı olabilir.

Network analizörün asıl işlevi test edilecek sistemin girişine değeri genliği ve fazı bilinen bir sinyal uygulamak ve sistemin çıkışındaki sinyale bakarak sistem yapısı hakkında bilgiler vermektir.

Temel olarak bir network analizör cihazı içinde bir sinyal üretici ve 2 adet alıcı bulunur. Üretilen sinyalin ne kadarının test edilen sistem üzerinde devam ettiği ne kadarının geri yansıdığı ve sistem çıkışında genlik ve faz olarak ne kadar bozulduğu ayrıca ne kadar gecikmeye uğradığı gibi birçok parametre test edilebilir. Vektör network analizörler sinyalin sadece genliğini değil fazına da bakarak sistem empedansı ve s parametreleri gibi birçok bilgi verirler, bunlar arasında devrelerdeki yansıma kaybı ve iletim performanslarına ek anten yapılarında özel ölçüm yöntemleri ile antene ait yakın ve uzak alan kazanç performansları da ölçülebilir.



Şekil 4.6 PLA baskı malzeme kullanan “CEL robox” 3D yazıcı

Şekil 4.6’da kullanılan 3D yazıcı PLA plastik filamentleri kullanarak 20 mikron katman çözünürlüğünde ve en çok 210 x 150 x 100mm ebatlarında baskı yapma kabiliyetine sahiptir. Bu cihaz ile 3D bilgisayar modeli yapılan reflectarray antenin maketi (Şekil 6.22) hazırlanmıştır.



Şekil 4.7 3D seramik baskı cihazı [30]

Delta tipi 3D seramik baskı cihazı 2000ml hacim kapasitesine sahip olup belli bir akışkanlıktaki seramik çamurunu katmanlar halinde istenilen tasarıma göre hazırlayabilmektedir.



DENEYLERİN YAPILIŞI

5.1 Homojen Solüsyon Elde Edilmesi

Değirmenden geçirilmiş ve topaklarından arınmış alümina tozu hassas tartı kullanılarak istenilen oranda kuru karıştırma kabının içine ilave edilmiştir. Gerekli viskoziteye ulaşmak için ilk olarak çözücüler (Etanol ve MEK) ilave edilir. İstedığımız homojen yapıyı elde etmek ve bağlayıcıların eşit dağılımını sağlamak için hemen ardından dağıtıcı (Oleik Asit) solüsyona ilave edilir ve 1 saat boyunca bilyalı değirmende karıştırılmaya bırakılmıştır.

Bu aşamadan sonra toz taneleri arasındaki mesafe ilave edilecek malzemelerin aralarına girebileceği seviyeye ulaştığından bağlayıcı (PVB) ve plastikleştirici (DBP) ilave edilmiştir. Plastikleştirici ve bağlayıcıların çözünmesi ve homojen dağılılabilmesi uzun süren bir prosestir ve en az 48 saat boyunca karıştırılmaya bırakılmalıdır, bu proseste verim artışı sağlamak için alümina bilyeler solüsyon kabı içine eklenip 200 RPM devir hızında 48 saat boyunca değirmene bırakılmıştır.



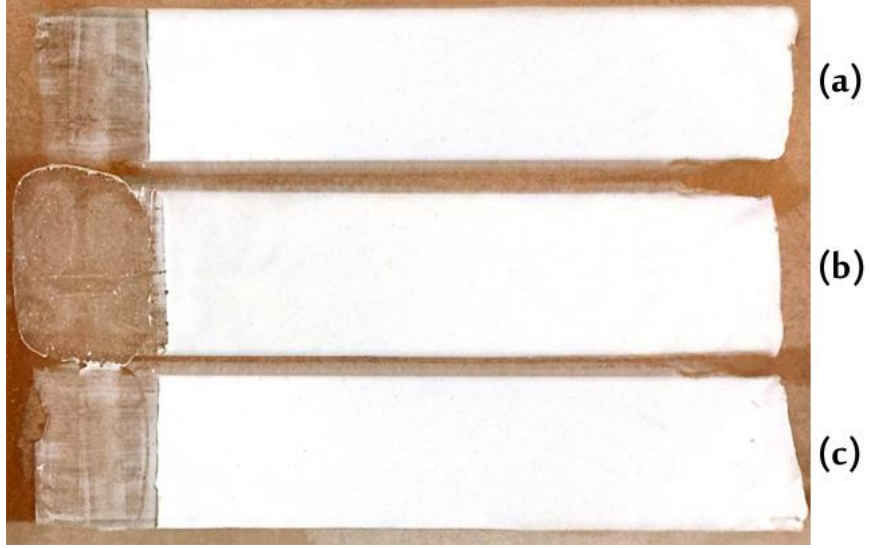
Şekil 5.1 Bilyalı değirmende karıştırılan solüsyon

5.2 Gaz Giderme

48 saatlik karıştırma sonucu elde edilen homojen dağılmış ve istenilen viskoziteye ulaşmış solüsyonun içinde baloncuklar şeklinde hava ve gaz faza geçmiş çözeltiler bulunmaktadır ve döküm esnasında malzeme yüzeyinde gözeneklere sebep olmaktadır, bu durumu önlemek amacıyla solüsyon gaz giderme prosesine tabi tutulmuştur. Gaz giderme işlemi için ultrasonik karıştırıcı kullanılmıştır.

5.3 Döküm ve Kurutma

Döküm işlemi Dr. Blade bıçağı kullanılarak 100, 500 ve 1000 mikron et kalınlıklarında yapılmıştır (Şekil 5.2) ve numune 1 hafta boyunca oda sıcaklığında ve kapalı bir ortamda kurumaya bırakılmıştır. Bu aşamada malzemenin döküm sırasında ağırlığı ile kurumadan sonraki ağırlık farkları incelenmiş ve ortalama %6'lık bir ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Oda sıcaklığında buharlaşma katsayıları göz önüne alındığında numuneden ayrılan malzemeler Etanol ve MEK olduğu düşünülmüştür, bu malzemelerin buharlaşma katsayıları sırasıyla 1,7 ve 3,8'dir (n-bütül asetat = 1 olarak kabul edilmiştir).



Şekil 5.2 Farklı kalınlıklarda dökülmüş numune örnekleri (a) 500 mikron (b) 100 mikron (c) 1000 mikron

Çözücülerin malzemedeki bulunma oranı göz önünde bulundurulduğunda solüsyondan çözücülerin ortalama %20 si ayrılmıştır, bu hacim kaybı çok yavaş bir hızla gerçekleştiğinden malzemede herhangi bir çatlak veya hasar meydana gelmemiştir. Oda sıcaklığındaki kurutma işleminin amacı sinterleme sırasında daha az kütle kaybının meydana gelmesini sağlamaktır.

Bu aşamanın sonunda malzemenin esneklik durumu Şekil 5.3 Sinterleme öncesi malzemenin esneklik durumu olduğu gibi olması beklenir.

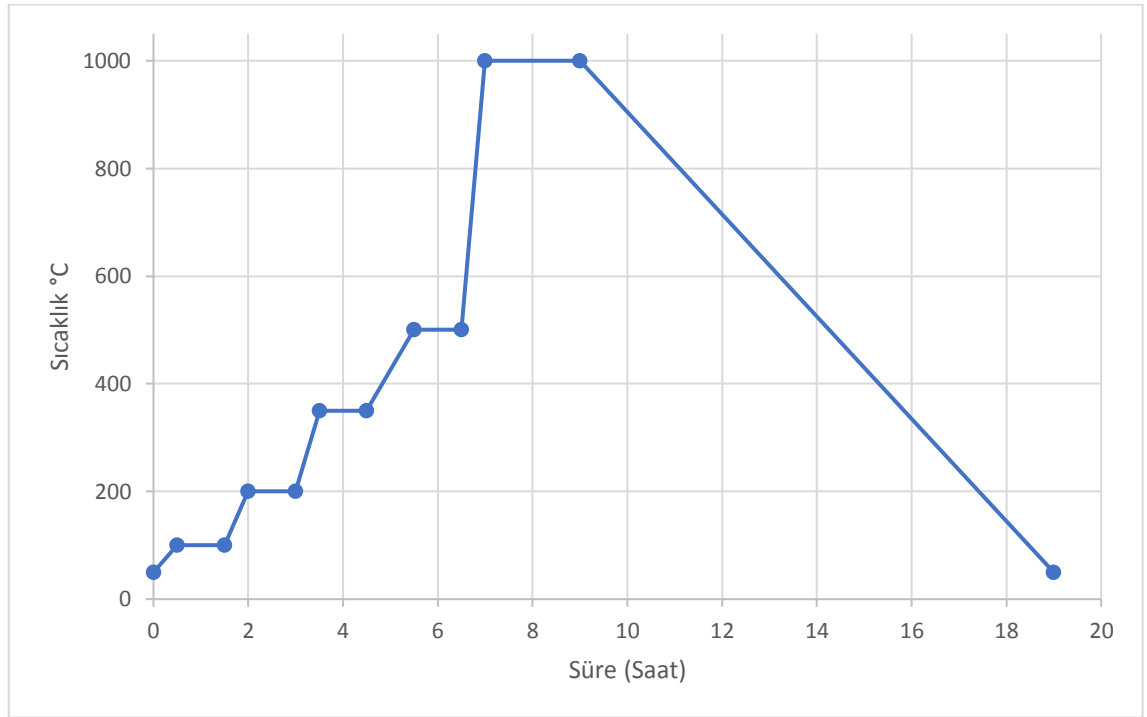


Şekil 5.3 Sinterleme öncesi malzemenin esneklik durumu

5.4 Döküm Şeridinden Ayırma, Kurutma ve Sinterleme

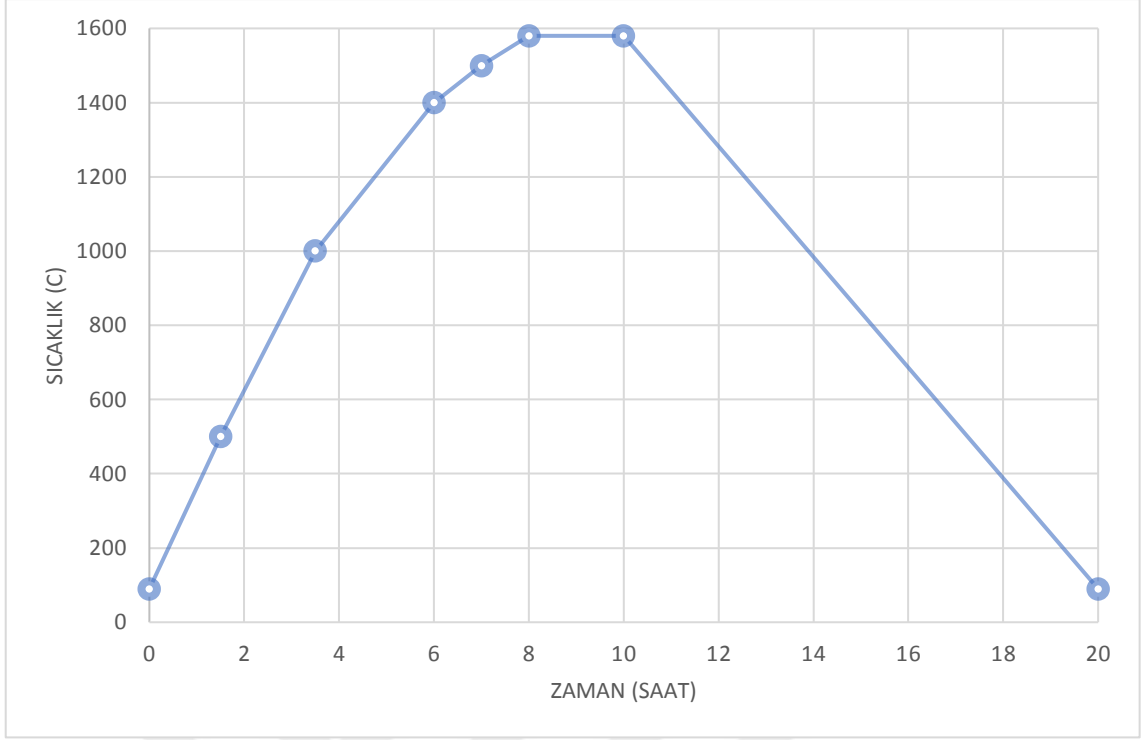
Dökülmüş numunenin, döküm şeridinden daha kolay ayırmak amacıyla cam üzeri yağlı kâğıt kaplanmıştır, oda sıcaklığında kurutmadan sonra ince bir spatula ile malzeme yağlı kâğıttan ayırıp, sinter fırınına gidecek refrakter malzemenin üzerinde konulmadan önce istenilen boyutlarda kesilmiştir.

Sinterleme prosesinden önce istenmeyen çatlak ve kırıkları önlemek amacıyla numuneler max 1000°C'de (~110°C/saat) 9 saat süre ile pişirilmiştir. Bu proses sırasında numuneye eklenmiş katkı maddeleri yavaş bir hızla numuneden ayrılması sağlanarak numune çatlaksız olarak üretilmiştir.



Şekil 5.4 Kurutma rejimi diyagramı

Son aşamada Şekil 5.5 grafiğine göre sinter rejimi uygulanmıştır. Sinterlenmiş ürün ağırlığı tekrar ölçüldüğünde ise %19,4'lük bir ağırlık kaybı tespit edilmiştir.



Şekil 5.5 Kullanılan sinterleme rejimi grafiği

5.5 Döküm Şeridinden Ayırma ve Sinterleme

Proje çalışmalarında elde edilen reçete formülleri ve akış diyagramı Çizelge 5.1 ve Şekil 5.6'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Deneyle oluşturulan reçeteler

Reçete No	Al ₂ O ₃ (gr)	PVB (gr)	DBP (gr)	ETANOL (gr)	MEK (gr)	OLEİK ASİT (gr)
No: 1	90	1,10	16,06	16,56	31,23	1,35
No: 2	60	1,10	10,7	11,04	20,81	1,08
No: 3	80	2,00	10,7	11,04	20,81	2,63
No: 4	60	2,40	10,70	11,04	20,81	1,62
No: 5	60	3,03	16,06	16,56	31,23	1,62
No: 6	60	1,40	10,70	11,04	14,7	2,16
No: 7	60	2,28	10,16	10,03	15,91	1,62



Şekil 5.6 Şerit döküm prosesi akım şeması

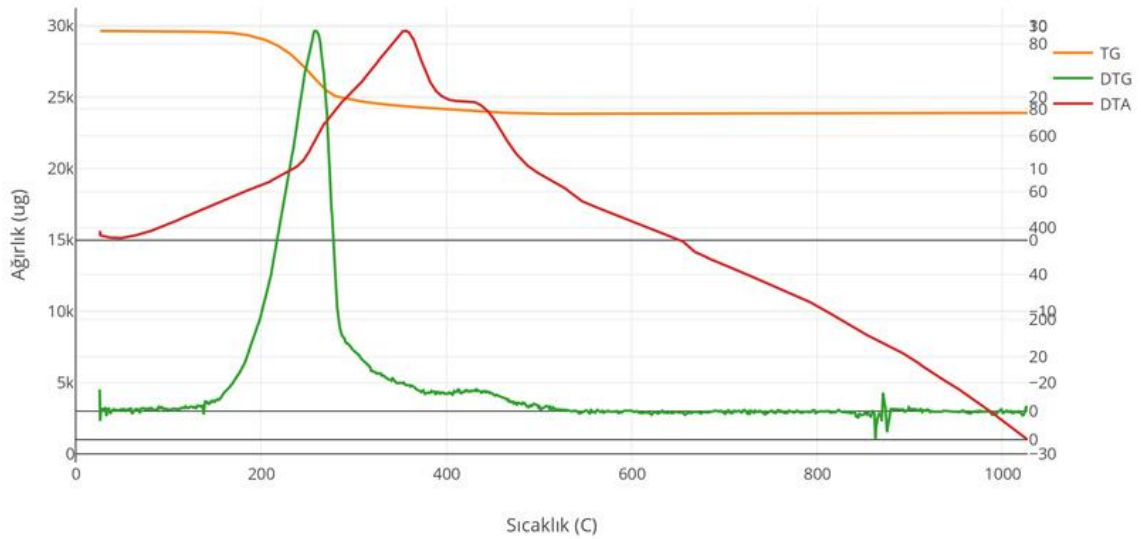
DENEY SONUÇLARIN İRDELENMESİ

6.1 TG-DTA Analizi

Numunede meydana gelen kütle kaybının ölçümü, termal dayanımı ve sinterleme esnasında hangi sıcaklıkta hangi kimyasal reaksiyonların gerçekleştiğini ve sinterleme sonrası saflık oranını tespit etmek amacıyla TG, DTA ve DTG analizleri yapılmıştır.

Analiz esnasında 100 dakika içinde 1015°C sıcaklığa ulaşılmış ve elde edilen grafik Şekil 6.1’de verilmiştir.

Solüsyona eklenen katkı maddelerinin kaynama ve ergime sıcaklıkları (Çizelge 6.1) göz önünde bulundurulduğunda, Şekil 6.1’de gösterilmiş olan TG-DTA grafiği ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.1 TG-DTA-DTG analiz grafiği

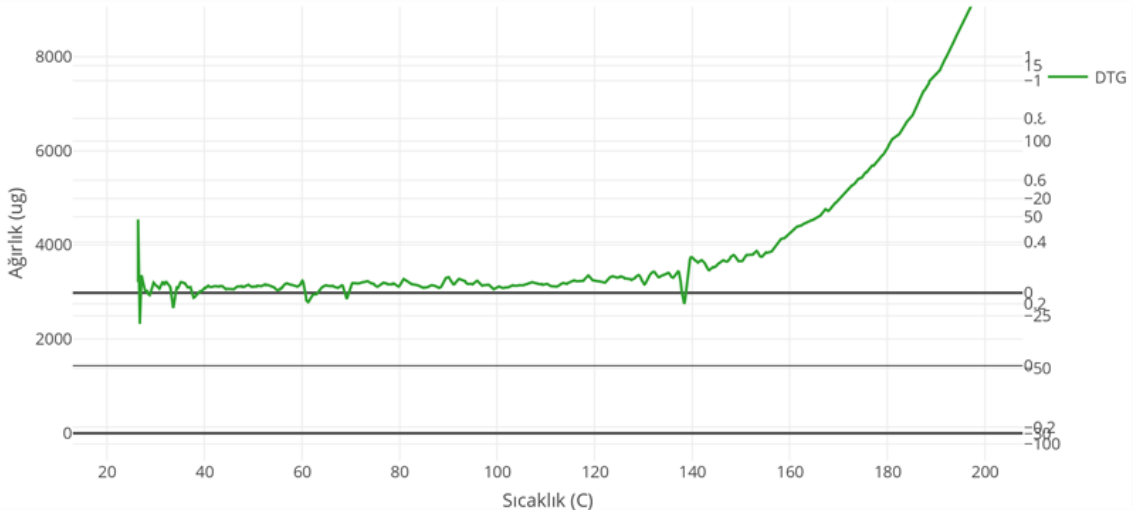
Çizelge 6.1 Solüsyonda bulunan malzemelerin kaynama ve yanma sıcaklıkları

	Etanol	MEK	Oleik Asit	DBP	PVB	Al ₂ O ₃
Kaynama °C (Endoterm)	78°C	80°C	195°C	340°C	110°C	2030°C
Yanma °C (Ekzoterm)	368°C	505°C	363°C	402°C	380°C	2977°C

TG (Thermo Gravimetric) analiz sonucuna bakıldığında 77°C'ye kadar sabit olan ağırlık değeri çok yavaş (0,01mg/dk) bir hızla düşmeye başlamaktadır, bu sıcaklık çözücü olarak kullandığımız MEK ve Etanol 'un kaynama noktalarına (78-80°C) denk gelmektedir. Dolayısıyla bu sıcaklıktan itibaren numunelerin içinde kalmış olan çözücüler ve az miktarda nem, gaz faza geçerek numuneden ayrılmaya başladığı Şekil 6.2'de görülmektedir.

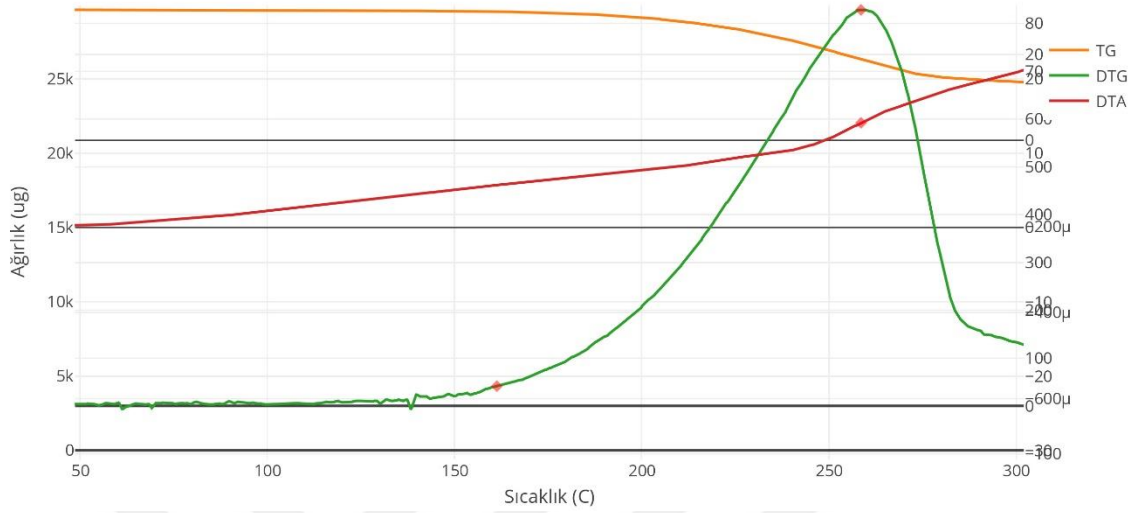
Bu sırada Şekil 6.2'de görüldüğü üzere DTG diyagramında 160°C'ye kadar düzensiz bir artış gözlemlenmekte, bunun sebebi aynı sırada hem endoterm hem ekzoterm reaksiyonların birbirlerine yakın değerlerde gerçekleşmesidir.

Sıcaklık artışı, oksidasyon ve yanma gibi ekzotermik reaksiyonlara sebep olur ve diyagramda değerlerin yükseldiği görünür, ancak aynı sırada endoterm bir reaksiyon olan buharlaşma (kaynama) da gerçekleştiğinden grafikteki aşağı doğru olan pikleri oluşturup, sonuç olarak düzensiz bir grafik ortaya çıkarmıştır.



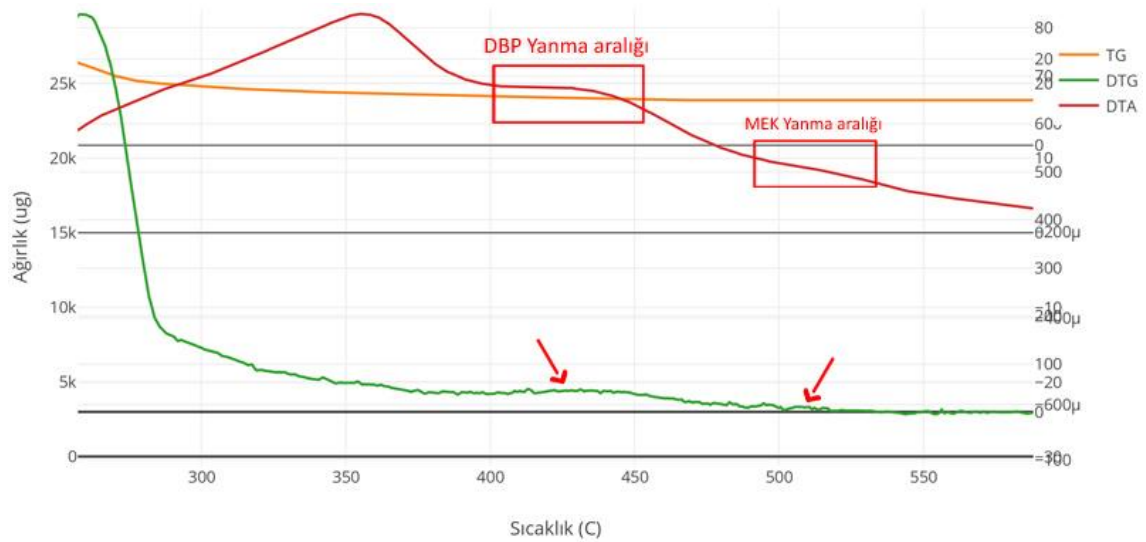
Şekil 6.2 DTG diyagramı 25-200°C aralığında bulunan düzensizlik

DTG grafiğindeki aşağı doğru olan endoterm reaksiyonlar TG grafiğindeki buharlaşmayı teyit etmektedir. Bu sıcaklık aralığı aynı zamanda PVB'nin ergime noktasını da kapsadığından ekzoterm piklerin bir kısmı da PVB'ye aittir diyebiliriz.



Şekil 6.3 TG-DTG-DTA diyagramı 25-300°C aralığı

DTG diyagramında 160°C'dan sonra sadece yükselme görülmesinin sebebi, TG diyagramından da anlaşılacağı üzere malzemelerin büyük bölümünün bu noktadan itibaren numuneyi terk etmeye başlamasıdır. DTG diyagramının en üst noktası olan 259°C sıcaklık malzemelerin çoğunun numuneden ayrıldığını göstermektedir. Bu aşamadan sonra buharlaşma oranı düşeceğinden DTA diyagramında endoterm reaksiyonların azaldığı ve yükselmelerin başladığı görülmüştür.



Şekil 6.4 TG-DTG-DTA yanma aralıkları

Çizelge 6.1 Solüsyonda bulunan malzemelerin kaynama ve yanma sıcaklıklarına bakıldığından yaklaşık 360°C sıcaklığından sonra Etanol, Oleik asit ve PVB'de yanma meydana gelecektir, DTA diyagramında 350-380°C arası oluşan ekzoterm pik bu durumu teyit etmektedir. İkinci bir ekzoterm pik ise 400°C'de başlamakta ve DBP yanma sıcaklığına denk gelmektedir, DTG diyagramından da malzemenin bu sıcaklıkta numuneyi terk ettiğini görülmektedir.

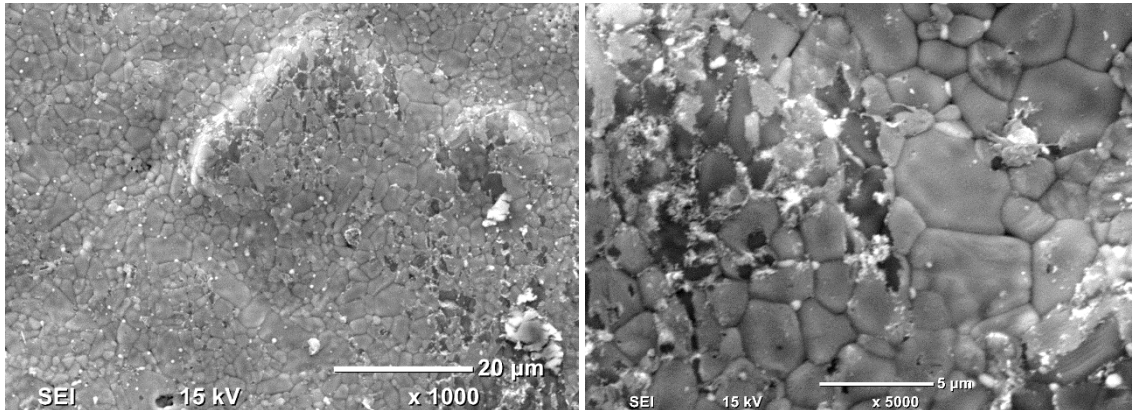
Son olarak 505-515°C arası yanma sıcaklığına sahip olan MEK DTG ve DTA diyagramlarında görülmektedir, bu aşamadan sonra numune içerisinde herhangi bir katkı malzemesi kalmamıştır, dolayısıyla kütle kaybı yaşanmaması beklenir ve TG-DTG diyagramlarında da bu aşamadan sonra herhangi bir kütle azalması tespit edilmemiştir.

Bu analiz sonuçları aşağıdaki bilgileri sağlamıştır:

- Numunede eklenen malzemeler dışında herhangi bir ek ürün bulunmamıştır
- Hangi sıcaklıkta ne oranda kütle kaybının yaşandığı bulunmuştur, bu değer olası çatlama durumunda sebebi bulmak için kullanılabilir
- Sinter rejimi bu değerlere göre planlanmıştır
- Sinterlenmiş numunede herhangi bir ek malzeme bulunmuştur

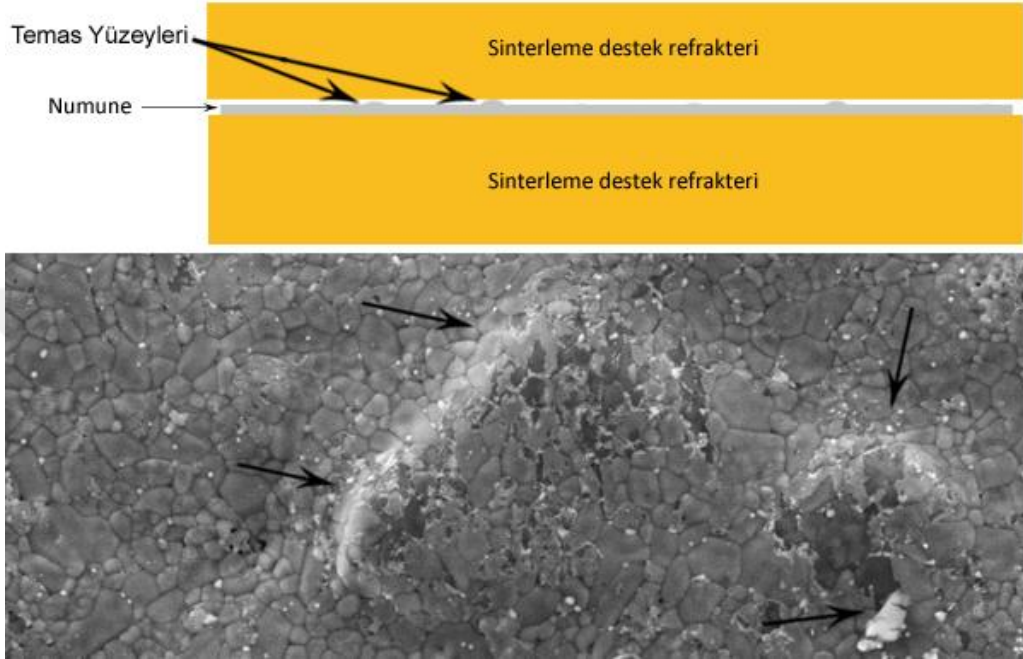
6.2 SEM Analizleri

Numunenin sinterlenmesi ve yüzey özelliklerini incelemek için SEM görüntüleri çekilmiştir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 1500 °C 'de 2 saat sinterlenmiş 7nolu numunenin SEM görüntüleri

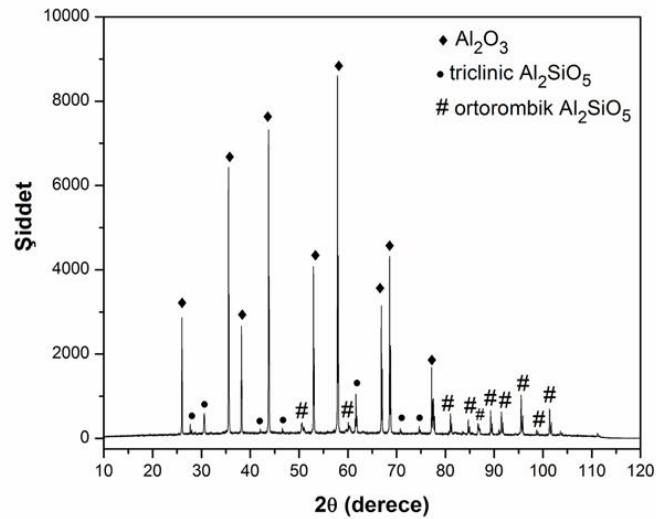
Görüntüler incelendiğinde, taneler arasında sinterlenme işleminin gerçekleştiği görülmüştür. Numune yüzeyinde Şekil 6.6'da görülen düzensizlik ve renk farklılıklarının, numunenin sinterleme sırasında numunenin sinterleme sırasında eğilmemesi için altı ve üstüne konulan destek refrakterler ile etkileşime girmesi nedeni ile oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 6.6 Yüzey pürüzlülüklerinde meydana gelen soyulmanın düşünülen sebebi

6.3 XRD Analizi

Numune üzerinde yapılan incelemeye göre 'deki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6.7 XRD analiz sonuçları grafiği

Anten olarak görev yapacak olan malzemede dielektrik değerleri ölçülmüş olan alümina dışında başka bir katkı maddesi bulunduğu takdirde, dielektrik değeri ve sonucunda da verimliliği kötü yönde etkileyecektir.

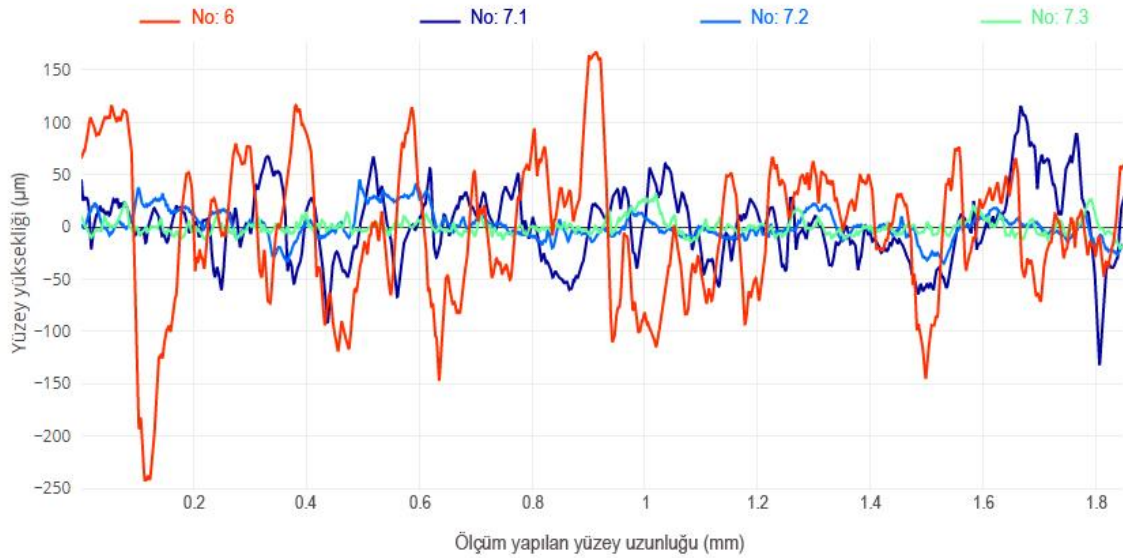
Elde edilen XRD sonuçlarına göre numunede bünyesinde sinterlenme sonrası herhangi bir katkı maddesi kalmamıştır, grafikte görülen Al_2SiO_5 fazının sinterleme sırasında destek refrakterler ile etkileşimi sonucu meydana geldiği düşünölmüştür.

6.4 Yüzey Pürüzlölüğü Analizi

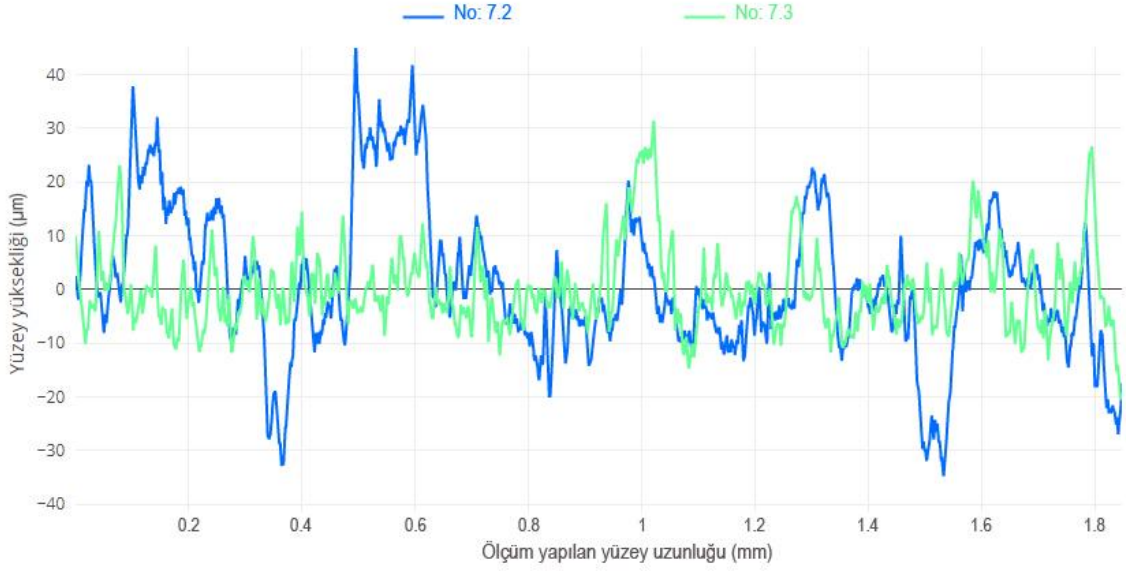
Malzemenin yüzey kalitesi kullanılacağı elektronik ortamdaki istenilen yansıtma özelliği sebebi ile büyük önem taşımaktadır, numunenin yüzeyine gelen tüm sinyallerin istenilen yönde yansımaları ve saçılma oranının minimum düzeye inmesi için yüzey pürüzlölüklerinin de minimum düzeyde olması gereklidir.

Çalışmalarda elde edilen No:1 – No:5 arası reçetelerle (Çizelge 5.1) üretilen numuneler istenilen özelliklere sahip olmadıklarından analizleri yapılmamıştır, reçete olarak No: 6 ve No:7 analizleri yapılmıştır.

No: 7 reçetenin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi için reçete değerlerini değiştirmeden proste değişiklikler yaparak 3 farklı numune üretilmiş olup analizleri Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.8 Yüzey pürüzlölüğü test sonuç diyagramı



Şekil 6.9 No: 7.2 ve No: 7.3 diyagramlarının yakından incelenmiş diyagramı

Çizelge 6.2 Yüzey pürüzlülüğü analizi sonucu elde edilen ortalama pürüzlülük değerleri

Numune No.	Ortalama Ra
No: 6	5.70µm
No: 7.1	2.80µm
No: 7.2	0.64µm
No: 7.3	0.52µm

6 numaralı reçete ve 7nolu reçetenin ilk numunesi aynı koşullarda ve akım şemasına göre üretilmişlerdir.

7.2 numaralı numunede yüzey özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan alümina tozu aglomerasyonların önlenmesi amacıyla 3 defa elekten geçirilmiştir. Ayrıca dökülen numune et kalınlığı 1000 mikrondan 500 mikrona indirilmiştir, kurutma işlemi yapılmış numunelerin sinterleme sırasında bükülmeyi engellemek amacıyla hafif bir refrakter malzeme numunenin üzerine konulmuştur (Şekil 7.5). Sinterleme sonunda numuneler deforme olmamış ve çatlaksız numune elde edilmiştir. Ancak yapılan yüzey pürüzlülüğü incelemesinde yüzey pürüzlülüğü 0.64µm Olarak bulunmuştur, bu değer yüzeyine konulan destek refrakterin yüzey özelliklerinden etkilendiği düşünülmüştür.

7.3 numaralı numunede refrakter malzemenin numune yüzeyi ile teması sonucu yüzey pürüzlülüğün artmış olabileceği düşüncesi ile refrakter malzeme sadece numune

kenarlarına ağırlık yapacak şekilde yerleştirilmiştir ve sinterleme sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerinin $0.52\mu\text{m}$ Mikron olduğu saptanmıştır (Şekil 6.9).

Elde edilen diyagramlara göre en düşük yüzey pürüzlülüğü oranı 7nolu reçetenin 3nolu denemesinde elde edilmiştir.

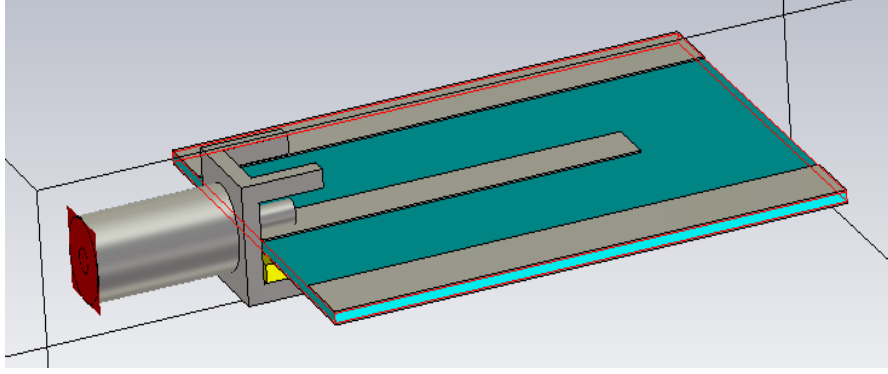
6.5 Dielektrik Katsayı Ölçümü

Dielektrik katsayı ölçümü için $25\text{mm} \times 31\text{mm}$ ebatlarında yeni bir numune üretilmiştir ve üzerine 3mm kalınlığa ve 23mm uzunluğa sahip bakır bant ile mikroşerit iletim hat parça prototipi oluşturulmuştur.

Daha sonra Anritsu Network Analizör cihazı kullanılarak üretilen anten modelinin kazanç ve saçılma (S parametreleri) ölçümü yapılmıştır. Hazırlanan prototip anten yapısının ölçümlerinden sonra, Şekil 6.10'de verilen anten yapısı CST Microwave Studio ortamında modellenmiş olup benzetim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Test edilmiş performans ölçüleri Şekil 6.12'de verilmiştir. Bu aşamadan sonra üretim modeli 3D simülasyon modeline aktarılmıştır.

Üretilen altlık yapısının dielektrik katsayı bilgisini elde etmek için CST ortamında tasarlanan yapıdaki bütün parametreler üretilen prototip ile aynı seçilmiştir dolayısı ile 2 yapı arasında oluşacak olan tek fark bilinmeyen dielektrik katsayısı olacaktır.

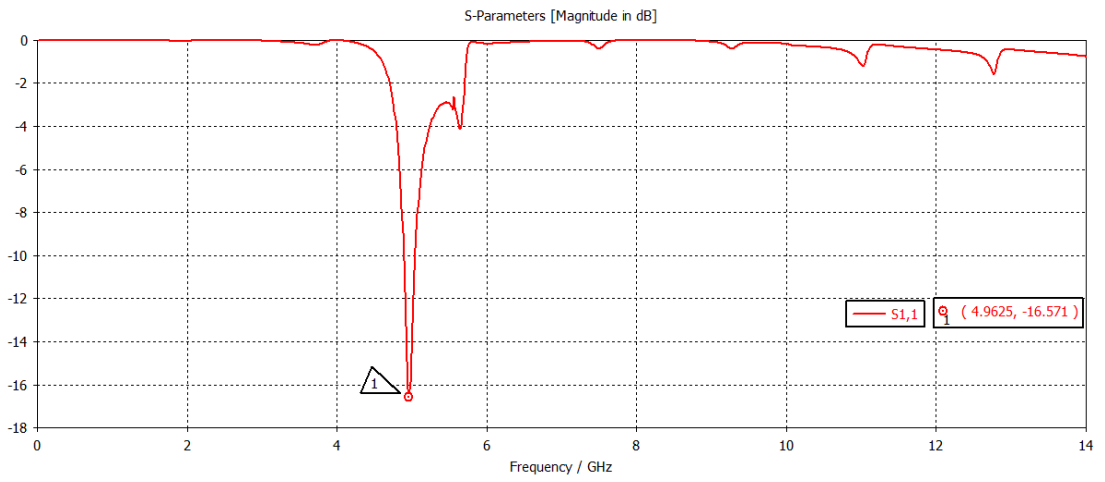
CST ortamında hazırlanan yapının dielektrik katsayısı $1-20$ değerleri arasında $0,1$ 'lık adım aralıkları ile taranarak, elde edilen saçılma ve kazanç performansların üretilen modele hangi dielektrik katsayı değerinde yakınsadığını inceleyerek bilinmeyen dielektrik katsayısı elde edilmiştir. Yapılan benzetim ve ölçüm sonuçlarının kıyaslanması ile üretilen altlık malzemesine ait dielektrik katsayı değerinin $10,3$ olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.10 Mikroşerit iletim hat parçasının 3D CST Microwave Studio'da çizimi



Şekil 6.11 Şerit döküm numunesinden üretilen prototip



(a)



(b)

Şekil 6.12 Üretilen mikroşerit yama antene ait (a) simülasyon ve (b) ölçümü yapılmış, saçılma parametreleri.

6.6 Örnek Bir Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı

Yansıtıcı anten tasarımlarının en büyük dezavantajlarından biri yapıların dalga boyuna göre büyük olması ve birçok fazla değişkenden oluşuyor olmasından kaynaklı bu yapıların 3D elektromanyetik simülatör ortamlarındaki tasarım süreçlerinin son derece uzun olmasıdır.

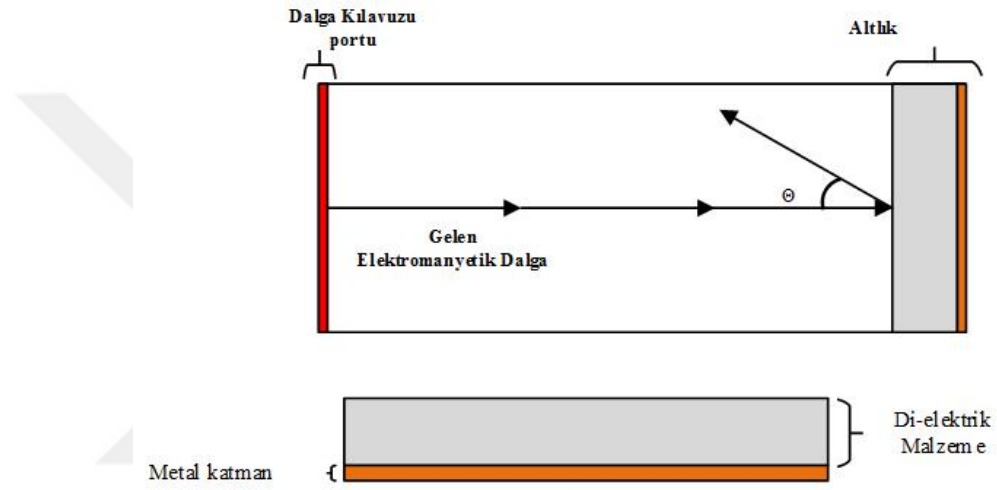
Bu problemin giderilmesi için önerilen tekniklerden biri [31], yansıtıcı dizi antene ait seçilen geometrik şeklin birim hücrelere ayrılması ve her hücrenin ayrı ayrı performanslarının irdelenerek, daha sonradan her bir birimden gelen performansın toplanması ve yapının o şekilde incelenmesi. Bu sayede bu teknik ile 3D Simulator ortamında günlerce süre alabilecek bir yansıtıcı dizi anten tasarım optimizasyonu problemi bu yaklaşım ile dakikalar içerisinde çok düşük hata payları ile tasarlanabilmektedir.

Bu işlemin gerçekleştirilmesi için öncelik ile seçilen operasyon domaininde uygun bir birim hücre yapısının seçimi gerekmektedir. Tezin bu bölümünde üretilen dielektrik katsayısı 10,3 olarak ölçülen dielektrik altlık malzemesi ile bir yansıtıcı dizi anten tasarımının gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu maça yönelik öncelik ile CST

ortamında önerilen yansıtıcı dizi antene ait birim hücre elemanının modellenmesi yapılmıştır.

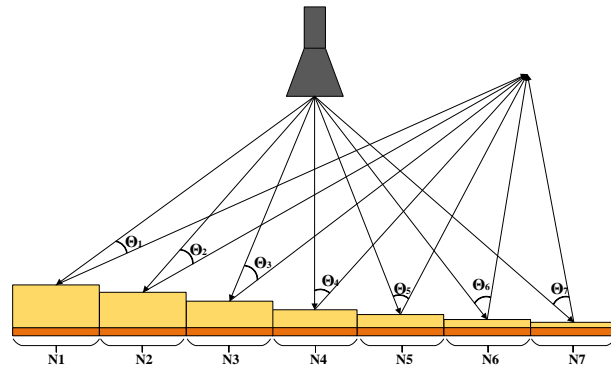
Modellenmesi yapılan birim hücre elemanının farklı yüksekliklerde yüzeyine gelen elektromanyetik alanı farklı açılar ile yansımaları sağladığı için bu özelliğini kullanarak bir yansıtıcı dizi anten tasarımı gerçekleştirmeyi hedeflemekteyiz.

Şekil 6.13 önerilen seramik tabanlı altlık birim hücrelerine ait görseller verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi birim hücrenin dielektrik katsayısına ve yüksekliğine bağlı olarak birim hücrenin yüzeyine gelen elektromanyetik alanlar belirli bir açı ile yansımaktadır.



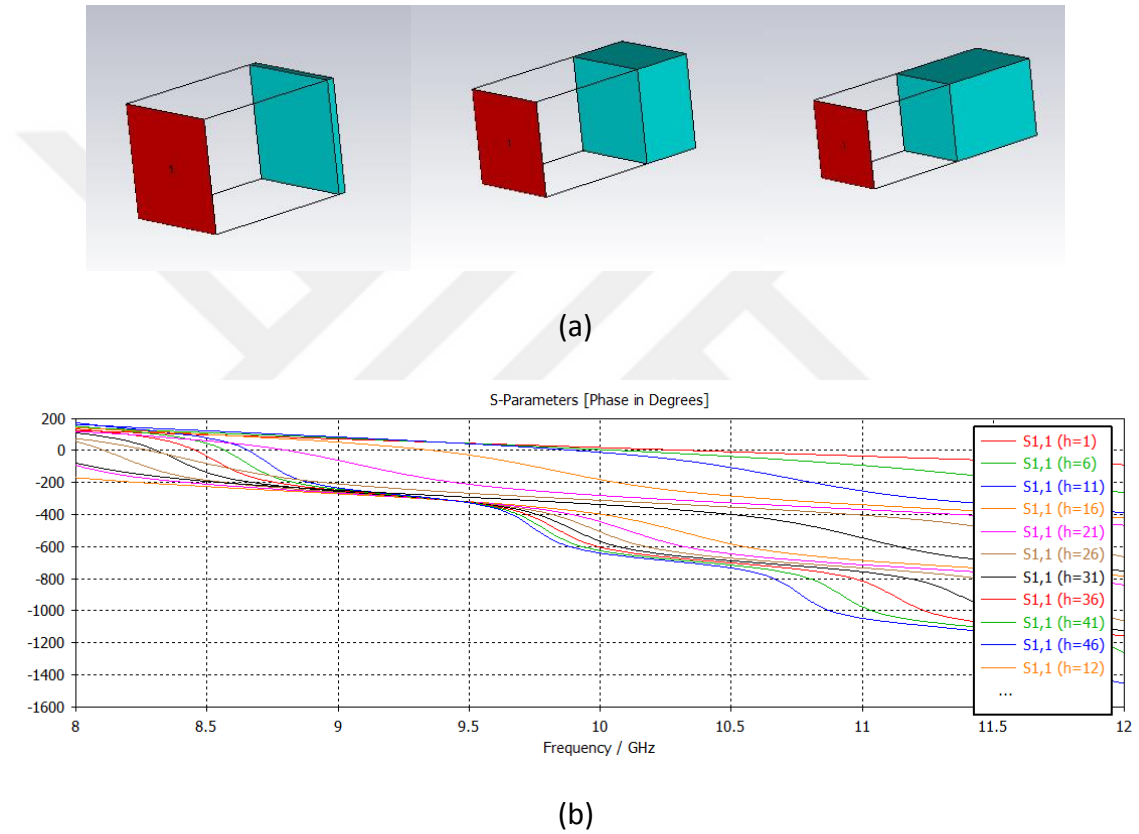
Şekil 6.13 Üniform olmayan dielektrik katmanlı Yansıtıcı Dizi anten birim hücrelerine ait simülasyon düzeni

Şekil 6.14'da Görüldüğü gibi farklı yüksekliklerdeki birim hücrelerin farklı yansımaları uygun seçildiğinde her bir yüzeye gelen elektromanyetik sinyal, uzak alandaki belli bir noktada odaklanarak yüksek kazançta sahip bir yansıtıcı anten performansı sergileyebilecektir.



Şekil 6.14 Üniform olmayan dielektrik katmanlı yansıtıcı dizi anten yansıtma şeması

Daha önceden de belirtildiği üzere, bu tarz birim hücre tabanlı tasarımlarda oluşacak olan en büyük problem uzun ve zorlayıcı simülasyon süreçleridir. Burada birim hücrenin yapay sinir ağları ile bir kara kutu modelinin oluşturulması ile yapının alacağı her bir yükseklik derecesine bağlı olacak şekilde nasıl bir yansıma sağlayacağını tahminini gerçekleştirecek numerik bir model hazırlanmıştır. Örneğin Şekil 6.15’de verilen yansıma açıları her biri farklı bir yükseklikteki elemana gelen yansıyan $S_{1,1}$ (birim hücre tek kapılı bir devre gibi davrandığı için sadece birinci kapıdan birinci kapıya oluşan yansıma incelenir) aşağıdaki gibi çıkmaktadır.

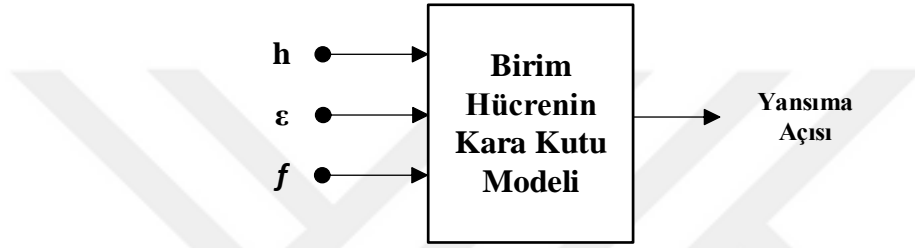


Şekil 6.15 Üniform olmayan dielektrik katmanlı Yansıtıcı Dizi anten birim hücresinin (a) değişken yüksekliklerdeki 3D görünümü, (b) değişken yüksekliklerdeki benzetimi yapılmış saçılma parametresine ait yansıma açısı değeri

Birçok farklı değer için CST ortamında yapının dielektrik katsayısı 10,3 alınarak değişken yüksekliklerde bir eğitim veri seti oluşturularak bu yükseklik değişimine denk gelecek yansıma açısının tahmini için bir kara kutu modeli aşağıdaki eğitim ve test verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Yapay sinir ağ modeli ise çok katmanlı algılayıcı ağı (Multi Layer Perceptron) ile hazırlanmıştır.

Çizelge 6.3 YSA modelinin eğitimi için hazırlanan veriler

Parametre	Örnek aralığı	Örnek adımı
Dielektrik katsayısı	10,3	
Malzeme yüksekliği (mm)	0,3-3	0,01
Frekans (GHz)	8-12	0,5
Toplam örnek sayısı	540	



Şekil 6.16 Çok katmanlı algılayıcı tabanlı yansıtıcı dizin antene ait kara kutu modeli

Hedeflenen yansıtıcı dizi anten tasarım optimizasyonu kolaylık sağlaması açısından 10X10 adet birim hücrenin yan yana yerleştirilerek yansıtıcı dizi anten yapısını dörtte bir parçasını oluşturmasını ve bu parçaların simetrik ve ters simetrikleri oluşturularak bir yansıtıcı dizi anten tasarımı hedeflenmiştir.

Burada MATLAB ortamındaki genel optimizasyon algoritmalarını kullanarak aşağıdaki denklemlerden elde edilen istenilen faz kaydırma değerini verecek olan gerekli yansıtma açısını verecek dielektrik altlık yüksekliği elde edilecektir.

$$d_i = [\sqrt{[(i).x]^2 + [(j).y]^2}].10^{-3}$$

$$l = \sqrt{f^2 + d^2}$$

$$f = DH$$

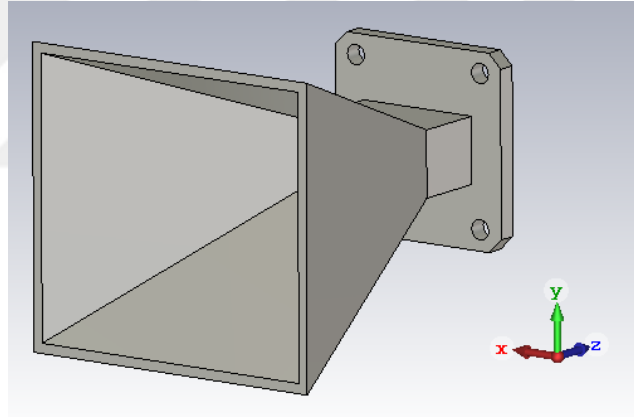
$$\phi_r = \frac{2\pi}{\lambda} (l - f)$$

Denklemlerdeki değişkenlerin açıklaması aşağıda belirtilmiştir:

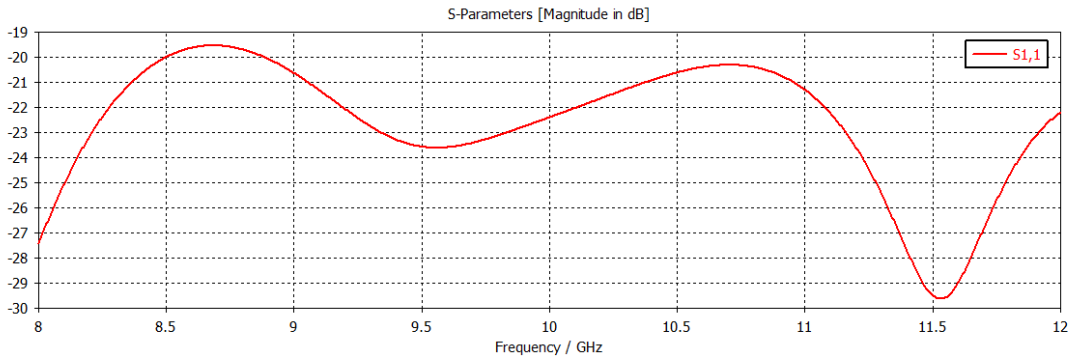
- “i”, x eksenine ait koordinat
- “x”, birim hücrenin uzunluğu
- “j”, y eksenine ait koordinat
- “y”, birim hücrenin genişliği

- “f”, odak uzaklığı
- “D”, YSA yapısının en uzun kenar uzunluğu
- “h”, odağın en geniş uzunluğa oranı
- “l”, beslemeden olan yol uzunluğu
- “d”, düzlemdeki ref. noktadan uzaklık
- “ ϕ_r ”, gerekli faz kayması
- “ λ ”, çalışma frekansındaki dalga boyu

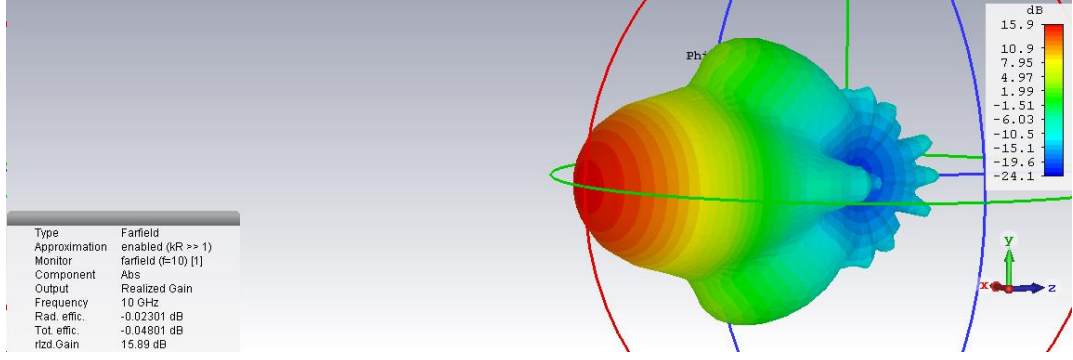
Önceden de belirtildiği gibi yansıtıcı dizi antenler genellikle ile elektromanyetik alan propogasyon yayılımın yüksek yönlendiriciliği olan anten yapıları ile birlikte kullanılmaktadırlar. Bu antenlere örnek olarak korna antenler verilebilir. Şekil 6.17’de örnek bir Horn anten modeli gösterilmiştir. Anten CST ortamında tasarlanmış olup performans benzetim sonuçları şekil 8.12 de verilmiştir. Tasarlanan bu anten X band uygulamalarına yönelik hazırlanmış olup tasarlanacak olan yansıtıcı dizi antenin besleme elemanı olarak kullanılacaktır.



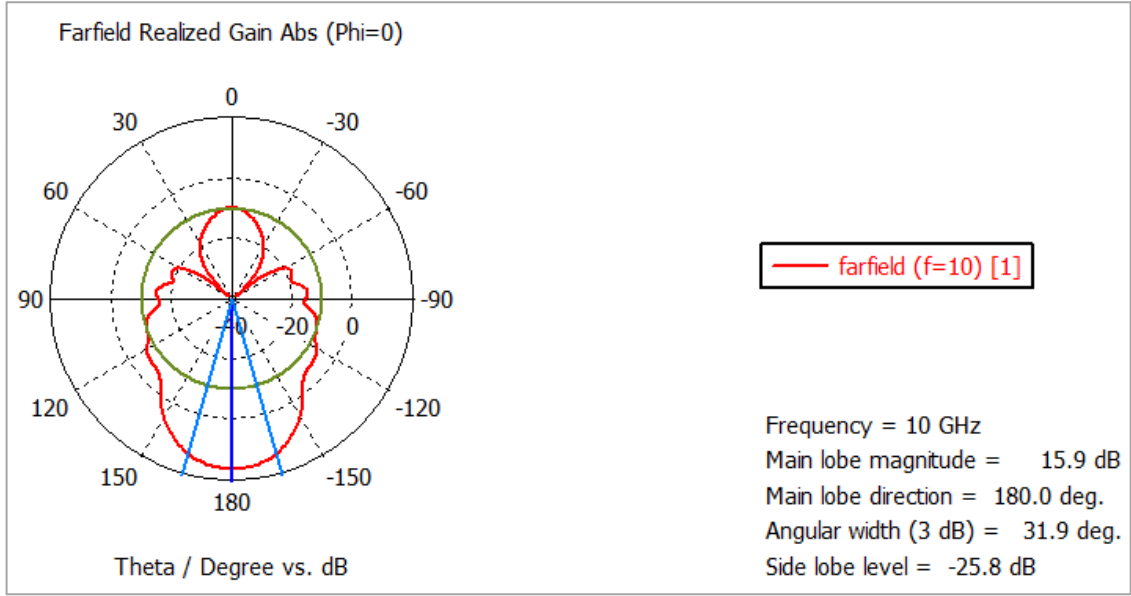
Şekil 6.17 Örnek bir korna anten yapısı



(a)



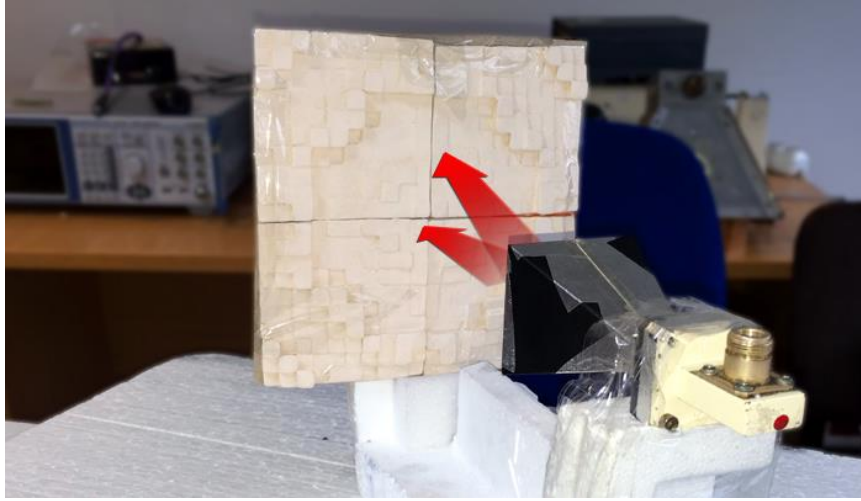
(b)



(c)

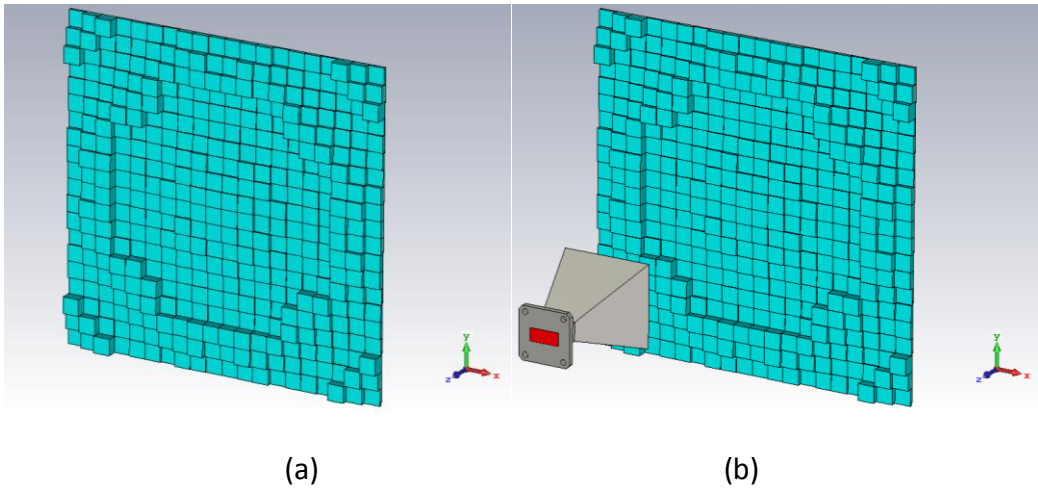
Şekil 6.18 örnek Bir korna antene ait benzetimi yapılmış olan(a) Geri donuş kaybı, (b) 3D uzak alan ışımada paterni, (c) Polar düzlemde uzak alan kazanç değeri

Korna anten tasarımı optimizasyonu sonucunda oluşturulan seramik tabanlı yansıtıcı dizi anten önüne besleme anteni olarak konulmuştur. Oluşturulan yansıtıcı dizi anten yapısı Şekil 6.19 verildiği gibidir. Korna antenin 10 GHz bandında sahip olduğu kazanç değeri yaklaşık olarak 16 dB seviyelerindedir. Yansıtıcı dizi antene ait uzak alan kazanç değeri ise yaklaşık olarak 21,5 dB seviyelerindedir.

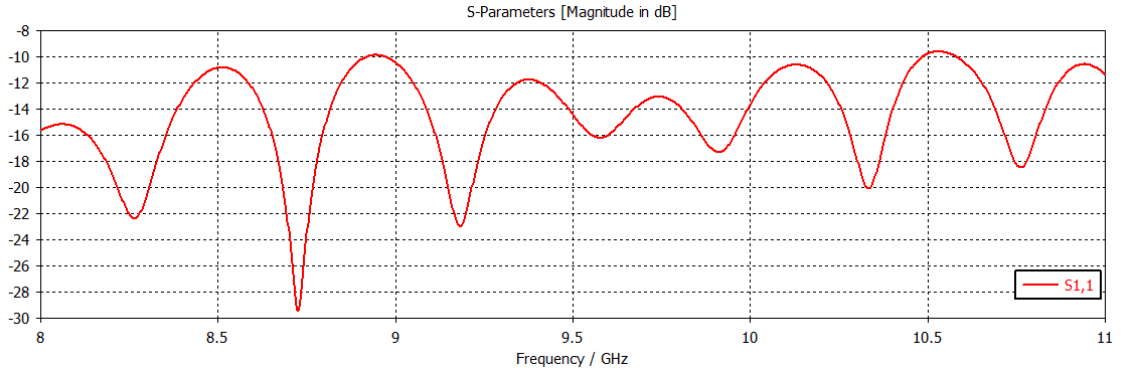


Şekil 6.19 Seramik malzeme ile hazırlanan yansıtıcı dizi anten modeli

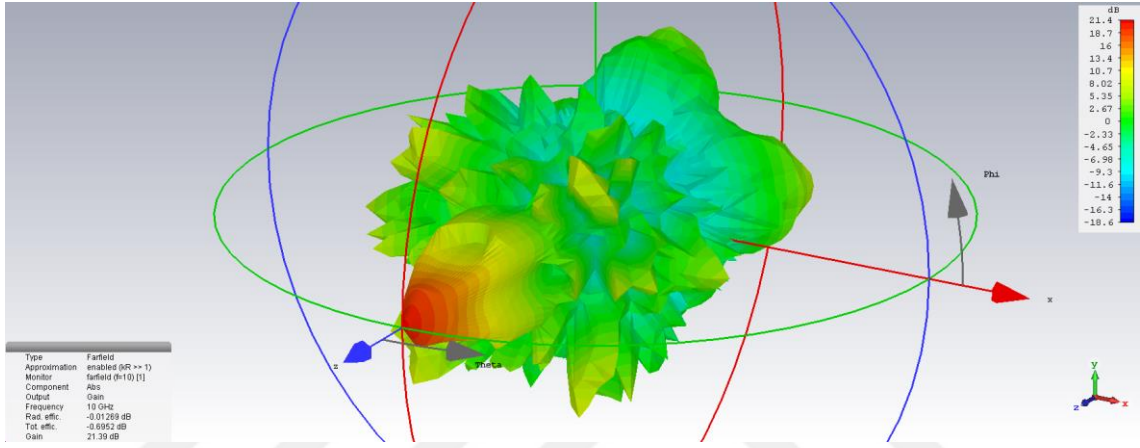
Horn antenden ışılan elektromanyetik dalgaların yansıtıcı dizi antene çarpması ve geri yansımından uzak alanda oluşan odaklanmış elektromanyetik alan ise korna antenin uzak alanda ışıma karakteristiğine göre yaklaşık 6 dB fark göstermektedir. Her 3 dB'lik farkın iki kat büyüklüğe denk geldiği düşünülecek olursa oluşturulan yansıtıcı dizi anten besleme den gelen sinyalleri 4 kat daha fazla kazanç ile uzaya ışıya bildiğini göstermektedir.



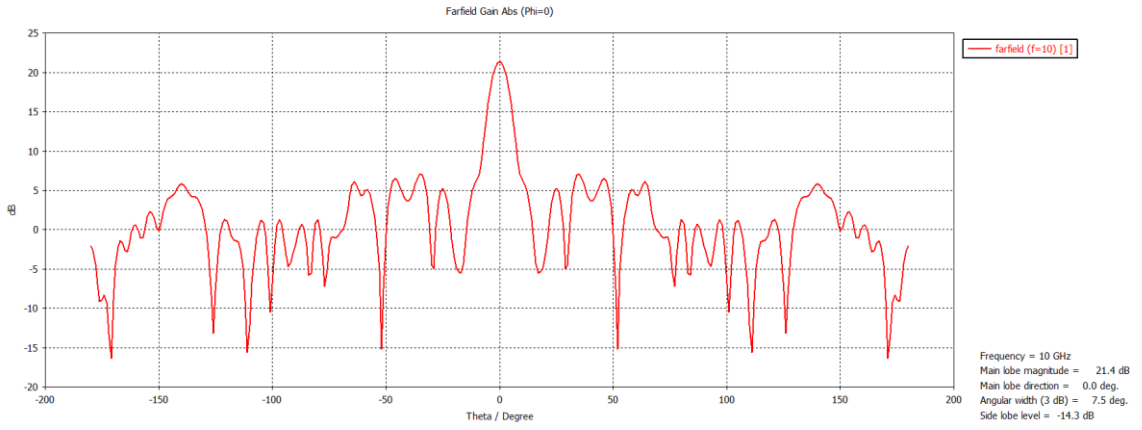
Şekil 6.20 örnek Bir korna anten beslemeli yansıtıcı dizi antene ait 3B görsel (a) besleme anten varken, (b) besleme anten yokken



(a)



(b)

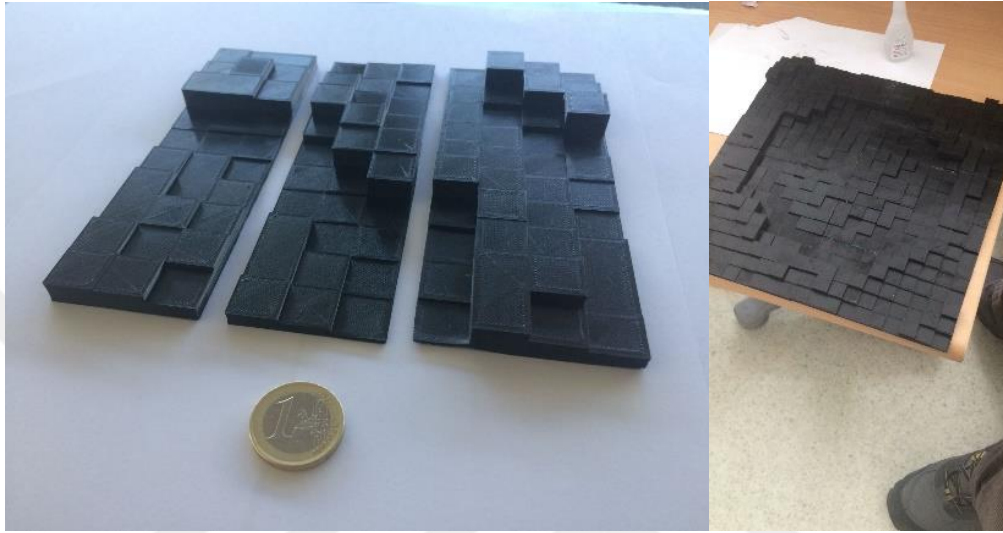


(c)

Şekil 6.21 Horn anten beslemeli yansıtıcı dizi antene ait benzetimi yapılmış olan (a) Geri dönüş kaybı, (b) 3B uzak alan ışınım paterni, (c) polar düzlemde uzak alan kazanç değeri

6.7 3D Yazıcı Yardımıyla Plastik Reflectarray Anteni Maketi Üretimi

İlk çalışmalarda tasarımı yapılacak olan yansıtıcı dizi antenin teorik performansını ölçümlemek amacıyla antenin maketi 3D yazıcı tarafından üretilmiştir. Şekil 6.10'de 3D yazıcı ile üretilen yansıtıcı dizi antenlere ait görseller verilmiştir. Bu yapılar kullanılarak yansıtıcı dizi antene ait ölçüm sonuçlarının hesaplanması hedeflenmiştir.



Şekil 6.22 - 3D yazıcı teknolojisi ile üretilen yansıtıcı dizi anten maketi

6.8 3D Yazıcı Yardımıyla Seramik Esaslı Reflectarray Anten Üretimi

Plastik maket üretimi sonrasında elde edilen kazanç sonuçlarının istenilen oranlarda olduğundan, seramik dielektrik malzeme (seramik) ile gerçekleştirebilmek amacıyla 3D seramik yazıcı kullanılarak üretilmiştir (Şekil 6.23).

Üretim sırasında kullanılan seramik 3D yazıcıya uyum sağlaması amacıyla GOERG & SCHNEIDER firmasından temin edilmiştir.



Şekil 6.23 - 3D seramik yazıcı ile üretilen reflectarray anten (koyu renkli parça henüz kurumamıştır)

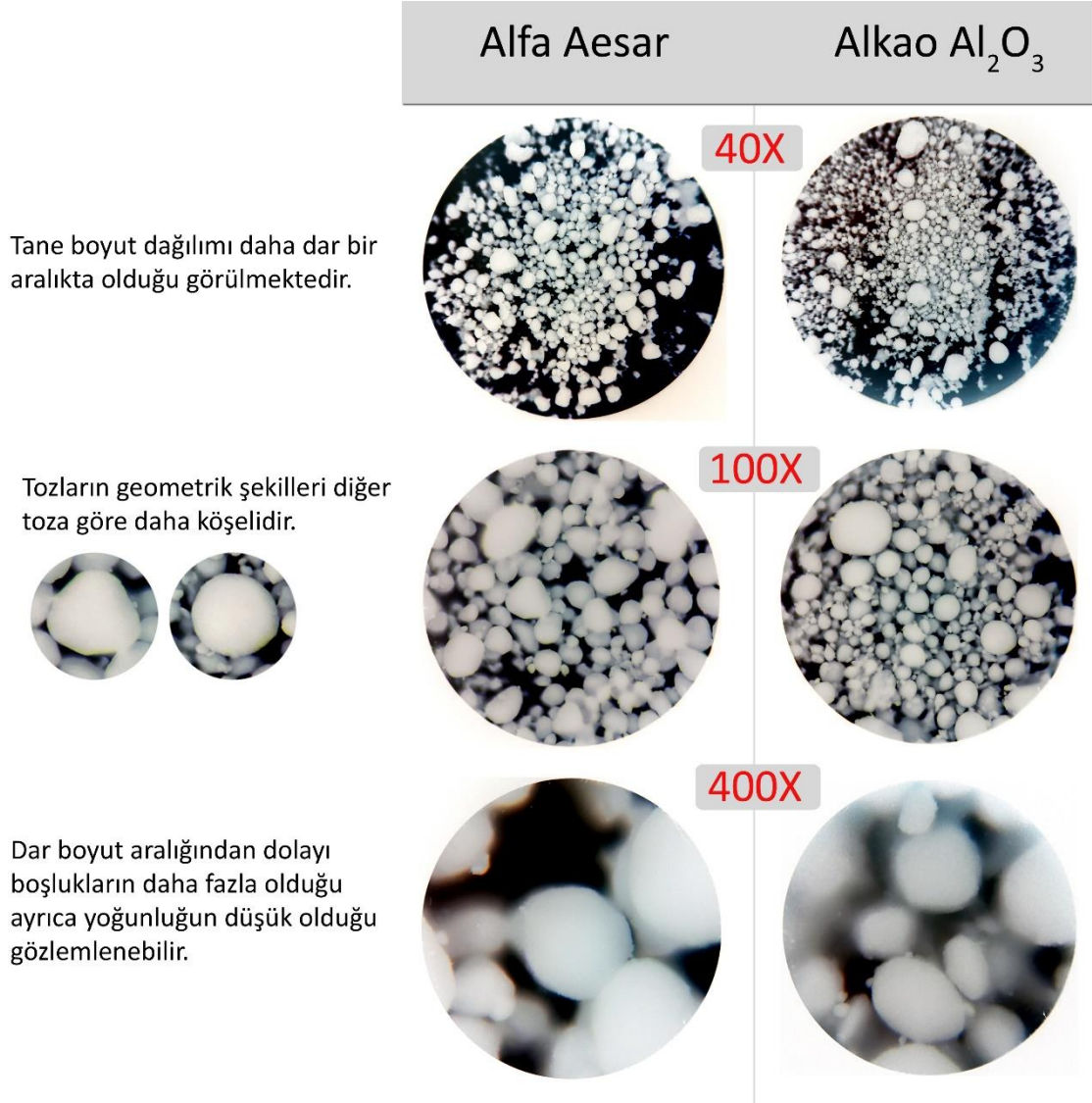
3D yazıcı ile oluşturulan numunelerde farklı malzeme kullanıldığından uygulanan sinter rejimi farklılık göstermiştir. Şekil 6.21’de gösterilmiş olan her parça baskıdan sonra 5 gün boyunca oda sıcaklığında kurutulmaya bırakıldı, oda sıcaklığında kurutma sonrası numuneler önce 980°C sıcaklıkta 8 saat boyunca fırında pişirilmiş ve bu aşamadan sonra 1240°C’de sinterlenmiştir.

Seramik yazıcı baskı ebatları nedeni ile maksimum 13cm eninde üretim gerçekleştirilmiştir.

DENEY SIRASINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

7.1 Toz Seçimi Sırasında Karşılaşılan Sorunlar

İstenilen yoğunluk ve paketlenme için 5 mikronluk alümina tozu kullanımı kararı alınmıştır ancak Alfa Aesar firmasından temin edilen toz örneğinden istenilen sonuç alınamamıştır. Döküm sırasında numunelerde gerekli akışkanlık elde edilememiştir. 3 mikron tane boyutundaki Alkao toz numunesinde döküm sırasında istenilen akışkanlık elde edilmiştir, karşılaşılan sorunun sebebi Şekil 7.1'de görülen tozların boyut dağılımı ve tane şekillerinde bulunan farklardan kaynaklandığı görülmüştür.



Şekil 7.1 Işık mikroskobunda farklı büyütmelelerde alümina tozların karşılaştırılmaları

7.2 Solüsyon Reçetesinin Oluşturulması

Yapılan literatür araştırmalarından elde edilen reçeteler denendiğinde, oda sıcaklığında bile çatlama meydana geldiğinden literatürden elde edilen reçeteler kullanılamamıştır.

Çalışmada kullanılacak reçeteyi oluşturabilmek için 15 aylık toplam bir süre içerisinde literatürlerden bulunan reçeteler dâhil olmak üzere tam 67 farklı deneme yapılmıştır. Şekil 7.2'de, bu reçetelerden elde edilen döküm sonrası kurutulmuş numunelerin görselleri verilmiştir.

Çizelge 5.1'de verilen 1 numaralı reçete kullanılarak elde edilen dökümde kuruma sonrası Şekil 7.2'nin 1nolu görselinde görülebileceği gibi çok sayıda gözenek ve çatlaklı numune elde edilmiştir, yüzeyde bulunan sayısız gözenegin yanı sıra birçok çatlakta

oluşmuştur, tüm bunlar oda sıcaklığında meydana gelen değişimlerdir. Oluşan çatlaklar bağlayıcı veya plastikleştiricinin eksikliğinden meydana gelmiş olabileceği düşünüldü ve belli oranlarda bu katkı maddelerinin oranları değiştirilerek döküm sonuçları gözlemlenmiştir.

2 numaralı görselde daha doğru bağlayıcı oranı bulunarak (Çizelge 5.1 reçete no:2) ilk çatlaksız döküm gerçekleştirilmiştir ancak yüzeyde oluşan gözenekler giderilememiştir. Oluşan gözeneklerin çözücülerin oda sıcaklığında numuneden ayrılma sırasında meydana geldiği düşünülmüş ve çözücü oranı belli miktarlarda düşürülerek tekrar denemeler yapılmıştır.

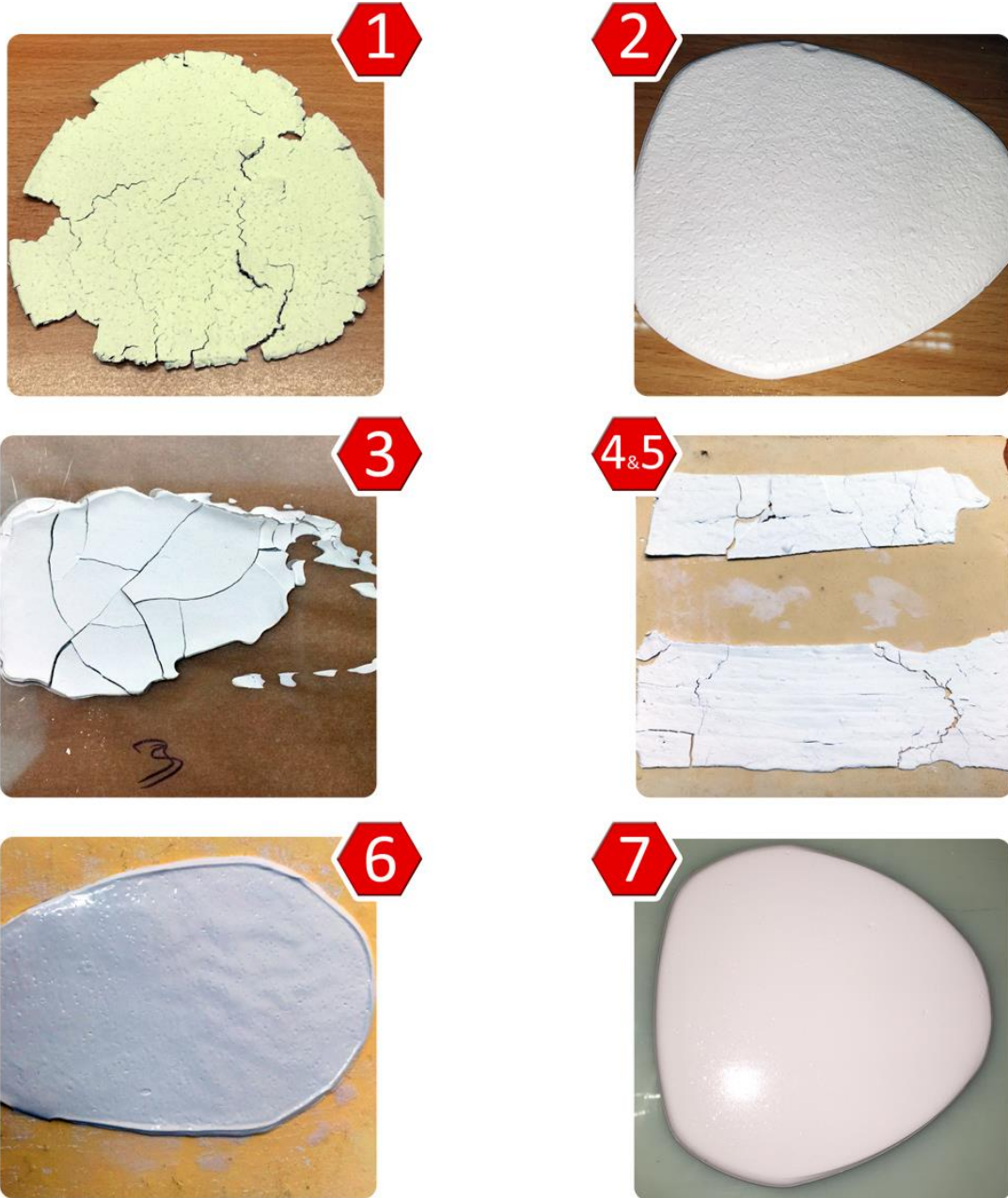
3 numaralı görselde ilk gözeneksiz numune elde edilmiştir ancak malzeme yine oda sıcaklığında çatlamıştır. Sebep olarak eksilen çözücü oranının var olan bağlayıcı ve plastikleştirici oranı ile uyumsuz olduğu olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 5.1 reçete no:3) ve bu 3 katkı maddesinin birbirleri ile olabilecek en uyumlu oranı bulunmaya çalışılmıştır.

4 ve 5 numaralı numunelerde ilk oda sıcaklığında çatlamayan ve gözenek sayısı çok daha az olan numuneler üretilmiş ancak sinterleme aşamasında numuneler çatlamıştır. Malzemenin sinter öncesi ve sonrası ağırlık kayıpları ölçülerek hacimde oluşan azalmanın malzemeyi çatlattığı düşünülmüş ve katkı maddelerinin birbirlerine olan oranı korunarak miktarları azaltma yoluna gidilmiştir (Çizelge 5.1 reçete no:4-5), ayrıca numunede sinterleme esnasında daha az kayıp olması için oda sıcaklığında kurutma süresi arttırılmıştır.

6 numaralı görselde ilk şeride yapışmayan ve kolayca ayrılabilen numune üretilmiştir, gözenek sayısı orta seviyede olan numunede çözücü oranlarının yüksek olduğu düşünülmüş ve tekrar düzenlemeye gidilmiştir (Çizelge 5.1 reçete no:6).

7 numaralı görsel şeride yapışmayan, oda sıcaklığında çatlamayan, oldukça düşük gözenekli yüzeye sahip olan ve elle tutulduğunda bile hasara uğramayan numune üretilmiştir (Şekil 5.3) (Çizelge 5.1 reçete no:7). Bu numunede sinterleme sonrasında çatlak görülmemiştir ancak bazı gözeneklerin kapanması yanı sıra yeni gözeneklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu durumun numune kalınlığı ve sinter rejimi ile ilgili olduğu düşünülmüştür.

Bu aşamadan sonra 7 numaralı görselde elde edilen numunenin reçetesi (Çizelge 5.1 reçete no:7) üzerinde geliştirme çalışmaları yapılmıştır, ayrıca doğru kurutma ve sinterleme rejimini belirleyebilmek için TG-DTA analizi yapılmıştır.



Şekil 7.2 Reçete formülü geliştirme sırasında elde edilen döküm sonuçları

7.3 Numune Et Kalınlığının Etkileri

Reçete geliştirme çalışmaları sırasında farklı kalınlıkların farklı sonuçlar oluşturduğu gözlemlenmiştir, kalın dökülen numunelerde oda sıcaklığında kurutma problemleri yaşanırken ince numunelerin hasarsız olarak altlıktan ayrılması problem olmuştur.

Numuneleri altlıktan daha kolay ayırmak için ilk olarak yağlı kâğıt kullanılmıştır, bu çözüm kalın (1-2 mm) numunelerde kolay ayırmayı sağlamıştır ancak ince numunelerde (100-400 µm) hasarsız ayrılma sağlanamamıştır. Bu nedenle çözüm olarak malzemenin kimyasal yapısına etki etmeyecek olan vazelin yağı denenmiştir ve yağlı kâğıtla beraber kullanılmıştır. Bu çözüm sonrası ince dökülmüş numuneler de kolayca altlıktan ayrılmıştır.

Burada dikkat edilmesi gereken faktör vazelin oranıdır, belli miktardan fazla vazelin sürüldüğünde numunelerin altında sıvı geçirmez bir katman oluşturup kurutmayı engelleyecektir (Şekil 7.3), bu durum göz kararı vazelin kullanıldığından tecrübe edilmiştir ve daha sonra sabit bir oran belirlenmiştir.



Şekil 7.3 Fazla vazelin kullanılması sonucu bir hafta sonra bile kurumamış olan numune örneği, ıslak alanlar işaretlenmiştir.

7.4 Sinterleme Sırasında Oluşan Sorunlar

Sinterleme sırasında katkı maddelerin numuneyi terk etmesi sonucu oluşan büzülme ve sinterleme sonrası malzemenin refrakter tabana yapışması, çalışmalarda karşılaşılan en büyük sorunlardır.

Tabana yapışma sorununun refrakter altlık üzerinde bulunan pürüzlülük ve gözenekler olduğu düşünülmüştür ve alternatif malzeme seçilmiştir, ayrıca daha sonra bu sorun refrakter yüzeyine numuneyi koymadan önce alümina toz serpilerek çözülmüştür.

Çatlama sorununun kalınlık oranına göre farklı çözümler gerektirmiştir, kalın malzemelerde asıl sorun oda sıcaklığında yeterince kuruma sağlanmaması ve ayrıca

sinter rejiminin numuneye uygun olmamasından kaynaklanmıştır, TG-DTA analiz sonuçlarına göre yeni bir kurutma ve sinterleme rejimi (Şekil 5.4 ve Şekil 5.5) düşünülüp uygulanması sonucu çatlaklar önlenmiştir. Ancak ince malzemelerde her ne kadar çatlama meydana gelmese de bükülme gözlemlenmiştir (Şekil 7.4).

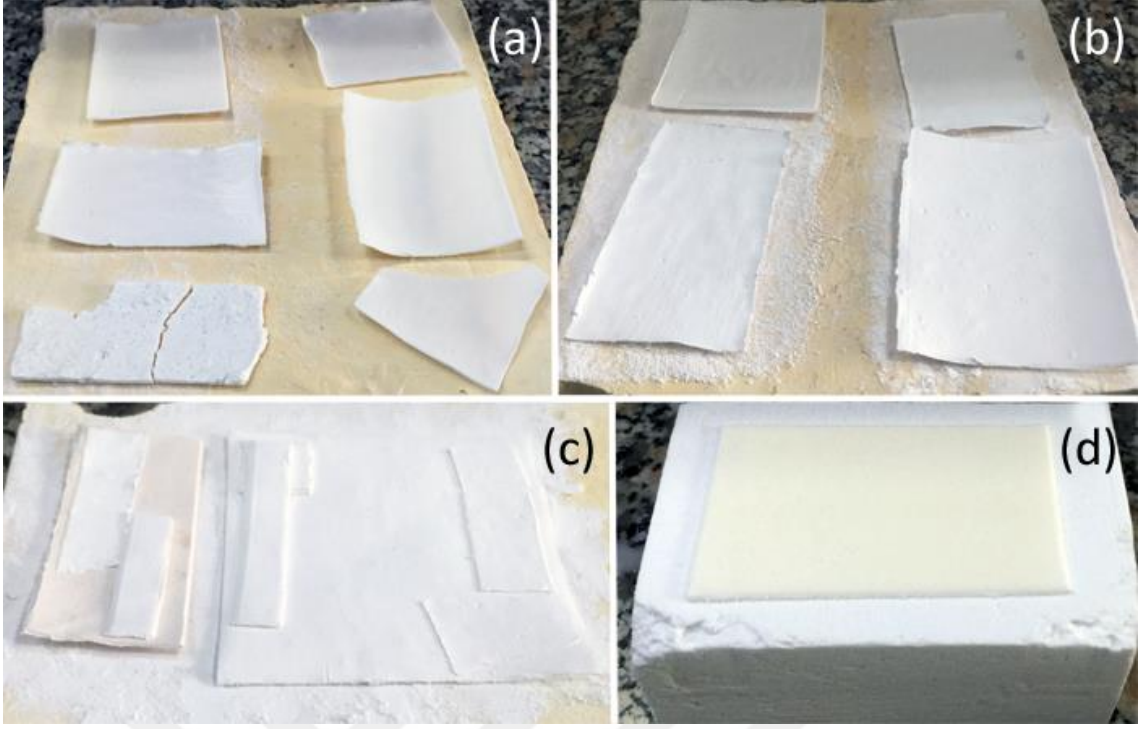


Şekil 7.4 İnce numunelerde sinterleme sonrası meydana gelen bükülme

Bu sorunun giderilmesi için çok hafif bir refrakter malzemenin malzemeye zarar vermeyecek şekilde sinterleme sırasında numunenin üzerine konmuştur ve Şekil 7.5'de görüldüğü gibi numune deforme olmadan sinterlenebilmiştir.



Şekil 7.5 İnce numunenin bükülmesini engellemek için kullanılan refrakter altlık ve kapak



Şekil 7.6 Sinterlenmiş numune örnekleri (a) 6 ve 7nolu numuneler 1mm et kalınlığı (b) 7nolu numuneler 2 mm et kalınlığı (c) 7nolu numune ile çok katmanlı numune örneği (d) 7nolu reçete ile hazırlanmış 200µm et kalınlığına sahip numune

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şerit döküm yöntemi deneyleri sırasında 67 deneme sonucu 7 adet farklı karışım reçetesi bulunup 7nolu bileşimin (Al_2O_3 60gr - PVB 2,28gr - DBP 10,16gr - ETANOL 10,03gr - MEK 15,91gr - OLEİK ASİT 1,62gr) başarılı sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Hasarsız numune üretmek için TG-DTA analiz sonucunda elde edilen veriler kullanılarak kurutma hızı $110^{\circ}C/dk$ olarak saptanarak en uygun sinterleme rejimi bulunan reçete için elde edilmiştir.

$1580^{\circ}C$ 'de 2 saat sinterlenmiş numunenin dielektrik katsayı ölçüm değeri 10,3 olarak bulunmuştur.

Yapılan ölçümlerde en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri ortalama $0.52\mu m$ ile 7.3nolu numunede elde edilmiştir.

Elektronik alanda üretilen malzeme ile tasarlanması planlanan anten bilgisayar ortamında 3 boyutlu olarak tasarlanmış olup 3D yazıcı yardımıyla PLA (Polilaktik Asit Termoplastik Polyester) malzemesi kullanılarak maketi üretilmiştir.

Maket üzerinde yapılan ölçümlerin başarılı olması üzerine yansıtıcı dizi antenin seramik malzeme ile üretilmesi hedeflenmiştir ve en ideal tasarım yöntemin 3D yazıcı olduğu düşünülerek aynı yöntemle seramik baskı hazırlanmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen elektronik dielektrik altlık prototipinin sahip olduğu yüksek dielektrik katsayısı ve üretim teknolojisinin sağladığı değişken dielektrik katman yüksekliği avantajları, mikrodalga haberleşme sistemlerinin yüksek performans

ve küçük boyutlu devre tasarımları ihtiyacını karşılayacak bir prototip olduğu görülmüştür.

Ayrıca nihai ürün olan yansıtıcı dizi antenin tasarımı için örnek bir prototip gerçekleştirilmiş olup X bant haberleşme sistemlerinde standart çanak anten yapılarının yerini alçak düşük boyutlu yüksek performanslı bir anten yapısı oluşturulmuştur.

Bu sayede önerilen yöntem ile ülke ekonomisine katma değeri yüksek ve yüksek gereksinim duyan teknolojik ihtiyaçların genellikle ithalat ile yabancı ülkelere karşılanan yüksek performanslı dielektrik seramik altlık malzemelerin ülke sınırları içerisinde milli imkânlar ile üretimi sağlanması hedeflenmiştir.

Şerit dokum tekniği ile hazırlanan dielektrik altlık yapılarının farklı üretim parametrelerine bağlı olarak dielektrik katsayılarının yapay sinir ağları veya benzeri numerik modelleme metotları ile modellenmesi ve literatürde var olmayan farklı dielektrik katsayılı altlık üretimini sağlamak önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Tambaş T. (2010). "Seydişehir alüminasının slip döküm parametrelerinin belirlenmesi", İTÜ Dergisi.
- [2] Raj L. (1989). "Superplastic deformation of zinc sulfide near its transformation temperature (1020 °C)", J.Am. Ceramic Soc. 1792-1796.
- [3] Almod M. (1988). "Mechanical properties and wear resistance of a whisker-reinforced zirconia-toughened alumina", Materials Science Engineering 105-116.
- [4] Wu C., (1991). "Diamond Pin-On-Disk Wear of Al₂O₃ Matrix Composites and Nonoxides", Ceram. Eng. Sci. Proc, 1485-1499.
- [5] Hausner H. (1990). "Corrosion of aluminum oxide in acids and caustic", Solutions. Ceram. Forum Int, 67 [1/2], 6-10.
- [6] Thevenot F. (1992) "Ceramiques Composites a Particules, Cas du Frittage-Reaction", Composites Alumine-Zircone, 39-60.
- [7] Geçkinli E. (1992). "İleri Teknoloji Malzemeleri", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Uzun E. (2008). "Seydişehir alüminasının termolüminesans özelliklerinin karakterizasyonu ve doz cevap özelliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] M. Pozar (2001). "Microwave and RF Design of Wireless Systems", John Wiley & Sons, Hoboken N.J.
- [10] URSI-Türkiye, Bilimsel Kongresi ve Ulusal Genel Kurul Toplantısı, www.ursi.org.tr/2010-Kongre/ursi2010.pdf, 09.05.2016
- [11] Kocaeli Üniversitesi, Anten Ders Notları, http://ehm.kocaeli.edu.tr/web/files/167_Ders-2.pdf 12.06.2017

- [12] Dennis J. (2010). "Tape Casting Advanced Materials", Ceramic Industry Retrieved , John Wiley & Sons, Hoboken N.J.
- [13] Mistler R. ve Twinname E., (2000). "Tape Casting, Theory and Practice", American Ceramic Society, Westerville, OH.
- [14] Gonzalez J. ve Ferret R. (1999) "Synthesis of Cordierite Honeycomb by solid state reaction of precursor oxides", Journal of materials science, 34.
- [15] Diamond & Related Materials Laboratory, Tape Casting, <http://drm.kist.re.kr/cerapedia/process/jgl003.html>, 25.05.2017
- [16] Tape casting, Electronics and Microelectronics, <http://www.ltcc.org.pl/about-ltcc/tape-casting/>, 25.05.2017
- [17] Runk R. (1978). "Tape Casting of Ceramics", John Wiley & Sons Ceramic Processing Before Firing, 7-10.
- [18] CEYLAN A. (2016). "Şerit Döküm Yöntemi Kullanılarak Fonksiyonel Aşamalı SiAlON Seramiklerinin Üretimi" Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [19] Mistler E. (1978). "Ceramic Processing Before Firing", Tape Casting of Ceramics, 236-250
- [20] Kocaeli Üniversitesi, Şerit Döküm Ders Notları, <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt302-slipdokum.pdf> 26.02.2017
- [21] Çalışkan F. (2016). "Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Seramiklerin Şekillendirilmesi Ders Notları".
- [22] Kim D. (2004). "Effects of Chemical Structures and Molecular Weight of Plasticizer on Physical Properties of Green Tape", BaTiO₃ / PVB system, 25-34.
- [23] Kuznetsov G. (2012). "Mechanically and chemically stable colloidal probes from silica particles for atomic force microscopy.", PubMed, The Review of scientific instruments. 83. 116103. 10.1063/1.4765299.
- [24] Mingxian Y. (2015). "Optimization of the tape casting process for development", Ceramics International, 41:14845-14853.
- [25] Mariea J. (2017). "Eco-friendly alumina suspensions for tape-casting process", Journal of the European Ceramic Society, 32:348-349

- [26] Yongheng Z. (2016). "Processing multi-channel alumina membranes by tape casting latex-based suspensions", *Ceramics International*, (32):811-818.
- [27] Ning L. (2009). "Preparation of Na-beta-alumina film by tape casting process", *Journal of the European Ceramic Society*, (29):3031-3037.
- [28] Xuesong L. (2012). "A comparison of the tape casting of α - and β -alumina", *Journal of the European Ceramic Society*, (32): 4219-4228.
- [29] Özgüven S. (2017). 3D yazıcılar, https://www.sanverozguven.com/3d-printer-ceramic-printer-3d-design?lightbox=image_13k9, 20.11.2017
- [30] Güneş F. (2013). "Design and Analysis of Minkowski Reflectarray Antenna Using 3-D CST Microwave Studio-Based Neural Network Model with Particle Swarm Optimization", *International Journal Of Rf And Microwave Computer-Aided Engineering*, 23:272-284.
- [31] Xu F. (2003). "Effect of solvent composition on dispersing ability of reaction SiAlON suspensions", *J. of Colloid and Inter. Sci.*, 1259: 391-397.
- [32] Shanefield D. (1996). "Organic additives and ceramic processing", Second Edition, Kluwer Academic Publishers, 45:987-988
- [33] Burke M., (2007). "The gadget scrap heap", *Chemical World UK*, 4:45-48.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehran MAHOUTİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.09.1982
Konuştuğu Diller : Türkçe, İngilizce, Farsça, Azerice
E-posta : mahouti@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Metalurji ve Malzeme	YTÜ	2007
Lise	Fen Lisesi	Fajr İran Okulu	2000

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Omega Global Yazılım Ltd. Şti.	Sahibi
2008	Kardeş Elektrik A.Ş.	Mühendis