



T.C.
N DE ÖMER HAL SDEM R ÜN VERS TES
FEN B L MLER ENST TÜSÜ
MAK NA MÜHEND SL ANAB L M DALI

B R H BR T NANOSIVİNİN TERMOF Z KSEL ÖZELL KLER N N
YAPAY S N R A I LE MODELLENMES VE
DENEYSEL OLARAK NCELENMES

ANDAÇ BATUR ÇOLAK

Mart 2020

T.C.
N DE ÖMER HAL SDEM R ÜN VERS TES
FEN B L MLER ENST TÜSÜ
MAK NA MÜHEND SL ANAB L M DALI

B R H BR T NANOSIVİNİN TERMOF Z KSEL ÖZELL KLER N N
YAPAY S N R A I LE MODELLENMES VE
DENEYSEL OLARAK NCELENMES

ANDAÇ BATUR ÇOLAK

Doktora Tezi

Danı man

Prof.Dr.Mustafa BAYRAK

Mart 2020

Andaç Batur ÇOLAK tarafından **Prof.Dr.Mustafa BAYRAK** danışmanlığında hazırlanan “**Bir Hibrit Nanosivimn Termofiziksel Özelliklerinin Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi ve Deneysel Olarak İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makina Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Prof.Dr.Ertan BUYRUK (Cumhuriyet Üniversitesi)

Üye :Prof.Dr.Mustafa BAYRAK (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)

Üye :Prof.Dr.Necmettin ŞAHİN (Aksaray Üniversitesi)

Üye :Prof.Dr.Afşin GÜNGÖR (Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi)

Üye :Doç.Dr.Mahmut ALKAN (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 06/03/2020 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/..../2020 tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../2020

Prof. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ B LD R M

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunuldu unu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalı mada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kayna ına eksiksiz atıf yapıldı ını bildiririm.

Andaç Batur ÇOLAK

ÖZET

B R H BR T NANOSIVİNİN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN YAPAY SINIRLA
A İLE MODELLENMESİ VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÇOLAK, Andaç Batur

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman

:Prof.Dr.Mustafa BAYRAK

Mart 2020, 180 sayfa

Bu doktora çalışmasında, öncelikle Al_2O_3 ve Cu nanopartikülleri kullanılarak, iki aşamalı yöntemle 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.2'lik hacimsel yoğunluklarda beş farklı Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisi hazırlanmıştır. Hibrit nanosiviler, manyetik karıştırıcı ve ultrasonik homojenizatör ile hazırlanmış, aglomerasyonu önlemek ve stabiliteyi sağlamak amacıyla ile süzgeç aktif madde olarak Arabi Güm kullanılmıştır. Hazırlanmış olan her bir Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenlik, özgül ısı ve viskozite gibi termofiziksel özellikleri, deneysel olarak ölçülmüştür. Elde edilen deneysel veriler, araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan ve literatürde sıklıkla kullanılan model korelasyonlarla karşılaştırılmıştır. Ardından, elde edilmiş olan veriler ile, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin termofiziksel özelliklerinin tahmin edilmesi amacıyla yapay sinir ağı modellenmiş ve yapay sinir ağından elde edilen değerler, deneysel sonuçlar, literatürde kullanılmış olan model korelasyonlar ve bu çalışmada türetilmiş matematiksel korelasyonlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Hibrit nanosivi, özgül ısı, ısı iletkenlik, viskozite, yapay sinir ağı

SUMMARY

MODELING THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF A HYBRID NANOFLUID BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION

ÇOLAK, Andaç Batur

Ni de Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor

:Prof.Dr.Mustafa BAYRAK

March 2020, 180 pages

In this PhD thesis study, five different Al_2O_3 -Cu/Water hybrid nanofluids were prepared by volumetric concentration of 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 and 0.2 by using two-step method using Al_2O_3 and Cu nanoparticles. Hybrid nanofluids were prepared with magnetic stirrer and ultrasonic homogenizer, Arabic Gum was used as surfactant to prevent agglomeration and stability. The thermophysical properties of each prepared Al_2O_3 -Cu/Water hybrid nanofluid such as thermal conductivity, specific heat and viscosity were experimentally measured. The experimental data obtained were compared with the model correlations developed by the researchers and frequently used in the literature. Then, with the obtained data, artificial neural network was modeled to predict the thermophysical properties of Al_2O_3 -Cu/Water hybrid nanofluid and values obtained from artificial neural network were compared with experimental results, model correlations used in the literature and derived correlations in this study.

Keywords: Hybrid nanofluid, specific heat, thermal conductivity, viscosity, artificial neural network

ÖN SÖZ

Bu doktora tez çalışmasında, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenlik, özgül ısı ve viskozitesi deneysel yolla ölçülmü ve elde edilen veriler kullanılarak, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin termofiziksel özelliklerinin tahmin edilmesi amacıyla bir yapay sinir ağı ve matematiksel korelasyon geliştirilmiştir.

Lisans eğitimimden başlayıp, doktora tez çalışmamın sonuna kadar her aşamada, her konuda yardımlarını esirgemeyen, üzerimde büyük emeği olan çok değerli danışman hocam Prof.Dr.Mustafa BAYRAK'a ve çalışmalarımda büyük katkısı bulunan Dr.Oğuzhan YILDIZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, beni Türk'ülük duygusu ile yetiştiren babam Ferit ÇOLAK ve annem hayret Filiz ÇOLAK'a; her daim yanımda olan en büyük desteğim, biricik eşi Nazlı ÇOLAK'a ve büyük Türk Milleti'ne hizmet ülküsüyle yetiştirmeye çalıştığım evlatlarım Ferit Efe Türk ad ÇOLAK ve Rüveyda Filiz ÇOLAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmaya, FEB 2018/17-BAGEP numaralı proje ile finansal destek sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve çalışmalarına katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Büyük Türk Milleti'ne ithafen...

Ç İNDEK İLER

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ÖN SÖZ.....	vi
Ç İNDEK İLER D İZ İNİ.....	vii
Ç İZELGELER D İZ İNİ.....	ix
EK İLLER D İZ İNİ.....	x
FOTO RAF VB. MALZEMELER D İZ İNİ.....	xvii
S İMGE VE KISALTMALAR.....	xviii
BÖLÜM I G İRİ.....	1
BÖLÜM II L İTERATÜR ÖZETİ.....	8
2.1 Hibrit Nanosıvılar.....	8
2.2 Hibrit Nanosıvıların Uygulamaları.....	11
2.2.1 Isı de ğ i tiricilerde yapılan çalı ş malar.....	11
2.2.2 Ta lama ve i leme uygulamaları.....	12
2.2.3 Güçlendirilmi ş mikrogüç jeneratörü uygulamaları.....	13
2.2.4 Güne ş enerjisi uygulamaları.....	14
2.2.5 Di ğ er uygulamalar.....	14
2.3 Hibrit Nanosıvıların Hazırlanması.....	16
2.3.1 İki a amalı yöntem.....	16
2.3.2 Tek a amalı yöntem.....	18
2.3.3 Di ğ er yöntemler.....	20
2.4 Hibrit Nanosıvıların Termofiziksel Özellikleri.....	21
2.4.1 Isıl iletkenlik.....	21
2.4.2 Özgül ısı.....	23
2.4.3 Viskozite.....	27
2.5 Hibrit Nanosıvılar için Matematiksel Korelasyonlar.....	29
2.5.1 Isıl iletkenlik.....	29
2.5.2 Özgül ısı.....	32
2.5.3 Viskozite.....	33
2.6 Yapay Sinir Ağ ları.....	34

BÖLÜM III DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	38
3.1 Hibrit Nanosivinin Hazırlanması.....	38
3.2 Hibrit Nanosivinin Termofiziksel Özelliklerinin Deneysel Yolla Bulunması.....	45
3.2.1 Deneysel ısı iletkenlik ölçümü.....	45
3.2.2 Deneysel özgül ısı ölçümü.....	47
3.2.3 Deneysel viskozite ölçümü.....	51
3.3 Yapay Sinir Ağ ı Dizaynı.....	54
3.3.1 Biyolojik sinir sistemi.....	55
3.3.2 Yapay sinir ağ ı mimarisi.....	56
3.3.3 Yapay sinir ağ ının eğ itilmesi.....	58
3.3.4 Verilerin optimize edilmesi.....	61
3.3.5 Yapay sinir ağ ı performansının analizi.....	62
BÖLÜM IV BULGU VE ANALİZ.....	67
4.1 Isıl iletkenlik.....	67
4.2 Özgül Isı.....	98
4.3 Viskozite.....	126
BÖLÜM V SONUÇ VE ÖNERİLER.....	158
KAYNAKLAR.....	161
ÖZ GEÇMİŞİ	179
TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER.....	180

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Literatürdeki özgül ısı ölçüm yöntemleri.....	26
Çizelge 3.1. Nanopartikül özellikleri.....	38
Çizelge 3.2. Kullanılan nanopartikül ve yüzey aktif madde miktarları.....	41
Çizelge 3.3. Kullanılan cihazların teknik özellikleri.....	43
Çizelge 3.4. Veri kaydedici teknik özellikleri.....	49
Çizelge 3.5. Ölçülmü olan viskozite değerleri.....	52
Çizelge 4.1. Korelasyon sabitleri.....	76
Çizelge 4.2. Yapay sinir ağı verileri.....	77
Çizelge 4.3. Korelasyon sabitleri.....	105
Çizelge 4.4. Yapay sinir ağı verileri.....	106
Çizelge 4.5. Korelasyon sabitleri.....	135
Çizelge 4.6. Yapay sinir ağı verileri.....	136

EKLER DİZİNİ

ekil 2.1. MWCNT-Fe ₃ O ₄ /EG hibrit nanosivisinin sabit sıcaklıkta ısı iletkenlik oranının hacimsel yo unlu a ba lı de i imi.....	22
ekil 2.2. MWCNT-Fe ₃ O ₄ /EG hibrit nanosivisinin ısı iletkenlik oranının sıcaklı a ba lı de i imi.....	23
ekil 2.3. GNP-Pt/Su hibrit nanosivisinin sıcaklı a ba lı özgül ısı de i imi.....	25
ekil 2.4. Al ₂ O ₃ -MWCNT/SAE40 hibrit nanosivisinin sıcaklı a ba lı viskozite de i imi.....	28
ekil 2.5. Al ₂ O ₃ -MWCNT/SAE40 hibrit nanosivisinin hacimsel yo unlu a ba lı viskozite de i imi.....	28
ekil 3.1. Al ₂ O ₃ nanopartikülün XRD grafi i.....	40
ekil 3.2. Cu nanopartikülün XRD grafi i.....	40
ekil 3.3. Deneysel saf su ısı iletkenlik de erlerinin referans de erlerle kar ıla tırılması.....	47
ekil 3.4. Özgül ısı deney düzene i eması.....	48
ekil 3.5. Saf suyun deneysel özgül ısı de eri ile referans de erlerin kıyaslaması.....	50
ekil 3.6. Saf su viskozite de erlerinin referans de erle kıyaslanması.....	52
ekil 3.7. Biyolojik sinir hücresi (nöron).....	55
ekil 3.8. Yapay sinir a ının temel yapısı.....	57
ekil 3.9. Nöronun matematiksel yapısı.....	58
ekil 3.10. Yapay sinir a ının matematiksel yapısı.....	59
ekil 3.11. Yapay sinir a ı akı eması.....	61
ekil 3.12. Yapay sinir a ının performans grafi i.....	63
ekil 3.13. Yapay sinir a ı regresyon grafikleri.....	64
ekil 3.14. Hata histogram grafi i.....	66
ekil 4.1. Isı iletkenli in sıcaklı a göre de i imi.....	68
ekil 4.2. 0.0125 hacimsel yo unlukta ısı iletkenli in sıcaklıkla de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması.....	69
ekil 4.3. 0.025 hacimsel yo unlukta ısı iletkenli in sıcaklıkla de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması.....	70

ekil 4.4. 0.05 hacimsel yo unlukta ısı iletkenli in sıcaklıkla de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması.....	70
ekil 4.5. 0.1 hacimsel yo unlukta ısı iletkenli in sıcaklıkla de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması.....	71
ekil 4.6. 0.2 hacimsel yo unlukta ısı iletkenli in sıcaklıkla de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması.....	71
ekil 4.7. Sabit sıcaklıkta ısı iletkenli in hacimsel yo unlu a göre de i imi.....	72
ekil 4.8. Isı iletkenli in 25 °C'lik sabit sıcaklıkta hacimsel yo unlu a göre de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması.....	73
ekil 4.9. Isı iletkenli in 45 °C'lik sabit sıcaklıkta hacimsel yo unlu a göre de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması.....	73
ekil 4.10. Isı iletkenli in 65 °C'lik sabit sıcaklıkta hacimsel yo unlu a göre de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması.....	74
ekil 4.11. Sabit sıcaklıkta ısı iletkenlik geli iminin hacimsel yo unlu a ba lı de i imi.....	75
ekil 4.12. Isı iletkenlik geli iminin sıcaklı a ba lı de i imi.....	75
ekil 4.13. Isı iletkenlik korelasyonunun yüzey grafi i.....	76
ekil 4.14. Yapay sinir a ının temel yapısı.....	77
ekil 4.15. Yapay sinir a ının konfigürasyon topolojisi.....	78
ekil 4.16. Yapay sinir a ının performans grafi i.....	79
ekil 4.17. Yapay sinir a ı modelinin e itim durumu.....	80
ekil 4.18. Hata histogram grafi i.....	81
ekil 4.19. E itim veri performansı.....	82
ekil 4.20. Test veri performansı.....	83
ekil 4.21. Do rulama veri performansı.....	84
ekil 4.22. Genel performans.....	85
ekil 4.23. 0.0125 hacimsel yo unlukta ısı iletkenlik de erleri.....	86
ekil 4.24. 0.025 hacimsel yo unlukta ısı iletkenlik de erleri.....	86
ekil 4.25. 0.05 hacimsel yo unlukta ısı iletkenlik de erleri.....	87
ekil 4.26. 0.1 hacimsel yo unlukta ısı iletkenlik de erleri.....	87
ekil 4.27. 0.2 hacimsel yo unlukta ısı iletkenlik de erleri.....	88
ekil 4.28. 25 °C'de yapay sinir a ı ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	89

ekil 4.29. 45 °C’de yapay sinir a 1 ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	89
ekil 4.30. 65 °C’de yapay sinir a 1 ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	90
ekil 4.31. 0.0125’lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin kar ıla tırılması.....	91
ekil 4.32. 0.025’lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin kar ıla tırılması.....	91
ekil 4.33. 0.05’lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin kar ıla tırılması.....	92
ekil 4.34. 0.1’lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin kar ıla tırılması.....	92
ekil 4.35. 0.025’lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin kar ıla tırılması.....	93
ekil 4.36. 0.0125 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	94
ekil 4.37. 0.025 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	94
ekil 4.38. 0.05 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	95
ekil 4.39. 0.1 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	95
ekil 4.40. 0.2 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	96
ekil 4.41. Deneysel ısı iletkenlik verilerinin yapay sinir a 1 verileri ile kar ıla tırılması.....	97
ekil 4.42. Deneysel ısı iletkenlik verilerinin korelasyon verileri ile kar ıla tırılması..	97
ekil 4.43. Yapay sinir a ından elde edilen de erlerin matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerle kar ıla tırılması.....	98
ekil 4.44. Özgöl ısının sıcaklı a ba lı de i iminin saf su ile kar ıla tırması.....	100
ekil 4.45. 25 °C’de özgöl ısının hacimsel yo unlu a ba lı de i iminin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	101
ekil 4.46. 45 °C’de özgöl ısının hacimsel yo unlu a ba lı de i iminin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	101
ekil 4.47. 65 °C’de özgöl ısının hacimsel yo unlu a ba lı de i iminin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	102
ekil 4.48. Özgöl ısı iyile mesinin sıcaklı a ba lı de i imi.....	103
ekil 4.49. Sabit sıcaklıkta özgöl ısı iyile mesinin hacimsel yo unlu a ba lı de i imi.....	103

ekil 4.50. Deneysel özgül ısı de erlerinin sabit sıcaklıkta model korelasyon verileri ile yüzdesel hata miktarları.....	104
ekil 4.51. Özgül ısı korelasyonunun yüzey grafi i.....	105
ekil 4.52. Yapay sinir a ının temel yapısı.....	106
ekil 4.53. Yapay sinir a ının konfigürasyon topolojisi.....	106
ekil 4.54. Yapay sinir a ının performans grafi i.....	107
ekil 4.55. Yapay sinir a ı modelinin e itim durumu.....	108
ekil 4.56. Hata histogram grafi i.....	109
ekil 4.57. E itim veri performansı.....	110
ekil 4.58. Test veri performansı.....	111
ekil 4.59. Do rulama veri performansı.....	112
ekil 4.60. Genel performans.....	113
ekil 4.61. 0.0125 hacimsel yo unlukta özgül ısı de erleri.....	114
ekil 4.62. 0.025 hacimsel yo unlukta özgül ısı de erleri.....	114
ekil 4.63. 0.05 hacimsel yo unlukta özgül ısı de erleri.....	115
ekil 4.64. 0.1 hacimsel yo unlukta özgül ısı de erleri.....	115
ekil 4.65. 0.2 hacimsel yo unlukta özgül ısı de erleri.....	116
ekil 4.66. 25 °C’de yapay sinir a ı ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	117
ekil 4.67. 45 °C’de yapay sinir a ı ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	117
ekil 4.68. 65 °C’de yapay sinir a ı ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	118
ekil 4.69. 0.0125’lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması.....	119
ekil 4.70. 0.025’lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması.....	119
ekil 4.71. 0.05’lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması.....	120
ekil 4.72. 0.1’lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması.....	120
ekil 4.73. 0.2’lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması.....	121
ekil 4.74. 0.0125 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	122

ekil 4.75. 0.025 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	122
ekil 4.76. 0.05 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	123
ekil 4.77. 0.1 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	123
ekil 4.78. 0.2 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	124
ekil 4.79. Deneysel özgül ısı verilerinin yapay sinir a ı verileri ile kar ıla tırılması.....	125
ekil 4.80. Deneysel özgül ısı verilerinin korelasyon verileri ile kar ıla tırılması.....	125
ekil 4.81. Yapay sinir a ından elde edilen de erlerin matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerle kar ıla tırılması.....	126
ekil 4.82. Viskozitenin sıcaklı a ba lı de i iminin saf su ile kar ıla tırılması.....	127
ekil 4.83. 0.0125 hacimsel yo unlukta viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	128
ekil 4.84. 0.025 hacimsel yo unlukta viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	129
ekil 4.85. 0.05 hacimsel yo unlukta viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	129
ekil 4.86. 0.1 hacimsel yo unlukta viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	130
ekil 4.87. 0.2 hacimsel yo unlukta viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	130
ekil 4.88. Viskozitenin 25 °C’de hacimsel yo unlu a göre de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	131
ekil 4.89. Viskozitenin 45 °C’de hacimsel yo unlu a göre de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	132
ekil 4.90. Viskozitenin 65 °C’de hacimsel yo unlu a göre de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	132
ekil 4.91. Viskozite oranının sabit sıcaklıkta hacimsel yo unlu a ba lı olarak de i imi.....	133
ekil 4.92. Deneysel viskozite verilerinin model korelasyonları ile uyumlulu u.....	134
ekil 4.93. Deneysel viskozite verilerinin sabit sıcaklıkta model korelasyon verileri ile yüzdesel hata miktarları.....	134
ekil 4.94. Viskozite korelasyonunun yüzey grafi i.....	135
ekil 4.95. Yapay sinir a ının temel yapısı.....	136
ekil 4.96. Yapay sinir a ının konfigürasyon topolojisi.....	137
ekil 4.97. Yapay sinir a ının performans grafi i.....	138

ekil 4.98. Yapay sinir a 1 modelinin e itim durumu.....	139
ekil 4.99. Hata histogram grafi i.....	140
ekil 4.100. E itim veri performansı.....	141
ekil 4.101. Test veri performansı.....	142
ekil 4.102. Do rulama veri performansı.....	143
ekil 4.103. Genel performans.....	144
ekil 4.104. 0.0125 hacimsel yo unlukta viskozite de erleri.....	145
ekil 4.105. 0.025 hacimsel yo unlukta viskozite de erleri.....	145
ekil 4.106. 0.05 hacimsel yo unlukta viskozite de erleri.....	146
ekil 4.107. 0.1 hacimsel yo unlukta viskozite de erleri.....	146
ekil 4.108. 0.2 hacimsel yo unlukta viskozite de erleri.....	147
ekil 4.109. 25 °C'de yapay sinir a 1 ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	148
ekil 4.110. 45 °C'de yapay sinir a 1 ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	148
ekil 4.111. 65 °C'de yapay sinir a 1 ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması.....	149
ekil 4.112. 0.0125'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması.....	150
ekil 4.113. 0.025'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması.....	150
ekil 4.114. 0.05'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması.....	151
ekil 4.115. 0.1'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması.....	151
ekil 4.116. 0.2'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması.....	152
ekil 4.117. 0.0125 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	153
ekil 4.118. 0.025 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	153
ekil 4.119. 0.05 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	154
ekil 4.120. 0.1 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	154
ekil 4.121. 0.2 hacimsel yo unlukta sapma oranları.....	155
ekil 4.122. Deneysel viskozite verilerinin yapay sinir a 1 verileri ile kar ıla tırılması.....	156

ekil 4.123. Deneysel viskozite verilerinin korelasyon verileri ile karşılaştırılması....	156
ekil 4.124. Yapay sinir ağından elde edilen değerlerin matematiksel korelasyondan elde edilen değerlerle karşılaştırılması.....	157



FOTO RAF VB. MALZEMELER D Z N

Foto raf 3.1. Al ₂ O ₃ nanopartikülün TEM görüntüsü.....	39
Foto raf 3.2. Cu nanopartikülün TEM görüntüsü.....	39
Foto raf 3.3. Hassas terazi.....	42
Foto raf 3.4. Manyetik karı tırıcı.....	42
Foto raf 3.5. Ultrasonik Homojenizatör.....	43
Foto raf 3.6. Kontrol ünitesi.....	43
Foto raf 3.7. Hazırlanmı olan hibrit nanosıvılar.....	45
Foto raf 3.8. Isıl iletkenlik ölçüm düzene i.....	46
Foto raf 3.9. Özgül ısı ölçüm düzene i.....	48
Foto raf 3.10. Veri kaydedici.....	49
Foto raf 3.11. Yazılım arayüzü.....	49
Foto raf 3.12. Kapiler viskozimetre tüpü deney düzene i.....	51

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
μ	Mikron
a	Yapay sinir a 1 çıktısı
A	Kesit alanı (m^2)
C_p	Özgül Isı ($J/kg.K$)
$C_{p,nf}$	Hibrit nanosiviminin özgül ısısı ($J/kg.K$)
$C_{p,bf}$	Taban akı kanı özgül ısısı ($J/kg.K$)
$C_{p,np}$	Nanopartikül özgül ısısı ($J/kg.K$)
$C_{p,ref}$	Referans sıvının özgül ısısı ($J/kg.K$)
D_h	Hidrolik Çap (m)
e	A hata vektörü
H	Hessian matrisi
J	Jacobian matrisi
k	Isıl iletkenlik ($W/m.K$)
k_{bf}	Taban Akı kanı Isıl iletkenli i ($W/m.K$)
k_{hnf}	Hibrit nanosiviminin ısı iletkenli i ($W/m.K$)
k_m	Metalin ısı iletkenli i ($W/m.K$)
k_{nf}	Nanosivı Isıl iletkenli i ($W/m.K$)
k_p	Nanopartikül ısı iletkenli i ($W/m.K$)
m_{nf}	Hibrit nanosivı kütlesi (kg)
m_{ref}	Referans sıvı kütlesi (kg)
n	ekil Faktörü

	Hacimsel Yo unluk (kg/l)
	Küresellik
	Nanokatman kalınlı ının nanopartikül çapına oranı
μ_{nf}	Nanosıvı Viskozitesi (kg/m.s)
μ_{bf}	Taban Akı kanı Viskozitesi (kg/m.s)
W_{np}	Nanopartikül miktarı (gr)
n_p	Nanopartikül yo unlu u (gr/l)
n_{nf}	Hibrit Nanosıvı yo unlu u (gr/l)
n_{bf}	Taban Akı kanı yo unlu u (gr/l)
R	Giri vektöründeki elemanların sayısı
t	Yapay sinir a ı hedef çıktısı
V_b	Taban akı kanı hacmi (lt)
T	Sıcaklık (°C)
T_{nf}	Hibrit nanosıvı sıcaklık farkı (°C)
T_{ref}	Referans sıvı sıcaklık farkı (°C)
u	Hız (m/s)
q	Isı oranı
\dot{Q}	Hacimsel debi (cm ³ /min)
Q_{nf}	Hibrit nanosıvı ısı miktarı (W)
Q_{ref}	Referans sıvı ısı miktarı (W)

Kısaltmalar

AI	Artificial Intelligence
ANN	Artificial Neural Network
CNT	Carbon Nanotube

Açıklama

CCNT	Composite Carbon Nanotube
CPU	Merkezi İlemci Ünitesi
ÇSS	Çevresel Sinir Sistemi
DI	De-ionized
DSC	Differential Scanning Calorimeter
DTA	Differential Thermal Analysis
EEW	Electrical Explosion of Wire
FANN	Fast Artificial Neural Network Library
IPVR	Institut of Paralell and Distrubuted Computer Systems
JOONE	Java Object Oriented Neural Engine
GNP	Graphene Nanoplatelets
HEG	Hydrogen Exfoliated Graphene
HEP	Heparin
MLP	Multi-layer Perceptron
MSE	Mean Squared Error
MSS	Merkezi Sinir Sistemi
MWCNT	Multi Walled Carbon Nanotube
MQL	Minimum Quality Lubricant
LPHNP	Lipid Polimer Hibrit Nanopartikül
PEG	Poletilen Glikol
PVD	Physical Vapor Deposition
PWE	Pulse Wire Evaporation
RBF	Radial Basic Function
SEM	Scanning Electron Microscope

SANSS	Submerged Arc Nanoparticles Synthesis System
SNNS	Stuttgart Neural Network Simulator
TEM	Transmission Electron Microscope
VEROS	Vacuum Evaporation onto a Running Oil Substrate
YSA	Yapay Sinir A 1



BÖLÜM I

G R

Bilgisayar ve elektronik teknolojilerindeki ilerleme, yüksek ısınma sorununu beraberinde getirmiştir. Geli mi bilgisayarlar da kullanılmakta olan mikroilemlerinin hızları sonucu meydana gelen aşırı ısınma, sistem performansını ciddi oranda etkilemektedir. Yapılan araştırmalar, elektronik sistemlerde probleme sebep olan en temel etkenin, %55'lik bir oranla ısınma kaynaklı sorunlar olduğunu ortaya koymaktadır. Toz, rutubet ve nem gibi faktörlerin sistem performansı ve bozulmaya olan etkileri, ısınma kadar yüksek değildir.

Sıvı ısıtma ve soğutma, çeyitli ısı transferi uygulamaları ve sanayideki birçok uygulama için en önemli parametrelerden bir tanesidir. Üretim, imalat, kimyasal işlemler, nakliye, mikro elektronik ve daha birçok alan da dahil olmak üzere, endüstriyel uygulamalarda ısı transferi performansındaki gelişim süresinde azalma, ekipman ömründe artış ve enerji tasarrufu gibi birçok avantajı da beraberinde getirecektir. Havaya göre daha üstün ısı özelliklerine sahip olan su, gazyağı, etilen glikol (EG), yağ gibi geleneksel sıvı akı kanlar ısı transferi amaçlı olarak sanayi ve endüstrinin muhtelif kollarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, geleneksel ısı transferi uygulamaları ve bu uygulamalarda tercih edilen düşük ısı iletkenliklere sahip sıvı akı kanlar, teknolojiye gelişmelerle birlikte artan soğutma ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalmakta ve yüksek ısı akı sistemlerinin kullanımlarını sınırlamaktadır. Yüksek ısınma ve beraberinde gelen soğutma ihtiyacı, bilim insanlarını alternatif bir çözüm aramaya itmiştir; gerek soğutma sıvılarında gerekse soğutma yüzeylerinde farklı seçenekler araştırılmaya başlanmıştır. Bu kapsamda, bilimin günümüzde ulaştığı noktalardan birisi de, akı kanların mikro ve nano boyutundaki karakteristiklerini çözerek metrenin milyonda, milyarda biri boyutlarında mühendislik yapabilmesi olmuştur.

Bir taban akı kanının içine, 100 nm'den daha az boyutlara sahip olan nanopartiküllerin eklenmesi ile elde edilen sıvı akı kana nanosıvı adı verilmektedir. Nanosıvılar için kullanılan nanopartiküller metal oksit (Al_2O_3 , CuO , TiO_2 , SiO_2 , Fe_2O_3 vb), metal (Al , Cu , Ni , vb), karbon, ve nitrit olabilir. Taban akı kanları olarak ise yaygın olarak su, etilen, glikol tercih edilmekte olup, mineral ve madeni yağlar da kullanılabilir.

Birden fazla taban akı kanı da karı tırılarak kullanılabilir. Partikül geometrileri küresel, boru veya çubuk ekinde olabilmektedir. Nanopartiküller taban akı kanı içerisinde karma ık ekillerde yer alabildi i gibi, kümele mi ya da ba ımsız partiküller halinde de bulunabilirler. Nanosıvılar eklenen parçacıkların hacimsel yo unlu una ve özelliklerine göre effaf, yarı effaf veya opak olabilirler. Nanopartiküller, konsantrasyon oranına göre büyük yüzey alanı, boyuta ba lı fiziksel özellikler, daha dü ük parçacık momentumu, yüksek hareketlilik gibi avantajlı özelliklere sahiptirler(Karabulut, 2015). Aynı zamanda, büyük yüzey alanı nanopartikülleri taban akı kanında daha iyi ve daha istikrarlı da ıtılmı bir süspansiyon yapabilme özelli ine sahiplerdir. Parçacıklar uygun ekinde karı tırıldıklarında nanosıvılar; yüksek ısı iletimi, kararlılık, tıkanma olmadan mikrokanalların so utulması, a ınmanın azalması, pompalama gücünde ve basınç dü ümünde azalma gibi avantajlı özelliklere sahip olabilmektedirler. Nanosıvılar parçacıkların tipine ba lı olarak kapsamlı bir ekinde; seramik, saf metalik, ala ım ve karbon tabanlı nanosıvılar olarak dört gruba ayrılabilir. Nanosıvılar, tek a amalı ve iki a amalı olmak üzere iki temel yöntem kullanılarak hazırlanır. Parçacıkların aynı anda elde edilerek akı kana katılmasıyla nanosıvı hazırlanması yöntemine Tek Adım Yöntemi adı verilir. Farklı mekanik, fiziksel, ö ütme, dövme ve buhar fazı yöntemleri gibi kimyasal yollarla elde edilen nanoparçacıklarla taban akı kanınının karı tırılması yöntemi ise ki Adım Yöntemi olarak adlandırılır.

Isıl sistemlerin akı ve ısı transfer performansına göre akı kanlarının en önemli termofiziksel özellikleri; yo unluk, viskozite, özgül ısı ve ısıl iletkenliktir. Bu sebeple, nanosıvıların termofiziksel özelliklerinin tayini, ısı transfer performanslarının belirlenmesi açısından büyük önem ta ımaktadır ve literatürde ara tırmacılar tarafından sıklıkla çalı ılmı olan bir konudur. Nanosıvıların yo unluk ve özgül ısısı, geleneksel katı sıvı karı ımlarına uygulanabilen karı ım modeline göre elde edilebilir. Fakat, di er önemli termofiziksel özellikler olan ısıl iletkenlik ve viskozite de erlerinin tayini, yo unluk ve özgül ısıya nazaran biraz daha kapsamlıdır. Bu sebepten dolayı literatürde, bu iki önemli termofiziksel özelli in de erlendirilmesi için daha detaylı çalı malar yapılmı tır. Sıcaklık, parçacık boyutu ve ekli, parçacı ın boyutsal da ılımı, akma hızı, yüzey aktif maddesi ve hacimsel yo unluk gibi de i kenler nanosıvıların viskozitesi üzerinde önemli etkilere sahiplerdir. Sıcaklık arttı ı zaman, akı kan moleküllerinin yanısıra nanoparçacıklar ve akı kan molekülleri arası etkile imler azalır. Bu sebeple,

nanosıvıların viskozitesi sıcaklıkla ters orantılıdır. Nanosıvının viskozitesi üzerindeki parçacık boyutunun etkilerini ara tıran çalı ma sayısı oldukça azdır. Bir süspansiyonda, parçacıkların kütlesi sabit kaldı ında katı parçacıkların parçacık boyutunun azalması sistemdeki parçacık sayısında artı a yol açmaktadır. Küçük parçacıkların sayısının fazlalı ı, parçacık etkile imi ve akı a kar ı direnç ile sonuçlanmakta ve böylece viskozite artmaktadır. Yapılan çalı malarda, aynı hacimsel yo unlukta ince uzun ve silindir ekindeki parçacıkların yüksek viskoziteye sebep oldukları gözlemlenmi tir. Dü ük viskoziteler için, küresel veya küreye benzeyen parçacıkların kullanılması gereklidir. Nanosıvıların bir uzantısı olarak, **hibrit nanosıvılar** kompozit nano-toz ya da iki farklı nanopartikülün taban akı kanına da ıtılmasıyla elde edilen akı kanlardır(GO-Fe₃O₄, Al₂O₃-Cu). Yeni fiziksel ve kimyasal ba larla iki ya da daha fazla nanopartikülün homojen karı ımıyla hibrit nanosıvı elde etmenin temel amacı; termofizik, hidrodinamik ve ısı transfer özellikleri daha geli mi bir sıvı elde edebilmektir. Uygun nanopartikül kombinasyonu hibritize edilerek, dü ük hacimsel yo unluklarda bile istenen ısı transferini elde etmek mümkündür. Günümüzde nanosıvılar, elektronik uygulamalar, ula ım, endüstriyel so utma uygulamaları, binaların ısıtılması ve kirlili in azaltılması, nükleer sistemlerin so utulması, uzay teknolojileri ve savunma sanayi gibi alanlarda kullanım alanı bulmaktadır.

Elektronik ve bilgisayar teknolojilerinin ilerlemesi, bilgisayarları insan hayatının içine daha fazla yerle tirmi , gündelik hayatta dahi geçmi e nazaran bir çok i in bilgisayar teknolojileri ile yapılmasına geçilmi tir. Geli tirilmeye ba landı ı ilk dönemlerde, sadece temel matematiksel i lemleri, uzun süreçler sonunda yapabilen bilgisayarlar, mikroi lemciler teknolojisine ba ta olmak üzere gelinen son noktada, en karma ık matematiksel i lemleri milisaniyeler ile ölçülen zaman diliminde yapmayı ba aracak düzeye gelmi lerdir. Yapılan çalı malar neticesinde daha ileri süreçlerde, sistemler ve parametreler arasındaki ili kiyi çözebilecek ve ö renebilecek algoritmalar geli tirdikten sonra elde ettikleri sistematik bilgiler ile karar verebilen ve sonuca ula abilen sistemler ortaya çıkmı tir. Bilgisayarların, elde ettikleri veriler ile olu turdukları algoritmalar sayesinde, insan müdahalesi olmaksızın, örüntülü tanıma yolu ile istenilen sonuçları verebilmesi teorisi, John McCarthy tarafından Yapay Zeka (AI) olarak isimlendirilmi tir (Bini, 2018). Veri ve örneklerle ö renebilen yapay zeka sistemleri, karma ık ve çözümü mümkün olmayacak nitelikte de erlendirilmi olan problemlerin sonuca ula tırılmasında alternatif seçenek olarak bilim literatüründe yer bulmu tur.

Yapay zeka uygulamalarının, zaman içerisinde bilimin uygulama alanında geni bir ekilde yer bulması ile birlikte hesaplama dayalı maliyetlerin azalması sayesinde tüm sektörlerde daha hızlı ve daha uygun maliyetli çözümlerin elde edilmesi sağlanmıştır. Yapay zeka çalımları, geni bir alanda yürütülmekle birlikte, bu kapsamda birkaç farklı metodoloji geliştirilmiştir. Bunlar arasında belirgin olanları, yapay sinir ağları (YSA), genetik algoritma, uzman sistemler, zeki öğrenmeler ve bulanık öğrenmeler mantığı gelmektedir (Öztemel, 2006). İnsan beyninin biyolojik yapısından esinlenerek geliştirilmiş olan, veriden öğrenme kabiliyeti ile öne çıkmış olan ve bilimsel çalımlarda sıklıkla kullanılmakta olan yapay zeka uygulamalarından öne çıkanı ise yapay sinir ağlarıdır. Yapay zeka çalımları kapsamında geliştirilmiş olan ve bu alandaki çalımların bir alt dalını oluşturan yapay sinir ağları teknolojisi, öğrenilen sistemler alanında en gelişmiş uygulamalardan bir tanesidir.

Yapay sinir ağlarına yönelik olarak, daha önceki süreçlerde bilimsel nitelikte olmayan bazı çalımlar yapılmış olsa da, bu alandaki bilimsel ilk çalıma, McCulloch ve Pitts (1943) tarafından 1943 yılında geliştirilmiş olan bir sinir ağı modelidir. Bu çalıma, insan beyninin analiz ve hesaplama kabiliyeti göz önünde bulundurularak, elektrik devreleri kullanılmak sureti ile geliştirilmiş olan sinir ağı ile matematiksel ifadelerin modellenmesinin mümkün olabileceği ortaya koyulmuş ve sonrasında ise, birçok ağın birlikte çalışabilmesi üzerine çalımlar yaparak öğrenme metodolojilerinin belirlenmesine çalışılmıştır. 1949 yılında, “Organization of Behavior” isimli kitabın yazarı olan Donald Hebb, “Hebbian Öğrenme” adını vermiş oldu ve temel teoriyi ortaya atarak, öğrenme ile ilgili konulara farklı bir yaklaşım geliştirmiştir ve bu sayede sinir ağının bağlantı sayısı ile öğrenme kabiliyeti arasındaki uyum bilimsel olarak ispatlanmıştır (Hebb, 1949). 1957 yılında; eğitilebilen, tek katmanlı ve tek çıkışlı yapay sinir ağı kavramını ifade eden ve literatüre “perceptron” olarak geçmiş olan algılayıcının Rosentblatt (1957) tarafından ortaya koyulması ile yapay sinir ağı alanındaki çalımlarda ilerleme kaydedilmiştir. Geçmişte en eskiye dayanan yapay sinir ağı kavramı; Rosentblatt’ın sineğin sinir sisteminde meydana gelen uyarımların, sineğin beyninde de il, lokal olarak sineğin gözünün içinde meydana geldi in keftmesi ile ortaya çıkmıştır. Widrow ve Hoff (1960) tarafından Stanford Üniversitesinde geliştirilmiş olan ve ADALINE (ADaptive LInear NEuron) ve MADALINE olarak isimlendirilen yapay sinir ağı modelleri, mühendislik uygulamalarında yapay sinir ağının kullanımına yönelik olarak yapılmış olan ilk

çalı ma olmu tur. Sınırlı sayıdaki çalı maların ardından 10 senelik duraklama dönemine girmi olan yapay sinir a ları çalı maları, 1980’li yıllara gelindi inde yeniden ivme kazanmaya ba lamı tır. 1982 yılında Hopfield (1982) tarafından, yapay sinir a larının matematiksel modellemesi üzerine yapılan çalı malar ile yapay sinir a larının genelle tirilerek, bilgisayar yazılımları yardımı ile çözümleni güç olan problemlerin çözülebilece i ispatlanmı tır. Çok katmanlı algılayıcıların (MLP) ortaya çıkmasını sa layan ve yapay sinir a larının popülaritesinin yükselmesine sebep olan devrim niteli indeki bulu ise, Rumelhart’ın paralel programlamalarından olu an eseri olmu tur (Rumelhart vd., 1986). Broomhead ve Lowe (1988) tarafından, çok katmanlı algılayıcılara alternatif olarak geli tirilmi olan Radyal Tabanlı Fonksiyonlar (RBF) modeli ile, filtreleme i lemlerinde yüksek verimlere ula ılmı tır. Bilgisayar teknolojilerindeki geli meler, yapay sinir a larının geli mesini beraberinde getirmi tir. Uygulanmaya ba ladı ı ilk dönemlerde, laboratuvar çalı maları ile sınırlı kalan yapay sinir a ı uygulamaları, geli en teknoloji ile birlikte öncelikle sanayi ve endüstride, sonrasında da günlük hayatta kullanılmakta olan sistemlere entegre edilerek hayatı kolayla tıran ve insanlı a faydalı uygulamalar haline gelmi tir (Keskenler ve Keskenler, 2017).

Günümüzde, yapay sinir a ı uygulamaları, bir çok yerde etkin bir ekilde kullanılmaktadır. Tıp alanında, kanserli hücrelerin analiz edilmesi, ECG ve EEG gibi görüntüleme sistemlerinden alınan verilerin i lenmesi ve protez dizaynı gibi konularda sıklıkla kullanılmaktadır. Üretim sistemlerinde, ürünlerin tasarım ve analizleri, kalite kontrolleri, yönetim analizleri, planlama, sistem optimizasyonları gibi uygulamalarla birlikte, robotik sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son dönemde oldukça popüler olan otonom araçlarda da yapay sinir a ları kullanılmaktadır. Finans sektöründe ise, finansal modellemelerin yapılması ve bununla birlikte ekonomik tahminler ve analizlerin yapılması alanlarında yapay zeka uygulamaları etkin bir ekilde kullanılmaktadır (Özo uz, 2016). Yapay sinir a ları ile geli tirilmi olan algoritmaların ticari avantajlarına örnek vermek gerekirse; Caere firması tarafından 1997 senesinde geli tirilmi olan optik karakter okuma sistemi, bir sene içinde 3 milyon dolardan fazla kar sa lamı tır. HNC irketinin aynı sene geli tirdi i ve kredi kartlarındaki yasal olmayan kullanımı tespit edebilen ve Falcon adı verilen yapay sinir a ı ise yılda 23 milyon dolarlık getiri sa lamı tır. Sensory firması tarafından 1998’de geli tirilmi olan ve maliyeti 5 dolar olan ses tanıma sistemi bir milyondan fazla sayıda satı yapmı tır.

Problemlerin, klasik yöntemlerle çözümünde, probleme etki eden farklı parametrelerin birbirleri arasındaki etkileşimi ve ilişkilerinin belirlenmesi, belirlenemediği durumlarda da ihmal edilmesi gerekmektedir. Yapay sinir ağları geliştirilerek yapılan uygulamalarda ise, yapay sinir ağının söz konusu etkileşimi örnekler yardımıyla kolaylıkla öğrenildiğinden dolayı, bu parametreler arasındaki etkileşimin bilinmesine ve yapay sinir ağına öğretilmesine gerek olmadığı gibi, sayısal verilerin dışındaki ön bilgilere de ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu parametreler bilindiğinde, aradaki ilişkinin doğrusal olmadığı durumlar için geleneksel metotlarla yapılan çözümlerde, veri noktaları civarında doğrusallaştırmaların yapılması gerekmekte ve bu da elde edilen korelasyonun doğruya olan yakınlığının azalmasına sebep olmaktadır. Yapay sinir ağlarında, parametreler arası etkileşim ve ilişkilerin doğrusallığı bir önem arz etmemektedir. Yapay sinir ağları, elde edilecek olan yeni verilerle tekrar olarak eğitilebilmekle birlikte, eksik bilgilerin olduğu durumlarda da yapay sinir ağları geleneksel sistemlere nazaran daha verimli çıktılar elde edebilmektedir. Yapay sinir ağlarının sadece sayısal verilerle çalışabilmeleri, katmanlardaki parametrelerin belirlenmesi için genel geçer bir kuralın olmaması, ne kadar eğitileceğine keyfi olarak karar verilmesi ve yapay sinir ağlarındaki en optimum çözümün henüz araştırılmakta olan bir konu olması yapay sinir ağlarının dezavantajları arasında sayılabilir (Öücü, 2006).

Yapay sinir ağlarının modellenmesi maksadı ile, çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Bunlardan yaygın olarak kullanılanlarından bir tanesi, MATLAB Neural Network Toolbox isimli, yapay sinir ağlarının modellenmesi, tasarımı ve simülasyonunu yapabilmeyi sağlayan yazılımdır. C programlama dili kullanılarak yazılmış olan ve çok katmanlı algılayıcılarla yapay sinir ağı dizayn edilebilen Fast Artificial Neural Network Library (FANN) yazılımı da bir başka yapay sinir ağı programıdır. Stuttgart Üniversitesi'nde IPVR enstitüsü tarafından geliştirilmiş olan Stuttgart Neural Network Simulator (SNNS) uygulaması da, yapay sinir ağları uygulamalarının geliştirilmesi için kullanılan uygulamalardan bir tanesidir. Java arayüzü kullanılarak geliştirilmiş olan Java Object Oriented Neural Engine (JOONE) uygulaması da yapay sinir ağları yazılımlarına bir başka örnektir (Arı ve Berberler, 2017).

Bu alı mada, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının termofiziksel özelliklerinin tahmin edilmesi amacıyla, deneysel çalı malardan elde edilen veriler kullanılarak yapay sinir a ı olu turulmasında, MATLAB Neural Network Toolbox yazılımı kullanılmı tır.



BÖLÜM II

L TERATÜR ÖZET

Geçmişte yapılmış çalışmalar, iki ana başlık altında incelenmiştir. İlk olarak, hibrit nanosivinin hazırlanması ve termofiziksel özelliklerinin deneysel yolla tespit edilmesi üzerine yapılmış çalışmalarla birlikte hibrit nanosivilerin uygulamaları ve kullanım alanları araştırılmıştır. Yapay sinir ağları üzerine yapılmış çalışmalara ise ikinci ana başlık altında yer verilmiştir. Yapay sinir ağları üzerine yapılmış çalışmalar incelenirken, konu ile ilgili geniş yelpazede yapılmış çalışmalardan ziyade, nanosiviler üzerine yapılmış çalışmalar değerlendirilmiştir.

2.1 Hibrit Nanosiviler

Tek fazlı sıvılara, katı parçacıkların ilavesi ile geliştirilmiş sıvıların termofiziksel özellikleri ilk olarak Maxwell (1873) tarafından incelenmiştir. Daha sonra, Masuda vd. (1993) tek fazlı akıkanlarda mikrometre boyutunda katı partikülleri dâhil ederek ısı iletkenlik artışını gözlemlemiştir. Choi (1995) nanometre boyutlu katı parçacıklar içeren nanosiviler hazırlamış ve ısı iletkenliğinin belirgin bir şekilde arttığını gözlemlemiştir. Nanopartiküllere, bir başka nanopartikülün sentezlenmesiyle elde edilecek hibrit (nanokompozit) nanopartiküllerin ve hibrit nanopartiküllerle hazırlanan hibrit nanosivilerin, ısı iletkenlik başta olmak üzere termofiziksel özelliklerinde iyileşme olması beklenmektedir. Hibrit nanopartiküller, nanometre boyutundaki iki ya da daha fazla farklı nanopartikülün sentezlenmesi şeklinde tarif edilebilmektedir (Sundar vd., 2017).

Jana vd. (2007), karbon nanotüplerinin (CNT), bakır nanopartiküllerin (CuNP), altın nanopartiküllerinin (AuNP) ve bunların hibritlerinin ısı iletkenlik arttırımı yaptıkları deneyde, CNT'ün %0.8 hacimsel yoğunlukta, ısı iletkenliğinde %34'lük bir artış elde edildiğini gözlemlemiştir. Nanosivilerinde normalleşme, ısı iletkenliğini doğrusal olmayan CNT'ün hacimsel yoğunluğuna bağlı olarak birlikte lineer olmayan değişimin CNT'ün boyutu, ekli ve yüklenmesine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, %1.4 hacimsel yoğunlukta AuNP/Su nanosivisinin ısı iletkenliğinde %37'lik artış elde edildiği de görülmüştür.

Suresh vd. (2012) tarafından yürütülen çalı malarda, hacimsel yo unlukları %0.1 ile %2 olan Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının ısı iletkenli i KD2 Pro kullanılarak ölçülmü , yapılan ölçümlerde, ısı iletkenlikte çok önemli bir iyilemenin görüldü ü tespit edilmiştir. Çe itli hacimsel yo unluklar için Brookfield koni ve plak vizometresi kullanılarak yapılan viskozite ölçümlerinde ise, hibrit nanosıvısının viskozitesinin hacimsel yo unluk ile birlikte arttı ı gözlemlenmiştir.

Abbasi vd. (2013)'ne ait bulgular; $-Al_2O_3/MWCNT$ hibrit nanosıvısının %0.1 hacimsel yo unlukta %20.68'lik bir ısı iletkenli e sahip oldu unu, hem ısı iletkenlik hem de viskozitenin, artan hacimsel yo unlukla birlikte arttı ı gözlenmiştir. Michael ve Iniyani (2015), yaptıkları çalı mada, nanosıvıların ısı performansının daha yüksek oldu unu belirtmişlerdir. Atashrouz vd. (2014), ısı transfer i lemlerinde kullanılan geleneksel sıvılara dokuz farklı nanopartikül ekleyerek yaptıkları çalı mada, ısı transfer performansında kayda de er bir geli me gözlemlenmiştir. Takabi ve Shokouhmand (2015) yatay dairesel bir tüp içerisinde Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının türbülanslı akı ta ısı transfer özelliklerini sayısal olarak analiz ederek elde ettikleri Nusselt sayılarını su ile kıyaslamışlardır. Çalı ma sonucunda; bakır nanopartiküllerin alümina nanopartiküllerle hibritlenmesiyle, Nusselt sayısının %32.07'ye yükselirken Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısı için suya oranla %13.68 yükseldi i sonucuna varılmıştır.

Suresh vd. (2014) %0.1 hacimsel yo unlukta Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının türbülanslı akı ta ısı transferi ve basınç dü ü ü özellikleri üzerinde çalı malar ve sonuçlar, saf suya kıyasla ortalama ısı transferi artı mının %8.02 oldu unu, %0.1 Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının, %0.1 Al_2O_3 /Su nanosıvısına kıyasla biraz daha yüksek sürtünme faktörüne sahip oldu unu göstermiştir. Madhesh ve Kalaiselvam (2014) Cu-TiO₂/Su hibrit nanosıvısının farklı hacimsel yo unluklardaki sürtünme faktörü ve basınç dü ü ü de i imlerini hesaplamak için yapmış oldukları deneyde, hibrit nanosıvının sürtünme faktörü ve basınç dü ü ünün, tüm hacimsel yo unluklarda taban akı kanından daha yüksek oldu unu ve bu durumun daha yüksek hacimsel yo unluklarda daha fazla oldu unu ortaya koymuşlardır. Çalı mada ortaya çıkan sebep, hibrit nanopartiküllerin yüksek hacimsel yo unluklarda da ıtılmasının, sürtünme faktörünü yükselten atalet kuvvetleri kadar viskoz kuvvetleri de arttırmasıdır. Yüksek hacimsel yo unlukta basınç dü ü ünün de arttı ı ifade edilmiştir.

Madhesh vd. (2014) deneysel olarak boru tipi ters akı lı ısı e anjöründe Cu-TiO₂ hibrit nanosıvılarının ta nım ısı transferi ve reolojik özelliklerini ara tırmı lardır. Ara tırma bulgularına göre, nanosıvılara kıyasla ta nım ısı transferi katsayısı, hibrit nanokompozit konsantrasyonu ve ayrıca Reynolds sayısı ile artmı tır. %1'e kadar olan hacimsel yo unluklar için, ta nım ısı transfer katsayısı, Nusselt sayısı ve toplam ısı transfer katsayısı, sırasıyla %52, %49 ve %68 oranında artmı tır. Moghadassi vd. (2015)'nin Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosıvısının ısı transfer özellikleri üzerine yapmı oldukları sayısal çalı mada elde edilen sonuçlar, ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısının, Reynolds sayısındaki artı ile birlikte arttı nı; basınç dü ü mü ve sürtünme katsayısının ise hacimsel yo unluktaki artı la birlikte arttı nı ortaya koymu tur.

Esfe vd. (2016), su taban akı kanına hibrit karbon nanotüp (CNT)/Al₂O₃ nanopartiküllerinin ilavesi ile elde edilmı hibrit nanosıvıların ısı iletkenli i üzerine kapsamlı bir deney gerçe klemi lerdir. Çalı malar, farklı hacimsel yo unluk ve sıcaklıklarda yapılmı tır. Hibrit nanosıvının ısı iletkenlik özelliklerinin hacimsel yo unlu a ba lı oldu nu gözlemlenmi ve yüksek sıcaklıkta hibrit nanosıvıların ısı iletkenli inin tahmin edilmesi amacıyla lineer olmayan regresyon ile farklı sıcaklıklar için bir korelasyon önerilmı tir. Isıl iletkenlik oranı hacimsel yo unluk ve sıcaklık ile arttırılmı tır. Sıcaklı ın ısı iletkenlik oranı üzerindeki etkisinin, yüksek hacimsel yo unluklarda daha belirgin oldu u tespit edilmı tir. Dardan vd. (2016) SAE 40 saf ya a 0,0625 ve 1 aralı ndaki hacimsel yo unluklarda Al₂O₃-MWCNT nano partikülleri ekleyerek olu turdukları hibrit nanosıvının 25°C ile 50°C sıcaklık aralı nda viskozitelerini incelemi lerdir. Elde edilen sonuçlar, deneysel veriler kullanılarak elde edilmı olan matematiksel korelasyonun, Al₂O₃-MWCNT hibrit nanosıvısının viskozitesini %2'lik sapma ile tahmin edebildi i ile birlikte, hibrit nanosıvının viskozitesinde taban akı kana oranla %46 oranında artı meydana geldi ini göstermi tir.

Afrand vd. (2016), SAE40 motor ya nda SiO₂ ve MWCNT nanopartikülleri kullanılarak, hazırlanmı olan hibrit nanosıvının farklı sıcaklık ve hacimsel yo unluklarda viskozite üzerindeki etkisi üzerine yaptıkları incelemede, hibrit nanosıvının viskozitesinin %37.4 oranında artı gösterdi ini gözlemlenmi lerdir. Huang vd. (2016) tarafından yapılan çalı mada, Al₂O₃ ve MWCNT nanopartikülleri kullanılarak elde edilmı olan hibrit nanosıvının, oluklu tip plakalı ısı e anjöründeki basınç dü ü ü ve ısı transfer performansı ara tırmı ve elde edilen sonuçları

alümina/su bazlı nanosıvı ile karıştırmılardır. Hibrit nanosıvının basınç düşürün, alümina/su nanosıvıya göre daha düşük oldu u gözlenmi olmakla birlikte, plakalı ısı e anjöründe hibrit nanosıvının Nusselt sayısının tahmin edilmesi amacıyla yeni bir korelasyon da ortaya konmu tur.

2.2 Hibrit Nanosıvıların Uygulamaları

Isı transfer uygulamalarında hibrit nanosıvıların geliştirilmesinden bu yana, hibrit nanosıvının termofiziksel özellikleri başta olmak üzere ısı transferi performanslarında iyileştirmeye yönelik birçok uygulama yapılmı tur. Gelişen ısıl iletkenlik performansları ile birlikte hibrit nanosıvılar sanayi ve endüstride ısı e anjörleri, so utma uygulamaları, tavlama, güneş enerjisi ve elektronik gibi birçok sektörde uygulama alanı bulabilmi tir.

2.2.1 Isı de i tircilerde yapılan çalış malar

Ahmed vd. (2016), termoelektrik so utma ünitesi ile entegre edilmi bir mini kanallı ısı e anjöründe yaptıkları çalış mada, grafen-alümina nanopartikülleri kullanılarak elde edilmi olan bir hibrit nanosıvının ısı transfer performansının analizi üzerine çalış mılardır. Alümina ve grafen nanopartikülleri, %0.1'lik hacimsel yo unlukta e it olarak karıştırmı ve taban akı kan olarak kullanılmı olan baz ya da da ılmı tur. Elde edilen sonuçlar, mini kanallı ısı e anjöründe meydana gelen entropi üretiminin toplamda %19,6 oranında azalmı oldu u, bununla birlikte de tılım ısı transfer katsayısında da %63.13'lük bir artış meydana geldi i gözlenmi tir. Ayrıca, termoelektrik so utucu aynı zamanda so utma kapasitesinde ve performans katsayısında %31,78 oranında bir iyileş me göstermi tir. Isı e anjöründe Cu-TiO₂/su hibrit nanosıvısının varlığı, ısıl iletkenli inin artmasına ve hibrit nanosıvıların genel ısı transfer katsayısının artırarak etkili bir ısıl performans sağ lanmasına katkıda bulunmu tur.

Aghabozorg vd. (2016) laminer ve türbülanslı akı ta bir borulu ısı de i tircisinde Fe₂O₃-CNT/su hibrit nanosıvısı ile deneyler yapmılardır. Hibrit nanosıvının yo unlukları ve sıcaklıkları artırılarak ısı transfer katsayısındaki artış gözlemlenmi tir. Sonuçlar, laminer ve türbülanslı akı için %0.1 hacimsel yo unlukta ısı iletim katsayısının sırasıyla %13.54 ve %27.69 oranında arttı mı ortaya koymu tur. Aynı zamanda ısı iletim katsayısı, laminer ve türbülanslı akı için %0.2'lik bir hacimsel

yo unlukta, saf suya kıyasla %34.02 ve %37.50 oranında artmış ve aynı zamanda yakıt tüketiminde de düme gözlenmiştir. Su taban akı kanında alümina ve MWCNT'lerin 1:2.5'lik hacimsel yo unluk oranında hazırlanmış olan hibrit nanosivinin etkileri, Huang vd. (2016) tarafından deneysel olarak oluklu tip bir plakalı ısı de i tiricisinde gözlenmiş ve sonuçlar, ısı transfer performansında yüksek oranda iyile me göstermiştir. Bu ısı de i tiricideki ısı transferi iyile meleri, ısı iletkenlikteki artış, nanopartiküllerin rastgele hareketi ve çarpı madan kaynaklanmıştır. Allahyar vd. (2016), helezon tip ısı de i tiricisinde, alümina-gümü /su bazlı hibrit nanosivini ile deneyler yapmışlardır. Sentezlenen alümina ve gümü nanopartikülleri sırasıyla %97.5 ve %2.5'tir. Yapılan deneylerde, hibrit nanosivini için %0.4'lük hacimsel yo unlukta, maksimum ısı transfer oranı elde edilmiştir ve bu da damıtılmış suyunkinden %31.58 daha yüksek olmuştur. Hibrit nanosivini için maksimum ısı performans faktörünün yaklaşık 2.55 olduğu ve önerilen hibrit nanokompozitin, helezon tip bir ısı de i tiricisinde ısı transfer oranını arttırmak için üstün ısı özelliklere sahip olduğunu kanıtladığı ifade edilmiştir. Megatiff vd. (2016), TiO₂ ve CNT kullanarak hazırlanmış oldukları hibrit nanosivinin, borulu ısı de i tiricisindeki ısı ta nım katsayısı üzerine yaptıkları çalışmada, laminer akı ta TiO₂-CNT hibrit nanosivisinin ısı iletkenlik ve ısı ta nım katsayısında önemli ölçüde iyile meler olduğu sonucuna varmışlardır.

2.2.2 Ta lama ve i leme uygulamaları

Zhang vd. (2015) minimum kalitede yağ (MQL) ne Ni içeren taban akı kanı ile MoS₂ ve CNT nanopartikülleri kullanarak elde etmiş oldukları hibrit nanosivinin ta lama kuvveti, yüzey pürüzlülü ü ve sürtünme katsayısı üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla çalışmaları yapmışlardır. MoS₂/CNT hibrit nanoparçacıklar ile, daha iyi yağlama etkisini gösteren geliştirilmiş zemin yüzeyiyle birlikte daha düşük ö tme kuvvetleri, sürtünme katsayısı ve yüzey pürüzlülü ü etkisinin elde edildi i ifade edilmiştir. Hibrit nanopartiküllerin farklı karı tırma oranlarının, farklı yağlama performansları verdiği i, MoS₂/CNT'lerin hibrit nanopartiküllerinin fiziksel sinerjik etkisi nedeniyle daha iyi yağlama performansı sağladıkları da belirtilmiştir. MoS₂/CNT hibrit nanopartiküllerin %6'lık hacimsel yo unlu u, minimum 0.2445'lik sürtünme katsayısı üretmiştir. Xie vd. (2016), magnezyum ala ımlarının geliştirilmesi için SiO₂/MoS₂ hibrit nanopartiküller üzerinde etkili bir analiz gerçekle tirmişlerdir. SiO₂/MoS₂ hibrit nanopartiküllerin tribolojik davranışları, magnezyum ala ımlı çelikler için pistonlu bir

biye üzerinde bir tribometre kullanılarak de erlendirilmi tir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre, $\text{SiO}_2/\text{MoS}_2$ nano partikülleri kullanılarak elde edilmi olan yeni hibrit nanosivinin, farklı hız ve yüksek yüklerde dahi, SiO_2 veya MoS_2 nanopartiküllerine kıyasla daha yüksek ya lama performansı gösterdi i ifade edilmi tir. Sürtünme katsayısının %46,6 oranında azaldı ı ve baz ya ın aksine a ınma miktarının %50,5 oranında azaldı ı belirtilmi tir. $\text{SiO}_2/\text{MoS}_2$ hibrit nanopartiküllerin mükemmel ya lama özellikleri, ya lama maddesinin performansına ve sürtünme i lemi sırasında SiO_2 ve MoS_2 nanopartiküllerinin fiziksel sinerjik ya lama hareketlerine katkıda bulunmu tur. Zhang vd. (2016), ö ütme i leminde $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ hibrit nanosivini performansı üzerinde bir deney gerçekle tirmi lerdir. Elde edilen sonuçlardan, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ hibrit nanosivini kullanımı ile, dü ük ö ütme kuvveti oranları, ta lama enerjilerinde dü me ve daha iyi yüzey pürüzlülü ü elde edildi ini göstermi tir. Bununla birlikte, ya larda elde edilecek ısıl performans artı nın, nanopartiküllerdeki fiziksel sinerjiye de olumlu yönde tesir etti i ifade edilmi tir. Karı ık nanopartiküllerin farklı oranları farklı etkiler göstermi tir. Bu ara tırmada, 2:1 oranındaki ya lamada en büyük iyile menin oldu u ifade edilmi tir. 2:1 karı ım oranındaki nanosivinin ö ütme kuvveti ve yüzey pürüzlülü ünün, sırasıyla %6.7, %20.1 ve %29.3 oldu u ve bu de erlerin mevcut çalı ma sıvısından (saf Al_2O_3 -Su) daha dü ük oldu u belirtilmi tir. Bu nedenle, 2:1 karı ım oranının, nanosiviler arasında en iyi ya lama performansını sa ladı ı ve bu ö ütme uygulamasında optimum karı ım oranının (2:1) oldu u de erlendirilmi tir.

2.2.3 Güçlendirilmi mikrogüç jeneratörü uygulamaları

Yuan vd. (2014), tek duvarlı karbon nanotüp-bakırsülfat nanopartiküllerin (SWNT-CuS) polistirensülfonat (PSS) çözeltisi ile olu turdukları hibrit nanosivini ile elektrik üretimi uygulamaları üzerine çalı ma yapmı lardır. Yapılan çalı ma sonucunda elde edilen veriler ı ı nda, hibrit nanosivinin ısıl ve optik özellikleri, ı ıktan ısıya dönü türme, mükemmel bir do rudan ı ık ve ısıl enerji emicisi olarak kullanılabilen, su üzerinde ı ık enerjisi depolaması ve optik absorpsiyon/yok olma gibi çok iyi özelliklere sahip oldu u sonucu elde edilmi tir. Mikro güç üreten çip üzerindeki haznenin içindeki nanosivini, ı ı ı ısıya dönü türmek için kullanılmı , böylece sıcaklık farkı ortaya çıkmı ve elektrik olu umu sa lanmı tir.

2.2.4 Güne enerjisi uygulamaları

Farklı nanosıvılar ile doldurulmuş tüplü kolektör kullanılarak güne enerjili su ısıtma sistemi analizi Mahian vd. (2013) tarafından kapsamlı bir şekilde gözden geçirilmiştir. Simülasyon (TRNSYS) yazılımı analizine dayanarak, karbon nanotüp nanosıvıların ısı iletkenliği, çıkış sıcaklıklarındaki büyük artış sebebiyle güne enerjili su ısıtma sistemlerinde olumlu bir etki göstermiştir. Silikon, alüminyum, alümina ve bakır nanosıvılar ile karıştırıldığında, karbon nanotüp nanosıvı kullanımında maksimum çıkış sıcaklığının elde edildiği ifade edilmiştir. Shende ve Sundara (2015), doğrudan emilimli güne kolektöründe (direct absorption solar collector) indirgenmiş grafen oksit ve çok duvarlı karbon nanotüplerin (rGO-MWCNT) nitrojen katkılı hibrit yapısı üzerinde incelemelerde bulundular. rGO-MWCNT'lerin hibrit yapısı, saf su ve etilen glikol içinde 2:1 oranında polietilen glikol (PEG) ve sodyum lauril sülfat (SLS) yüzey aktif maddeleri yardımıyla dağıtılmıştır. Nitrojen katkılı rGO-MWNT'lerin hibrit yapısı, ısı iletkenlikte önemli iyileşme ile iyi bir dağılım ve stabilite gösterirken, nanopartiküllerin hacimsel yoğununun bir fonksiyonu olarak optik emilim ve geçirgenlik, hibrit nanopartiküllerin hacimsel yoğunundaki artışla artmış, geçirgenlik ise azalmıştır. Hibrit nanopartiküllerin optik emilimi saf suda %17.7, etilen glikolde ise %15.1'lik oranda gelişme kaydetmiştir. Sonuçlar, N-(rGO-MWNT) kullanılarak elde edilmiş olan nanosıvının, güne kolektörlerinde yüksek verimliliğe neden olduğunu göstermiştir. Said vd. (2015) plakalı güne kolektöründe, TiO₂/Su nanosıvının performansı üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Nanosıvının dispersiyonu, bir yüzey aktif madde olarak polietilen glikol ilave edilerek stabilize edilmiş ve yapılan çalışmalar sonucunda ısı iletkenlik iyileşmesi %3 hacimsel yoğunlukta TiO₂ ile %6'ya kadar arttırılmıştır. Nanosıvı ilavesinden etkilenen diğer faktörler olan enerji ve ekserji etkisinin sırasıyla %76.6 ve %16.9 oranında arttığı ifade edilmiştir.

2.2.5 Diğer uygulamalar

Hibrit nanosıvılar, ısı özelliklerindeki avantajlar nedeniyle elektronik sistemler ve ilaç dağıtım gibi dolaylı ısı uygulamaları için de kullanım alanı bulmuşlardır. Hibrit nanosıvılar tıbbi alandaki uygulamaları konusunda Sheng vd. (2016) tarafından yapılan çalışmalarda, kandaki LPHNP'lerin ömrünün uzatılması amacıyla polietilen glikol (PEG) ve heparin (HEP) bileşiminden meydana gelen yeni bir kaplama dizayn

edilmi tir. Çalı mada, solvent difüzyon/buharla tırma metodu ile hazırlanmı olan 100–200 nm çapındaki hibrit nanopartiküller, fiziko-kimyasal yöntemle karakterize edilerek PEG ve HEP ünitesinin sinerjistik etkileri incelenmi tir. Çalı mada, yüzey hidrofilitesinin yanı sıra, nanopartiküllerin süspansiyon stabilitesi de dikkate de er ölçüde iyile tirilmi ve yüzey yükü nötrlü e yakın ekilde uyarlanmı tir. In vitro ve in vivo çalı malar, PEG/HEP kaplamasının makrofajı (yabancı madde istilacıları) alımını anlamlı bir ekilde engelledi ini ve azalmı karaci er izolasyonu ile birlikte LPHNP'lerin kan dola ımını uzattı ını göstermi tir. Bu sonuçlar, PEG/HEP kaplamasına sahip olan bu LPHNP'lerin, etkili ilaç ta ıyıcıları olarak büyük güvence sahibi olabilece ini göstermi tir. Nakano vd. (2008), ilaçlar üzerine yaptıkları çalı mada, ilaç da ıtım sisteminde nanomanyetik sıvıların kullanımı ve meydana gelen ferro sıvı kümele meler üzerine yo unla mı lardır. Çalı ma sonucunda, manyetik nanopartiküllerin olası etkilerinin, düzgün bir kaplama ile kendilerine kazandırılacak ilaç yükleme potansiyeli ve biyokimyasal nitelikleri ile birle tirilmi manyetik çekirdeklerinin niteliklerinden kaynaklandı ı sonucuna varılmı tir. Selvakumar ve Suresh (2012), termokimyasal ve hidrojen indirgeme metodu ile hazırlanmı olan Al_2O_3 –Cu/Su hibrit nanosıvısının, 59x59x12.6 mm'lik boyutlardaki ince kanallara sahip bakır malzemeden imal edilmi ısı de i tiricisindeki performansı üzerine çalı ma yapmı lardır. Elde edilen sonuçlara dayanarak, ısı de i tiricisinde olu an ta ınım ısı transfer katsayısı, su ile kar ıla tırıldı ında so utma sıvısı olarak kullanılan %0,1 hacimsel yo unluktaki hibrit nanosıvıda belirgin olarak %24.35 oranında artmı oldu u ifade edilmektedir. Ayrıca, so utma sıvısı olarak hibrit nanosıvı kullanıldı ında pompalama gücündeki ortalama artı , saf suyun kendisiyle kar ıla tırıldı ında %12.61 olarak tespit edilmi olup, pompalama gücündeki bu artı ın ta ınım ısı transfer katsayısındaki artı tan daha az oldu u da belirtilmi tir. Yapılan deneyler neticesinde, hibrit nanosıvının elektronik sistemlerin so utulması uygulamalarında yüksek performansta kullanılabilece i ifade edilmi tir.

Elektronik yongaları hibrit nanosıvılarla so utma sistemleri Jeng ve Teng (2013) tarafından ara tırılmı tir. Bu hibrit so utma sisteminde, so utma sıvısı olarak Al_2O_3 /Su nanosıvısı ve hidrokarbon so utucu ve merkezi i lemci ünitesi (CPU) için buhar sıkı tırmalı so utma sistemi (vapor compression refrigeration system) kullanılmı tir. Deneysel çalı malar sonucunda, Al_2O_3 /Su nanosıvısı ile yapılan so utmada, ısı da ılımı performansında iyile me ve ısıtıcıda daha az yüzey sıcaklık de eri elde edilirken,

pompalama gücünde de artı meydana geldi i gözlenmi tir. Çalı malar, elektronik yongaları so utmak, sistem performansını arttırmak ve ekipman ömrünü uzatmak için hibrit so utma sistemlerinin ideal bir çözüm olaca ını göstermi tir. Swapnil vd. (2016), dairesel tip ısı borusunda hibrit nanosıvının, ısıl perfromans üzerine etkisini ara tırmı lardır. Alümina-boron nitritin (Al_2O_3 -BN) hibrit nanopartikülleri, %2'lik hacimsel yo unlukta taban akı kanı olarak seçilen su içerisine da ıtılmı tir. Çalı malar sonucunda, hibrit nanosıvının ısıl direncinin, saf suya kıyasla %39.92 oranında azaltılabilece i ortaya koyulmu tur. Ramachandran vd. (2016), silindirik ısı borusundaki hibrit nanosıvıların ısıl özelliklerini analiz etmi lerdir. Isı borusu, hibrit nanosıvıların ısıl özelliklerinin geli imine göre incelenmi tir. Al_2O_3 -CuO'nun hibrit nanosıvısı, %0.1'lik hacimsel yo unluklarda ve farklı oranlarda, taban akı kan olarak seçilen saf su içinde da ıtılmı tir. Çalı ma neticesinde, sıcaklık de erlerinde iyile me gözlemlenmi ken, ısıl dirençlerde Al_2O_3 ve Cu için sırasıyla %38.34 ve %50'lik oranlarda kötüle me tespit edilmi tir.

2.3 Hibrit Nanosıvıların Hazırlanması

Hibrit nanosıvıların hazırlanmasında farklı metotlar uygulanmakta olup, literatürde sıklıkla kar ıla ılan metotlar tek adımlı ve iki adımlı yöntemlerdir. Bu yöntemler, kullanılacak olan hibrit nanosıvıların ideal fiziksel özelliklere sahip olmasının yanında, aglomerasyon ve çökelle me gibi olumsuz durumların önüne geçmek amacıyla kullanılmaktadır.

2.3.1 ki a amalı yöntem

ki a amalı yöntem, ara tırmacılar tarafından nanosıvı hazırlamak için yaygın olarak uygulanan yöntemdir. Nanopartiküllerin, nanotüplerin, nano ipliklerin ve di er nanomalzemelerin ço unun uygulanması, ilk olarak kimyasal veya fiziksel yöntemlerle kuru tozlar (sentezleme i lemi) ekinde üretilir(Yu ve Xie, 2012). Sonra, sentezlenmi kuru nanopartikül, manyetik karı tırıcı (yo un manyetik çalkalama), ultrasonikasyon, yüksek kesme karı tırma ve homojenizasyon yardımı ile bir sonraki a amada, bir taban akı kanına karı tırılarak askıya alınacaktır. Bu yöntem, nanopartiküllerin seri olarak üretilmesi sebebiyle nanosıvının özellikle ekonomik olarak en uygun ekilde hazırlanmasıdır.

Suresh vd. (2011) su bazlı hibrit nanosıvı hazırlanmasında kullanmak üzere, termokimyasal yöntemle nano kristalin Al_2O_3 -Cu hibrit nanokompozitinin hazırlanması üzerine yaptıkları çalışmada, bakır nitrat ($Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$) ve alüminyum nitrat ($Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$)'ın su ile karıştırılması ile bir solüsyon hazırlanmıştır. Hazırlanan solüsyon, Al_2O_3 -Cu kompozit tozunu elde etmek için $180\text{ }^\circ\text{C}$ 'de püskürtülerek kurutulmuş, kararlı alümina ve bakır oksit karışımını oluşturmak için 1 saat süreyle hareketsiz havada $900\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ısıtılmıştır. Sonrasında ise, silindirik bir fırında, $400\text{ }^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklıkta bir saat süre ile ısıtılarak CuO 'nun Cu 'ya indirgenmesi tamamlanmıştır. Bu işlem sonucunda Al_2O_3 'ün yapısının değişmediği gözlemlenmiştir. Son olarak, elde edilmiş olan bu bileşik, homojen bir Al_2O_3 -Cu nanopartikülünün elde edilmesi amacıyla ile 400 dev/dak 'da ötürülmüştür. Moghadassi vd. (2015), Suresh vd. (2011)'nin yaptıkları çalışmada kullanılan olduklarına benzer bir hibrit nanosıvının elde edilmesi amacıyla, iki aşamalı yöntem kullanılmışlardır. Kuru f-MWCNT ve Fe_3O_4 nanopartikülleri eşit hacimde bir karışımla hazırlanmış ve taban akıkanı olarak tercih edilmiş olan etilen glikol içine dağıtılmıştır. Chen vd. (2012), yüzey aktif madde olarak sodyum dodesil-benzenesülfonat (NaDDBS) kullanarak Fe_2O_3 /MWCNT hibrit nanosıvı üretme yöntemini uygulamışlardır. Taban akıkanı olarak deiyonize su ve etilen glikol içeren Al_2Cu/Ag_2Al hibrit nanosıvılar, mekanik alaşımlama ile üretilmiş olan kuru kompozit tozlar ile yaklaşık %0,2 ve %1,5'lik hacimsel yoğunluklarda iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanmıştır.

Paul vd. (2011) Al-Zn nanopartiküllerini mekanik alaşımlama ile sentezleyerek Alüminyum (%95) ve çinko (%5) nanopartikülleri hazırlamışlar ve yüksek enerjili bir planet bilyalı değirmen kullanarak oda sıcaklığında mekanik alaşımlama ile karıştırmış ve ötürülmüşlerdir. Daha sonra, hibrit nanosıvı, taban akıkanı olarak uygun miktarda etilen glikola Al-Zn nanopartiküllerini ekleyerek iki aşamalı yöntemle hazırlanmıştır. Abbasi vd. (2013) etanol ile solvolsal bir işlem kullanarak hibrit $-Al_2O_3$ /MWNT elde etmişlerdir. Alüminyum asetat tozu, etanol içerisinde çözündürüldükten sonra iki farklı yöntem kullanılarak hazırlanan saf MWNT'ler ve ilevselleştirilmiş MWNT'ler bu süspansiyona ilave edilmiş ve bir ultrasonikatör kullanılarak, iki aşamalı yöntemle $-Al_2O_3$ /MWNT hibrit nanosıvı hazırlanmıştır. Yüzey aktif madde olarak Gum Arabic, deiyonize suya ilave edilerek ultrasonikatöre konulmuş ve daha sonra hibrit nanosıvı, bu süspansiyona ilave edilmiş ve ultrasonik su banyosu kullanılarak karışım sağlanmıştır.

Nanopartiküllerin, partikül büyüklüğüne bağlı olarak yüksek yüzey alanı ve diğer yüzey hareketleriyle bağlantılı olarak, nanoparçacıklar nanosıvıların ısı özelliklerini etkiler ve buna bağlı olarak tortulama eiliminde olurlar. Afrand vd. (2016), %1'den yüksek hacimsel yoğunlukta, nanopartiküllerin birikmesine ve tortulamasına neden olan kümelenme eiliminin gözlemlendiğini ve nanosıvının da ılmadığını belirtmişlerdir. Bu nedenle, hazırlanan nanosıvıya yüzey aktif madde ilavesi ile kümelenme olumunun önüne geçilerek nanosıvının stabilitesi sağlanabilir. Nanosıvıya ilave edilecek yüzey aktif madde, nanopartikül dispersiyonunun stabilitesini artırabilir, lakin yüzey aktif maddenin tesiri, yüksek sıcaklıkta ısı transferi uygulamalarında deformasyon gösterebilir. Ayrıca, nanopartiküllerin tortulaması yerleşme veya tıkanmaya yol açmakla birlikte nanosıvıların ısı iletkenliğini de azaltabilir.

Farklı hacimsel yoğunluklarda gerekli olan nanopartikül miktarları için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır (Kannaiyan vd., 2017):

$$\varphi(\%) = \frac{W_n / \rho_n}{W_n / \rho_n + V_b} \quad (2.1)$$

Burada, W_{np} nanopartikül miktarı, ρ_{np} nanopartikül yoğunluğu ve V_b ise taban akıkan hacmi olarak verilmiştir.

2.3.2 Tek aamalı yöntem

Tek aamalı yöntemde, hem nanopartiküllerin sentezi hem de nanosıvıların hazırlanması aynı anda gerçekleştirilir. Lo vd. (2005), bakır dioksit nanopartiküllerin hazırlanmasında Tozaltı Ark Nanopartikülleri Sentez Sistemi (SANSS) olarak adlandırılan tek aamalı bir yöntem kullanmışlardır. Sistemin, partikül kümelenmesinin azaltılmasında ve deiyonize su süspansiyonunda da ılmı CuO nanopartiküllerinin iyi kontrol edilen boyutu ile birlikte homojen olarak da ılmı halde üretilmesinde etkili olduğu belirtilmiştir. Tek aamalı yöntemle nanosıvı hazırlanması için bir çok farklı teknik mevcuttur. Sıvı kimyasal yöntem, Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD), do rudan buharla tırma sistemi, VEROS ve vakum-SANSS (batırma ark nanopartikülleri sentezi) bunlara verilebilecek örneklerden bazılarıdır. Bu yöntemlerde, nanopartiküllerin depolanması, kurutulması, tıkanması ve dispersiyonuna gerek yoktur. Bu avantajlardan

dolayı, nanopartiküllerin kümelenmesi (aglomerasyon) en aza indirgenerek sıvıların stabilitesi artar (Li vd., 2009). Tek a amalı fiziksel yöntem, nanopartikülleri a ırı maliyete ba lı olarak büyük ölçekte sentezleyemedi inden, tek adımlı kimyasal yöntem geli tirilmi tir. Kumar vd. (2009), bakır sülfat pentahidratı sodyum hipofosfit ile etilen glikol içinde geleneksel ısıtma yöntemiyle baz katyon olarak indirgeyerek, stabil, kümelenme olmayan bakır nano maddelerin hazırlanması için yeni bir tek a amalı kimyasal yöntem kullanmı tir. Bu yöntemin, daha az zaman tüketimi ile yüksek miktarda ürün veren tek a amalı bir yöntem oldu unu belirtmi lerdir. Kim vd. (2009) suda asılı kalan altın nanopartiküllerin sıvılardaki darbeli lazer ablasyonuna ba lı oldu unu belirtmi lerdir. Bu yöntemde, ortalama büyüklükleri 7.1 ile 12.1 nm arasında de i en Au-NP'lerin, büyüklük da ılımları, lazerle uyarılan fragmantasyon sebebi ile daha dü üktür. Bu nedenle, nanosıvıda yüzey aktif madde kullanılmamasına ra men 1 ay sonra bile önemli kolloidal stabilitenin görüldü ü ifade edilmi tir. Bununla birlikte, nanopartiküllerin sahip oldukları yüksek reaktivite nedeniyle, tortula ma e ilimine sahip oldukları ve tamamlanmamı reaksiyon veya dispersiyona ba lı olarak nanosıvı içinde kalıntıların olu abilece i, bu nedenle parçacıkların birikmesini önlemek amacıyla bir dengeleyici madde olarak yüzey aktif madde veya stabilizatör kullanıldı ı ifade edilmi tir. Munkhbayar vd. (2013), Pals Tel Buharla tırma (PWE) yöntemini kullanarak tek a amalı fiziksel bir teknikle nanosıvı hazırlamı lardır. Bu yöntemde tercih edilmi olan aygıt; kapasitör bankası, yüksek voltaj ayar anahtarı, yüksek voltajlı DC güç kayna ı ve buharla tırma/yo u ma odasından olu an dört temel bile enden meydana gelmi tir. Daha iyi da ılımın sa lanması için MWCNT'ler kimyasal i lemle polarize edilmi tir. Bu nanosıvının dispersiyon oranı ve ısı iletkenli i, UV spektrofotometri ve geçici kısa sıcak tel metodu ile de erlendirilmi tir. Dar boyutlu da ılım gösteren gümü nanopartikülleri içeren mineral ya bazlı nanosıvılar da tek a amalı yöntemle hazırlanmı tir.

Desmukh ve Sangawar (2016), polietilen mikroküreleri hazırlamak için tek a amalı kimyasal yöntemle, Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM) görüntüleri kullanarak, poliglikolik asit konsantrasyonunun, kümelenmeyi azalttı nı ve polietilen mikrokürelerin küresellik derecesini arttırdı nı ispatlamı lardır. Bu tek a amalı yöntemde, karbon oda sıcaklı nda e zamanlı olarak ısıtılıp buharla tırılarak karbon buharı ve parçacıklar üretilmi ve istenen nanosıvıyı olu turmak için, baz akı kan olarak seçilen su içinde da ıtılmı tir.

Aberoumand ve Jafarimoghaddam (2016) Telin Elektriksel Patlaması (EEW) olarak bilinen tek a amalı metotla nanosıvı hazırlamı lardır. EEW yönteminde, kullanılacak olan nanosıvı; içinde ince metal tel bulunan bir haznede, yüksek akım kullanılarak patlama vasıtası üretilmi tir. Daha sonra üretilen Tungsten (III) oksit (WO_3)/transformatör ya ı (taban akı kanı), Ag- WO_3 /transformatör ya ı hibrit nanopartiküller üretmek üzere, gümü (Ag) nanopartiküllerini EEW ile süspanse etmek için taban akı kanı olarak kullanılmı tir.

2.3.3 Di er yöntemler

Feng vd. (2006)'nin altın, gümü ve platin nanopartiküllerin hazırlanması için geli tirdikleri yöntem, son derece kararlı nanopartiküllerin transfer faz verimlili indeki artı a kayda de er ekilde dikkat çekmektedir. Bu yöntem ayrıca önemli kerosen bazlı sıvılarla Fe_3O_4 nanopartiküller hazırlamak için de kullanılmı tir. Oleik asitin, Fe_3O_4 nanopartiküllerin yüzeyine kimyasal olarak uygulanmasının, kerosen ile daha iyi uyum sa layan bir sonuç ortaya çıkardı ı belirtilmi tir. Hwang vd. (2007), polietilen glikol ile sentezlenen karboksil fonksiyonel karbon nanotüplerin (f-CNT) yüzey modifikasyonunu içeren bir hazırlama yöntemiyle kompozit karbon nanotüp bazlı nanopartiküller (CCNT bazlı nanosıvılar) hazırlamı lardır. Kompozit karbon nanotüpler, sentezlenmi f-CNT'ler ve polietilen glikol arasında bir ester reaksiyonu yoluyla birle tirilmi tir. Böylece, CCNT'ler, mekanik çalkalama ve ultrasonik karı tırma yardımı ile farklı hacimsel yo unluklarda etilen glikol içinde dispersiyon yoluyla hazırlanmı tir. Yarmand vd. (2015), taban akı kanı olarak seçtikleri su ile grafen nanoplatelet/platinini kullanarak bir hibrit nanosıvı hazırlamı lardır. Grafen nanoplateletin (GNP), sahip oldu u hidrofobik özelli i nedeniyle do rudan da ıtılamadı ndan dolayı, çözeltiyi hidrofilik hale getirmek için asit muamelesi ile GNP i levselli i yöntemini kullanmı lardır. GNP'nin yüzeyinde karboksil ve hidroksil grupları gibi fonksiyonel grupların olu turulmasında, bu i levselle tirme süreci etkili olmu tur. Daha sonra, fonksiyonelle tirilmi GNP'lere bir kimyasal reaksiyon i lemi ile platin ilave edilmi tir. Fonksiyonelle tirilmi GNP (30 mg), 10 mL damıtılmı suya da ıtılmı ve bu i lem, 2 saat kesintisiz karı tırma ile da ılmı fonksiyonelle tirilmi GNP süspansiyonuna 0.035 M K_2PtCl_4 eklenmesi ile devam ettirilmi ve daha sonra çözeltiyeye sodyum borohidrit ilave edilmi tir. Stabilit e kontrolü amacıyla 22 gün süre ile yapılan gözlemlerde, GNP-Pt hibrit nanosıvısında %5.7'den az bir miktarda tortula ma oldu u ifade edilmi tir.

2.4 Hibrit Nanosıvıların Termofiziksel Özellikleri

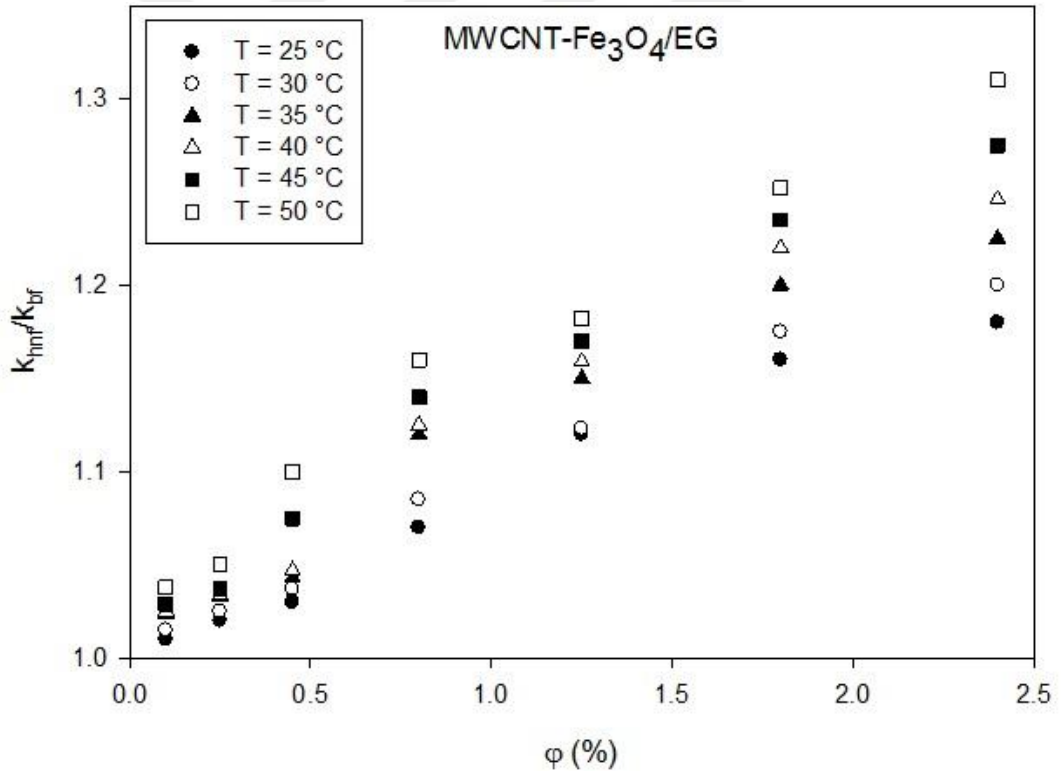
Literatürde, hibrit nanosıvıların ısı iletkenlik, ve viskozite gibi termofiziksel özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi üzerine bir çok ara tırma mevcut olmakla birlikte, özgül ısı üzerine yapılmı deneysel çalı malar kısıtlıdır. Elde edilen sonuçlar, hibrit nanosıvıların ısı transfer performansının arttırılması için yapılan çalı malarda kullanılan en önemli parametreler olarak literatürde yer bulmu lardır.

2.4.1 Isıl iletkenlik

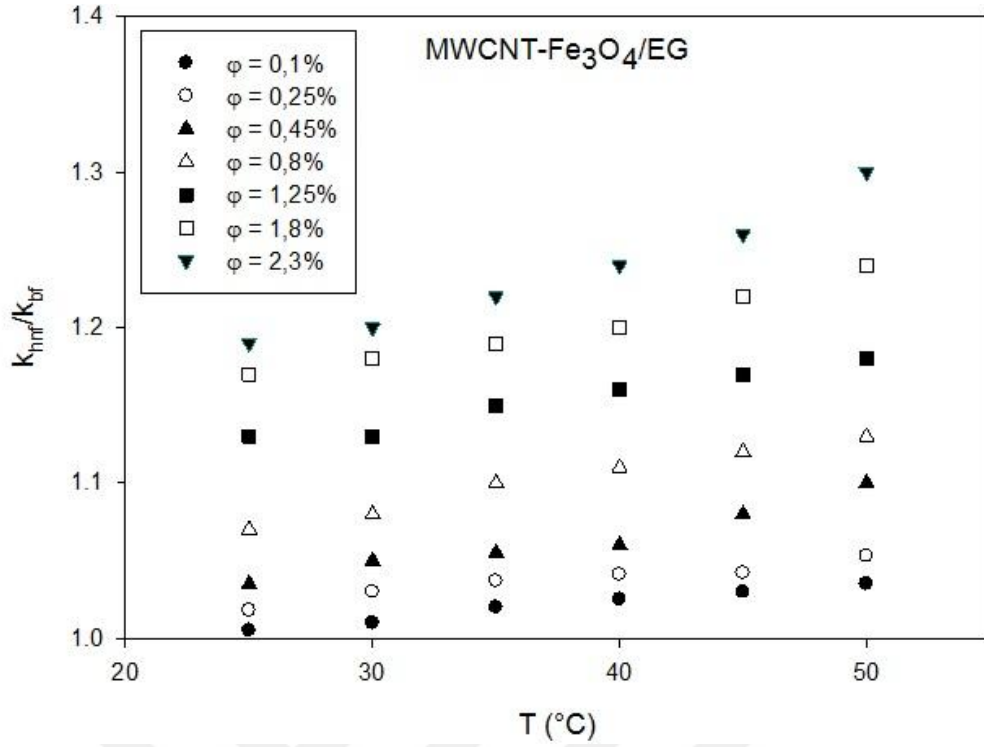
Yarmand vd. (2016), karbon ve grafen kompozitinden olu an hibrit nanosıvının termofiziksel özelliklerini ara tırmak için yapılmı oldukları çalı mada; nanosıvıların ısı iletkenli inin, hacimsel yo unluk ve sıcaklı ın artmasıyla iyile ti ini belirtmi lerdir. Bununla birlikte, nanosıvıların ısı iletkenli indeki de i im, hem hacimsel yo unluk hem de sıcaklık için do rusal olmamı tır. Hibrit nanosıvıların ısı iletkenli inin arttırılması için dikkate alınması gereken dört temel parametre; nanopartiküllerin Brownian hareketi, partikül ara yüzeyinde sıvı tabakası olu umu, nanopartiküllerde ısı ta nımının do ası ve kümelenme e ilimi ekinde verilmi tir (Kebinski vd., 2002). Shamsavar vd. (2015), yapılmı oldukları çalı mada, hibrit nanosıvıların ısı iletkenli inin, parçacık kümelenmesi, sedimentasyon ve hasarlı yapısal bütünlü ün artması ile yo un bir ekinde etkilendi ini ortaya koymu lardır. Bunun yanı sıra, Shirazi vd. (2015) ise yaptıkları çalı malar sonucunda ısı iletkenlik de erinin, nanopartikül yo unlu u ile önemli oranda de i mekle birlikte, sıcaklı ın ısı iletkenlik üzerine etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde oldu unu ifade etmi lerdir. Murshed vd. (2005), nanopartiküllerin boyut ve ekillerinin, yalnızca partikül hacim yo unlu uyla de il, nanosıvıların ısı iletkenli iyle de ili kisinin bulundu unu belirtmi lerdir.

Madhesh vd. (2014) Cu-TiO₂ hibrit nanosıvısının reolojik özellikleri ve ta nım ısı transferini ara tırmak için yaptıkları çalı mada, hibrit nanopartiküllerin artan hacimsel yo unluklarının, yüksek miktarda ısı ıl ara yüzlerin yapısının geli imine yol açtı ını ve bunun da ısı iletkenli i geli tirdi ini belirtmi lerdir. Suresh vd. (2012) sayısal olarak Al₂O₃-Cu/su hibrit nanosıvısının ısı iletkenli i üzerine yaptıkları çalı mada, Al₂O₃-Cu/su hibrit nanosıvısının ta nım ısı transfer performansının, ısı iletkenlikle ba lantılı oldu unu kanıtlamı lardır. lave olarak, dinamik ko ullarda ısı iletkenli in, statik

ko ullar altındakinden çok daha büyük olabilece i de ifade edilmi tir. Esfe vd. (2016), ısı iletkenlikteki iyile menin, nanopartiküllerin sıcaklık ve hacimsel yo unluktaki artı a ba lı olarak belirgin oldu unu ve bunun yanı sıra, taban akı kanı içinde da ılı mı olan partiküllerin sayısındaki artı la ilgili olarak ortaya çıktı nı belirtmi lerdir. Brownian hareketi sebebiyle olu makta olan çarpı mada da ısı iletkenli in arttı ı ifade edilmi tir. Harandi vd. (2016), sıcaklık artı na ba lı olarak ısı iletkenlikteki artı n temel nedeninin, nanopartiküller ile Brownian hareketi arasındaki etkile im oldu unu belirtmi lerdir. Bu nedenle, ısı iletkenlik ara tırmalarındaki sıcaklı ın etkisinin, daha yüksek hacimsel yo unluklarda daha fazla belirgin oldu u ifade edilmi tir. Buna sebep olarak da, parçacıkların hareketine sıcaklı ın etkisinin daha fazla oldu u, büyük miktarlarda parçacıkların varlı ının bu etkiyi arttı rdı ı belirtilmi tir. ekil 2.1 ve ekil 2.2, sırasıyla MWCNT-Fe₃O₄/EG hibrit nanosıvısının ısı iletkenlik oranlarının hacimsel yo unluk ve sıcaklı a ba lı olarak de i imlerini göstermektedir.



ekil 2.1. MWCNT-Fe₃O₄/EG hibrit nanosıvısının sabit sıcaklıkta ısı iletkenlik oranının hacimsel yo unluk a ba lı de i imi



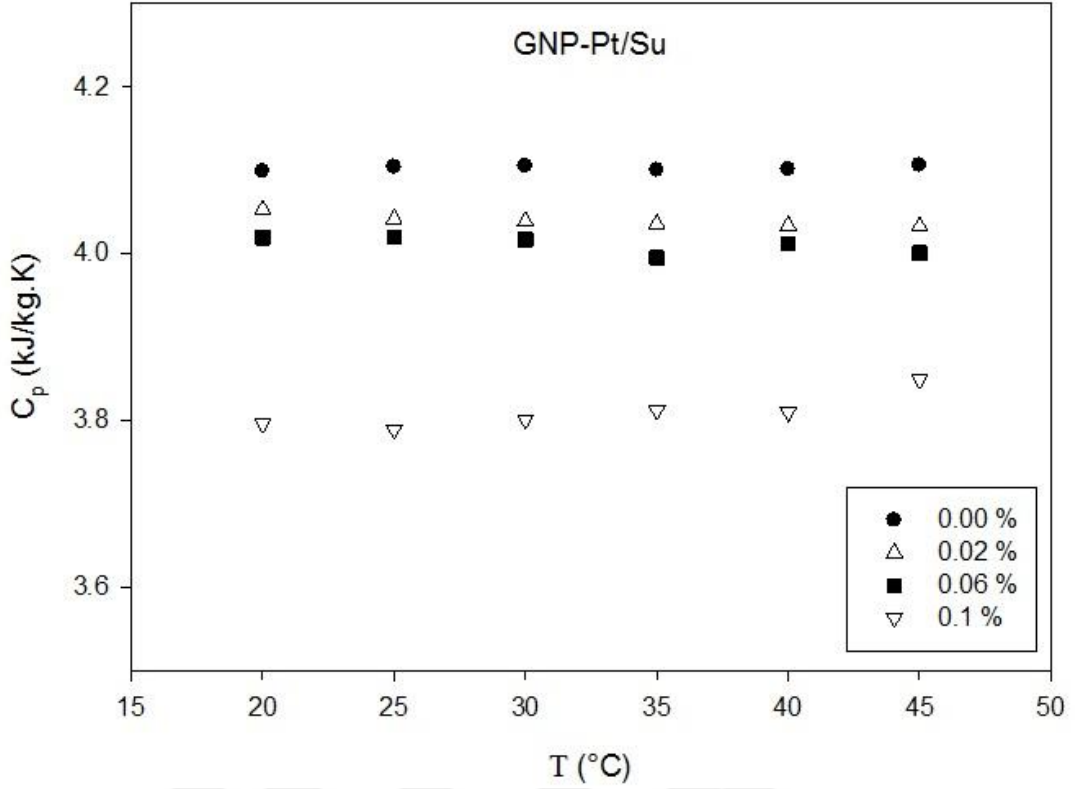
ekil 2.2. MWCNT-Fe₃O₄/EG hibrit nanosivısının ısı iletkenlik oranının sıcaklı a ba lı de i imi

2.4.2 Özgül ısı

Hibrit nanosivıların termofiziksel özelliklerinden bir tanesi de özgül ısıdır. Isı transfer katsayısı, viskozite, yo unluk gibi termofiziksel özelliklerin ölçümü ile ilgili deneysel çalı malar oldukça fazla olmasına ra men, özgül ısı ile ilgili deneysel çalı malar oldukça sınırlıdır(Huminic ve Huminic, 2018). Nanoakı kanların özgül ısı ile ilgili ilk çalı ma Pak ve Cho (1998) tarafından yapılmı tır. Çalı ma sonucunda nanoakı kanların hacimsel konsantrasyonlarının artmasıyla özgül ısının azaldı ı sonucuna varılmı tır. Nelson vd. (2009), polyalfenolde da ılımı grafit nanopartiküller ile elde edilen nanoakı kanların ısı özellikleri üzerinde çalı malar yapmı lardır. Çalı mada, 20 nm partikül çapında ve %0.6'lık kütleli konsantrasyonda hazırlanmı nanosivısının 90 °C'lik sıcaklıkta özgül ısı de eri ölçülmü tür. Yapılan çalı malar sonucunda, nanosivısının özgül ısısının, baz ya dan yakla ık %50 daha yüksek oldu u ve sıcaklık artı ı ile özgül ısının arttı ı belirtilmi tir. Namburu vd. (2007) deneysel çalı malarında, etilen glikol/su karı ımına a ırlıkça %60:40'lık oranda, 20, 50 ve 100 nm partikül çapında SiO₂ ekleyerek elde ettikleri nanosivısının özgül ısını ölçmü ler ve yapılan çalı ma sonucunda, konsantrasyon artı na ba lı olarak özgül ısının azaldı ını ortaya

koymu lardır. Vajjha ve Das (2009), üç farklı nanosıvı türünün özgül ısısının ölçümü konusunda deneysel çalı malar yürütmü tür. Çalı malar, deiyonize suda karı tırılmı 20 nm partikül boyutunda SiO₂, 44 nm partikül boyutunda Al₂O₃ ve etilen glikol-su ile karı tırılmı 77 nm partikül boyutundaki ZuO partiküllerinden olu an nanosıvılar üzerinde yapılmı tır. Çalı malar sonucunda, üç nanosıvı için de konsantrasyon artı ıyla birlikte özgül ısının azaldı ı, di er taraftan sıcaklık artı ıyla birlikte özgül ısının arttı ı gözlemlenmi tir. Bununla birlikte, sonuçların Pak ve Cho (1998) ve Xuan ve Roetzel (2000)ın korelasyonları ile uyumlu olmadı ı bildirilmi tir. Ho vd. (2010), Al₂O₃ ve MEPCM (Micro Encapsulated Phase Change Material) nanopartikülleri ile hazırlanmı olan hibrit nanosıvının özgül ısısını, 30 °C'lik sıcaklıkta ölçmü ler ve deneysel verileri teorik sonuçlarla kar ıla tırmı lardır.

Chieruzzi vd. (2013), yaptıkları çalı mada, nanopartiküllerin kullanımıyla özgül ısıda bir artı ın sa lanabilece ini ke fetmi lerdir. Ayrıca, özgül ısının arttırılması, birim hacimdeki nanopartiküllerin yüksek yüzey alanı ile ili kili ve yüksek özgül yüzey enerjilerine ba lı bulunmu tur. Buna ek olarak, hibrit nanosıvının özgül ısısının etkinli ine yol açan ço u mekanizmanın, nanopartikülün yüzeyinde katı bir nano tabakanın olu ması oldu u belirtilmi tir. Bu tabakanın, sıvıdan daha yüksek ısıl özelliklere sahip oldu u ve bu ekilde nanosıvıların özgül ısısının artmasına katkıda bulundu u ortaya koyulmu tur. Yarmand vd. (2016) GNP (Grafen Nano Platelet) ve Pt (Platin) nanopartikülleri kullanarak baz akı kan olarak seçilmi olan su ile hazırlanmı bir hibrit nanosıvının özgül ısısının ölçümü üzerine bir deneysel çalı ma yapmı lardır. Yapılan çalı ma neticesinde, hibrit nanosıvının özgül ısısının, hacimsel yo unlu un artmasıyla birlikte azaldı ı gözlemlenmi tir. Özgül ısı de erleri, 45 °C'lik sıcaklıkta, %0.02 ve %0.1 yo unluktaki hibrit nanosıvılar için taban akı kana kıyasla yakla ık %1.77 ve %6.26 oranında azalmı tır. ekil 2.3'de GNP-Pt/Su hibrit nanosıvısının özgül ısısının sıcaklıkla de i imi gösterilmi tir.



ekil 2.3. GNP-Pt/Su hibrit nanosivısının sıcaklığına bağlı özgül ısı değişimi

Yarmand vd. (2016), nanopartikül hacimsel yoğunlukları ve sıcaklıklarının bir fonksiyonu olarak hibrit nanosivısının özgül ısısının olduğunu belirtmişler ve nanosivilerin özgül ısı kapasitesinin, taban akıkanı olarak kullanılmakta olan bazılarınınkinden kıyasla daha yüksek olduğunu öne sürmüşlerdir. Ayrıca yapılan çalışmada, nanopartiküllerin hacimsel yoğunluğundaki artışla birlikte, özgül ısı kapasitelerinin de arttığını ifade edilmiştir. Çalışmada elde edilmiş sonuçlara göre, aktif karbon/grafen (ACG)-etilen glikol (EG) hibrit nanosivısının özgül ısısı, sıcaklıkların ve nanopartiküllerin hacimsel yoğunluklarının artması ile birlikte artmıştır. Bu nedenle, hem nanopartiküllerin hem de taban akıkanının özgül ısısının, nanosivilerin özgül ısısı üzerinde bir etki yaptığını ve nanosivinin ara yüzey serbest enerjisini, askıda kalan nanopartiküllerin yoğunluğuna bağlı olarak değiştirdiği belirtilmiştir.

Çizelge 2.1, ara tirmacılar tarafından literatürde kullanılan farklı özgül ısı ölçüm yöntemlerini göstermektedir.

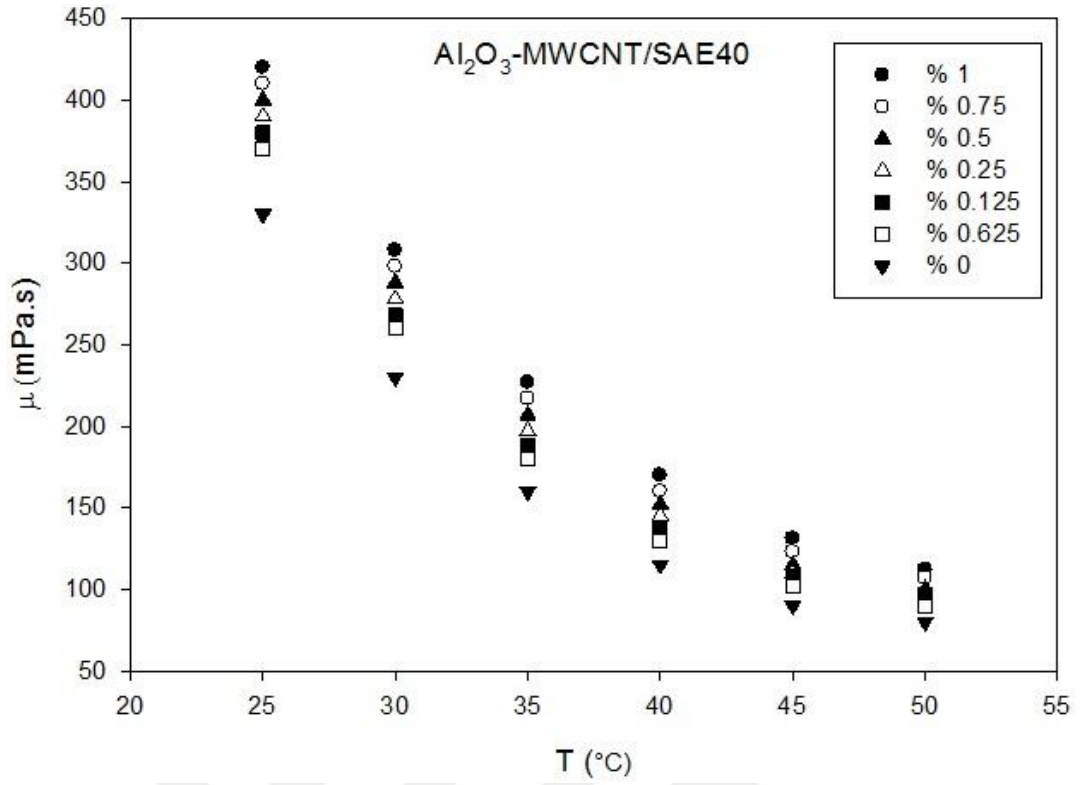
Çizelge 2.1. Literatürdeki özgül ısı ölçüm yöntemleri

Tip	Partikül	Partikül Boyutu (nm)	Taban Akı kan	Yüzey Aktif Madde	Hacimsel Yo unluk (%)	Sıcaklık Aralı 1	Ölçüm Metodu	Belirsizlik	Tarih
NS	Al ₂ O ₃	50	Su	-	1.4 - 6.4	35 - 55	DSC TA Inst.Q2000	0,070	14.10.2011
NS	SiO ₂	32	Su	-	4.1 - 19	35 - 55	DSC TA Inst.Q2000	0,070	14.10.2011
NS	CuO	30	Su	-	2.2 - 13.7	35 - 55	DSC TA Inst.Q2000	0,070	14.10.2011
NS	MWCNT	30 - 50	Su-EG	SDBS	0.15 - 0.45	0 - 50	DSC TA Instruments Q200	0,001	21.7.2012
NS	Al ₂ O ₃	13 - 90	Eriyik Tuz	-	0.9 - 4.6	50 - 100	DSC TA Instruments Q20	1.59 - 1.60	2013
NS	CNT	10 - 30	Eriyik Tuz	SDS	0.1 - 5	150 - 560	DSC TA Instruments Q20	±3.5	14.5.2015
NS	MgO	35	EG	-	2,5	-10 - 270	DSC TA Inst.Q2000	3	22.5.2015
NS	ZnO	40 - 100	EG	-	5	-10 - 270	DSC TA Inst.Q2000	3	22.5.2015
NS	ZrO ₂	30 - 60	EG	-	10 - 15	-10 - 270	DSC TA Inst.Q2000	3	22.5.2015
NS	Ag	0,6	Su	OA - OAK ⁺	0,5	20 - 80	DSC	0,068	23.7.2015
NS	Al ₂ O ₃	20 - 45	60:40 PG/S	Var*	15 - 30	-30 - 90	C-Therm Tci	7,8	13.8.2015
NS	ZnO	36 - 76	60:40 PG/S	Var*	40 - 50	-30 - 90	C-Therm Tci	7,8	13.8.2015
NS	CuO	30	60:40 PG/S	Var*	50	-30 - 90	C-Therm Tci	7,8	13.8.2015
NS	TiO ₂	15	60:40 PG/S	Var*	15	-30 - 90	C-Therm Tci	7,8	13.8.2015
NS	SiO ₂	30	60:40 PG/S	Var*	25	-30 - 90	C-Therm Tci	7,8	13.8.2015
NS	Al ₂ O ₃	10	Su-EG	-	1 - 5	10 - 150	Setaram C80	<1	25.8.2016
NS	Cu	29	Su-EG	-	0.24 - 4.05	10 - 150	Setaram C80	<1	25.8.2016
NS	Al ₂ O ₃	20 - 40	RL68H	Polimerik*	NA	5 - 45	DSC	1,18	27.3.2018
NS	Al ₂ O ₃	45	Su	-	1 - 3	-	DSC	-	29.1.2019
NS	SiO ₂	20	Su	-	1 - 3	-	DSC	-	29.1.2019
NS	TiO ₂	30	Su	-	1 - 3	-	DSC	-	29.1.2019
HNS	Al ₂ O ₃ +SiO ₂	45 - 20	Su	-	0.50 - 2.50	-	DSC	3	29.1.2019
HNS	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	45 - 30	Su	-	0.50 - 2.50	-	DSC	4	29.1.2019

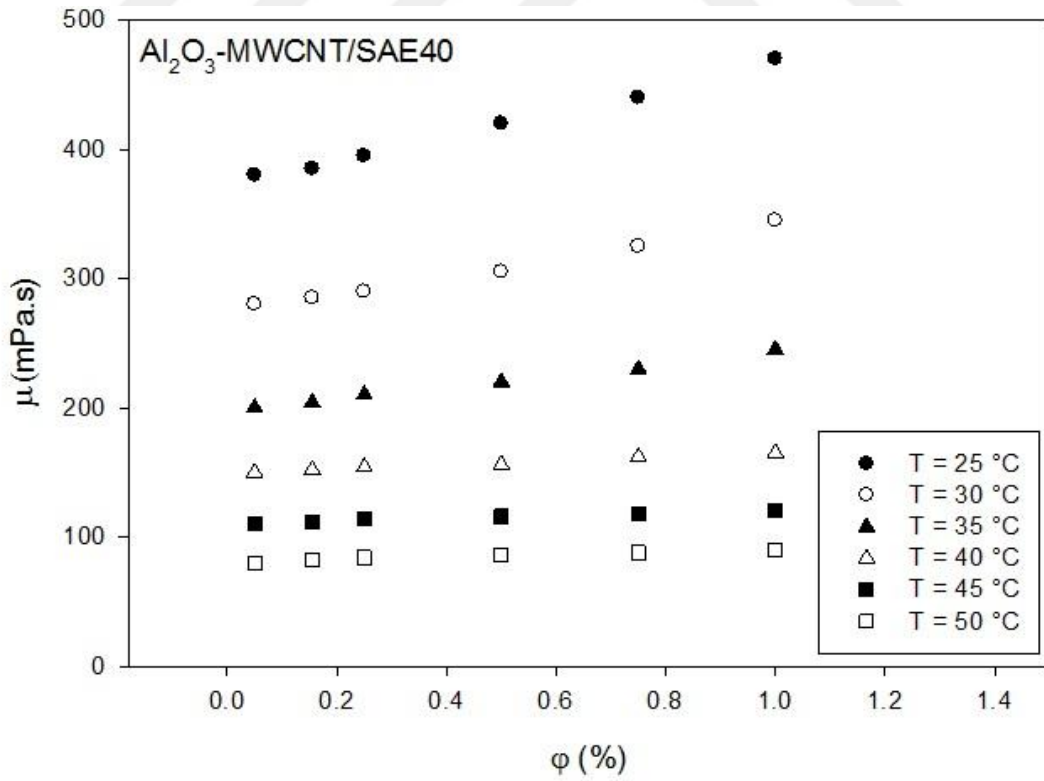
2.4.3 Viskozite

Shahsavari vd. (2015) yaptıkları çalışmada, Fe_3O_4 ve CNT nanosivisinin viskozitesine, manyetik alanın etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde, Fe_3O_4 ve CNT nanopartikülleri ile elde edilen nanosivisinin viskozitesinin, manyetik alanın gücü ile birlikte artma gösterdiği, sıcaklık artışı ile birlikte ise azaldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca CuO-Fe'nin hibrit nanosivisinde, kayma hızının artmasıyla birlikte viskozitede de değişimlerin olduğu gözlemlenmiştir. Asadi ve Asadi (2016)'nin yaptıkları çalışmada, düşük hacimsel yoğunluktaki hibrit nanosivilerin Newtoncu bir davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak, hibrit nanopartiküllerin hacimsel yoğunluğunun artmasının, Newton olmayan davranışa dönüşebileceği ve hibrit nanosivisinin viskozitesini arttırabileceği de değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, yüksek viskozitesinin, nanopartiküller arasında bulunan Van Der Waals bağlarından dolayı, aglomerasyona sebep olabileceği, ve bu durumun, yüzey hareketlerinde engellenmeye ve viskozitede de yüksek oranda artışa sebep olabileceği ifade edilmiştir. Hacimsel yoğunluk ve sıcaklığın SAE40 yağı ile hazırlanmış olan MWCNT-ZnO hibrit nanosivisinin dinamik viskozitesi üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, sıcaklıktaki artışla, hibrit nanosivisinin dinamik viskozitesinde azalma olduğu, hacimsel yoğunluk artışı ise dinamik viskozitenin yükseldiği ifade edilmiştir. Ayrıca, dinamik viskozite artışı sıcaklık düştüğünde daha da belirginleşmiş ve en yüksek viskozite artışı $55\text{ }^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklıkta gözlemlenmiştir.

Sundar vd. (2014), nanosivisinin viskozitesinin yüksek hacimsel yoğunluklarda arttığını da belirtmiştir. Aynı zamanda, viskozite artışının, parçacıkların daha yüksek hacimsel yoğunluklarda diğer parçacıklarla birleşimi bir partikül etrafındaki düzensizliği gibi parçacıklar arasındaki hidrodinamik etkileşimlere bağlı olduğunu da belirtmiştir. Kumaresan ve Velraj (2012), yaptıkları çalışmada sonucunda viskozitenin, aktif karbon/grafen hacimsel yoğunluğunun artışı ile lineer olmayan şekilde arttığını ifade etmiştir. Dardan vd. (2016), Al_2O_3 -MWCNT/SAE40 yağı hibrit nanosivisinin farklı hacimsel yoğunluklarındaki viskoziteleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Deneyler neticesinde, hacimsel yoğunluk ve sıcaklığın viskozite üzerinde belirgin bir faktör olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 2.4 ve 2.5, sırasıyla, deneysel hibrit nanosivisi viskozite değişimlerinin sıcaklık ve hacimsel yoğunluğa göre değişimleri gösterilmiştir.



ekil 2.4. Al₂O₃-MWCNT/SAE40 hibrit nanosıvısının sıcaklığına bağlı viskozite değişimi



ekil 2.5. Al₂O₃-MWCNT/SAE40 hibrit nanosıvısının hacimsel yoğunluğuna bağlı viskozite değişimi

Baghbanzadeh vd. (2014) silika-MWCNT/su hibrit nanosivisinin termofiziksel özelliklerini, özellikle de viskozite ve yoğunluğunu incelemiştir. Viskozitenin hacimsel yoğunlukla arttığını ve sıcaklıkta artışın azaldığını belirtmiştir. Sonuçlara göre, viskozite %1.0 yüksek hacimsel yoğunlukta %8.2 artmıştır. Taban akı kanı olan suda hibrit nanopartikül varlığı, nanopartiküller ve sıvı moleküller arasındaki etkileşimlerin bir sonucu olarak viskoziteyi arttırmıştır ve bu artış, aralarındaki kayma gerilmesi nedeniyle olmuştur. Bu nedenle, partikül yoğunluğunun artması ile birlikte iç viskoz stres belirgin hale gelmekte ve nanosivideki viskozite de artmaktadır. Hibrit nanosivinin meydana gelen viskozite artışı, hibrit sıvılardaki nanopartiküllerin kümelenmesini kolaylaştırabileceği ifade edilmiştir. Allahyar vd. (2016) Reynolds sayısındaki artışın, parçacık çarpımlarında bir artışa yol açacağını, bunun da kümelenmeye sebep olacağını, Reynolds sayısı ve parçacıkların hacimsel yoğunluğundaki artışın basınç düşümünü arttıracakını ve bu durumun nanosivideki viskozitenin yoğunlaşmasına katkıda bulunabileceğini ifade etmiştir. Ek olarak, çoğu nanosivilerin, kararsız dinamik yapıda olduklarından dolayı, nanopartiküller ve dispersiyon ortamı arasındaki etkileşimin dinamik viskozitenin artmasında hayati bir rol oynayacağını belirtilmiştir. Ayrıca, sıcaklıkla birlikte viskozitedeki değişimlerin, parçacıklar ve moleküller arası yapıma kuvvetine neden olabileceği de değerlendirilmiştir.

2.5 Hibrit Nanosiviler için Matematiksel Korelasyonlar

Isı transferinin iyileştirilmesinde, hibrit nanosiviler büyük bir potansiyele sahip olmalarına rağmen, hibrit nanosiviler için korelasyon geliştirme ve uygulama ile ilgili araştırmacıların çalışmaları oldukça sınırlıdır. Bu nedenle birçok araştırmacı, deneyleri doğrulamak ve hataları azaltmak için bazı korelasyonlar türetmiş ve geliştirmiştir (Hamzah vd., 2017).

2.5.1 Isıl İletkenlik

Bir taban akı kanına, ısı iletkenliği yüksek farklı partiküllerin ilave edilmesi suretiyle elde edilecek yeni akı kanıyla ısı iletkenliğinin artırılması konusunda ilk çalışmaları Maxwell (1881) tarafından milimetre veya mikrometre ölçümünde nanopartiküller kullanarak yapılmıştır. Maxwell, parçacıkların bir süspansiyonunu kullanarak ısı iletkenliğini analitik olarak inceleyen ilk araştırmacılardan biridir.

Maxwell (1881) tarafından yapılan çalımlar neticesinde, elde edilen yeni akıkanın ısı iletkenli ine dair korelasyon a a ıdaki ekilde ortaya koyulmu tur:

$$\frac{k_n}{k_b} = \frac{k_p + 2k_{bf} + 2\varphi(k_p - k_b)}{k_p + 2k_b - 2\varphi(k_p - k_b)} \quad (2.3)$$

Burada k_{nf} , k_{bf} ve k_p sırasıyla nanosıvı, taban akıkanı ve nanopartikülün ısı iletkenli i, ise hacimsel yo unluk olarak verilmi tir (Das, 2017).

Bruggeman (1935), rastgele da ıtılmı parçacıklar arasındaki etkileimleri analiz etmek için a a ıda belirtilen matematiksel korelasyon önerilmi tir:

$$\left[\left(\frac{k_p - k_n}{k_p + 2k_n} \right) \varphi + (1 - \varphi) \left(\frac{k_b - 2k_n}{k_b + 2k_n} \right) \right] = 0 \quad (2.4)$$

Maxwell denkleminde uzun yıllar sonra, Hamilton ve Crosser (1962), bir ekil faktörü (n) uygulayarak küresel olmayan parçacıkların etkili ısı iletkenli ini belirlemek için Maxwell'in modeli üzerinde geli tirmelerde bulunmu lardır. Bu geli tirmeler yapılırken, parçacık ekli, parçacık da ılımı, yüksek hacimli kesir, parçacık kabulu yapısı ve arayüz temas direnci gibi ısı iletkenli e ba lı çe itli faktörleri dikkate alınımı ve ısı iletkenli i belirlemek için a a ıdaki denklem türetilmi tir:

$$\frac{k_n}{k_b} = \frac{k_p + (n-1)k_b - (n-1)(k_b - k_p)\varphi}{k_p + (n-1)k_b + \varphi(k_b - k_p)} \quad (2.5)$$

Burada, n ekil faktörüdür ve $n = 3/$ olarak verilir. Küresellik olarak ifade edilen ise ortalama parçacık inkinde e de er olarak kürenin yüzey alanının, parçacık ın yüzey alanına oranı ekinde ifade edilmi tir. Küresel ve silindirik ekiler için sırasıyla $= 1.0$ ve $= 0.5$ olarak alınır (Das, 2017).

Yu ve Choi (2003), tüm hacimsel yo unlukların dikkate alınabilece i nanosıvı uygulamaları için Maxwell modeli üzerinde yaptıkları çalımlarda, arayüzey nano tabakaların nanosıvıların ısı iletkenli ine olan etkisini incelemi ler ve 10 nm'den küçük partikül çapları için bir de er bulmu lardır. Isı iletkenlik artı ı, 10 k_{bf} 'den daha az olan k_{layer} için nano tabaka kalınlı ına ba lıdır. Nanopartikülün net ısı iletkenli ini hesaplamak için nanopartiküllerin ve nano tabakaların ısı iletkenliklerini birle tirerek a a ıdaki denklemi ortaya koymu lardır :

$$\frac{k_n}{k_b} = \frac{k_p + 2k_b + 2\varphi(k_p - k_b)(1 + \beta)^3}{k_p + 2k_b - \varphi(k_p - k_b)(1 + \beta)^3} \quad (2.6)$$

Burada , nano katmanı kalınlı ının nanopartikülün çapına oranıdır.

Xie vd. (2003) CNT bazlı nanosıvılar ile a a ıdaki ısıl iletkenlik korelasyonunu üretmişlerdir. Önerilen modelde, CNT'lerin büyük eksenel oran ve uzay da ılımının etkisi ele alınmıştır.

$$k_e = k_b \left(1 - \varphi + 2\varphi \frac{k_p}{k_p - k_b} l t \frac{k_p + k_b}{2k_b} \right) \quad (2.7)$$

Jana vd. (2007), CNT bazlı nanosıvıların ısıl iletkenlik oranını (TCR) hesaplamak için a a ıda belirtilen ifadeyi önermişlerdir. Diğer nanopartiküller ile farklı olarak, CNT'lerde da ılımın ısıl iletkenlik üzerinde bazı etkilerinin olduğu düşünülmüştür. Bu nedenle, manyetik alan kullanımı gibi özel bir düzenleme yapılmadığı sürece, ısıl iletkenlik korelasyonunda da ılımın etkisi dikkate alınmıştır.

$$\frac{k_e}{k_w} = \frac{1 - \varphi + \left(\frac{4}{\pi}\right) \sqrt{k_p/k_w a} \quad (\pi/4) \sqrt{k_p/k_w}}{1 - \varphi + \left(\frac{4}{\pi}\right) \sqrt{k_w/k_p a} \quad (\pi/4) \sqrt{k_w/k_p}} \quad (2.8)$$

Esfes vd. (2016), CNT-Al₂O₃/su hibrit nanosıvısında, sıcaklık ve hacimsel yoğunluktaki değişimlere bağlı olarak ısıl iletkenlikteki değişimleri üzerine korelasyonlar geliştirmişlerdir. Gözlemden sapma sınırı, ısıl iletkenlik hesaplanması için geliştirilen modelin %2'lik kabul edilebilir uygunluğuna sahiptir. Geliştirilmiş olan korelasyon a a ıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$\frac{k_n}{k_D} = 1 + A\varphi + B\varphi^2 + C\varphi^3 + D\varphi^4 \quad (2.9)$$

Harandi vd. (2016), f-MWCNT-Fe₃O₄/EG hibrit nanosıvısının ısıl iletkenliğini tahmin etmek için doğru korelasyon bulunmadığını belirttikten sonra, hibrit nanosıvının ısıl iletkenliğinin hesaplanması amacıyla yeni bir matematiksel korelasyon sunmuşlardır. Geliştirilen korelasyon, %1.58'lik bir sapma payıyla, sıcaklık ve hacimsel yoğunluğun bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmış ve iyi bir doğruluğa sahip olduğu kanıtlanmıştır.

$$\frac{k_n}{k_b} = 1 + 0.0162 \varphi^{0.7} T^{0.6} \quad (2.10)$$

Afrand (2017), yüksek do rulukta mühendislik uygulamaları için MgO-FMWCNT/EG'nin hibrit nanosıvısının ısıl iletkenli ini tahmin etmek için a a ıdaki ekilde bir matematiksel model önermi tir ve bu modelde sapma payı % 1.2 olarak de erlendirilmi tir.

$$\frac{k_n}{k_b} = 0.8341 + 1.1 \varphi^{0.2} T^{-0.2} \quad (2.11)$$

2.5.2 Özgül ısı

Hibrit nanosıvıların ısıl iletkenlik, viskozite ve Nu sayısı biri de erlerine dair bir çok deneysel çalı ma ve bununla birlikte geli tirilmi olan matematiksel model olmasına ra men, özgül ısı (C_p) konusundaki çalı malar oldukça sınırlıdır. Özgül ısı için ilk korelasyon, Pak ve Cho (1998) tarafından geli tirilmi olan a a ıdaki korelasyondur :

$$C_{p,nf} = C_{p,np} + (1 -)C_{p,b} \quad (2.12)$$

Burada, hacimsel yo unluk, $C_{p,np}$ nanopartiküllerin özgül ısısı ve $C_{p,b}$ ise taban akı kanının özgül ısısı olarak verilmi tir.

Nanopartiküllerin özgül ısısı olan $C_{p,np}$ de erinin elde edilmesi için ise a a ıdaki korelasyon kullanılmı tır:

$$C_{p,n} = \frac{C_{p,n} W_n + C_{p,n} W_n}{W_n + W_n} \quad (2.13)$$

Burada $C_{p,np1}$ ve $C_{p,np2}$ kullanılan nanopartiküllerin her birinin özgül ısıları, W_{np1} ve W_{np2} ise kullanılan nanopartikül miktarlarıdır.

Di er bir model ise, Xuan ve Roetzel (2000) tarafından geli tirilmi olan a a ıdaki korelasyondur:

$$C_{p,n} = \frac{\varphi \rho_n C_{p,n} + (1-\varphi) \rho_b C_{p,b}}{\varphi \rho_n + (1-\varphi) \rho_b} \quad (2.14)$$

Burada ρ_{np} ve ρ_b sırasıyla nanopartikül ve taban akı kanının yoğunluklarıdır. Nanopartiküllerin yoğunluğu olan ρ_{np} ise aşağıda gösterilen eşitlik ile elde edilmektedir:

$$\rho_n = \frac{\rho_n W_n + \rho_n W_n}{W_n + W_n} \quad (2.15)$$

Burada ρ_{np1} ve ρ_{np2} nanopartiküllerin yoğunluklarıdır.

Literatürde sıklıkla kullanılan bu iki özgül ısı korelasyonuna ek olarak bazı ara tirmacılar tarafından ilave denklemler de türetilmiştir. Takabi vd. (2014) tarafından hibrit nanosıvıların özgül ısı için geliştirilmiş olan korelasyon aşağıda verilmiştir:

$$C_{p,h} = \frac{\varphi_n \rho_n C_{p,n} + \varphi_n \rho_n C_{p,n} + (1 - \varphi_n - \varphi_n) C_{p,b}}{\rho_h} \quad (2.16)$$

Hibrit nanosıvının yoğunluğunu ifade eden ρ_{hf} de aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır:

$$\rho_h = \varphi_n \rho_n + \varphi_n \rho_n + (1 - \varphi_n - \varphi_n) \rho_b \quad (2.17)$$

Buradaki ρ_b de, taban akı kanının yoğunluğunu ifade etmektedir.

Sekhar ve Sharma (2015) tarafından oksit-su bazlı nanosıvılar için 81 veri noktasından türetilmiş olan korelasyon aşağıda verilmiştir:

$$C_p = 0.8429 \left(1 + \frac{T}{5}\right)^{-0.3} \left(1 + \frac{d_p}{5}\right)^{0.4} \left(1 + \frac{\varphi}{1}\right)^{2.2} \quad (2.18)$$

Burada d_p , nanopartikül çapı olarak ifade edilmiştir.

2.5.3 Viskozite

Hibrit nanosıvıların viskozite hesaplamaları için, ara tirmacılar tarafından birçok teorik model geliştirilmiştir. Teorik modellerin içinde ilk geliştirilmiş modellerden olan ve literatürde en çok kullanılan model, Batchelor modeli olarak ifade edilen modeldir (Adriana, 2017):

$$\frac{\mu_n}{\mu_b} = 1 + 2.5\varphi + 6.2\varphi^2 \quad (2.19)$$

Dardan vd. (2016), hibrit nanosivinin viskozitesinin artan nanopartikül yo unlu u ve azalan sıcaklık ile arttı nı belirterek, Al₂O₃-MWCNT/SAE40'in hibrit nanosivisinin viskozitesini tahmin etmek için, sıcaklık ve hacimsel yo unlu un bir fonksiyonu olan yeni bir korelasyon geli tirmi lerdir:

$$\frac{\mu_n}{\mu_b} = 1.123 + 0.3251\varphi - 0.08994T + 0.002552T^2 - 0.00002386T^3 + 0.9695 \left(\frac{T}{\varphi}\right)^{0.0} \quad (2.20)$$

Esfe vd. (2016), deneysel analizler yoluyla çe itli sıcaklık ve hacimsel yo unluklarda bir MWCNT-ZnO/SAE40 hibrit nanosivisi için, maksimum %2'lik bir sapma marjinine sahip olan viskozite korelasyon modelini önermi lerdir. MWCNT-ZnO/SAE40 hibrit nanosivisinin dinamik viskozite korelasyonu, sıcaklık ve hacimsel yo unlu un deneysel verileri ile önerilmi tir.

$$\frac{\mu_n}{\mu_b} = A + B\varphi + C\varphi^2 + D\varphi^3 \quad (2.21)$$

Sonuçlar, sıcaklı ın arttırılmasının dinamik viskozite ve hacimsel yo unlu un artı nda azalmayla sonuçlandı nı göstermi tir.

2.6 Yapay Sinir A ları

Yapay sinir a ları uygulamalarının geli mesi, bilim insanlarını bu alanda çalı malar yapmaya sevk etmi ve son dönemde bu yöntem ara tırmacılar tarafından kontrol sistemleri (Vinnakoti ve Kota, 2018), fotovoltatik teknoloji (Ceylan vd. 2014), ısı e anjörleri (Almendros-Ibáñez vd., 2019) ve planlama ve imalat (Casalino vd., 2016) gibi çe itli alanlarda yaygın olarak kullanılmaya ba lanmı tir. Yapay sinir a ı algoritmaları, nanosiviler üzerinde de uygulanmı ve literatürde yer almı tir.

Alirezaei vd. (2017), farklı hacimsel yo unluk ve sıcaklıklarda, taban akı kan olarak seçilmi olan ya a MWCNT-MgO (% 10-90) ilave ederek elde ettikleri hibrit nanosivinin dinamik viskozitesinin ara tırılması üzerine deneysel çalı malar yapmı lardır. Elde edilen sonuçlar, dinamik viskozitenin sıcaklık arttıkça azaldı nı göstermi tir. Deneysel çalı malardan elde edilen verilerle, üç de i kenli bir korelasyon elde ederek deney sonuçlarını modellemek için yapay bir sinir a ı modeli olu turulmu tur. Esfe vd. (2015), deneysel verilere dayanarak tasarladıkları optimum

yapay sinir a 1 ile manyetik iletkenlik ve ferromanyetik dinamik viskozite tahmini üzerine çalı malar yapmı lardır. Giri de i kenleri olarak partikül çapı, sıcaklık ve nanopartiküllerin konsantrasyonunu içeren deneysel veriler kullanılarak olu turulan model çıktıları, yapay sinir a 1ının deneysel verileri tahmin edebilece ini kanıtlamı tır. Karimi vd. (2011), nanoakı kanların viskozitesinin tahmin edilmesi amacıyla bir genetik algoritma temelli yapay sinir a 1 modellemi lerdir. Giri de erleri olarak nanopartikül konsantrasyonu ve sıcaklık kullanılarak elde edilen sonuçlar, optimum yapay sinir a 1 modelinin deneysel verilerle iyi bir uyum içinde oldu unu göstermi tir. Ahmedloo ve Azizi (2016), 776 adet deneysel veriyi kullanarak nanosıvıların ısı iletkenli ini tahmin etmek için yapay bir sinir a 1 geli tirmi lerdir. Bu yapay sinir a 1ında, nanopartikül büyüklü ü ve hacimsel yo unluk girdi de erleri olarak belirlenmi tir. Çalı malar sonucunda elde edilen model, deneysel sonuçların tahmininin sırasıyla %1.26 ve %1.44 hata payları ile do ru oldu unu, e itim ve test veri kalıpları için ise tam ve kesin do ruluk oranı elde edildi ini göstermi tir. Vafaei vd. (2017), MgO-MWCNT/EG hibrit nanosıvının ısı iletkenli inin tahmin edilmesi amacıyla, deneysel çalı malardan elde edilen verilerle optimal bir yapay sinir a 1 geli tirmi lerdir. Otuz altı adet deneysel veri ile geli tirilen yapay sinir a 1ında, gizli katmanında 6, 8, 10 ve 12 nöron bulunan dört farklı model simüle edilmi tir. Çalı malar sonucunda, en iyi yapay sinir a 1 modelinin, gizli katmanında 12 nöron olan model oldu u ifade edilmi tir. Zhao vd. (2015), 4 ve 5 giri de i kenli olarak tasarladıkları iki RBF sinir a 1 ile, Al₂O₃/Su ve CuO/Su nanosıvılarının viskozitesinin tahmin edilmesi üzerine çalı malar yapmı lardır. Deneysel çalı malardan elde edilen veriler, RBF sinir a 1ının tahmin etmi oldu u veriler ile uyumlu olmasına ra men, RBF sinir a 1ları ile geli tirilen modellerin, giri de eri olarak sıcaklık alındı ında daha da geli tirilebilece i belirtilmi tir. Afrand vd. (2016), MWCNTs-SiO₂/AE40 hibrit nanosıvısının viskozitesinin tahmin edilmesi amacıyla, deneysel verilerle bir yapay sinir a 1 geli tirmi lerdir. Kırk sekiz deneysel veri ile beslenen optimal yapay sinir a 1 yoluyla elde edilen sonuçlar, optimal yapay sinir a 1 modelinin %1,5'luk bir sapma marjı ile, deneysel verilerle elde edilmi olan matematiksel korelasyondan daha kesin sonuçlar verdi ini göstermi tir. Hojjat vd. (2011), Al₂O₃, TiO₂ ve CuO nanosıvılarının deneysel yöntemlerle elde edilen ısı iletkenlik verileriyle bir yapay bir sinir a 1 modeli olu turmu lardır. Yapılan çalı mada, sıcaklık ve hacimsel yo unluk giri de i kenleri olarak alınmı ve çıkı de eri olarak ısı iletkenlik katsayısı elde edilmi tir. Bahiraei ve Heshmatian (2017), elektronik sistemlerin so utulması için, Al₂O₃/Su nanosıvısı

kullanılarak tasarlanan bir ısı e anjörünün enerji verimliliğini optimize etmek için uygun parametreleri modelleyerek çok katmanlı bir yapay sinir ağı modeli kullanılmaktadır. Geliştirilen bu model için Reynolds sayısı, hacimsel yoğunluk ve partikül büyüklüğü girişi olarak alınmıştır, iletkenin sıcaklığı ve pompalama gücü ise çıkışı olarak kabul edilmiştir. Deneysel verilerinde, bu modelin iletkenin sıcaklığını ve pompalama gücünü sırasıyla yaklaşık 0.00318 ve 4×10^{-11} ortalama kare hataları ile tahmin ettiği sonucuna varılmıştır. Yousefi vd. (2012), yapay sinir ağıları kullanarak CuO/Su nanosivisinin viskozitesinin tahmini amacıyla bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada, nanosivisinin viskozitesi, sıcaklığın, nanopartikül boyutunun, nanopartikül hacminin ve taban akışkanının fiziksel özelliklerinin bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Dahası, yapay sinir ağı ile elde edilen değerler için ortalama mutlak sapma 1.63 olarak ifade edilmiştir. Heidari vd. (2016), literatürde kapsamlı bir araştırma ile toplanan çeşitli nanosivilerin viskozitesine odaklanan 1490 deneysel bilgi ile, çalışma parametrelerinin geniş kapsamlarında nanosivisinin kalınlığını öngörmek amacıyla, Levenberg Marquardt fonksiyonu kullanarak ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı tasarlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda ulaşılan korelasyon katsayısı 0.99998 ve ortalama mutlak sapma yüzdesi %6.44 olarak ifade edilmiştir. Khosrojerdi vd. (2016), su bazlı grafen nanosivisinin ısı iletkenliğini tahmin etmek için, 25 °C ile 50 °C arasındaki sıcaklıklarda elde edilmiş deneysel verileri kullanarak çok katmanlı bir yapay sinir ağı geliştirmişlerdir. Isıl iletkenliğin geleneksel teorik yaklaşımlarla modellenmesi ile ilgili olarak, sonuçların yapay sinir ağı sonuçları ile karşılaştırılmasında Nan'ın teorik yaklaşımı tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, deneysel verilere ve matematiksel korelasyonlara kıyasla yapay sinir ağı modelinin büyük bir doğruluk ve güvenilirlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Aminian (2016), nanopartiküllerin sıcaklık, hacim oranı, büyüklüğü ve ısı iletkenliklerini, taban akışkanların termofiziksel özellikleri ile birlikte değerlendirilmesini amaçlayarak çok katmanlı bir yapay sinir ağı modeli geliştirmiş ve bu modelin etkinliğini incelemek için yirmi altı değişik tipte nanosiviyi kullanmıştır. Çalışma sonucunda, geliştirilen yapay sinir ağı modelinin, farklı konsantrasyonlardaki çeşitli nanosiviler için deneysel çalışmalarda bildirilen değerleri uygun şekilde tahmin edebildiği sonucuna varılmıştır.

Bazı çalışmalarda, nanosivilerin ısı iletkenliği ve viskozitesinin çok katmanlı yapay sinir ağıları aracılığıyla aynı anda modellendiği de görülmektedir. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, bu iki termofiziksel özelliği tahmin etmek için, aynı anda iki

çıkı nöronu kullanılan bir yapay sinir a 1 dizayn edilmi tir. Bahiraei ve Hangi (2016) %0 – 4'lük hacimsel yo unluklarda hazırlanmı olan Fe_3O_4/Su nanosıvısının, 25-60 °C sıcak aralı ındaki viskozite ve ısıl iletkenli ini ölçmü lerdir. Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak, viskozite ve ısıl iletkenli in tahmin edilmesi amacıyla, sıcaklık ve hacimsel yo unlu a ba lı olarak modellenmi olan bir yapay sinir a 1 geli tirilmi tir. Yapay sinir a ının e itimi için, Levenberg-Marquardt, yarı-Newton ve esnek geri yayılım dahil olmak üzere üç farklı metot incelenmi ve incelenen bu metotlardan Bayesian düzenleme temelli Levenberg-Marquardt yakla ımı tercih edilmi tir. Yapılan çalı malar neticesinde, geli tirilmi olan yapay sinir a ının, Fe_3O_4/Su nanosıvısının viskozitesini ve ısıl iletkenli ini do ru bir ekilde hesaplayabildi i sonucuna ula ılmı tir.



BÖLÜM III

DENEYSEL ÇALI MALAR

Deneyisel çalı ma kapsamında öncelikle iki a amalı yöntemle be farklı hacimsel yo unlukta Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısı hazırlanmı ve özgül ısı, viskozite ve ısı iletkenlik gibi termofiziksel özellikleri deneyisel yollarla ölçülmü tür. Ardından, elde edilen deneyisel sonuçlar kullanılarak, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının termofiziksel özelliklerinin tahmini amacıyla bir yapay sinir a 1 olu kurulmu tur.

3.1 Hibrit Nanosıvının Hazırlanması

Çalı mada kullanılan hibrit nanosıvı için nanopartikül olarak, Nanografi firmasından temin edilmi olan 46 nm partikül boyutu ve %99,15 saflık oranında Alümina (Al_2O_3) ve 65 nm partikül boyutu ve %99,95 saflık oranında Bakır (Cu) kullanılmı ve taban akı kanı olarak saf su seçilmi tir. Hazırlanan hibrit nanosıvının stabilitesini sa lamak, aglomerasyon ve çökelmeyi önlemek için 1:1 oranında Arabic Gum yüzey aktif madde (süfaktant) olarak eklenmi tir. Kullanılmı olan nanopartiküllerin ve yüzey aktif maddenin özellikleri Çizelge 3.1’de verilmi tir.

Çizelge 3.1. Nanopartikül özellikleri

	Partikül Boyutu (nm)	Saflık (%)	Yo unluk (g/cm^3)	Görünüm	Isıl iletkenlik (W/m.K)	Özgül Isı (J/kg.K)
Al_2O_3	46	99,15	3,89	Beyaz	30	880
Cu	65	99,95	8,94	Siyah	401	385
Gum Arabic	-	-	1.35	Beyaz	-	-

Foto raf 3.1 ve Foto raf 3.2, incelenen nanopartiküllerin TEM foto raflarını, ekil 3.1 ve ekil 3.2 ise XRD analizlerini göstermektedir. Nanopartiküllerin morfolojik özelliklerini karakterize etmek için kullanılan transmisyon elektron mikroskobu (TEM) görüntülerin neticesinde, Al_2O_3 nanopartiküllerinin küresel, beyaz ve yakla ık 50 nm

boyutunda oldu u görülmektedir. Cu nanopartiküllerinin ise nano aralıkta oldu u, yarı küresel bir yapıya sahip oldu u ve maksimum partikül boyutunun 100 nm oldu u do rulanmı tır. XRD analizinde ise, hazırlanan numunenin tüm kırınım pikleri, Al_2O_3 'ün küresel kristal sistemi ve Cu'nun monoklinik kristal sistemi ile e le mektedir. Elde edilen numunelerin saflı ını do rulayan ba ka hiçbir karakteristik tepe noktası tespit edilmemi tir. XRD modelindeki tepe noktaları, parçacıkların do ada oldukça kristalli olduklarını göstermektedir.

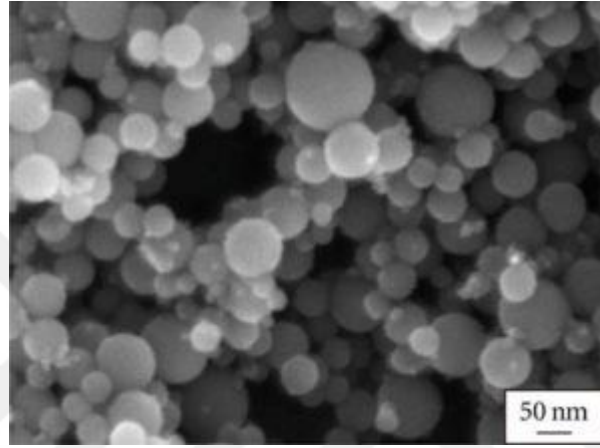


Foto raf 3.1. Al_2O_3 nanopartikülün TEM görüntüsü

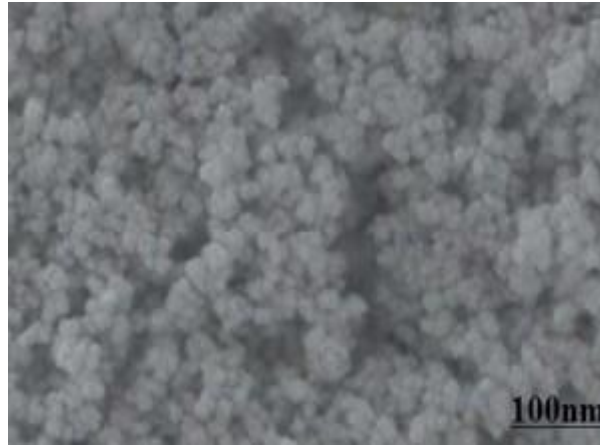
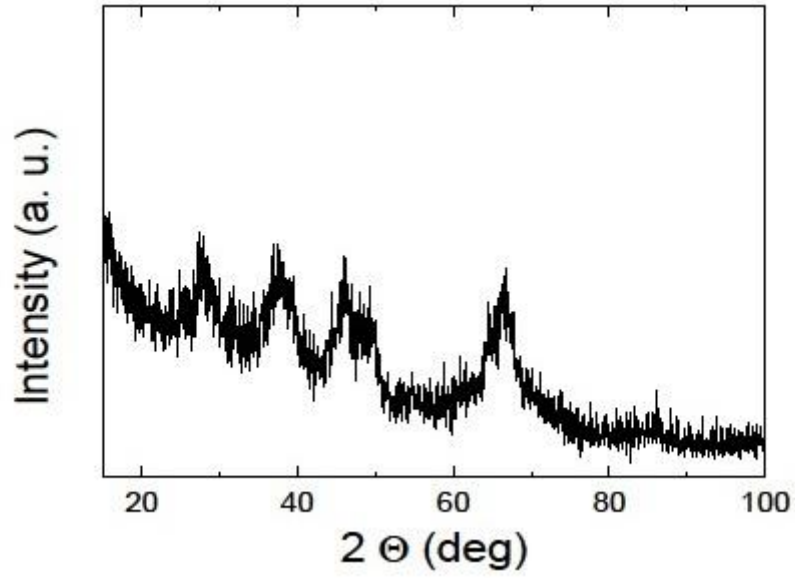
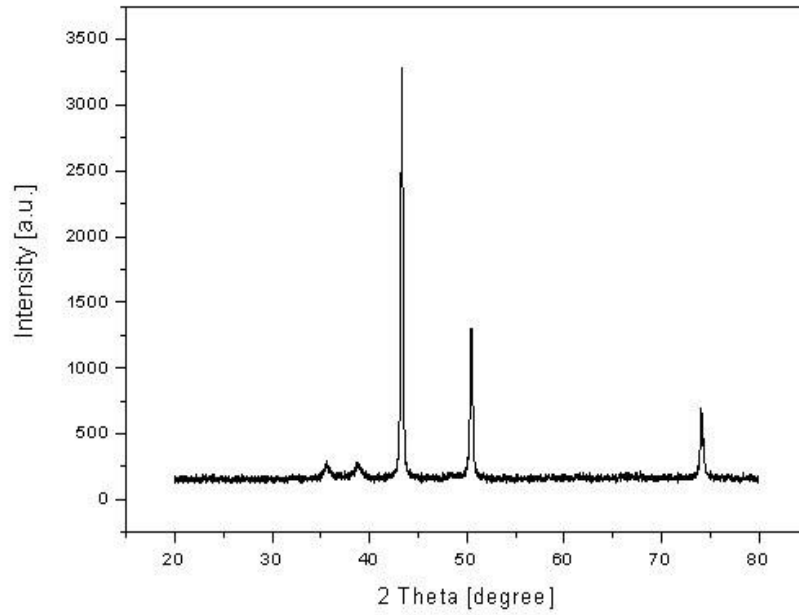


Foto raf 3.2. Cu nanopartikülün TEM görüntüsü



ekil 3.1. Al₂O₃ nanopartikülün XRD grafi i



ekil 3.2. Cu nanopartikülün XRD grafi i

0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.2'lik hacimsel yo unluklarda hazırlanmı olan be ayrı Al₂O₃-Cu/su hibrit nanosıvının hazırlanmasında, sıklıkla tercih edilen ve en kolay yöntem olan iki a amalı yöntem kullanılmı tır. Hibrit nanosıvı, taban akı kanı olarak seçilmi olan sıvıya iki ya da daha fazla miktarda nanopartikül ilavesi ile hazırlanır. Bu çalı mada, taban akı kanı olarak saf su, nanopartikül olarak da Al₂O₃ ve Cu

kullanılmı tır. Farklı hacimsel yo unluklar için gerekli olan nanopartikül miktarı a a ıdaki denklem kullanılarak hesaplanmı tır:

$$\varphi = \frac{\frac{W_n}{\rho_n}}{\frac{W_n}{\rho_n} + V_b} \quad (3.1)$$

Burada, hacimsel yo unluk yüzdesi, W_{np} nanopartikül miktarı, ρ_{np} nanopartikül yo unlu u ve V_b ise taban akı kanı hacmi olarak verilmi tir.

Hazırlanmı olan her bir hibrit nanosıvı için kullanılan nanopartikül ve yüzey aktif madde miktarları Çizelge 3.2’de verilmi tir.

Çizelge 3.2. Kullanılan nanopartikül ve yüzey aktif madde miktarları

Hacimsel Yo unluk (%)	Hibrit Nanosıvı Miktarı (ml)	Saf Su Miktarı (ml)	Al ₂ O ₃ Miktarı (g)	Cu Miktarı (g)	Yüzey Aktif Madde Miktarı (g)
0.0125	200	199.925	0.09725	0.2235	0.03375
0.025	200	199.85	0.1945	0.447	0.0675
0.05	200	199.7	0.389	0.894	0.135
0.1	200	199.4	0.778	1.788	0.27
0.2	200	198.8	1.556	3.576	0.54

Kullanılan nanopartikül ve yüzey aktif maddelerin miktarları, Foto raf 3.3’de görülen SHIMADZU Aux320 hassas terazi ile ölçülmü tür.



Foto raf 3.3. Hassas terazi

Yapılan hesaplamalara göre hassas terazide tartılan nanopartikül ve yüzey aktif maddeler, taban akı kan olarak seçilmi olan saf suya eklenmi ve Foto raf 3.4'de görülen DAIHAN MSH-20A manyetik karı tırıcıda yarım saat karı tırılmı tır.

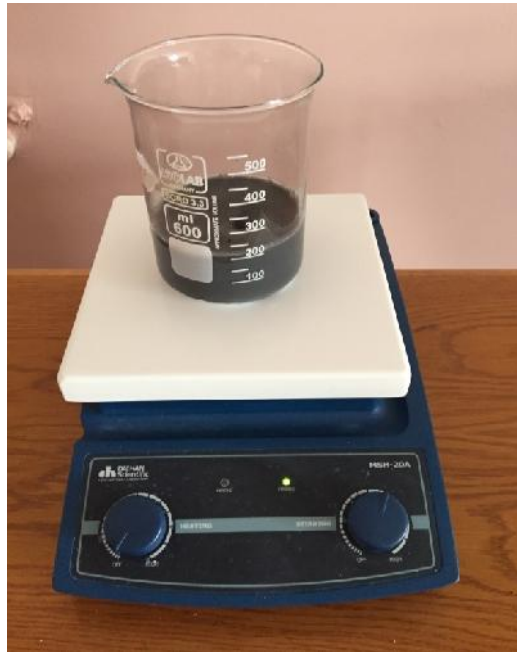


Foto raf 3.4. Manyetik karı tırıcı

Manyetik karı tırıcıda karı tırılan hibrit nanosıvı, Foto raf 3.5'de gösterilen BANDELIN Sonopuls Ultrasonik Homojenizatörde 20 kHz 200 W gücünde 6 saat boyunca homojenize edilmi tir.



Foto raf 3.5. Ultrasonik Homojenizatör



Foto raf 3.6. Kontrol ünitesi

Kullanılan cihazların teknik özellikleri Çizelge 3.3'de verilmi tir.

Çizelge 3.3. Kullanılan cihazların teknik özellikleri

Cihaz	Özellikler	
SHIMADZU Aux320 Hassas terazi	Kapasite	320 g
	Minimum ölçek	0.1 mg
	Tekrarlanabilirlik	0.15 mg
	Lineerlik	±0.3 mg
	Tepki süresi	3 s
	letme sıcaklık aralı ı	5 - 40°C
	Sıcaklık hassasiyet katsayısı (10 - 30°C)	±2 ppm/°C
	Hassasiyet stabilitesi (10 - 30°C)	±2 ppm
	Hazne boyutu	80 mm (çap)
DAIHAN MSH-20A Manyetik karı tırıcı	Plaka boyutu	180x180 mm
	Malzeme (gövde)	Toz kaplı alüminyum

Çizelge 3.3. (Devam)

Cihaz	Özellikler	
	Malzeme (plaka)	Seramik kaplı alüminyum
	Karıştırma kapasitesi	20 l (max)
	Motor gücü	9/4 W
	Devir	1500 rpm (max)
	Sıcaklık aralığı	380 °C (max)
	Isıtma gücü	600 W
BANDELIN Sonopuls Ultrasonik Homojenizatör	Ultrasonik frekans	20 kHz
	Frekans kontrolü	Otomatik
	Zaman ayar aralığı	00:01 - 99:59 [dd:ss]
	Ultrasonik çıkışı	200 W
	Titretilim süresi ON	1 - 60 s
	Titretilim süresi OFF	1 - 60 s
	Genlik ayar aralığı	%1 adımda %10 - 100

Hibrit nanosıvı hazırlanması üzerine yapılan çalışmalar sonucunda, 1:1 oranında yüzey aktif madde katkısı, yarım saat manyetik karıştırıcı ve 6 saatlik ultrasonik homojenizasyon ile leminin ardından hazırlanmış olan hibrit nanosıvılarda yaklaşık %20'lik miktarda buharlaşma kaybı gözlemlenmiştir. Hibrit nanosıvı numuneleri Fotoğraf 3.7'de görülmektedir.

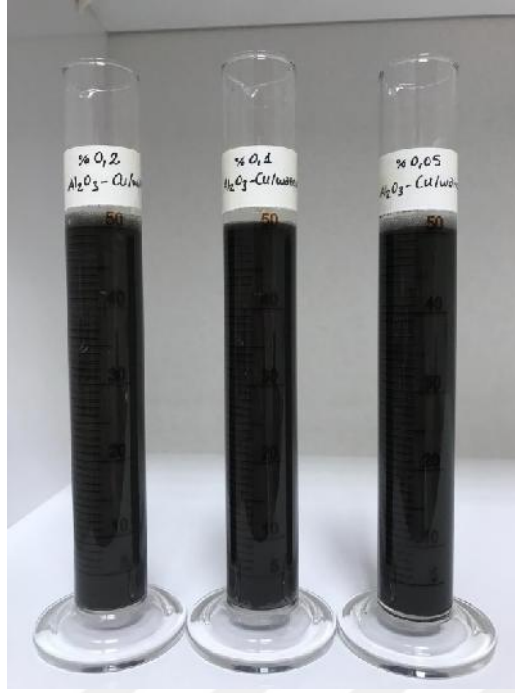


Foto raf 3.7. Hazırlandı olan hibrit nanosıvılar

3.2 Hibrit Nanosıvının Termofiziksel Özelliklerinin Deneysel Yolla Bulunması

Hibrit nanosıvıların en önemli termofiziksel özellikleri ısı iletkenlik (k), özgül ısı (C_p) ve viskozitedir (μ). Termofiziksel özellikler, hibrit nanosıvıların hacimsel yoğunluğu, sıcaklığı, kullanılan nanopartikül boyutları gibi parametrelere bağımlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu çalışmada, hazırlandı olan hibrit nanosıvının termofiziksel özellikleri deneysel olarak ölçülmü ve elde edilen sonuçlar, araştırmacılar tarafından geliştirilmi olan korelasyonlardan elde edilen nümerik sonuçlarla kıyaslandı.

3.2.1 Deneysel ısı iletkenlik ölçümü

Hibrit nanosıvıların ısı iletkenliklerinin ölçümleri KD2 Pro ısı analizör cihazı ile gerçekleştirilmiştir. KD2 Pro pille çalıştırılan, 16 bit mikrokontrolörlü, iki sensörlerden oluşan, gösterge menüli bir cihazdır. Sensörleri bir ısı elemanı ile birlikte termistör içerir. Cihazdaki paslanmaz çelik malzemeden imal edilmi olan KS-1 sensör, 60 mm'lik uzunluğa ve 1.3 mm'lik çapa sahiptir. $\pm\% 5$ 'lik hassasiyete sahip KD2 Pro ölçüm cihazı, 0,2 – 2 W/mK aralındaki ısı iletkenliği ölçmek için kullanılabilir. Ölçümler, 90 saniyelik aralıklardan oluşmaktadır. İlk 30 saniyelik sürede cihaz

kendisini kalibre ettikten sonra ikinci 30 saniyede ısıtma ve son 30 saniyede de so utma i lemi yaparak 1 saniye aralıklarla veri toplar. Isıtma ve so utma sürecindeki son 20 nokta ile ısıl iletkenli hesaplanır. 90 saniyelik sürecin sonunda mikrokontrolör sıcaklık ve zaman de i imlerini kullanarak a a ıdaki korelasyon vasıtası ile ısıl iletkenli i hesaplar:

$$k = \frac{q(l_1 t_2 - l_1 t_1)}{4 (\Delta T_2 - T_1)} \quad (3.2)$$

Burada q, bir sonsuz uzun küçük kaynaktan hat boyunca uygulanan sabit ısı oranı, T_1 ve T_2 sırasıyla, t_1 ve t_2 zamanlarındaki sıcaklık de i imleridir.

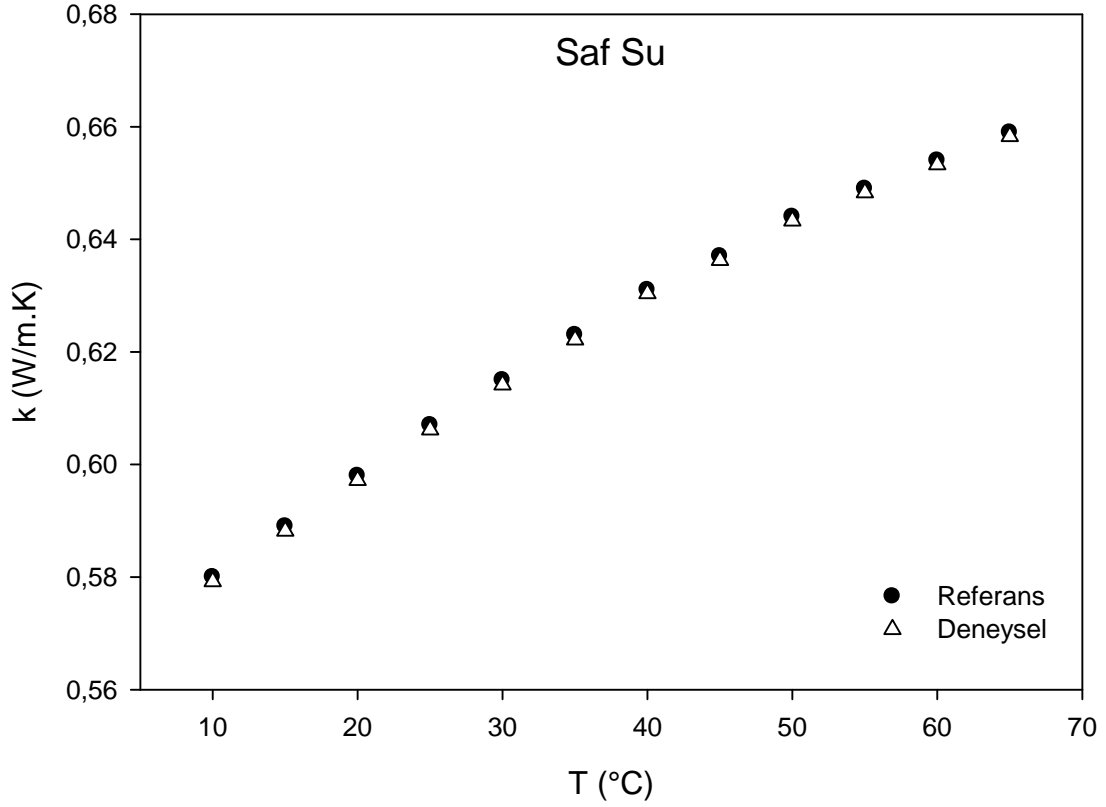
Be ayrı hacimsel yo unlukta hazırlanmı olan hibrit nanosıvıların, 10 ile 65 °C sıcaklık aralıklarında ısıl iletkenlik de erleri ölçülmü tür. Cam tüplere koyulan hibrit nanosıvıların istenilen sıcaklı a getirilmesi, Foto raf 3.8’de görülen pleksiglas malzemeden imal edilmi hazne içerisinde, so utucu çiller ünitesi ile sirküle ettirilen su ile sa lanmı tır.



Foto raf 3.8. Isıl iletkenlik ölçüm düzene i

Hibrit nanosıvıların ısıl iletkenliklerinin ölçümüne ba lamadan önce, saf suyun farklı sıcaklıklarda ısıl iletkenlik ölçümleri yapılmı ve literatürde verilmi olan referans

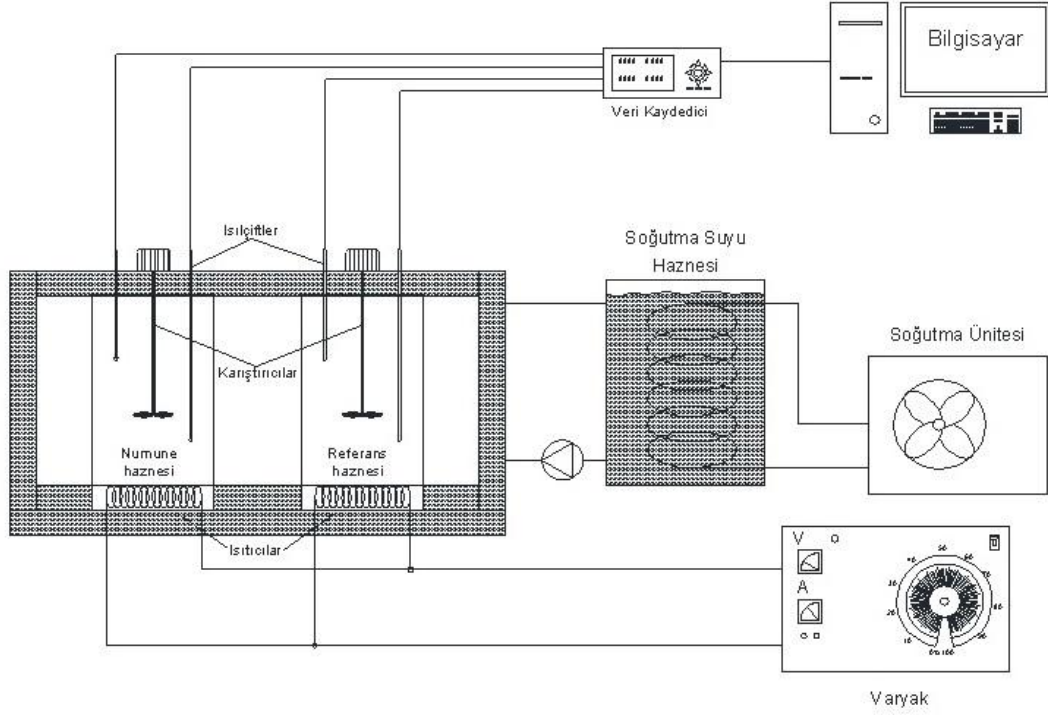
de erlerle kar ıla tırılarak ölçümlerin do rulaması yapılmı tır. Yapılan ölçümler sonucu, %0.1'lik sapma de eri ile kabul edilebilir bir hata payına ula ılmı tır. Yapılan do rulama ölçümleri ile referans de erlerin kar ıla tırmalı grafi i ekil 3.3'de verilmi tir.



ekil 3.3. Deneysel saf su ısı iletkenlik de erlerinin referans de erlerle kar ıla tırılması

3.2.2 Deneysel özgül ısı ölçümü

Hibrit nanosıvıların özgül ısılarının deneysel yolla ölçülmesi, ekil 3.4'de ematik olarak gösterilen deney düzene i ile, Diferansiyel Isıl Analiz (DTA) metodu kullanılarak yapılmı tır.



ekil 3.4. Özgül ısı deney düzene i eması

Bu yöntemde, paslanmaz çelik malzemeden iki ayrı hazneye (Foto raf 3.9) e it kütlede hibrit nanosıvı ve referans sıvı eklenir. Referans sıvı olarak, ısıl de erlerinin bilinir olması sebebiyle saf su tercih edilmi tir. Kapların sıcaklıkları, içine yerle tirildikleri diktörge n haznede sirküle ettirilen ve so utucu çiller cihazı ile sıcaklı ı stabil tutulan etilen glikol ile dengelenir.

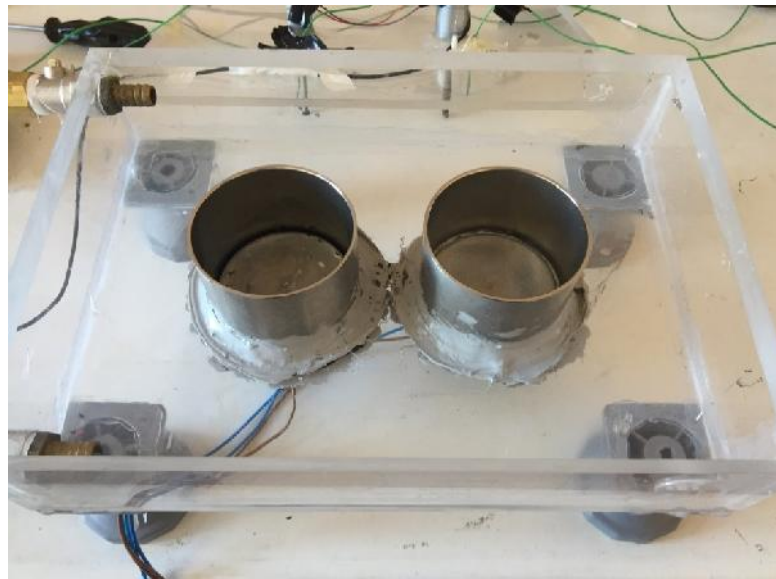


Foto raf 3.9. Özgül ısı ölçüm düzene i

Her iki haznenin alt kısmından, varyak vasıtası ile e it miktarda ısı kontrollü bir ekilde verilir ve ısı miktarı zamana ba lı olarak do rusal bir ekilde arttırılır. Her iki kaptaki sıvılara e it ısı da ılımı sa lanması amacıyla her iki hazne içine karı tırıcı yerle tirilmi tir. Referans ve hibrit nanosıvının sıcaklıkları, her iki hazneye yerle tirilmi iki er (toplam dört adet) K tipi ısııl çift ile ölçülerek, Çizelge 3.4’de teknik özellikleri verilmi olan Graphtec Midi Logger GL220 veri kaydedici (Foto raf 3.10 ve Foto raf 3.11) vasıtasıyla bilgisayara kaydedilir.

Çizelge 3.4. Veri kaydedici teknik özellikleri

Cihaz	Özellikler	
Graphtec Midi Logger GL220	Analog giri kanal sayısı	10
	Süre aralı ı	1 s to 24 h/bölüm
	Max sinyal giri hızı	50k puls/s
	Ölçüm aralı ı	Voltaj :20 - 500 mV, 1 - 50 V
	Desteklenen sensör tipleri	:Sıcaklık K,J,E,T,R,S,B,N,W



Foto raf 3.10. Veri kaydedici

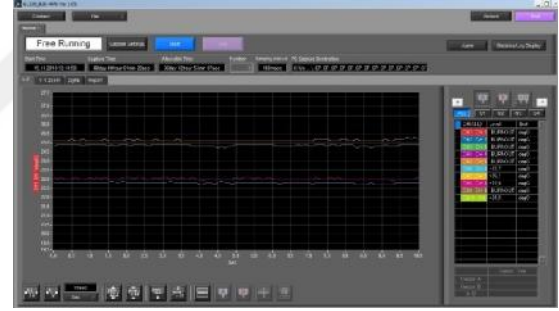
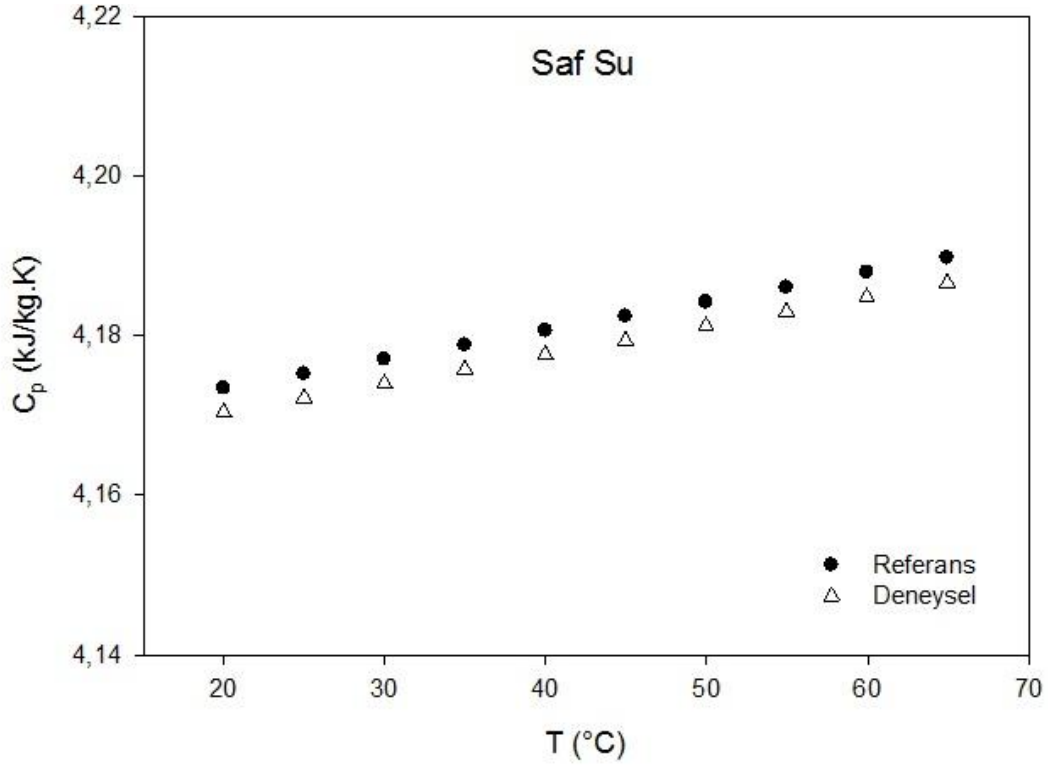


Foto raf 3.11. Yazılım arayüzü

Her iki haznede iki er ısııl çift olmasının nedeni, ölçümlerin do rulanabilirli inin sa lanmasıdır. Ölçümler, saniyede üç kez sıklı ında alınmı tir.

Hibrit nanosıvıların özgül ısılarının ölçümüne ba lamadan önce, ölçümlerin do rulamalarının yapılması amacıyla, saf suyun farklı sıcaklıklardaki özgül ısıları, deney düzene inde ölçülerek literatürde verilmi olan referans de erlerle kar ıla tırılmı tir. Yapılan ölçümler sonucu, ortalama %0.2’lik sapma de eri ile kabul edilebilir bir hata payına ula ılmı tir. Yapılan do rulama ölçümleri ile referans de erlerin kar ıla tırılmalı grafi i ekil 3.5’de verilmi tir.



ekil 3.5. Saf suyun deneysel özgül ısı de eri ile referans de erlerin kıyaslaması

Referans ve numune haznelere uygulanan ısı sonucu sıcaklık de erlerindeki de i imin kaydedilmesiyle elde edilen verilerden, hibrit nanosıvının özgül ısısı ($C_{p,nf}$) a a ıda verilmi olan korelasyonla hesaplanmı tır:

$$Q_{nf} = Q_{ref} \quad (3.3)$$

$$m_{nf}C_{p,nf} \Delta T_{nf} = m_{ref}C_{p,ref} \Delta T_{ref} \quad (3.4)$$

$$C_{p,n} = \frac{m_r C_{p,r} \Delta T_r}{m_n \Delta T_n} \quad (3.5)$$

Burada Q_{nf} ve Q_{ref} sırasıyla, hibrit nanosıvı ve referans nanosıvının ısı miktarları, $C_{p,ref}$ referans sıvının özgül ısısı, m_{nf} and m_{ref} sırasıyla hibrit nanosıvı ve referans sıvı kütleleri ve ΔT_{nf} ve ΔT_{ref} ise sırasıyla, hibrit nanosıvı ve referans sıvının ölçümler sırasındaki sıcaklık farklarıdır.

3.2.3 Deneysel viskozite ölçümü

Viskozite, bir akı kanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Viskozite de eri, hibrit nanosıvıların hacimsel yoğunluğu, sıcaklığı, kullanılan nanopartikül boyutları gibi parametrelere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Hibrit nanosıvıların viskozitelerinin ölçümü, Cannon Instruments'dan satın alınan 0.75 mm çapında ve 1,6-8 cSt aralığında ölçüm yapabilen kapiler viskozimetre tüpü ile yapılmıştır. Sıvıların viskozitesini ölçen kapiler viskozimetre tüpü, sıcaklığı soğutucu çiller ünitesi ile kontrol edilebilen su tankına daldırılarak, içine ölçümü yapılacak sıvı eklenmiş ve sıcaklığı tankta bulunan su vasıtasıyla istenilen değerlerde tutulmuştur. Viskozite ölçümü için kullanılan kapiler viskozimetre tüpünün yer aldığı deney düzeneği Fotoğraf 3.12'de görülmektedir.

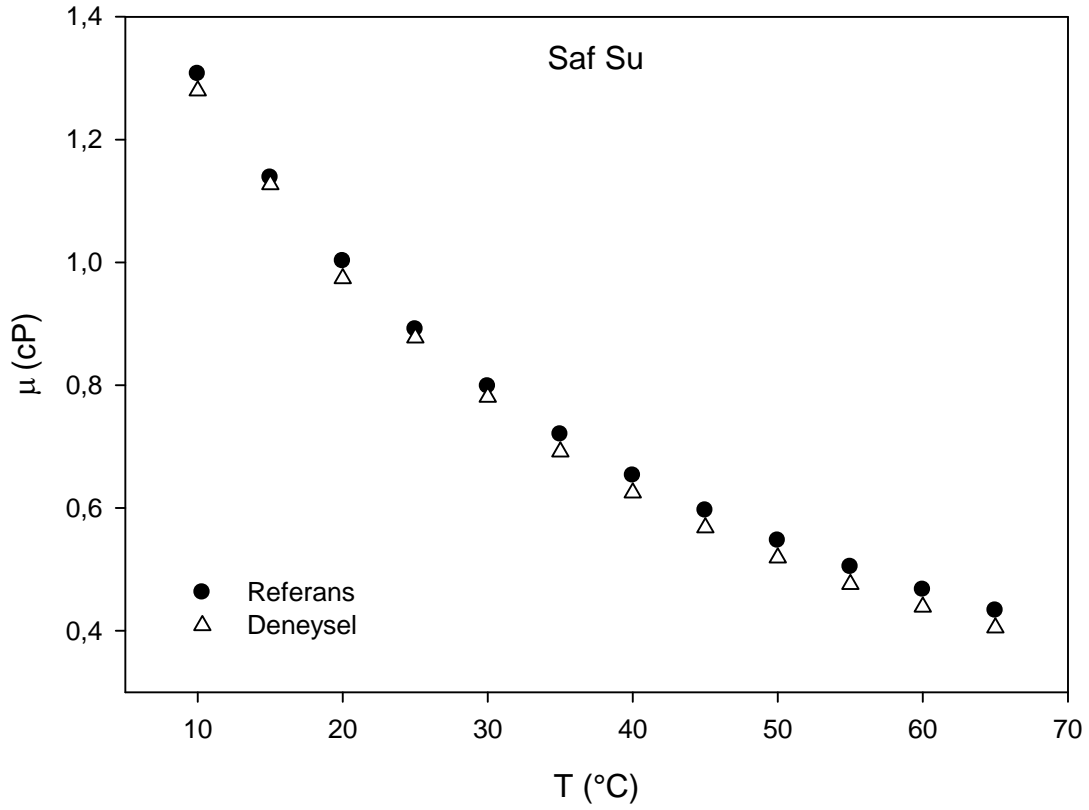


Fotoğraf 3.12. Kapiler viskozimetre tüpü deney düzeneği

Bu çalışmada, hazırlanmış olan hibrit nanosıvıların viskozite değerleri, 10 ile 65 °C sıcaklık aralıklarında ölçülmüştür.

Hibrit nanosıvı ölçümlerine başlamadan önce, saf suyun aynı sıcaklıklardaki viskozite değerleri ölçülmüştü ve referans değerlerle karşılaştırılmıştır (ekil 3.6). Elde edilen

de erlerin, referans de erlerle örtü mekte oldu u tespit edilmi ve ölçümün do rulu u sa lanmı tır.



ekil 3.6. Saf su viskozite de erlerinin referans de erle kıyaslanması

Çizelge 3.5’de, be farklı hacimsel yo unlukta hazırlanmı olan hibrit nanosıvı ve saf suyun 10 – 65 °C sıcaklık aralıklarında ölçülen viskozite de erleri verilmi tir.

Çizelge 3.5. Ölçülmü olan viskozite de erleri

Hacimsel Yo unluk (%)	Sıcaklık (°C)	Zaman (sn)	Viskozite (cSt)	Yo unluk (g/cm ³)	Viskozite (cP)	Ortalama Viskozite (kg/m.s)
0	10	160	1,280	0,9997	1,2796	0,00128
0	15	141	1,128	0,9991	1,1270	0,00113
0	20	122	0,976	0,9980	0,9740	0,00097
0	25	110	0,880	0,9970	0,8774	0,00088
0	30	98	0,784	0,9960	0,7809	0,00078
0	35	87	0,696	0,9940	0,6918	0,00069
0	40	79	0,634	0,9920	0,6291	0,00063
0	45	72	0,578	0,9900	0,5723	0,00057
0	50	66	0,531	0,9880	0,5248	0,00052

Çizelge 3.5. (Devam)

0	55	61	0,489	0,9850	0,4819	0,00048
0	60	57	0,452	0,9830	0,4448	0,00044
0	65	52	0,415	0,9800	0,4069	0,00041
0,0125	10	166	1,328	1,0005	1,3287	0,00133
0,0125	15	145	1,160	0,9999	1,1599	0,00116
0,0125	20	129	1,032	0,9990	1,0310	0,00103
0,0125	25	115	0,920	0,9978	0,9180	0,00092
0,0125	30	103	0,824	0,9964	0,8210	0,00082
0,0125	35	93	0,744	0,9948	0,7401	0,00074
0,0125	40	85	0,680	0,9928	0,6750	0,00068
0,0125	45	78	0,621	0,9908	0,6150	0,00062
0,0125	50	71	0,571	0,9888	0,5650	0,00057
0,0125	55	66	0,529	0,9858	0,5210	0,00052
0,0125	60	61	0,490	0,9838	0,4821	0,00048
0,0125	65	57	0,459	0,9808	0,4500	0,00045
0,025	10	57	0,459	0,9808	0,4500	0,00045
0,025	15	147	1,176	1,0007	1,1768	0,00118
0,025	20	131	1,048	0,9998	1,0478	0,00105
0,025	25	117	0,936	0,9986	0,9347	0,00093
0,025	30	105	0,840	0,9972	0,8376	0,00084
0,025	35	95	0,760	0,9956	0,7567	0,00076
0,025	40	87	0,694	0,9936	0,6895	0,00069
0,025	45	79	0,635	0,9916	0,6295	0,00063
0,025	50	73	0,586	0,9896	0,5795	0,00058
0,025	55	68	0,543	0,9866	0,5355	0,00054
0,025	60	63	0,504	0,9846	0,4966	0,00050
0,025	65	59	0,473	0,9816	0,4645	0,00046
0,05	10	172	1,376	1,0029	1,3800	0,00138
0,05	15	151	1,208	1,0023	1,2108	0,00121
0,05	20	134	1,072	1,0014	1,0735	0,00107
0,05	25	120	0,960	1,0002	0,9602	0,00096
0,05	30	108	0,864	0,9988	0,8630	0,00086
0,05	35	97	0,776	0,9972	0,7738	0,00077
0,05	40	89	0,710	0,9952	0,7065	0,00071
0,05	45	81	0,651	0,9932	0,6465	0,00065
0,05	50	75	0,602	0,9912	0,5965	0,00060
0,05	55	70	0,559	0,9882	0,5525	0,00055
0,05	60	65	0,521	0,9862	0,5136	0,00051
0,05	65	61	0,490	0,9832	0,4815	0,00048
0,1	10	178	1,424	1,0060	1,4325	0,00143
0,1	15	157	1,256	1,0054	1,2628	0,00126
0,1	20	138	1,104	1,0045	1,1089	0,00111

Çizelge 3.5. (Devam)

0,1	25	124	0,992	1,0033	0,9952	0,00100
0,1	30	111	0,888	1,0019	0,8897	0,00089
0,1	35	99	0,792	1,0003	0,7922	0,00079
0,1	40	91	0,730	0,9983	0,7285	0,00073
0,1	45	84	0,671	0,9963	0,6685	0,00067
0,1	50	78	0,622	0,9943	0,6185	0,00062
0,1	55	72	0,580	0,9913	0,5745	0,00057
0,1	60	68	0,541	0,9893	0,5356	0,00054
0,1	65	64	0,511	0,9863	0,5035	0,00050
0,2	10	183	1,464	1,0125	1,4823	0,00148
0,2	15	161	1,288	1,0119	1,3034	0,00130
0,2	20	142	1,136	1,0110	1,1485	0,00115
0,2	25	127	1,016	1,0098	1,0260	0,00103
0,2	30	114	0,912	1,0084	0,9197	0,00092
0,2	35	103	0,824	1,0068	0,8296	0,00083
0,2	40	94	0,753	1,0048	0,7565	0,00076
0,2	45	87	0,695	1,0028	0,6965	0,00070
0,2	50	81	0,646	1,0008	0,6465	0,00065
0,2	55	75	0,604	0,9978	0,6025	0,00060
0,2	60	71	0,566	0,9958	0,5636	0,00056
0,2	65	67	0,535	0,9928	0,5315	0,00053

Yo unluk de erlerinin hesaplanmasında, a a ıdaki korelasyonlar kullanılmı tır:

$$\rho_p = \frac{\rho_A W_A + \rho_C W_C}{W_A + W_C} \quad (3.6)$$

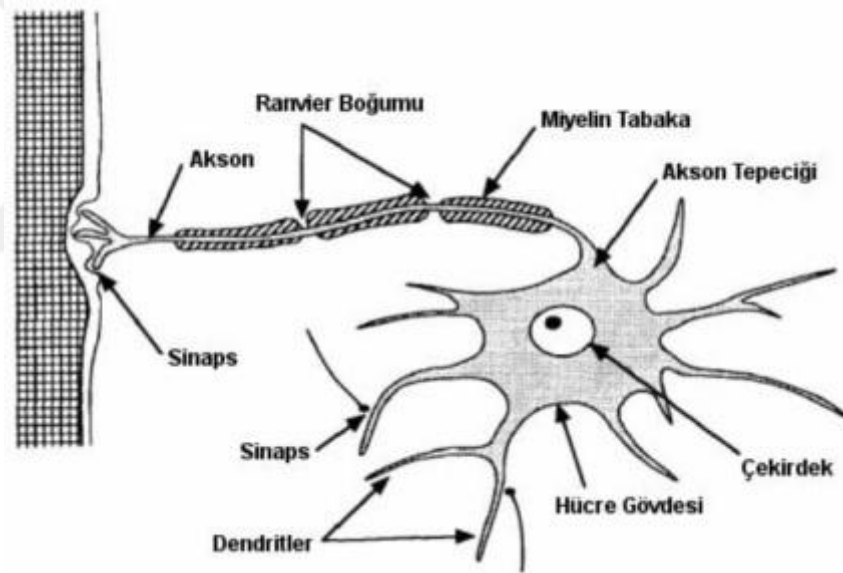
$$\rho_h = (1 - \varphi)\rho_b + \varphi\rho_p \quad (3.7)$$

3.3 Yapay Sinir A ı Dizaynı

Yapay sinir a ları, insanların biyolojik sinir sisteminden esinlenerek, bilgisayarlara insanlarda var olan dü ünerek ö renme yetene inin geli tirilmesi esasına göre çalı maktadır. Literatürde de yapay sinir a ları ile ilgili yapılmı olan çalı malarda, yapay sinir a larının açıklanması amacıyla biyolojik sinir a larının çalı ma prensipleri detaylarıyla açıklanarak, yapay sinir a ları anlatılmaya çalı ılmı ve her iki sistem arasında kar ıla tırma yapılmı tır. Bu sebeple, yapay sinir a ının çalı ma sisteminin anla ılması için insan beyninin biyolojik yapısının bilinmesinde fayda vardır.

3.3.1 Biyolojik sinir sistemi

Biyolojik sinir sistemi, milyarlarca sinir hücresinin birleşiminden meydana gelmekte olup, bu sinir hücrelerinin tamamı birbirleri ile etkileşim halinde bulunmaktadır. Sistem, iç ya da dış ortamdan gelen uyarıların algılanarak, sinyaller vasıtasıyla bilgiye dönüştürüldükten sonra elde edilen verileri taşıyarak, hücre ağı vasıtasıyla sinyallerin gerekli bölgelere taşınmasını ve bu sayede de vücudun sisteminin düzenlenmesine yardımcıdır. Biyolojik sinir sistemi, merkezi sinir sistemi (MSS) ve çevresel sinir sistemi (ÇSS) olmak üzere iki bölüme ayrılır. Merkezi sinir sistemi, beyin ve omurilikten oluşurken, çevresel sinir sistemi ise merkezi sinir sistemi ile vücudun tüm sistemlerini birbirlerine bağlamakla görevli uzun sinir ağıdır (Özoğuz, 2016).



ekil 3.7. Biyolojik sinir hücresi (nöron)

ekil 3.7’de biyolojik sinir ağı yapısının temel yapıtaşı olan ve nöron olarak da adlandırılan biyolojik sinir hücresinin gösterimi verilmiştir (Korkmaz, 2019). Yaklaşık olarak 10^{11} sinir hücresi içeren insan beyininde bulunan hücreler arasındaki iletişim yaklaşık 10^{15} bağlantı ile sağlanmaktadır. Bir biyolojik sinir hücresinin yapısında dendrit, çekirdek, akson ve sinaps olmak üzere dört ana bileşen bulunmaktadır. Dendritler, sinir hücreleri arasındaki sinyalleri yakalayan, ağaç dallarına benzeyen yapıya sahip olan uzantılardır (Luger ve Stubblefield, 1989). Dendrit sayıları, sinir hücrelerine bağlı olarak değişlik

gösterebilmekle birlikte bir sinir hücresinde yüzlerce ve bazen de binlerce dentrit bulunabilir. Aksonlar, iletken olan verileri diğer bir hücreye iletmekle görevli olan sinir lifleridir (Winston, 1992). Bir sinir hücresinin fazla sayıda dentriti bulunmakla birlikte sadece bir adet aksonu bulunmaktadır. Nöronlar üzerinde yer alan aksonların, diğer nöron ya da nöronların dentritleri üzerindeki bağlantı noktalarıdır. Bir nöronun aktifleşmesi için, hücre zarındaki elektrik yükünün eksiden artıya döndürülmesini sağlayan bir uyarı gerekmektedir. Bu uyarı, akson vasıtasıyla sinapsa iletilir ve nörotransmitter adı verilen kimyasal maddenin salınması tetiklenir olur. Bu oluşum, uyarının gideceği hedefte bir cevap oluşmasını sağlar. Sinir hücresinin genetik malzemesini içinde barındıran çekirdek ise, sinapslar üzerinden dentritler ile gelen sinyalleri alarak, zaman içerisinde iletir. iletildiği bu veriler, bir çıkışa dönüştürülerek yine sinaps ve aksonlar vasıtasıyla diğer sinir hücrelerine iletilir. Bu şekilde, iki nöron arasındaki bilgi transferi sağlanmaktadır. Nöronlar arası bağlantı gücü, sinapslar tarafından ayarlanabilmektedir.

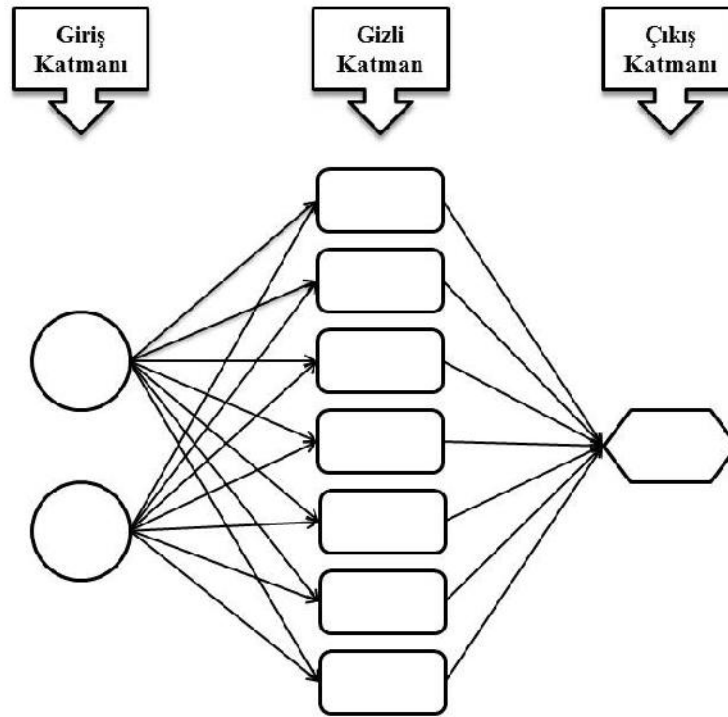
3.3.2 Yapay sinir ağı mimarisi

Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin termofiziksel özelliklerinin tahmini amacıyla; sigmoid gizli nöronları ve lineer çıkış nöronları (fitnet) içeren, çift katmanlı ileri beslemeli olarak modellenen yapay sinir ağı, Levenberg-Marquardt (Marquardt, 1963) geri yayılım algoritması (trainlm) ile eğitilmiştir. Gizli ve çıkış katmanlarının transfer fonksiyonları olarak sırasıyla Tanjant Sigmoid (Tan-Sig) ve dorusal (Purelin) fonksiyonları seçilmiştir.

Modellenmiş olan yapay sinir ağı; giriş, gizli ve çıkış katmanları olmak üzere üç katmandan oluşur. Giriş katmanı, verilerin alındığı ve bağımsız bir değişken olarak davranan katmandır. Bu sebeple, giriş nöronlarının sayısı, problemin yapısına göre belirlenmektedir. Giriş katmanındaki nöronların sayısı bağımsız değişkenlerin sayısına bağlıdır. Bu çalışmada, ölçülmüş olan termofiziksel özellikler sıcaklık ve hacimsel yoğunluğa göre değiştiğinden dolayı giriş katmanında iki değişken bulunmaktadır. Gizli katman, çıkış değerlerinin hesaplanması amacıyla sadece ara sonuçları sağlar ve diğer iki katmandan farklı olarak, herhangi bir kavramı temsil etmez. Yapay sinir ağlarının her birimi giriş değerlerini karışık gelen ağırlıklarla çarpıp ve toplamlarını

hesaplar. Hesaplanan de erlerin toplamı daha sonra transfer fonksiyonu kullanılarak bir çıktıya e lenir.

Yapay sinir a ı modelleri arasında yaygın olarak kullanılan tür çok katmanlı algılayıcı (MLP) a ıdır. Algılayıcılar, giri alanını do rusal bir karar sınırı ile ayıran basit, tek katmanlı ikili sınıflayıcılardır. Algılayıcılar dar bir sınıflandırma problemini çözmeyi ö renebilen, belirli bir problemi güvenilir bir e kilde çözebilen ilk yapay sinir a larından biridir. MLP modeliyle do rusal olmayan matematiksel korelasyonları tahmin etmek için tasarlanmı yapay sinir a ları yeterli düzeyde performans gösterebilmektedir. MLP modeli bir giri katmanı, en az bir gizli katman ve bir çıkı katmanı içerir. MLP modelindeki her katman, onu izleyen sonraki katmana tamamen ba lanır. Bu ba lar, birbirine ba lanan ve nöron adı verilen paralel hesaplama elemanlarından olu ur. Bir MLP modelinde, temel i lem elemanı nörondur. Nöronlar bias (b), a ırlıklar (w) ve bir transfer fonksiyonu (f) ile karakterize edilir. Rastgele bir sayı üretici kullanılarak ayarlanan a ırlık de erleri, her bir nöronun giri de erleri ile çarpılır ve elde edilen de erler birbirine ve yanlılık de erine eklenir. Geli tirilmı olan yapay sinir a ının temel yapısı ekil 3.8’de gösterilmı tir.

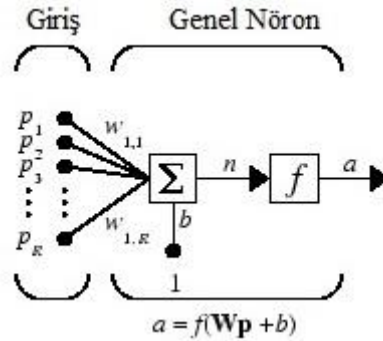


ekil 3.8. Yapay sinir a ının temel yapısı

3.3.3 Yapay sinir a ının e itilmesi

Yapay sinir a ının e itilmesi i lemine ba lamadan önceki ilk adım verilerin toplanması ve hazırlanmasıdır. Ham bilgiyi bir yapay sinir a ına dahil etmek genellikle zor oldu undan dolayı, yapay sinir a ı sadece a ı e itmek için kullanılan veriler kadar kesin olabilir. Verilerin, yapay sinir a ının kullanılaca ı girdi aralı mını kapsamaması önemlidir. Çok katmanlı yapay sinir a ları, e itildikleri girdiler dahilinde e itilir. Bununla birlikte, bu aralı mın ötesinde do ru bir ekilde ekstrapolasyon yapma kabiliyetleri yoktur. Bu nedenle, e itim verilerinin girdi alanının tamamını kapsamaması önemlidir. Verilerin toplanmasının ardından, verileri a ı e itmek için kullanmadan önce, verilerin i lenmesi ve alt kümelere ayrılması gerekir.

R giri li basit bir nöron a ıda gösterilmi tir. Her giri uygun bir w ile a ırlıklandırılır. A ırlıklı girdilerin ve bias de erlerinin toplamı, f transfer fonksiyonuna giri i olu turur. Nöronlar, çıktılarını üretmek için herhangi bir farklıla tırılabilir transfer fonksiyonunu kullanabilirler.



ekil 3.9. Nöronun matematiksel yapısı

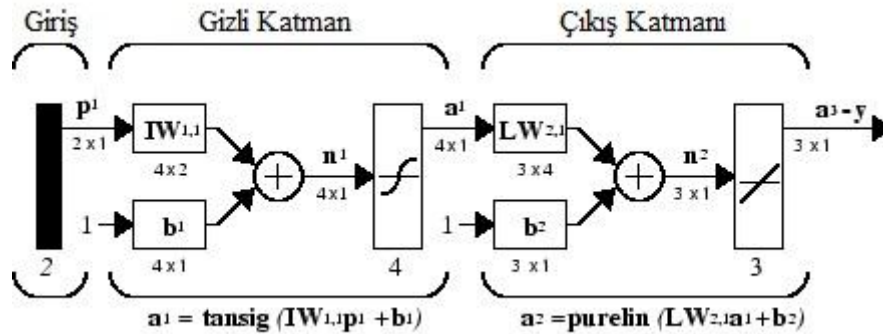
Burada, R giri vektöründeki elemanların sayısıdır. Çok katmanlı yapay sinir a ında, gizli ve çıktı katmanlarının transfer fonksiyonları olarak sırasıyla Tanjant Sigmoid (TanSig) ve do rusal (Purelin) fonksiyonları kullanılmı tir. TanSig bir nöral transfer fonksiyonudur. Bu transfer fonksiyonu, bir katmanın çıktısını net giri inden hesaplamak için kullanılmı tir.

$$\text{tansig}(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1 \quad (3.8)$$

Bu ifade, matematiksel olarak $\tanh(n)$ 'e eşittir. Burada n , net giri (sütun) vektörlerinin matrisidir. Bu fonksiyon, hızın önemli olduğu ve transfer fonksiyonunun tam eklinin olmadığı yapay sinir ağları için iyi bir model olduğu için tercih edilmiştir (Vogl vd., 1988). Doğrusal transfer fonksiyonu olan purelin fonksiyonu ise aşağıdaki şekilde ifade edilir :

$$\text{purelin}(n) = n \quad (3.9)$$

leri beslemeli ağlar, genellikle bir veya daha fazla gizli sigmoid nöron katmanına ve ardından bir lineer nöron çıkış katmanına sahiptir. Lineer olmayan transfer fonksiyonlarına sahip çoklu nöron katmanları; ağın, giriş ve çıkış vektörleri arasındaki lineer olmayan ilişkileri öğrenmesini sağlar. Doğrusal çıkış katmanı en çok öğrenme (veya doğrusal olmayan regresyon) sorunları için kullanılır. Yapay sinir ağının çıktılarının sınırlandırılmak istendiği durumlarda (örneğin 0 ile 1 arasında), çıkış katmanı bir sigmoid transfer fonksiyonu (logsig gibi) kullanılmalıdır. Ebeke örüntü tanıma sorunları için kullanıldığında bu durum söz konusudur. Bu çalışmada, deneysel veri miktarı yeterli miktarda olduğu için, literatürde "uygunlaştırma" adı verilen bu sistemin uygulanmasına ihtiyaç duyulmamıştır.



ekil 3.10. Yapay sinir ağının matematiksel yapısı

Tasarlanmış olan bu yapay sinir ağının gizli katmanındaki nöron sayısının yeterli olduğu göz önüne alındığında, keyfi olarak iyi sınırlı sayıda süreksizlik bulunan herhangi bir fonksiyon yaklaşılabilmektedir. Çok katmanlı ağlarda, sigmoid transfer fonksiyonları genellikle gizli katmanlarda kullanılır. Bu fonksiyonlar, giriş verisi üçten fazla sayıda olduğunda verimli hale gelir ($\exp(-3) \cong 0.05$). Bu, öğrenme sürecinin başında

gerçekle irse, gradyanlar çok küçük olacak ve yapay sinir a mın e itimi çok yava olacaktır.

Yapay sinir a mın e itiminde, do rusal olmayan regresyon problemlerinin örüntü tanıma modellerinde iyi performans gösteren, hızlı ve sıklıkla kullanılan fonksiyonlardan bir tanesi olan Levenberg-Marquardt (Marquardt, 1963) fonksiyonu kullanılmı tır. Quasi-Newton yöntemi gibi, Levenberg-Marquardt algoritması da, Hessian matrisini kullanmak zorunda kalmadan ikinci dereceden e itim hızına yakla mak için tasarlanmı tır. Performans i levi, toplam kareler ekinde oldu unda (ileri besleme yapay sinir a larının e itiminde oldu u gibi), Hessian matrisine u ekilde yakla ılabilir :

$$H = J^T J \quad (3.10)$$

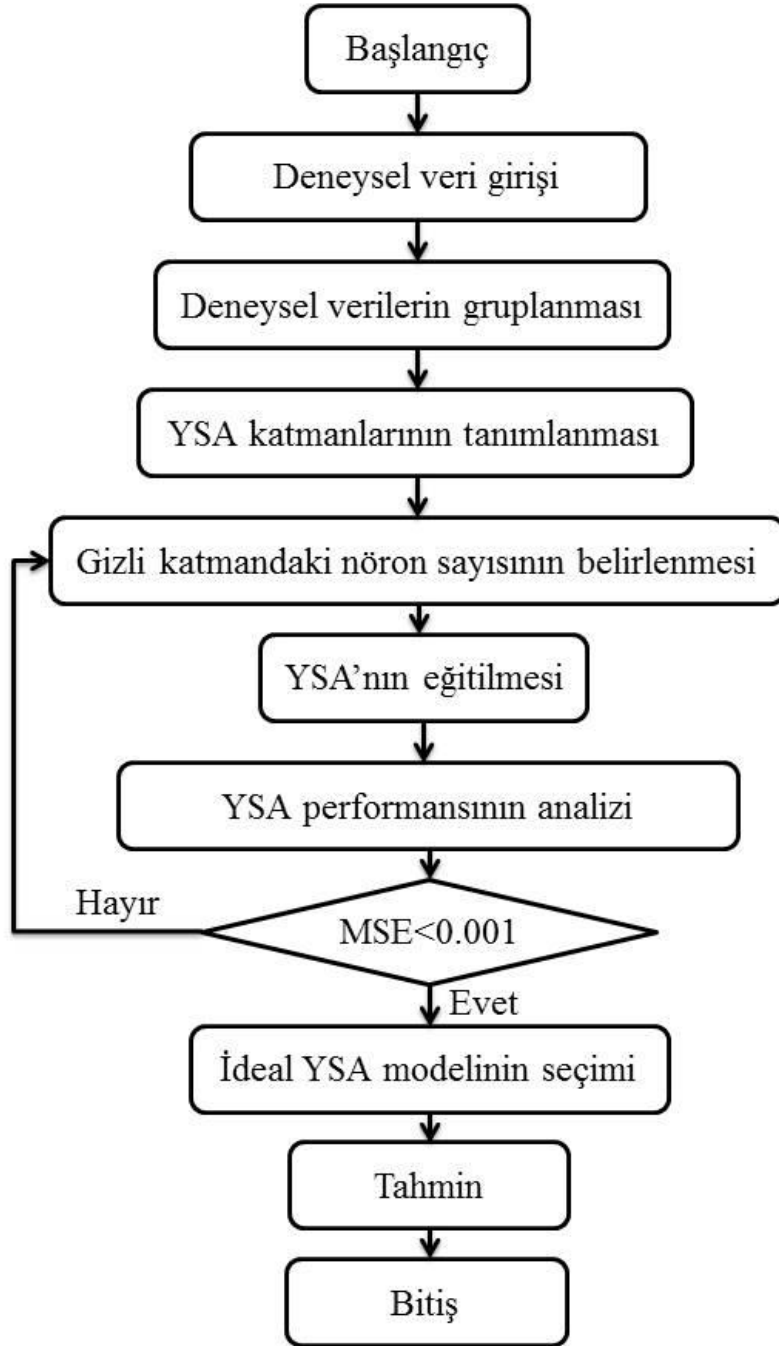
Ve gradyan ise a a ıdaki ekilde hesaplanabilir :

$$g = J^T e \quad (3.11)$$

Burada J, a hatalarının a ırlık ve bias bakımından birinci türevlerini içeren Jacobian matrisi ve e ise a hatalarının bir vektörüdür. Jacobian matrisi, Hessian matrisini hesaplamaktan çok daha az karma ık olan standart bir geri yayılım tekni i ile hesaplanabilir (Hagan, 1994). Yapay sinir a mın, a ırlık ve biasları tanımlandı ında, yapay sinir a ı e itim için hazırdır. E itim süreci bir dizi uygun a davranı ı örne i gerektirir. Bir yapay sinir a ını e itme süreci, yapay sinir a ı performansını optimize etmek için, yapay sinir a mın a ırlıklarının ve biaslarının de erlerini ayarlamaktan olu ur. leri beslemeli yapay sinir a ları için varsayılan performans i levi, a ı çıktısı a ile hedef ı çıktısı t arasındaki ortalama karesel hatadır (MSE). Ortalama kare normale tirilmi hata performans fonksiyonu, bir a performans i levidir ve yapay sinir a mın performansını, kare hataların ortalamasına göre ölçer. MSE a a ıdaki ekilde tanımlanır:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - a_i)^2 \quad (3.12)$$

deal bir yapay sinir a ına ait akı eması, ekil 3.11'de gösterilmi tir.



ekil 3.11. Yapay sinir a ı akı eması

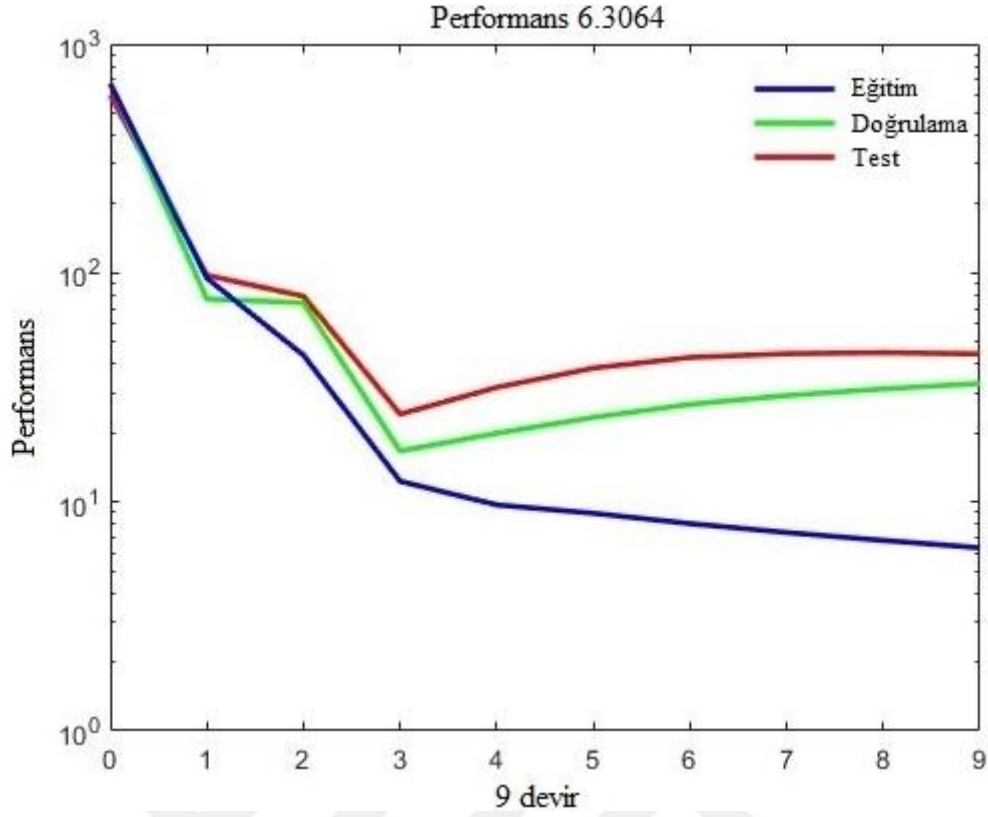
3.3.4 Verilerin optimize edilmesi

Çok katmanlı a ların e itilmesinde öncelikle veriler üç gruba bölünür. Birinci grup, gradyanı hesaplamak ve a a ırlıkları ile biasları olu turmak için kullanılan e itim

setidir. İkinci grup, eğitim için kullanılan veri setidir. Doğrulama setindeki hata eğitim sürecinde izlenir. Doğrulama hatası, yapay sinir ağının eğitiminin başlangıç aşamasında, ayar hatası gibi azalır. Bununla birlikte, ağın verilerin üstüne çıkmaya başladığında, doğrulama setindeki hata tipik olarak artmaya başlar. Ağırlıklar ve biasları doğrulama verilerinin hatasının minimumunda kaydedilir. Üçüncü grup olan test seti, eğitim sırasında kullanılmaz, ancak farklı modelleri karşılaştırmak için kullanılır. Eğitim süreci boyunca test setinde meydana gelen sapmayı tespit etmek, yapay sinir ağının tahmin hatasını belirlemek açısından faydalıdır. Test setindeki hata, doğrulama seti hatasından önemli ölçüde farklı bir yinelenme sayısında minimuma ulaşırsa, bu veri setinin dağılımı ve düzenlenmesinin kötü bir şekilde olduğunu gösterebilir.

3.3.5 Yapay sinir ağı performansının analizi

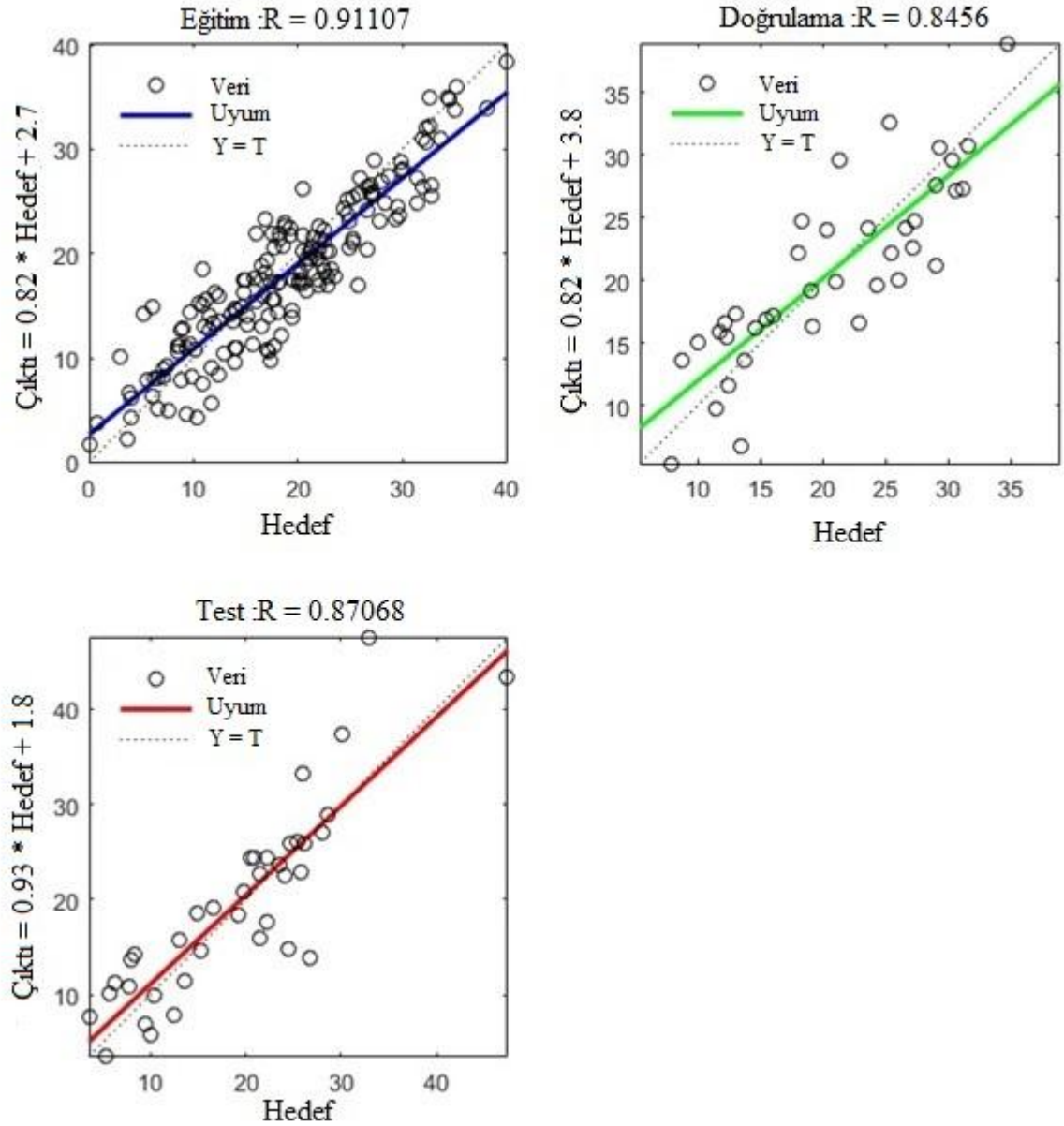
Çok katmanlı yapay sinir ağının eğitiminin tamamlanmasının ardından, geliştirilmiş olan yapay sinir ağının performansının kontrol edilebilmesi ve yapay sinir ağının mimarisinde veya veri kümelerinde herhangi bir değişiklik yapılmasının gerekip gerekmediğinin belirlenmesi gerekmektedir. Performans değerleri, yapay sinir ağının eğitilmesi, doğrulaması ve testinde kullanılmı olan tüm bilgileri içerir. Bu yapı ayrıca, antrenman sırasında performans fonksiyonunun değeri ve büyüklüğü gibi çeşitli değişkenleri de izler. Yapay sinir ağının performans grafiğine bir örnek şekil 3.12’de verilmiştir.



ekil 3.12. Yapay sinir a ının performans grafi i

Grafikteki devir (epoch) özelli i, do rulama performansının minimuma ula tı ı yinelemeyi göstermektedir. Yapay sinir a ının e itim sürecinin tamamlanması, 6 tekrara kadar devam etmesi ve do rulama (validation) ile test trendlerinin çok benzer olması, e itim ile ilgili herhangi bir önemli sorunun olmadı ının göstergesidir. Do rulama e risi artmadan önce test e risinin önemli ölçüde arttı ı durumlar, bazı a ırı uyarmanın gerçekleşme olasılığının ifadesidir.

Yapay sinir a ının do rulanmasındaki bir sonraki adım, yapay sinir a ının çıktıları ile hedefler arasındaki ilişkiyi gösteren bir regresyon grafi i oluşturmaktır. Yapay sinir a ının e itiminin ideal şekilde gerçekleştirilmesi, a ı çıktıları ve hedefler arasındaki uyuma bağlı olarak anlaşılabilir. E itimin mükemmel olması, a ı çıktıları ile hedefin tam olarak e itilmesi anlamına gelir ancak bu durum pratikte pek mümkün değildir. ekil 3.13’de yapay sinir a ının e itim, do rulama ve test regresyon grafiklerine bir örnek gösterilmiştir.



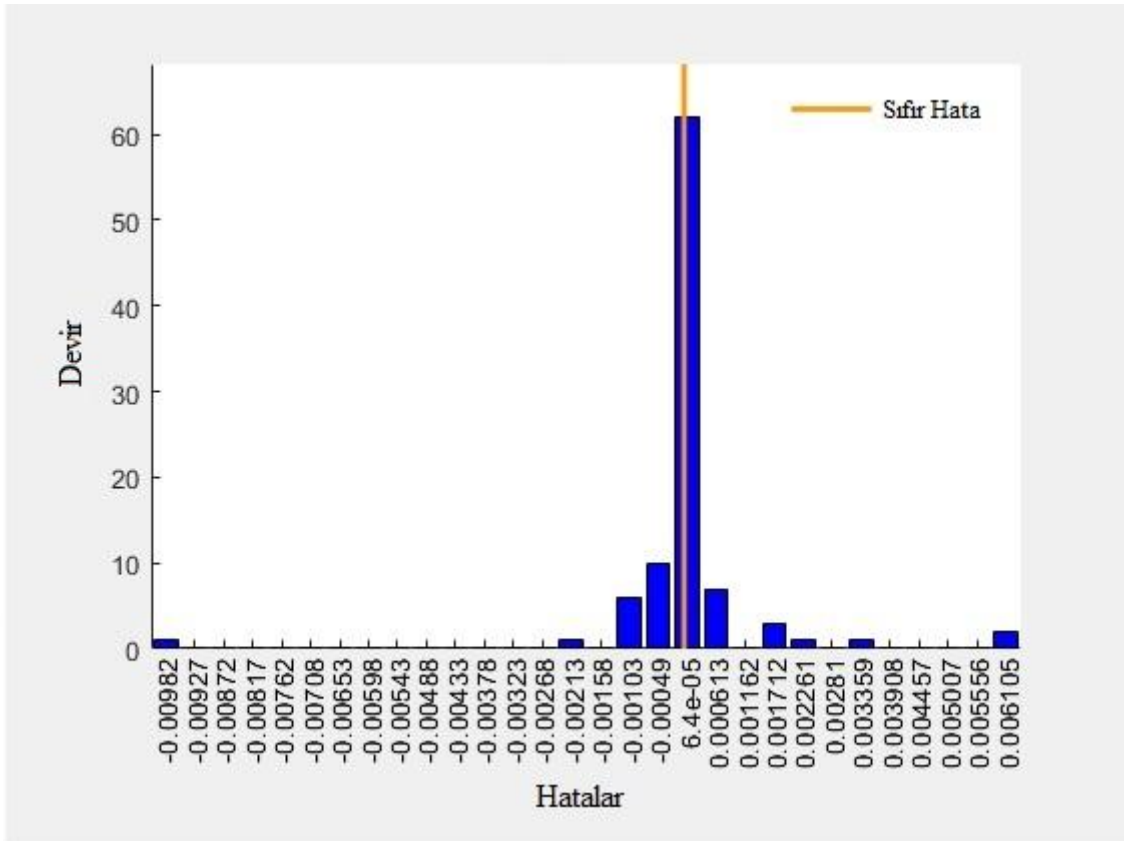
ekil 3.13. Yapay sinir a 1 regresyon grafikleri

Grafiklerdeki kesikli çizgi, geli tirilmi olan yapay sinir a 1 ın mükemmel sonuçlarını temsil etmektedir. Düz çizgi, yapay sinir a 1 ın çıktılarını ve hedefler arasındaki en uygun do rusal regresyon çizgisini temsil etmektedir. R de eri, yapay sinir a 1 ın çıktılarını ve hedefler arasındaki ili kinin bir göstergesidir. E er $R = 1$ ise, bu, çıktılar ve hedefler arasında tam bir do rusal ili ki oldu unu gösterir. R sıfıra yakınsa, çıkı lar ve hedefler arasında do rusal bir ili ki yoktur. Buradan yola çıkarak, R de erinin sıfıra yakınlı ı ile yapay sinir a 1 ın e itim derecesinin iyili i arasında do rusal bir ili ki oldu u sonucuna varılabilir. Verilen örnekte, elde edilen de erler ve grafikler incelendi inde, yapay sinir

a 1 çıktıları ile hedefler arasında iyi bir uyum oldu u gözlenmektedir. Da ılım grafi i, belirli veri noktalarının zayıf uyuma sahip oldu unu göstermede yardımcı olur.

Yapay sinir a ının e itiminin yeterince do ru yapılmadı ının gözlendi i durumlarda, yapay sinir a ı yeniden olu turulup e itilebilir. Bir ileri beslemeli yapay sinir a ının her ba langıcında, a parametrelerinin farklı olaca ından dolayı farklı çözümler üretilebilir. İkinci bir yakla ım, gizli katmandaki nöronların sayısını artırmaktır. Gizli katmanda bulunacak daha fazla sayıda nöron, yapay sinir a ının optimize edebilece i daha fazla parametreye sahip oldu undan, yapay sinir a ına daha fazla esneklik kazandırabilir. Bu tür durumlarda, katman boyutunun kademeli olarak artırılması gereklidir. Gizli katmanın çok büyük yapılması, sorunun tanımlanmamasına neden olabilir. Yapay sinir a ının iyi e itilmedi i durumlarda uygulanabilecek üçüncü bir seçenek ise farklı bir transfer fonksiyonu denemektir. Örne in, Bayesian normalle tirme e itimi, bazen erken durdurma kullanmaktan daha iyi genelleme yetene i sa layabilir. Di er bir seçenek de yapay sinir a ının e itimi için daha fazla veri kullanmaktır. Yapay sinir a ına daha fazla veri sa lamak, yapay sinir a ının daha fazla veriyi i leyerek daha iyi e itilmesi ihtimalini artırmaktadır.

Yapay sinir a ının durumunu gözlemek için hata histogram grafi ine de bakılmalıdır. Yapay sinir a ındaki hata da ılımının en dü ük oldu u bölgenin, sıfır hata çizgisine yakınlı ı, yapay sinir a ının do ru e itilmi oldu unun göstergesidir. ekil 3.14'de örnek bir hata histogram grafi i verilmektedir.



ekil 3.14. Hata histogram grafi i

BÖLÜM IV

BULGU VE ANALİZ

Be farklı hacimsel konsantrasyonda hazırlanmış olan Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosivisinin, deneysel olarak ölçülmüş termofiziksel özellikleri öncelikle literatürde sıklıkla kullanılmakta olan model korelasyonlarla karşılaştırılmıştır. Ardından, elde edilen deneysel veriler ile ilk olarak, Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenlik, özgül ısı ve viskozite değerlerinin tahmin edilmesi için korelasyonlar geliştirilmiştir, sonrasında ise yapay sinir ağı modellenmiştir. Deneysel veriler, geliştirilmiş olan korelasyondan elde edilmiş olan veriler ve yapay sinir ağı çıktıları ile kıyaslanmıştır.

4.1 Isıl İletkenlik

Hibrit nanosivilerin deneysel yolla elde edilen ısı iletkenlik verileri, literatürde en çok kullanılan olan dört korelasyondan elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Söz konusu korelasyonlar aşağıda belirtilmiştir.

Maxwell korelasyonu:

$$k_h = k_b \left[\frac{(\varphi_n k_n + \varphi_n k_n) + 2k_b + 2(\varphi_n k_n + \varphi_n k_n) - 2k_b}{\varphi_n} \right] \quad (4.1)$$

Yu – Choi korelasyonu:

$$\left[\frac{k_h}{k_b} \right] = \left[\frac{k_p + 2k_b + 2(k_p - k_b)(1 + \beta)^d}{k_p + 2k_b - \varphi(k_p - k_b)(1 + \beta)^d} \right] \quad (4.2)$$

Burada, nanokatkıman kalınlığının nanopartikül çapına oranıdır ve 0.1 alınmıştır.

Hamilton – Crosser korelasyonu:

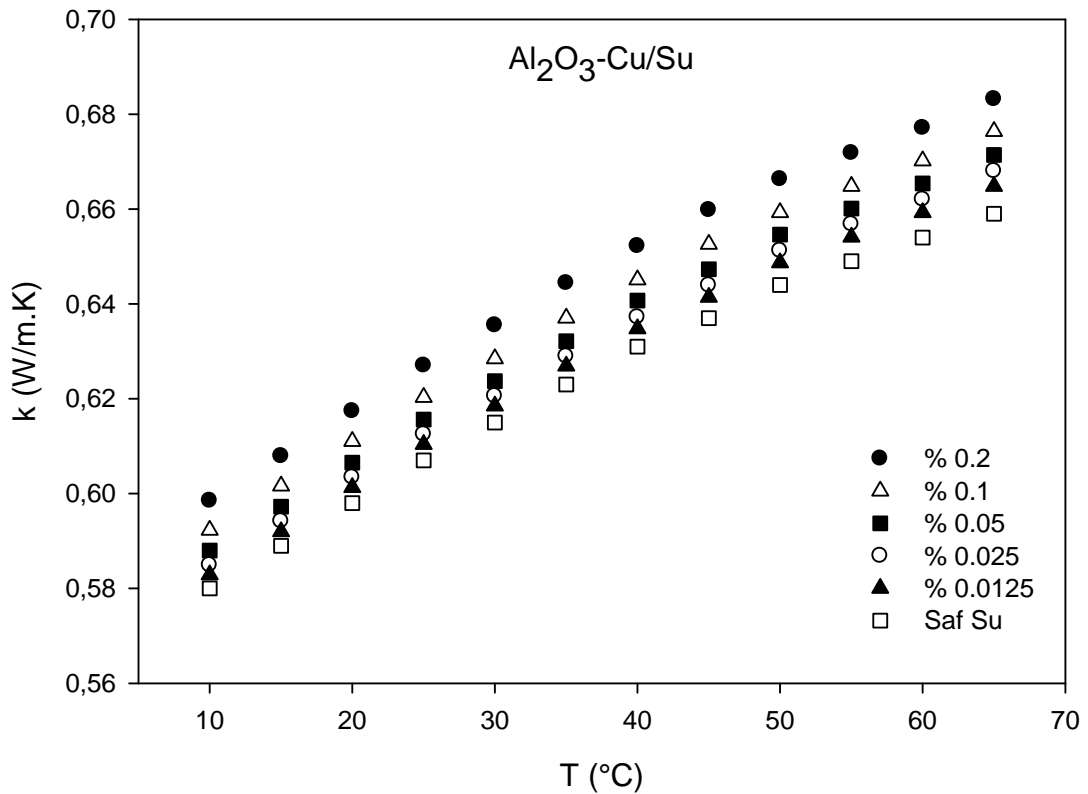
$$k_h = k_b \left[\frac{k_p + 2k_b - 2(k_p - k_b)}{k_p + 2k_b + \varphi(k_p - k_b)} \right] \quad (4.3)$$

Bruggeman korelasyonu:

$$k_h = \frac{1}{4}[(3\varphi - 1)k_p + (2 - 3\varphi)k_b] + \frac{k_b}{4}\sqrt{\Delta} \quad (4.4)$$

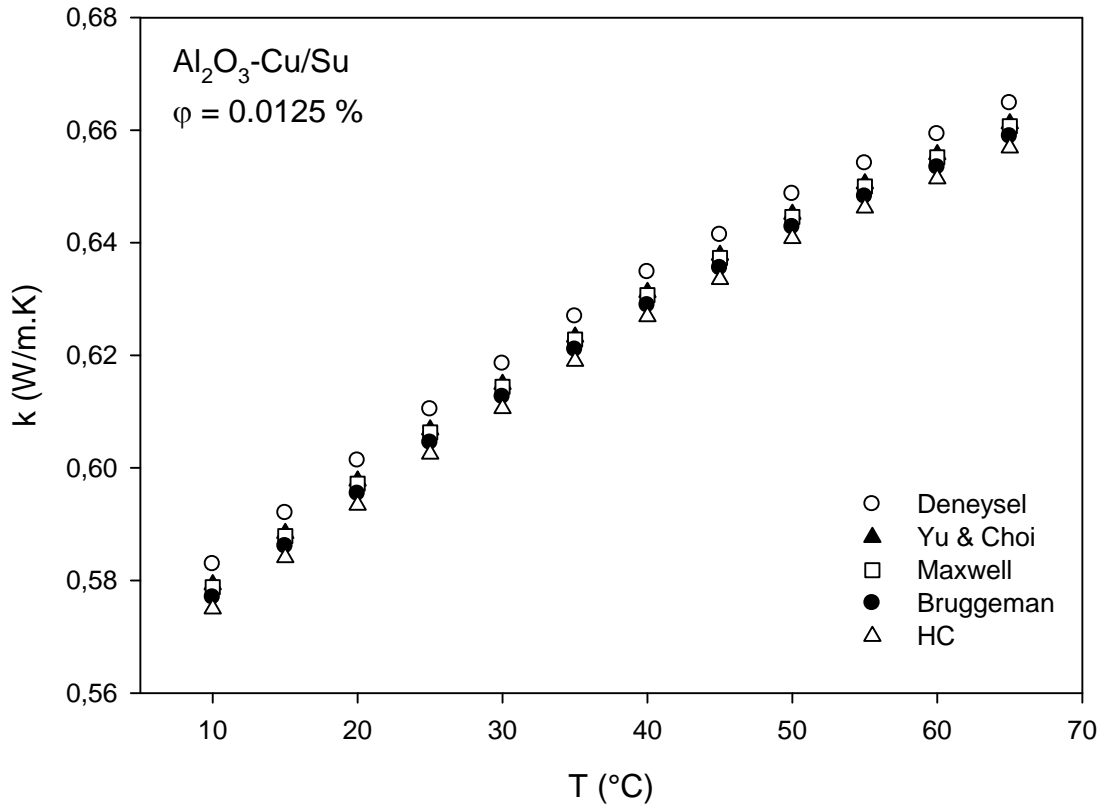
$$\Delta = [(3\varphi - 1)^2(k_p/k_b)^2 + (2 - 3\varphi)^2 + 2(2 + 9\varphi^2)(k_p/k_b)] \quad (4.5)$$

Deneysel çalı malar sonucu elde edilmi olan ısı iletkenlik de erleri öncelikle saf suya ait referans de erlerle kıyaslanmı tır. Her be hacimsel yo unlukta da ısı iletkenlik de erleri, saf suya oranla yüksek de erlerde olmu tur. Deney sonuçlarına göre, sıcaklık artı ı ile birlikte hibrit nanosıvının ısı iletkenlik de erlerinde de artı gözlemlenmi tir. Sıcaklı ın artması ile birlikte, hibrit nanosıvı içerisindeki moleküler hareketlerde görülen artı beraberinde ısı transfer hızında da önemli miktarda artı a sebep olmaktadır. Bu artı e ilimi, hibrit nanosıvının ısı iletkenli inde artı a neden olan Brownian hareketi nedeniyle parçacıklar arasındaki çarpı ma hızının artmasından kaynaklanmaktadır. ekil 4.1'de ısı iletkenli in sıcaklı a ba lı olarak de i imi görülmektedir.

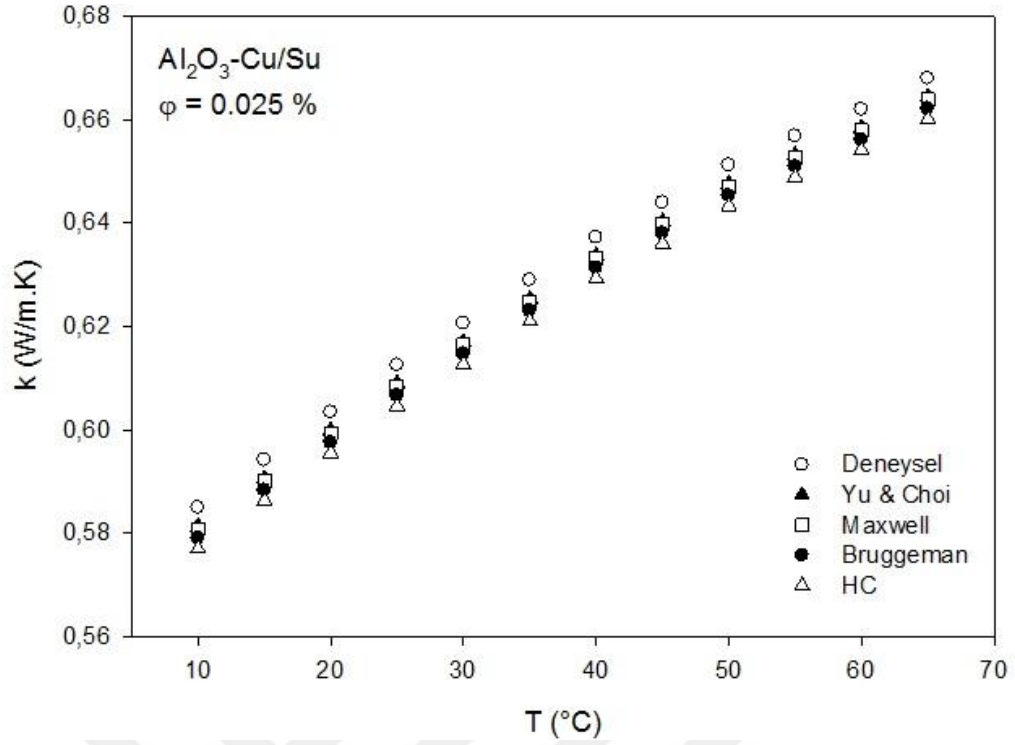


ekil 4.1. Isıl iletkenli in sıcaklı a göre de i imi

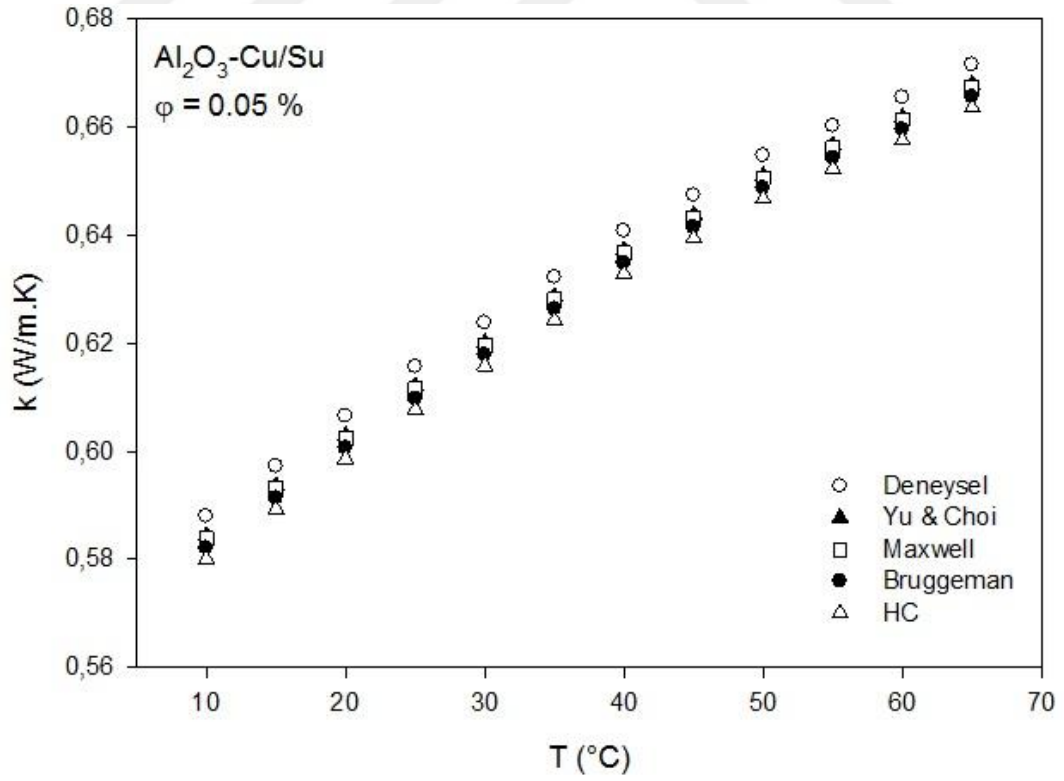
Her bir hacimsel yo unluktaki ısı l iletkenli in sıcaklı a ba lı olarak de i imi, literatürde sıklıkla kullanılmı olan dört model korelasyondan elde edilen de erlerle kıyaslanmı tır ve dört model korelasyona göre elde edilen ısı l iletkenlik de erlerinin birbirleri ile uyumlu oldu u gözlenmi tir. Elde edilen deneysel sonuçlar, model korelasyonlarla uyumluluk göstermekle birlikte her dört model korelasyonun da hibrit nanosıvıların ısı l iletkenlik de erlerini uygun ekilde hesaplayabildi i ve bu korelasyonların hibrit nanosıvıların ısı l iletkenliklerini hesaplamada kullanılabilece i sonucuna varılmı tır. ekil 4.2, ekil 4.3, ekil 4.4, ekil 4.5 ve ekil 4.6'da sırasıyla 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.2 hacimsel yo unluklardaki hibrit nanosıvıların deneysel ısı l iletkenlik de erlerinin sıcaklı a göre de i imlerinin, literatürdeki dört model korelasyondan elde edilen veriler ile kar ıla tırmalarını göstermektedir.



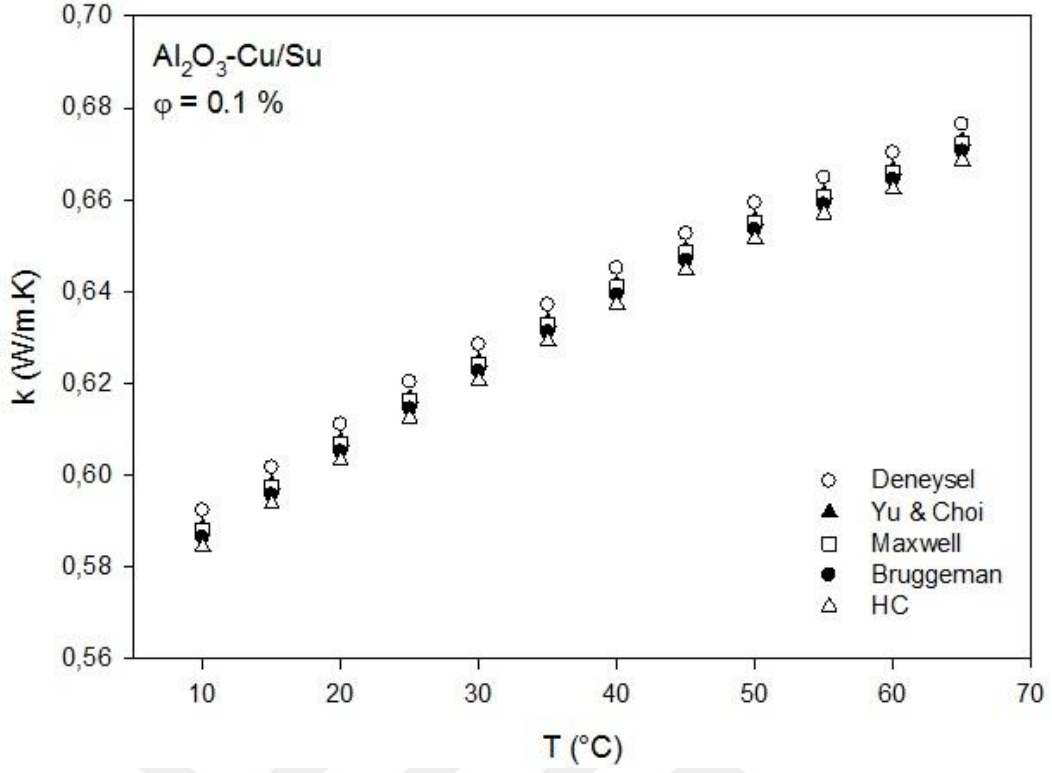
ekil 4.2. 0.0125 hacimsel yo unlukta ısı l iletkenli in sıcaklıkla de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması



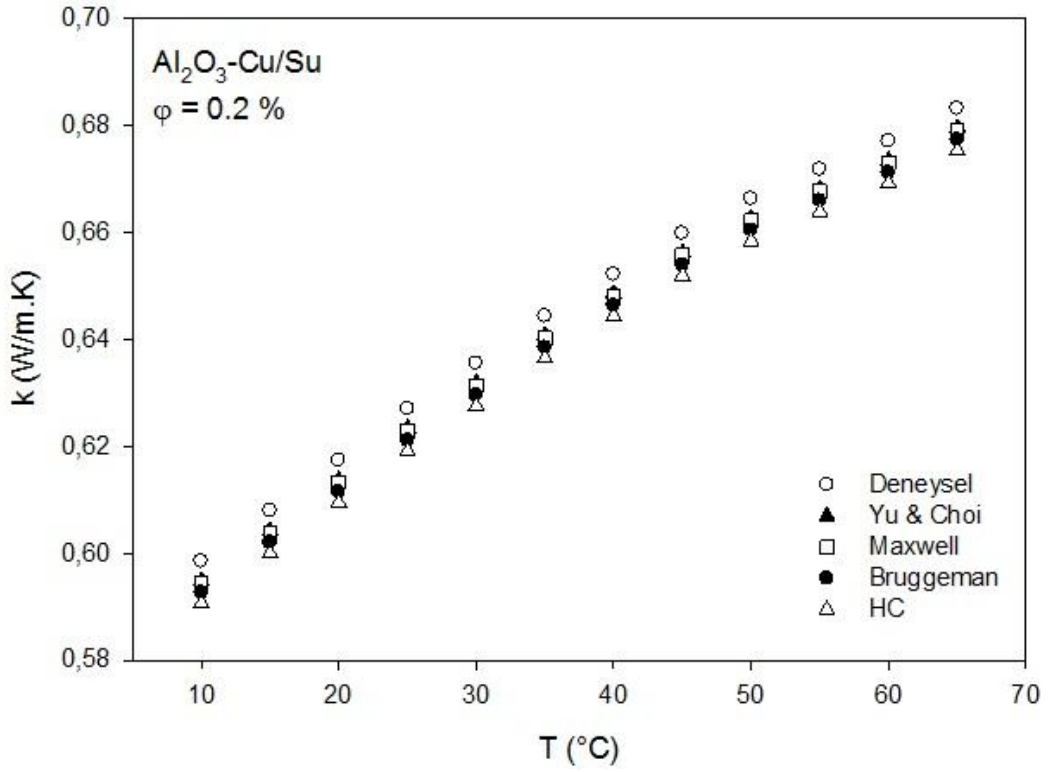
ekil 4.3. 0.025 hacimsel yo unlukta ısı iletkenli in sıcaklıkla de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması



ekil 4.4. 0.05 hacimsel yo unlukta ısı iletkenli in sıcaklıkla de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması

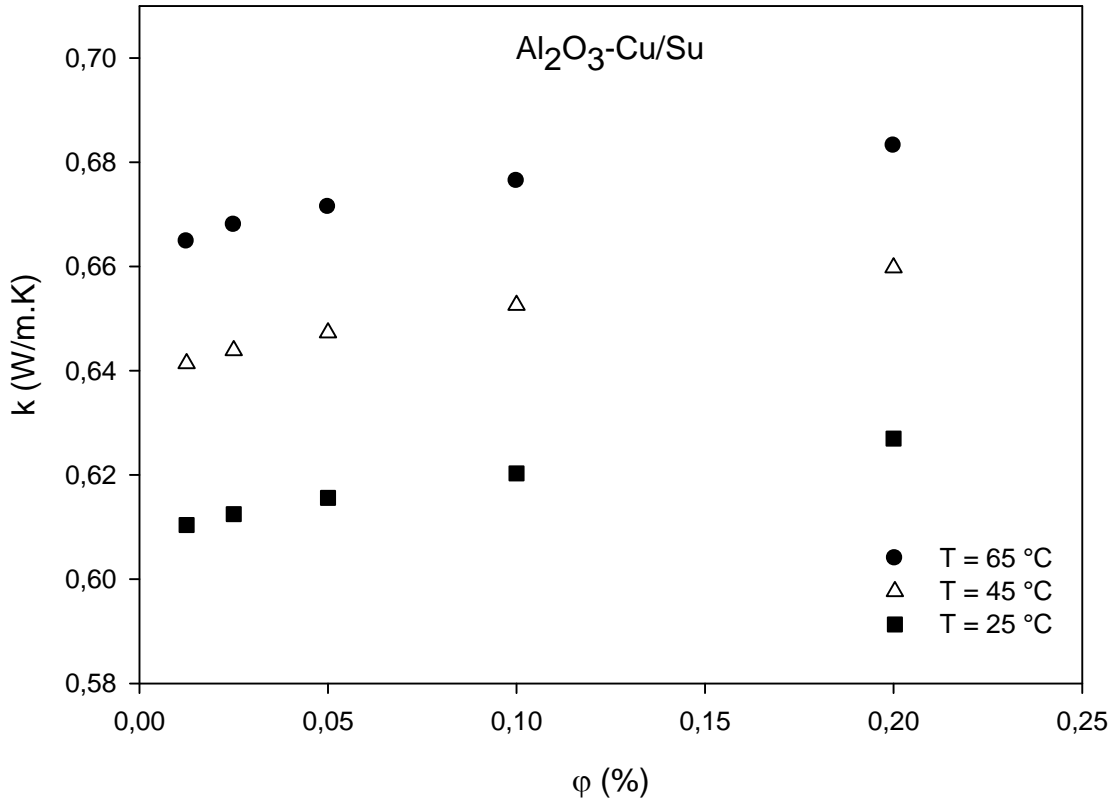


ekil 4.5. 0.1 hacimsel yo unlukta ısı l iletkenli in sıcaklıkla de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması



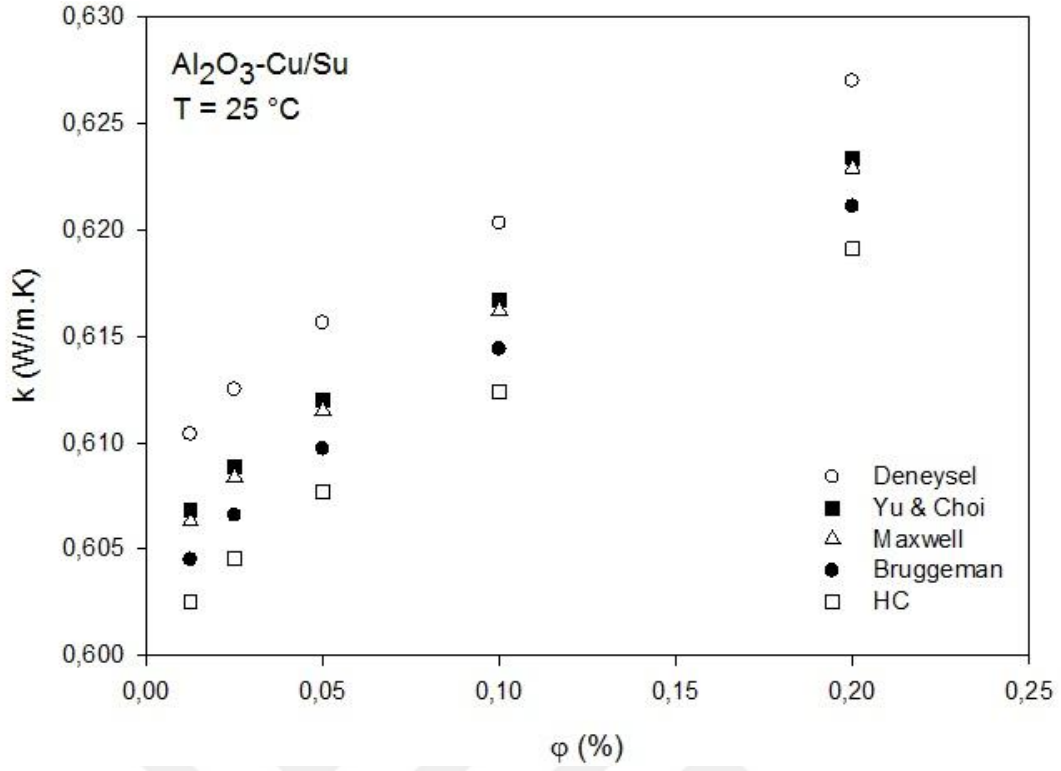
ekil 4.6. 0.2 hacimsel yo unlukta ısı l iletkenli in sıcaklıkla de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması

Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre, hacimsel yo unluktaki artı la birlikte ısı l iletkenlikte de artı oldu u gözlenmi tir. Hibrit nanosıvı içinde bulunan nanopartiküllerin ısı l iletkenli inin, saf suyunkinden çok daha yüksek olmasından dolayı, daha yüksek hacimsel yo unluklardaki ısı l iletkenlik artı ları nanopartiküllerin ısı l iletkenlik de erleri ile açıklanabilir. ekil 4.7’de 25, 45 ve 65 °C’lik sabit sıcaklıklardaki ısı l iletkenlik de erlerinin hacimsel yo unlu a göre de i mi görülmektedir.

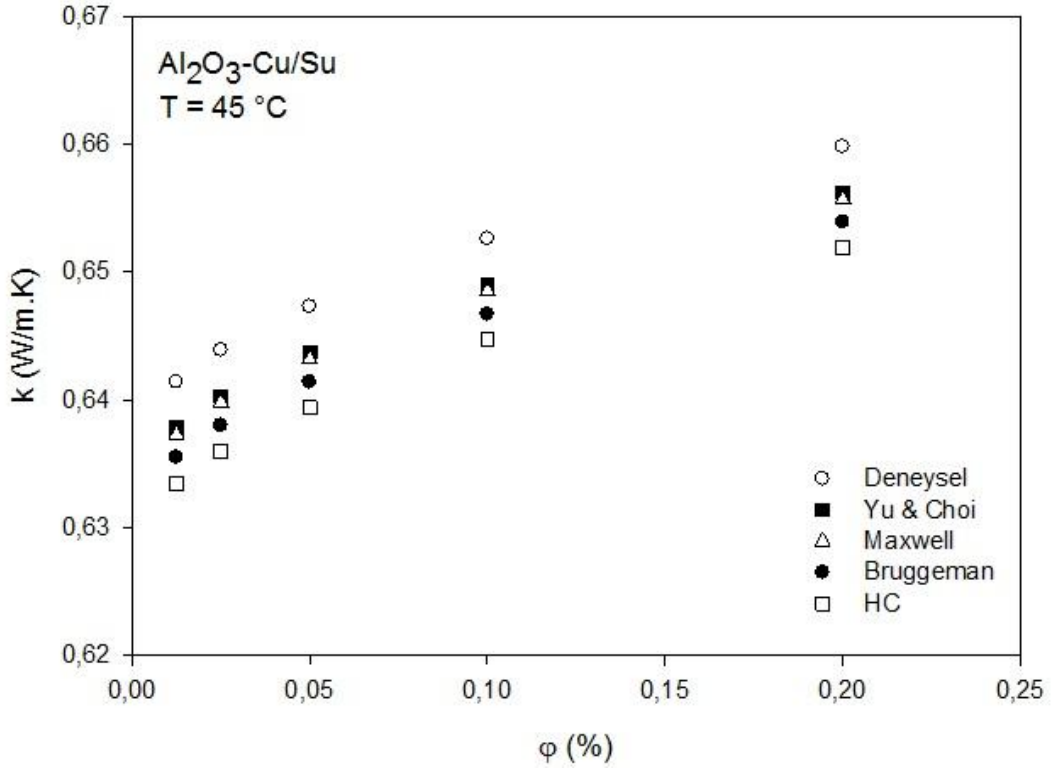


ekil 4.7. Sabit sıcaklıkta ısı l iletkenli in hacimsel yo unlu a göre de i mi

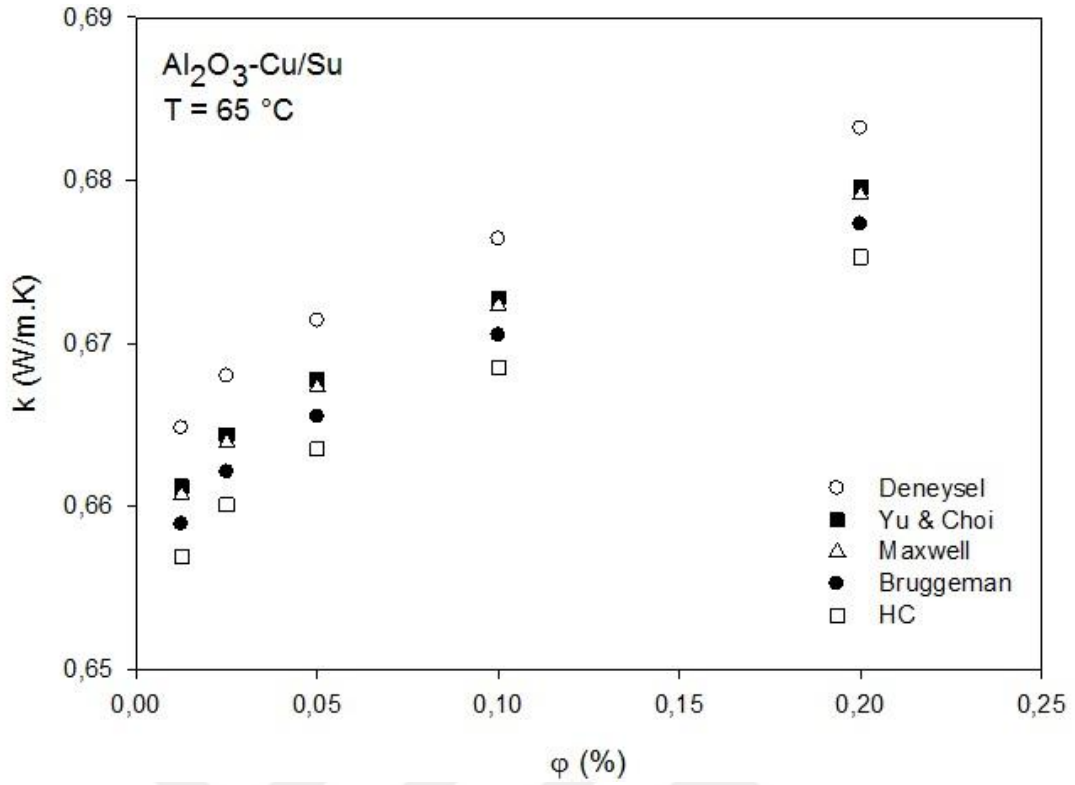
Sabit sıcaklıkta ise hacimsel yo unluktaki artı la birlikte ısı l iletkenlik de erlerinde de artı görülmü tür. ekil 4.8, ekil 4.9 ve ekil 4.10’da sırasıyla 25, 45 ve 65 °C’lik sabit sıcaklıklardaki deneysel ısı l iletkenlik de erlerinin, literatürde sıklıkla kullanılan dört model korelasyondan elde edilen de erlerle kar ıla tırmaları gösterilmi tir.



ekil 4.8. Isıl iletkenli in 25 °C'lik sabit sıcaklıkta hacimsel yo unlu a göre de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması

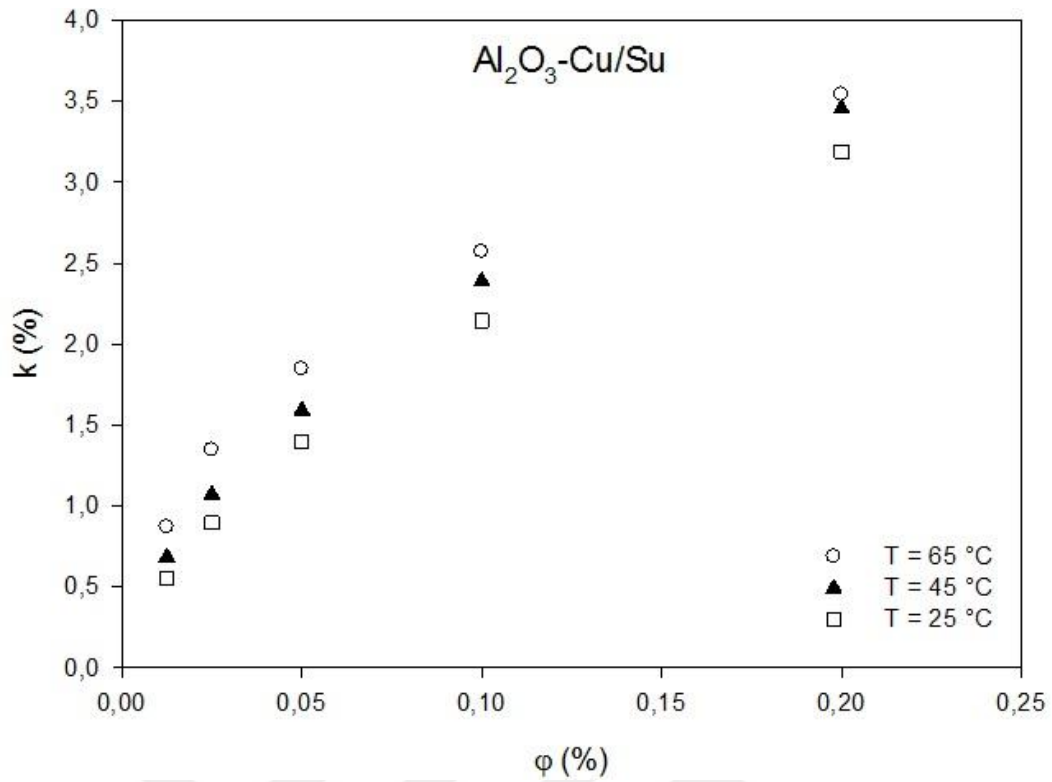


ekil 4.9. Isıl iletkenli in 45 °C'lik sabit sıcaklıkta hacimsel yo unlu a göre de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması

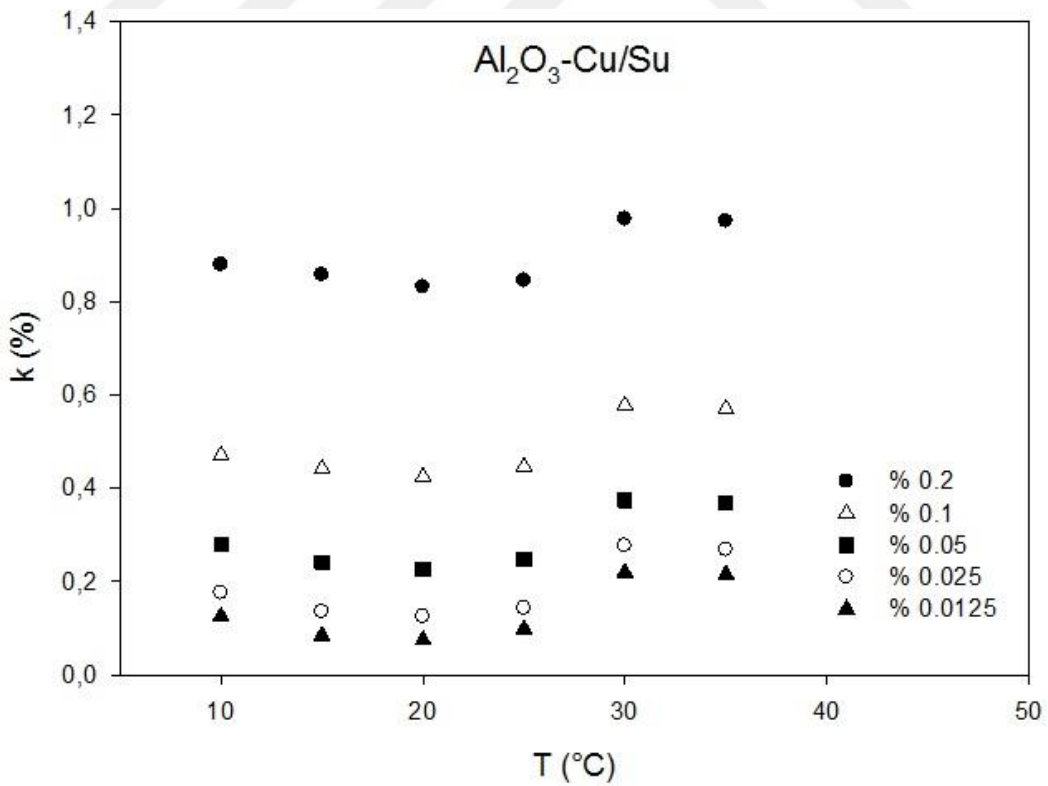


ekil 4.10. Isıl iletkenli in 65 °C'lik sabit sıcaklıkta hacimsel yo unlu a göre de i iminin literatürdeki modellerle kıyaslanması

Deneysel çalı malardan elde edilen veriler ı ı ında, hibrit nanosivinin ısıl iletkenlik de erlerinde, taban akı kanı olarak tercih edilmi olan saf suya oranla 0.5 ile 3.5'lik oranlarda de i en iyile meler oldu u tespit edilmi tir. Elde edilen sonuçlara göre, ısıl iletkenlik geli iminin hacimsel yo unluk ve sıcaklık artı ı ile birlikte arttı ı sonucuna ula ılmı tir. ekil 4.11'de 25, 45 ve 65°C'lik sabit sıcaklıklarda ısıl iletkenlik geli iminin hacimsel yo unlu a ba lı de i imi ve ekil 4.12'de ise ısıl iletkenlik geli iminin sıcaklı a ba lı de i imi gösterilmi tir.



ekil 4.11. Sabit sıcaklıkta ısı iletkenlik geli iminin hacimsel yo unlu a ba lı de i imi



ekil 4.12. Isıl iletkenlik geli iminin sıcaklı a ba lı de i imi

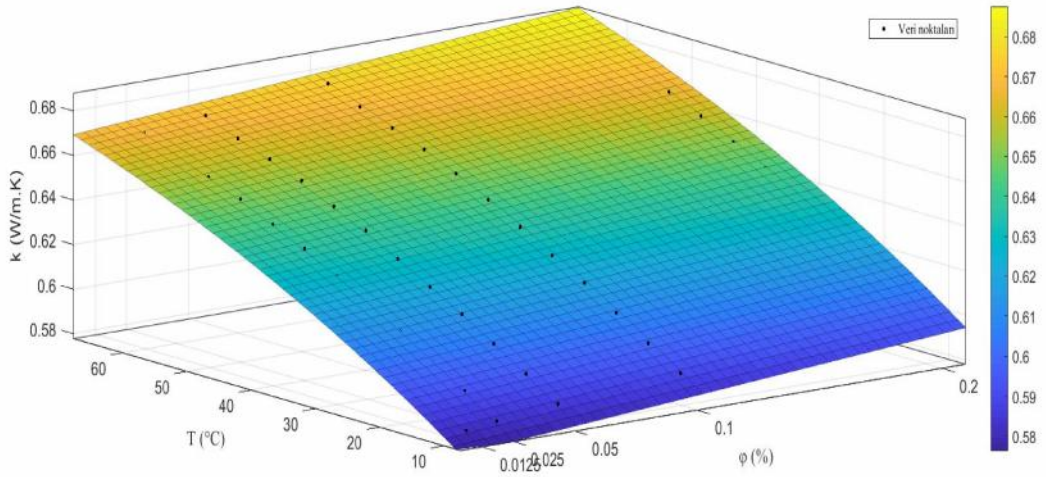
Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak, Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenli inin tahmin edilmesi amacıyla, küçük kareler yöntemi ile bir korelasyon geli tirilmi tir. Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenli ini, hacimsel konsantrasyon ve sıcaklı a göre hesaplayabilmek amacıyla geli tirilmi olan korelasyon a a ıda verilmi tir:

$$k = A \exp(-B \varphi) + C \exp(-D T) \quad (4.6)$$

Çizelge 4.1’de korelasyon sabitleri ve ekil 4.13’de yüzey grafi i verilmi olan bu korelasyonun, deneysel veriler ile uyumunun de erlendirilmesi için elde edilmi olan $R^2 = 0.9982$ de eri, türetilmi olan korelasyonun, Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenli ini hesaplamak için gayet ideal bir korelasyon oldu unu do rulamaktadır.

Çizelge 4.1. Korelasyon sabitleri

Nanosıvı	Katsayılar				Maksimum Hata	Ortalama Hata
	A	B	C	D		
Al ₂ O ₃ -Cu/Su	0.7553	-0.1155	-0.1958	0.0121	%0,32	%0.001



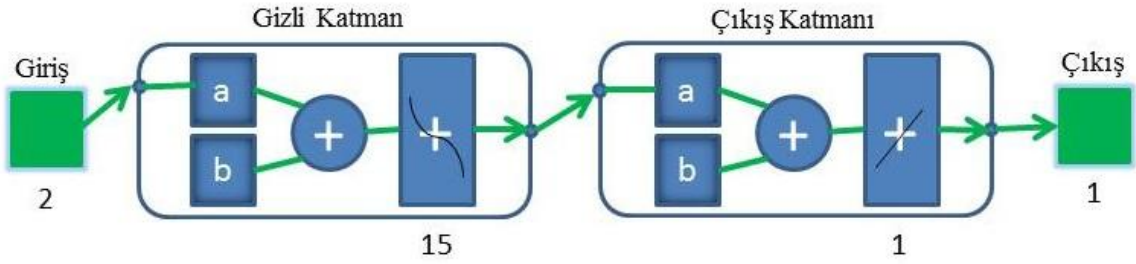
ekil 4.13. Isıl iletkenlik korelasyonunun yüzey grafi i

Deneysel veriler kullanılarak, Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenli inin tahmin edilmesi amacı ile; çok katmanlı, ileri beslemeli bir yapay sinir a ı geli tirilmi tir. Gizli katmanında 15 nöron bulunan bu yapay sinir a ının modellenmesi için kullanılan

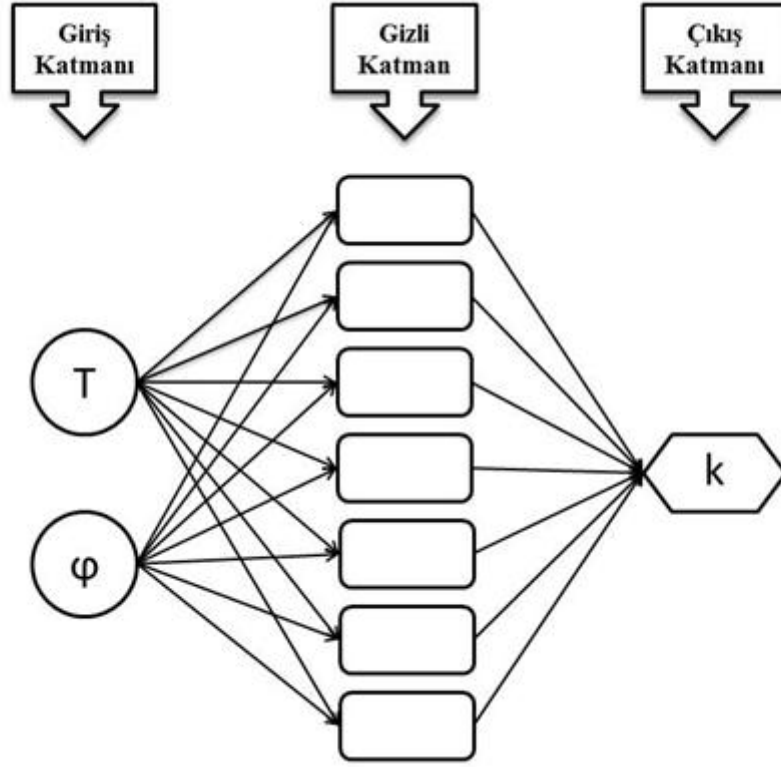
toplamda 60 adet veri üç parçaya ayrılmıştır. Bu verilerden 42 tanesi (%70) yapay sinir ağına eğitmek için, 12 tanesi (%20) doğrulamak için ve 6 tanesi (%10) ise test amacıyla kullanılmıştır. Çizelge 4.2’de yapay sinir ağına kullanılan veri miktarları ile performans değerleri, ekil 4.14’de geliştirilmiş olan yapay sinir ağına temel yapısı ve ekil 4.15’de ise yapay sinir ağına konfigürasyon topolojisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Yapay sinir ağına verileri

	Veri Sayısı	MSE	R
Eğitim	42	1.01274e-7	0.99993
Doğrulama	12	9.46181e-6	0.99441
Test	6	1.09239e-5	0.9877

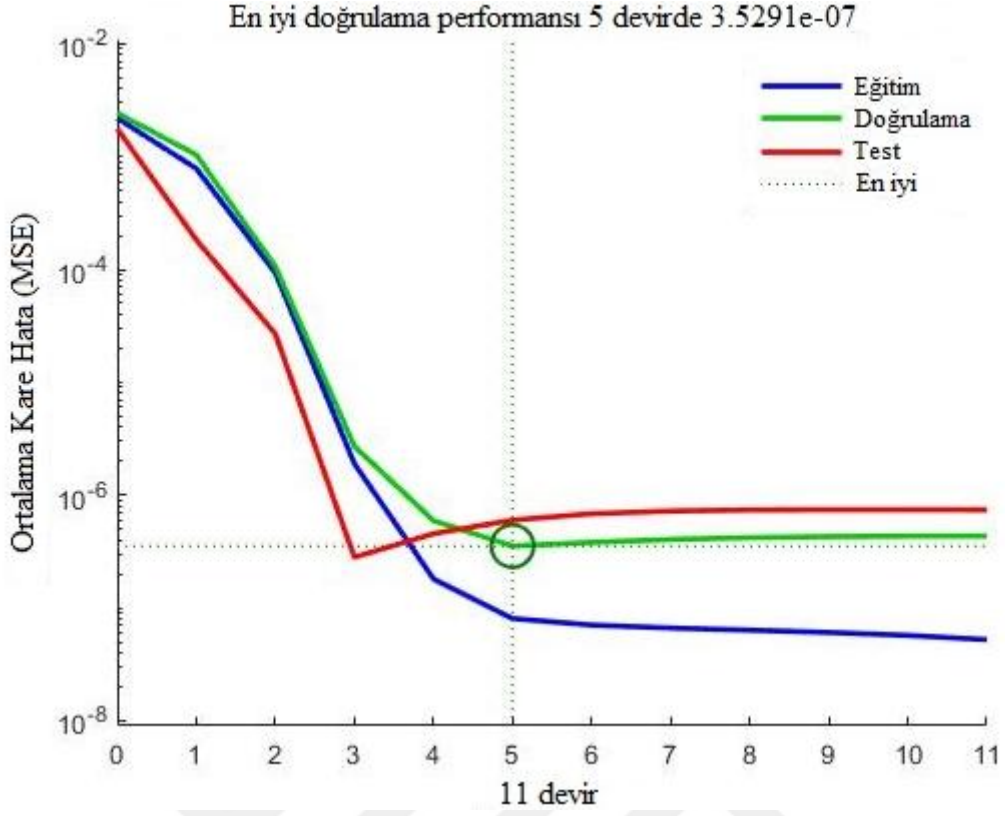


ekil 4.14. Yapay sinir ağına temel yapısı



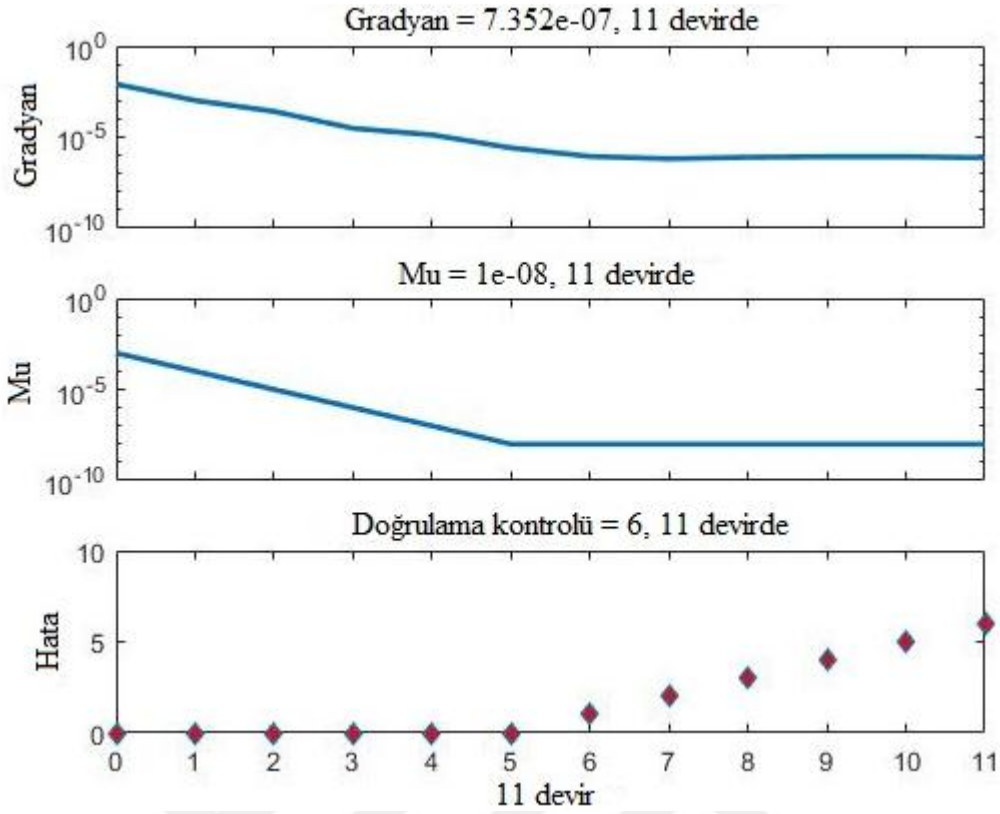
ekil 4.15. Yapay sinir a ının konfigürasyon topolojisi

ekil 4.16'da, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivısının deneysel ısı iletkenlik de erleri ile yapay sinir a ından elde edilen de erler arasındaki sapmanın grafi i verilmi tir. ekil 4.16'da görülebilece i gibi, yapay sinir a ının e itim a aması ba ladı ında yüksek olan MSE de eri, ilerleyen a amalarda artan devirlerle (epoch) birlikte azalmaktadır. Bu durum, geli tirilmi olan yapay sinir a ı modelinin e itim a amasının do ru tasarlandı ı anlamına gelmektedir. Grafi e göre, MSE de eri sürekli olarak azalır ve sonuçta 5 yinelemeden hemen sonra en dü ük MSE de eri olan $3.5291e-9$ 'lik MSE de eri ile en iyi sonuca ula m tır. Yapay sinir a ının, en asgari MSE de erine sahip olan ideal sonuca, 5 yineleme gibi dü ük bir yinelemeyle ulaşmasının nedeni, deney setinde kullanılan veri optimizasyonununun ideal bir ekilde yapıldı ının göstergesidir.



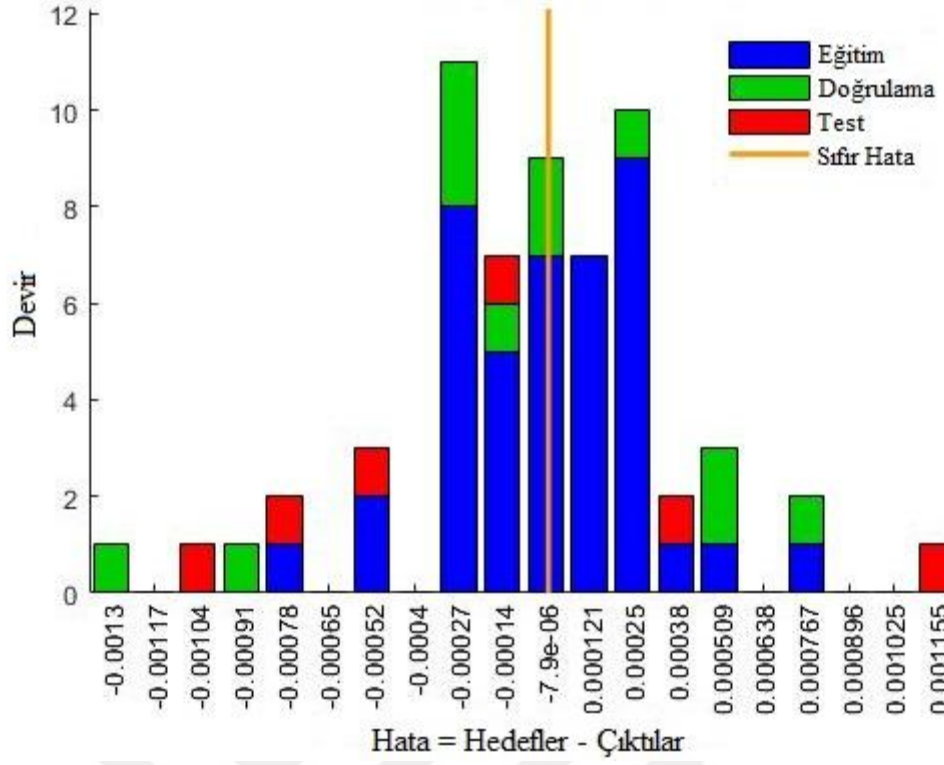
ekil 4.16. Yapay sinir a ının performans grafi i

ekil 4.17, yapay sinir a 1 modelinin e itim durumunu göstermektedir. ekil 4.17'de gösterildi i gibi, hatalar 5. Devirden sonra 6 defa tekrarlanmı ve 11. Devirde durdurulmu tur. Bu hata, 6. devirden ba layarak tekrarlanan verilerin a ırı uyumunun gayet güzel oldu unu göstermi tir. Bu nedenle, 5. devir, taban olarak seçilmekle birlikte a ırlıkları, nihai a ırlıklar olarak seçilmi tir. Ayrıca, i lemin durdurulmasından önce 6 kez tekrarlanan hatalar nedeniyle do rulama i lemi 6'ya e ittir.



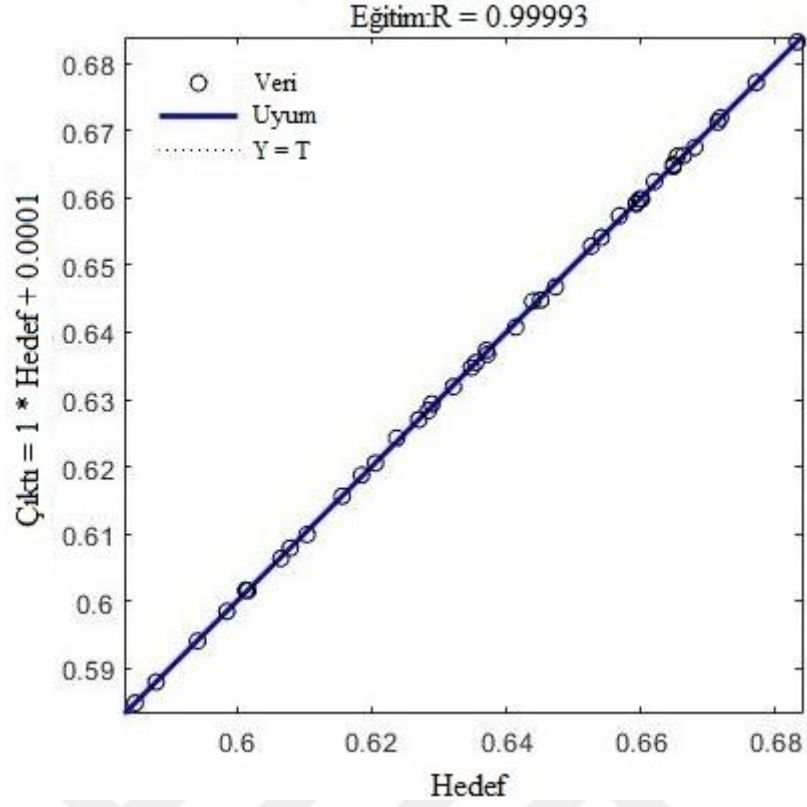
ekil 4.17. Yapay sinir a 1 modelinin e itim durumu

ekil 4.18'de yapay sinir a ının e itim, do rulama ve test a amalarının hata histogramını göstermektedir. Hata da ılımının sıfır çizgisi etrafında da ılması, tasarlanmı olan yapay sinir a ının, Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosıvısının ısıl iletkenli ini ideal do ruluk oranı ile tahmin edebilece inin göstergesidir.



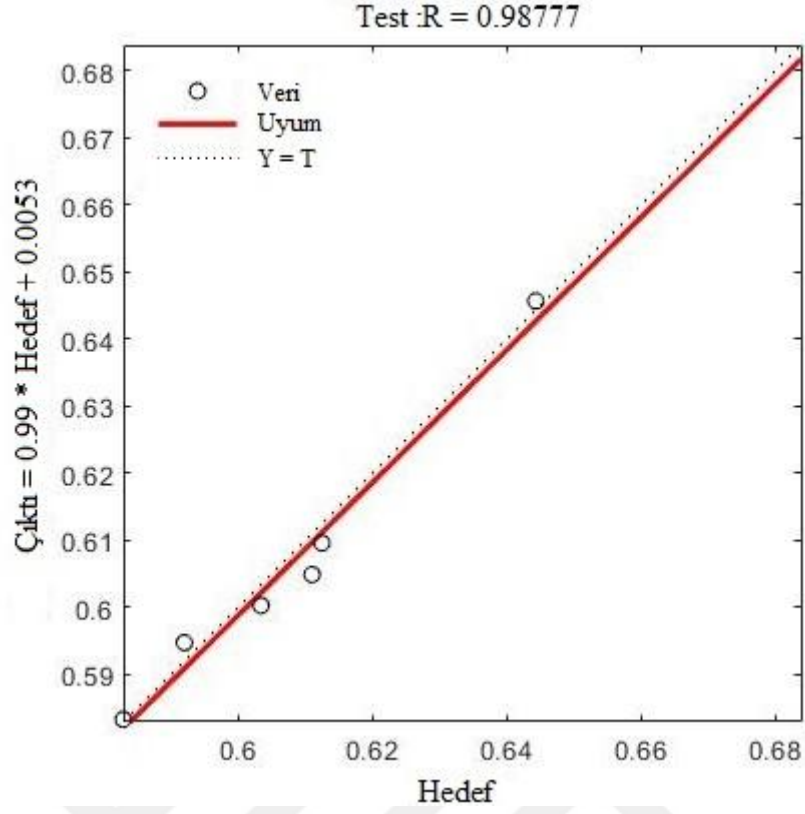
ekil 4.18. Hata histogram grafi i

ekil 4.19’da yapay sinir a mın e itim için kullanılan veriler ile deneysel sonuçların karşılaştırılması verilmiştir. Uyumluluk çizgisi üzerinde konumlanmış olan eğitim verilerinin, deneysel veriler ile uyumlu olması ile birlikte R değerin 0.99993 olarak elde edilmesi, yapay sinir a mın e itim sürecinin yüksek doğruluk ve hassasiyetle tamamlandığını göstermektedir.



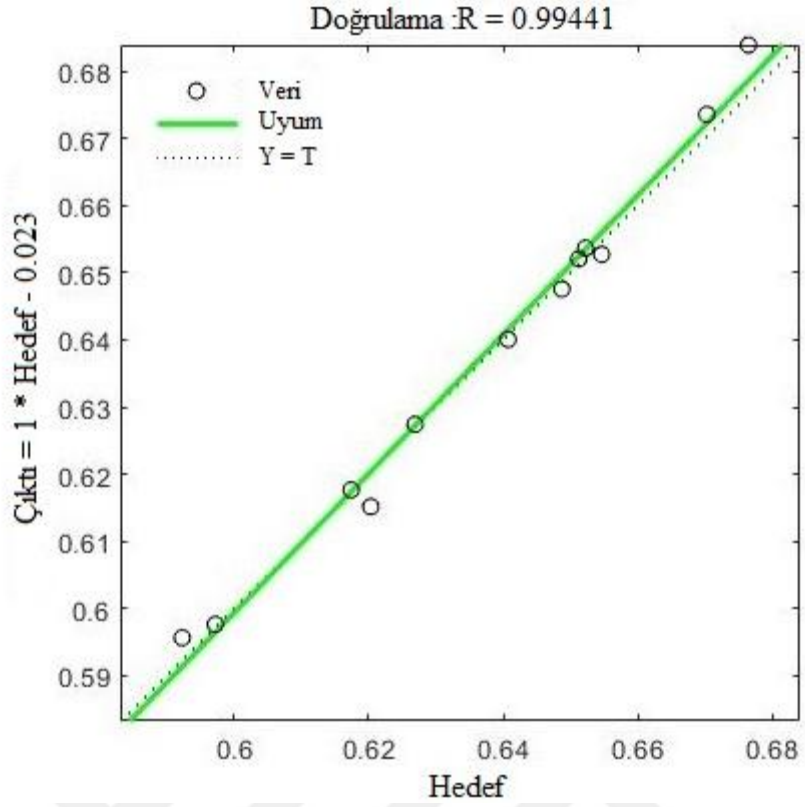
ekil 4.19. Eğitim veri performansı

ekil 4.20'de yapay sinir aının test için kullanılan veriler ile deneysel sonuçların karşılaştırılması verilmiştir. Yapay sinir aının uygunluğu ve performansının değerlendirilmesinde, test verilerinin performansı önemlidir. Test verilerinin uyumluluk çizgisine yakın konumlanması ve test verilerine ait olan R değerinin 0.98777 olması, geliştirilmiş olan yapay sinir aının performansının ideal olduğunu ekilde yorumlanabilir.



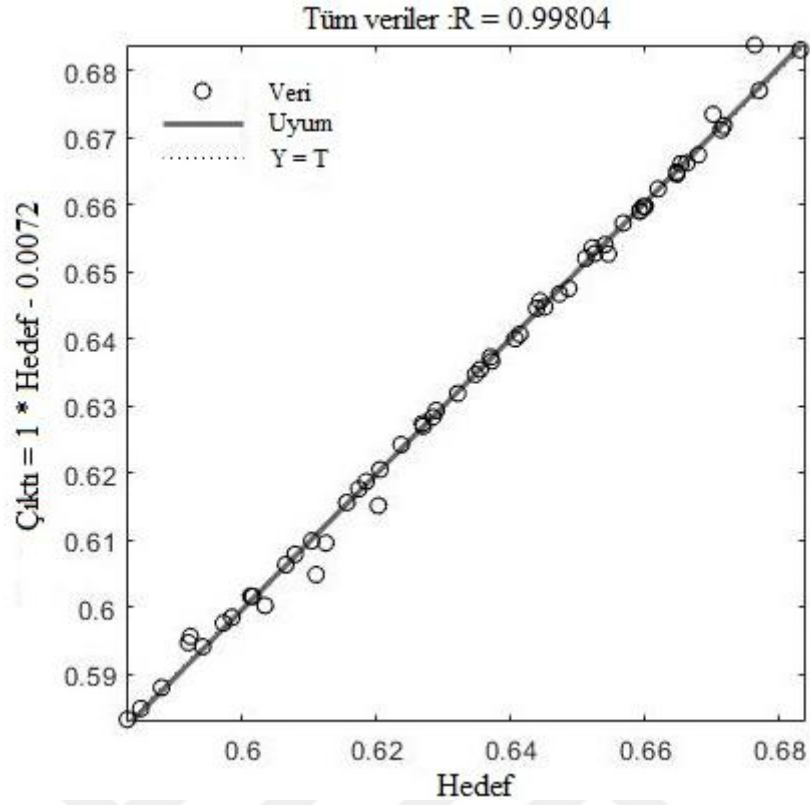
ekil 4.20. Test veri performansı

ekil 4.21, yapay sinir a ının do rulama sonuçlarını göstermektedir. Do rulama verilerinin uyumluluk çizgisine yakınlı ı yapay sinir a ının uygun ekilde modellendi inin bir göstergesidir. Do rulama sonuçları için R de erinin 0.99441 oldu u görülebilir.

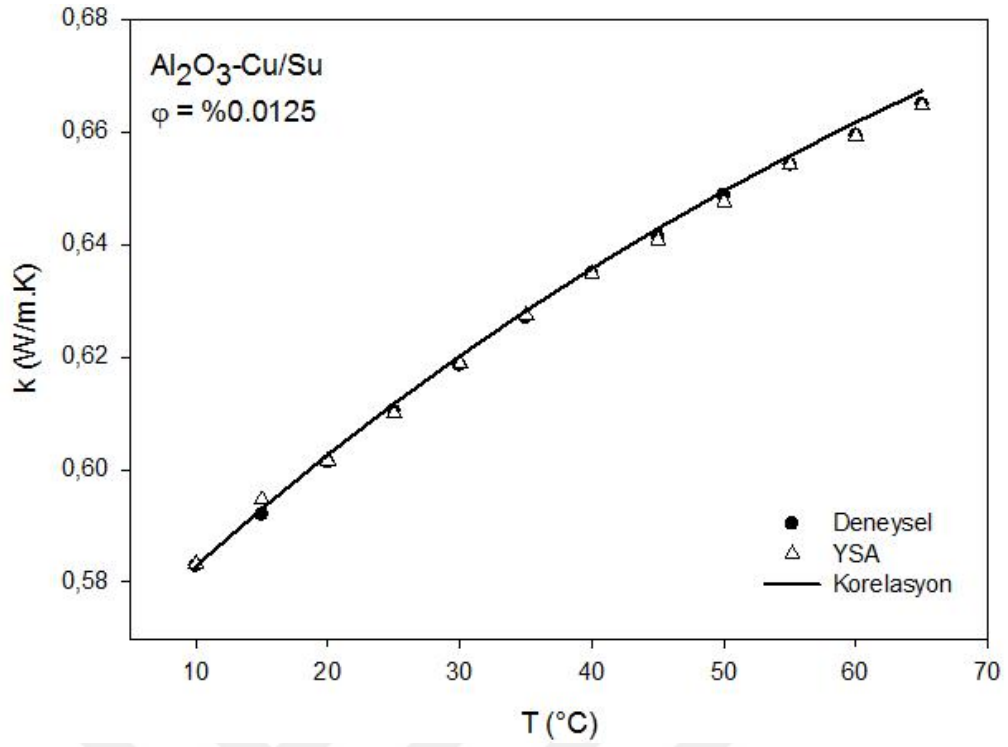


ekil 4.21. Doğrulama veri performansı

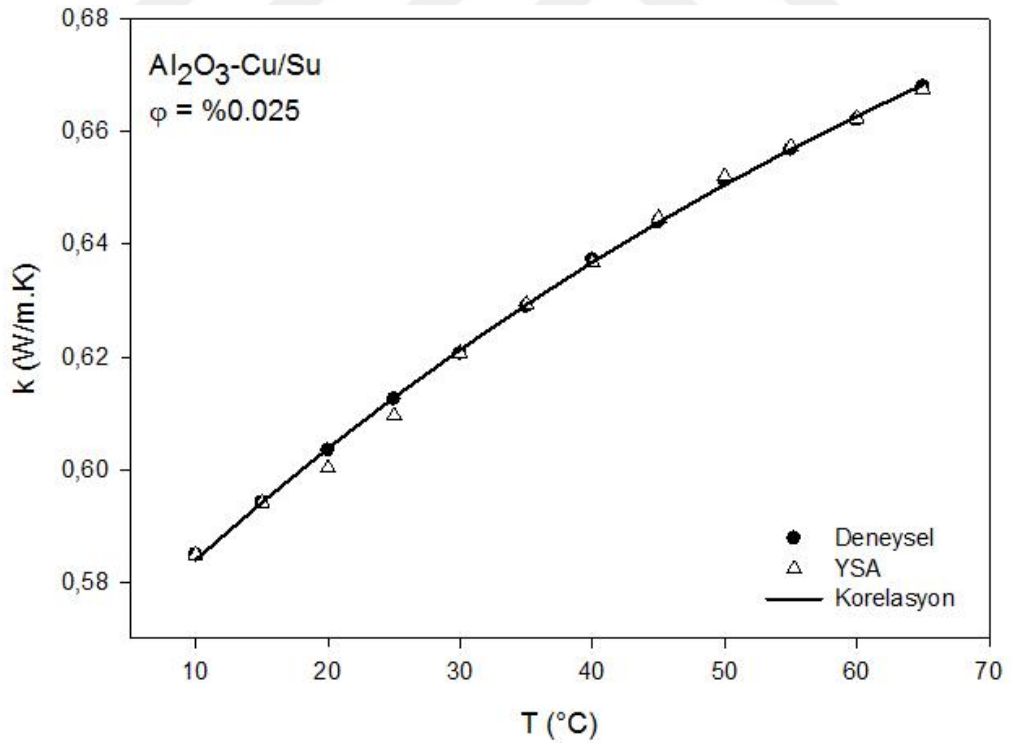
60 adet deneysel veri ile tasarlanmış olan yapay sinir ağına ait tüm veriler ekil 4.22'de gösterilmektedir. Grafikten görülebileceği gibi, yapay sinir ağından elde edilen tüm veri noktaları uyumluluk çizgisine çok yakındır. Veri noktalarının uyumluluk çizgisine olan bu yakınlığı, geliştirilmiş olan yapay sinir ağı modelinin, sıcaklık ve hacimsel yoğunlukla bağılı olarak Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosüspansiyonunun ısı iletkenliğini doğru bir şekilde tahmin edebileceğini kanıtlamaktadır. Tüm yapay sinir ağı sonuçları için R değeri 0.99804'tür.



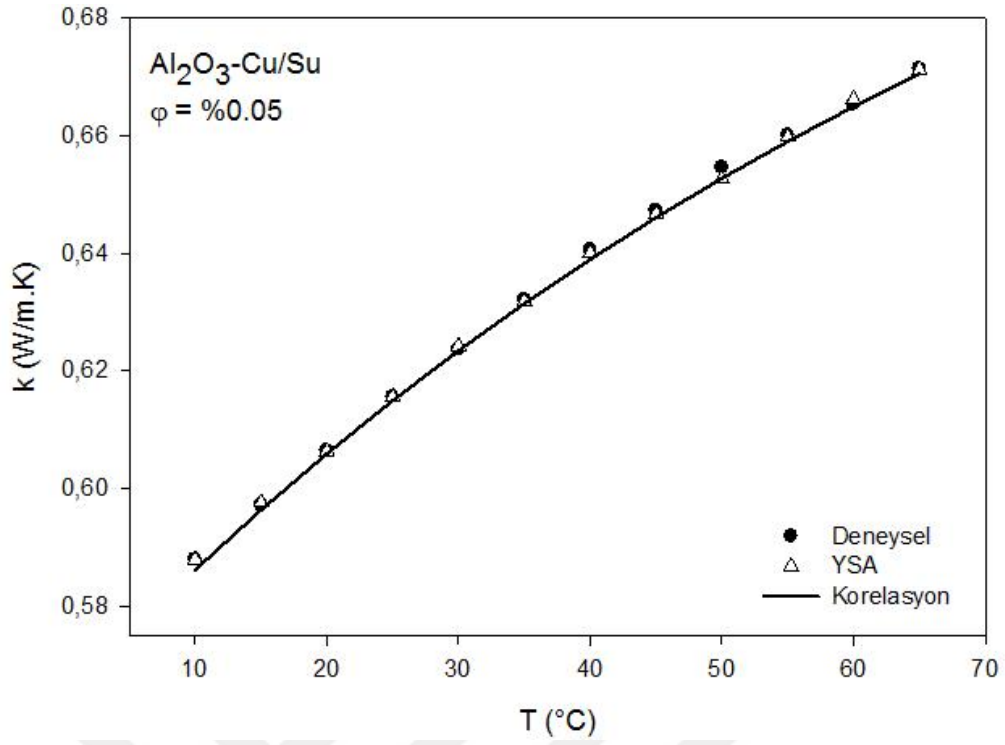
Deneysel sonuçlar kullanılarak, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenli inin tahmin edilmesi için geli tirilmi yapay sinir a 1 ve türetilmi olan matematiksel korelasyondan elde edilen sonuçlar, deneysel verilerle kar ıla tırılarak, yapay sinir a ının ve matematiksel korelasyonun do rulu unun kontrol edilmesi amaçlanmı tır. Bu maksatla, öncelikle her bir hacimsel yo unlukta (sabit), ısı iletkenli in sıcaklı a göre de i im de erleri deneysel, yapay sinir a 1 çıktıları ve matematiksel korelasyon sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilmi tir. Elde edilen sonuçlar, yapay sinir a ının Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenli ini ortalama -%0.001'lik sapma ile tahmin edebildi ini gösterirken, matematiksel korelasyonun ise ortalama %0.001'lik sapma ile tahmin edebildi ini göstermi tir. ekil 4.23, ekil 4.24, ekil 4.25, ekil 4.26 ve ekil 4.27'de sırası ile 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.1'lik hacimsel yo unluklardaki Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin deneysel yolla elde edilmi olan ısı iletkenlik de erlerinin, yapay sinir a 1 ve matematiksel korelasyondan elde edilmi de erlerle kar ıla tırılması verilmi tir.



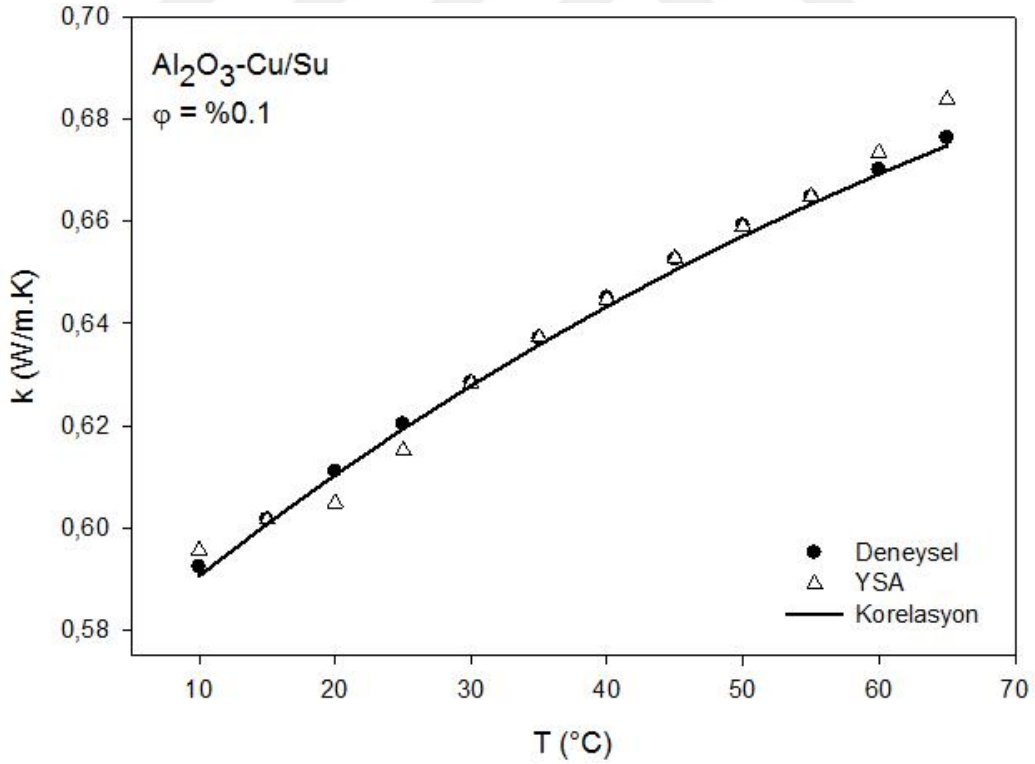
ekil 4.23. 0.0125 hacimsel yo unlukta ısı iletkenlik de erleri



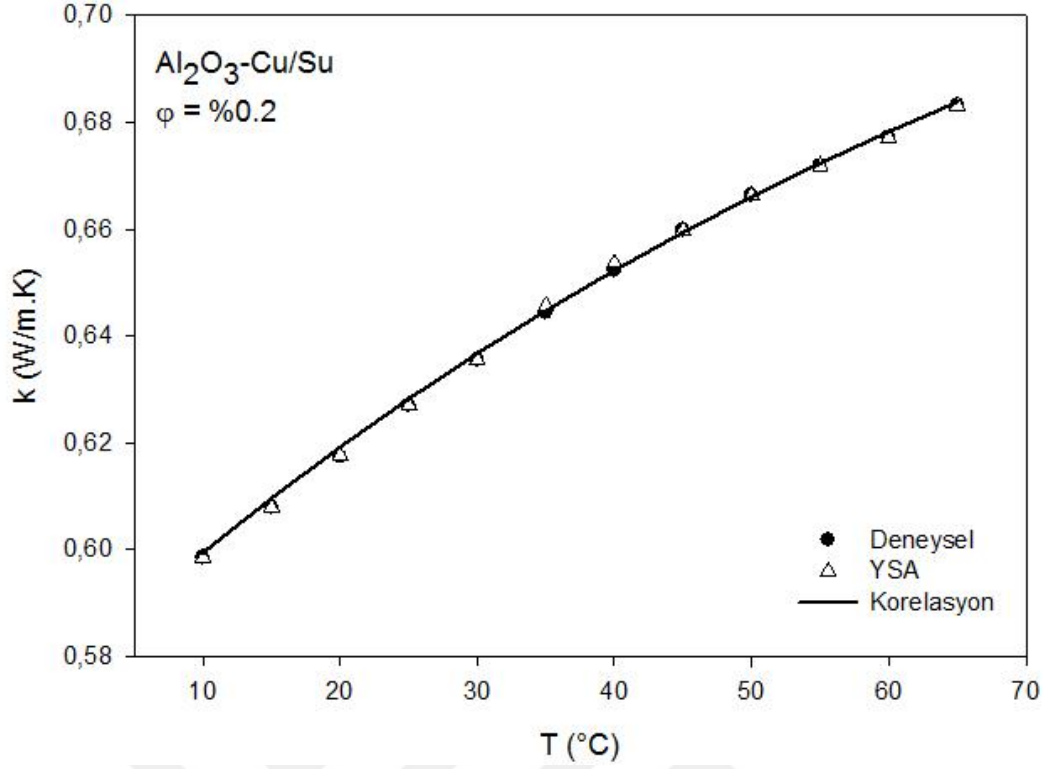
ekil 4.24. 0.025 hacimsel yo unlukta ısı iletkenlik de erleri



ekil 4.25. 0.05 hacimsel yo unlukta ısı iletkenlik de erleri

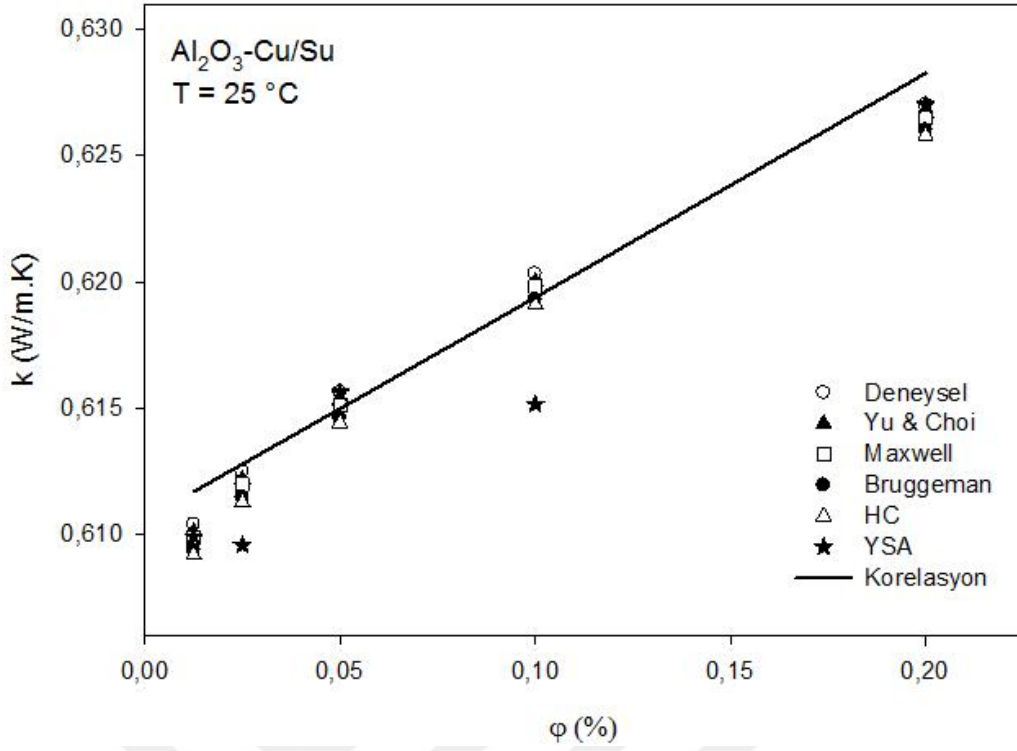


ekil 4.26. 0.1 hacimsel yo unlukta ısı iletkenlik de erleri

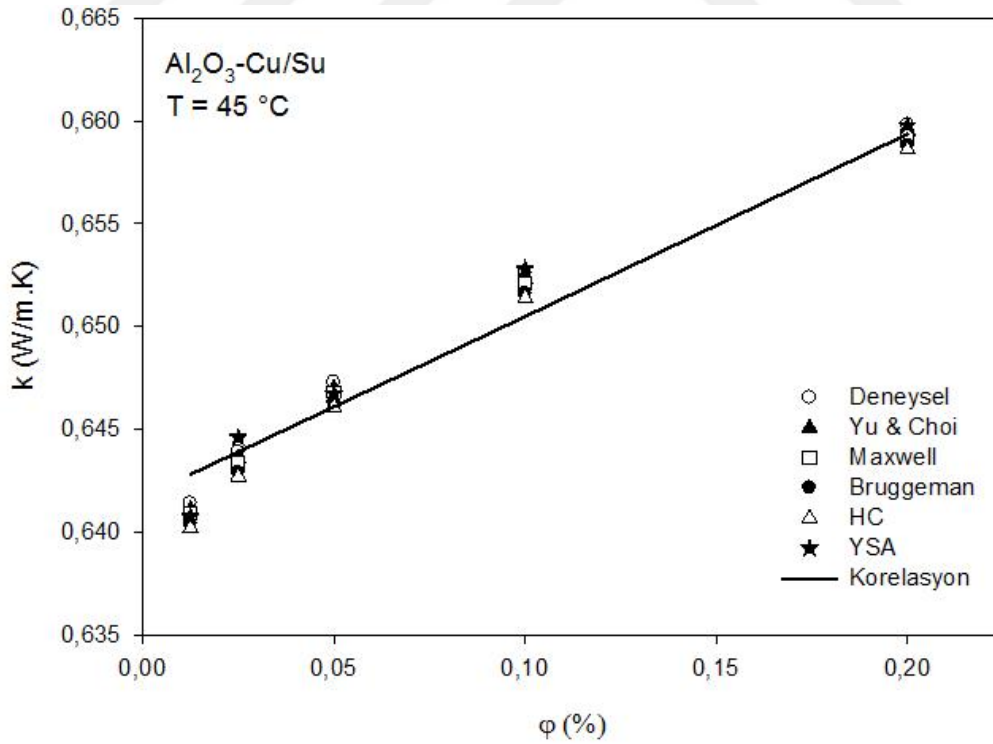


ekil 4.27. 0.2 hacimsel yo unlukta ısı iletkenlik de erleri

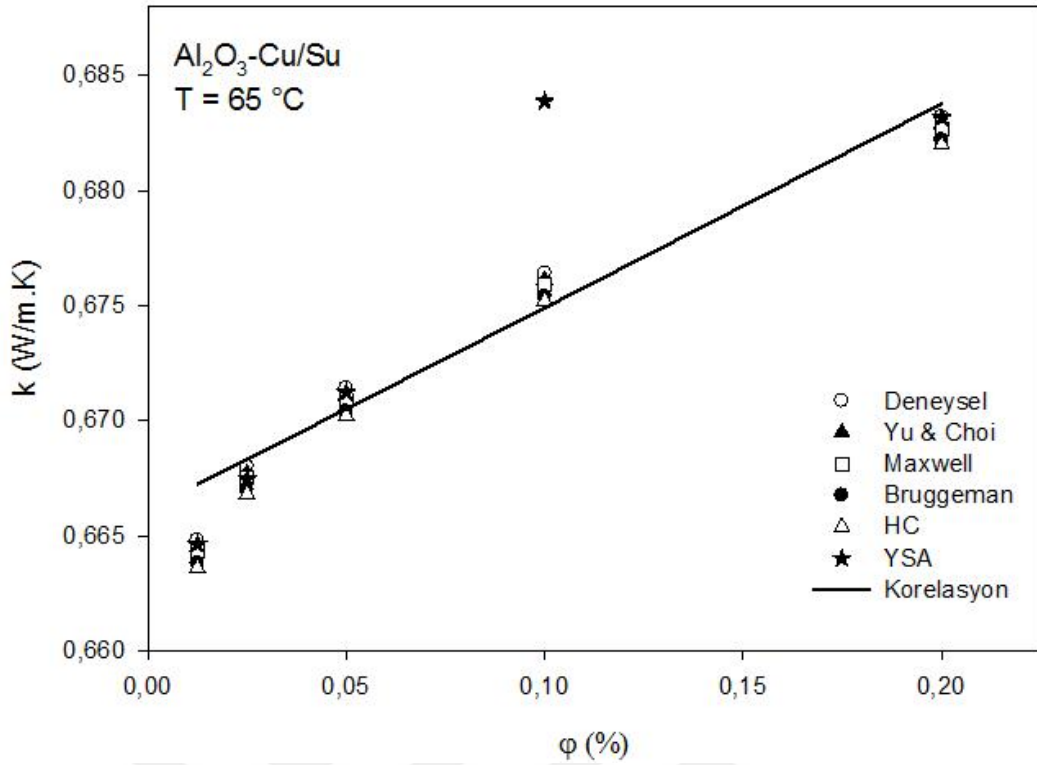
Yapay sinir a 1 ve geli tirilmi olan matematiksel korelasyondan elde edilen, Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosivısına ait ısı iletkenlik de erleri, literatürde ara tırmacılar tarafından sıklıkla kullanılmı olan model korelasyonlarla kıyaslanmı tır. Elde edilen sonuçlara göre, yapay sinir a 1 ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin, model korelasyonlarla da uyumlu oldu unu göstermi tir. ekil 4.28, ekil 4.29 ve ekil 4.30'da sırasıyla 25, 45 ve 65 °C'lik sabit sıcaklıklarda, Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosivısına ait deneysel ısı iletkenlik de erlerinin, model korelasyonlar ve yapay sinir a 1 verileri ile kıyaslanması gösterilmi tir.



ekil 4.28. 25 °C'de yapay sinir a 1 ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması



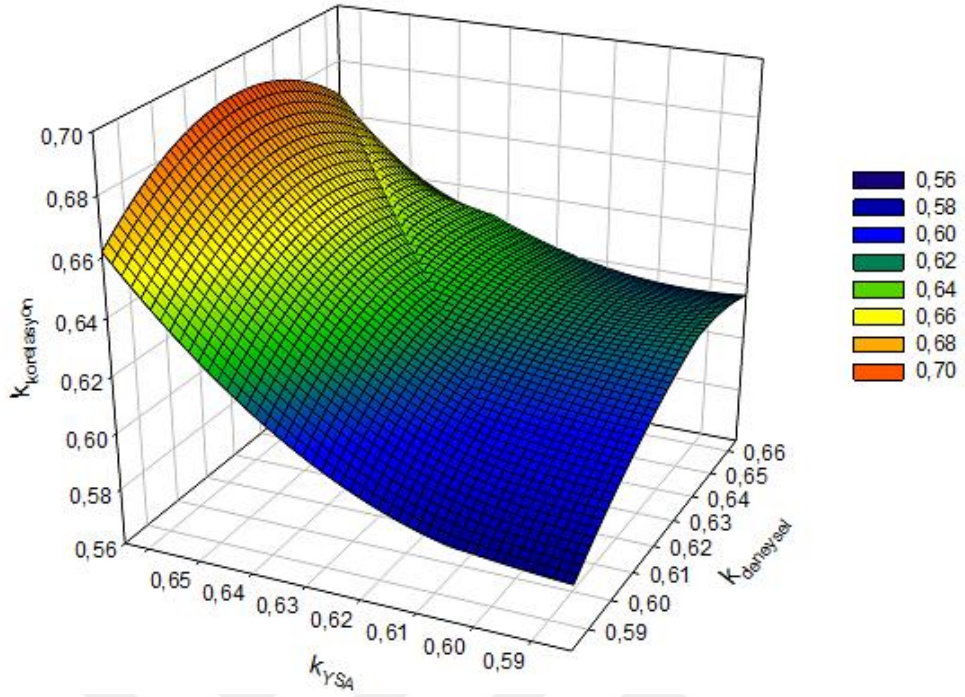
ekil 4.29. 45 °C'de yapay sinir a 1 ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması



ekil 4.30. 65 °C’de yapay sinir a 1 ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması

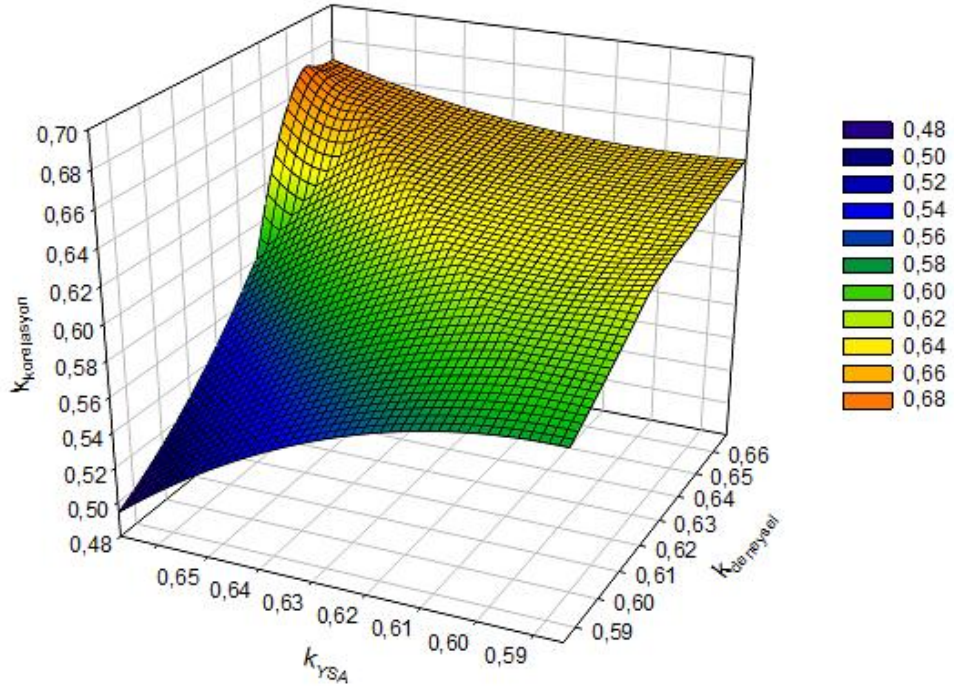
Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosıvısının deneysel yolla elde edilmi olan ısı iletkenlik de erleri, yapay sinir a ından elde edilen veriler ve geli tirilmi olan matematiksel korelasyonlarla kıyaslanmı tır. ekil 4.31, ekil 4.32, ekil 4.33, ekil 4.34 ve ekil 4.35’de sırasıyla 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.2’lik sabit hacimsel yo unluklarda, deneysel, yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erler üç boyutlu grafiklerle gösterilmi tir. Grafiklerde her üç de er arasında görülen uyum, yapay sinir a ının ve geli tirilmi olan matematiksel korelasyonun, Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosıvısının ısı iletkenlik de erlerini ideal do rulukta tahmin edecek ekilde geli tirilmi oldu unun ispatıdır.

$$\varphi = \%0.0125$$

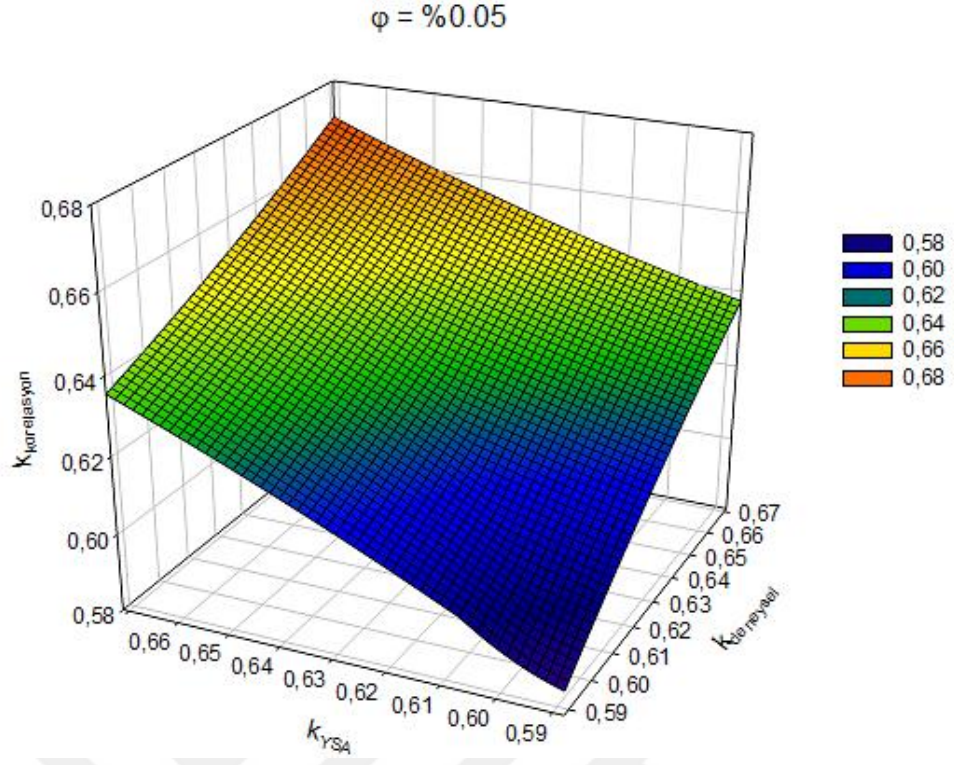


ekil 4.31. 0.0125'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin kar ıla tırılması

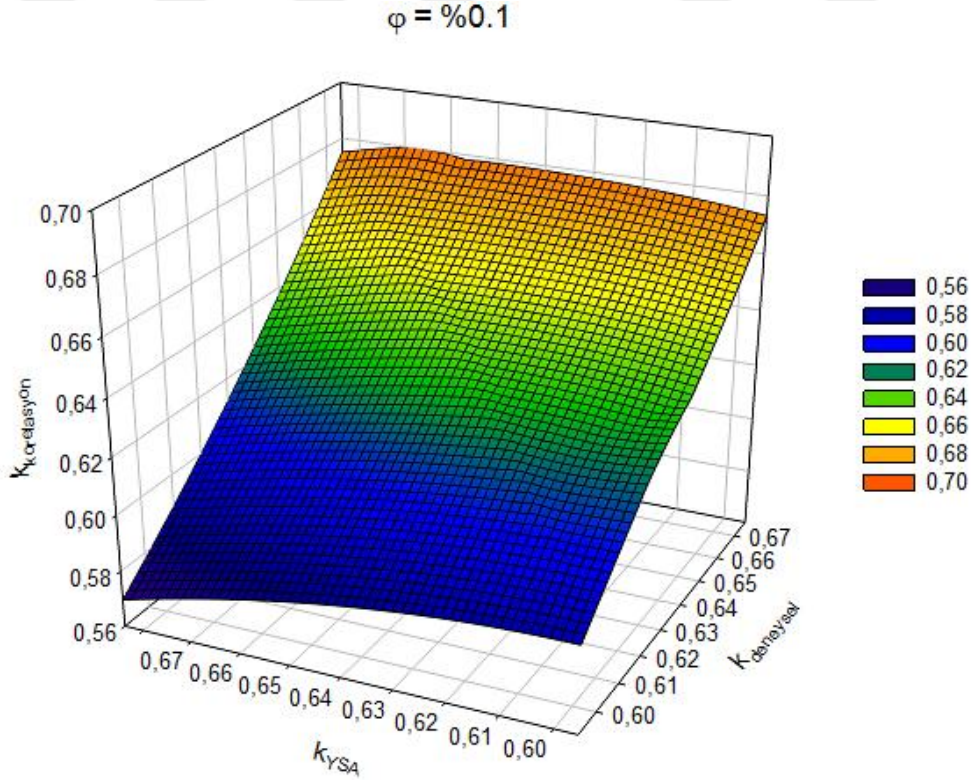
$$\varphi = \%0.025$$



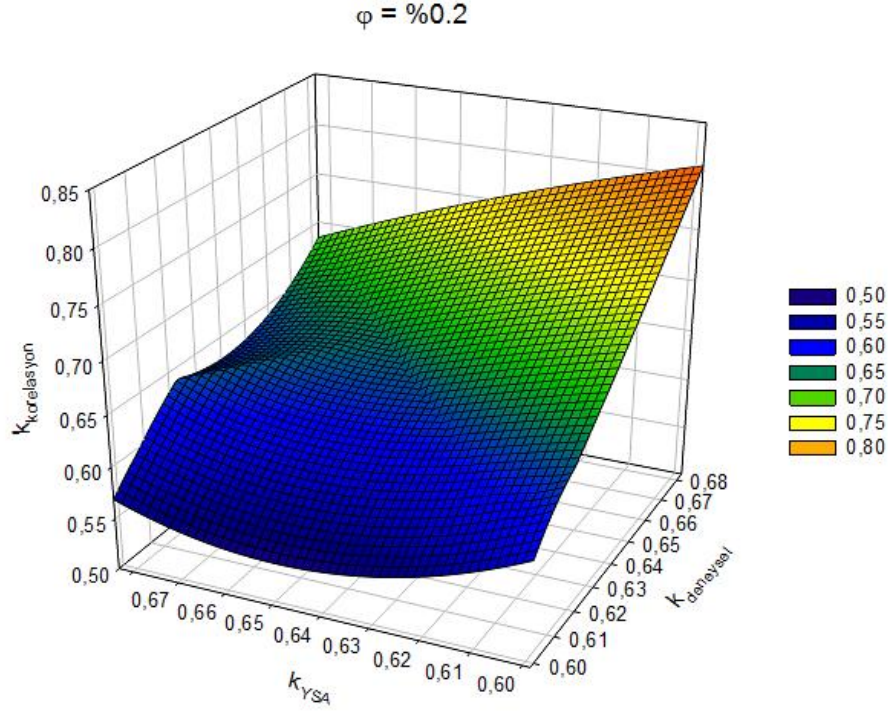
ekil 4.32. 0.025'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin kar ıla tırılması



ekil 4.33. 0.05'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin kar ıla tırılması

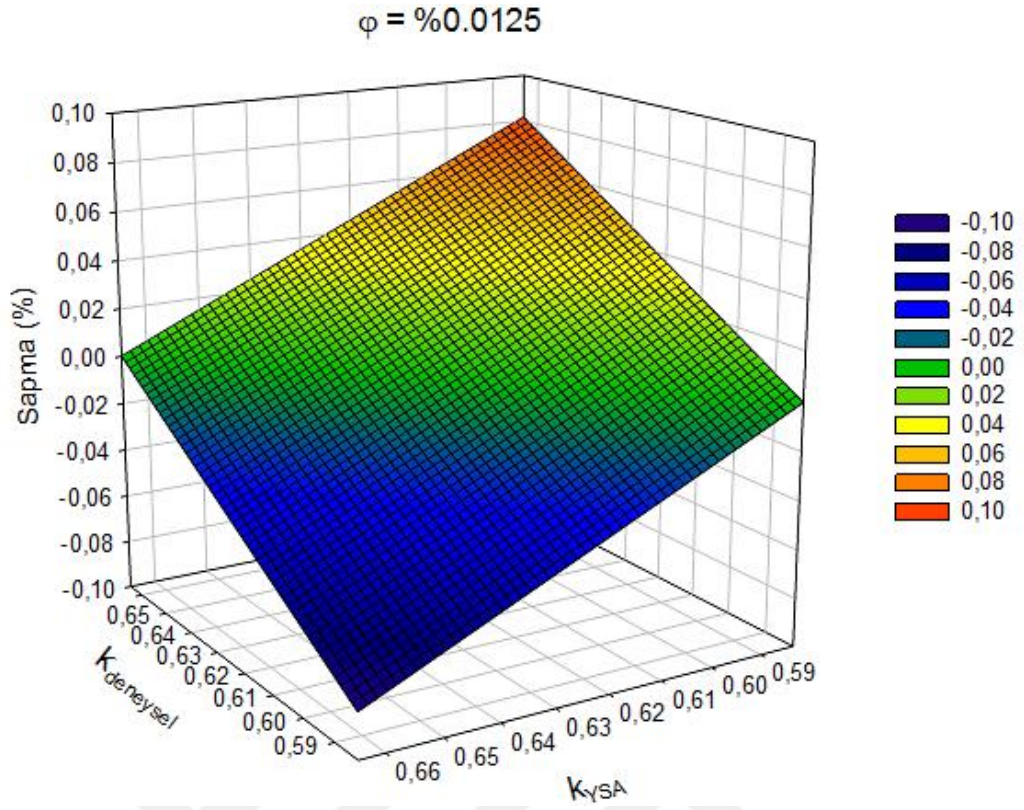


ekil 4.34. 0.1'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin kar ıla tırılması

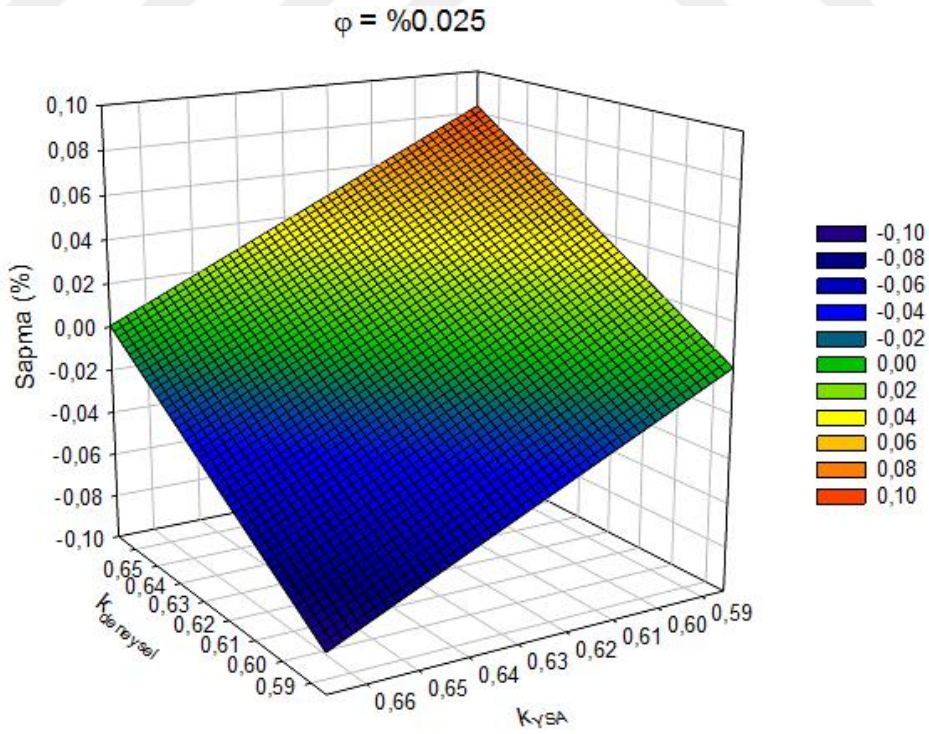


ekil 4.35. 0.025’lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin kar ıla tırılması

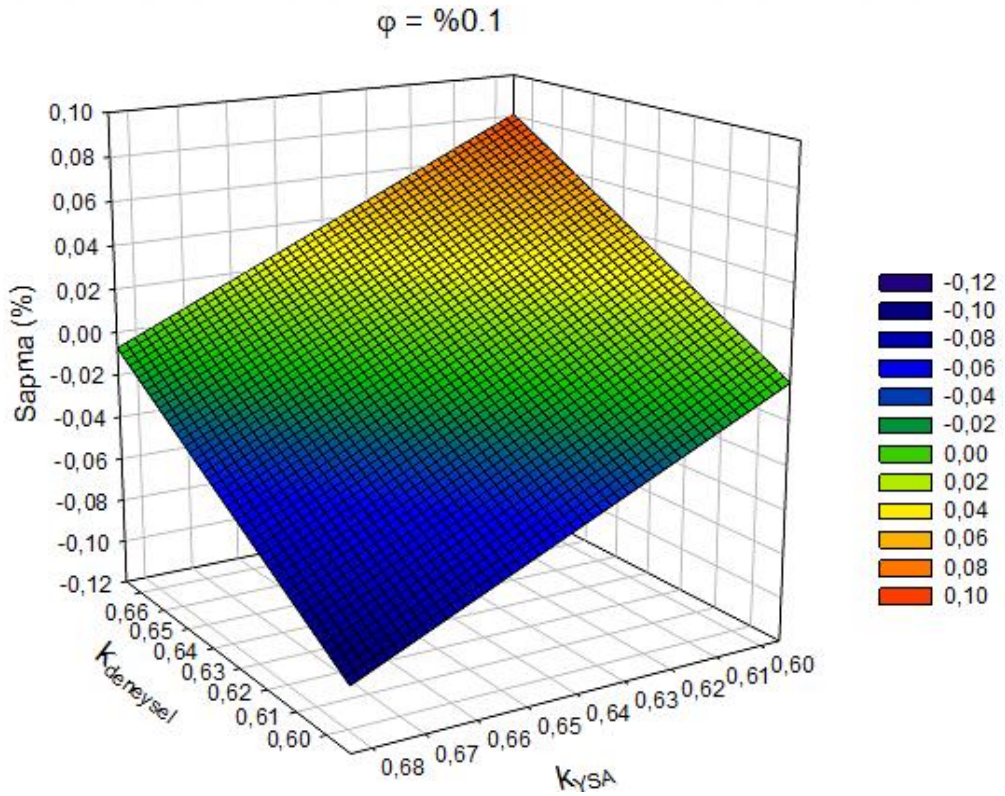
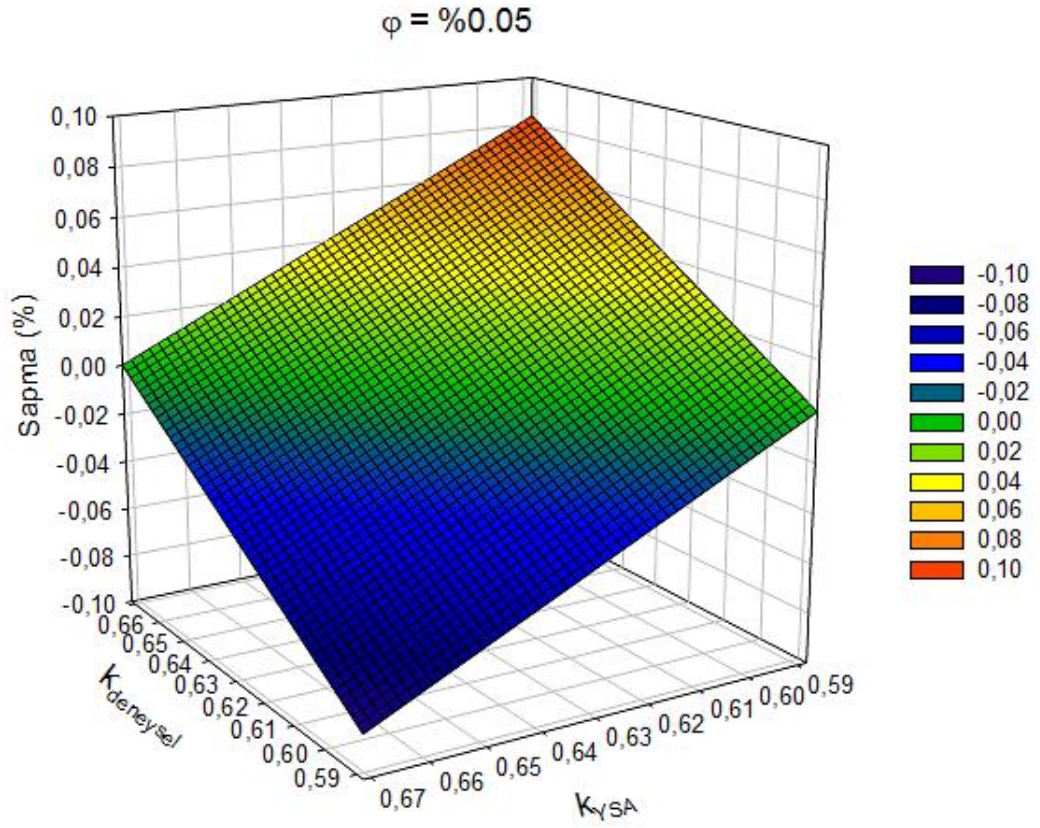
Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivısının deneysel ısı iletkenlik de erleri ile, geli tirilmi olan yapay sinir a ı ve matematiksel korelasyondan elde edilen veriler arasındaki sapma miktarları de erlendirilerek, geli tirilmi olan yapay sinir a ı ve matematiksel modelin do ruluk oranları ara tırılmı tır. Elde edilen sonuçlar, yapay sinir a ının Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivısının ısı iletkenli ini %1 ile -%1.11 aralı nda ve ortalama -%0.001’lik sapma ile tahmin etti ini, matematiksel korelasyonun ise Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivısının ısı iletkenli ini -%0.36 ile %0.32 aralı nda ve ortalama %0.001’lik sapma ile tahmin etti ini ortaya koymu tur. ekil 4.36, ekil 4.37, ekil 4.38, ekil 4.39 ve ekil 4.40’da sırası ile 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.2’lik sabit hacimsel yo unluklarda, yapay sinir a ından ve geli tirilmi olan matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin sapma oranları üç boyutlu grafikler halinde gösterilmi tir.

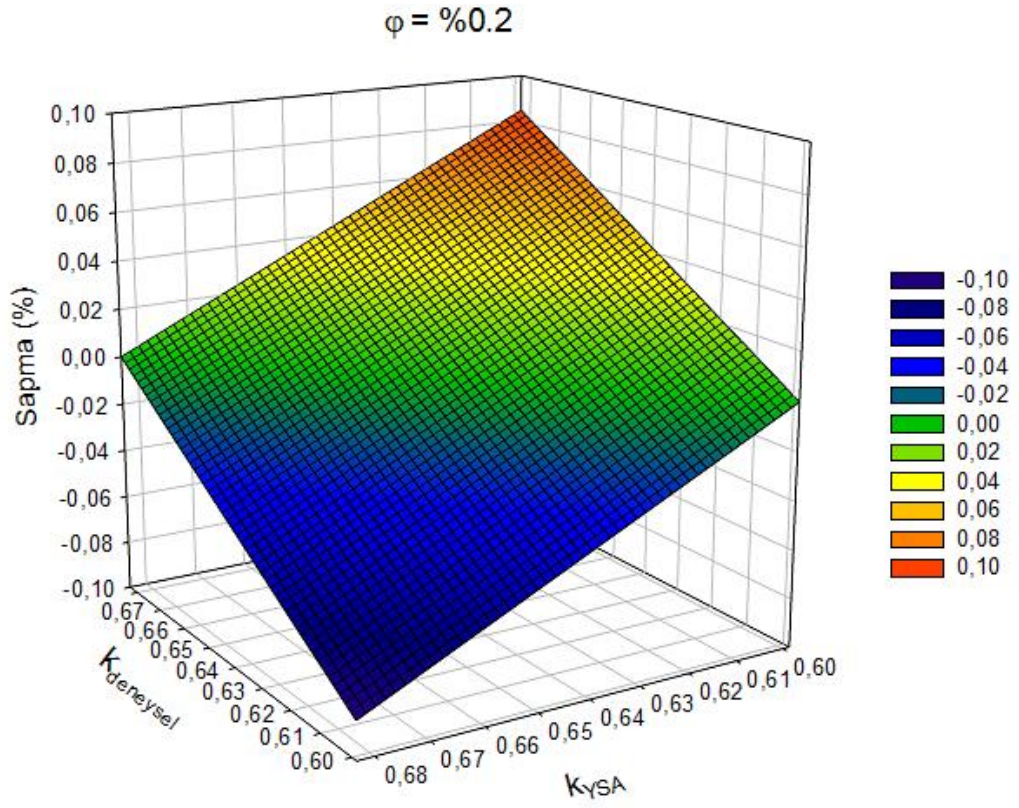


ekil 4.36. 0.0125 hacimsel yo unlukta sapma oranları



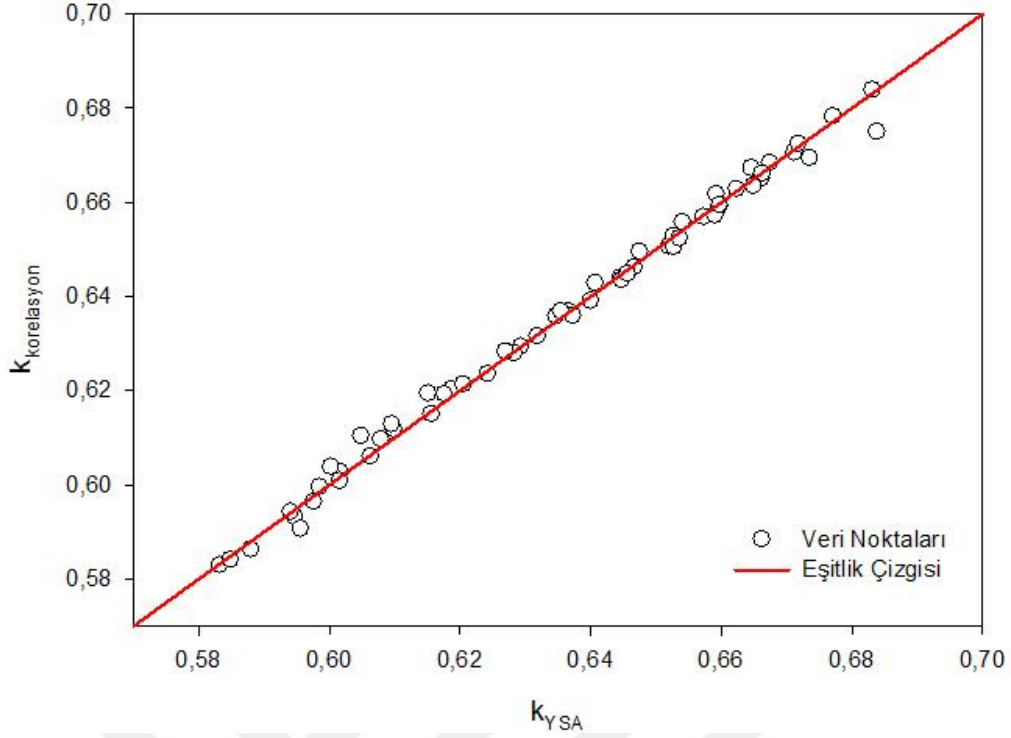
ekil 4.37. 0.025 hacimsel yo unlukta sapma oranları





ekil 4.40. 0.2 hacimsel yo unlukta sapma oranları

ekil 4.41, ekil 4.42 ve ekil 4.43'deki grafiklerde veri noktalarının, e itlik çizgisine olan yakınlıkları, yapay sinir a 1 ve matematiksel korelasyonun uygun bir ekilde modellendi ini ve Al_2O_3-Cu/Su hibrit nanosıvısının ısı iletkenli ini do ru bir ekilde tahmin edebileceklerini göstermektedir.



ekil 4.43. Yapay sinir a ından elde edilen de erlerin matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerle kar ıla tırılması

4.2 Özgül Isı

Be farklı hacimsel yo unlukta hazırlanmı olan hibrit nanosıvınının, Diferansiyel Isıl Analiz yöntemi ile deneysel olarak ölçülen özgül ısı de erleri, literatürde yaygın olarak kullanılan iki nümerik modelle kıyaslanmı tır. Bunlardan bir tanesi, Pak ve Cho (1998) tarafından geli tirilmi olan a a ıdaki korelasyondur :

$$C_{p,nf} = C_{p,np} + (1 -)C_{p,b} \quad (4.7)$$

Burada, hacimsel yo unluk, $C_{p,np}$ nanopartiküllerin özgül ısısı ve $C_{p,b}$ ise taban akı kanı olarak seçilmi olan saf suyun özgül ısısıdır.

Nanopartiküllerin özgül ısısını ($C_{p,np}$) bulmak için a a ıdaki korelasyon kullanılmı tır:

$$C_{p,n} = \frac{C_{p,A} W_A + C_{p,C} W_C}{W_A + W_C} \quad (4.8)$$

Burada C_{p,Al_2O_3} ve $C_{p,Cu}$ sırasıyla Al_2O_3 ve Cu nanopartiküllerinin özgül ısıları, $W_{Al_2O_3}$ ve W_{Cu} ise sırasıyla, Al_2O_3 ve Cu nanopartikül miktarlarıdır.

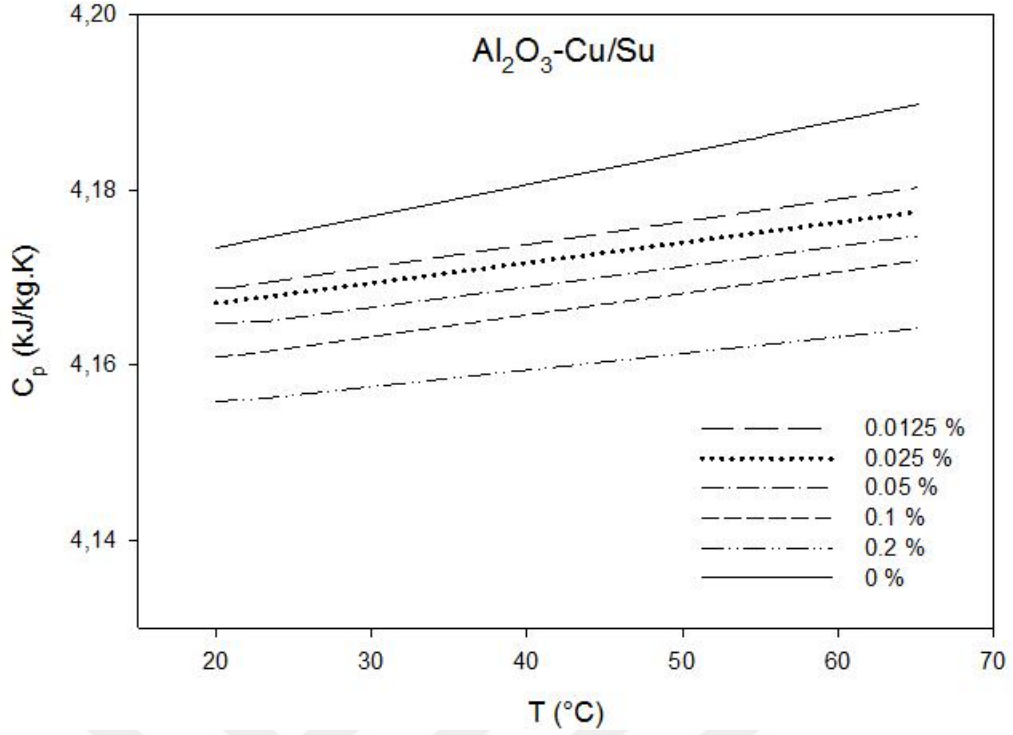
Literatürde ara tırmacılar tarafından sıklıkla kullanılmı olan bir di er korelasyon ise Xuan ve Roetzel (2000) tarafından geli tirilmi olan a a ıdaki modeldir:

$$C_{p,n} = \frac{\varphi\rho_n C_{p,n} + (1-\varphi)\rho_b C_{p,b}}{\varphi\rho_n + (1-\varphi)\rho_b} \quad (4.9)$$

Burada ρ_{np} ve ρ_b sırasıyla nanopartikül ve taban akı kanı olarak seçilmi olan saf suyun yo unluklarıdır. Al_2O_3-Cu nanopartiküllerinin yo unlu u (ρ_{np}) a a ıda gösterilen karı ım kanunu e itli i ile hesaplanmı tır:

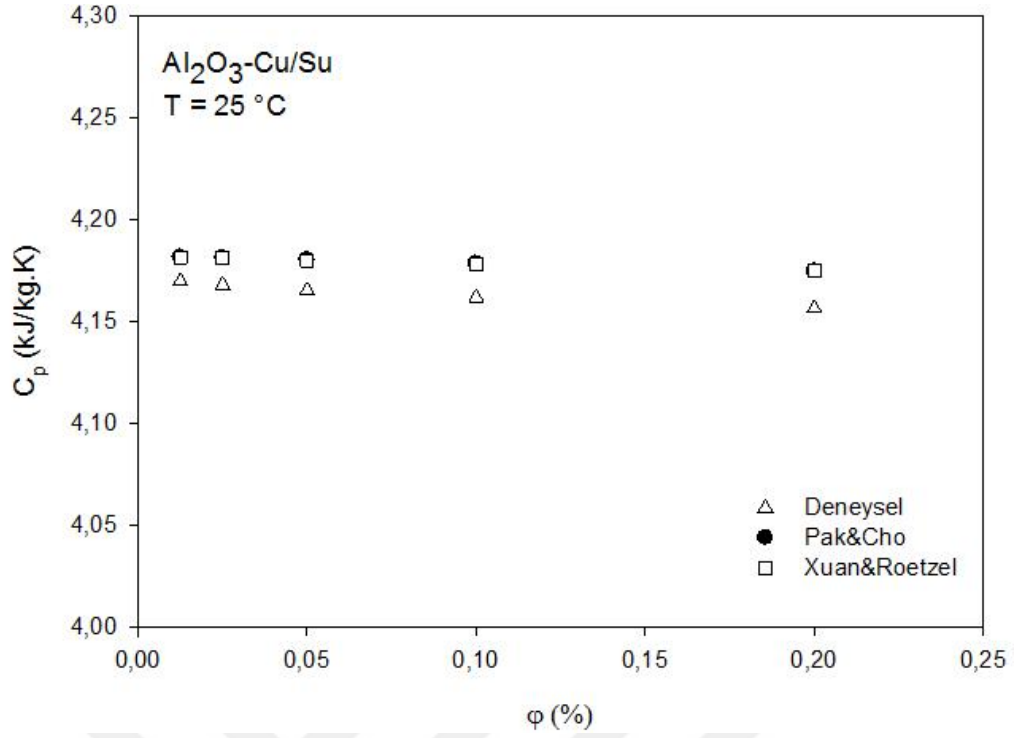
$$\rho_n = \frac{\rho_A W_A + \rho_C W_C}{W_A + W_C} \quad (4.10)$$

0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.1'lik be farklı hacimsel yo unlukta hazırlanmı olan hibrit nanosıvıların, 20 - 65 °C arasındaki sıcaklıklarda deneysel olarak ölçülmü olan özgül ısı de erleri ilk olarak aynı sıcaklıklardaki saf suyun özgül ısı de erleri kar ıla tırılmı tır. Deneysel verilerden elde edilen sonuçlar; saf suya iki farklı nanopartikül ilavesi ile elde edilmi olan hibrit nanosıvının özgül ısısının saf suya kıyasla dü ük de erlerde oldu unu, sıcaklık artı ı ile özgül ısının arttı mını ancak hacimsel yo unluk artı ıyla birlikte özgül ısı de erlerinde azalma meydana geldi ini göstermi tir. Bunun nedeni, moleküllerin enerjilerinin sınırlı olması ile birlikte dönme ve titre imden etkilenmeleridir. Dönme ve titre im, moleküllerin içindeki atomların birbirleriyle ili kili olarak hareket etmelerini sa lar. Akı kanın so uk oldu u durumlarda, moleküllerin birbirleri ile çarpı maları, ba langıç durumundan veya titre imden kaçmak için yeterli enerjiyi sa layamaz. Bu nedenle ortalama enerjide artı meydana gelir. Akı kanın sıcak oldu u durumlarda ise, moleküllerin ortalama sıcaklı mının artmasından dolayı moleküllerin birbiri ile çarpı ma durumu ortaya çıkar. Enerji artı ı ile birlikte dönme ve titre imin gerçekleşmesi için yeterli enerji transfer edilebilir. Dönme ba lar ba lamaz, iç enerjiyi destekler ve molar özgül ısıda artı a sebep olur. ekil 4.44'de hibrit nanosıvıların özgül ısılarının sıcaklı a göre de i imi ve deneysel sonuçların saf su ile kar ıla tırması verilmi tir.

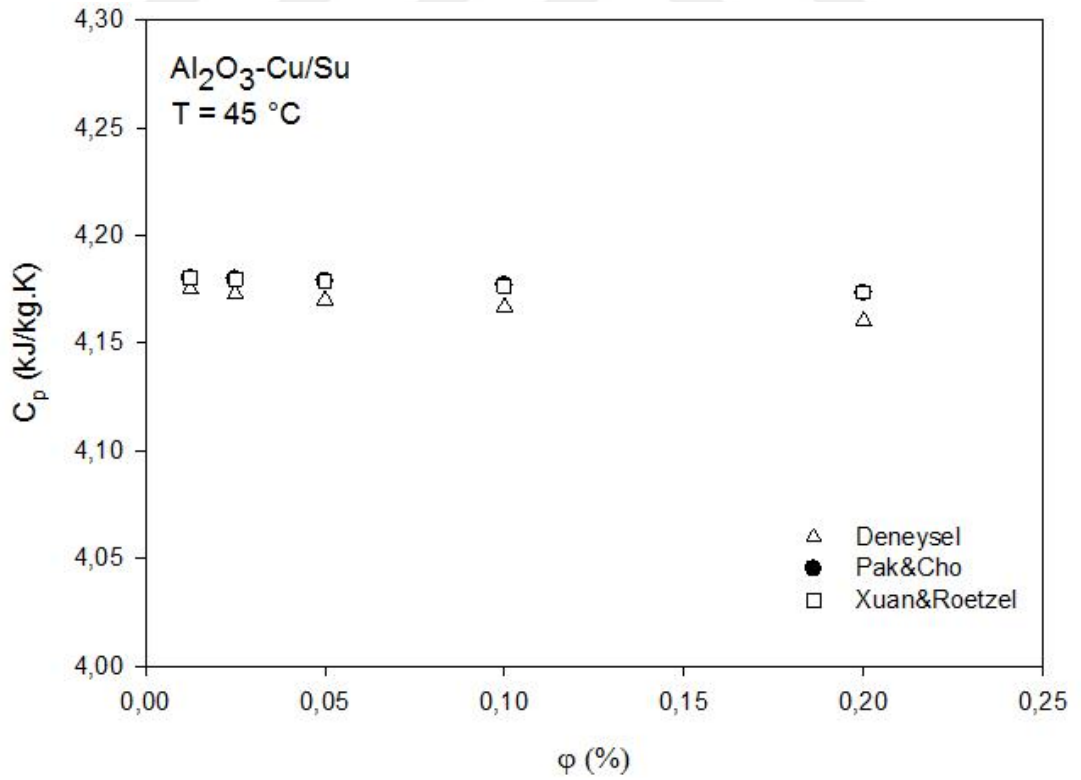


ekil 4.44. Özgül ısının sıcaklığına bağlı olarak saf su ile karşılaştırılması

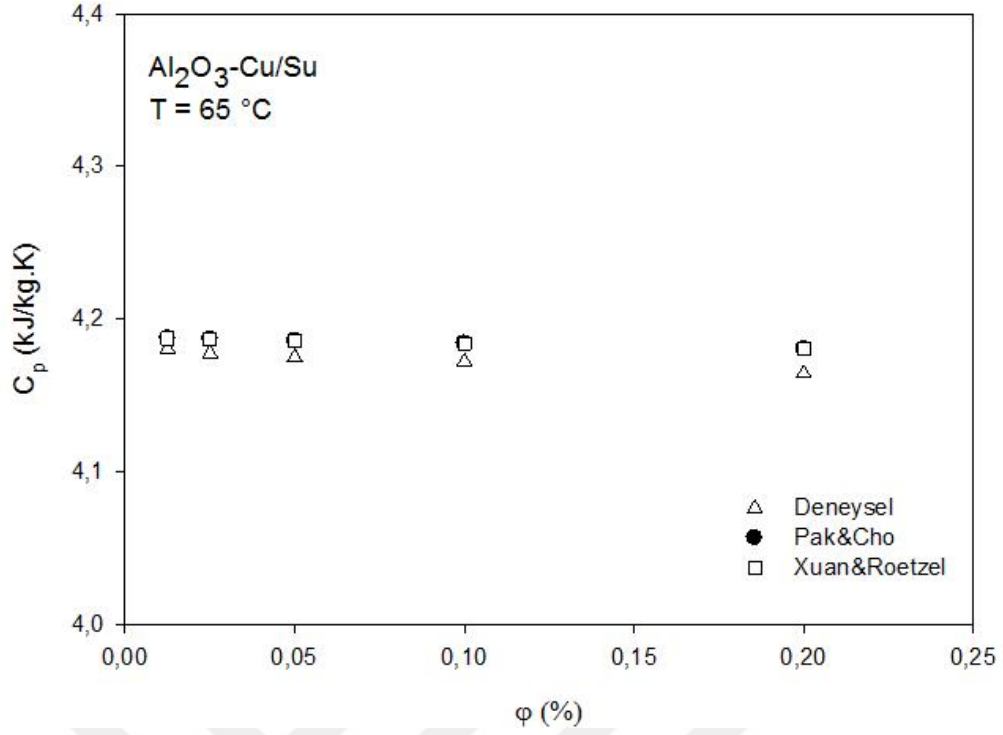
Deneysel çalışmalardan elde edilen özgül ısı değerleri, Pak ve Cho (1998) ile Xuan ve Roetzel (2000) tarafından geliştirilmiş olan ve literatürde sıklıkla kullanılan iki modelle kıyaslanmıştır. Deneysel sonuçlar ile her iki model korelasyondan elde edilen sonuçlar birbirlerine benzerlik göstermiştir. Bu sonuçlar ışığında, elde edilen sonuçların doğrulanabilir olduğu, her iki model korelasyonunun da hibrit nanosıvıların özgül ısı değerlerini uygun şekilde hesaplayabildiği ve bu korelasyonların hibrit nanosıvıların özgül ısı değerlerini hesaplamada kullanılacak ideal korelasyonlar olduğu sonucuna varılmıştır. ekil 4.45, ekil 4.46 ve ekil 4.47’de sırasıyla 25, 45 ve 65 °C’lik sıcaklıklarda hibrit nanosıvıların özgül ısı değerlerinin hacimsel yoğunluğa göre değişimlerinin her iki model korelasyonları ile karşılaştırılması verilmiştir.



ekil 4.45. 25 °C’de özgül ısının hacimsel yo unlu a ba lı de i iminin model korelasyonlarla kar ıla tırması

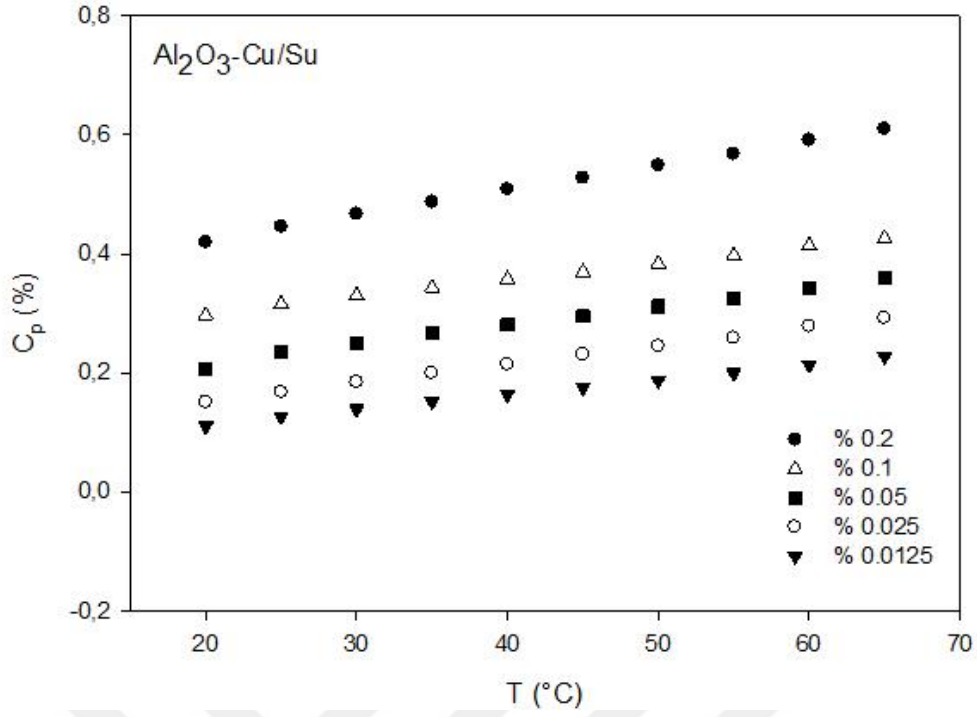


ekil 4.46. 45 °C’de özgül ısının hacimsel yo unlu a ba lı de i iminin model korelasyonlarla kar ıla tırması



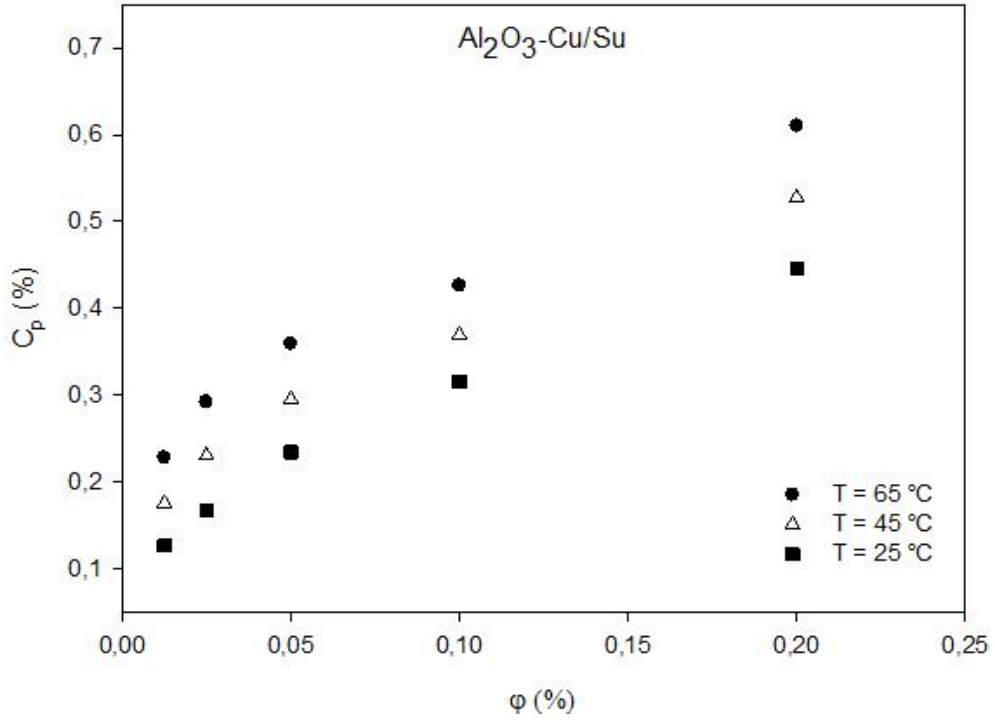
ekil 4.47. 65 °C’de özgül ısının hacimsel yo unlu a ba lı de i iminin model korelasyonlarla kar ıla tırması

Taban akı kanı olarak seçilmi olan saf suyun içine, Al₂O₃ ve Cu nanopartikülleri eklenmesi ile elde edilmi olan hibrit nanosıvının özgül ısısı de erinin, saf suya oranla geli imi incelenmi tir. Deneysel verilerden elde edilen sonuçlara göre, hibrit nanosıvının özgül ısısında, saf suya oranla 0.11 ile 0.61’lik oranlarda iyile me meydana gelmi tir. Özgül ısıdaki iyile me, sıcaklık ve hacimsel yo unluk artı ı ile birlikte artı göstermi tir. ekil 4.48’de Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosıvının özgül ısısı iyile mesinin sıcaklı a ba lı de i imi gösterilmi tir.



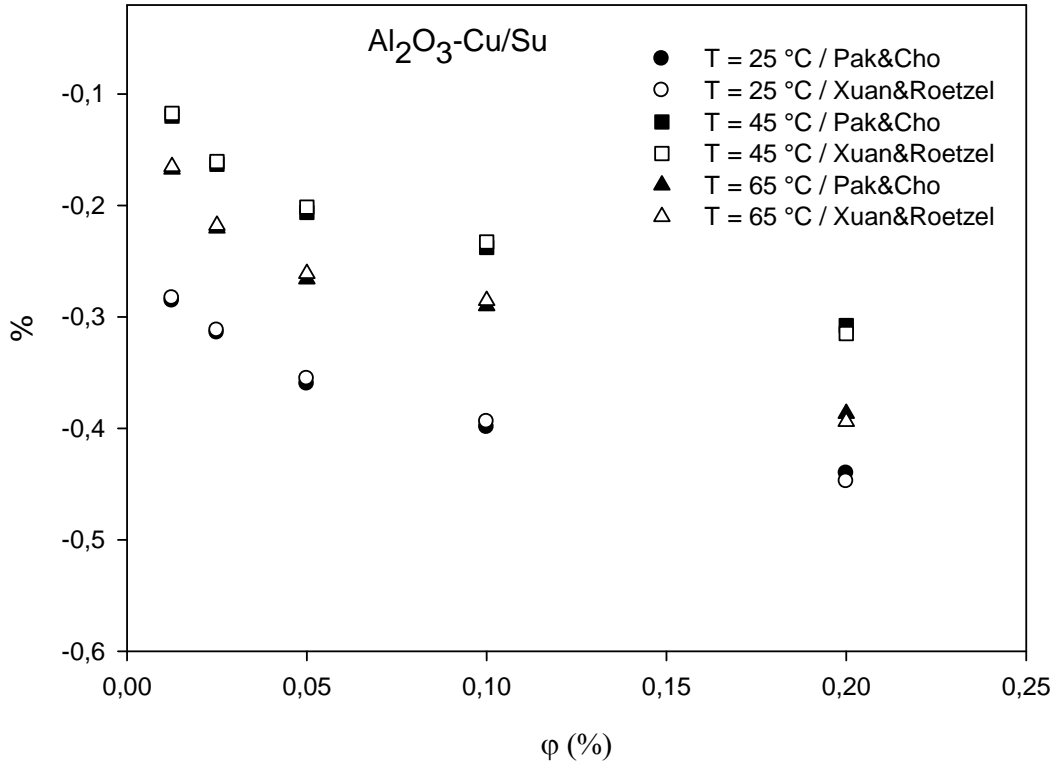
ekil 4.48. Özgül ısı iyile mesinin sıcaklı a ba lı de i imi

ekil 4.49'da ise, 25, 45 ve 65 °C'lik sabit sıcaklıklardaki özgül ısı iyile mesinin, hacimsel yo unlu a ba lı de i imi verilmi tir.



ekil 4.49. Sabit sıcaklıkta özgül ısı iyile mesinin hacimsel yo unlu a ba lı de i imi

Deneyisel veriler model korelasyonlardan elde edilen sonuçlarla kıyaslandı ında, deneyisel sonuçların model korelasyonlarla uyumlu oldu u ve korelasyonların -%0.12 ile -%0.45’lik hata payları ile sonuçları tahmin edebildi i görülmü tür. ekil 4.50’de sırasıyla 25, 45 ve 65°C sıcaklıklardaki deneyisel sonuçların her iki model korelasyondan elde edilen de erlere kıyasla hata oranları verilmi tir.



ekil 4.50. Deneyisel özgül ısı de erlerinin sabit sıcaklıkta model korelasyon verileri ile yüzdesel hata miktarları

Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının özgül ısısının tahmin edilmesi amacıyla, deneyisel yolla elde edilmi olan özgül ısı de erleri kullanılarak bir matematiksel korelasyon türetilmi tir. Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının özgül ısısını, hacimsel yo unluk ve sıcaklı a ba lı olarak hesaplayabilecek bu korelasyon a a ıda verilmi tir :

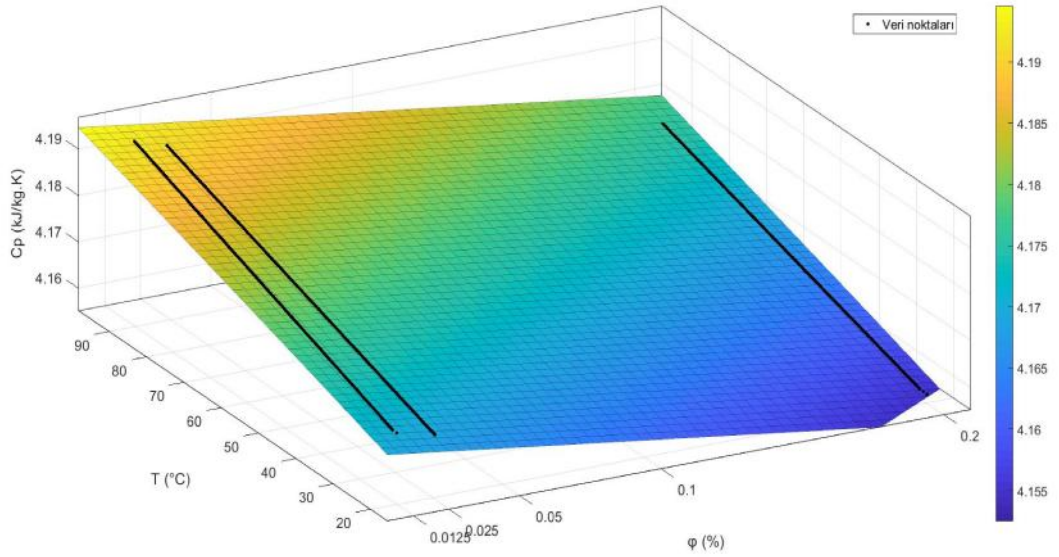
$$C_p = (A T + B)(1 + C \varphi^D) \quad (4.11)$$

Türetilmi olan korelasyona ait sabitler Çizelge 4.3’te verilmi tir.

Çizelge 4.3. Korelasyon sabitleri

Nanosıvı	Katsayı				Maksimum Hata	Ortalama Hata
	A	B	C	D		
Al ₂ O ₃ -Cu/Su	0.0002322	4.168	-0.01175	0.6207	0.031	%0.005

ekil 4.51’de verilen özgül ısı korelasyonunun yüzey grafi inde, deneysel veri noktalarının, tek bir katman üzerinde yer alması R² de erinin 0.9915 olarak bulunması, geli tirilmi olan korelasyonun, sonuçları tahmin etmedeki uyumlulu unun do rulanması olarak de erlendirilebilir.

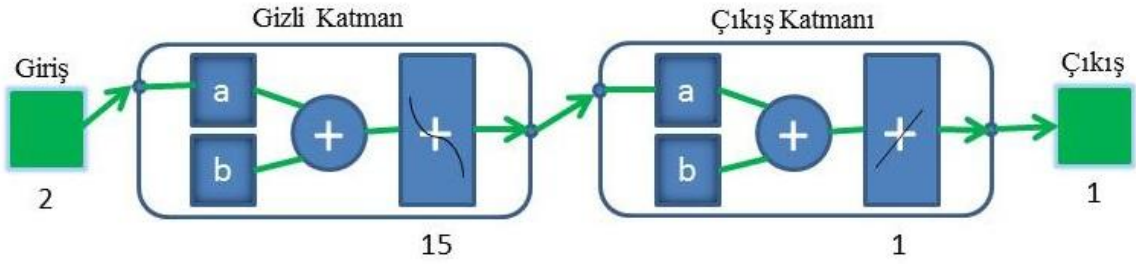


ekil 4.51. Özgül ısı korelasyonunun yüzey grafi i

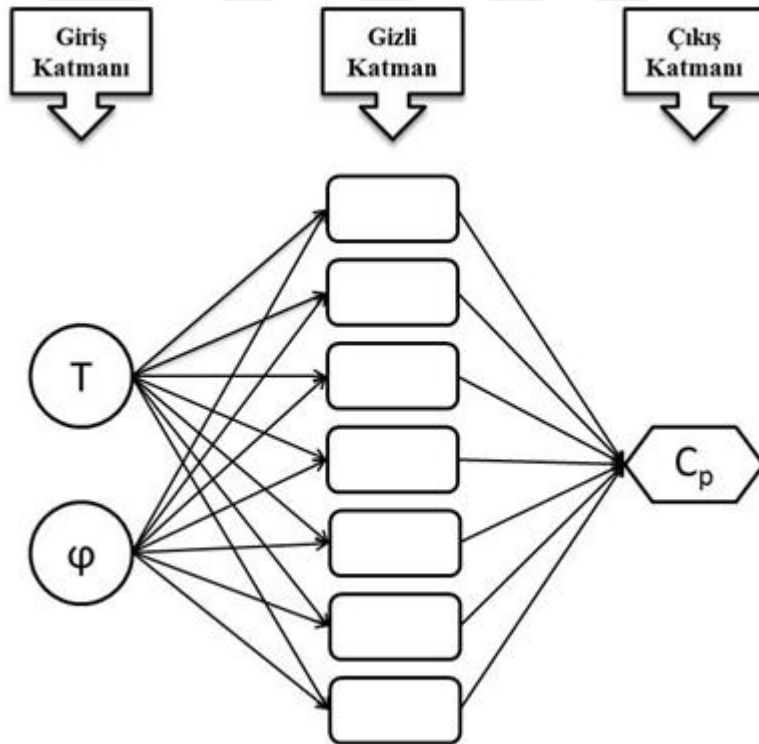
Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosıvısının deneysel yolla ölçülmü olan 808 adet veri kullanılarak, çok katmanlı, ileri beslemeli olarak geli tirilmi olan yapay sinir a 1, gizli katmanında 15 nöron olacak ekilde dizayn edilmi tir. Giri de i kenleri olarak sıcaklık ve hacimsel yo unluk seçilmi ve bu modelle Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosıvısının özgül ısı de erlerinin tahmin edilmesi sa lanmı tir. Geli tirilmi olan yapay sinir a ının veri seti üç bölüme ayrılmı tir. Bu veri setinin 565 tanesi (%70) yapay sinir a ının e itiminde, 162 tanesi (%20) do rulamasında ve 81 tanesi (%10) ise test edilmesinde kullanılmı tir. Yapay sinir a ında kullanılan veri miktarları ve a performansı Çizelge 4.4’de, tasarlanmı olan yapay sinir a ının temel yapısı ekil 4.52’de ve yapay sinir a ının konfigürasyon topolojisi ise ekil 4.53’de gösterilmi tir.

Çizelge 4.4. Yapay sinir a 1 verileri

	Veri Sayısı	MSE	R
E itim	565	5.83238e-10	0.9999
Do rulama	162	2.87756e-10	0.9999
Test	81	4.22117e-10	1



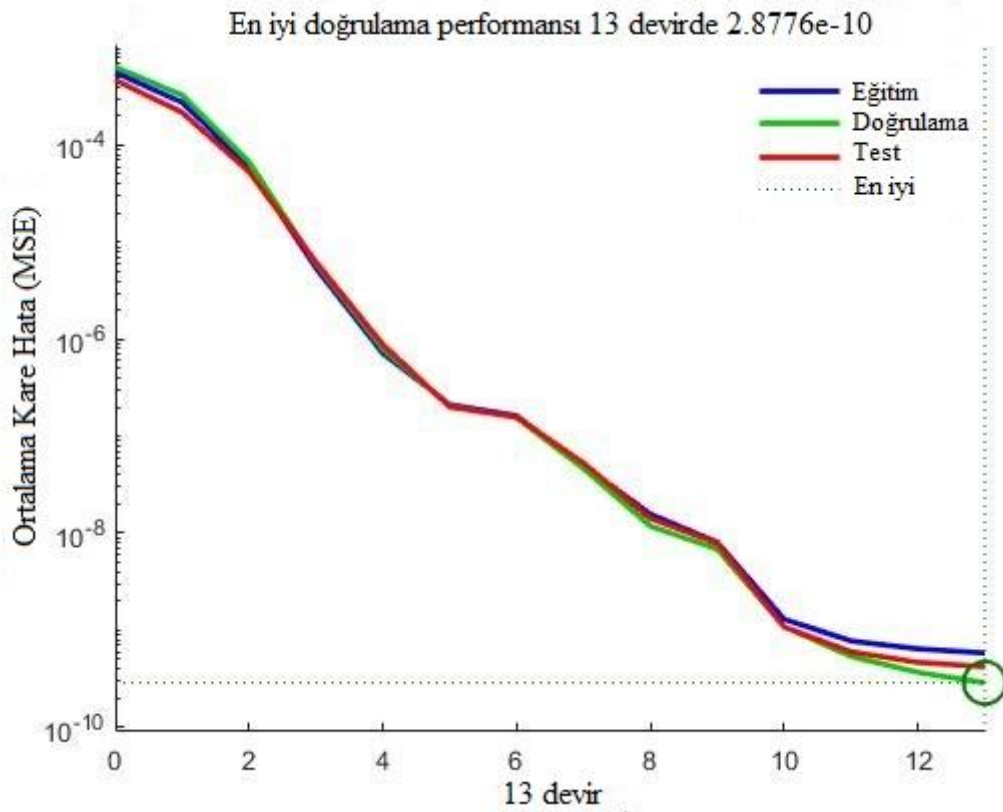
ekil 4.52. Yapay sinir a 1ın temel yapısı



ekil 4.53. Yapay sinir a 1ın konfigürasyon topolojisi

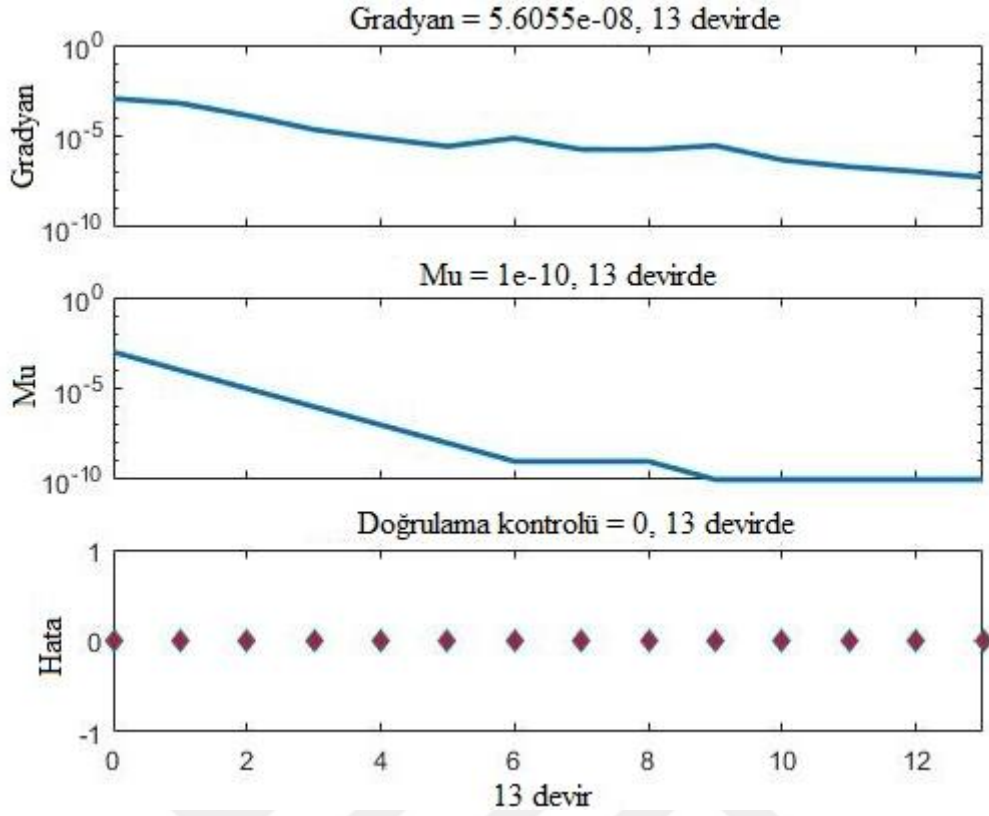
Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin deneysel yolla elde edilmi olan özgül ısı de erleri ile yapay sinir a 1ından elde edilen de erler arasındaki sapmanın grafi i ekil 4.54'de verilmi tir. MSE de eri, yapay sinir a 1ının e itim a masası ba langıcında yüksek

olmakla birlikte, eğitim sürecinin ilerleyen aşamalarında, artan devirlerle (epoch) birlikte MSE değerinde de azalma gözlenmektedir. Bu durum, tasarlanan yapay sinir ağı modelinin eğitim amaçlarının doğru tasarlandığı anlamına gelmektedir. Grafeye göre, sürekli azalmakta olan MSE değeri, 13 yinelemenin sonunda en düşük MSE değeri olan $2.8776e-10$ 'luk değere ile en iyi sonuca ulaşmıştır. Yapay sinir ağının eğitim, doğrulama ve test çizgilerinin birbirine yakın seyretmesi, kullanılan veri setinin fazlalığından kaynaklanmaktadır.



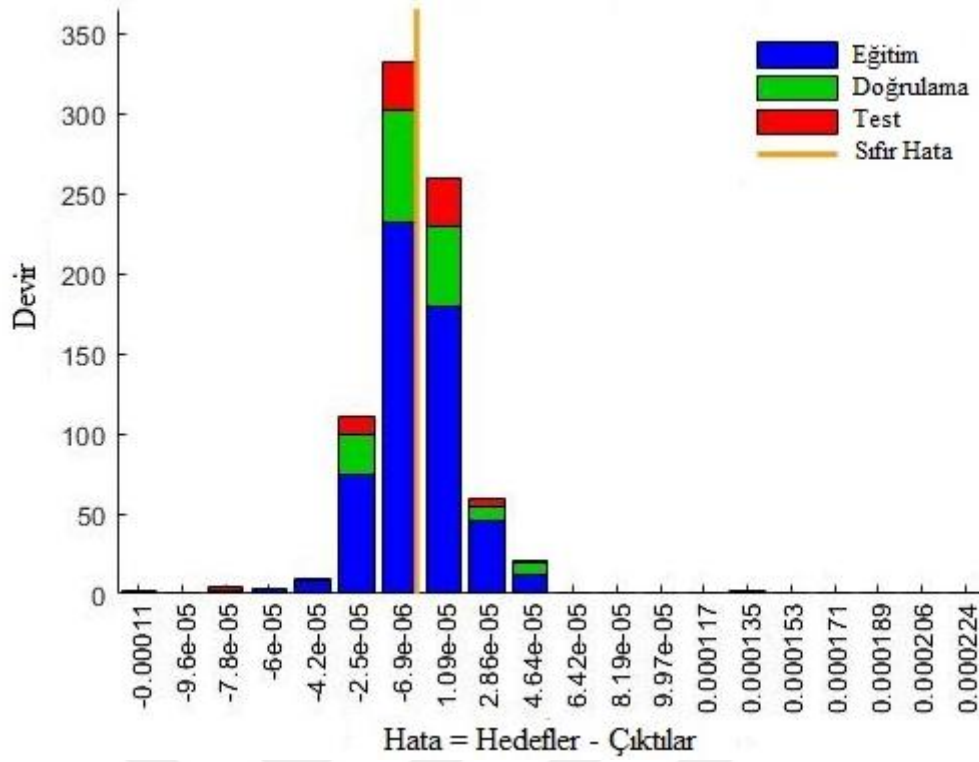
ekil 4.54. Yapay sinir ağının performans grafiği

Tasarlanan yapay sinir ağı modelinin eğitim durumu, ekil 4.55'de gösterilmektedir. 13 devir boyunca süren eğitimde, hata gözlemlenmemiştir. Bu durum, yapay sinir ağının gayet güzel eğitildiğinin ifadesidir.



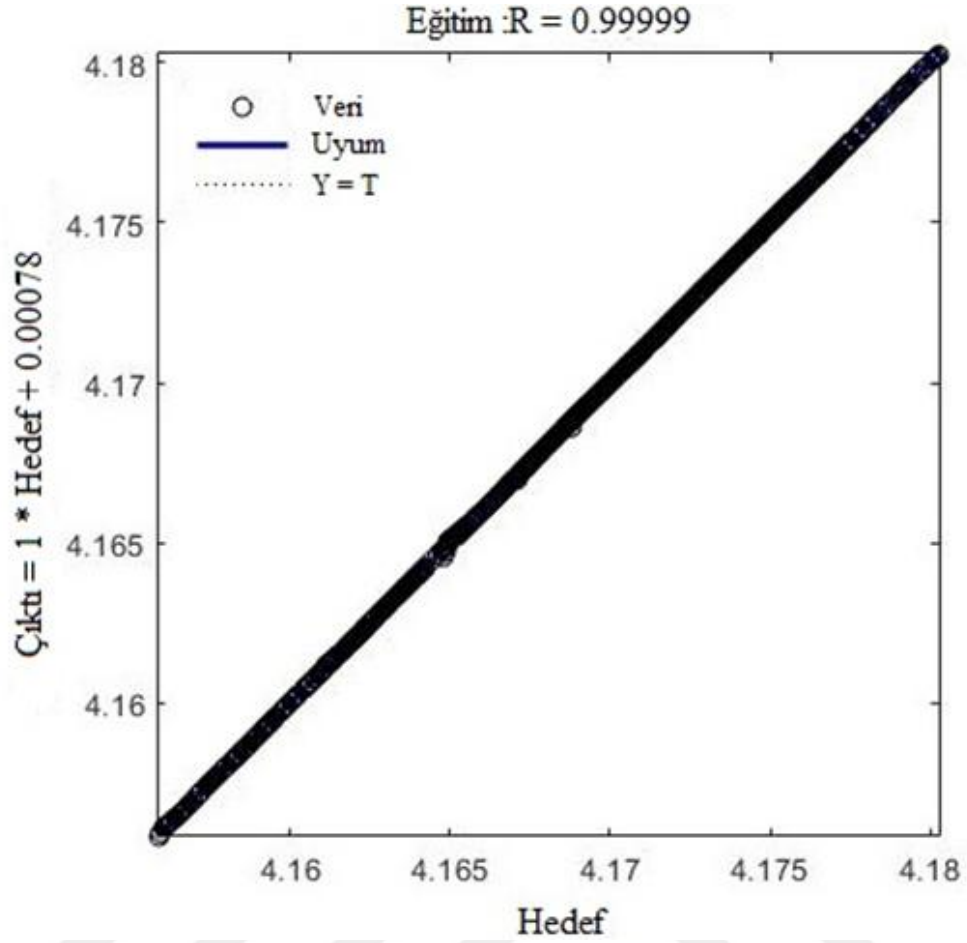
ekil 4.55. Yapay sinir a 1 modelinin e itim durumu

Geli tirilmi olan yapay sinir a 1 ın e itim, do rulama ve test a amalarının hata histogramı ekil 4.56'da gösterilmi tir. Geli tirilmi olan yapay sinir a 1 ın, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivısının özgül ısısını ideal do ruluk oranı ile tahmin edebilece i, grafikteki hata da ılımının sıfır çizgisi etrafında da ılabilmektedir.



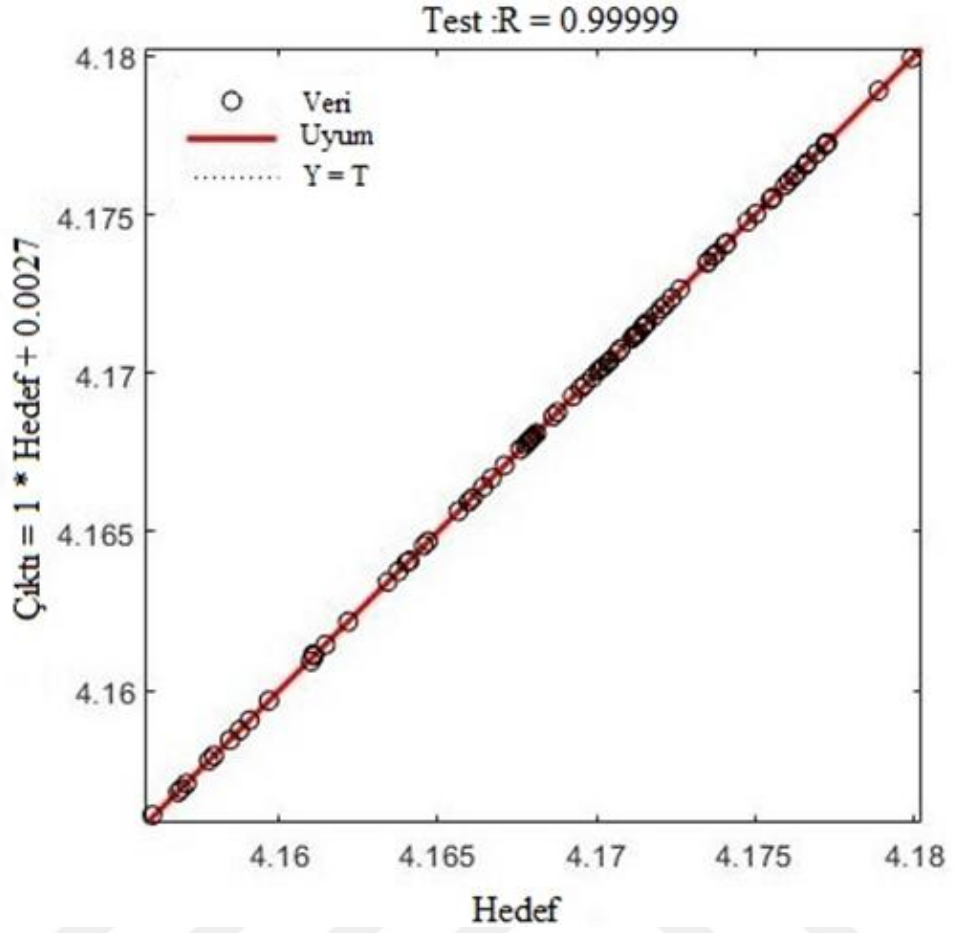
ekil 4.56. Hata histogram grafi i

Geliştirilmiş olan yapay sinir aının eğitim veri seti ile deneysel sonuçların karşılaştırılması ekil 4.57’de gösterilmiştir. Deneysel veriler ile uyumlu olan eğitim verilerinin uyumluluk çizgisi üzerinde konumlanması, elde edilen R değerinin 0.9999 olması ile birlikte değerlendirildiğinde, tasarlanmış olan yapay sinir aının eğitim sürecinin mükemmel yakın doğruluk ve hassasiyetle tamamlandığı sonucuna varılmaktadır.



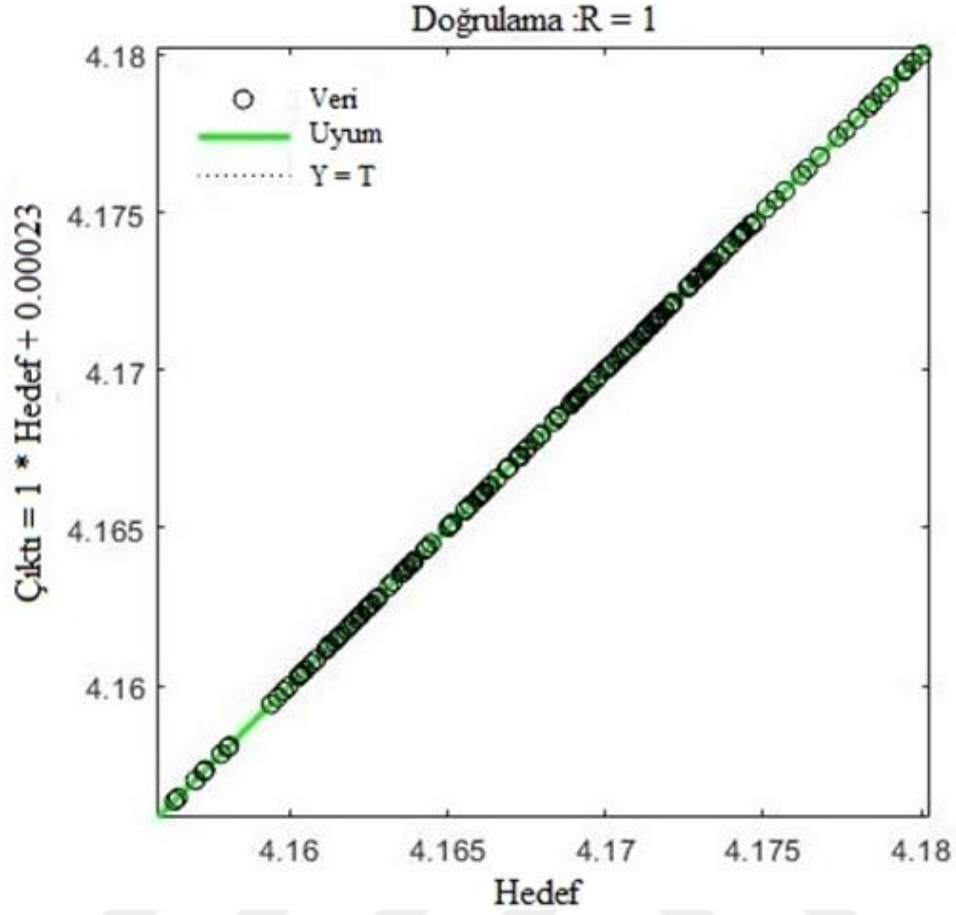
ekil 4.57. Eğitim veri performansı

Geliştirilen yapay sinir ağının performansının analiz edilmesinde test verilerinin performansının değerlendirilmesi, yapay sinir ağının değerleri tahmin etmede doğruluğunun tespitinden önemli rol oynamaktadır. Yapay sinir ağının test veri seti ile deneysel sonuçların karşılaştırılması ekil 4.58’de gösterilmiştir. Verilerin, uyumluluk çizgisi üzerinde konumlanması ve R değerinin 0.9999 olması, yapay sinir ağının ideal performansta dizayn edildiğinin göstergesidir.



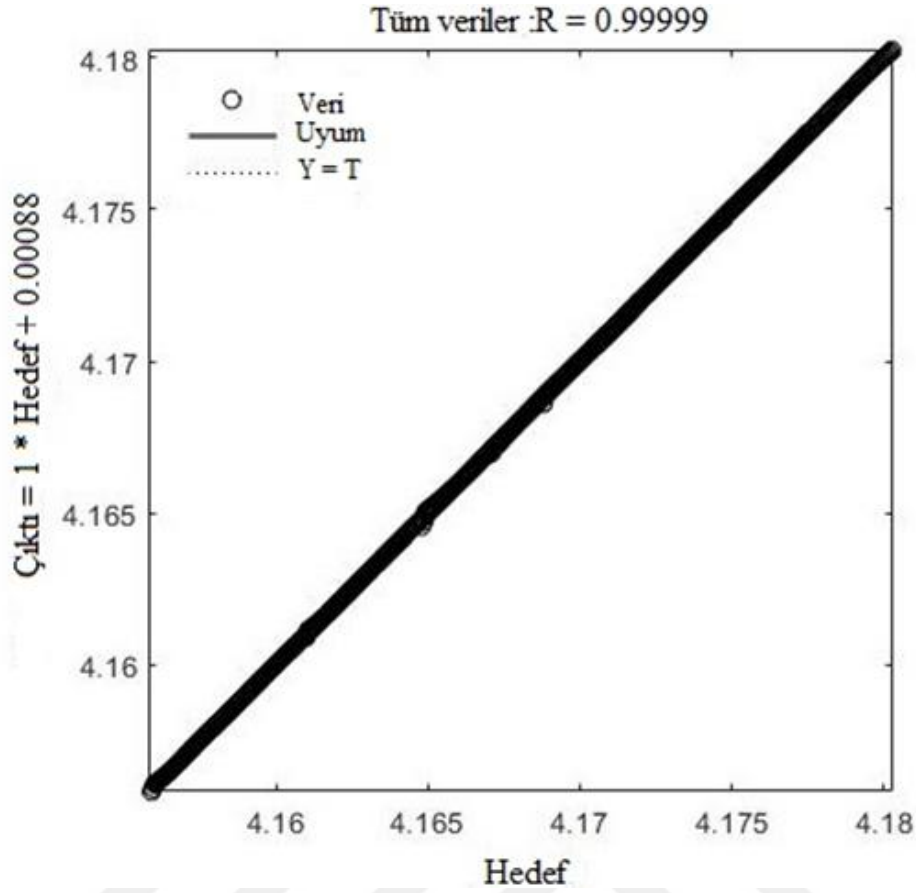
ekil 4.58. Test veri performansı

Dizayn edilmi olan yapay sinir a 1 modelinin do rulama sonuçları ekil 4.59'da gösterilmektedir. Do rulama veri setinde, R de erinin 1 olarak elde edilmesi, yapay sinir a ının mükemmel çalı tı ının göstergesidir.



ekil 4.59. Doğrulama veri performansı

Yapay sinir a ında kullanılmı olan tüm verilere ait grafik ekil 4.60'da gösterilmi tir. Toplam 808 adet veri ile dizayn edilmi yapay sinir a ı modelindeki tüm noktaların, uyumluluk çizgisi üzerinde konumlanması ve elde edilen R de erinin 0.99999 olması, tasarlanmı olan yapay sinir a ı modelinin Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin özgül ısısını, sıcaklık ve hacimsel yoğunlu a ba lı olarak mükemmelde yakın ekilde tahmin edebilece inin net bir ifadesidir.

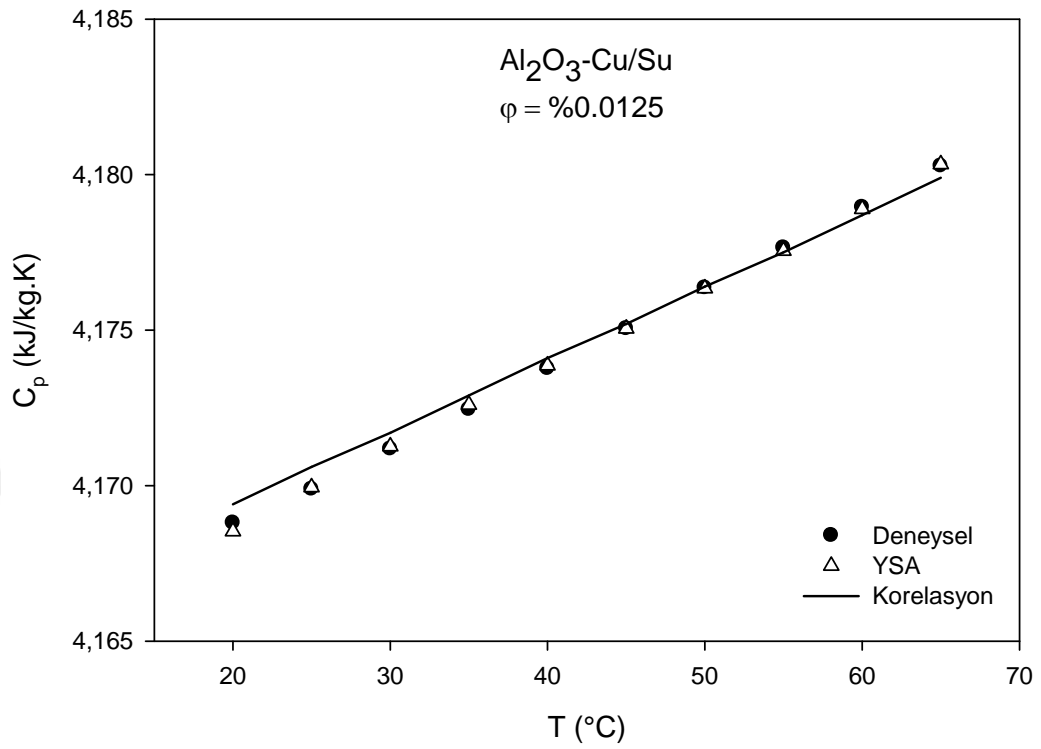


ekil 4.60. Genel performans

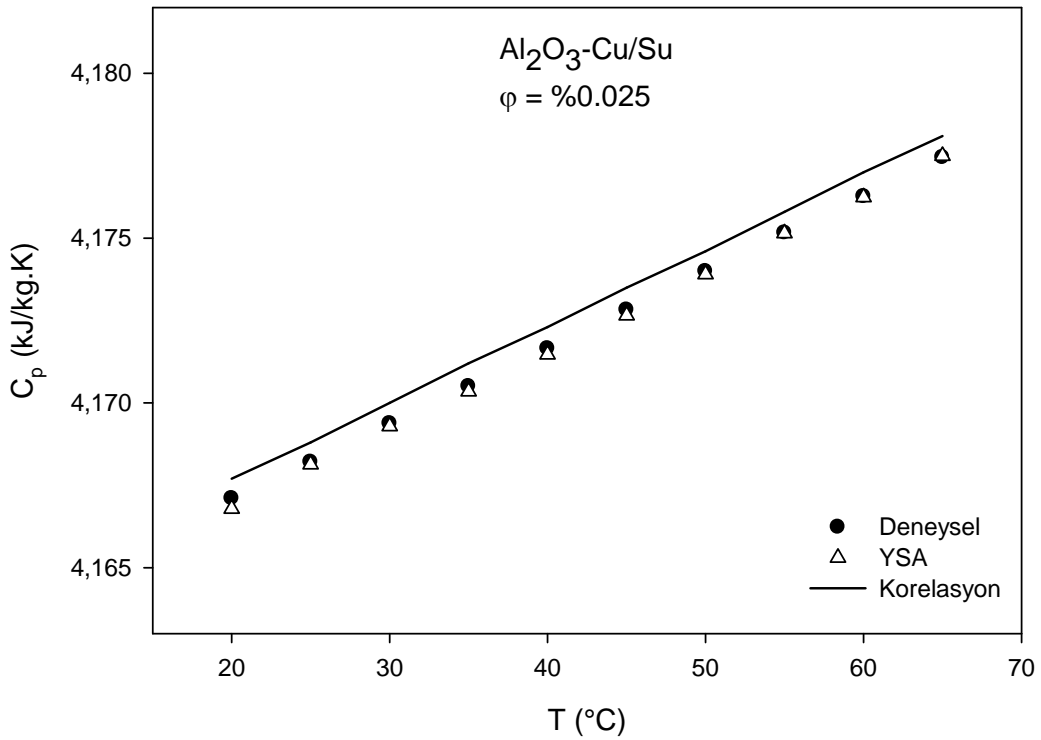
Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin özgül ısısının tahmin edilmesi amacıyla, 808 adet deneysel veri kullanılarak geliştirilmiş olan yapay sinir ağı ve türetilmiş olan matematiksel korelasyondan elde edilen sonuçlar, deneysel olarak elde edilmiş verilerle karşılaştırılmıştır. Geliştirilmiş olan yapay sinir ağının ve türetilmiş olan matematiksel korelasyonun, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin özgül ısısını tahmin etmedeki doğruluğunun araştırılması amacıyla yapılmış olan bu karşılaştırma ilk olarak, her bir hacimsel yoğunlukta (sabit), özgül ısı değerlerinin sıcaklığa göre değişimlerine ait deneysel sonuçlar, yapay sinir ağı çıktıları ve matematiksel korelasyon sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda ortaya çıkan sonuçlara göre, geliştirilmiş olan yapay sinir ağı Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenliğini ortalama %0.0007 gibi çok düşük bir sapma ile tahmin edebilirken, matematiksel korelasyon ise ortalama -%0.0053'lük bir sapma ile tahmin edebilmiştir.

ekil 4.61, ekil 4.62, ekil 4.63, ekil 4.64 ve ekil 4.65'de sırası ile 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.1'lik hacimsel yoğunluklardaki Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin deneysel

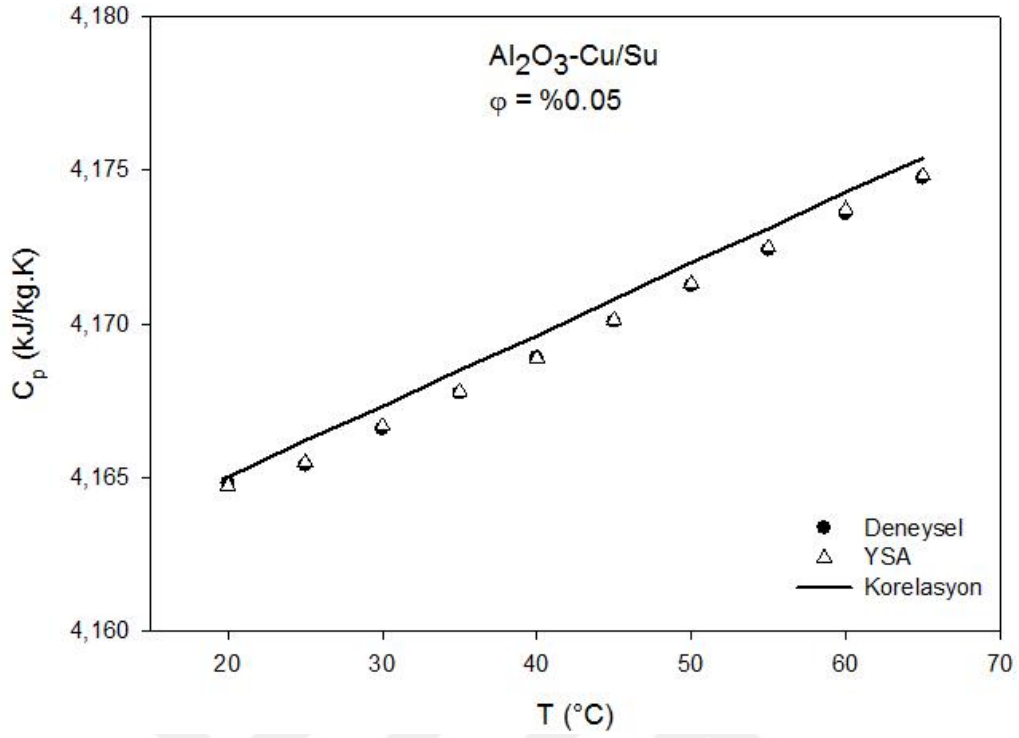
yolla elde edilmi olan özgül ısı de erlerinin, yapay sınır a 1 ve matematiksel korelasyondan elde edilmi de erlerle kar ıla tırılması verilmi tir.



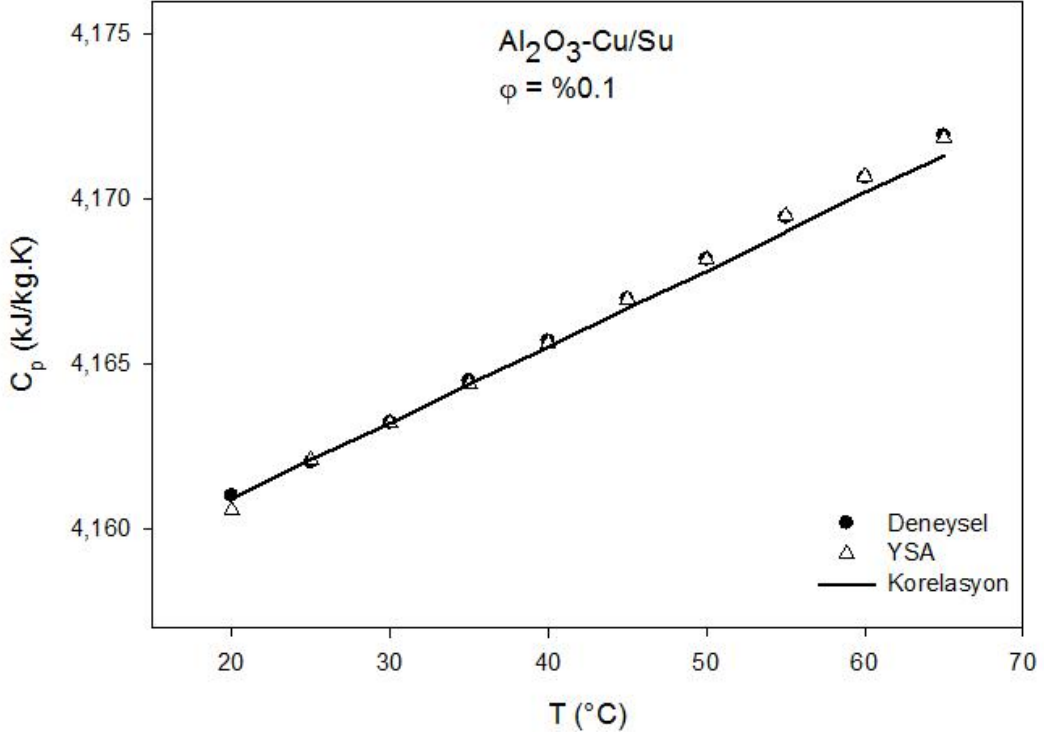
ekil 4.61. 0.0125 hacimsel yo unlukta özgül ısı de erleri



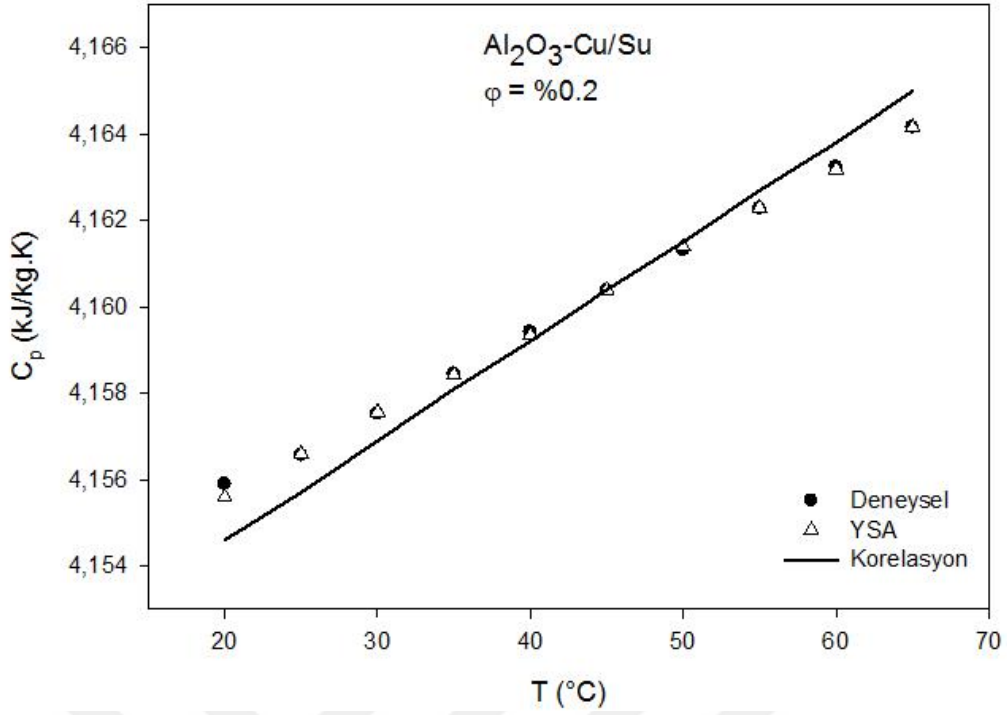
ekil 4.62. 0.025 hacimsel yo unlukta özgül ısı de erleri



ekil 4.63. 0.05 hacimsel yo unlukta özgül ısı de erleri

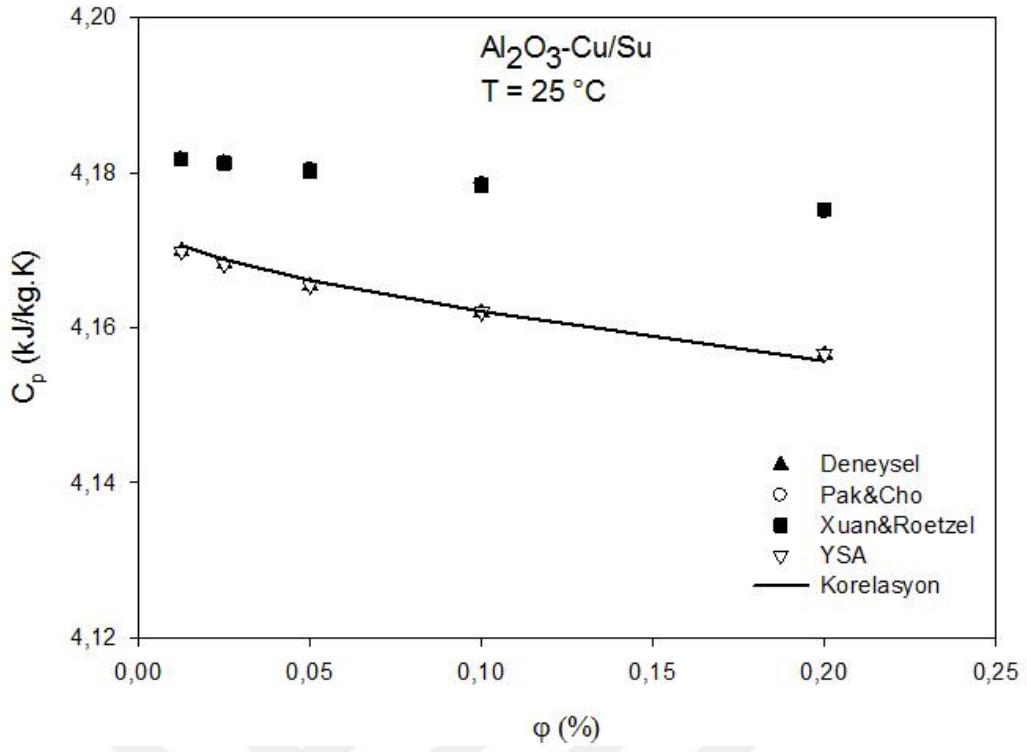


ekil 4.64. 0.1 hacimsel yo unlukta özgül ısı de erleri

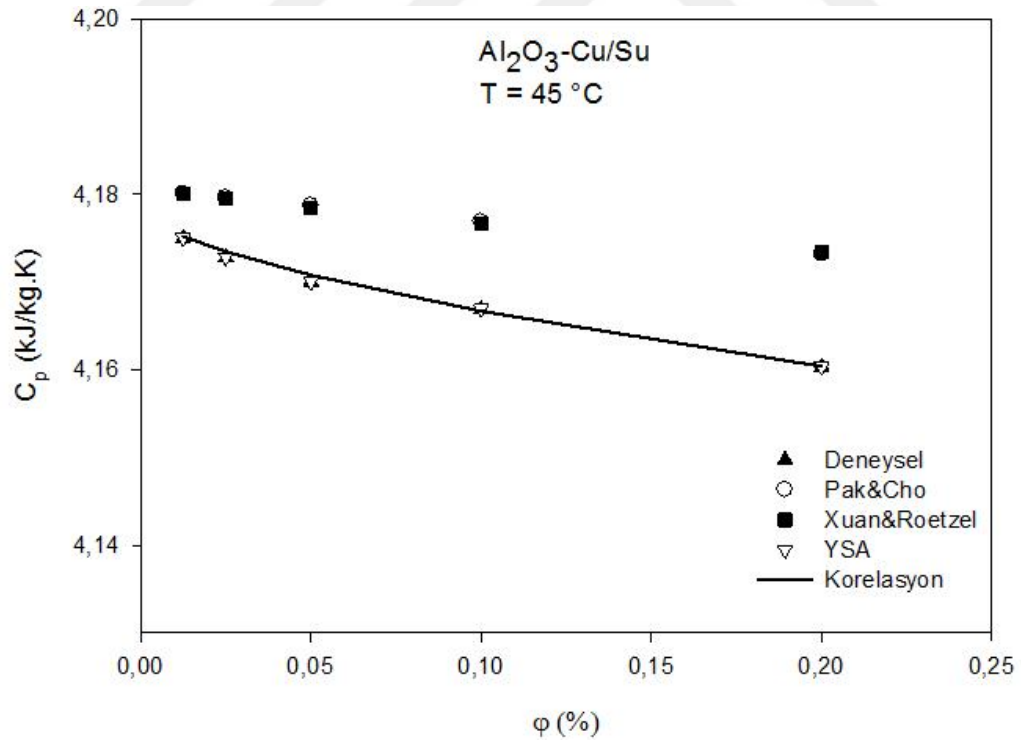


ekil 4.65. 0.2 hacimsel yo unlukta özgül ısı de erleri

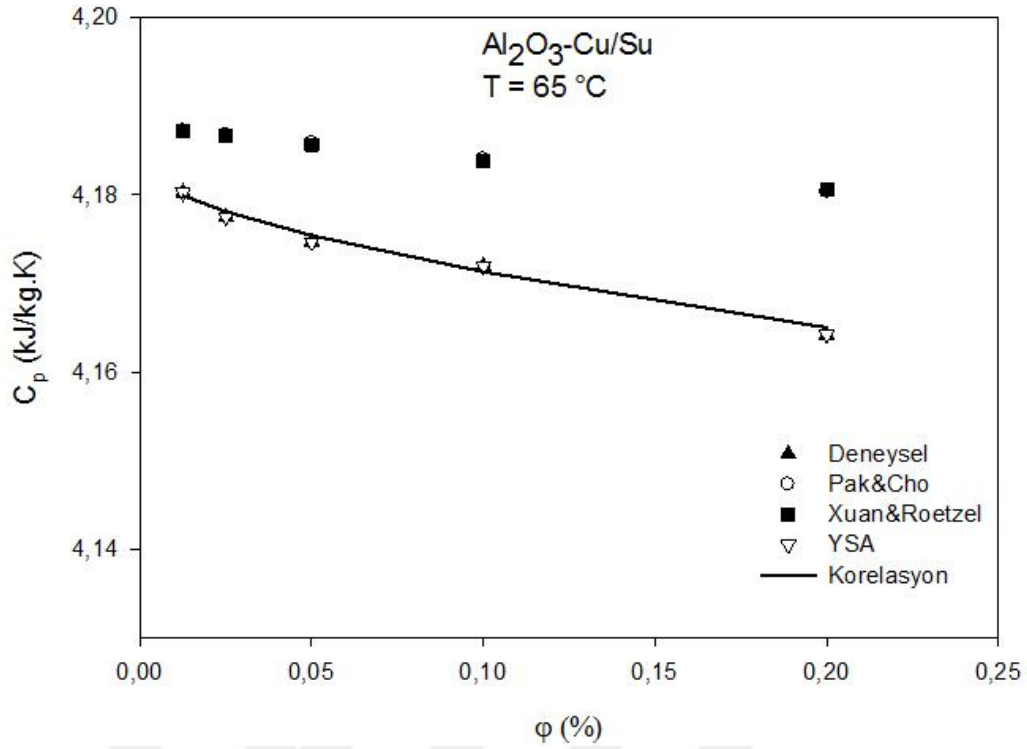
Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosivisinin deneysel verileri ile birlikte, geli tirilmi olan yapay sinir a 1 çıktıları ve türetilmi olan matematiksel korelasyondan elde edilen veriler, geçmi te ara tırmacılar tarafından geli tirilmi ve literatürde sıklıkla kullanılan model korelasyonlarla kar ıla tırlımı tır. Elde edilen sonuçlar, yapay sinir a 1 ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin, model korelasyonlarla da uyumlu oldu unu göstermi tir. ekil 4.66, ekil 4.67 ve ekil 4.68’de sırasıyla 25, 45 ve 65 °C’lik sabit sıcaklıklarda, Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosivisine ait deneysel özgül ısı de erlerinin, model korelasyonlar ve yapay sinir a 1 verileri ile kıyaslanması verilmi tir.



ekil 4.66. 25 °C'de yapay sinir a 1 ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması

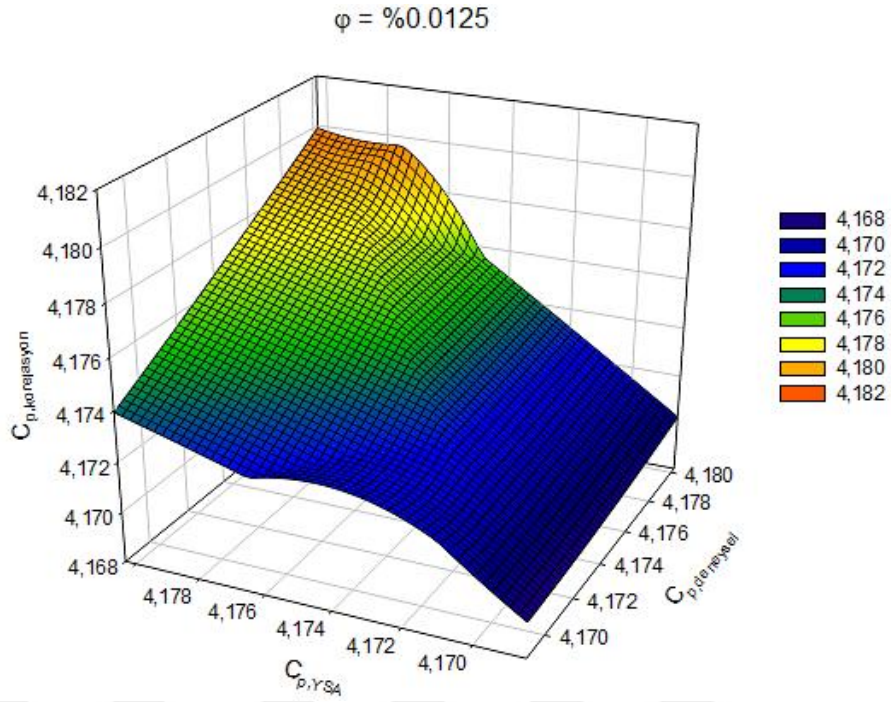


ekil 4.67. 45 °C'de yapay sinir a 1 ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması

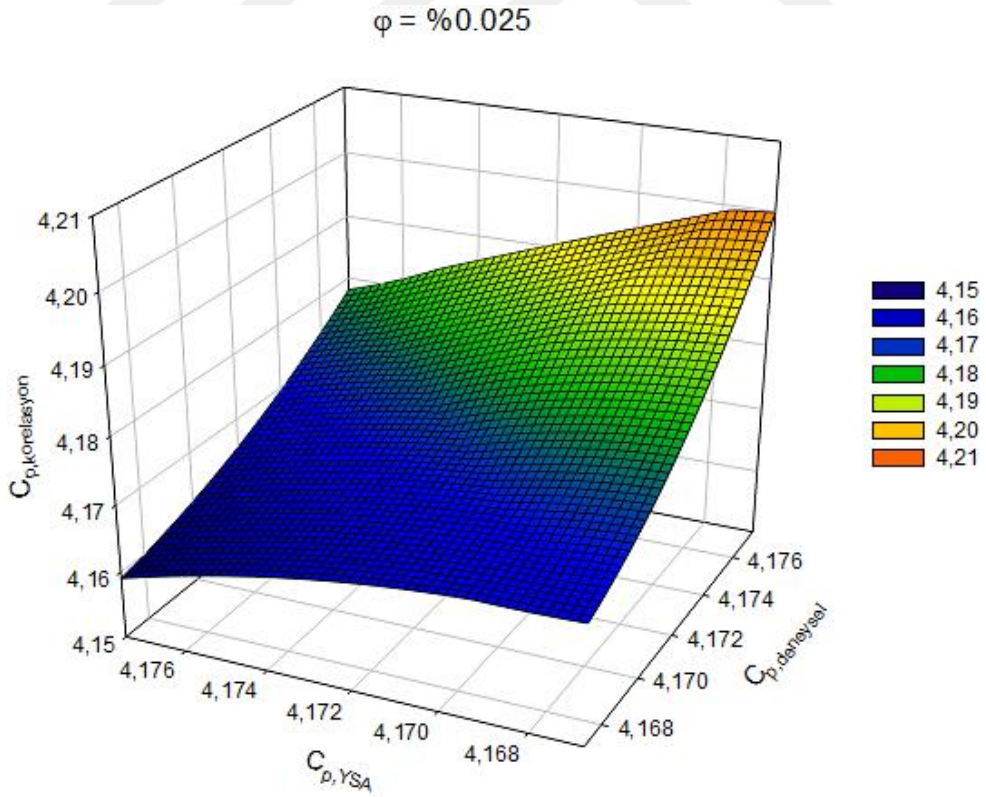


ekil 4.68. 65 °C’de yapay sinir a 1 ve korelasyon de erlerinin model korelasyonlarla kar ıla tırması

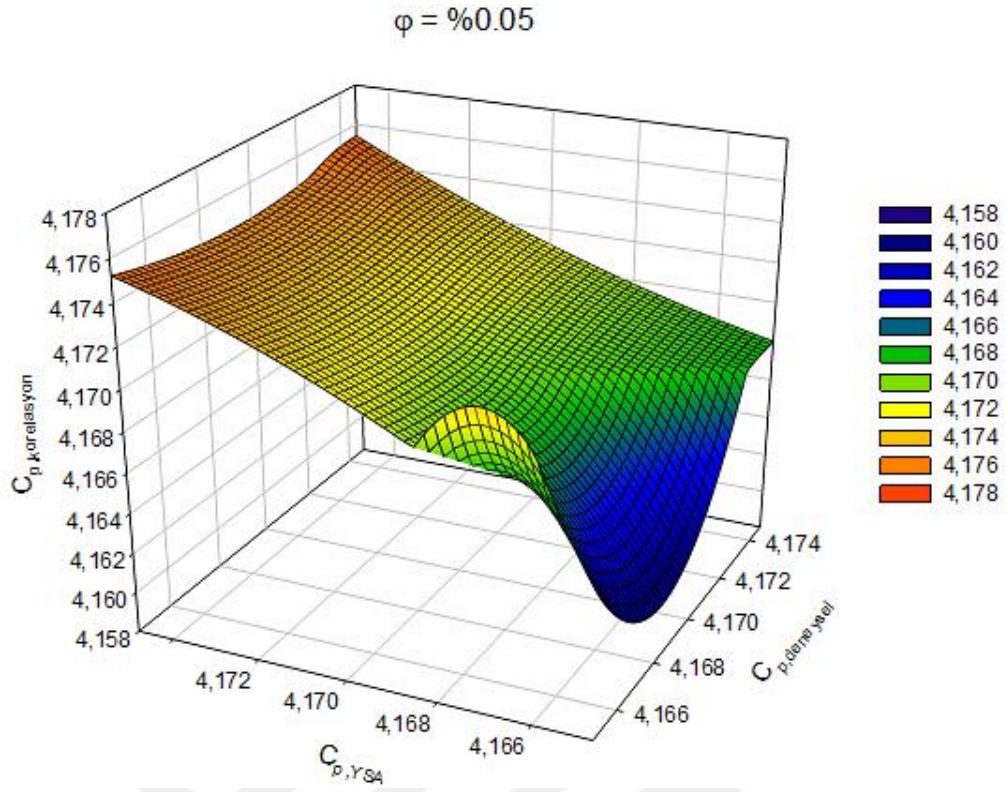
Al_2O_3-Cu/Su hibrit nanosıvısının deneysel yolla elde edilmi olan özgül ısı de erleri, yapay sinir a ından elde edilen veriler ve geli tirilmi olan matematiksel korelasyonlarla kar ıla tırılmı tır. ekil 4.69, ekil 4.70, ekil 4.71, ekil 4.72 ve ekil 4.73’de sırasıyla 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.2’lik sabit hacimsel yo unluklarda, deneysel olarak elde edilmi özgül ısı de erleri ile yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen de erler üç boyutlu grafiklerle gösterilmi tir. Grafiklerde her üç de er arasında görülen uyum, yapay sinir a ının ve geli tirilmi olan matematiksel korelasyonun, Al_2O_3-Cu/Su hibrit nanosıvısının özgül ısı de erlerini ideal do rulukta tahmin edecek ekilde geli tirilmi oldu unun kanıtıdır.



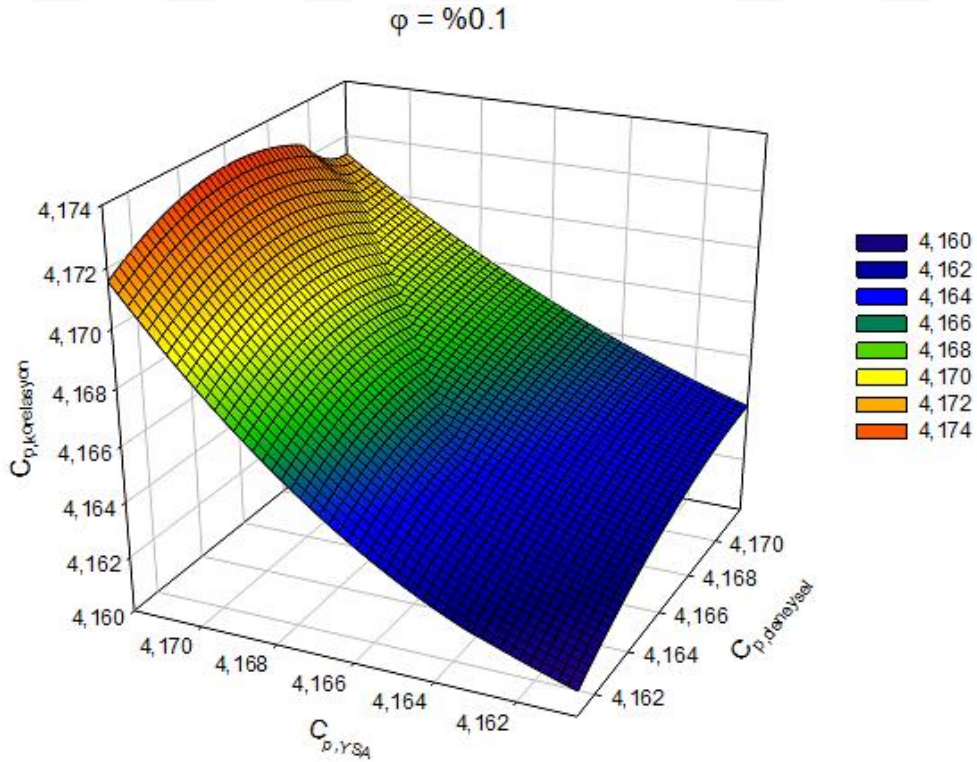
ekil 4.69. 0.0125'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması



ekil 4.70. 0.025'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması

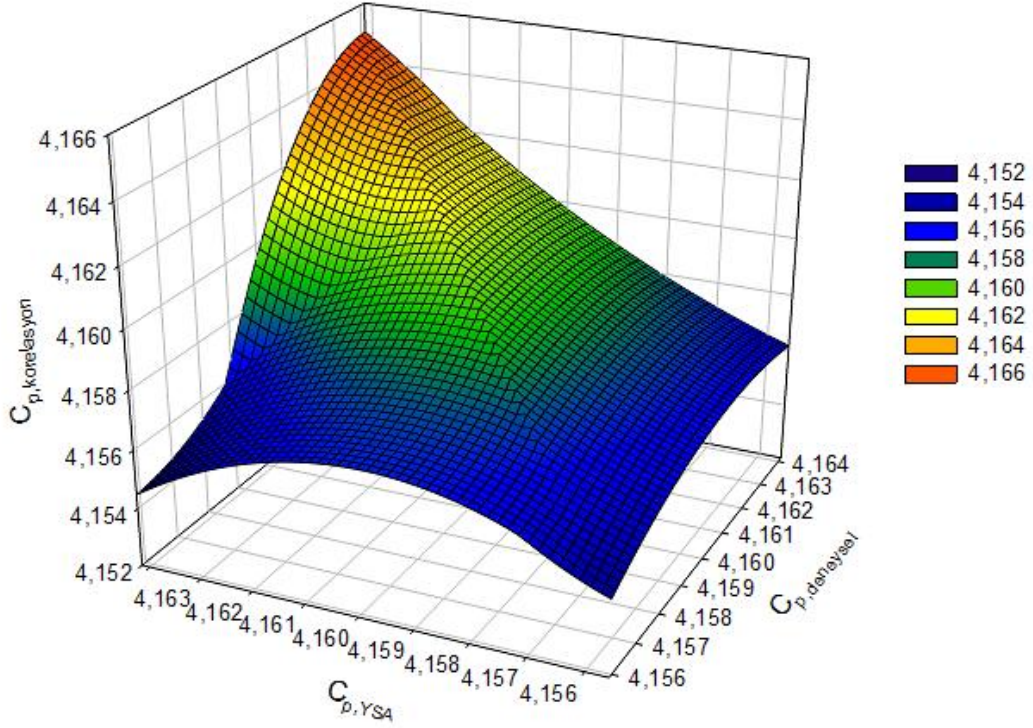


ekil 4.71. 0.05'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması



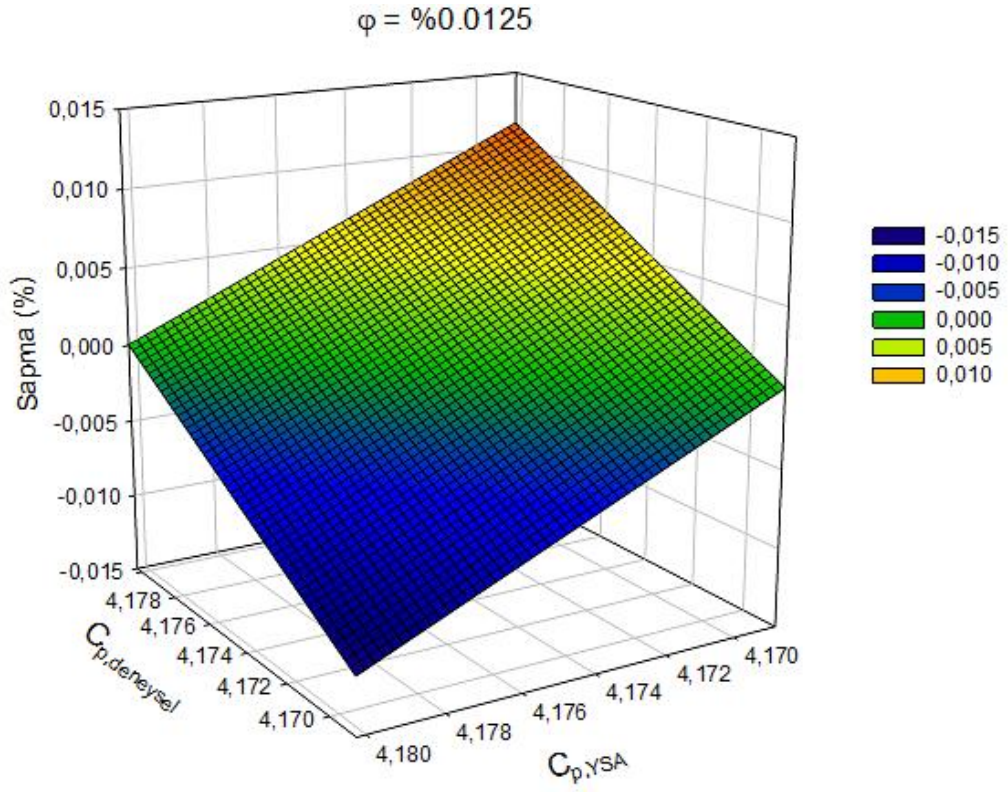
ekil 4.72. 0.1'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması

$$\varphi = \%0.2$$

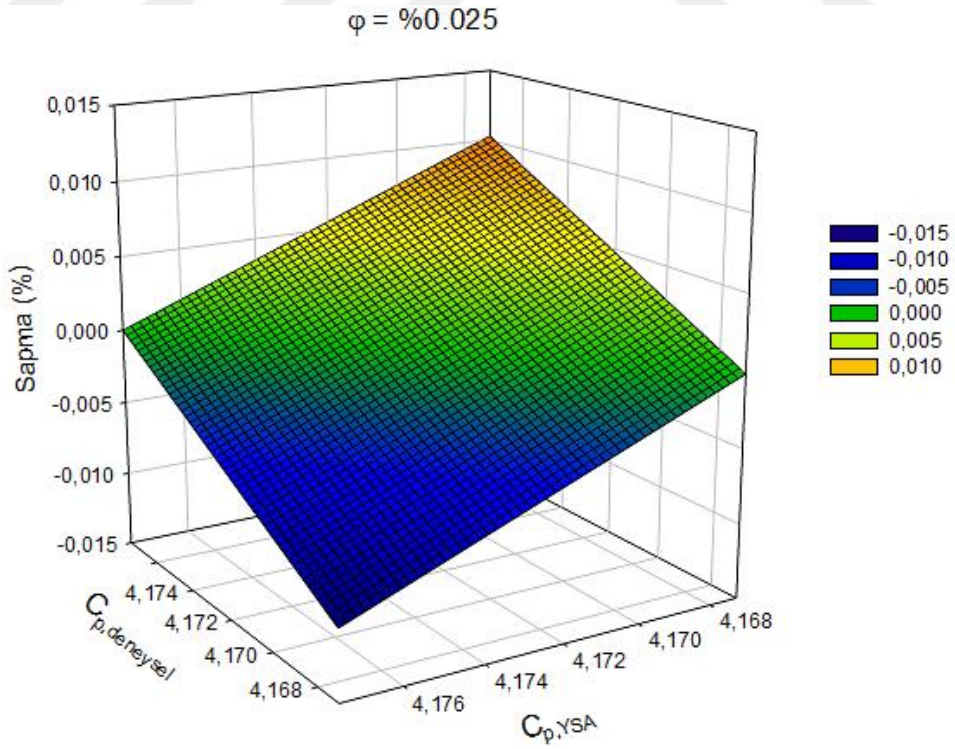


ekil 4.73. 0.2'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması

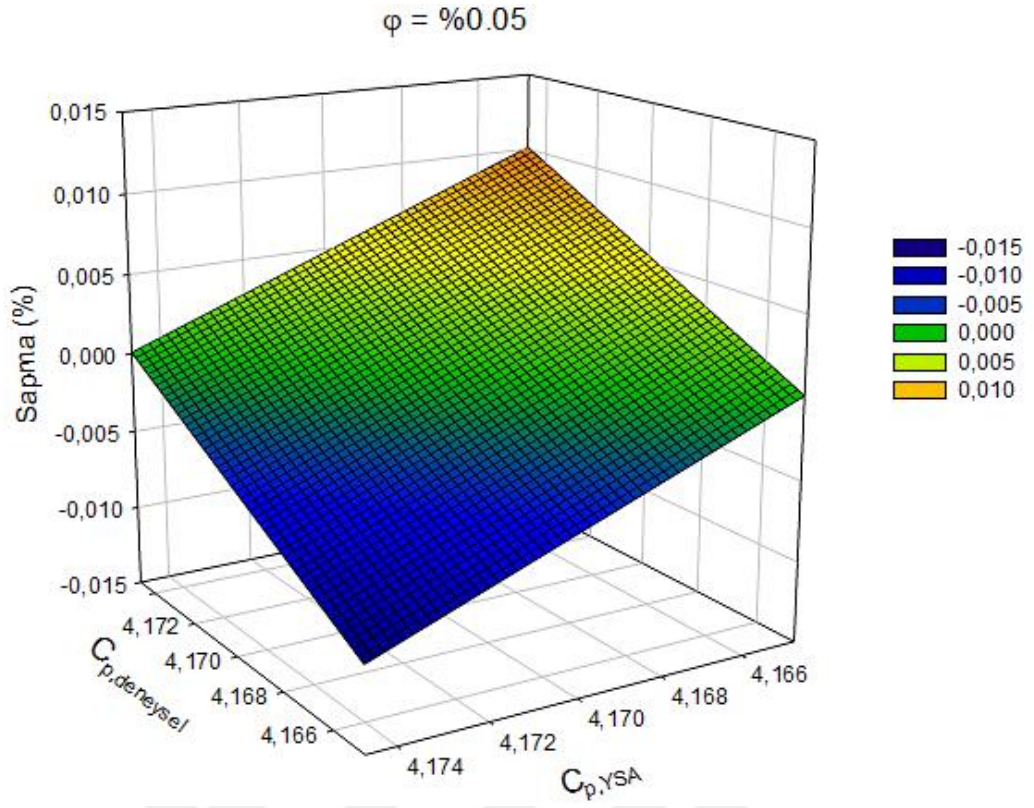
Al_2O_3-Cu/Su hibrit nanosivısının deneysel olarak ölçülmü özgül ısı de erleri ile, tasarlanmı olan yapay sinir a ı ve matematiksel korelasyondan elde edilen veriler arasındaki sapma miktarları de erlendirilerek, geli tirilmi olan yapay sinir a ı ve matematiksel modelin do ruluk oranları ara tırılmı tır. Elde edilen sonuçlar, yapay sinir a ının Al_2O_3-Cu/Su hibrit nanosivısının özgül ısısını $\%0.0096$ ile $-\%0.0024$ aralı nda ve ortalama $\%0.0007$ 'lik sapma ile tahmin etti ini, matematiksel korelasyonun ise Al_2O_3-Cu/Su hibrit nanosivısının özgül ısısını $\%0.313$ ile $-\%0.0192$ aralı nda ve ortalama $-\%0.0053$ 'lük sapma ile tahmin etti ini göstermi tir. ekil 4.74, ekil 4.75, ekil 4.76, ekil 4.77 ve ekil 4.78'de sırası ile 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.2'lik sabit hacimsel yo unluklarda, yapay sinir a ından ve geli tirilmi olan matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin sapma oranları üç boyutlu grafikler halinde gösterilmi tir.



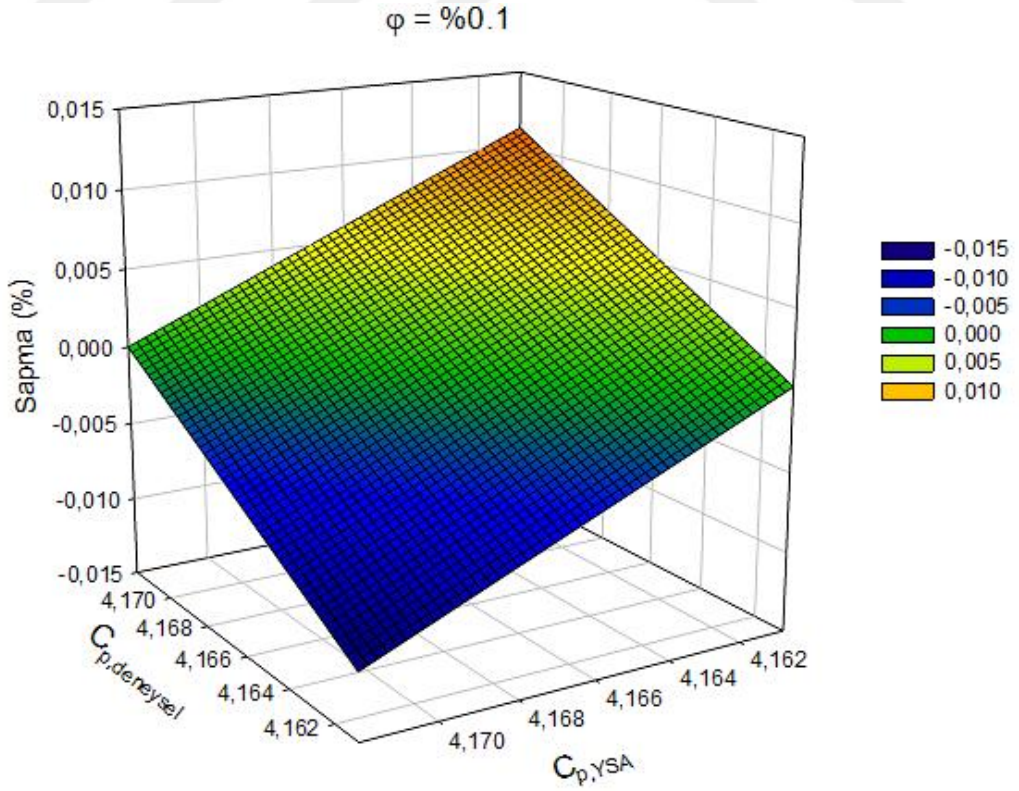
ekil 4.74. 0.0125 hacimsel yo unlukta sapma oranları



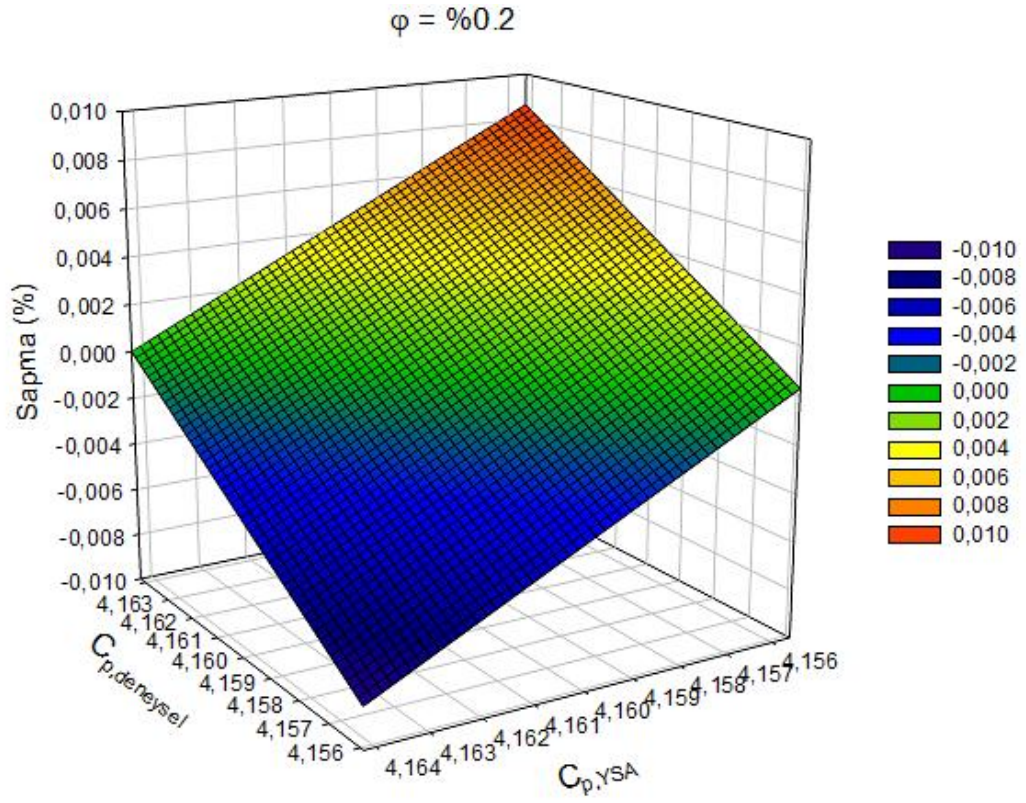
ekil 4.75. 0.025 hacimsel yo unlukta sapma oranları



ekil 4.76. 0.05 hacimsel yo unlukta sapma oranları

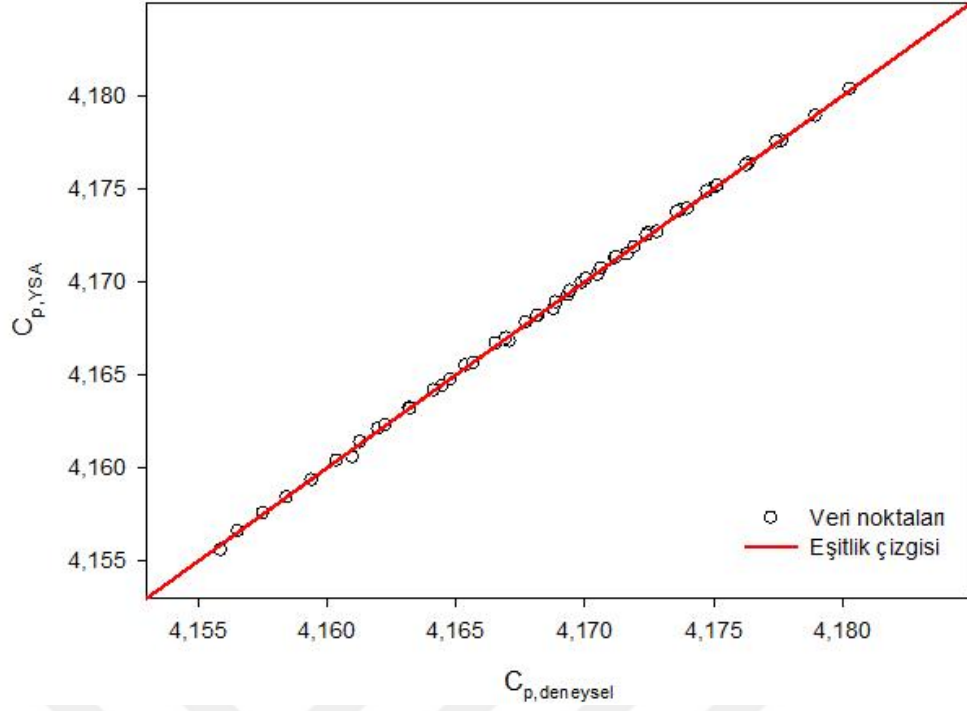


ekil 4.77. 0.1 hacimsel yo unlukta sapma oranları

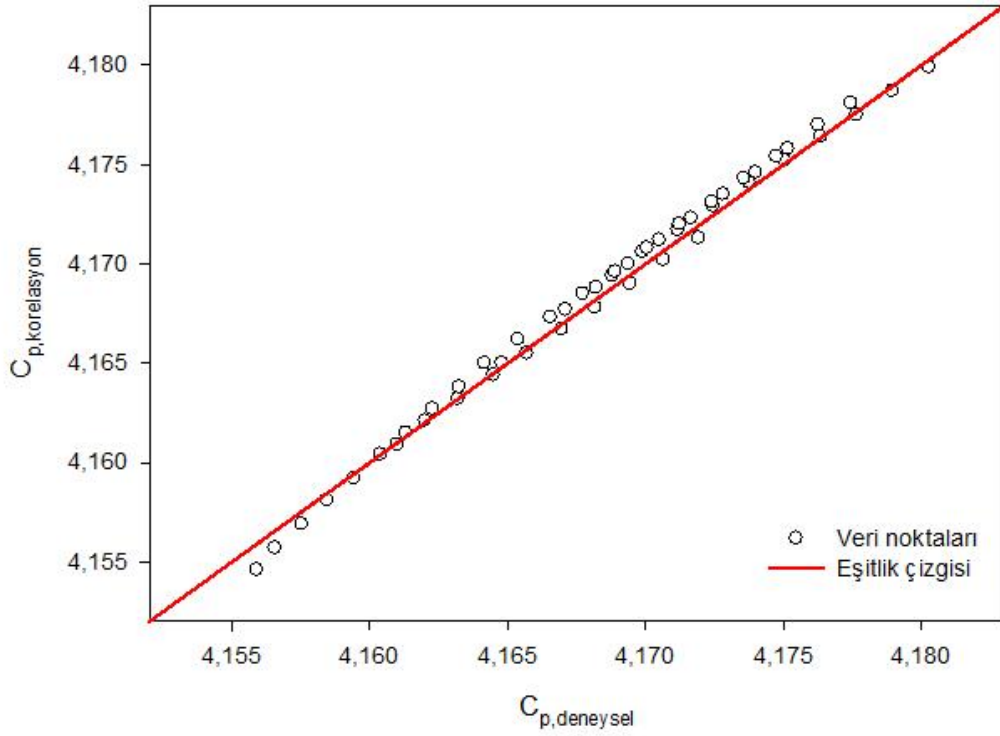


ekil 4.78. 0.2 hacimsel yo unlukta sapma oranları

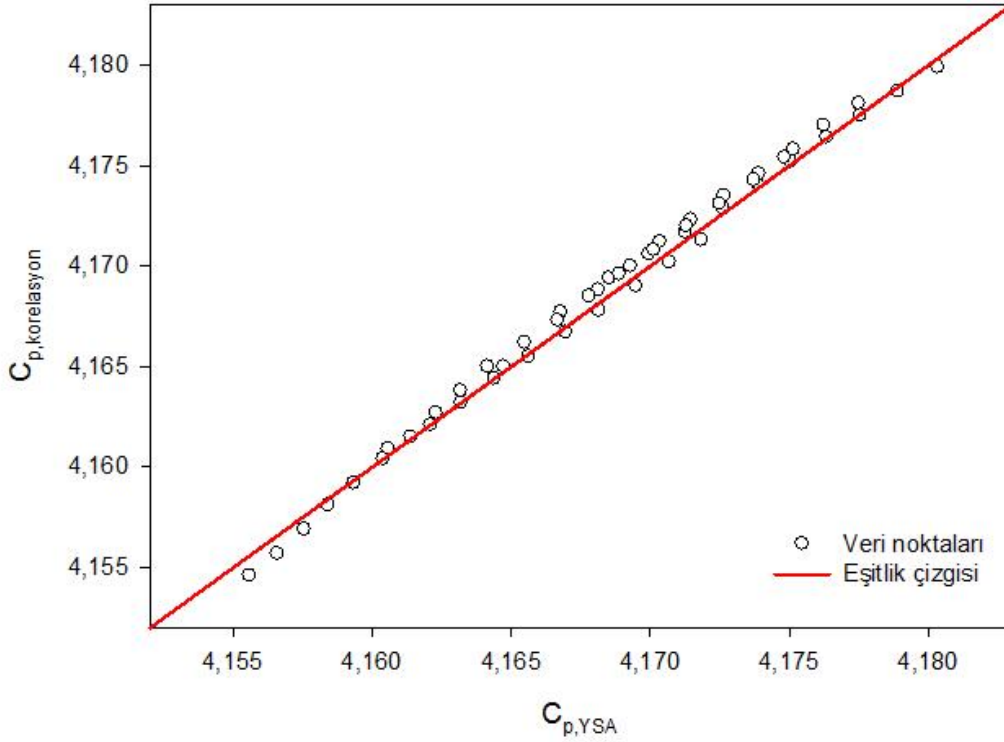
ekil 4.79, ekil 4.80 ve ekil 4.81'deki grafiklerde gösterilmi olan veri noktalarının, e itlik çizgisine olan yakınlıkları, geli tirilmi olan yapay sinir a mın ve türetilmi olan matematiksel korelasyonun do ru bir ekilde modellendi ini ve Al_2O_3-Cu/Su hibrit nanosıvısının özgül ısısını do ru bir ekilde tahmin edebileceklerini göstermektedir.



ekil 4.79. Deneysel özgül ısı verilerinin yapay sinir ağı verileri ile karşılaştırılması



ekil 4.80. Deneysel özgül ısı verilerinin korelasyon verileri ile karşılaştırılması



ekil 4.81. Yapay sinir a ından elde edilen de erlerin matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerle kar ıla tırılması

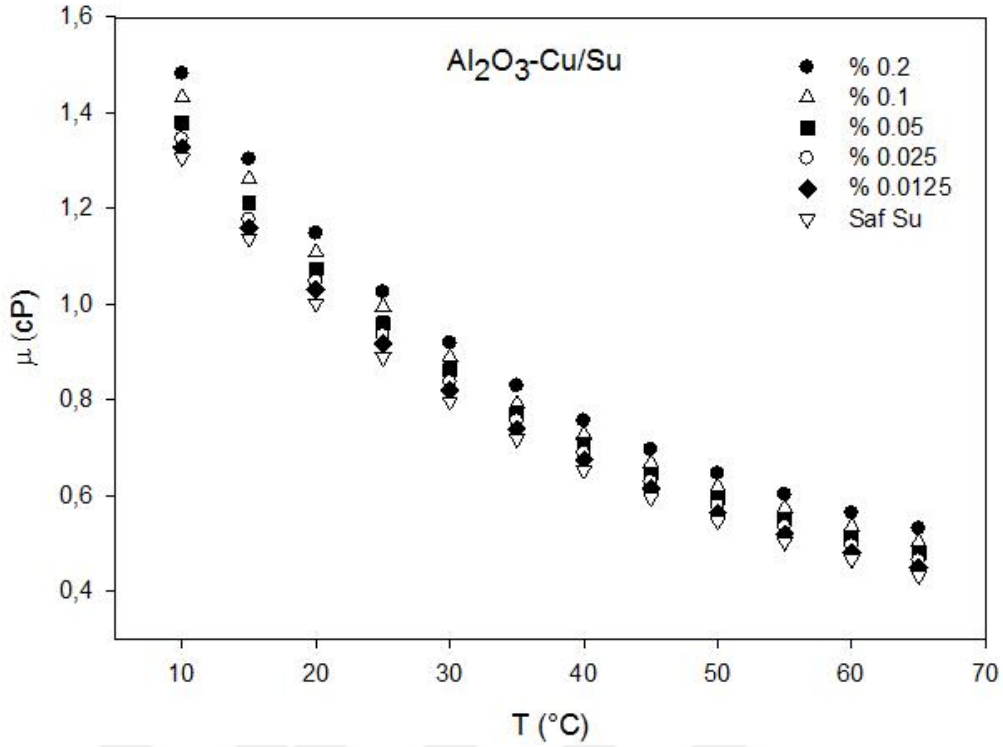
4.3 Viskozite

Hibrit nanosıvıların deneysel olarak ölçülen viskozite de erleri, Buongiorno (2006) ve Maiga vd. (2005) tarafından geli tirilen ve literatürde sıklıkla kullanılan a a ıdaki korelasyonlarla kar ıla tırılmı tır:

$$\mu_{hnf} = \mu_f(1+39.11 \phi + 533.9 \phi^2) \quad (4.12)$$

$$\mu_{hnf} = \mu_f(1+7.3 \phi + 123 \phi^2) \quad (4.13)$$

Be farklı hacimsel yo unlukta hazırlanmı olan hibrit nanosıvının, deneysel yolla viskozite ölçümünden elde edilen de erler öncelikle saf suyun viskozite de erleri ile kıyaslanmı tır. Viskozitenin sıcaklı a ba lı olarak de i imi incelendi inde, sıcaklı ın artmasıyla viskozitenin dü tü ü, bununla birlikte hacimsel yo unluk artı ıyla ise viskozitenin arttı ı gözlemlenmi tir. Saf su ile kıyaslandı ında her be hibrit nanosıvı viskozitesinin de tüm sıcaklık de erlerinde saf suyun viskozitesinden yüksek de erlere sahip oldu u tespit edilmi tir (ekil 4.82).

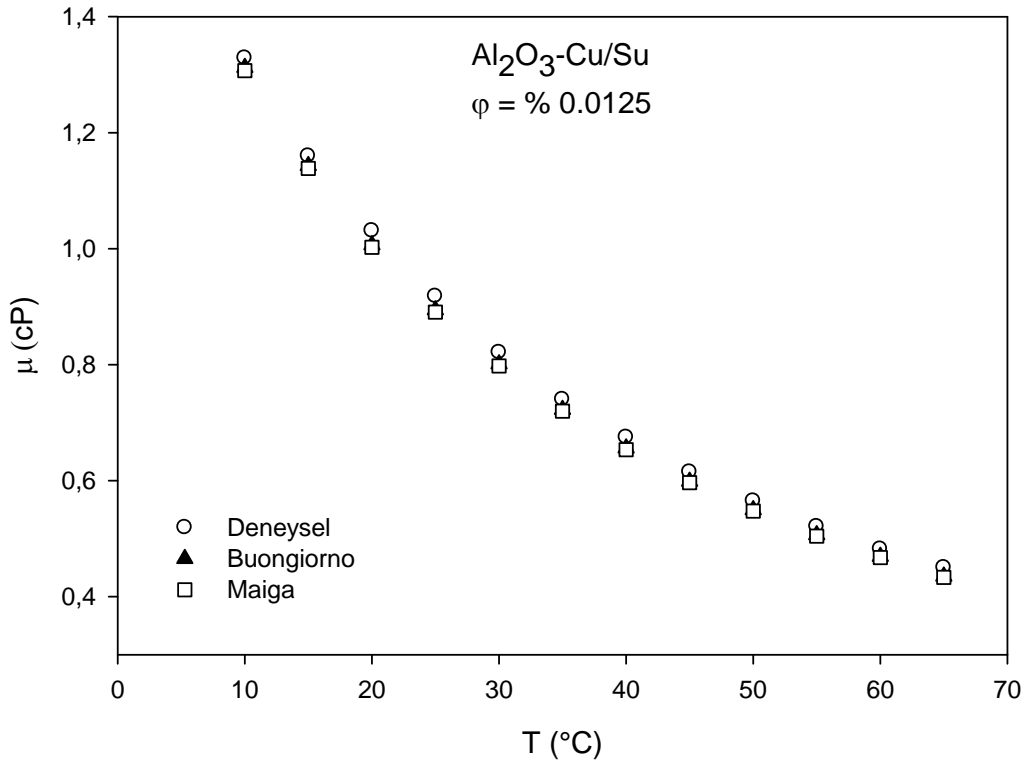


ekil 4.82. Viskozitenin sıcaklı a ba lı de i iminin saf su ile kar ıla tırılması

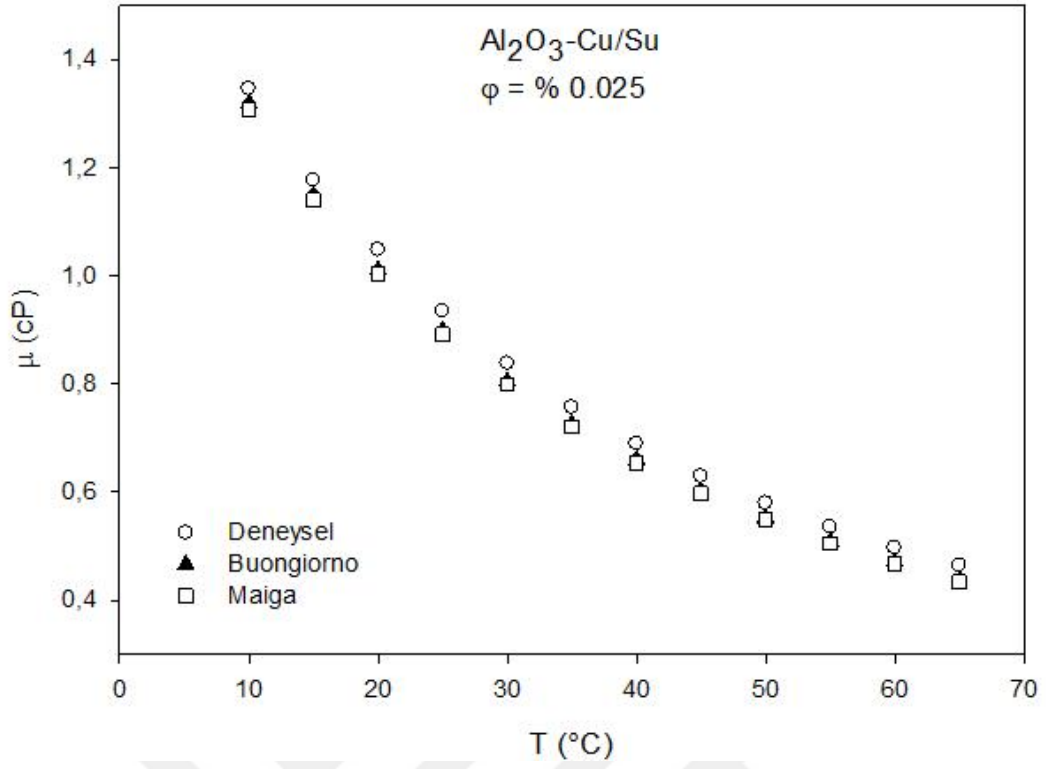
Deneysel yolla elde edilen viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı de i imi, literatürde sıklıkla kullanılan iki modelle kar ıla tırılmı tır. Nümerik modeller ve deneysel ölçümler neticesinde; viskozitenin sıcaklık artı ıyla birlikte azaldı ı, hacimsel yo unluk artı ıyla birlikte ise arttı ı sonucuna varılmı tır. Viskozitenin sıcaklı a ba lı olarak de i mesi, taban akı kan içerisinde bulunan nanopartiküller arası mekanizmaların etkisi ile birlikte nanopartikül molekülleri arasındaki yapı ma kuvveti sebebiyle meydana gelmektedir. Sıcaklık artı ıyla birlikte, moleküler yapı ma kuvvetlerinde meydana gelen dü ü , akmaya kar ı direncin azalmasına ve böylelikle viskozitede dü ü e neden olmaktadır. Sıcaklı ın artmasıyla nanopartiküller ve sıvı moleküllerin ısınması ve hareketlerine ba lı olarak, taban akı kanı ile nanopartiküller arasındaki mesafenin artı ı da akmaya kar ı direnci azaltarak viskozite azalmasına neden olmaktadır (Khodadadi vd., 2019).

Viskozite olu umu, hibrit nanosıvı içerisindeki nanopartiküller ve sıvı moleküller arasındaki etkile imlerin bir sonucu olarak meydana gelen kayma gerilimi nedeniyle meydana gelmektedir. Hacimsel yo unluktaki artı neticesinde, kayma gerilmesinin de artması sebebiyle viskozitede de artı gözlenmektedir. Bununla birlikte, hacimsel yo unluktaki artı la birlikte nanopartikül etrafındaki sıvıda meydana gelen hidrodinamik etkile imler ve nanopartiküllerin kümelenmesi (aglomerasyon) de

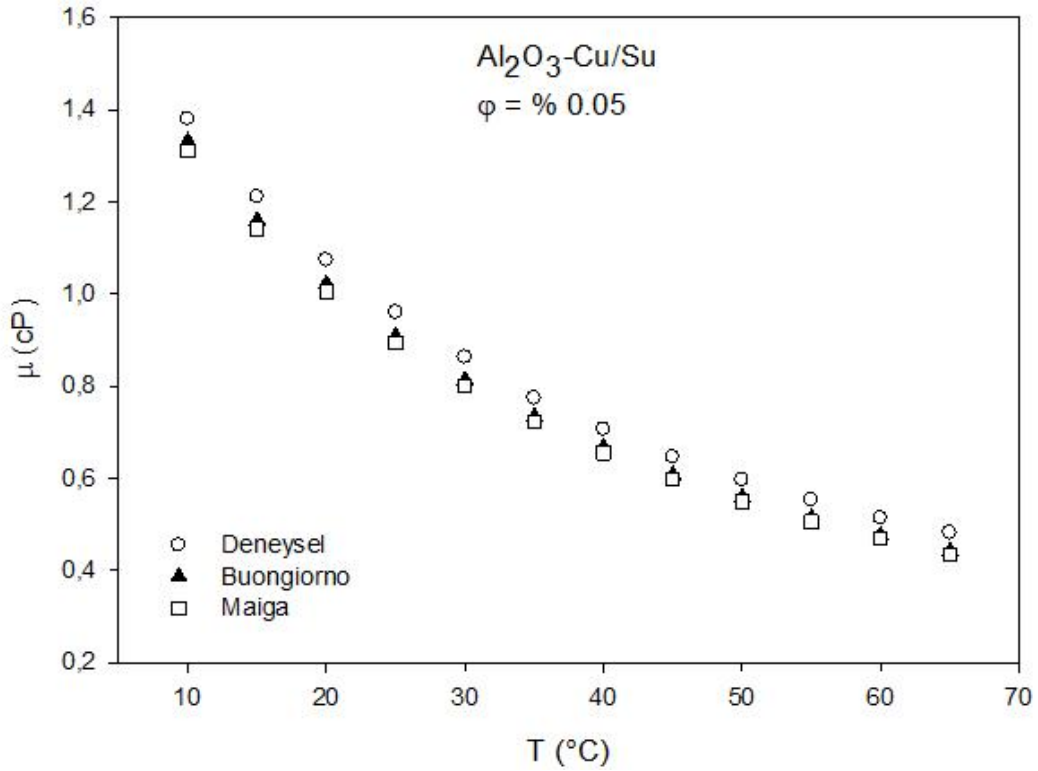
viskozitede artı a sebep olabilmektedir. ekil 4.83, ekil 4.84, ekil 4.85, ekil 4.86 ve ekil 4.87’de sırasıyla 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.2’lik hacimsel yo unluklardaki hibrit nanosıvıların, deneysel yolla ölçülen viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı olan de i imleri ve literatürde sıklıkla kullanılmı olan iki korelasyonla kar ıla tırması verilmi tir.



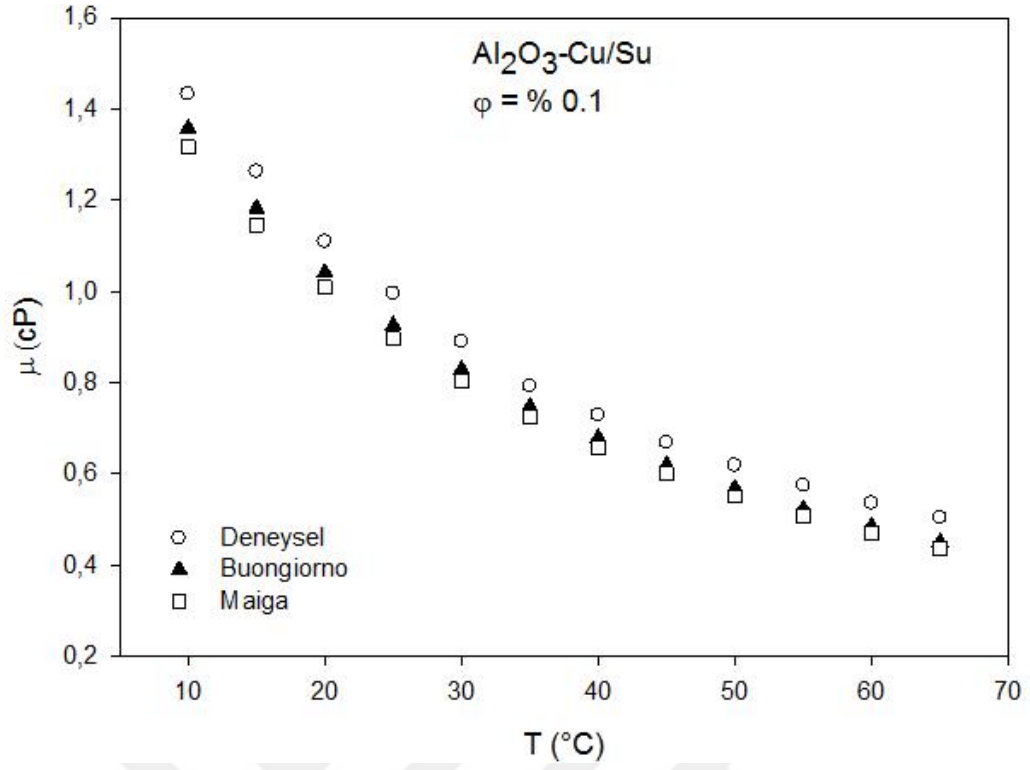
ekil 4.83. 0.0125 hacimsel yo unlukta viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması



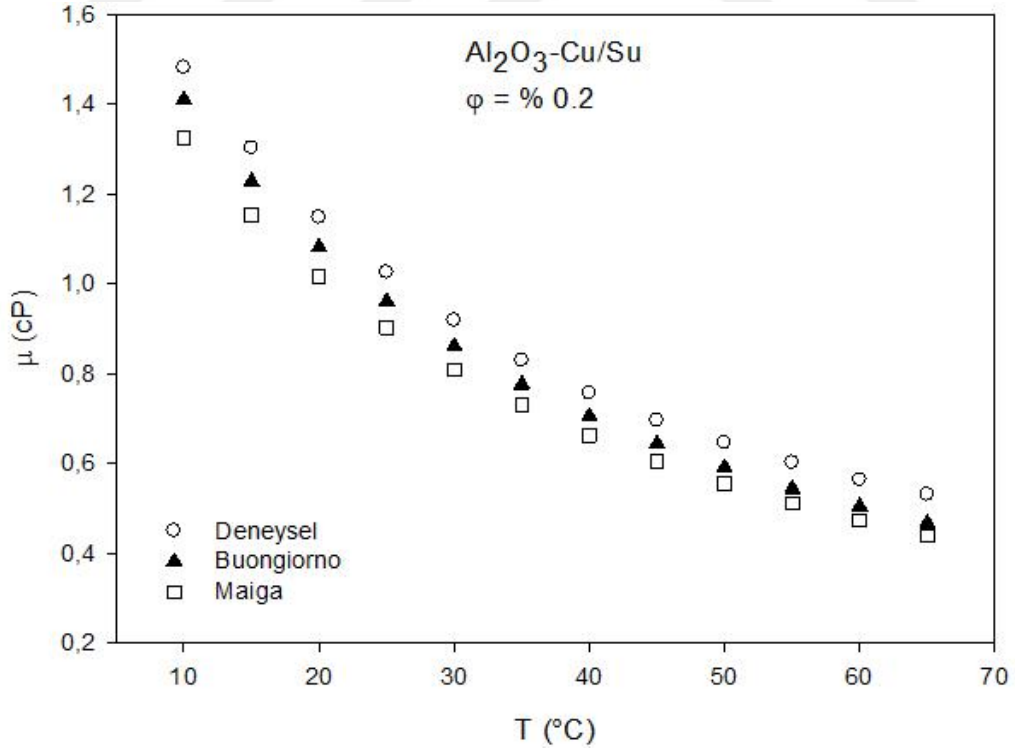
ekil 4.84. 0.025 hacimsel yo unlukta viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması



ekil 4.85. 0.05 hacimsel yo unlukta viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması

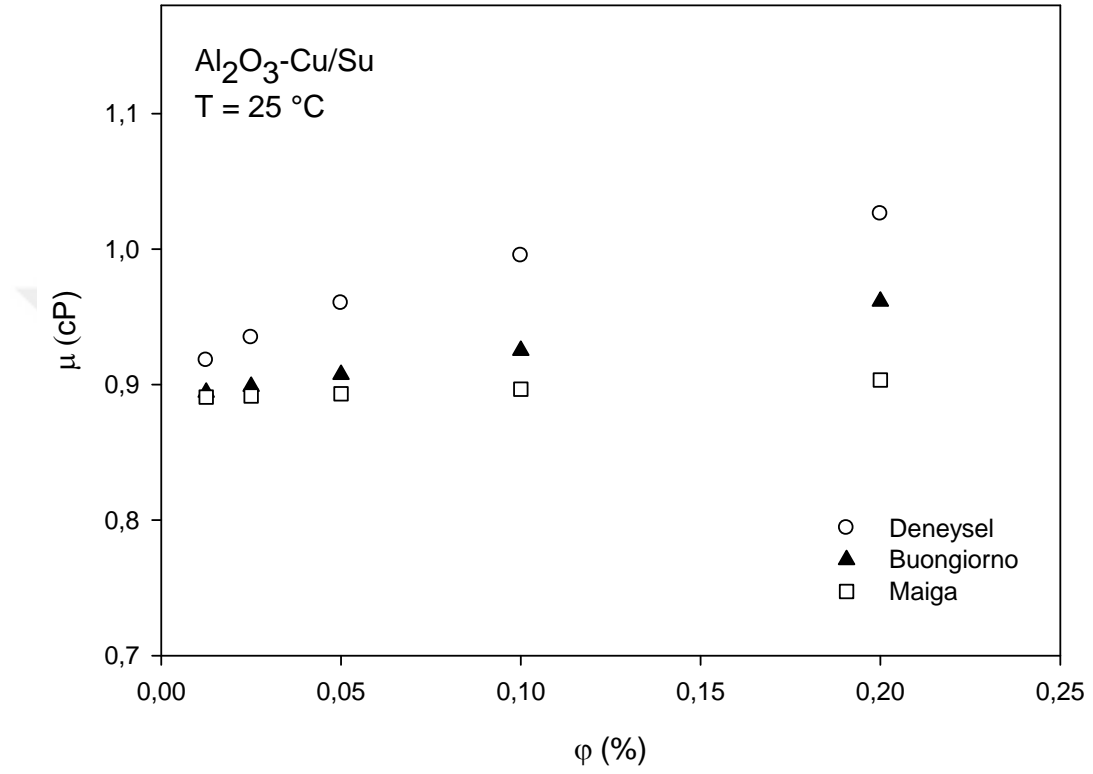


ekil 4.86. 0.1 hacimsel yo unlukta viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması

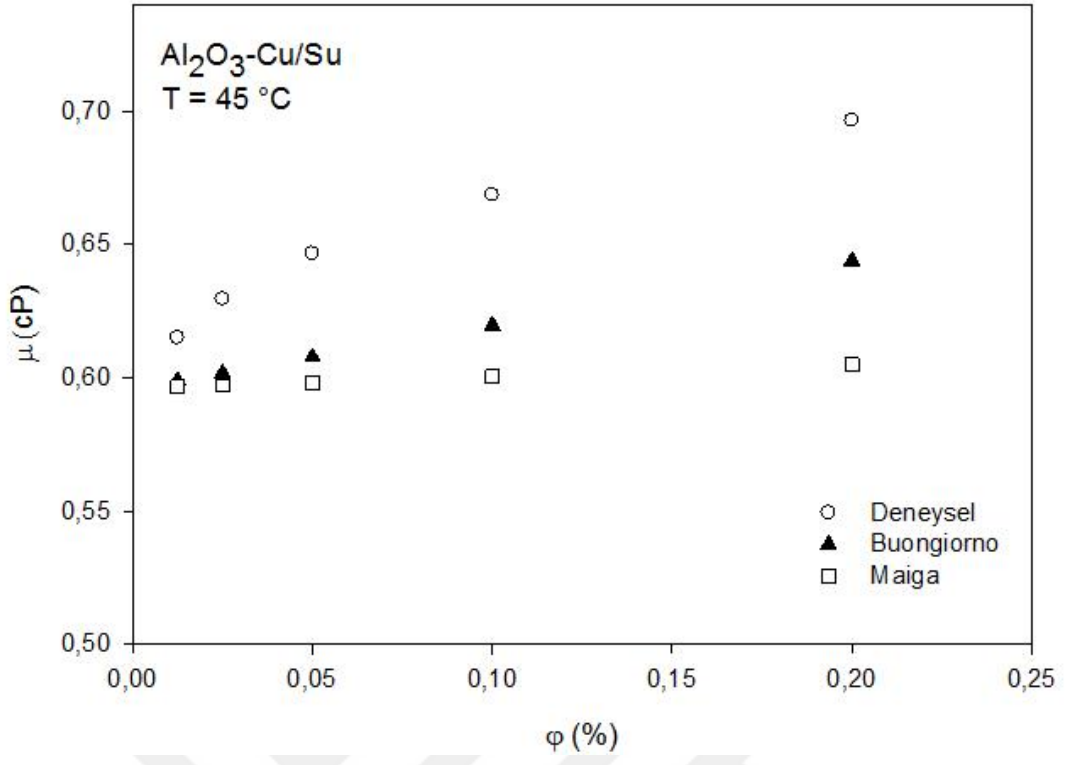


ekil 4.87. 0.2 hacimsel yo unlukta viskozite de erlerinin sıcaklı a ba lı de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması

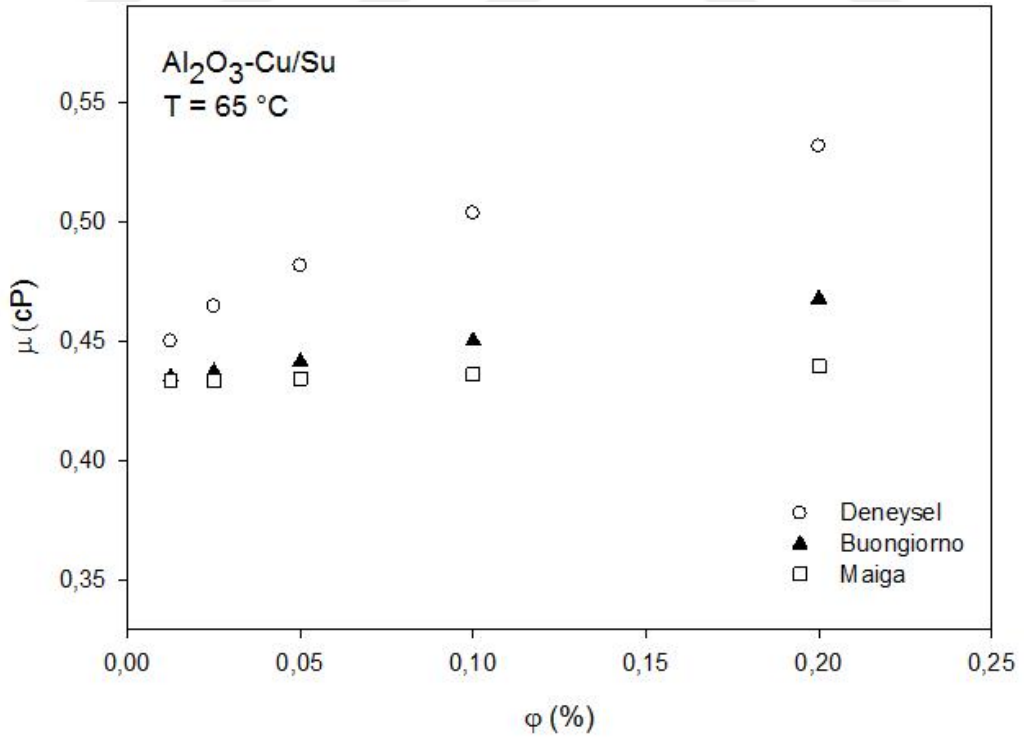
Sabit sıcaklıkta viskozitenin hacimsel yo unlu a göre de i imi incelendi inde; sabit sıcaklıkta hacimsel yo unluktaki artı la birlikte viskozite de erlerinde de artı görölmektedir. ekil 4.88, ekil 4.89 ve ekil 4.90'da sırasıyla 25, 45 ve 65 °C'lik sabit sıcaklıklarda viskozite de erlerinin hacimsel yo unlu a göre de i imi ve model korelasyonlardan elde edilen verilerle kar ıla tırması görölmektedir.



ekil 4.88. Viskozitenin 25 °C'de hacimsel yo unlu a göre de i imi ve model korelasyonlarla kar ıla tırması

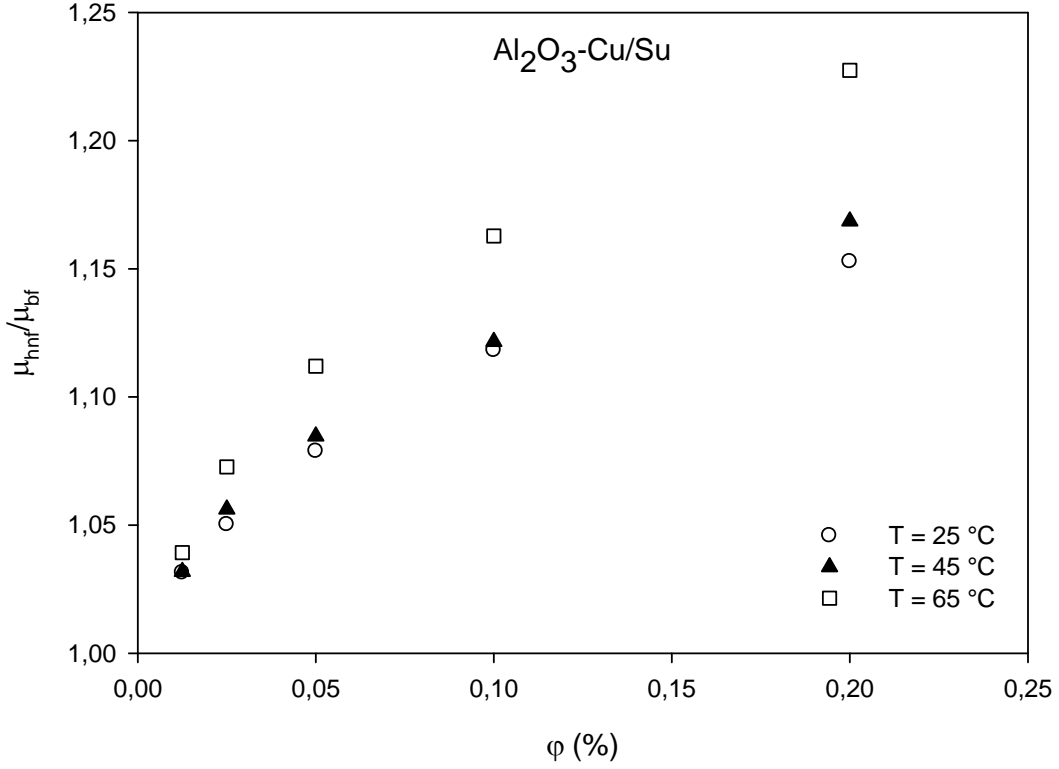


ekil 4.89. Viskozitenin 45 °C'de hacimsel yoğunluğa göre deneysel ve model korelasyonlarla karşılaştırması



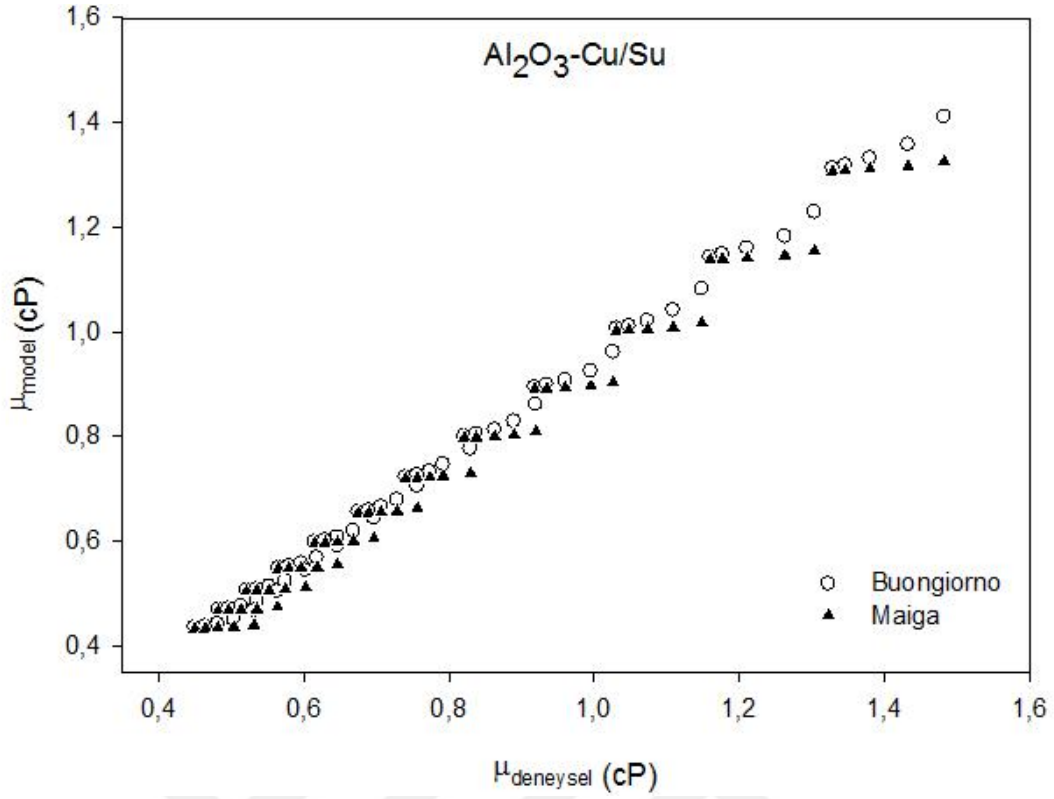
ekil 4.90. Viskozitenin 65 °C'de hacimsel yoğunluğa göre deneysel ve model korelasyonlarla karşılaştırması

Viskozite oranının (μ_{hnf}/μ_{bf}) hacimsel yo unlu a ba lı olarak de i iminde ise, hacimsel yo unluk ve sıcaklıktaki artı la birlikte viskozite oranında da artı görüldü ü sonucuna ula ılmı tır. ekil 4.91’de viskozite oranının, hacimsel yo unlu a ba lı olarak de i imi gösterilmi tir.

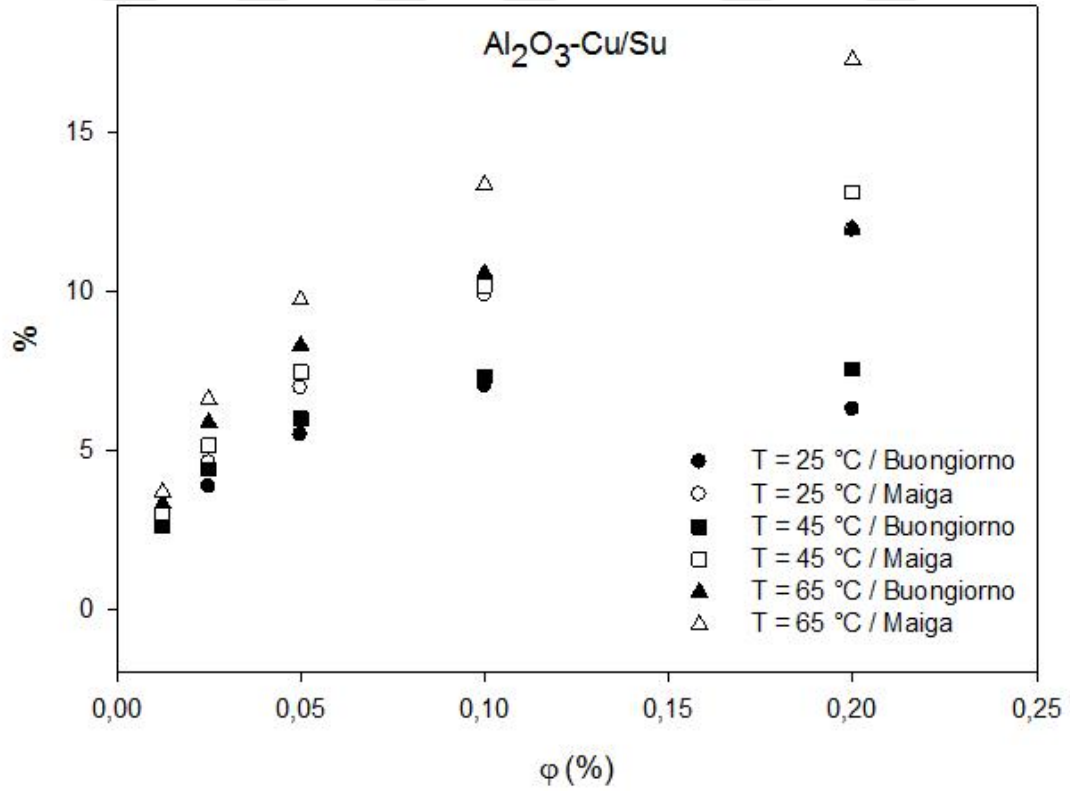


ekil 4.91. Viskozite oranının sabit sıcaklıkta hacimsel yo unlu a ba lı olarak de i imi

Deneysel verilerden elde edilen sonuçlar, her iki model ile %2.57 ile %17.3 aralı nda de i en oranlarda uyumlu çıkmı tır. Deney sonuçları, Maiga tarafından önerilen korelasyonlara kıyasla Buongiorno tarafından önerilen korelasyonlara daha fazla uyumlu olmu tur. Hacimsel yo unluk artı ı ile birlikte her iki model korelasyonları ile olan uyumluluk azalmı tır. ekil 4.92’de deney sonuçlarının model korelasyonları ile uyumlulu u ve ekil 4.93’de ise 25, 45 ve 65 °C sabit sıcaklıklarda deneysel verilerin model korelasyonları ile yüzdesel hata miktarları görülmektedir.



ekil 4.92. Deneysel viskozite verilerinin model korelasyonları ile uyumlulu u



ekil 4.93. Deneysel viskozite verilerinin sabit sıcaklıkta model korelasyon verileri ile yüzdesel hata miktarları

Deneysel çalı malardan elde edilmi olan Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının viskozite de erleri kullanılarak, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının viskozitesinin sıcaklık ve hacimsel yo unlu a ba lı olarak tahmin edilmesi amacıyla, küçük kareler metodu kullanılarak geli tirilmi olan matematiksel korelasyon a a ıda verilmi tir :

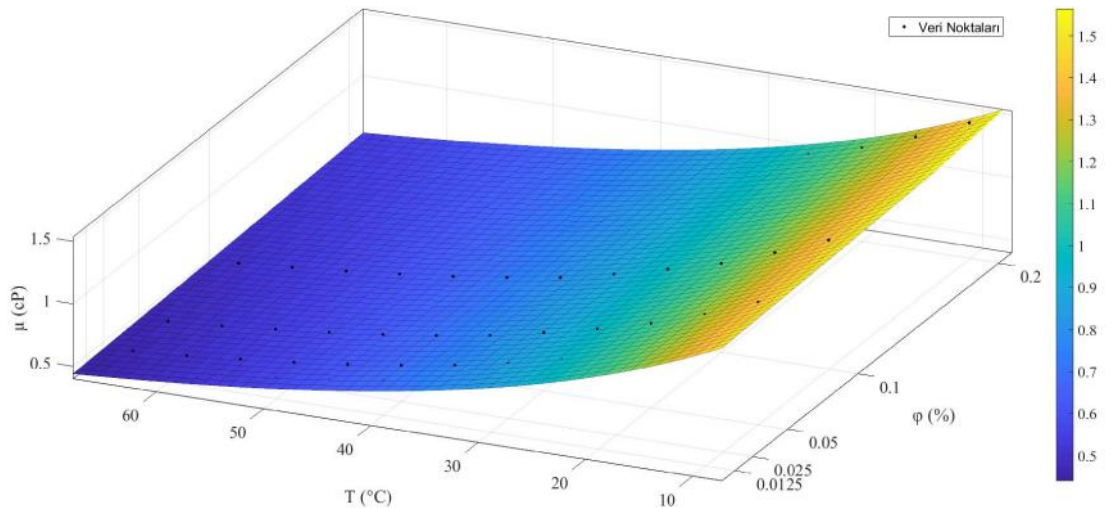
$$\mu = A \exp(-B T) + C \exp(-D \varphi) \quad (4.14)$$

Geli tirilmi olan korelasyonda kullanılmı olan sabitler, Çizelge 4.5’de verilmi tir.

Çizelge 4.5. Korelasyon sabitleri

Nanosıvı	Katsayılar				Maksimum Hata	Ortalama Hata
	A	B	C	D		
Al_2O_3 -Cu/Su	1.499	0.03399	0.2881	-1.481	%1.13	%0.02

ekil 4.94’de gösterilmi olan viskozite korelasyonunun yüzey grafi inde, deneysel veri noktalarının, tek bir katman üzerinde yer alması ve bununla birlikte, korelasyona ait R^2 de erinin 0.9976 olarak elde edilmi olması, geli tirilmi olan korelasyonun, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının viskozitesini hacimsel yo unluk ve sıcaklı a ba lı olarak do rulukla hesaplayabilece inin do rulanması olarak de erlendirilebilir.

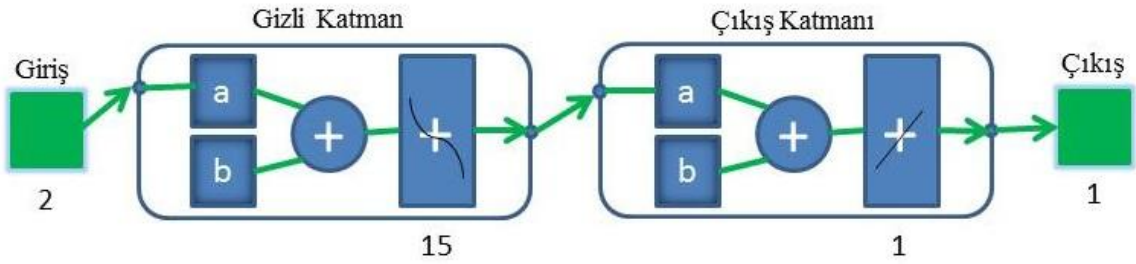


ekil 4.94. Viskozite korelasyonunun yüzey grafi i

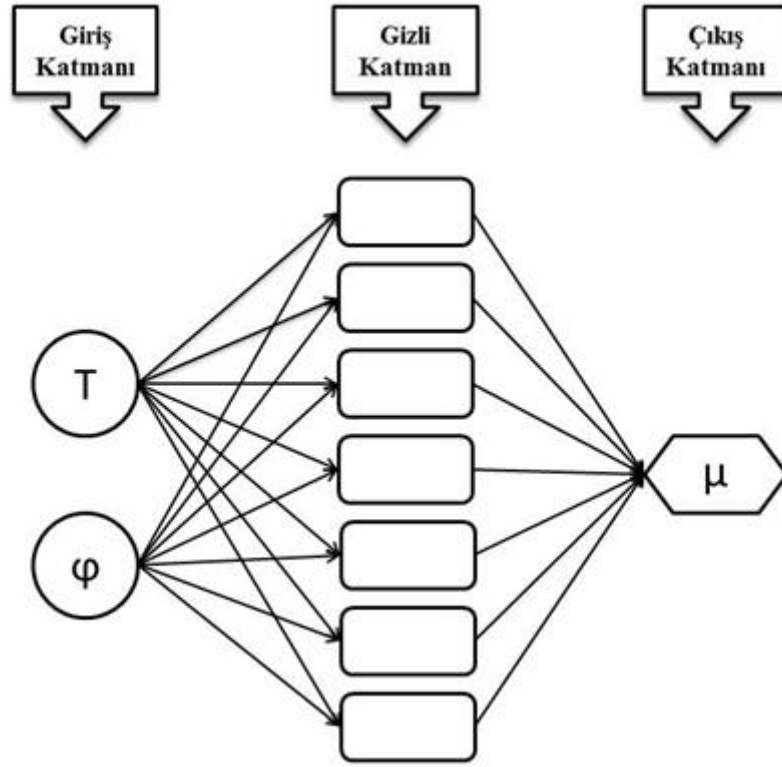
Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin viskozite değerlerinin tahmin edilmesi için, deneysel yolla elde edilmiş olan 60 adet veri kullanılarak, çok katmanlı, ileri beslemeli bir yapay sinir ağı geliştirilmiştir. Gizli katmanında 15 nöron olacak şekilde dizayn edilmiş olan bu yapay sinir ağında, giriş denklemleri olarak sıcaklık ve hacimsel yoğunluk seçilmiş ve bu modelle Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin viskozite değerlerinin tahmin edilmesi sağlanmıştır. Geliştirilmiş olan yapay sinir ağının veri seti üç bölüme ayrılmıştır. Bu veri setinin 42 tanesi (%70) yapay sinir ağının eğitiminde, 12 tanesi (%20) doğrulamasında ve 6 tanesi (%10) ise test edilmesinde kullanılmıştır. Yapay sinir ağında kullanılan veri miktarları ve ağ performansı Çizelge 4.6'da verilmiş olup, geliştirilen yapay sinir ağının temel yapısı Şekil 4.95'de ve yapay sinir ağının konfigürasyon topolojisi ise Şekil 4.96'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Yapay sinir ağı verileri

	Veri Sayısı	MSE	R
Eğitim	42	7.36282e-5	0.9997
Doğrulama	12	3.56258e-4	0.99867
Test	6	6.01588e-4	0.99641

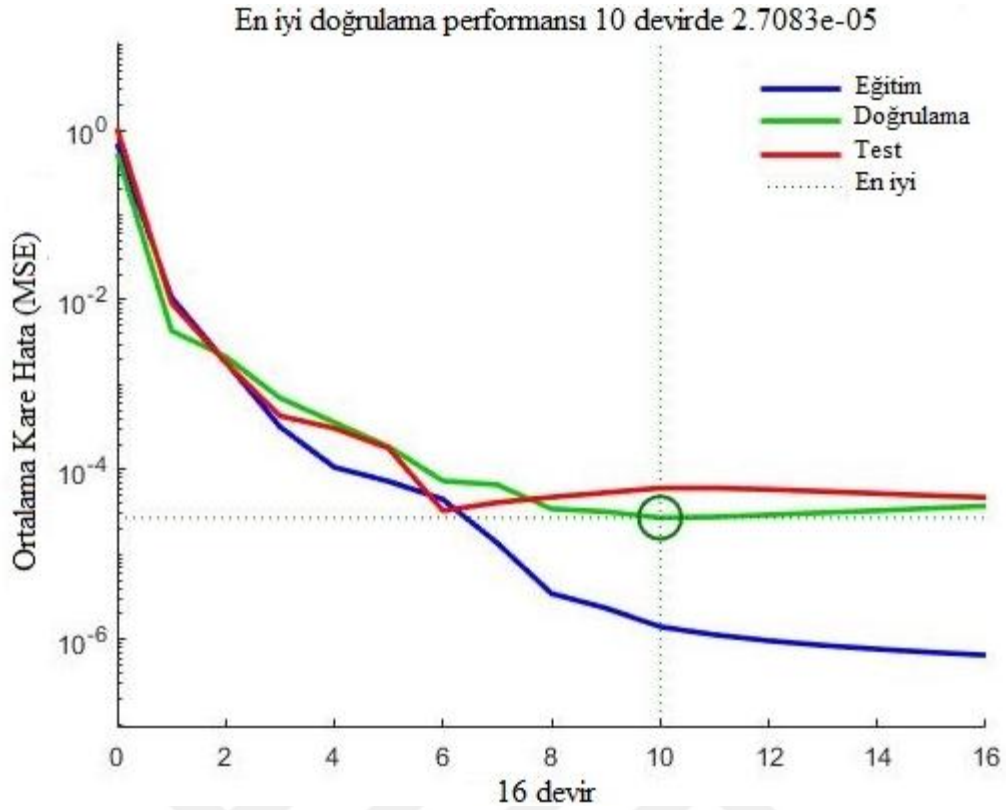


Şekil 4.95. Yapay sinir ağının temel yapısı



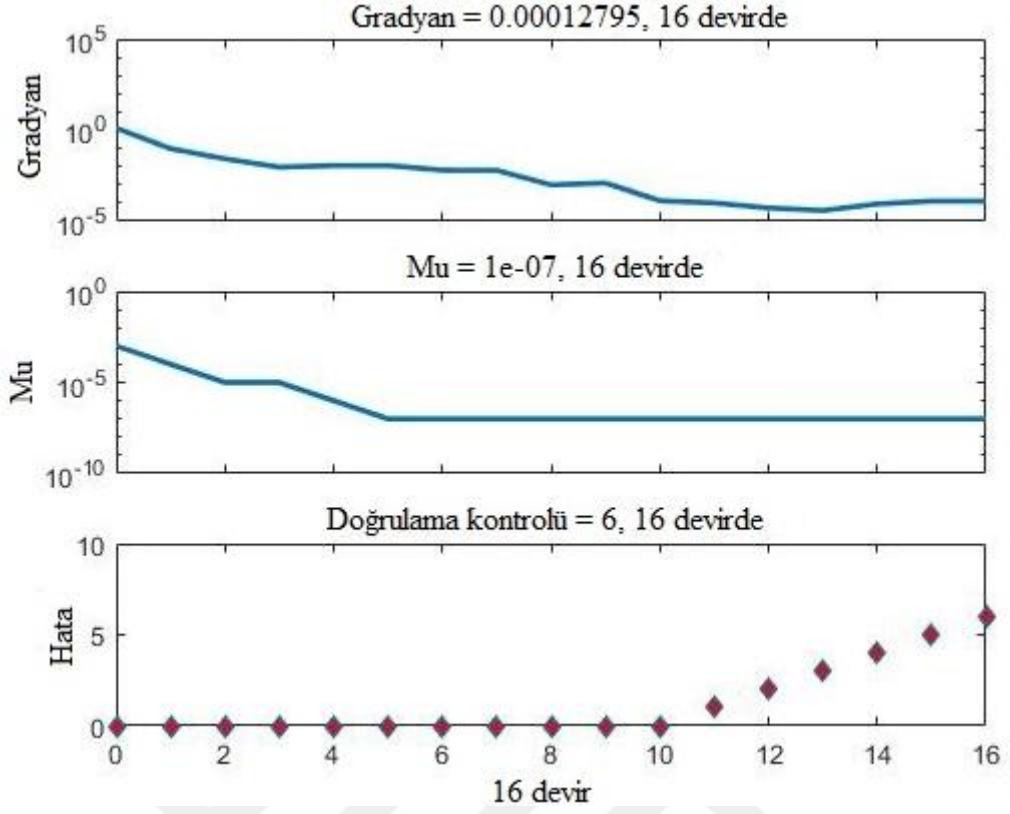
ekil 4.96. Yapay sinir a ının konfigürasyon topolojisi

Geliştirilmiş olan yapay sinir a ından elde edilen deneysel veriler ile Al_2O_3-Cu/Su hibrit nanosivisinin deneysel yolla elde edilmiş olan viskozite değerleri arasındaki sapmanın grafiği ekil 4.97’de verilmiştir. Yapay sinir a ının eğitim aşamasının başlangıcında yüksek olan MSE değeri, eğitim ilerleyen aşamasındaki 10. devirde en iyi sonuca ulaşmıştır. Azalmakta olan MSE değerinin 10. devirin sonunda en düşük MSE değeri olan $2.7083e-05$ ’e ulaşması, geliştirilmiş olan yapay sinir a ı modelinin eğitim, doğrulama ve test amaçlarının ideal bir şekilde gerçekleştirilmesi ve modelin doğru tasarlandığının göstergesidir.



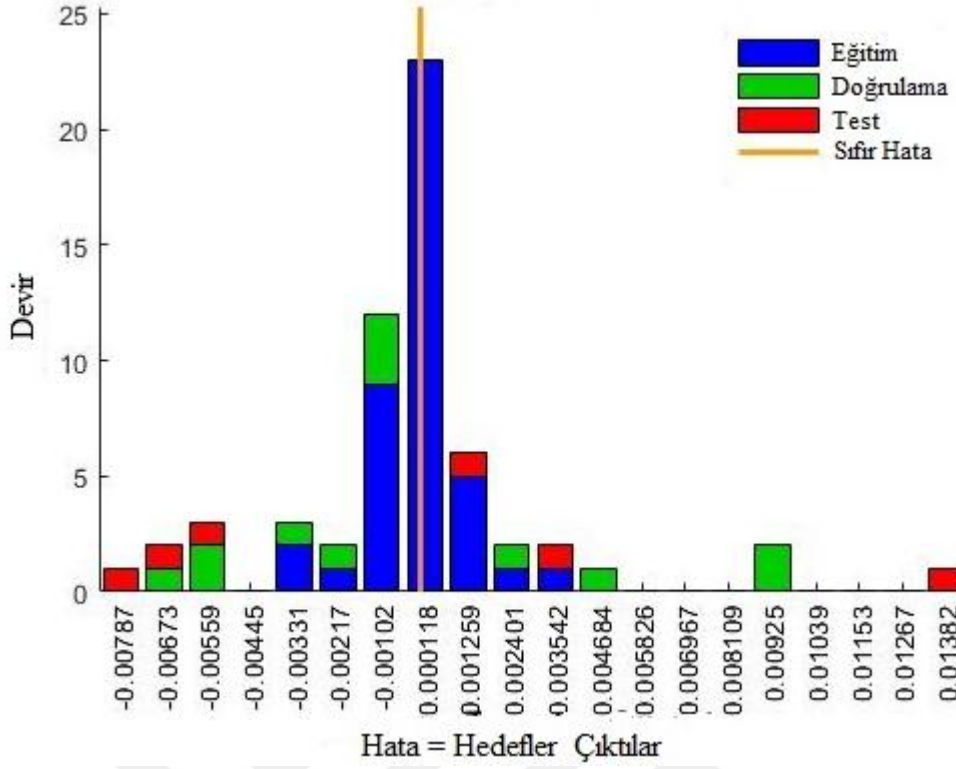
ekil 4.97. Yapay sinir a ının performans grafi i

ekil 4.98'de, geli tirilmi olan yapay sinir a ının e itim durumu gösterilmektedir. Hatalar 10. devirden sonra 6 defa tekrarlanmı ve 16. devirde durdurulmu tur. Bu hata, 10. devirden ba layarak tekrarlanan verilerin uyumunun gayet güzel oldu unun göstergesidir. Bu sebeple, 10. devir, taban olarak seçilmekle birlikte a ırlıkları, nihai a ırlıklar olarak seçilmi tir. Ayrıca, i lemin durdurulmasından önce 6 kez tekrarlanan hatalar nedeniyle do rulama i leminin de 6'ya e it oldu u görülmektedir.



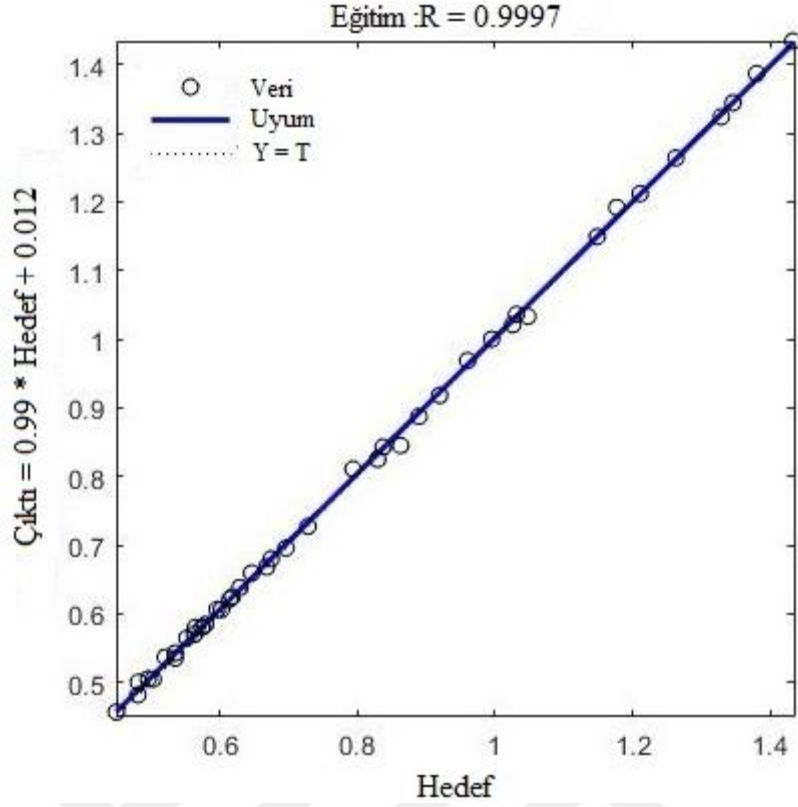
ekil 4.98. Yapay sinir a 1 modelinin e itim durumu

ekil 4.99'da, geli tirilmi olan yapay sinir a nın e itim, do rulama ve test a amalarının hata histogramı verilmi tir. Grafikteki hata da ılımının sıfır çizgisi etrafında da ılması, geli tirilmi olan yapay sinir a nın, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının viskozitesini ideal do ruluk oranı ile tahmin edebilece i anlamına gelmektedir.



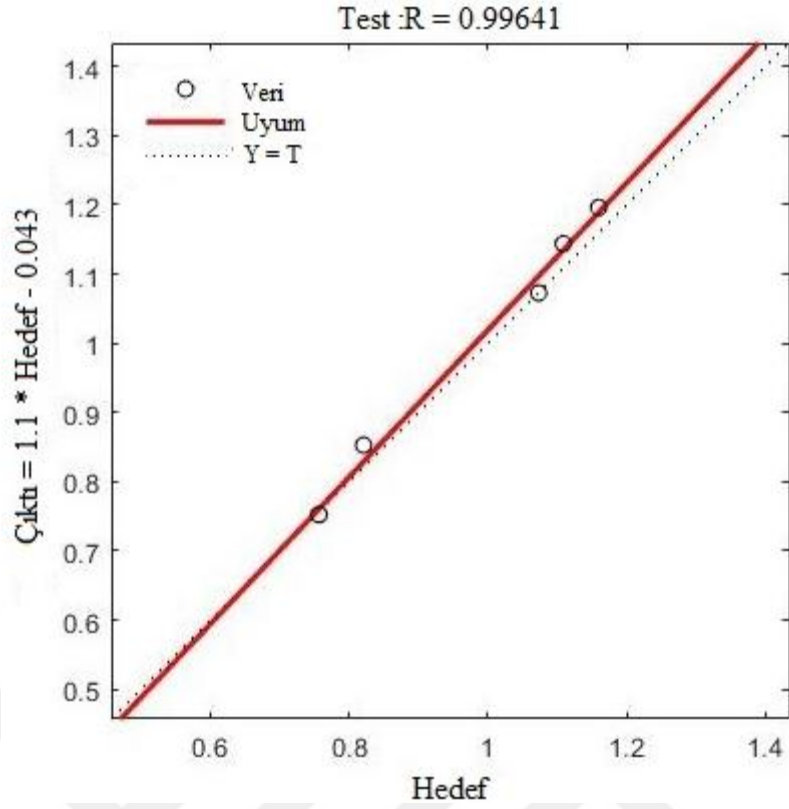
ekil 4.99. Hata histogram grafi i

ekil 4.100'de, geli tirilmi olan yapay sinir a mın e itim veri seti ile deneysel sonuçların kar ıla tırılması gösterilmi tir. Deneysel veriler ile uyumlu olan e itim verilerinin uyumluluk çizgisi civarında konumlanmı olması ve R de erinin 0.9997 olarak elde edilmesi, tasarlanmı olan yapay sinir a mın e itim sürecinin ideal do ruluk ve hassasiyetle tamamlandı ını do rulamaktadır.



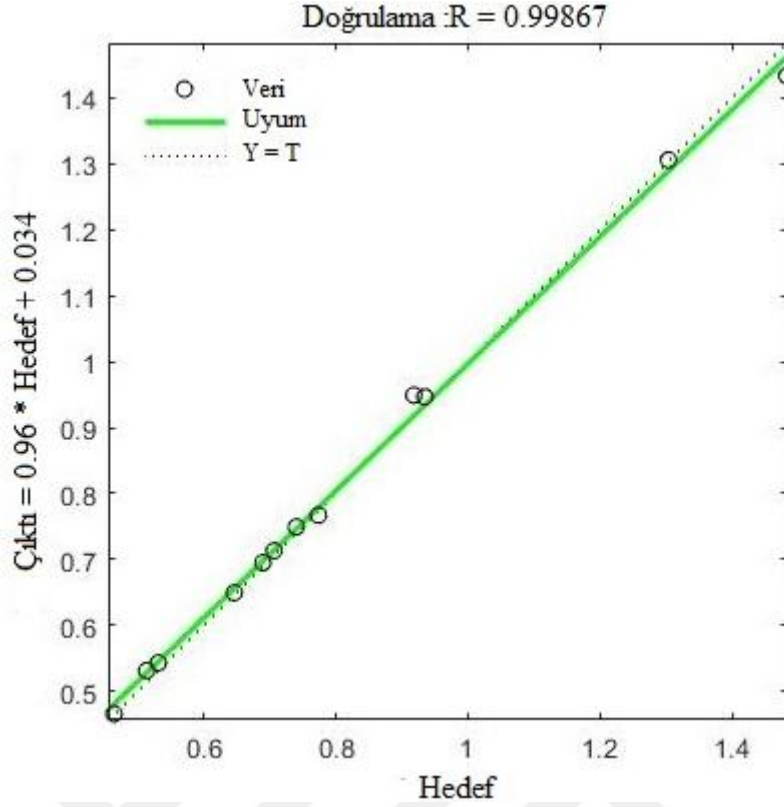
ekil 4.100. Eğitim veri performansı

ekil 4.101’de geliştirilmiş olan yapay sinir ağının test veri seti ile deneysel sonuçların karşılaştırılması gösterilmiştir. Verilerin, uyumluluk çizgisi yakınında konumlanması ve R değerinin 0.99641 olarak hesaplanması, yapay sinir ağının ideal performansta tasarlandığını ve test sürecinin doğru bir şekilde tamamlandığını kanıtlamaktadır.



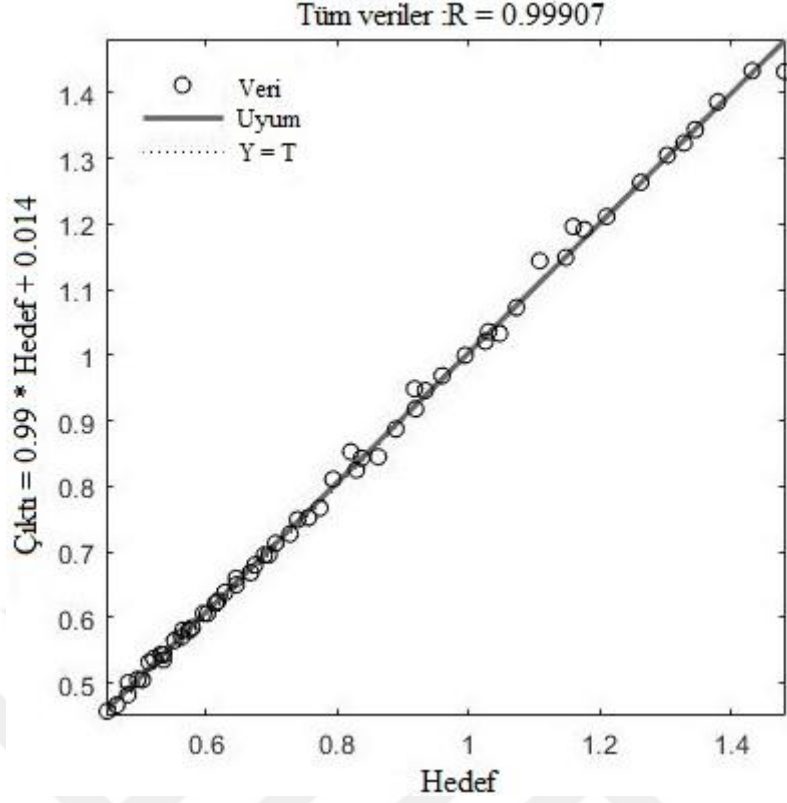
ekil 4.101. Test veri performansı

ekil 4.102’de dizayn edilmi olan yapay sinir a 1 modelinin do rulama sonuçları gösterilmektedir. 12 adetlik verinin kullanıldı ı do rulama veri setinde, R de erinin 0.99867 olarak elde edilmesi, yapay sinir a 1 modellemesinin ideal olarak yapıldı mın ifadesi olarak de erlendirilmektedir.

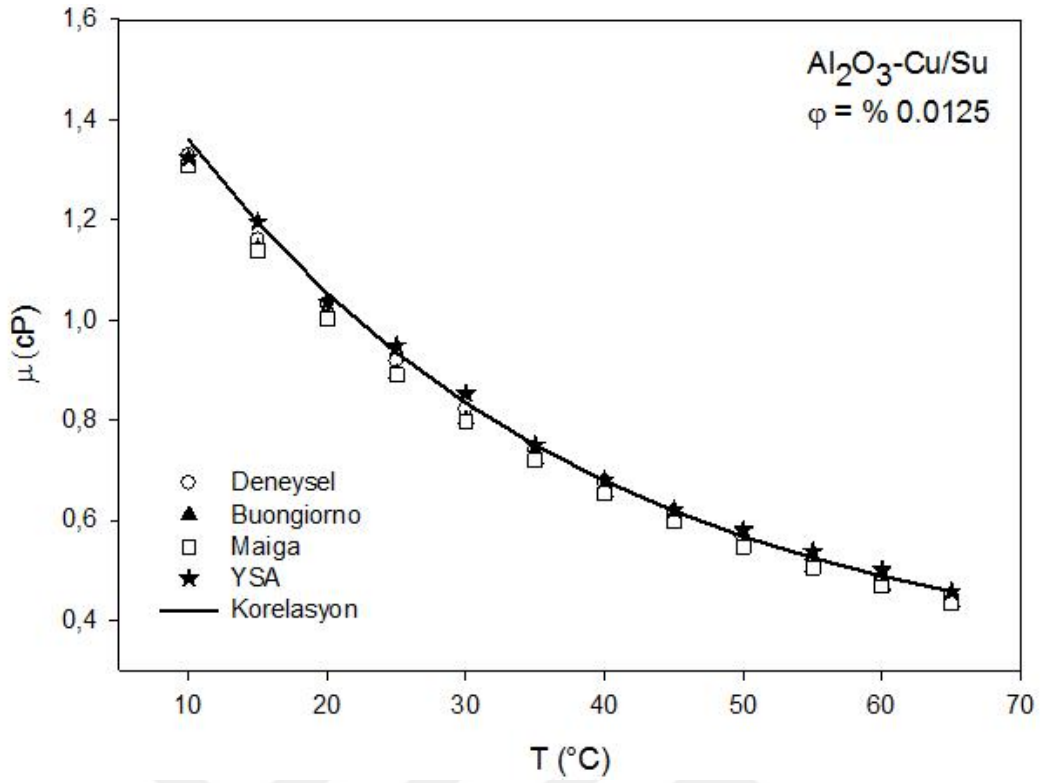


ekil 4.102. Doğrulama veri performansı

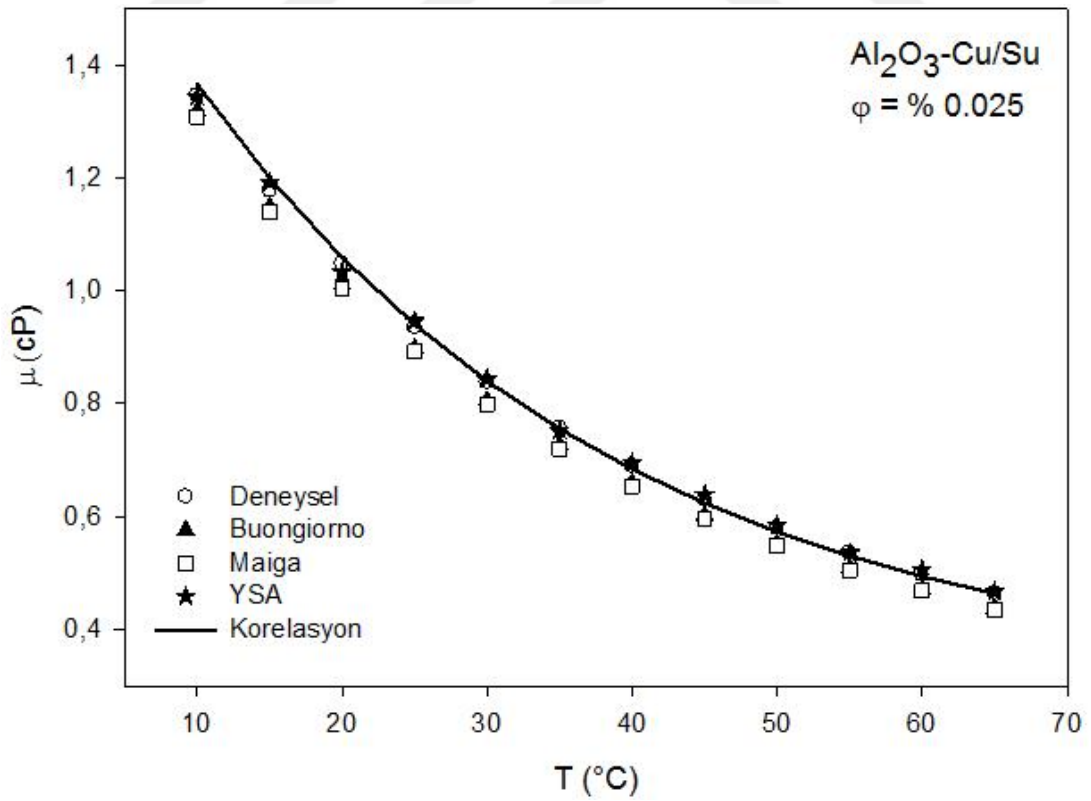
Toplamda 60 adet veri ile geliştirilmiş olan yapay sinir a ında kullanılmış olan tüm verilere ait grafik ekil 4.103'de gösterilmiştir. Yapay sinir a 1 modelindeki tüm noktaların, uyumluluk çizgisi yakınında konumlanmış olması ve elde edilen R değerin 0.99907 olarak hesaplanması, tasarlanmış olan yapay sinir a 1 modelinin Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosüspansiyonunun viskozitesini, sıcaklık ve hacimsel yoğunluğuna bağlı olarak doğru bir şekilde tahmin edebileceğinin net bir ifadesidir.



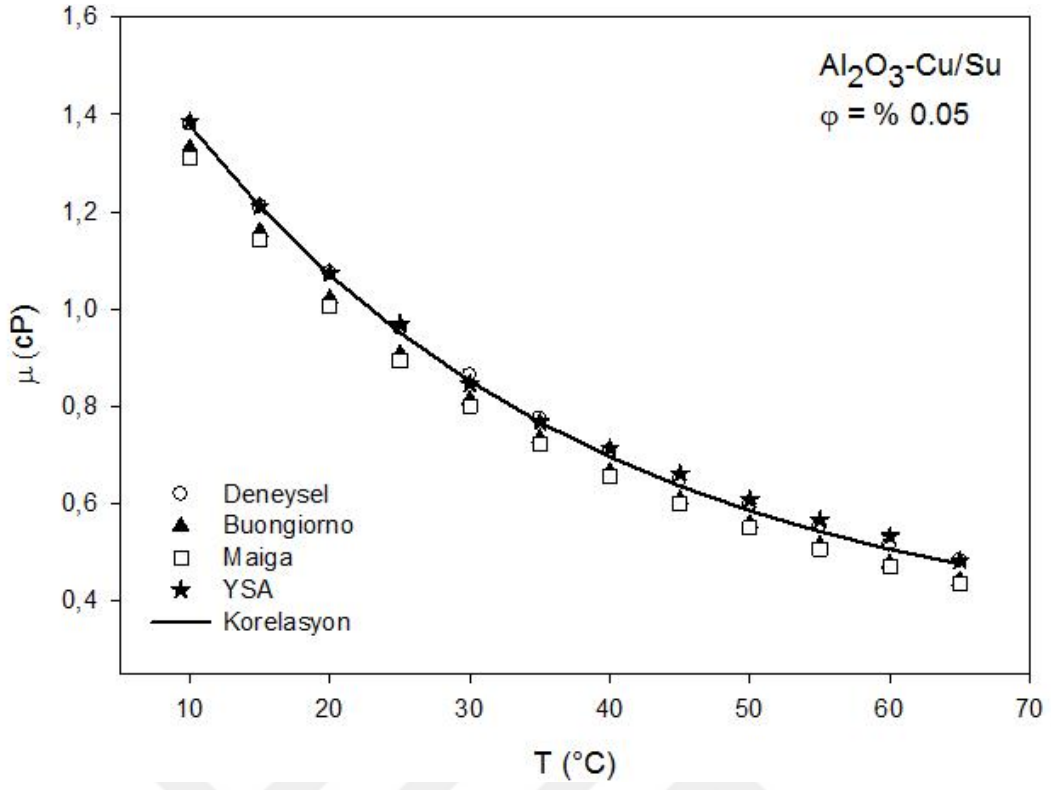
Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin deneysel olarak elde edilmiş olan viskozite değerleri kullanılarak, toplamda 60 adet veri ile geliştirilmiş olan yapay sinir ağı ve yine aynı verilerle türetilmiş olan matematiksel korelasyondan elde edilen sonuçlar, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin deneysel viskozite değerleri ile kıyaslanmıştır. Geliştirilmiş olan yapay sinir ağının ve türetilmiş olan matematiksel korelasyonun, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin viskozitesini tahmin etmedeki doğruluğunun tespit edilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada ilk olarak, her bir hacimsel yolumlukta (sabit), viskozite değerlerinin sıcaklığa göre değişimlerine ait deneysel sonuçlar, yapay sinir ağı çıktıları ve matematiksel korelasyon sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda ortaya çıkan sonuçlar, geliştirilmiş olan yapay sinir ağı Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin viskozitesini ortalama -%0.824'lük sapma ile, matematiksel korelasyon ise ortalama -%0.023'lük bir sapma ile tahmin edebildiğini ortaya koymuştur. ekil 4.104, ekil 4.105, ekil 4.106, ekil 4.107 ve ekil 4.108'de sırası ile 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.1'lik hacimsel yolumluklardaki Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin deneysel yolla elde edilmiş olan viskozite değerlerinin, yapay sinir ağı ve matematiksel korelasyondan elde edilmiş değerlerle karşılaştırılması verilmiştir.



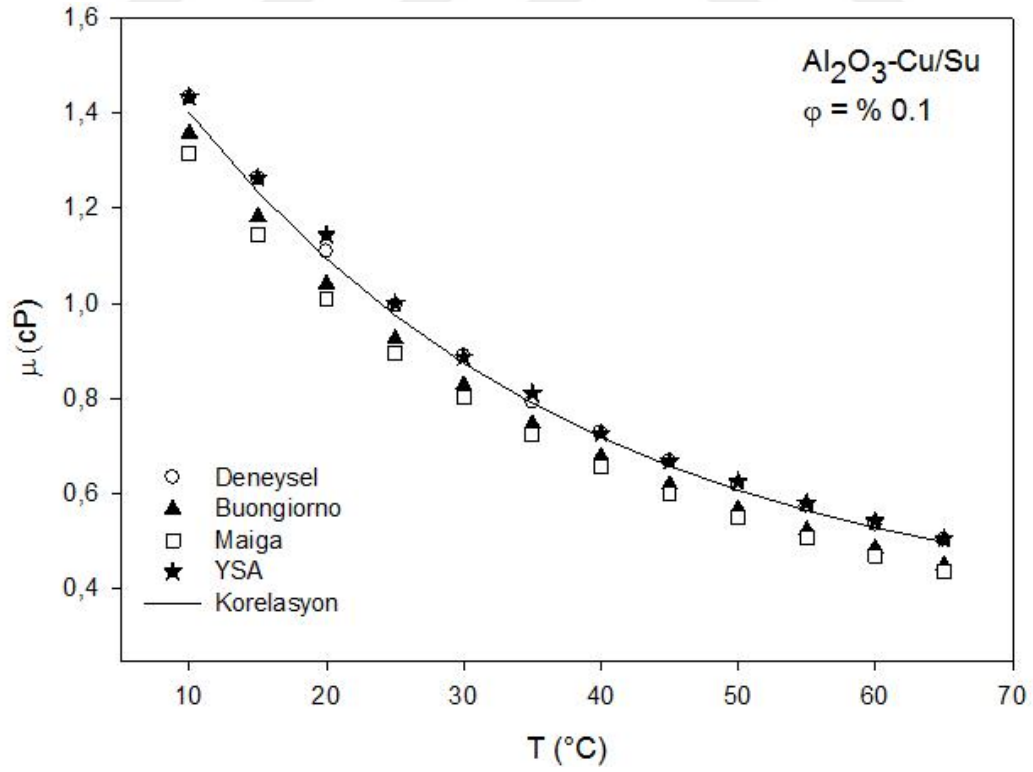
ekil 4.104. 0.0125 hacimsel yo unlukta viskozite de erleri



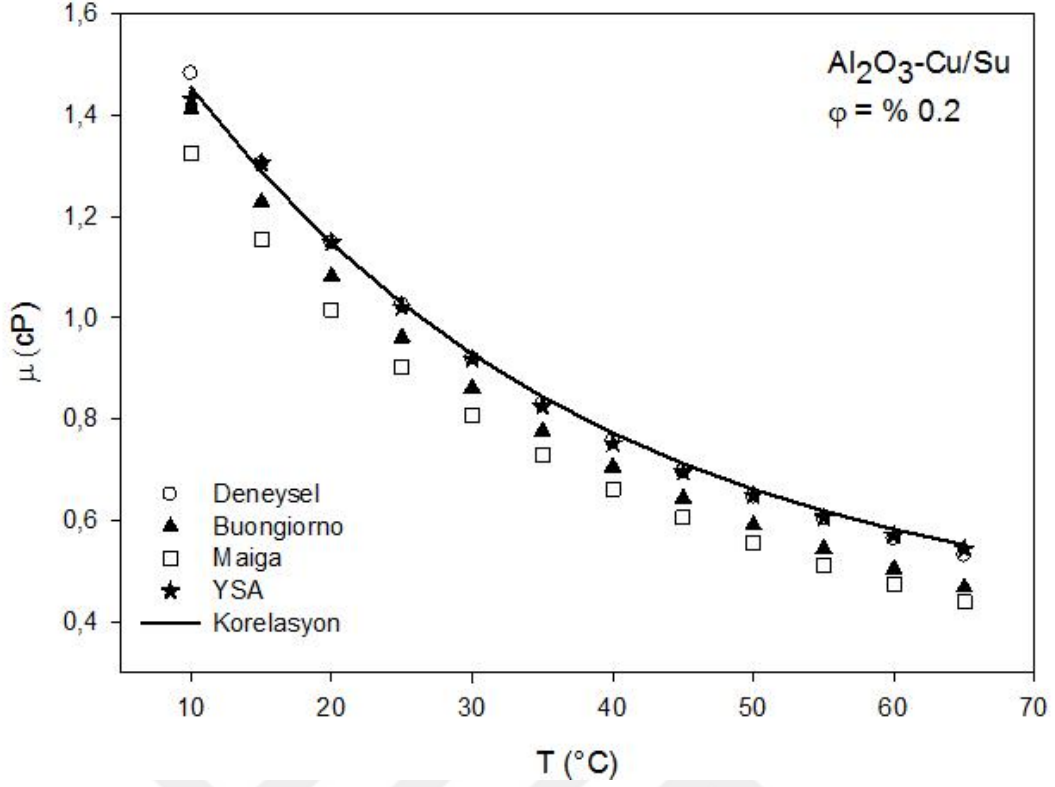
ekil 4.105. 0.025 hacimsel yo unlukta viskozite de erleri



ekil 4.106. 0.05 hacimsel yo unlukta viskozite de erleri

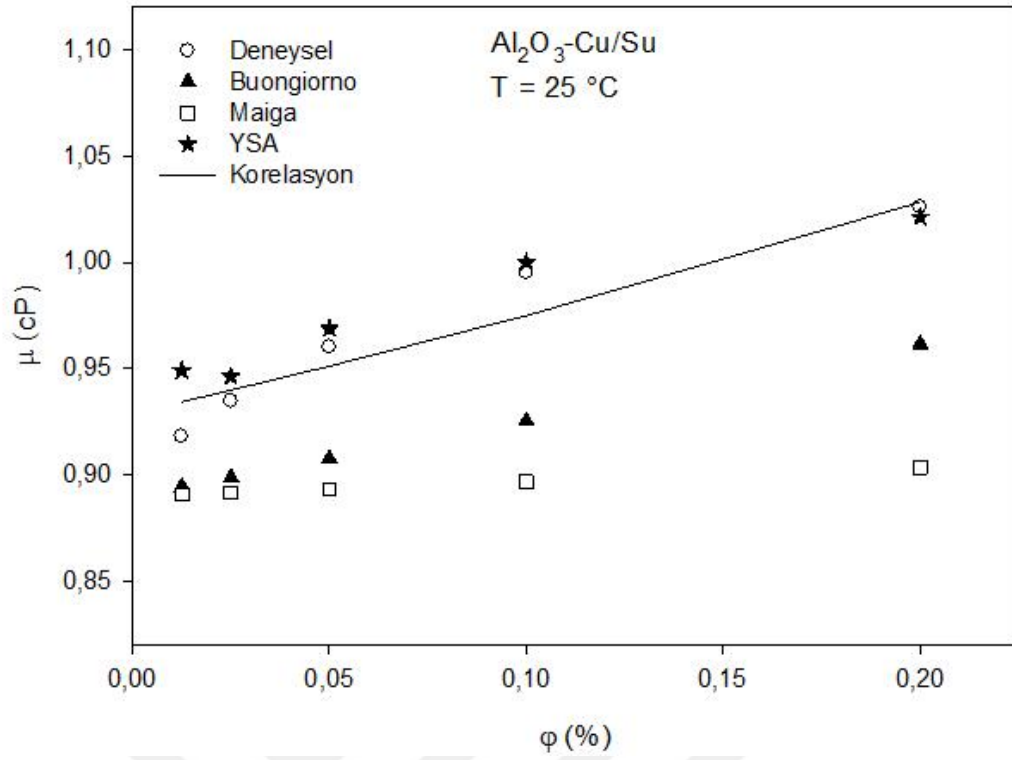


ekil 4.107. 0.1 hacimsel yo unlukta viskozite de erleri

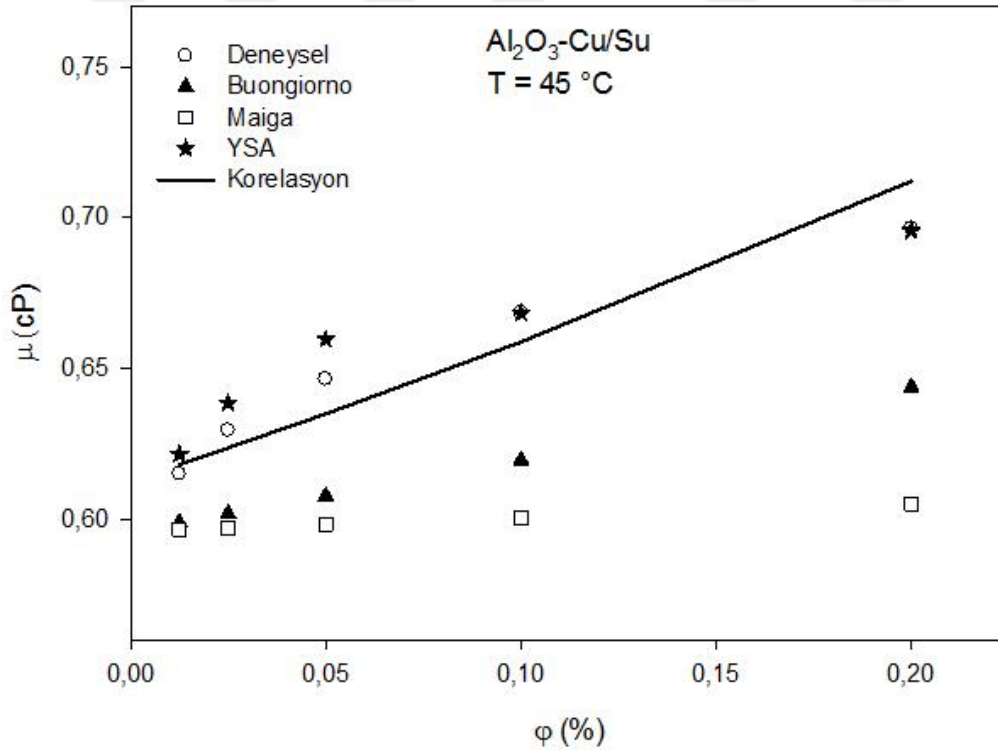


ekil 4.108. 0.2 hacimsel yo unlukta viskozite de erleri

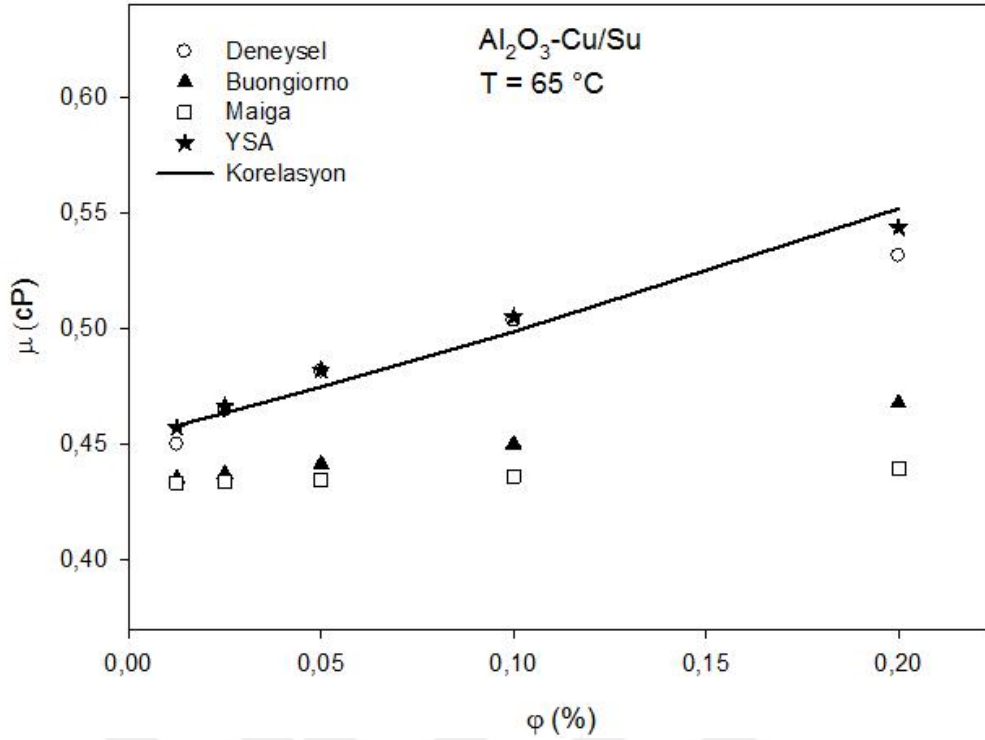
Al_2O_3-Cu/Su hibrit nanosivısının deneysel yolla elde edilmi olan viskozite verileri, geli tirilmi olan yapay sinir a 1 sonuçları ve türetilmi olan matematiksel korelasyondan elde edilen veriler, geçmi te ara tırmacılar tarafından geli tirilmi ve literatürde sıklıkla kullanılan model korelasyonlarla kar ıla tırılmı tır. Elde edilen sonuçlar, yapay sinir a 1 ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin, model korelasyonlarla da uyumlu oldu unu göstermi tir. ekil 4.109, ekil 4.110 ve ekil 4.111’de sırasıyla 25, 45 ve 65 °C’lik sabit sıcaklıklarda, Al_2O_3-Cu/Su hibrit nanosivısına ait deneysel viskozite de erlerinin, model korelasyonlar, yapay sinir a 1 verileri ve türetilmi olan matematiksel korelasyondan elde edilen veriler ile kıyaslanması verilmi tir.



ekil 4.109. 25 °C’de yapay sinir a₁ ve korelasyon de₁erlerinin model korelasyonlarla karıla tırması

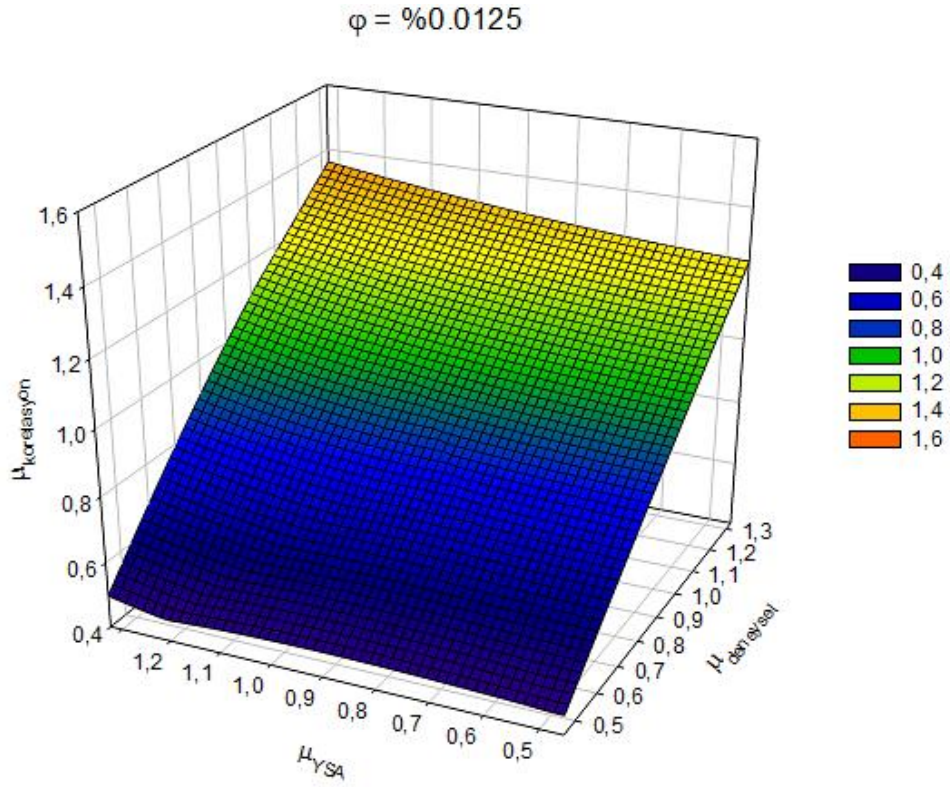


ekil 4.110. 45 °C’de yapay sinir a₁ ve korelasyon de₁erlerinin model korelasyonlarla karıla tırması

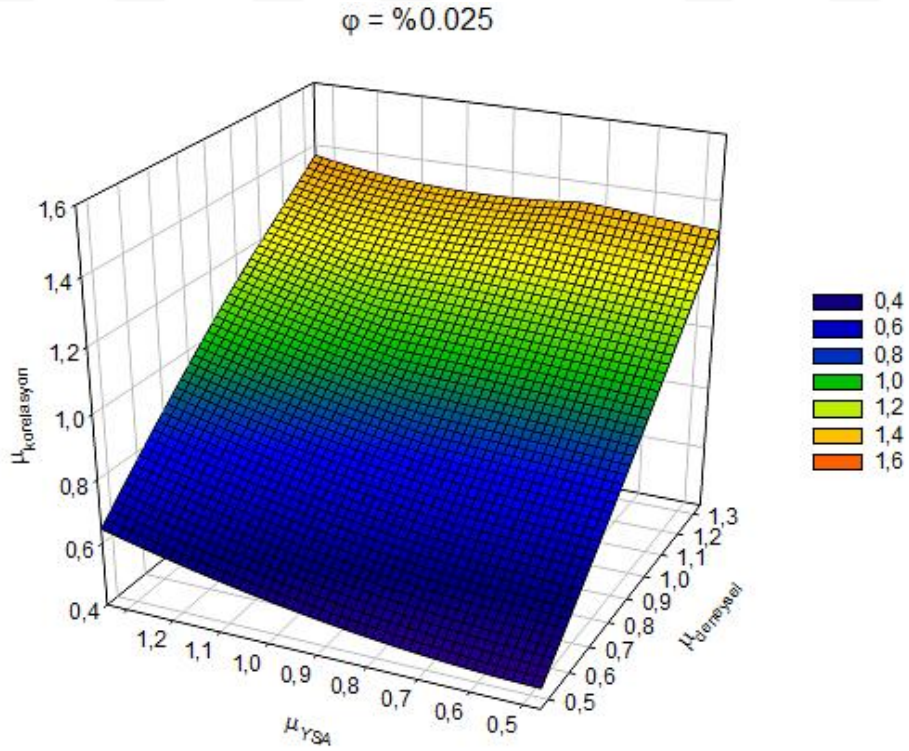


ekil 4.111. 65 °C’de yapay sinir a₁ ve korelasyon de_{er}lerinin model korelasyonlarla karşılaştırılması

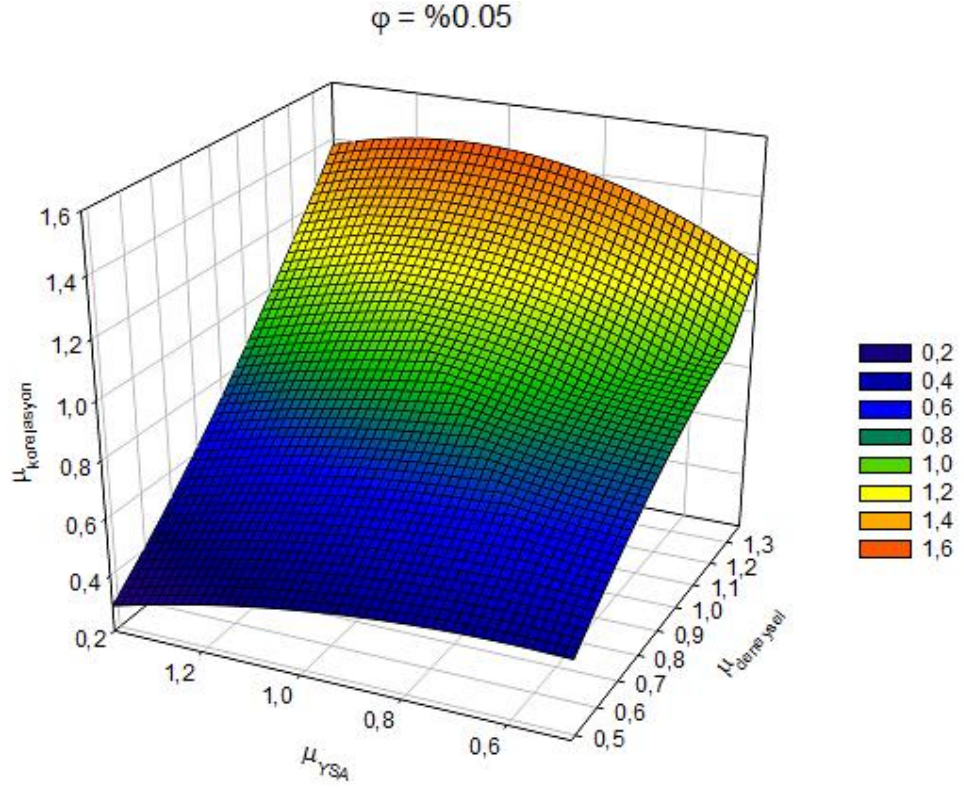
Deneysel yolla elde edilmiş olan Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosüspansiyonunun viskozite de_{er}leri, yapay sinir a₁’den elde edilen veriler ve geliştirilmiş olan matematiksel korelasyonlardan elde edilmiş olan verilerle karşılaştırılmıştır. ekil 4.112, ekil 4.113, ekil 4.114, ekil 4.115 ve ekil 4.116’da sırasıyla 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.2’lik sabit hacimsel yo_{un}luklarda; deneysel veriler ile yapay sinir a₁’den ve matematiksel korelasyondan elde edilen veriler üç boyutlu grafiklerle gösterilmiştir. Grafiklerde her üç de_{er} arasında görülen uyum, yapay sinir a₁’inin ve geliştirilmiş olan matematiksel korelasyonun, Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosüspansiyonunun viskozite de_{er}lerini ideal do_{ru}lukta tahmin edecek şekilde geliştirilmiş olduğunu ispatı olarak yorumlanabilmektedir.



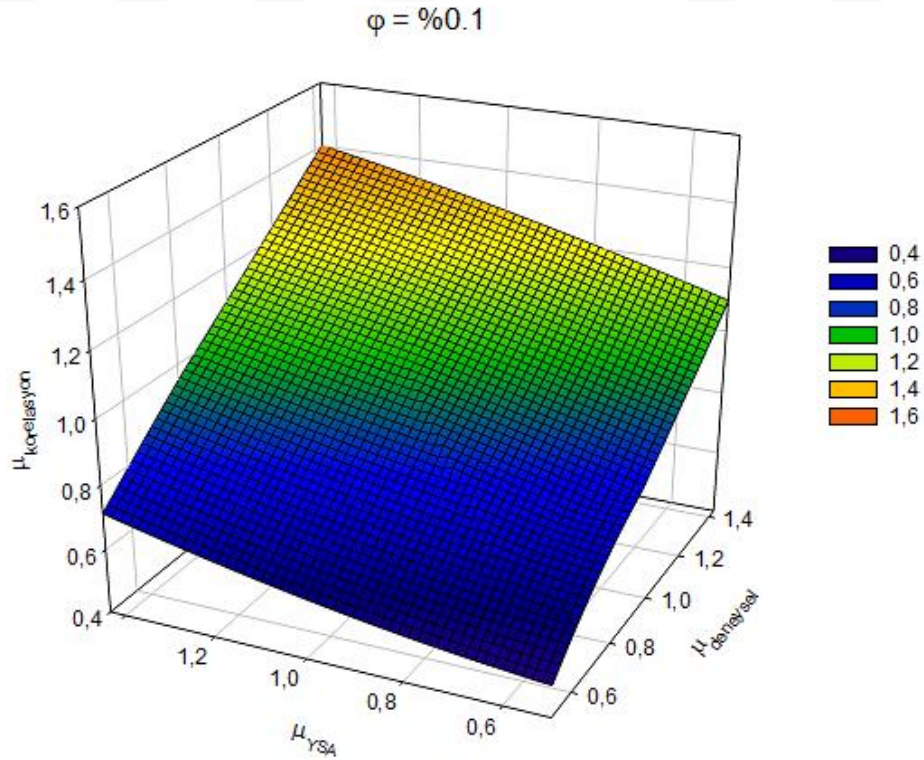
ekil 4.112. 0.0125'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ndan ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması



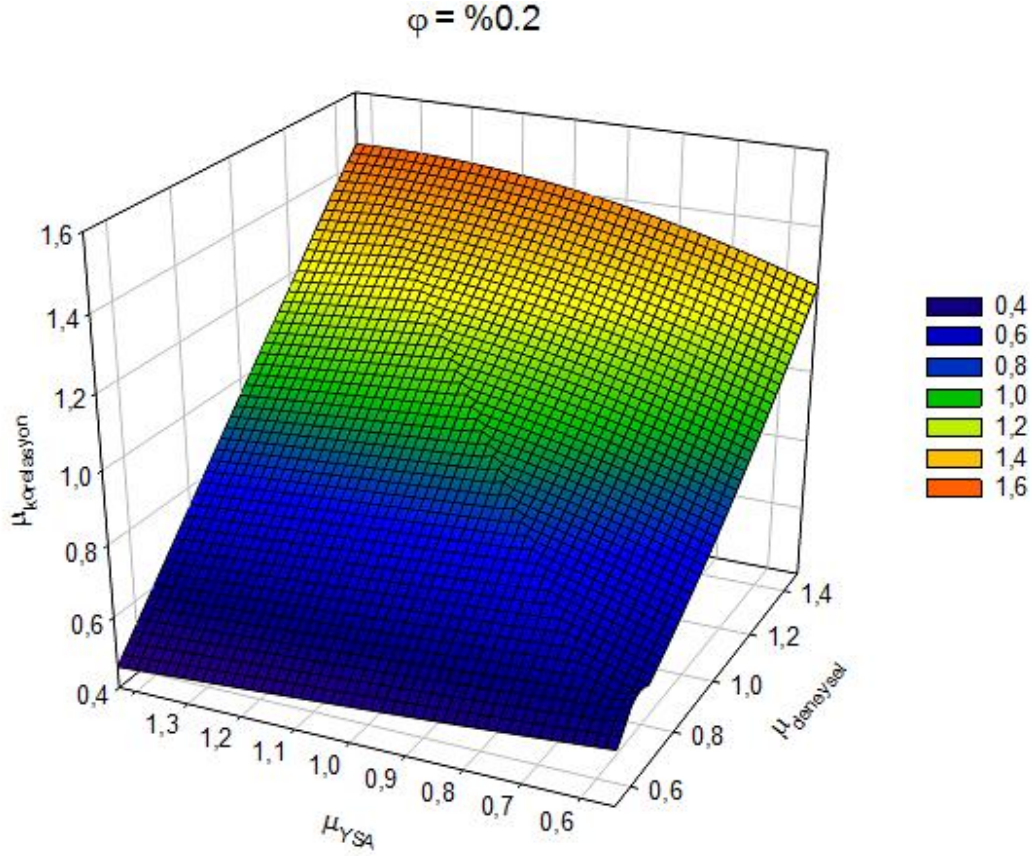
ekil 4.113. 0.025'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ndan ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması



ekil 4.114. 0.05'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması

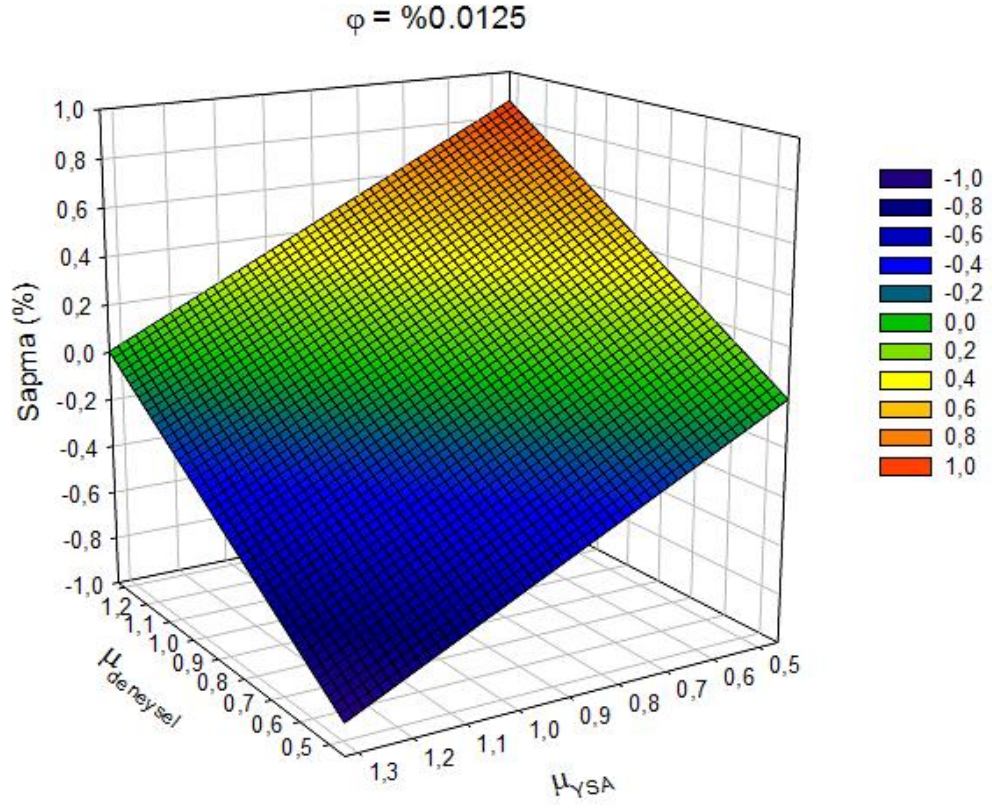


ekil 4.115. 0.1'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması

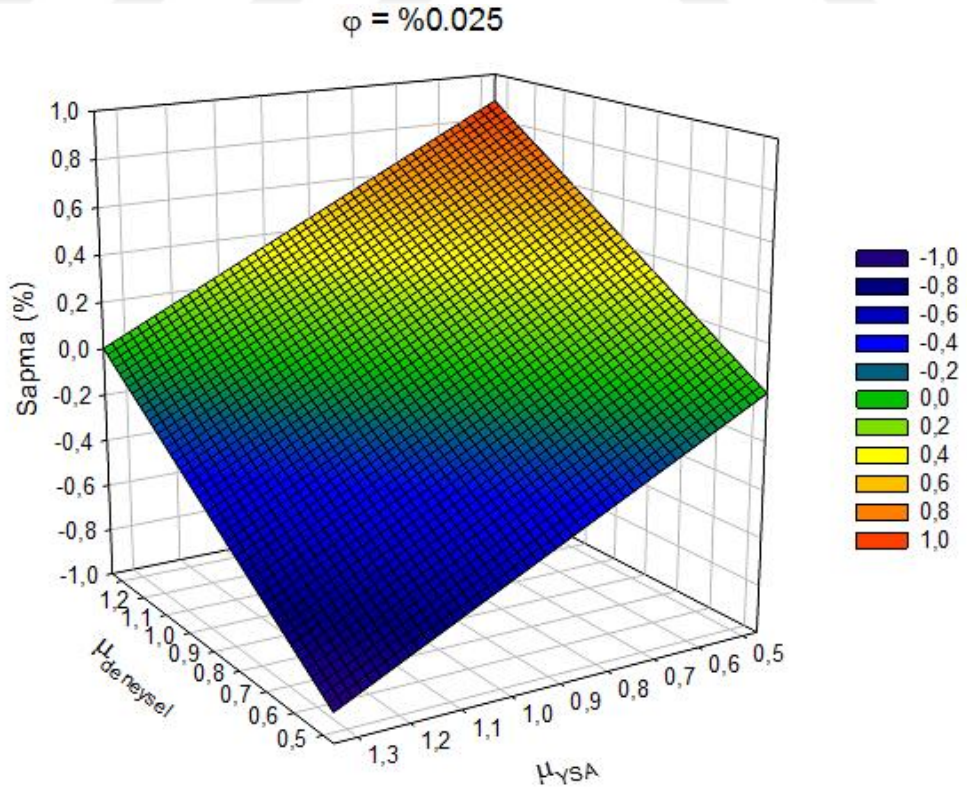


ekil 4.116. 0.2'lik hacimsel yo unlukta deneysel verilerle yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin kar ıla tırılması

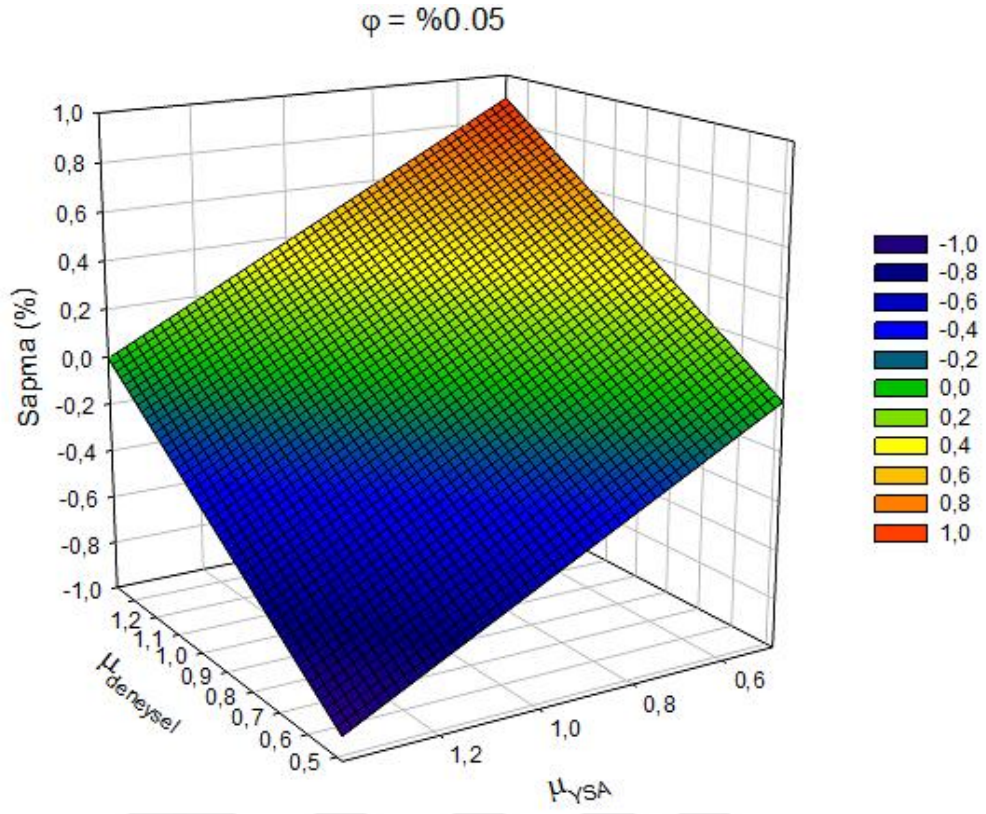
Tasarlanmı olan yapay sinir a ından ve matematiksel korelasyondan elde edilen verilerin, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının deneysel yolla elde edilmi viskozite de erleri ile arasındaki sapma miktarları de erlendirilerek, geli tirilmi olan yapay sinir a ı ve matematiksel modelin do ruluk oranları ara tırılmı tır. Elde edilen sonuçlar, yapay sinir a ının Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının viskozitesini %1.06 ile -%1.02 aralı nda ve ortalama -%0.824'lük sapma ile tahmin etti ini, matematiksel korelasyonun ise Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının viskozitesini %0.47 ile -%0.69 aralı nda ve ortalama -%0.023'lük sapma ile tahmin etti ini ortaya koymu tur. ekil 4.117, ekil 4.118, ekil 4.119, ekil 4.120 ve ekil 4.121'de sırası ile 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1 ve 0.2'lik sabit hacimsel yo unluklarda, yapay sinir a ından ve geli tirilmi olan matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerin sapma oranları üç boyutlu grafikler halinde gösterilmi tir.



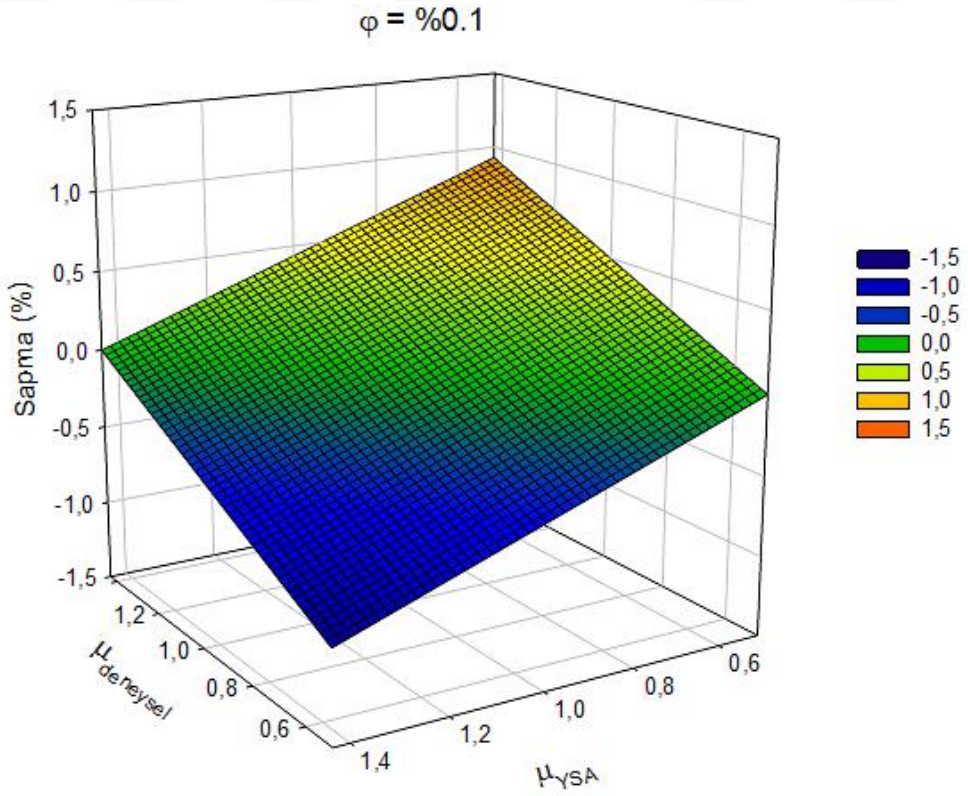
ekil 4.117. 0.0125 hacimsel yo unlukta sapma oranları



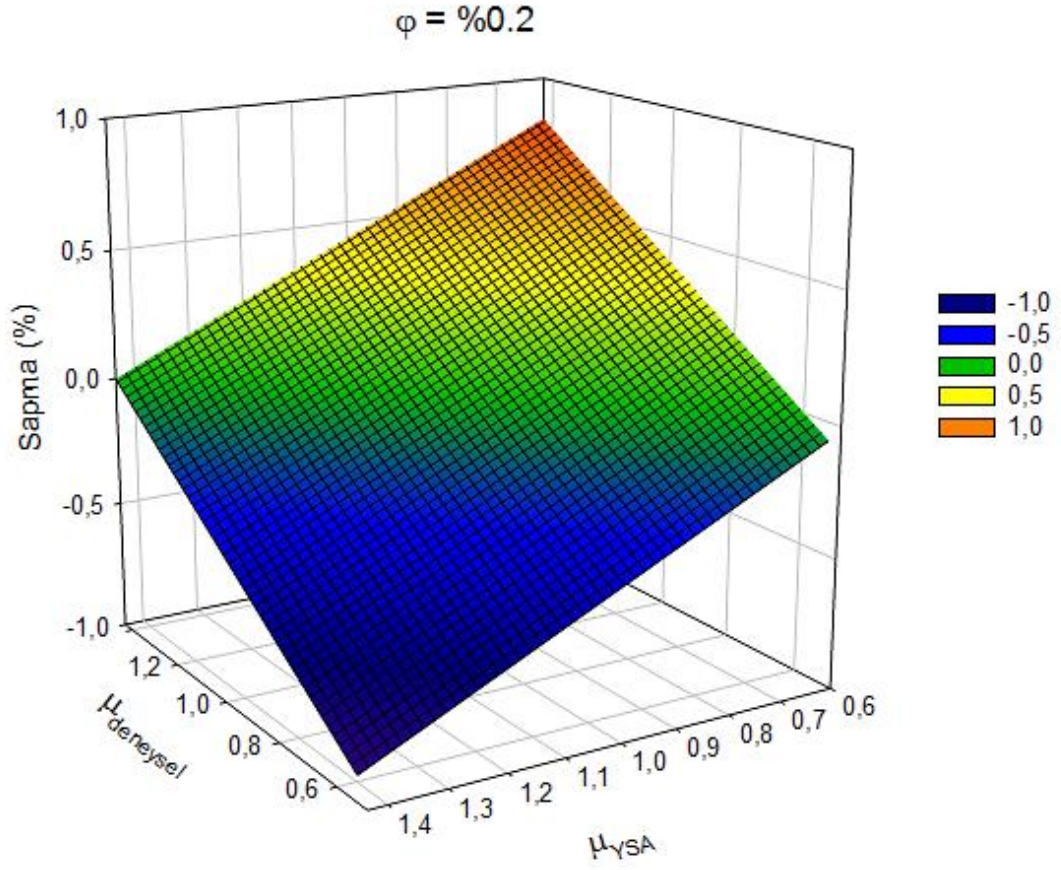
ekil 4.118. 0.025 hacimsel yo unlukta sapma oranları



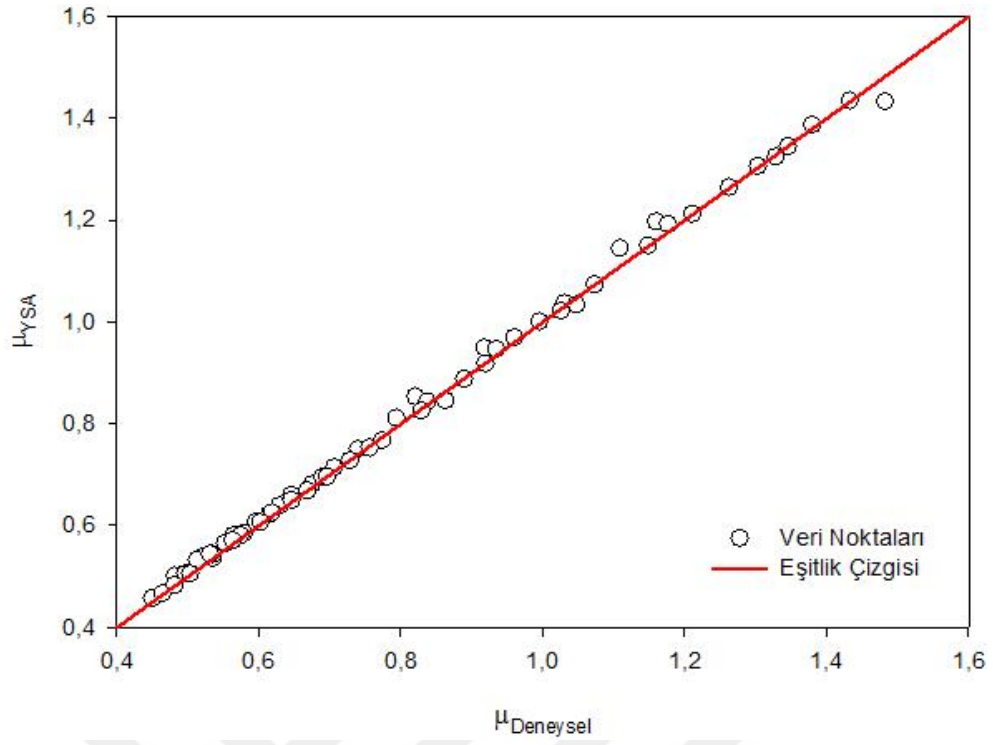
ekil 4.119. 0.05 hacimsel yo unlukta sapma oranları



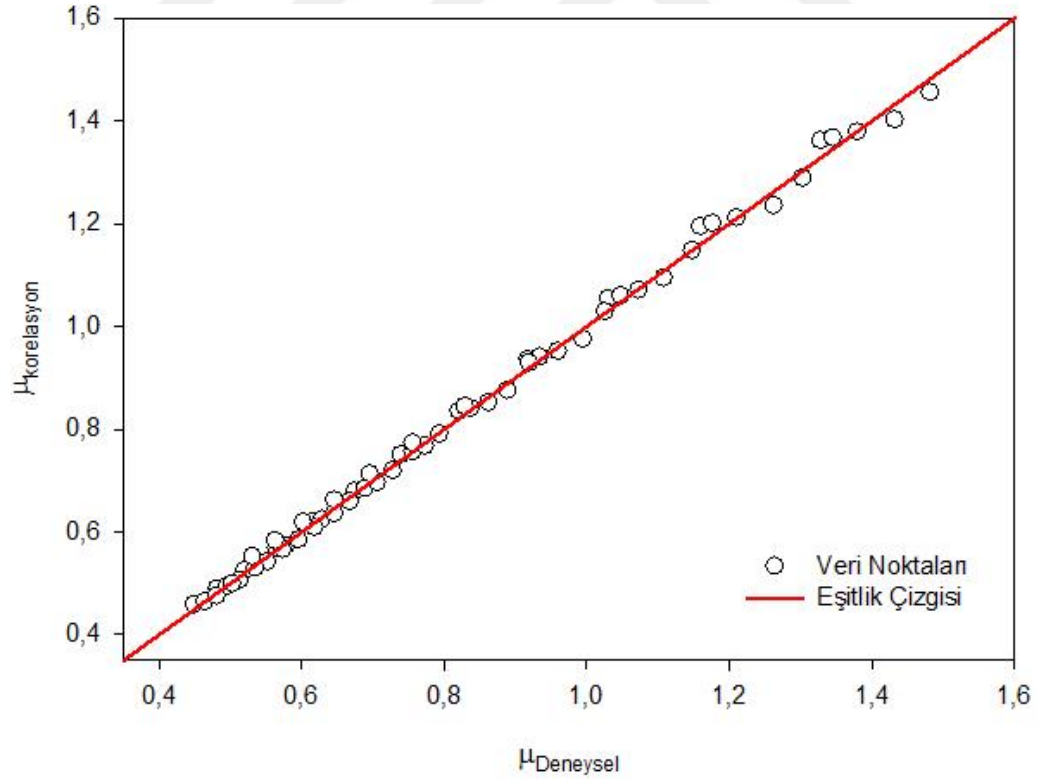
ekil 4.120. 0.1 hacimsel yo unlukta sapma oranları



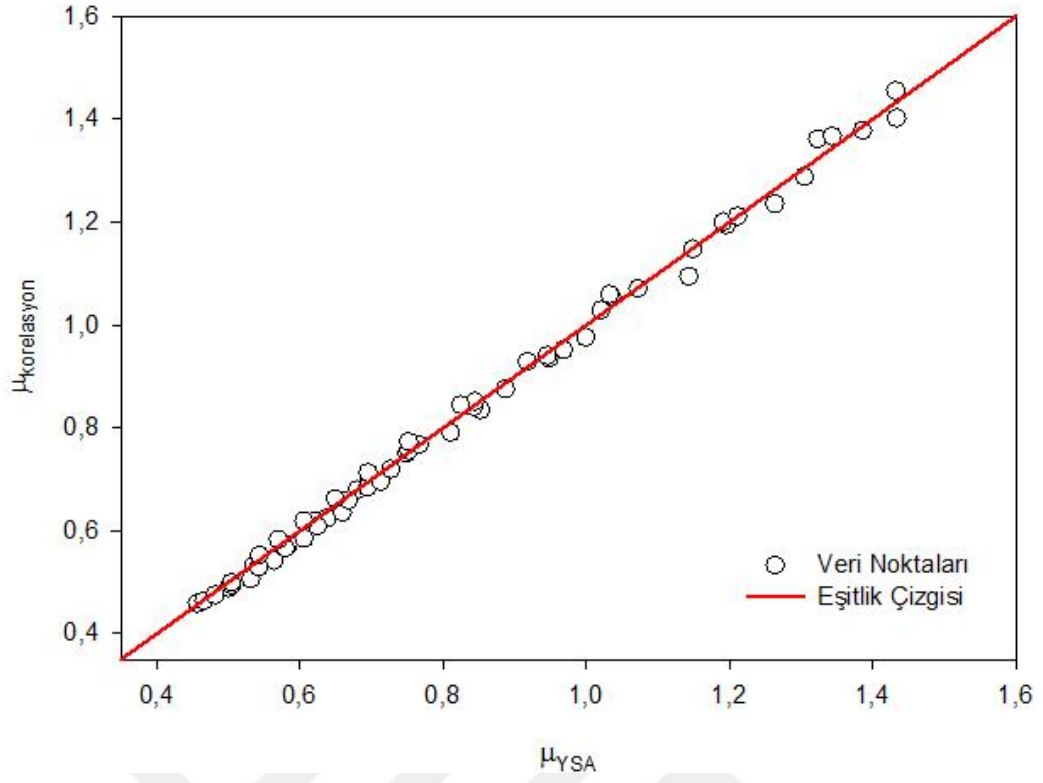
ekil 4.122, ekil 4.123 ve ekil 4.124'deki grafiklerde gösterilmi olan veri noktalarının, e itlik çizgisine olan yakınlıkları, geli tirilmi olan yapay sinir a mının ve türetilmi olan matematiksel korelasyonun do ru bir ekilde modellendi ini ve Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin viskozitesini do ru bir ekilde tahmin edebileceklerini göstermektedir.



ekil 4.122. Deneysel viskozite verilerinin yapay sinir a 1 verileri ile kar ıla tırılması



ekil 4.123. Deneysel viskozite verilerinin korelasyon verileri ile kar ıla tırılması



ekil 4.124. Yapay sinir a ından elde edilen de erlerin matematiksel korelasyondan elde edilen de erlerle kar ıla tırılması

BÖLÜM V

SONUÇ VE ÖNERİLER

Nanosıvıların termofiziksel özellikleri üzerine geçmişte yapılmış olan çalışmalar, ayrı ayrı olarak viskozite ve ısı iletkenlik üzerine yoğunlaşmıştır, özgül ısı üzerine yapılmış çalışmalar oldukça sınırlıdır. Hibrit nanosıvılar üzerine yapılmış çalışmalar ise, nanosıvılara oranla daha az miktarda bulunmakla birlikte, hibrit nanosıvıların özgül ısı üzerine yapılmış çalışmaları yok denecek kadar azdır.

Literatürde, nanosıvıların viskozite değerlerinin deneysel yollarla ölçülmesine yönelik çalışmalarda Brookfield Viscometer kullanılmakla birlikte, özgül ısı üzerine yapılan deneysel çalışmalarda ise Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (Differential Scanning Calorimeter – DSC) yöntemi kullanılmıştır.

Bu deneysel çalışmada; Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının deneysel viskozite ölçümü, kapiler viskozimetre ile yapılırken, özgül ısı ölçümünde ise Diferansiyel Isıl Analiz (Differential Thermal Analysis – DTA) yöntemi kullanılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen veriler; kapiler viskozimetre ve Diferansiyel Isıl Analiz yönteminin, viskozite ve özgül ısı ölçümünde geçerli ve doğrulanabilir sonuçlar verdiğini göstermiştir. Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosıvısının bir deneysel termofiziksel özelliği olan ısı iletkenlik ise, literatürde de sıklıkla tercih edilmiş olan KD2 Pro cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş olan ısı iletkenlik değerleri, her bir hacimsel yoğunlukta da saf suya oranla yüksek değerlerde olduğu, hacimsel yoğunlukta ve sıcaklıktaki artışla birlikte ısı iletkenlikte de artmanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Deneysel veriler, literatürde sıklıkla kullanılan dört ayrı modelle kıyaslandığında, deneysel verilerden elde edilen ısı iletkenlik değerlerinin literatürdeki dört modele kıyasla yüksek değerlerde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sıcaklık artmasına bağlı olarak ısı iletkenlikteki iyileşmenin düştüğü bununla birlikte hacimsel yoğunlukta artmaya bağlı olarak da ısı iletkenlikteki iyileşmenin arttığı gözlemlenmiştir.

Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin deneysel olarak yapılan özgül ısı ölçümlerinde; Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin özgül ısı değerlerinin, saf suyun özgül ısısından daha düşük olduğu, özgül ısının sıcaklık artışı ile arttığı fakat hacimsel yoğunlukta artılabildiği olarak gözlemlenmiştir.

Deneysel yolla viskozite ölçümünden elde edilen verilerinde, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin viskozite değerinin sıcaklıkla ters, hacimsel yoğunlukla doğru orantılı olduğu ve saf suyla kıyaslandığında her bir hacimsel yoğunlukta da saf suyun viskozitesinden daha yüksek değerlere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürde elde edilen değerlerle kıyaslandığında ise, hacimsel yoğunluk artışıyla sıcaklıkla viskozite değerindeki değişimin arttığı gözlemlenmiştir.

Literatürde, hibrit nanosivilerin termofiziksel özelliklerinin hesaplanmasına yönelik olarak geliştirilmiş matematiksel korelasyon sınırlı olmakla birlikte Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisine özel olarak geliştirilmiş korelasyon bulunmamaktadır. Bu çalışmada, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenlik, özgül ısı ve viskozite değerlerinin hesaplanması için matematiksel korelasyon önerilmiştir. Geliştirilmiş olan matematiksel korelasyondan elde edilen değerler, deneysel ve literatürden elde edilen değerlerle kıyaslandığında, matematiksel modelden elde edilen değerlerin model korelasyonlar ve deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu kanıtlanmıştır. Bu sebeple, gelecekte yapılacak çalışmalarda Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenlik, özgül ısı ve viskozite gibi termofiziksel özelliklerinin belirlenmesinde bu çalışmada önerilen korelasyonlar kullanılabilir.

Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin ısı iletkenlik, özgül ısı ve viskozite değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla, deneysel olarak elde edilen verileri kullanarak; ileri beslemeli, çift katmanlı bir yapay sinir ağı dizayn edilmiştir. Sıcaklık ve hacimsel yoğunluk değerlerinin giriş değerleri olarak tanımlandığı yapay sinir ağının gizli katmanında 15 nöron bulunmaktadır. Geliştirilmiş olan yapay sinir ağından elde edilen sonuçlar, deneysel veriler, korelasyon sonuçları ve literatürde araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan model korelasyonlardan elde edilen verilerle kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar, geliştirilmiş olan yapay sinir ağının, Al_2O_3 -Cu/Su hibrit nanosivisinin termofiziksel özelliklerini tahmin etmede çok ideal sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Gelecekte, elde edilmi veriler kullanılarak geli tirilmi olan yapay sinir a 1 ve matematiksel korelasyon kullanılarak, daha yksek hacimsel yo unluklar iin simlasyonlar yapılarak, grafiklerdeki kırılma noktaları ve trend de i imlerinin tespit edilmesi üzerine çalı malar yapılabilir.

Bununla birlikte daha farklı nanopartiküller kullanarak, farklı hacimsel yo unluklarda hazırlanmı olan hibrit nanosıvıların termofiziksel özellikleri üzerine çalı malar yapılarak, elde edilen deneysel verilerle ve farklı algoritmalarla geli tirilmi yapay sinir a larının tahmin performansları üzerine çalı malar yapılabilir.



KAYNAKLAR

Abbasi S.M., Rashidi A., “Nemati A., and Arzani K., The effect of functionalisation method on the stability and the thermal conductivity of nanofluid hybrids of carbon nanotubes/gamma alumina”, *Ceram Int* 39, 85–91, 2013.

Aberoumand, S., and Jafarimoghaddam, A., “Tungsten (III) oxide (WO₃)–Silver/transformer oil hybrid nanofluid: preparation, stability, thermal conductivity and dielectric strength”, *Alexandria Eng. J.*, 2016.

Adriana, M.A., “Hybrid nanofluids based on Al₂O₃, TiO₂ and SiO₂: Numerical evaluation of different approaches”, *Int. J. Heat Mass Transf.* 104, 852–860, 2017.

Afrand, M., “Experimental study on thermal conductivity of ethylene glycol containing hybrid nano-additives and development of a new correlation”, *Appl. Therm. Eng.* 110, 1111–1119, 2017.

Afrand, M., Najafabadi, K.N., Akbari, M., “Effects of temperature and solid volume fraction on viscosity of SiO₂-MWCNTs/SAE40 hybrid nanofluid as a coolant and lubricant in heat engines”, *Appl. Therm. Eng.* 102, 45–54, 2016.

Afrand, M., Najafabadi, K.N., Sina, N., Safaei, M.R., Kherbeet, A.S. and Wongwises, S., “Prediction of dynamic viscosity of a hybrid nano-lubricant by an optimal artificial neural network”, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 76, 209–214, 2016.

Aghabozorg, M.H., Rashidi, A. and Mohammadi, S., “Experimental investigation of heat transfer enhancement of Fe₂O₃-CNT/water magnetic nanofluids under laminar, transient and turbulent flow inside a horizontal shell and tube heat exchanger”, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 72, 182–189, 2016.

Ahammed, N., Asirvatham, L.G. and Wongwises, S., “Entropy generation analysis of graphene–alumina hybrid nanofluid in multiport minichannel heat exchanger coupled with thermoelectric cooler”, **Int. J. Heat Mass Transf.** 103, 1084–1097, 2016.

Ahlatli, S., Mare, T., Estelle, P. and Doner, N., “Thermal performance of carbon nanotube nanofluids in solar microchannel collectors: an experimental study”, **Int. J. Technol.** 7-2, 219–226, 2016.

Ahmed, H.E., Ahmed, M.I., Seder, I.M.F. and Salman, B.H., “Experimental investigation for sequential triangular double-layered microchannel heat sink with nanofluids”, **Int. Commun. Heat Mass Transfer** 77, 104–115, 2016.

Ahmadloo, E. and Azizi, S., “Prediction of thermal conductivity of various nanofluids using artificial neural network”, **Int. Commun. Heat Mass Transf.** 74, 69–75, 2016.

Akbarinia, A., Abdolzadeh, M., and Laur, R., “Critical investigation of heat transfer enhancement using nanofluids in microchannels with slip and non-slip flow regimes”, **Appl. Therm. Eng.** 31, 556–565, 2011.

Alirezaie, A., Saedodin, S., Esfe, M.H. and Rostamian, S.H. “Investigation of rheological behavior of MWCNT (COOH functionalized)/MgO - Engine oil hybrid nanofluids and modelling the results with artificial neural networks”, **J. Mol. Liq.** 241, 173 – 181, 2017.

Allahyar, H., Hormozi, F. and ZareNezhad, B., “Experimental investigation on the thermal performance of a coiled heat exchanger using a new hybrid nanofluid”, **Exp. Therm. Fluid Sci.** 76, 324–329, 2016.

Almendros-Ibáñez, J.A., Moya-Rico, J.D., Molina, A.E., Belmonte, J.F. and Córcoles Tendero, J.I., “Characterization of a triple concentric-tube heat exchanger with corrugated tubes using Artificial Neural Networks (ANN)”, **Appl. Therm. Eng.** 147, 1036–1046, 2019.

Aminian, A., “Predicting the effective thermal conductivity of nanofluids for intensification of heat transfer using artificial neural network”, *Powder Technol.* 301, 288–309, 2016.

Anbumeenakshi, C. and Thansekhar, M.R., “On the effectiveness of a nanofluid cooled microchannel heat sink under non-uniform heating condition”, *Appl. Therm. Eng.* 113, 1437–1443, 2017.

Arı, A. ve Berberler, M.E., “Yapay sinir a ları ile tahmin ve sınıflandırma problemlerinin çözümü için arayüz tasarımı”, *Acta Infologica* 1, 56, 2017.

Asadi, M. and Asadi, A., “Dynamic viscosity of MWCNT/ZnO–engine oil hybrid nanofluid: an experimental investigation and new correlation in different temperatures and solid concentrations”, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 76, 41–45, 2016.

Atashrouz, S., Pazuki, G. and Alimoradi, Y., “Estimation of the viscosity of nine nanofluids using a hybrid GMDH-type neural network system”, *Fluid Phase Equilib.* 372, 43–48, 2014.

Azizi, Z., Alamdari, A. and Malayeri, M.R., “Thermal performance and friction factor of a cylindrical microchannel heat sink cooled by Cu-water nanofluid”, *Appl. Therm. Eng.* 99, 970–978, 2016.

Babu, J.A.R. and Kumar, K.K., “State-of-art review on hybrid nanofluids”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 551-565, 2017.

Baghbanzadeh, M. and Rashidi, A., “Soleimanisalim, A.H. and Rashtchian, D., Investigating the rheological properties of nanofluids of water/hybrid nanostructure of spherical silica/MWCNT”, *Thermochim. Acta* 578, 53–58, 2014.

Bahiraee, M. and Hangi, M., “An empirical study to develop temperature-dependent models for thermal conductivity and viscosity of water-Fe₃O₄ magnetic nanofluid”, *Mater. Chem. Phys.* 181, 333–343, 2016.

Bahiraei, M. and Heshmatian, S., “Optimizing energy efficiency of a specific liquid block operated with nanofluids for utilization in electronics cooling: a decision-making based approach”, *Energy Convers. Manag.* 154, 180–190, 2017.

Bhattacharya, P., Saha, S.K., Yadav, A., Phelan, P.E. and Prasher, R.S., “Brownian dynamics simulation to determine the effective thermal conductivity of nanofluids”, *Journal of Applied Physics* 95 (11), 6492–6494, 2004.

Bini, S.A., “Artificial intelligence, machine learning, deep learning, and cognitive computing: what do these terms mean and how will they impact health care?”, *J Arthroplasty*, 33 pp. 2358-2361, 2018.

Boudouh, M., Gualous, H.L. and De Labachellerie, M., “Local convective boiling heat transfer and pressure drop of nanofluid in narrow rectangular channels”, *Appl. Therm. Eng.* 30 (17–18), 2619–2631, 2010.

Bruggeman, D.A.G., “Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen, I. Dielektrizitätskonstanten und Leitfähigkeiten der Mischkörper aus isotropen Substanzen”, *Ann. Phys.* 24, 636–679, 1935.

Broomhead, D.S. and Lowe, D. “Radial basis-functions, multivariable functional interpolation and adaptive networks”, *Royal signals and radar establishment memorandum*, 41-48, 1988.

Buongiorno, J., “Convective transport in nanofluids”, *J. Heat Transf.* 128, 240–250, 2006.

Casalino. G., Facchini, F., Mortello. M. and Mummolo. G., “ANN modelling to optimize manufacturing process:the case of laser welding”, *IFAC-PapersOnLine* 49-12, 378-383, 2016.

Ceylan, ., ErKaymaz, O., Gedik, E., and Gürel, A.E. “The prediction of photovoltaic module temperature with artificial neural networks”, *Case Studies in Thermal Engineering* 3, 11–20, 2014.

Chai, L., Xia, G.D., and Wang, H.S., “Laminar flow and heat transfer characteristic of interrupted microchannel heat sink with ribs in the transverse microchambers”, *Int J Therm Sci.* 110, 1–11, 2016.

Chai, L., Xia, G.D. and Wang, H.S., “Numerical study of laminar flow and heat transfer in microchannel heat sink with offset ribs on sidewalls”, *Appl Therm Eng.* 92, 32–41, 2015.

Chai, L., Xia G.D., and Wang, H.S., “Parametric study on thermal and hydraulic characteristics of laminar flow microchannel heat sink with fan-shaped ribs on sidewalls – Part 3: Performance evaluation”. *Int J Heat Mass Transf* 97, 1091–101, 2016.

Chen, L., Yu, W. and Xie, H., “Enhanced thermal conductivity of nanofluids containing Ag/MWNT composites”, *Powder Technol.* 231, 18–20, 2012.

Chegade, A.A., Gualous, H.L., Masson, S.L., Fardoun, F., and Besq, A., “Boiling local heat transfer enhancement in minichannels using nanofluids”, *Nanoscale Res. Lett.* 8, 2–20, 2013.

Chieruzzi, M., Cerritelli, G.F., Miliozzi, A. and Kenny, J.M., “Effect of nanoparticles on heat capacity of nanofluids based on molten salts as PCM for thermal energy storage”, *Nanoscale Res. Lett.* 8, 448, 2013.

Chein R. and Huang G., “Analysis of microchannel heat sink performance using nanofluids”. *Appl Therm Eng.* 25:3, 104–14, 2005.

Chein, R. and Chuang, J., “Experimental microchannel heat sink performance studies using nanofluids”, *Int. J. Therm. Sci.* 46 (1), 57–66, 2007.

Choi, S.U.S., “Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, developments and applications of non-newtonian flows”, *ASME*, 66, 99–105, 1995.

Dardan, E., Afrand, M. and Isfahani, A.M., “Effect of suspending hybrid nanoadditives on rheological behavior of engine oil and pumping power”, *Appl. Therm. Eng.* 109, 524–534, 2016.

Das, P.K., “A review based on the effect and mechanism of thermal conductivity of normal nanofluids and hybrid nanofluids”, *J. Mol. Liq.* 240, 420–446, 2017.

Deshmukh, S. and Sangawar, V., “One-step synthesis of polyethylene microspheres using a modified chemical route for pulmonary drug delivery”, *Journal of Taibah University for Science* 10, 485–489, 2016.

Diao, Y.H., Liu, Y., Wang, R., Zhao, Y.H., Guo, L. and Tang, X., “Effects of nanofluids and nanocoatings on the thermal performance of an evaporator with rectangular microchannels”, *Int. J. Heat Mass Transf.* 67, 183–193, 2013.

Duangthongsuk, W. and Wongwises, S., “An experimental investigation on the heat transfer and pressure drop characteristics of nanofluid flowing in microchannel heat sink with multiple zigzag flow channel structures”, *Exp. Thermal Fluid Sci.* 87, 30–39, 2017.

Esfe, M.H., Saedodin, S., Yan, W.M., Afrand, M., and Sina, N., “Study on thermal conductivity of water-based nanofluids with hybrid suspensions of CNTs/Al₂O₃ nanoparticles”, *J. Therm. Anal. Calorim.* 124, 455–460, 2016.

Esfe, M.H., Wongwises, S., Naderi, A., Asadi, A., Safaei, M.R. and Rostamian, H., “Thermal conductivity of Cu/TiO₂–water/EG hybrid nanofluid: experimental data and modeling using artificial neural network and correlation”, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 66, 100–104, 2015.

Esfe, M.H., Saedodin, S., Sina, N., Afrand, M. and Rostami, S., “Designing an artificial neural network to predict thermal conductivity and dynamic viscosity of ferromagnetic nanofluid”, *Int. Commun. Heat Mass Transfer.* 68, 50–57, 2015.

Feng, X., Ma, H., Huang, S., Pan, W., Zhang, X. and Tian, F., “Aqueous organic phase-transfer of highly stable gold, silver, and platinum nanoparticles and new route for fabrication of gold nanofilms at the oil/water interface and on solid supports”, *J. Phys. Chem. B* 110, 12311–12317, 2006.

Hagan, M.T. and Menhaj, M., “Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm,” *IEEE Transactions on Neural Networks* 5, 989–993, 1994.

Hamilton, R.L. and Crosser, O.K., “Thermal conductivity of heterogeneous two component systems”, *Ind. Eng. Chem. Fundam.* 1, 187–191, 1962.

Hamzah, M.H., Sidik, N.A.C., Ken, T.L., Mamat, R. and Najafi, G., “Factors affecting the performance of hybrid nanofluids: A comprehensive review”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 115, 630-646, 2017.

Harandi, S.S., Karimipour, A., Afrand, M., Akbari, M. and D’Orazio, A., “An experimental study on thermal conductivity of F-MWCNTs–Fe₃O₄/EG hybrid nanofluid: effects of temperature and concentration”, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 76, 171–177, 2016.

Hebb, D.O., The organization of behaviour. The first stage of perception: growth of the assembly, *John Wiley & Sons*, New York, 1949.

Heidari, E., Sobati, M.A. and Movahedirad, S., “Accurate prediction of nanofluid viscosity using a multilayer perceptron artificial neural network (MLPANN)”, *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 155, 73–85, 2016.

Ho, C.J., Huang, J.B., Tsai, P.S. and Yang, Y.M., “Preparation and properties of hybrid water-based suspension of Al₂O₃ nanoparticles and MEPCM particles as functional forced convection fluid”, *Int. Commun. Heat Mass Transfer* 37, 490–494, 2010.

Hojjat, M., Etemad, S., Bagheri, R. and Thibault, J., “Thermal conductivity of non-Newtonian nanofluids: experimental data and modeling using neural network”, *Int. J. Heat Mass Transf.* 54, 1017–1023, 2011.

Hopfield, J.J. “Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 79, 2554-2558, 1982.

Huang, D., Wu, Z. and Sunden, B., “Effects of hybrid nanofluid mixture in plate heat exchangers”, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 72, 190–196, 2016.

Huminić, G. and Huminić, A., “Hybrid nanofluids for heat transfer applications – A state-of-the-art, review”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 125, 82–103, 2018.

Hwang, Y.J., Lee, J., Lee, C., Jung, Y., Cheong, S. and Lee, C., “Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids”, *Thermochim. Acta* 455, 70–74, 2007.

Jana S., Salehi-Khojin A., and Zhong W-H., “Enhancement of fluid thermal conductivity by the addition of single and hybrid nano-additives”, *Thermochim Acta* 462, 45–55, 2007.

Jeng, L.-Y. and T.-P. Teng, “Performance evaluation of a hybrid cooling system for electronic chips”, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 45, 155–162, 2013.

Jung, J.Y., Oh, H.S., and Kwak, H.Y., “Forced convective heat transfer of nanofluids in microchannels”, *Int. J. Heat Mass Transfer* 52, 466–472, 2009.

Kalteh, M., Abbassi, A., Saffar-Avval, M., Frijns, A., Darhuber, A., and Harting, J., “Experimental and numerical investigation of nanofluid forced convection inside a wide microchannel heat sink”, *Appl. Therm. Eng.* 36, 260–268, 2012.

Kandlikar, SG., “Heat transfer and fluid flow in minichannels and microchannels”, *Elsevier Science Limited*, 2006.

Kannaiyan, S. Boobalan, C., Umasankaran, A., Ravirajan, A., Sathyan, S. and Thomas T., “Comparison of experimental and calculated thermophysical properties of

alumina/cupric oxide hybrid nanofluids”, *Journal of Molecular Liquids* 244, 469–477, 2017.

Karabulut, K., Isı de i tiricilerde ısı aktarımının nanoakı kanlar kullanılarak artırılması, Doktora Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, s. 6, 2015.

Karami, N. and Rahimi, M., “Heat transfer enhancement in a hybrid microchannel photovoltaic cell using Boehmite nanofluid”, *Int. Commun. Heat Mass Transfer* 55, 45–52, 2014.

Keblinski, P., Phillpot, S., Choi, S. and Eastman, J., “Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles (nanofluids)”, *Int. J. Heat Mass Transf.* 45, 855–863, 2002.

Keskenler, F.K. ve Keskenler, E.F. “Geçmi ten günümüze yapay sinir a ları”, *Takvim-i Vekayi* 5, 8-18, 2017.

Khodadadi, H., Toghraie, D. and Karimipour, A., “Effects of nanoparticles to present a statistical model for the viscosity of MgO-Water nanofluid”, *Powder Technology* 342, 166–180, 2019.

Khosrojerdi, S., Vakili, M., Yahyaei, M. and Kalhor, K., “Thermal conductivity modeling of graphene nanoplatelets/deionized water nanofluid by MLP neural network and theoretical modeling using experimental results”, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 74, 11–17, 2016.

Kim, H.J., Bang, I.C. and Onoe, J., “Characteristic stability of bare Au-water nanofluids fabricated by pulsed laser ablation in liquids”, *Opt. Lasers Eng.* 47, 532–538, 2009.

Koo, J. and Kleinstreuer, C., “Laminar nanofluid flow in micro-heat sinks”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 48 (13), 2652–2661, 2005.

Kumar, D.H., Patel, H.E., Kumar, V.R.R., Sundararajan, T., Pradeep, T. and Das, S.K., “Model for heat conduction in nanofluids”, *Physical Review Letters* 93, 144 - 301, 2004.

Kumar, S.A., Meenakshi, K.S., Narashimhan, B., Srikanth, S. and Arthanareeswaran, G., “Synthesis and characterization of copper nanofluid by a novel one-step method”, *Mater. Chem. Phys.* 113, 57–62, 2009.

Kumaresan, V. and Velraj, R., “Experimental investigation of the thermo-physical properties of water–ethylene glycol mixture based CNT nanofluids”, *Thermochim. Acta* 545, 180–186, 2012.

Lee J. and Mudawar I., “Assessment of the effectiveness of nanofluids for singlephase and two-phase heat transfer in micro-channels”. *Int J Heat Mass Transfer*, 50:452–63, 2007.

Li, Y., Tung, S., Schneider, E., and Xi, S., “A review on development of nanofluid preparation and characterization”, *Powder Technol.* 196, 89–101, 2009.

Lo, C.H., Tsung, T.T., Chen, L.C., Su, C.H. and Lin, H.M., “Fabrication of copper oxide nanofluid using submerged arc nanoparticle synthesis system (SANSS)”, *J. Nanoparticle Res.* 7 313–320, 2005.

Luger, G.F. and Stubblefield, W.A., Artificial Intelligence and The Design of Expert Systems, 1st Edition, *Benjamin-Cummings Publishing*, California, 1989.

Ma, D.D., Xia, G.D., Li, Y.F., Jia, Y.T., and Wang, J., “Effects of structural parameters on fluid flow and heat transfer characteristic in microchannel with offset zigzag grooves in sidewall”, *Int J Heat Mass Transfer* 101, 27–35, 2016.

Madhesh D. and Kalaiselvam S., “Experimental analysis of hybrid nanofluid as a coolant”, *Procedia Eng* 97, 1667–75, 2014.

Madhesh D., Parameshwaran R. and Kalaiselvam S., “Experimental investigation on convective heat transfer and rheological characteristics of Cu–TiO₂ hybrid nanofluids”, *Exp Therm Fluid Sci* 52, 104–115, 2014.

Mahian, O., Kianifar, A., Kalogirou, S.A., Pop, I. and Wongwises, S., “A review of the applications of nanofluids in solar energy”, *Int. J. Heat Mass Transf.* 57, 582–594, 2013.

Maiga, S.E.B., Palm, S.J., Nguyen, S.J.C.T., Roy, G. and Galanis, N., “Heat transfer enhancement by using nanofluids in forced convection flows”, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 26-4, 530-546, 2005.

Marquardt, D., “An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters”, *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 11-2, 431–441, 1963.

Masuda H., Ebata A., Teramae K., and Hishinuma, N., “Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultrafine particles (dispersion of gamma-Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra fine particles)”, *Netsu Bussei* 4, 227–33, 1993.

Maxwell J., A treatise on electricity and magnetism, *Clarendon Press*, 1873.

Maxwell, J., A Treatise on Electricity and Magnetism, second ed., *Clarendon Press*, Oxford UK, 1881.

McCulloch, W.S. and Pitts, W.A. “A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity”, *Buttetin of Mathematics and Biophysics* 5, 115-133, 1943.

Megatif, L., Ghozatloo, A., Arimi, A., and Shariati-Niasar, M., “Investigation of laminar convective heat transfer of a novel TiO₂–carbon nanotube hybrid waterbased nanofluid”, *Exp. Heat Transf.* 29, 124–138, 2016.

Michael, J.J. and Iniyan, S., “Performance analysis of a copper sheet laminated photovoltaic thermal collector using copper oxide–water nanofluid”, *Solar Energy* 119, 439–451, 2015.

Moghadassi, A., Ghomi, E. and Parvizian, F., “A numerical study of water based Al_2O_3 and Al_2O_3 –Cu hybrid nanofluid effect on forced convective heat transfer”, *Int. J. Therm. Sci.* 92, 50–57, 2015.

Munkhbayar, B., Tanshen, M.R., Jeoun, J., Chung, H. and Jeong, H., “Surfactant-free dispersion of silver nanoparticles into MWCNT-aqueous nanofluids prepared by one-step technique and their thermal characteristics”, *Ceram. Int.* 39, 6415–6425, 2013.

Murshed, S., Leong, K. and Yang, C., “Enhanced thermal conductivity of TiO_2 —water based nanofluids”, *Int. J. Therm. Sci.* 44 (2005) 367–373, 2005.

Nakano, M., Matsuura, H., Ju, D.-Y., Kumazawa, T., Kimura, S. and Uozumi, Y., “Drug delivery system using nano-magnetic fluid”, *ICICIC’08 3rd International Conference on Innovative Computing Information and Control*, IEEE, 2008, p. 338, 2008.

Namburu, P.K., Kulkarni, D.P., Dandekar, A. and Das, D.K., “Experimental investigation of viscosity and specific heat of silicon dioxide nanofluids”, *Micro NanoLett.* 2, 67-71, 2007.

Nelson, I.C., Banerjee, D. and Rengasamy, P., “Flow Loop Experiments Using Polyalphaolefin Nanofluids”, *J. Thermophys. Heat Transfer* 23, 752-761, 2009.

Nitiapiruk, P., Mahian, O., Dalkilic, A.S. and Wongwises, S., “Performance characteristics of a microchannel heat sink using TiO_2 /water nanofluid and different thermophysical models”, *Int. Commun. Heat Mass Transfer* 47, 98–104, 2013.

Nor Azwadi, C.S., Adamu, I. and Jamil, M., “Preparation methods and thermal performance of hybrid nanofluids”, *J. Adv. Rev. Sci. Res.* 24, 13–23, 2016.

Öücü, O. Yapay sinir a ları ile sistem tanıma, Yüksek Lisans Tezi, *.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, stanbul, s. 9, 2006.

Özo uz, B. Ta it yol yüklerinin yapay sinir a ları uygulamaları ile modellenmesi, Doktora Tezi, *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, stanbul, s. 33-34, 2016.

Öztemel, E., Yapay Sinir A ları, *Papatya Yayıncılık E itim*, Türkiye, 2006.

Pak B.C. and Cho, Y.I., “Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles”, *Exp Heat Transfer* 11(2), 151–70, 1998.

Paul, G., Philip, J., Raj, B., Das, P.K., and Manna, I., “Synthesis, characterization, and thermal property measurement of nano-Al₉₅Zn₀₅ dispersed nanofluid prepared by a two-step process”, *Int. J. Heat Mass Transf.* 54, 3783–3788, 2011.

Peyghambarzadeh, S.M., Hashemabadi, S.H., Chabi, A.R. and Salimi, M., “Performance of water based CuO and Al₂O₃ nanofluids in a Cu-Be alloy heat sink with rectangular microchannels”, *Energy Convers. Manag.* 86, 28–38, 2014.

Ramachandran, R., Ganesan, K. and Asirvatham, L.G., “The role of hybrid nanofluids in improving the thermal characteristics of screen mesh cylindrical heat pipes”, *Therm. Sci.* 6, 2016.

Rosenblatt, F., “The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain”, *Psychoanalytic Review*, 65, 386-408, 1958.

Rumelhart, D.E., Hinton, D.E. and Williams, R.J., “Learning representation by backpropagating errors”, *Nature* 323(9), 533-536, 1986.

Said, Z., Saidur, R., Sabiha, M., Hepbasli, A. and Rahim, N., “Energy and exergy efficiency of a flat plate solar collector using pH treated Al₂O₃ nanofluid”, *J. Clean. Prod.* 30, 1-12, 2015.

Sekhar, Y.R. and Sharma, K., “Study of viscosity and specific heat capacity characteristics of water-based Al₂O₃ nanofluids at low particle concentrations”, *J. Exp. Nanosci.* 10, 86–102, 2015.

Selvakumar, P. and Suresh, S., “Use of Al₂O₃–Cu water hybrid nanofluid in an electronic heat sink”, *IEEE Trans. Comp., Pack. Manuf. Technol.* 2, 1600–1607, 2012.

Shahsavari, A., Salimpour, M., Saghafiyan, M. and Shafii, M., “An experimental study on the effect of ultrasonication on thermal conductivity of ferrofluid loaded with carbon nanotubes”, *Thermochim Acta* 617 (2015) 102–110, 2015.

Shende, R. and Sundara, R., “Nitrogen doped hybrid carbon based composite dispersed nanofluids as working fluid for low-temperature direct absorption solar collectors”, *Solar Energy Mater. Solar Cells* 140, 9–16, 2015.

Sheng, Y., Chang, L., Kuang, T. and Hu, J., “PEG heparin-decorated lipid–polymer hybrid nanoparticles for long-circulating drug delivery”, *RSC Adv.* 6, 23279–23287, 2016.

Shirazi, S.F.S., Gharekhani, S., Yarmand, H., Badarudin, A., Metselaar, H.S.C. and Kazi, S.N., “Nitrogen doped activated carbon/graphene with high nitrogen level: green synthesis and thermo-electrical properties of its nanofluid”, *Mater. Lett.* 152, 192–195, 2015.

Steven, B., Albert, J. and Kevin, P., “Investigation of the electrical conductivity of propylene glycol based ZnO nanofluids”, *Nanoscale Res. Lett.* 6, 346–351, 2011.

Sundar, L.S., Sharma, K.V., Singh, M.K. and Sousa, A.C.M., “Hybrid nanofluids preparation, thermal properties, heat transfer and friction factor – A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68, 185 – 198, 2017.

Sundar, L.S., Singh, M.K. and Sousa, A.C., “Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT–Fe₃O₄/water hybrid nanofluids”, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 52, 73–83, 2014.

Sundar, L.S., Singh, M.K., Antonio and Sousa, A.C.M., “Turbulent heat transfer and friction factor of nanodiamond-nickel hybrid nanofluids flow in a tube: An experimental study”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 117, 223–234, 2018.

Suresh, S., Venkataraj, K., and Selvakumar, P., “Synthesis, characterisation of Al₂O₃/Cu nano composite powder and water based nanofluids”, *Adv. Mater. Res.* 1560–1567, 2011.

Suresh S., Venkataraj, K.P., Hameed, M.S. and Sarangan, J., “Turbulent heat transfer and pressure drop characteristics of dilute water based Al₂O₃–Cu hybrid nanofluids”, *J Nano Sci Nanotechnol.* 14, 63–72, 2014.

Suresh S., Venkataraj K.P., Selvakumar, P. and Chandrasekar, M., “Synthesis of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluids using two step method and its thermo physical properties”, *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp.* 388, 41–49, 2011.

Suresh S., Venkataraj K.P., Selvakumar, P. and Chandrasekar, M., “Effect of Al₂O₃–Cu/water hybrid nanofluid in heat transfer”. *Exp Therm Fluid Sci.* 38, 54–60, 2012.

Swapnil, P.D.K., Gaurav, Z., Anand, R. and Kamble, D.P., “Heat transfer enhancement of circular heat pipe with Al₂O₃ BN/water hybrid nanofluid”, *Int. J. Curr. Eng. Technol.* 4, 138–143, 2016.

Takabi, B. and Salehi, S., “Augmentation of the heat transfer performance of a sinusoidal corrugated enclosure by employing hybrid nanofluid”, *Adv. Mech. Eng.* 6, 147059, 2014.

Takabi B. and Shokouhmand H., “Effects of Al₂O₃–Cu/water hybrid nanofluid on heat transfer and flow characteristics in turbulent regime”, *Int J Mod Phys.* 26, 1–25, 2015.

Vafaei, M., Afrand, M., Sina, N., Kalbasi, R., Sourani, F. and Teimouri, H. “Evaluation of thermal conductivity of MgO-MWCNTs/EG hybrid nanofluids based on experimental data by selecting optimal artificial neural networks”, *Phys. E: Low-Dimens. Syst. Nanostruct.* 85, 90–96, 2017.

Vajjha, R.S. and Das, D.K., “Specific Heat Measurement of Three Nanofluids and Development of New Correlations”, *ASME J. Heat Transfer* 131, 071601, 2009.

Vajravelu K. and Sastri, K.S., “Natural convective heat transfer in vertical wavy channels”, *Int J Heat Mass Transfer* 23, 8–11, 1980.

Vinnakoti. S. and Kota, V.R., “ANN based control scheme for a three-level converter based power quality unified conditioner”, *J. Electr. Syst. Inf. Technol.* 5, 526–541, 2018.

Vogl, T.P., Mangis, J.K., Rigler, A.K., Zink, W.T. and Alkon, D.L., “Accelerating the convergence of the backpropagation method,” *Biological Cybernetics* 59, 257–263, 1988.

Wang, X., Xu, X. and Choi, S.U.S., “Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture” , *Journal of Thermophysics and Heat Transfer* (13), 475-480, 1999.

Wasp, E.J., Kenny, J.P. and Gandhi, R.L., “Solid–liquid Slurry Pipeline Transportation, Bulk Materials Handling”, *Trans Tech Publications*, Germany, 1999.

Widrow, B. and Hoff, M.E. “Adaptive switching circuits”, *WESTCON Convention, Record Part IV*, 96-104, 1960.

Winston, P.H., Artificial Intelligence, 3rd Edition, *Pearson*, New York, 1992.

Xie, H., Jiang, B., Liu, B., Wang, Q., Xu, J. and Pan, F., “An investigation on the tribological performances of the SiO₂/MoS₂ hybrid nanofluids for magnesium alloy-steel contacts”, *Nanoscale Res. Lett.* 11, 329, 2016.

Xie, H., Lee, H., “Youn, W. and Choi, M., “Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities”, *J. Appl. Phys.* 94, 4967–4971, 2003.

Xu, L. and Xu, J., “Nanofluid stabilizes and enhances convective boiling heat transfer in a single microchannel”, *Int. J. Heat Mass Transf.* 55 (21–22), 5673–5686, 2012.

Xuan, Y., Li, Q. and Hu, W., “Aggregation Structure and Thermal Conductivity of Nanofluids”, *AIChE Journal* 49 (4), 1038-1043, 2003.

Xuan, Y. and Roedel, W., “Conceptions for Heat Transfer Correlations of Nanofluids”, *Int. J. Heat Mass Transfer* 43, 3701-3707, 2000.

Xue, Q. Z., “Model for effective thermal conductivity of nanofluids”, *Physics Letters A* 307, 313–317, 2003.

Yarmand, H., Gharekhani, S., Ahmadi, G., Shirazi, S.F.S., Baradaran, S. and Montazer, E., “Graphene nanoplatelets–silver hybrid nanofluids for enhanced heat transfer”, *Energy Convers. Manage.* 100, 419–428, 2015.

Yarmand, H., Gharekhani, S., Shirazi, S.F.S., Goodarzi, M., Amiri, A., and Sarsam, W.S., “Study of synthesis, stability and thermo-physical properties of graphene nanoplatelet/platinum hybrid nanofluid”, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 77, 15–21, 2016.

Yousefi, F., Karimi, H. and Papari, M.M., “Modeling viscosity of nanofluids using diffusional neural networks”, *J. Mol. Liq.* 175, 85–90, 2012.

Yu, W. and Choi, S.U.S., “The role of interfacial layers in the enhanced thermal conductivity of nanofluids: a renovated Maxwell model”, *J. Nanopart. Res.* 5, 167–171, 2003.

Yu, W. and Xie, H., “A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications”, *J. Nanomater.* 1, 2012.

Yuan, H., Vasiraju, S. and Que, L., “Hybrid nanomaterial-based nanofluids for micropower generation”, *RSC Advances*. 4, 2433–2439, 2014.

Zawrah, M., Khattab, R., Girgis, L., El Daidamony, H. and Aziz, R.E.A., “Stability and electrical conductivity of water-base Al₂O₃ nanofluids for different applications”, *HBRC J*, 2015.

Zhang, H., Shao, S., Xu, H. and Tian, C., “Heat transfer and flow features of Al₂O₃–water nanofluids flowing through a circular microchannel–experimental results and correlations”, *Appl. Therm. Eng.* 61 (2), 86–92, 2013.

Zhang, X., Li, C., Zhang, Y., Jia, D., Li, B. and Wang, Y., “Performances of Al₂O₃/SiC hybrid nanofluids in minimum-quantity lubrication grinding”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 1–15, 2016.

Zhang, X., You, S., Ge, H., Gao, Y., Xu, W. and Wang, M., “Thermal performance of direct-flow coaxial evacuated-tube solar collectors with and without a heat shield”, *Energy Convers. Manage.* 84, 80–87, 2014.

Zhang, Y., Li, C., Jia, D., Zhang, D. and Zhang, X., “Experimental evaluation of the lubrication performance of MoS₂/CNT nanofluid for minimal quantity lubrication in Ni-based alloy grinding”, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 99, 19–33, 2015.

Zhao, N., Wen, X., Yang, J., Li, S. and Wang, Z., “Modeling and prediction of viscosity of water-based nanofluids by radial basis function neural networks”, *Powder Technol.* 281, 173–183, 2015.

ÖZ GEÇM

Andaç Batur ÇOLAK 20.09.1977 tarihinde Ni de'de do du. İlk, orta ve lise öğrenimini Ni de'de tamamladı. 1995 yılında girdi i Ni de Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında mezun oldu. Askerlik hizmetini tamamlamasının ardından 2002-2005 yılları arasında B RKO Enerji'de Enerji Santrali Sorumlusu olarak çalıştı. 2004 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Endüstriyel Sistemlerde Erken Uyarıcı Dinamik Bakım" konulu tez çalışması ile yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2005 tarihinden bu yana BOTA International'da Saha Müdürü olarak görev yapmaktadır. Bilim dalındaki ilgi alanı enerjidir.

TEZ ÇALI MASINDAN ÜRET LEN ESERLER

Bu tez çalı masından, 1 (bir) adet SCIE kapsamında uluslararası hakemli dergide yayınlanmı olan makale ve 1 (bir) adet uluslararası bildiri üretilmi tir. Üretilen çalı malar a a ıda sunulmu tur.

Çolak, A.B., Yıldız, O., Bayrak, M., Çelen, A., Dalkılıç, A.S. and Wongwises, S., “Experimental study on the specific heat capacity measurement of water-based Al₂O₃-Cu hybrid nanofluid by using differential thermal analysis method”, *Current Nanoscience*, DOI : 10.2174/1573413715666191118105331

Çolak, A.B., Yıldız, O. ve Bayrak, M., “Al₂O₃-Cu/Su hibrit nanosıvısının özgül ısısının deneysel yolla incelenmesi”, *EJONS 6. Uluslararası Matematik, Mühendislik, Fen ve Sa lık Bilimleri Kongresi*, Adana, s.34-49, 8-9 Mart, 2019.