

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

**CO₂ KULLANILAN ISI POMPALI KURUTUCULARDA
PERFORMANS ARTTIRILMASI**

GÖRKEM ARGALIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI VE PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. DERYA BURCU ÖZKAN**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CO₂ KULLANILAN ISI POMPALI KURUTUCULARDA PERFORMANS
ARTTIRILMASI**

Görkem ARGALIOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 25.06.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Derya Burcu ÖZKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Derya Burcu ÖZKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan HEPERKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yakup Erhan BÖKE
İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi San-Tez kapsamında **01303.STZ.2012-1** numaralı proje ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tezin hazırlanma sürecinde gösterdiği yoğun ilgi ve yardımlar için danışman hocam Doç. Dr. Derya Burcu ÖZKAN' a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Kendisi hem lisans öğrenimim hem de yüksek lisans öğrenimim boyunca desteğini, ilgisini ve özverisini hiç eksiltmemiştir. Prof. Dr. Hasan HEPERKAN' a, Arş. Gör. Dr. Serkan ERDEM' e ve Arş. Gör. Dr. Cenk ONAN' a tez çalışmamda gösterdikleri yardımlardan dolayı teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim ve tez sürecimde tüm sorularıma yardım etmeye çalışan ve okula gelemediğim zamanlarda benim için tüm işlerle ilgilenen sevgili arkadaşım Arş. Gör. Alican ÇEBİ' ye çok ama çok teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatımda benim hep yanımda olan, desteklerini hiç eksiltmeyen, bana hep güvenen, benim mutlu olmamı isteyen, annem Bilge ARGALIOĞLU' na, babam Zeki ARGALIOĞLU' na ve eşim Merve TURAN' a çok teşekkür ederim ve her zaman teşekkür etmeye devam edeceğim.

Bu tez; CO₂ ile çalışan ısı pompalı kurutma makinalarının yapay sinir ağları ile modellenmesini incelemektedir.

Yaşamak ne güzel şey!

Mayıs, 2015

Görkem ARGALIOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
SOĞUTMA MAKİNALARI VE ISI POMPALARI	5
2.1 Subkritik (Kritik Altı) Çevrim	5
2.2 Transkritik (Kritik Üstü) Çevrim	5
2.3 Isı Pompalı Kurutma Sistemi	7
BÖLÜM 3	
YAPAY SİNİR AĞLARI	10
3.1 Yapay Sinir Ağları.....	10
3.2 Nöron (Sinir Hücresi) Yapısı.....	11
3.3 YSA'nın Yapısı	12
3.3.1 İşlem Birimi.....	12
3.3.2 YSA Topolojileri	15
3.3.3 YSA'na Öğretme	16
3.3.4 Amaç Fonksiyonu	17
3.4 İleri Beslemeli YSA	18

3.5	Ağın Yapısal Dizayını	19
3.5.1	Gizli Tabaka Sayısı	19
3.5.2	Gizli Birim Sayısı	20
BÖLÜM 4		
TRANSKRİTİK ISI POMPALI KURUTMA SİSTEMİ MATLAB MODELLERİ		21
4.1	Matematiksel MATLAB Modeli	21
4.2	MATLAB YSA Modeli	26
4.2.1	MATLAB YSA Araç Kutusu	26
4.2.2	CO ₂ ile Transkritik Çevrim ile Çalışan Isı Pompalı Çamaşır Kurutma Makinası YSA Modeli	27
BÖLÜM 5		
SONUÇLAR.....		30
BÖLÜM 6		
TEST MODELİ SONUÇLARI		54
KAYNAKLAR.....		78
EK-A		
MATLAB MATEMATİK MODELİ GİRDİ VE ÇIKTILARI.....		80
EK-B		
MATLAB YSA TEKLİ MODEL KODU.....		103
EK-C		
MATLAB YSA BİRLEŞİK MODEL KODU.....		105
ÖZGEÇMİŞ.....		107

SİMGE LİSTESİ

x	j birimi girdileri	
h	j birimi gizli tabaka birimleri	
y	j birimi çıktıları	
w	Ağırlık faktörleri	
a	Birleştirme fonksiyonu	
θ	Hedef değer	
g	Aktivasyon fonksiyonu	
E	MSE fonksiyonu	
m	Gizli tabaka birim sayısı	
dP	Basınç farkı	kPa
Q	Isı transferi	W
W	İş	W
U	Toplam ısı transfer katsayısı	$W/m^2\text{°C}$
ΔT_{lm}	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı	°C
A	Isı transfer alanı	m^2
m	Soğutucu akışkan kütleli debisi	kg/h
h	Entalpi	kJ/kg
ω	Mutlak nem	kg_w/kg
E	Elektrik tüketimi	kWh

Alt İndisler

r	Soğutucu akışkan
a	Hava
0	Giriş
i	Çıkış
l	YSA girdi sayısı
n	YSA çıktı sayısı
j	Birim sayısı
w	Su

KISALTMA LİSTESİ

ANN	Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağır)
COP	Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)
DE	Kurutucu Verimi
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve Hava Şartlandırma)
KO	Tambur Kaçak Oranı
MER	Moisture Extraction Rate (Nem Alma Hızı)
MSE	Mean Squared Error (Ortalama Hata Kareleri)
RACHP	Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pump Systems (Soğutma, Hava Şartlandırma ve Isı Pompası Sistemleri)
SMER	Specific Moisture Extraction Rate (Özgöl Nem Alma Hızı)
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 R744 için transkritik soğutma çevrimi InP-h diyagramı.....	6
Şekil 2.2 Transkritik çevrim şeması	6
Şekil 2.3 CO2 soğutucu akışkanlı ısı pompalı çamaşır kurutma makinası şeması.....	8
Şekil 2.4 CO2 soğutucu akışkanlı ısı pompalı çamaşır kurutma makinası hava tarafı psikrometrik diyagramı	9
Şekil 3.1 Sinir hücresi	11
Şekil 3.2 Matematiksel sinir hücresi işlem birimi şeması	12
Şekil 3.3 Geri beslemeli YSA şeması.....	13
Şekil 3.4 YSA öğrenme şeması	17
Şekil 3.5 İleri beslemeli YSA şeması	18
Şekil 4.1 MATLAB YSA modeli performans grafiği örneği	28
Şekil 4.2 MATLAB YSA modeli regresyon eğrisi örneği-1	29
Şekil 4.3 MATLAB YSA modeli regresyon eğrisi örneği-2	29
Şekil 5.1 Optimizasyon sonucu minimum hata oranı farkları	33
Şekil 5.2 Optimizasyon sonucu maksimum hata oranı farkları.....	34
Şekil 5.3 Optimizasyon sonucu ortalama hata oranı farkları.....	35
Şekil 5.4 ± 10 hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - COP	36
Şekil 5.5 ± 10 hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - MER	36
Şekil 5.6 ± 10 hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - SMER	37
Şekil 5.7 ± 10 hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Kurutma süresi	37
Şekil 5.8 ± 10 hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Elektrik tüketimi	38
Şekil 5.9 ± 10 hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - dPr	38
Şekil 5.10 ± 10 hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - dPa	39
Şekil 5.11 ± 10 hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Kompresör işi.....	39
Şekil 5.12 ± 10 hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Fan iş i	40

Şekil 5.13 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Evaporasyon ısısı	40
Şekil 5.14 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Gaz soğutucu ısısı	41
Şekil 5.15 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Soğutucu akışkan debisi	41
Şekil 5.16 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları - COP	42
Şekil 5.17 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları - MER	43
Şekil 5.18 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları - SMER	44
Şekil 5.19 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Kurutma süresi	45
Şekil 5.20 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Elektrik tüketimi	46
Şekil 5.21 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – dPr	47
Şekil 5.22 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları - dPa	48
Şekil 5.23 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Kompresör işi	49
Şekil 5.24 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Fan işi.....	50
Şekil 5.25 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Evaporasyon ısısı	51
Şekil 5.26 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Gaz soğutucu ısısı	52
Şekil 5.27 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Soğutucu akışkan debisi	53
Şekil 6.1 Optimizasyon sonucu YSA test modeli minimum hata oranı farkları.....	57
Şekil 6.2 Optimizasyon sonucu YSA test modeli maksimum hata oranı farkları	58
Şekil 6.3 Optimizasyon sonucu YSA test modeli ortalama hata oranı farkları	59
Şekil 6.4 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - COP	60
Şekil 6.5 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - MER	60
Şekil 6.6 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - SMER	61
Şekil 6.7 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Kurutma süresi	61
Şekil 6.8 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Elektrik tüketimi	62
Şekil 6.9 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - dPr	62
Şekil 6.10 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - dPa	63
Şekil 6.11 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Kompresör işi.....	63
Şekil 6.12 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Fan işi	64

Şekil 6.13 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Evaporasyon ısısı	64
Şekil 6.14 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Gaz soğutucu ısısı	65
Şekil 6.15 $\pm\%10$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Soğutucu akışkan debisi	65
Şekil 6.16 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – COP	66
Şekil 6.17 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – MER	66
Şekil 6.18 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – SMER.....	66
Şekil 6.19 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Kurutma süresi	66
Şekil 6.20 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Elektrik tüketimi	66
Şekil 6.21 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – dPr	66
Şekil 6.22 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – dPa.....	66
Şekil 6.23 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Kompresör işi.....	66
Şekil 6.24 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Fan işi.....	66
Şekil 6.25 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Evaporasyon ısısı	66
Şekil 6.26 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Gaz soğutucu ısısı	66
Şekil 6.27 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Soğutucu akışkan debisi	66
Şekil A.1 Matematiksel model giriş parametresi – Evaporasyon sıcaklığı	66
Şekil A.2 Matematiksel model giriş parametresi – Gaz soğutucu basıncı	66
Şekil A.3 Matematiksel model giriş parametresi – Hava sıcaklığı.....	66
Şekil A.4 Matematiksel model giriş parametresi – Havanın bağıl nemi	66
Şekil A.5 Matematiksel model giriş parametresi – KO	66
Şekil A.6 Matematiksel model giriş parametresi – DE.....	66
Şekil A.7 Matematiksel model giriş parametresi – Havanın kütledebisi	66
Şekil A.8 Matematiksel model giriş parametresi – Hava basıncı	66
Şekil A.9 Matematiksel model giriş parametresi – Kompresör silindir hacmi.....	66
Şekil A.10 Matematiksel model giriş parametresi – Kompresör devri	66
Şekil A.11 Matematiksel model sonuç – Soğutucu akışkan kütledebisi.....	66
Şekil A.12 Matematiksel model sonuç – Evaporasyon ısısı	66
Şekil A.13 Matematiksel model sonuç – Gaz soğutucu ısısı	66
Şekil A.14 Matematiksel model sonuç – Kompresör işi.....	66
Şekil A.15 Matematiksel model sonuç – Fan işi.....	66
Şekil A.16 Matematiksel model sonuç – Soğutucu akışkan tarafı basınç düşüşü.....	66

Şekil A.17 Matematiksel model sonuç – Hava tarafı basınç düşüşü.....	66
Şekil A.18 Matematiksel model sonuç – COP	66
Şekil A.19 Matematiksel model sonuç – MER	66
Şekil A.20 Matematiksel model sonuç – SMER.....	66
Şekil A.21 Matematiksel model sonuç – Kurutma süresi	66
Şekil A.22 Matematiksel model sonuç – Elektrik Tüketimi.....	66

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Transfer fonksiyonları.....	15
Çizelge 4.1 Matematiksel MATLAB modelinin literatür çalışmalarıyla karşılaştırması...	24
Çizelge 5.1 MATLAB YSA modeli sonuçları hata yüzdeleri.....	31
Çizelge 5.2 Optimizasyon sonucu elde edilen transfer fonksiyonları	31
Çizelge 5.3 Optimizasyon sonucu elde edilen hata yüzdeleri.....	32
Çizelge 6.1 Daraltılmış MATLAB YSA modeli sonuçları hata oranları	55
Çizelge 6.2 MATLAB YSA TEST modeli sonuçları hata oranları	56

CO₂ KULLANILAN ISI POMPALI KURUTUCULARDA PERFORMANS ARTTIRILMASI

Görkem ARGALIOĞLU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

Zararlı soğutucu gazların da sebep olduğu sera gazı etkisi, küresel ısınma ve ozon tabakası delinmesi tüm dünyayı etkileyen çok önemli ve çok tehlikeli gerçeklerdir. Bu tehlikeyi yavaşlatmak ve azaltmak için tüm dünyada birçok yasal yönetmelik ve teşvik düzenlenmektedir. Şirketler ve üniversiteler hızla daha çevreci hatta doğal akışkanları ısı pompalarında ve klimalarda kullanmaya, denemeye başlamıştır. Bu soğutucu akışkanlardan CO₂ hem doğal oluşundan hem de termofiziksel özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen akışkanlardandır.

Bu çalışmada, CO₂ (R744) ile transkritik çevrimle çalışan ısı pompalı çamaşır kurutma makinasının performansı, enerji tüketimi ve kurutma süresi oluşturulan yapay sinir ağı modeli hızlı bir şekilde hesaplanabilmektedir. Daha önce MATLAB ortamında oluşturulmuş olan matematiksel modelin girdileri ve sonuçları, bu çalışma sırasında oluşturulan yapay sinir ağı modelinin öğrenme işleminde kullanılmıştır. Model sistemi bir kere öğrendikten sonra öğretilen değerlerin dışında başka girdilere cevap verebilmektedir.

İki adet ana ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Bunlardan ilki matematiksel MATLAB modelinin girdileri ve çıktıları arasındaki ilişkiyi öğrenen ve o değerleri test eden model; diğeri ise bu modeli test eden modeldir. Sistem test modeline, matematiksel model verileri içinden 33 adet verinin çıkartılmasıyla oluşturulan model aracılığıyla öğretilmiştir. Uzayın bazı noktalarını (33 veriyi) eksik

öğrenen model üzerinde, çıkartılan 33 adet veri test edilmiştir ve sonuçları matematiksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Kurulan tüm yapay sinir ağı modeli girdi ve çıktıları bir transfer fonksiyonu ile öğrenmektedir. 3 farklı transfer fonksiyonu (lineer, sigmoid, tanjant hiperbolik) tüm girdi çıktı ikilisi arasında denenmiştir. En iyi sonucu veren transfer fonksiyonu her model için seçilerek modellerin optimizasyonu yapılmıştır.

Optimize edilmemiş birinci yapay sinir ağı modelleri ile matematiksel model karşılaştırıldığında, 12 adet çıktının maksimum ortalama hatası %10.795 olarak bulunmuştur. Bu model optimize edildikten sonra ise 12 adet çıktının maksimum ortalama hatası %5.401' e düşmüştür. Optimize edilmiş test modelinde ise beklenildiği gibi (daha küçük öğretilmiş uzay ve zorlanmış veri ayıklanmasından dolayı) hata oranları bir miktar artmıştır ve 12 çıktının maksimum ortalama hatası %21.498 bulunmuştur.

Yapılan bu çalışma ile kurutma makinalarının içine yapay sinir ağı kodları gömülerek, sistemin enerji tüketimini ve kurutma süresi iyileştirmesi anlık olarak yapılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isı pompalı kurutucu, CO₂ transkritik çevrim, Yapay sinir ağları

PERFORMANCE IMPROVEMENT IN CO₂ HEAT PUMP DRYERS

Görkem ARGALIOĞLU

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

Greenhouse gas effects, global warming and ozone layer depletion which effects whole world and caused by harmful refrigerants, are very important and dangerous facts. There are many regulations and incentives are being prepared, in order to slow down and decrease that danger. Companies and universities rapidly started trying to use environmentalist yet more natural refrigerants in heat pumps and air conditioners. Among all those refrigerants, hence it is natural and as well as its thermophysical properties, CO₂ is one of the most preferred refrigerant.

In this study, transcritical cycle based CO₂ (R744) heat pump dryer performance, electric consumption and drying duration can be calculated via neural network model. Previously created mathematical MATLAB model's inputs and outputs were used for newly created neural network model to learn. When model was learnt the system once, it can easily response unknown or unidentified inputs.

Two main feedforward neural network model were created. First one is the model that is learning the relations between mathematical MATLAB model's inputs and outputs, and testing the results; the other model is the test model. System was taught to the test model via 33 cases extracted mathematical model. The extracted 33 cases' inputs were tested on the narrowed space (33 case extracted) model and results were compared.

All neural networks models learn the inputs and outputs with a transfer function. 3 different transfer functions (linear, sigmoid and tangent hyperbolic) were tried both

input-output couple. Best transfer function couple was chosen to optimize for each model.

The maximum of average errors of the 12 outputs were found 10.795% in comparison of non-optimized first main models and mathematical model. At the optimized main model side; the maximum of average errors of the 12 outputs were found 5.40%. At the optimized test model comparison, the maximum of average errors was found 21.498% -as expected due to narrowed space.

With this work, it was obtained that; by usage of neural network codes that embedded in dryers, can improve consumption of energy and drying duration in real time.

Keywords: Heat pump dryers, CO₂ Transcritical cycle, Neural networks

1.1 Literatür Özeti

Literatürde ısı pompalı çamaşır kurutma makinaları ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Ancak CO₂ soğutkanlı ısı pompalı kurutma makinaları üzerine az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Sarkar vd. [1] 2007 yılında yayınladıkları çalışmanın 1. kısmında; transkritik CO₂ çevrimiyle çalışan ısı pompalı kurutucunun performansını arttırmak amacıyla matematik model ve simülasyon kodu geliştirmişlerdir. Geliştirilen model bütün sistemin ısı ve kütle transferi ile birlikte basınç düşümünü çözebilmektedir. Çalışmada ısı değiştiricileri sonsuz küçük parçaya ayrılarak ısı ve kütle transferi eşitlikleri yazılmış, hem soğutucu akışkan tarafı hem de hava tarafı basınç düşüşleri incelenmiştir.

Sarkar vd. [2] 2007 yılında yayınladıkları çalışmanın 2. kısmında; hazırladıkları simülasyon modelini deneysel veriler ile doğrulamışlardır. Doğrulan model farklı koşullarda koşturarak; COP, nem alma hızı ve özgül nem alma hızı gibi değerleri irdelemişlerdir. Deneysel veri ile yapılan doğrulamada, modelin sistem performansını bir miktar fazla hesapladığını gözlemlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda deney ile model sonuçları arasındaki farklılığı irdelemişlerdir.

Li vd. [3] 2009 yılında yayınladıkları çalışmada; transkritik CO₂ çevrimiyle çalışan kurutma sistemlerini incelemişlerdir. Farklı çevrim tiplerini; tek kademeli sıkıştırma-kurutma, tek kademeli sıkıştırma-iki kademeli kurutma ve iki kademeli sıkıştırma-iki kademeli kurutma sistemlerini karşılaştırmışlardır. Yaptıkları analizlere göre, iki kademeli kurutma sistemlerinin özgül nem alma hızı tek kademeliye göre daha fazla

olmaktadır. Enerji kullanımı olarak elektrikli kurutuculara göre daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır.

Schmidt vd. [4] 1998 yılında yayınladıkları çalışmada; transkritik CO₂ soğutucu akışkanın ısı pompalı kurutucularda kullanımının verimli olduğunu göstermiştir. Hava kaçağının olmadığı, basit kapalı transkritik ve subkritik çevrimleri karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak performans değerlerinde yaygın olarak kullanılan R134a soğutucu akışkanlı sistemlere yakın değerler elde edilmiştir. CO₂'nin çevreye zararının çok daha az olması ve kolay bulunabilirliğinden dolayı ısı pompalarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Klöcker vd. [5] 2000 yılında yayınladıkları çalışmada; hem ekonomik hem de ekolojik olarak ısı pompalarında CO₂'nin kullanılmasının uygun olacağını belirtmişlerdir. Deneysel olarak yapılan bu çalışmada önceden 12 kW' lık elektrikli ısıtma sistemi dahil olan kurutma makinasının, elektrikli ısıtıcı kısmı yerine CO₂'li ısı pompası takmışlardır. Ayrıca sistemde iki farklı kompresörü deneyerek, elektrikli ısıtıcılara göre ısı pompalı kurutucuların daha verimli olduklarını ortaya koymuşlardır.

Neksa [6] 2000 yılında yayınladığı çalışmada, transkritik CO₂ çevrimiyle çalışan ısı pompalarının; su ısıtıcıları, hava ısıtma sistemleri, ısı pompalı kurutucular gibi sistemlerde kullanılabileceğini ve bu sistemlerde transkritik çevrimin avantajlarını ifade etmiştir.

Mancini vd. [7] 2010 yılında yayınladıkları çalışmada subkritik R134a ve transkritik CO₂ çevrimlerini teorik ve deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Teorik çalışmada ısı değiştiricilerinde sabit sıcaklık kabulü yapmışlardır. Transkritik çevrim için optimum yüksek basınç, subkritik çevrim için optimum aşırı soğutma miktarı çalışmışlardır. Teorik analizle sistemin enerji performansının kurutma havası sıcaklığı ve debisiyle ilişkili olup olmadığı araştırılmıştır. Optimizasyon sonucunda CO₂ sisteminin daha düşük kurutma havası sıcaklığında çalışabileceğini göstermişlerdir. Deneysel çalışmada her iki kurutucu için aynı prosedür uygulanmıştır. Prototip çalışması sonucunda üretilen CO₂'li kurutucu %1 daha az enerji tüketmiştir ancak kurutma zamanının %9 arttığı belirlenmiştir.

Agrawal vd. [8] 2007 yılında yayınladığı çalışmada 73°C'de ısıtma ve 4°C'de soğutma yapabilen kapiler borulu bir transkritik CO₂ ısı pompasının kararlı hal modelini

geliştirmişlerdir. Kapiler boruların çaplarını 1.4, 1.5 ve 1.6 mm ve yüzey pürüzlülüklerini 0.001 ve 0.003 olarak optimum dizaynı ve çalışma koşulunu belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak kapiler boru sisteminin hava sıcaklığındaki değişimlere karşı optimum basınç kontrolü sağlayacak şekilde tepki verdiği gözlenmiştir. Gaz soğutucu çıkış sıcaklığı yükseldikçe, kapiler tüplü sistemin performansının arttığı belirlenmiştir. Sistemin optimum çalışma koşulunu belirlemede kapiler boru uzunluğunun çok kritik olduğu belirtilmiştir.

Honma vd. [9] CO₂ ile çalışan ısı pompalı çamaşır kurutma makinası prototipi yapmışlardır. Gaz soğutucusu ve evaporatör, içlerinden geçen havanın optimum dağılımını sağlayabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Genleşme valfi kullanılarak optimum aşırı kızdırma kontrolü yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda elektrikli sistemlere göre %59.2 elektrik tüketimi azalmıştır ve kurutma zamanı %52.2 azalmıştır.

Mohanraj vd. [10] 2011 yılında yayınladıkları çalışmada yapay sinir ağının RACHP sistemlerinde uygulanışından bahsetmişlerdir. Buhar sıkıştırmalı sistemler, RACHP sistem elemanları, buhar absorpsiyon sistemleri, soğutucu akışkan özellikleri tahmin etme, RACHP sistemlerinin kontrolü, soğutucu akışkanların faz değişim karakteristikleri, HVAC sistemleri ve son olarak özel amaçlı ısıtma soğutma sistemlerini incelemişlerdir. YSA modeli için kısıtlamalar ve model sınırları vurgulamışlardır. Sonuç olarak RACHP sistemlerine YSA uygulamasının yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Erdem vd. [11] yayınladıkları çalışmada CO₂ ile transkritik çalışan ısı pompalı çamaşır kurutucusunu sayısal olarak incelemişler ve MATLAB üzerinden matematiksel model kurmuşlardır. Bir çok dizayn parametresinin ve sonuçlara etkisini incelemişlerdir. Matematiksel modelin doğrulama çalışması Klöcker [5] ve Honma [9] çalışmalarıyla yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında YSA modeli için kullanılan girdi ve çıktı parametreleri Erdem [11] çalışmasından alınmıştır.

1.2 Tezin Amacı

CO₂ ile çalışan ısı pompalı çamaşır kurutma makinalarının performanslarını, enerji tüketim seviyelerini ve kurutma sürelerini iyileştirmek için, makinanın içine gömülü bir

yapay sinir ağı kodu oluşturulacaktır. Bu sistem sayesinde kurutucu ilgili ölçümleri yaparak girdilerini belirleyecek ve optimum çalışma koşulunu kendi belirleyebilecektir.

Daha önceden kurulmuş olan matematiksel kurutucu modelinin girdi ve çıktıları, kurulacak olan yapay sinir ağı modeline öğretilcektir. Bu öğrenme sonucunda model, daha önce öğretilmeyen girdiler ile beslendiğinde sistemin performans çıktılarını verebilecektir.

Yapılan çalışmanın amacı, düşük hata oranlarıyla çalışan ileri yapay sinir ağı modelleri geliştirmek ve optimize etmektir.

1.3 Hipotez

Yapay sinir ağları, hızlı hesap yaptıkları ve girdilerin sonuçlarını hızlı bir şekilde tahmin edebilmektedir. MATLAB ortamında oluşturulan CO₂ ile çalışan ısı pompalı çamaşır kurutma makinası matematiksel modeli çözüm süresi bakımından yapay sinir ağlarına kıyasla çok yavaştır. Bu çalışma sayesinde hızlı ve doğru hesap yapabilen CO₂ ile çalışan ısı pompalı çamaşır kurutma sistemi modeli kurulmuştur.

SOĞUTMA MAKİNALARI VE ISI POMPALARI

2.1 Subkritik (Kritik Altı) Çevrim

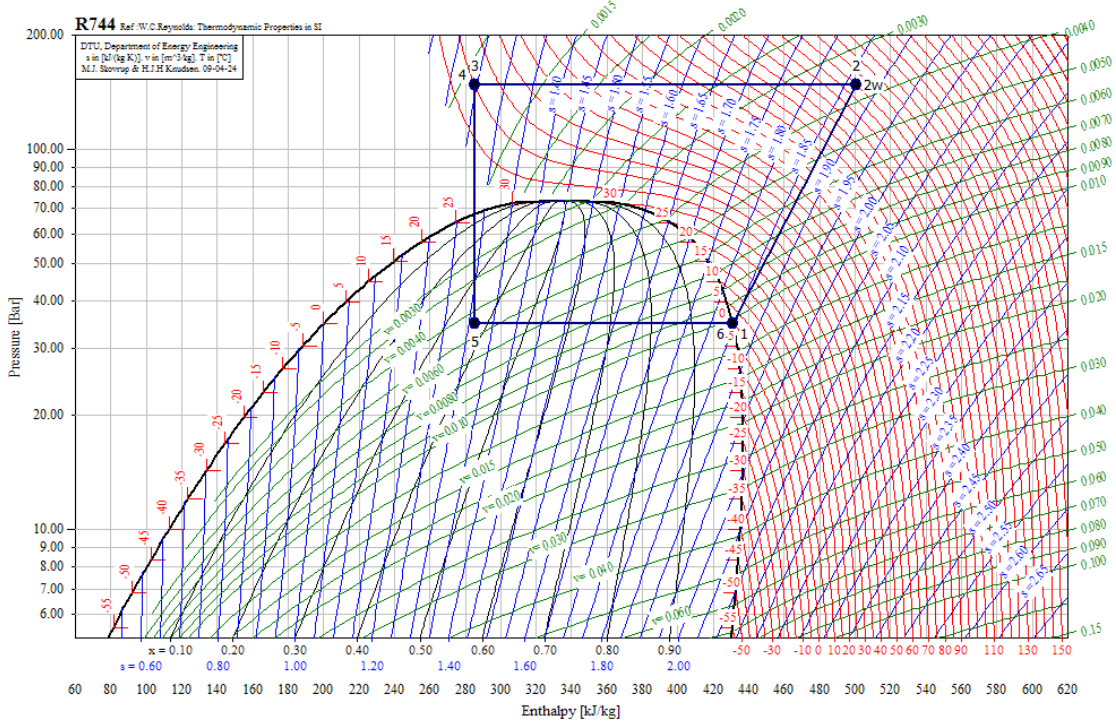
Subkritik çevrim, kritik noktanın altında gerçekleşen çevrimdir. Kompresör akışkanı kritik basıncın altında bir değere kadar sıkıştırır. Yani çevrimin ısı atımı ve ısı alımı yaş buhar bölgesinde gerçekleşir.

Piyasada kullanılan klimalar, buzdolapları ve ısı pompaları genellikle subkritik çevrim ile çalışır. Bu tamamen sistemde kullanılan soğutucu akışkana bağlıdır. Yukarıda adı geçen sistemlerde yaygın olarak; R134a, R600a, R404a, R407c ve R410a gibi soğutucu akışkanlar kullanılmaktadır.

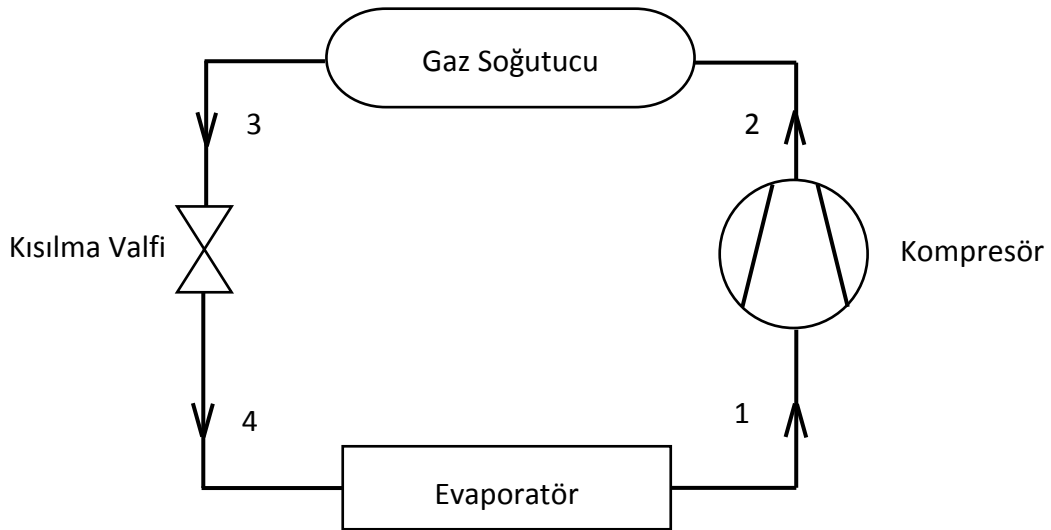
2.2 Transkritik (Kritik Üstü) Çevrim

R744 yani CO₂, düşük kritik sıcaklığa sahip olan bir akışkandır. 31.06 °C' de kritik sıcaklığa sahip bir akışkanla uygulanan bir sistemin kondenzasyon sıcaklığı 25–27 °C olursa, çok düşük soğutma etkisi yaratır. Bu sıcaklığın üzerinde ise R744 yoğuşamaz ancak sistemin çalışması için sıcaklığının düşürülmesi gerekir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi akışkan sıcaklığı 120 °C' den 40 °C' ye düşmektedir. Sıcaklık düşmesi sabit basınç prosesidir. Bu işlemi gaz soğutucu yapar. Akışkanı yaş buhar hale getirmek için genişleme valfi kullanılır ve basıncı düşürülür. Basıncı düşürülen akışkan evaporatöre girer sabit basınçta buharlaştırılır ve sonra kompresöre girerek gaz soğutucu basıncına kadar basıncı arttırılır.

Akışkanın yüksek basınç değeri, kompresör çıkışındaki basınç transkritik çevrimde çok önemlidir. Optimum basınç değeri, mümkün olan maksimum COP ve minimum kompresör gücü arasındaki dengenin değerlendirilmesiyle bulunur.



Şekil 2.1 R744 için transkritik soğutma çevrimi lnP-h diyagramı



Şekil 2.2 Transkritik çevrim şeması

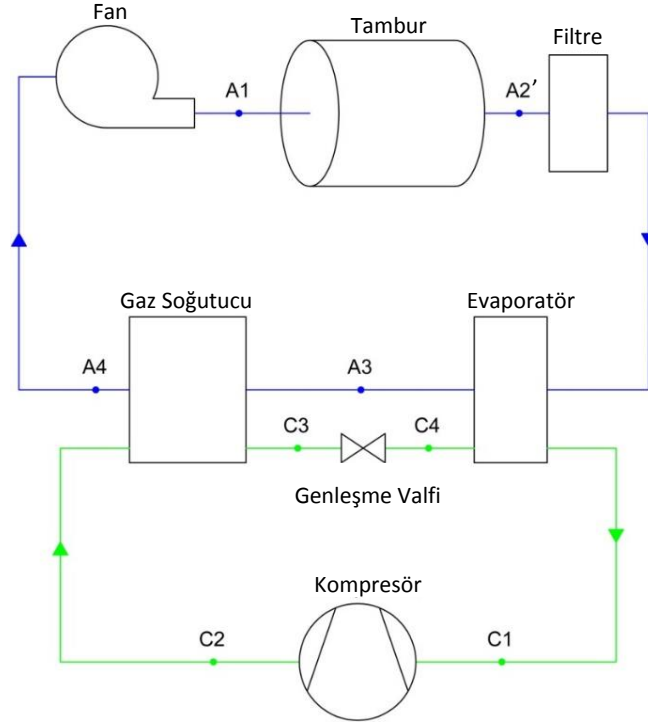
2.3 Isı Pompalı Kurutma Sistemi

Isı pompalı çamaşır kurutma makinası iki kapalı çevrimden oluşur. Bunların biri hava tarafı diğeri soğutucu akışkan tarafıdır (Şekil 2.3).

Isı pompası tarafından ısıtılan ve nemi alınan hava tamburdan geçerek nemli çamaşırları kurutur, sonrasında filtreden geçerek, içerisindeki iplik vb. kirleticilerin tutulması sağlanır. Hava evaporatöre geldiğinde, sıcaklığının düşmesi ve bünyesinde bulunan nemin burada yoğunlaşarak havadan ayrılması sağlanır. Sıcaklığı düşük bağıl nemi yüksek olan hava gaz soğutucusuna (subkritik çevrimde kondensere) girerek sıcaklığı artırılır ve bağıl nemi düşürülür. Sonra tekrardan fana girerek tambura gönderilir ve çevrim tamamlanır.

Soğutucu akışkan çevriminde CO₂ kompresörde gaz soğutucu basıncına çıkarılır ve gaz soğutucuya girer. Gaz soğutucuda havaya ısı atarak havayı ısıtır. Sıcaklığı düşen CO₂ kısılma valfinden geçerek basıncı düşürülür ve yağ buhar olarak evaporatöre girer. Evaporatörde havanın atık ısını alarak buharlaşır ve doymuş buhar olarak kompresöre girer (Şekil 2.1).

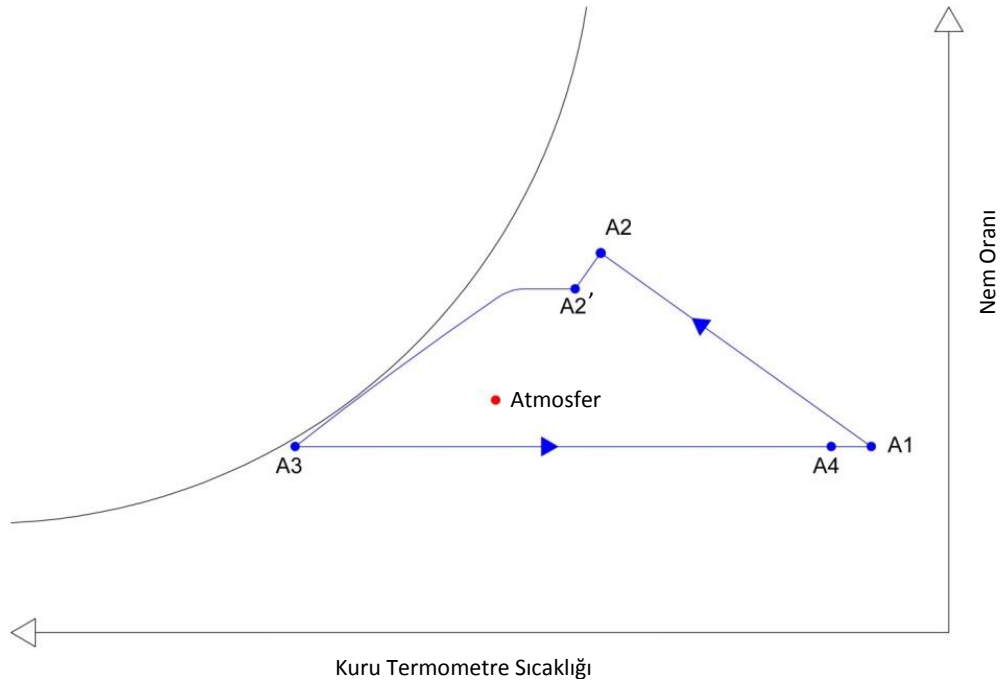
- C1 → C2 : Kompresörde izentropik sıkıştırma
- C2 → C3 : Gaz soğutucusunda sabit basınçta ısı atımı
- C3 → C4 : Genleşme valfinde sabit entalpide genleşme
- C4 → C1 Evaporatörde sabit basınçta buharlaşma



Şekil 2.3 CO2 soğutucu akışkanlı ısı pompalı çamaşır kurutma makinası şeması

Bu iki çevrim görüldüğü üzere evaporatörde ve gaz soğutucuda kesişmektedir. Bir ısı pompası evaporatörünün temel amacı dış havadaki ısıyı alarak içindeki soğutucu akışkanı buharlaştırmaktır. Bu sistemde evaporatör havayı soğutur ve nemin yoğunlaşarak havadan ayrılmasını sağlar. Gaz soğutucu ise iç ortama ısı vererek ısıtılmak istenen ortamı ısıtır, bu sırada içindeki soğutucu akışkan soğur. Isı pompalı çamaşır kurutma makinasında ise gaz soğutucudan geçen hava ısınır ve bağıl nemi düşer (Şekil 2.4).

- İdeal çevrim
 - $A1 \rightarrow A2$: sabit entalpide nem alımı (mutlak nem artışı)
 - $A2 \rightarrow A2'$: Tambur kaçaklarından dolayı içeri karışan temiz havanın etkisi
 - $A2 \rightarrow A3$: Evaporatörde ısı atımı (çiğ noktasına kadar, bağılnem %100)
 - $A3 \rightarrow A4$: Gaz soğutucuda ısı alımı
 - $A4 \rightarrow A1$: Fandan ısı alımı



Şekil 2.4 CO2 soğutucu akışkanlı ısı pompalı çamaşır kurutma makinası hava tarafı psikrometrik diyagramı

YAPAY SİNİR AĞLARI

3.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları insan beyindeki nöronlar gibi öğrenme ve yeni bilgiler oluşturabilme gibi özellikleri kendiliğinden geliştirebilme amacıyla oluşturulan bilgisayar sistemleridir. Bu sistem oluşturulurken insan beyindeki nöronların birbirleriyle bağlanıp bilgi aktarması ve yeni bilgiler üretmesinden esinlenilmiştir.

İlk olarak tıp alanında nöronların matematik modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra YSA'nın matematik modellerinin gelişmesiyle bu sistem farklı alanlara da açılmıştır. Günümüzde YSA çalışmaları daha çok farklı yapılarda olan verilerin analiz edilmesi ve tanımlanması üzerine olmaktadır.

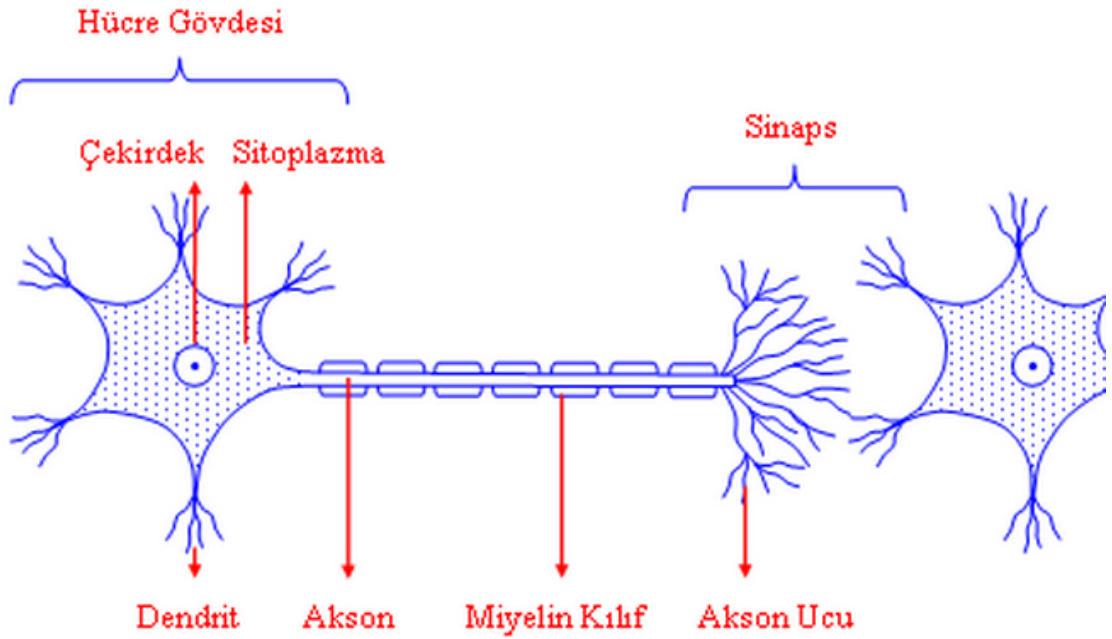
Bu sistem ile henüz bir algoritması veya bir matematik modeli olmayan sistemlerin karakterlerini ve değişen durumlara verecekleri tepkileri, yeterli miktarda farklı durumda veriyi öğreterek veya benzer başka sistem verilerini öğreterek bulunabilir. Yani kısaca açıklamak gerekirse öğrendiği durumlardan insan beyni gibi başka durumları tahmin etmesi istenebilir.

YSA'nı matematiksel olarak tanımlamak istersek, paralel kurulmuş bir yapıya sahiptir. Bu onu diğer bilgisayar sistemlerinden ayırmakta ve insan beynine benzetmektedir. Giriş verileri, çıkış verileri ve sistemi öğrenen asıl elamanları, yani nöronları vardır. Veri tek yönlü (veya geri beslemeli) bir şekilde giriş, nöron ve çıkış yolunu izler. Bu şekilde istenilen koşulları öğrenebilmekte ve öğrendiği o koşullara göre farklı cevaplar verebilmektedir.

3.2 Nöron (Sinir Hücresi) Yapısı

YSA'nı daha net anlayabilmek için örnek alınarak modellendiği nöronları biyolojik olarak incelemek gerekir. Nöronlar sinir sisteminin temel birimidir. Başlıca görevi bilgi transferi yapmaktır. İnsan beyinde yaklaşık olarak 10^{10} adet nöron olduğu ve her nöronun 10^4 adet bağlantısı olduğu tahmin edilmektedir. Bu bağlantılar arasında çalışma hızı saniyenin yaklaşık yüzde biri kadardır.

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bir nöron temel olarak dört bölgeye ayrılır. Bunlar; soma, dendritler, akson ve terminal butonlardır.



Şekil 3.1 Sinir hücresi

Soma bölgesinde çekirdek ve hücreni yaşamsal işlevlerini sağlayan mekanizma bulunur. Dendritler nöron iletişiminin alıcılarıdır. Alınan işaretler hücre içinde birleştirilir ve çıkış aksiyonu alınıp alınmayacağına karar verilir. Eğer iş yapılacaksa üretilen sinyal akson aracılığıyla diğer nöronlara ya da terminal butonlara gönderilir. Beyinde her nöronun karşılığı vardır ve üretilen çıkış ona bağlı bütün nöronlara gönderilir. Nöronlar arasındaki bağlantı sinapsta meydana gelir. Nörondan nörona sinyal aktarımı bu bölgede olur. Yani bir nöronun akson ucu diğer nöronun dendritine bağlıdır.

3.3 YSA'nın Yapısı

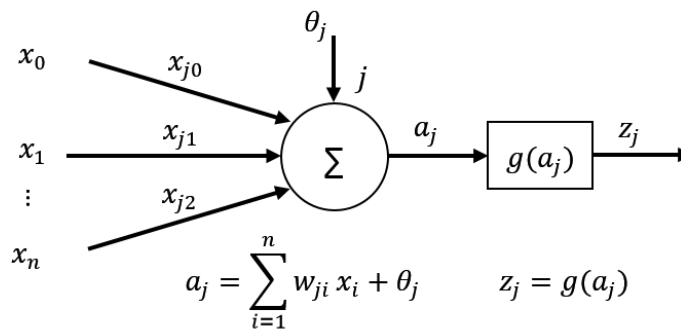
YSA'lar birbirlerine ağırlıklandırılmış halde bağlanan nöronlardan oluşan matematiksel bir sistemdir. Bu sistemin içinde yer alan nöronlar başka nöronlardan sinyalleri alırlar; ayıklar, dönüştürür ve işlerler. Sonuç olarak ortaya matematiksel bir değer çıkarırlar.

Bu işlem paralel bağlantılı çeşitli özellikler içerir:

1. İşlem birimleri
2. Her bir birim için çıktıyla eş bir aktivasyon durumu
3. Girdi birimlerinin dış girdilerle efektif durumunu belirleyen yayılım kuralı
4. Efektif girdiyi belirleyen bir aktivasyon fonksiyonu
5. Her birim için dış girdi
6. Bilgi toplamak ve öğrenmek için bir metot
7. Sistemin çalışacağı, girdi sinyalleri üretebileceği ve gerekliyse hata sinyalleri üretebileceği bir ortam

3.3.1 İşlem Birimi

İşlem birimi nöron olarak adlandırılan ve komşu nöronlardan ya da dışarıdan girdileri alıp işleyip çıktı sinyalleri hesaplayan birimdir (Şekil 3.2).

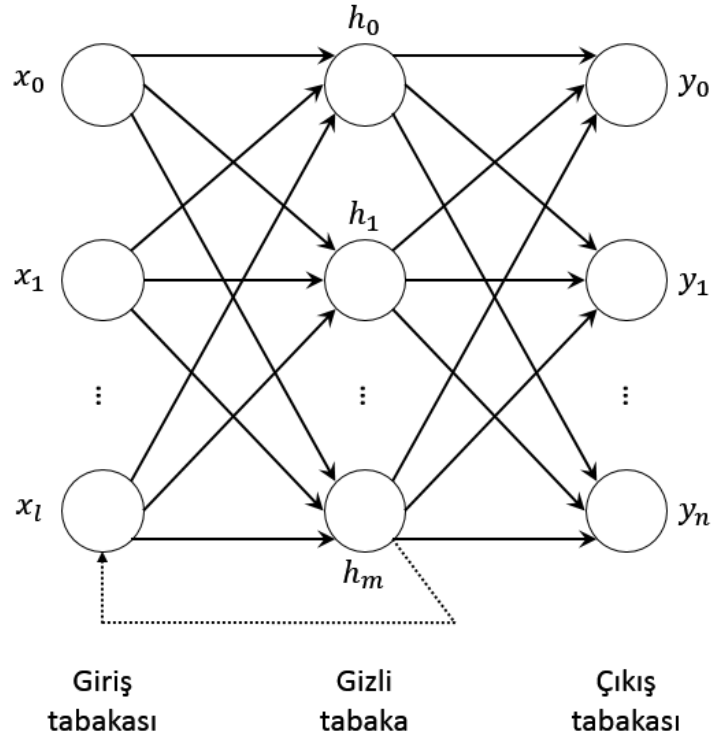


Şekil 3.2 Matematiksel sinir hücresi işlem birimi şeması

YSA sisteminin içinde üç birim vardır:

1. Veriyi ağın dışından alan giriş birimleri
2. Giriş ve çıkış sinyallerini içinde tutan gizli birimleri
3. Ağın dışına veri gönderen çıkış birimleri

Her j birimi bir veya birden fazla girdiye $x_0, x_1, \dots, x_n$ sahip olabilir. Her birimin girdisi, ağın dışından, başka birimin çıkışından veya kendi çıkışından gelebilir (geri beslemeli). Şekil de YSA'nın basit olarak şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Geri beslemeli YSA şeması

Yapay sinir hücresi beş bölümden oluşur;

- Girdiler
- Ağırlık faktörleri
- Birleştirme fonksiyonu
- Transfer fonksiyonu
- Çıktılar

Girdiler: Nöronlara iletilen verilerdir. Bu veriler bir başka nörondan da gelebileceği gibi dışarıdan da verilebilir.

Ağırlıklar: Nörona gelen veriler bağlantıların ağırlık faktörleriyle çarpılarak çekirdeğine iletilir. Bu şekilde girdilerin çıktılar üzerindeki etkileri ayarlanabilir.

Birleştirme fonksiyonu: Her girdi birimi olmayan yapay sinir ağı, sinaps bağlantılarıyla başka birimlere beslenen değerleri birleştirip net girdi olarak adlandırılan sinyal üretir. Bu değerleri birleştiren fonksiyona birleştirme fonksiyonu denir. Birimin toplam girdisi j , bağlı birimlerin ağırlıklandırılmış toplam çıktısı ve hedef değer toplamıdır, θ_j ;

$$a_j = \sum_{i=1}^n w_{ji}x_i + \theta_j \quad (3.1)$$

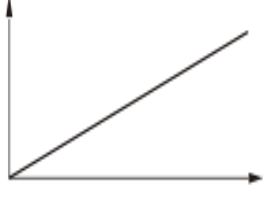
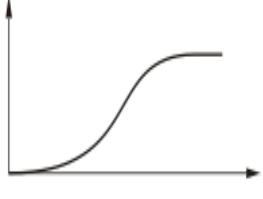
Pozitif w_{ji} dağılımı, negatif w_{ji} uyarısı ve engeliyle değerlendirilir. Yayılım kuralının üzerindeki birimlere *sigma birimleri* denir.

$$a_j = \sum_{i=1}^n w_{ji} \prod_{k=1}^m x_{ik} + \theta_j \quad (3.2)$$

Birçok birleştirme fonksiyonu birime net girdiyi hesaplarken hedef değerini kullanır. Lineer çıktı birimi için hedef değer regresyon modelinde bir kesme noktasına denk gelir.

Transfer fonksiyonu: Nörona gelen net girdiyi işleyen ve bu girdiye karşı üretilecek çıktıyı hesaplayan fonksiyondur. Hem girdi tarafında hem de çıktı tarafında aynı veya farklı transfer fonksiyonları vardır. Çizelge 3.1’de bu çalışmada kullanılan aktivasyon fonksiyonu çeşitleri görülmektedir.

Çizelge 3.1 Transfer fonksiyonları

Lineer Aktivasyon Fonksiyonu		$g(x) = x$	Girdiler ve çıktılar arasında doğrusal bir fonksiyon kurup, sistemin cevabını ana çıktı olarak hesaplar.
Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu		$g(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	YSA sisteminde en çok kullanılan fonksiyondur. Sürekli, türevi alınabilen ve 0 ile 1 arasında çıktı veren bir fonksiyondur.
Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu		$g(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}}$	Sigmoid fonksiyona çok benzerdir, tek farkı -1 ile 1 arasında çıktı vermektedir.

Çıktılar: Aktivasyon fonksiyonu tarafından işlenen girdiler nöronun çıktısı olarak çıkmaktadır. Bu çıktılar sistemin direk çıktısı olarak kullanılacağı gibi diğer nöronun girdisi olarak da kullanılabilir.

3.3.2 YSA Topolojileri

Ağın topolojisi katman sayısına, katmandaki birim sayısına ve katmanlar arası bağlantı tipine göre tanımlanır. Bağlantı tipine göre genel olarak iki kategoriye ayrılır:

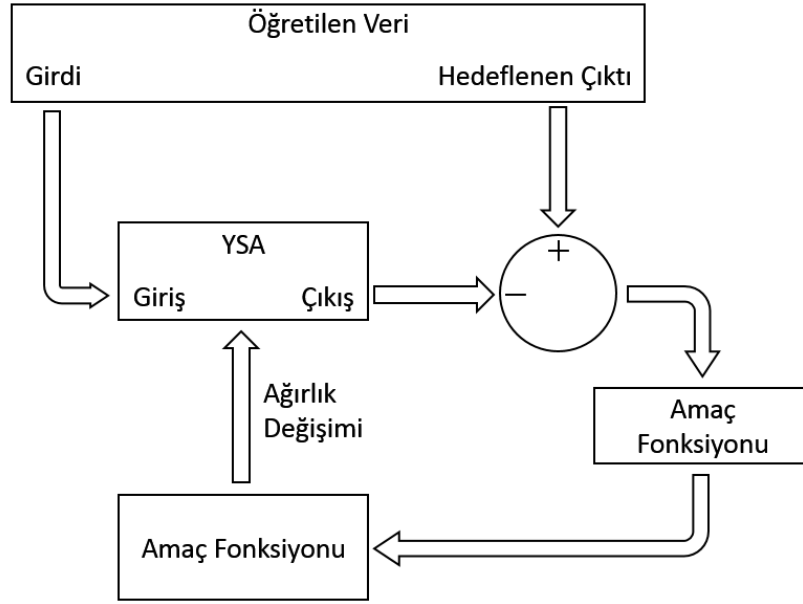
1. **İleri beslemeli ağlar¹:** Girdi ve çıktı arasındaki sinyal akımı tek yönde olur. Veri işleme farklı katmanlarda yapılabilir olsa bile bu bağlantılar arasında geri besleme hattı yoktur. (Şekil 3.5)
2. **Geri beslemeli ağlar:** Geri besleme hatlarına sahip olan bağlantılardır. Çıktı değerine göre geri besleme ile girdi tekrardan aktivasyon fonksiyonuyla işlenip değiştirilebilir. (Şekil 3.3)

3.3.3 YSA'na Öğretme

YSA'nın fonksiyonelliği topolojisine ve ağ arasındaki ağırlıklandırılmış bağlantılara bağlıdır. Topoloji sabit iken, ağırlıklandırma çeşitli öğrenme algoritmalarıyla olur. YSA'nın girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi öğrenirken, ağırlık katsayılarını ayarlama işlemine öğrenme denir. Öğrenme yöntemi kabaca iki başlıkta toplanabilir:

1. **Kontrollü öğrenme:** Ağa dışarıdan sağlanan girdiler ve hedeflenen çıktılar verilerek öğretilir. Girdi çıktı çiftleri dışarıdan eğitici tarafından verilir. Bağlantılar arasındaki ağırlık katsayılarını dışarıdan verilen gerçek çıktılar (hedefler) ve hesaplanan çıktılar arasında ilişki kurarak hesaplar. (Şekil 3.4)
2. **KontROLSÜZ öğrenme:** Çevreden gelen ve ağın çıktılarının doğru olup olmadığını kontrol eden geri besleme sistemi yoktur. Ağ özellikleri bağlantıları, bağlantıları kendi kendine keşfetmelidir.

¹ Bu çalışmada kullanılan modeller ileri beslemeli YSA ile kurulduğundan sadece ileri beslemeli ağlar üzerinde durulacaktır.



Şekil 3.4 YSA öğrenme şeması

3.3.4 Amaç Fonksiyonu

YSA'nı eğitmek ve nasıl çalıştığını ölçmek için amaç fonksiyonu tanımlanmalıdır. Amaç fonksiyonun seçimi son derece önemlidir çünkü bu fonksiyon tasarım hedeflerini temsil eder ve hangi öğretme algoritmasının kullanılacağını belirler. En sık kullanılan amaç fonksiyonu *ortalama karekök hatası (MSE)* fonksiyonudur.

$$E = \frac{1}{NP} \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^N (t_{pi} - y_{pi})^2 \quad (3.3)$$

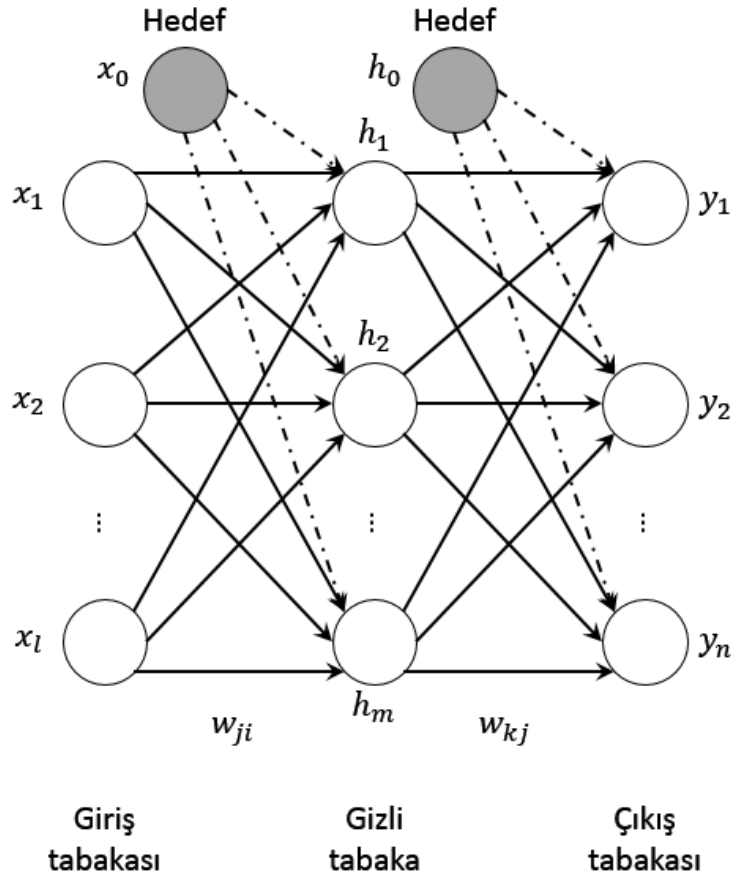
p:ağdaki dizilim

i:çıkış noktaları

t_{yi} , y_{pi} :hedef ve gerçek çıktı birimleri

3.4 İleri Beslemeli YSA

Giriş ve çıkış tabakaları arasında bir veya birden fazla gizli tabaka bulunmaktadır. Her birim kendi girdisini doğrudan bir önceki tabakadan alır ve bir sonraki tabakaya çıktı olarak gönderir. Birimler arasında ne geri tabakaya dönme ne de aynı tabakada bağlantı vardır. Bu şekilde ağ teorik olarak daha kolay hesaplanır ve ağırlık katsayıları daha kolay belirlenir.



Şekil 3.5 İleri beslemeli YSA şeması

Şekil 3.5’de tek gizli tabakalı ileri beslemeli, l adet girdili, m adet gizli birimli ve n adet çıktılı bir YSA gösterilmiştir. j . gizli birimin çıktısı;

$$a_j = \sum_{i=1}^l w_{ji} x_i \quad (3.4)$$

Gizli birim j 'nin aktivasyonu, aktivasyon fonksiyonunun lineer toplamı ile elde edilir;

$$h_j = g(a_j) \quad (3.5)$$

YSA'nın çıktıları gizli tabaka birimlerinin ikinci tabaka aktivasyonu ile hesaplanır. Her k çıktı birimi için gizli tabaka birimlerinin lineer çıktıları alınır;

$$a_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} h_j \quad (3.6)$$

Denklem (3.6) ya $g_2(x)$ aktivasyon fonksiyonu uygulanarak k . çıktıları;

$$y_k = g_2(a_k) \quad (3.7)$$

elde edilir. Denklem 4 5 6 7 birleştirilerek ağıın temel denklemi elde edilir;

$$y_k = g_2\left(\sum_{j=0}^m w_{kj} g\left(\sum_{i=0}^l w_{ji} w_i\right)\right) \quad (3.8)$$

3.5 Ağın Yapısal Dizayını

Teorik bir ağ, mükemmel bir doğrulukla modellenemesine rağmen bunun kolay yolunu bulmak çok kolay değildir. Tam bir ağ yapısı tanımlayabilmek için kaç adet gizli tabaka ve bu tabakalarda kaç adet gizli birim olacağının belirlenmesi lazımdır.

3.5.1 Gizli Tabaka Sayısı

Kurulan matematik modelin hızlı bir şekilde koşabilmesi için mümkün olduğunca az sayıda gizli tabakası olması lazım. Bunun nedenleri:

1. İleri beslemeli ağlar genel olarak gradyan temellidir. Fazla eklenen her katman bu gradyanların kararlılıklarını bozar.
2. Bölgesel minimum sayısı eklenen katmanla çok hızlı bir şekilde artar. Gradyan temelli algoritmalar bölgesel minimum değerleri bulmak için optimize edilmiştir. Bu değerlerin sayılarının artması, algoritmanın genel minimum değerini bulmasını zorlaştırır. Birçok iterasyondan sonra bölgesel minimumları bulacak olsa da; süre çok artacağından verimli olmaz.

3.5.2 Gizli Birim Sayısı

Bir ağı tasarlarken dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise gizli birim sayısıdır. Gereğinden az miktarda birim kullanılırsa, karmaşık verilerin çıkardıkları sinyalleri belirlemek zor olur. Gereğinden fazla birim kullanımı ise simülasyon sürelerini çok artırır.

İdeal gizli birim sayısı birçok faktöre bağlıdır; girdi çıktı sayısı, hata fonksiyonun karmaşıklığı, ağ yapısı, öğrenme algoritması vb.

Gizli birim sayısını belirlemek için birçok “parmak hesabı” yöntem vardır. Bunlar:

- $m \in [l, n]$ girdi çıktı sayıları arasında bir değer
- $m = 2(l + n)/3$ girdi sayısının üçte ikisi + çıktı sayısı
- $m < 2l$ girdi sayısının iki katından az
- $m = \sqrt{l * n}$ girdi sayısı * çıktı sayısı karekökü

Bu çalışmada gizli birim sayısı tüm modellerde 30 alınmıştır. Bu değer seçilirken yukarıdaki “parmak hesapları” dışında kalmayacak şekilde farklı sayılar denenmiş ve en iyi sonuç veren sayı olan 30 seçilmiştir.

TRANSKRİTİK ISI POMPALI KURUTMA SİSTEMİ MATLAB MODELLERİ

Bu bölüm matematiksel MATLAB modeli ve MATLAB YSA modeli olarak iki ana kısımdan oluşturulmuştur.

4.1 Matematiksel MATLAB Modeli

Erdem [11] tarafından yapılan çalışma ve doğrulama işlemi bu bölümde anlatılmıştır. YSA modeli için bu çalışmanın verileri kullanılmıştır.

CO₂ ile çalışan ısı pompalı çamaşır kurutma makinası modeli beş ana kısımdan oluşmaktadır.

- Gaz soğutucu
- Evaporatör
- Kompresör
- Tambur
- Fan

Sistem MATLAB R2011b yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Havanın ve CO₂'nin termofiziksel özellikler Refprop v7 programından alınmıştır.

Sistem birçok girdi ve birçok çıktıdan oluşmaktadır. Girdiler:

- Hava debisi
- Evaporasyon sıcaklığı
- Gaz soğutucu çıkış basıncı

- Gaz soğutucu geometrik özellikleri
- Evaporatör geometrik özellikleri
- Dış ortam şartları;
 - Sıcaklık
 - Bağıl nem
 - Basınç
- Kompresör bilgileri;
 - Silindir hacmi
 - Devir
- Tamburun özellikleri
 - Tambura konulan çamaşırın toplam su miktarı
 - Tambur verimi
 - Kaçak oranı
 - Basınç kaybı hesabı için direnç sabiti
- Fan verimi
- Filtre basınç kaybı

Çıktılar ise:

- Soğutucu akışkan debisi
- Evaporatörde çekilen ısı
- Gaz soğutucuda atılan ısı
- Kompresör işi
- Fan işi
- Soğutucu akışkan tarafı basınç düşüşü
- Hava tarafı basınç düşüşü

- COP
- MER
- SMER
- Kurutma süresi
- Toplam elektrik tüketimi

olarak belirlenmiştir. Bu çıktılar ise;

$$COP = \frac{Q_{gaz\ soğutucu}}{W_{kompresör}} \quad (4.1)$$

$$Q_{gaz\ soğutucu} = U * A * \Delta T_{lm} \quad (4.2)$$

$$W_{kompresör} = m_r(h_0 - h_i) \quad (4.3)$$

$$MER = m_a(\omega_0 - \omega_i) \quad (4.4)$$

$$SMER = \frac{MER}{W_{kompresör} + W_{fan}} \quad (4.5)$$

$$t_{kurutma} = \frac{\text{Çamaşırdaki toplam su}}{MER} \quad (4.6)$$

$$E_{kurutma} = t_{krutuma} * W_{kompresör} \quad (4.7)$$

olarak hesaplanır.

MER: Buharlaşan su miktarı

SMER: Buharlaşan su miktarının, sisteme verilen enerjiye oranı

Modelin doğrulama işlemi KLÖCKER vd. [5] ve HONMA vd. [9] tarafından yapılan çalışmalarla yapılmıştır ve matematiksel modelin sapma oranları Çizelge 4.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Matematiksel MATLAB modelinin literatür çalışmalarıyla karşılaştırması

		KLÖCKER vd. Sapma (%)	HONMA vd. Sapma (%)
Soğutma Yüğü	kW	5.4	-
Isıtma Yüğü	kW	8.3	-
Kompresör Gücü	kW	23.2	-
COP	-	12.3	14.9
MER	kg _w /h	18.0	-
SMER	kg _w /kWh	2.9	-
Sistemin Elektrik Tüketimi	Wh	-	25.0
Kurutma Süresi	dak	-	4.2

Model oluşturulduktan sonra 176 farklı durumda giriş parametrelerinin sistemin performansına etkilerine bakılmıştır. Bu yapılan 176 durumda her bir giriş parametresi belli aralıklarla değiştirilmiştir.

MMatematiksel model girdi ve çıktıları y eksenini evaporatör ve gaz soğutucu geometri parametreleri dışındaki giriş parametreleri ve sonuçları ve x eksenini matematiksel model girdi numarası olacak şekilde EK-A' da gösterilmiştir (Şekil A.1-Şekil A.22).

Gösterilen giriş parametreleri:

1. Evaporasyon sıcaklığı
2. Gaz soğutucu basıncı
3. Hava sıcaklığı
4. Havanın bağıl nemi

5. KO
6. DE
7. Hava kütleli debisi
8. Hava basıncı
9. Kompresör silindir hacmi
10. Kompresör devri

Sonuçlar:

1. Soğutucu akışkan kütleli debisi
2. Evaporatörde çekilen ısı
3. Gaz soğutucuda atılan ısı
4. Kompresör işi
5. Fan işi
6. dPr – Soğutucu akışkan tarafı basınç kaybı
7. dPa – Hava tarafı basınç kaybı
8. COP
9. MER
10. SMER
11. Kurutma süresi
12. Elektrik tüketimi

4.2 MATLAB YSA Modeli

Sistemin MATLAB ortamında modeli kurulduktan sonra, giriş ve çıkış parametreleri arasındaki bağlantıları daha iyi anlamak, hangi giriş parametresinin hangi sonuç parametresi üzerinde daha çok etkisi olduğunu anlamak ve harita dışındaki verileri daha hızlı bir şekilde deneyebilmek için yine MATLAB r2013b ortamında, CO₂ ile çalışan ısı pompalı kurutma makinası YSA modeli kurulmuştur.

Bu modele sistemi öğrenirken girdi olarak matematiksel MATLAB modeli girdileri ve çıktı olarak matematiksel MATLAB modeli sonuçları kullanılmıştır. Çıkan sonuçlar ve karşılaştırması sonraki bölümlerde gösterilecektir.

4.2.1 MATLAB YSA Araç Kutusu

MATLAB r2013b ortamında YSA modeli kurmak için, “Neural Net Fitting” aracı kullanılmıştır. Bu araç ileri beslemeli YSA modelini kullanmaktadır. Modeli oluşturmak için öncelikle girdiler ve çıktılar düzenlenmeli ve arayüz üzerinden girilmelidir. Sistemi öğretirken veriler arasından belirli oranlarda “öğrenme verisi”, “doğrulama verisi” ve “test verisi” belirlenmelidir. Bu işlem YSA’na modeli öğretirken kendi kendine doğrulamasını ve testini yapmasına yarar. Kurulan modelde test örnekleme miktarı çok az alınmıştır. Verilerin %80’ i öğrenme, %15’ i doğrulama ve %5’ i test olarak belirlenmiştir. Modeli test etmek için başka bir yöntem izlenmiştir.

Yukarıdaki gerekli bu verileri girildikten sonra ileri beslemeli YSA şemasında görülen gizli birim sayısı belirlenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda bu değerin 30 alınmasına karar verilmiştir. Gizli birim sayısı belirlendikten sonra model sistemi öğrenmeye başlar. Yaptığı iterasyon sonucunda ortalama karekök hatası amaç fonksiyonunu kullanarak en düşük hatalı doğrulama noktasını seçer. Model sistemi öğrendikten sonra kodlar, performansı manuel olarak artırabilmek için arayüz üzerinden *.m dosyası olarak alınır.

4.2.2 CO₂ ile Transkritik Çevrim ile Çalışan Isı Pompalı Çamaşır Kurutma Makinası YSA Modeli

Bir önceki bölümde anlatıldığı gibi YSA araç kutusu kullanılarak model oluşturulur ve öğretilir. Daha sonra tekrar araç kutusu arayüzü üzerinden modelin kodlar *.m dosyası olarak alınır.

Yapılan denemeler sonucunda bütün sonuçları aynı YSA üzerinde öğretmenin başarılı sonuç vermediği görülmüştür ve altı ayrı model kurulmuştur. Her model bir ya da birden fazla sonucu kapsamaktadır. Bunlar:

- COP, MER, SMER¹
- dPr, dPa
- m_r
- Q_{eva} , Q_{gaz} soğutucu
- Kurutma süresi
- Elektrik tüketimi
- $W_{kompresör}$, W_{fan}

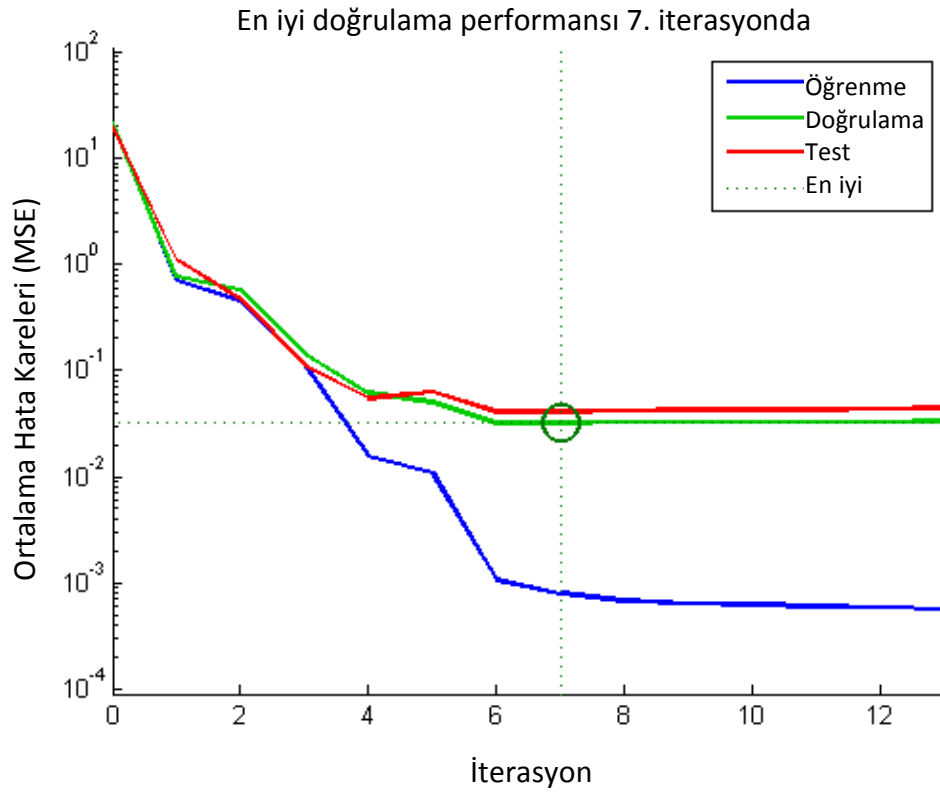
olarak yedi ayrı model şeklinde modellenmiştir. Tüm modeller oluşturulduktan sonra tek bir *.m dosyası içinde toplanıp aynı anda koşabilmeleri sağlanmıştır.

Oluşturulan her model için en yüksek performansı veren “setdemorandstream” kodu belirlenmiştir. Bu kod model her koştuğunda girdiler ve çıktılar arasındaki ağırlık katsayılarını aynı kalmasını sağlamaktadır. Kod belirlenirken herhangi bir optimizasyon çalışması yapılmamıştır. Birçok farklı sayı denenerek en başarılı performans sağlayan seçilmiştir. YSA model kodları ayrıntılı bir şekilde EK-B ve EK-C’ de gösterilmiştir.

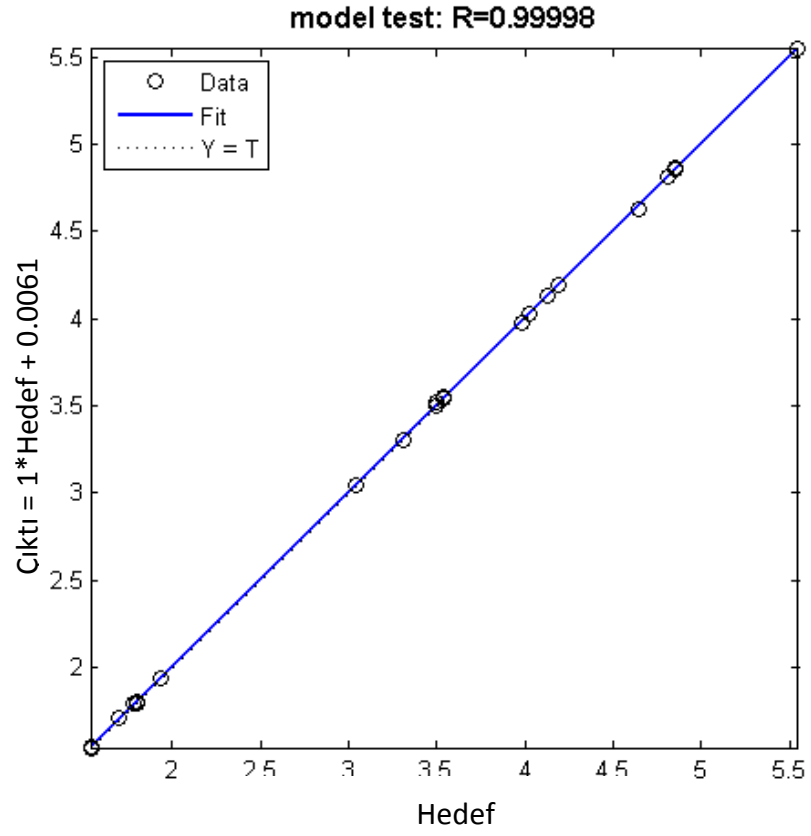
Bütün modeller oluşturulan ortak excel dosyasından verileri alıp sonuçları da aynı excel dosyasında belirlenen yerlere yazmaktadır. Modelin ilk kısmında giriş ve çıkış verilerini excel dosyasının belirlenen hücrelerinden modele girdi ve çıktı olarak almaktadır. Sonra ağırlık katsayılarını belirleyen işlemde ve yüzdesel olarak öğrenme doğrulama ve test

¹ Ayrıntılı kodlar COP, MER, SMER ortak modeli üzerinden gösterilecektir.

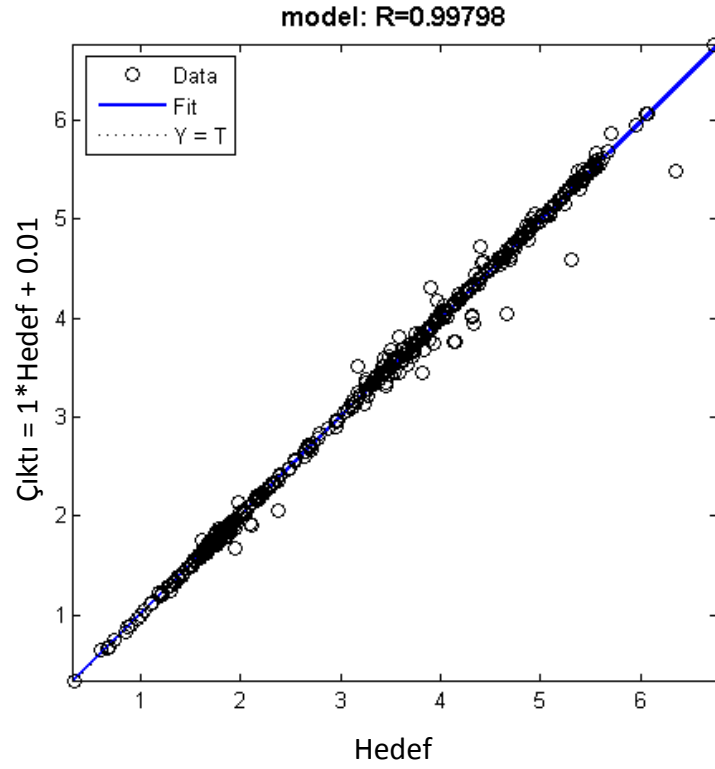
olarak ayrılan kodlardan geçerek öğrenmeyi başlatır. Öğrenen model öğrenme, doğrulama ve test MSE (Şekil 4.1) ve gerçek çıktılarıyla model sonuçlarını karşılaştıran regresyon eğrisini (Şekil 4.3) grafik olarak vermektedir. Ayrıca kod, sonradan belirli bir aralığı test edip, birkaç noktanın sonucunu regresyon olarak vermektedir (Şekil 4.2). Oluşturulan tüm modeller tek bir modelde birleştirilmiştir. Bu ortak model diğer modelleri koştururken sonuçları excel dosyasına otomatik olarak yazmaktadır.



Şekil 4.1 MATLAB YSA modeli performans grafiği örneği



Şekil 4.2 MATLAB YSA modeli regresyon eğrisi örneği-1



Şekil 4.3 MATLAB YSA modeli regresyon eğrisi örneği-2

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

CO₂ soğutucu akışkanı ile çalışan ısı pompalı çamaşır kurutma makinaları için oluşturulan YSA modeli ile değişik çalışma şartlarındaki enerji tüketimi ve kurutma süresi hızlı bir şekilde hesaplanabilmektedir.

Oluşturulan YSA modeli sonuçları, matematiksel model ile karşılaştırılıp minimum, maksimum ve ortalama hataları bulunmuştur (Çizelge 5.1). Bu hesaplar sonucunda modelin başarılı şekilde sonuç verdiği ancak bir takım optimizasyon işlemlerine ihtiyacı olduğu görülmüştür. Optimizasyon sonucunda çıktıların maksimum ortalama hatası %10.795' ten, %5.401' e düşürülmüştür.

Optimizasyon işlemleri Bölüm 4.2.1'de verilen standart kodun üzerine Çizelge 3.1 'de gösterilen transfer fonksiyonları değişikliklerini de dahil edecek şekilde yazılan kod ile yapılmıştır. Standart kod girdiler için "sigmoid", çıktılar için "lineer" fonksiyonu kullanmaktadır. Oluşturulan yeni optimizasyon kodu, girdi ve çıktılar için transfer fonksiyonu seçimine izin vermektedir.

Optimizasyon işlemi; 3 transfer fonksiyonu denklemi tüm modellerin girdi ve çıktıları için ayrı ayrı denenerak yapıldı. Çıkan sonuçları irdelendi ve en düşük hataları veren transfer fonksiyonu denklemi tüm girdi ve çıktı fonksiyonları için seçilmiştir. Elde edilen tüm modeller tekrardan ortak bir modelde birleştirilerek excel ortamına aktarılmıştır.

Çizelge 5.1 MATLAB YSA modeli sonuçları hata yüzdeleri

	<i>Minimum Hata</i> [%]	<i>Maksimum Hata</i> [%]	<i>Ortalama Hata</i> [%]
<i>COP</i>	0.0042	13.624	0.726
<i>MER</i>	0.0018	14.542	1.296
<i>SMER</i>	0.0068	13.648	1.390
<i>Kurutma Süresi</i>	0.0003	65.237	2.740
<i>Elektrik Tüketimi</i>	0.0009	67.551	3.258
<i>dPr</i>	0.00669	65.092	10.795
<i>dPa</i>	0.0373	22.593	4.062
<i>W_{kompresör}</i>	0.0137	22.450	1.321
<i>W_{fan}</i>	0.0918	27.538	5.190
<i>Q_{eva}</i>	0.0051	29.330	1.360
<i>Q_{gaz soğutucu}</i>	0.0002	12.633	0.667
<i>m_r</i>	0.0063	18.106	0.824

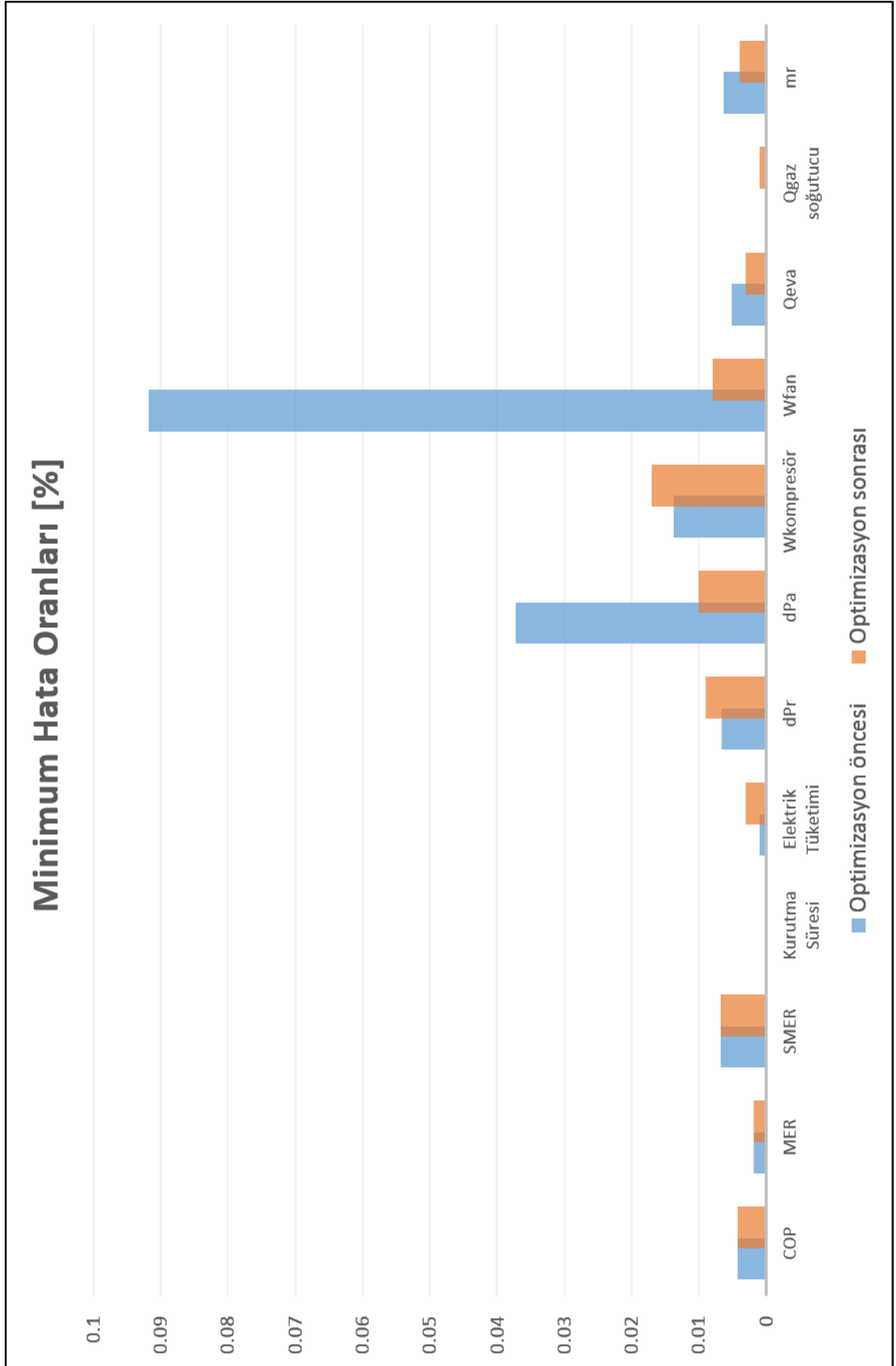
Çizelge 5.2 Optimizasyon sonucu elde edilen transfer fonksiyonları

YSA Modelleri	Transfer Fonksiyonu	
	Girdi	Çıktı
mr	tan sigmoid	tan sigmoid
Qeva, Qgc	tan sigmoid	tan sigmoid
Wkomp, Wfan	tan sigmoid	tan sigmoid
dPr, dPa	sigmoid	lineer
COP, MER, SMER	tan sigmoid	lineer
Kurutma Süresi	tan sigmoid	tan sigmoid
Elektrik Tüketimi	sigmoid	lineer

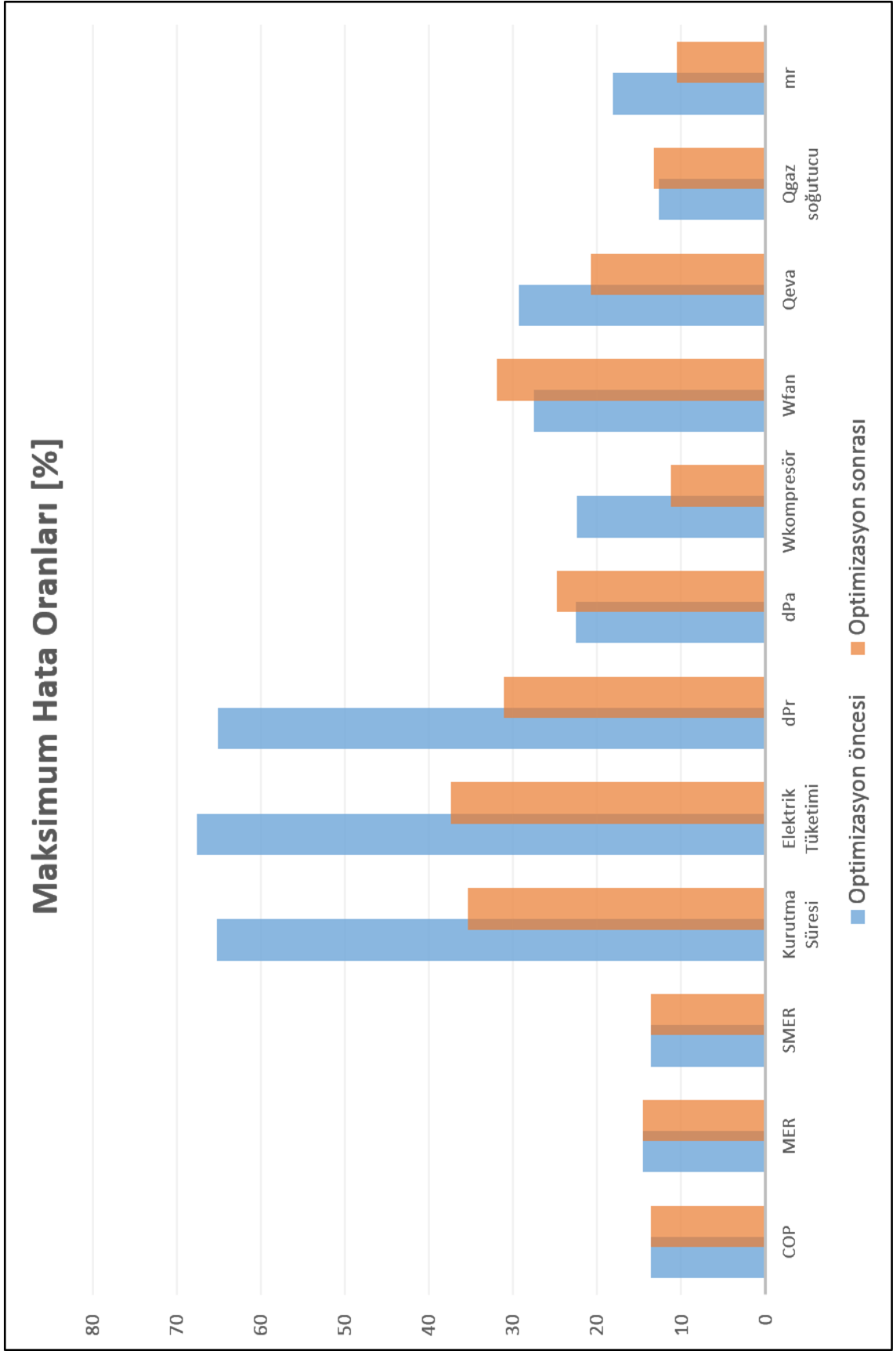
Modellerin başarılı bir şekilde optimizasyonu sağlanmıştır. Bütün modellerin minimum, maksimum ve ortalama hatalarında azalma görülmüştür (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3 Optimizasyon sonucu elde edilen hata yüzdeleri

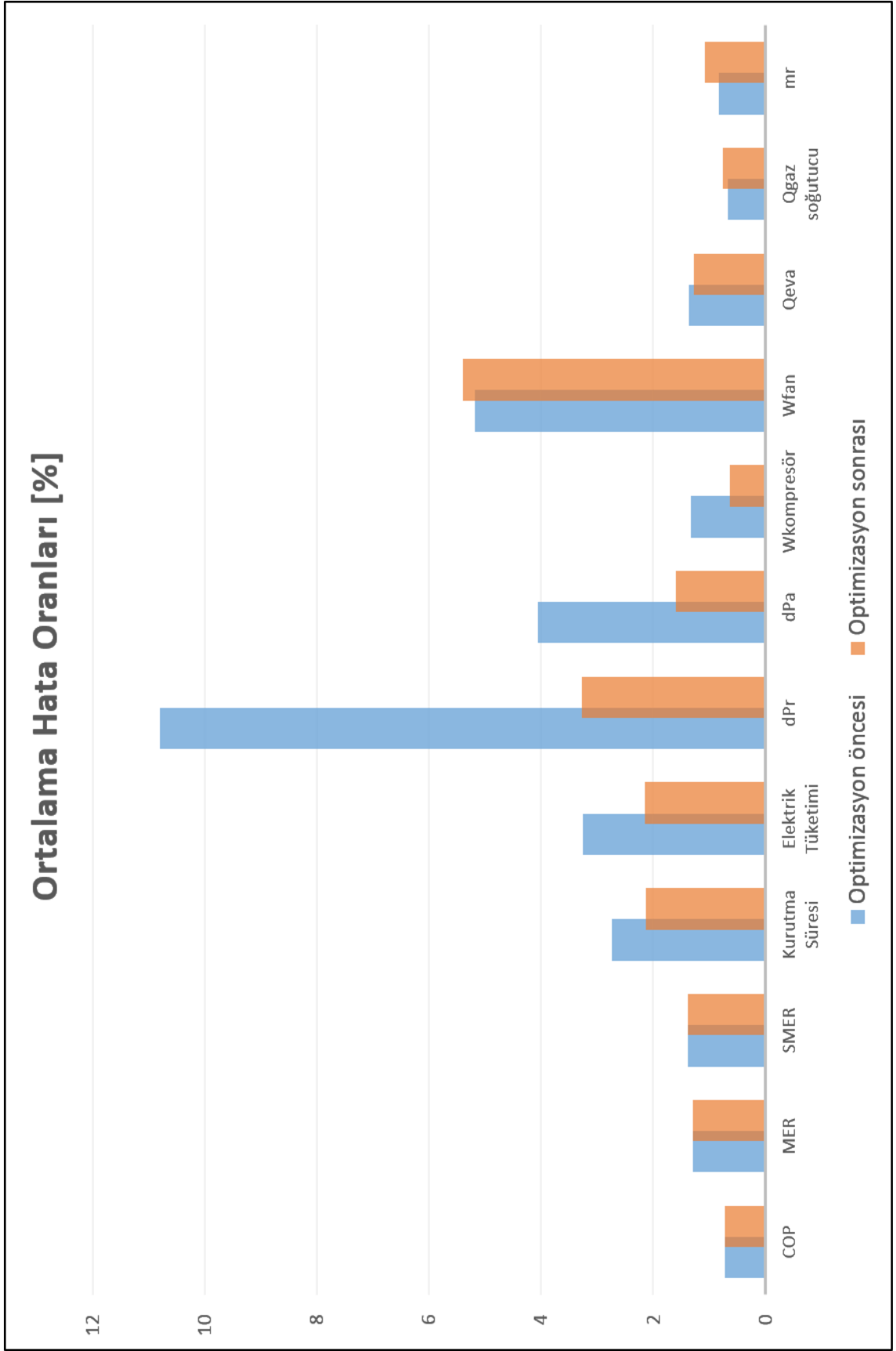
	<i>Minimum Hata</i> [%]	<i>Maksimum Hata</i> [%]	<i>Ortalama Hata</i> [%]
<i>COP</i>	0.0042	13.624	0.726
<i>MER</i>	0.0018	14.542	1.296
<i>SMER</i>	0.0068	13.648	1.390
<i>Kurutma Süresi</i>	0.0002	35.329	2.136
<i>Elektrik Tüketimi</i>	0.003	37.394	2.154
<i>dPr</i>	0.009	31.108	3.279
<i>dPa</i>	0.010	24.829	1.598
<i>W_{kompresör}</i>	0.017	11.213	0.629
<i>W_{fan}</i>	0.008	31.9	5.401
<i>Q_{eva}</i>	0.003	20.741	1.282
<i>Q_{gaz soğutucu}</i>	0.001	13.288	0.757
<i>m_r</i>	0.004	10.473	1.080



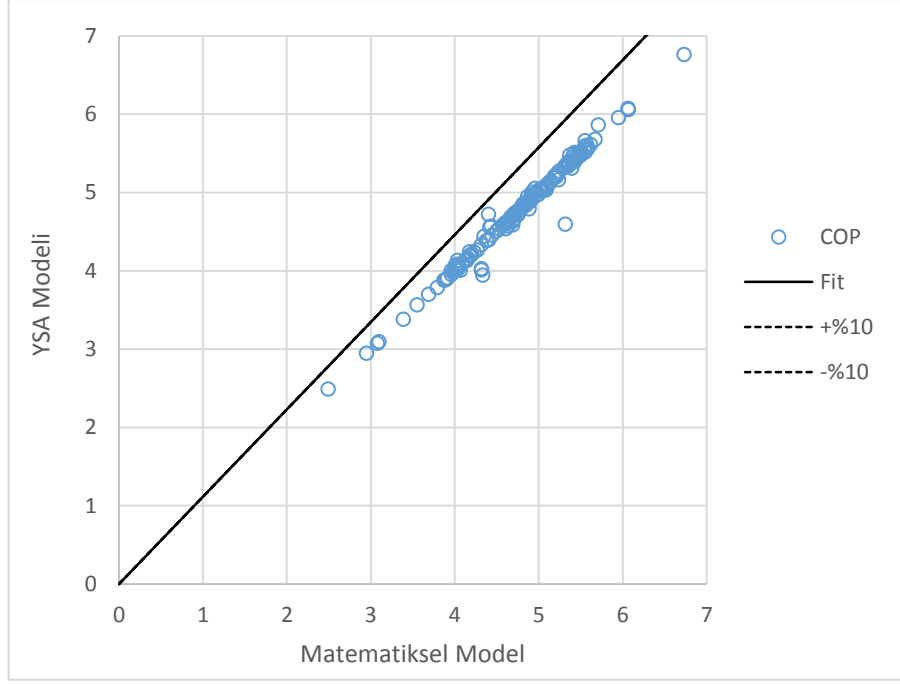
Şekil 5.1 Optimizasyon sonucu minimum hata oranı farkları



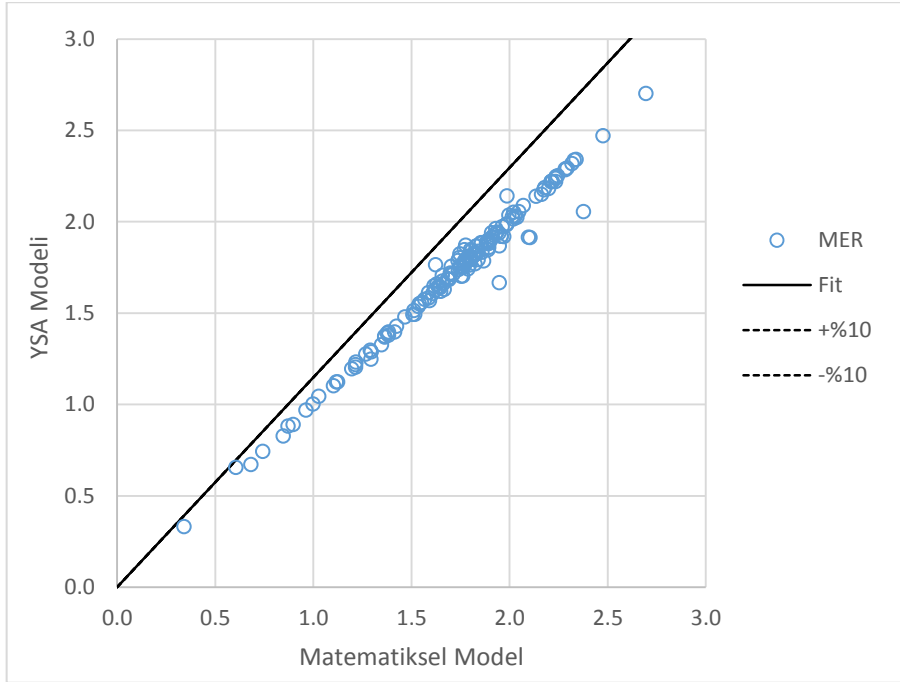
Şekil 5.2 Optimizasyon sonucu maksimum hata oranı farkları



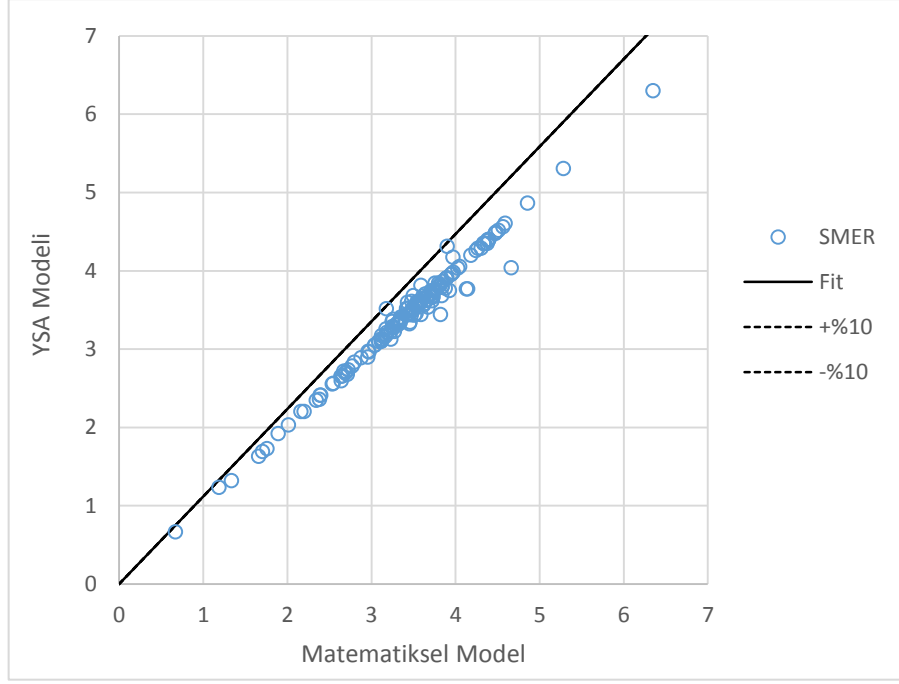
Şekil 5.3 Optimizasyon sonucu ortalama hata oranı farkları



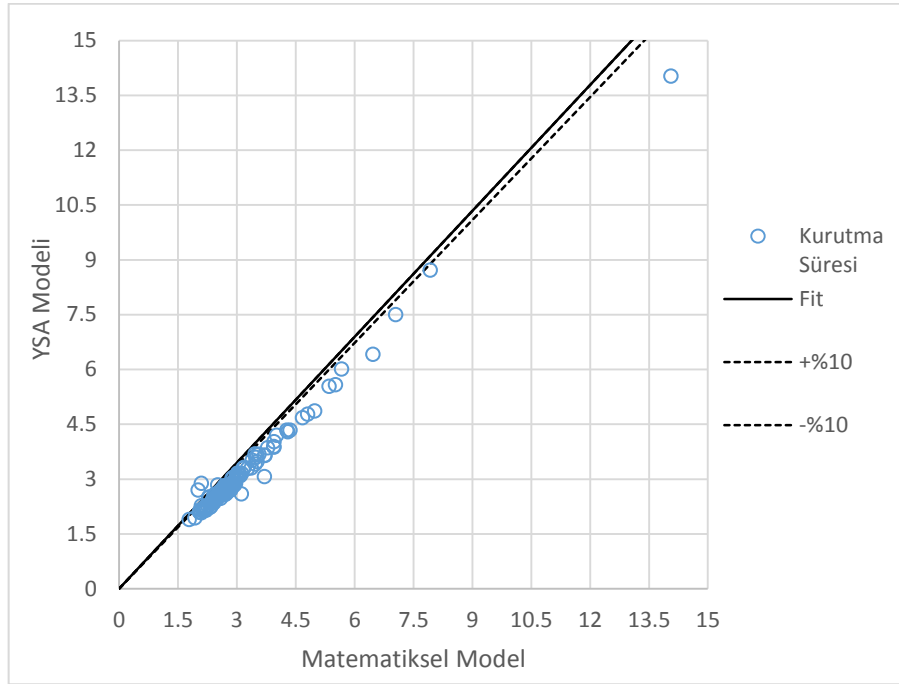
Şekil 5.4 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - COP



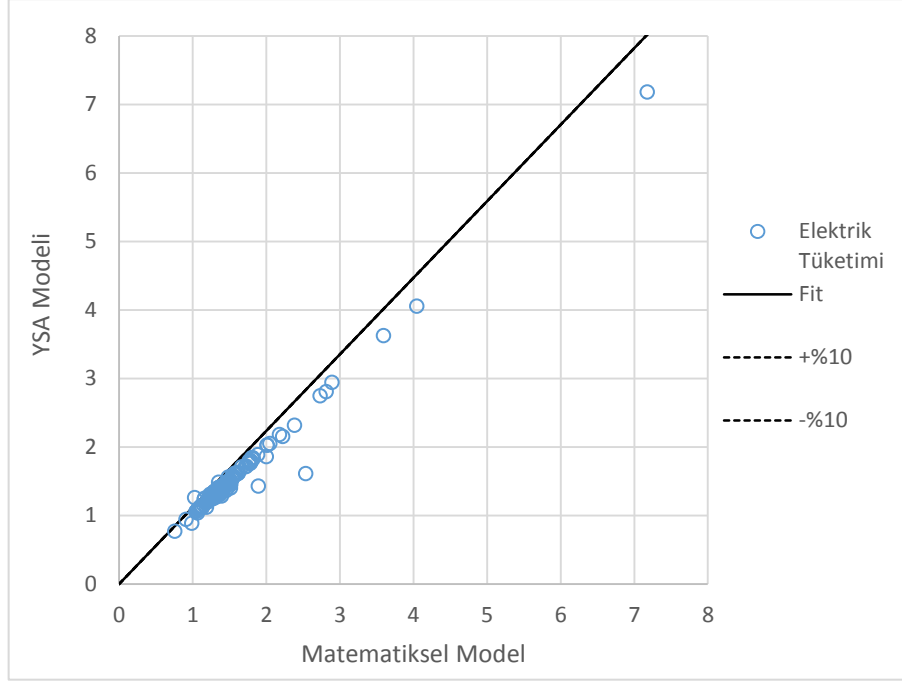
Şekil 5.5 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - MER



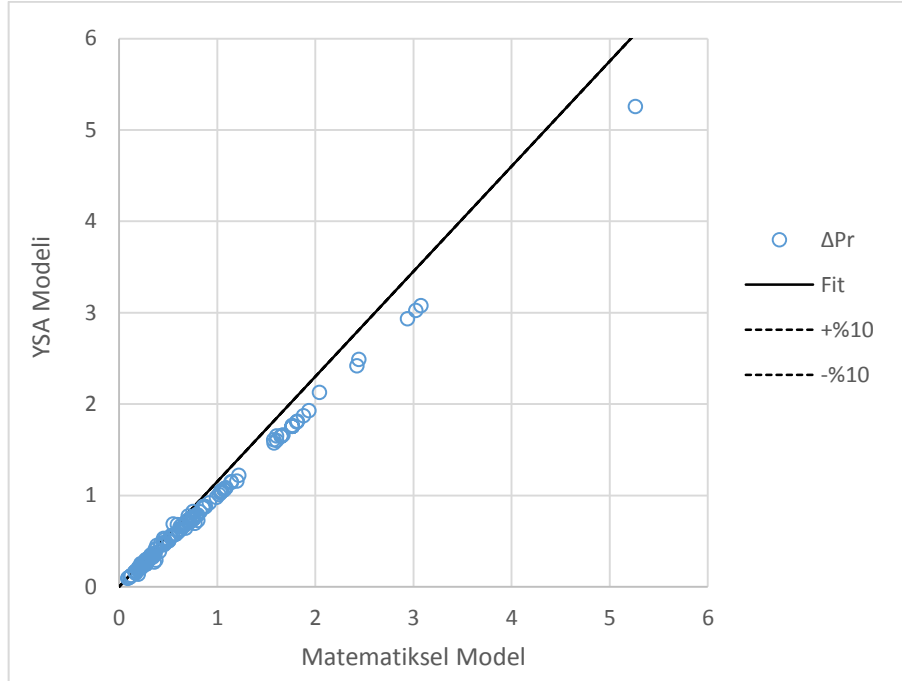
Şekil 5.6 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - SMER



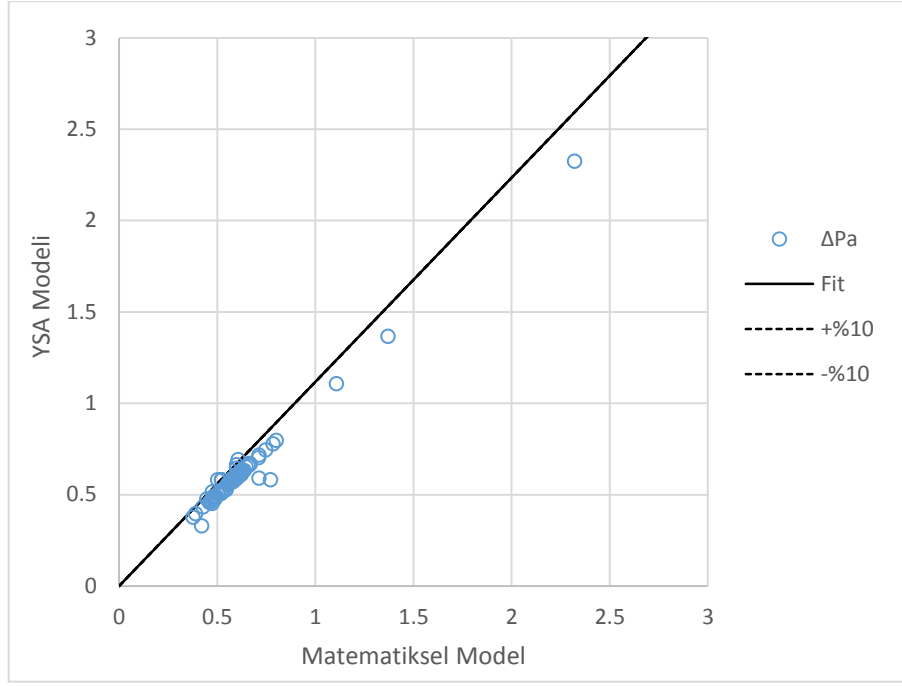
Şekil 5.7 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Kurutma süresi



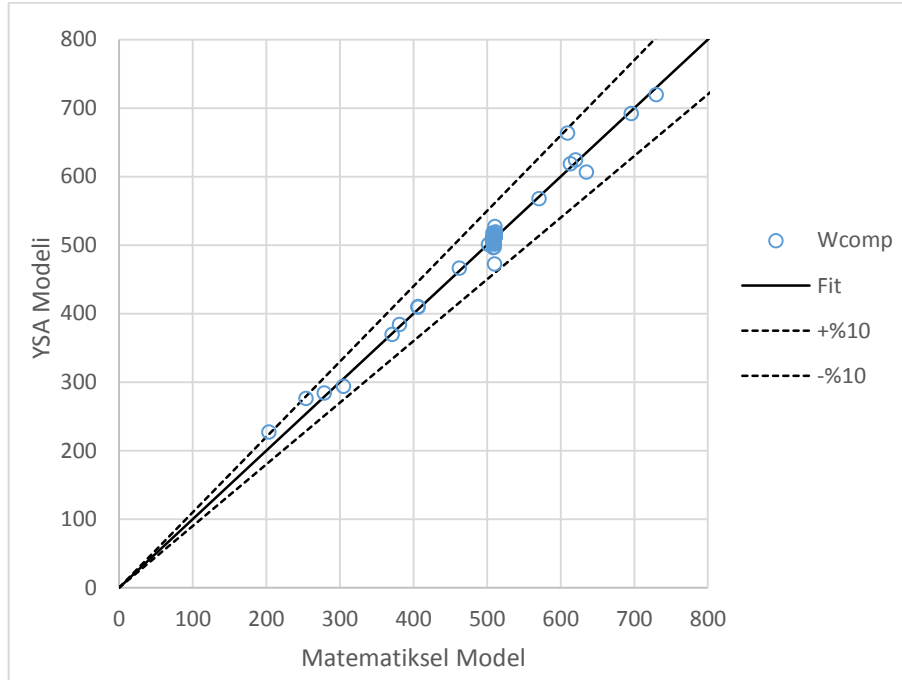
Şekil 5.8 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Elektrik tüketimi



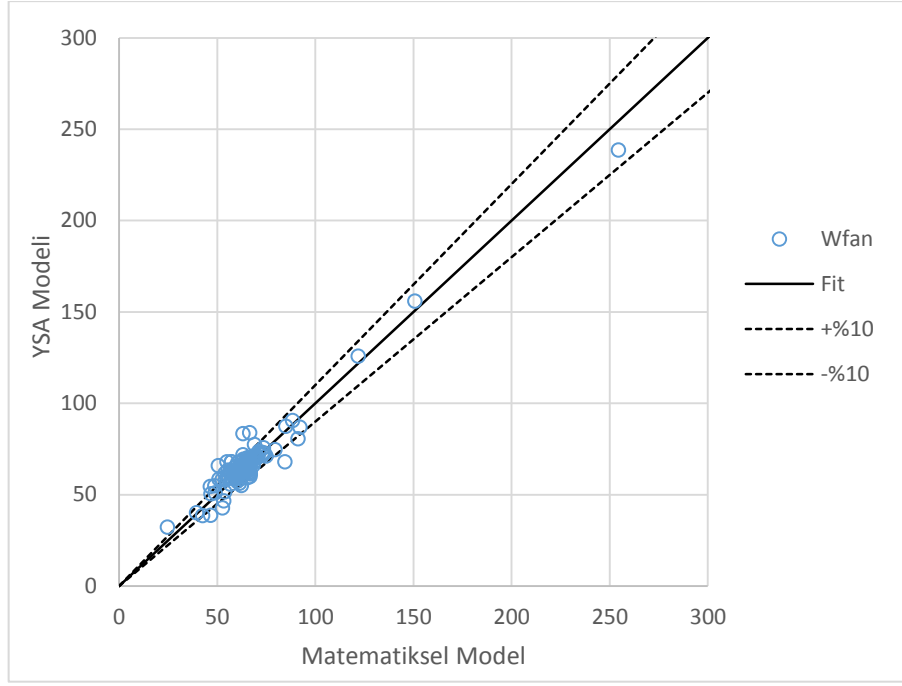
Şekil 5.9 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - dPr



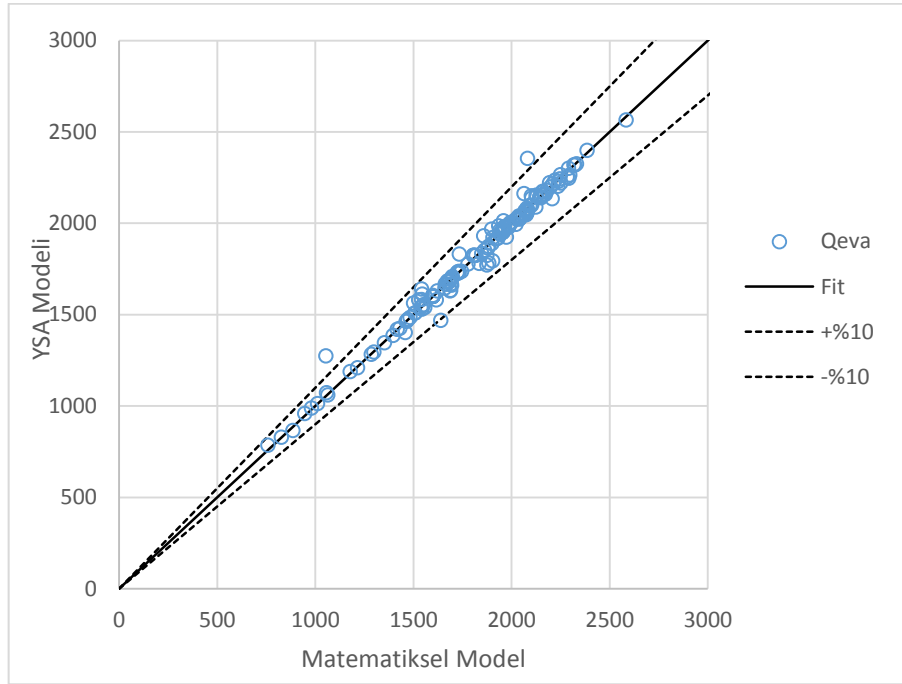
Şekil 5.10 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - dPa



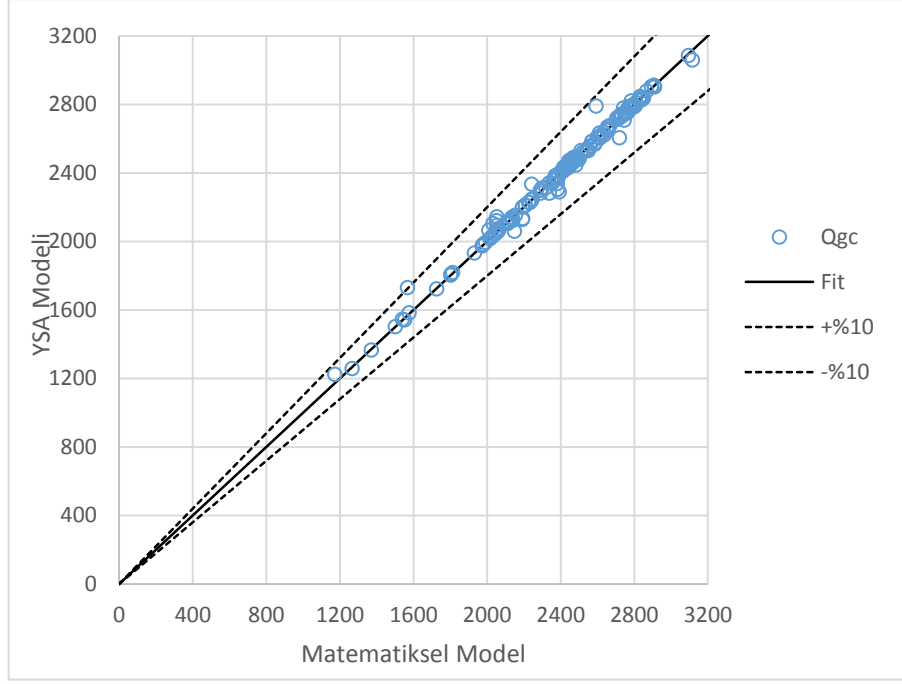
Şekil 5.11 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Kompresör işi



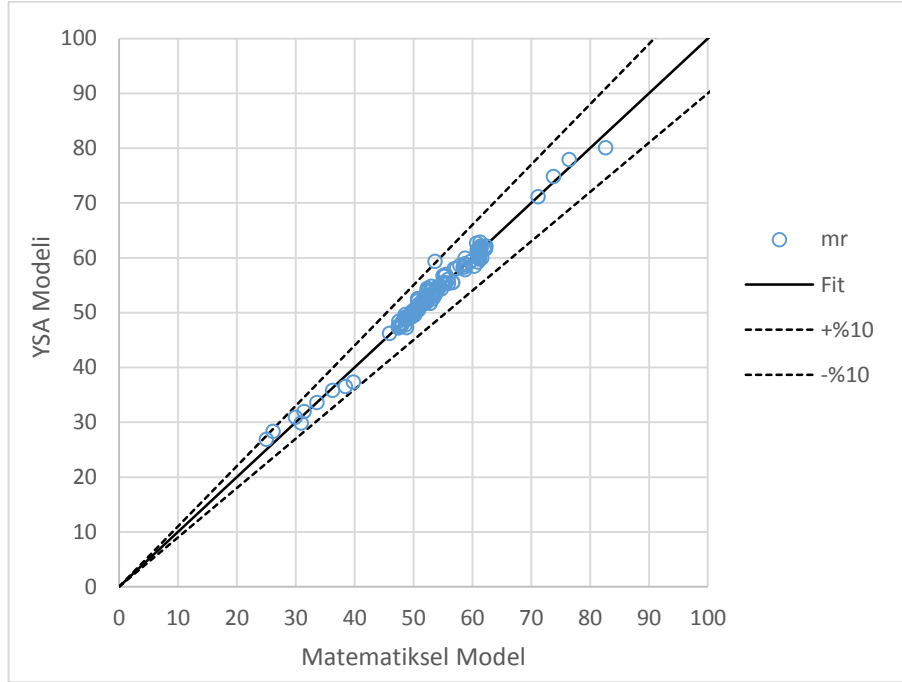
Şekil 5.12 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Fan işi



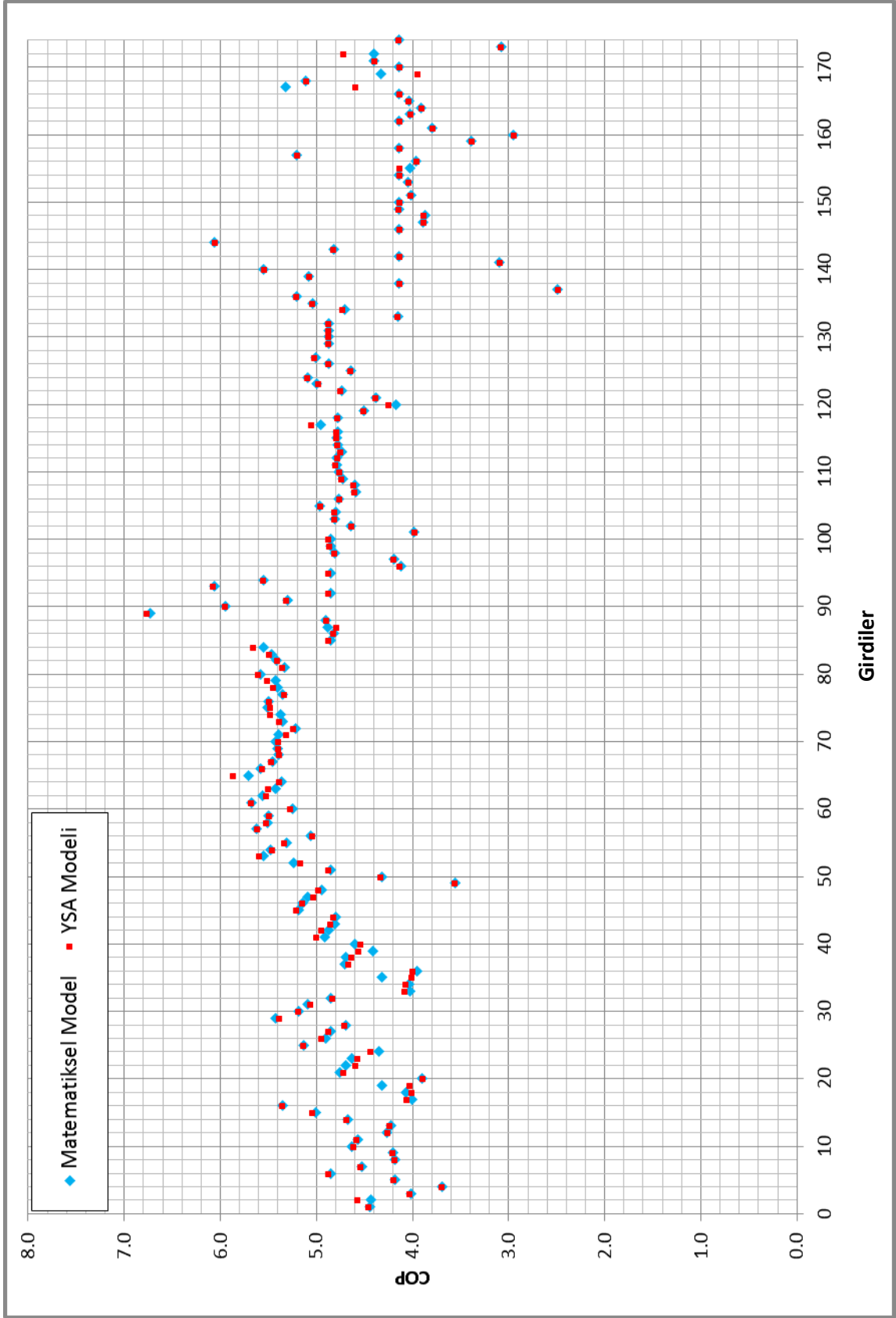
Şekil 5.13 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Evaporasyon ısısı



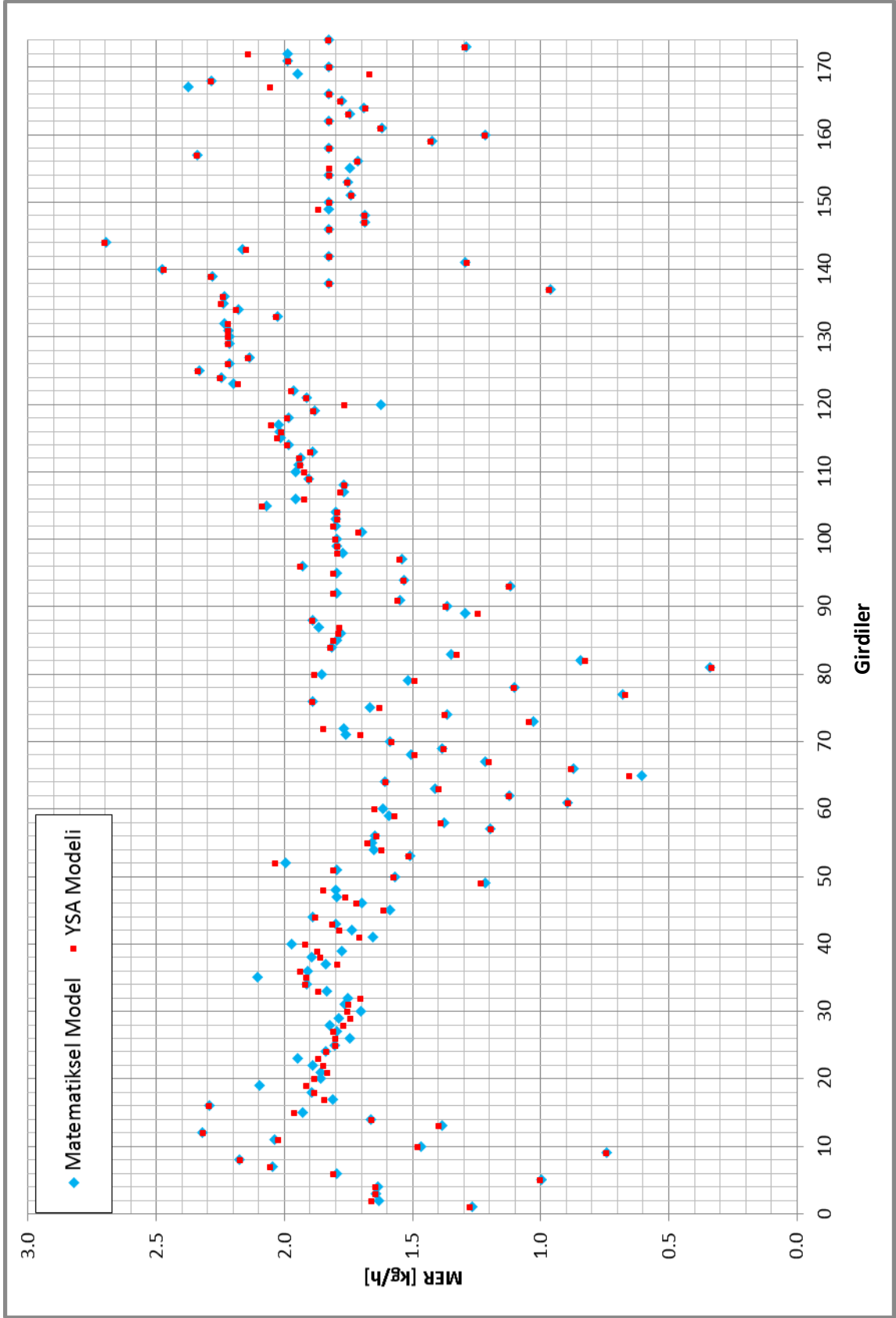
Şekil 5.14 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Gaz soğutucu ısısı



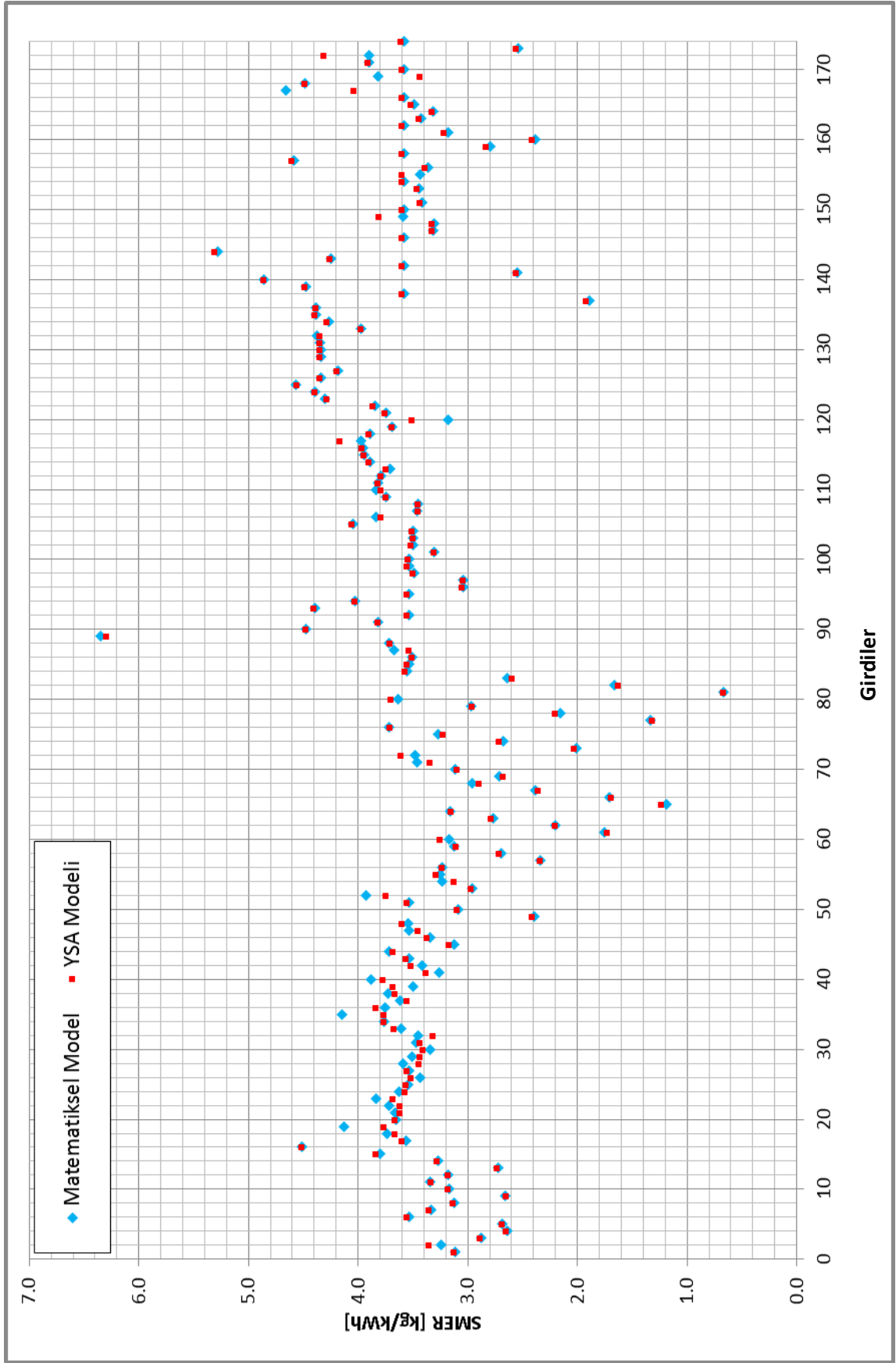
Şekil 5.15 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Soğutucu akışkan debisi



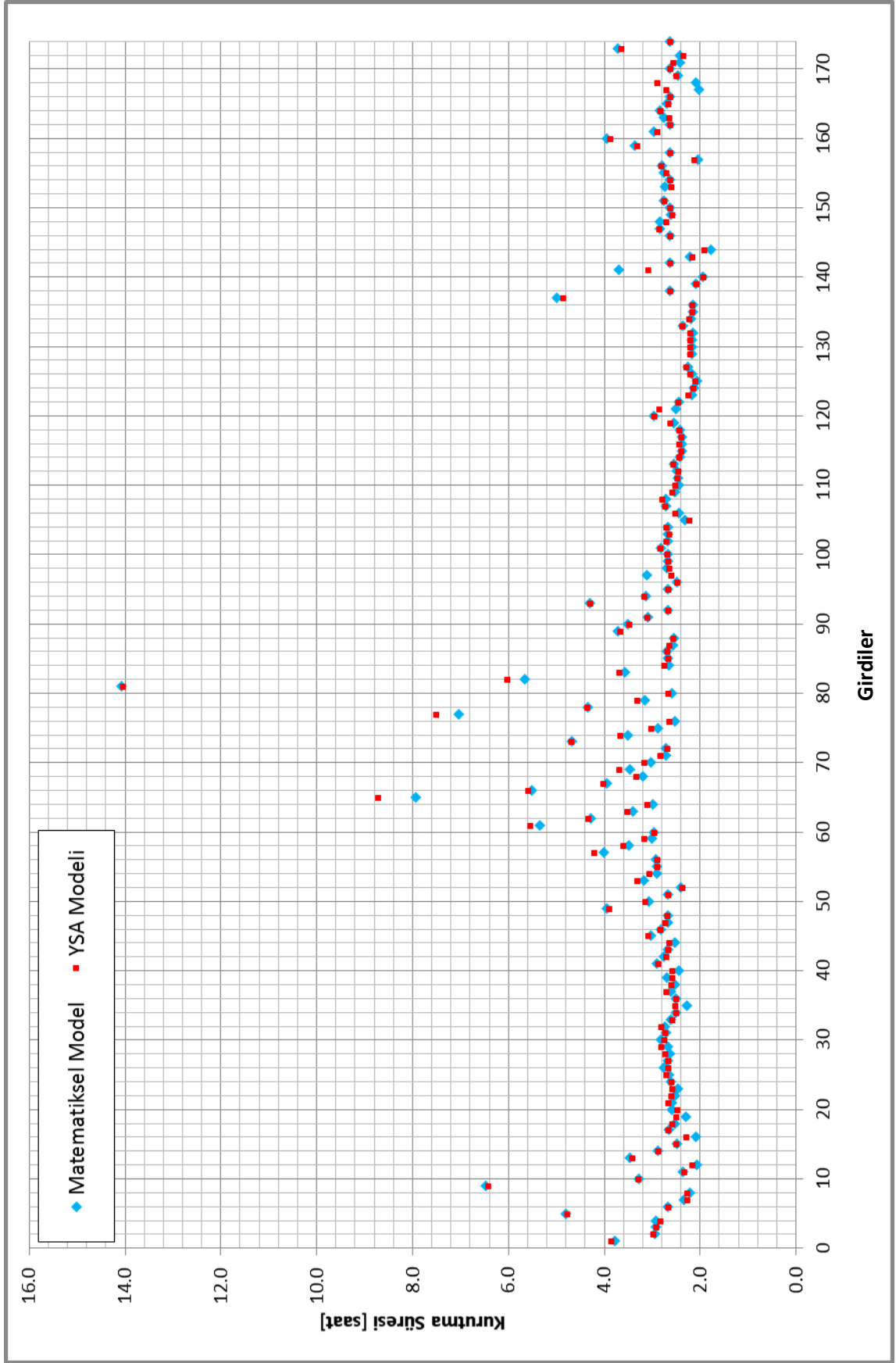
Şekil 5.16 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları - COP



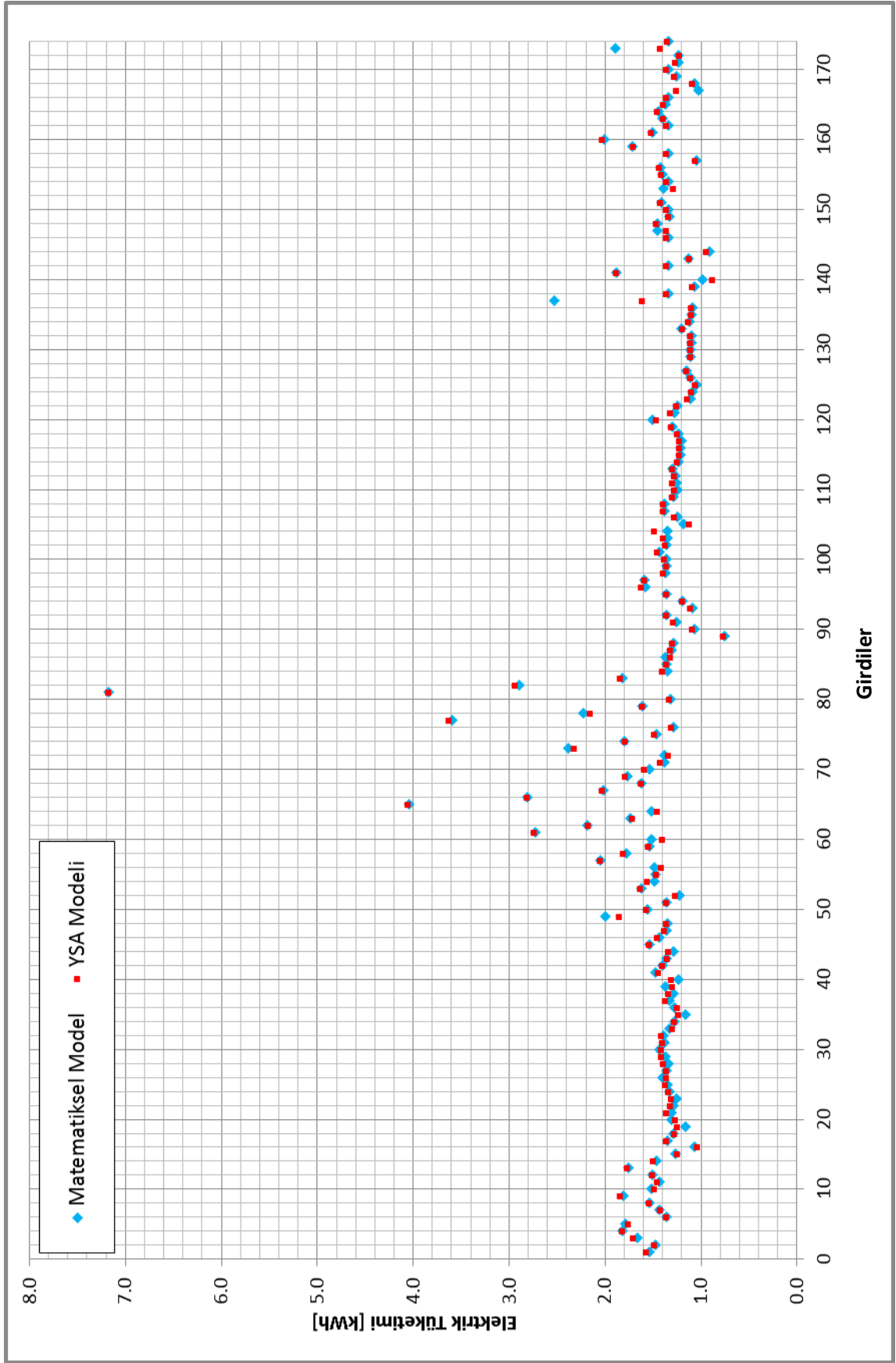
Şekil 5.17 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları - MER



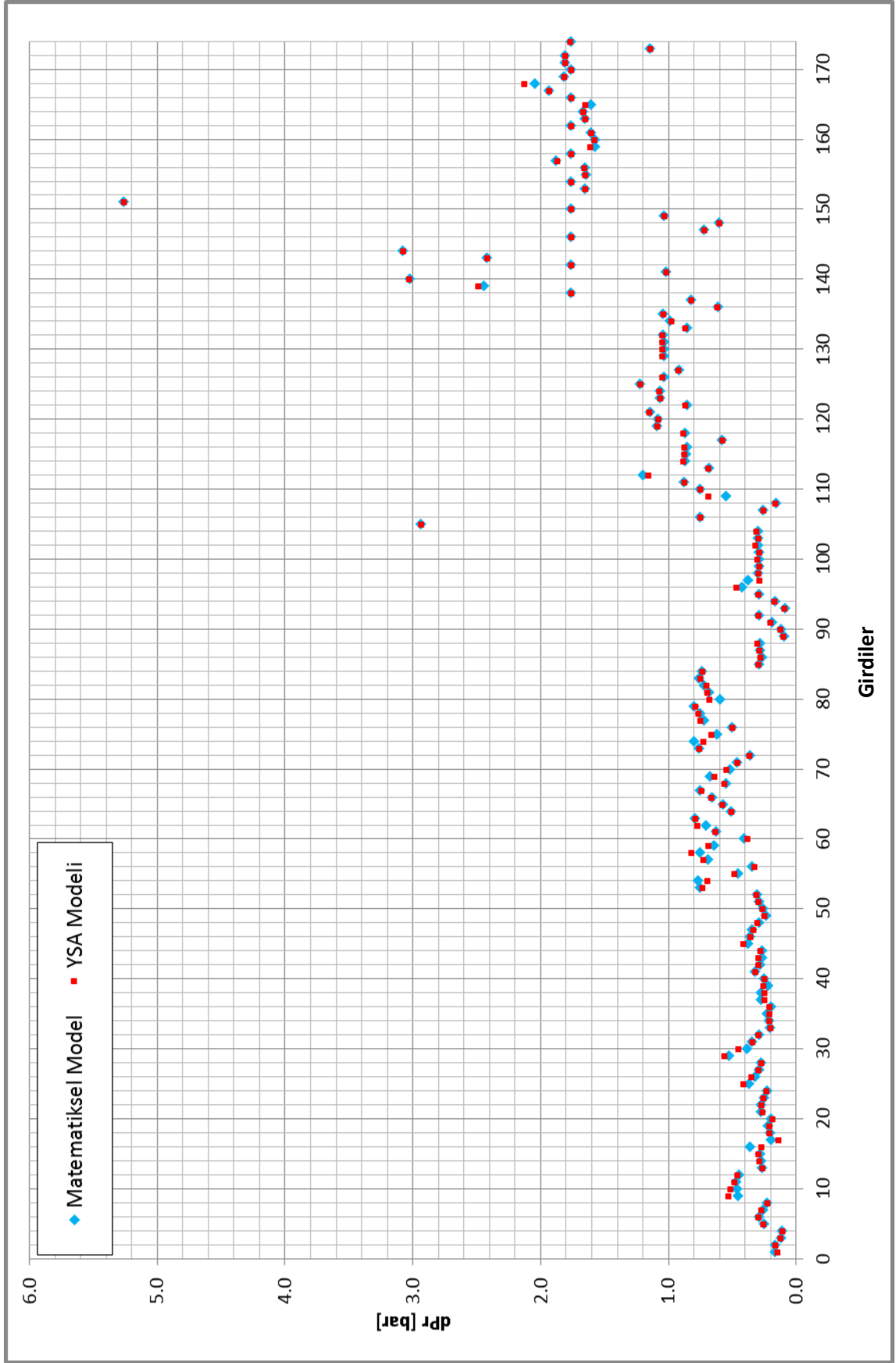
Şekil 5.18 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları - SMER



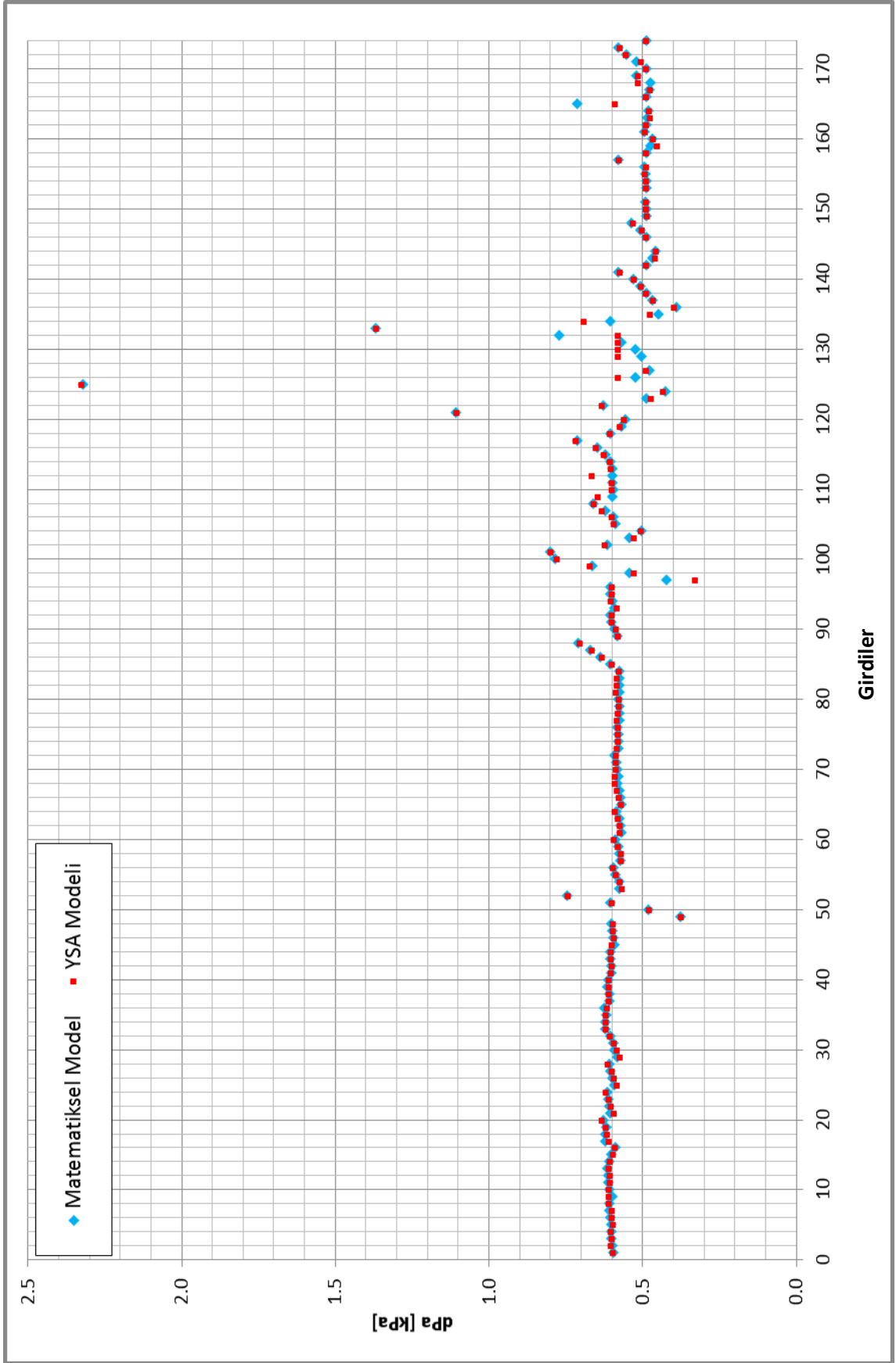
Şekil 5.19 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Kurutma süresi



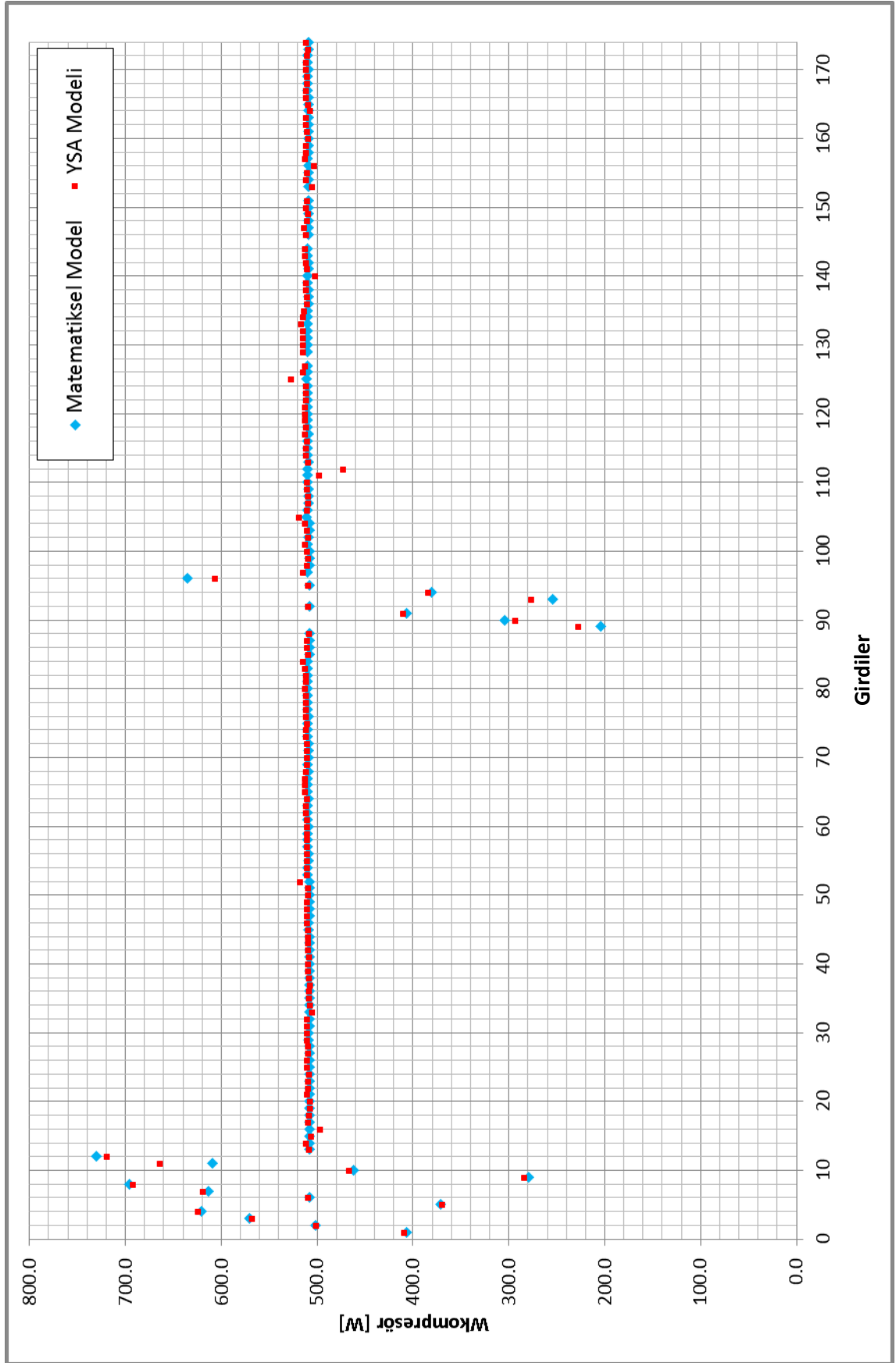
Şekil 5.20 Serpme grafiğinde matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Elektrik tüketimi



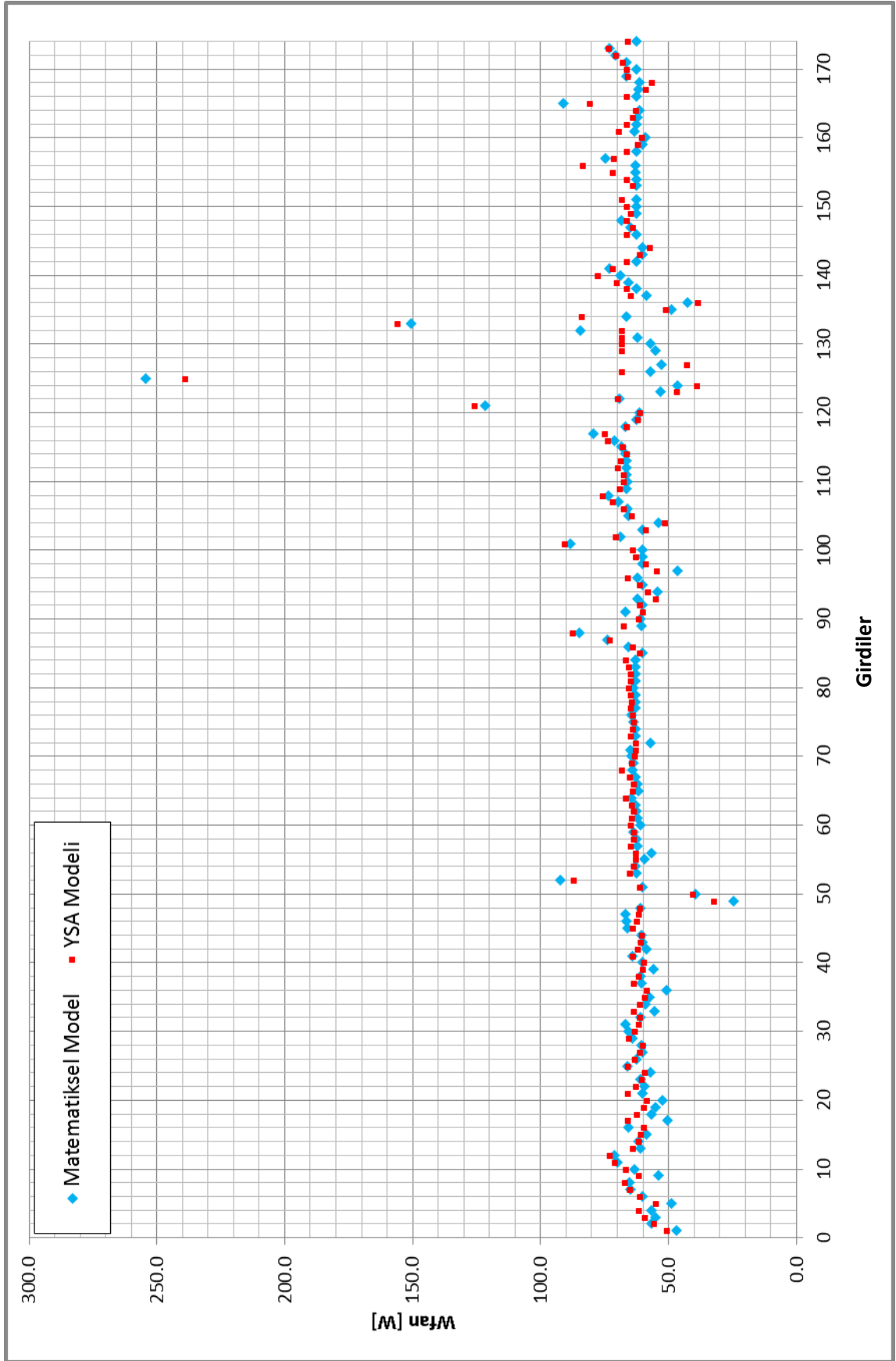
Şekil 5.21 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – dPr



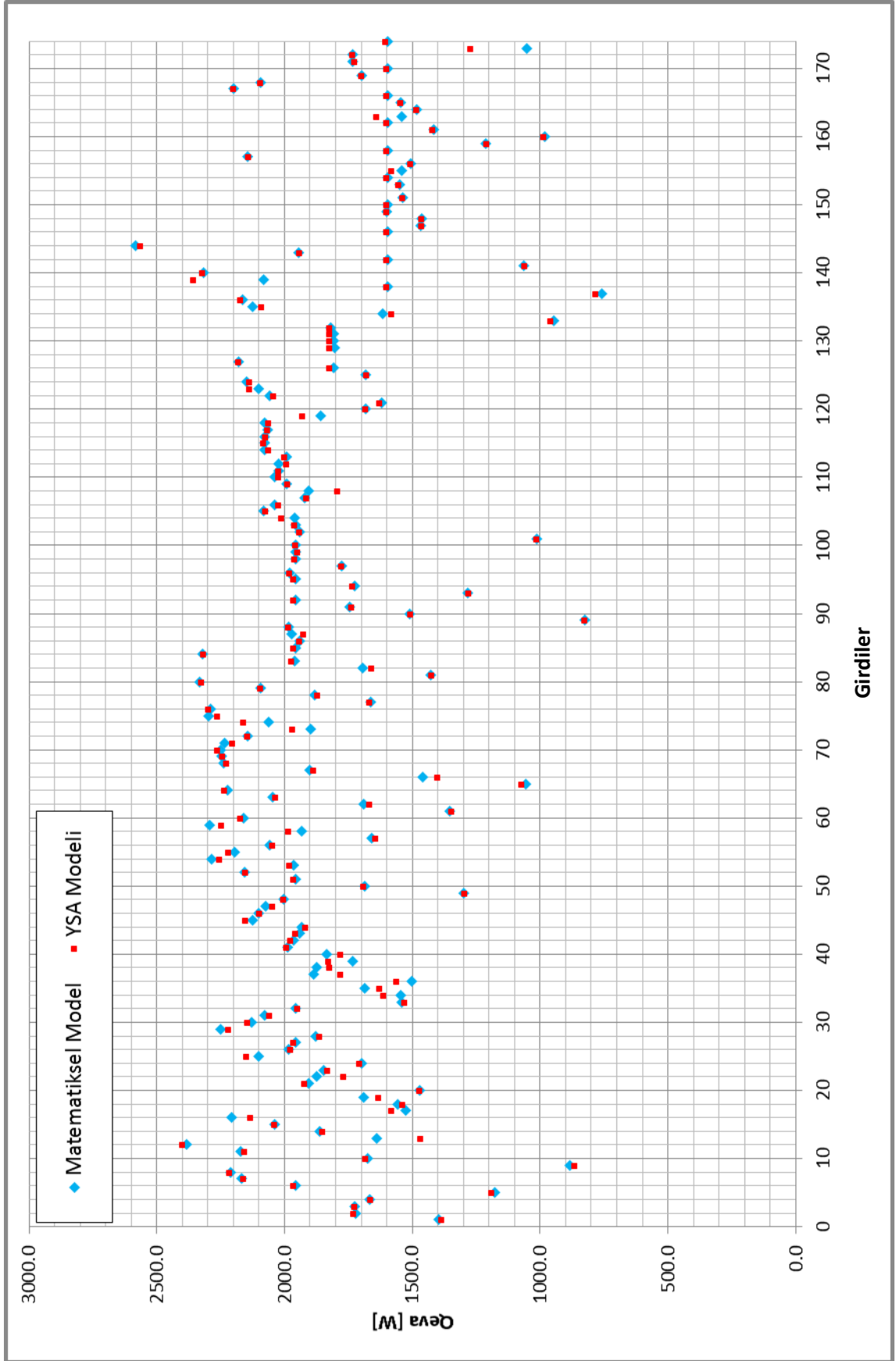
Şekil 5.22 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları - dPa



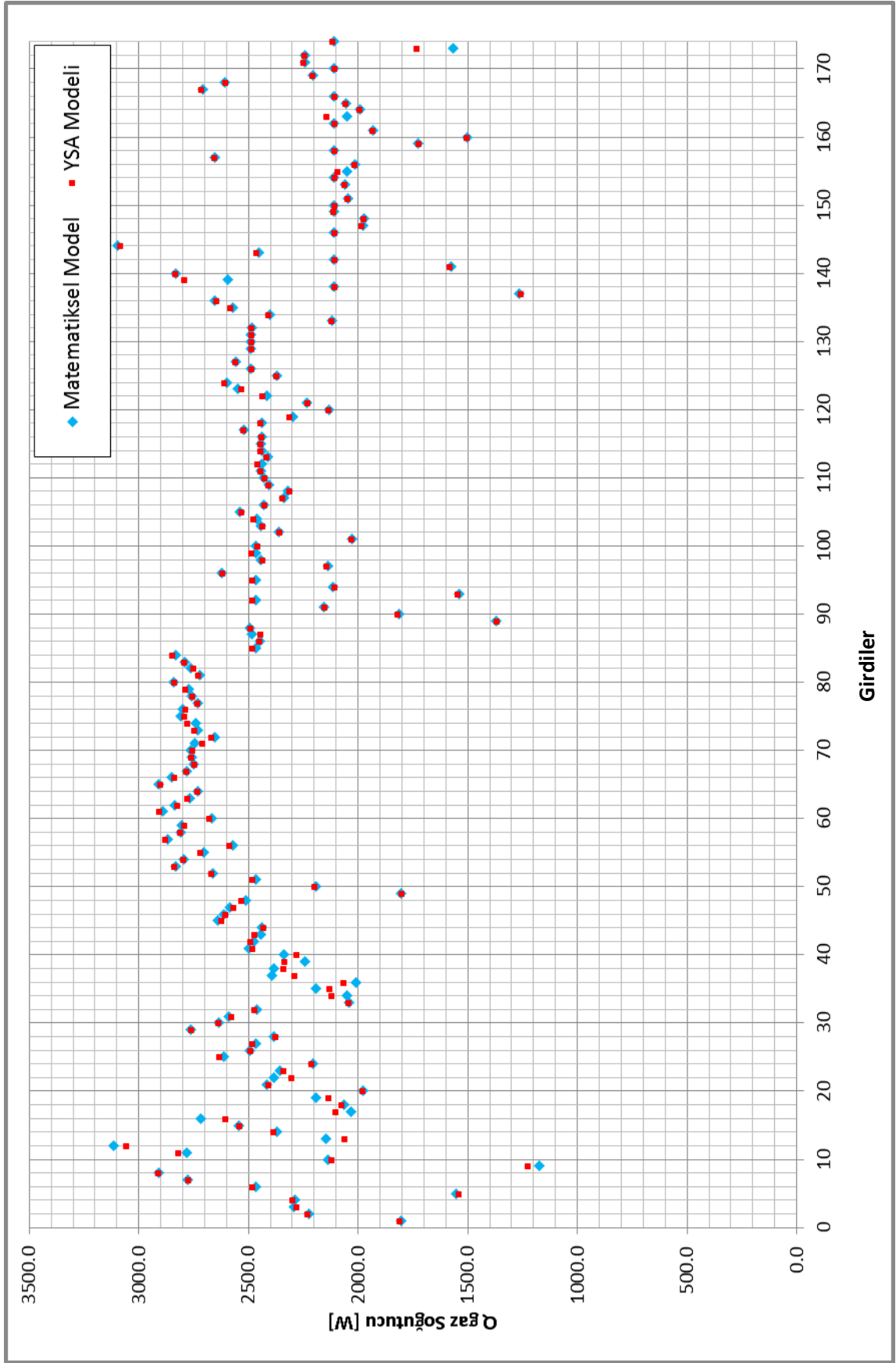
Şekil 5.23 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Kompresör işi



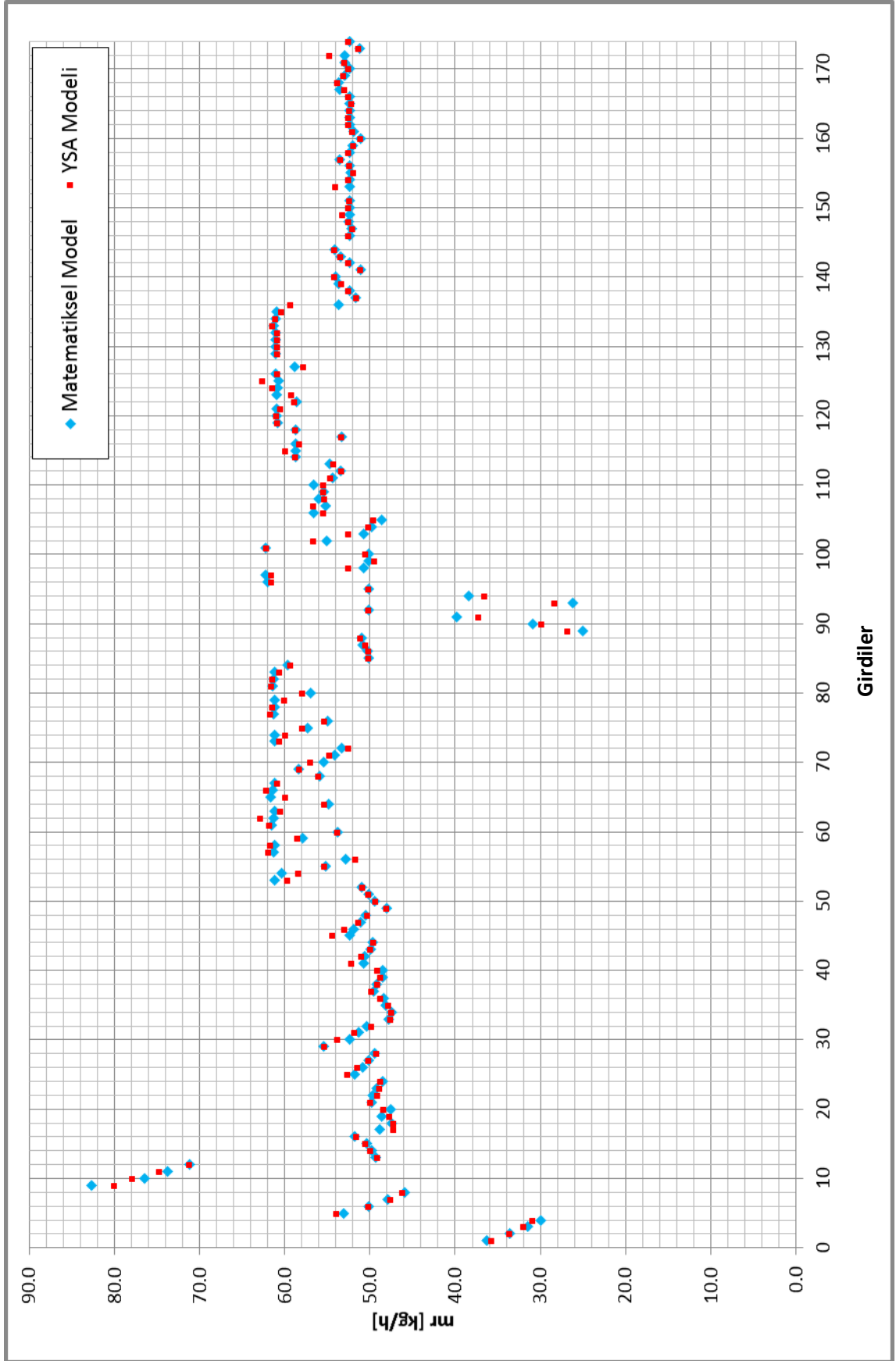
Şekil 5.24 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Fan işi



Şekil 5.25 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Evaporasyon



Şekil 5.26 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Gaz soğutucu



Şekil 5.27 Serpme grafikte matematiksel model ve YSA modeli sonuçları – Soğutucu akışkan debisi

TEST MODELİ SONUÇLARI

Oluşturulan YSA modeli farklı bir metot oluşturularak test edilmiştir. MATLAB ortamı üzerinde oluşturulan YSA modeli, içine girilen verilerin önceden ayarlanan belli bir oranda rastgele bir şekilde ayırıp test için kullanmaktadır. Ancak bu çalışmadaki girdi parametreleri çok farklı şekilde değiştiği için, alınan rastgele verinin tüm haritayı her seferinde kapsamayacağı açıktır. Bu yüzden test için el ile detaylı bir şekilde veri ayıklaması yapılmıştır.

Girdilerin grafiklerinde (Şekil A.1 - Şekil A.10) bir değer çok fazla veri boyunca sabit gidip sadece çok kısa bir aralıkta değiştiği görülmektedir. YSA kodunun rastgele aldığı test noktaları parametrenin sabit gittiği yerlere denk gelmesi durumunda istenilen test modeli düzgün çalışmayacaktır. Çünkü model haritanın tüm aralıklarını öğrenmiş olacaktır. Yeni kurulan test modellerinde ise YSA modeline haritanın sınırları öğretilmiş; ancak tüm parametrelerin değiştiği noktalardan tek tek test modeli için veri ayıklanmıştır. Sonra bu ayıklanan veriler test edilmiştir.

Geliştirilen metot sonucunda 173 adet olan verinin; 33 tanesi test edilmek için ayrılmıştır. İlk başta oluşturulan optimize YSA modeli aynı kodlarla ancak sınırları daraltılmış bir şekilde tekrardan koşturulmuştur. Yeterli veri sayısına sahip olduğu için (140 adet) performans olarak kötüleşmemiştir. (Çizelge 6.1)

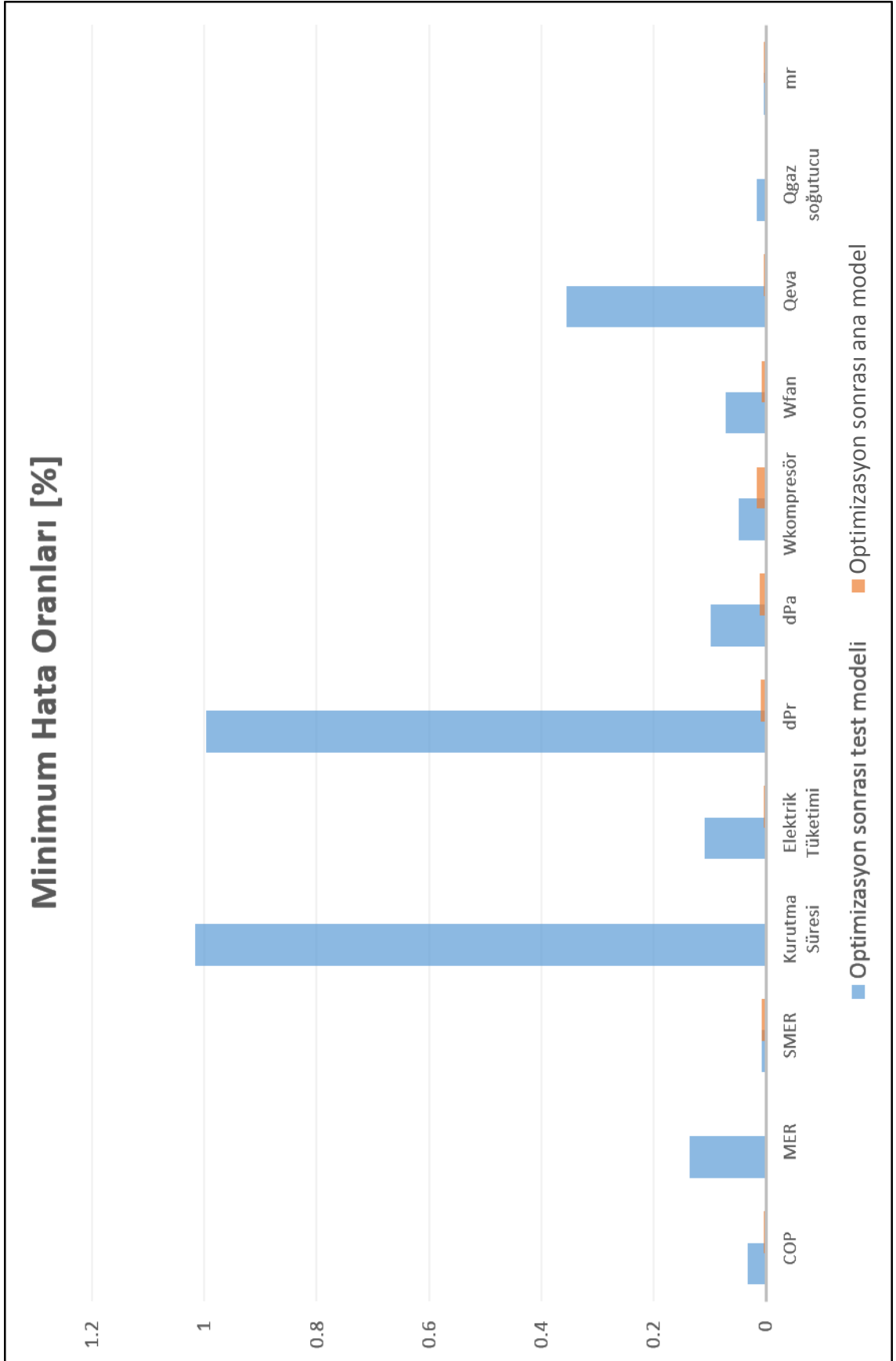
Modelinin öğrendiği ağırlık katsayıları ve aktivasyon fonksiyonları test modeli üzerinde (33 adet verili model) denenerek sonuçlar irdelenmiştir. Beklenildiği gibi; uzayın darlığından ve manipülatif bir şekilde model zorlandığı için performansı düşmüştür. Ancak yine de yeterli başarı oranına ulaşmıştır. (Çizelge 6.2) Grafiksel olarak test modelinin sonuçları aşağıda verilmiştir (Şekil 6.1 - Şekil 6.27).

Çizelge 6.1 Daraltılmış MATLAB YSA modeli sonuçları hata oranları

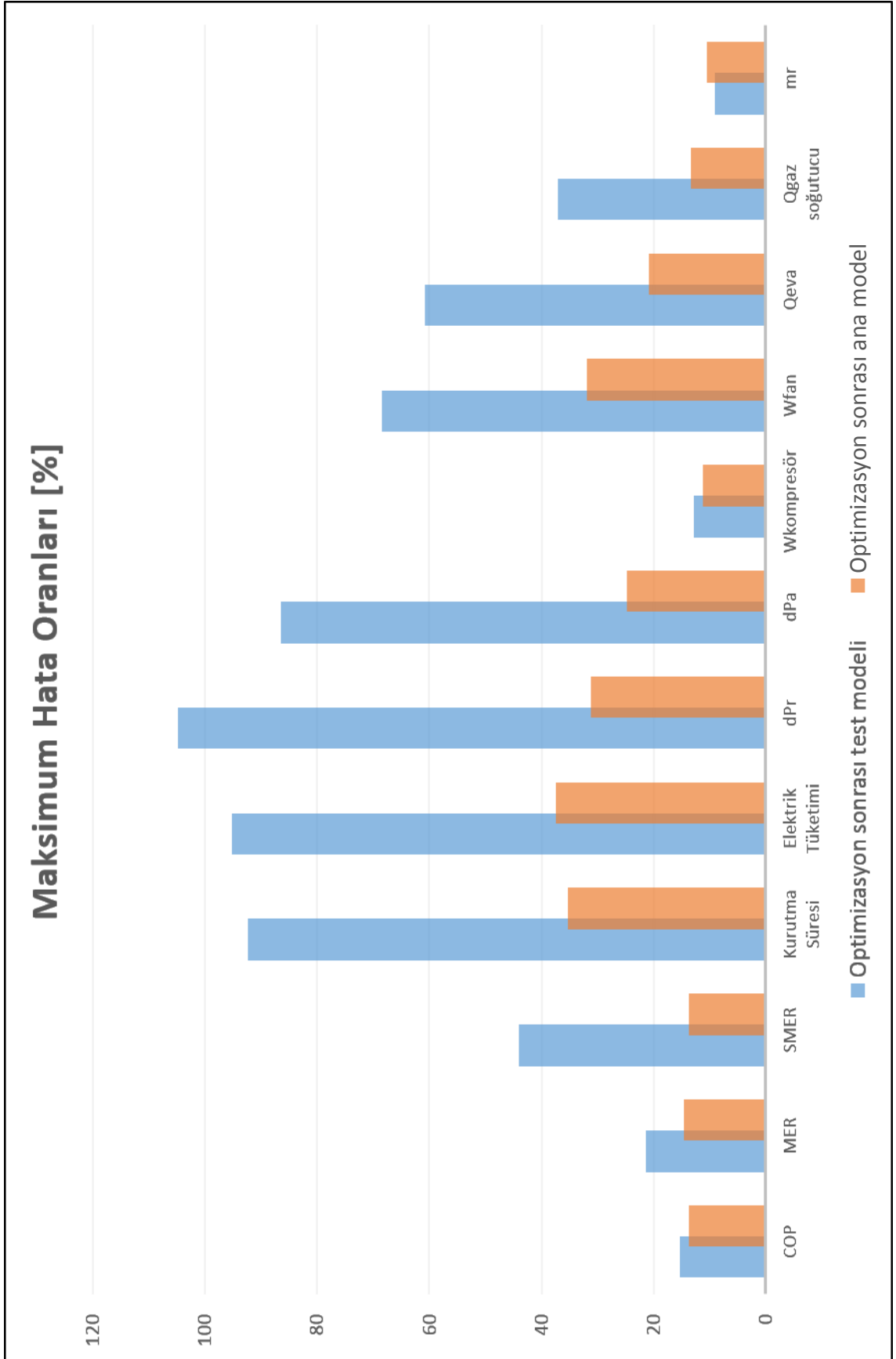
	<i>Minimum Hata</i> [%]	<i>Maksimum Hata</i> [%]	<i>Ortalama Hata</i> [%]
<i>COP</i>	0.0045	16.0866	1.5680
<i>MER</i>	0.0071	18.7169	2.5725
<i>SMER</i>	0.0070	27.3592	2.7282
<i>Kurutma Süresi</i>	0.69738	19.4021	7.5605
<i>Elektrik Tüketimi</i>	0.15278	22.4355	9.2390
<i>dPr</i>	0.0012	50.1816	5.1554
<i>dPa</i>	0.0014	0.8296	0.1945
<i>W_{kompresör}</i>	0.0050	4.2415	0.5255
<i>W_{fan}</i>	0.0262	45.3871	5.4337
<i>Q_{eva}</i>	1.1991	20.7087	6.9608
<i>Q_{gaz soğutucu}</i>	0.0110	15.2102	2.7905
<i>m_r</i>	0.0437	9.9696	1.6524

Çizelge 6.2 MATLAB YSA TEST modeli sonuçları hata oranları

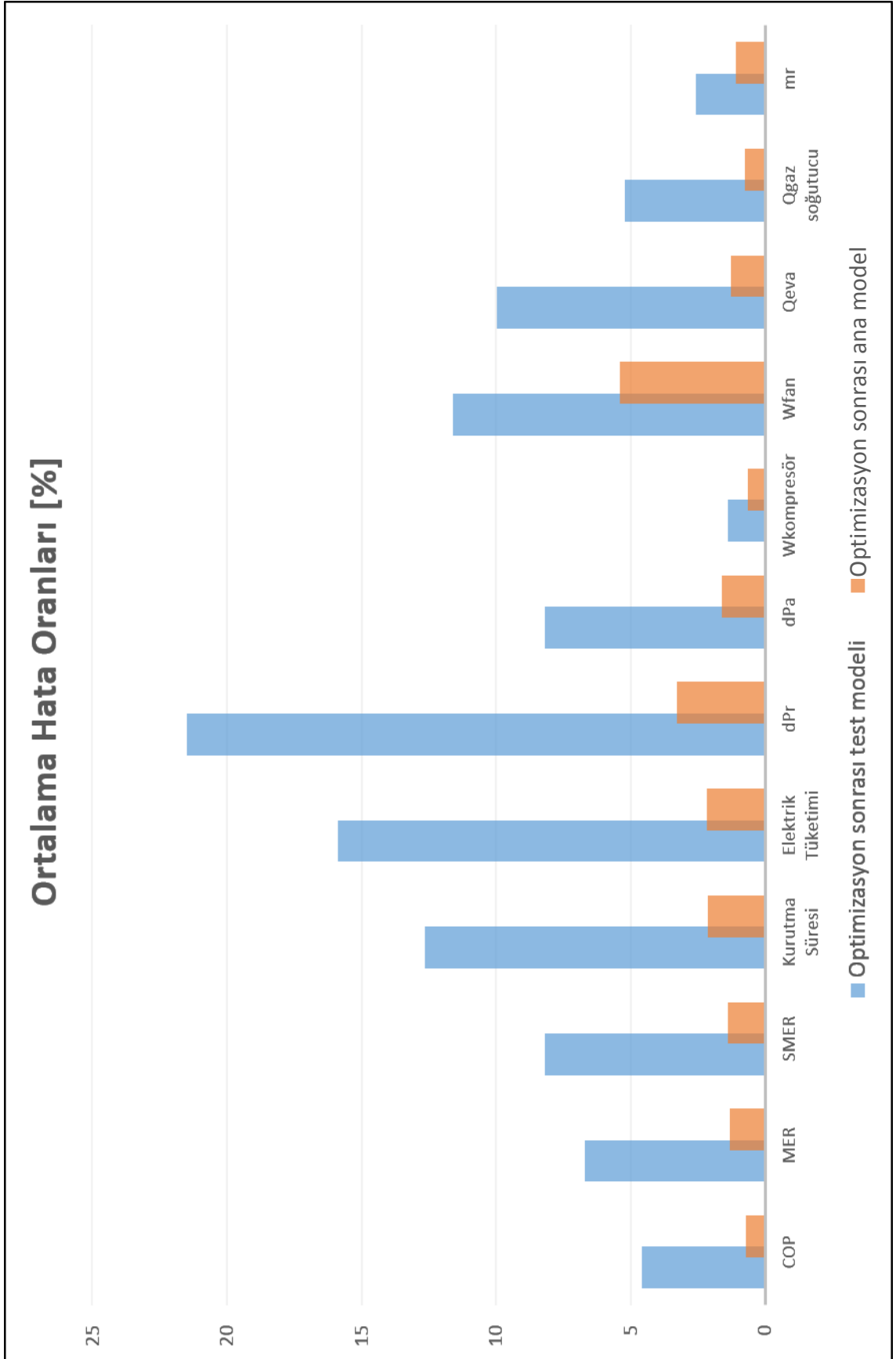
	<i>Minimum Hata</i> [%]	<i>Maksimum Hata</i> [%]	<i>Ortalama Hata</i> [%]
<i>COP</i>	0.0322	15.3549	4.5761
<i>MER</i>	0.1351	21.3393	6.6814
<i>SMER</i>	0.0072	43.9375	8.2029
<i>Kurutma Süresi</i>	1.0173	92.4109	12.6420
<i>Elektrik Tüketimi</i>	0.1082	95.2721	15.8809
<i>dPr</i>	0.9977	104.8276	21.4983
<i>dPa</i>	0.0976	86.4027	8.1758
<i>W_{kompresör}</i>	0.0480	12.8478	1.3947
<i>W_{fan}</i>	0.0721	68.3651	11.5873
<i>Q_{eva}</i>	0.3558	60.8079	9.9848
<i>Q_{gaz soğutucu}</i>	0.0160	37.1476	5.2230
<i>m_r</i>	0.0043	9.1380	2.5571



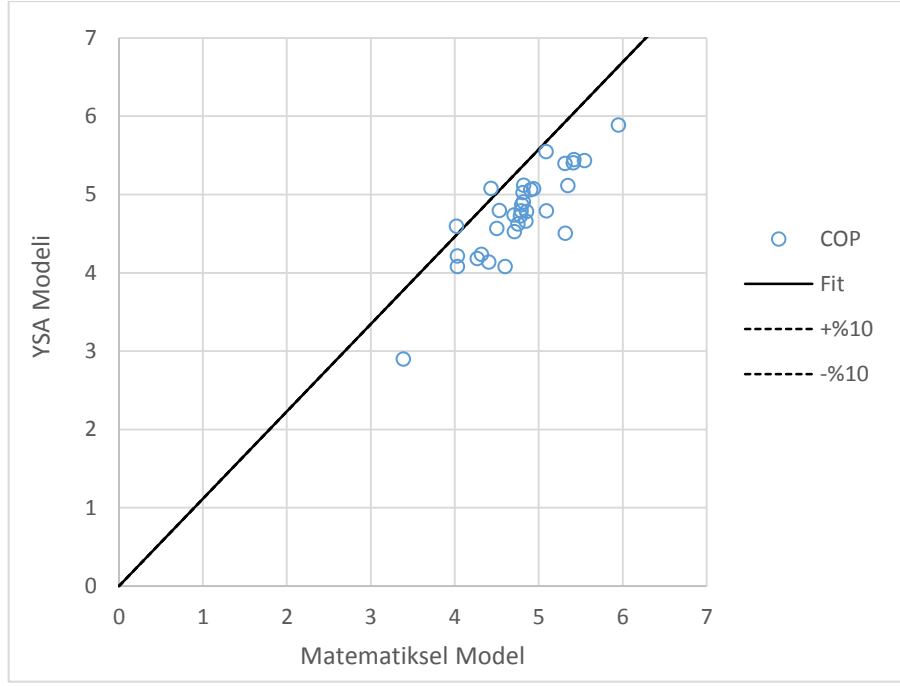
Şekil 6.1 Optimizasyon sonucu YSA test modeli minimum hata oranı farkları



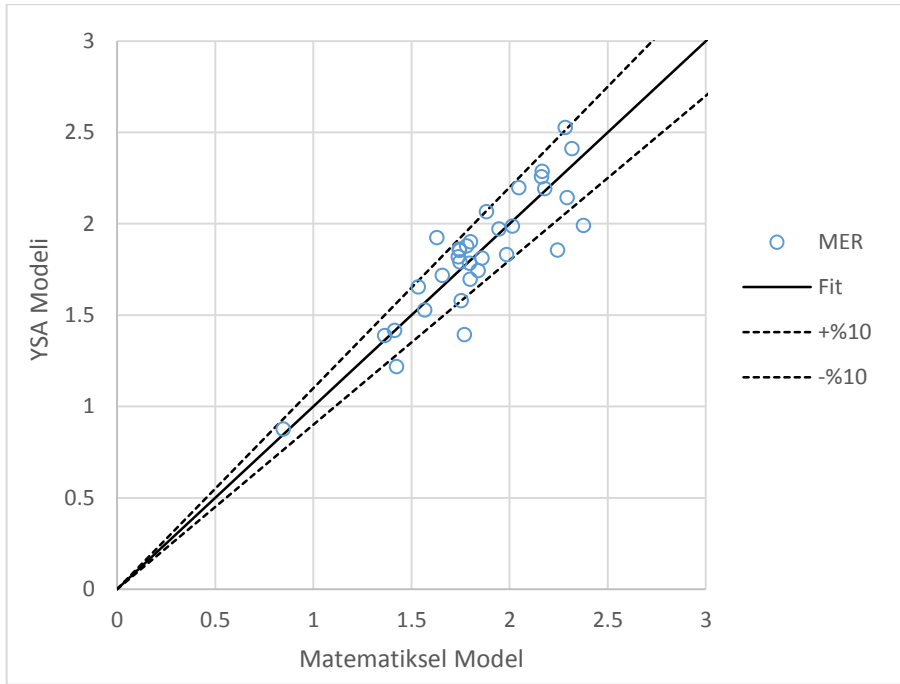
Şekil 6.2 Optimizasyon sonucu YSA test modeli maksimum hata oranı farkları



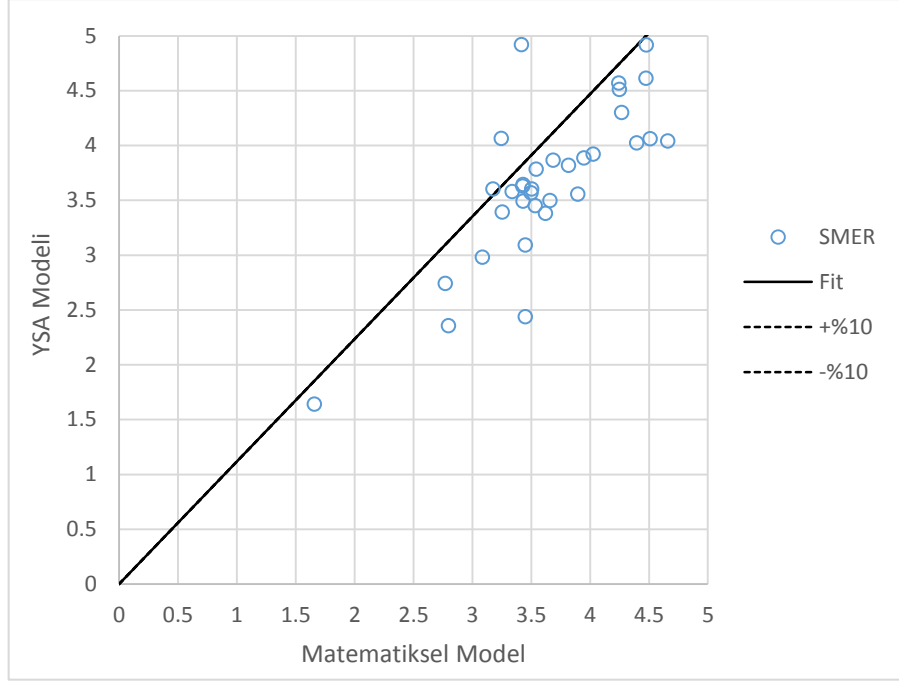
Şekil 6.3 Optimizasyon sonucu YSA test modeli ortalama hata oranı farkları



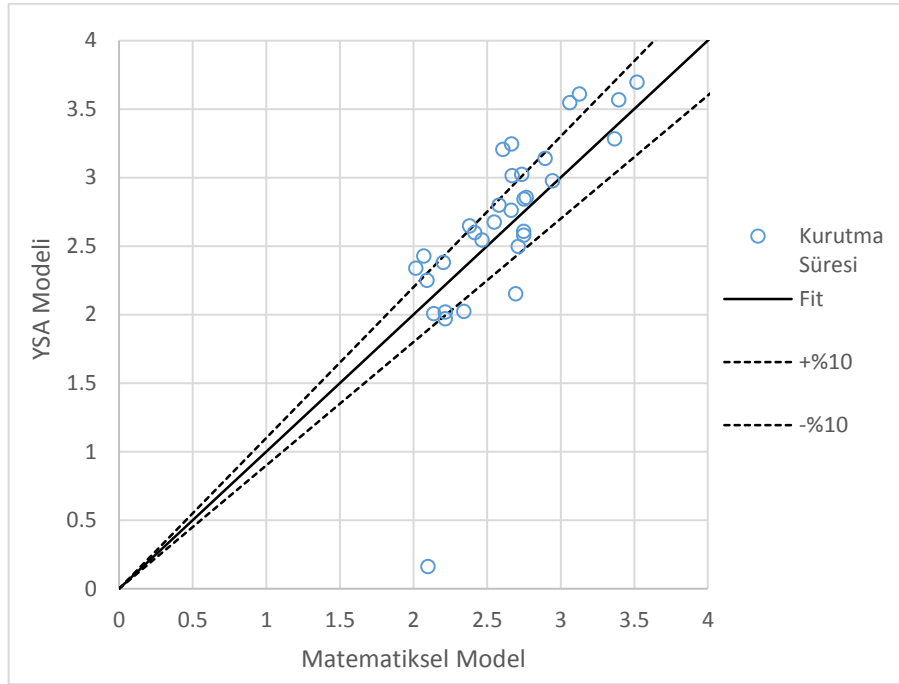
Şekil 6.4 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - COP



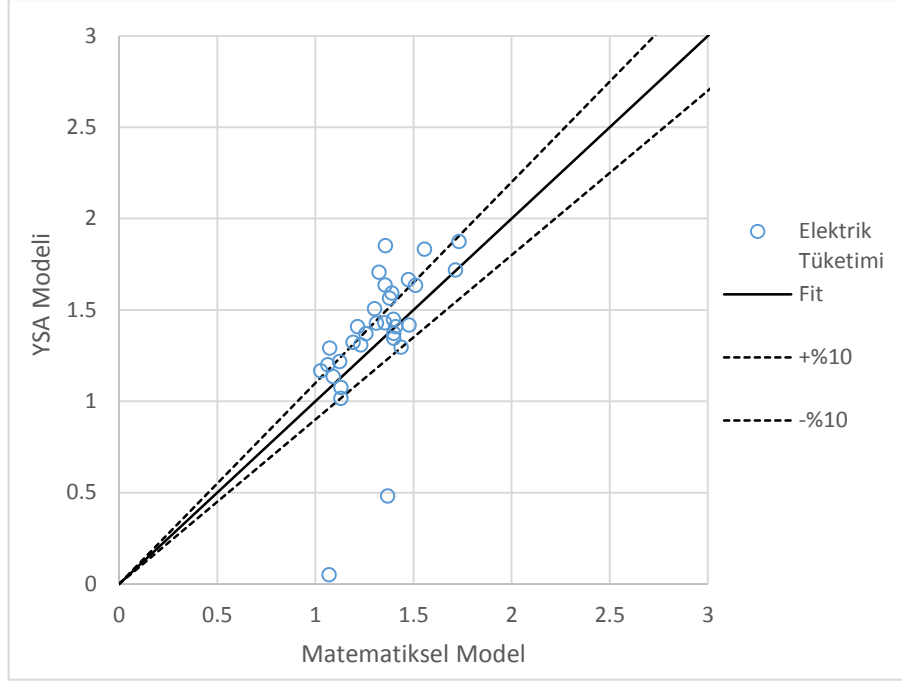
Şekil 6.5 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - MER



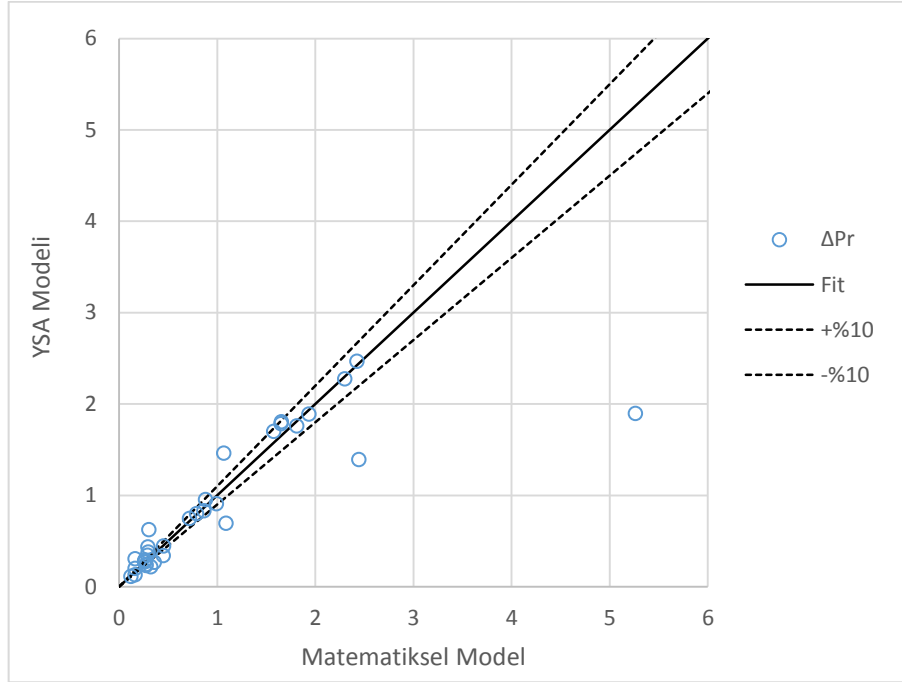
Şekil 6.6 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - SMER



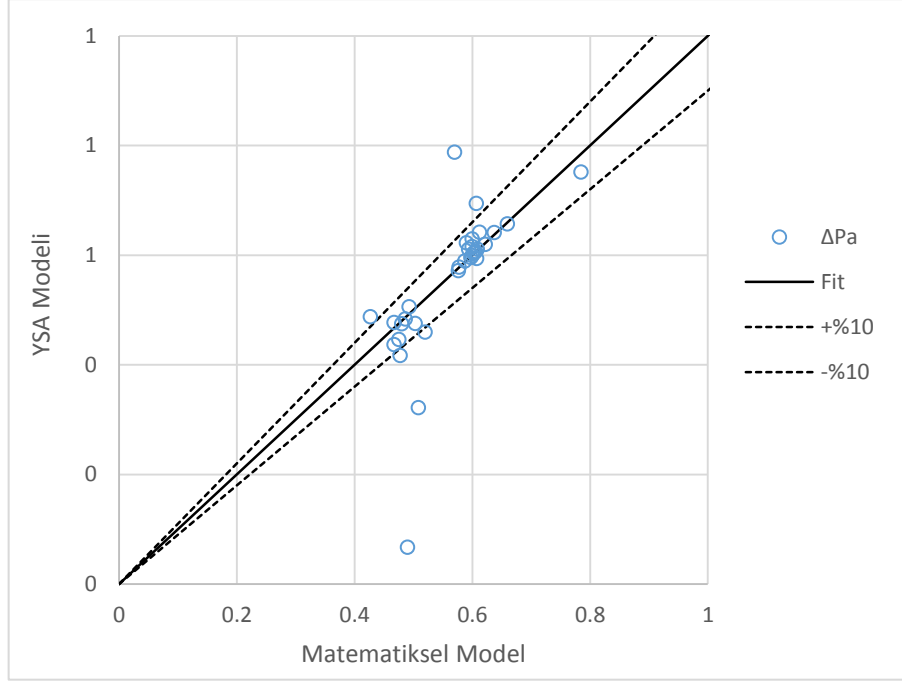
Şekil 6.7 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Kurutma süresi



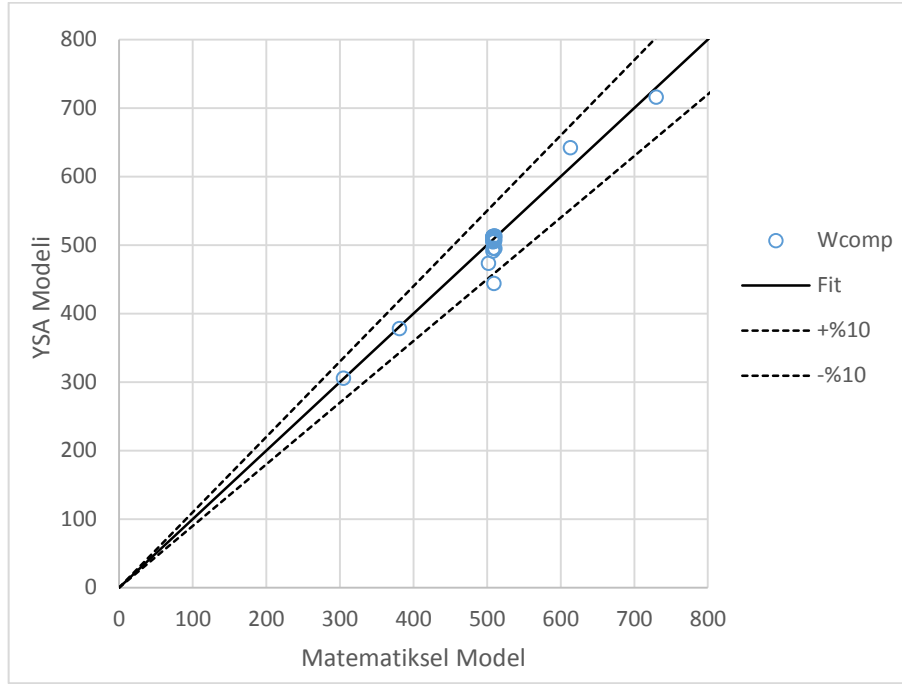
Şekil 6.8 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Elektrik tüketimi



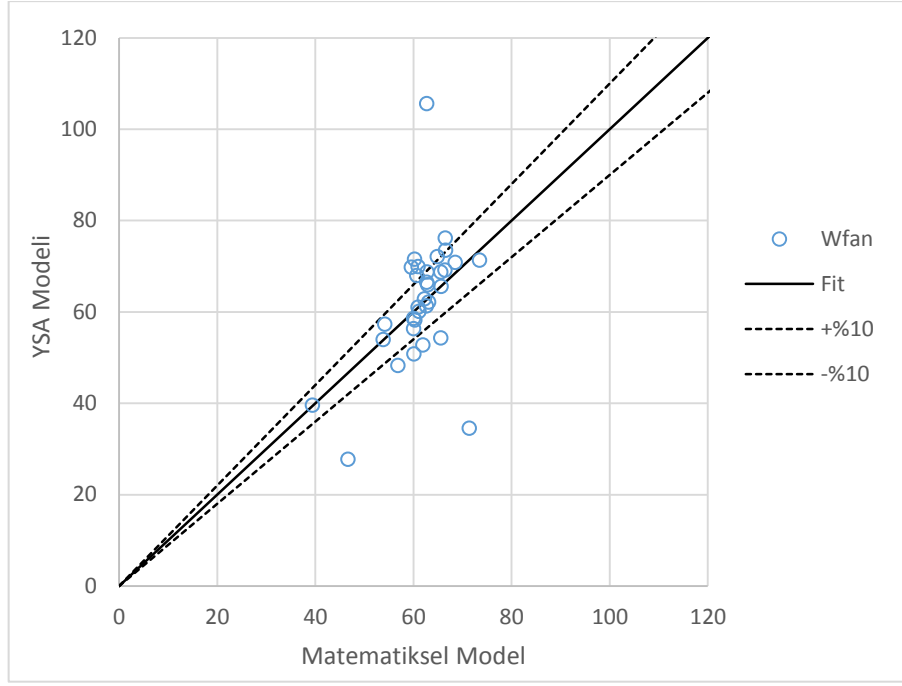
Şekil 6.9 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - dPr



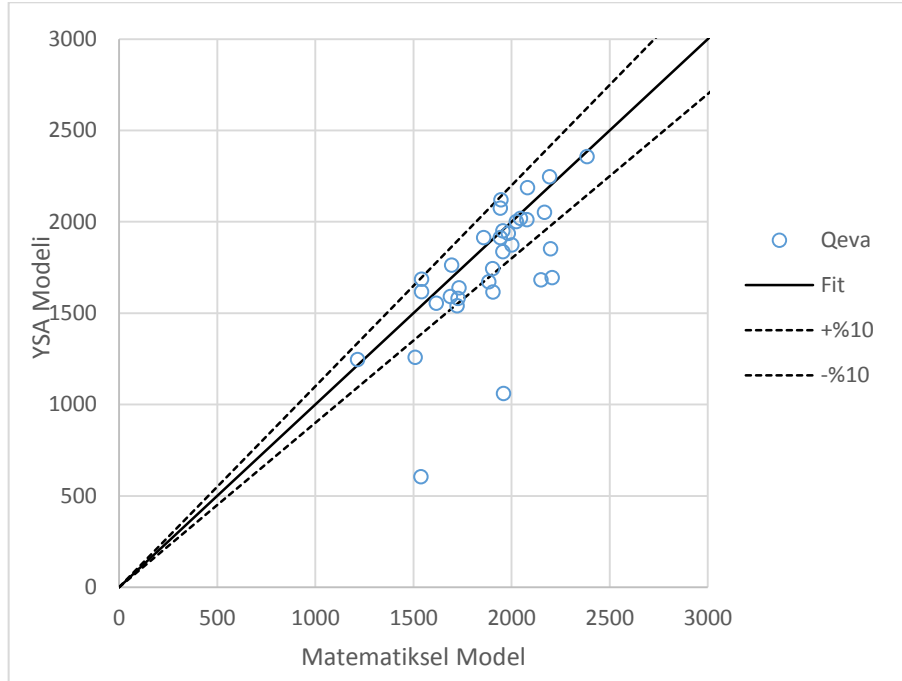
Şekil 6.10 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması - dPa



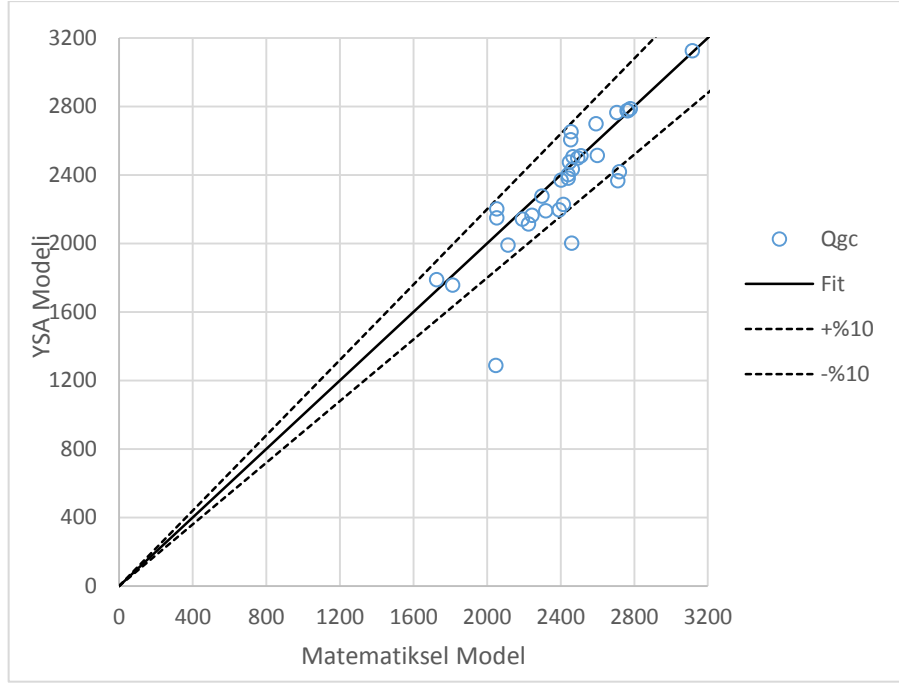
Şekil 6.11 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Kompresör işi



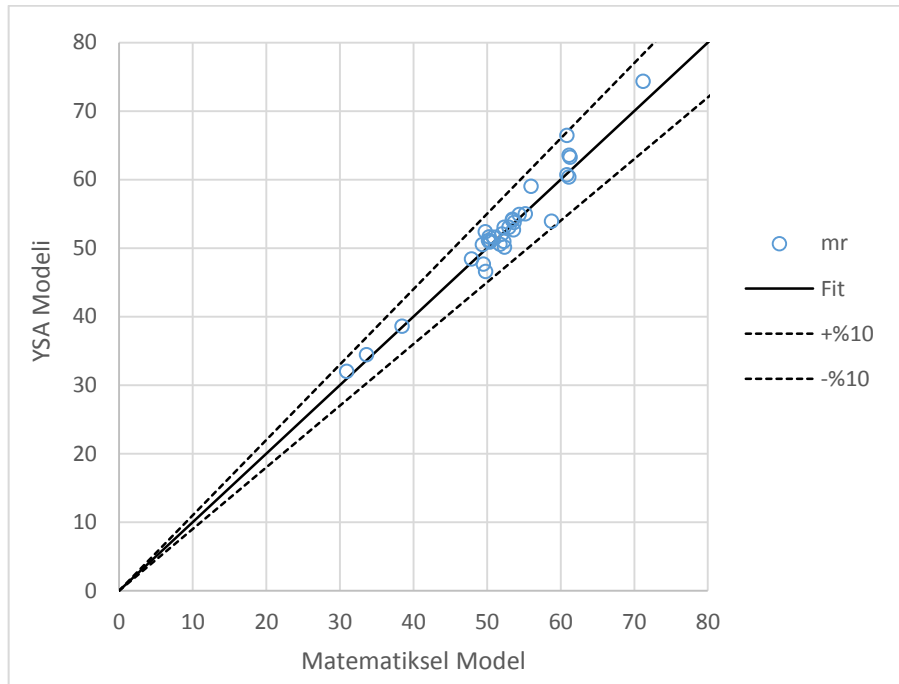
Şekil 6.12 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Fan işi



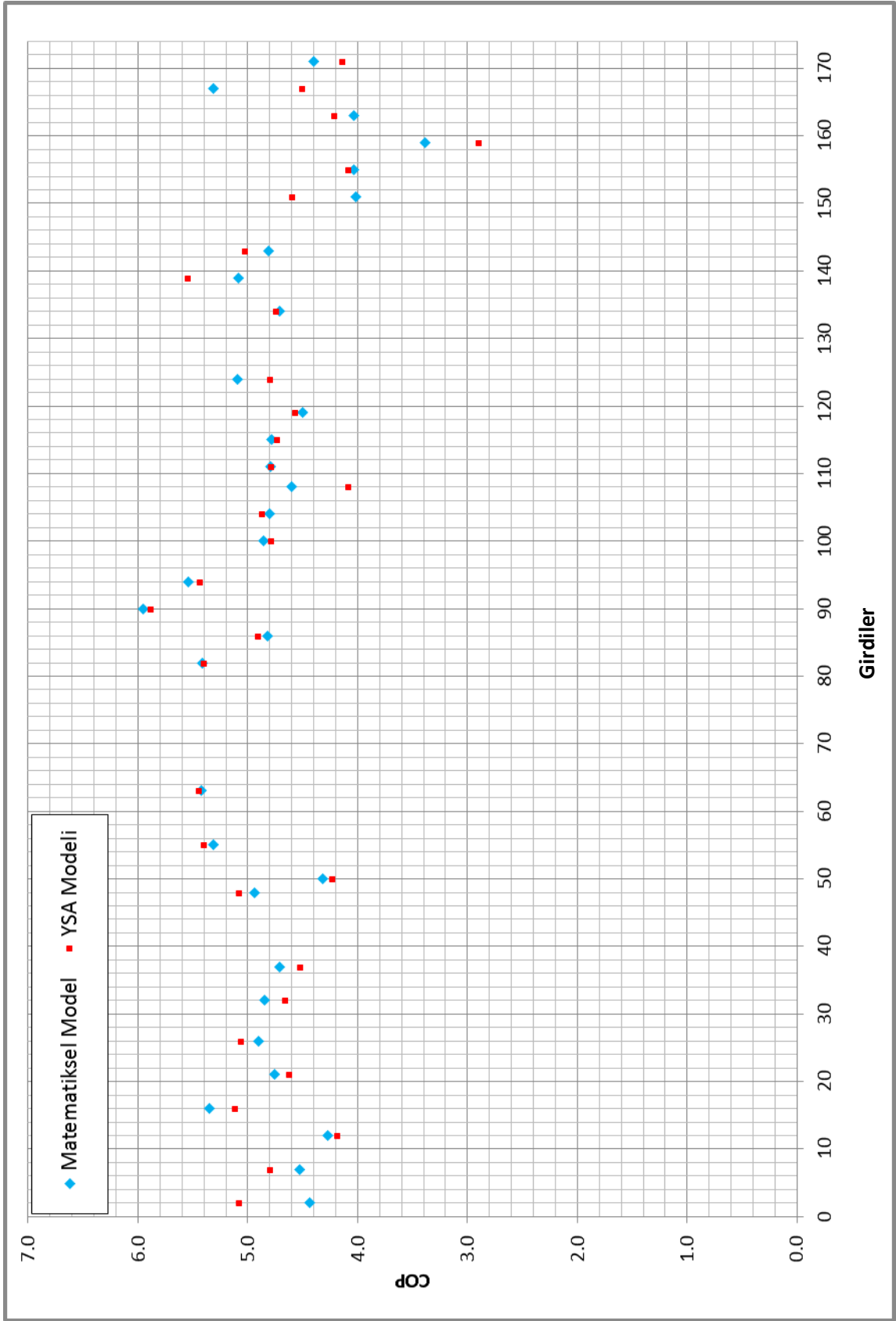
Şekil 6.13 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Evaporasyon ısısı



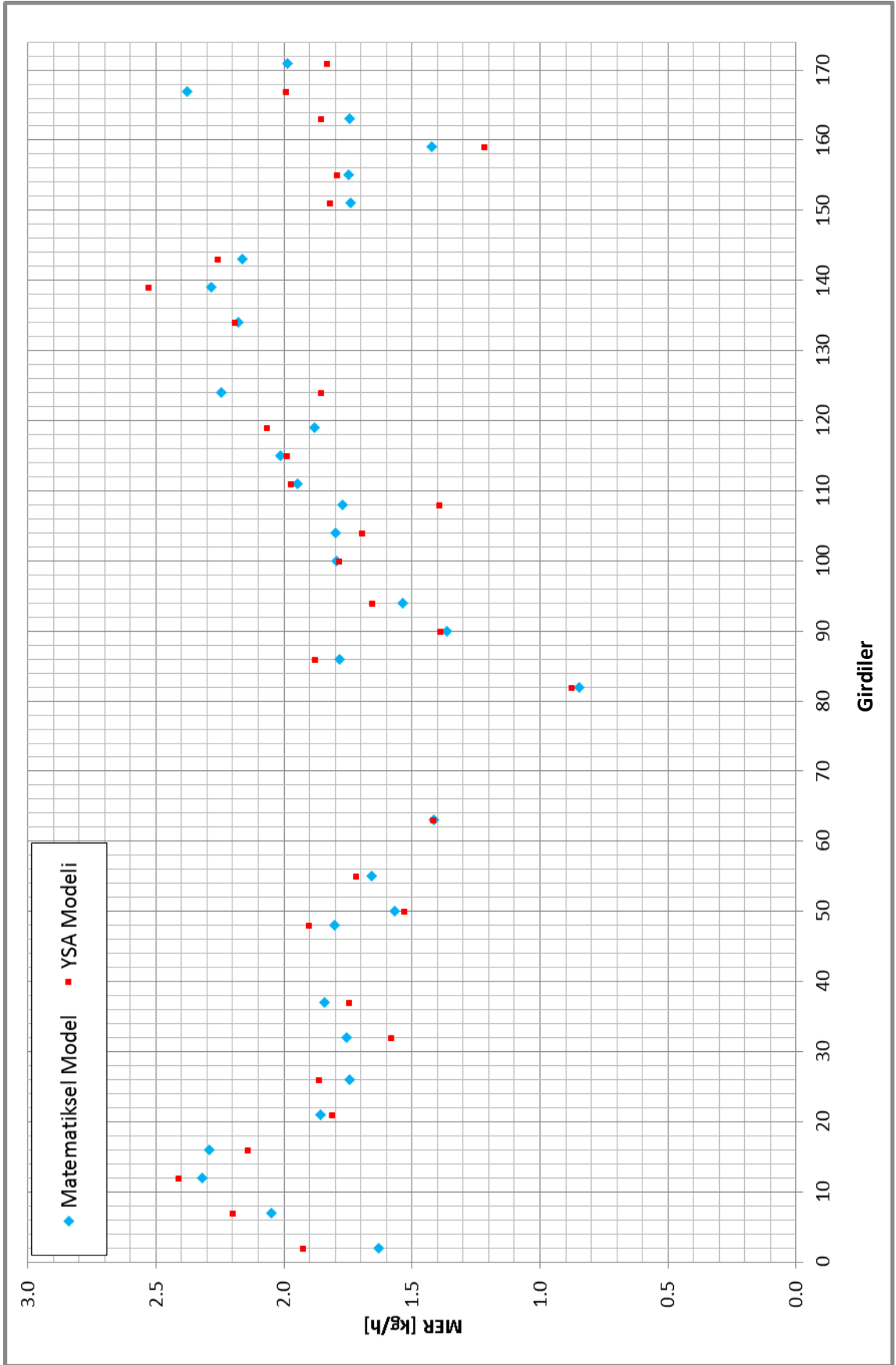
Şekil 6.14 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Gaz soğutucu ısısı



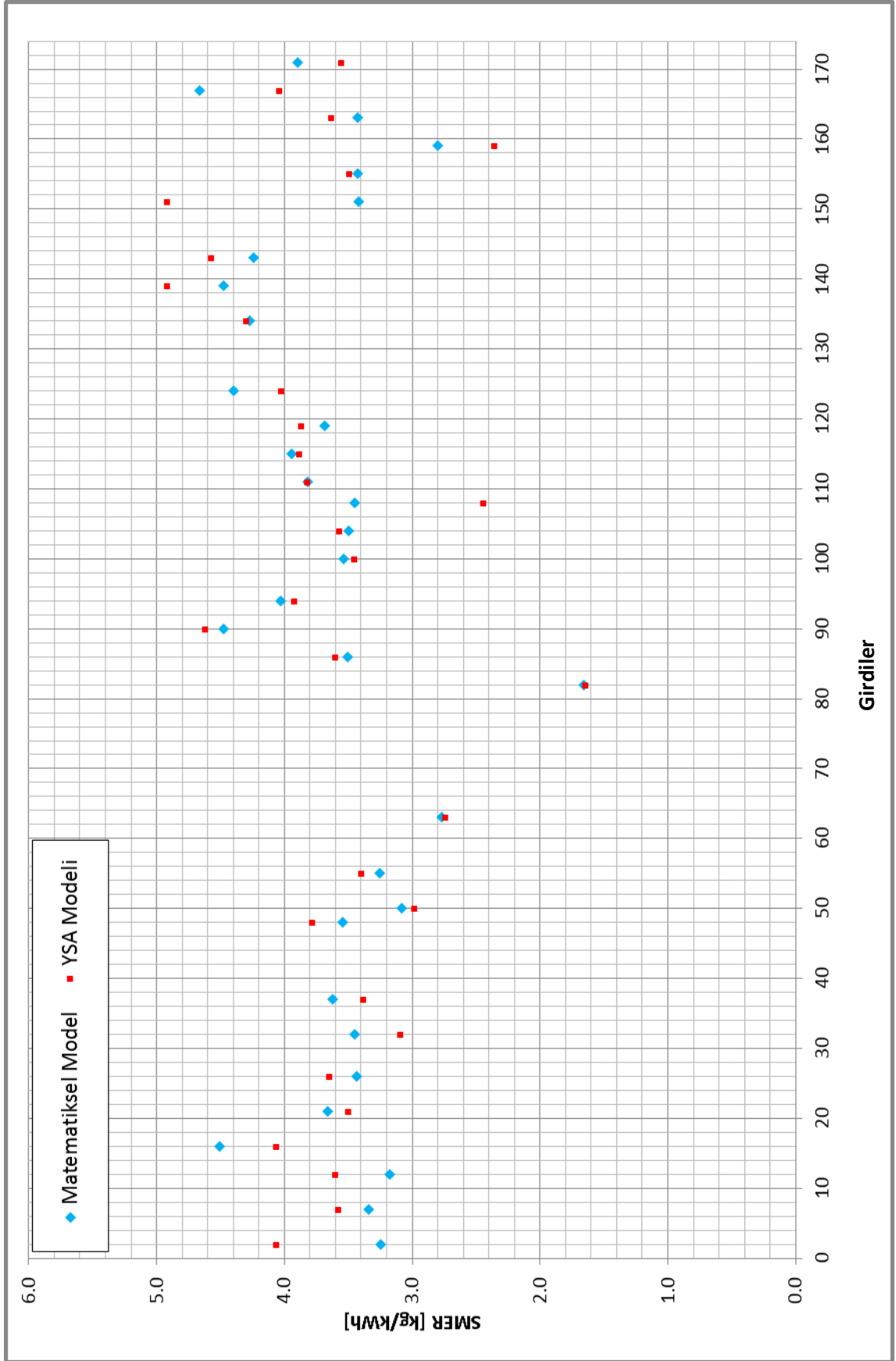
Şekil 6.15 $\pm 10\%$ hata bandında matematiksel model ve YSA modeli karşılaştırması – Soğutucu akışkan debisi



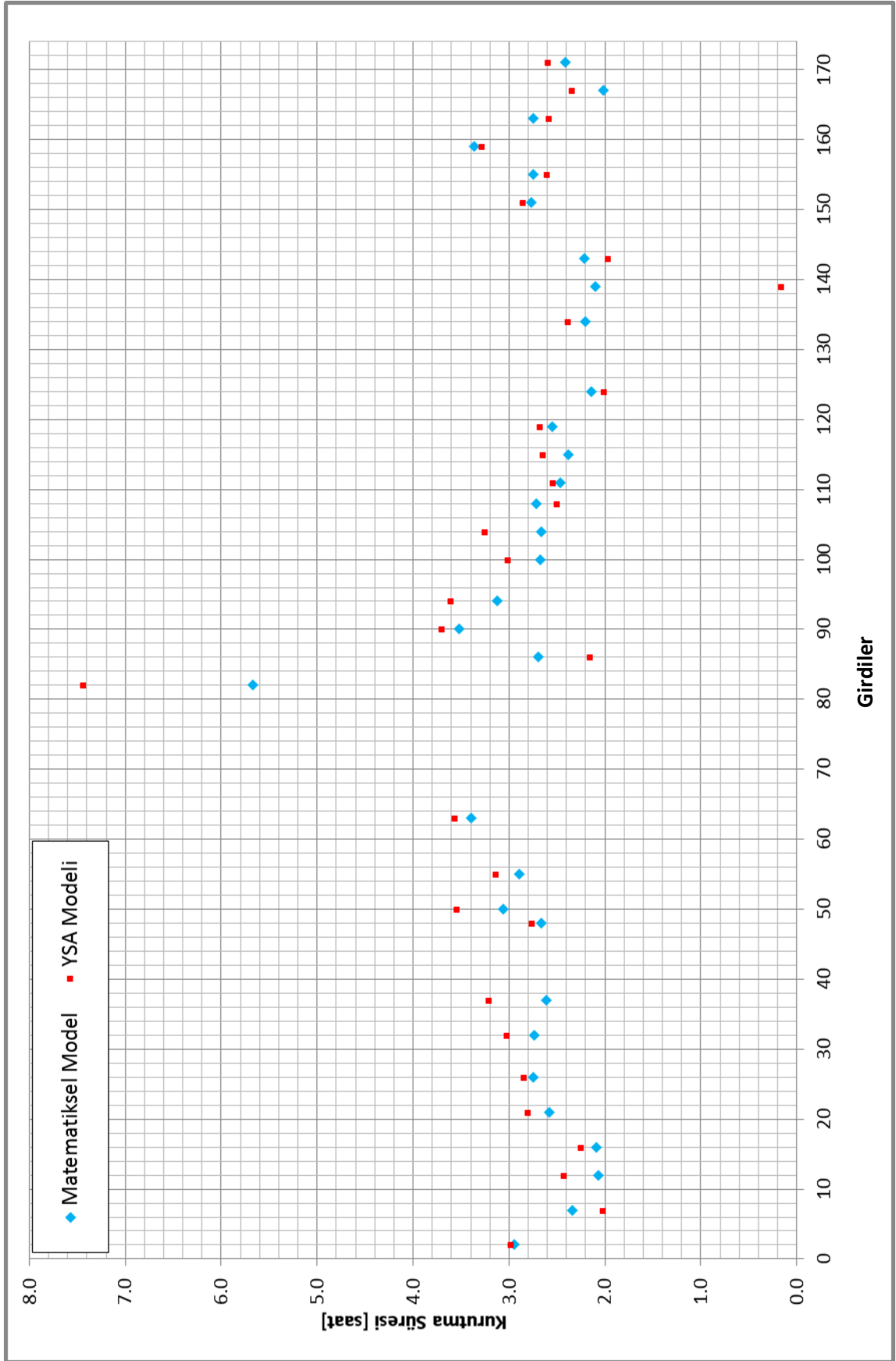
Şekil 6.16 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – COP



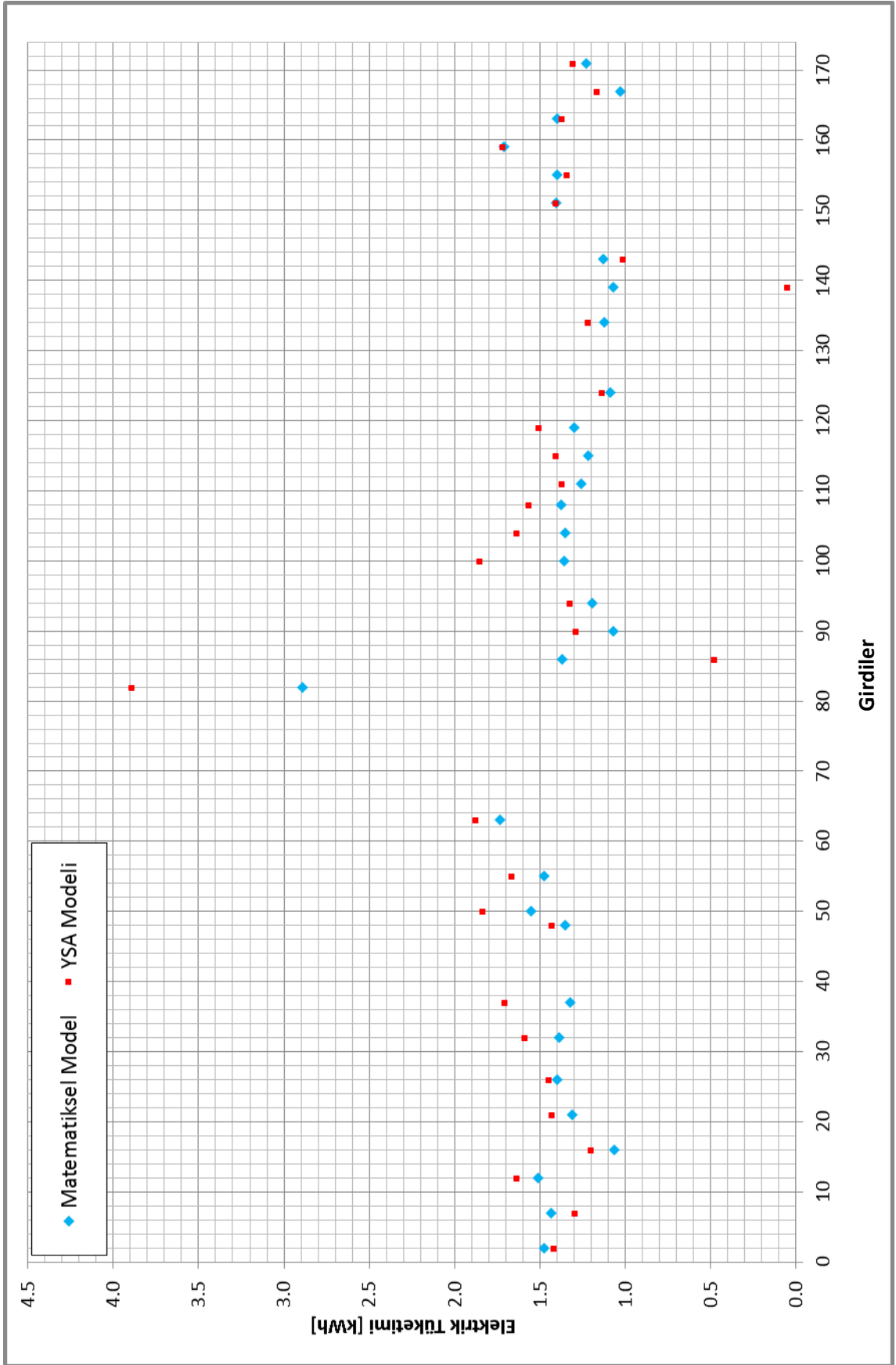
Şekil 6.17 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – MER



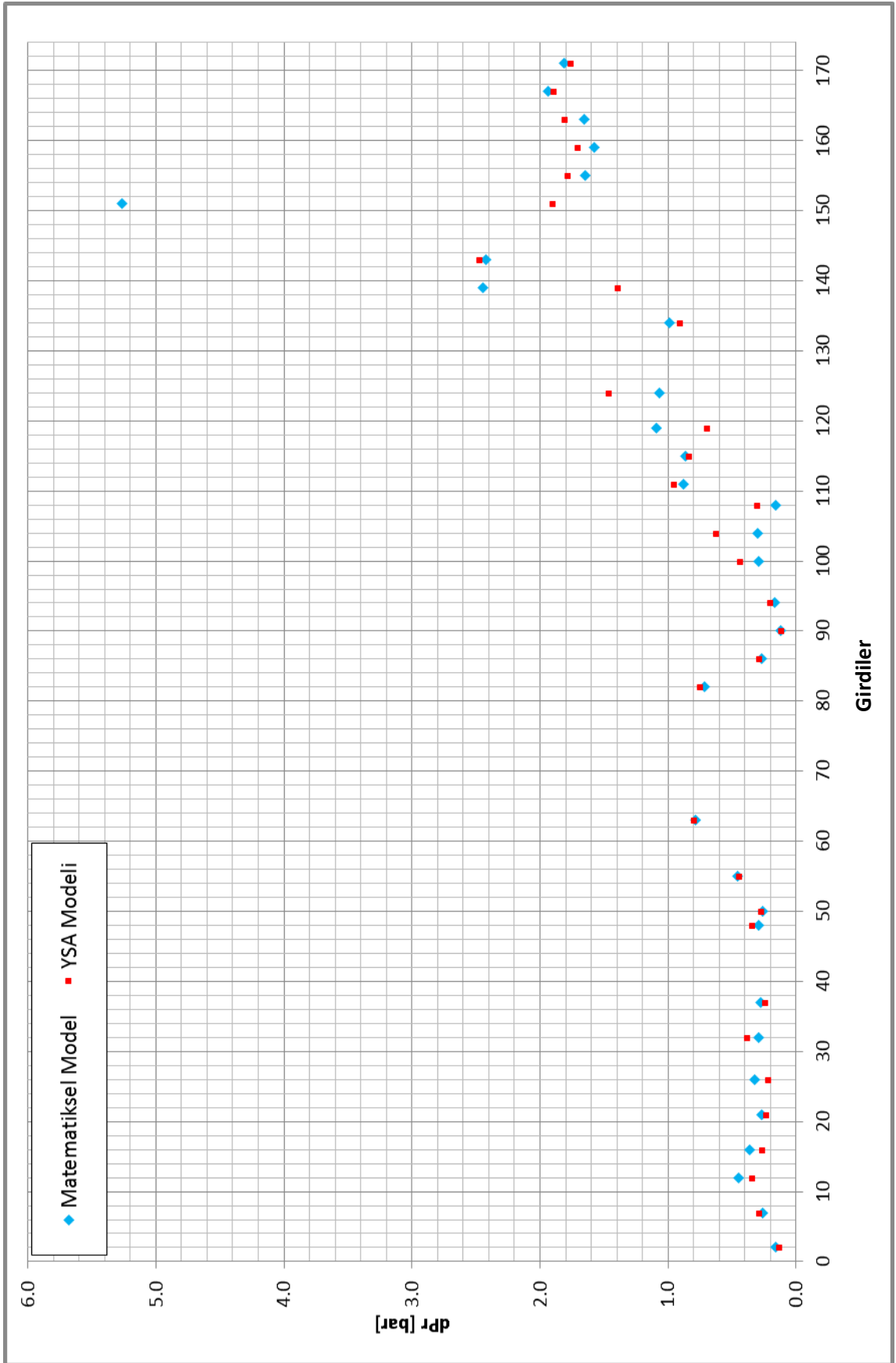
Şekil 6.18 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – SMER



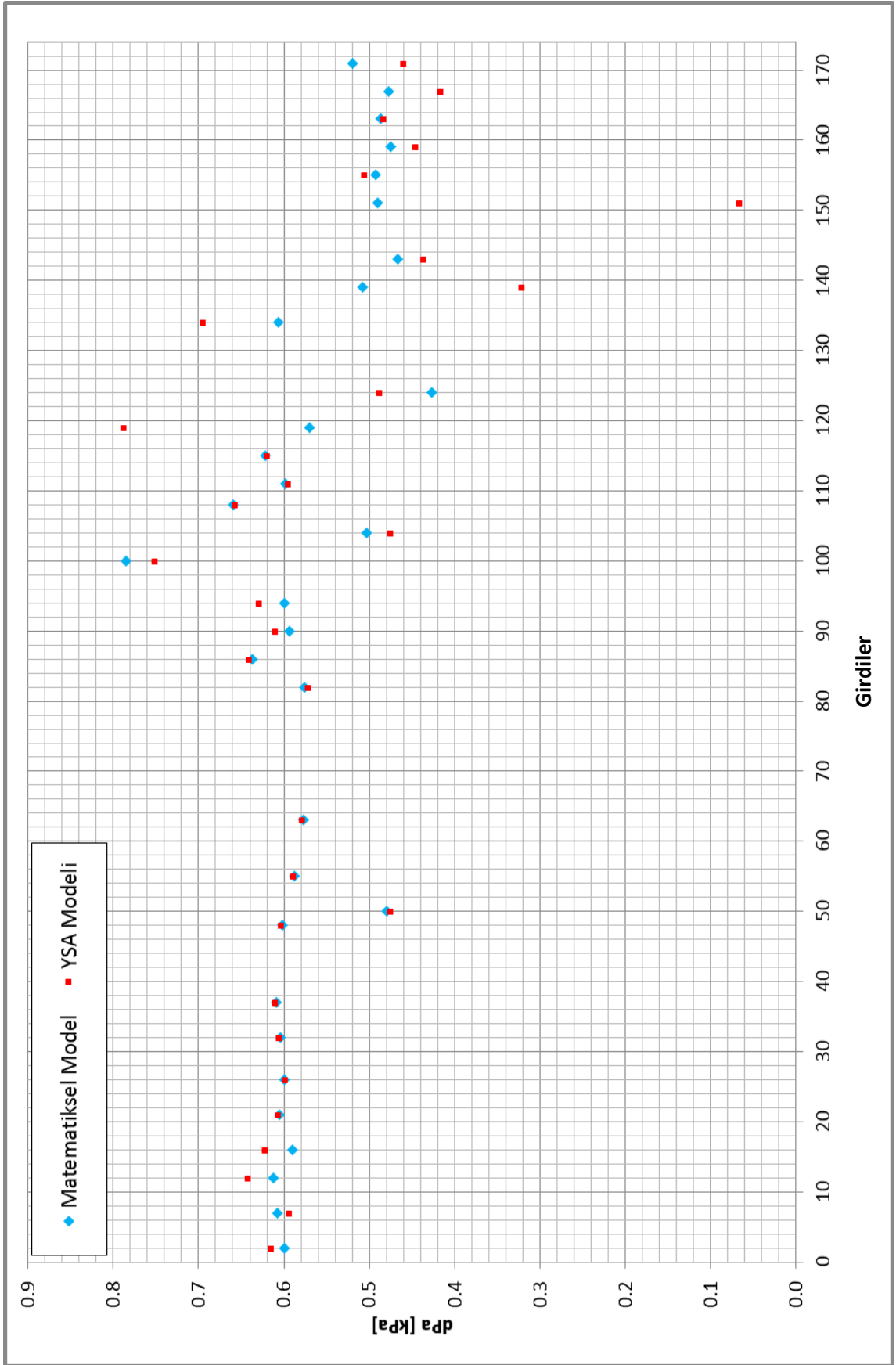
Şekil 6.19 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Kurutma süresi



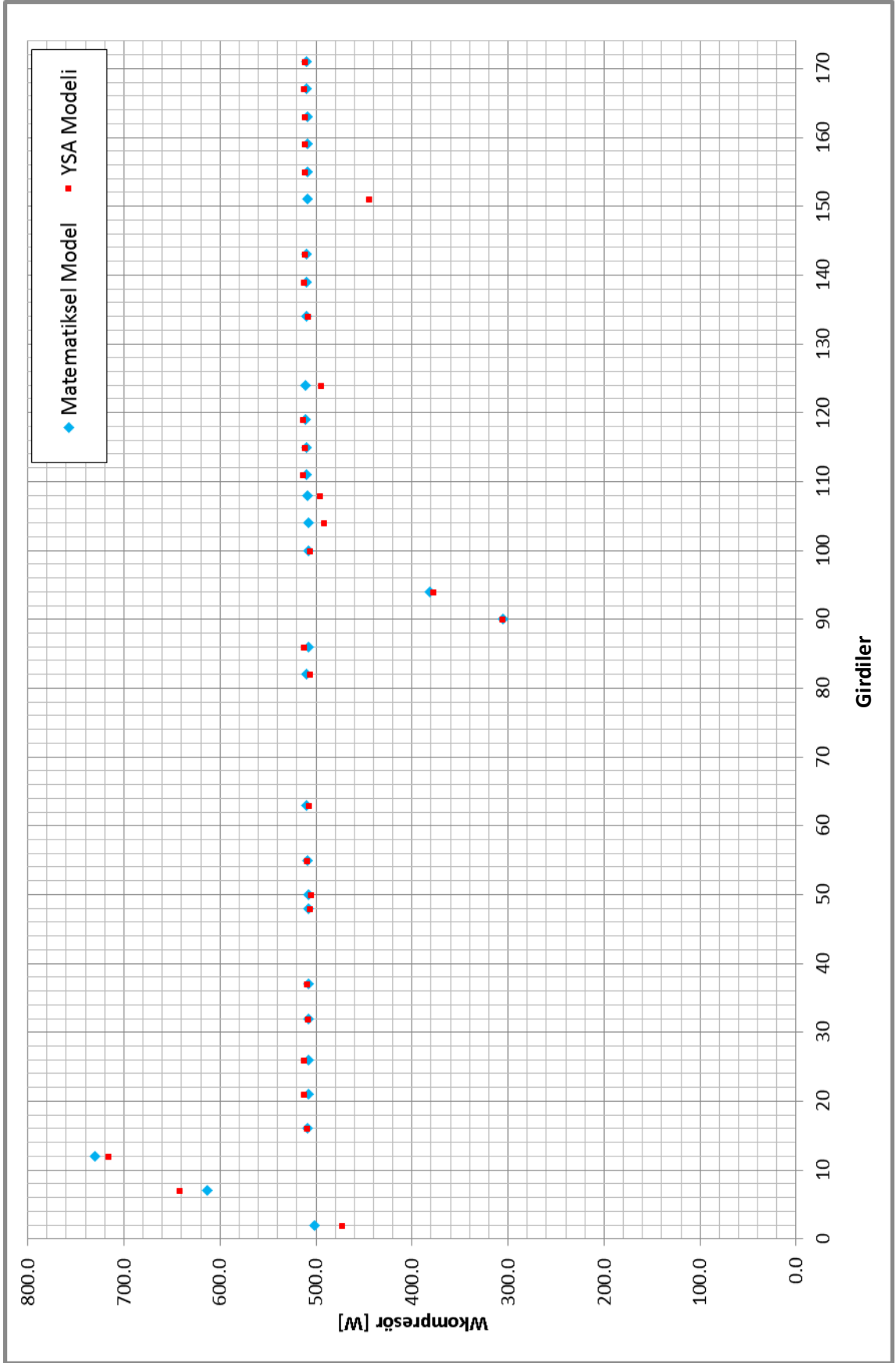
Şekil 6.20 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Elektrik tüketimi



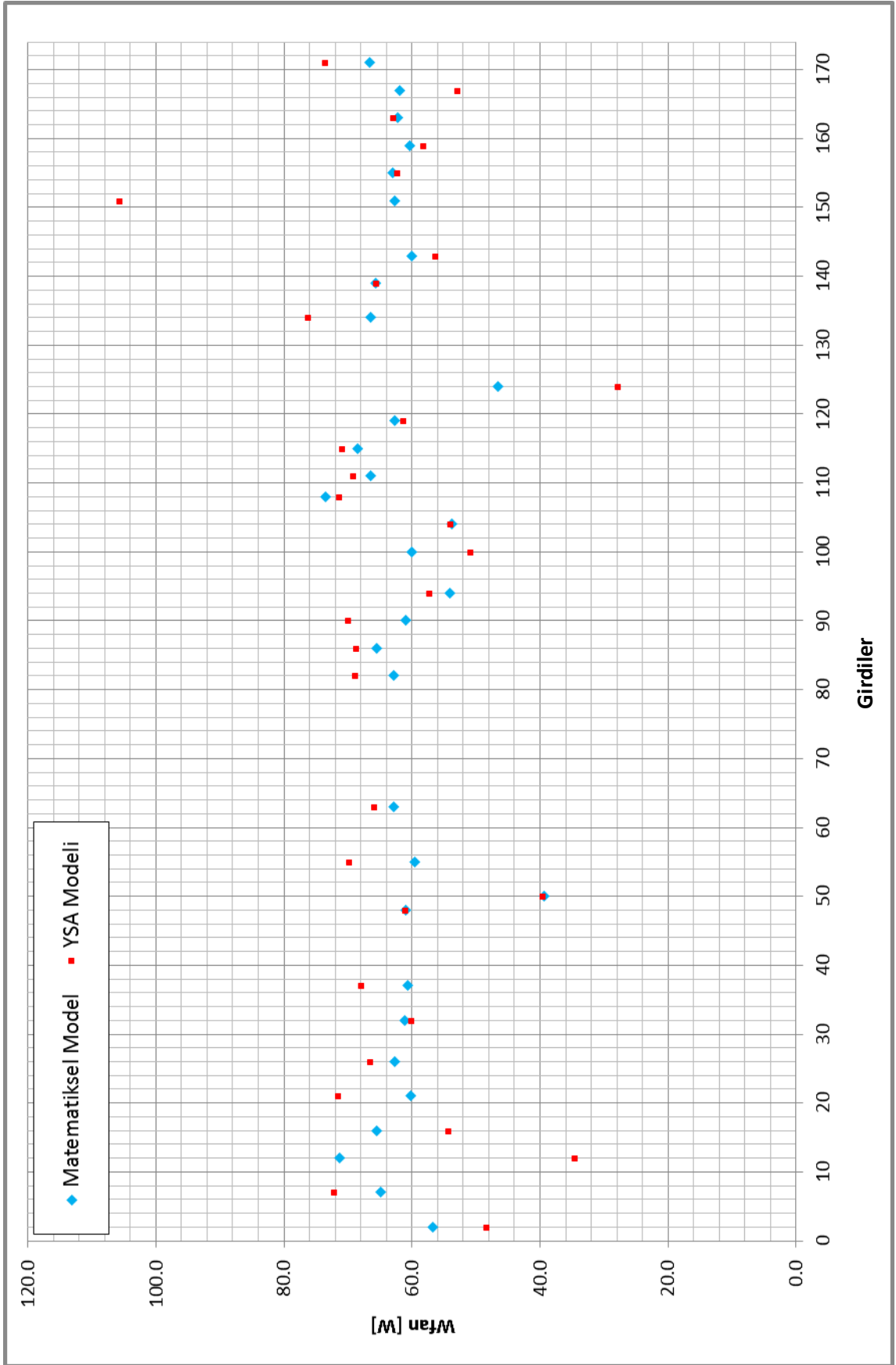
Şekil 6.21 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – dPr



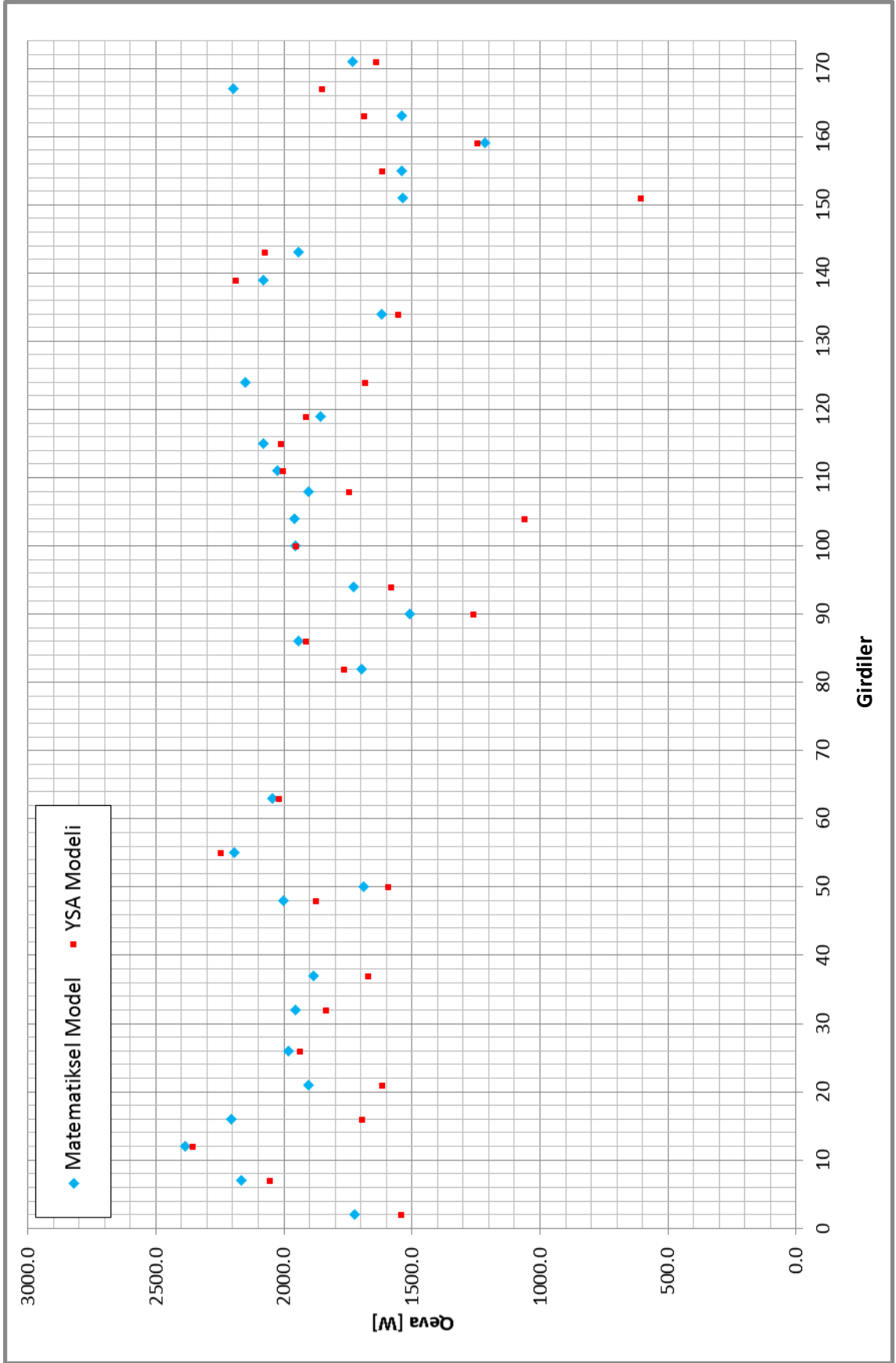
Şekil 6.22 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – dPa



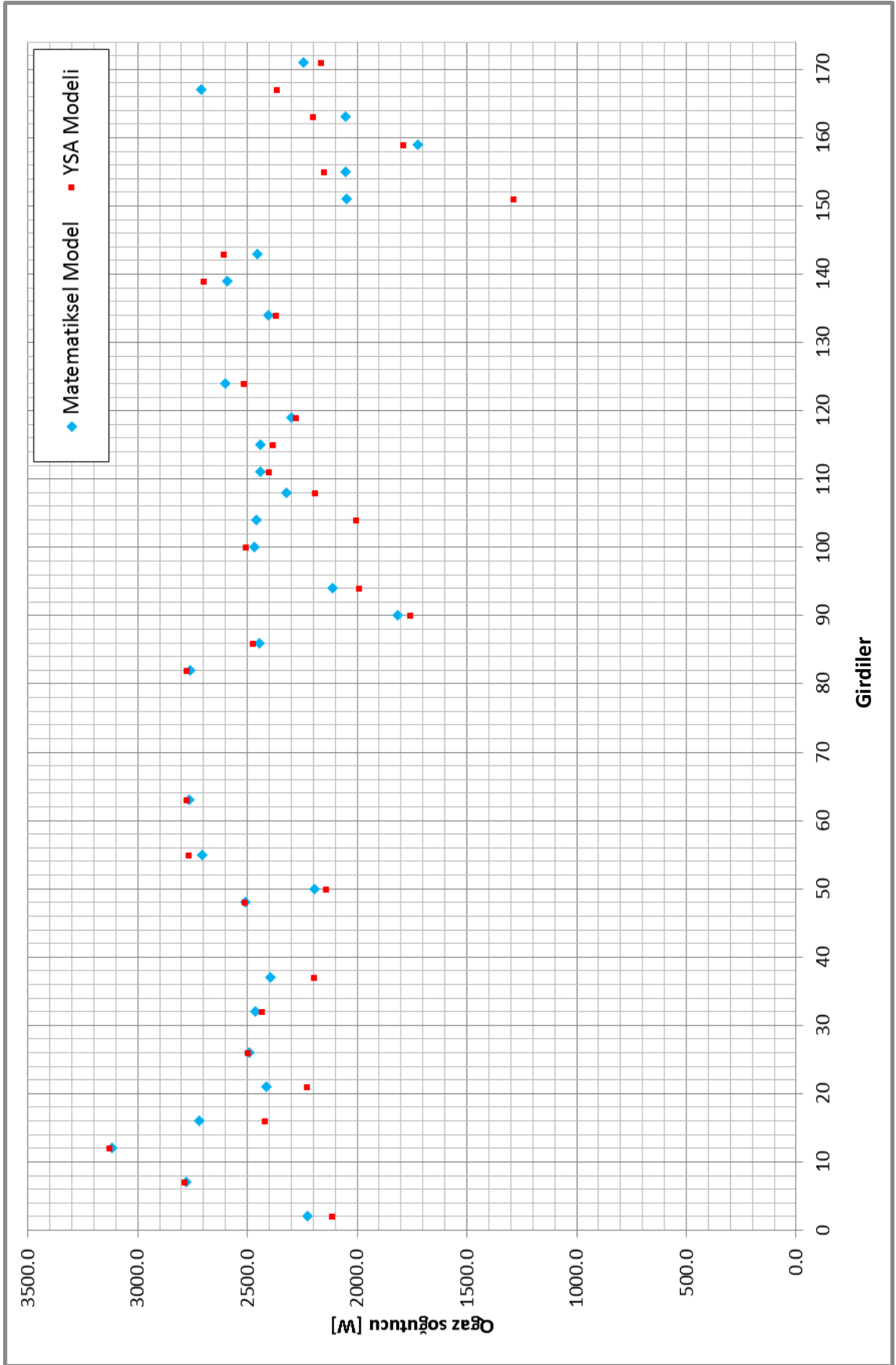
Şekil 6.23 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Kompresör işi



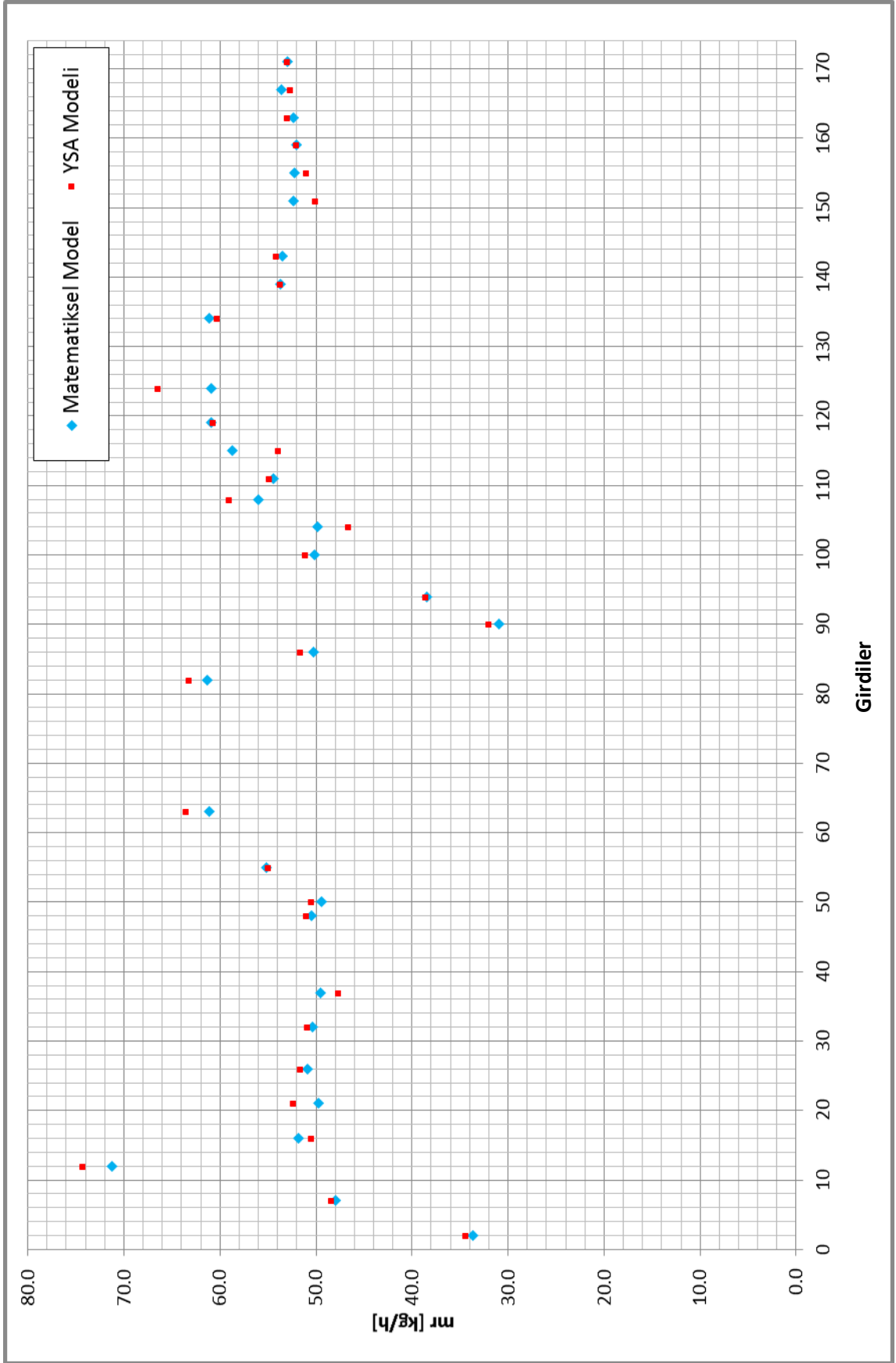
Şekil 6.24 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Fan işi



Şekil 6.25 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Evaporasyon ısısı



Şekil 6.26 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Gaz soğutucu ısı



Şekil 6.27 Serpme grafikte matematiksel model ve MATLAB YSA TEST modeli sonuçları – Soğutucu akışkan debisi

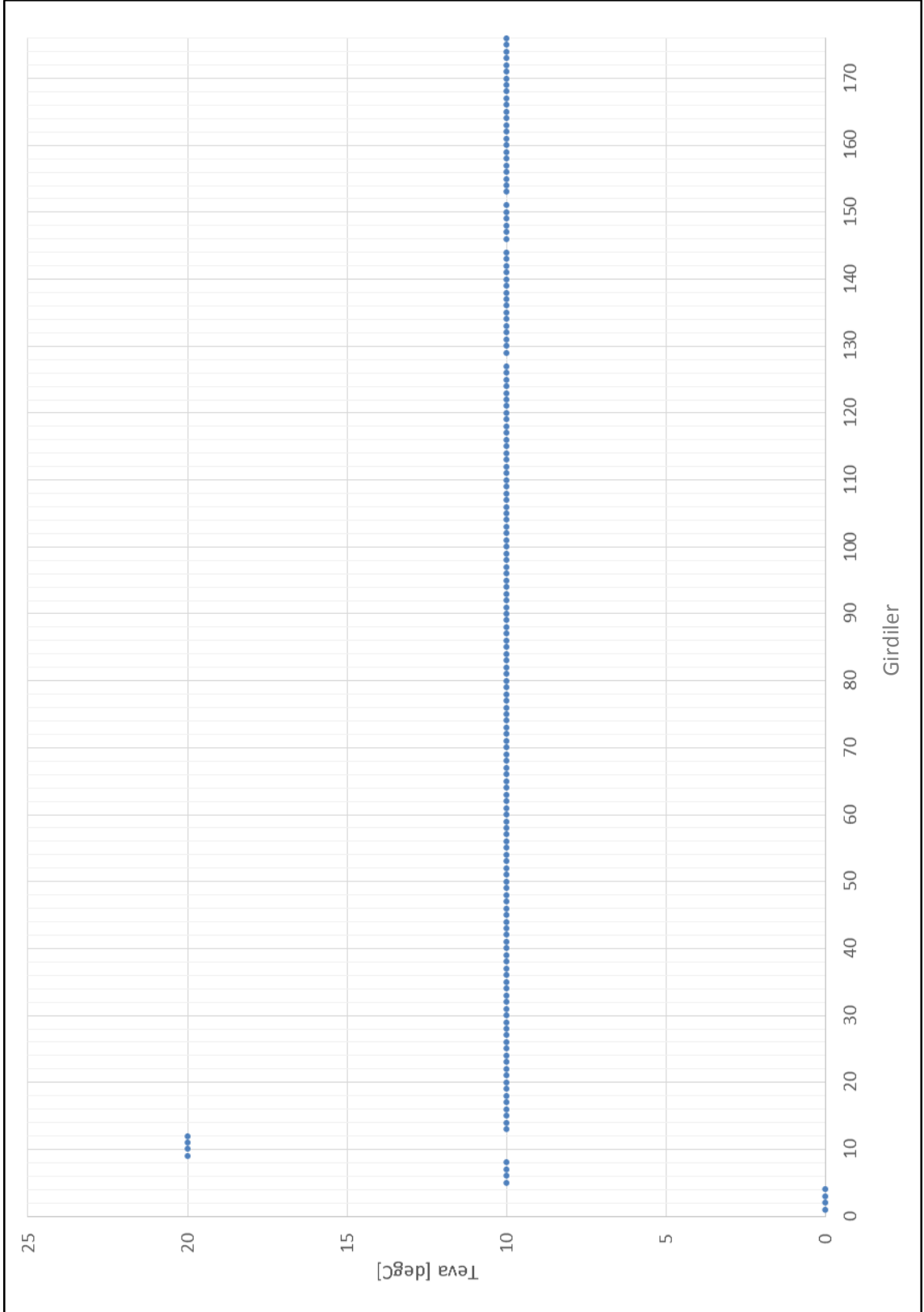
KAYNAKLAR

- [1] Sarkar, J., Bhattacharyya, S. ve Gopal, R., (2007). "Transcritical CO₂ Heat Pump Dryer: Part 1. Mathematical Model and Simulation", Drying Technology, 24(12):1583-1591.
- [2] Sarkar, J., Bhattacharyya, S. ve Gopal, R., (2007). "Transcritical CO₂ Heat Pump Dryer: Part 2. Mathematical Model and Simulation", Drying Technology, 24(12):1593-1600.
- [3] Li, M., Ma, Y., Gong, W. ve Su, W., (2009). "Analysis of CO₂ Transcritical Cycle Heat Pump Dryers", Drying Technology: An International Journal, 27(4):548-554.
- [4] Schmidt, E.L., Klöcker, K., Flacke, N. ve Steimle, F., (1998). "Applying the Transcritical CO₂ Process to a Drying Heat Pump", International Journal of Refrigeration, 21(3):202-211.
- [5] Schmidt, E.L., Klöcker, K. ve Steimle, F., (2000). "Carbon Dioxide as a Working Fluid in Drying Heat Pumps", International Journal of Refrigeration, 24:100-107.
- [6] Neksa, P., (2000). "CO₂ Heat Pump Systems", International Journal of Refrigeration, 25:421-427.
- [7] Mancini, F., Minetto, S. ve Fornasieri, E., (2010). "Thermodynamic Analysis and Experimental Investigation of a CO₂ Household Heat Pump Dryer", International Journal of Refrigeration, 34:851-858.
- [8] Agrawal, N. ve Bhattacharyya, S., (2007). "Optimised Transcritical CO₂ Heat Pumps: Performance Comparison of Capillary Tubes Against Expansion Valves", International Journal of Refrigeration, 31:388-395.
- [9] Honma, M., Tamura, T., Yakumaru, Y. ve Nishiwaki, F., (2006). "Experimental Study on Compact Heat Pump System for Clothes Drying Using CO₂ as a Refrigerant", 7th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, 2007, Norway.
- [10] Mohanraj, M., Jayaraj, S. ve Muraleedharan, C., (2011). "Applications of Artificial Neural Networks for Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pump Systems – A Review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, India.

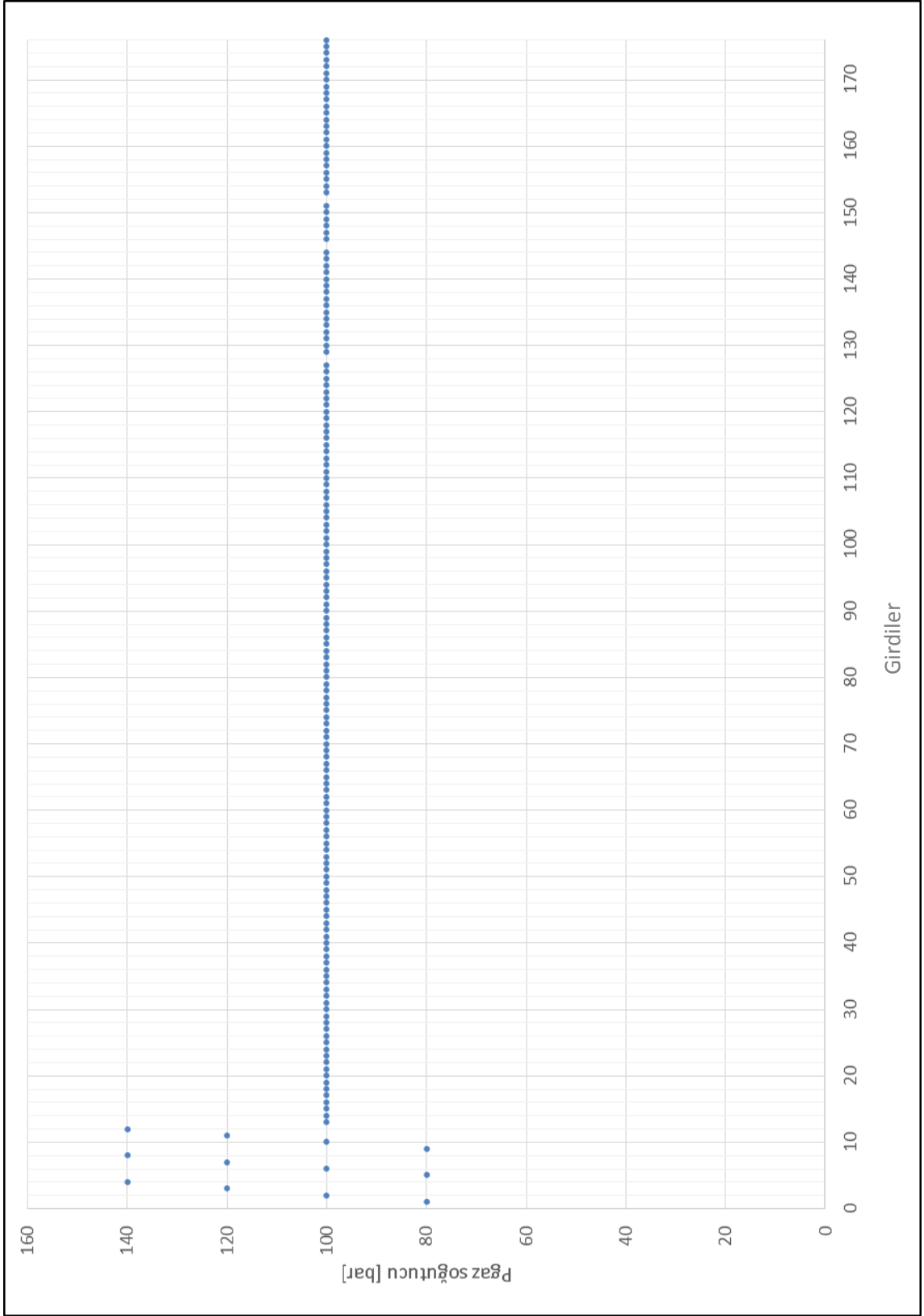
- [11] Erdem, S. ve Heperkan, H., (2014). "Numerical Investigation of the Effect of Using CO₂ as the Refrigerant in a Heat Pump Tumble Dryer System", Drying Technology, 32(16):1923-1930.
- [12] Çengel, Y. ve Boles M.A., (1996). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, İkinci Baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [13] Ceylan, İ., Aktaş, M. ve Doğan, H., (2006). "Energy and Exergy Analysis of Timber Dryer Assisted Heat Pump", Applied Thermal Engineering, 27:216-222.
- [14] Ameen, A. ve Bari, S., (2003). "Investigation into the Effectiveness of Heat Pump Assisted Clothes Dryer for Humid Tropics", Energy and Conversion Management, 2003, Australia, 45:1397-1405.
- [15] Minea, V., (2012). "Drying Heat Pumps Part 1: System Integration", International Journal of Refrigeration, 36:643-658.
- [16] White, S.D., Yarrall, M.G., Cleland, D.J. ve Hedley, R.A., (2001). "Modelling the Performance of a Transcritical CO₂ Heat Pump for HighTemperature Heating", International Journal of Refrigeration, 25:479-486.
- [17] Silvia, M., Brignoli, R., Banasiak, K., Hafner, A. ve Zilio, C., (2013). "Performance Assessment of an Off-The-Shelf R744 Heat Pump Equipped with an Ejector", Applied Thermal Engineering, 59:568-575.
- [18] Pal, U.S. ve Khan, M.K., (2009). "Performance Evaluation of Heat Pump Dryer", Journal of Food Science Technology, 47(2):230-234.
- [19] Elmas, Ç., (2011). Yapay Zeka Uygulamaları, İkinci baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [20] Öztemel, E., (2012). Yapay Sinir Ağları, Üçüncü baskı, Papatya Yayıncılık, İstanbul
- [21] Sağiroğlu, Ş., (2003). Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları, Birinci baskı, Ufuk Kitabevi, Kayseri.
- [22] Lawrance, J., (1994). Introduction to Neural Networks, Sixth Edition, California Scientific Software, California.

MATLAB MATEMATİK MODELİ GİRDİ VE ÇIKTILARI

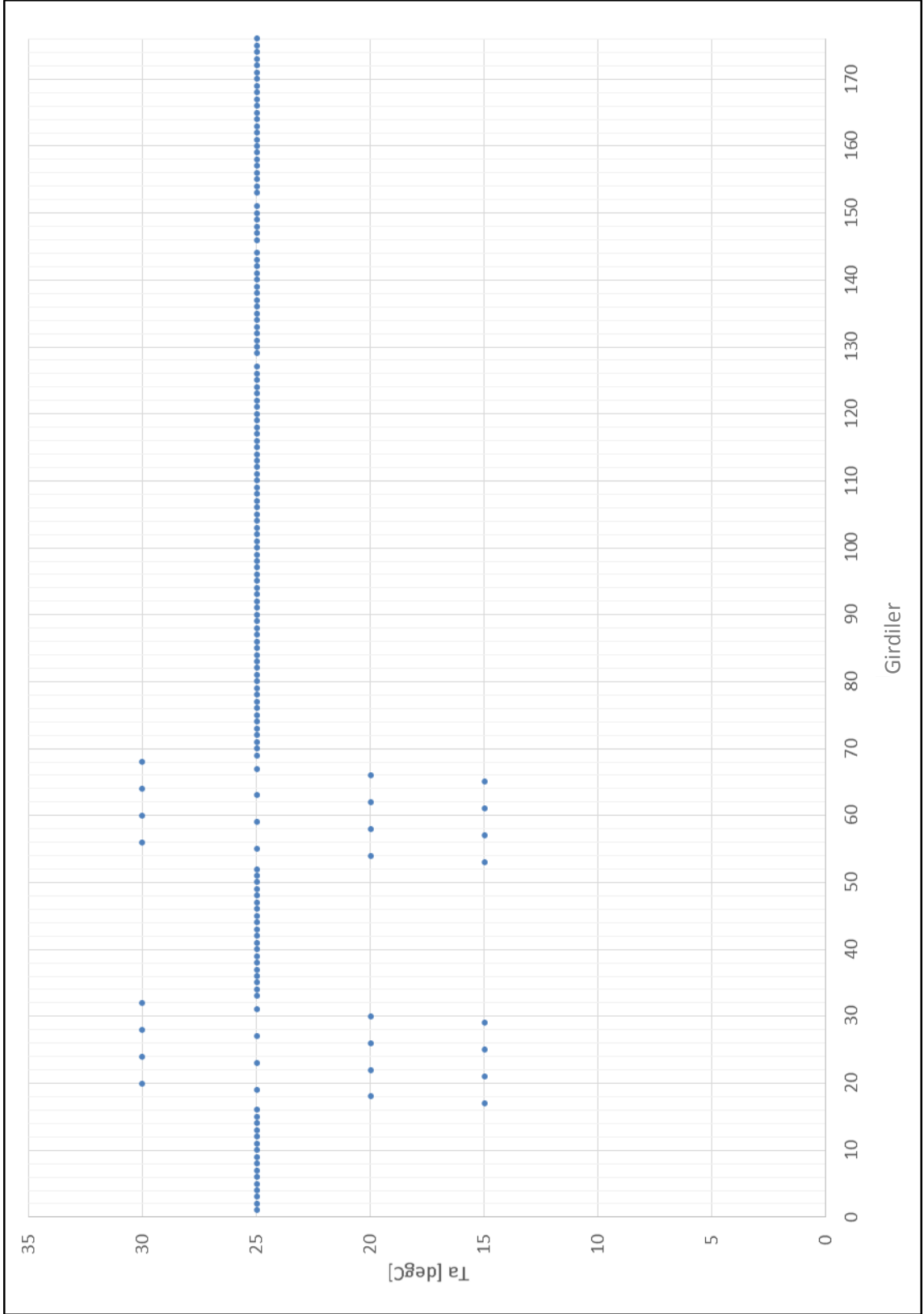
Bölüm 4’ te anlatılan matematiksel model girdi ve sonuçlarının grafikleri aşağıda verilmiştir.



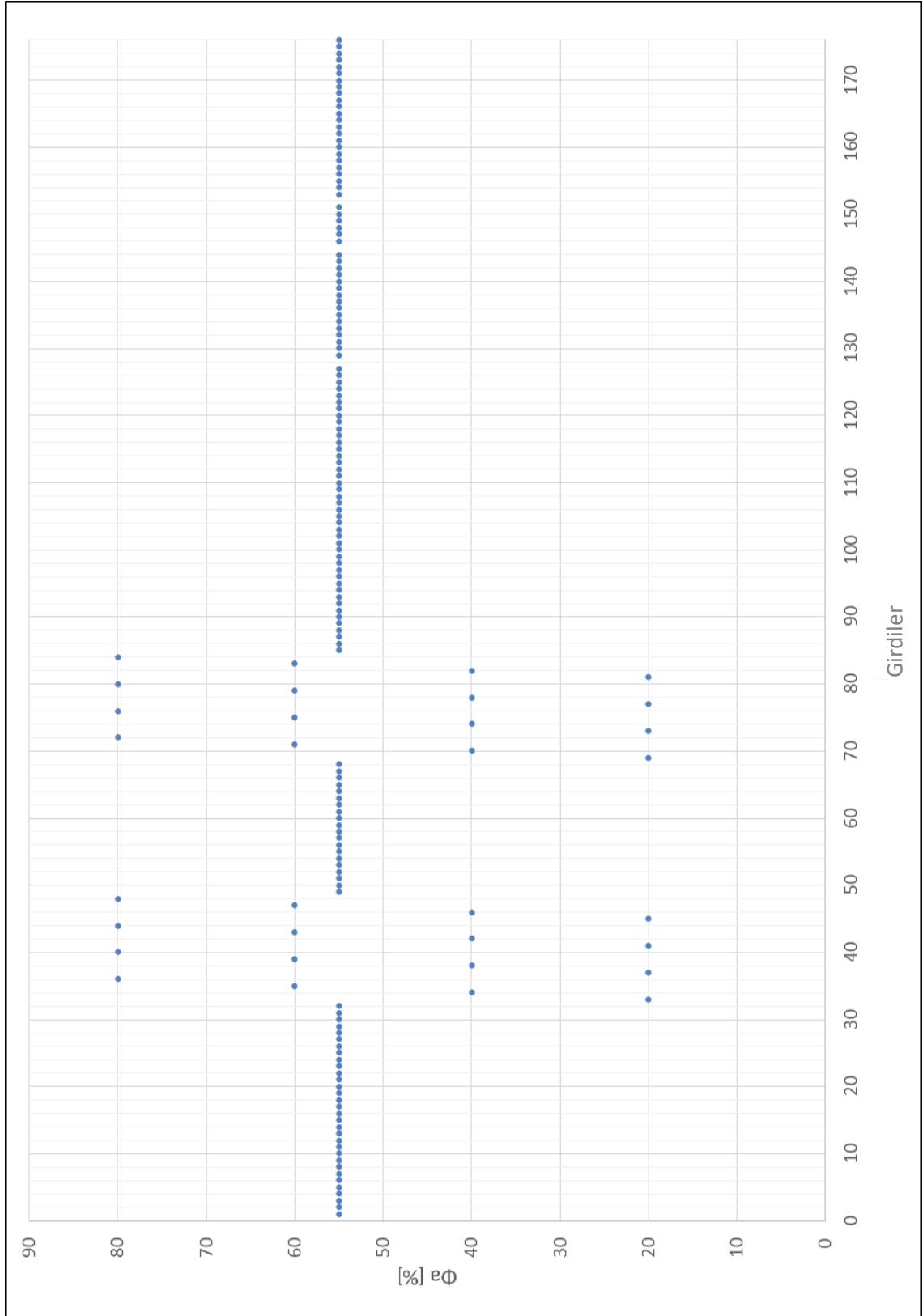
Şekil A.1 Matematiksel model giriş parametresi – Evaporasyon sıcaklığı



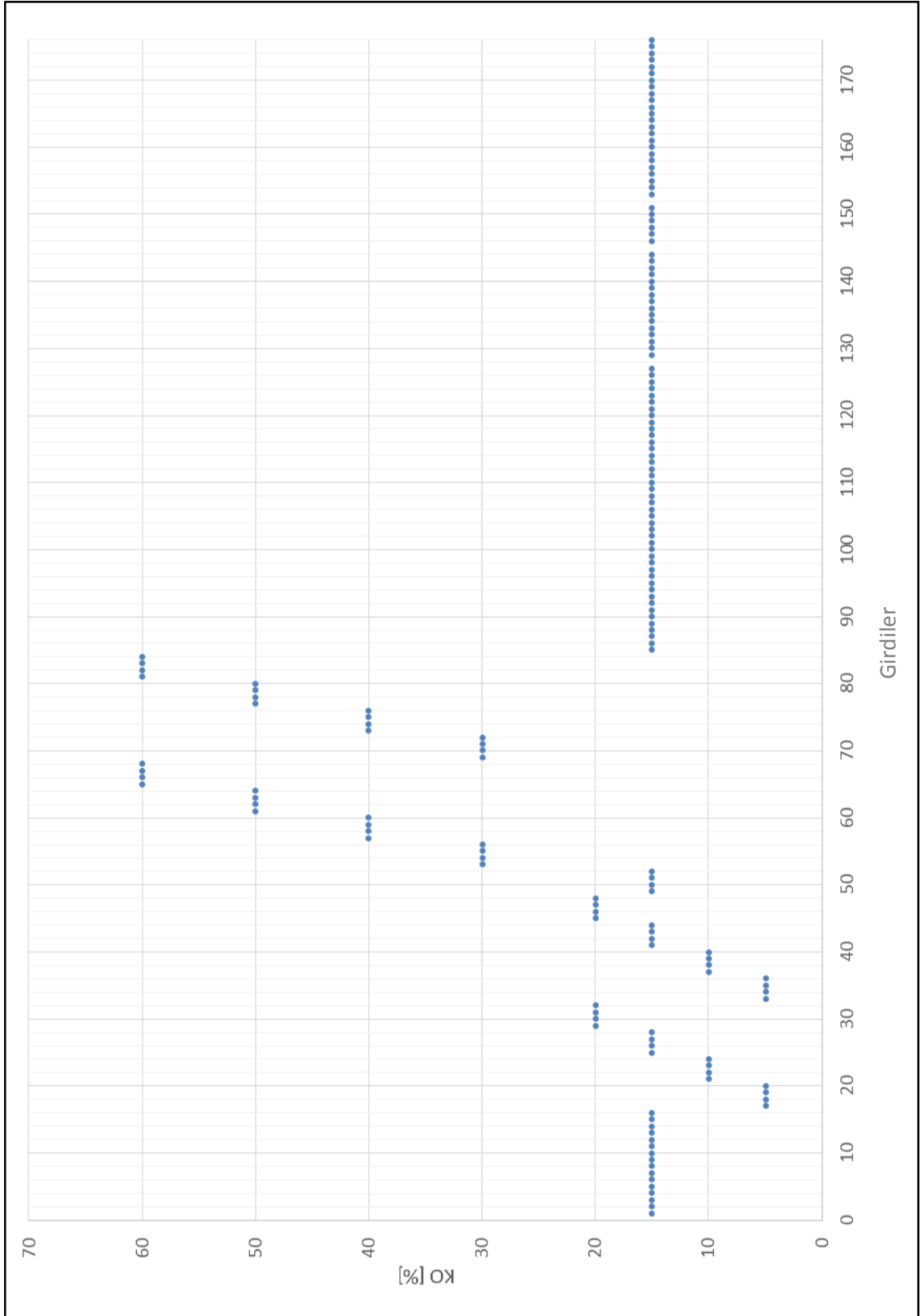
Şekil A.2 Matematiksel model giriş parametresi – Gaz soğutucu basıncı



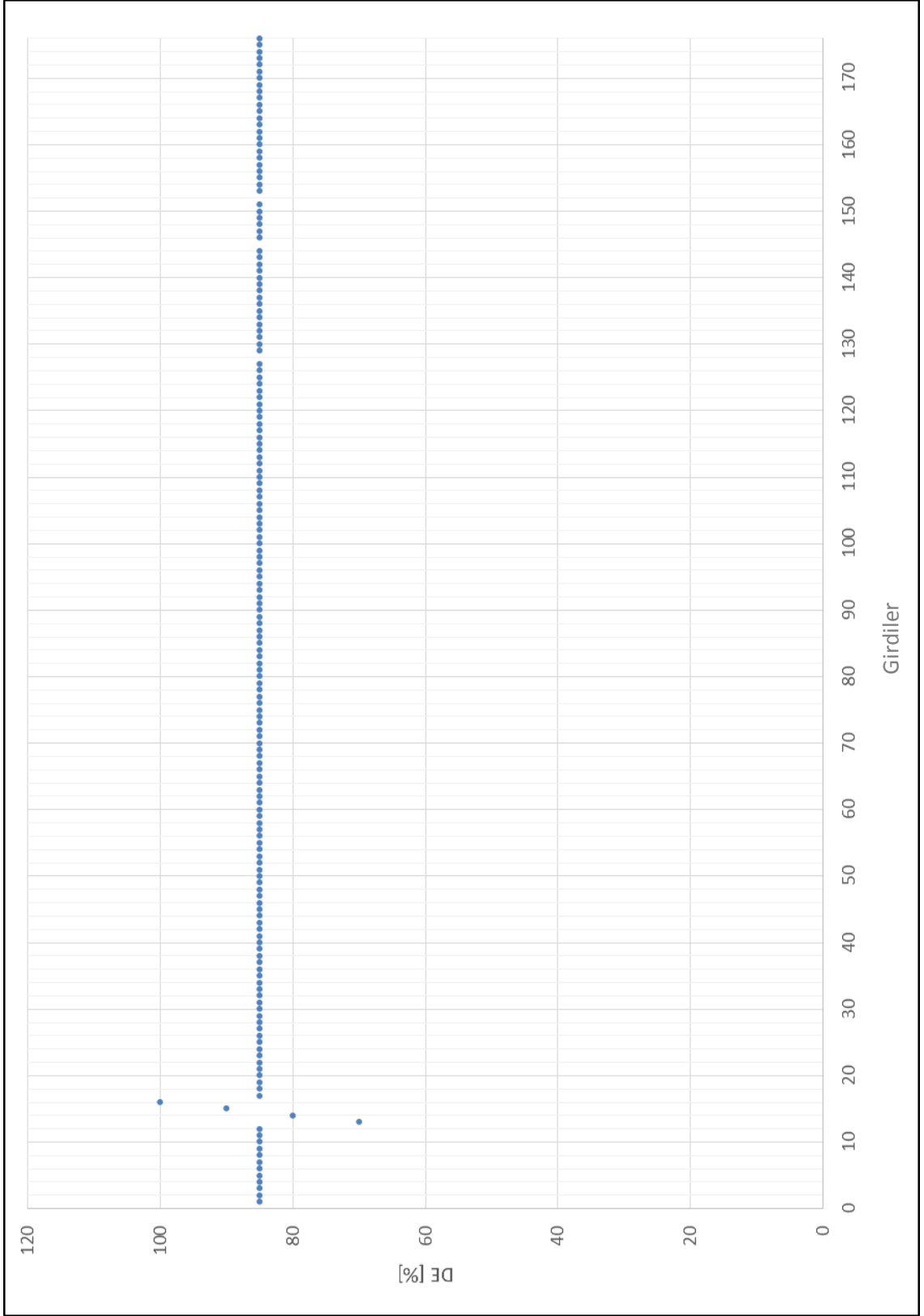
Şekil A.3 Matematiksel model giriş parametresi – Hava sıcaklığı



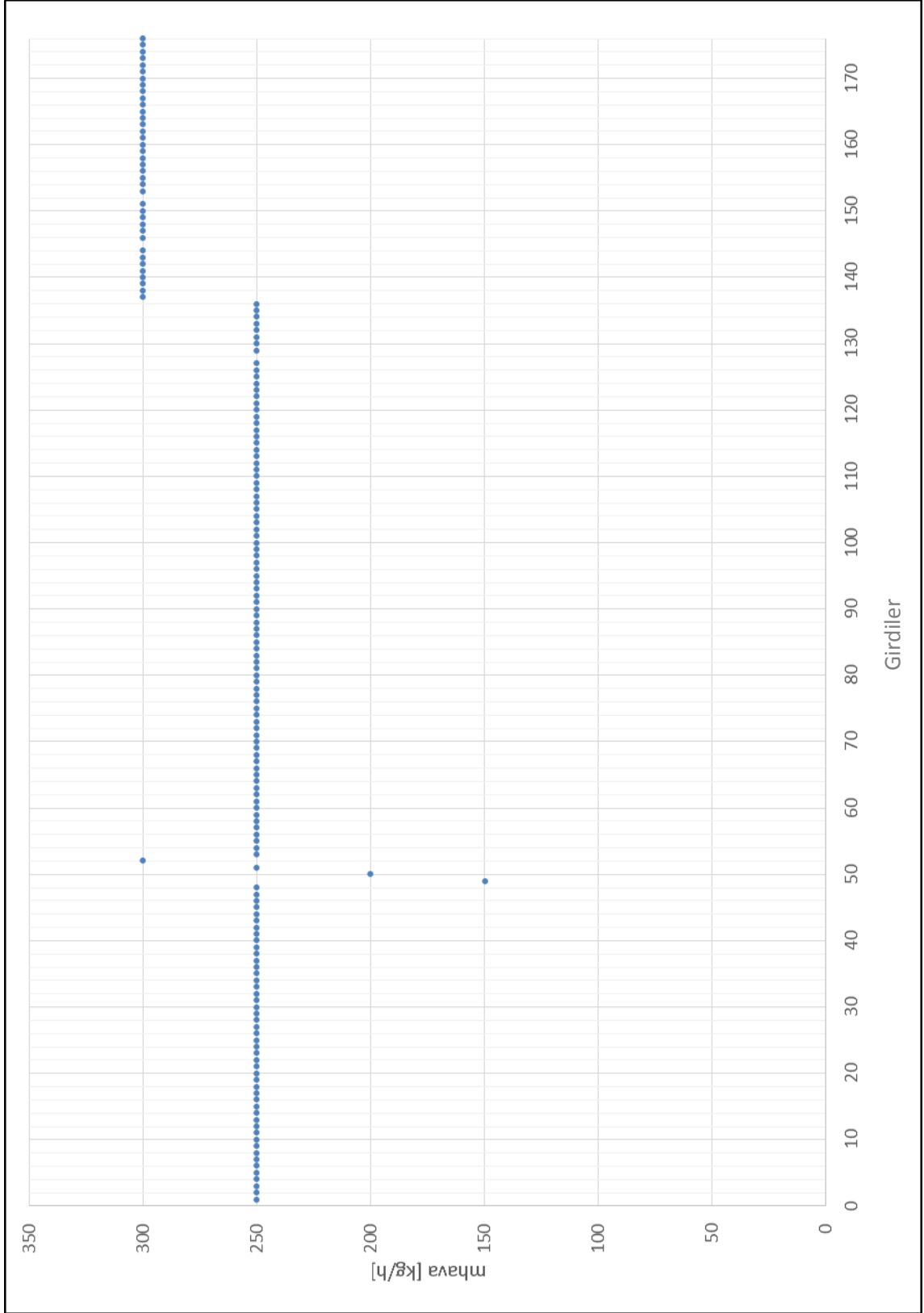
Şekil A.4 Matematiksel model giriş parametresi – Havanın bağıl nemi



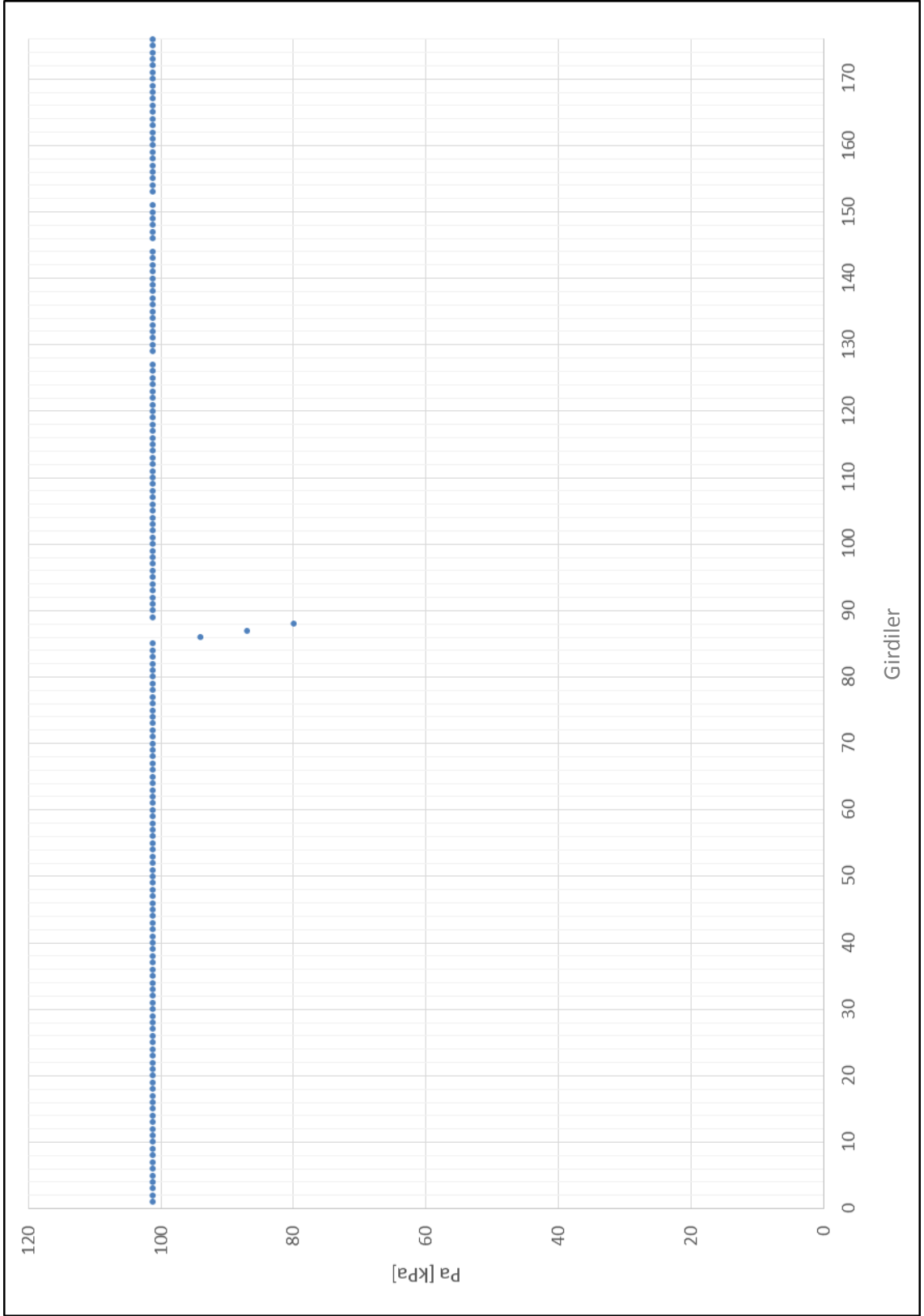
Şekil A.5 Matematiksel model giriş parametresi – KO



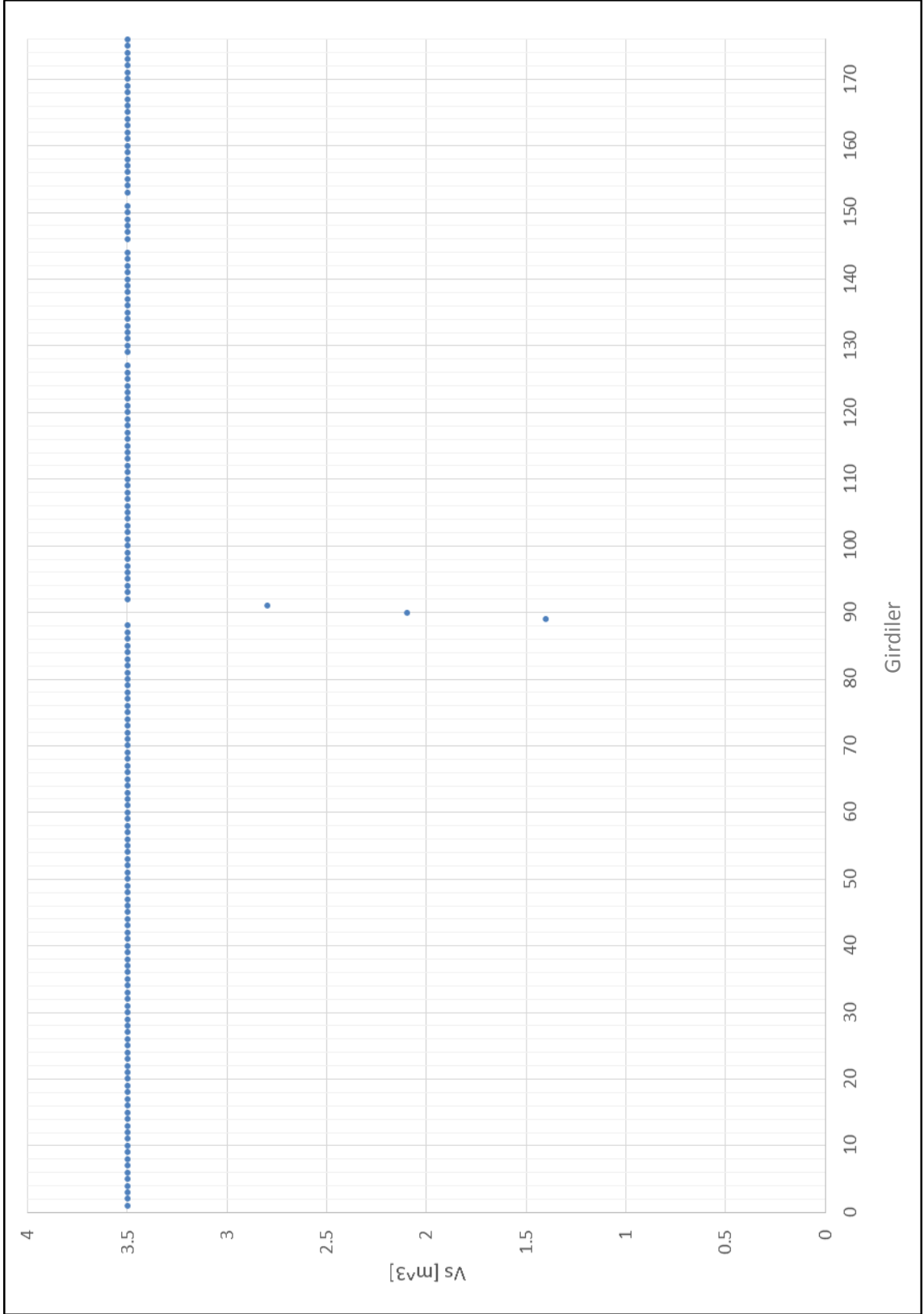
ŞekilA.6 Matematiksel model giriş parametresi – DE



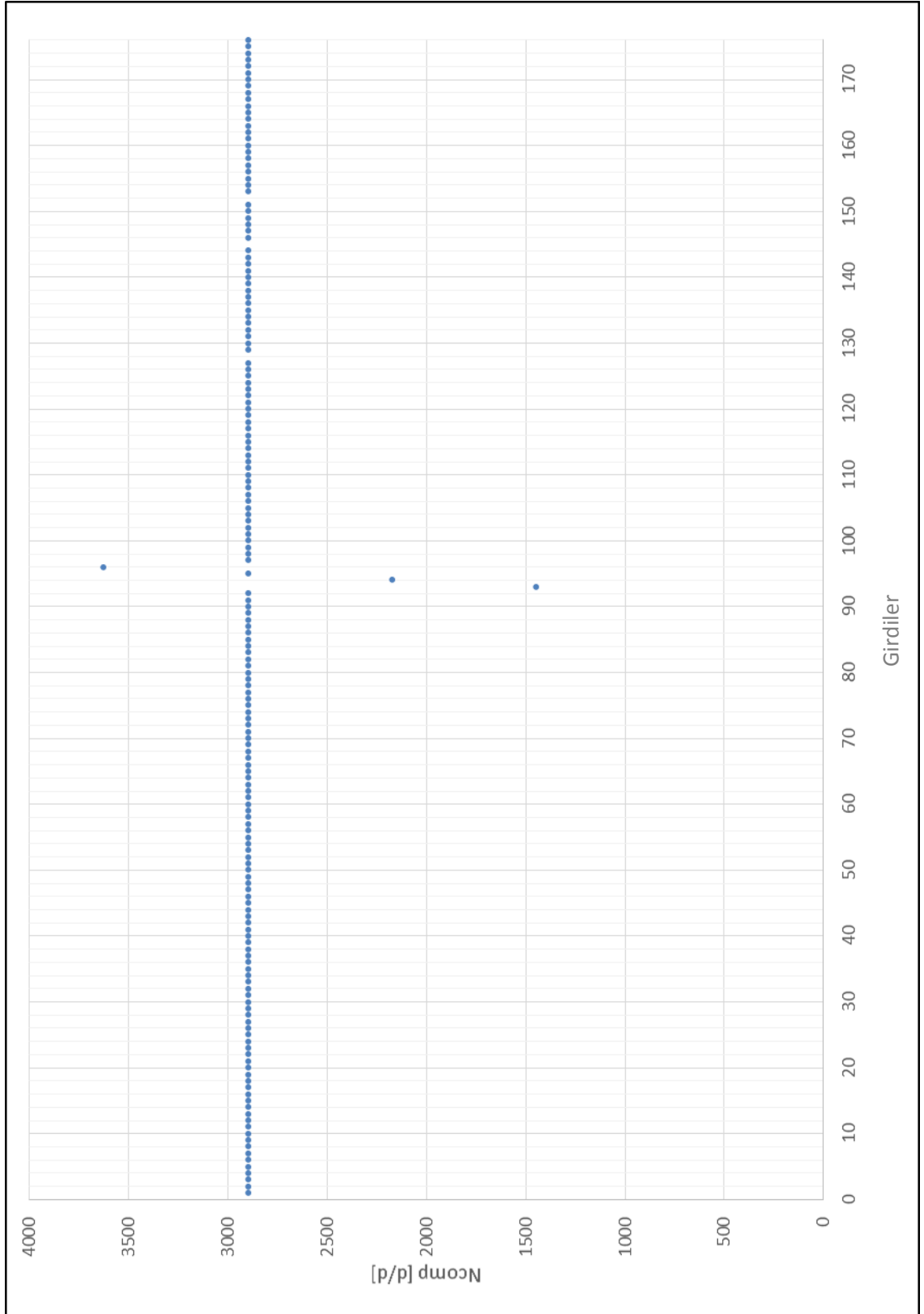
Şekil A.7 Matematiksel model giriş parametresi – Havanın kütleli debisi



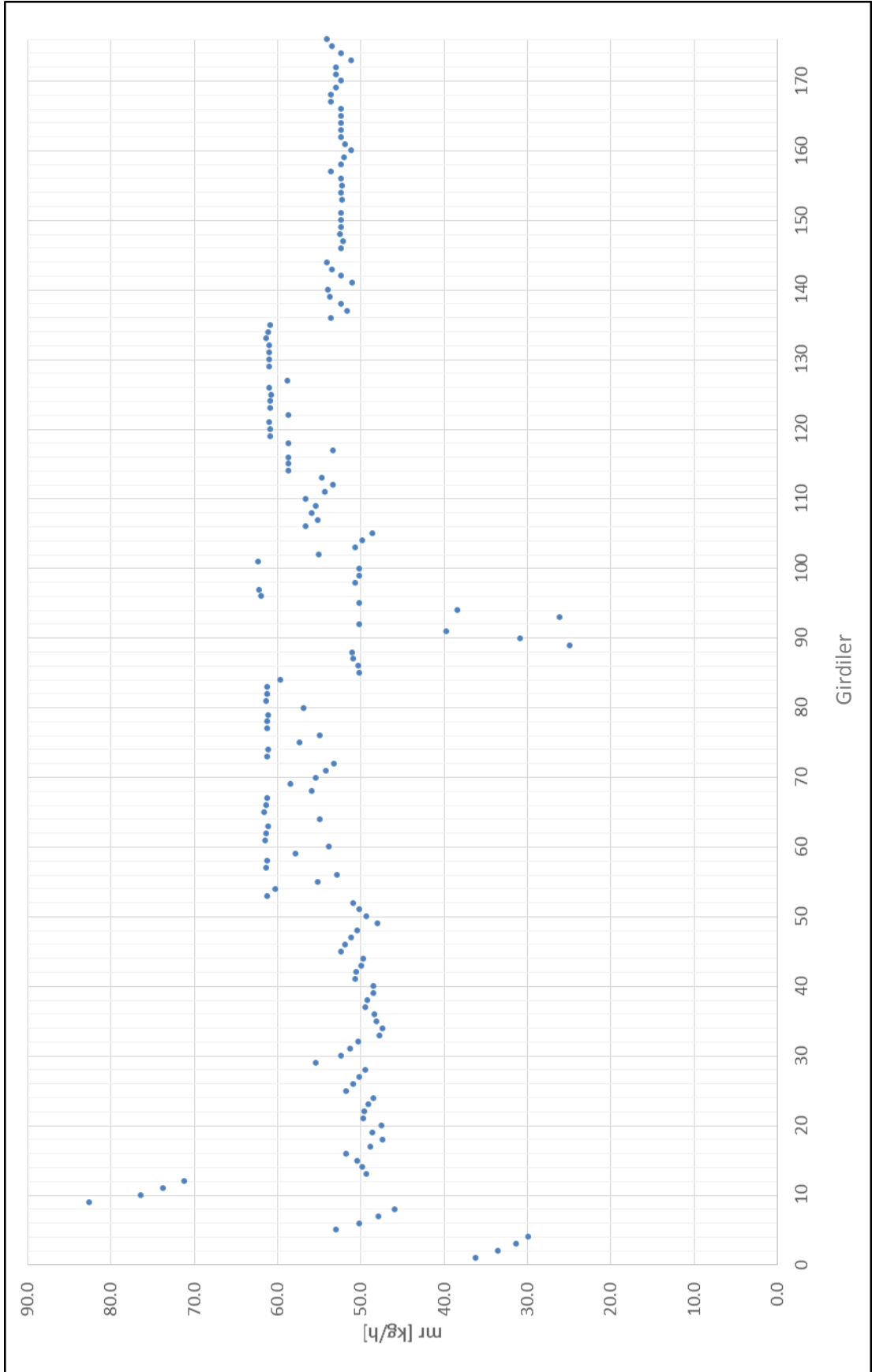
Şekil A.8 Matematiksel model giriş parametresi – Hava basıncı



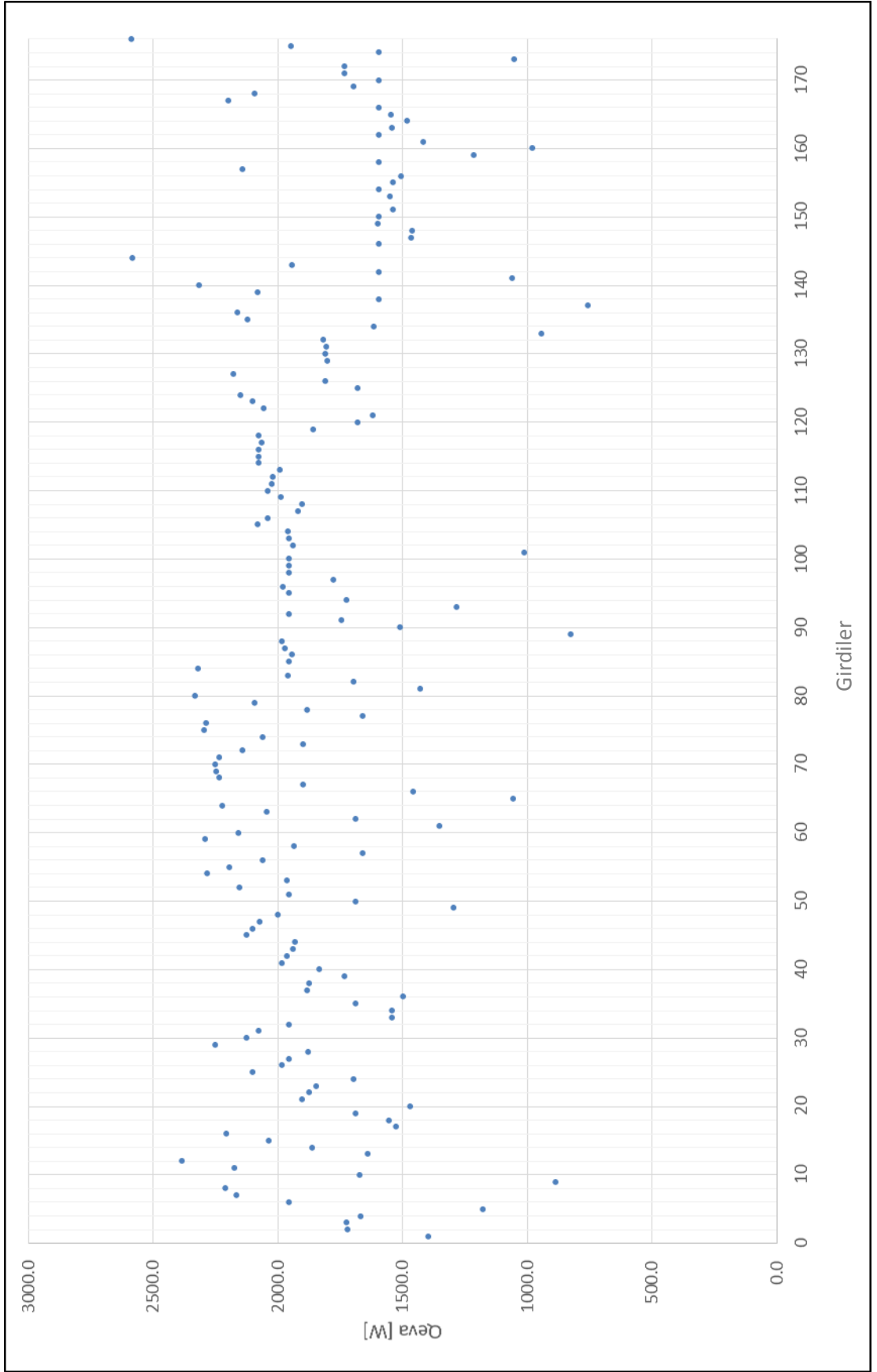
Şekil A.9 Matematiksel model giriş parametresi – Kompresör silindir hacmi



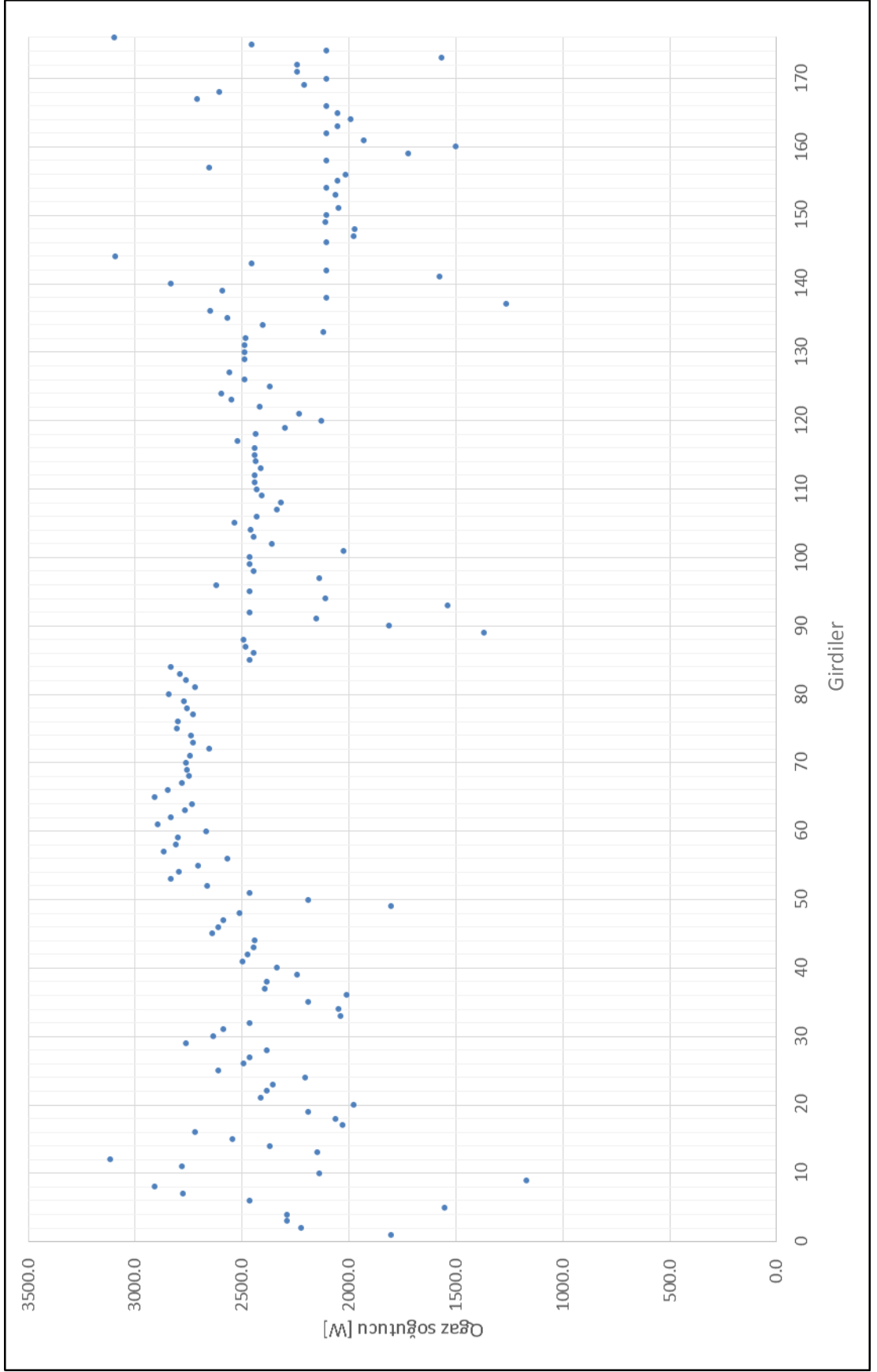
Şekil A.10 Matematiksel model giriş parametresi – Kompresör devri



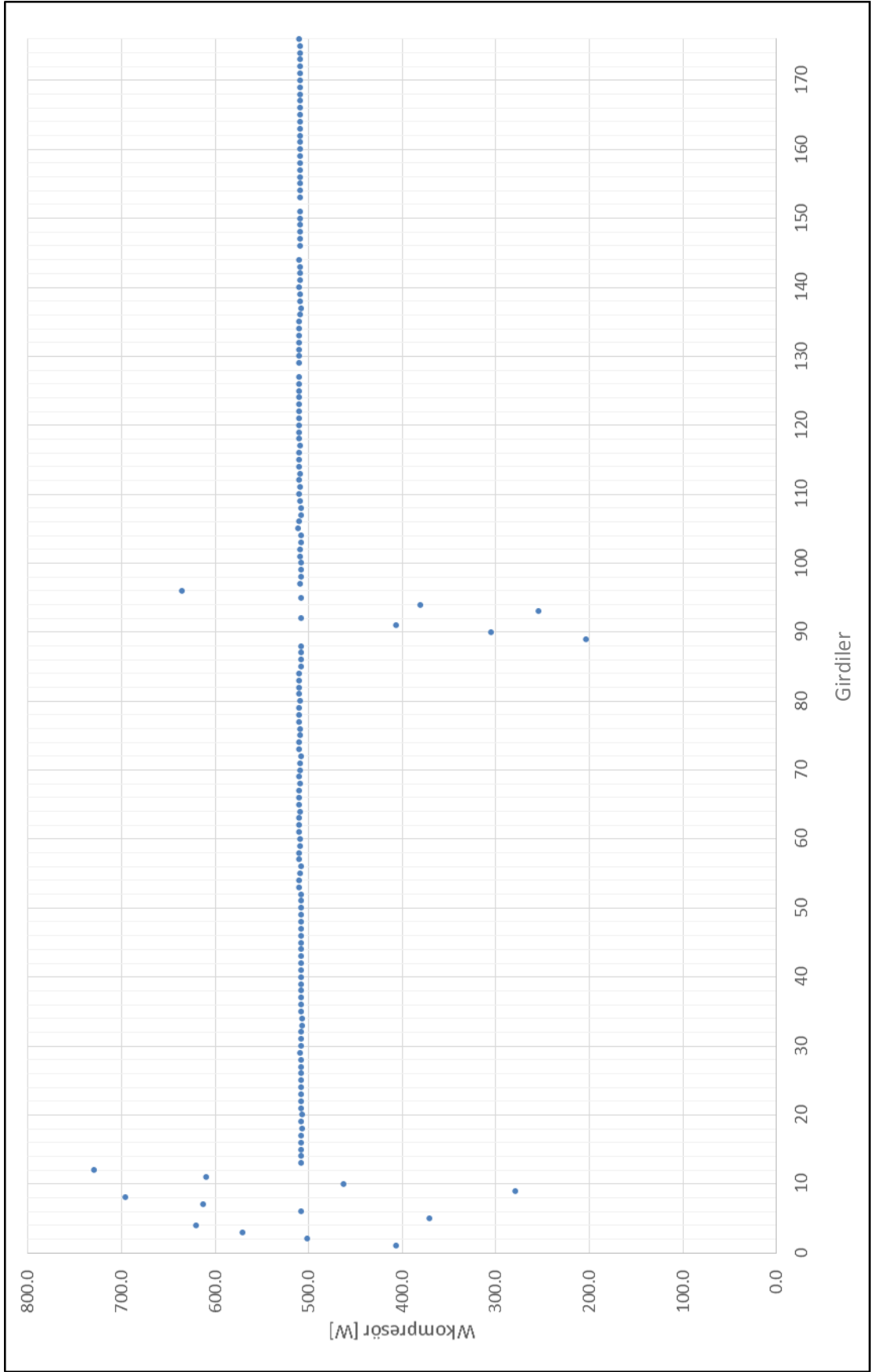
Şekil A.11 Matematiksel model sonuç – Soğutucu akışkan kütleli debisi



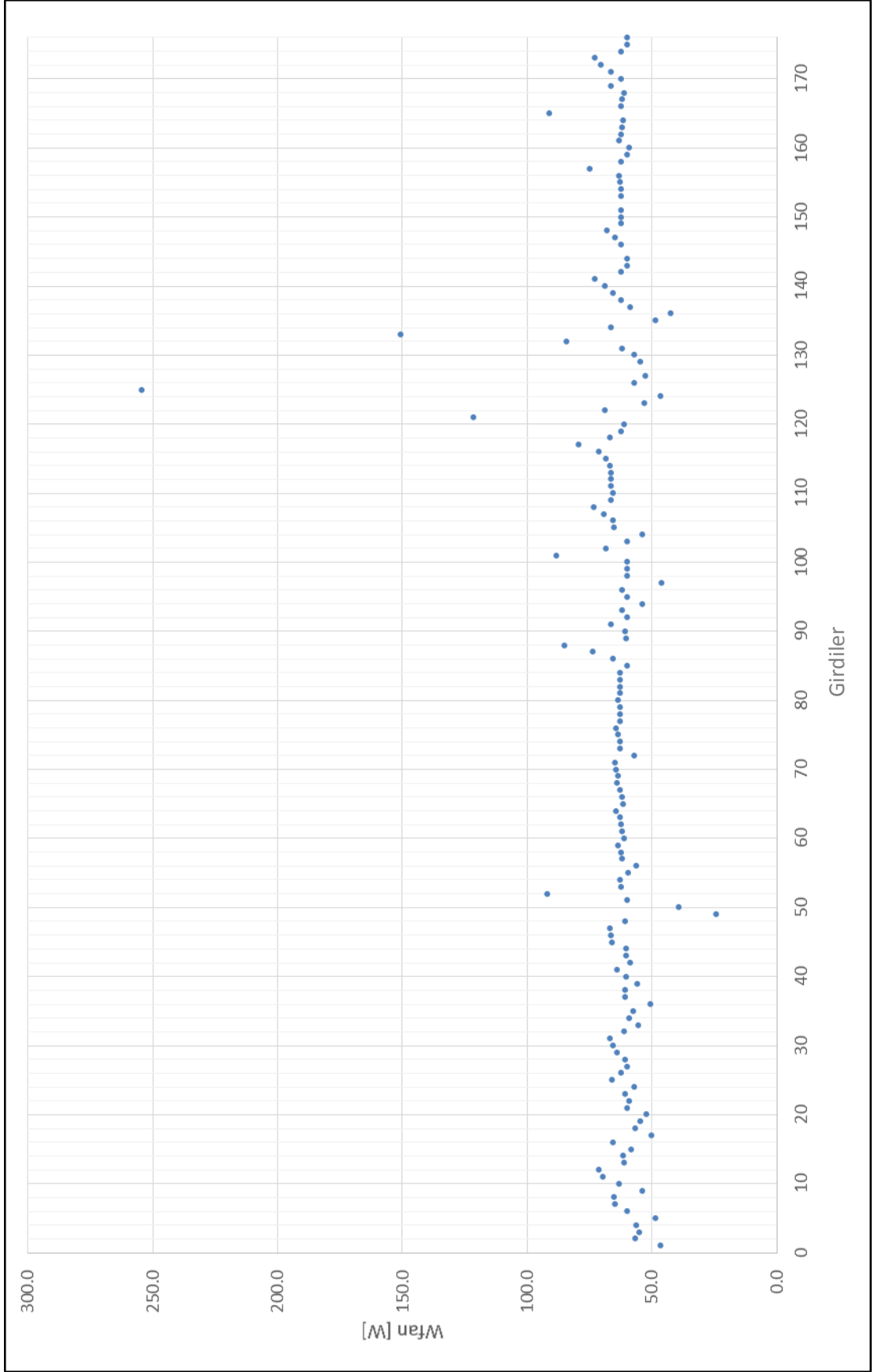
Şekil A.12 Matematiksel model sonuç – Evaporasyon ısısı



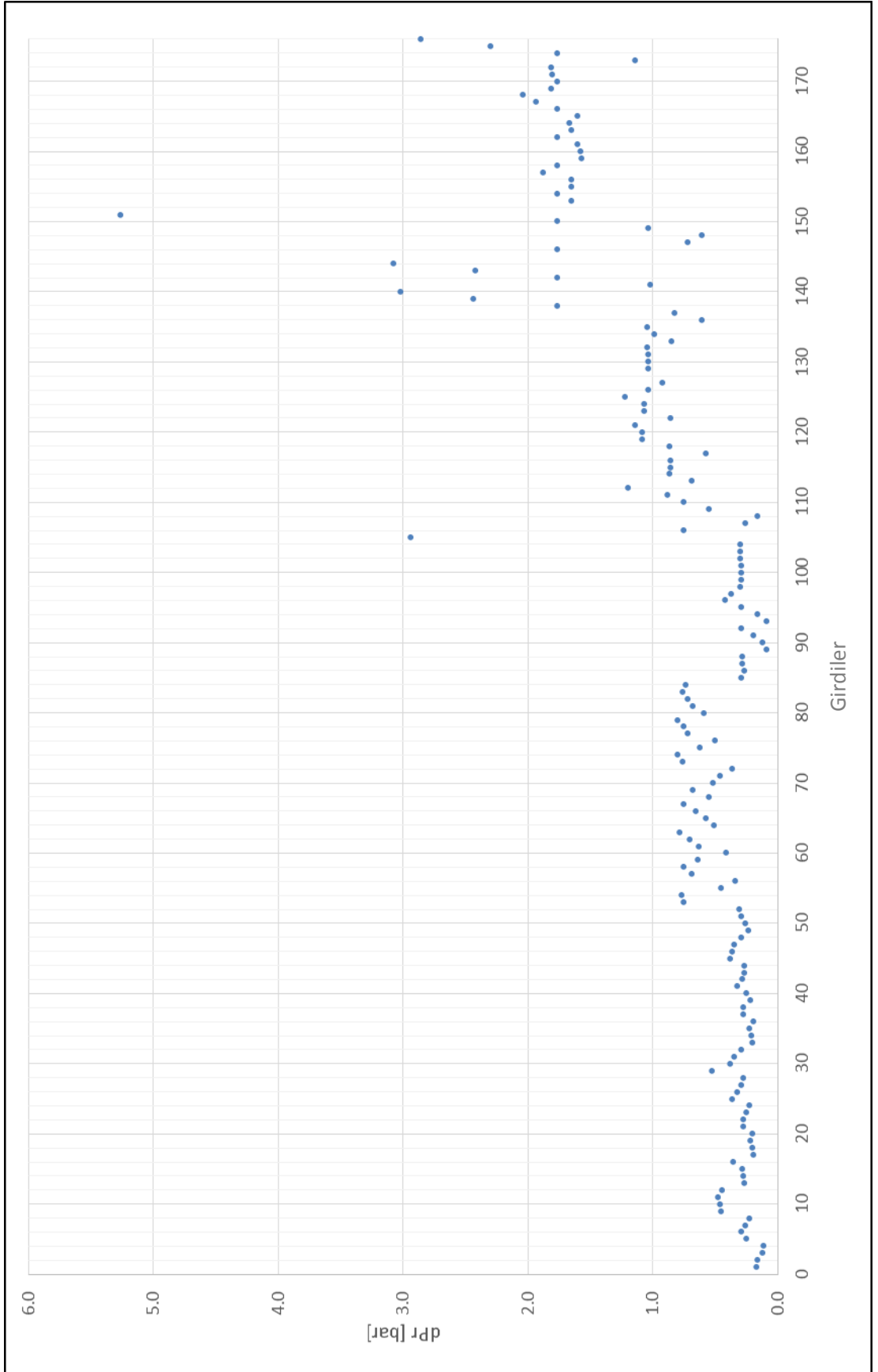
Şekil A.13 Matematiksel model sonuç – Gaz soğutucu ısısı



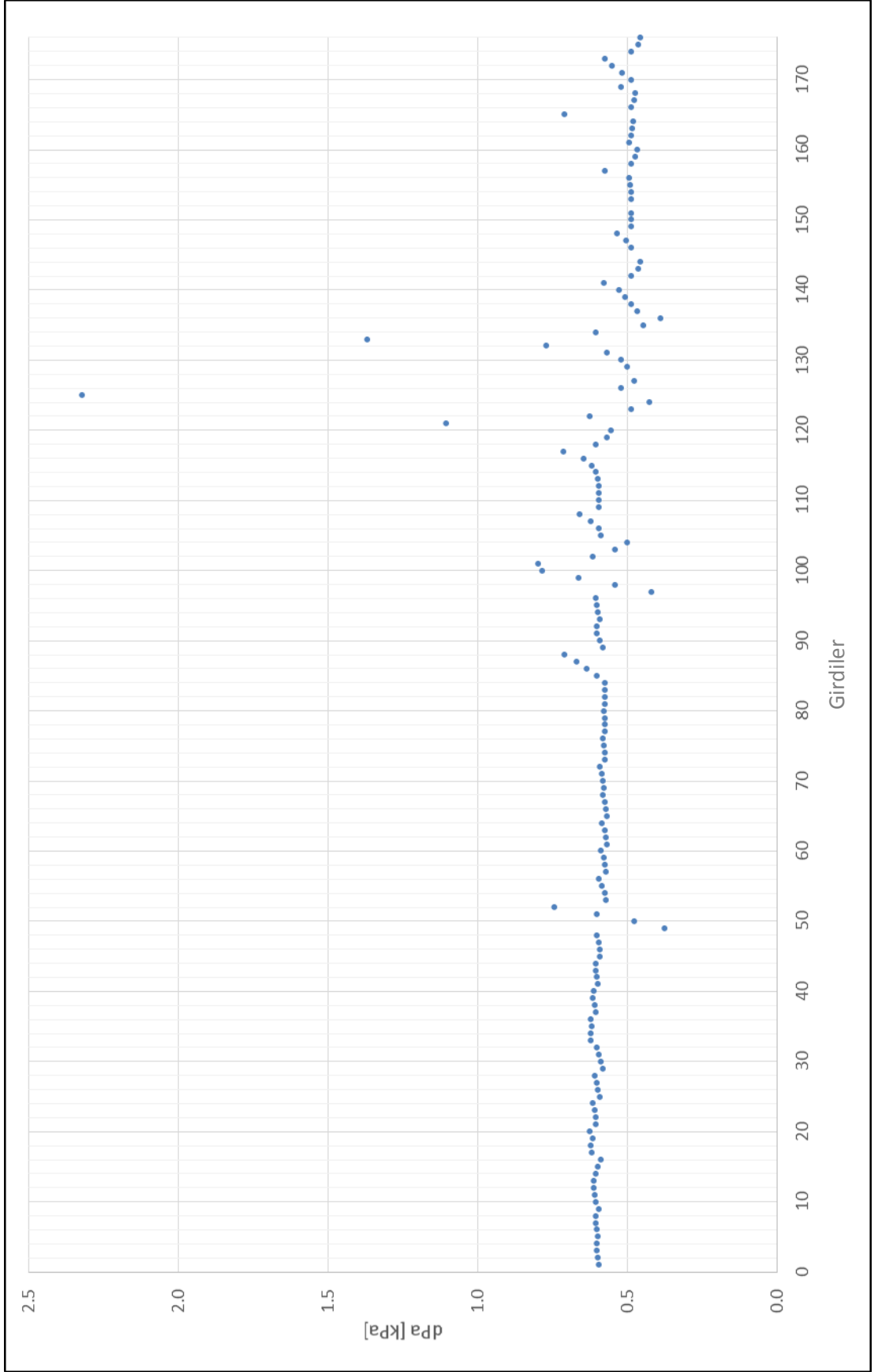
Şekil A.14 Matematiksel model sonuç – Kompresör işi



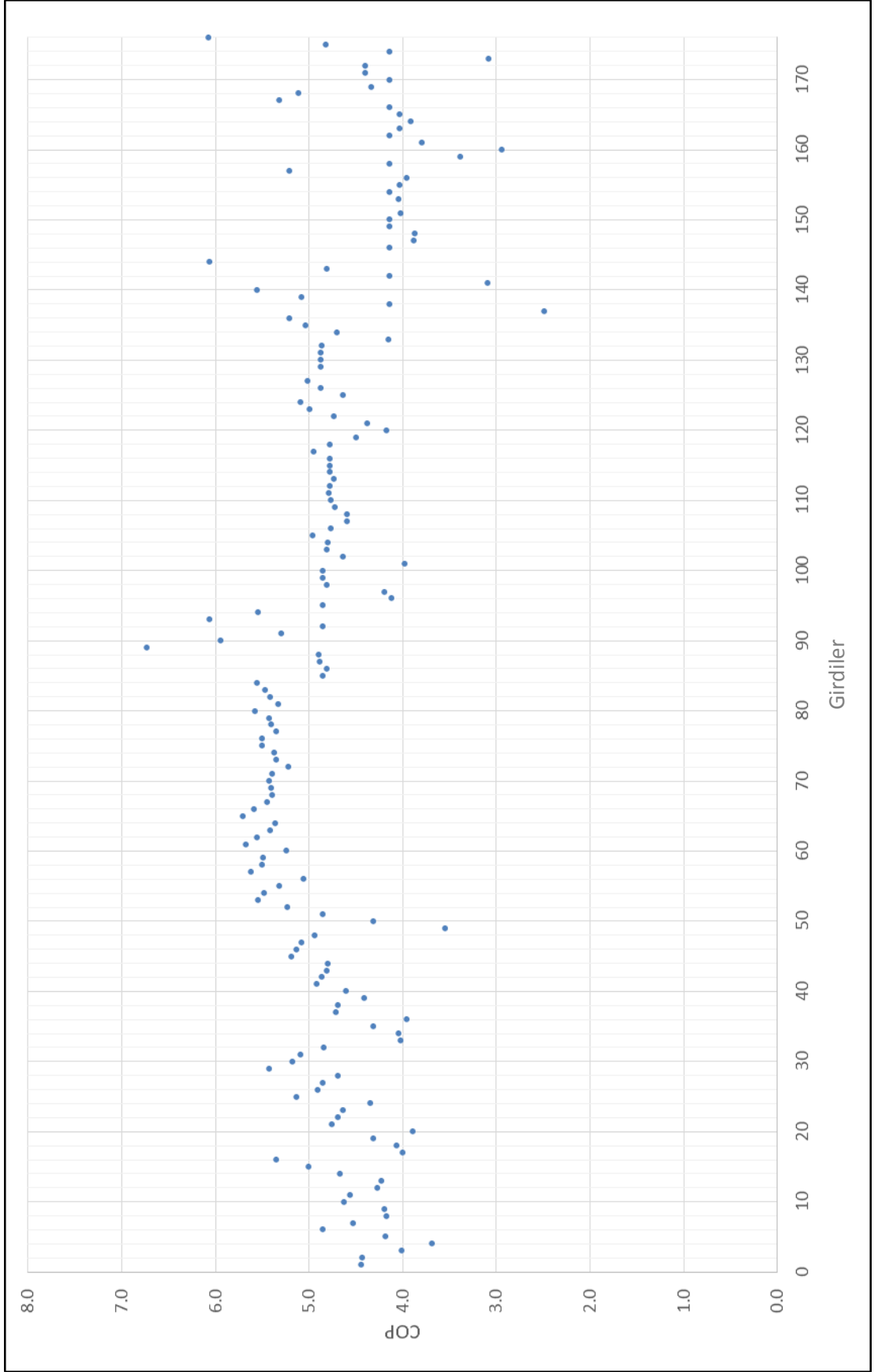
Şekil A.15 Matematiksel model sonuç – Fan işi



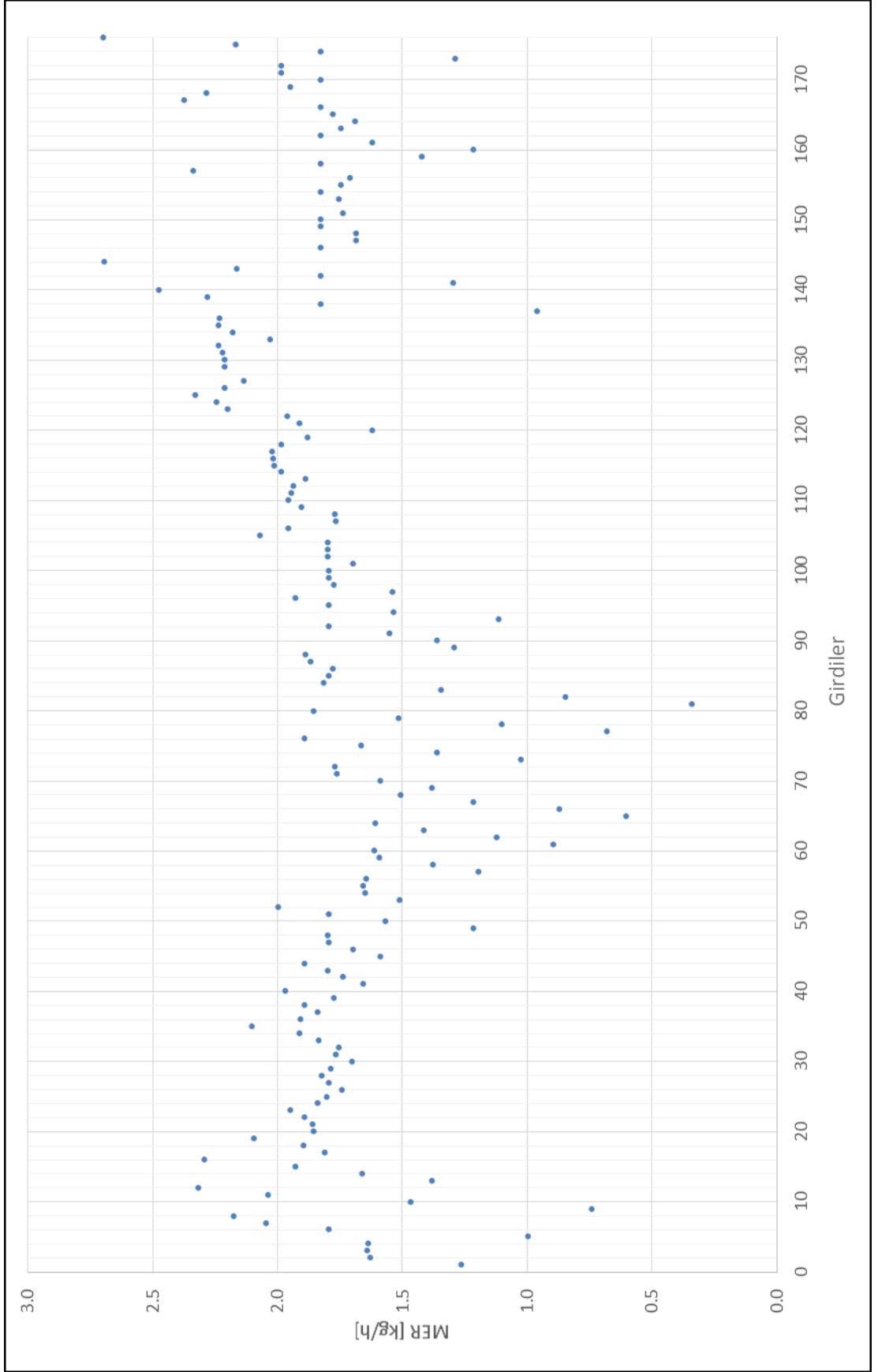
Şekil A.16 Matematiksel model sonuç – Soğutucu akışkan tarafı basınç düşüşü



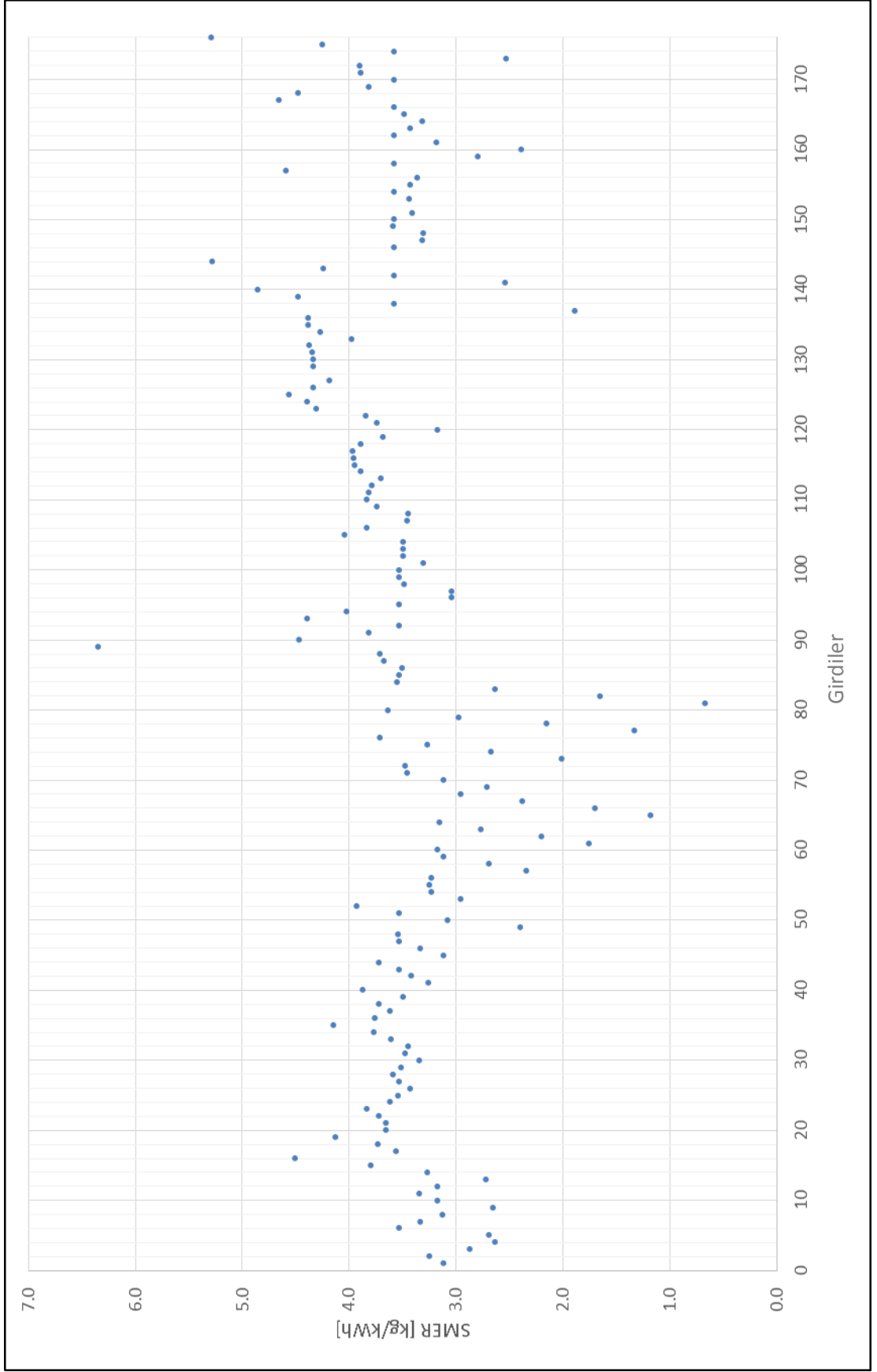
Şekil A.17 Matematiksel model sonuç – Hava tarafı basınç düşüşü



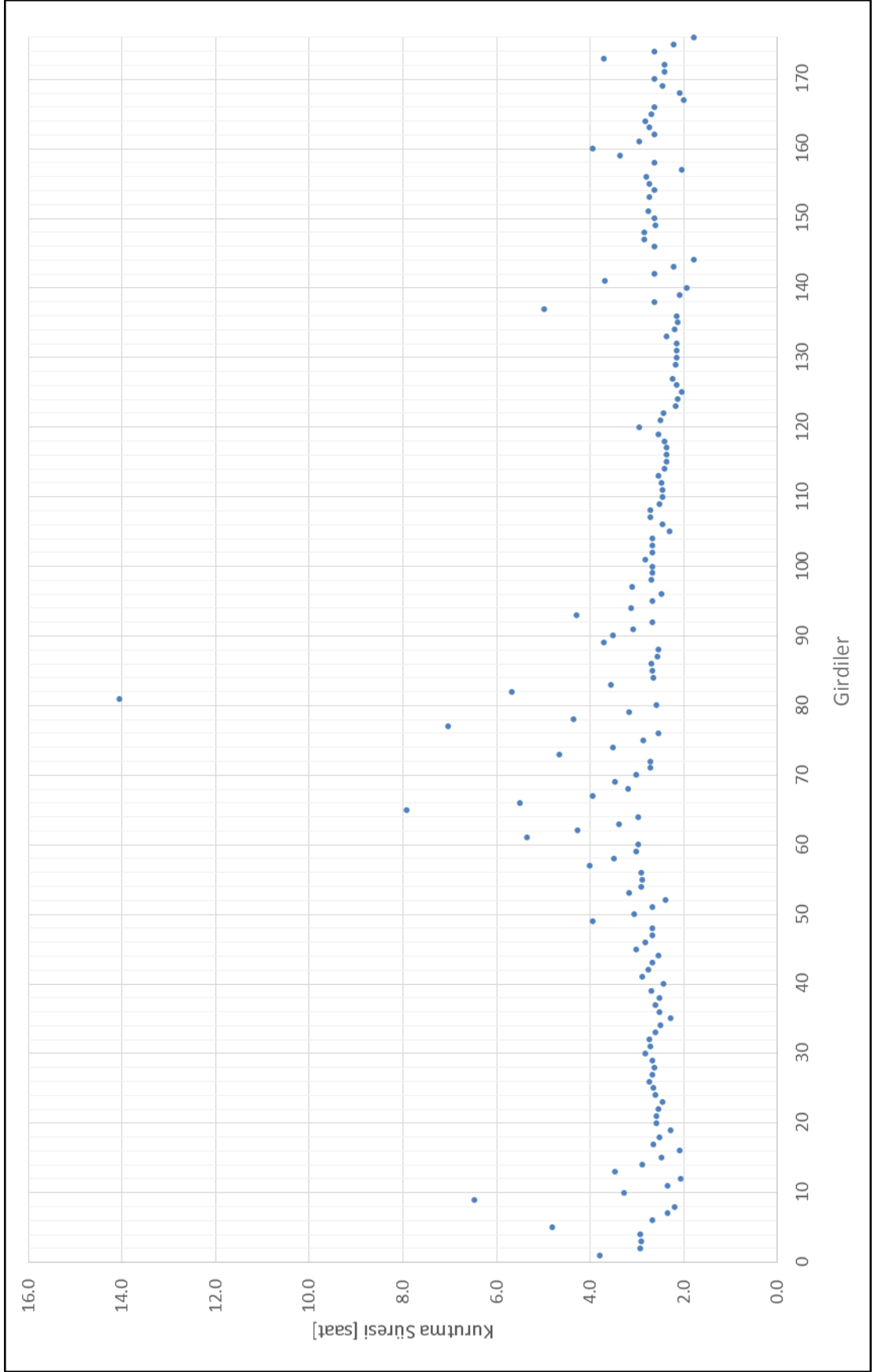
Şekil A.18 Matematiksel model sonuç – COP



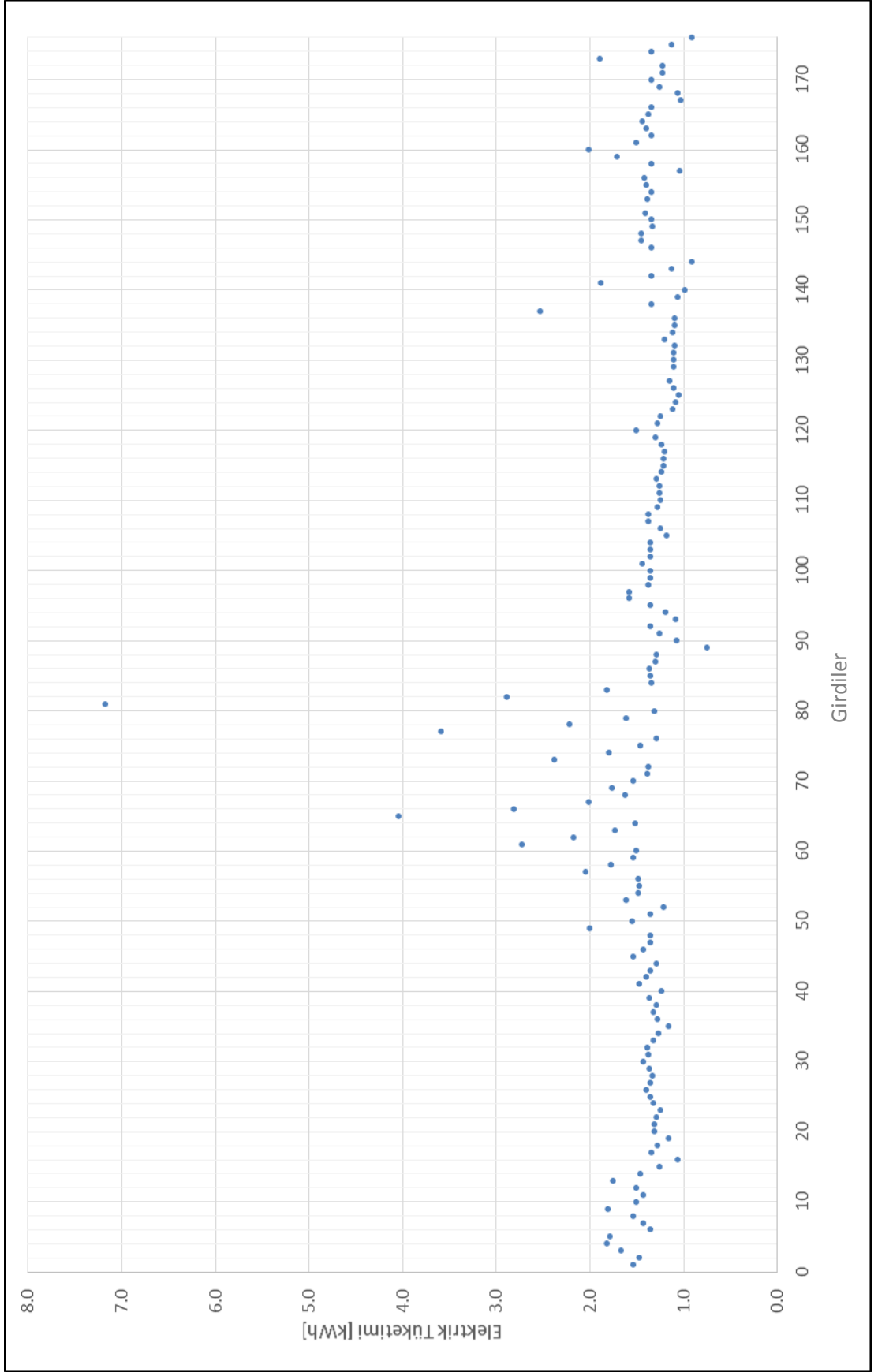
Şekil A.19 Matematiksel model sonuç – MER



Şekil A.20 Matematiksel model sonuç – SMER



Şekil A.21 Matematiksel model sonuç – Kurutma süresi



Şekil A.22 Matematiksel model sonuç – Elektrik Tüketimi

MATLAB YSA TEKLİ MODEL KODU

YSA sonuçlarını oluşturmak için matematiksel modelin sonuçları tek bir kod üzerinde çalıştırılmamıştır – performans iyileştirmek için. Bölüm 4.2.2’ de gösterildiği gibi birden fazla model vardır.

Aşağıda bu modellerin kodları açıklamaları ile birlikte verilmiştir.

```
MATLAB ortamına kayıtlı yazıları ve verileri siler
clear all
clc
Ortak excel dosyasından YSA’ nın öğreneceği girdileri ve
çıktı hedeflerini gösterir
INPUT =
xlsread('model_sonuc_TransferFunc.xlsx','input','C2:FS30'
);
COP_MER_SMER_TARGET =
xlsread('model_sonuc_TransferFunc.xlsx','results','C9:FS1
1');
x = INPUT;
t = COP_MER_SMER_TARGET;

Her seferinde aynı performansı göstereceği diye
oluşturulmuştur
setdemorandstream (3812182826);

YSA gizli eleman sayısı belirleme
% Create a Fitting Network
hiddenLayerSize = 30;
net = fitnet(hiddenLayerSize);

Öğrenme, doğrulama ve test verisi oranlarını belirleme
% Setup Division of Data for Training, Validation,
Testing
% For a list of all data division functions type: help
nndivide
net.divideFcn = 'dividerand'; % Divide data randomly
net.divideMode = 'sample'; % Divide up every sample
net.divideParam.trainRatio = 80/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
```

```

net.divideParam.testRatio = 5/100;

Öğrenme fonksiyonlarını listeler
% For a list of all training functions type: help nntrain
net.trainFcn = 'trainlm'; % Levenberg-Marquardt

Performans fonksiyonları ve hata bildirim türü seçimi
% Choose a Performance Function
% For a list of all performance functions type: help
nnperformance
net.performFcn = 'mse'; % Mean squared error

Optimizasyona modelinde kullanılan girdi ve çıktı
transfer fonksiyonu seçimi
% Choose Plot Functions
% For a list of all plot functions type: help nnplot
net.plotFcns =
{'plotperform', 'plottrainstate', 'ploterrhist', ...
 'plotregression', 'plotfit'};
net.layers{1}.transferFcn = 'linstep';
net.layers{2}.transferFcn = 'logsig';

YSA modelini çalıştırma
% Train the Network
[net,tr] = train(net,x,t);

YSA modelinin testi
% Test the Network
y = net(x);
e = gsubtract(t,y);
performance = perform(net,t,y)

YSA modelinin tekrardan çalıştırılması
% Recalculate Training, Validation and Test Performance
trainTargets = t .* tr.trainMask{1};
valTargets = t .* tr.valMask{1};
testTargets = t .* tr.testMask{1};
trainPerformance = perform(net,trainTargets,y)
valPerformance = perform(net,valTargets,y)
testPerformance = perform(net,testTargets,y)
İstenilen grafik görsel çıktı seçimi
% Plots
% Uncomment these lines to enable various plots.
figure, plotperform(tr)
%figure, plottrainstate(tr)
%figure, plotfit(net,x,t)
figure, plotregression(t,Model5)
%figure, ploterrhist(e)
YSA' nın gösterilmesi
% View the Network
view(net)

```

MATLAB YSA BİRLEŞİK MODEL KODU

Oluşturulan tekli modellerin hepsini aynı zamanda çalıştırıp, sonuçları ortak bir excel dosyasına yazdıran kod aşağıda verilmiştir.

MATLAB ortamına kayıtlı yazıları ve verileri siler

```
clear all  
clc
```

Soğutucu akışkan tekli sonuç YSA modelinin koşturulması ve yazdırılması

```
run mr_TransFunc.m %Model1  
xlswrite('150425_NNModel_OptimizedFinalResults.xlsx',Model1,'Results','C19')
```

Evaporasyon ve gaz soğutucu ısısı tekli sonuç YSA modelinin koşturulması ve yazdırılması

```
run Qeva_Qgc_TransFunc.m %Model2  
xlswrite('150425_NNModel_OptimizedFinalResults.xlsx',Model2,'Results','C20')
```

Kompresör ve fan işi tekli sonuç YSA modelinin koşturulması ve yazdırılması

```
run Wcomp_Wfan_TransFunc.m %Model3  
xlswrite('150425_NNModel_OptimizedFinalResults.xlsx',Model3,'Results','C22')
```

Akışkan ve hava tarafı basınç düşüşü tekli sonuç YSA modelinin koşturulması ve yazdırılması

```
run dPr_dPa_TransFunc.m %Model4  
xlswrite('150425_NNModel_OptimizedFinalResults.xlsx',Model4,'Results','C24')
```

COP, MER ve SMER tekli sonuç YSA modelinin koşturulması ve yazdırılması

```
run COP_MER_SMER_TransFunc.m %Model5  
xlswrite('150425_NNModel_OptimizedFinalResults.xlsx',Model5,'Results','C26')
```

Kurutma süresi tekli sonuç YSA modelinin koşturulması ve yazdırılması

```
run Sure_TransFunc.m %Model6  
xlswrite('150425_NNModel_OptimizedFinalResults.xlsx',Model6,'Results','C29')
```

Elektrik tüketimi tekli sonuç YSA modelinin koşturulması ve yazdırılması

```
run Tuketim_TransFunc.m %Model7  
xlswrite('150425_NNModel_OptimizedFinalResults.xlsx',Model7,'Results','C30')
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Görkem ARGALIOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri :09.05.1990 Bornova/İZMİR
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :gorkemargali@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Fen-Matematik	Bornova Anadolu Lisesi	2004-2008
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008-2012

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012-Devam ediyor	Ford Otosan A.Ş	Ar-Ge Mühendisi
2011-2012	T&M Mühendislik	Şantiye Mühendisliği