



T.C.

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FOTOVOLTAİK TERMAL SİSTEM TASARIMI İLE BİR CEVİZ
İŞLEME TESİSİNİN ENERJİ GEREKSİNİMİNİN
KARŞILANABİLİRLİĞİ: VAN İLİNDE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMED ÖMER BULAKÇIBAŞI

OCAK

**FOTOVOLTAİK TERMAL SİSTEM TASARIMI İLE BİR CEVİZ İŞLEME
TESİSİNİN ENERJİ GEREKSİNİMİNİN KARŞILANABİLİRLİĞİ: VAN
İLİNDE UYGULANMASI**

Muhammed Ömer BULAKÇIBAŞI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKNOLOJİ VE İNOVASYON YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

Danışman

Doç. Dr. Burak KURŞUN

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Muhammed Ömer BULAKÇIBAŞI

20.01.2023

FOTOVOLTAİK TERMAL SİSTEM TASARIMI İLE BİR CEVİZ İŞLEME TESİSİNİN ENERJİ GEREKSİNİMİNİN KARŞILANABİLİRLİĞİ: VAN İLİNDE UYGULANMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammed Ömer BULAKÇIBAŞI

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Enerji ihtiyacının teknolojiye paralel olarak hızla arttığı günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerjinin temin edilmesi, fosil yakıt kaynaklı sera gazı emisyonlarının, küresel ısınma ve iklim değişimi sorunlarının giderilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Güneş enerjisinden yüksek enerji içermesi, temiz ve sürekli olması nedeniyle diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yaygın şekilde faydalanılmaya çalışılmaktadır. Güneş enerjisinin direkt olarak elektrik enerjisine çevrilebildiği fotovoltaik (FV) teknolojisi elektrik üretiminde çokça tercih edilen bir yöntemdir. Ülkemizin birçok bölgesinin önemli ölçüde güneş radyasyonuna maruz kalması ülkemizde fotovoltaik sistemlerin kullanılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, ülkemizde güneş enerjisi potansiyeli yönünden avantajlı durumda olan Van ilinde, dünyada uygulama alanı her geçen gün artmakta olan fotovoltaik enerji ile elektrik üretip tarımsal işletmelerden biri olan ceviz işleme tesisinin enerji gereksinimini karşılanması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda ceviz işleme tesisi için iki farklı enerji üretim sistemi tasarlanmıştır. Birinci tasarımda ceviz işleme için gerekli enerji üretimi tesisin çatısına yerleştirilen FV modüllerle gerçekleştirilmiştir. Ceviz kurutma işlemi için doğalgaz ve fuel-oil yakıtlardan faydalanılmıştır. İkinci tasarımda ceviz işleme için elektrik üretiminin bir kısmı tesis çatısındaki FV modüllerden diğer kısmı ise tesis zeminine yerleştirilen konsantrasyonlu fotovoltaik termal (KFVT) sistemden karşılanmıştır. Ceviz kurutma işleminde kullanılan hava ise KFVT sistemden elde edilen sıcak su ile bir ısı eşanjörü kullanılarak ısıtılmıştır. Ceviz kurutma süresine bağlı olarak KFVT modülünden farklı sıcaklıklarda sıcak su elde edilmiştir. Ayrıca her iki tasarım için M-Si ve P-Si FV hücre tipleri denenerek FV hücre tipinin etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu iki tasarım elektrik ve ısı üretimi açısından karşılaştırılmıştır. Ayrıca elektrik ve ısıtma maliyeti açısından optimizasyon çalışması yapılarak en uygun elektrik üretimi ve kurutma koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Optimizasyon çalışması neticesinde elektrik üretimi ve ısıtma maliyeti açısından en uygun parametre değerlerinin 40°C de sıcak su, 31 saatlik kurutma süresi ve M-Si hücre tipi olduğu tespit edilmiştir. Termodinamik ve ekonomik analiz sonuçları ceviz işleme tesisinde KFVT sistem kullanımı ile hem elektrik üretiminin hem de ceviz kurutma için gerekli ısıtma maliyetlerinin düşürülebileceğini ortaya koymuştur.

Sayfa Adedi : 57
Anahtar Kelimeler : Yenilenebilir Enerji Kaynakları, FVGS, KFVT, Tarımsal işletmeler, Ceviz İşleme Tesisi
Danışman : Doç. Dr. Burak KURŞUN

ENERGY REQUIREMENTS OF A WALNUT PROCESSING FACILITY WITH
PHOTOVOLTAIC THERMAL SYSTEM DESIGN: IMPLEMENTATION IN VAN
PROVINCE

(M. Sc. Thesis)

Muhammed Ömer BULAKÇIBAŞI

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

Supplying energy from renewable energy sources plays an important role in solving the problems of fossil fuel-based greenhouse gas emissions, global warming and climate change. Since it contains high energy, clean and continuous solar energy, it is tried to be used more widely than other renewable energy sources. Photovoltaic (PV) technology, in which solar energy can be directly converted into electrical energy, is a highly preferred method in electricity generation. The fact that many regions of our country are exposed to significant solar radiation reveals the necessity of using photovoltaic systems in our country.

In this study, it is aimed to meet the energy requirement of the walnut processing plant, which is one of the agricultural enterprises by producing electricity with photovoltaic energy, the application area of which is increasing day by day in the province of Van, which is advantageous in terms of solar energy potential in our country. Accordingly, two different energy generation systems were designed for the walnut processing plant. In the first design, the energy production required for walnut processing was realized with PV modules placed on the roof of the facility. Natural gas and fuel-oil fuels were used for the walnut drying process. In the second design, part of the electricity production for walnut processing was met from the PV modules on the roof of the plant, and the other part from the concentrated photovoltaic thermal (CPVT) system placed on the plant floor. The walnut drying process was carried out with hot water obtained from the CPVT system. The air used in the walnut drying process was heated using a heat exchanger with hot water obtained from the CPVT system. Depending on the walnut drying time, hot water was obtained from the CPVT module at different temperatures. In addition, M-Si and P-Si PV cell types were tried for both designs and the effect of PV cell type was tried to be determined. These two designs are compared in terms of electricity and heat generation. In addition, optimization studies were carried out in terms of electricity and heating costs, and the most suitable electricity production and drying conditions were tried to be determined. As a result of the optimization study, it was determined that the most suitable parameter values in terms of electricity production and heating cost were hot water at 40°C, drying time of 31 hours, and M-Si cell type. The results of thermodynamic and thermoeconomic analysis revealed that with the use of CPVT system in the walnut processing plant, both the electricity generation and the heating costs required for walnut drying can be reduced.

PageNumber : 57

KeyWords : Renewable Energy Sources, FVGS, KFVT, Agricultural
Enterprises, Walnut Processing Plant

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Burak KURŞUN

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, konsantrasyonlu fotovoltaik termal bir sistemin Van ilinde kurulacak olan ceviz işleme tesisine uygulanarak hem elektrik üretiminin artırılması hem de ceviz kurutma işlemi için yakıt gereksiniminin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

Tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Burak KURŞUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmanın araştırma sürecinde yardımlarını esirgemeyen Yaren KOSER'e teşekkür ederim.

Son olarak beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen haklarını asla ödeyemeyeceğim annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tanımlar	2
1.1.1. Güneş enerjisi.....	2
1.1.2. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli	3
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Ceviz İşleme Tesisinin Yapısı.....	11
3.2. Van İli Güneş Enerjisi.....	15
3.3. Konsantrasyonlu fotovoltaik termal (KFVT) sistem hesaplamaları	18
3.4. Çözüm Prosedürü.....	22
3.5. Ekonomik Analiz	25
3.6. Optimizasyon Yöntemi	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
4.1. KFVT Sistemin Matematiksel Modelinin Doğrulanması	28
4.2. Parametrik Çalışma Sonuçları.....	29
4.3. Optimizasyon Çalışması	49

5. SONUÇLAR.....	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	57



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1. 1. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı	4
Çizelge 1. 2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	5
Çizelge 2. 1. Literatür çalışması	6
Çizelge 3. 1. Ceviz işleme tesisinin enerji ihtiyacı	13
Çizelge 3. 2. Van'ın ve Türkiye'nin aylık bazda, günlük ortalama ve yıllık toplamda, güneşlenme süreleri ve güneş enerjisi potansiyeli	16
Çizelge 3. 3. PV verimini etkileyen parametreler	17
Çizelge 3. 4. KFVT sistem boyutları ve malzemelerin ısısal özellikleri	18
Çizelge 3. 5.. Sistem bileşenlerinin maliyetleri	26
Çizelge 4. 1. Sinyal-gürültü çizelgesi	49
Çizelge 4. 2. Anova analizi	50
Çizelge 4. 3. Model özeti	50
Çizelge 4. 4. Sinyal gürültü grafik oranına göre en optimum sonuç çizelgesi	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. 2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası	3
Şekil 3. 1. Ceviz işleme tesisi iç görünümü	12
Şekil 3. 2. Ceviz işleme tesisi iç yapısı	12
Şekil 3. 3. Birinci model ceviz işleme tesisi	14
Şekil 3. 4. İkinci model ceviz işleme tesisi	14
Şekil 3. 5. KFVT sistem çalışma bileşenleri	15
Şekil 3. 6. Van harita görünümü	15
Şekil 3. 7. Konsantrasyonlu Fotovoltaik Termal Sistem Bileşenleri	18
Şekil 3. 8. Isıl direnç ağı ve ısı transfer mekanizmaları	21
Şekil 3. 9. KFVT sistem ve su deposu hacminin belirlenmesi için akış şeması	24
Şekil 3. 10. Taguchi akış şeması	26
Şekil 4. 1. Analiz sonuçlarının doğrulanması	28
Şekil 4. 2. Konsantrasyonsuz M-Si panelin kurutma saatine göre elektriksel verim grafiği	30
Şekil 4. 3. Konsantrasyonsuz M-Si panelin kurutma saatine göre elektrik üretimi grafiği	30
Şekil 4. 4. Konsantrasyonsuz P-Si panelin kurutma saatine göre elektriksel verim grafiği	31
Şekil 4. 5. Konsantrasyonsuz P-Si panelin kurutma saatine göre elektrik üretimi grafiği	32
Şekil 4. 6. M-Si panelin kurutma saatine göre elektriksel verim grafiği	34
Şekil 4. 7. M-Si panelin kurutma saatine göre elektrik üretimi grafiği	34
Şekil 4. 8. M-Si panelin konsantrasyona göre elektriksel verim grafiği	35
Şekil 4. 9. M-Si panelin konsantrasyona göre elektrik üretimi grafiği	36
Şekil 4. 10. P-Si panelin kurutma saatine göre elektriksel verim grafiği	37
Şekil 4. 11. P-Si panelin kurutma saatine göre elektrik üretimi grafiği	38
Şekil 4. 12. P-Si panelin konsantrasyona göre elektriksel verim grafiği	39

Şekil	Sayfa
Şekil 4. 13. P-Si panelin konsantrasyona göre elektrik üretimi grafiği	39
Şekil 4. 14. M-Si panelin kurutma saatine göre SEM ve SIM grafiği	40
Şekil 4. 15. P-Si panelin kurutma saatine göre SEM ve SIM grafiği	41
Şekil 4. 16. M-Si panelin konsantrasyona göre SEM ve SIM grafiği	42
Şekil 4. 17. P-Si panelin konsantrasyona göre SEM ve SIM grafiği	43
Şekil 4. 18. M-Si panelin kurutma saatine göre konsantrasyonlu sistem maliyet grafiği....	44
Şekil 4. 19. M-Si panelin kurutma saatine göre doğalgazlı maliyet grafiği	44
Şekil 4. 20. M-Si panelin kurutma saatine göre fuel oil maliyet grafiği.....	45
Şekil 4. 21. P-Si panelin kurutma saatine göre konsantrasyonlu sistem maliyet grafiği	46
Şekil 4. 22. P-Si panelin kurutma saatine göre doğalgazlı maliyet grafiği.....	46
Şekil 4. 23. P-Si panelin kurutma saatine göre fuel oil maliyet grafiği	47
Şekil 4. 24. M-Si panelin konsantrasyona göre maliyet grafiği.....	48
Şekil 4. 25. P-Si panelin konsantrasyona göre maliyet grafiği	48
Şekil 4. 26. Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Kısaltmalar	Açıklama
KFVT	Konsantrasyonlu Fotovoltaik Termal Sistem
SEM	Standartlaştırılmış Elektrik Maliyeti
SIM	Standartlaştırılmış Isı Maliyeti
FVGS	Fotovoltaik Güneş Sistemi
PV	PhotoVoltaik
GES	Güneş Enerji Sistemi
GPS	Güneş Panel Sistemi

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla gelişmesi ve dünya nüfusunun günden güne artması enerjiye olan talebi hızlandırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin altında yatan ana iki sebep mevcuttur. Bunlar, yenilenemeyen enerji kaynaklarının doğadaki sınırlı rezervi ve çevreye olan zararlarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok tercih edilen enerji türü güneş enerjisidir. Bu yüzden temiz enerji olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi hızlanmaktadır.

Güneş, insanlığın kullanmış olduğu toplam enerjinin çok daha fazlasını bütün bir yıl boyunca dünyaya göndermektedir. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının da temel kaynağıdır diyebiliriz. Biyokütle, rüzgâr, jeotermal, dalga (gel-git), su (hidrolik) ve güneş enerjisi yenilenebilir enerji grubundadır. Bu enerji grupları arasında uygulama alanı olarak en fazla ve en yaygın olanı güneş enerjisidir. Temiz bir kaynak olan güneş enerjisi bir enerji olmakla beraber bol ve tükenmeyen bedava enerji kaynağıdır.

Güneş enerjisinin avantajları yenilenebilir enerji kaynakları arasında oldukça fazladır diyebiliriz. Dikkate şayandır ki havanın açık olması ve güneşli durumunda 15 dk'lık güneş ışınması neredeyse tüm dünyanın bir senelik enerji ihtiyacını fazlasıyla karşılamaktadır.

Güneş enerjisini direkt elektrik enerjisine dönüştürmek için güneş pillerini kullanmamız gerekir. Güneş panellerinin üzerine güneş ışığının yansmasıyla uçlarında bir elektrik gerilimi oluşur. Bu oluşum güneş pillerinin elektrik enerjisi üretebilen yapılar olduğunu göstermektedir. Güneş pillerinin yapı taşı ışık şiddetidir. Bu yüzden mevsimsel olarak baktığımızda dünyanın farklı yerlerine güneş ışınımın düştiğünden güneş panelleri de farklı değerlerde enerji üretir.

Kelime anlamı olarak fotondan elektrik üretmeye fotovoltaik denir. Üretilen elektrik ise fotovoltaik paneller yardımıyla gerçekleşmektedir. Tabii fotovoltaik sistemler güneşten elektrik üretiminde kullanılırlar. Fotovoltaik sistemlerin bileşenleri ise; panel, akü, invertör (evirici) ve şarj kontrol cihazıdır. Genel olarak indirgenmiş çalışma prensibi; şarj regülatörü, fotovoltaik panelden gelen doğru akım enerjisini düzenleyip sabit tutar ve akabinde akü şarjı için stabil şekilde doğru akım elektrik enerjisi oluşturur. İnverterler ise DC elektrik enerjisini AC elektrik enerjisine dönüştürür. Aynı zamanda akü kalitesize göz ardı edilmemesi gerekir.

Çünkü şebekeye bağlı olmayan Off-grid fotovoltaik güneş panel sistemleri için aküler oldukça önemlidir diyebiliriz. Fotovoltaik güneş sistemlerinin en temel parçaları güneş ve elektriğin üretildiği kısımdır (Kandilli, Minaz, Kuncan ve Kuncan, 2017:365-370). Güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan yöntemlerden biride fotovoltaik panellerdir. Bu paneller dış ortam koşullarına ve panel türüne bağlı olarak %8 ile %20 arasında verimli olabilir.

Güneş ışınından gelen radyasyonun büyük bir kısmı ısı enerjisiye dönüştüğü gibi bir kısmı ise yansıtılıyor. Dolayısıyla bu durum panel sıcaklığının aşırı ısınmasına neden olmaktadır. Yaz aylarında aşırı ısınan paneller elektrik veriminin düşmesine sebep olmaktadır. Güneş panellerinin yüzeylerinde meydana gelen sıcaklığın 1 °C artışı verimde %0,5 oranında azalma meydana gelmektedir (Gang, Huide, Tao ve Jie, 2011:911-921). PVT sistemlerinin farklı faydaları bulunmaktadır. Bunlar; iç mekân ısıtma, su ısıtma, meyve, sebze ve ceviz kurutma vb. hedefleri mevcuttur. Nano-akışkanlar, hava, su ve PMC'ler soğutucu sistemlerinde kullanılır.

1.1. Tanımlar

1.1.1. Güneş enerjisi

Dünya’da nüfus 4 kat artarken aynı zamanda enerji talebi de 16 kat artmaktadır. Dünya’da yaşayan 7,5 milyar insanın yaşamlarını idame ettirebilmeleri için 13TWh (Terewatt) enerjiye ihtiyaç olduğu bilinmektedir. Tabii bu talep değeri teknolojiye ve nüfusun artmasıyla paralel olarak hızla artmasına da sebep olmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının tükenme durumu ve artan nüfusun enerji tüketiminin hızlı olması, enerji kavramı açısından insanları endişeye sevk etmiştir. Aynı zamanda insanlar alternatif olarak yeni enerji kaynakları arayışına sevk edilmiştir. Alternatif enerji kaynakları arasında; temiz, ekonomik ve çevreye duyarlı olan güneş enerjisi popüler olarak en fazla ilgi gören yenilenebilir enerji kaynağı olduğunu söylemek mümkündür.

Fotovoltaik piller ise güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürmekte kullanılır. Fotovoltaik kavram olarak, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme olarak tanımlanır. Bu dönüştürmede, mobilite, öz direnç, iletkenlik ve malzemelerin iş fonksiyonu karakteristik özelliklerinden faydalanarak güneş panellerinin hücrelerini oluştururlar. Güneş

enerjisini kullanılabilir kılmak ve yararlı elektrik enerjisi oluşturmak için güneş pillerinin algıladıkları foton enerjisinden faydalanarak pozitif ve negatif yükler oluşturmaktır. Kısa tanımı ise güneş pili'dir. Fotovoltaik kelimesini ayırdığımızda “Photo” ışık anlamında, “voltaic” ise elektriksel voltaj anlamına gelir. Elde edilen enerji On-Grid ve Off-Grid olmak üzere ikiye ayrılır. Yani şebekeye bağlı olan ve olmayan demektir. Bizim kullanacağımız sistem Off-Grid “şebekeye bağlı olmayan” sistemdir. Bu sistemle bir tesisin elektrik ihtiyacını şebekeden bağımsız bir şekilde karşılanmasıdır.

1.1.2. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli

Türkiye coğrafi konumdan ötürü enerji durumu göz önünde bulundurulursa güneş enerji potansiyeli birçok ülkeye nazaran avantajlı konumdadır. Ülkemizin ihtiyaç duyduğu enerjinin 1700 katı kadar güneş enerjisi potansiyeli mevcuttur.

Ülkemizin illere göre yıllık güneş ışını miktarını gösteren güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 1.2’de belirtilmiştir (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2022).



Şekil 1. 1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası

Ülkemiz güneşlenme süresinin yıllık toplam 2640 saattir, günlük olarak ise ortalama 7.2 saattir. Güneş ışını şiddeti toplamda ortalama 1,311 kWh/m²-yıl, günlük toplamı incelendiğinde ise 3,6 kWh/m² olduğu bilinmektedir.

Çizelge 1. 1. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı

Aylar	Aylık Toplam (Kcal/cm ² -ay)	Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311,0	2640
Ortalama	308,0 cal/cm² -gün	3,6 kWh/m² -gün	7,2 saat/gün

Çizelge 1.1 incelendiğinde; ülkemizin aylara göre güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi belirtilmiştir. Buna göre ülkemizde en fazla temmuz ayında, en az ise aralık ayında güneş enerjisi üretilir. Ülkemiz yılda 110 gün yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu yüzden gerekli yatırımların yapılması durumunda ülkemiz yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1,100 kWh'lık güneş enerjisi üretebilme potansiyeline sahiptir (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2022).

Çizelge 1. 2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi	Ortalama güneşlenme süresi
	kWh/m ² -yıl	Saat/yıl
Güneydoğu Anadolu	1.460	2.993
Akdeniz	1.390	2.956
Doğu Anadolu	1.365	2.664
İç Anadolu	1.314	2.628
Ege	1.304	2.738
Marmara	1.168	2.409
Karadeniz	1.120	1.971

Çizelge 1.2 incelendiğinde; ülkemizin yedi güzel bölgesinin yıllık güneş enerji potansiyelinin dağılımı verilmiştir. Ülkemizde sırasıyla Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi en fazla güneşlenen bölgelerdir. Bununla beraber Karadeniz Bölgesi ülkemizin en az güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Doğu Anadolu Bölgesinin toplam yıllık ortalama güneş enerjisi 1,365 kWh olarak görülmektedir (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2022). Bu verileri dikkate alırsak ülkemizde toplam yıllık alınan enerji 10^{15} kWh olarak gözlemlenmektedir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Çizelge 2. 1. Literatür çalışması

Çalışma Modelleri	PV cinsi	Verim Artışı
PV/T soğutma sistemi (su)	Monokristal	12%
PV/T hibrit sistem incelemesi (su-hava)	Polikristal	6.5-7.5%
PV yüzeyinde rüzgâr etkisi inceleme (hava)	Belirtilmemiştir	9%
PV sıcaklık etkisi inceleme	Belirtilmemiştir	0.85%
PV sıcaklık etkisi inceleme	Monokristal	-
PV soğutma sistemi (su)	Belirtilmemiştir	13.8%
PV soğutma sistemi (su)	Monokristal	7%
PV sıcaklık etkisi inceleme (hava)	Monokristal	-
PV soğutma sistemi (su)	Monokristal	9%
PV/T hibrit sistem incelemesi (su-hava)	Belirtilmemiştir	7%
PV modüllerde aktif soğutma (hava)	Polikristal	12.5%
PV sıcaklık etkisi inceleme (hava)	Polikristal	-
PV soğutma sistemi (hava)	Monokristal	10.01%
PV verimi etkileyen faktörler (hava)	Polikristal	4.35%

PV sistemlerin verimlerinin artırılmasıyla ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde PV verimi yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Böylece üç farklı akışkan hızlarında yapılan ölçümlerde (0,015kg/s, 0,044kg/s ve 0,069kg/s) sistemin termal veriminin %49,9 ile %52,11 arasında değiştiğini ve 12,9W'lık maksimum güç artışı ile %12 elektriksel verim artışı gözlemlenmiştir (Gül ve Akyüz, 2019).

PV/T hibrit sistem incelemesi (su-hava) çalışmasında; PV yüzeyini ısınıp düşürmek için PV/T sisteminde hava ve su kullanmışlardır. Verim hava ile %6,5 ve su ile %7,5 arttığı gözlenmiştir (Rawat ve Dhiran, 2017).

PV yüzeyinde rüzgâr etkisi inceleme (hava) çalışmasında, rüzgâr hızını 4m/s'den yüksek olduğu bir gün panel yüzey sıcaklığının 40° aşağısına indirileceğini ve panelin verimini 9% seviyelerine arttırdığı gözlemlenmiştir. (Du, Fell, Duck, Chen, Liffman, Zhang ve Gu, 2019).

PV sıcaklık etkisi incelemesinde; panel yüzey sıcaklığının artması neticesinde 1° lik artış sonucunda verimde 0.85% oranında azalma gözlemlenmiştir. PV'deki bu azalışı minimuma indirmek için maliyeti düşük olan bir soğutma sistemi yapılmasını ve ısının endüstriyel ve evsel olarak kullanımı için PV'nin soğutulmasında uygun görülmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu sayede soğutma sistemleri atık ısının maksimum etkin kullanımı sağlanmıştır (Sahay, Sethi, Tiwari ve Pandey, 2015).

PV sıcaklık etkisi incelemesinde; monokristal PV'lerde ısının etkisini panellerin seri ve paralel bağlanması durumuna göre incelenmiş. 25-60 C aralığında hücre sıcaklığındaki PV ile 550W/m^2 ışıını bulanan ortamda incelemeler gerçekleştirilmiştir. Dolum faktörü verimini düşürdüğü ve sıcaklığın açık devre geriliminde bir düşüklük gösterdiğini bununla beraber kısa devre akımını yükselttiği saptanmıştır (Chandler, Purohit, Sharma, Nehra ve Dhaka, 2015).

PV soğutma sistemi çalışması incelendiğinde; Fotovoltaik/termal (PV/T) sistemde 800W/m^2 farklı debilerde su kullanarak ve ışıını seviyesinde elektriksel verimi 13,8%, termal verimi ise 54,6% saptanmıştır. Başka bir farklı analizde debide panel yüzeyinin soğutulmasında akış hızının ve termal enerjiyi etkilediğini suyun debisini 0,041kg/s'den 0,024kg/s'ye indirdiklerinde sıcaklığın önemli ölçüde etkilendiğini saptanmıştır (Fundoli, Sopian, Yazdı, Ruslan ve Kazem, 2014).

PV soğutma sistemi çalışması incelendiğinde; Sıcaklığın 39,9 C olduğu bir günde özdeş iki panelden (175W) birinin arka yüzeyine borular yerleştirmiş ve içinden soğuk su çevrimi yaparak panel yüzeyini soğutmuşlardır. Böylece yüzey soğutmalı PV'de verim 7%'lik güç 35%'lik artmıştır (Kabul ve Duran, 2014).

Bu çalışmayla birlikte ortam sıcaklığın PV performansını doğrudan arttırdığı ve bir sistemin güç çıkış performansının ortam sıcaklığı ile dolaylı bir şekilde orantılı olduğu vurgulanmaktadır. Hava akımlarının daha fazla olduğu PV'lerde mevcut olduğu konumlarda PV yüzeylerinin aşırı sıcaklıktan daha az etkilendiğini ve PV yüzey ısısının düşük kaldığını dolayısıyla güç çıkışının daha yüksek olduğunu sonucuna varılmıştır (Ike, 2013).

PV su soğutma sistemi incelendiğinde; PV performansına sıcaklığın etkisini araştırmak için PV'nin arka yüzeyinden soğuk su dolaştırmışlar ve aktif soğuma yapmışlardır. Bu sayede

modül ısısında 20% düşüş verimde ise 9% artış sağlanmıştır (Bahaidarah, Subhan, Gandhidasan ve Rehman, 2013).

PV/T hibrit sistem incelemesi (su-hava) incelendiğinde; PV/T hibrit sistemler için araştırma, geliştirme ve uygulanabilirliğine ilişkin genel bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışma ile PV/T soğutma kullanarak verimde 7% artış sağlanmıştır (Tyagi, Kaushik ve Tyagi, 2012).

PV modüllerde aktif soğutma hava ile kıyaslandığında aktif soğutma için havayı homojen olarak PV panelin arkasından dolaştırıp soğutmayı gerçekleştirdiklerinde elektriksel verimde %12-14'lük artış elde edilmiş (Teo, Lee ve Hawlader, 2012).

PV soğutma sistemi hava sıcaklık etkisi incelemede Silisyum PV'nin olumsuz etkileri daha azdır ve bu parametrelerden (Sıcaklığın akım, gerilim, güç ve verim) daha az etkilendiği fark edilmiştir (Kamkird, Ketjoy, Rakwichian ve Sukchai, 2012).

PV soğutma sistemi (hava) çalışmasında; panel altına yerleştirdikleri hava kanalları ile soğutma yapmışlardır. PV/T hava toplayıcının termal ve elektriksel parametrelerini hesaplamak amacıyla simülasyon düzenlenmiştir. PV/T hava toplayıcısının ısı verimi, elektriksel verimi ve toplam enerji verimleri sırasıyla 17,18%, 10,01% ve 45% olarak gözlemlenmişlerdir (Sarhaddi, Farahat, Ajan ve Behzadmehr, 2010).

İklim koşullarının simülasyona etkisini değerlendirmek amacıyla PV verimi etkileyen faktörler (hava) çalışmasında; doğal ve zorlanmış (pompa) sistemleri İzmir ili iklim koşullarında incelemişlerdir. Doğal dolaşimli sistem ve pompa yardımıyla oluşturdukları zorlanmış dolaşimli sistem üzerinde yaptıkları deneyde elektriksel verimi 4,5% artırmışlardır (Engin, 2008).

Başka bir çalışmada fotovoltaik panellerin sıcaklık durumları zamana bağlı olarak kararsız ortam koşullarında incelenmiş ve bu sonuçlara ulaşılmıştır. Havanın bulutlu ve açık olduğu zamanlarda 24,5 °C ortam sıcaklığında PV modül sıcaklığının 27-52 °C aralığında başkalaştığı gözlemlenmiştir. Suudi Arabistan'ın Dahran yapılan bir çalışmada hücre sıcaklığının haziran ayında su bazlı bir PVT kullanılıp 71,2 °C' den 45,1 °C' ye, aralık ayında ise 48,3 °C' den 36,4 °C' ye azaldığı görülmektedir (Gang ve diğerleri, 2011).

Bir başka çalışmada Irak'ın Kerkük ilinde P-Si panelin hava soğutmalı PVT'nin termodinamik analizleri yapılmış olup, fan hava hızı $0,024 \text{ m}^3 \text{ sn}^{-1}$ 'den $0,057 \text{ m}^3 \text{ sn}^{-1}$ 'ye artmasıyla termal ve elektrik verimlerinin sırasıyla 44% ve 20% oranlarında yükseldiği saptanmıştır. Dolayısıyla fan hızının verimi ortalama 100% oranında arttırdığı gözlenmiştir (Omer ve Zala, 2018).

Avustralya'nın Sidney ilinde açık döngülü, tek geçişli ve sırsız PVT sisteminde hava debisinin yükselmesi ile elektrik ve termal veriminin sırasıyla %12,2 ve 55% oranında arttığı gözlenmiştir. Bununla birlikte havanın kütle akış hızı yükseldikçe toplam verimliliğinde arttığı belirtilmiştir (Du ve diğerleri, 2016). Kanatçıklar kullanılarak ısı transferini arttırabilmek için panelden daha fazla atık ısı çekme kullanılmıştır. Böylece yüzey alanı arttırılarak verim artışı sağlanmıştır. PVT sisteminde hava kütle debisi $0,0316 \text{ kg sn}^{-1}$ 'den $0,09 \text{ kg sn}^{-1}$ 'ye yükselirken toplam verimin 49,15% ten 62,82% Alüminyum kanatçık kullanılarak oranın arttığı görülmüştür (Ali Alfegi, Sopian, Othman ve Yatim, 2009).

Kanatçık dahil edilmiş çift geçişli bir hava soğutmalı PVT sistemi incelenmiş ve hücre sıcaklığının 88°C 'den 66°C 'ye ifade edilmiştir. Ayrıca. 500 W m^2 ısıtım değeri ve 25°C giriş havası sıcaklığı için fan hızı $0,03 \text{ m sn}^{-1}$ 'den $0,15 \text{ m sn}^{-1}$ 'e yükseltildiğinde, termal verim %46' dan %62' ye ve elektrik veriminin ise %15' den %17 oranında arttığı gözlenmektedir (Kumar ve Rosen, 2011a). Yapılan bir çalışmada Singapur'da su soğutmalı PVT'nin analizinde kullanılan ısı verim ve elektrik veriminin panel türüne bağlı olarak monokristal panel için %40,7 ve %11,8, polikristal panel için %39,4 ve %11,5 olduğu saptanmıştır. Ayrıca, soğutmaya müteakip verimde %0,4 yükseldiği anlaşılmıştır (Dubey ve Tay, 2013).

Hindistan'ın Yeni Delhi şehrinde yapılan başa bir araştırmada PVT sisteminin toplam termal veriminde %18 oranında arttığı saptanmıştır (Omer ve Zala, 2018).

İran'ın Kirman ilinde yapılan bir çalışmada hava soğutmalı PVT sisteminin deneysel ve simülasyon sonuçlarını kıyaslanmıştır. Hava kanalının ortasına alüminyum bir tabaka yerleştirilerek panelden daha fazla miktarda ısı çıkarılması amaçlanmıştır. Böylece fan sayısında niceliksel değişim sağlanarak elektrik veriminin arttırılmasında deneysel sonuçlar ile simülasyon sonuçları arasında anlamlı bir korelasyon olduğu gözlenmiştir (Huang, Lin, Hung ve Sun, 2001).

Suudi Arabistan'ın Dahran şehrinde su soğutmalı PVT sisteminde yapılan bir çalışmada verimin %9 artışı, hücre sıcaklığının %20 azaldığı, sayısal ve deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu bildirilmiştir (Bahaidarah ve diğerleri, 2013).

Bir çalışma da Hindistan'ın Kottayam ilinde su bazlı PVT sisteminde elektrik veriminin %13,72 yaklaşık iki katı oranında termal verim %26,87 ve toplam verimin %40,59 olduğu PCM kullanılarak konvansiyonel PV panel ile kıyaslandığında elektriksel verimde 17,33% oranda yükseliş olduğu gözlenmiştir (Bahaidarah ve diğerleri, 2013).

Elektriksel sistemde 6.85% iken PVT sisteminde 7.36% olduğu, PVT'nin genel termal ve ekserji verimlerinin sıralı olarak %22 ve %7,33 olduğu tespit edilmiştir. Yeni Delhi' de ince film kullanılan su bazlı PVT sisteminde ekserji verimi, elektrik ve termal ile konvansiyonel paneldeki verim karşılaştırılmıştır (Gaur ve Tiwari, 2014).

Maksimum performans ve minimum zararlar üzerinde bir sistemin etkisi olan bulunan mevcut parametrelerde sistemi iyileştirebilmek ve performans değerlerini arttırabilmek için önemli bir husustur. Bu konu üzerine farklı analiz yöntemleri geliştirilerek son yıllarda PV panellerin birçok optimizasyon ile ilgili çalışmaları yapılmıştır. Yeni Delhi'de bazı değişkenlerin faz hızı, panel cam kalınlığı, giriş sıvısı sıcaklığı ve kanalların uzunluk ve derinlikleri Genetik algoritma tekniği ile istatistik analizleri yapılmış olup, analiz sonuçları doğrultusunda toplam ekserji ve termal verimliğinde sırasıyla 4,6% ve 13,14% oranlarında iyileştirme yapıldığı belirtilmiştir (Sing, Agarwal, Tiwari ve Chauhan, 2015a).

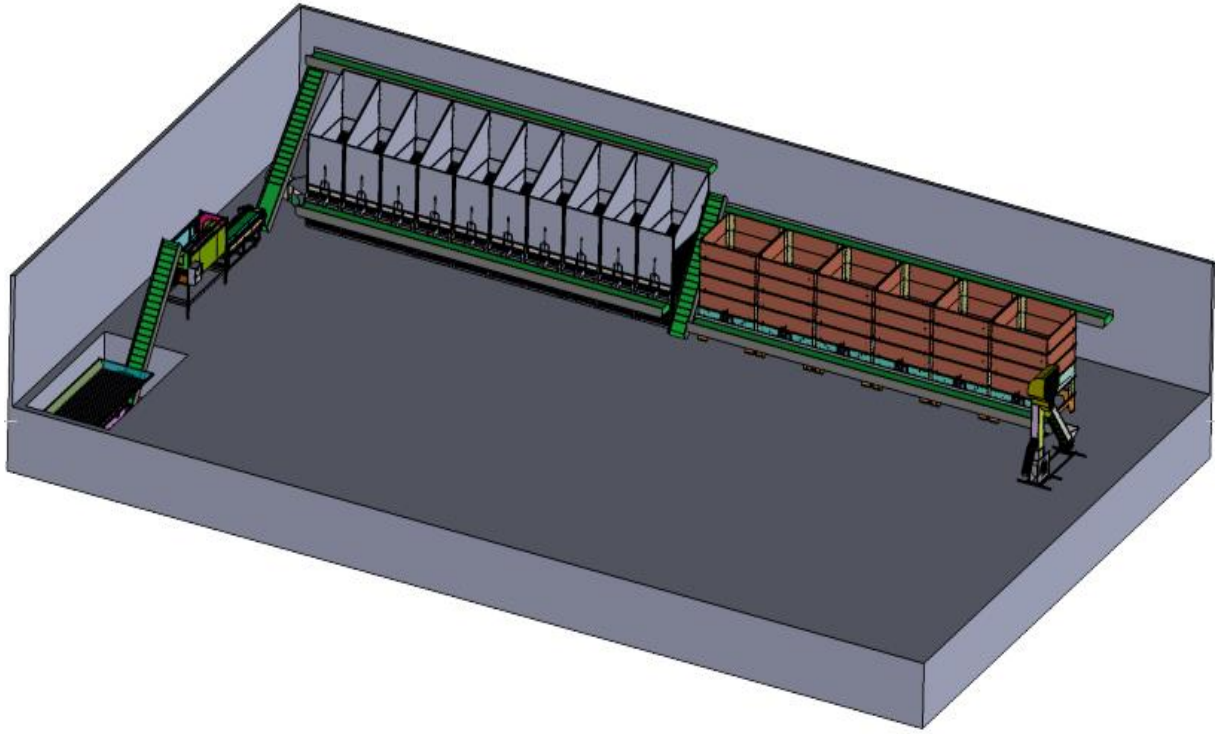
Literatür çalışmalarında bahsedildiği gibi fotovoltaik panellerin gaz ya da sıvı ile soğutularak panellerin elektriksel veriminin artırılması çokça tartışılan ve üzerine yapılan çalışmaların devam ettiği bir konudur. Bu tez çalışmasında ise konsantrasyonlu fotovoltaik termal bir sistemin Van ilinde kurulacak olan ceviz işleme tesisine uygulanarak hem elektrik üretiminin artırılması hem de ceviz kurutma işlemi için yakıt gereksiniminin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda konsantrasyonlu fotovoltaik termal sistemlerin ceviz işleme tesislerine uygulanmaması ve tez çalışmasında önerilen sistemin ceviz işleme tesislerinde temel sorun olarak görülen kurutma maliyetlerini düşürmesi nedeniyle tez çalışmasının literatürdeki durum çalışmalarına katkı sağlayacağı öngörülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

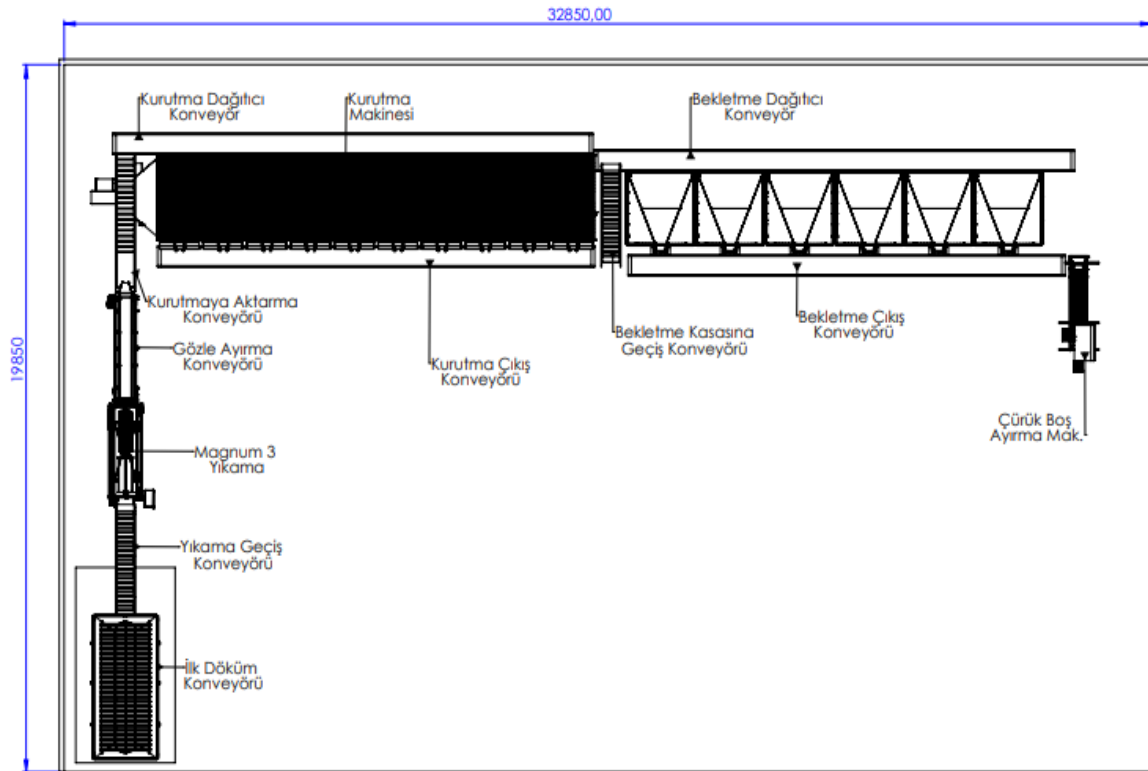
Bu tez çalışmasında Van ilinde kurulması planlanan ceviz işleme tesisinin iki farklı yöntemle tasarlanması düşünülmüştür. Birinci tasarım yönteminde ceviz işleme prosesleri için gerekli tüm enerjinin fotovoltaik paneller vasıtasıyla sağlanması planlanmıştır. Yalnızca cevizin kurutulması işlemi için yakıt kullanımı gerekmektedir. Birinci yöntem aynı zamanda günümüzde mevcut ceviz işleme tesislerinde kullanılan modeldir. Bu çalışmada önerilen ikinci yöntemde ise yine ceviz işleme prosesleri için enerji fotovoltaik modüllerden sağlanmış fakat cevizin kurutulması için konsantrasyonlu fotovoltaik termal (KFVT) sistem kullanılmıştır. Böylece kurutma işlemi için yakıt gereksiniminin ortadan kaldırılması ve yenilenebilir enerjiden faydalanılarak elektrik ve kurutma maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu bölümde öncelikle ceviz işleme tesisinin yapısı ayrıntılı olarak anlatılmış, sonrasında ise KFVT sistem tasarım yöntemine ve sistemin ekonomik analizine yer verilmiştir. Son olarak en uygun tasarım parametre değerlerinin belirlenebilmesi için kullanılan optimizasyon yönteminden bahsedilmiştir.

3.1. Ceviz İşleme Tesisinin Yapısı

Ceviz işleme tesisinin çalışma prensibi şekil 3.1 ve şekil 3.2’de görüldüğü gibi koordineli ve aşamalı bir şekilde gerçekleşmektedir. Öncelikle hasat edilen ceviz boşaltım konveyörüne dökülüyor. Oradan yıkanma ve soyma makinesine giriyor. Bir süre sonra yeşil kabuğundan arındırılıp, gözle ayırma konveyörüne dökülüyor. Daha sonra ceviz kurutma makinesine geçiyor. Kurutma işleminin süresi sıcaklığa göre değişkenlik göstermektedir. Kurutma makineleri; 30 derece 50 saat, 35 derece 40 saat, 40 derece 31 saat, 45 derece 25 saat ve 50 derecede 19 saat boyunca cevizi kurutuyor. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra bantlar yardımıyla cevizler, çürük ayırma makinesine giriyor. Çürük ayırma ve boş olanları ayıklandıktan sonra siparişe göre paketlemeye giriyor.



Şekil 3. 1. Ceviz işleme tesisi iç görünümü



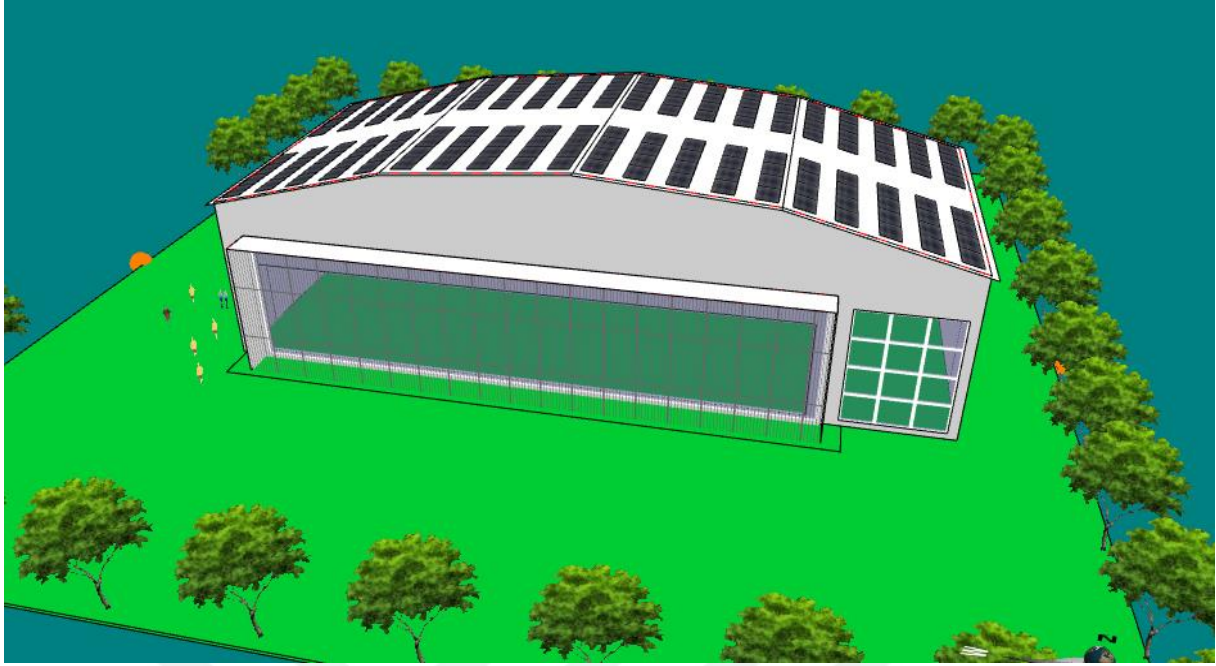
Şekil 3. 2. Ceviz işleme tesisi iç yapısı

Van ceviz işleme tesisinin enerji gereksinimi, fotovoltaik güneş enerji sistemiyle tesisin tüm enerji gereksinimi karşılamak için enerji ihtiyacının hesaplanması yapıldı. Tesis içerisinde çalışacak olan makineler günlük 5 saat çalışarak tükettiği enerji ihtiyacına göre analizi yapıldı.

Çizelge 3. 1. Ceviz işleme tesisinin enerji ihtiyacı

Cihaz	Enerji Tüketimi (kWh)	Günlük Enerji Tüketimi (kW5h)
Ceviz Boşaltım Konveyörü	2,2	11
Yıkama Giriş Konveyörü	1,1	5,5
Magnum Yatay Yıkama	2,2	11
Gözle Ayırma Konveyörü	0,75	3,75
Kurutmaya Giriş Konveyörü	1,1	5,5
Kurutma Dağıtım Konveyörü	2,2	11
Kurutma Ön Boşaltma Konveyörü	2,2	11
Bekletme Kasası Açılı Konveyör	1,1	5,5
Çürük Ayırma Makinesi	3	15
Ceviz Kurutma Makinesi	4,08	20,4
Elektrikli Fan (10 adet)	1,8	9
TOPLAM	≅ 22 kWh	≅ 110 kWh

Çizelge incelendiğinde; tesiste yer alan makinelerin enerji tüketim değerleri kWh olarak hesaplandı. Günlük enerji tüketimi toplam bazda ortalama 110 kWh olarak hesaplandı.



Şekil 3. 3. Birinci model ceviz işleme tesisi

Birinci model ceviz işleme tesisi aynı zamanda günümüzde mevcut ceviz işleme tesislerinde kullanılan modeldir. Bu modele göre ceviz işleme tesisinin enerji ihtiyacı analiz edilip tüm enerji ihtiyacına göre tesisin çatısına fotovoltaik paneller kurulur. Yalnızca ceviz kurutma makinesi için fuel-oil veya doğalgaz yakıtı kullanılır. Bu modelde yakıt maliyeti ve panel sayısının fazlalığından ötürü maliyetler oldukça yüksektir.



Şekil 3. 4. İkinci model ceviz işleme tesisi

Van ilinin eski ismi olan Tuşba, zamanında güneş şehri olarak tanınmış ve bazı kaynaklara göre güneş tarlası olarak adlandırılır. Yaz aylarında en fazla güneş enerjisini alan Karaman ve Antalya illerimizden sonra üçüncü il olarak yerini almaktadır (Van'da Güneş Enerji Santralinden Büyük Üretim İmkânı, 2017).

Çizelge 3. 2. Van'ın ve Türkiye'nin aylık bazda, günlük ortalama ve yıllık toplamda, güneşlenme süreleri ve güneş enerjisi potansiyeli (Sarıkaya, 2009).

Aylar	Van Potansiyeli	Günlük	Türkiye Potansiyeli	Günlük
	Günlük Global radyasyon (kW/m ² -gün)	Güneşlenme Süresi (saat/gün)	Günlük Global radyasyon (kW/m ² -gün)	Güneşlenme Süresi (saat/gün)
Ocak	1,91	5,27	1,79	4,11
Şubat	2,84	6,40	2,50	5,22
Mart	4,14	7,39	3,87	6,27
Nisan	5,13	8,50	4,93	7,46
Mayıs	6,63	10,11	6,14	9,10
Haziran	6,99	11,55	6,57	10,81
Temmuz	7,16	11,65	6,50	11,31
Ağustos	6,05	10,97	5,81	10,70
Eylül	5,25	10,31	4,81	9,23
Ekim	3,64	7,65	3,46	6,87
Kasım	2,31	6,16	2,14	5,15
Aralık	1,73	4,93	1,59	3,75
Toplam	1.635,81 kW/m²	3.068,74 saat/yıl	1.524,18 kW/m²	2.736,89 saat/yıl
	-yıl		- yıl	

Çizelge 3.2 incelendiğinde; Van ili ile Türkiye'nin güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.736,89 saat/yıl iken Van ilinin ise 3.068,74 saat/yıl'dır. Toplam günlük global radyasyon şiddeti ise Türkiye ortalaması 1.524,18 kW/m²-yıl iken Van ilinin ise 1.635,81 kW/m²-yıl olarak gözlemlenmiştir. Buna göre Van şehri her iki kategoride de Türkiye ortalamasının oldukça üzerinde bir potansiyele sahiptir.

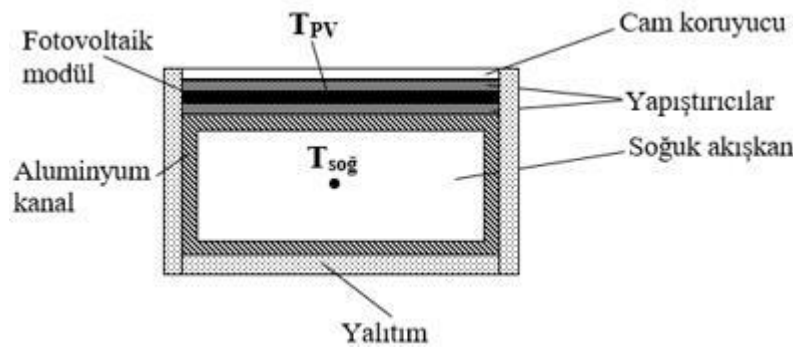
Çizelge 3. 3. PV verimini etkileyen parametreler

Parametre	Açıklama	Etki Oranı	Referans
Gölgeleme	Sisteme güç kaynağı yerine yük bağlanmış gibi bir etki oluşturacağından güç tüketimine sebep olmakta ve verim kaybına yol açmaktadır	%7	(Sathyanarayana, Ballal, Lasmi Sagar ve Kumar, 2015)
Sıcaklık	Aşırı ısınma panel verimini önemli ölçüde azaltmaktadır	%4,60	(Boppana, 2015)
Yansıma	Bir foton n tipi ve p tipi malzeme üzerine düştüğünde yasak bant aralığından daha büyük enerjiye sahip olan fotonlar eşit sayıda elektron ve boşluk çifti oluştururlar. Güneşten gelen ışınımın %100'ü kullanılamaz ve bir kısmı geri yansır	%2,50	(Navruz, 2013)
Tozlanma	Oluşan toz panel üzerine gelen ışınımın azalmasına yol açarak geçirgenliği azaltmakta ve kısa devre akımını etkileyerek verimi azaltmaktadır	%2	(Boppana, 2015)
Işınım	Enerjinin güneşten tanecik biçiminde yayılmasıdır ve gelen ışınımın %100'ü kullanılamaz, bir kısmı geri yansır	%1,50	(Navruz, 2013)
Spektrum	Fotovoltaik olayda güneş ışığını soğuracak malzeme yasak enerji aralığı güneş spektrumu ile uyumlu ve elektrik yüklerinin birbirinden ayrılabilmesine izin verebilecek özellikte bir yarı iletken olmalıdır	%1	(Grunow, Preiss, Koch ve Krauter, 2009)
DC kablo kaybı	Sistemde kullanılan kabloların iç direncinden kaynaklanan kayıplardan kaynaklanır	%5	(Sathyanarayana ve diğerleri, 2015)
İnverter	İnverterdeki yarı iletken, manyetik malzeme ve kapasitörlerin iletim ve anahtarlama kayıplarına bağlıdır	%3	(Grunow ve diğerleri, 2009)
AC kablo kaybı	Sistemde kullanılan kabloların iç direncinden kaynaklanan kayıplardır	%1	(Grunow ve diğerleri, 2009)
Uyumsuzluk	Şebekeye bağlı bir sistemde uygun gerilim seviyesine ulaşmak için çok sayıda hücre kullanılır. Bu durum çok sayıda PV hücresinin birbirine seri bağlı olarak aynı DC akımda çalışmasına yol açar	%0,70	(Sathyanarayana ve diğerleri, 2015)

Çizelge incelendiğinde; Fotovoltaik Sistemlerde panel verimliliğini ciddi anlamda etkileyen önemli etkenlerden biri sıcaklık unsurudur. Panelde aşırı ısınma, veriminin olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. Hücre sıcaklığındaki her 10C artışla üretilen gerilim 0,5 V azalmaktadır (Boztepe, 2019).

3.3. Konsantrasyonlu fotovoltaik termal (KFVT) sistem hesaplamaları

KFVT sistem fotovoltaik modül, etilen vinil asetat yapıştırıcılar, cam koruyucu, alüminyum akışkan kanalı ve yalıtımdan oluşmuştur (Şekil 3.7). Bu modül ile güneş enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüşmektedir. Modülde meydana gelen atık ısının soğuk akışkan tarafından absorbe olur. Diğer kısmı ise iletim, konveksiyon ve radyasyon ısı transfer mekanizmaları dış ortama ısı kaybı olarak aktarılır.



Şekil 3. 7.. Konsantrasyonlu Fotovoltaik Termal Sistem Bileşenleri

KFVT sistemin boyutları ve bileşenlerin ısı özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3. 4. KFVT sistem boyutları ve malzemelerin ısı özellikleri (Qu, Hong, Su, Tang ve Jin, 2018)

Malzeme	Kalınlık (m)	Genişlik (m)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Yayıcılık
Cam	3×10^{-3}	0,185	0,8	0,90
FV hücre	3×10^{-4}	0,165	147	-
Yapıştırıcı	$1,3 \times 10^{-3}$	0,185	0,38	-
Alüminyum	4×10^{-3}	0,185	211	-
Cam yünü	3×10^{-2}	0,245	0,035	0,50

Fotovoltaik modülün verimi aşağıda verilen Eş. (1) ile hesaplanmıştır (Shoplaki ve Palyvos, 2009).

$$\eta_{fv} = \eta_{ref} [1 - \beta_{ref} (T_{FV} - T_{ref}) + \gamma \log I] \quad (1)$$

Burada η_{ref} ve β_{ref} sırası ile 25°C'deki modül verimini ve referans sıcaklık katsayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada M-Si fotovoltaik hücre tipi kullanılmış ve η_{ref} ve β_{ref} sırası ile 0.25 ve 9.03×10^{-4} 1/K olarak alınmıştır. β_{ref} değeri geniş sıcaklık aralığında az miktarda değişebilmektedir. Bu çalışmadaki sıcaklık aralığı göz önünde bulundurularak sabit kabul edilmiştir. T_{ref} ise referans sıcaklık değeri (25°C) ve I direkt solar radyasyon değeridir. Eş. (1) ile ifadesi düşük konsantrasyon değerleri için ihmal edilebilmektedir (Notton, Cristofari, Mattei ve Poggi, 2005).

Güneş panellerine gelen fotovoltaik Eş. (2) ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_{FV} = I C A_{FV} \eta_{opt} \quad (2)$$

Denklemden C konsantrasyon oranı ($C=30$), A_{FV} fotovoltaik modül alanı ($A_{FV}=2.475 \text{ m}^2$) ve η_{opt} ise optik verimdir. Optik verim 0,85 olarak alınmıştır (Kosmadakis, Manolakos ve Papadakis, 2001).

Güneş radyasyonunun elektrik enerjisine dönüşen kısmı ise ($\dot{w}_{elek}$) Eş. (3) ile bulunur,

$$\dot{w}_{elek} = \dot{Q}_{FV} \eta_{FV} \eta_{inv} \quad (3)$$

Burada η_{FV} fotovoltaik modül verimini, η_{inv} ise inverter verimini ifade etmektedir. İnverrter verimi $\eta_{inv}=0,90$ olarak alınmıştır (Kosmadakis ve diğerleri, 2001).

Fotovoltaik modülde oluşan atık ısı değeri ise aşağıdaki denklemle hesaplanır,

$$\dot{Q}_{atık} = \dot{Q}_{FV} (1 - \eta_{FV}) \quad (4)$$

Dış ortama aktarılan ısı transferiyle birlikte enerji dengesi Eş. (5) ile ifade edilebilir,

$$\dot{Q}_{\text{atık}} = \dot{Q}_{\text{abs,soğ}} + \dot{Q}_{\text{kayıp}} \quad (5)$$

Burada $\dot{Q}_{\text{abs,soğ}}$ soğuk akışkan tarafından emilen ısı, $\dot{Q}_{\text{kayıp}}$ ise dış ortama olan toplam ısı kaybıdır. $\dot{Q}_{\text{abs,soğ}}$ ve $\dot{Q}_{\text{kayıp}}$ Şekil 3.8’de gösterilen ısı direnç ağına göre hesaplanmıştır. Konsantrasyonlu fotovoltaiik termal sistemde tüm aşamalardaki sıcaklığın dağılım durumları üniform olduğu görülmüştür. Güneş panelinin katmanlarının çok ince bir yapıda olması yan yüzeylerinin dışarıya akan ısı kayıpları kanalın diğer yan yüzeylerinde meydana gelen ısı kayıplarına nazaran ihmal edilebilir orandadır. Bu sebeple Fotovoltaiik hücre, cam ve yapıştırıcı katmanlarının yan kenarlarında meydana gelen ısı kayıpları ihmal edilmektedir. Isı transfer mekanizmalarını içermekte olan ısı dirençler Eş. (6), (7) ve (8) ile hesaplanmıştır.

$$R_{\text{kond}} = L_{\text{kalınlık}} / kA_{s,\text{kond}} \quad (6)$$

$$R_{\text{konv}} = 1/hA_{s,\text{konv}} \quad (7)$$

$$R_{\text{birleşik}} = 1/h_{\text{birleşik}} A_{s,\text{birleşik}} T_{\text{çevre}} \approx T_{\text{ortam}} \quad (8)$$

Denklemlerde $L_{\text{kalınlık}}$ katman kalınlıklarını, A_s , kond, A_s , konv ve A_s , birleşik sırasıyla iletim, taşınım ve birleşik ısı transferi yüzey alanlarıdır. h ve $h_{\text{birleşik}}$ ise sırasıyla akışkan ile ilgili taşınım değerini ve taşınım ile ışıınım etkilerini içeren birleştirilmiş ısı transfer katsayısını ifade etmektedir. Çevre ve ortam sıcaklıkları hesaplamalarda daha kolaylık vermesi açısından birbirine eşit bir şekilde alınmaktadır. Taşınım ve ışıınım etkilerini içeren birleştirilmiş ısı transfer katsayısı Eş. (9) ile bulunmuştur (Çengel, 2006).

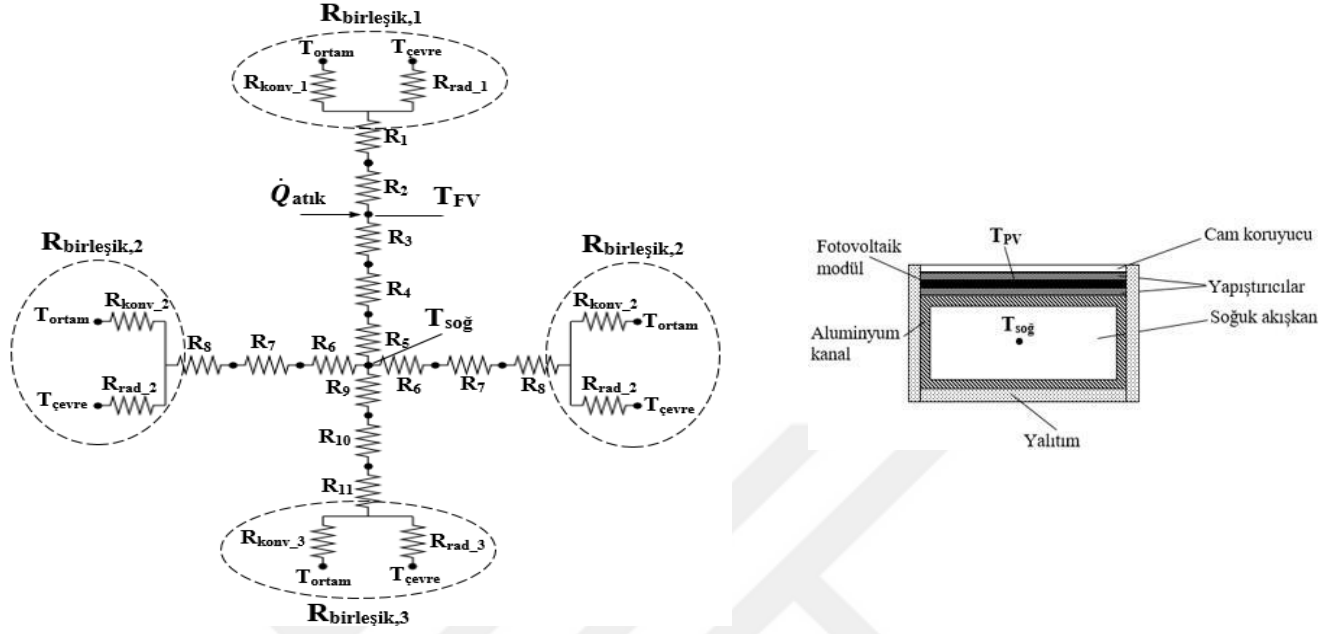
$$h_{\text{birleşik}} = h_{\text{konv}} + h_{\text{rad}} \quad (9)$$

Burada h_{konv} ve h_{rad} sırası ile taşınım ve ışıınım ile ilgili ısı transfer katsayılarını belirtmektedir. Bu ısı transfer katsayıları Eş. (10) ve (11) ile bulunmuştur,

$$h_{\text{konv}} = 2,8 + 3V_{\text{rüzgar}} \quad (10)$$

$$h_{\text{rad}} = \sigma \epsilon (T_s^2 + T_{\text{çevre}}^2) (T_s + T_{\text{çevre}}) \quad (11)$$

Burada A_s , rad ışıınım ısı transfer yüzey alanı, σ Stefan Boltzmann sabiti, ε yayıcılık katsayısı ve T_s yüzey sıcaklığıdır. Rüzgâr hızı $V_{\text{rüzgar}} = 1$ m/s alınmıştır.



- 1-Cam (iletim), 2-Yapıştırıcı üst (iletim), 3-Yapıştırıcı alt (iletim)
 4-Kanal üst (iletim), 5-Akışkan üst (taşıınım), 6-Akışkan yan (taşıınım)
 7-Kanal yan (iletim), 8-Yalıtım yan (iletim), 9-Akışkan alt (taşıınım)
 10-Kanal alt (iletim), 11-Yalıtım alt (iletim)

Şekil 3. 8. Isıl direnç ağı ve ısı transfer mekanizmaları

Akışkan bölgesindeki ısı transfer katsayısı (h) Eş. (12)'deki dikdörtgen bir kanal için verilen Nu sayısı bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır (Qu ve diğerleri, 2018).

$$Nu = \begin{cases} 3.66 + \frac{[(0.49 + 0.02/Pr + 5)] \left[\left(\frac{RePrDh}{L} \right)^{1.12} \right]}{(1 + 0.065 \left(\frac{RePrDh}{L} \right)^{0.7})} & Re < 2300 \\ \frac{\left(\frac{f}{8} \right) Re Pr}{k_1(f) + K_2(Pr) \left(\frac{f}{8} \right)^{\frac{1}{2}} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} & Re \geq 2300 \end{cases} \quad (12)$$

K_1 ve K_2 fonksiyonları ve sürtünme katsayısı (f) aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır,

$$K_1(f) = 1 + 3.4f \quad (13)$$

$$K_2(Pr) = 11.7 + 1.8 Pr^{-1/3} \quad (14)$$

$$f = (1,82 \log Re - 1,64)^{-2} \quad (15)$$

Reynolds (Re) ve Prandtl (Pr) sayısı ise Eş. (16) ve (17) ile bulunur,

$$Re = \rho V D_h / \mu \quad (16)$$

$$Pr = \mu_{c_p} / k_{akışkan} \quad (17)$$

Akışkanın tüm termofiziksel özellikleri ortalama akışkan sıcaklığına göre belirlenmiştir. Akışkan kanalındaki ısı transfer katsayısı ise Nu sayısına bağlı olarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır,

$$h = k_{akışkan} Nu / D_h \quad (18)$$

$\dot{Q}_{abs,soğ}$ ve $\dot{Q}_{kayıp}$ ısı transfer değerleri ise sırasıyla Eş. (19) ve (20) ile hesaplanmıştır,

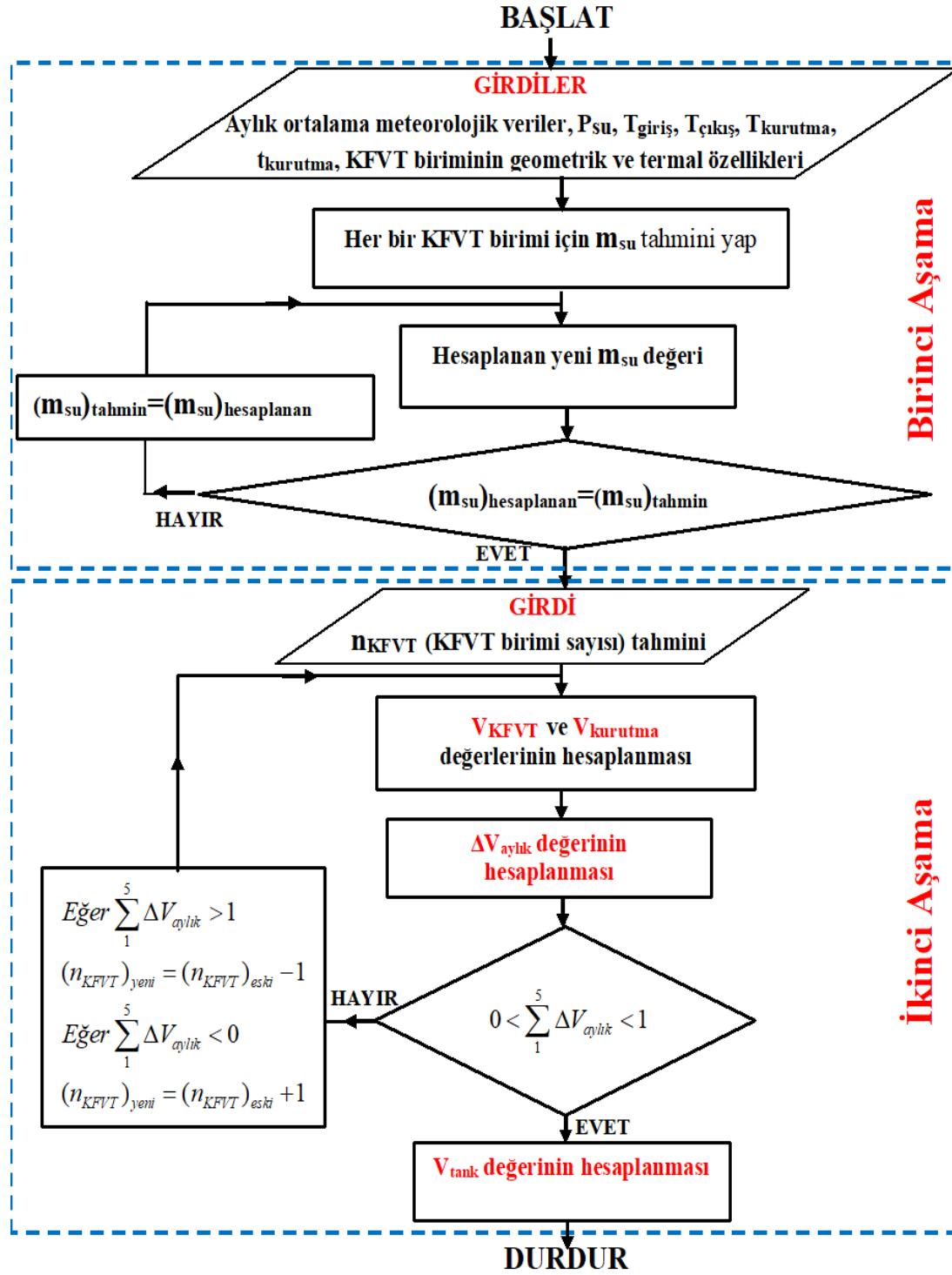
$$\dot{Q}_{abs,soğ} = \frac{T_{Fv} - T_{soğ}}{R_3 + R_4 + R_5} \quad (19)$$

$$\dot{Q}_{kayıp} = \frac{T_{Fv} - T_{çevre}}{R_1 + R_2 + R_{birleşik,1}} + 2 \left(\frac{T_{soğ} - T_{çevre}}{R_6 + R_7 + R_8 + R_{birleşik,2}} \right) + \left(\frac{T_{soğ} - T_{çevre}}{R_9 + R_{10} + R_{11} + R_{birleşik,3}} \right) \quad (20)$$

3.4. Çözüm Prosedürü

KFVT sistem çözümü için Şekil 3.9 ile verilen çözüm prosedürü uygulanmıştır. Çözüm prosedürü iki aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada KFVT biriminden geçen suyun kütleli debisi ($\dot{m}_{su}$) iteratif yöntemle hesaplanmıştır. İlk olarak çevre koşulları ve KFVT birimine atı veriler girilmiştir. Sonrasında $\dot{m}_{su}$ tahmini yapılmış ve Bölüm 3.3’de verilen denklemler kullanılarak akışkan tarafından emilen ısı transferi (Q_{abs}) hesaplanmıştır. Hesaplanan Q_{abs} değerine göre yeni bir $\dot{m}_{su}$ değeri hesaplanmış ve tahmin edilen $\dot{m}_{su}$ değeri ile karşılaştırılmıştır. İki değer birbirine eşit olması durumunda ikinci aşamaya geçilmiş, eşit olmaması durumunda ise yeni bir $\dot{m}_{su}$ değer tahmini yapılarak işlemler tekrarlanmıştır. İkinci aşamada ise ceviz kurutma işleminde kullanılacak olan havanın ısıtılması için gerekli su tankı hacmi hesaplanmıştır. İlk olarak birinci aşamada girilen kurutma süresi ve

sıcaklığına bağlı olarak kurutma enerjisini ($W_{kurutma}=4.08$ kW) karşılayacak su miktarı ($V_{kurutma}$) tespit edilmiştir. Sonrasında belirlenen KFVT birim sayısına göre (n_{KFVT}) KFVT sistemden elde edilen su miktarı hesaplanmıştır (V_{KFVT}). Bu iki su miktarının farkı ($\Delta V_{aylık}=V_{KFVT}-V_{kurutma}$) kurutma için yeterli su miktarının sağlanıp sağlanamadığını göstermektedir. Güneş radyasyonuna bağlı olarak bazı aylarda $\Delta V_{aylık}$ değeri negatif bazı aylarda da pozitif çıkmaktadır. Pozitif değerler fazladan su depolandığını, negatif değerler ise gerekenden daha az suyun depolanabileceğini ifade etmektedir. Fazladan depolanan su, kurutma için yeterli suyun temin edilemediği zamanlarda kullanılmıştır. Fazladan suyun aktarılması periyodunda, depoların tesisin içerisinde korunaklı bir bölgede olması, beş aylık süreçte depo içinde sürekli sirkülasyon olması ve depo yalıtımlarının yeterli kabul edilmesi nedeniyle depolardan dış ortama olan ısı kayıplarının ihmal edilebileceği öngörülmüştür. Beş aylık sürede $\Delta V_{aylık}$ toplamının 0'a yakın olması durumunda analiz sonlandırılmıştır. $\Delta V_{aylık}$ 'nin 1'den büyük olması ya da 0'dan küçük olması durumunda ise KFVT birim sayısı artırılarak ya da azaltılarak işlemler tekrarlanmıştır. Son olarak $\Delta V_{aylık}$ değerlerinin pozitif olanları toplanarak $V_{kurutma}$ değerinin üzerine eklenmiş ve tank hacmi (V_{tank}) hesaplanmıştır.



Şekil 3. 9. KFTV sistem ve su deposu hacminin belirlenmesi için akış şeması

3.5. Ekonomik Analiz

Seviyelendirilmiş elektrik (SEM) ve ısıtma maliyeti (SIM) kavramı, enerji üretim sistemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. SEM ve SIM değerleri aşağıda verilen denklem ile hesaplanmıştır,

$$SEM(SIM) = \frac{M_{top} + \sum_{i=1}^{i\ddot{O}} \frac{M_{yil}}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^{i\ddot{O}} \frac{E_{yil}}{(1+r)^i}} \quad (21)$$

Bu denklemde M_{top} ve M_{yil} sırasıyla toplam maliyet ve yıllık maliyetlerdir. Ayrıca r iskonto oranı, $\ddot{O}$ ise işletme ömrüdür. Bu çalışmada $\ddot{O}$ ve r sırasıyla 20 yıl ve %5 olarak alınmıştır. E_{yil} , SEM için KFVT sistemden elde edilen yıllık elektrik enerjisi, SIM için yıllık ısıtma enerjisidir. M_{yil} ifadesi, yıllık işletme ve bakım onarım maliyetine (BOM) eşdeğer olarak alınmıştır ($M_{yil}=BOM$). Bakım onarım maliyeti ise toplam maliyetin %6'sı olarak kabul edilmiştir (Kurşun ve Ökten, 2022).

KFVT sisteminde FV modülünün yanı sıra, inverter, reflektörler (konsantratörler), alüminyum kanallar, su depoları ve kurutma havasının ısıtılması için bir adet ısı eşanjörü kullanılmıştır. KFVT sistem tasarımında kullanılan bileşenlerin maliyeti Çizelge 3.5'te verilmiştir. Ayrıca üretilen elektrik enerjisinin fazlasının elektrik alış fiyatından satıldığı varsayılmıştır. SEM hesaplamalarında yatırım maliyetine FV modüller, alüminyum su kanalları, reflektörler, inverter ve elektrik satış maliyetleri dahil edilmiştir. SIM hesaplamalarında ise reflektörler, alüminyum su kanalları, su depolama tankları ve ısı eşanjörü maliyetleri dikkate alınmıştır. Birinci sistem tasarımında cevizin kurutulmasında kullanılan havanın ısıtılmasında yakıt olarak doğal gaz ya da fuel-oil kullanıldığından Çizelge 3.5'te yakıt maliyetlerine de yer verilmiştir.

Çizelge 3. 5.. Sistem bileşenlerinin maliyetleri (Sistem Bileşenlerinin Maliyetleri, 2022: Yakıt Maliyetleri, 2022)

1. PV MODÜL FİYATI TL/m ²	M-SI: 90 \$/m ² (400 Watt) P-SI: 100 \$/m ² (285 Watt)
2. ALÜMİNYUM KANAL	150 TL/m ²
3. SU DEPOSU TL/Litre veya TL/m ³	2200 TL/m ³
4. YANSITICI PLAKA (REFLEKTÖR) TL/m ²	Kalınlık: 0,40mm 20 €/m ² Kalınlık: 0,50mm 25 €/m ²
5. ELEKTRİK SATIŞ TL/kWh	2,80 TL/kWh
6. DOĞALGAZ TL/m ³	5,75 TL/m ³
7. FUEL ÖİL TL/m ³	15,38 TL/m ³
8. ISI EŞANJÖRÜ TL/m ² (Çift Borulu)	200 €/m ²
9. İNVERTER	10,000 TL

3.6. Optimizasyon Yöntemi

Taguchi Metodu Akış Şeması aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3. 10. Taguchi akış şeması

Taguchi tarafından kullanılan (S/N) oranını standart sapma yerine ölçülebilir bir değer olarak geçmiştir. S/N oranı, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) oranıdır. S/N oranı özellikleri üç gruba ayrılır.

- En düşük en iyi olduğu durumda:

$$\frac{S}{N}: 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (22)$$

Bu tür durumlarda, Y'nin hedef değeri sıfırdır. En küçük değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranını gösterir.

- En yüksek (büyük) en iyi olduğu durumda:

$$\frac{S}{N}: -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (23)$$

Bu formülde ise Y'nin değeri negatif olmayan sonsuzluk olarak ideal bir hedefi olan ölçülebilir bir özellik durumundadır. Burada en büyük değer en iyi durum için sinyal/gürültü oranını göstermektedir.

- Nominal en iyi olduğu durumda:

$$\frac{S}{N}: 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{s_y^2} \right) \quad (24)$$

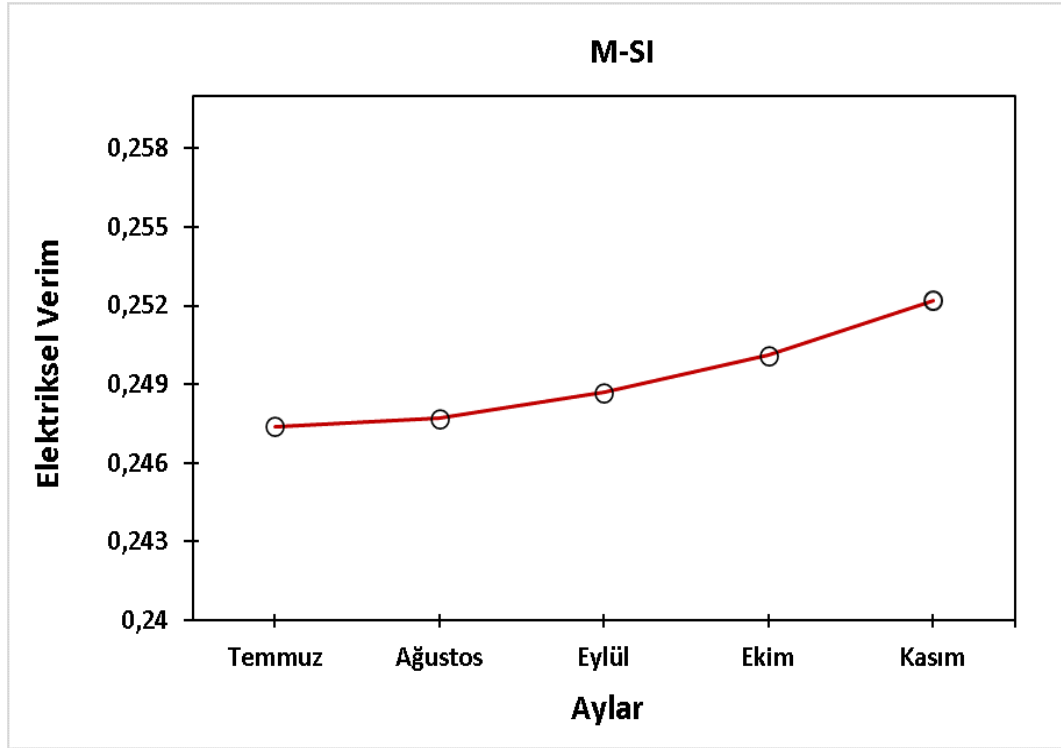
Yukarıda görüldüğü gibi ikili bir karakteristik olduğu durumda nominal değer hedeftir. Dolayısıyla varyasyonun sıfır olması için bütün parçalar bu değere getirilir. Hedef değer için en iyi durum halinde sinyal/gürültü oranını göstermektedir.

Kalite karakteristiği kategorisinde maliyet açısından en düşük SEM ve SIM değerlerine göre En düşüğün en iyi olduğu durumda S/N oranı kullanılmıştır. İstatistiksel olarak $p < 0.05$ anlamlılık düzeyi kabul edilmektedir.

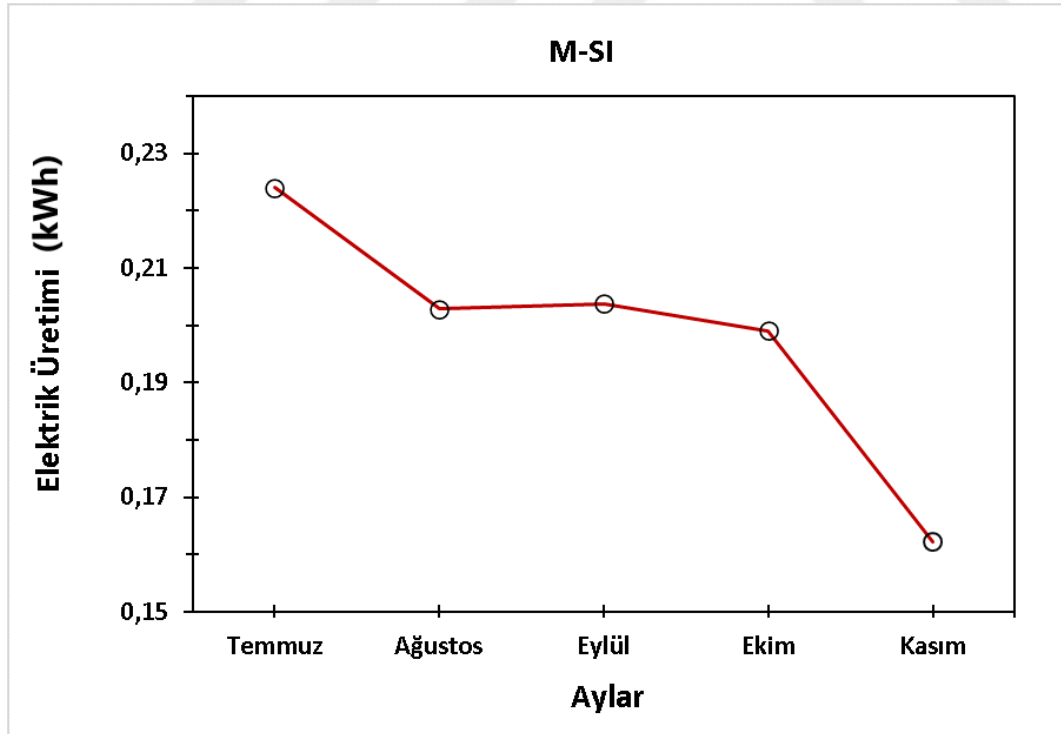
4.2. Parametrik Çalışma Sonuçları

Analiz sonuçları, ceviz işleme tesisindeki enerji üretim sistemlerinin iki farklı tasarımı için elektrik üretimi, ısıtma enerjisi ve enerji maliyeti açısından karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Birinci tasarımda tesis çatısına yerleştirilen FV modüllerden elde edilen elektrik enerjisi ile ekipmanlar çalıştırılmış ve cevizin kurutulması için sıcak hava elde edilmesi doğal gaz ve fuel-oil kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İkinci tasarımda ise FV modüllerin bir kısmı KFVT sistem haline dönüştürülerek güneşi görmesi engellenmeyecek şekilde zemine yerleştirilmiştir. KFVT birimlerden elde edilen sıcak su bir ısı eşanjöründen geçirilerek ceviz kurutma işlemi için gerekli sıcak havanın elde edilmesi sağlanmıştır. Bu iki tasarıma bağlı olarak elde edilen elektrik üretimi, PV modüllerin elektriksel verimleri ve enerji üretim maliyetleri karşılaştırmalı olarak aşağıdaki şekillerde sunulmuştur. PV modül olarak M-Si ve P-Si hücre çeşitleri tercih edilmiş ve parametrik çalışma her iki modül çeşidi için de gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.2’de M-Si PV modül kullanımı durumunda (birinci tasarım) ceviz işleme tesisinin devreye alındığı beş ay için PV modülün elektriksel verimindeki değişim verilmiştir. PV modül verimini etkileyen en önemli faktörler modül sıcaklığı ve PV modüle gelen güneş radyasyonu miktarıdır. Temmuz ve Kasım ayları arasında ortalama güneş radyasyonu 592 W/m² ile 420 W/m² arasında değişmiştir. Temmuz ayında ortalama radyasyon miktarı en fazla olmasına rağmen (592 W/m²) soğutma olmaması nedeniyle ortalama PV modül sıcaklığı 36.4°C’ye ulaşmıştır. Kasım ayında ise bu değer ortalama 15.2°C’dir. Düşük PV modül sıcaklıkları elektriksel verimi artırdığından en yüksek PV modül elektriksel verimi Kasım ayında, en düşük elektriksel verim ise temmuz ayında elde edilmiştir. Temmuz ayında PV modülün elektriksel verimi en düşük değerini almasına rağmen ortalama güneş radyasyonunun en yüksek değerine ulaşması PV modülden elde edilen ortalama elektrik üretimini de diğer aylara göre en yüksek değerine (0,224 kW) ulaştırmıştır (Şekil 4.3). Kasım ayındaki ortalama elektrik üretimi ise 28,5% azalarak 0.16 kW değerine düşmüştür.

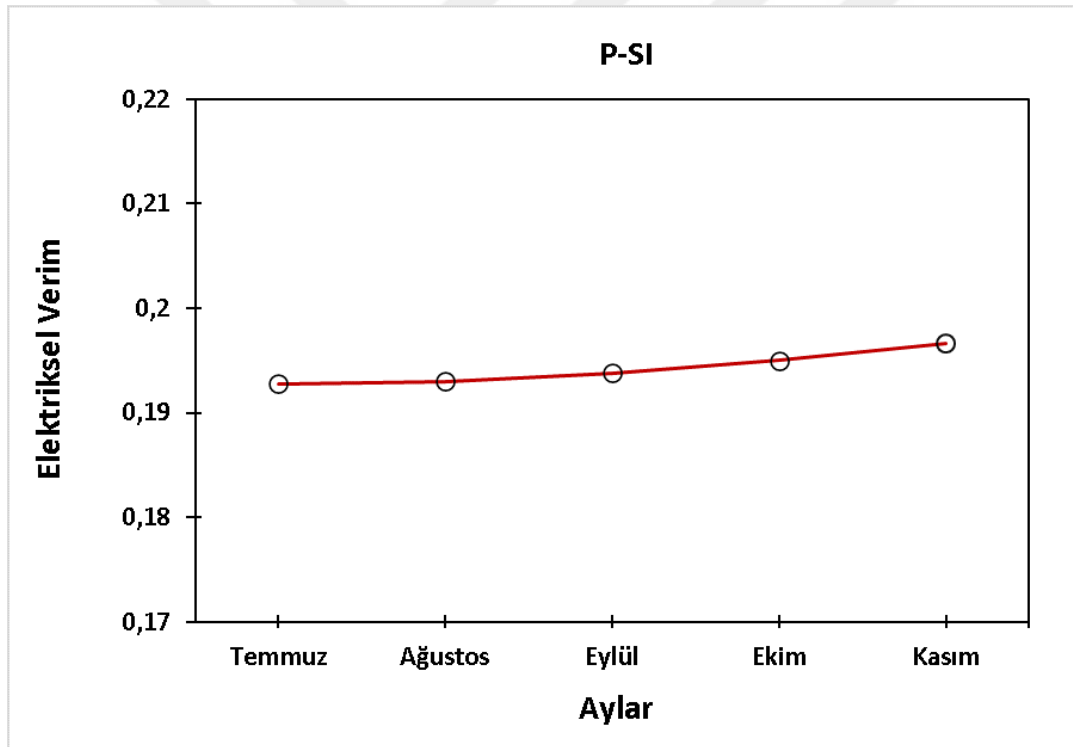


Şekil 4. 2. Konsantrasyonsuz M-Si panelin kurutma saatine göre elektriksel verim grafiği

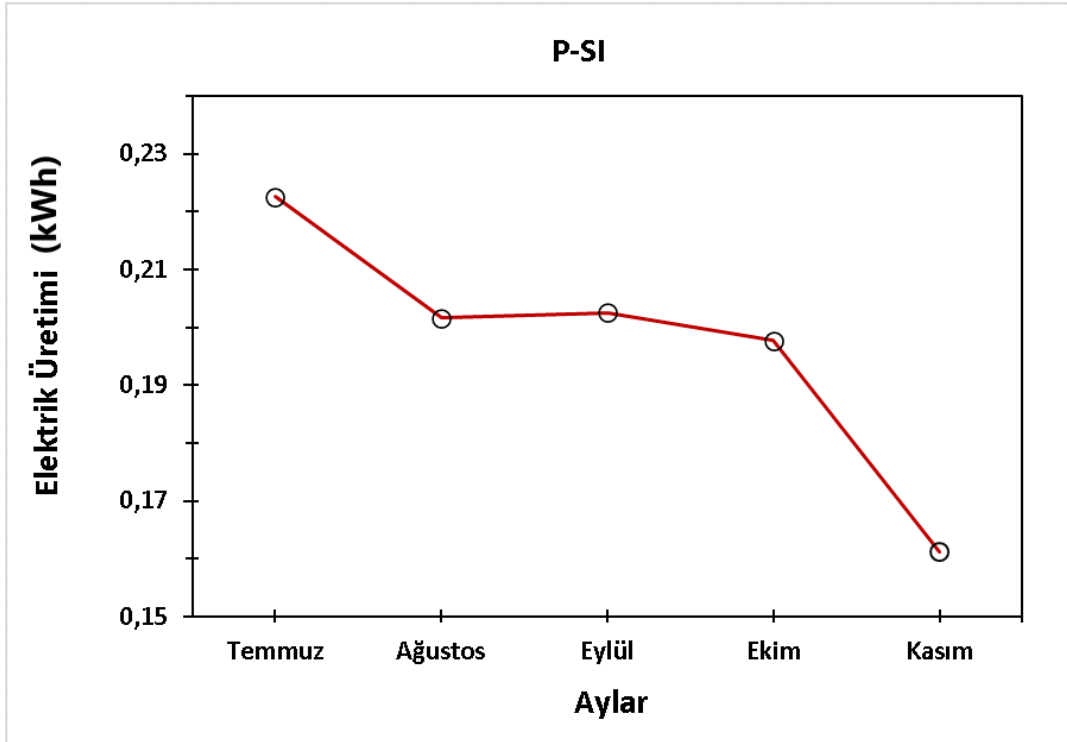


Şekil 4. 3. Konsantrasyonsuz M-Si panelin kurutma saatine göre elektrik üretimi grafiği

Şekil 4.4 ve 4.5’de de tesisin çatısında soğutmasız FV modüllerin bulunduğu birinci tasarım için P-Si hücreye sahip PV modül kullanılması durumunda elde edilen elektriksel verim ve elektrik üretimi değerleri verilmiştir. Elde edilen veriler genel karakteristik bakımından M-Si hücre tipine sahip FV modül kullanılması durumuna benzerlik göstermiş olsa da P-Si modülün hücre çeşidine ve üretimine bağlı referans elektriksel veriminin daha düşük olması beş ay için ortalama elektriksel veriminde düşüşe neden olmuştur (Şekil 4.4). Beş aylık periyod için P-Si modülün ortalama elektriksel verimi 19,65% ile 19,8% arasında değişmiştir. Elektriksel verim PV modüle gelen güneş radyasyonunun ne kadarının elektrik enerjisine dönüştürüldüğü ile ilişkilidir. P-Si modüldeki daha düşük elektriksel verim değerlerine paralel olarak Şekil 4.2 ve Şekil 4.5 karşılaştırıldığında görülebileceği gibi P-Si modülden elde edilen elektrik enerjisi M-Si modüle göre daha düşüktür.



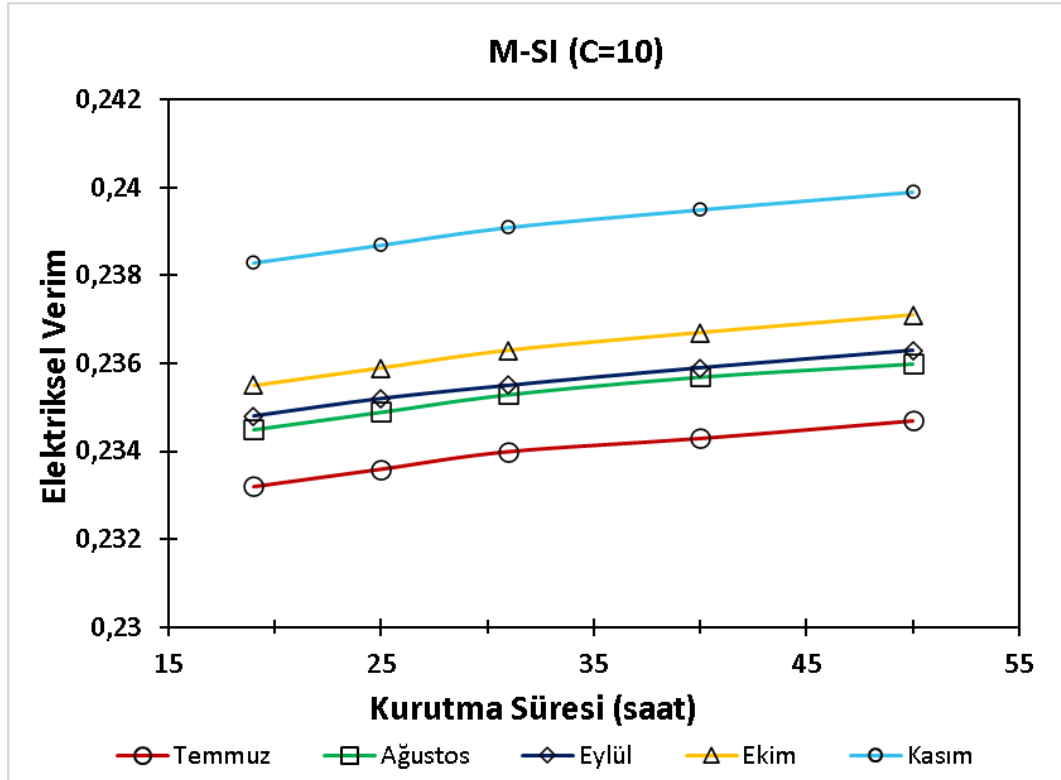
Şekil 4. 4.. Konsantrasyonsuz P-Si panelin kurutma saatine göre elektriksel verim grafiği



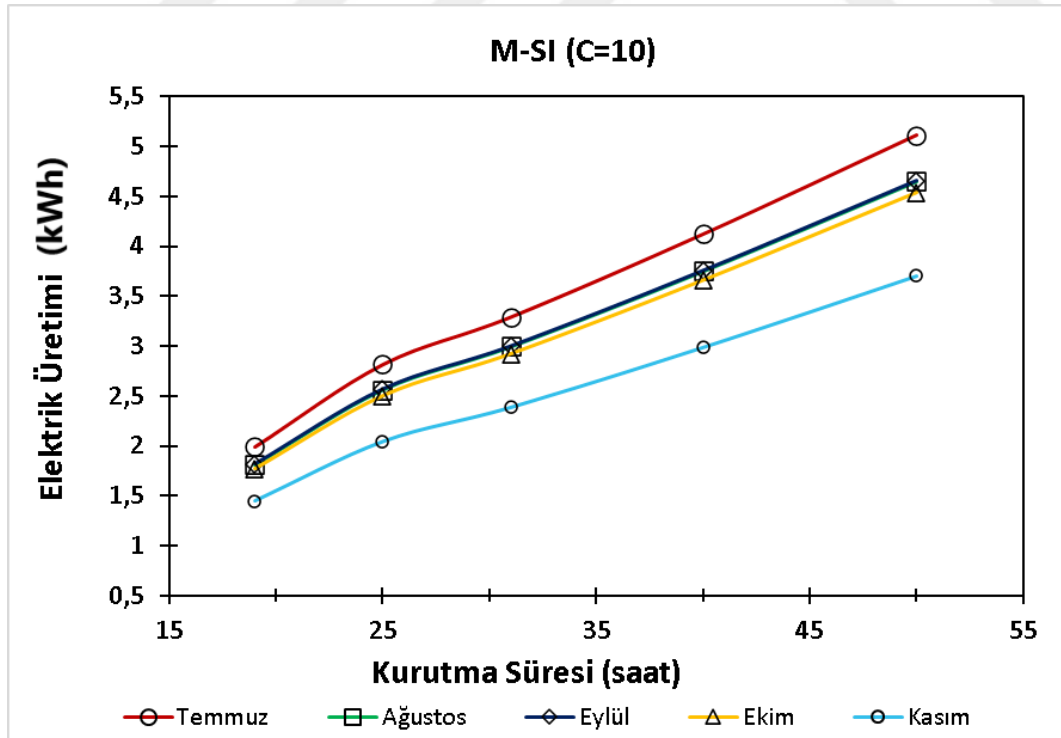
Şekil 4. 5.. Konsantrasyonsuz P-Si panelin kurutma saatine göre elektrik üretimi grafiği

Şekil 4.6’da ise ikinci tesis tasarımında tesis zeminine kurulan KFVT birimlerin her birinden ceviz kurutma süresi ve konsantrasyona bağlı olarak elde edilen elektriksel verim ve elektrik üretimi verilmiştir. Çatıda bulunan PV modüllerden elde edilen bulgular Şekil 4.2-Şekil 4.5’de verilenler ile aynıdır. KFVT sistemde birisi düşük, diğeri yüksek sıcaklığa sahip iki su depolama tankı bulunmaktadır. Düşük sıcaklıktaki su KFVT birimlere girerek FV modülde oluşan atık ısı enerjisinin bir kısmı ile ısınmakta ve yüksek sıcaklıktaki su tankında hava ısıtma işlemi için depolanmaktadır. FV modüllerin su ile soğutulması neticesinde FV modüllerin yüzey sıcaklıkları düştüğünden elektriksel verimleri artmakta ve bu artışa bağlı olarak daha fazla elektrik üretimi sağlanmaktadır. Elektrik üretiminin artışı da diğer bir etken ise reflektör (konsantratör) kullanımıdır. Reflektörler daha fazla güneş ışığını FV modül üzerine yoğunlaştırarak topladığından elektrik üretiminin artışı sağlamaktadır. Diğer yandan güneş ışınımının yoğunluğu arttıkça FV modül daha fazla ısınma eğiliminde olsa da su soğutma kanalı vasıtasıyla PV modül sıcaklıkları düşürülmektedir. Bu nedenle KFVT sistem parametre değerlerinin tümünde soğutmasız FV modüllere göre daha fazla elektrik üretimi elde edilmiştir. KFVT sistemli ikinci tasarım için elde edilen bulgular aşağıdaki grafiklerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Şekil 4.6’da kurutma süresine bağlı olarak KFVT birimde meydana gelen elektriksel verim değişimi verilmiştir. Bölüm 3.7’de bahsedildiği gibi cevizin kurutulma süresine bağlı olarak kurutma havası sıcaklığı değişmektedir. 19 saatlik kurutma süresi için 50°C’lik hava üfleme sıcaklığı gerekirken, 50 saatlik kurutma işlemi için 30°C’lik hava üfleme sıcaklığı yeterli olmaktadır. Hava üfleme sıcaklığına bağlı olarak havanın ısıtılacağı su sıcaklığı da değiştiğinden FV modülün altındaki kanaldan geçen su sıcaklığı ortalaması da 32.5°C (50 saat kurutma için) ile 42.5°C (19 saat kurutma süresi için) arasında değişmiştir. Şekil 4.6’dan anlaşıldığı gibi kurutma süresinin artışı ortalama su sıcaklığının düşmesine neden olduğundan FV modül daha iyi soğutulmuş ve elektriksel verimi artmıştır. En yüksek elektriksel verim 50 saat kurutma süresi için Kasım ayında ortalama 24% olarak elde edilmiştir. Aylara bağlı olarak meydana gelen verim değişimi hakkında ise birinci tasarımda FV modüller için yapılan yorumlar tekrar yinelenebilir. Şekil 4.7’de görüldüğü gibi kurutma süresinin artışı ile elektriksel verimde olduğu gibi elektrik üretiminde de artış meydana gelmiştir. Temmuz ayında kurutma süresinin 19 saatten 50 saate çıkarılması ile elektrik üretimi 155% artarak yaklaşık 2 kW’tan 5 kW’a yükselmiştir. KFVT birimden elde edilen elektrik üretimi, birinci tasarımda kullanılan soğutmasız PV modüllerden elde edilen elektrik üretimi ile kıyaslandığında oldukça yüksektir. Soğutmasız PV modülden elde edilen elektrik üretimi en yüksek 0,224 kW değerinde iken (Şekil 4.3) KFVT birimden elde edilen en yüksek elektrik üretimi 5 kW civarındadır (Şekil 4.7).

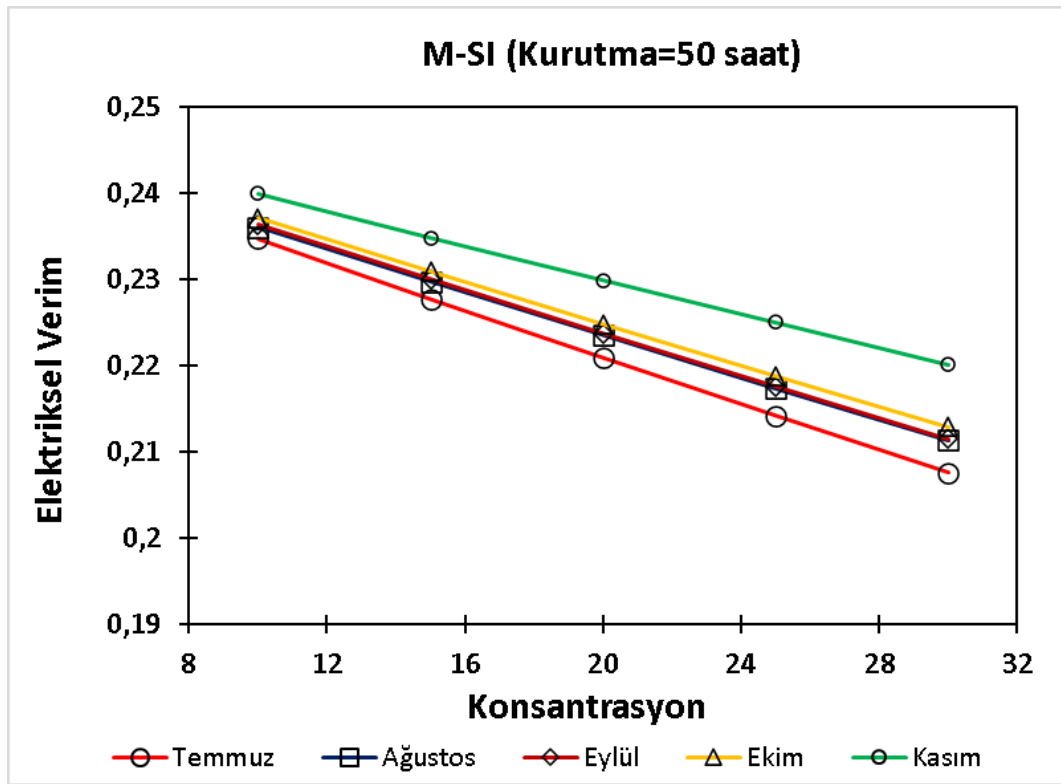


Şekil 4. 6. M-Si panelin kurutma saatine göre elektriksel verim grafiği

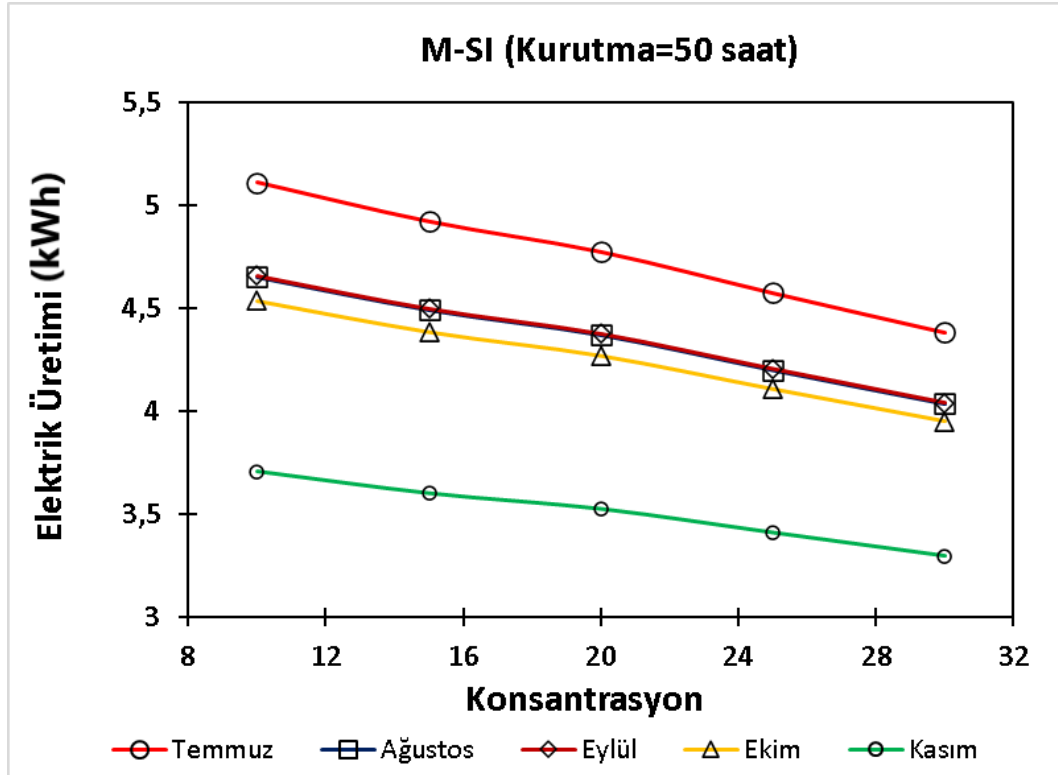


Şekil 4. 7. M-Si panelin kurutma saatine göre elektrik üretimi grafiği

Şekil 4.8 ve 4.9’da KFVT birimde konsantrasyon değişimine bağlı olarak değişen elektriksel verim ve elektrik üretimi değerleri görülmektedir. Konsantrasyon artışı PV modüle gelen güneş enerjisini artırsa da PV modülün sıcaklığının önemli ölçüde yükselmesine neden olmaktadır. Böylece PV modülün elektriksel veriminde düşüş meydana gelmektedir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi en yüksek ortalama elektriksel verimin görüldüğü Kasım ayında konsantrasyon değerinin 10’dan 30’a çıkarılması ile elektriksel verim 24%’den 22%’ye düşmüştür. Bu düşüşe paralel olarak ortalama elektrik üretimi de 5,1 kW değerinden 4,5 kW değerine inmiştir (Şekil 4.9).



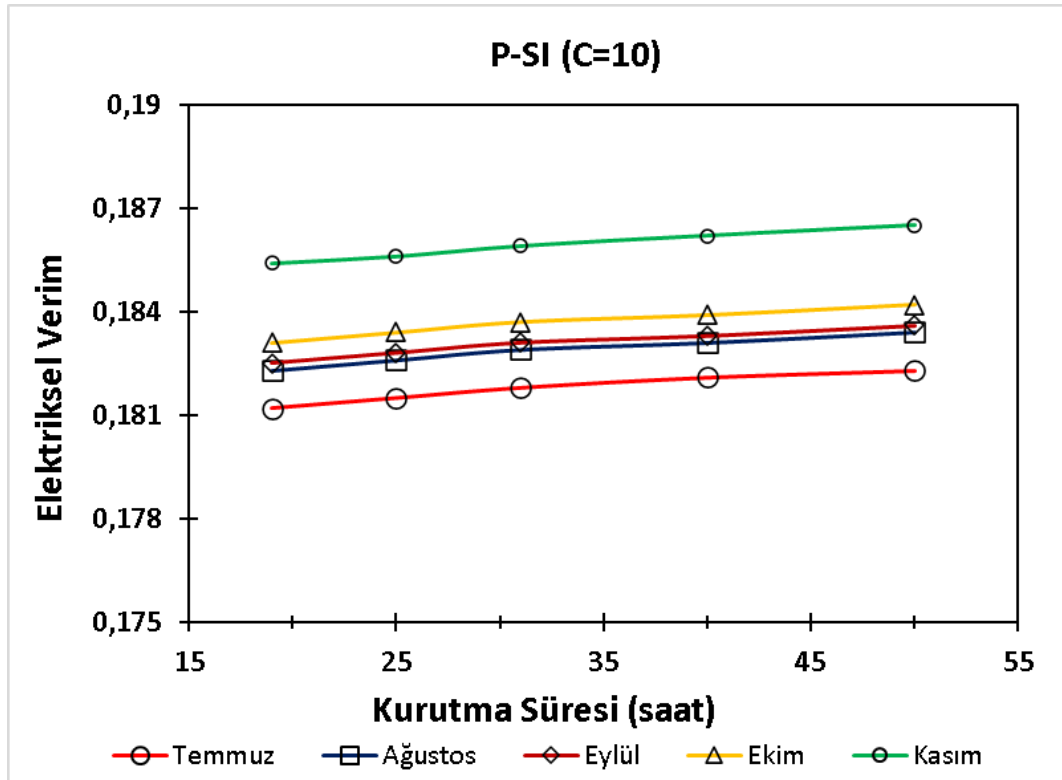
Şekil 4. 8. M-Si panelin konsantrasyona göre elektriksel verim grafiği



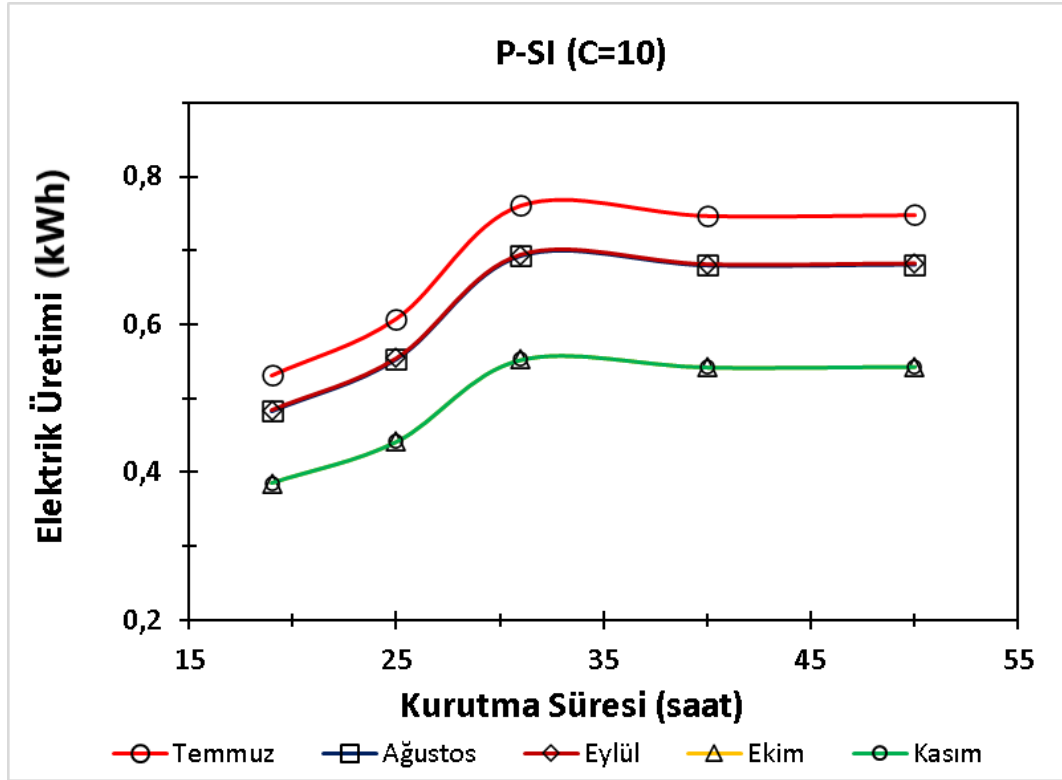
Şekil 4. 9. M-Si panelin konsantrasyona göre elektrik üretimi grafiği

Şekil 4.10'da kurutma süresine bağlı olarak KFVT birimde meydana gelen elektriksel verim değişimi verilmiştir. 19 saatlik kurutma süresi için 50°C'lik hava üfleme sıcaklığı gerekirken, 50 saatlik kurutma işlemi için 30°C'lik hava üfleme sıcaklığı yeterli olmaktadır. Hava üfleme sıcaklığına bağlı olarak havanın ısıtılacağı su sıcaklığı da değiştiğinden FV modülün altındaki kanaldan geçen su sıcaklığı ortalaması da değiştiğinden FV modülün altındaki kanaldan geçen su sıcaklığı ortalaması da 32.5°C (50 saat kurutma için) ile 42.5°C (19 saat kurutma süresi için) arasında değişmiştir. Şekil 4.10'dan anlaşıldığı gibi kurutma süresinin artışı ortalama su sıcaklığının düşmesine neden olduğundan FV modül daha iyi soğutulmuş ve elektriksel verimi artmıştır. En yüksek elektriksel verim 50 saat kurutma süresi için Kasım ayında ortalama 18,7% olarak elde edilmiştir. Aylara bağlı olarak meydana gelen verim değişimi hakkında ise birinci tasarımda FV modüller için yapılan yorumlar tekrar yinelenabilir.

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi kurutma süresinin artışı ile elektriksel verimde olduğu gibi elektrik üretiminde de artış meydana gelmiştir. Temmuz ayında kurutma süresinin 19 saatten 50 saate çıkarılması ile elektrik üretimi 100% artarak yaklaşık 0,4 kW’dan 0,8 kW’a yükselmiştir. KFVT birimden elde edilen elektrik üretimi, M-Si KFVT modüllerden elde edilen elektrik üretimi ile kıyaslandığında oldukça düşüktür. M-Si KFVT modülünden elde edilen elektrik üretimi en yüksek 5 kW değerinde iken (Şekil 4.7) P-Si KFVT birimden elde edilen en yüksek elektrik üretimi 0,8 kW civarındadır (Şekil 4.11).

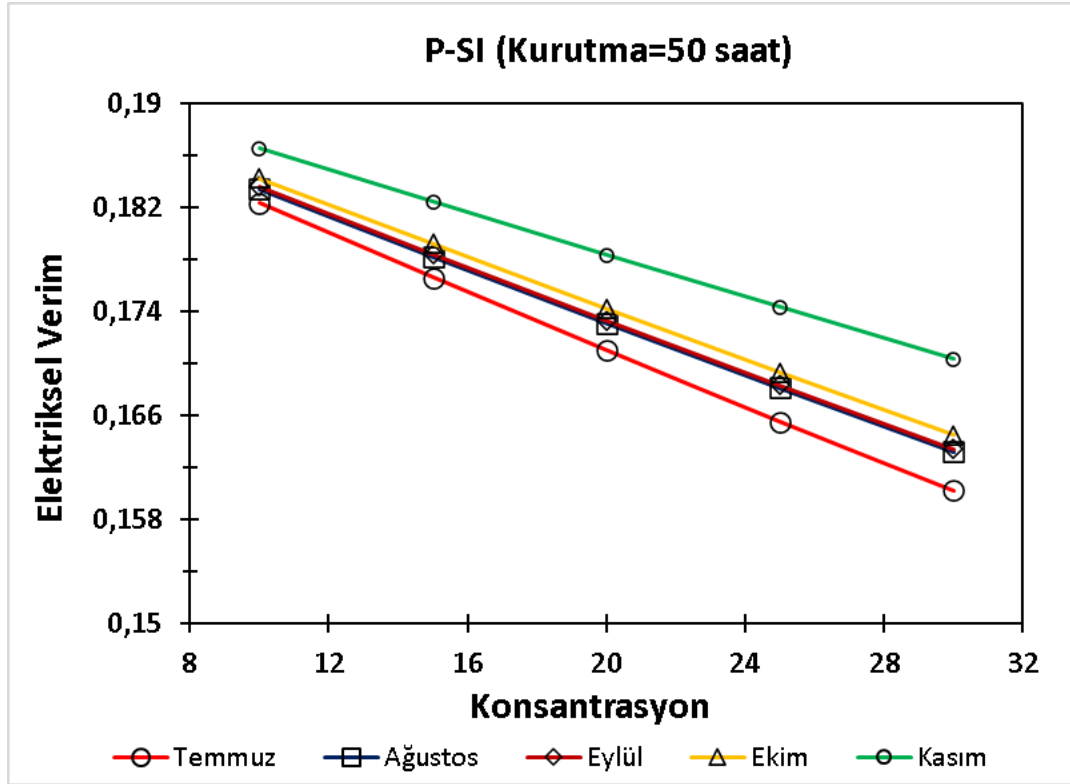


Şekil 4. 10. P-Si panelin kurutma saatine göre elektriksel verim grafiği

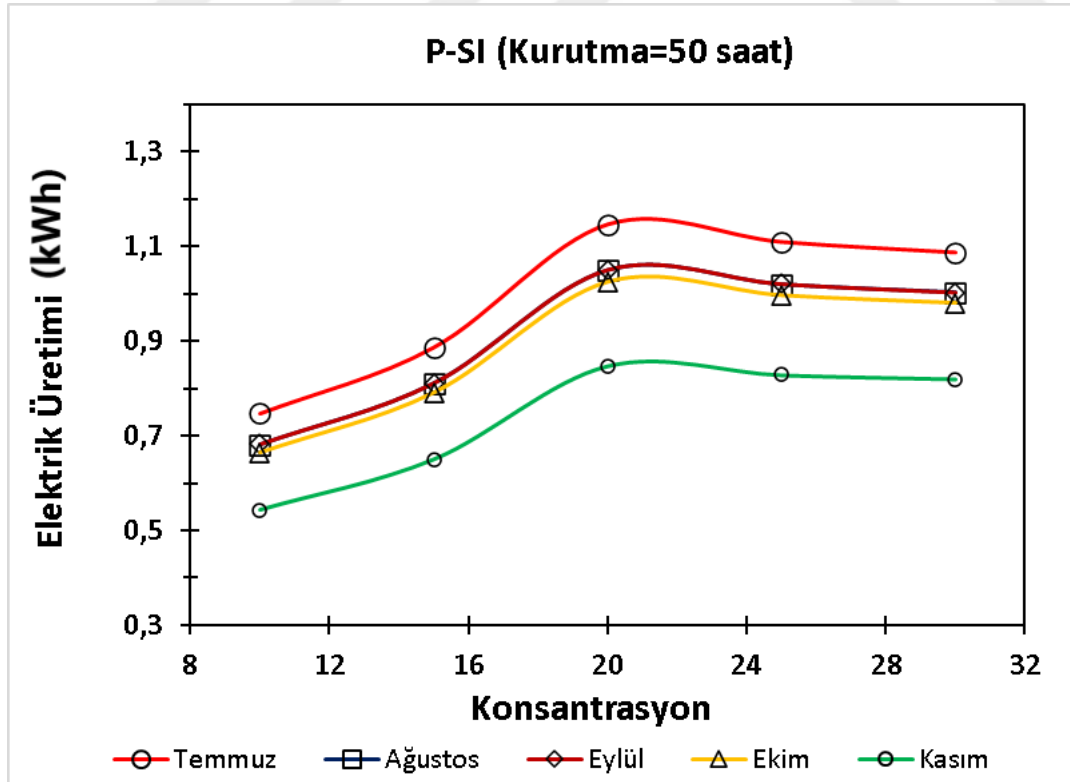


Şekil 4. 11.. P-Si panelin kurutma saatine göre elektrik üretimi grafiği

Şekil 4.12 ve 4.13’de KFVT birimde konsantrasyon değişimine bağlı olarak değişen elektriksel verim ve elektrik üretimi değerleri görülmektedir. Konsantrasyon artışı PV modüle gelen güneş enerjisini artırsa da PV modülün sıcaklığının önemli ölçüde yükselmesine neden olmaktadır. Böylece PV modülün elektriksel veriminde düşüş meydana gelmektedir. Şekil 14’da görüldüğü gibi en yüksek ortalama elektriksel verimin görüldüğü Kasım ayında konsantrasyon değerinin 10’dan 30’a çıkarılması ile elektriksel verim 19%’dan 16%’ya düşmüştür. Ancak ortalama elektrik üretimi ise 0,5 kW değerinden 1,1 kW değerine çıkmıştır (Şekil 4.13).

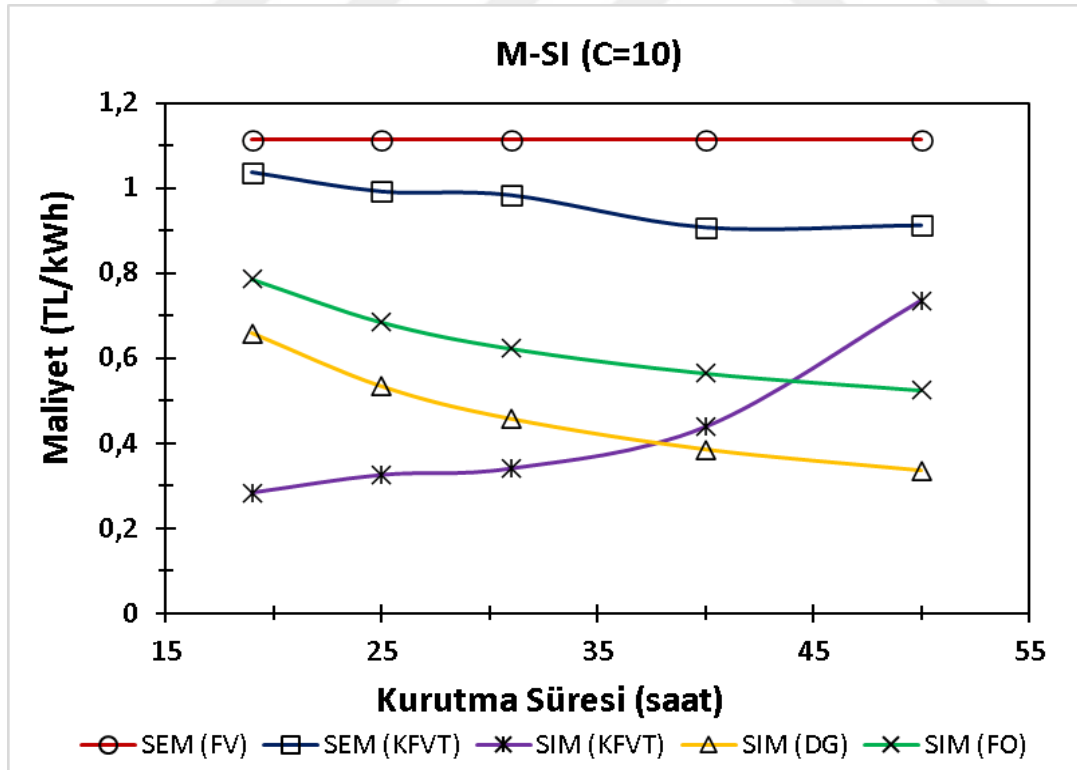


Şekil 4. 12. P-Si panelin konsantrasyona göre elektriksel verim grafiği



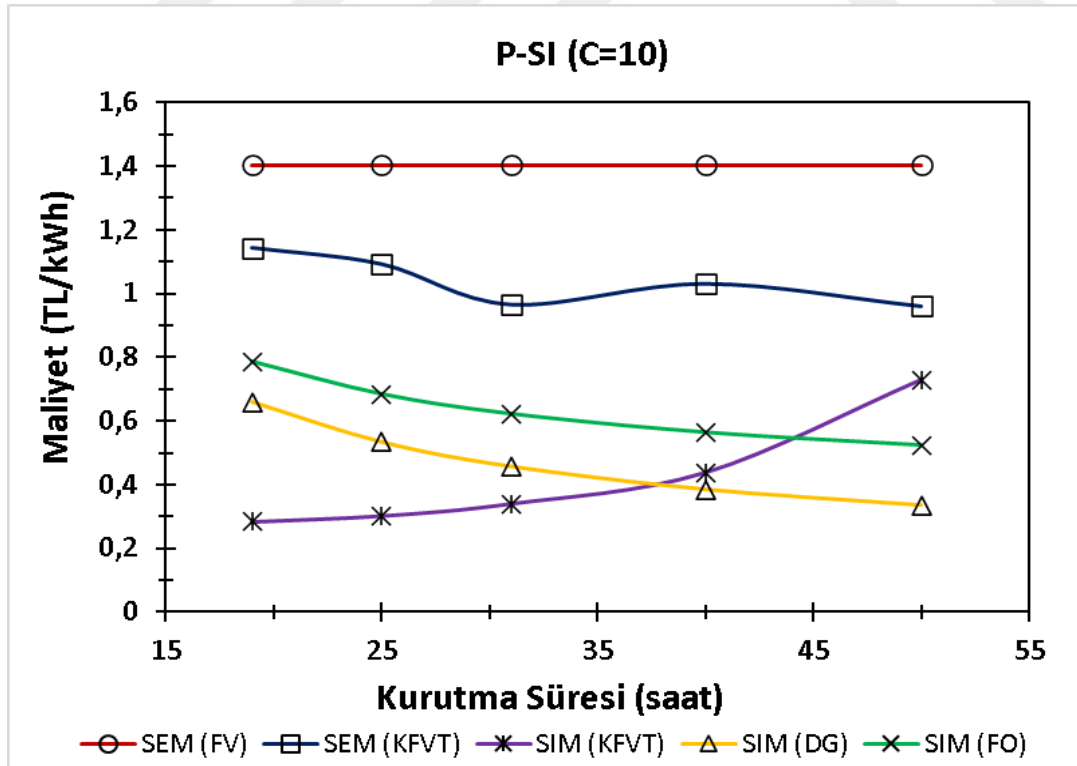
Şekil 4. 13. P-Si panelin konsantrasyona göre elektrik üretimi grafiği

KFVT sistemde reflektör kullanılması ve su ile soğutma yapılması nedeniyle soğutmasız FV sisteme göre çok daha yüksek miktarda elektrik üretimi elde edilmiştir. Bu durum seviyelendirilmiş elektrik maliyetinde (SEM) düşüş sağlamıştır. Kurutma süresinin artmasıyla birlikte soğutmasız FV sisteme göre SEM deki düşüş artmıştır (Şekil 4.14). Şekil 4.14’da kurutma için yakıt kullanılması durumları incelendiğinde doğalgaz (DG) kullanımının daha ekonomik olduğu söylenebilir. Her iki yakıt türünde de daha uzun kurutma sürelerinde seviyelendirilmiş ısıtma maliyetinin (SIM) düştüğü gözlenmektedir. DG ve fuel-oil (FO) kullanımında en düşük SIM değerleri sırasıyla 0,3351 TL/kWh ve 0,5239 TL/kWh olarak elde edilmiştir. KFVT sistem ile kurutma yapılması durumunda ise özellikle düşük kurutma süreleri için yakıt kullanımına göre daha düşük SIM değerleri elde edilmiştir. 40 ile 50 saatlik kurutma süreleri arasında DG kullanımı için en düşük SIM değerleri elde edildiği gözlenmektedir. 45 ile 50 saatlik kurutma süreleri arasında FO ile kurutma yapmanın KFVT sistem ile kurutmaya göre daha ekonomik olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar belirli kurutma süresi aralığı için (19-40 saat) KFVT sistem ile ceviz kurutma yapılmasının daha ekonomik olduğunu ortaya koymaktadır.



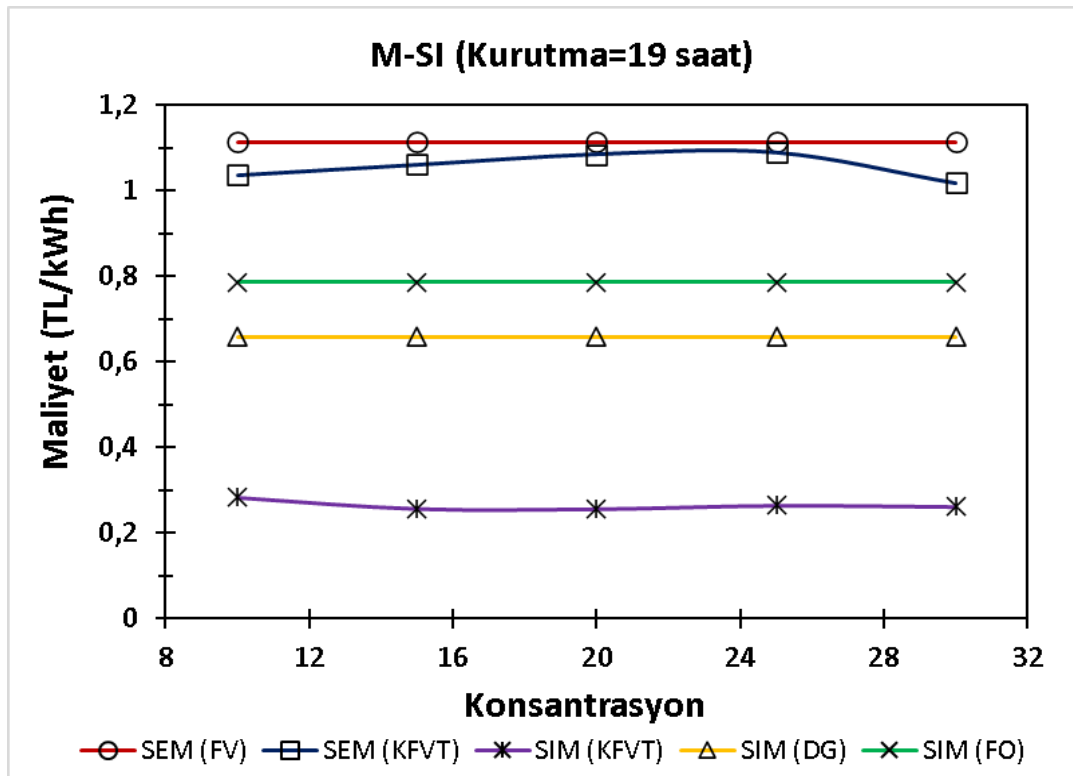
Şekil 4. 14. M-Si panelin kurutma saatine göre SEM ve SIM grafiği

KFVT sistemde P-SI modüle göre seviyelendirilmiş elektrik maliyetinde (SEM) düşüş sağlamıştır. Kurutma süresinin artmasıyla birlikte soğutmasız FV sisteme göre SEM deki düşüş artmıştır (Şekil 4.15). Şekil 4.15’de kurutma için yakıt kullanılması durumları incelendiğinde doğalgaz (DG) kullanımının daha ekonomik olduğu söylenebilir. Her iki yakıt türünde de daha uzun kurutma sürelerinde seviyelendirilmiş ısıtma maliyetinin (SIM) düştüğü gözlenmektedir. DG ve fuel-oil (FO) kullanımında en düşük SIM değerleri sırasıyla 0,3121 TL/kWh ve 0,5025 TL/kWh olarak elde edilmiştir. KFVT sistem ile kurutma yapılması durumunda ise özellikle düşük kurutma süreleri için yakıt kullanımına göre daha düşük SIM değerleri elde edilmiştir. 40 ile 50 saatlik kurutma süreleri arasında DG kullanımı için en düşük SIM değerleri elde edildiği gözlenmektedir. 45 ile 50 saatlik kurutma süreleri arasında FO ile kurutma yapmanın KFVT sistem ile kurutmaya göre daha ekonomik olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar belirli kurutma süresi aralığı için (19-40 saat) KFVT sistem ile ceviz kurutma yapılmasının daha ekonomik olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 4.14’de M-SI modülüne göre elektrik üretmenin maliyeti (SEM) P-SI modülüne göre daha düşük olduğu incelenmiştir.



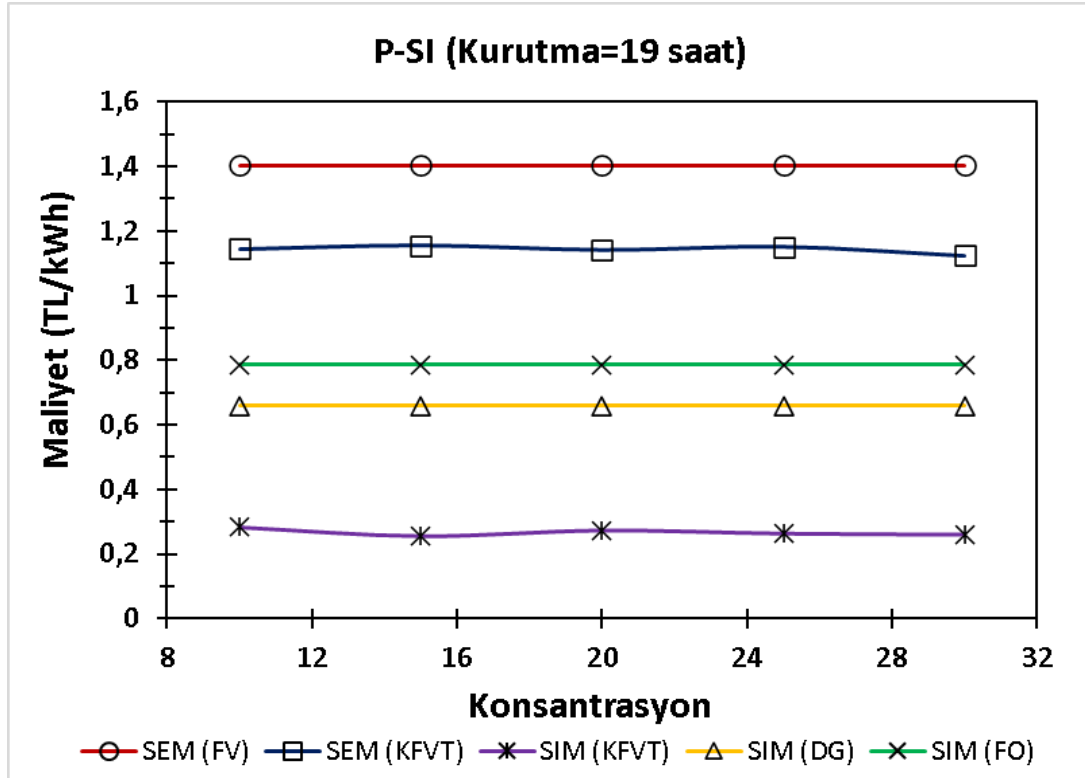
Şekil 4. 15. P-Si panelin kurutma saatine göre SEM ve SIM grafiği

KFVT sistemde reflektör kullanılması ve su ile soğutma yapılması nedeniyle soğutmasız FV sisteme göre çok daha yüksek miktarda elektrik üretimi elde edilmiştir. Bu durum seviyelendirilmiş elektrik maliyetinde (SEM) düşüş sağlamıştır. Konsantrasyonun artmasıyla birlikte SEM deki yükseliş artmıştır. Ancak 25 ile 30 konsantrasyon arasında SEM de düşüş olmuştur (Şekil 4.16). Şekil 4.16’de kurutma için yakıt kullanılması durumları incelendiğinde SIM (KFVT) kullanımının daha ekonomik olduğu söylenebilir. Bu sonuçlara göre KFVT sistem ile ceviz kurutma yapılmasının daha ekonomik olduğunu ortaya koymaktadır.



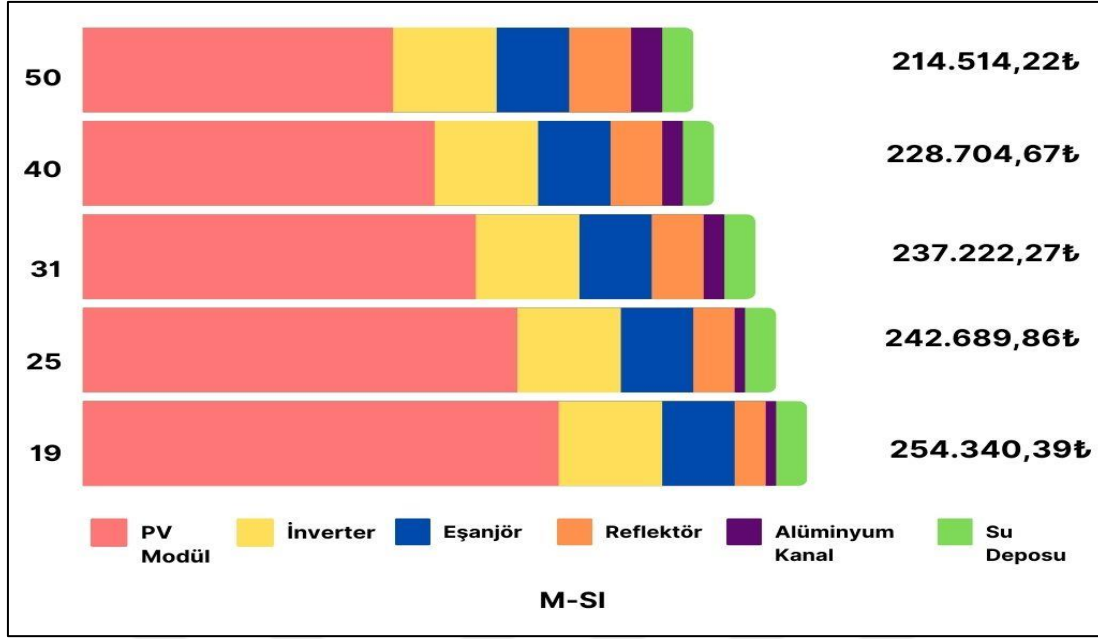
Şekil 4. 16. M-Si panelin konsantrasyona göre SEM ve SIM grafiği

KFVT sistemde reflektör kullanılması ve su ile soğutma yapılması nedeniyle soğutmasız FV sisteme göre çok daha yüksek miktarda elektrik üretimi elde edilmiştir. Bu durum seviyelendirilmiş elektrik maliyetinde (SEM) düşüş sağlamıştır. Konsantrasyonun artmasıyla birlikte SEM deki yükseliş artmıştır. Ancak 25 ile 30 konsantrasyon arasında SEM de düşüş olmuştur (Şekil 4.17). Şekil 4.17’de kurutma için yakıt kullanılması durumları incelendiğinde SIM (KFVT) kullanımının daha ekonomik olduğu söylenebilir. Bu sonuçlara göre KFVT sistem ile ceviz kurutma yapılmasının daha ekonomik olduğunu ortaya koymaktadır.



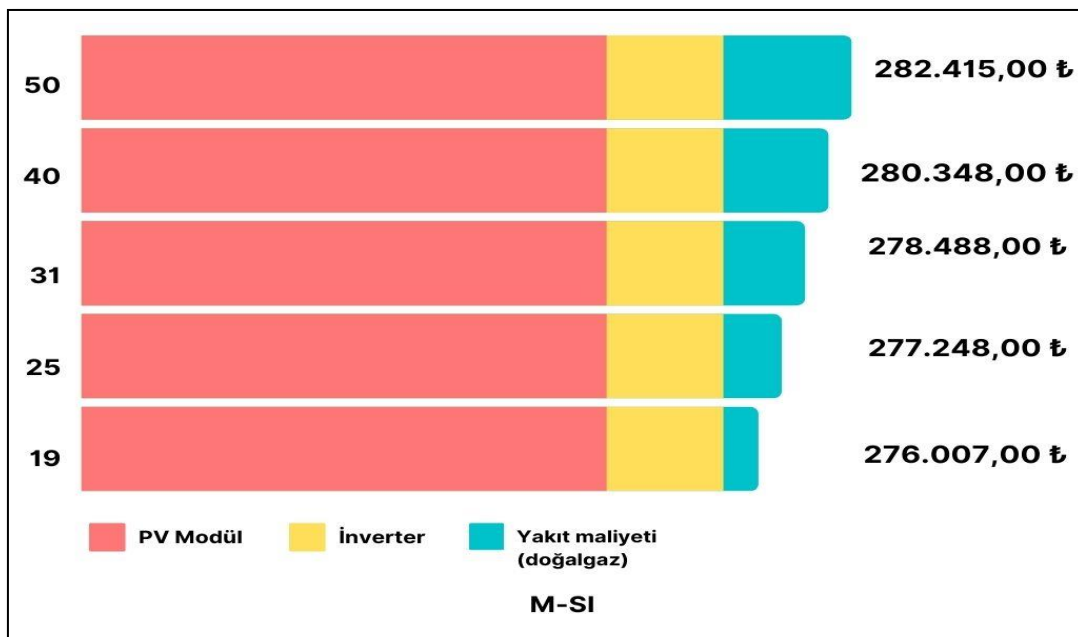
Şekil 4. 17. P-Si panelin konsantrasyona göre SEM ve SIM grafiği

Şekil 4.18’de M-SI Panelin kurutma saatine göre konsantrasyonlu sistem bileşenlerinin maliyet Çizelgesi incelendiğinde; kurutma saati arttıkça toplam maliyetlerin düştüğü gözlenmektedir. Kurutma saatinin en düşük ve en yüksek durumları arasında yaklaşık 20% maliyet farkı oluşmaktadır. Kurutma saatinin yüksek olduğu durumlarda PV modül ve su deposu fiyatları düşerken, reflektör ve alüminyum kanal fiyatları yükselmektedir.



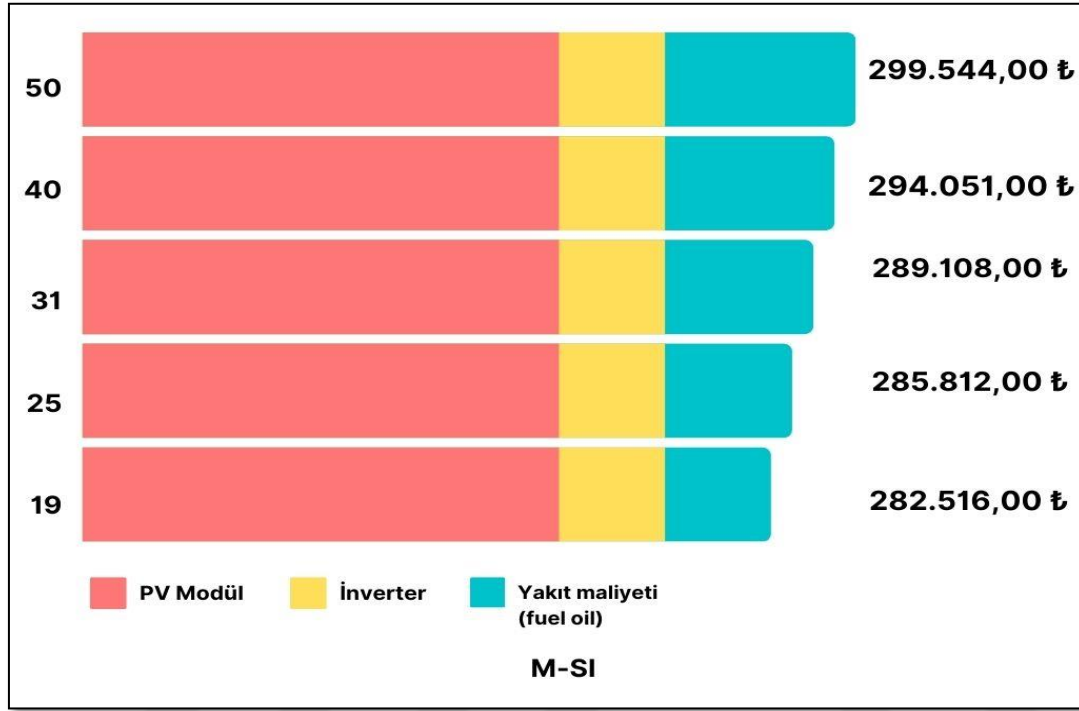
Şekil 4. 18. M-Si panelin kurutma saatine göre konsantrasyonlu sistem maliyet grafiği

M-SI panelin kurutma saatine göre doğalgazlı sistem bileşenlerinin maliyet çizelgesi incelendiğinde; kurutma saati arttıkça toplam maliyetlerin arttığı gözlenmektedir. Kurutma saatinin en düşük ve en yüksek durumları arasında maliyet farkını doğalgaz yakıt maliyeti etkilemektedir. Kurutma saatinin yüksek olduğu durumlarda doğalgaz yakıt maliyeti yükselmektedir (Şekil 4.19).



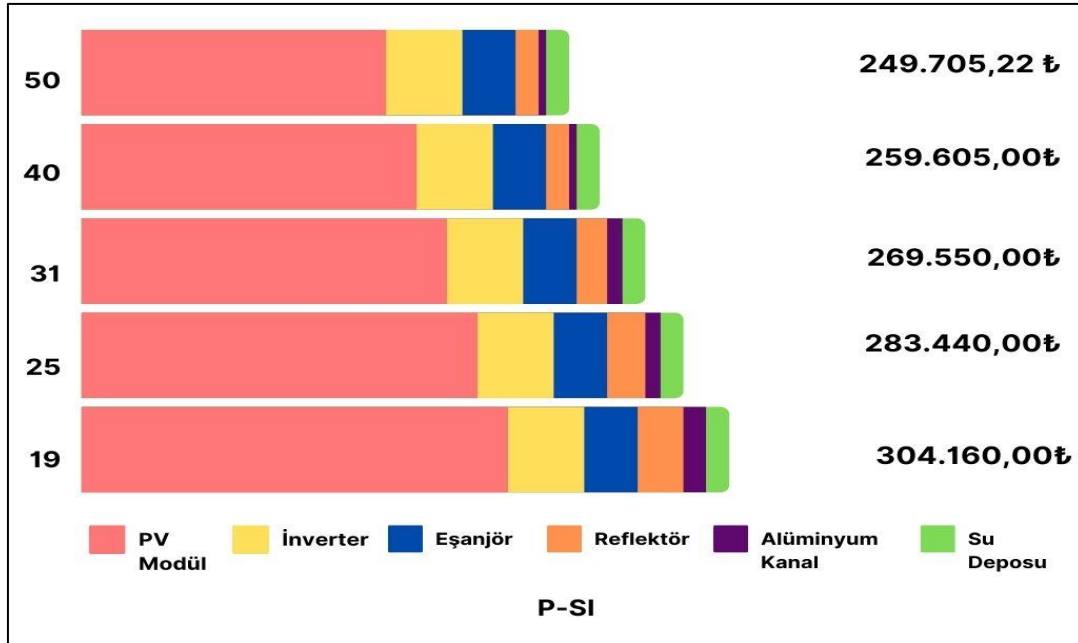
Şekil 4. 19. M-Si panelin kurutma saatine göre doğalgazlı maliyet grafiği

M-SI panelin kurutma saatine göre fuel-oil sistem bileşenlerinin maliyet çizelgesi incelendiğinde; kurutma saati arttıkça toplam maliyetlerin arttığı gözlenmektedir. Kurutma saatinin yüksek olduğu durumlarda fuel-oil yakıt maliyeti yükselmektedir (Şekil 4.20).



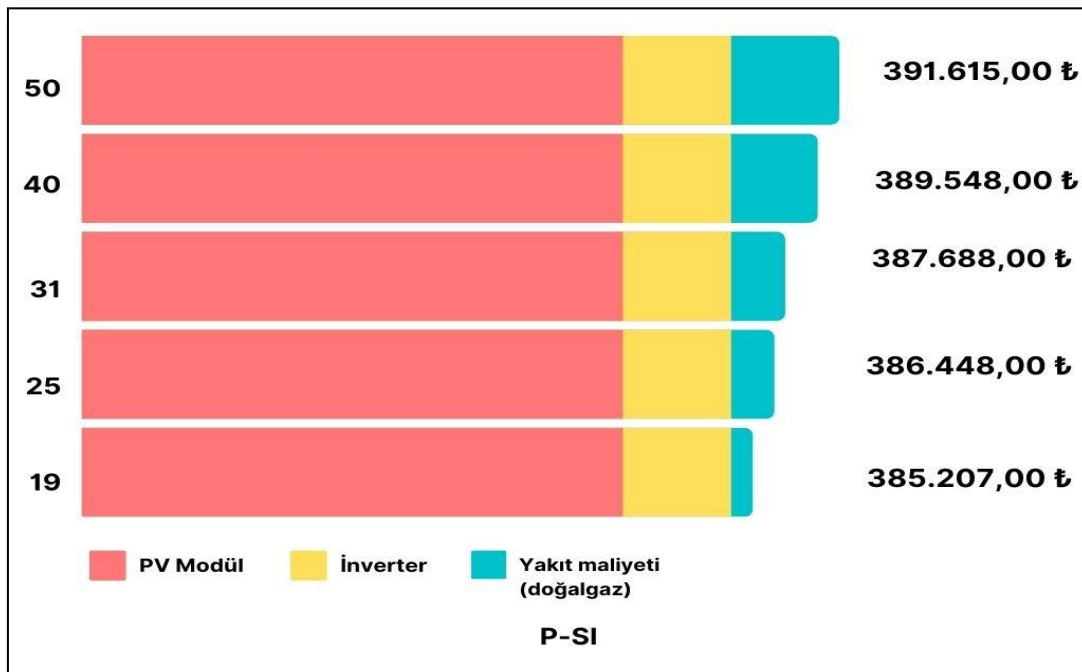
Şekil 4. 20. M-Si panelin kurutma saatine göre fuel-oil maliyet grafiği

Şekil 4.21’de P-SI Panelin kurutma saatine göre konsantrasyonlu sistem bileşenlerinin maliyet durumlarına bakılırsa, kurutma saati arttıkça toplam maliyetlerin düştüğü gözlenmektedir. Kurutma saatinin en düşük ve en yüksek durumları arasında yaklaşık 24% maliyet farkı oluşmaktadır. Kurutma saatinin yüksek olduğu durumlarda PV modül ve su deposu fiyatları düşerken, reflektör ve alüminyum kanal fiyatları yükselmektedir.



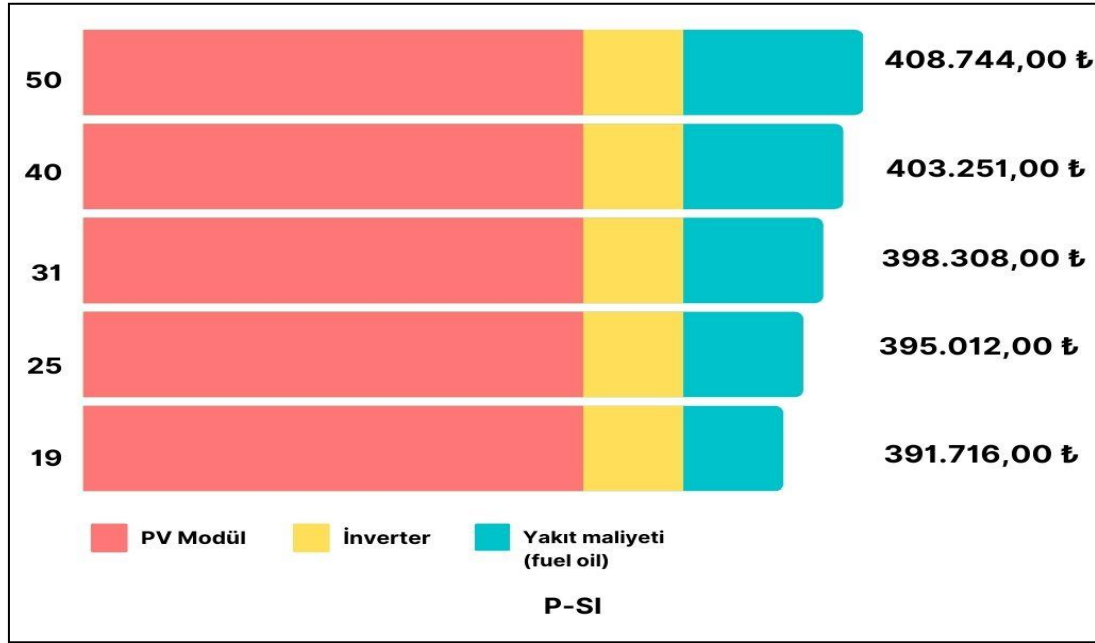
Şekil 4. 21. P-Si panelin kurutma saatine göre konsantrasyonlu sistem maliyet grafiği

P-Si panelin kurutma saatine göre doğalgazlı sistem bileşenlerinde kurutma saati arttıkça toplam maliyetlerin arttığı gözlenmektedir. M-Si panelde olduğu gibi kurutma saatlerinin değişimi doğalgaz yakıt maliyetini doğrudan etkilemektedir. Kurutma saatinin yüksek olduğu durumlarda doğalgaz yakıt maliyeti yükselmektedir (Şekil 4.22).



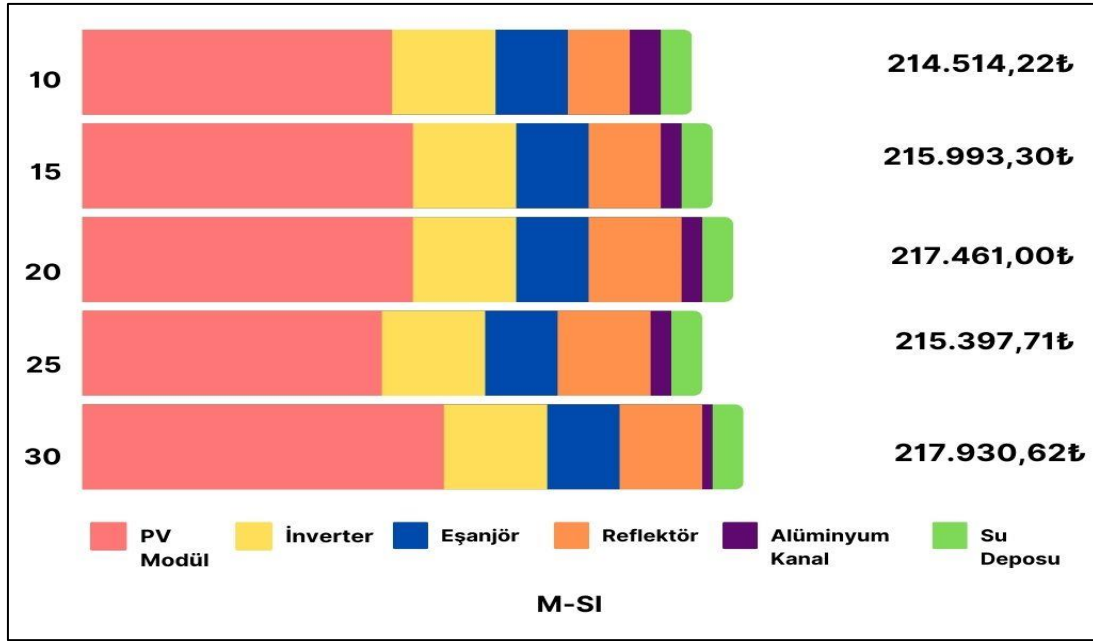
Şekil 4. 22. P-Si panelin kurutma saatine göre doğalgazlı maliyet grafiği

P-SI panelin kurutma saatine göre fuel-oil sistem bileşenlerinin maliyet Çizelgesi incelendiğinde; kurutma saati arttıkça toplam maliyetlerin arttığı gözlenmektedir. Kurutma saatinin yüksek olduğu durumlarda fuel-oil yakıt maliyeti yükselmektedir (Şekil 4.23).



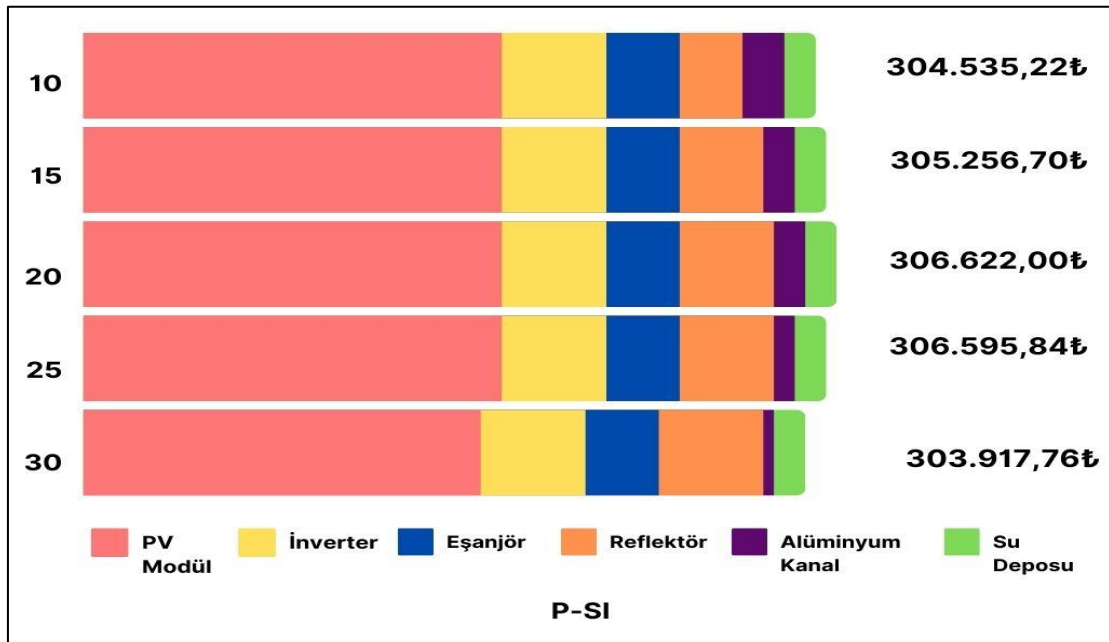
Şekil 4. 23. P-Si panelin kurutma saatine göre fuel-oil maliyet grafiği

M-SI Panelin konsantrasyona göre sistem bileşenlerinin maliyet çizelgesinde görüldüğü üzere konsantrasyon arttıkça toplam maliyetlerin arttığı gözlenmektedir. Konsantrasyonun yüksek olduğu durumlarda PV modül ve reflektör fiyatları yükselirken, alüminyum kanal fiyatları düşmektedir (Şekil 4.24).



Şekil 4. 24. M-Si panelin konsantrasyona göre maliyet grafiği

P-Si Panelin konsantrasyona göre sistem bileşenlerinde konsantrasyonun artmasıyla toplam maliyetlerin arttığı gözlenmektedir. Konsantrasyonun yüksek olduğu durumlarda alüminyum kanal fiyatları düşmektedir. Reflektör maliyeti doğal olarak konsantrasyon arttıkça reflektör maliyeti de artmaktadır (Şekil 4.25).



Şekil 4. 25. P-Si panelin konsantrasyona göre maliyet grafiği

4.3. Optimizasyon Çalışması

Parametrik analiz sonuçları incelendiğinde, önerilen ikinci sistem tasarımının en verimli şekilde çalıştırılabilmesi için parametre değerlerine bağlı olarak optimizasyon çalışması yapılması gerekliliğinin olduğu anlaşılmaktadır. Bu bölümde SEM ve SIM değerleri dikkate alınarak optimizasyon yapılmış ve elde edilen bulgular aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

Verileri oluşturmak için öncelikle tasarım parametreleri (kurutma süresi, konsantrasyon, panel çeşidi) belirlenmiştir. Daha sonra EES programında hesaplanan SEM ve SIM değerleri Excel dosyasına aktararak veri kümesi oluşturulmuş ortogonal dizi şeklinde optimizasyonunun yapılması için Minitab uygulamasına aktarılmıştır.

Proses parametrelerini belirlerken faktörler (Kurutma saati, Konsantrasyon, Panel çeşidi) dikkate alınmıştır. Bu faktörlere göre SEM ve SIM değerleri ile 50 farklı değer aralığında ortogonal dizilim oluşturulmuştur. Deneylerimizde 5x50 lik dizilimle çift optimizasyon yapılmış ve sonuç kısmındaki performans değişkeninin en düşük olduğu varsayılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Diğer bir deyişle SEM ve SIM değerlerinin en düşük olacak şekilde Taguchi analizi yapılmıştır.

Verilerin değerlendirilmesinde ve Taguchi yöntemi ile optimizasyonun yapılmasında "Minitab 17" programı kullanılmıştır.

Çizelge 4. 1. Sinyal-gürültü çizelgesi

Level	Kurutma	Konsantrasyon	Panel Çeşidi
1	1,495	2,198	2,142
2	2,132	1,891	1,770
3	2,168	1,833	
4	2,049	1,767	
5	1,936	2,091	
Delta	0,673	0,431	0,371
Rank	1	2	3

Sinyal-Gürültü Çizelgesine göre SEM ve SIM değerlerini etkileyen parametrelerin önem sırası kurutma, konsantrasyon ve panel çeşididir. Kurutma saatinin maliyet açısından daha önemli bir faktör olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 4. 2. Anova analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	p
Kurutma	4	2,974	0,743	14,07	0,001*
Konsantrasyon	4	1,319	0,329	6,24	0,001*
Panel Çeşidi	1	1,725	1,724	32,65	0,001*
Error	40	2,113	0,052		
Total	49	8,130			

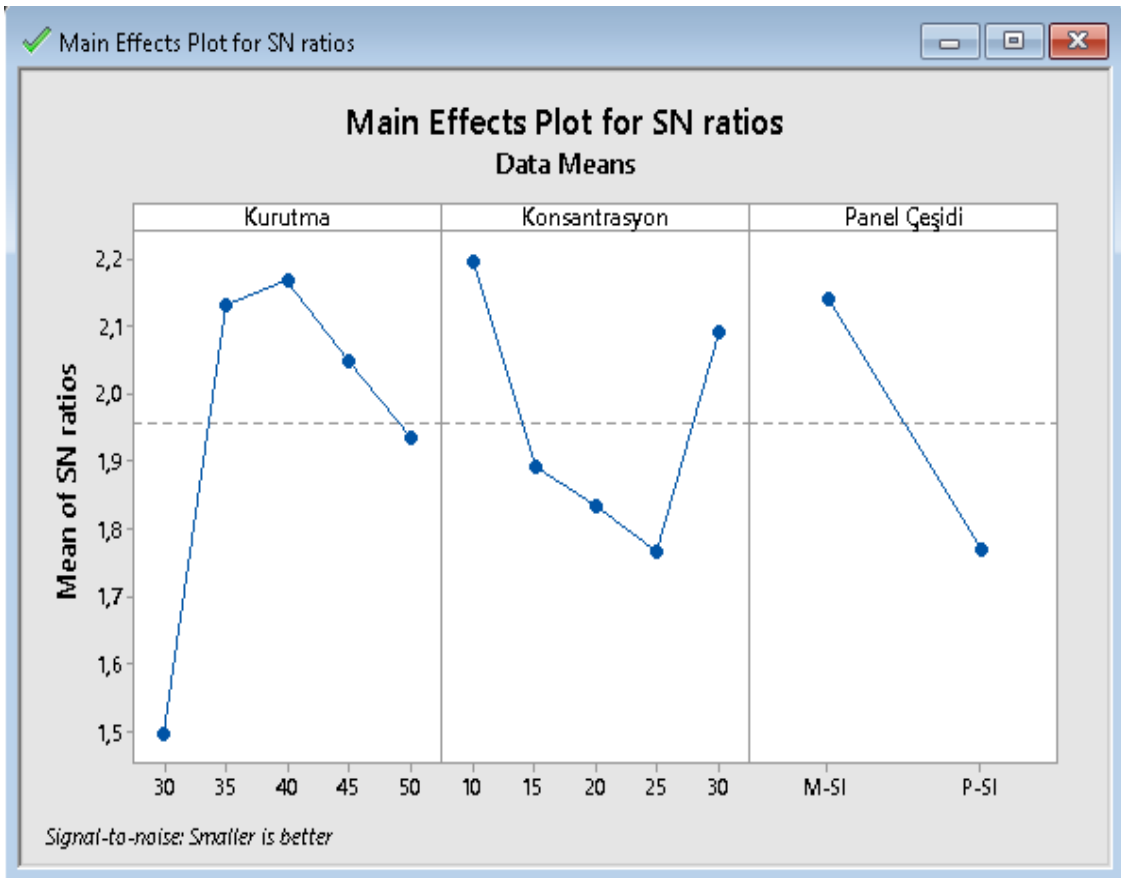
*p<0,05

Anova analizine göre kurutma, konsantrasyon ve panel çeşidinin $p=0,001<0,05$ olduğu için istatistiksel olarak anlamlıdır. Yapılan optimizasyon analizinde SEM ve SIM değerlerini üç faktöründe etkilediği istatistiksel olarak gözlenmektedir.

Çizelge 4. 3. Model özeti

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0,198455	99,49%	99,38%	99,20%

Model özeti incelendiğinde; R^2 değerimiz 99,49% oranında modelimizi açıklamaktadır. Dolayısıyla modelimiz kabul edilebilir oranındadır.



Şekil 4. 26. Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi

Çizelge 4. 4. Sinyal gürültü grafik oranına göre en optimum sonuç çizelgesi

Kurutma		Konsantrasyon	Panel Çeşidi	SEM	SIM
40 °C	31 saat	10	M-SI	0,9832	0,34

SEM ve SIM maliyetlerinin en düşük olduğu faktörler incelenmiştir. Modele göre kurutma olarak 40 °C 31 saat, konsantrasyon 10 ve panel çeşidi M-SI seçilirse en düşük SEM (0,9832) ve SIM (0,34) maliyetleri elde edilir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında ceviz işleme tesisinin elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerjiden faydalanarak karşılanması ve ceviz kurutma işlemi için yakıt ya da atık ısı kullanımına ilişkin iki farklı enerji üretim sistemi tasarlanmış ve bu iki tasarım elektrik üretim ve ceviz kurutma için ısıtma maliyeti açısından karşılaştırılmıştır. Termodinamik ve termoeconomik analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- M-Si hücre tipine sahip fotovoltaik modüllerdeki elektrik üretiminin P-Si hücre tipine sahip modüllere göre daha fazla olması, her iki enerji üretim sistem tasarımında da M-Si fotovoltaik kullanımı ile daha düşük elektrik maliyetleri elde edilmesini sağlamıştır. P-Si modülde atık ısı üretimi daha fazla olmasına rağmen ısıtma maliyetleri açısından M-Si ve P-Si modül arasındaki fark ihmal edilebilir düzeydedir.
- Fotovoltaik modüllerin su ile soğutulması neticesinde modül sıcaklıkları düşmüş ve elektrik üretimleri artmıştır. Diğer yandan yüksek güneş radyasyonunun geldiği koşullarda elektrik üretimi artmasına rağmen fotovoltaik modül sıcaklıklarının yüksek olması M-Si ve P-Si modüllerin elektriksel verimlerinde düşüş meydana getirmiştir. Her iki tip modülde de en yüksek elektriksel verim Kasım ayında, en yüksek elektrik üretimi ise temmuz ayında elde edilmiştir. Ayrıca KFVT sistemde konsantrasyon oranının artışı elektrik üretimini de artırırken modül sıcaklıklarını önemli ölçüde artırdığından modüllerin elektriksel verimlerinde düşüşe neden olmuştur.
- Ceviz kurutma işlemi için yakıt kullanılması özellikle uzun kurutma sürelerinde ısıtma maliyetini önemli ölçüde artırmıştır. KFVT sistem kullanımı ile kurutma yapılması durumunda ise belirli kurutma süreleri için (19-40 saat arası) doğalgaz ve fuel-oil kullanımına göre daha düşük ısıtma maliyetleri elde edilmiştir. KFVT sistemde konsantrasyon oranı değişimi için ısıtma maliyetlerinde meydana gelen değişim oldukça düşük seviyededir.

- Elektrik üretim ve ısıtma maliyeti için yapılan optimizasyon çalışması neticesinde KFVT sistemli enerji ve ısı üretim yöntemi için en optimum koşulların M-Si modül kullanımında 40°C su sıcaklığı, 31 saat kurutma süresi ve konsantrasyon oranının 10 değeri için olduğu ortaya konulmuştur.
- Analiz sonuçları ceviz işleme tesisi için KFVT sistem kullanımının elektrik enerjisi üretim maliyetini önemli ölçüde düşürdüğünü ortaya koymuştur. Diğer yandan ceviz kurutma işleminin yakıt yerine fotovoltaik modüllerin atık ısısından faydalanılarak gerçekleştirilmesinin ısıtma maliyetini düşürmesi, yakıta olan gereksinimin ortadan kaldırılabilmesinin ve yenilenebilir enerjiden faydalanılabileceğinin göstergesi olmuştur. Bu nedenle bu tez çalışmasının ceviz üretim tesislerindeki uygulamaya yönelik çalışmalara katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ali Alfegi, E. M., Sopian, K., Othman, M. Y. and Yatim, B. (2009). The Effect of Flow Rates on The Performance of Finned Single Pass. Double Duct Photovoltaic Thermal Solar Air Heaters. *European Journal of Scientific Research*, 25(2), 339-344.
- Bahaidarah, H., Subhan, A., Gandhidasan, P. and Rehman, S. (2013). Performance Evaluation of A PV (Photovoltaic) Module By Back Surface Water Cooling for Hot Climatic Conditions. *Energy*, 59(2), 445-453.
- Boppana, S. (2015). *Outdoor Soiling Loss Characterization and Statistical Risk Analysis of Photovoltaic Power Plants* (Thesis for the Degree Master of Science, Arizona State University, 2015). Dissertation Abstracts International, 1-103.
- Boztepe, M. (2019, Ocak). *Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler*. IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri, İzmir.
- Chandler, S., Purohit, A., Sharma, A., Nehra, S. P. and Dhaka, M. S. (2015). Impact of Temperature on Performance of Series and Parallel Connected Monocrystalline Silicon Solar Cells. *Energy Reports*, 30(2), 175–180.
- Çengel, Y. A. (2006). *Heat and Mass Transfer* (Third edition). New York: McGraw-Hill, 670.
- Du, C. J., Fell, B., Duck, D., Chen, K., Liffman, Y., Zhang, M. and Gu, Y. Z. (2016). Evaluation of Photovoltaic Panel Temperature in Realistic Scenarios. *Energy Conversion And Management*, 108(1), 60–67.
- Dubey, S. and Tay, A. A. O. (2013). Testing of Two Different Types of Photovoltaic–Thermal (PVT) Modules with Heat Flow Pattern Under Tropical Climatic Conditions. *Energy for Sustainable Development*, 17(1), 1-12.
- Engin, D. (2008). Yarı-Saydam Güneş Pili/Termal Toplayıcı (PV/T) Hibrit Sistemin İzmir Koşullarında Analizi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 10(2), 1-13.
- Fudholi, A., Sopian, K., Yazdı, M., Ruslan, M. H. and Kazem, H. (2014). Performance Analysis of Photovoltaic Thermal (PV/T) Water Collectors. *Energy Conversion and Management*, 78(2014), 641-651.
- Gang, P., Huide, F., Tao, Z. and Jie, J. (2011). A Numerical and Experimental Study on A Heat Pipe (PV/T) System. *Solar Energy*, 85(5), 911-921.
- Gaur, A. and Tiwari, G. N. (2014). Performance of A-Si Thin Film PV Modules with and Without Water Flow: An Experimental Validation. *Applied Energy*, 128(1), 184-191.
- Grunow, P., Preiss, A., Koch, S. and Krauter, S. (2009, September). *Yield and Spectral Effects of A-Si Modules*. Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2846-2829, ISBN 3-936338-25-6, Hamburg, Germany.

- Gül, M. ve Akyüz, E. (2019). Fotovoltaik-Termal (PV/T) Bir Sistemin Deneysel Performansının İncelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 444-458.
- Huang, B. J., Lin, T. H., Hung, W. C. and Sun, F. S. (2001). Performance Evaluation of Solar Photovoltaic/Thermal Systems. *Solar Energy*, 70(5), 443-448.
- Ike, C.U. (2013). The Effect of Temperature on the Performance of A Photovoltaic Solar System In Eastern Nigeria. *International Journal Of Engineering And Science*, 3(12), 10-14.
- İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü. (2022). URL: <https://www.eie.gov.tr>. Son Erişim Tarihi: 01.10.2022.
- İnternet: Sistem bileşenlerinin maliyetleri. (2022). URL: <https://www.adbteknoloji.com>. Son Erişim Tarihi: 01.10.2022.
- İnternet: Van'da güneş enerji santralinden büyük üretim imkânı. (2022). URL: <http://www.enerjibes.com>. Son Erişim tarihi: 01.10.2022.
- İnternet: Yakıt maliyetleri. (2022). URL: <https://www.epdk.gov.tr>. Son Erişim Tarihi: 01.10.2022.
- Kabul, A. ve Duran, F. (2014). Isparta İlinde Fotovoltaik/Termal (PV/T) Hibrit Sistemin Performans Analizi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 6(1), 31-43.
- Kamkird, P., Ketjoy, N., Rakwichian, W. and Sukchai, S. (2012). Investigation on Temperature Coefficients of Three Types Photovoltaic Module Technologies Under Thailand Operating Condition. *Procedia Engineering*, 32(1), 376-383.
- Kandilli, İ., Minaz, M. R., Kuncan, M. ve Kuncan, F. (2017, Ekim). *Güneş Enerjisiyle Arabalarda Soğutma ve Isıtma Sisteminin Tasarımı*. International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17), Bitlis.
- Kosmadakis, G., Manolakos, D. and Papadakis, G. (2001). Simulation and Economic Analysis of A CPV/Thermal System Coupled with an Organic Rankine Cycle for Increased Power Generation. *Solar Energy*, 85(1), 308-324.
- Kumar, R. and Rosen, M. A. (2011a). A Critical Review of Photovoltaic–Thermal Solar Collectors for Air Heating. *Applied Energy*, 88(11), 3603-3614.
- Kurşun, B. and Ökten, K. (2022). Comprehensive Energy, Exergy and Economic Analysis of the Scenario of Supplementing Pumped Thermal Energy Storage (PTES) with A Concentrated Photovoltaic Thermal System. *Energy Conversion and Management*, 115592.
- Navruz, T. S. (2013). *Arabant Yapılı Güneş Pillerinde Verim Optimizasyonu*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Notton, G., Cristofari, C., Mattei, M. and Poggi, P. (2005). Modelling of A Double-Glass Photovoltaic Module Using Finite Differences. *Applied Thermal Engineering*, 25(1), 2854-2877.
- Omer, KA. and Zala, AM. (2018). Experimental Investigation of PV/Thermal Collector with Theoretical Analysis. *Renewable Energy Focus*, 27(1), 67-77.
- Qu, W., Hong, H., Su, B., Tang, S. and Jin, H. (2018). A Concentrating Photovoltaic/Kalina Cycle Coupled with Absorption Chiller. *Applied Energy*, 224(1), 481-493.
- Rawat, P. and Dhiran, T.S. (2017). Comparative Analysis of Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Water and Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Air Systems. *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science*, 3(1).
- Sahay, A., Sethi, V. K., Tiwari, A. C. and Pandey, M. (2015). A Review of Solar Photovoltaic Panel Cooling Systems with Special Reference to Ground Coupled Central Panel Cooling System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42(1), 306-312.
- Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H. and Behzadmehr, A. (2010). Exergetic Performance Assessment of A Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Air Collector. *Energy and Buildings*, 42(11), 2184-2199.
- Sarıkaya, S. (2009). Güneş Enerjisi Sektörel Analiz Raporu. *Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı*, Van.
- Sathyanarayana, P., Ballal, R., Lasmi Sagar, L. And Kumar, G. (2015). Effect of Shading on the Performance of Solar PV Panel. *Energy and Power, Scientific & Academic Publishing*, 5(1A), 1-4.
- Singh, S., Agarwal, S., Tiwari, G. N. and Chauhan, D. (2015a). Application of Genetic Algorithm with Multi-Objective Function to Improve the Efficiency of Glazed Photovoltaic Thermal System for New Delhi (India) Climatic Condition. *Solar Energy*, 117(1), 153-166.
- Skoplaki, E. and Palyvos, J. A. (2009). On the Temperature Dependence of Photovoltaic Module Electrical Performance: A Review of Efficiency/Power Correlations. *Solar Energy*, 83(1), 614-624.
- Teo, H. G., Lee, P. S. and Hawlader, M. N. (2012). An Active Cooling System for Photovoltaic Modules. *Applied Energy*, 90(1), 309-315.
- Tyagi, V., Kaushik, S. and Tyagi, S. (2012). Advancement in Solar Photovoltaic/Thermal (PV/T) Hybrid Collector Technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1383-1398.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı: Muhammed Ömer BULAKÇIBAŞI

Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)

1-) Kurşun, B. ve Bulakçıbaşı M. Ö. (2022, 18-19 Kasım). *Fotovoltaik Enerji ile Tarımsal İşletmelerin Enerji Gereksinimin Karşılabilirliği: Van İlinde Uygulanması*. 3rd International Siirt Scientific Research Congress, Siirt.