



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİSİ PANELLERİNDE BOR BİLEŞİKLERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Kaan KOÇALI

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Şafak Gökhan ÖZKAN

Mart, 2016

İSTANBUL

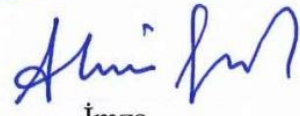
Bu çalışma 08/03/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Maden Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:


İmza
Prof. Dr. Şafak Gökhan ÖZKAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


İmza
Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


İmza
Prof. Dr. Mukden UĞUR
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


İmza
Prof. Dr. Alim GÜL
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi


İmza
Doç. Dr. İlgin KURŞUN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı değerli hocam Prof. Dr. Şafak Gökhan ÖZKAN'a, Araştırma Görevlisi İsmail DEMİR'e, Araştırma Görevlisi Can GÜNGÖREN'e, tez çalışmamda göstermiş olduğu bilgi ve yardımı için Makina Mühendisi Tuncay KIRBIYIK'a, Endüstri Mühendisi Asuman ARAN'a, Kimya Mühendisi Hakan UNEL'e ve Makina Öğretmeni Özcan DELİÖNÜ'ye, hayatımın her safhasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Mart, 2016

Kaan KOÇALI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	vii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. GÜNEŞ ENERJİSİ	3
2.1.1. Güneş Enerjisinden Faydalanma.....	3
2.1.2. Güneş Enerjisi Isıl Uygulamaları	4
2.1.3. Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Çeşitlerine Göre Faydaları.....	6
2.1.4. Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Çeşitlerine Göre Dezavantajları	6
2.2. GÜNEŞ PİLLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ	6
2.3. GÜNEŞ PİLLERİNİN ÖZELLİKLERİ	7
2.3.1. Maddenin Yapısı ve Yarı İletkenler.....	7
2.3.2. Yarı İletken - N Tipi	8
2.3.3. Yarı İletken – P Tipi	8
2.3.4. P – N Kavşağı	9
2.3.5. Yarı İletkenlerin Katkılanması.....	10
2.4. GÜNEŞ PİLLERİNİN ÇALIŞMA İLKESİ	10
2.5. GÜNEŞ PİLİ ÇEŞİTLERİ.....	11
2.6. GÜNEŞ PANELLERİNİN ÜRETİM SÜRECİ.....	12
2.6.1. Solar Kalitede Silikon Üretimi.....	14
2.6.2. İngot Üretimi.....	15
2.6.3. Wafer Üretimi	15
2.7. GÜNEŞ HÜCRELERİNİ KARATERİZE EDEN PARAMETRELER.....	16
2.7.1. Kısa Devre Akımı	16

2.7.2. Açık Devre Gerilimi	16
2.7.3. Dolum Faktörü	17
2.8. BOR VE BOR BİLEŞİKLERİ	17
2.8.1. Bor Minerallerinin Oluşumu	18
2.8.2. Dünya Bor Üretimi Kapasitesi	20
2.8.3. Borik Asit ve Üretimi.....	21
2.9. BOROSİLİKAT CAM.....	22
3. MALZEME VE YÖNTEM	25
3.1. GÜNEŞ PANELİ.....	27
3.2. CAM KAPLAMALARIN IŞIK DURUMU	28
3.3. AKIM – GERİLİM VE AKIM – GÜÇ İLİŞKİSİ ÖLÇÜMÜ	29
4. BULGULAR.....	30
4.1. GÜÇ, GERİLİM VE AKIM DEĞERLERİ	30
4.2. STANDART KAPLAMA CAM	31
4.3. YENİ YAPILAN KAPLAMA CAM	31
4.4. CAM KAPLAMALARIN IŞIK DURUMU	32
4.4.1. 2 mm’lik Cam Kaplamalar.....	34
4.4.2. 3 mm’lik Cam Kaplamalar.....	34
4.4.3. 4 mm’lik Cam Kaplamalar.....	34
4.5. AKIM - GERİLİM İLİŞKİSİ ÖLÇÜMÜ	35
4.6. AKIM - GÜÇ İLİŞKİSİ ÖLÇÜMÜ	39
4.7. ÖLÇÜM GRAFİKLERİ	42
4.7.1. Akım - Gerilim Grafikleri	42
4.7.2. Akım - Güç Grafikleri.....	49
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	56
KAYNAKLAR	60
EKLER.....	62
EK 1. SOLAR SİSTEMLERLE İLGİLİ GENEL STANDARTLAR.	62
ÖZGEÇMİŞ.....	64

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Düzlemsel güneş kollektörü.	4
Şekil 2.2: Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi santralleri.	5
Şekil 2.3: Vakum tüplü güneş enerjisi sistemleri.....	5
Şekil 2.4: Güneş ocağı.	5
Şekil 2.5: Germanyum ve silisyumun yarı iletkenlik yapısı (Kaymak, 2014).	8
Şekil 2.6: N tipi yarı iletken (Karamanav, 2007).....	8
Şekil 2.7: P tipi yarı iletken (Karamanav, 2007).	9
Şekil 2.8: P – N kavşağı oluşumu (Gül, 2008).	10
Şekil 2.9: Güneş pili çalışma ilkesi (Yerebakan, 2010).....	11
Şekil 2.10: Güneş panellerinin üretim süreci iş akış şeması (Yerebakan, 2010).	13
Şekil 2.11: Örnek güneş paneli katmanları (Yerebakan, 2010).	14
Şekil 2.12: Solar kalite silikon.....	15
Şekil 2.13: İngot.	15
Şekil 2.14: Wafer üretimi ve kayıplar.	15
Şekil 2.15: Akım-gerilim eğrisinde açık devre gerilimi ve kısa devre akımının gösterimi (Green, 1995).....	16
Şekil 2.16: Kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve maksimum güç noktalarının gösterimi (Green, 1995).....	17
Şekil 2.17: Borik asit üretim aşamaları (EtiMaden, 2015).	22
Şekil 3.1: Tez çalışmasında üretilen yeni cam kaplamalar ve kodlamaları.	26
Şekil 3.2: Güneş paneli (a).	27
Şekil 3.3: Güneş paneli (b).	28
Şekil 3.4: Tez çalışmasında kullanılan güneş paneli.	28
Şekil 3.5: Hemisferik aydınlatma testi.	29

Şekil 3.6: Akım-gerilim ölçümü deney şeması.	29
Şekil 4.1: Tez çalışmasında kullanılan güneş panelinin akım-gerilim değerleri.	30
Şekil 4.2: Tez çalışmasında kullanılan güneş panelinin akım-güç değerleri.	31
Şekil 4.3: Tez çalışmasında kullanılan güneş panelinin sökülmiş camları.	31
Şekil 4.4: Tungsten halojen ışık kaynağı ile akım ve volt ölçümü.	33
Şekil 4.5: Florasan ışık kaynağı ile akım ve volt ölçümü.	33
Şekil 4.6: Florasan ışık kaynağı ile akım ve volt ölçümü.	33
Şekil 4.7: Güneş ışığı altında akım ve volt ölçümü.	34
Şekil 4.8: 2 mm'lik cam kaplamaların ışık kaybı.	34
Şekil 4.9: 3 mm'lik cam kaplamaların ışık kaybı.	34
Şekil 4.10: 4 mm'lik cam kaplamaların ışık kaybı.	35
Şekil 4.11: Numunelerin tek başlarına test ölçümleri.	36
Şekil 4.12: Numunelerin paralel ve seri bağlama test ölçümleri.	36
Şekil 4.14: A_3-4 akım-gerilim ölçüm grafiği.	42
Şekil 4.15: B_1-2-3-4 akım-gerilim ölçüm grafiği.	42
Şekil 4.16: A_1-2 akım-gerilim ölçüm grafiği.	43
Şekil 4.17: A_1-2 ve B_1-2-3-4 seri akım-gerilim ölçüm grafiği.	43
Şekil 4.18: A_1-2 ve A_3-4 seri akım-gerilim ölçüm grafiği.	44
Şekil 4.19: A_3-4 ve B_1-2-3-4 seri akım-gerilim ölçüm grafiği.	44
Şekil 4.20: A_3-4 ve B_1-2-3-4 ve B_1-2-3-4 seri akım-gerilim ölçüm grafiği.	45
Şekil 4.21: A_1-2 ve B_1-2-3-4 paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.	45
Şekil 4.22: A_1-2 ve A_3-4 paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.	46
Şekil 4.23: A_3-4 ve B_1-2-3-4 paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.	46
Şekil 4.24: A_1-2 ve A_3-4 ve B_1-2-3-4 paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.	47
Şekil 4.25: (A_3-4 ve A_3-4) ve (B_1-2-3-4 ve B_1-2-3-4) paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.	47
Şekil 4.26: (A_3-4 ve B_1-2-3-4) ve (A_3-4 ve B_1-2-3-4) paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.	48
Şekil 4.27: A_3-4 ve B_1-2-3-4 seri akım-gerilim ölçüm grafiği.	48

Şekil 4.28: (A_3-4 ve B_1-2-3-4) ve (A_3-4 ve B_1-2-3-4) seri akım-gerilim ölçüm grafiği.....	49
Şekil 4.29: A_1-2 ve B_1-2-3-4 seri akım-güç ölçüm grafiği.....	49
Şekil 4.30: A_1-2 ve A_3-4 seri akım-güç ölçüm grafiği.	50
Şekil 4.31: A_3-4 ve B_1-2-3-4 seri akım-güç ölçüm grafiği.....	50
Şekil 4.32: A_1-2 ve A_3-4 ve B_1-2-3-4 seri akım-güç ölçüm grafiği.....	51
Şekil 4.33: A_1-2 ve B_1-2-3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.....	51
Şekil 4.34: A_1-2 ve A_3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.	52
Şekil 4.35: A_1-2 ve B_1-2-3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.....	52
Şekil 4.36: A_1-2 ve A_3-4 ve B_1-2-3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.....	53
Şekil 4.37: (A_3-4 ve A_3-4) ve (B_1-2-3-4 ve B_1-2-3-4) paralel akım-güç ölçüm grafiği.....	53
Şekil 4.38: A_1-2 ve B_1-2-3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.....	54
Şekil 4.39: (A_3-4 ve A_3-4) ve (B_1-2-3-4 ve B_1-2-3-4) seri akım-güç ölçüm grafiği.....	54
Şekil 4.40: A_3-4 ve B_1-2-3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.....	55
Şekil 5.1: (A_3-4, A_3-4) ve (B_1-2-3-4, B_1-2-3-4) akım-güç ve akım-gerilim ölçüm grafiği.....	56
Şekil 5.2: Yapılan tüm akım-gerilim ölçümlerinin grafiği.	57
Şekil 5.3: Yapılan tüm akım-güç ölçümlerinin grafiği.....	58

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Bor elementinin özellikleri (EtiMaden, 2015)	18
Tablo 2.2: Önemli bor mineralleri (EtiMaden, 2015)	18
Tablo 2.3: Dünyadaki önemli bor madeni sahaları ve üretilen cevherler (EtiMaden, 2015) ..	19
Tablo 2.4: Dünya bor rezervleri dağılımı (x1000 ton B ₂ O ₃) (Boren, 2015).....	20
Tablo 2.5: Dünya 2014 yılı bor üretimi kapasitelerinin bölgelere göre dağılımı (Boren, 2015).....	20
Tablo 2.6: Borosilikat camda kullanılan bor bileşikleri (EtiMaden, 2015).....	24
Tablo 2.7: Borosilikat camların kimyasal içerikleri (Boren, 2015)	24
Tablo 3.1: Güneş paneli testlerinde kullanılan standartlar	27
Tablo 4.1: Tez kapsamında kullanılan güneş panelinin güç, gerilim ve akım değerleri	30
Tablo 4.2: Tez kapsamında kullanılan güneş panelinin kaplama cam analizi	31
Tablo 4.3: Tez kapsamında yapılan yeni cam kaplamanın cam analizi	32
Tablo 4.4: Cam harmalarındaki mineraller ve katkı miktarları.....	32
Tablo 4.5: Yeni cam kaplamaların akım-gerilim ilişkisi ölçüm parametreleri	35
Tablo 4.6: Yeni cam kaplamaların akım-gerilim ilişkisi ölçüm değerleri (1-8 nolu deney sonuçları)	37
Tablo 4.7: Yeni cam kaplamaların akım-gerilim ilişkisi ölçüm değerleri (9-15 nolu deney sonuçları)	38
Tablo 4.8: Yeni cam kaplamaların akım-güç ilişkisi ölçüm parametreleri	39
Tablo 4.9: Yeni cam kaplamaların akım-güç ilişkisi ölçüm değerleri (16-23 nolu deney sonuçları)	40
Tablo 4.10: yeni cam kaplamaların akım-güç ilişkisi ölçüm değerleri (24-27 nolu deney sonuçları)	41

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
%	: Yüzde
(+)	: Pozitif Yük
(-)	: Negatif Yük
$^{\circ}K$	: Kelvin Derece
$^{\circ}C$	: Santigrat Derece
<i>cm</i>	: Santimetre
cm^2	: Santimetrekare
g/cm^3	: gram/santimetreküp
g/mol	: gram/mol
g/l	: gram/litre
kg/m^3	: kilogram/metreküp
<i>kW</i>	: Kilovat
<i>kWh</i>	: Kilovatsaat
I_s	: İç Akım
I_{sc}	: Kısa Devre Akımı
<i>mm</i>	: Milimetre
m^2	: Metrekare
<i>ppm</i>	: Milyonda Bir
V_{oc}	: Açık Devre Gerilimi
<i>W</i>	: Güç

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
DIN	: Alman Standartları
EN	: Avrupa Standartları
FF	: Dolum Faktörü
ISO	: Uluslararası Standard Organizasyonu
pH	: Asit-Baz Derecesi
RF	: Radyofrekans
TS	: Türkiye Standartları

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİSİ PANELLERİNDE BOR BİLEŞİKLERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Kaan KOÇALI

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şafak Gökhan ÖZKAN

Enerji, bugün sahip olduğumuz medeniyetin temel taşlarından birini oluşturmaktadır ve kalkınmanın bir göstergesi durumundadır. Ancak son dönem enerji üretim ve tüketim yöntemleri ile yerine yenisi konulamayacak enerji kaynaklarımız tüketilmektedir. Enerji üretiminde hem yenilenebilir hem de çevreyle uyumlu kaynakların araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Güneş enerjisi, sahip olduğu potansiyel ve kullanım kolaylığı ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla daha kolay bir şekilde yaygınlaşabilecek bir fırsata sahiptir. Tarih boyunca kullanılmasına rağmen gelişen teknoloji ile birlikte borun önemi daha da artmıştır. Yakıttan, silah ve uzay sanayine kadar hemen hemen her alanda kullanılan bor madeni bakımından Türkiye büyük bir öneme sahiptir. Gerek çıkarılan bor minerallerinin kalitesi gerekse çıkarma koşullarının uygunluğu nedeniyle bor, Türkiye için büyük bir ekonomik kaynak özelliği taşımaktadır.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları arasında hem sahip olduğu mevcut potansiyel hem de üretim teknolojileri bakımından farklı ve önemli bir yeri olan güneş kaynaklı enerji üretim sistemleri ve güneş panellerinde kullanılan kaplama camın yerine bor katkılı borosilikat cam kullanımının sisteme olan verimi araştırılmıştır. Bu amaç kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda piyasada tercih edilen ve enerji üretiminde kullanılan güneş paneli kullanılmıştır. Bu güneş panelinin akım–gerilim ve akım–güç değerleri incelenmiştir. Panel üzerinde bulunan koruyucu cam sökülüştür. Bor bileşiği katkılı kaplama cam yapımına geçilmiş ve yapılan yeni camlar ile panel tekrardan birleştirilmiş ve test edilmiştir. Silikon hücrelerin yapısının belirli olması sebebiyle

panelin sadece kaplama camının değişimine odaklanılmıştır. Cam kaplamalar 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıkta üretilmiştir. Öncelikle bu camların hemisferik aydınlatma testleri yapılmıştır ve test koşulları için uygun ışık türü belirlenmiştir. Test koşullarının oluşturulması ile bu kaplamalar standart güneş pili üzerine konularak akım-gerilim ve akım-güç değerleri ölçülmüştür. Daha sonra aralarında sistematik olarak seri ve paralel bağlanarak sistemin çalışma verimi incelenmiştir.

Sonuçta yeni kaplama camlarının fotovoltaik güneş panelindeki akım-gerilim ve akım-güç değerlerine etkisi irdelenerek, bu camların kaplama camı olarak tercih edilip edilmeyecekleri tartışılmıştır.

Mart 2016, 76 Sayfa.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, güneş paneli, güneş enerji sistemleri, fotovoltaik paneller, borosilikat cam, akım-gerilim ve akım-güç değerleri

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF EFFECTS OF BORON COMPOUNDS ON SOLAR ENERGY PANELS

Kaan KOÇALI

Istanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Şafak Gökhan ÖZKAN

Energy is one of the cornerstones of civilization we have today and has been an indicator of the development. However, energy sources which can not be put instead of the new one has been consumed with the recent energy production and consumption methods. Renewable and environmentally energy resources are needed to research and development. Solar energy has an opportunity to be preferred faster than the other renewable energy sources with the potential and ease of use. The importance of boron has increased with developing technology despite the history its using through the history. Boron mines have a great significance for Turkey with using in fuel, weapons, aerospace industry and almost every area. Boron mines have a huge economic resource in Turkey because of the quality of the extracted boron minerals and the compatibility of mining conditions.

In this study, we investigated solar based energy generating systems which have different and important place in terms of production technology and existing owned potential from renewable energy sources and the efficiency of using borosilicate glass instead of coated glass in solar panel. In experimental studies; we preferred solar panels used for energy generation in the commercial market and examined current-voltage and current-power values of the solar panel. Protective glass panel was removed then we started to make protective glasses with boron compound and panel re-constructed with new glasses and tested. We focused only on the change of the coated glass panel because the structure of the silicon cell are well-defined. The covering glasses were produced at 2 mm, 3 mm and 4 mm thicknesses. Hemispheric lighting test was performed on this new covering glass and light type choosed for solar panel tested. The

panel with new covering glass was tested by measuring current-voltage and current-power. Then systematically panels connected in series and parallel to system and operating efficiency were also investigated.

In conclusion, current-voltage and current-power values of photovoltaic panels were investigated for new covering glasses and use possibility of this new type of glass was discussed.

March 2016, 76 Pages.

Keywords: Solar energy, solar panels, solar energy systems, photovoltaic panels, borosilicate glass, current-voltage and current-power values

1. GİRİŞ

Enerji, çağımızda en önemli tüketim maddelerinden biri ve vazgeçilmez bir uygarlık aracıdır. Gelişmişlik düzeyi yüksek ülkelerin en önemli ihtiyaçlarının başında gelen enerji tüketimi sürekli artmaktadır. Bugün sahip olduğumuz teknolojik gelişmelerin devam etmesi ve sunduğu imkanların yaşamımızda sürmesi için doğrudan ve dolaylı olarak enerji tüketmek zorundayız. Tüketmek zorunda olduğumuz enerjinin bugün büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlarından, geri kalanı ise nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (Gençoğlu, 2010).

Enerji üretiminde fosil kaynak kullanımının devam edebilme olanağının kalmadığı, kabul edilmesi gereken bir gerçektir. Bu durumda, sanayinin gelişmeye başlaması ile kullanımı giderek artan, kalkınma ve sanayileşme yolunda verdiği zararlar, önceleri göz ardı edilen bu enerji kaynaklarının yerine çevremizin kendi doğal ürünü olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının arttırılması gerçeği her geçen gün daha iyi anlaşılmaktadır. Hava, su, toprak kirliliğinden bitki örtüsünün ve hayvanların yok olmasına kadar uzanan çevre sorunları, bu sorunlardan etkilenen insanlarda gelecek kaygısı uyandırmış, bu kaygı ile beraber, çevrenin korunmasına karşı hassasiyet de giderek artmaya başlamıştır (Şen, 2002).

Dünyanın en önemli enerji kaynağı güneştir. Güneşin ışıyım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır. Doğal enerji kaynaklarının pek çoğunun kökeni olan güneş enerjisinden, ısıtma ve elektrik elde etme gibi amaçlarla doğrudan yararlanılmaktadır. Güneş enerjisi çevre açısından temiz bir kaynak özelliği taşıdığından da fosil yakıtlara alternatif olmaktadır (Ültanır, 1996).

Bilimsel ve teknolojik gelişmelerin getirdiği çağdaş uygulamalara baktığımızda bor ürünlerinin tekstil elyaflarından, camlara, nükleer uygulamalardan yeni ve ileri müknaıslara hatta gübrelele kadar çok büyük bir yelpazede kullanıldığını görmekteyiz. Bu bakımdan, bor mineralinden hammadde girdisi olarak başlayan uygulama ve etkinlikler pek çok sektör ve teknoloji alanını yakından ve doğrudan ilgilendiren bir teknoekonomik unsur haline gelmiştir (Tübitak, 2003).

Ülkemizin sahip olduğu bor yatakları zenginliği göz önünde bulundurulduğunda bunun son derece önemli, hayati ve stratejik bir kaynak olarak değerlendirilmesi gereği açıkça görölmektedir. Dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olan Türkiye, bor minerali ve ticari boratlar üretiminde belirli bir yerde olup jeopolitik konumu ve sahip olduğu diğer değerlerle birlikte düşünöldüğünde stratejik önemde bir kaynağın başında bulunmaktadır. Gerçek anlamda rekabet üstünlüğü için ancak yüksek katma değerde özellikli bor bileşiklerinde yoğunlaşmayı gerektirmektedir. Bu konu ise ağırlıklı olarak yüksek bilgi içeriği ve ileri teknoloji uygulamaları göz önünde bulundurulduğunda bilimsel-teknolojik yeteneğın yükseltilmesi ile mümkün görünmektedir (Kalafatoğlu, 2000).

Boratların ana kullanım yeri cam endüstrisidir. Bütün dünyada bor kullanımının %42'si cam endüstrisindedir. Bor oksit; borosilikat camlar, tekstil cam elyafı ve yalıtım cam elyafının önemli bir bileşimidir. Bu üç ürün, cam endüstrisinde bor bileşiklerinin ana tüketim yeridir. Bor oksit, susuz boraks, borik asit gibi bor bileşikleri halinde veya boraks ya da kolemanit gibi mineraller şeklinde cama katılır (Smith, 1992).

Borosilikat camların güneş enerjisi panellerinde koruyucu cam olarak kullanımı sonucu hem bor sanayi hem de cam sanayi için ortak nokta olacaktır. Böylece doğal zenginliğimiz olan bor için yeni kullanım alanı tanımlanabilecek ve ülkemiz için katma değer sağlanmasına katkı sağlanabilecektir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneşte oluşan enerjinin çok az bir kısmı yeryüzüne gelmektedir. Yeryüzüne gelen ışıının değerin düşük olmasının sebebi, atmosferdeki karbondioksit, ozon ve su buharı gibi gazların ışıını absorbe etmeleridir. Ayrıca ışıınımların kat etmesi gereken yol uzunluğu da bu değerin düşüklüğünün sebebidir (Akçalı, 2001).

Güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla yapılan uygulamalar; yüksek, orta ve düşük sıcaklık uygulamaları olarak üçe ayrılır:

- Düşük sıcaklık uygulamaları; en fazla düz güneş panelleriyle sera, konut ve su ısıtılması için kullanılmaktadır (Yıldırım, 1995).
- Orta sıcaklık uygulamaları; odaklı toplayıcı kullanılarak, sanayi için buhar ve sıcak su elde etmek için kullanılır (Şahin, 2013).
- Yüksek sıcaklık uygulamaları; güneşi izleyen ve takip eden mekanizmalardan oluşmaktadır. Büyük bir alan üzerine gelen güneş ışıının bir noktaya toplanarak sıcaklığın 300 °C üzerine çıkarılması ile metal ergitme fırınları çalıştırılabilir (Karamanav, 2007).

2.1.1. Güneş Enerjisinden Faydalanma

Güneş pili sistemlerinin kullanıldığı alanlar çok fazladır. Genel olarak aşağıdaki alanlarda tercih edilirler.

- Binaların iç ve dış aydınlatması,
- Yerleşim bölgelerinden uzakta bulunan evlerde elektrikli cihazların çalıştırılması,
- Zirai ya da evler için sulama pompaları çalıştırılması,
- İlk yardım, güvenlik ve alarm sistemlerinin çalıştırılması,
- Meteorolojiye ait gözlemleme istasyonlarının çalıştırılması,
- Haberleşme istasyonları ile telsiz, radyo ve telefon sistemlerinin çalıştırılması,
- Petrol boru hatları ve köprü, kule vb. metal yapıların paslanmadan korunması,

- Ormanlar için yapılan gözetleme kulelerinin enerji ihtiyacının karşılanması,
- Deniz fenerlerinin enerji ihtiyacının karşılanması,
- Aşı ve ilaçlar için soğutma yapılması (Dişçigil, 2007).

Sayılan bu uygulamalar güçlü, küçük ve tek başına uygulamalardır. Gelişmiş ülkelerde giderek kullanımı yaygınlaşan uygulama ise şebeke bağlantılı sistemlerdir. Güneş pilleri yardımıyla üretilen elektriğin kullanılmayan fazla kısmı elektrik şebekesine satılır ve yeterli enerjinin üretilmediği ve enerjinin yetmediği durumlarda ise şebekeden enerji alır. Böyle oluşturulan sistemde enerjinin depolamasına gerek yoktur. Sadece üretilen doğru akım (DC) elektriğin, alternatif akım (AC) elektriğe çevrilmesi ve şebekeye uyumlu hale getirilmesi yeterlidir (Akçalı, 2001).

Güneşin enerjisinden yararlanmanın genel olarak üç farklı yolu vardır:

- Bunlardan biri, güneş panelleri olup su ve ev ısıtmada kullanılan sistemlerdir (Yıldırım, 1995).
- İkincisi parabolik güneş panelleri olup, ısınan su buharı, bir buhar jeneratörü ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Hestnes, 1999).
- Güneş ışıkları/enerjisi uzun dikdörtgen şeklindeki ayna kollektörlerde toplanır. Aynaların direk güneşe eğimli olması sağlanır. Aynaların merkezinde bulunan borudan geçen yağa güneş ışınları yönlendirilir ve yağ ısıtılır. Isınan yağ suyu ısıtarak buhara dönüştürür. Buhar da buhar türbinini işleterek elektriğe dönüşür (Arda, 2006).

2.1.2. Güneş Enerjisi Isıl Uygulamaları

- *Düzlemsel Güneş Kollektörleri:* Evlerde sıcak su elde etmek için kullanılan düzlemsel güneş kollektörleri Şekil 2.1’de verilmiştir. Ülkemizde yaygın olarak tercih edilen sistemlerdendir.



Şekil 2.1: Düzlemsel güneş kollektörü.

- *Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Santralleri:* Şekil 2.2’de görüldüğü üzere merkezde belirlenen bir noktaya doğru yönlendirilmiş olan aynalar kullanılarak, odak noktasında çok yüksek sıcaklıkta ısı elde edilir. Genellikle elektrik enerjisi üretimi için kullanılır (Bahnemann, 2004).



Şekil 2.2: Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi santralleri.

- *Vakum Tüplü Güneş Enerjisi Sistemleri:* Birbirleri içerisine geçmiş olan iki silindir cam tüpün birbirine bağlanması ve bu tüpler arasında bulunan havanın alınması ile üretilir. Dıştaki silindir tüpün üzerine gelen güneş ışınları, aradaki havasız ortamdan geçer ve içteki silindir tüpün yüzeyinde absorbe edilir (Arda, 2006). Şekil 2.3’de örnek vakumlu tüplü güneş sistemi verilmiştir.



Şekil 2.3: Vakum tüplü güneş enerjisi sistemleri.

- *Güneş Ocakları:* Şekil 2.4’de görüldüğü üzere çanak ya da kutu biçiminde yapılan ve güneş ışınlarını bir noktaya toplayan yapılardır (Bahnemann, 2004).



Şekil 2.4: Güneş ocağı.

2.1.3. Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Çeşitlerine Göre Faydaları

Güneş enerjisinin diğer enerji çeşitlerine göre faydalarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Bol ve tükenmeyen enerji kaynağıdır.
- Çevreyi kirleten gaz, duman, karbonmonoksit, radyasyon ve kükürt gibi unsurları yoktur.
- Yerel çaplı uygulamalar için oldukça elverişlidir. Enerji ihtiyacı olan hemen hemen her lokasyonda güneş enerjisi kullanmak mümkündür.
- Basit bir teknolojiye gerek duyulmaktadır.
- Güneşin olduğu her bölgeye kurulabilir.
- Kurulan sistemin bakım maliyetleri çok azdır ya da yoktur.
- Bina çatılarına işlev kazandırılarak enerji üretmesi sağlanabilir (Belessiotis, 2011).

2.1.4. Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Çeşitlerine Göre Dezavantajları

Güneş enerjisinin diğer enerji çeşitlerine göre sakıncalarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Birim yüzeye gelen güneş ışınları çok az olduğu için büyük yüzeylere ihtiyaç duyulmaktadır.
- Güneş sürekli olmadığı için üretilen enerjinin depolanması gerekmektedir.
- Enerji ihtiyacının daha çok olduğu kış mevsiminde güneş ışınımı azdır ve geceleri güneş ışınımı hiç yoktur (Yerebakan, 2010).

2.2. GÜNEŞ PİLLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Güneş pillerinin çalışması için ortaya atılan ilke Fotovoltaik Olayı'na kadar dayanır. 1839 yılında Becquerel, ilk kez elektrolit içine batırılmış elektrotlar arasında oluşan gerilimin, elektrolit üzerine gelen ışığa göre değiştiğini gözlemlemiş ve Fotovoltaik Olayı'nı açıklamıştır. 1876 yılında G. W. Adams ve R. E. Day tarafından ilk olarak selenyum kristalleri fotovoltaik olaya uygun olarak test edilmiştir. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalar bakıroksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, fotoğrafçılık için ışık metrelerinde kullanılmasını sağlamıştır (Yerebakan, 2010).

1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1 değerine kadar ulaşmıştır. Güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştürebilen fotovoltaik diyotlar, 1954 yılında Chapin tarafından ilk kez silikon kristali üzerinde denenmiştir. Daha sonraki

yıllarda yapılan ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır (Karamanav, 2007).

Güneş pillerinin elektriksel güç sistemi olarak kullanılması için yapılan araştırma ve geliştirme çabaları 1954'lerde başlamıştır. Bu çalışmalara olan ilgi 1973 yılındaki 1. Petrol Bunalımı'nı izleyen yıllarda olmuştur. Amerika'da, Japonya'da ve Avrupa'da büyük bütçeli araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Uzay çalışmalarında kullanılan silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları devam ederken bu çalışmaya alternatif olması için az yarı iletken malzemeye ihtiyaç duyulan ve daha ucuza üretilebilecek olan ince film güneş pilleri üzerine yapılan çalışmalara hız verilmiştir (Yerebakan, 2010).

2.3. GÜNEŞ PİLLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Fotovoltaik ilkeye uygun ve bağlı olarak çalışan güneş pilleri yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Kare, dikdörtgen ve daire şeklinde imal edilen güneş pillerinin yüzey alanları 100 cm^2 'ye yakın; kalınlıkları ise silisyum güneş pillerinde 0,2–0,4 mm arasındadır (Kaymak, 2014).

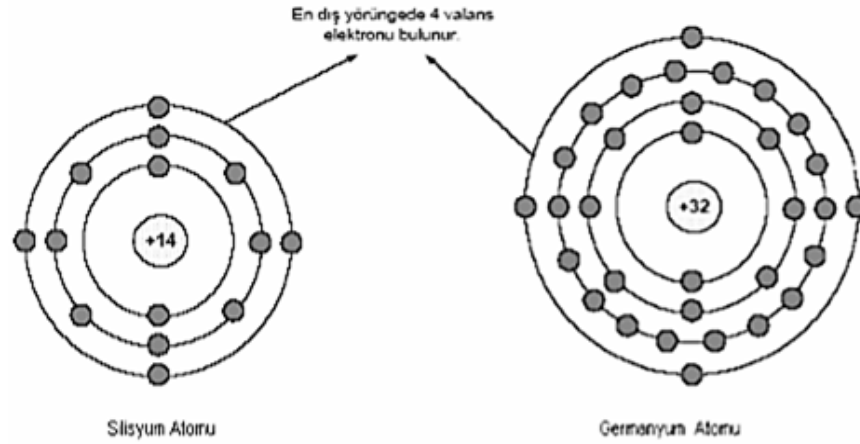
Kristal silisyum ve amorf silisyum gibi farklı maddeler kullanılarak üretilen güneş pilleri, üzerlerine gelen güneş enerjisini yapısal içeriğine göre değişen bir verimle elektrik enerjisine çevirirler. Birçok güneş pilinin birbirine seri ve/veya paralel bağlanarak elde edilen yapıya güneş pili ya da fotovoltaik modül adı verilir (Yerebakan, 2010).

Oluşan bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. İhtiyaç halinde yine bu oluşan modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanabilir ve böylece fotovoltaik dizilim oluşturabilir (Karamanav, 2007).

2.3.1. Maddenin Yapısı ve Yarı İletkenler

Atomlar, pozitif yüklü olan bir çekirdekten ve çekirdek etrafındaki belirli yörüngelerinde dolanan elektronlardan meydana gelmiştir. Bu pozitif ve negatif yükler, eğer bir dış etki yoksa her zaman birbirlerini dengelerler. Elektronlar, birbirini izleyen ve her biri belirli sayıda elektron barındıran enerji bantlarında bulunurlar. Dışarıdan enerji alan elektron hemen bir üst seviyede bulunan banda çıkabilir. Daha düşük

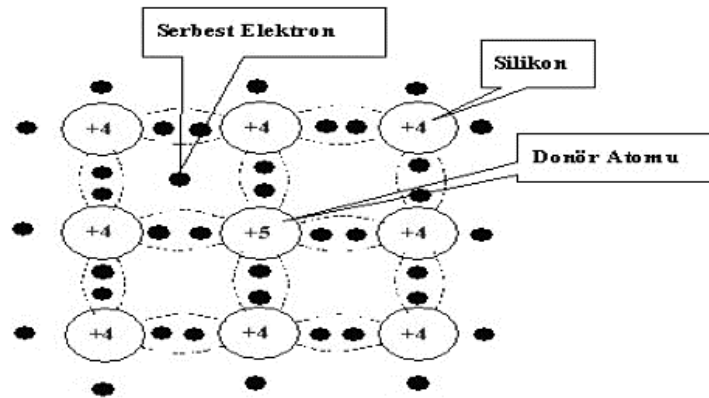
seviyedeki banda geçen elektron ise dışarı enerji verir (Kaymak, 2014). Şekil 2.5’de germanyum ve silisyumun yarı iletkenlik yapısı verilmiştir.



Şekil 2.5: Germanyum ve silisyumun yarı iletkenlik yapısı (Kaymak, 2014).

2.3.2. Yarı İletken - N Tipi

İletkenliğini değiştirmek için silisyum ve germanyuma, periyodik tablonun III. ve V. grup elementleri ilave edilir. Bu gruptaki elementler boş valans elektronu bulundurlar. Ergimiş durumdaki germanyuma milyonda bir (1 ppm) arsenik eklenirse, eklenen her arsenik atomu, bir germanyum atomunun yerini alır ve 4 elektronu ile kovalent bağ yaparak, 5. valans elektronu serbest kalır ve iletkenlik sağlanır. İletkenlik (-) yükü sağlandığı için Şekil 2.6’da da gösterildiği üzere N tipi yarı iletken olarak adlandırılır (Karamanav, 2007).

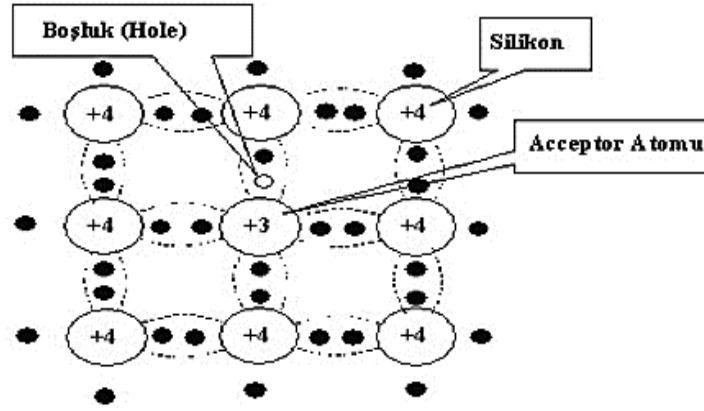


Şekil 2.6: N tipi yarı iletken (Karamanav, 2007).

2.3.3. Yarı İletken – P Tipi

Ergimiş germanyuma, 3. gruptaki üç valans elektronu içeren indiyum ya da galyum gibi elemanlar ilave edilerek yapılır. Ergimiş karışımın katılaşması sırasında İndiyum atomları germanyum atomunun kristal örgüsündeki yerini alır. Kovalent bağ yapılması

için 3 elektron vardır ve komşu atomdan 1 elektron alınarak bağ oluşturulur. Daha sonra komşu atomda bir boşluk meydana gelir. Bu boşluk, elektron hareketine neden olur. P tipi yarı iletken oluşumu Şekil 2.7’de verilmiştir (Karamanav, 2007).



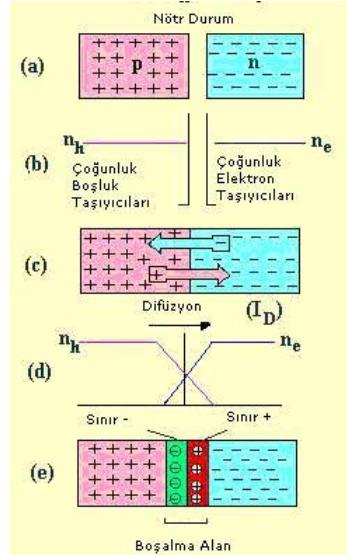
Şekil 2.7: P tipi yarı iletken (Karamanav, 2007).

2.3.4. P – N Kavşağı

Monokristal yarı iletkenliğin P yarı iletken tipinden, N yarı iletken tipine geçiş bölgesidir. Kristalleşme sırasında meydana gelen bu bölgenin N bölgesinde, daha az sayıda olan boşluk, daha çok sayıda olan elektron yükleri ve (+) iyonize atomlar vardır (Karamanav, 2007).

P bölgesinde ise elektronlar ve elektron boşlukları vardır. İki bölge birbiri ile temas ettirildiğinde, N bölgesindeki elektronlar, P bölgesine doğru hareket eder. P bölgesinde bulunan elektron boşlukları ise N bölgesine doğru hareket eder. Böylece Şekil 2.8’de görüldüğü üzere N tipi bölgede bulunan atomlar (+) yük ile P tipi bölgede bulunan atomlar (-) yük ile iyonlaşmış olur. Bu atomlar kristal yapı içerisindeki sabit yük merkezlerini oluştururlar. Yük merkezinin her iki yüzünde bulunan iyonize olmuş durumdaki atomların kristal içerisinde yönü N’den P’ye doğru elektrik alan oluşmasını sağlar (Gül, 2008).

Bu bölge bir elektron geçiş bölgesidir ve burada serbest yükler bulunmaz. P – N Kavşağı’nın potansiyel farkı, P’den N’ye geçebilen boşluklar ve N’den P’ye geçebilen elektronlar için bir potansiyel eşittir. (Çıtıroğlu, 1995).



Şekil 2.8: P – N kavşağı oluşumu (Gül, 2008).

2.3.5. Yarı İletkenlerin Katkılanması

Yarı iletkenin malzeme içine, yabancı bir atom katkılanması ile yarı iletken malzemenin önceki elektriksel özellikleri büyük ölçüde değişebilir. Saf yarı iletkenin mevcut yapısal özelliklerini etkilemeyecek miktarda ve kontrollü şekilde yarı iletken kristale eklenen atomlara safsızlık atomları ve bu işleme ise katkılama denilir (Karamanav, 2007).

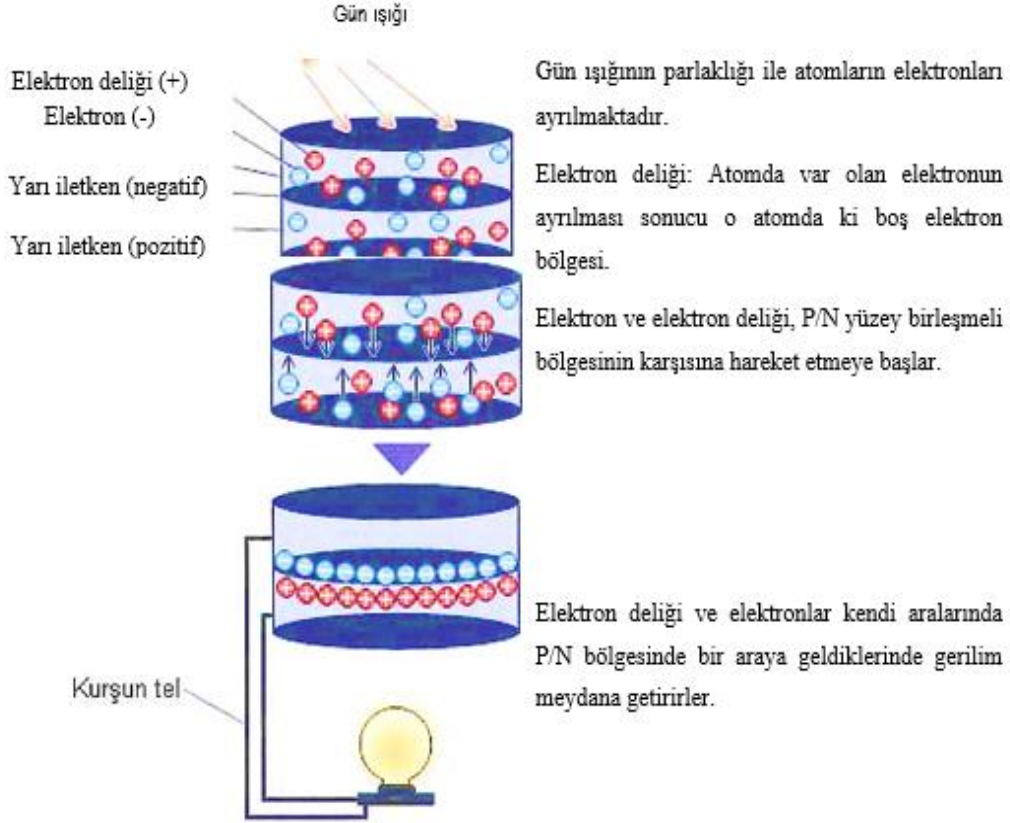
Katkılama olayı en iyi şekilde silisyum atomları ile açıklanabilir. Saf silisyum kristali içindeki her atom 14 elektrona sahiptir. En dış yörüngedeki 4 elektron komşu atomlarla olan etkileşimi belirler. Valans elektronları denilen bu 4 elektrondan her biri, en yakınında bulunan 4 silisyum atomu ile bağ yapar ve silisyum kristalinin ana yapısını oluşturur (Gül, 2008).

Saf silisyum kristaline, valans elektron sayısı 3 olan bor atomu katkılanır ise; silisyum atomu yerini alan her bor atomu, silisyum kristalindeki 3 atomla bağ yapar. Fakat dördüncü atom için fazladan bir elektronu olmadığı için eksik bağ oluşur. Bu biçimde katkılanmış olan yarı iletkenlerin valans bandında bulunan boşlukların sayısı iletkenlik bandında bulunan serbest elektron sayısından daha çoktur (Kaymak, 2014).

2.4. GÜNEŞ PİLLERİNİN ÇALIŞMA İLKESİ

Fotonları saf enerjiden meydana gelmiş olan birer topa benzetebiliriz. Bu fotonlar bir atoma çarptıkları zaman atom enerji ile yüklenir. Daha sonra atomdan en kolay kopabilecek olan son yörüngedeki valans elektronu ayrılır. Enerji üretimi sırasında pilin ön yüzeyinde iç elektrostatik bölge oluşur ve bu bölge elektronun serbest hale

geçmesini sağlar. Silisyum kristali içerisine katkılanan elementlerin kristal içinde bulunması, kristalin elektriksel dengede kalmasını engeller. Bu atomlar dengeyi bozarlar ve serbest olan elektronları diğer yüke gitmeleri için pilin yüzeyine doğru baskırlar. İşte bu oluşan akış elektrik akımıdır. Şekil 2.9'da güneş pili çalışma ilkesi verilmiştir (Yerebakan, 2010).



Şekil 2.9: Güneş pili çalışma ilkesi (Yerebakan, 2010).

Foton absorblanması sonucu yük taşıyıcı elemanlar fazlalıkta oldukları bölgelere doğru sürüklenir. Kavşak içerisinde iç akım (I_s) geçer ve N bölgesi (-), P bölgesi ise (+) olarak yüklenmiş olurlar. İç akım, kavşağın pozitif yük ile kutuplaşmasına ve kavşağın potansiyel eşiğinin azalmasına neden olur (Karamanav, 2007).

2.5. GÜNEŞ PİLİ ÇEŞİTLERİ

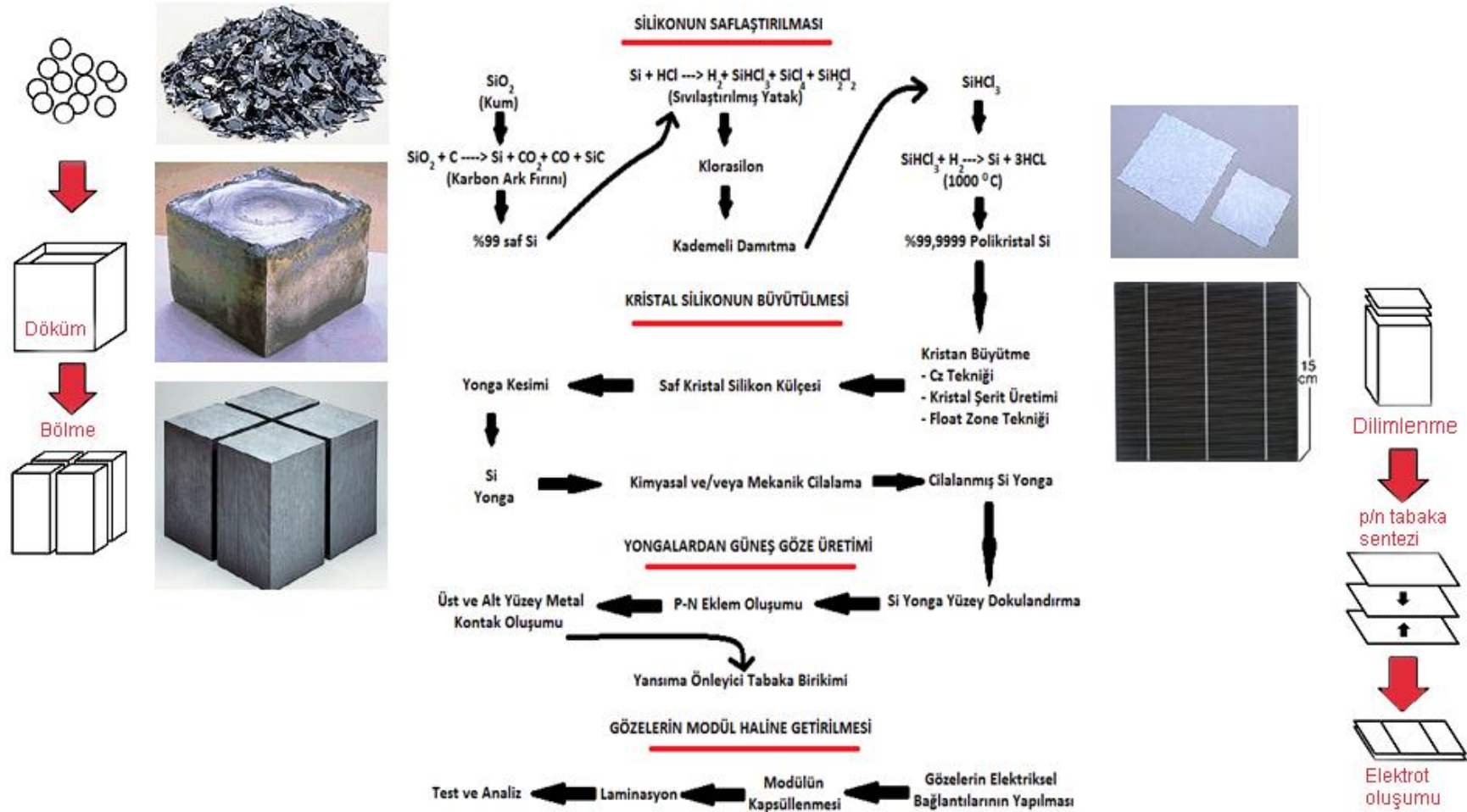
Kullanılan başlıca güneş pili türleri aşağıda verilmiştir:

- *Kristal Silisyum Güneş Pilleri:* Silisyum, yarı iletken malzeme özelliklerini en net gösteren ve bu nedenle güneş pilleri yapımında en çok tercih edilen malzemedir (Green, 1995).

- *Monokristal Silisyum Güneş Pilleri:* Fotovoltaik üretiminde en çok kullanılan yöntemdir. Öncelikle ark fırınında silisyumoksit çeşitli kimyasal reaksiyonlara sokulur. Böylece saf silisyum elde edilir. Silisyum parçaları eriyikten çıkarıldıktan sonra soğuyan eriyik külçe şeklini alır. Daha sonra bu külçe dilimlenir ve dikdörtgen şeklinde kesilir. Kesilen parçalar dilimlere ayrılarak pil şeklini alır (Hishikawa ve Yamagoe, 2015).
- *Semikristal Silisyum Güneş Pilleri:* Sıvı silisyum soğutulur ve böylece kümelenmiş küçük silisyum kristalleri elde edilir (Çıtıroğlu, 1995).
- *Ribbon Silisyum Güneş Pilleri:* Malzeme kaybının en aza indirilmesi amacıyla levha halindeki silisyum tabakalarından yapılır (Hishikawa ve Yamagoe, 2015).
- *Polikristal Silisyum Güneş Pilleri:* Ribbon silisyum teknolojisiyle yapılan bu pillerin yapıları polikristal özellik gösterir (Hishikawa ve Yamagoe, 2015).
- *İnce Film Güneş Pilleri:* Absorbe özelliği daha iyi olan maddeler kullanılır ve daha düşük kalınlıkta (tek kristalin 1/500'ü) güneş pilleri yapılır (Dişçigil, 2007).
- *Amorf Silisyum Güneş Pilleri:* P-N yapısında bulunan pillerin kalayoksit ile kaplı olan iletken bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile eklenmesi sonucu yapılır (Dişçigil, 2007).
- *Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Pilleri:* Bakır indiyum ve selenyumdan yapılırlar. Bu pillere CIS güneş pilleri denilmektedir (Green, 1995).
- *Diğer Yapılar:* Bakır indiyum diselenoid maddesinden yapılırlar. Verimleri %13 civarındadır (Green, 1995).

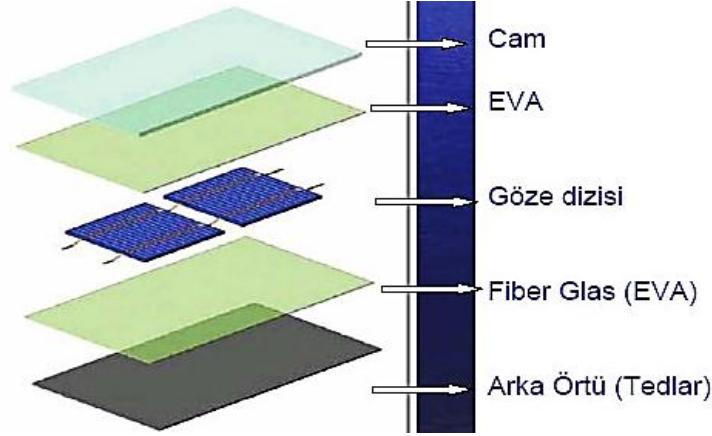
2.6. GÜNEŞ PANELLERİNİN ÜRETİM SÜRECİ

Güneş panellerinin üretim sürecinde öncelikle ham haldeki silisyumun saf hale getirilmesi için eritilir. Oluşan cüruf tabakası temizlenir. Ortaya çıkan blok külçeler şeklinde kesilir. Külçe haline getirilen bloklar ince ince dilimlenirler. Dilimlenen plakalar ile N-tipi ve P-tipi yonga tabakası yapılır. Daha sonra hücreler birleştirilerek panel haline getirilir. Güneş panellerinin üretim süreci ile ilgili iş akışlarının ayrıntısı Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10: Güneş panellerinin üretim süreci iş akış şeması (Yerebakan, 2010).

Bir güneş paneli Şekil 2.11’de görüldüğü üzere beş ayrı katmanda oluşmaktadır. En üstte paneli atmosfer koşullarından koruyan cam tabaka bulunur. Bu tabakanın altında koruyucu tabaka bulunur. Orta katmanda güneş gözeleri dizi halinde yerleştirilir ve altlarına yine koruyucu tabaka yerleştirilir. En alt katmanda ise panelin arkasını kapatan arka örtü ya da kapak bulunur.



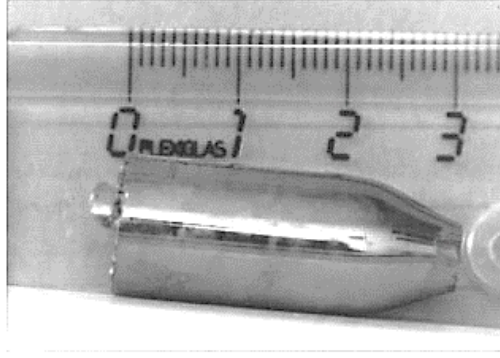
Şekil 2.11: Örnek güneş paneli katmanları (Yerebakan, 2010).

2.6.1. Solar Kalitede Silikon Üretimi

Silisyum; elektriksel, yapısal ve optiksel özelliklerinin uzun süre değişmemesi ile solar kalitede silikon üretimi için en çok tercih edilen malzemedir. Silisyum’un temel özellikleri şu şekildedir:

- Atom numarası: 14
- Atom ağırlığı: 28
- Yoğunluk_{Sıvı}: 2,51 g/cm³, Yoğunluk_{Katı}: 2,30 g/cm³
- Yoğunluk (25 °C): 2,329 g/cm³

Silisyum, yeryüzünde en çok kum ve kuvarsta bulunur. Kumun saflık yüzdesi çok az olduğu için solar kalitede silikon üretimi için uygun değildir. Fakat kuvarsın saflık yüzdesi %90 civarındadır. Kuvars işlenerek ve %99 saflıkta silika elde edilir. Daha sonra Şekil 2.12’de görüldüğü üzere silika kullanılarak metalürji kalitede silisyum elde edilir (O’Gallagher, 2008).



Şekil 2.12: Solar kalite silikon.

2.6.2. İngot Üretimi

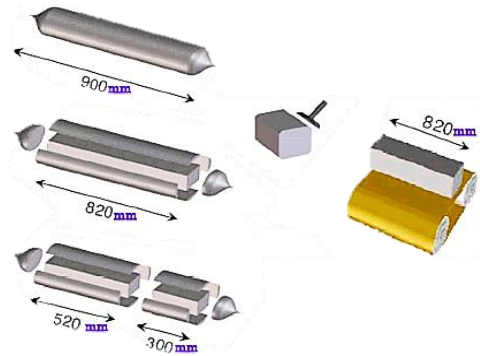
Kristal büyütme işlemleri Czochralski Metodu ile yapılmaktadır. Öncelikle polikristal silikon, kuvars ocağında argon gazı ile 1200 °C'ye kadar ısıtılır. Bir adet silikon kristali eriyiğin uç kısmı üzerine yerleştirilir ve daha sonra erimiş kristal formuna daldırılır. Hammadde ve ocak zıt yönlerde döndürülür. Silikon atomları bu esnada silikon kristale bağlanırlar. Şekil 2.13'de üretilmiş örnek bir ingot gösterilmektedir (Kaymak, 2014).



Şekil 2.13: İngot.

2.6.3. Wafer Üretimi

Bir solar hücrenin verimi kadar kalınlığı da önemlidir. Solar hücreler wafer denilen, kristal silikon dilimlerinden oluşurlar. Yarıçapı yaklaşık 10 cm olarak büyütülmüş ingot, elmas testereler ile 0,5 mm kalınlığında dilimlenir. Wafer üretiminde yüksek miktarda silikon kaybı olmaktadır. Kesme işleminde pahalı olan tek kristal silisyum malzemenin Şekil 2.14'de de görüldüğü üzere yaklaşık %20-%40'ı boşa gitmektedir (Kaymak, 2014).



Şekil 2.14: Wafer üretimi ve kayıplar.

2.7. GÜNEŞ HÜCRELERİNİ KARATERİZE EDEN PARAMETRELER

Güneş hücrelerini karakterize eden üç önemli parametre olan kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve dolum faktörü, gerçekleştirilen testlerde ölçülen Akım-Gerilim eğrilerinden elde edilir. Bu parametreler güneş hücrelerini birbirinden ayıran önemli değişkenlerdir.

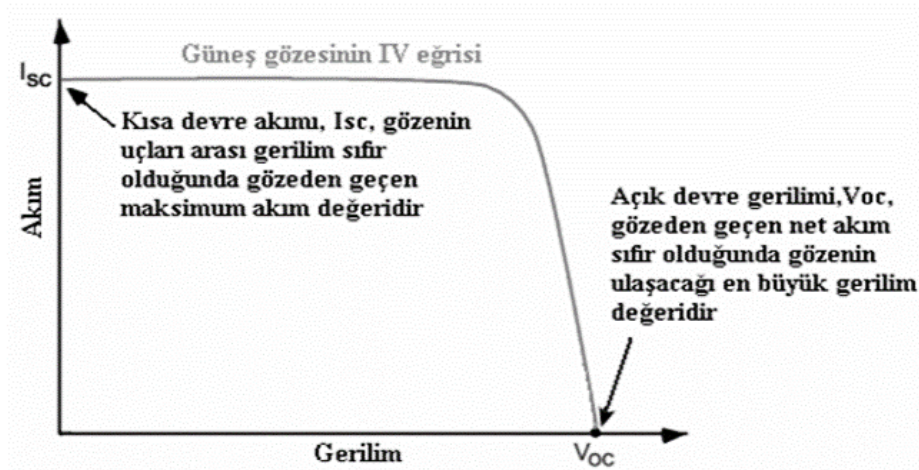
2.7.1. Kısa Devre Akımı

Kısa devre akımı, foton taşıyıcıların üretilmesine ve birikmesine bağlıdır ve I_{SC} olarak gösterilir. İdeal bir güneş hücresinde, kısa devre akımı ile fotoakım aynıdır ve bu nedenle kısa devre akımı güneş hücresinden çekilebilecek en yüksek akım değeridir. Kısa devre akımı; hücrenin alanına gelen ışık yoğunluğuna ve ışık spektrumuna, hücrenin soğurma ve yansıtma özelliklerine bağlıdır. Üreticiler farklı alanlarda hücre ürettiklerinden dolayı bu faktörden kurtulmak için kısa devre akım yoğunluğunu kullanırlar (Green, 1995).

2.7.2. Açık Devre Gerilimi

Güneş hücresinden akım geçmezken elde edilen maksimum potansiyel farktır ve V_{OC} olarak gösterilir. Açık devre gerilimi, hücrede elektron çiftlerinin yeniden birleşmesinin (rekombinasyon) ölçüsüdür (Green, 1995).

Şekil 2.15’de Akım-Gerilim eğrisinde açık devre gerilimi ve kısa devre akımı gösterilmektedir.

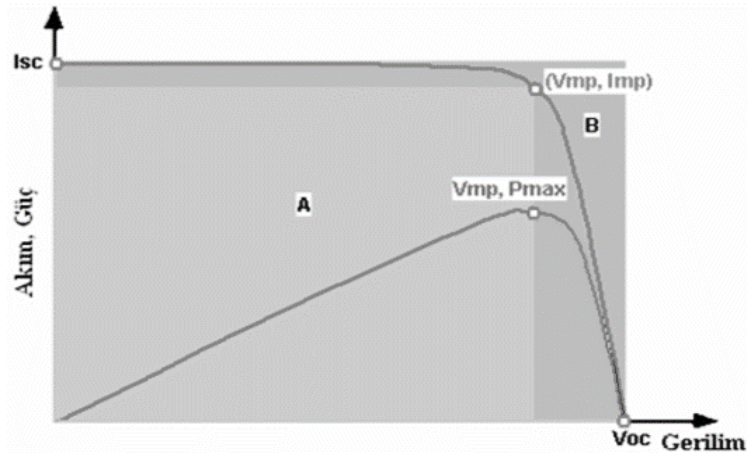


Şekil 2.15: Akım-gerilim eğrisinde açık devre gerilimi ve kısa devre akımının gösterimi (Green, 1995).

2.7.3. Dolum Faktörü

Kısa devre akım ve açık devre gerilim değerleri güneş gözesi için maksimum akım ve gerilim değerleri olsa da, bu iki noktada güneş hücresinin gücü sıfırdır. Dolum faktörü, ya da yaygın olarak kullanılan kısaltmasıyla “FF”, güneş hücresinden alınacak olan en fazla gücü belirleyen ölçüdür. FF tanım olarak; gözenin maksimum gücünün, V_{OC} ve I_{SC} değerlerinin çarpımına oranıdır. Grafiksel olarak gözenin Akım-Gerilim eğrisi ne kadar kareye benzerse dolum faktörü o kadar büyük olur. Akım-Gerilim eğrisine çizilebilecek en büyük dikdörtgen FF’yi belirler (Green, 1995).

Şekil 2.16’da hücrenin çıkış akımına ve gücüne karşı gerilim grafiği verilmiş ve kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve maksimum güç noktaları gösterilmiştir.



Şekil 2.16: Kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve maksimum güç noktalarının gösterimi (Green, 1995).

2.8. BOR VE BOR BİLEŞİKLERİ

Tarihte Bor’u ilk kez Babilliler altın elde etmek için kullanmışlardır. Bunun için, Tibet göllerinin sığ kesimlerinden çıkarılarak Himalayalar üzerinden Hindistan’a ve oradan da Mezopotamya’ya uzanan yollar kullanılarak ithal edilen borakstan yararlanılmıştır. Eski Yunanlılar ve Romalılar bor bileşiklerini temizlik maddesi olarak kullanmışlardır. 875 yılında ilaç olarak Arap doktorlar tarafından kullanılmıştır. Bor ilk kez 1824 yılında Jöns Jakob Berzelius tarafından tanımlanmış ve 1909 yılında Ezekiel Weintraub tarafından zenginleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Periyodik tablonun beşinci elementi olan bor, doğada tek başına bulunmaz ve genellikle oksijen ile bileşik kurarak borat şeklinde bulunur (Garrett, 1998).

Tablo 2.1’de verilen özelliklerine ek olarak bor; sert, kırılkan, yarı metalik bir element olup bor bileşikleri metalik olmayan özellikler gösterir. Ancak saf bor, karbon benzeri

elektriksel özellikler gösterir. Kristal şeklinde bor ise elmasa benzer fakat optik özellikleri farklıdır. Bor, su veya normal şartlarda asitlerle tepkimeye ve reaksiyona girmez, sadece toz halinde sıcak nitrik ve sülfürik asitler ile reaksiyona girer. Bor ısıtıldığında nitrojen ile tepkimeye girerek bornitrit; oksijen ile tepkimeye girerek ise bor oksit (B_2O_3) oluşturur (Yiğitbaşıoğlu, 2004).

Tablo 2.1: Bor elementinin özellikleri (EtiMaden, 2015).

Grup	13
Periyot	2
Atom Numarası	5
Erime Noktası	2,077 °C
Kaynama Noktası	4,000 °C
Yoğunluk	2,466 kg/m ³
Oda Sıcaklığındaki Hali	Katı

2.8.1. Bor Minerallerinin Oluşumu

Bor mineralleri üç gruba ayrılmıştır:

- Sodyum ve Kalsiyum Boratlar
- Magnezyum Boratlar
- Bor Silikatlar

Sodyum ve kalsiyum boratlar genellikle volkanik aktivite sonucu yüzeye yakın koşullarda oluşurlar. Kıta çökelleri ve volkanik kayalarla ilişkilidirler. Bor silikatlar ise metamorfik, magmatik kayaç ve mineral toplulukları ile ilişkili olup; magnezyum boratlar çoğunlukla deniz çökelleri ile bulunur. Tablo 2.2’de önemli bor mineralleri gösterilmiştir (EtiMaden, 2015):

Tablo 2.2: Önemli bor mineralleri (EtiMaden, 2015).

Mineral Grubu	Mineral Adı	Kimyasal Formül	B_2O_3 İçeriği (%)
Magnezyum Borat	Borasit	$Mg_6B_{14}O_{26}C_{12}$	62,3
Hidrojen Borat	Sassolit	H_3BO_3	56,3
Kalsiyum Borat	Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	50,8
Magnezyum Borat	Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11}.6H_2O$	50,5
Sodyum Borat	Kernit	$Na_2B_4O_7.4H_2O$	51,0
Sodyum-Kalsiyum Borat	Kramerit	$NaCaB_5O_9.8H_2O$	49,6
Sodyum Borat	Mohavit	$Na_2B_4O_7.5H_2O$	47,8
Sodyum-Kalsiyum Borat	Üleksit	$NaCaB_6O_9.8H_2O$	43,0
Magnezyum Borat	Pinnoit	$MgB_2O_4.3H_2O$	42,5
Sodyum Borat	Tinkal	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	36,5

En ticari bor yatakları, sıcak su birikintileri ve göl yataklarının karasal çökelleri ile ilişkilidir. Tablo 2.3’de önemli bor mineralleri ve maden ocakları verilmiştir. Kuzey Amerika ve Türkiye’de bulunan cevher yatakları neojen göl çökelleri ile oluşmuş ve göl suları içinde bulunan bor konsantrasyonunun kimyasal çökeltilerinin doygunluğa oluşması ile yataklanmıştır. Buradaki mineral çökelmelerinin pH değerleri incelediğinde bu rahatlıkla görülmektedir. pH değeri düşük olduğunda primer bir mineral olarak tinkal oluşur ve pH değeri arttığında üleksit ve kolemanit oluşur. Çin ve Güney Amerika’daki bor yatakları neojenin son evrelerinde oluşmuş olup genellikle üleksit formundadır. Çin’in Jilin ve Liaoning bölgelerinde granitik sokulumlar arasında metaformizmaya uğramış tortul boratlar görülmüştür. Doğu Rusya’daki yataklar ise magmatik kökenlidirler. En büyük bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya’dadır. Rezerv tahminleri kaynaklara göre değişmektedir. Arjantin ve Şili’deki yataklarda ise lityum içeriği görülmektedir (USGS, 2000).

Tablo 2.3’te dünyadaki önemli bor madeni sahaları ve üretimi yapılan cevher türleri verilmiştir.

Tablo 2.3: Dünyadaki önemli bor madeni sahaları ve üretilen cevherler (EtiMaden, 2015).

Mineral Adı	Ülke	Maden Sahası
Kolemanit	Türkiye	Emet
Kolemanit	Türkiye	Kestelek
Kolemanit	Türkiye	Bigadiç
Kolemanit	Arjantin	Siyes
Kernit ve Tinkal	ABD	Boron
Kernit ve Tinkal	Arjantin	Tincalayu
Kernit ve Tinkal	Arjantin	Loma Bianca
Kernit ve Tinkal	Arjantin	Salar Cauchari
Kernit ve Tinkal	Türkiye	Kırka
Üleksit	Arjantin	Puna Saltena
Üleksit	Arjantin	Puna Jujena
Üleksit	Arjantin	El Arenal
Üleksit	Arjantin	Salar de Diabollos
Üleksit	Arjantin	Salar Antuco
Üleksit	Arjantin	Salar de Pastos Grandes
Üleksit	Bolivya	Salar de Uyuni
Üleksit	Bolivya	Laguna Capina salar
Üleksit	Şili	Salar de Surire
Üleksit	Şili	Salar de Carcota
Üleksit	Şili	Salar de Ascotan
Üleksit	Şili	Salar de Atacama
Üleksit	Çin (Quinghai)	Dachaidam Gölü, Xiachaidam Gölü
Üleksit	Çin (Quinghai)	Kuzey Tajinaier Gölü
Üleksit	Çin (Quinghai)	Doğu Tajinaier Gölü
Üleksit	Çin (Tibet)	Cang Mu Cuo
Üleksit	Peru	Laguna Salinas
Üleksit	Türkiye	Bigadiç

Ülkemizdeki bor madenlerinde tinkal, kolemanit ve üleksit cevherleri çıkartılmaktadır. Tinkal üretimi Kırka'da; kolemanit üretimi Emet, Bigadiç ve Kestelek; üleksit üretimi ise Bigadiç'teki maden ocaklarında yapılmaktadır.

Türkiye'den sonra ikinci kaynak ülke Rusya olup, dünya rezervlerinin %11'i civarında bir payı olduğu bilinmektedir. Ancak Rusya, boru uzun süredir endüstrinin çeşitli alanlarında kullanmakta olduğundan, yakın gelecekte bor rezervlerinin tükenmesi tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bunun yanı sıra, Türkiye'deki bor madenlerinin kalitesi Rusya'dakilerden daha yüksektir. Türkiye'deki bor yataklarının başka bir avantajı da cevherin genellikle 4–5 metre gibi yüzeye yakın derinlikten çıkarılmasıdır. Böylece çıkarma maliyeti, daha derinlerden bor çıkaran ülkelere göre düşük olmaktadır. Bugünkü üretim hızına göre Türkiye'nin rezervleri 389 yıl daha işletilebilecektir. Tablo 2.4'te dünya bor rezervleri dağılımı (x1000 ton B₂O₃) verilmiştir (Boren, 2015).

Tablo 2.4: Dünya bor rezervleri dağılımı (x1000 ton B₂O₃) (Boren, 2015).

Ülke	Toplam Rezerv (x1000 ton B ₂ O ₃)	Toplam Rezerv (%B ₂ O ₃)
Türkiye	953.300	72,8
Rusya	100.000	7,6
A.B.D.	80.000	6,1
Çin	47.000	3,6
Şili	41.000	3,1
Sırbistan	24.000	1,8
Peru	22.000	1,7
Bolivya	19.000	1,5
Kazakistan	15.000	1,1
Arjantin	9.000	0,7
TOPLAM	1.310.300	100,0

2.8.2. Dünya Bor Üretimi Kapasitesi

Dünya bor üretim kapasitesinin 2014 yılında 5,6 milyon ton (2,6 milyon ton B₂O₃) olduğu tahmin edilmektedir (Boren, 2015). Dünya 2014 yılı bor üretimi kapasitelerinin bölgelere göre dağılımı Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5: Dünya 2014 yılı bor üretimi kapasitelerinin bölgelere göre dağılımı (Boren, 2015).

Ülkeler	Kurulu Kapasite (x1000 ton B ₂ O ₃)
Avrupa (Türkiye)	1.086
Kuzey Amerika (ABD)	645
Güney Amerika (Arjantin, Şili, Peru, Bolivya)	396
Asya (Rusya, Çin, Hindistan)	460
TOPLAM	2.587

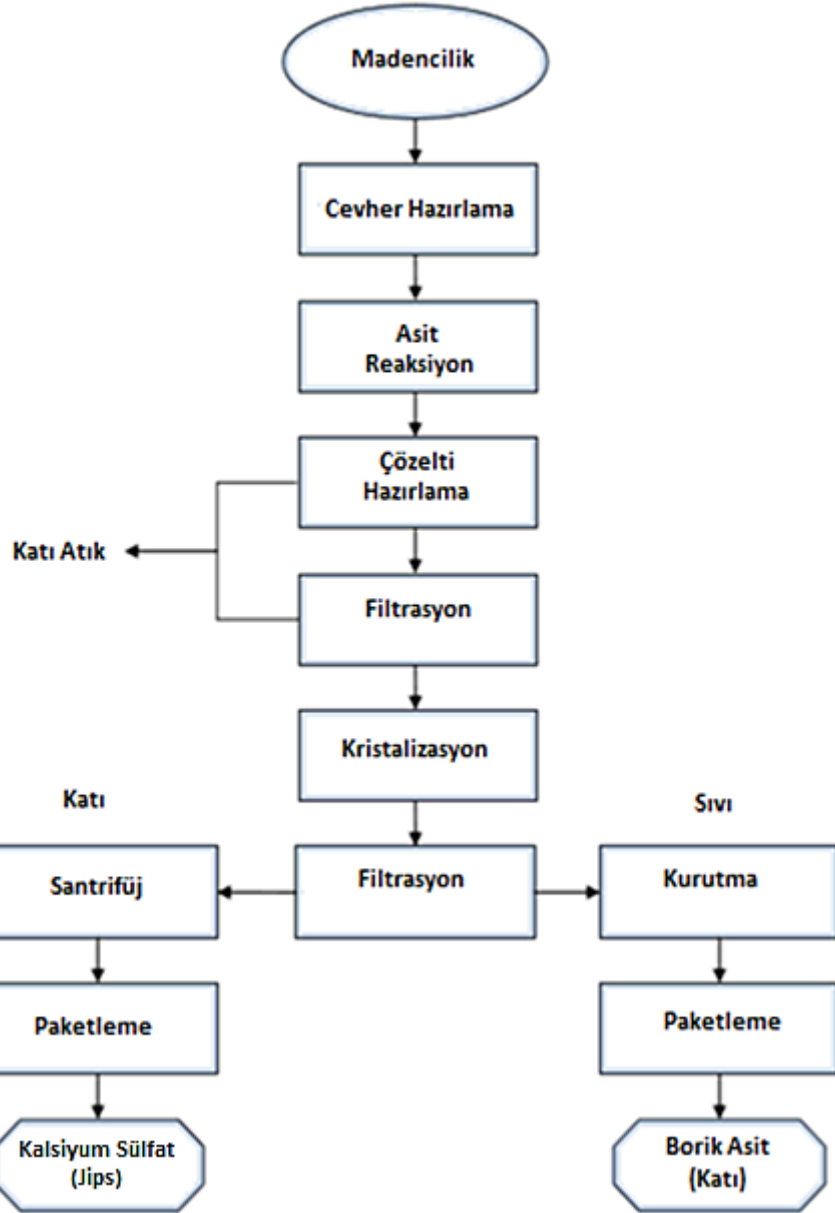
2.8.3. Borik Asit ve Üretimi

Borik asitin erime noktası 169 °C, ergime noktası 360 °C ve molekül ağırlığı ise 61,83 g/mol'dür. Borik asit 175 °C'ye ısıtıldığında yapısındaki suyu kaybeder ve metaborik asit şeklini alır. 175 °C'den biraz daha fazla ısıtıldığında tetraborik asit, daha çok ısıtıldığında ise camsı bor oksit halini alır. Borik asit üretim aşamaları Şekil 1.17'de verilmiştir (Attalhah, 2001).

Borik asit, Türkiye'de kolemanitin sülfürik asit ile reaksiyona sokulmasından üretilmektedir. 0,2 mm boyutundaki değirmende öğütülen kolemanit, sülfürik asit ile reaksiyona sokulur ve daha sonra çözelti içine alınır. Bu reaksiyon 80-100 °C'de gerçekleşir (EtiMaden, 2015).

Çözelti içine alındıktan sonraki aşamaları aşağıda verilmiştir:

- **Filtrasyon:** Kolemanit, asit ile çözelti içine alındıktan sonra oluşan kimyasal reaksiyondan dolayı jips çamuru oluşmaktadır. Jips çamurunu uzaklaştırmak için çözelti basınçlı filtrelerden süzülür. Bu sebeple iki aşamadan oluşan süzme işlemi yapılır. İlk aşamada bütün çözelti 15-20 dakika süzülür. İkinci aşamada ise basınçlı filtrede 3 saat kadar süzülür. İşlem sonunda oluşan madde havuza gönderilir.
- **Kristalizasyon:** Filtrasyondan sonra oluşan kolemanit çözeltisi, sabit bir akış hızı ile kristalizatöre aktarılır ve kristalizatördeki bu çözelti özel spreyleyler ile püskürtülür ve kristalizatör içine yayılır. Bu işlemle püskürtülen kristallerin genişliği artırılarak, işlemin verimli bir şekilde ilerlemesi sağlanmış olur.
- **Santrifüj:** Hazırlanan çözelti kristalizatör içerisine 80-90 °C sıcaklıkta girer daha sonra 40-45 °C sıcaklıkta çıkar ve santrifüje beslenir. Santrifüjde ise, çözelti kristallerinden ayrılır.
- **Kurutma:** Santrifüjden çıkan kristaller nemli durumdadır. Bu yüzden akışkan yataklı kurutucu yardımıyla kurutulur (EtiMaden, 2015).



Şekil 2.17: Borik asit üretim aşamaları (EtiMaden, 2015).

2.9. BOROSİLİKAT CAM

Borosilikat camlar cama bor bileşiklerinin eklenmesiyle üretilir. Borik asit camın ısı genleşme katsayısını düşürür. Bu yüzden camın ısıya direnci artar. Bor bileşikleri çizilmeye, aside dayanıklılığı artırır. Yansımayı, renk ve parlaklığı artırır. Kimyasallara direnci artırır. Cam tipine göre bor oksit içeriği %0,5–23 B_2O_3 arasında değişir. Bor ilavesi, bor bileşiklerinden borik asit ve bor minerallerinden boraks, kolemanit veya bunların kombinasyonları şeklinde yapılır (Bolger,1996).

Cama bor bileşigi katmanın getirdiği bazı ek özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Artan termal şok direnci,
- Daha düşük elektrik iletkenliği,
- Artan mekanik dayanım,
- Su, asit, tuz çözeltileri, organik ve halojenlere karşı kimyasal direnç artışı,
- Artan korozyon direnci,
- Artan sıcaklık dayanımı (Boren, 2015).

Borosilikat camlar farklı çeşitlerde bor bileşiklerinin ilavesi ile oluşurlar. Nihai ürüne uygun olarak doğal (kolemanit) veya rafine (boraks pentahidrat, borikasit ya da susuz boraks) boratlar kullanılabilir. Borosilikat camda kullanılan bor bileşikleri Tablo 2.6'da verilmiştir.

Doğal ürünlere göre rafine boratlar kullanılmasının avantajları şunlardır:

- B_2O_3 içeriği, taşıma maliyetlerini azaltır.
- Bitmiş üründe verim artar.
- Dehidratasyon fırınının verimliliğini yükseltir ve enerji maliyetlerini düşürür.
- Eritmede minimum bor kaybı sağlanır.
- Daha az toz emisyonları oluşur (EtiMaden, 2015).

Cam yapımında bor oksit kaynağı olarak boraks veya borik asit kullanılmaktadır. Borun cama katılmasıyla camın ısı genleşme katsayısı düşer ve ısıya dayanıklı duruma gelir. Bor, işlem sırasında ergimeyi ve camlaşmayı kolaylaştırdığı gibi katılaşmış camda rengi de kararlı kılar. Parlaklığı, yansımaya ve çizilmeye karşı dayanımı artırır. Camı asitlere karşı duyarsız hale getirir. Soda kireç camlarına az miktarda bor oksit ilavesi camın ergitilmesi ve işlenebilirliğine önemli katkıda bulunur. Cam yünü bileşimine bor oksit ilavesi; ergime sıcaklığını düşürür, kristallenme eğilimi azalır, daha uzun süre yün boyu eldesi sağlar ve suya dayanımı iyileştirir (Önem, 1996).

Tablo 2.6: Borosilikat camda kullanılan bor bileşikleri (EtiMaden, 2015).

Ürün	Kimyasal Formül	B ₂ O ₃ (%)	Kullanılan Ana Sektör
Boraks Pentahidrat	Na ₂ O.2B ₂ O ₃ .5H ₂ O	47,8	Sert Borosilikat Cam
Boraks Anhidrit	Na ₂ B ₄ O ₇	69,2	Sert Borosilikat Cam
Borik Asit	B(OH) ₃ ya da H ₃ BO ₃	56,3	Sert Borosilikat Cam, Fiberglas Cam, Ekran Camları
Boroksit	B ₂ O ₃	100	Ekran Camları

Borosilikat camda genellikle %81 SiO₂, %13 B₂O₃, %4 Na₂O/K₂O ve %2 Al₂O₃ bulunur. Almanya’da bulunan Schott şirketi tarafından üretilen borosilikat camların kimyasal bileşimi Tablo 2.7’de verilmiştir (Boren, 2015):

Tablo 2.7: Borosilikat camların kimyasal içerikleri (Boren, 2015).

Ürün Kodu	Kimyasal İçerik (%)					Kullanım Alanı
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	
Schott Boro-8330	81	13	2	3,5	0,5	Eczacılık
Schott Duran	81	13	2	4		Laboratuvar Ürünleri, Aydınlatma
Schott Borofloat	81	13	2	4		Medikal Mühendislik, Biyokimya, Çevre Mühendisliği, Fotovoltaik, Optik, Elektronik Sistemler
Coming Pyrex	80,6	13	2,3	4		Yüksek Isılı Cam Üretimi
Kavalier Simax	80,4	13	2,4	4,2		Endüstriyel Cam Üretimi
Kimble Kimax	80	13	3	4		Laboratuvar Fırınları
Schott Fiolax	75	10,5	5	7	0	Eczacılık
Schott Fiolax - 2	70	7	6	7	1	Eczacılık
Schott Illax	67	5	7	12	1	Eczacılık

3. MALZEME VE YÖNTEM

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda, piyasada tercih edilen ve halihazırda enerji üretiminde kullanılan güneş paneli kullanılmıştır. Bu panel dikdörtgen şeklinde olup, kısa kenarı 4 sıra, uzun kenarı 12 sıra 15x15 mm'lik hücrelerden oluşmaktadır. Öncelikle standart cam harmanında %72 SiO₂, %14 Na₂O, %9 CaO, %4 MgO ve %1'den az oranda Al₂O₃ içeriği olduğu bilinen koruyucu cam panel sökölerek, bu güneş panelinin uluslararası standartlar doğrultusunda akım-gerilim ve akım-güç değerleri ölçölmüştür.

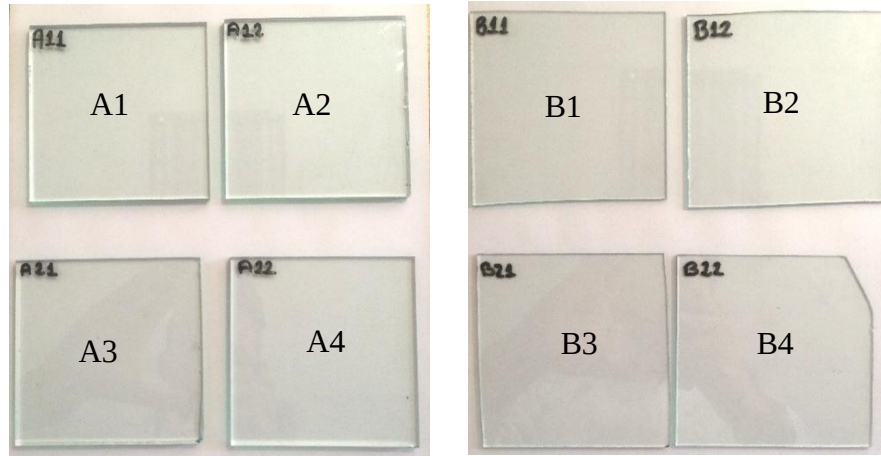
Bu testlerin ardından bor bileşiğı katkılı koruyucu kaplama cam yapımına geçilmiştir. Karışım oranı %81 SiO₂, %13 B₂O₃, %4 Na₂O/K₂O ve %2 Al₂O₃ içeriğı sahip cam kaplamalar imal edilmiştir. Yeni yapılan cam kaplamanın sisteme etkisini daha iyi irdelemek için standart kaplama cam ile aynı boyutlarda ve 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlığında camlar imal edilmiştir. Yeni kaplamalı camlı panellerin aynı kod ile üretilmiş olmalarının nedeni eşdeğer deney koşullarının iki adet yapılarak aynı sonucu alıp almadığının kontrolüdür. Örneğın; A1'de ölçölen akım-gerilim değeri ile A2'de ölçölen akım-gerilim değerinin aynı olduğı görölmüş ve yapılan tüm deneylerde bu kontroller tekrarlanmıştır. Böylece iki deney ve kontrol şartlarının aynı olması sağlanmıştır.

Yeni kaplama camlara hemisferik aydınlatma testi uygulanmıştır. Böylece camların ışık durumları ve laboratuvar koşullarında hangi ışığın seçilerek testlerde kullanılacağı belirlenmiştir. Tungsten, halojen ve ultraviyole ışık kaynakları altında test yapılmıştır. Bu üç ışık türünden halojen ışık kaynağına karar verilmiştir. Halojen lambalar geleneksel akkor lambalara göre daha yüksek ışıksal verime ve insan tarafından iyi algılanabilen daha beyaz bir ışığa sahiptir. Bunun nedeni gelen ışığın sürekli olarak aynı frekansta gelmesi ve florasan ışıklar gibi frekanslarının sinüs eğrisi çizmemesidir. Bundan sonra yapılacak olan tüm akım-gerilim ve akım-güç deneylerinde hemisferik aydınlatma testi koşulları sabit tutulmuş ve sisteme voltmetre ve akımölçer bağlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Yeni kaplamalı camlı panellerin hemisferik aydınlatma testi yapıldıktan sonra, tek tek akım–gerilim ve akım–güç değerleri ölçülmüştür. Daha sonra aralarında sistematik olarak seri ve paralel bağlamalarla sistemin çalışma verimi incelenmiştir. Farklı kalınlıktaki cam kaplamaların paralel ve seri bağlamalarının nedeni, tek başlarına yeni üretilen camların güçlerinin çok düşük olmasıdır. Farklı kalınlıktaki camlar paralel ve seri bağlanarak ve kendi aralarında da yine paralel ve seri bağlanarak sisteme olan etkileri incelenmiştir.

Şekil 3.1’de büyük boyutlu panellerden test amacıyla kesilen yeni cam kaplamalar verilmiştir. Yapılan yeni camlar ile panel tekrardan birleştirilmiş ve tek tek standart güneş pili üzerinde konularak testleri yapılmıştır. Böylece standart ölçümlerde belirtilen akım–gerilim ve akım–güç değerlerini arasında karşılaştırma yapılmıştır. Üretilen camlara deneyler sırasında şu kodlamalar kullanılmıştır:

- 2 mm’lik camlara A1 ve A2,
- 3 mm’lik camlara A3 ve A4,
- 4 mm’lik camlara B1, B2, B3, B4



Şekil 3.1: Tez çalışmasında üretilen yeni cam kaplamalar ve kodlamaları.

Yeni borosilikat cam kaplamaların tek tek akım–gerilim ve akım–güç değerleri ölçülmüştür. Daha sonra aralarında sistematik olarak seri ve paralel bağlamalarla sistemin çalışma verimi incelenmiştir. Yapılan tüm analizler uluslararası standartlar çerçevesinde, standartlarda belirtilen şartlar ve koşullarda test edilmiştir (Hiskikawa, 2015).

Tablo 3.1’de verilen standartlar, deneylerin tekrarlanabilir ve karşılaştırılabilir olması için bazı kısıtlar içermektedir. Ayrıca Ek 1’de verilen diğer standartlar içinde; ölçüm cihazlarının hassasiyet aralıkları gibi kontrol edilebilen parametreler ile güneş ışınım değerlerinin belli değerlerin üzerinde olması, dış ortam sıcaklığının ve rüzgarın gün boyunca belli değerlerin dışına çıkmaması gibi kontrol edilemeyen parametreler yer almaktadır (Said ve Aqeeli, 2015).

Kolektör verim deneylerinin amacı, çeşitli firmalar tarafından üretilen güneş kolektörlerinin kabul edilebilir verimle çalışıp çalışmadıklarını kontrol etmeyi ve kendi aralarında karşılaştırılmalarını sağlamaktadır.

Tablo 3.1: Güneş paneli testlerinde kullanılan standartlar.

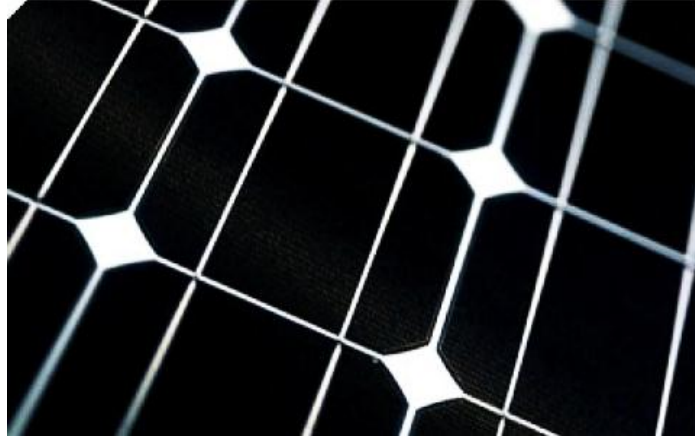
Standart No	Standart İsmi
<i>TS EN 12975-1+A1</i>	Isıl Güneş Enerji Sistemleri ve Bileşenleri - Güneş Enerjisi Kollektörleri Bölüm 1: Genel Kurallar
<i>TS EN ISO 9806</i>	Isıl Güneş Enerji Sistemleri ve Bileşenleri-Güneş Enerjisi Kollektörleri Bölüm 2: Deney Metotları
<i>DIN EN 12975-1 (2001-03)</i>	Thermal Solar Systems and Components - Collectors 1: General Requirements Part
<i>DIN EN 12975-2 (2001)</i>	Thermal Solar Systems and Components. Solar Collectors Part 2: Test Methods

3.1. GÜNEŞ PANELİ

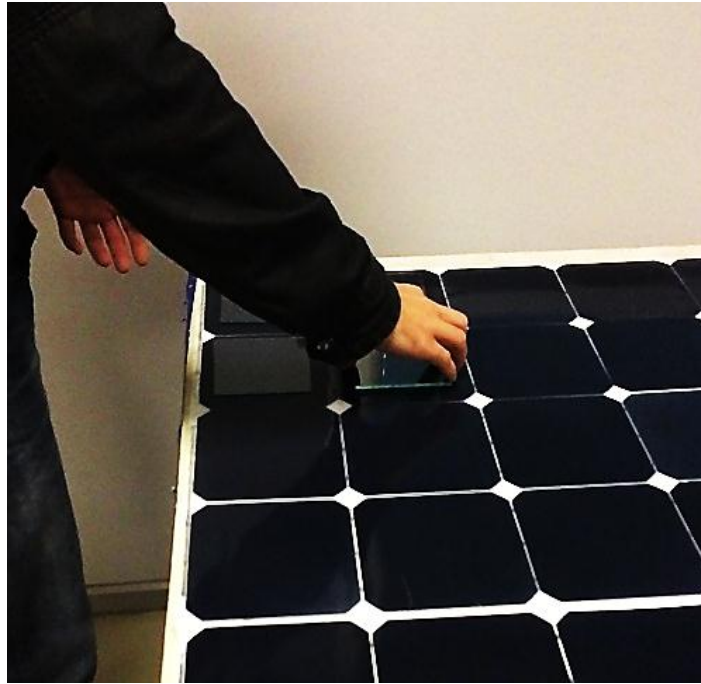
Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de görülen panel sisteminin komple değişimi yerine yenileme-geliştirme çalışması yapılmıştır. Verim arttırma amacıyla panelin kaplama camının değişimi hedeflenmiş ve standart cam kaplamaların yerine borosilikat cam kaplamalar test edilmiştir.



Şekil 3.2: Güneş paneli (a).



Şekil 3.3: Güneş paneli (b).



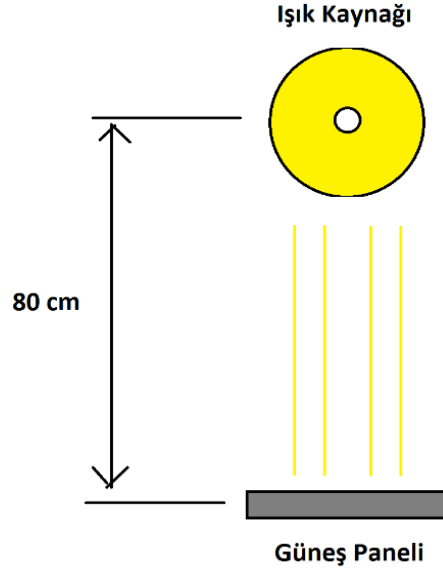
Şekil 3.4: Tez çalışmasında kullanılan güneş paneli.

3.2. CAM KAPLAMALARIN IŞIK DURUMU

Hemisferik aydınlatma testi olarak bilinen bu test, mümkün olduğunca laboratuvar koşulları altında güneş panellerinin davranışını inceler. Bu test bize günlük ve yıllık ışık koşulları değişimlerini simüle etmemize olanak sağlar (Yellowhair, 2015).

Tez kapsamında üretilen yeni cam kaplamaların %50'lik kısmı karanlıkta %50'lik kısmı ise güneş ışığı altında ölçümler yapılmıştır. Güneş alan kısma yansıyan ışınların durumu incelenmiştir ve yeni kaplama camlarının güneş ışığı özellikleri irdelenmiştir.

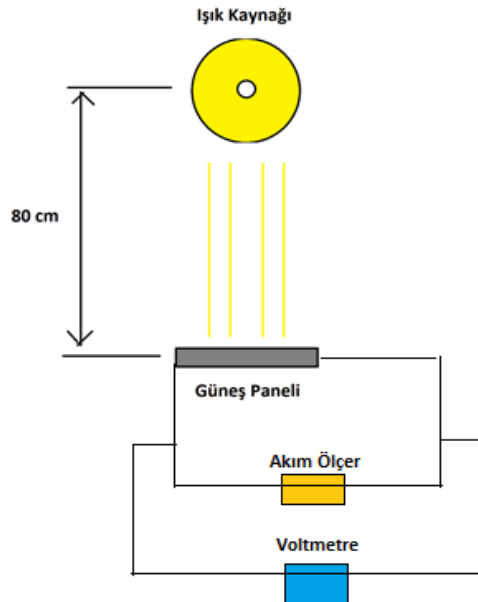
Güneş panelinden Şekil 3.5’de olduğu gibi 80 cm yukarı konulan, 147 mm yüksekliğe ve 96 mm genişliğe sahip ışık kaynağının gücü 55 W’tır. 630 lümen’e eş değer ışık veren kaynakta 6000 Kelvin renk sıcaklığına sahip halojen aydınlatma seçilmiştir.



Şekil 3.5: Hemisferik aydınlatma testi.

3.3. AKIM – GERİLİM VE AKIM – GÜÇ İLİŞKİSİ ÖLÇÜMÜ

Güneş panelinin akım-gerilim ilişkisi ve akım-güç ilişkisi ölçümleri Hemisferik Aydınlatma Testi koşullarından gerçekleştirilmiştir. Sisteme Şekil 3.6’daki gösterildiği gibi bağlanan akımölçer ve voltmetre ile değerler ölçülmüştür.



Şekil 3.6: Akım-gerilim ölçümü deney şeması.

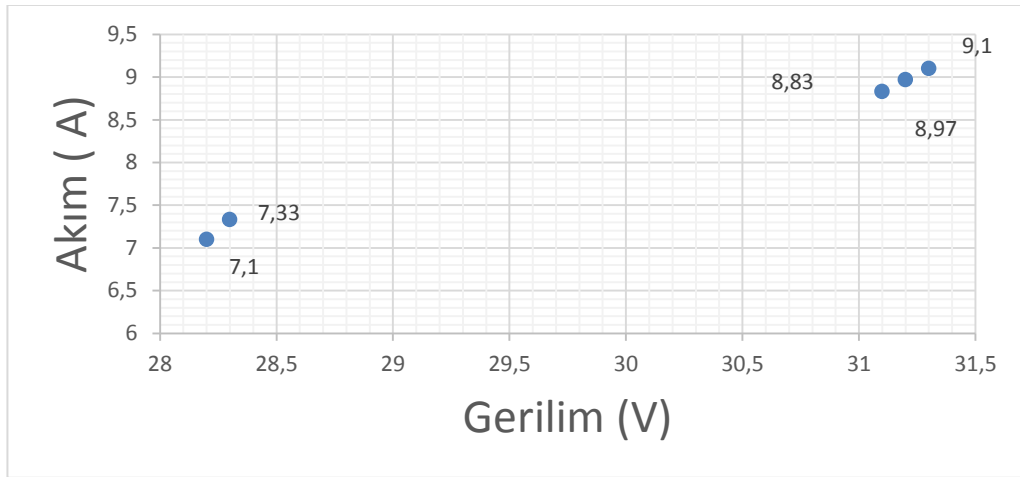
4. BULGULAR

4.1. GÜÇ, GERİLİM VE AKIM DEĞERLERİ

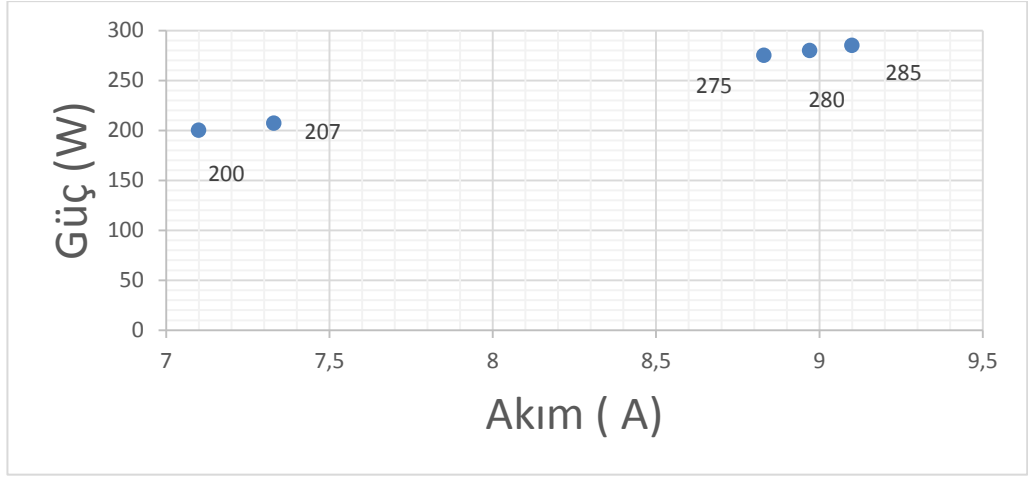
Kullanılan panel, TS EN 12975-1+A1 ve TS EN ISO 9806 standartlarına uygun olarak üretilmiş olup üretici firma tarafından belirtilen maksimum çalışma değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Maksimum güç değeri 285 Watt’tır. Bu noktadan sonra tez kapsamında yapılan ölçümlerde olduğu gibi güç değeri düşüş göstermektedir. Üretici firma düşüş değerlerini broşüründe ve kullanım kılavuzunda göstermemiştir. Tez çalışmasında kullanılan güneş panelinin akım-gerilim değerleri Şekil 4.1’de, akım-güç değerleri ise Şekil 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Tez kapsamında kullanılan güneş panelinin güç, gerilim ve akım değerleri.

Değer	Değer - 1	Değer -2	Değer - 3	Değer - 4	Değer - 5
Güç (W)	200	207	275	280	285
Gerilim (V)	28,2	28,3	31,1	31,2	31,3
Akım (A)	7,1	7,33	8,83	8,97	9,1



Şekil 4.1: Tez çalışmasında kullanılan güneş panelinin akım-gerilim değerleri.



Şekil 4.2: Tez çalışmasında kullanılan güneş panelinin akım-güç değerleri.

4.2. STANDART KAPLAMA CAM

Tez kapsamında kullanılan güneş panelinin sökülen kaplama camı Şekil 4.3’de verilmiştir. Bu cam kaplamanın analiz değerleri Tablo 4.2’te verilmiştir. Cam analiz işlemleri, DIN EN 12975-1 ve DIN EN 12975-2 standartlarına uygundur.

Tablo 4.2: Tez kapsamında kullanılan güneş panelinin kaplama cam analizi.

Element	İçerik (%)
SiO ₂	72
Na ₂ O	14
CaO	9
MgO	4
Al ₂ O ₃	< 1
Fe ₂ O ₃	< 0,02



Şekil 4.3: Tez çalışmasında kullanılan güneş panelinin sökülmüş camları.

4.3. YENİ YAPILAN KAPLAMA CAM

Tez kapsamında yapılan cam kaplama analiz değerleri Tablo 4.3’de verilmiştir. Cam analiz işlemleri, DIN EN 12975-1 ve DIN EN 12975-2 standartlarına uygundur.

Tablo 4.3: Tez kapsamında yapılan yeni cam kaplamanın cam analizi.

Element	İçerik (%)
SiO ₂	81
Na ₂ O	4
CaO	0
MgO	0
Al ₂ O ₃	2
B ₂ O ₃	13

Standart cam harmanında %72 SiO₂, %14 Na₂O, %9 CaO, %4 MgO ve %1'den az oranda Al₂O₃ içeriği; borosilikat cam harmanında ise %81 SiO₂, %13 B₂O₃, %4 Na₂O/K₂O ve %2 Al₂O₃ içeriği bulunmaktadır. Tablo 4.4'de bu harman oranları ve eklenen mineral miktarları verilmiştir (Aydın, 2012).

Tablo 4.4: Cam harmalarında bulunan mineraller ve katkı miktarları.

CAM HARMANINDAKİ MİNERALojİK YAPI			CAM HARMANINA EKLENEN SAF MİNERAL MİKTARI
STANDART CAM	Bileşik	İçerik (%)	100 gram cam üretimi için (gram)
Kuvars	SiO ₂	72	72,00
Tabii Soda - Na ₂ CO ₃	Na ₂ O	14	23,94 (CO ₂ uçar.)
Kireçtaşı - CaCO ₃	CaO	9	15,89 (CO ₂ uçar.)
Dolomit - MgCa(CO ₃) ₂	MgO	4	37,35 (CO ₂ uçar.)
Feldspat + Kaolen	Al ₂ O ₃	<1	1,7+1,7 (SiO ₂ göz ardı edildi.)
BOROSİLİKAT CAM	Bileşik	İçerik (%)	100 gram cam üretimi için (gram)
Kuvars	SiO ₂	81	81,00
Tabii Soda - Na ₂ CO ₃	Na ₂ O	4	6,84 (CO ₂ uçar.)
Borik Asit - H ₃ BO ₃	B ₂ O ₃	13	23,08 (H ₂ O oluşumu.)
Feldspat + Kaolen	Al ₂ O ₃	2	3,4+3,4 (SiO ₂ göz ardı edildi.)

4.4. CAM KAPLAMALARIN IŞIK DURUMU

Sökülen güneş panelinin cam kalınlığı 4 mm'dir ve ışık kayıp oranı üretici firmanın verdiği broşür bilgilerine ve yapılan ölçümlere göre maksimum %12'dir. Bu ölçümlerde kullanılan hemisferik aydınlatma testinde, gönderilen ışığın cam yüzeyinde ne kadarlık bir alanı kapsadığı test edilmiştir. Test için seçilen ışık türü ile ilgili ölçümler Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.

Öncelikle tungsten halojen ışık kaynağı kullanılmıştır. Ölçümler sonucunda gerilim 2,28 volt, akım 2,26 amper ve güç 5,15 watt olarak görülmüştür.



Şekil 4.4: Tungsten halojen ışık kaynağı ile akım ve volt ölçümü.

İkinci olarak florasen ışık kaynağı kullanılmıştır. Ölçümler sonucunda gerilim 1,94 volt, akım 1,94 amper ve güç 3,78 watt olarak görülmüştür.



Şekil 4.5: Florasan ışık kaynağı ile akım ve volt ölçümü.

Üçüncü olarak ultraviyole ışık kaynağı kullanılmıştır. Ölçümler sonucunda gerilim 0,18 volt, akım 0,18 amper ve güç 0,03 watt olarak görülmüştür.



Şekil 4.6: Florasan ışık kaynağı ile akım ve volt ölçümü.

Son olarak güneş ışığı altında ölçümler yapılmıştır. Böylece bu değerlere en yakın ışık kaynağı ile laboratuvar ortamında ölçüm yapılabilecek ışık türü belirlenebilecektir. Ölçümler sonucunda gerilim 2,12 volt, akım 2,12 amper ve güç 4,52 watt olarak görülmüştür.

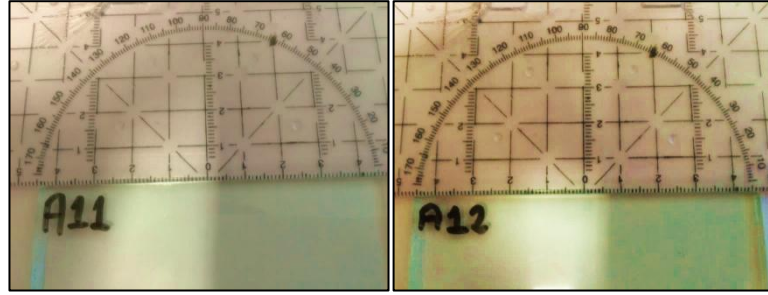


Şekil 4.7: Güneş ışığı altında akım ve volt ölçümü.

Güneş ışığı altında yapılan ölçümler sonucu elde edilen değerlere en yakın sonucu tungsten halojen ışık kaynağı verdiğinden testlerde bu ışık kaynağı tercih edilmiştir.

4.4.1. 2 mm'lik Cam Kaplamalar

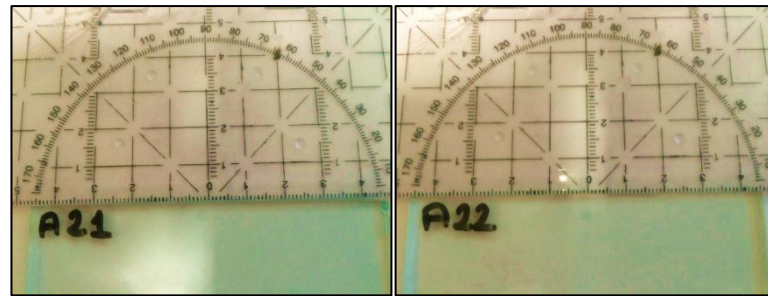
2 mm'lik yapılan cam kaplamalar, üzerlerine gelen ışığın %38'ini kaybetmektedir. Şekil 4.8'de 2 mm'lik cam kaplamaların güneş kaybı verilmiştir.



Şekil 4.8: 2 mm'lik cam kaplamaların ışık kaybı.

4.4.2. 3 mm'lik Cam Kaplamalar

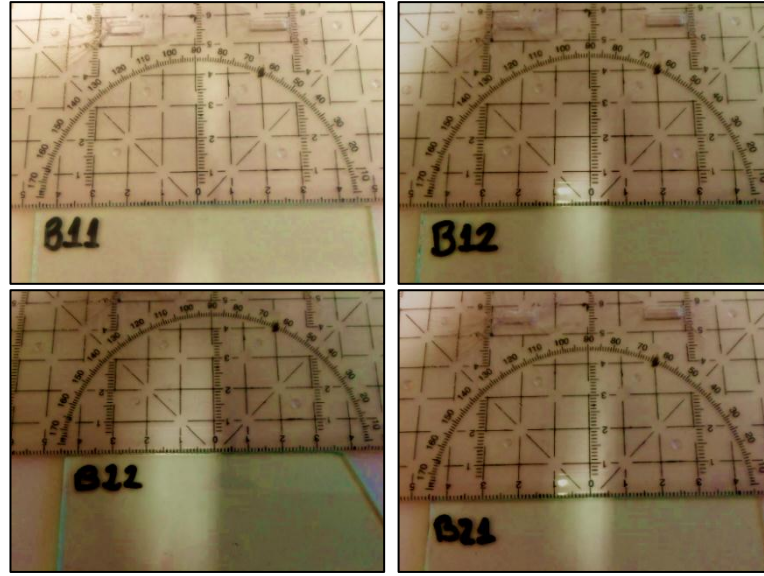
3 mm'lik yapılan cam kaplamalar, üzerlerine gelen ışığın %23'ünü kaybetmektedir. Şekil 4.9'da 3 mm'lik cam kaplamaların güneş kaybı verilmiştir.



Şekil 4.9: 3 mm'lik cam kaplamaların ışık kaybı.

4.4.3. 4 mm'lik Cam Kaplamalar

4 mm'lik yapılan cam kaplamalar, üzerlerine gelen ışığın %13'ünü kaybetmektedir. Şekil 4.10'de 4 mm'lik cam kaplamaların güneş kaybı verilmiştir.



Şekil 4.10: 4 mm'lik cam kaplamaların ışık kaybı.

4.5. AKIM - GERİLİM İLİŞKİSİ ÖLÇÜMÜ

Akım-Gerilim ölçümünde kullanılan cam prototip kodları ve deney şekli Tablo 4.5'de ve bu deneylerin ölçüm sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.5: Yeni cam kaplamaların akım-gerilim ilişkisi ölçüm parametreleri.

DENEY NO	KULLANILAN PROTOTİP				DENEY ŞEKLİ
1	A_3-4				Tek Başına
2	B_1-2-3-4				Tek Başına
3	A_1-2				Tek Başına
4	A_1-2	B_1-2-3-4			Seri
5	A_1-2	A_3-4			Seri
6	A_3-4	B_1-2-3-4			Seri
7	A_1-2	A_3-4	B_1-2-3-4		Seri
8	A_1-2	B_1-2-3-4			Paralel
9	A_1-2	A_3-4			Paralel
10	A_3-4	B_1-2-3-4			Paralel
11	A_1-2	A_3-4	B_1-2-3-4		Paralel
12	A_3-4	A_3-4	B_1-2-3-4	B_1-2-3-4	Paralel
13	A_3-4	B_1-2-3-4	A_3-4	B_1-2-3-4	Paralel
14	A_3-4	B_1-2-3-4			Seri
15	A_3-4	B_1-2-3-4	A_3-4	B_1-2-3-4	Seri

Numunelerin testleri ilk olarak Şekil 4.11'de görüldüğü üzere tek başlarına yapılmıştır. Tüm cam prototipleri tek tek test edilmiştir. Ölçümler sonucu verimlerin çok düşük olduğu görüldüğünden Şekil 4.12'de görüldüğü üzere seri ve paralel bağlamalarla testlere devam edilmiştir.



Şekil 4.11: Numunelerin tek başlarına test ölçümleri.



Şekil 4.12: Numunelerin paralel ve seri bağlama test ölçümleri.

Tablo 4.6: Yeni cam kaplamaların akım-gerilim ilişkisi ölçüm değerleri (1-8 nolu deney sonuçları).

A_3-4																			
1	I (A)	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1	0.8	0.6			
	V (V)	0.2	4.8	10.5	11.4	12.1	12.6	13.1	13.3	13.6	13.8	14.1	14.4	14.5	14.8	15.2			
B_1-2-3-4																			
2	I (A)	3.3	3.2	3	2.9	2.7	2.6	2.5	2.3	2	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	0.8	0.6	
	V (V)	0.8	12.1	13.9	14.6	15	15.2	16	16.5	17	17.1	17.3	17.5	17.6	17.8	18.1	18.2	18.3	
A_1-2																			
3	I (A)	2.8	2.7	2.6	2.5	2.3	2	1.5	1.3	1.2	0.9	0.7							
	V (V)	0.2	12.2	13.1	14.2	15.3	16	17	17.2	17.3	17.6	18							
A_1-2 ve B_1-2-3-4 SERİ																			
4	I (A)	3.1	3	2.8	2.7	2.5	2.4	2.2	2	1.8	1.5								
	V (V)	1.5	6.1	11.3	17.6	28.9	31.1	31.8	32.5	33.7	34.6								
A_1-2 ve A_3-4 SERİ																			
5	I (A)	2.8	2.7	2.6	2.5	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4									
	V (V)	5	17.2	23.1	25.8	27.6	28.7	31	30.9	31.4									
A_3-4 ve B_1-2-3-4 SERİ																			
6	I (A)	3.3	3.1	3	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2	1.7	1.5	1.3					
	V (V)	1.3	7.6	10.8	15.7	24.1	26.5	28.2	29.1	30.9	31.4	32.4	33	33.2					
A_1-2 ve A_3-4 ve B_1-2-3-4 SERİ																			
7	I (A)	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2	1.9									
	V (V)	1.9	6.3	21.6	33	41.2	42.6	46.3	46.9	47.2									
A_1-2 ve B_1-2-3-4 PARALEL																			
8	I (A)	5.8	5.7	5.6	5.5	5.2	4.6	4.1	3.5	3.1	2.5	2.1	1.8	1.5	1				
	V (V)	0.6	3.2	8.9	11.6	13.6	15.4	16.2	17	17.4	17.7	18.2	18.3	18.4	18.5				

Tablo 4.7: Yeni cam kaplamaların akım-gerilim ilişkisi ölçüm değerleri (9-15 nolu deney sonuçları).

A_1-2 ve A_3-4 PARALEL																		
9	I (A)	5.8	5.7	5.4	5	4.2	3.8	3.1	2.8	2.6	2.1	1.8	1.5	1.2	1	0.7		
	V (V)	1.2	3.1	9.1	11	12.5	13.1	13.8	14.1	14.3	14.7	15.2	15.3	15.5	15.6	15.8		
A_3-4 ve B_1-2-3-4 PARALEL																		
10	I (A)	6.3	6.2	6.1	5.2	4.4	4.1	3.2	2.8	2.4	2	1.8	1.4	1.1	0.8			
	V (V)	2.7	8.4	10.6	12.8	13.7	14.3	15.1	15.3	15.4	15.7	15.8	16.2	16.3	16.4			
A_1-2 ve A_3-4 ve B_1-2-3-4 PARALEL																		
11	I (A)	8.8	8.4	8.3	7.6	5.8	4.2	3.1	2	1.7	1.5							
	V (V)	0.4	5.2	8.9	11.3	12.9	14.7	15.4	16.2	16.4	16.4							
(A_3-4 ve A_3-4) ve (B_1-2-3-4 ve B_1-2-3-4) PARALEL																		
12	I (A)	6.4	6.3	6.1	5.8	4.8	3.8	3.1	2.7	2.2	1.7	1.1	0.7					
	V (V)	2.2	15.3	21.9	25.4	27.9	29.7	31.7	32.1	32.6	33.2	33.7	34.4					
(A_3-4 ve B_1-2-3-4) ve (A_3-4 ve B_1-2-3-4) PARALEL																		
13	I (A)	6.5	6.2	5.9	5.8	5.5	4.8	4.2	3.8	3.6	2.7	2.1	1.7	1.5	0.6	0.5		
	V (V)	4.7	8.1	10.7	18.6	25.7	27.9	29.8	30.3	31.8	32.1	32.9	33.3	33.7	34.5	34.6		
A_3-4 ve B_1-2-3-4 SERİ																		
14	I (A)	5.9	5.7	5.5	5.3	5.1	4.3	3.7	3.3	2.7	2.4	2.1	1.7	1.2				
	V (V)	1.7	10.4	15.9	23.1	26	29.1	30.3	30.9	31.4	31.7	32.6	33.3	34				
(A_3-4 ve B_1-2-3-4) ve (A_3-4 ve B_1-2-3-4) SERİ																		
15	I (A)	6.2	6	5.3	4.8	4.3	3.6	3.1	2.6	2.4	1.9	1.6						
	V (V)	1.7	17.9	25.1	26.4	27.8	30.5	31.1	31.7	32.4	34	34.4						

4.6. AKIM - GÜÇ İLİŞKİSİ ÖLÇÜMÜ

Güneş panelinin akım-güç ilişkisi ölçümleri, akım-gerilim ölçümleri yapılan deney koşulları sabit tutularak ölçülmüştür. Akım-Güç ölçümünde kullanılan cam prototip kodları ve deney şekli Tablo 4.8’de ve bu deneylerin ölçüm sonuçları Tablo 4.9’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Yeni cam kaplamaların akım-güç ilişkisi ölçüm parametreleri.

DENEY NO	KULLANILAN PROTOTİP				DENEY ŞEKLİ
16	A_1-2	B_1-2-3-4			Seri
17	A_1-2	A_3-4			Seri
18	A_3-4	B_1-2-3-4			Seri
19	A_1-2	A_3-4	B_1-2-3-4		Seri
20	A_1-2	B_1-2-3-4			Paralel
21	A_1-2	A_3-4			Paralel
22	A_3-4	B_1-2-3-4			Paralel
23	A_1-2	A_3-4	B_1-2-3-4		Paralel
24	A_3-4	A_3-4	B_1-2-3-4	B_1-2-3-4	Paralel
25	A_1-2	B_1-2-3-4			Paralel
26	A_3-4	A_3-4	B_1-2-3-4	B_1-2-3-4	Seri
27	A_3-4	B_1-2-3-4			Paralel

Tablo 4.9: Yeni cam kaplamaların akım-güç ilişkisi ölçüm değerleri (16-23 nolu deney sonuçları).

A_1-2 ve B_1-2-3-4 SERİ																			
16	P (W)	29	36	43	49	54	60	66	71	74	75	74	44	8					
	I (A)	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2					
A_1-2 ve A_3-4 SERİ																			
17	P (W)	27	32	38	44	49	54	57	63	66	67	17							
	I (A)	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8							
A_3-4 ve B_1-2-3-4 SERİ																			
18	P (W)	28	33	39	44	49	54	61	64	70	71	70	43	37					
	I (A)	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2					
A_1-2 ve A_3-4 ve B_1-2-3-4 SERİ																			
19	P (W)	42	51	60	69	78	84	91	99	103	109	107	44	26					
	I (A)	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2					
A_1-2 ve B_1-2-3-4 PARALEL																			
20	P (W)	8	12	18	23	31	37	44	48	56	61	67	72	76	78	77	73	60	35
	I (A)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A_1-2 ve A_3-4 PARALEL																			
21	P (W)	6	12	16	24	28	34	40	46	52	56	62	64	63	57	46	32	26	14
	I (A)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A_3-4 ve B_1-2-3-4 PARALEL																			
22	P (W)	6	14	18	26	32	38	44	48	54	62	66	68	69	67	53	40	35	22
	I (A)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A_1-2 ve A_3-4 ve B_1-2-3-4 PARALEL																			
23	P (W)	10	18	26	36	46	54	62	72	80	90	96	102	103	101	88	72	60	34
	I (A)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Tablo 4.10: yeni cam kaplamaların akım-güç ilişkisi ölçüm değerleri (24-27 nolu deney sonuçları).

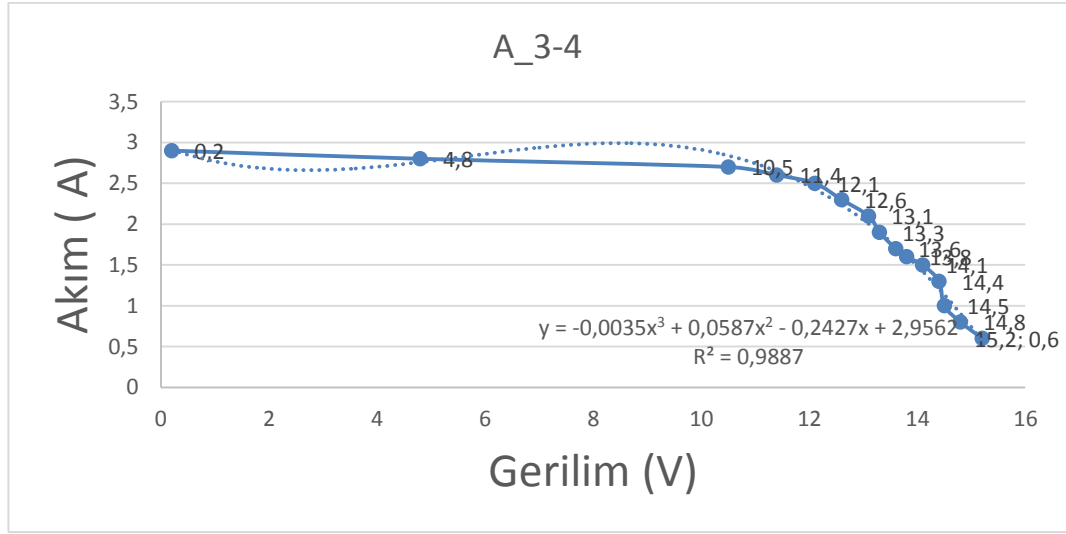
(A_3-4 ve A_3-4) ve (B_1-2-3-4 ve B_1-2-3-4) PARALEL

24	P (W)	14	22	38	50	62	72	84	98	110	122	130	138	136	128	106	80	70	40
	I (A)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A_1-2 ve B_1-2-3-4 PARALEL																			
25	P (W)	10	24	38	52	64	78	84	96	108	118	126	138	144	140	120	90	30	
	I (A)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	
(A_3-4 ve A_3-4) ve (B_1-2-3-4 ve B_1-2-3-4) SERİ																			
26	P (W)	18	36	50	64	82	94	110	122	132	142	138	116	22					
	I (A)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5					
A_3-4 ve B_1-2-3-4 PARALEL																			
27	P (W)	16	36	52	68	80	90	104	118	128	134	138	122	28					
	I (A)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5					

4.7. ÖLÇÜM GRAFİKLERİ

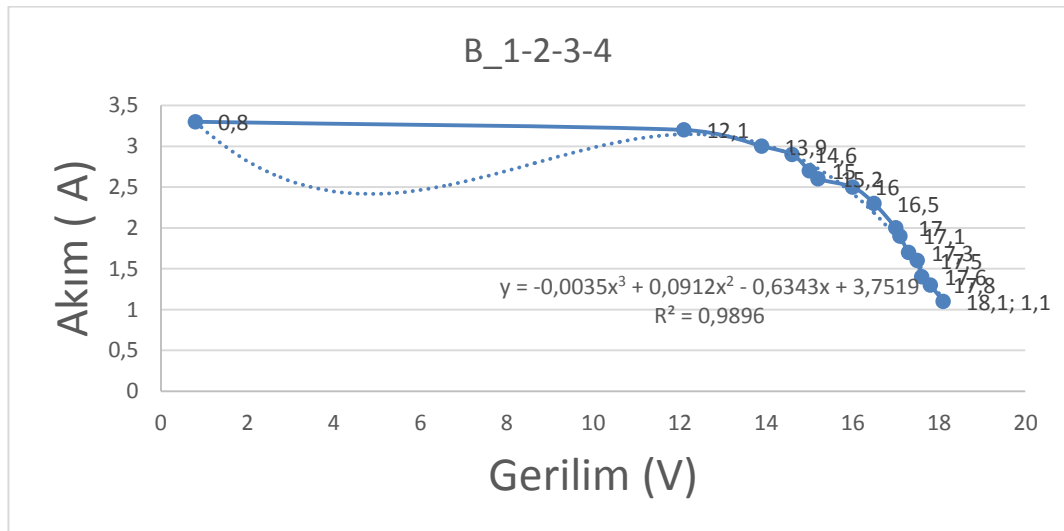
4.7.1. Akım - Gerilim Grafikleri

Akım-Gerilim ölçümlerinde akımın arttıkça gerilimin belirli bir noktada aniden düşüş gösterdiği görülmüştür. İlk ölçümler tez kapsamında yapılan cam kaplamaların tek başlarına takılması ile yapılmıştır. A_3-4 ölçümünde volt değeri 10,5'e geldiğinde gerilim değerinin aniden azalması Şekil 4.14'de verilmiştir.



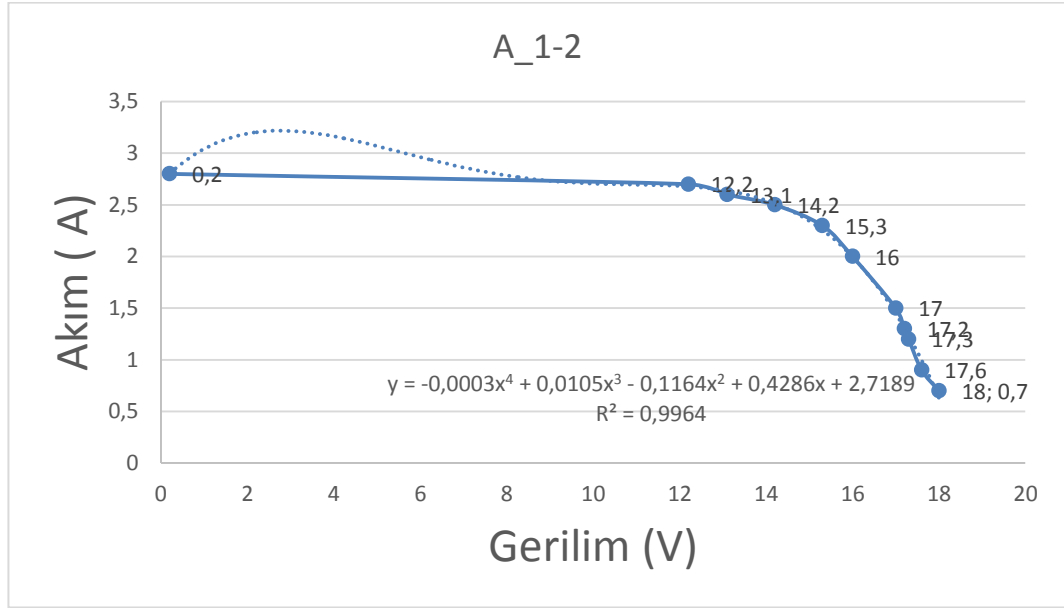
Şekil 4.14: A_3-4 akım-gerilim ölçüm grafiği.

B_1-2-3-4 ölçümünde volt değeri 12,1'a geldiğinde gerilim değerinin aniden azalması Şekil 4.15'de verilmiştir.



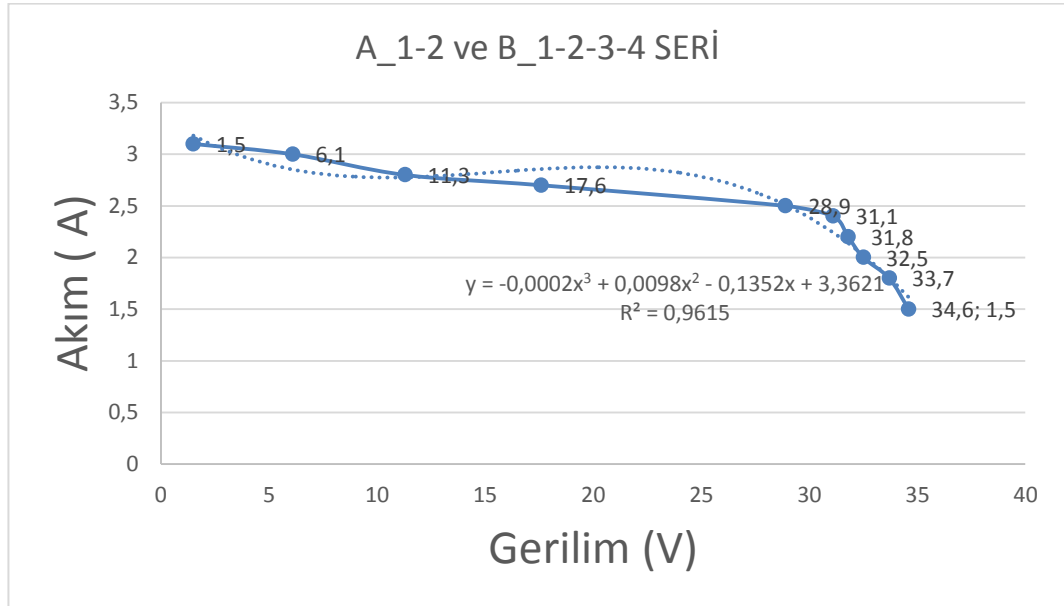
Şekil 4.15: B_1-2-3-4 akım-gerilim ölçüm grafiği.

A_1-2 ölçümünde volt değeri 12,2'ye geldiğinde gerilim değerinin aniden azalması Şekil 4.16'da verilmiştir.



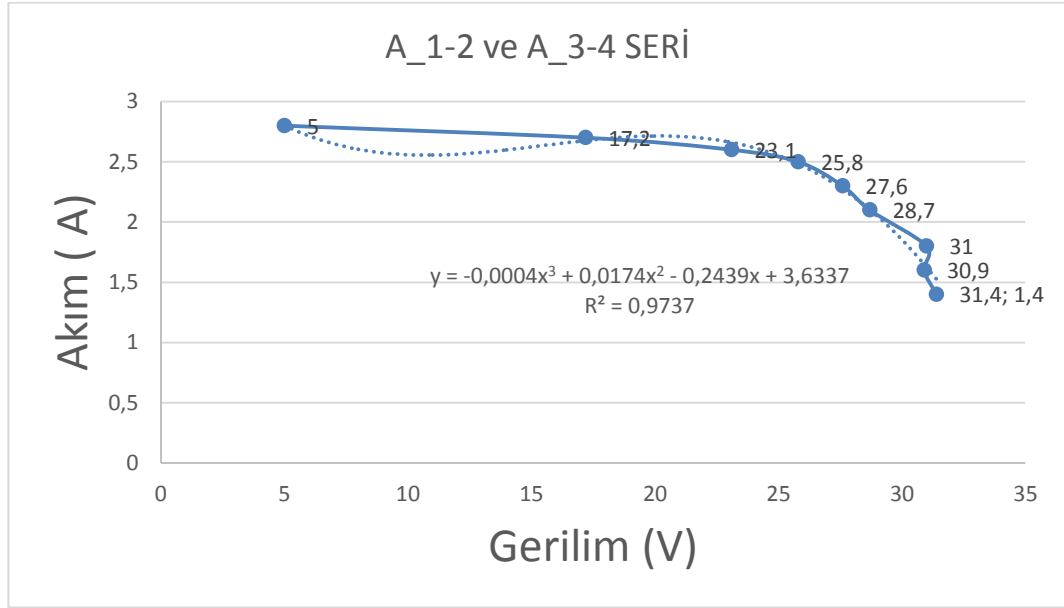
Şekil 4.16: A_1-2 akım-gerilim ölçüm grafiği.

İkinci ölçümler tez kapsamında yapılan cam kaplamaların seri takılması ile yapılmıştır. A_1-2 ve B_1-2-3-4'ün seri bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 28,9'a geldiğinde gerilim değerinin aniden azalması Şekil 4.17'de verilmiştir.



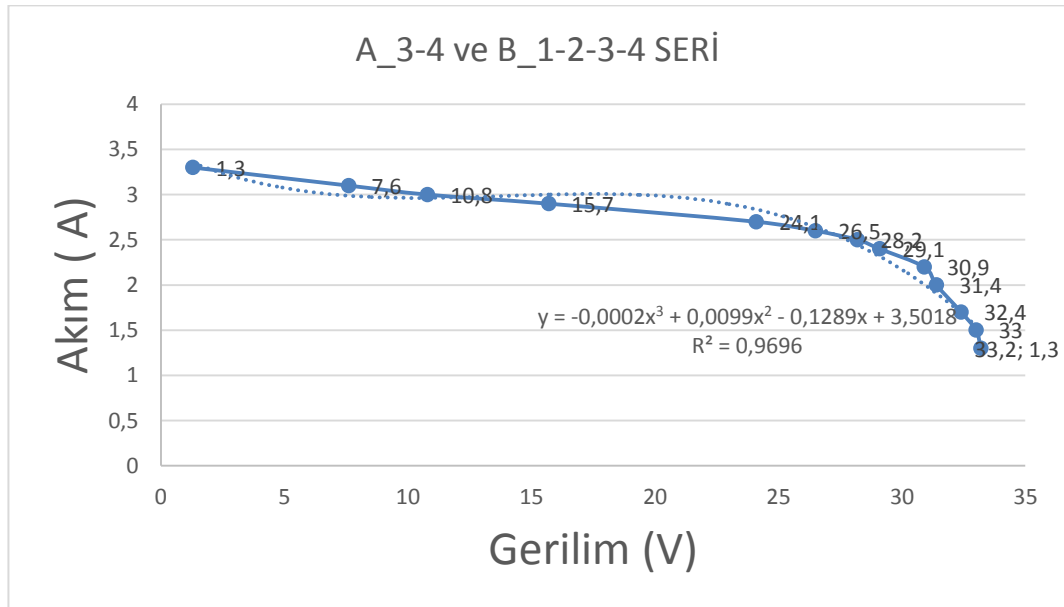
Şekil 4.17: A_1-2 ve B_1-2-3-4 seri akım-gerilim ölçüm grafiği.

A_1-2 ve A_3-4'ün seri bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 23,1'e geldiğinde gerilim değerinin aniden azalması Şekil 4.18'de verilmiştir.



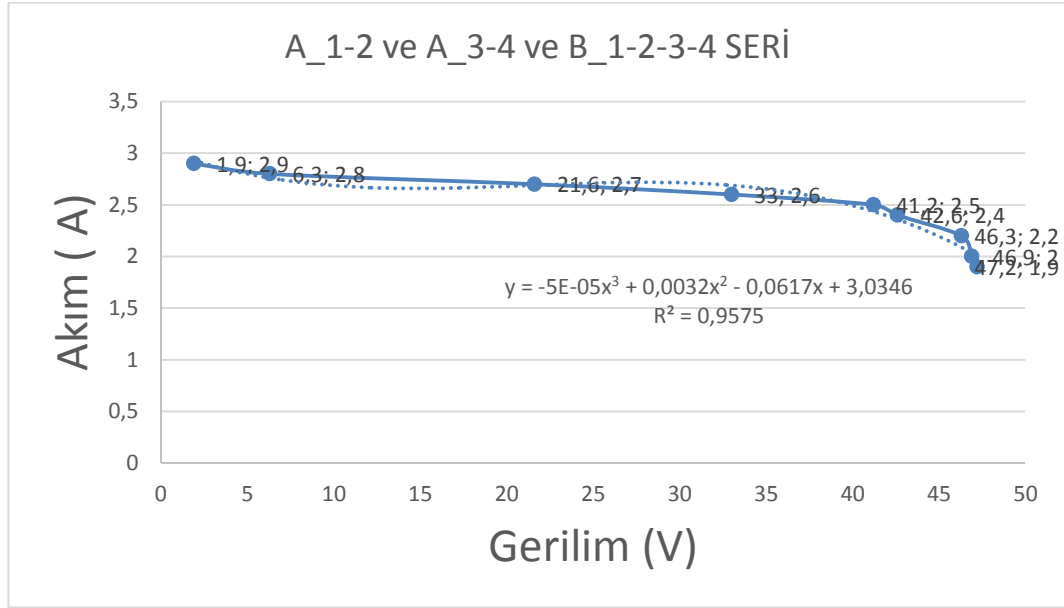
Şekil 4.18: A_1-2 ve A_3-4 seri akım-gerilim ölçüm grafiği.

A_3-4 ve B_1-2-3-4'ün seri bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 24,1'e geldiğinde gerilim değerinin azalması Şekil 4.19'da verilmiştir.



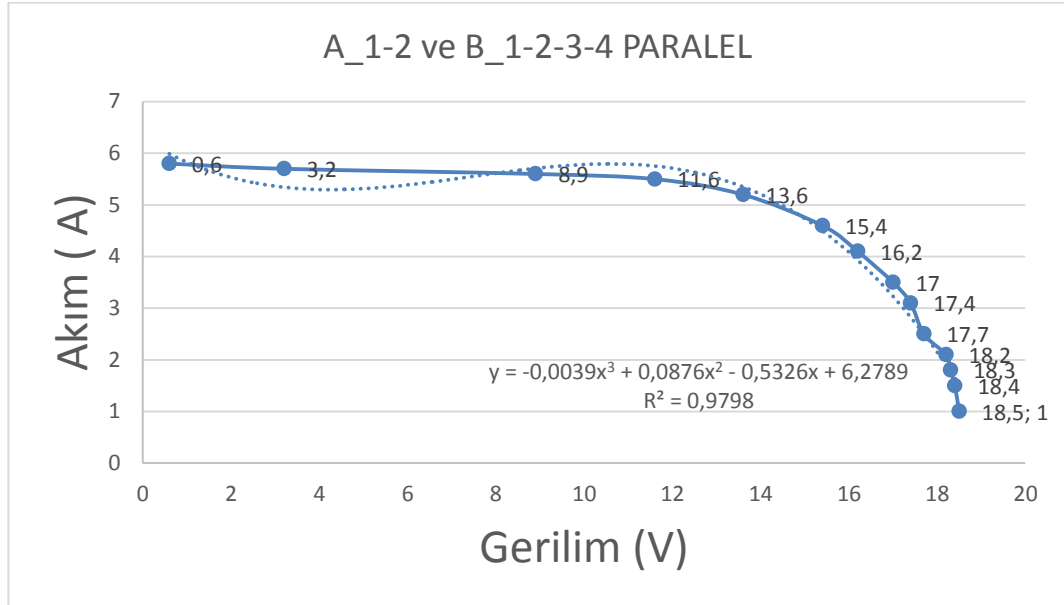
Şekil 4.19: A_3-4 ve B_1-2-3-4 seri akım-gerilim ölçüm grafiği.

A_1-2, A_3-4 ve B_1-2-3-4'ün seri bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 21,6'ye geldiğinde gerilim değerinin azalması Şekil 4.20'de verilmiştir.



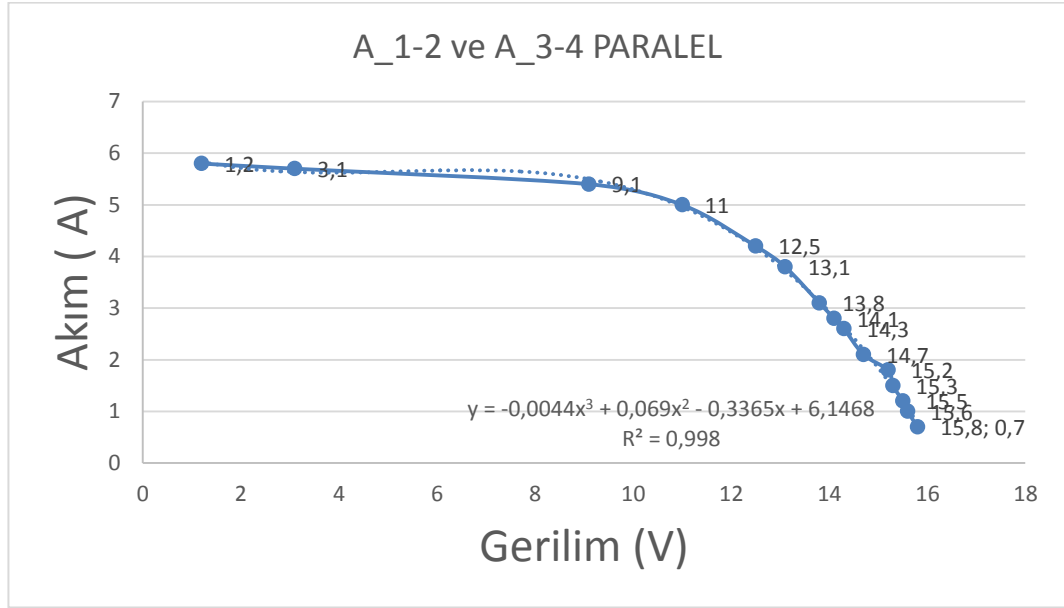
Şekil 4.20: A_3-4 ve B_1-2-3-4 ve B_1-2-3-4 seri akım-gerilim ölçüm grafiği.

Üçüncü ölçümler tez kapsamında yapılan cam kaplamaların paralel takılması ile yapılmıştır. A_1-2 ve B_1-2-3-4'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 11,6'ya geldiğinde gerilim değerinin azalması Şekil 4.21'de verilmiştir.



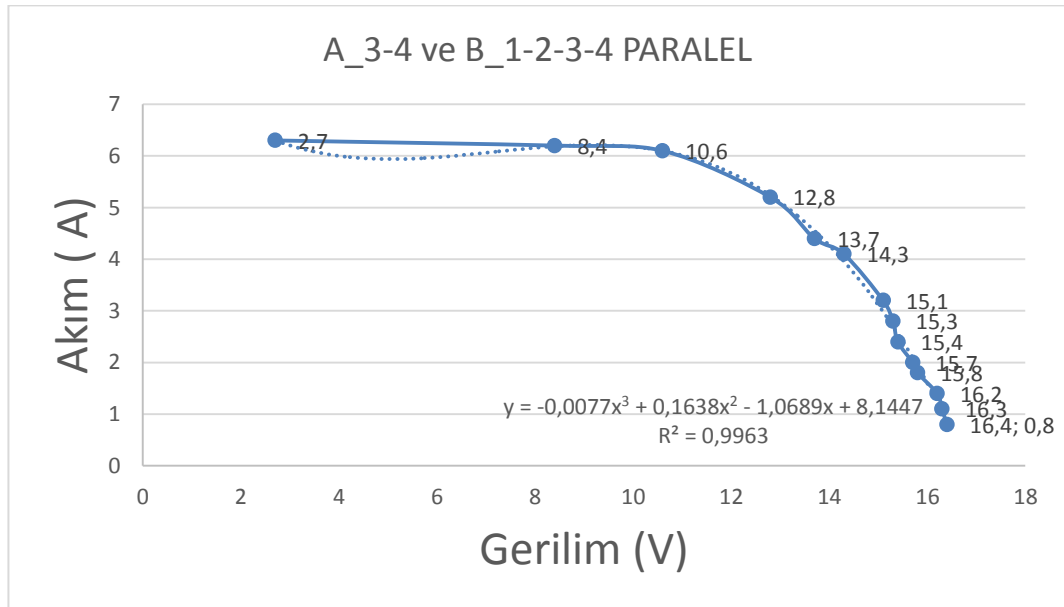
Şekil 4.21: A_1-2 ve B_1-2-3-4 paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.

A_1-2 ve A_3-4'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 9,1'e geldiğinde gerilim değerinin azalması Şekil 4.22'de verilmiştir.



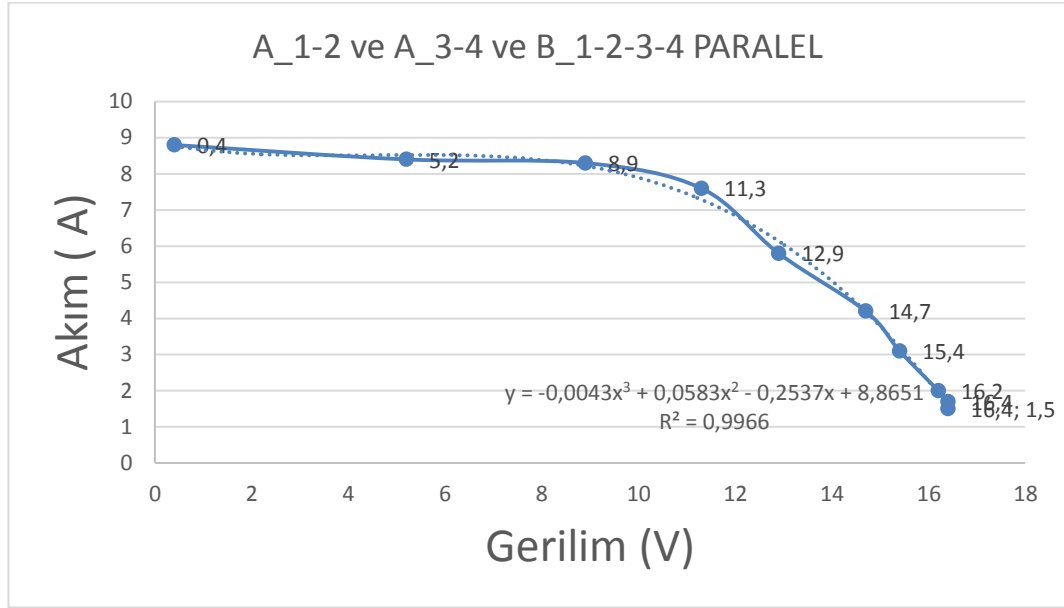
Şekil 4.22: A_1-2 ve A_3-4 paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.

A_3-4 ve B_1-2-3-4'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 10,6'ya geldiğinde gerilim değerinin azalması Şekil 4.23'de verilmiştir.



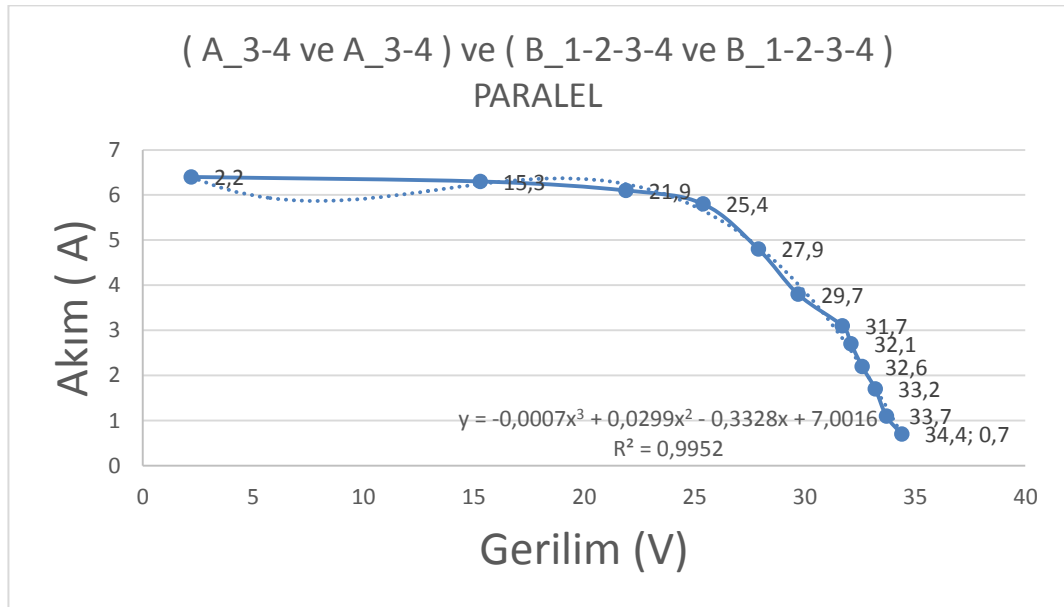
Şekil 4.23: A_3-4 ve B_1-2-3-4 paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.

A_1-2, A_3-4 ve B_1-2-3-4'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 11,3'e geldiğinde gerilim değerinin azalması Şekil 4.24'de verilmiştir.



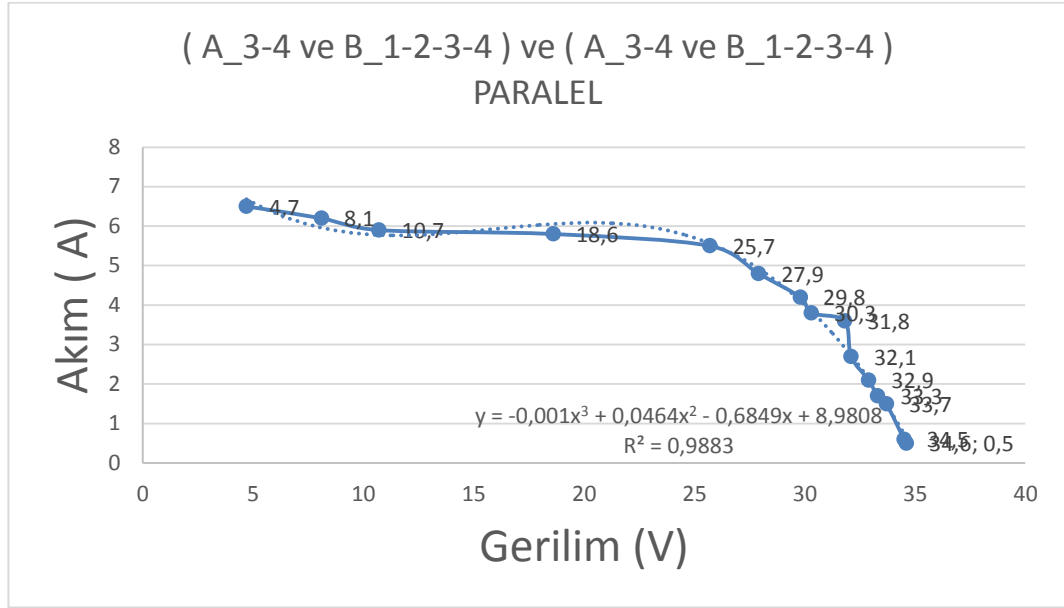
Şekil 4.24: A_1-2 ve A_3-4 ve B_1-2-3-4 paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.

(A_3-4, A_3-4) ve (B_1-2-3-4, B_1-2-3-4)'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 21,9'a geldiğinde gerilim değerinin azalması Şekil 4.25'de verilmiştir.



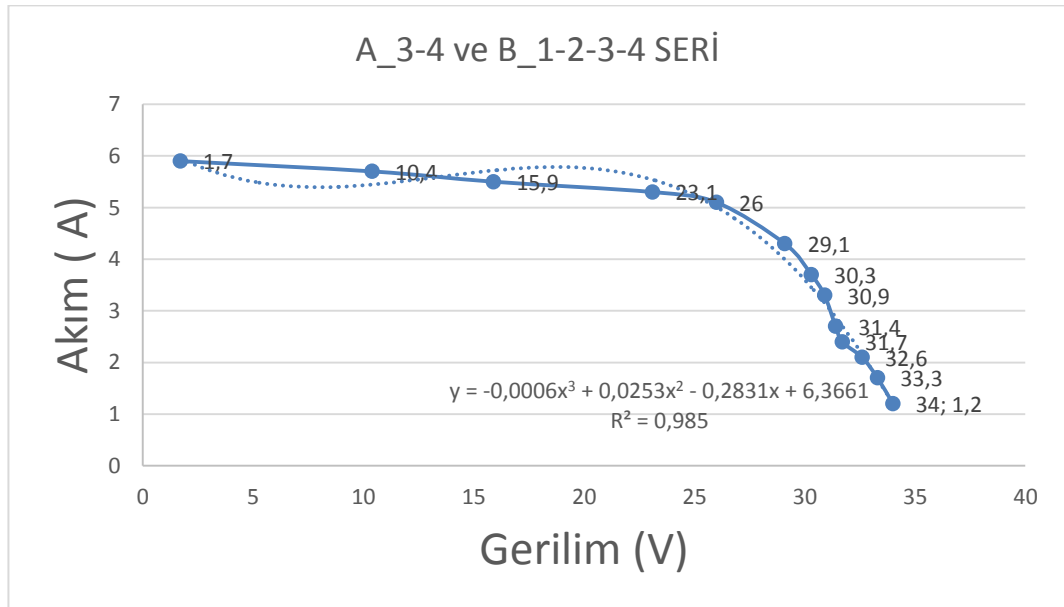
Şekil 4.25: (A_3-4 ve A_3-4) ve (B_1-2-3-4 ve B_1-2-3-4) paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.

(A_3-4, B_1-2-3-4) ve (A_3-4, B_1-2-3-4)'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 25,7'ye geldiğinde gerilim değerinin azalması Şekil 4.26'da verilmiştir.



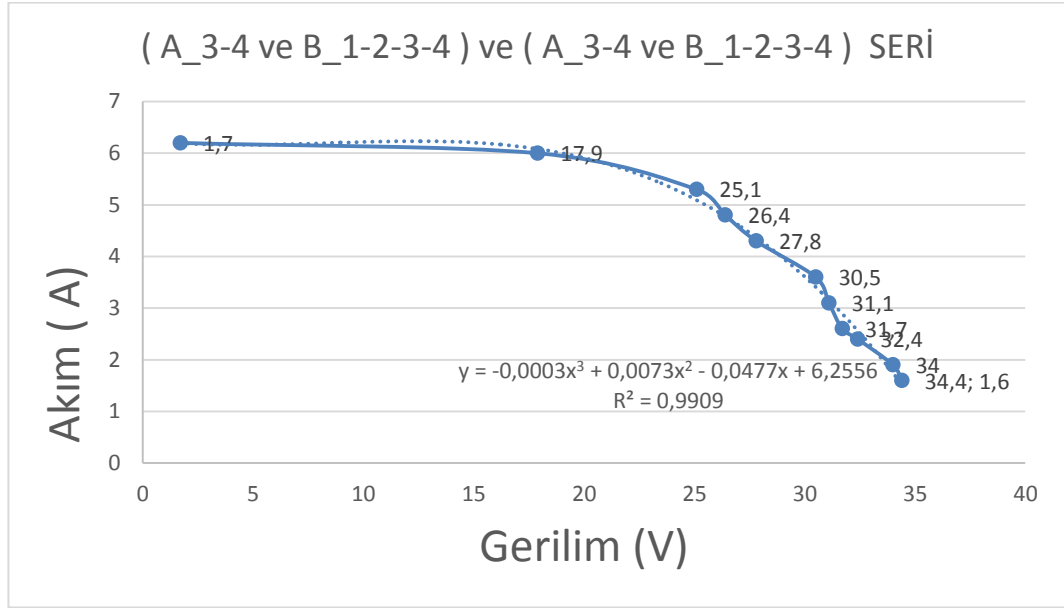
Şekil 4.26: (A_3-4 ve B_1-2-3-4) ve (A_3-4 ve B_1-2-3-4) paralel akım-gerilim ölçüm grafiği.

A_3-4 ve B_1-2-3-4'ün seri bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 23,1'e geldiğinde gerilim değerinin azalması Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27: A_3-4 ve B_1-2-3-4 seri akım-gerilim ölçüm grafiği.

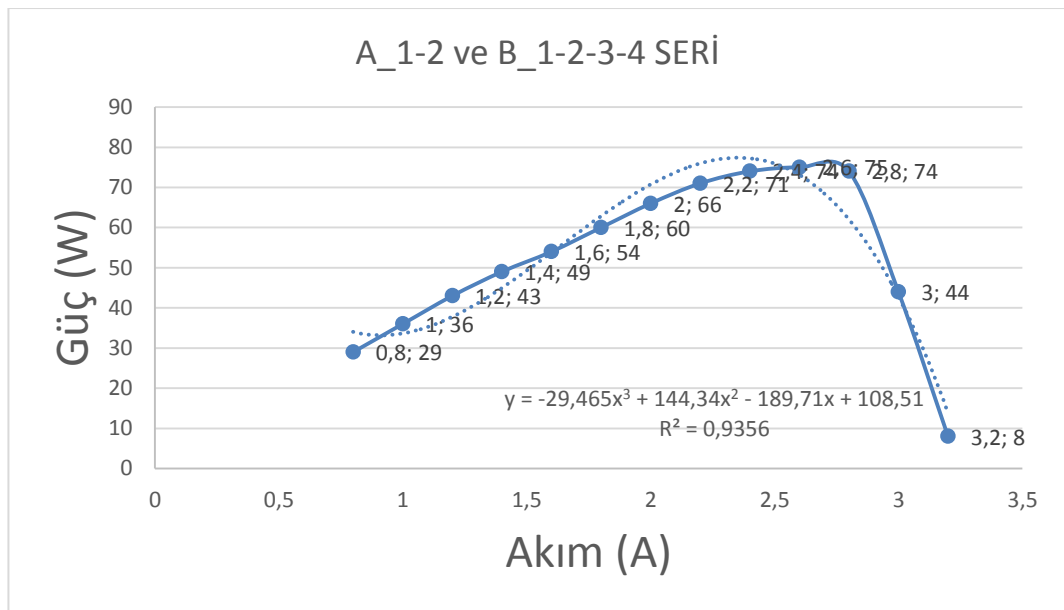
(A_3-4, B_1-2-3-4) ve (A_3-4, B_1-2-3-4)'ün seri bağlanarak yapılan ölçümünde volt değeri 17,9'a geldiğinde gerilim değerinin azalması Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.28: (A_3-4 ve B_1-2-3-4) ve (A_3-4 ve B_1-2-3-4) seri akım-gerilim ölçüm grafiği.

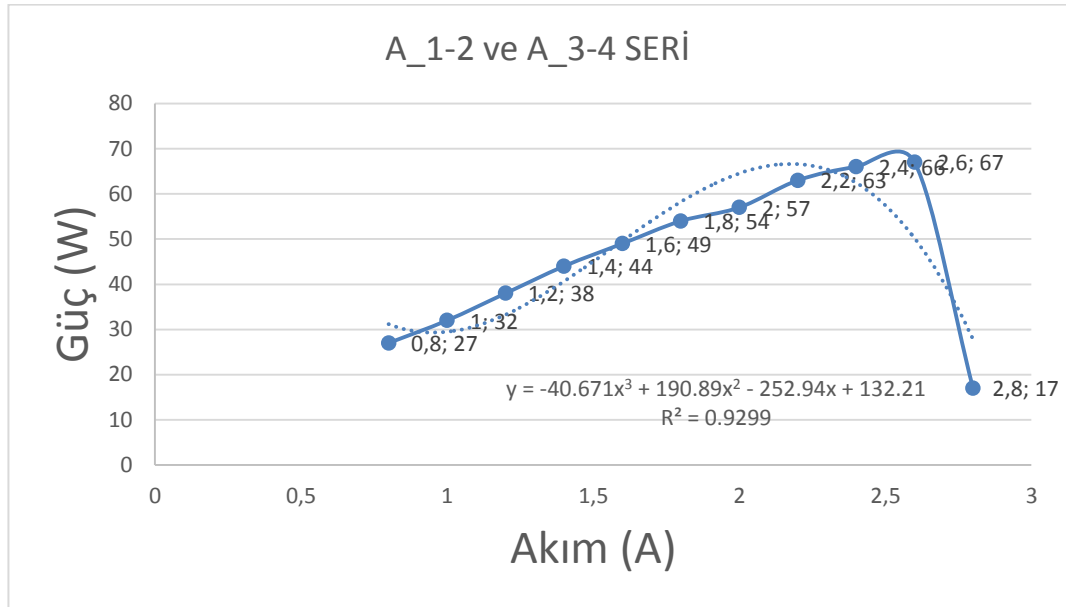
4.7.2. Akım - Güç Grafikleri

Akım-Güç ölçümlerinde akımın arttıkça gerilimin belirli bir noktada aniden düşüş gösterdiği görülmüştür. İlk ölçümler tez kapsamında yapılan cam kaplamaların seri takılması ile yapılmıştır. A_1-2 ve B_1-2-3-4'ün seri bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 75'e geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.29'da verilmiştir.



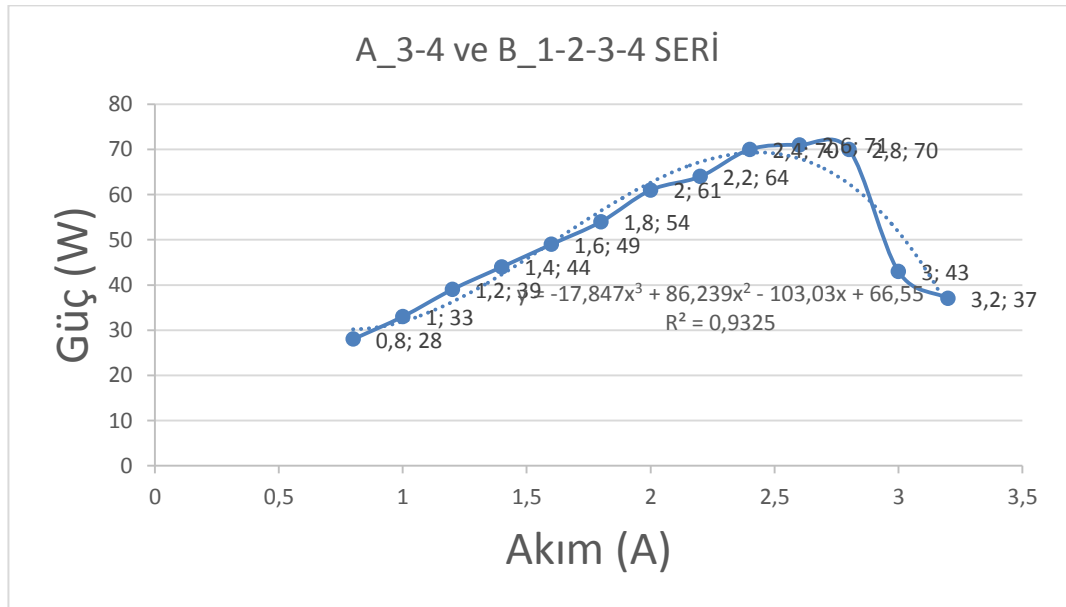
Şekil 4.29: A_1-2 ve B_1-2-3-4 seri akım-güç ölçüm grafiği.

A_1-2 ve A_3-4'ün seri bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 67'ye geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.30'da verilmiştir.



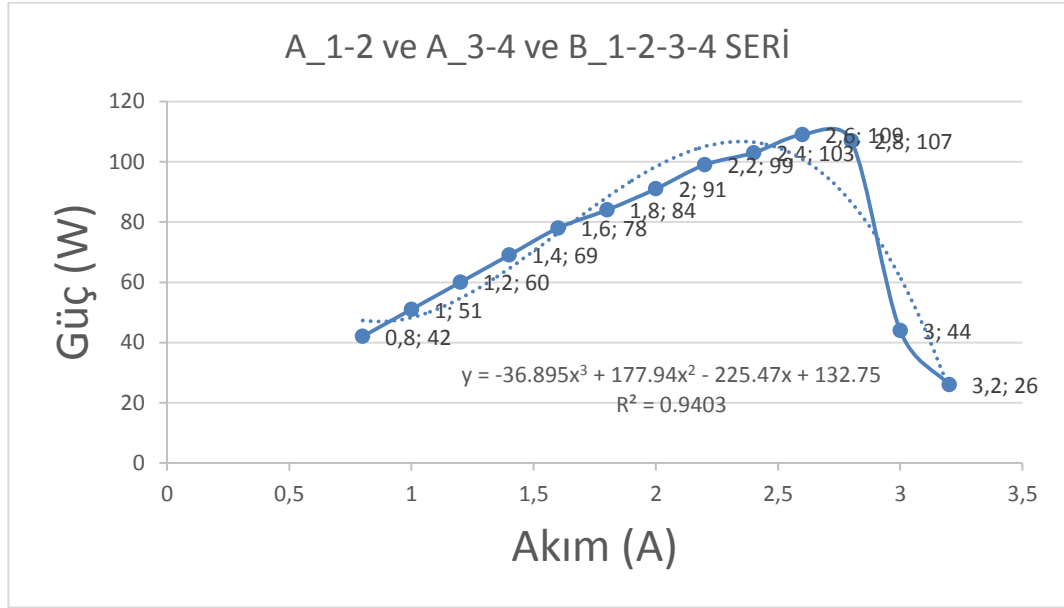
Şekil 4.30: A_1-2 ve A_3-4 seri akım-güç ölçüm grafiği.

A_3-4 ve B_1-2-3-4'ün seri bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 71'e geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.31'de verilmiştir.



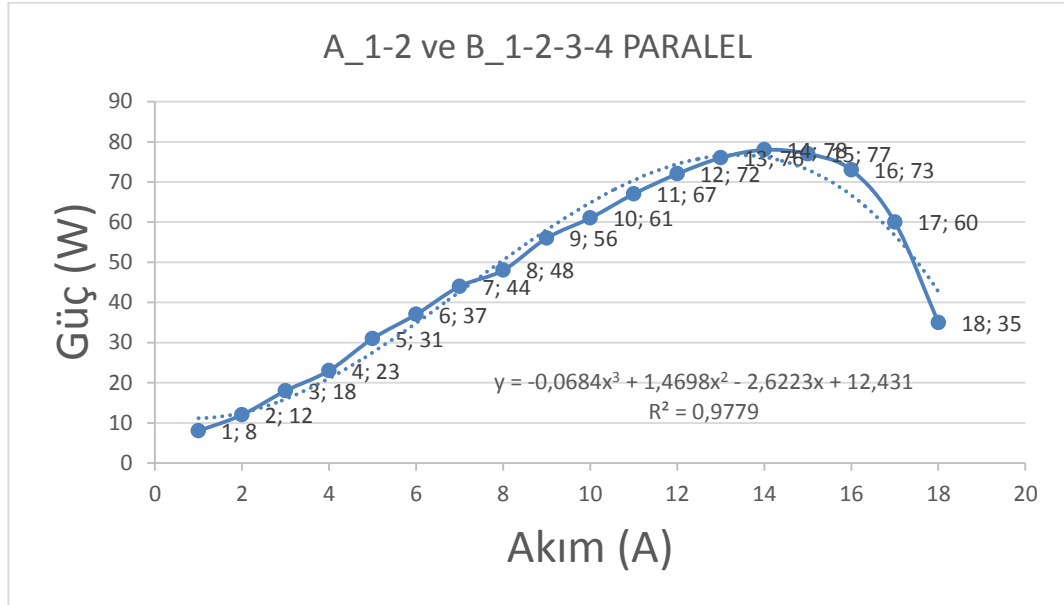
Şekil 4.31: A_3-4 ve B_1-2-3-4 seri akım-güç ölçüm grafiği.

A_1-2, A_3-4 ve B_1-2-3-4'ün seri bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 109'a geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.32'de verilmiştir.



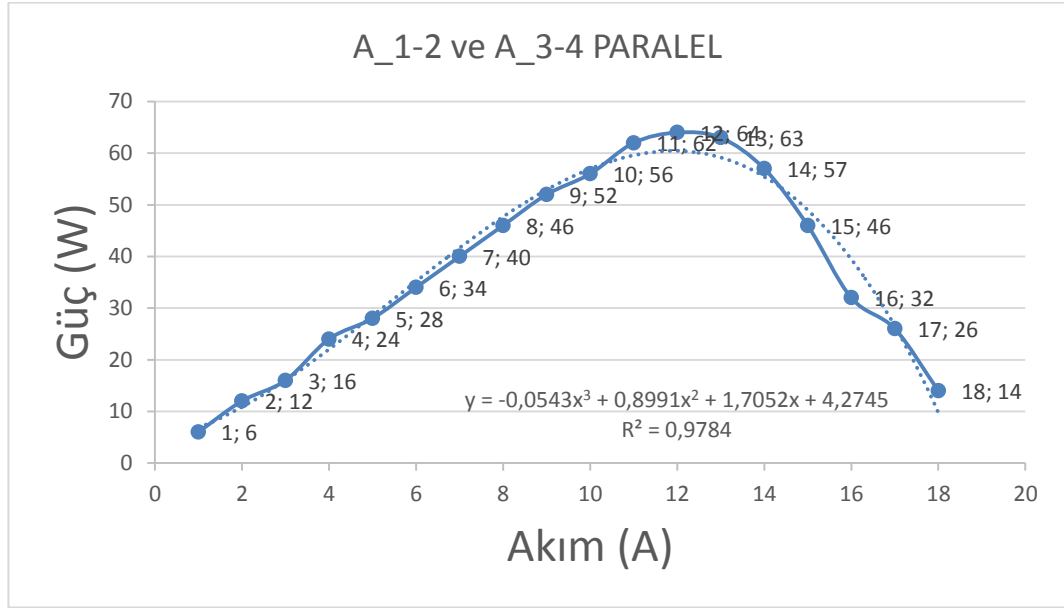
Şekil 4.32: A_1-2 ve A_3-4 ve B_1-2-3-4 seri akım-güç ölçüm grafiği.

İkinci ölçümler tez kapsamında yapılan cam kaplamaların paralel takılması ile yapılmıştır. A_1-2 ve B_1-2-3-4'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 78'e geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.33'de verilmiştir.



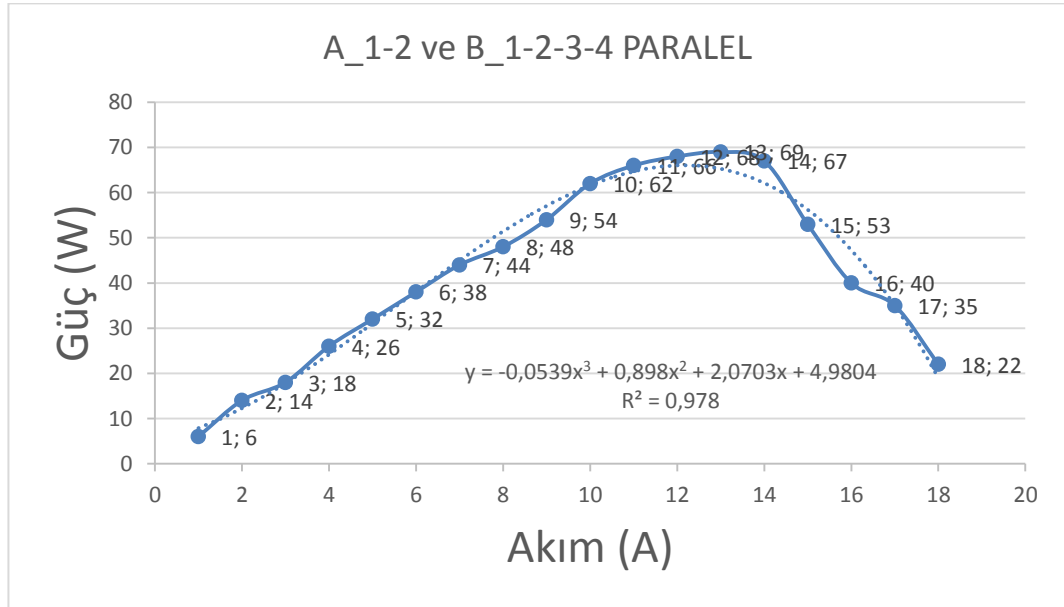
Şekil 4.33: A_1-2 ve B_1-2-3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.

A_1-2 ve A_3-4'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 64'e geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.34'de verilmiştir.



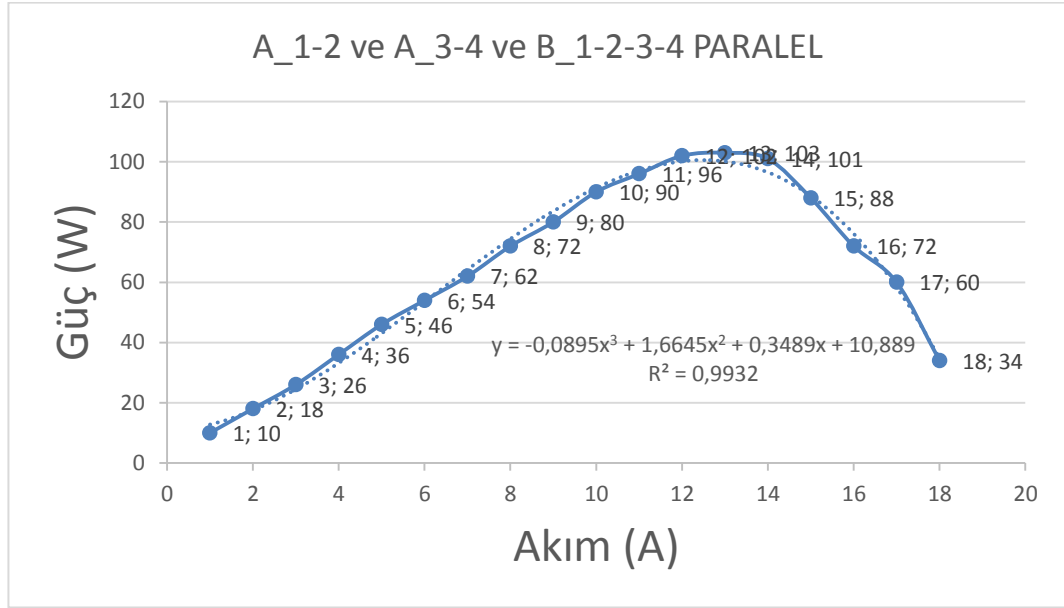
Şekil 4.34: A_1-2 ve A_3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.

A_1-2 ve B_1-2-3-4'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 69'a geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.35'de verilmiştir.



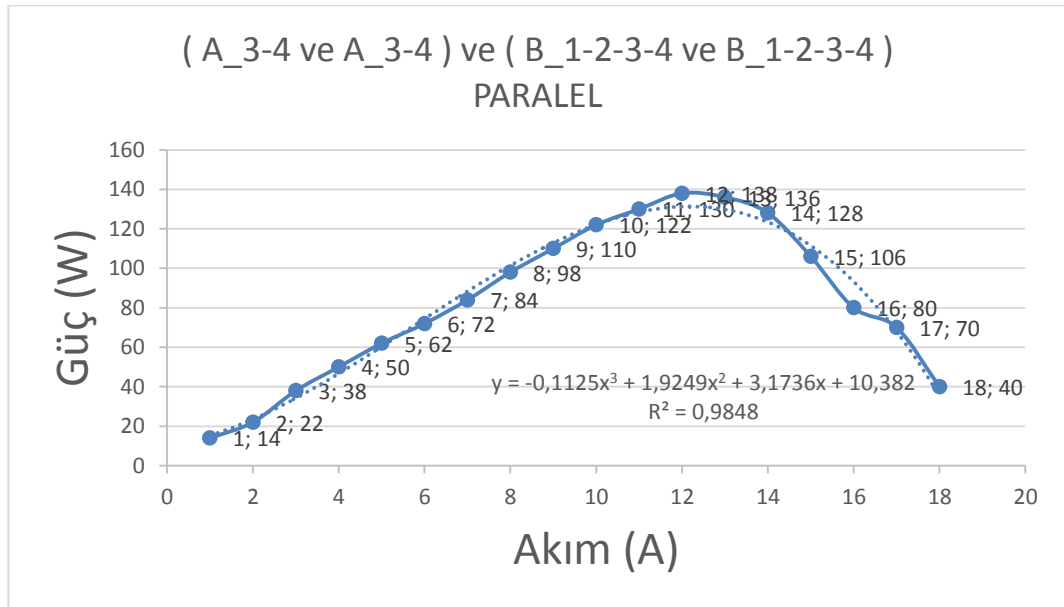
Şekil 4.35: A_1-2 ve B_1-2-3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.

A_1-2, A_3-4 ve B_1-2-3-4'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 102'ye geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.36'da verilmiştir.



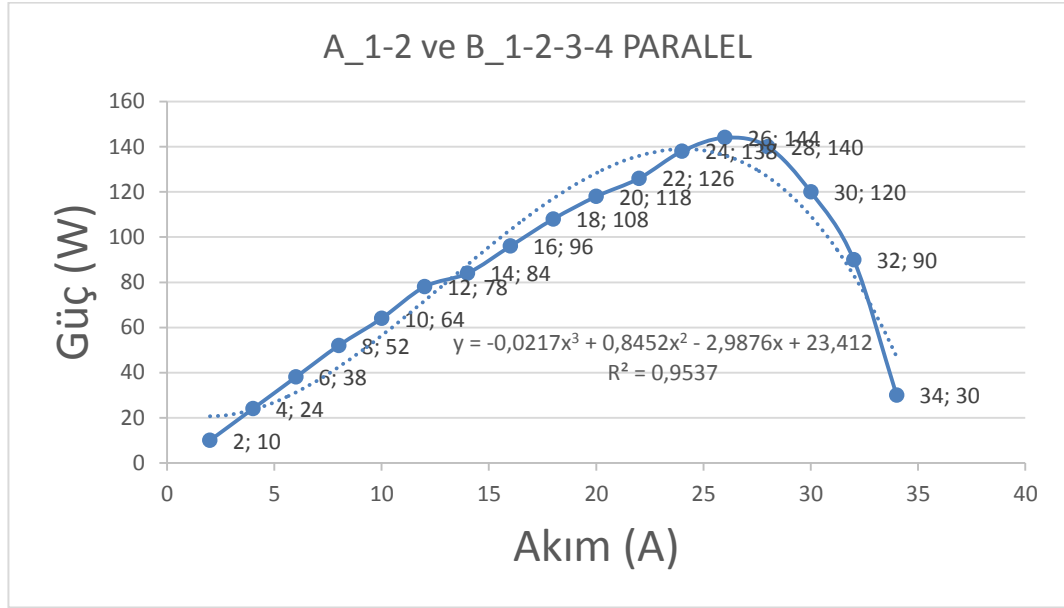
Şekil 4.36: A_1-2 ve A_3-4 ve B_1-2-3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.

(A_3-4, A_3-4) ve (B_1-2-3-4, B_1-2-3-4)'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 138'e geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.37'de verilmiştir.



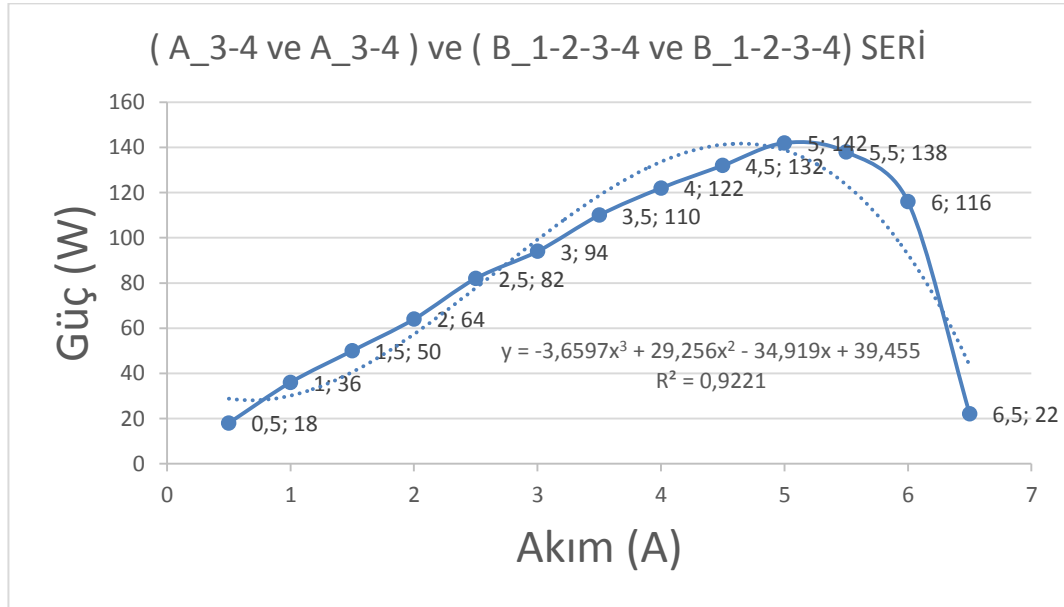
Şekil 4.37: (A_3-4 ve A_3-4) ve (B_1-2-3-4 ve B_1-2-3-4) paralel akım-güç ölçüm grafiği.

A_1-2 ve B_1-2-3-4'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 144'e geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.38'de verilmiştir.



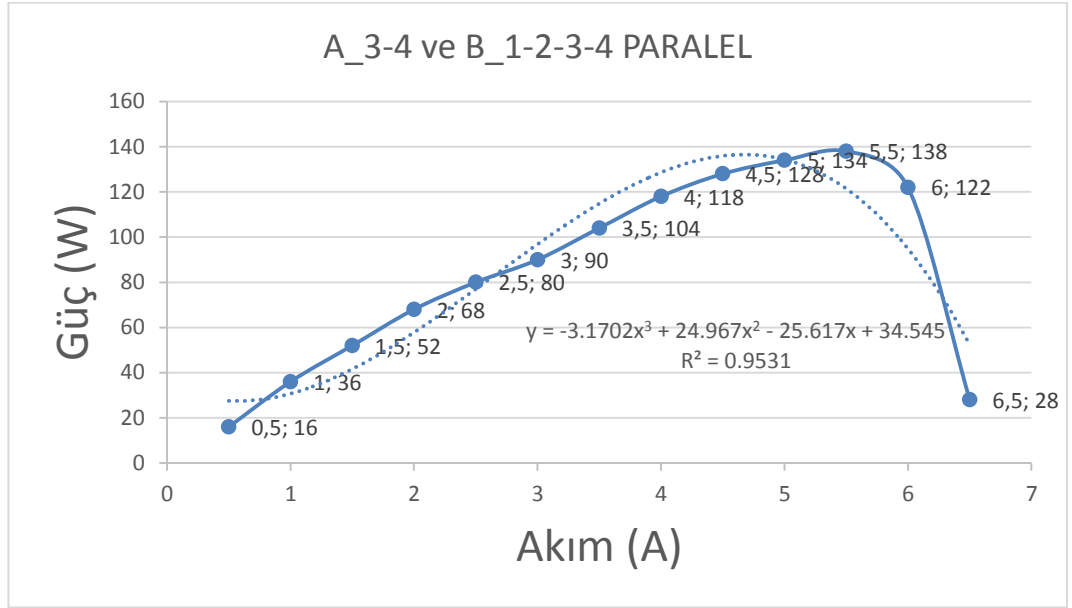
Şekil 4.38: A_1-2 ve B_1-2-3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.

(A_3-4, A_3-4) ve (B_1-2-3-4, B_1-2-3-4)'ün seri bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 142'ye geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.39: (A_3-4 ve A_3-4) ve (B_1-2-3-4 ve B_1-2-3-4) seri akım-güç ölçüm grafiği.

A_3-4 ve B_1-2-3-4'ün paralel bağlanarak yapılan ölçümünde güç değeri 138'e geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 4.40'da verilmiştir.

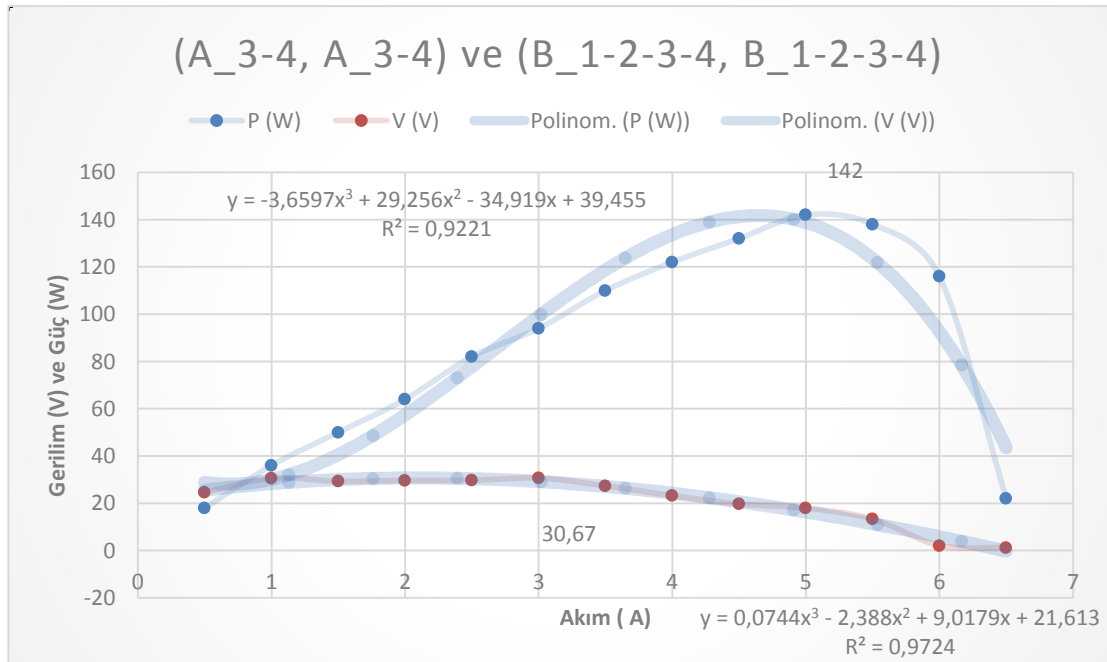


Şekil 4.40: A_3-4 ve B_1-2-3-4 paralel akım-güç ölçüm grafiği.

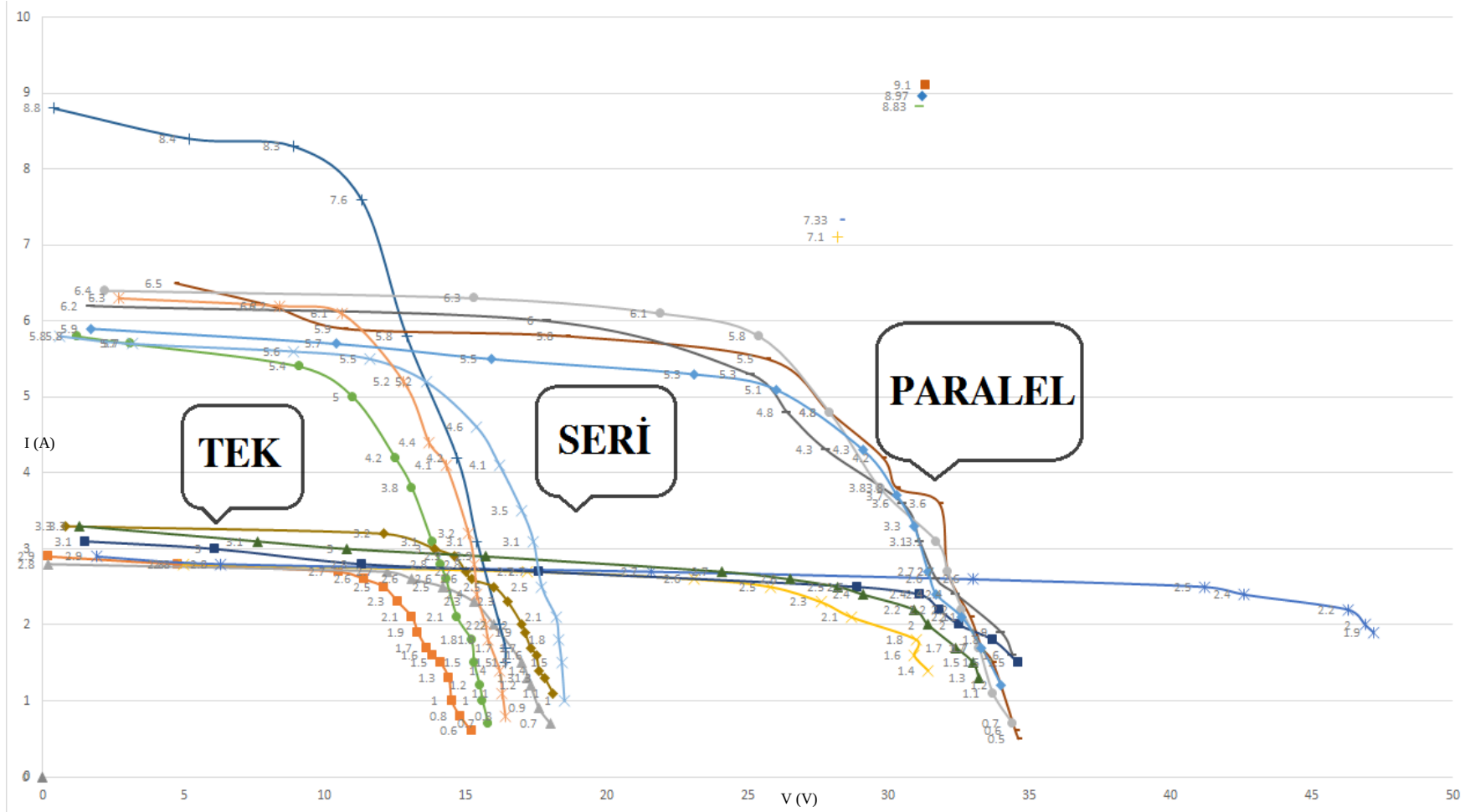
5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez kapsamında denenen borosilikat cam kaplamaların akım-gerilim ve akım-güç değerlerinin hâlihazırda kullanılan güneş panelinin değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle seri ve paralel bağlamalarla değerlerin arttırılması amaçlanmıştır. Fakat yapılan her türlü kombinasyonda sistemin belirli bir akım değerinde aniden değer kaybettiği görülmüştür.

Deneyle sırasında A_3-4 ile B_1-2-3-4'ün ikili gruplar halinde seri ve paralel olarak bağlanması ile en yüksek veriler elde edilmiştir. (A_3-4, B_1-2-3-4) ile (A_3-4, B_1-2-3-4)'ün paralel bağlanması ile yapılan ölçümde volt değeri 30,67'ye geldiğinde gerilim değerinin azalması ve (A_3-4, A_3-4) ile (B_1-2-3-4, B_1-2-3-4)'ün paralel bağlanması ile yapılan ölçümde güç değeri 142'ye geldiğinde akım değerinin azalması Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1: (A_3-4, A_3-4) ve (B_1-2-3-4, B_1-2-3-4) akım-güç ve akım-gerilim ölçüm grafiği.



Şekil 5.2: Yapılan tüm akım-gerilim ölçümlerinin grafiği.

Şekil 5.3’de de görüldüğü üzere prototiplerin seri bağlamalarla yapılan ölçümlerde performans oldukça düşüktür. En iyi performansı paralel bağlamalar gösterse de güneş panelinin orijinal performansına yaklaşık %75 oranında yaklaşılmıştır.

Sonuç olarak, tez kapsamında borosilikat kaplama camı kullanılan güneş panelinden düz kaplama camı kullanılan güneş panelinde erişilen minimum güç değeri olan 200 W değeri sağlanamamış, ancak daha düşük akımda daha yüksek gerilim sağlanabilmiştir. Üretilen enerjinin depolanmasında (akü, şarj vb.) yeni yapılan cam kaplamaların kullanılması söz konusu olabilir, fakat doğrudan enerji sağlayan bir sisteme bağlanması durumunda (örneğin bir makinanın çalıştırılması gibi) gücün yeterli olmayacağı görülmüştür.

Düz cam harmanına sabit oranda karıştırılan borik asit bileşiğinin borosilikat kaplama camı olarak güneş panelinde kullanımının, elektriksel anlamda test edildiği bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; daha iyi sonuçlar alınabilmesi için bundan sonraki çalışmalarda cam harmanına ilave edilen borlu bileşiğin cinsi, miktarı ve karışım oranlarının değiştirilmesi, ayrıca elektriksel verime etki edecek tüm parametrelerin denendiği ve kimyasal-mineralojik ve elektriksel verim etki mekanizmalarının tam olarak incelenmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Akçalı, İ., 2001, *Güneş Enerji Sistemleri*, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul.
- Arda K., 2006, *Güneş Enerjisinin Depolanması ve Isıl Analizi*, Yüksek Lisans, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Attalhah, M., 2001, *Boron In Materials Technology*, The American University in Cairo, Kaire, Mısır.
- Aydın, E., 2012, *Cam Üretiminde Sorunlu Alanlar*, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul.
- Bahnmann, D., 2004, Photocatalytic Water Treatment: Solar Energy Applications, *Solar Energy Magazine*, 77(5), 445-459.
- Belessiotis, V., 2011, Solar Drying, *Solar Energy Magazine*, 85(8), 1665-1691.
- Bolger, R., 1996, Fused Alumina: Industrial Minerals, *European Update*, 349, 69-75.
- Boren, 2015, *Bor Rezervleri ve Üretimi*, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Çıtıroğlu, A., 1995, Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 41, 45-48.
- Dişçigil, M., 2007, *Güneş Panellerinde Kojenerasyon ve Ekserji Analizi*, Yüksek Lisans, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- EtiMaden, 2015, *Bor Sektör Raporu*, Eti Maden A.Ş., Ankara.
- Garrett, D., 1998, *Borates: Handbook of Deposits Processing Properties and Use*, San Diego Academic Press, United States of America.
- Gençoğlu, M., 2010, *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi*, Yüksek Lisans, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Green, M., 1995, *Silicon Solar Cells Advanced Principles and Practice - Centre for Photovoltaic Devices and Systems*, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Gül, G., 2008, *Güneş Gözlerinin Üretiminde Son Gelişmelerin Araştırılması*, Yüksek Lisans, Hacettepe Üniversitesi Temiz ve Tükenmez Enerji Anabilim Dalı.
- Hestne, A., 1999, Building Integration Of Solar Energy Systems, *Solar Energy Magazine*, 67(4), 181-187.

- Hishikawa, Y., Yamagoe, K., 2015, Non-Contact Measurement Of Electric Potential Of Photovoltaic Cells In A Module and Novel Characterization Technologies, *Japanese Journal of Applied Physics*, 54, 8-9.
- Kalafatoğlu, İ. E., 2000, *21. Yüzyılda Bor Teknolojileri ve Uygulamaları*, Tübitak Marmara Araştırma Merkezi, Kocaeli.
- Karamanav, M., 2007, *Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri*, Yüksek Lisans, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaymak, M., 2014, *PV Pilleri*, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- O’Gallagher, J. J., 2008, *Nonimaging Optics In Solar Energy - Synthesis Lectures On Energy And The Environment Technology Science And Society*, Morgan & Claypool Publishers, USA.
- Önem, Y., 1996, *Sanayi Madenleri*, Kozan Matbaacılık San., Ankara
- Said, S. A. M., Aqeeli, N., 2015, The Potential Of Using Textured and Anti-Reflective Coated Glasses In Minimizing Dust Fouling, *Solar Energy Magazine*, 113, 295-302.
- Smith, R., 1992, Boron Oxides Boric Acid and Borates, *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 4, 365-413.
- Şahin, A., 2013, *Güneş Enerjisi Ölçümleri ve Fizibilite Süreci*, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Şen, Z., 2002, *Temiz Enerji ve Kaynakları*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Tübitak, 2003, *Bor Raporu*, Tübitak Yayınları, Ankara.
- USGS, 2000, *Geological Survey Minerals Yearbook-2000*, Virginia, Amerika Birleşik Devletleri.
- Yerebakan, M., 2010, *Güneş Kollektörleri Uygulamaları*, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul.
- Yıldırım, A., 1995, *Bir Binanın Güneş Pili Destekli Güneş Kolektörleriyle Isıtılması*, Yüksek Lisans, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yiğitbaşıoğlu, H., 2004, Türkiye İçin Önemli Bir Maden: Bor, *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 55, 13-25

EKLER

EK 1. Solar sistemlerle ilgili genel standartlar.

- TS EN 12975-1 20.03.2008: Sıvı ısıtan güneş enerjisi kolektörleri için dayanıklılık, güvenilirlik ve emniyet kuralları
- TS EN 12976-1 12.06.2007: Seri üretilmiş ısı güneş enerji sistemlerinin dayanıklılığı, güvenilirliği ve emniyeti ile ilgili özellikleri
- TS EN 12976-2 12.06.2007: EN 12976-1’ de belirtilen seri üretilmiş ısı güneş enerji sistemlerinin özelliklerini geçerli kılmak için deney metotları
- TS EN 12977-3 09.04.2009: Termal güneş sistemleri ve bileşenleri
- TS EN 15316-4-3 29.04.2008: Sistem verimliliğini ve sistemin enerji ihtiyacını hesaplama metodu
- TS EN 50461 21.12.2006: Güneş hücreleri ve güneş hücreleri için ürün verileri ve bilgileri
- TS EN 60068-2-5 31.01.2002: Dünya yüzeyinde görülen şartlar altında güneş ışınlamasına maruz kalma sonucunda cihazlar ve bileşenler üzerindeki etkileri
- TS EN 60068-2-9 31.01.2002: Güneş ışımasının yer yüzeyindeki cihazlar ve bileşenler üzerindeki etkisini incelemek için tasarımlanan benzeştirme metotları
- TS EN 60904-2 29.04.2008: Fotovoltaik elemanlar hakkında bilgi
- TS EN 60904-3 09.04.2009: Spektruma ait ışınlama yoğunluğu bilgileri referans alınarak yeryüzünde kullanılan fotovoltaik elemanların ölçülmesi ile ilgili genel kurallar
- TS EN 60904-6 14.04.2000: Referans güneş hücrelerinin bakımı, işaretlenmesi, kalibrasyonu, paketlenmesi ve seçimi için kuralları
- TS EN 60904-9 22.05.2008: Güneş simülatörleri
- TS EN 61725 24.04.2002: Suni güneş gününe ait gün içindeki saate karşı ışın eğrisi veya veri noktaları kümesini analitik olarak elde etmek için karakteristik denklemi
- TS EN 62093 17.01.2006: Güneş pil sistemleri için sistem denge bileşenleri
- TS EN 62124 17.01.2006: Bağımsız güneş pil (PV) sistemleri

- TS EN ISO 9488 07.03.2002: Güneş enerjisi ile ilgili temel terimler
- TS EN 61427 17.01.2006: Fotovoltaik enerji sistemleri için genel kurallar ve deney metotları
- TS HD 60364-7-712 20.07.2006: Solar fotovoltaik (PV) güç besleme sistemleri
- TS 10964 HD 478.2.4 Sİ 22.03.2002: Güneş ışıması tiplerinin geniş bir bölümü
- TS 11172 EN 41 08.02.2000: Yapılarda kullanılan camların aydınlanma ve güneş ışığı karakteristiklerinin tayini metotları
- TS 13281 22.05.2007: Güneş enerji sistemleri montajcısının tarifi, sınıflandırması, sınıf özellikleri, kullanılacak asgari araç gereç ve donanımın belirlenmesi
- TS 3817 13.12.1994: Isıtma sistemlerin projelendirilmesi, uygulaması ve işletilmesi kuralları
- TS 9450 17.09.1991: Havalı ve sıvılı düz toplayıcıların optik faktörlerini ölçme metotları
- TS ISO 9022-9 15.04.1999: Numunenin optik, termal, mekanik, kimyasal ve elektriksel performans özelliklerinin hangi ölçüde güneş radyasyonundan etkilendiklerini araştırmaktır.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Kaan KOÇALI
Uyruğu	T.C.
Doğum tarihi, Yeri	05.08.1989, Bakırköy
Telefon	0506 734 9717 – 0212 676 5677
E-mail	kaankocali@gmail.com

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Lisans	İstanbul Üniversitesi/Maden Mühendisliği Bölümü	2011
Lise	Ataköy Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi	2007