T.C
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİ PERFORMANSINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YUNUS DEMİRTAŞ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2016

Prof. Dr. Hüsamettin BULUT danışmanlığında, Yunus DEMİRTAŞ 'ın hazırladığı **"Toprak Hava Isı Değiştiricisi Performansına Etki Eden Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi"** konulu bu çalışma ...../...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman	:Prof. Dr. Hüsamettin BULUT	……
Üye	:Doç.Dr. Refet KARADAĞ	……
Üye	:Doç. Dr. Asım BALBAY	…….....

Bu Tezin Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Prof. Dr. Sinan UYANIK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 14145

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
SİMGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
1.1 Enerji Kaynakları ve Yenilenebilir Enerji 1
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 3
1.2.1. Güneş enerjisi 3
1.2.2. Hidrolik enerji 3
1.2.3. Biyokütle enerjisi 4
1.2.4. Rüzgar enerjisi 4
1.2.5. Jeotermal enerji 5
1.3. Toprak Enerjisi 5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 10
3. MATERYAL ve YÖNTEM 17
3.1. Çalışmaya ait Temel Bilgiler 17
3.1.1. Deney düzeneği 17
3.2. Deney Sisteminin Kurulması 21
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 30
4.1. Malzemenin THID Performansı Üzerine Etkisi 34
4.1.1 Malzemenin ısıtma durumundaki etkisi 35
4.1.2 Malzemenin soğutma durumundaki etkisi 45
4.2. Toprak Derinliğinin THID Performansı Üzerine Etkisi 51
4.2.1. Toprak derinliğinin ısıtma durumundaki etkisi 51
4.2.2. Toprak derinliğinin soğutma durumundaki etkisi 57
4.3. Boru Çapının THID Performansı Üzerine Etkisi 60
4.3.1. Boru çapının ısıtma durumundaki etkisi 60
4.3.2. Boru çapının soğutma durumundaki etkisi 63
4.4 Hızın THID Performansı Üzerine Etkisi 65
4.4.1. Hava hızının ısıtma durumundaki etkisi 65
4.4.2. Hava hızının soğutma durumundaki etkisi 72
4.5. Boru Uzunluğunun THID Performansı Üzerine Etkisi 78
4.5.1. Boru uzunluğunun ısıtma durumundaki etkisi 79
4.5.2. Boru uzunluğunun soğutma durumundaki etkisi 82
4.6. Toprak Nemliliğinin THID Performansı Üzerine Etkisi 86
4.7. Dış Hava Sıcaklığının Çıkış Sıcaklığına Etkisi 93
4.7.1. Isıtma durumunda çıkış sıcaklığının giriş sıcaklığı ile değişimi 93
4.7.2. Soğutma durumunda çıkış sıcaklığının dış hava sıcaklığı ile değişimi 94
4.8. Dış Hava Sıcaklığının Topraktan Çekilen Isı Miktarına Etkisi 96
4.9. Dış Hava Sıcaklığının Soğutma Kapasitesine Etkisi 98
4.10. Dış Hava Sıcaklığına göre THID Etkinliğinin Değişimi 100
4.10.1. Isıtma durumunda dış hava sıcaklığına göre THID etkinliğinin değişimi 100
4.10.2. Soğutma durumunda dış hava sıcaklığına göre THID etkinliğinin değişimi 101
4.11. Dış Hava Sıcaklığının COP Değişimine Etkisi 102
4.11.1. Isıtma durumunda dış hava sıcaklığının COP değişimine etkisi 102
4.11.2. Soğutma durumunda dış hava sıcaklığının COP değişimine etkisi 104
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 107
5.1. Sonuçlar 107
5.2. Öneriler 109
KAYNAKLAR 110
ÖZGEÇMİŞ 114

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOPRAK HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİ PERFORMANSINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Yunus DEMİRTAŞ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüsamettin BULUT
Yıl:2016, Sayfa: 114

Günümüzde enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve çevresel kaygılardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına dayanan sistemlere artan bir ilgi vardır. Toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) teknolojileri kullanılarak ısıtma, soğutma ve havalandırma enerji maliyetleri azaltılabilir. THID sistemi, havanın içinden geçtiği kanal veya borulardan ve hava hareketini sağlayan bir fandan meydana gelmektedir. THID sistemine etki eden parametreler karmaşık ve fazladır. Dolayısıyla her bir THID sisteminin çalışma koşulları dikkate alınarak ayrı analiz edilmesi gerekir. Toprak-hava ısı değiştiricisi ile ilgili çalışmalar her geçen gün biraz daha artmaktadır. Bu çalışmada, toprağın sahip olduğu enerji potansiyelini belirlemek için farklı derinliklere yerleştirilmiş, farklı kanal malzemelerinden yapılmış, farklı çaplara sahip altı adet toprak-hava ısı değiştiricisinin deneysel analizi sıcak ve kurak iklime sahip Şanlıurfa koşullarında yapılmıştır. Deneysel analizde THID sistemlerinin ısıtma ve soğutma durumları için derinlik, boru malzemesi, boru çapı, hava hızı, hava giriş sıcaklığı ve toprak sıcaklığı gibi parametreler göz önüne alınmıştır. Bu amaç için 2 m ve 3 m toprak derinliğine sahip PVC ve metal borulu THID sistemleri kurularak, sistemin değişik noktalarından sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre THID sistemlerinin ısıl performansları analiz edilmiştir. Ayrıca 1 m, 2 m ve 3 m derinliklerde toprak sıcaklıkları ölçülmüştür. Çalışma ile toprak sıcaklığının derinlikle değişimi Şanlıurfa için belirlenmiştir. Toprak nemliliğinin THID sisteminin ısıl performansı üzerine etkisi deneysel olarak da analiz edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda bölgede toprak enerjisi potansiyelinin kullanılabileceği ve binalarda enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluşturan soğutma yükünün topraktan sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca THID sistemlerinin bina ve seraların ısıtılması için uygun ve uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Toprak-hava ısı değiştiricisi, toprak enerjisi, ısıtma, soğutma, toprak sıcaklığı

ABSTRACT

MSc Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PARAMETERS AFFECTING EARTH-AIR HEAT EXCHANGER PERFORMANCE

Yunus DEMİRTAŞ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hüsamettin BULUT
Year:2016, Page:114

Nowadays, there is an increasing interest to the systems based on renewable energy sources due to lowering energy costs and environmental concerns. Energy costs for cooling, heating and ventilation can be reduced by using earth-air heat exchanger (EAHX) technologies. EAHX system consists of pipes in which air passes and a fan for air movement. The parameters affecting EAHX system are complex and more. So each EAHX system must be analyzed separately under its operation conditions. The studies on Earth-Air Heat Exchangers increase with each day. In this study the experimental analysis of six earth-air heat exchangers which made of different pipe materials, are placed different depths and has different diameters under arid climatic conditions of Şanlıurfa was performed in order to determine the energy potential of earth. In the experimental analysis, the parameters such as depth, pipe material, pipe diameter, air velocity, input air temperature and earth temperature were taken into account for heating and cooling modes of EAHX. In this study, EAHX system with PVC and metal pipes at soil depth of 2 m and 3m were installed and temperature measurements were taken from different points of the system. Thermal performances for EAHX systems were analysed according to the measurement results. Soil temperatures were also measured at 1 m, 2 m and 3 m depths.The variation of soil temperature was determined for Şanlıurfa which has arid climatic conditions. The effect of the humidity of soil on thermal performance of EAHX was also analysed experimentally. It was seen that there is a notable potential of the using earth energy in the region. It was determined that the cooling load which is a significant part of the energy consumption in buildings can be provided from earth energy with EAHX. It was also concluded that EAHX systems are suitable and applicaple for heating of buildings and greenhouses.

KEY WORDS: Earth-air heat exchanger, earth energy, heating, cooling, earth temperature

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli tecrübe ve birikimleriyle beni yönlendiren danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüsamettin BULUT' a ve destekleriyle yanımda olan Makine Mühendisliği Bölümündeki tüm öğretim üyelerine teşekkür ederim. Ayrıca Yusuf İşıker ve Harun Çifçi başta olmak üzere bölümümüzün tüm araştırma görevlilerine bana sağladıkları imkan ve kolaylıklardan dolayı teşekkür ederim. Son olarak aileme; bana duydukları güvenden dolayı çok teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında, 2014 2
Şekil 1.2. Türkiye Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında, 2014 2
Şekil 1.3. Açık devre THID sistemi 7
Şekil 1.4. Kapalı devre THID sistemi 7
Şekil 2.1. THID sistemine ait şematik çizim. 11
Şekil 3.1. Hava hızının ölçümü için kullanılan anemometre 19
Şekil 3.2. Fanların akım ve voltajlarını ölçmek için kullanılan ölçüm cihazları. 19
Şekil 3.3. Ölçümleri kaydetmek için kullanılan veri kaydetici ve ısıl çiftler. 20
Şekil 3.4. Sistemde kullanılan metal boru ve dirsekler 21
Şekil 3.5. Kazı çalışmaları (1. aşama) 21
Şekil 3.6. Kazı çalışmaları (2. aşama) 22
Şekil 3.7. THID sistemlerinin kurulması (1. aşama) 23
Şekil 3.8. THID sistemlerinin kurulması (2. aşama) 23
Şekil 3.9. THID sistemlerinde belirlenen noktalara T tipi ısıl çiftlerin yerleştirilmesi 24
Şekil 3.10. 2 m derinlikteki THID' ler için sıcaklık ölçüm noktaları 24
Şekil 3.11. 3 m derinlikteki THID' ler için sıcaklık ölçüm noktaları 25
Şekil 3.12. Isıl çiftlerin boru içine yerleştirilmesi 25
Şekil 3.13. Sistemin tamamen toprak ile kapatılması 26
Şekil 3.14. Sistemin üzerine çatı yapılması 26
Şekil 3.15.THID sistemlerine ait genel görüntü 27
Şekil 3.16. THID sistemlerine ait şematik çizim. 28
Şekil 4.1. 1 m, 2 m ve 3 m derinlikteki toprak ve dış ortam sıcaklığının yıl boyunca değişimi. 30
Şekil 4.2. Dış hava ve 1 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi 31
Şekil 4.3. Dış hava ve 2 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi 31
Şekil 4.4. Dış hava ve 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi 32
Şekil 4.5. Kış ayları için dış hava ve 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi 33
Şekil 4.6. Yaz ayları için dış hava ve 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi 33
Şekil 4.7. 2 m derinlik için 4 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) 35
Şekil 4.8. 3 m derinlik için 4 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) 36
Şekil 4.9. 2 m derinlik için 16 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) 36
Şekil 4.10. 3 m derinlik için 16 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) 37
Şekil 4.11. 2 m derinlik için 28 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s) 37
Şekil 4.12. 3 m derinlik için 28 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s) 38
Şekil 4.13. 2 m derinlik için 4 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s) 38
Şekil 4.14. 3 m derinlik için 4 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s) 39
Şekil 4.15. 2 m derinlik için 16 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s) 40

Şekil 4.16. 3 m derinlik için 16 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s) 40
Şekil 4.17. 2 m derinlik için 28 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) 41
Şekil 4.18. 3 m derinlik için 28 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) 41
Şekil 4.19. 2 m derinlik için 4 Mart 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 4 m/s) 42
Şekil 4.20. 3m derinlik için 4 Mart 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 4 m/s) 42
Şekil 4.21. 2 m derinlik için 16 Mart 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) 43
Şekil 4.22. 3 m derinlik için 16 Mart 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) 43
Şekil 4.23. 3 m derinlik için çıkış sıcaklıklarının toprak sıcaklığı ile değişimi 45
Şekil 4.24. 2 m derinlik için çıkış sıcaklıklarının toprak sıcaklığı ile değişimi 45
Şekil 4.25. 2 m derinlik için 4 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) ... 46
Şekil 4.26. 3 m derinlik için 4 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) ... 46
Şekil 4.27. 2 m derinlik için 16 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) . 47
Şekil 4.28. 3 m derinlik için 16 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) . 47
Şekil 4.29. 2 m derinlik için 28 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s) . 48
Şekil 4.30. 3 m derinlik için 28 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s) . 48
Şekil 4.31. 2 m derinlik için 4 Temmuz 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 4 m/s) .. 49
Şekil 4.32. 3 m derinlik için 4 Temmuz 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 4 m/s) .. 50
Şekil 4.33. 2 m derinlik için 4 Ağustos 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) ... 50
Şekil 4.34. 3 m derinlik için 4 Ağustos 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s) ... 51
Şekil 4.35. PVC malzeme için 4 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi 52
Şekil 4.36. Metal malzeme için 4 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi 53
Şekil 4.37. PVC malzeme için 16 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi. 53
Şekil 4.38. Metal malzeme için 16 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi. 54
Şekil 4.39. PVC malzeme için 28 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi. 55
Şekil 4.40. Metal malzeme için 28 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi. 55
Şekil 4.41. Çıkış sıcaklıklarının dış hava sıcaklığı ile değişimi (Metal malzeme için) 56
Şekil 4.42. Çıkış sıcaklıklarının dış hava sıcaklığı ile değişimi (PVC malzeme için) 56
Şekil 4.43. PVC malzeme için 4 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi. 57
Şekil 4.44. Metal malzeme için 4 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi. 58
Şekil 4.45. PVC malzeme için 16 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi. 58
Şekil 4.46. Metal malzeme için 16 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi. 59
Şekil 4.47. PVC malzeme için 28 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi. 59
Şekil 4.48. Metal malzeme için 28 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi. 60
Şekil 4.49. 10 cm (SS) ve 15 cm (S2) çapındaki metal borulara ait 4 Ocak 2015 tarihli ölçüm. 61
Şekil 4.50. 10 cm (PS) ve 15 cm (P2) çapındaki PVC borulara ait 16 Ocak 2015 tarihli ölçüm. 61
Şekil 4.51. 10 cm (SS) ve 15 cm (S2) çapındaki metal borulara ait 16 Ocak 2015 tarihli ölçüm. 62
Şekil 4.52. 10 cm (SS) ve 15 cm (S2) çapındaki metal borulara ait 28 Ocak 2015 tarihli ölçüm. 62
Şekil 4.53. 10 cm (PS) ve 15 cm (P2) çapındaki PVC borulara ait 16 Haziran 2015 tarihli ölçüm 63

Şekil 4.54. 10 cm (SS) ve 15 cm (S2) çapındaki metal borulara ait 16 Haziran 2015 tarihli ölçüm. ... 64
Şekil 4.55. 10 cm (PS) ve 15 cm (P2) PVC borulara ait 28 Haziran 2015 tarihli ölçüm. ... 64
Şekil 4.56. 10 cm (SS) ve 15 cm (S2) çapındaki metal borulara ait 28 Haziran 2015 tarihli ölçüm 65
Şekil 4.57. 4 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 66
Şekil 4.58. 6 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 66
Şekil 4.59. 8 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 67
Şekil 4.60. 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s hızlarına ait sıcaklık farklarının zamanla değişimi ... 67
Şekil 4.61. 4 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 68
Şekil 4.62. 6 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 68
Şekil 4.63. 8 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 69
Şekil 4.64. 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s hızlarına ait sıcaklık farklarının zamanla değişimi ... 69
Şekil 4.65. 4 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 70
Şekil 4.66. 6 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 70
Şekil 4.67. 8 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 71
Şekil 4.68. 4m/s, 6 m/s ve 8 m/s hızlarına ait sıcaklık farklarının zamanla değişimi ... 72
Şekil 4.69. 4 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 73
Şekil 4.70. 6 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 73
Şekil 4.71. 8 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 74
Şekil 4.72. 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s hızlarına ait sıcaklık farklarının zamanla değişimi ... 75
Şekil 4.73. 4 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 75
Şekil 4.74. 6 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 76
Şekil 4.75. 8 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi ... 77
Şekil 4.76. 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s hızlarına ait sıcaklık farklarının zamanla değişimi ... 77
Şekil 4.77. 2m derinlikteki THID' ler için sıcaklık ölçüm noktaları ... 78
Şekil 4.78. 3 m derinlikteki THID' ler için sıcaklık ölçüm noktaları ... 79
Şekil 4.79. 2 m derinlikteki PVC için sıcaklık ölçüm noktaları ... 80
Şekil 4.80. 3m derinlikteki PVC malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları ... 81
Şekil 4.81. 2 m derinlikteki metal malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları ... 81
Şekil 4.82. 3 m derinlikteki metal malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları ... 82
Şekil 4.83. 2 m derinlikteki PVC malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları ... 83
Şekil 4.84. 3 m derinlikteki PVC malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları ... 83
Şekil 4.85. 2 m derinlikteki metal malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları ... 84
Şekil 4.86. 2 m derinlikteki metal malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları ... 85
Şekil 4.87. THID sistemleri ve sulama hattına ait çizim. ... 86
Şekil 4.88. THID sistemleri ve sulama hattının üstten görünüşü ... 86
Şekil 4.89. 21 ve 22 Ağustos tarihlerine ait PVC ölçüm sonuçları ... 87
Şekil 4.90. 21 ve 22 Ağustos tarihlerine ait metal ölçüm sonuçları ... 88
Şekil 4.91. 21 ve 22 Ağustos tarihlerine ait dış ortam ölçüm sonuçları ... 89

Şekil 4.92. 24 ve 25 Ağustos tarihlerine ait PVC ölçüm sonuçları 89
Şekil 4.93. 24 ve 25 Ağustos tarihlerine ait metal ölçüm sonuçları 90
Şekil 4.94. 24 ve 25 Ağustos tarihlerine ait dış ortam ölçüm sonuçları 90
Şekil 4.95. 1 ve 2 Eylül tarihlerine ait PVC ölçüm sonuçları..... 91
Şekil 4.96. 1 ve 2 Eylül tarihlerine ait metal ölçüm sonuçları..... 92
Şekil 4.97. 1 ve 2 Eylül tarihlerine ait dış ortam sıcaklıkları 92
Şekil 4.98. Dış hava sıcaklığının çıkış sıcaklığı üzerine etkisi (3 m derinlik)..... 93
Şekil 4.99. Dış hava sıcaklığının çıkış sıcaklığı üzerine etkisi (2 m derinlik)..... 94
Şekil 4.100. Dış hava sıcaklığının çıkış sıcaklığı üzerine etkisi (3 m derinlik)..... 95
Şekil 4.101. Dış hava sıcaklığının çıkış sıcaklığı üzerine etkisi (2 m derinlik)..... 95
Şekil 4.102. Topraktan çekilen ısının dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m) 96
Şekil 4.103. Topraktan çekilen ısının dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m) 97
Şekil 4.104. Isıtma döneminde çekilen ısının dış hava sıcaklığı ile değişimi 97
Şekil 4.105. Toprağa verilen ısının dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m)..... 98
Şekil 4.106. Toprağa verilen ısının dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m)..... 99
Şekil 4.107. Soğutma döneminde dış hava sıcaklığının soğutma yüküne etkisi 99
Şekil 4.108. Isıtma durumunda THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m)..... 100
Şekil 4.109. Isıtma durumunda THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m)..... 101
Şekil 4.110. Soğutma durumunda THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m)..... 101
Şekil 4.111. Soğutma durumunda THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m)..... 102
Şekil 4.112. Isıtma durumunda COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m)..... 103
Şekil 4.113. Isıtma durumunda COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m)..... 103
Şekil 4.114. Isıtma durumunda 4 THID sistemine ait COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi..... 104
Şekil 4.115. Soğutma durumunda COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m) 105
Şekil 4.116. Soğutma durumunda COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m) 105
Şekil 4.117. Soğutma durumunda 4 THID sistemine ait COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi... 106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Toprağın fiziksel özellikleri 17
Çizelge 3.2. Farklı maddelere ait termofiziksel özellikler..... 18
Çizelge 3.3. Toprak-hava ısı değiştiricilerinin özellikleri 20
Çizelge 3.4. THID sistemlerinin şematik çizimine ait işaretlerin ifadesi 28

SİMGELER DİZİNİ

THID	Toprak-hava ısı değiştiricisi
T	Toprak sıcaklığı
T1	1 m derinliğindeki toprak sıcaklığı
T2	2 m derinliğindeki toprak sıcaklığı
T3	3 m derinliğindeki toprak sıcaklığı
P3	3 m derinliğindeki, PVC malzeme kullanılan THID
P2	2 m derinliğindeki, PVC malzeme kullanılan THID
S3	3 m derinliğindeki, sac malzeme kullanılan THID
S2	2 m derinliğindeki, sac malzeme kullanılan THID
PS	PVC malzeme kullanılan, sulama sistemi olan THID
SS	Sac malzeme kullanılan, sulama sistemi olan THID
ε	Etkinlik
Q	Topraktan çekilen veya toprağa verilen ısı miktarı
W	Fan gücü
C_{hava}	Havanın özgül ısısı
$\dot{m}$	Kütlesel debi
COP	Etkinlik katsayısı
g	Giriş
ç	Çıkış

1. GİRİŞ

1.1 Enerji Kaynakları ve Yenilenebilir Enerji

Günümüzün temel sorunlarından birisi artan enerji ihtiyaçlarının sınırlı enerji kaynaklarıyla karşılanmaya çalışılırken aynı zamanda yaşadığımız doğa ve çevrenin neredeyse geri dönülmez biçimde tahrip edilmesidir. Bugün tüketilen enerji kaynaklarının başında fosil yakıtlar gelmektedir. Fosil yakıtlar bir taraftan tükenme eğilimine girmiş, diğer taraftan da çevre kirliliğinin baş aktörü durumuna gelmiştir. Bu nedenle alternatif enerji kaynakları arayışına girişilmiş olup, bunlar güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji çeşitleridir (Arslan, 2014).

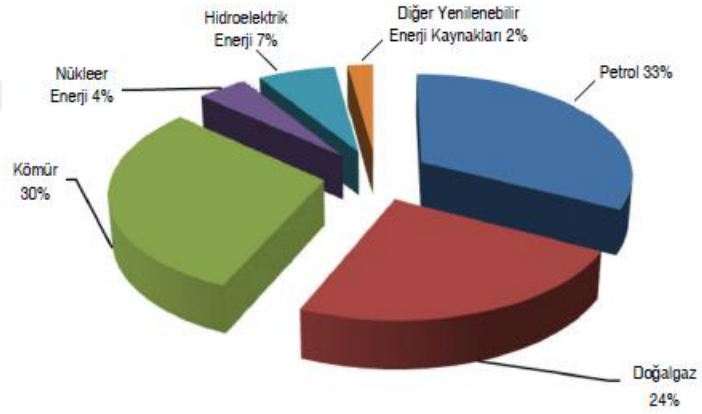
Ülkemizde enerjinin verimli kullanılması son zamanlarda en önemli gündem maddelerinden birisi haline gelmistir. Enerjinin verimli kullanılabilmesi konusunda yenilenebilir enerji kaynakları tükenmez kaynaklar olarak düşünüldüğünden en önemli sırayı almaktadır. Günümüzde büyük ekonomik gelişme ve hızla artan yaşam kalitesi sonucu olarak Türkiye'de enerji sektörünün her alanında hızlı bir talep artışı olduğu gözlemlenmektedir. Türkiye, gelişmekte olan ülkeler içerisinde enerji talebinin en hızlı arttığı ülke durumundadır.

Hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle ve biyogaz yenilenebilir kaynaklardan üretilen ve dünya var oldukça kendisini yenileyen yani tükenmeyen enerji kaynaklarındandır. Yenilenebilir enerji kaynakları yeryüzünde çok geniş alanlarda bulunabilmektedir. Etkili olarak kullanılması durumunda talep edilen miktarda enerji ihtiyacını karşılayabilecek şekilde kullanılabilir (Çapık, 2012).

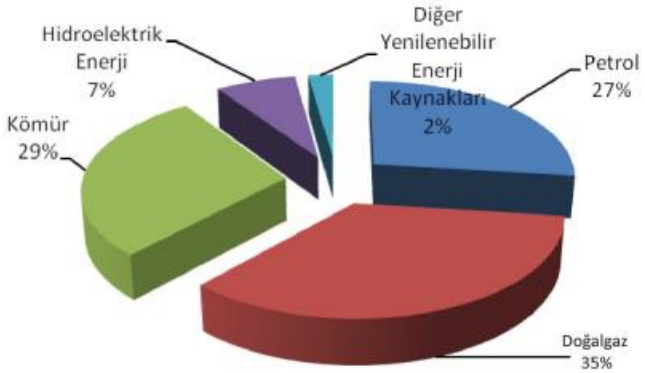
Gelişmekte olan Türkiye'nin bir yandan nüfusu artarken diğer yandan da giderek enerjiye bağlı olarak yaşam kalitesi artmaktadır. Enerji kaynaklarımızı çeşitlendirmek ve kaynak temini konusunda mümkün olduğunca dışa bağımlılığımızı minimize etmek bakımından yenilenebilir enerji kaynaklarımızın kullanım

oranlarının artırılması oldukça önemlidir. Ülkemizde birçok yenilenebilir enerji kaynağı mevcuttur ve bu yenilenebilir enerji kaynakları elektrik enerjisi üretiminde çok daha fazla ve etkin olarak kullanılmalıdır (Çalışkan, 2011)

Dünya'da ve Türkiye'de birincil enerji tüketim kaynaklarının dağılımı Şekil 1.1. ve Şekil 1.2.'de verilmiştir. (BP .(2015)) Şekillerden ağırlıklı olarak fosil yakıtlara bir bağımlılığın olduğu görülmektedir.



Şekil 1.1. Dünya Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında, 2014



Şekil 1.2. Türkiye Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında, 2014

Çoğu yenilebilir enerji kaynağı enerjisini, direkt veya endirekt olarak güneşten alır. Güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, bioenerji, hidrojen, dalga enerjisi, rüzgâr enerjisi yenilebilir enerji kaynaklarından başlıcalarıdır. Dünya enerji sektöründe önceleri petrol krizine bağlı olarak gelişen arz kısıtlamalarına, sonraları

çevresel etki ve çevresel baskıların eklenmesi, farklı enerji kaynaklarını gündeme getirmiş olup genelde temiz, çevre dostu ve yeşil enerji olarak adlandırılan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını ön plana çıkarmıştır.

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

1.2.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan hidrojen gazını helyuma dönüştüren füzyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkan çok güçlü bir enerjidir. Güneş ışınları vasıtasıyla dünyamıza gelen bu enerjiden yararlanmak için güneş kollektörleri, güneş santralleri ve güneş pilleri (fotovoltaik piller) gibi teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojiler sayesinde güneş enerjisi ısı enerjisi olarak doğrudan ya da elektrik enerjisine dönüştürülerek dolaylı olarak kullanılabilmektedir. Elektrik İşleri İdaresi (EİE) tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasına (GEPA) göre, Türkiye'de 56000 MW termik santral kapasitesine eşdeğer güneş enerji kapasitesinin bulunduğu ve bu potansiyelden yararlanılması durumunda yıllık ortalama 380000 GWh'lık elektrik enerjisi üretilebileceği belirlenmiştir. Türkiye'de güneş enerjisinin oldukça önemli bir potansiyeli bulunmasına rağmen, güneş enerjisinden yeterince yararlanılamamaktadır. Elektrik üretim maliyetlerinin yüksek olması bu enerjinin ticari olarak kullanımını engellemektedir. Türkiye'de güneş enerjisi yaygın olarak sıcak su ısıtma sistemlerinde (güneş kolektörleri) kullanılmaktadır Dünyada güneş enerjisinden daha fazla yararlanmak amacıyla çeşitli çalışmalar sürdürülmektedir. Güneş pili (Fotovoltaik piller - PV) üretim maliyelerindeki düşüş ve teşviklerin katkısıyla yakın gelecekte dünyada ve Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim faaliyetlerinin artması beklenmektedir (Koç ve Kaya, 2015).

1.2.2. Hidrolik enerji

Suyun mevcut potansiyel enerjisinin geliştirilen sistemlerle kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen enerjiye hidrolik enerji denilmektedir. Belli bir

seviyede tutulan suyun kanallar yardımıyla daha düşük seviyeye indirilmesiyle açığa çıkan kinetik enerjinin türbinlerin dönmesini sağlamasıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir. Hidrolik enerjinin varlığı akarsu ve nehirlere dolayısıyla yağışlara bağlıdır. Bundan dolayı, hidrolik enerji, iklim şartlarındaki değişimlerden etkilenen bir enerji türüdür. Bunun yanında hidroelektrik santraller, diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında en düşük işletme maliyetine, en uzun işletme ömrüne ve en yüksek verime sahiptir (Erdoğan, 2014).

1.2.3. Biyokütle enerjisi

Biyokütle enerjisi, içerisinde karbonhidrat bileşikleri bulunan bitkisel ve hayvansal kökenli maddelerden elde edilen enerji kaynağıdır. Günümüzde, biyokütle enerji kaynakları kullanılarak biyoetanol, biyodizel ve biyogaz gibi yakıtlar elde edilmektedir. Biyoetanol ve biyodizel, çeşitli bitkiler veya hayvansal yağlar kullanılarak üretilen bir yakıt türüdür. Biyogaz ise organik maddelerin (bitkisel ve hayvansal atıklar, şehir ve endüstriyel atıklar) oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucu oluşan ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit gazıdır (Koltukçu, 2010; Gizlenci ve ark., 2012).

1.2.4. Rüzgar enerjisi

Rüzgâr enerjisi, güneş radyasyonunun yer yüzeylerini farklı ısıtmasından kaynaklanmaktadır. Denizlerin ve havanın farklı ısınması bir basınç farkı oluşumuna, bu basınç farkı ise havanın hareketine neden olmaktadır. Yüksek basınçtan alçak basınca doğru olan havanın bu hareketi rüzgâr olarak bilinmektedir. Rüzgâr enerjisinden mekanik enerji veya elektrik enerjisi üretmek amacıyla yararlanılmaktadır. Elde edilen mekanik enerji genel olarak evlerde ve çiftliklerde sulama amacıyla kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretmek amacıyla ise Rüzgâr Enerjisi Santrallerinden (RES) yararlanılmaktadır (Koç ve Kaya, 2015).

1.2.5. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir (Ertürk ve ark.,2006).

Fosil yakıtlara göre çok daha az hava kirliliğine neden olmasından dolayı çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Jeotermal kaynakların elektriksel güç üretiminde ve doğrudan ısıtma uygulamalarında kullanılmasıyla enerji temini sağlanır. Ayrıca binalarda ve endüstride jeotermal ısı pompalarının kullanılması ile de elektrik ve doğalgaz tasarrufu sağlanmaktadır. Jeotermal enerjiden ısı pompalarında iki şekilde yararlanılabilir. Birincisi yeraltından yüzeye ulaşmış düşük sıcaklıktaki kaynak suları ısı pompalarında ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanılabilir. İkinci yöntem ise yeryüzünün derinliklerinde bulunan kayaçların jeotermal ısısından yararlanmaktır. Bu yöntem yeraltı suyunun hiç bulunmadığı veya çok az miktarda bulunduğu yerlerde uygulanabilir. Tipik sondaj kuyusu derinliği 100 ile 200m arasındadır. Yüksek ısıl kapasite istendiğinde, açılan kuyular büyük bir kayaç hacmine ulaşıncaya kadar ilerletilir. Bu tür ısı pompaları daima polietilen borularla kayaçtan ısı çeken salamura sistemine bağlanırlar. Sondaj işleminin yüksek maliyetinden dolayı kayaçların küçük konutlarda ısı kaynağı olarak kullanılması ekonomik açıdan genellikle uygun değildir. (Erdoğan ve ark.,2006).

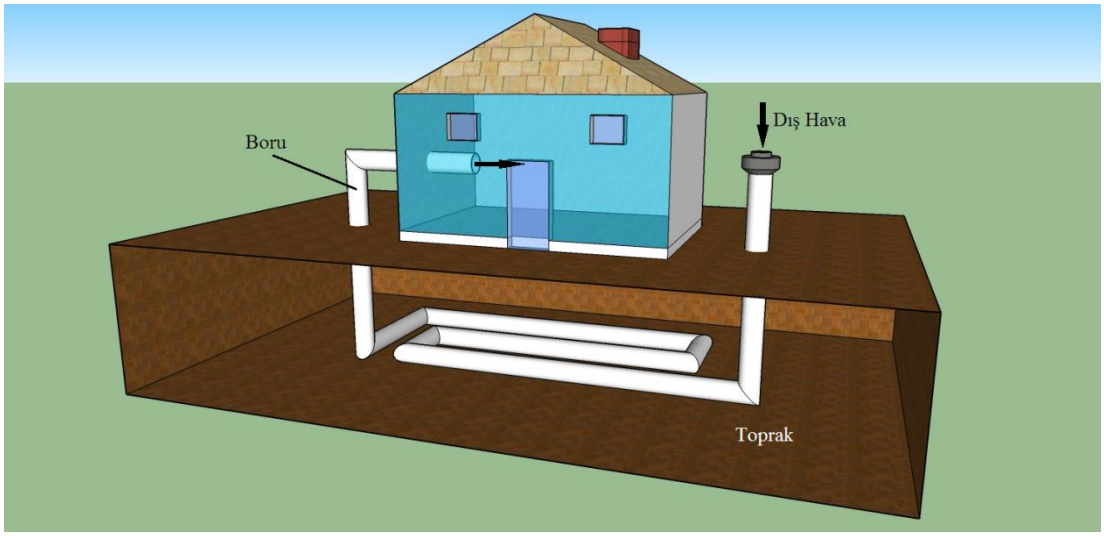
1.3. Toprak Enerjisi

Isının terkedildiği veya ısının alındığı depolara ısıl enerji depoları denilmektedir. Atmosfer havası, denizler, akarsular ve toprak birer ısıl enerji depolarıdır. Bu ısıl enerji depoları ısı kaynağı veya ısı kuyusu olabilirler (Çengel ve Boles (2008)). Enerji kaynaklarının azaldığı ve maliyetlerinin yükseldiği günümüzde farklı alternatif enerji kaynaklarına yönelmeler olmaktadır. Geçmişte konvansiyonel enerji kaynaklarının yoğun ve kolay ulaşılabilmesi ve ucuz olmasından dolayı

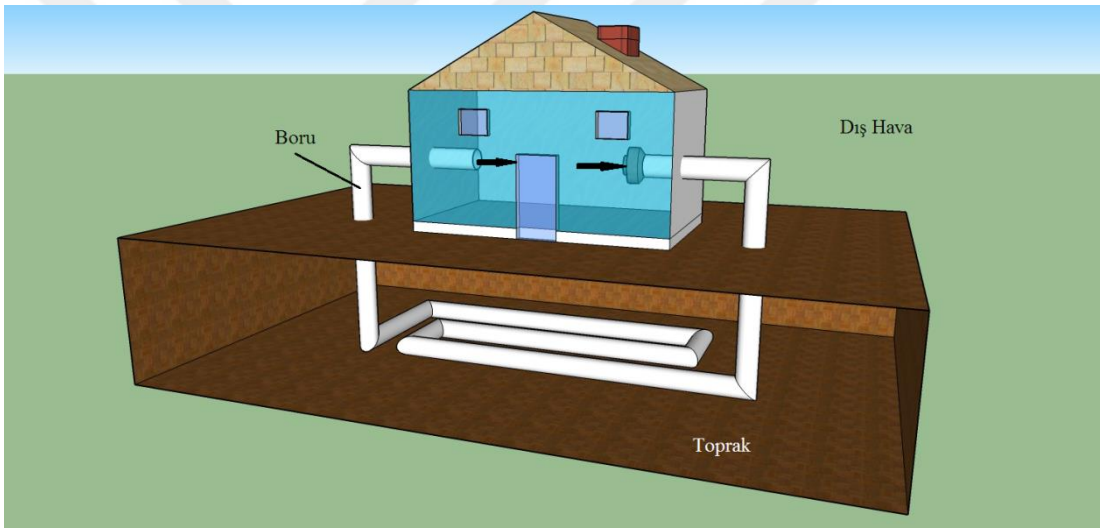
göreceli olarak ekonomik ve teknolojik olarak dezavantajlı enerji kaynaklarına ilgi yeterince olmamaktaydı. Fakat bu yaklaşım günümüzde değişmiştir. Tüm enerji kaynaklarının kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Toprak enerjisi eskiden beri bilinen bir ısı kaynağıdır. Günümüzde toprak, daha çok ısı pompaları için kaynak veya kuyu olmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompalarında, akışkan boruları dikey veya yatay olarak toprak altına döşenmektedir. İklimlendirme, sera ve havalandırma sistemleri için toprağın enerji kaynağı veya kuyu olması ise biraz göz ardı edilmiştir. Ancak iç hava kalitesinin önem kazanması ve enerji maliyetlerinin artması ile hava-toprak ısı değiştiricilerine bir yönelmenin olacağı beklenmektedir.

Toprağın yüksek ısıl kapasitesi ve ortam havasına göre sıcaklık dalgalanmalarının düşük olmasından dolayı toprak altı ısısı rahatlıkla kullanılabilir. Kışın toprak yüzeyinden derine inildikçe toprak sıcaklığı artmakta, yazın ise azalmaktadır. Yeterli bir derinlikte, toprak sıcaklığı dış ortam sıcaklığına göre yazın daha düşük ve kışın ise daha yüksektir. Bu sıcaklık farkı kullanılarak, hava, toprağa gömülmüş kanal veya borulardan geçirilerek, yazın soğutulur, kışın ise ısıtılır. Bir THID sistemi borulardan ve hava hareketini sağlayan bir fandan meydana gelir. THID sistemi açık ve kapalı devre şeklinde çalıştırılabilir. Dış havayı alıp içeri basan sistem açık devredir (Şekil 1.3.). İç havayı alıp ısıttıktan veya soğuttuktan sonra tekrar içeri veren sistem ise kapalı devredir (Şekil 1.4.).



Şekil 1.3. Açık devre THID sistemi



Şekil 1.4. Kapalı devre THID sistemi

Toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) teknolojileri kullanılarak ısıtma, soğutma ve havalandırma enerji maliyetleri azaltılabilir.

Teorik ve deneysel çalışmalara göre, bir THID sisteminin ısıl verim ve performansına aşağıdaki değişkenler etki eder (Abbaspour ve ark., 2011; Peretti ve ark., 2013):

1. **İklimsel şartlar ve coğrafik konum:** THID sistemleri dış ortam iklim şartlarından etkilenirler. Çok sıcak iklimli çöllerde THID sistemi, soğutma için

en uygun yerler olmasına rağmen, ısıtmada ılıman ve sıcak yerlerde çok uygun değildir.

2. **Toprak çeşidi:** Yüksek ısıl iletkenliğe, yüksek yoğunluğa ve yüksek ısı kapasitesine sahip topraklar THID için uygundur. Bu toprak özelliklerinin enerji depolama üzerine katkısı sırasıyla %79, %48 ve %33'tür.

3. **Boru özellikleri:** Boru, pratik uygulama durumuna göre seçilmelidir. Örneğin suya doymuş topraklarda beton boru kullanılmamalı ve su izolasyonu yapılmalıdır. Bununla birlikte boru malzemesinin enerji depolaması üzerine etkisi çok önemli değildir. Boru malzemesi olarak metal veya PVC kullanılmaktadır. Boru uzunluğu da kapasiteyi belirler. En uygun boru uzunluğu iklim koşullarına ve istenen kapasiteye göre belirlenir. Tan ve Love (2013), THID sistemlerinde daha büyük çaplı boruların kullanımı ve toprak sıcaklığının çekilen ısı üzerine etkisi ile ilgili literatür taraması yapmışlardır. Çok büyük çaplı (900 mm'den büyük) boruların sistem performansı üzerine etkisinin düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

4. **Gömme derinliği:** Gömme derinliği artıkça toprak ve hava arasındaki sıcaklık farkı artacak ve dolayısıyla enerji alışverişi de artacaktır. Toprak derinliği artıkça sistem kapasitesi de artmaktadır. Boruların derinliği bütün sistemin verimini etkilemektedir. Boruların 2 m derinlikte gömülmesi yıl boyu sıcaklık ve kazma maliyeti açısından uygun olduğu söylenmektedir (Badescu, 2007). Fakat optimum derinliğin 3 m olduğunu söyleyenler de bulunmaktadır (Ascione ve ark., 2011). Gömme derinliğinin THID sıcaklık kazanımı üzerine etkisi boru uzunluğundan daha fazladır. Bununla birlikte sistem maliyeti, toprak kaya yatağı derinliği ve su kodu gibi faktörler gömme derinliğini sınırlamaktadır. Ozgener ve ark. (2013), derinlik ve zamana bağlı günlük toprak sıcaklığını tahmin eden bir model geliştirmişlerdir.

5. **Hava debisi:** Yüksek hava debileri sistem performansını azaltmaktadır. Çünkü bir THID'nin ısıl performansı toprak ve boru içinden geçen hava arasındaki ısı

transferine bağlıdır. Yüksek hava hızı çekilecek ısı açısından istenmez. Yüksek hava hızı, çıkış sıcaklığını düşürür.

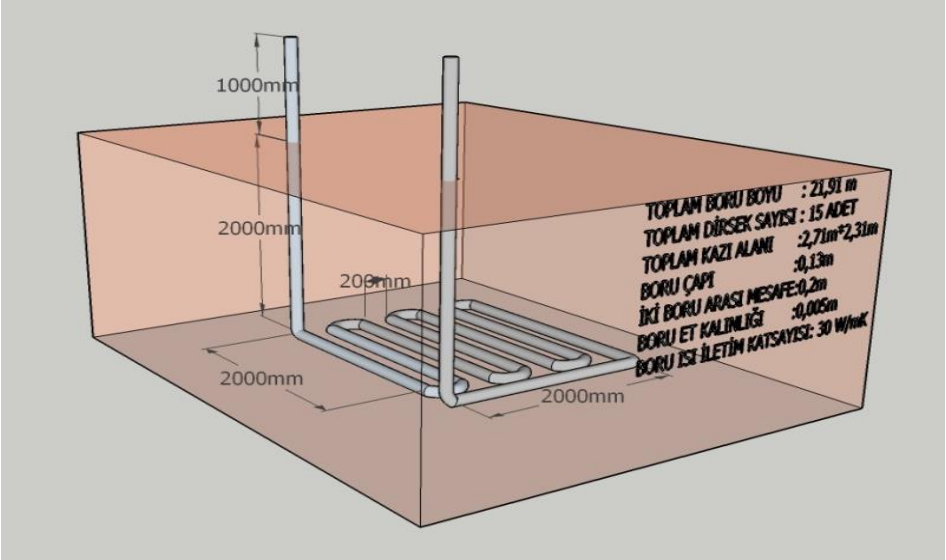
Bu çalışmanın amacı toprak hava ısı değiştirici performansına etki eden parametreleri deneysel olarak incelemektir. Bu amaçla 6 adet THID sistemi kurularak farklı derinlik, malzeme ve çaplardaki sistemlerin kış ve yaz dönemlerinde performansları incelenmiştir. Yukarıda ifade edilen parametrelerin dışında toprak nemliliğinin sistem performansına etkisinin araştırılması amacıyla toprak altına sulama hattı yerleştirilerek ölçümler alınmıştır. Aynı zamanda bütün THID sistemleri belirli tarihlerde farklı hızlarda çalıştırılarak hızın THID performansına etkisi araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Toprak – hava ısı değiştiricileri ile ilgili deneysel ve teorik çalışmaların sayısının gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Bu çalışmalar arasında mahal ısıtma – soğutma uygulamalarının yanında sera uygulamaları da bulunmaktadır. Ancak ülkemizde bu konu ile ilgili olarak yapılan çalışmalar sınırlı sayıda kalmaktadır.

Toprak – hava ısı değiştiricisi (THID) ile havanın ısıtılması ile ilgili olarak Bulut ve ark. (2015) tarafından Şanlıurfa ilinde yapılan çalışmada THID sisteminin ısıtma konumunda iyi performans gösterdiği ve ısıtma ve havalandırma uygulamaları açısından enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Şanlıurfa kış şartlarında, toprağın sahip olduğu enerji potansiyelinden yararlanılarak bir THID sisteminin performansı deneysel olarak incelenmiştir. 13 cm çapında ve 20 m uzunlukta galvanizli borulardan meydana gelen toprak-hava ısı değiştiricisi, serpantin şeklinde yerin 2 m altına yerleştirilen çalışmada; hava giriş ve çıkış sıcaklığı, hava hızı ve toprak sıcaklığı ölçümleri gündüz saatlerinde ve kesikli manuel olarak Aralık 2013-Şubat 2014 arasında yapılmıştır. Hava hızı ve sıcaklıklar arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Toprak ve dış hava sıcaklık farkı ölçülen değerlere göre maksimum 12.5 ^{o}C ve ortalama 5.8 ^{o}C olarak tespit edilmiştir. THID sisteminde çıkış ve giriş havası arasındaki sıcaklık farkı maksimum 11.6 ^{o}C ve ortalama 4.8 ^{o}C olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalarla THID'nin etkinliği ortalama 0.83 ve COP değerinin ise ortalamada 1.7-5.9 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

2014 yılı yaz döneminde sıcak ve kuru iklim şartlarına sahip Şanlıurfa ilinde Bulut ve ark. (2015) tarafından yapılan bir diğer deneysel çalışmanın sonuçlarına göre; THID' nin iyi bir ısıl performans gösterdiği ve soğutma ve havalandırma uygulamalarında enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Giriş ve çıkış sıcaklıkları, THID' ne ait hava hızı ve toprak sıcaklığının ölçüldüğü çalışmada; yapılan ölçümlerin THID sistemi için ısıl ve istatistiksel analizi yapılmıştır. Şekil 2.1.' de kurulan deneysel sistem şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1. THID sistemine ait şematik çizim.

Daloğlu (2015) tarafından yapılan çalışmada Ankara ilinde bulunan bir evin soğutma ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanan bir THID sistemi ile ilgili araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada 4 m derinlikte toprak sıcaklığının 14 °C' de sabit kaldığı kabul edilmiştir. Evin soğutma yükü belirlendikten sonra THID' nin boru uzunluğu; farklı çap ve farklı malzeme durumları için hesaplanmıştır. Aynı zamanda yapılan deneysel çalışmaya ait sonuçlar teorik sonuçlarla ve literatürdeki benzer çalışmalarla da karşılaştırılmıştır. THID sistemlerinin bir evin soğutma ihtiyacını karşılayabileceği ifade edilmiştir.

Turgay (2013), Fransa'nın merkezinde yer alan Beaucouzè kasabasında bir villanın bahçesinde kurulmuş THID sisteminin performans sonuçlarını 2 yıllık ölçüm değerlerine göre analiz etmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda THID sisteminin performansını etkileyen unsurlar arasında, boru sisteminin boyutlandırmasının yanı sıra, iklim şartları ve toprak özelliklerinin de rol oynadığı görülmüştür. Sistemin tasarımında bu unsurların da hesaba katılması gerektiği belirtilmiştir.

Özgener ve Özgener (2013), soğutma durumu için kapalı devre bir THID'in ekserjik performansı deneysel olarak incelemişlerdir. Ölçümler Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Bornova kampüsünde 2009-2011 yılları arasında alınmıştır. Ekserji verimi, farklı referans durumları için ayrıca belirlenmiştir.

Kapalı devre modunda bulunan THID' li sera ısıtma sistemlerinin performansını modellenmesi, analizi ve değerlendirmesi Hepbaşlı (2013), tarafından yapılmıştır. Çalışılan THID sisteminin toplam enerji verimi %72.10 ve 0 °C referans durum sıcaklığında toplam ekserji verimi değeri %19.18 olarak hesaplanmıştır.

Ozgener ve Ozgener (2011), İzmir'de sera ısıtılması için kullanılan bir kapalı döngülü THID'ın en uygun tasarımını belirlemesini ekserjoekonomik analiz ile yapmışlardır. Bir THID için termodinamik ve ekonomik faktörlerin önemli olduğu çıkan sonuçlarla görülmüştür. Ortalama COP değeri ve ekserji verimi sırasıyla 10.51 ve %89.25 hesaplanmıştır.

Yıldız ve ark. (2011), bir serada PV entegreli THID sisteminin ekserjik performansını deneysel veriler üzerinden incelemişlerdir.

Chiesa ve ark. (2014), İtalya'daki Imola şehrinde bir okul kompleksi için tasarlanan ve kurulan bir THID sisteminin 12 aylık ölçüm sonuçlarını rapor etmişlerdir. THID sisteminde toplam boru uzunluğu 2240 m, boru çapı 0.25 m' dir. Bu teknoloji, İtalya'da uygulanan en büyük uygulamalardan biridir. Hem yaz hem kışın giriş ve çıkış sıcaklığı arasında önemli farklar bulunmuştur. Üç kısımdan oluşan sistemin yaz ve kış ölçümlerine göre THID etkinlikleri 0.69-0.77, ısıtma ve soğutma COP'leri 20 ile 105 arasında değişmiştir. COP' ler literatürde karşılaşılan en yüksek değerler olup THID sistemleri ile toprak enerji potansiyelinin kullanımı açısından dikkat çekicidir.

Toprak-hava ısı değiştiricileri ile havanın ısıtılması veya soğutulması, havalandırma ısı kayıplarını azaltmada ve binalarda ısıl konforu artırmada önemli yaklaşım olarak görülmektedir (Peretti ve ark., 2013).

THID sistemi seralar için alternatif ve yenilenebilir bir ısıtma sistemi olarak kabul edilmektedir (Sethi ve ark., 2013).

Mongkon ve ark. (2013) tarafından 0.08 m çapında 38.5 m uzunluğunda PVC borular 1 m derinlikte gömülmüş ve Taylant'ta 30 m^2' lik sera soğutmasında kullanılmış ve yoğuşma problemine bakılmıştır. COP değerleri mevsimler için hesaplanmış ve yatay döşenmiş bu boru sisteminin soğutma ihtiyacının yazın %74.84'e kadarını sağladığı tespit edilmiştir. Boru içindeki yoğuşmanın, soğutma sonunda fan ile giderildiği tespit edilmiştir.

THID olarak kompakt boru sisteminin iç hava şartlandırılmasında kullanılması Freire ve ark. (2013) tarafından ele alınmıştır. Kompakt gömülü boru sistemi, tek tabaka boru konfigrasyonu ile karşılaştırılmış ve parametrik analiz yapılmıştır. Kompakt gömülü boru sistemi şematik olarak gösterilmiştir. THID sisteminin ekonomik analizinde fanın enerji tüketimi çok önemlidir

THID sistemine evaporatif (nemlendirmeli) soğutucu eklenerek sistem etkinliğinin arttırılabileceği ve konfor şartlarının sağlanabileceği yapılan çalışmalardan görülmüştür (Bansal ve ark., 2012).

Misra ve ark. (2012) tarafından hibrit bir THID'in ısıl performans analizi yapılmıştır. THID'den alınan soğuk havanın kondenser ısınının alınmasında kullanılması bir pencere tip klimanın enerji tüketiminde %18 azaltma yaptığı belirlenmiştir.

Sehli ve ark. (2012), Güney Cezayir şartlarında değişik derinliklerde ısıtma ve soğutma amaçlı THID'nin performansını tek boyutlu olmak üzere sayısal olarak analiz etmişlerdir. THID sisteminin iç ortam ısıl konforu tek başına sağlayamayacağını fakat iklimlendirme sistemleri ile birlikte kullanılması durumunda evlerde enerji talebini Güney Cezayir'de düşüreceğini tespit etmişlerdir.

Darkwa ve ark. (2011), toprak altına 1.5-3 m eğimli bir derinlikte borular (6 adet, 50 m uzunluk, 0.4 m çapında) döşeyerek oluşturulan bir E-tube havalandırma sistemini teorik ve pratik olarak değerlendirmişlerdir. The University of Nottingham'da kurulan böyle bir THID'in binalarda enerji tasarrufu potansiyeli

oluşturacağı sonucuna varılmıştır. Bu sistemin pik ısıtma ve soğutma yüküne sırasıyla %62 ve %86 pozitif katkı sağladığı ve COP değerinin 3.2-3.53 olduğu belirlenmiştir.

Derinlik, boru uzunluğu, hava hızı ve boru malzemesinin hava toprak ısı değiştiricisi üzerine etkisi, İran'ın Kuzey Doğu bölgesinde (Ferdowsi University of Mashhad kampüsünde) Abbaspour-Fard ve ark. (2011), tarafından araştırılmıştır. Yukarıda sayılan parametrelerden sadece boru malzemesinin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Sistemin COP değeri soğutma modunda 5.5, ısıtma modunda ise 3.5 olarak bulunmuştur.

Ascione ve ark. (2011), THID'lerin İtalya şartlarındaki yaz ve kış ısıl performansını ve ekonomik analizini incelemişlerdir. Teorik analiz sonuçlarına göre THID'lerin en iyi performansı soğuk iklim koşullarına sahip yerlerde gösterdikleri tespit edilmiştir. Metalik olmayan boruların daha ekonomik olduklarını ifade etmişlerdir. THID sisteminin yazın havalandırma amacıyla kullanımı ayrıca analiz edilmiştir.

Binaların pasif soğutulmasını sağlamak için güneş bacası entegreli THID sisteminin teorik analizi Maerefat ve Haghighi (2010) tarafından yapılmış ve güneş bacasının, elektrik ihtiyacını ortadan kaldırarak sağlanan hava hareketinin THID'nin soğutma yapması için yeterli olduğunu ifade etmiştir.

Boruların 2 m derinlikte gömülmesi yıl boyu sıcaklık ve kazma maliyeti açısından uygun olduğu söylenmektedir (Badescu, 2007).

Shukla ve ark. (2006), Yeni Delhi'de bir THID'nin aylık soğutma ve ısıtma potansiyelleri ve çıkış sıcaklıkları deneysel sonuçlara göre analiz edilmiştir. 1.5m derinlikteki sistemde çkışın 8.9 °C sıcaklık artışı, yazın 5.9 °C sıcaklık düşüşü gözlemişlerdir. Aylık ısıtma ve soğutma potansiyelleri, Hindistan'ın Jodhpur, Chennai, Mumbai ve Kolkata şehirleri için de tahmin etmişlerdir.

Hindistan Delhi'de bulunan bir seraya entegreli THID sisteminin ısıl performansı için boru uzunluğu, boru çapı, kütlesel debi, derinlik ve toprak çeşidi gibi değişik parametreler göz önüne alan bir model Ghosal ve Tiwari (2006) tarafından geliştirilmiştir. Seradaki hava sıcaklığının, THID'siz bir seraya göre, kışın 7-8 °C daha yüksek, yazın 5-6 °C daha az olduğu bulunmuştur. Sera sıcaklığı boru uzunluğu arttırılması ile, boru çapı düşürülmesi ile, kütlesel debi azaltılması ile ve derinlik 4m'ye çıkılması ile kışın arttığı ve yazın azaldığı tespit edilmiştir.

Sıcak ve kurak iklimlerde THID'nin soğutma potansiyeli ve çıkış sıcaklığını tahmin etmek için teorik bir model Al-Ajmi ve ark. (2006), tarafından geliştirilmiştir. Analiz sonuçları Kuveyt'teki iki yerleşimde alınan ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Analizlerde TRNSYS-IISIBAT kullanılmıştır. THID'in pik yükü önemli ölçüde düşürdüğü ve iç hava sıcaklığını yaz pik saatlerde (Temmuz ortalarında) 2.81 °C indirdiği tespit edilmiştir. THID'in tipik bir evin enerji ihtiyacının pik yaz döneminde %30 düşürme potansiyeli olduğu tespit edilmiştir

Pfafferott (2003), Almanya'da ofis binaları için kurulmuş 3 farklı THID'ni enerji verimleri açısından değerlendirmiştir. THIDler farklı topraklarda kurulmuştur ve boru çapları 200, 250 ve 350 mm'dir. THID sistemlerinde kontrol stratejisinin çok önemli olduğu ifade edilmiş ve ele alınan sistemlerde kapalı döngülü sıcaklık kontrol stratejisinin enerji kullanımı açısından daha uygun olduğu fakat açık sistemin daha sağlam çalışacağı belirtilmiştir.

Bojic ve ark. (1997), %100 temiz hava kullanan yazın soğutma ve kışın ısıtma yapan bir THID sistemin teknik ve ekonomik değerlendirmesini yapmışlardır. Teorik çalışmanın sonucunda THID'nin binanın günlük ısıtma ve soğutma ihtiyacının bir kısmını sağladığı ve yazın kışa göre daha enerji verimli ve ekonomik olduğu bulunmuştur.

Mihalakakou ve ark. (1996), farklı toprak örtülerinin THID ısıtma potansiyeli üzerine etkisini araştırmışlardır. Dublin havaalanındaki 10 yıllık ölçümler analiz

edilerek toprak örtüsünün kontrol edilerek THID performansının artırılabileceği tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca diğer parametrelerin THID performansı üzerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir.

Santamouris ve ark. (1995), binalarda soğutma yükünü azaltmak için kullanılan THID katkısını hesaplamak için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmada TRNSYS simulasyon programından yararlanılmıştır. Bu yöntemin ön tasarım ve tasarım aşamasında gömülü borular için kullanılabileceği ifade edilmiştir

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Çalışmaya ait Temel Bilgiler

Literatür taramasından THID sistemleri üzerine deneysel, teorik ve sayısal olarak çalışmalar yapıldığı görülmüştür. THID sistemine etki eden çok parametre olması ve değişik şartlarda farklı performans göstermelerinden dolayı her bir durum için ayrı ayrı çalışmalar yapılmıştır. Ancak Türkiye şartlarında yeterli çalışma mevcut değildir. Bu çalışmada Şanlıurfa iklim şartlarında, toprağın sahip olduğu enerji potansiyelinden yararlanarak toprak-hava ısı değiştirici (THID) sistemlerinin performansı deneysel olarak incelenmiştir.

3.1.1. Deney düzeneği

Çalışmada deneysel yöntemler kullanılmıştır. Kurulan deney düzeneğinde, 2 farklı derinlikte olan ve 2 farklı kanal malzemelerinden yapılmış ve farklı çaplara sahip 6 adet toprak-hava ısı değiştiricisi deneysel olarak incelenmiştir. THID sistemleri Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü Makina Mühendisliği Bölümüne ait alan içinde kurulmuştur. Toprak, yaklaşık 1 m derinliğe kadar kırmızı kil, kum ve çakıl karışımından ve 1 m derinlikten sonra marn ve gevşek kalkerli malzemeden oluşmuştur (Yeşilnacar ve ark., 2012). Çizelge 3.1. ’de toprağa ait fiziksel özellikler gösterilmektedir (Daloğlu, 2015).

Çizelge 3.1. Toprağın fiziksel özellikleri

Toprak cinsi	Yoğunluk (kg/m^3)	Isı iletkenlik sayısı (W/m K)	Isıl difüzyon sayısı (m^2/s)	Özgül ısı (J/kg K)
Kil	1500	1.4	1.1×10^{-6}	848
İri Çakıl	2050	0.519	1.39×10^{-7}	1842
Granit	2640	3.0	1.4×10^{-6}	811
Kum	1500	0.3	2.5×10^{-7}	800
Hafif ve nemli	-	0.87	1.39×10^{-7}	-
Ağır ve nemli	-	1.30	5.55×10^{-7}	-
Ağır ve kuru	-	0.95	5.21×10^{-7}	-

Farklı malzemelere ait termofiziksel özellikler Çizelge 3.2. 'de gösterilmektedir(Bansal ve ark., 2009; Daloğlu, 2015). Ayrıca bu çalışmada toprak derinliğinin yanında THID' nde farklı malzeme kullanımının performans üzerine etkisi de araştırılmıştır. Çünkü boruların derinliği bütün sistemin verimini etkilemektedir. Boruların 2 m derinlikte gömülmesi yıl boyu sıcaklık ve kazma maliyeti açısından uygun olduğu söylenmektedir (Badescu, 2007). Fakat optimum derinliğin 3 m olduğu literatürde belirtilmektedir (Ascione ve ark., 2011). Bunun dışında boru uzunluğu kapasiteyi belirler. En uygun boru uzunluğu iklim koşullarına göre belirlenir. THID sistemlerinde tipik boru çapı 10 cm - 30 cm' dir. Ticari binalar için çap 1 m'ye kadar çıkılabilir (Peretti ve ark., 2013). Bu çalışmada THID'nde boru çapı 15 cm ve 10 cm olarak kullanıldığından boru çapının performans üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çizelge 3.2. Farklı maddelere ait termofiziksel özellikler

MADDE	k (W / mK)	ρ (kg / m^3)	C_p (J / kgK)	ν (m^2 / s)	Pr
Çelik	54	7833	465	-	-
PVC	0.16	1380	900	-	-
Toprak	0.52	2050	1840	-	-
Hava	0.02624	1.225	1005	16.97×10^{-6}	0.71

Hava hareketini sağlayan fanlar ve sıcaklık değerlerini kaydeden veri kayıt cihazı kullanılmıştır. Hava hızı, bir fan hız regülatörü ile düzenlenmiştir. Değişik hava debileri için ölçümler alınarak her bir sistemin etkinliği ve COP 'si hesaplanmıştır. Hava hızı Şekil 3.1.'de gösterilen KIMO AMI-300 pervane tipi anemometre ile ölçülmüştür. Şekil 3.2. 'de akım ve volt değerinin ölçüldüğü HIOKI 2637-20 ve HIOKI 2638-20 ölçüm cihazı gösterilmektedir. Ölçümlerin kaydedildiği HIOKI LR8402-20 veri kayıt cihazı ve sıcaklık ölçümleri için kullanılan T tipi ısıl çiftler Şekil 3.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Hava hızının ölçümü için kullanılan anemometre



Şekil 3.2. Fanların akım ve voltajlarını ölçmek için kullanılan ölçüm cihazları.



Şekil 3.3. Ölçümleri kaydetmek için kullanılan veri kaydetici ve ısıl çiftler.

Toprak sıcaklığı, 1 m, 2 m ve 3 m derinlikler için ölçülmüştür. Ayrıca THID boyunca boru içinden sıcaklık değerleri ısıl-çiftler ile ölçülmüştür. Toprak nemliliğinin ısıl performansı üzerine etkisini belirlemek için THID borularının etrafı ıslatılarak ayrıca ölçümler alınmıştır. Böylece kuru nemli toprağın performans üzerine etkisi incelenmiştir.

Deneysel sistemde 6 adet toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) bulunmaktadır. Bu THID sistemlerinin özellikleri Çizelge 3.3.' de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Toprak-hava ısı değiştiricilerinin özellikleri

THID NO	**Derinlik**	**Çap**	**Malzeme**
THID-1	2 m	15 cm	Galvanizli boru
THID-2	2 m	15 cm	PVC boru
THID-3	2 m	10 cm	Galvanizli boru
THID-4	2 m	10 cm	PVC boru
THID-5	3 m	15 cm	Galvanizli boru
THID-6	3 m	15 cm	PVC boru

3.2. Deney Sisteminin Kurulması

Deneyde kullanacağımız boru ve fanların tespiti ve temini yapıldıktan sonra (Şekil 3.4.) deney sisteminin kurulması için Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü Mühendislik Fakültesi arkasında 13 m X 6 m ölçülerinde, 2 m ve 3 m derinliklerinde kazı çalışması yapılmıştır. Kazı çalışmalarına ait fotoğraflar Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.' da gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Sistemde kullanılan metal boru ve dirsekler



Şekil 3.5. Kazı çalışmaları (1. aşama)



Şekil 3.6. Kazı çalışmaları (2. aşama)

Kazı çalışması bittikten sonra sistemin kurulumu için boruların yerleştirilmesine başlanmıştır. Sistemin kurulumunda karşılaşılan zorlukların başında boruların zemine oturtulması gelmektedir. Zeminin tam düz olmamasından, engebeli olmasından dolayı boruların tabandaki kısımlarını yerleştirmek, giriş ve çıkış kısımlarını tabandaki borulara birleştirmek sistem kurulumunun en önemli kısmını oluşturmaktadır. Boruları yerleştirme işlemi ile ilgili fotoğraflar Şekil 3.7. ve Şekil 3.8. ’de gösterilmektedir. Ayrıca boru sistemini yerleştirdikten sonra toprakla kapatma işlemine geçmeden önce gelen toprakla sistemin devrilmemesi, boruların deforme olmaması veya birbirinden ayrılmaması için önce ince toprak dökülerek sistem sabitleştirilmiştir.



Şekil 3.7. THID sistemlerinin kurulması (1. aşama)



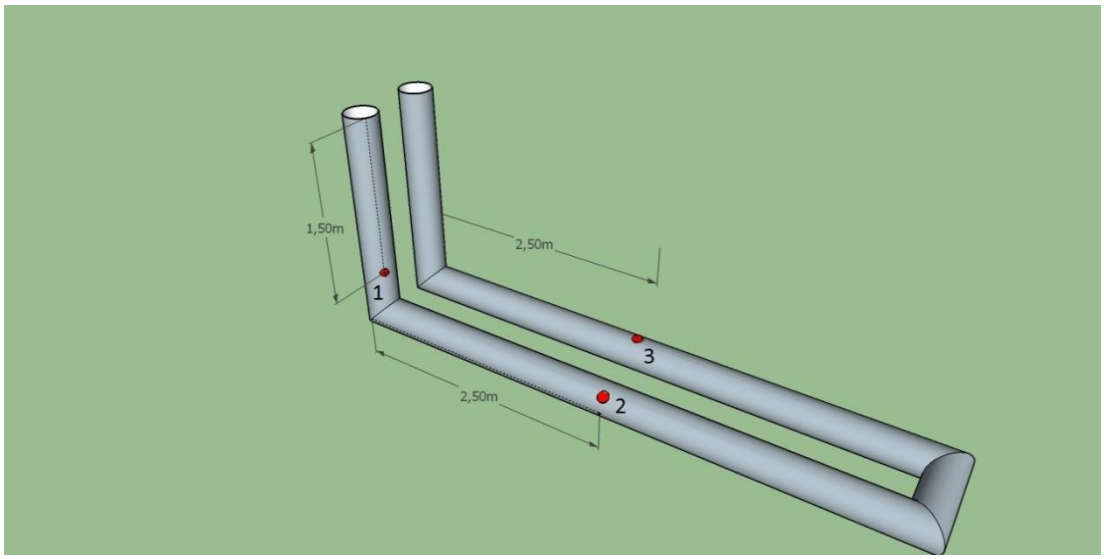
Şekil 3.8. THID sistemlerinin kurulması (2. aşama)

THID sistemleri kurulduktan sonra belirli noktalara sıcaklık ölçmek için ısıl-çiftler yerleştirilmiştir (Şekil 3.9.).

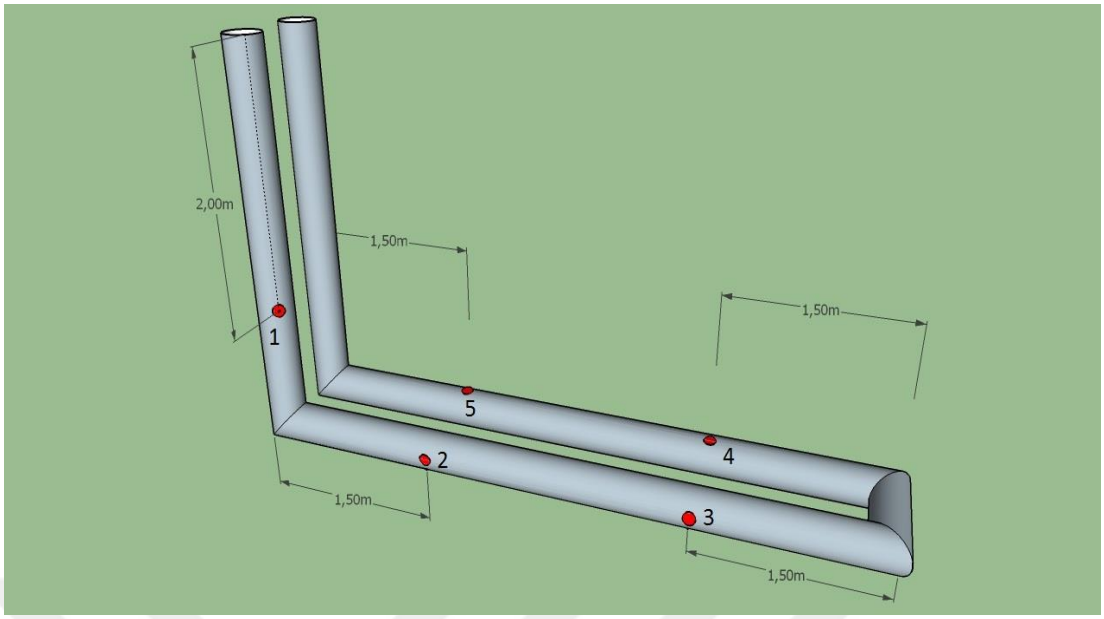


Şekil 3.9. THID sistemlerinde belirlenen noktalara T tipi ısıl çiftlerin yerleştirilmesi

THID sistemlerinde belirli mesafelerde boru içi sıcaklık ölçüm noktaları belirlenmiştir. Şekil 3.10.' da 2 m 'lik THID için belirlenen boru içi sıcaklık ölçüm noktaları gösterilmektedir. Şekil 3.11. 'de ise 3 m 'lik THID için belirlenen boru içi sıcaklık ölçüm noktaları gösterilmektedir.



Şekil 3.10. 2 m derinlikteki THID' ler için sıcaklık ölçüm noktaları



Şekil 3.11. 3 m derinlikteki THID' ler için sıcaklık ölçüm noktaları

Isıl çiftleri boru içinde belirlenen ölçüm noktalarına yerleştirilirken özellikle daha homojen bir ölçüm olması için orta noktaya getirilmeye çalışılmıştır (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Isıl çiftlerin boru içine yerleştirilmesi

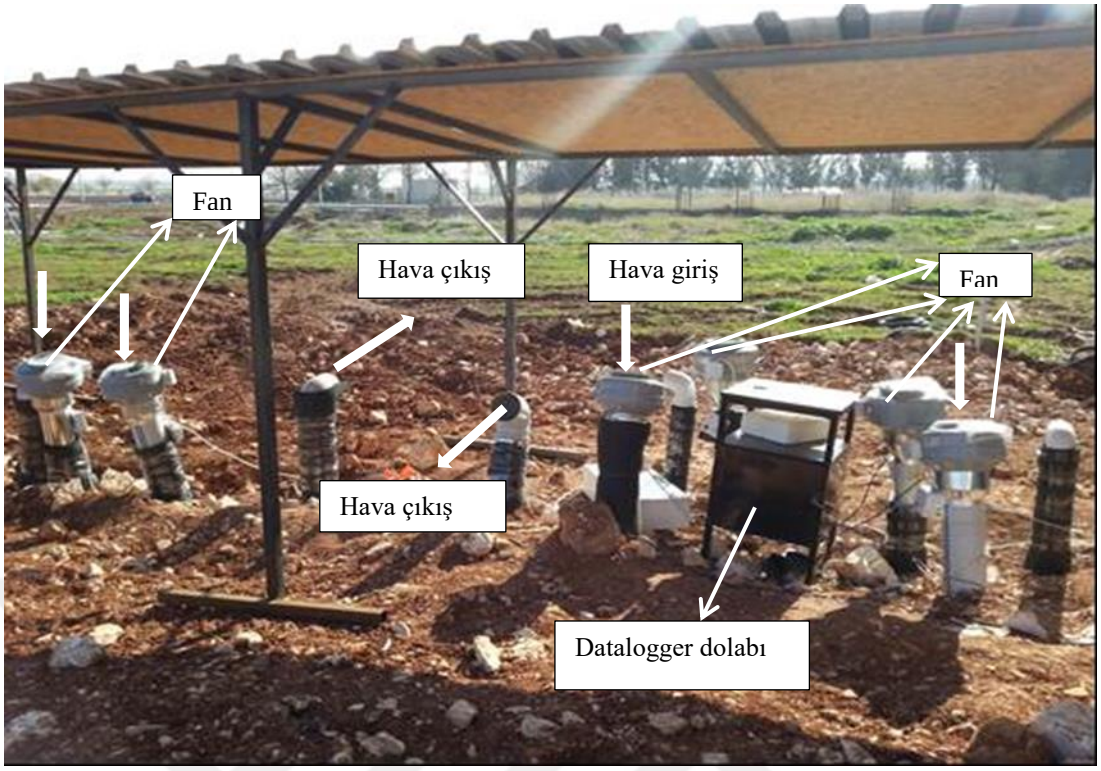
Bütün işlemler bittikten sonra sistemler tamamen toprakla kapatılarak üstüne yaz ve kış; sıcak ve soğuktan doğrudan etkilenmemesi ve yağmura karşı muhafaza olunması için çatı yaptırılmıştır (Şekil 3.13., Şekil 3.14., Şekil 3.15.).



Şekil 3.13. Sistemin tamamen toprak ile kapatılması



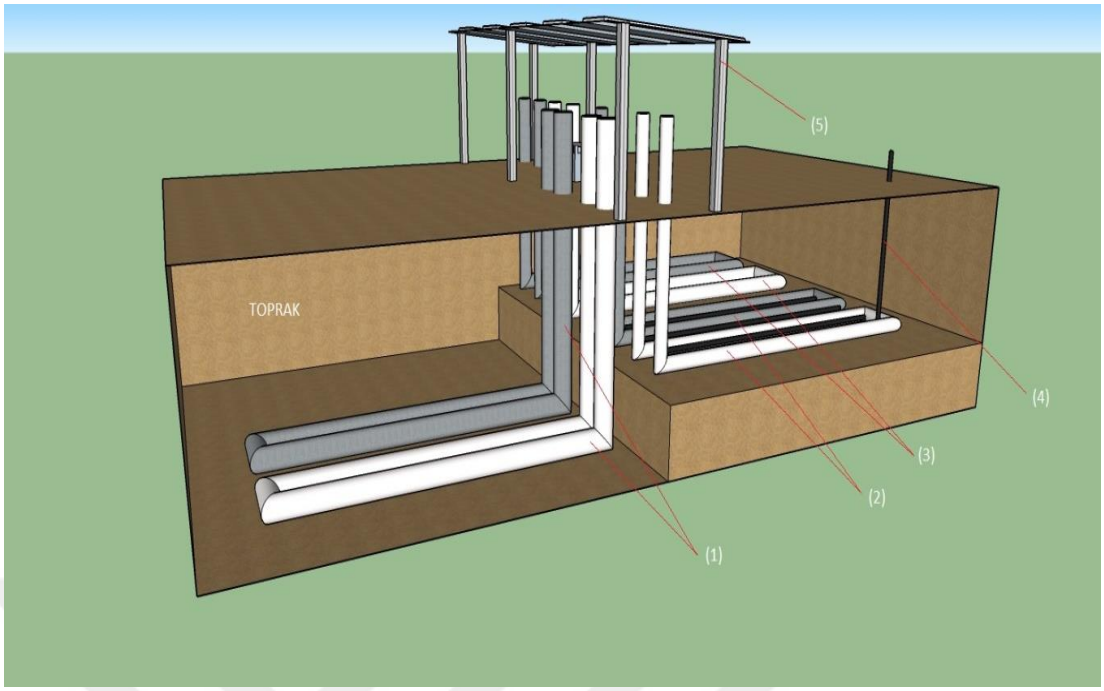
Şekil 3.14. Sistemin üzerine çatı yapılması



Şekil 3.15.THID sistemlerine ait genel görüntü

Her bir THID sisteminin belirli noktalarına ve çıkışlarına yerleştirilen ısıl çiftlerin dışında 1 m, 2 m ve 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimini görmek için 3 adet ısıl çift kullanılmıştır. Ayrıca ortam havasını ölçmek içinde sistemin kurulduğu yerin farklı 3 noktasından da sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Sonuçların analizi aşamasında her üç ortam sıcaklığı değerinin ortalamasını alarak tek bir ortam sıcaklığı elde edilmiştir.

Bütün sistemin şematik bir çiziminin gösterildiği Şekil 3.16. ’da gösterilen sistemler Çizelge 3.4. ’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.16. THID sistemlerine ait şematik çizim.

Çizelge 3.4. THID sistemlerinin şematik çizimine ait işaretlerin ifadesi

	Özellik
1	PVC ve Metal borulu yaklaşık *3 m* derinlikte *15 cm* çapında toplam uzunluğu 16m olan 2 adet THID
2	PVC ve Metal borulu *2 m* derinlikte *10 cm* çapında toplam uzunluğu 14 m olan 2 adet THID (etrafına su hattı çekilmiştir.)
3	PVC ve Metal borulu *2 m* derinlikte *15 cm* çapında toplam uzunluğu 14 m olan 2 adet THID
4	Toprak nemliliğinin ısıl performansı üzerine etkisini belirlemek için THID borularının etrafına çekilen su hattı
5	Sistemin; kışın yağışlardan yazın ise aşırı sıcaklardan etkilenmemesi için yapılmış olan çatı

Toprak-hava ısı değiştiricisinin etkinliği, ε, aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır (Chiesa ve ark., 2014) :

$$\varepsilon = \frac{\left|T_g - T_ç\right|}{\left|T_t - T_g\right|} \quad (1)$$

Burada T_g (ºC), hava giriş sıcaklığı, $T_ç$ (ºC), hava çıkış sıcaklığı ve T_t (ºC) ise toprak sıcaklığıdır. Topraktan çekilen veya toprağa verilen ısı miktarı, Q (W),

$$\dot{Q} = \dot{m} C_{hava} \left|T_g - T_ç\right| \quad (2)$$

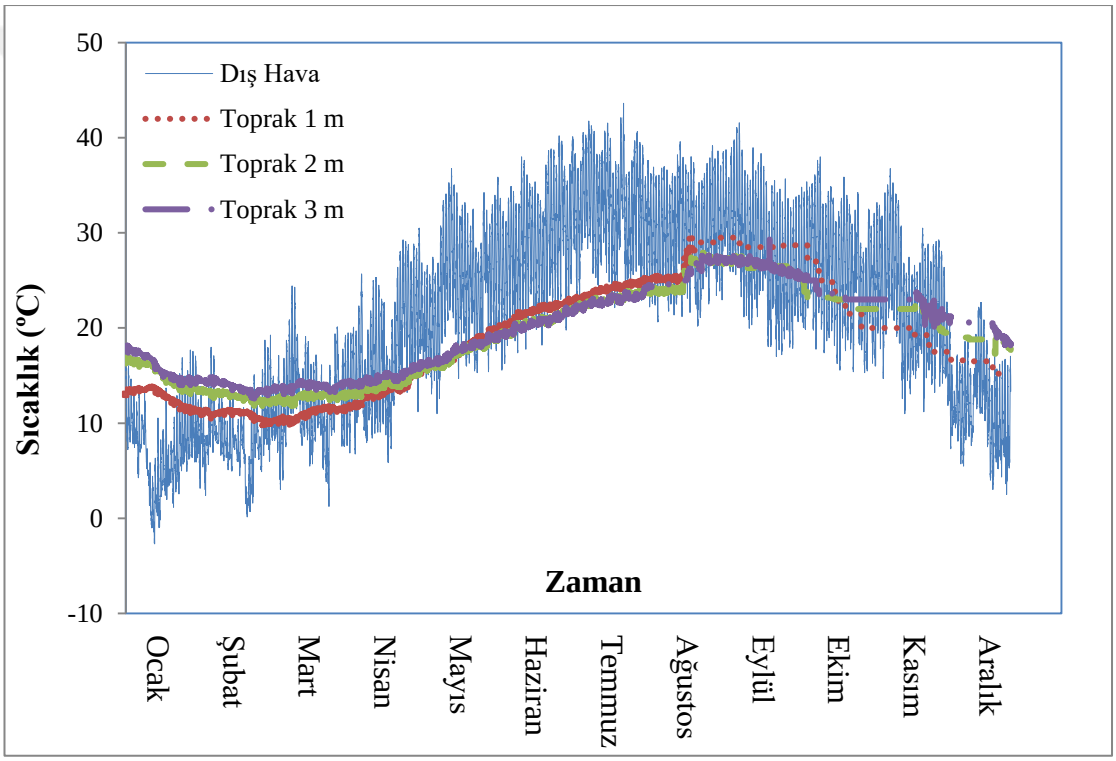
şeklinde hesaplanır. Burada $\dot{m}$, havanın kütlesel debisi (kg/s), C_{hava}, havanın özgül ısısıdır (J/kg ºC). Denklem 1 ve 2'de mutlak işareti, yaz ve kışın giriş havası sıcaklığının toprak sıcaklığından veya çıkış sıcaklığından daha yüksek veya daha düşük olduğunda kullanılmıştır.

THID sistemin COP değeri, topraktan çekilen veya toprağa verilen enerji miktarının ($\dot{Q}$), sistemi çalıştırmak için harcanan güce ($\dot{W}$, fan gücü) oranıdır (Mongkon ve ark., 2013).

$$COP = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}} \quad (3)$$

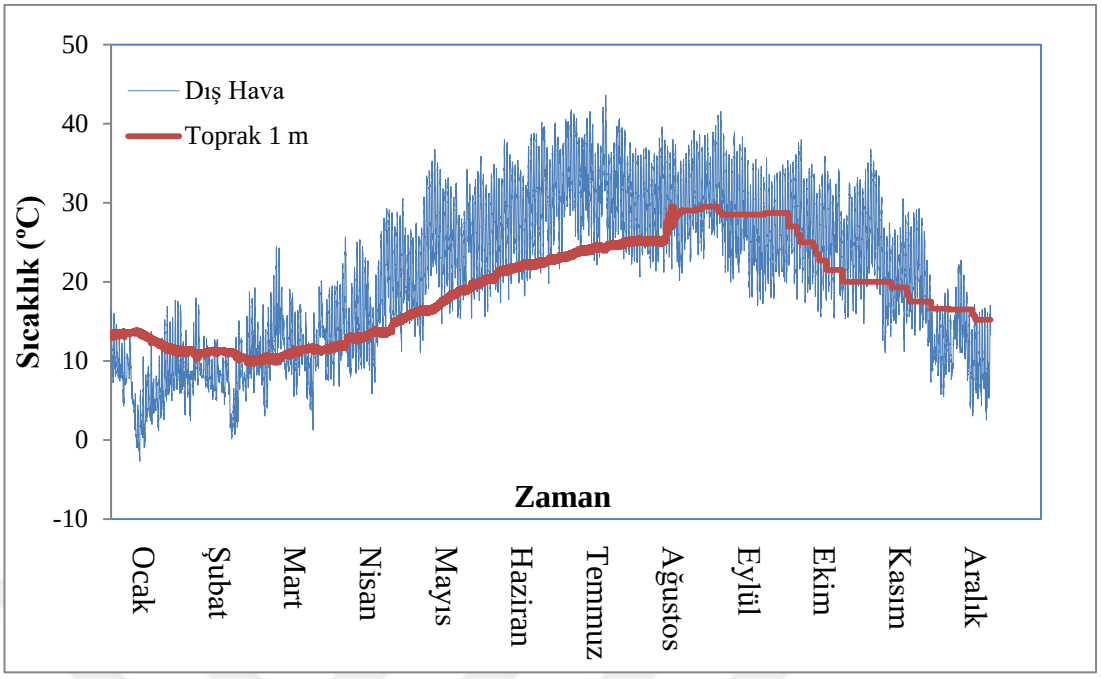
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.1.' de toprak sıcaklığının zamanla değişimi gösterilmektedir. 3 m toprak sıcaklığı esas alınarak aşağıdaki şekil üzerine yapılan incelemede; 1 Nisan – 30 Mayıs ve 1 Ekim – 30 Kasım tarihleri arasında geçiş sezonu olduğu anlaşılmaktadır. Bundan dolayı THID sisteminin performansına etki eden parametrelerin daha net veriler ışığında incelenmesi için bu dönemler dışında kalan aylardaki ölçümlere göre karşılaştırmalar yapılacaktır.

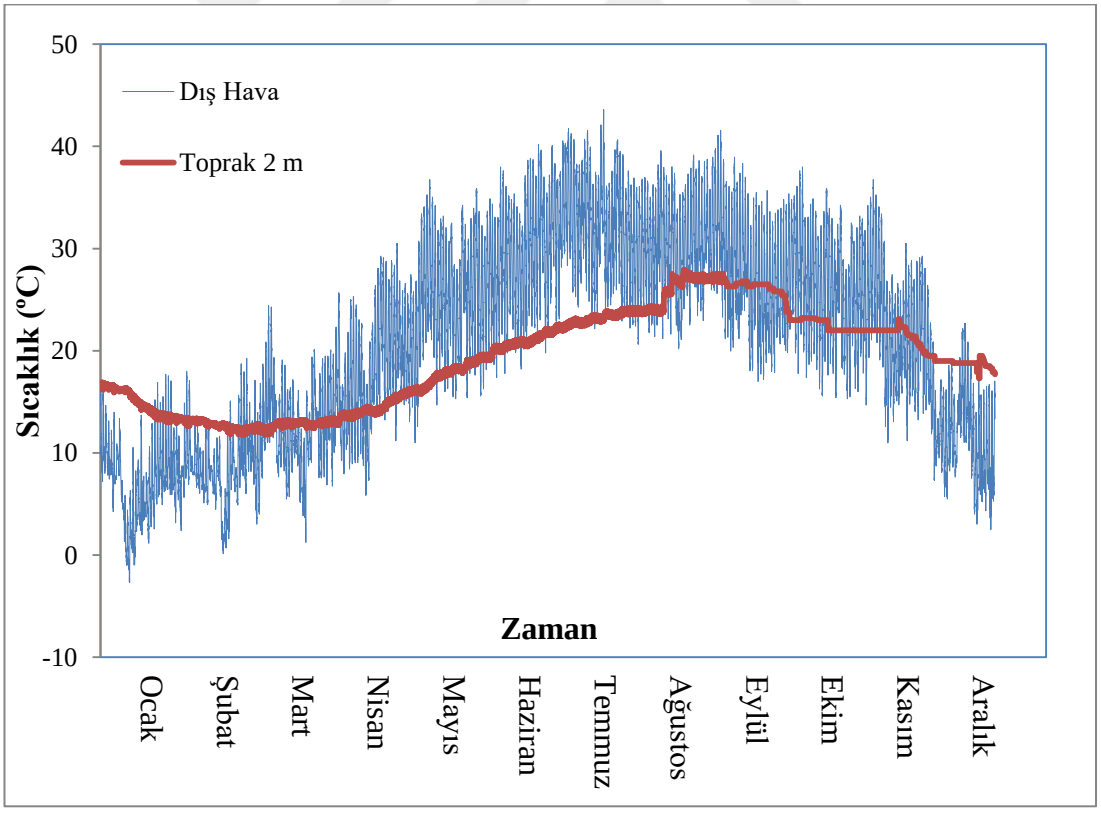


Şekil 4.1. 1 m, 2 m ve 3 m derinlikteki toprak ve dış ortam sıcaklığının yıl boyunca değişimi.

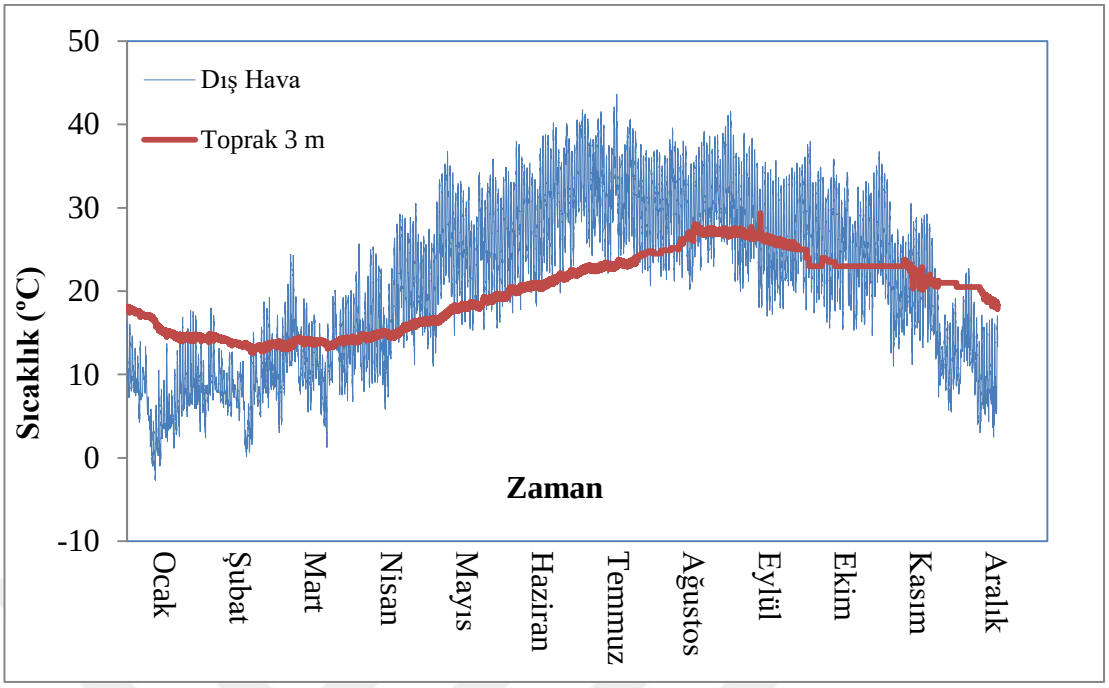
Şekil 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4. de toprak sıcaklığının zamanla değişimi her bir derinlik için ayrı olarak gösterilmektedir.1 m derinlikteki toprak sıcaklığının 2 m ve 3 m' ye göre dış ortam havasına karşı daha fazla değişkenlik gösterdiği şekil üzerinde görülmektedir. 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının ise 2 m den çok farklı olmamakla beraber yıl boyunca sıcaklık değişiminin daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. Dış hava ve 1 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi

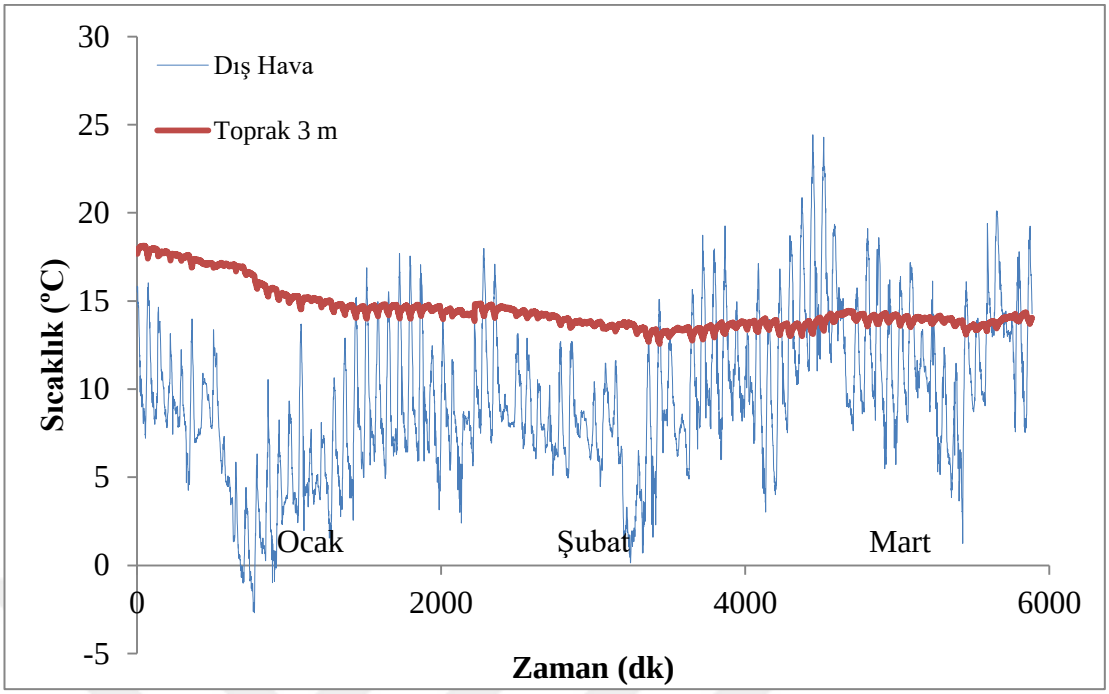


Şekil 4.3. Dış hava ve 2 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi

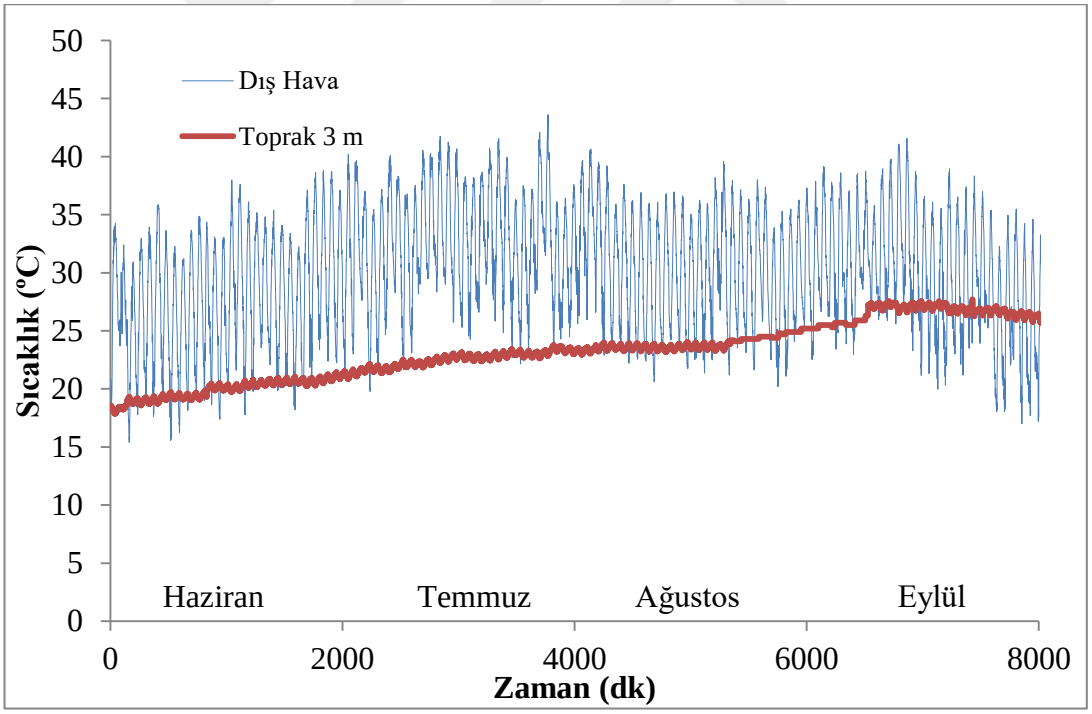


Şekil 4.4. Dış hava ve 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi

Şekil 4.4.' de görüldüğü gibi Ekim ve Kasım ayları geçiş sezonu olduğundan; THID ısıtma durumunda da Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında alınan sonuçlar değerlendirilecektir (Şekil 4.5.). Aynı Şekilde Nisan ve Mayıs aylarında dış ortam ve toprak arasındaki sıcaklık farkı Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarından daha düşük olduğundan (Şekil 4.6.); THID soğutma durumundaki performansını değerlendirmek için bu aylarda yapılan sonuçlar incelenecektir.



Şekil 4.5. Kış ayları için dış hava ve 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi



Şekil 4.6. Yaz ayları için dış hava ve 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi

Bu çalışmada, toprak hava ısı değiştirici sisteminin performansına etki eden aşağıdaki parametreler ele alınmıştır.

- Boru malzemesinin etkisi
- Toprak derinliğinin etkisi
- Boru çapı etkisi
- Hava hızı etkisi
- Boru uzunluğunun etkisi
- Toprak özelliklerinin etkisi

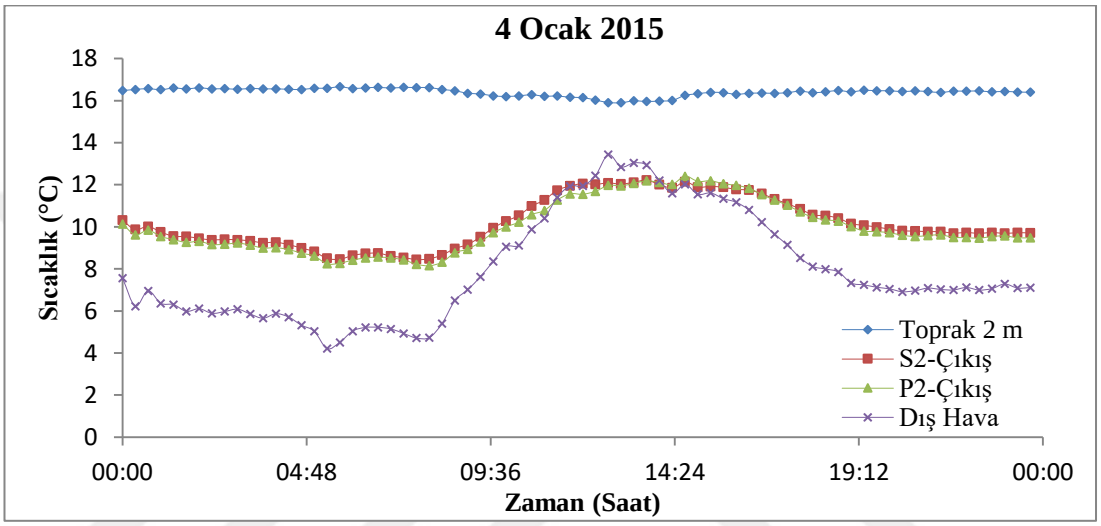
Her parametre için hem ısıtma hem de soğutma durumunda THID performansına etkileri araştırılmıştır. Sadece toprak özelliklerinin etkisi, boru etrafındaki toprağı nemlendirmekle toprak sıcaklığını düşürmek amacını taşıdığı için THID' nin soğutma durumundaki performansı incelenmiştir. 2 m derinlikteki galvanizli sac kullanılmış olan THID sistemi S2 ile, PVC kulanılmış olan sistem P2 ile gösterilmektedir. 3 m derinlikteki sistemler S3 ve P3 olarak gösterilmiştir. 10 cm çapındaki boruların kullanıldığı sistemler ise SS ve PS olarak belirtilmiştir.

4.1. Malzemenin THID Performansı Üzerine Etkisi

THID sistemlerinde kullanılan boru malzemesinin performansa etkisini incelemek için her iki derinlik için PVC ve metalden yapılmış borular kullanılmıştır. Ayrıca sistemlerin ısıtma ve soğutma durumundaki değişimini görmek için bütün sene boyunca her gün ölçüm alınmıştır. Isıtma durumunda Ocak, Şubat ve Mart aylarındaki ölçümler, soğutma durumunda ise Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarındaki ölçümler analiz edilmiştir.

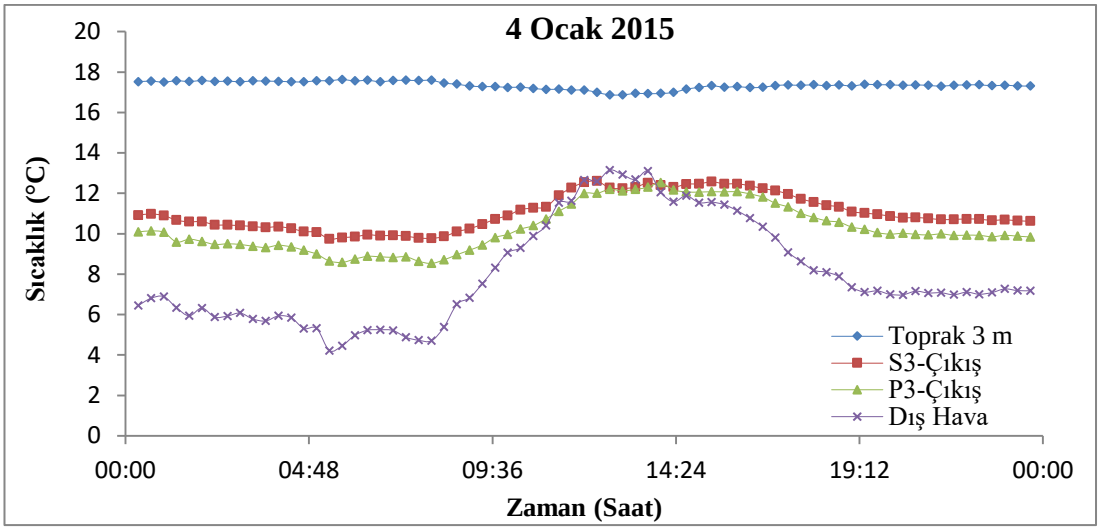
4.1.1 Malzemenin ısıtma durumundaki etkisi

Şekil 4.7.' de boru malzemesinin ısıtma durumunda THID performansı üzerine etkisi 4 Ocak 2015 tarihli ölçümlere göre gösterilmiştir. Şekilden 2 m derinlik için PVC ve galvanizli sacdan yapılmış metal malzemenin kullanıldığı THID sistemleri arasında önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir.



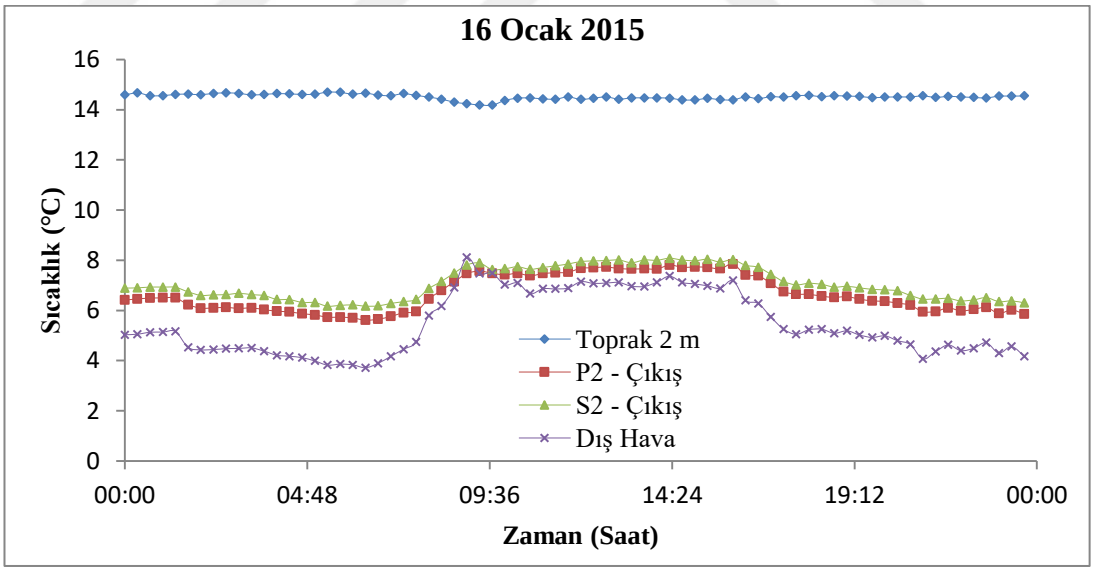
Şekil 4.7. 2 m derinlik için 4 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

3 m derinlik için farklı malzemenin THID üzerine etkisinin incelendiği 4 Ocak 2015 tarihli ölçüm sonuçları Şekil 4.8.' de gösterilmektedir. 3 m derinlikte ve 6 m/s hızla yapılan ölçümde boru malzemesi olarak kullanılan PVC ve metal malzeme arasında ısıtmada ciddi bir fark olmadığı anlaşılmakta ancak metal malzemenin daha uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. 3 m derinlik için 4 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

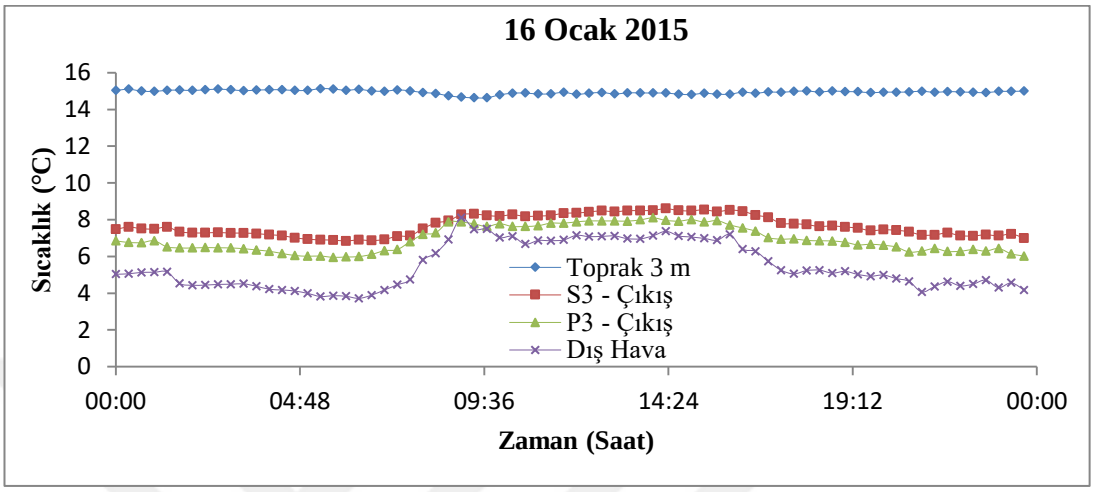
Şekil 4.9' da PVC ve galvanizli sacdan yapılmış metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerinin 16 Ocak 2015 tarihli ölçüm sonuçlarının 6 m/s hava hızı için zamanla değişimi gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları incelendiğinde her iki sisteme ait çıkış sıcaklıklarının birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. 2 m derinlik için 16 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

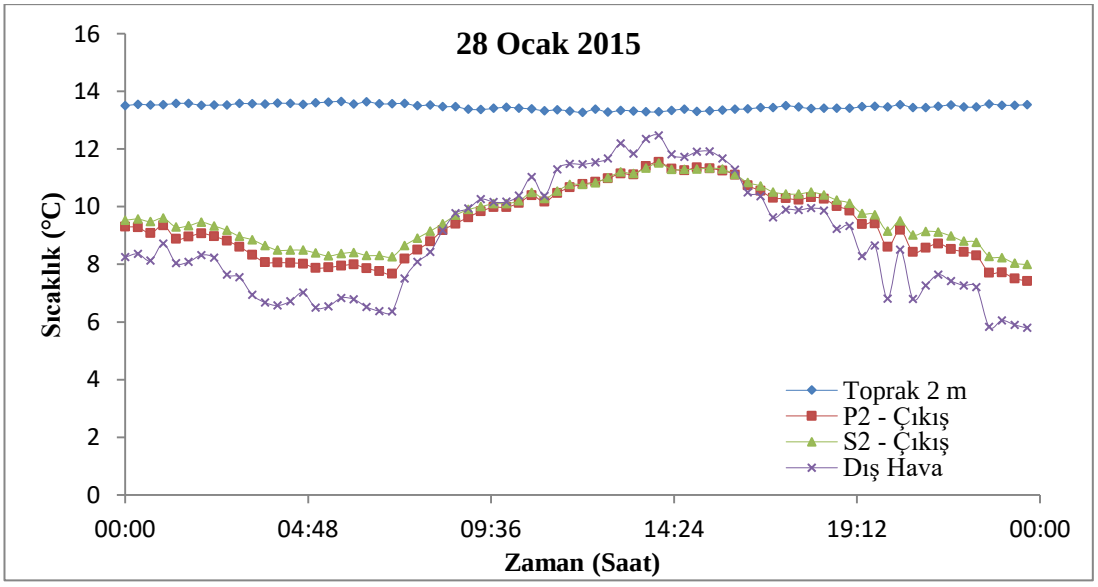
Şekil 4.10.' da 3 m derinlikte ve 6 m/s hızla yapılan ölçümde kullanılan PVC ve metal malzeme arasında ısıtmada ciddi bir fark olmadığı anlaşılmakta ancak metal malzemenin daha uygun olduğu görülmektedir. 16 Ocak 2015 tarihindeki ölçümlere

bakıldığında toprak derinliğinin 3 m olduğu THID sistemlerinde; galvanizli sacdan yapılmış sistemin PVC' ye göre daha yüksek bir çıkış sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir.



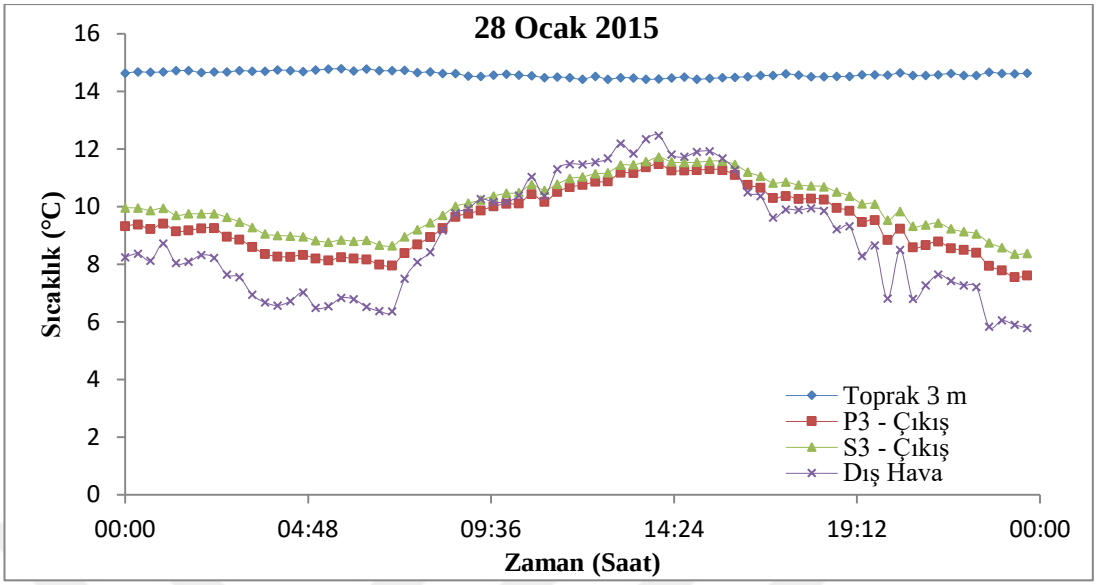
Şekil 4.10. 3 m derinlik için 16 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

28 Ocak 2015 tarihinde yapılan ölçümde her iki sisteme ait çıkış sıcaklıklarının neredeyse aynı olduğu görülmektedir (Şekil 4.11).



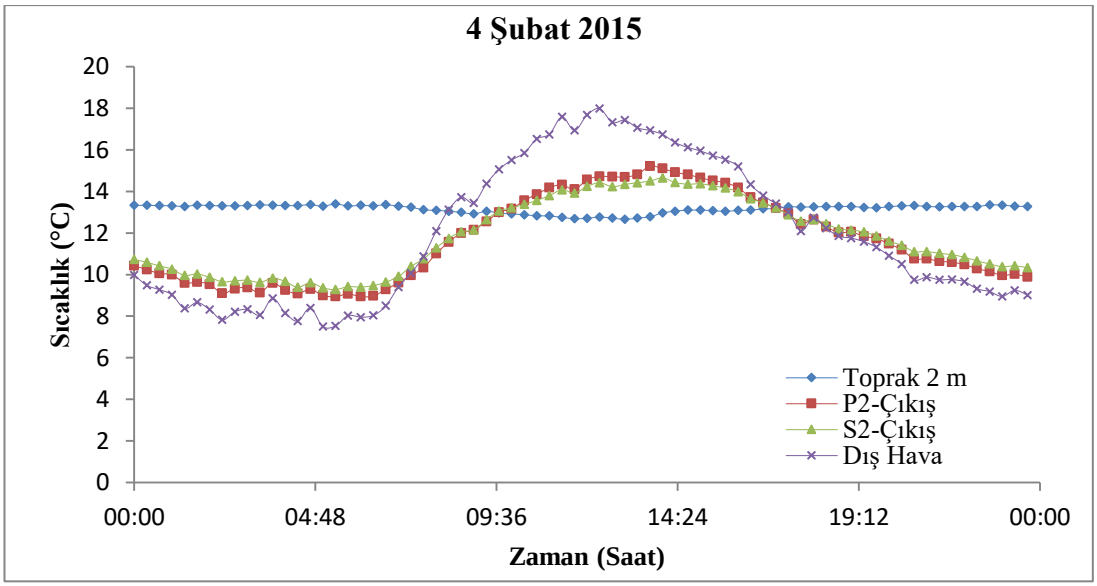
Şekil 4.11. 2 m derinlik için 28 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s)

3 m toprak derinliğindeki sistemlere ait çıkış sıcaklıklarının gösterildiği Şekil 4.12.' de metal malzemenin PVC' ye göre daha uygun olduğu görülmektedir.



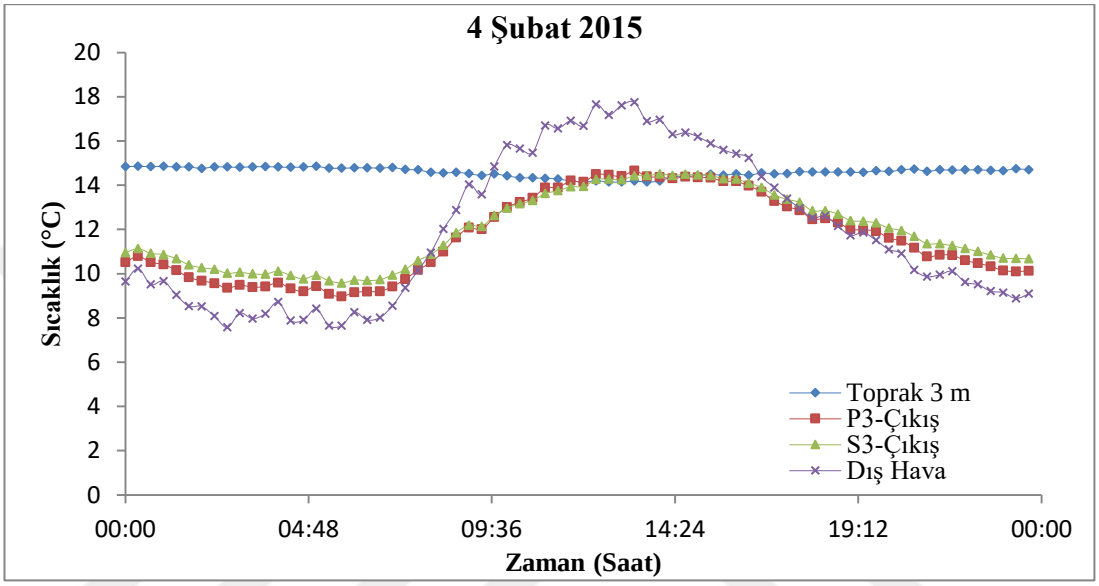
Şekil 4.12. 3 m derinlik için 28 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s)

2 m derinlikte ve 8 m/s hızla yapılan ölçümde kullanılan PVC ve metal malzeme arasında ısıtmada ciddi bir fark olmadığı anlaşılmakta ancak metal malzemenin daha uygun olduğu görülmektedir (Şekil 4.13.).



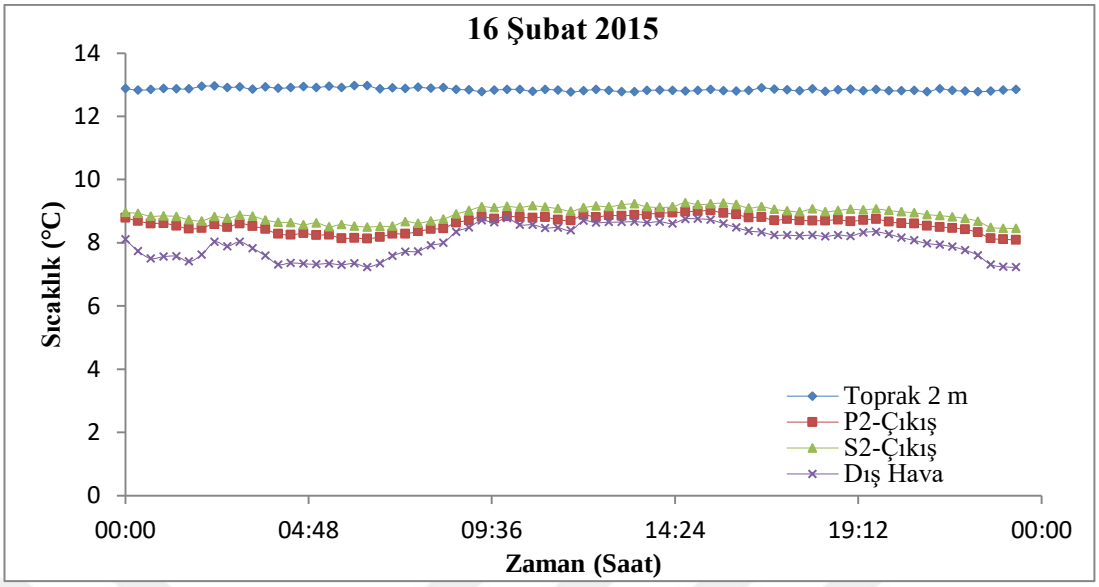
Şekil 4.13. 2 m derinlik için 4 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s)

3 m derinlikte ve 8 m/s hızla yapılan ölçümde kullanılan PVC ve metal malzeme arasında ısıtmada ciddi bir fark olmadığı anlaşılmakta ancak metal malzemenin daha uygun olduğu görülmektedir (Şekil 4.14.). Dış ortam sıcaklığının toprak sıcaklığına yaklaştığı zaman aralıklarında çıkış sıcaklıklarının birbirine eşit olduğu görülmektedir.



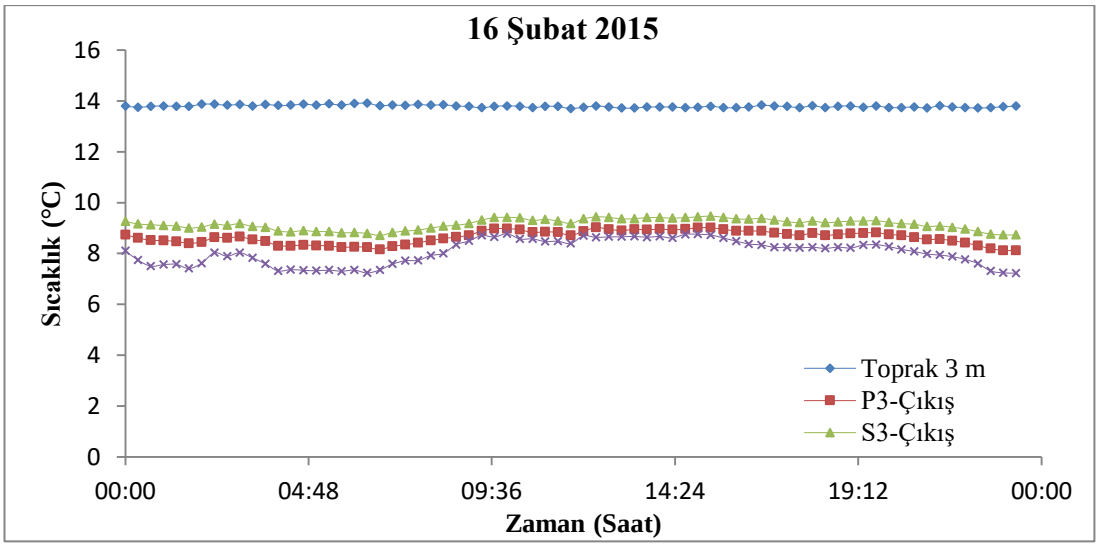
Şekil 4.14. 3 m derinlik için 4 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s)

2m derinlikte ve 8 m/s hızla yapılan ölçümde kullanılan PVC ve metal malzeme arasında ısıtmada ciddi bir fark olmadığı anlaşılmakta ancak metal malzemenin daha uygun olduğu görülmektedir (Şekil 4.15.).



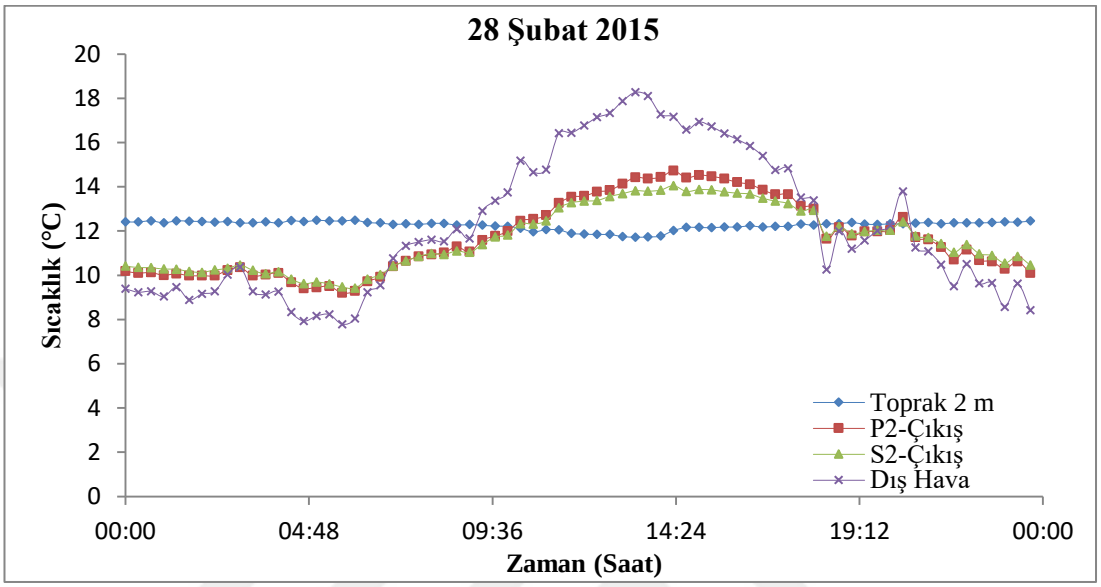
Şekil 4.15. 2 m derinlik için 16 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s)

3 m derinlikte ve 8 m/s hızla yapılan ölçümde kullanılan PVC ve metal malzeme arasında ısıtmada ciddi bir fark olmadığı anlaşılmakta ancak metal malzemenin daha uygun olduğu görülmektedir (Şekil 4.16.). Dış ortam sıcaklığının gün içinde nerdeyse hiç değişmediği gözlemlenen 16 Şubat 2015 tarihli ölçümde çıkış sıcaklıklarının da buna paralel olarak gün içinde sabit bir sıcaklık değerinde olduğu anlaşılmaktadır. Metal malzemeye ait çıkış sıcaklığı ile PVC malzemeye ait çıkış sıcaklığı arasında yaklaşık 1 ºC' lik bir fark olduğu görülmektedir.



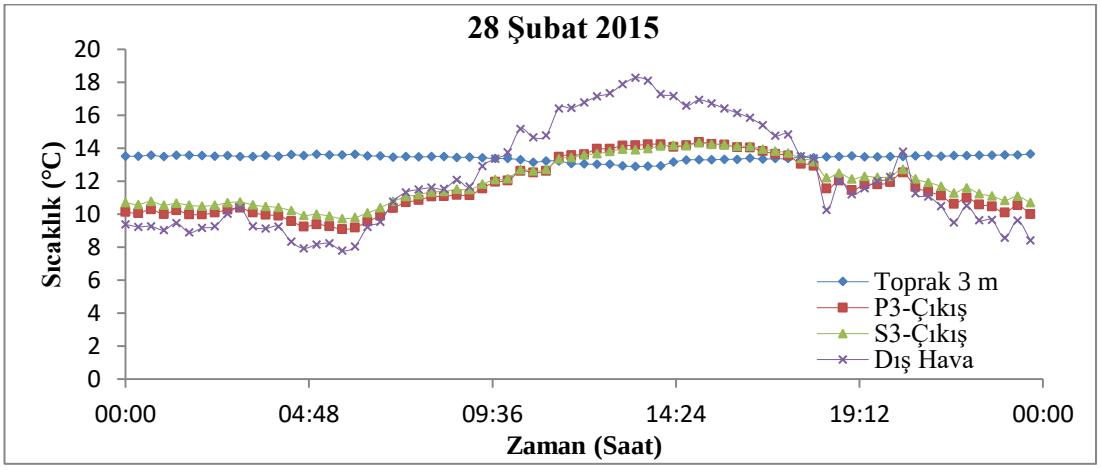
Şekil 4.16. 3 m derinlik için 16 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s)

2 m derinlikte ve 6 m/s hızla yapılan ölçümde kullanılan PVC ve metal malzeme arasında ısıtmada ciddi bir fark olmadığı anlaşılmakta ancak metal malzemenin daha uygun olduğu görülmektedir (Şekil 4.17.).



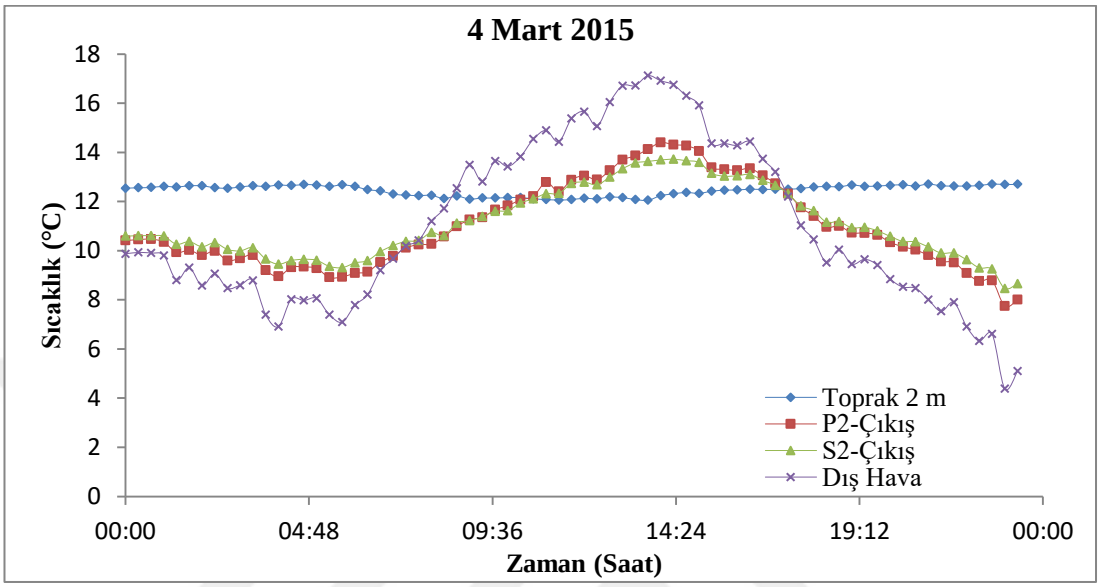
Şekil 4.17. 2 m derinlik için 28 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

3 m derinlikte yapılan ölçümde dış ortam sıcaklığının toprak sıcaklığını geçtiği zaman aralıklarında çıkış sıcaklıklarının eşit, toprak sıcaklığının altında olduğu dönemde ise metal malzemenin kullanıldığı THID sistemine ait çıkış sıcaklığının daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır(Şekil 4.18.).



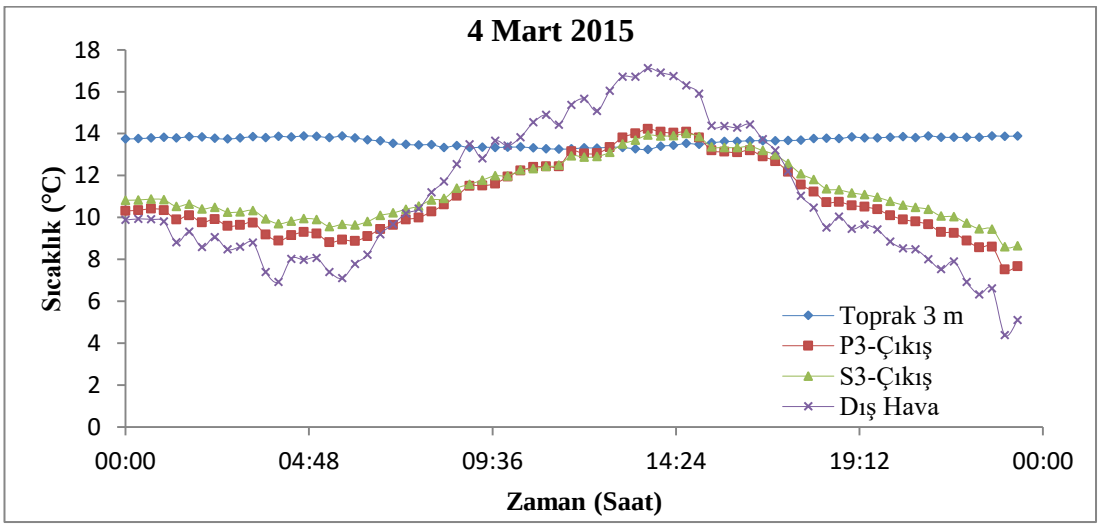
Şekil 4.18. 3 m derinlik için 28 Şubat 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

Şekil 4.19.' da 2 m derinlikte ve 4 m/s hızla yapılan ölçümde kullanılan PVC ve metal malzeme arasında ısıtmada ciddi bir fark olmadığı anlaşılmakta ancak metal malzemenin daha uygun olduğu görülmektedir.



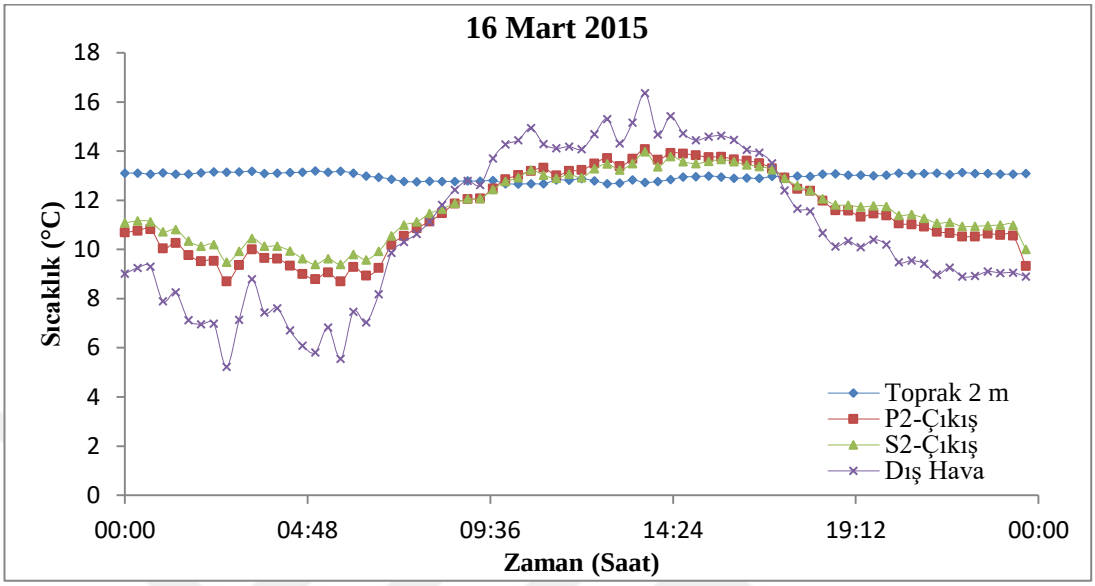
Şekil 4.19. 2 m derinlik için 4 Mart 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 4 m/s)

3 m toprak derinliğindeki metal malzeme kullanılmış THID sisteminin çıkış sıcaklığının PVC malzeme kullanılmış THID sisteminin çıkış sıcaklığından daha yüksek olduğu Şekil 4.20.' de gösterilmektedir. Sistemlerde kullanılan giriş havasının hızı 4 m/s olarak ölçülmüştür.



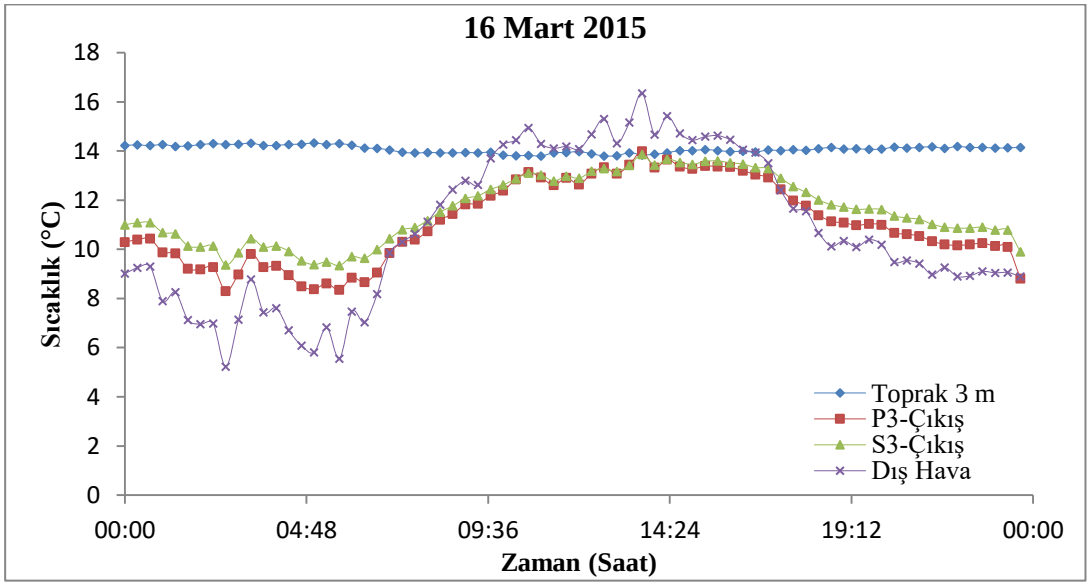
Şekil 4.20. 3m derinlik için 4 Mart 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 4 m/s)

16 Mart 2015 tarihinde 6 m/s hava hızında yapılan ölçümlerde metal malzemenin PVC' ye göre daha uygun olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 4.21.).



Şekil 4.21. 2 m derinlik için 16 Mart 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

3 m toprak derinliğindeki metal malzeme kullanılmış THID sisteminin çıkış sıcaklığının PVC malzeme kullanılmış THID sisteminin çıkış sıcaklığından daha yüksek olduğu Şekil 4.22.' de gösterilmektedir. Sistemlerde kullanılan giriş havasının hızı 6 m/s olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.22. 3 m derinlik için 16 Mart 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

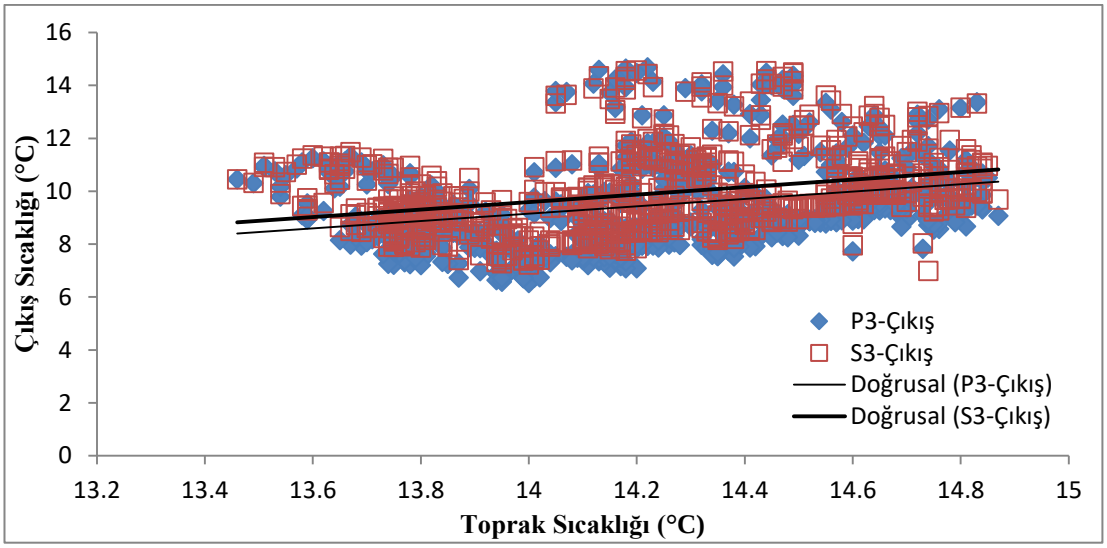
Sonuç olarak Ocak, Şubat ve Mart aylarında yapılan tüm ölçümlerin sonucuna bakıldığında 2 m derinlikte malzemenin farklı olmasının çıkış sıcaklığı üzerinde yaklaşık 1 ºC' lik etkisinin olduğu tespit edilmiştir. 3 m derinlikteki THID sistemleri incelendiğinde ise bu fark artmaktadır. Metal malzemenin PVC malzemeye göre daha uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ısıtma döneminde yapılan ölçümlerin geneline bakıldığı zaman derinlik arttıkça malzeme etkisinin arttığı gözlenmiştir.

Dış hava sıcaklığının düşük olduğu zaman aralıklarında metal malzemenin uygunluğu daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Ancak dış hava sıcaklığının toprak sıcaklığına yaklaştığı zaman aralıklarında ise PVC ve metal malzeme arasında nerdeyse hiçbir fark olmadığı gözlemlenmektedir.

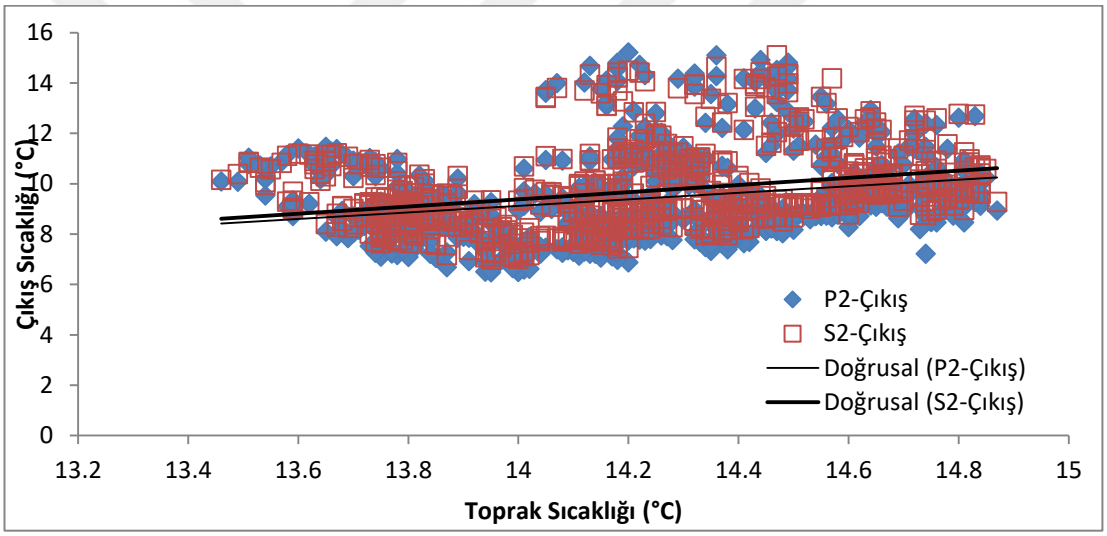
Şekil 4.23.' de 3 m toprak derinliği için PVC ve metal malzemeye ait çıkış sıcaklıklarının toprak sıcaklığı ile değişimi gösterilmektedir.

2 m derinlik için çıkış sıcaklığının toprak sıcaklığına göre değişimi Şekil 4.24.' de belirtilmektedir.

Şekillerden 3 m ve 2 m toprak derinliklerinde metal malzeme kullanılan THID sistemlerinin daha uygun olduğu açıkça görülmektedir. 2 m toprak derinliğinde çıkış sıcaklıkları arasındaki fark çok küçükken 3 m' de ise bu fark artmaktadır. Ayrıca kış ayları için toprak sıcaklığının artmasının çıkış sıcaklıklarına ciddi bir etkisinin olmadığı yine şekillerden anlaşılmaktadır.



Şekil 4.23. 3 m derinlik için çıkış sıcaklıklarının toprak sıcaklığı ile değişimi

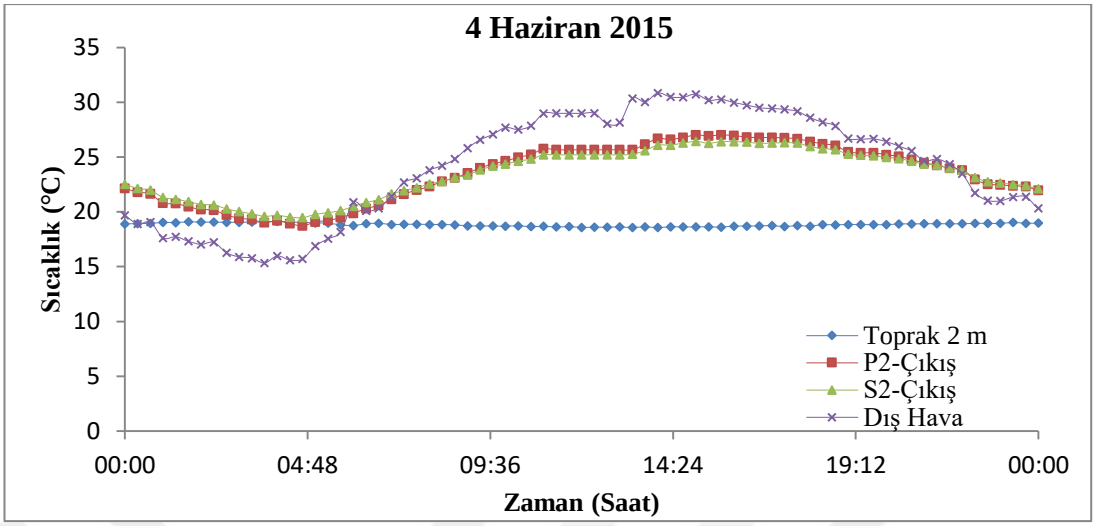


Şekil 4.24. 2 m derinlik için çıkış sıcaklıklarının toprak sıcaklığı ile değişimi

4.1.2 Malzemenin soğutma durumundaki etkisi

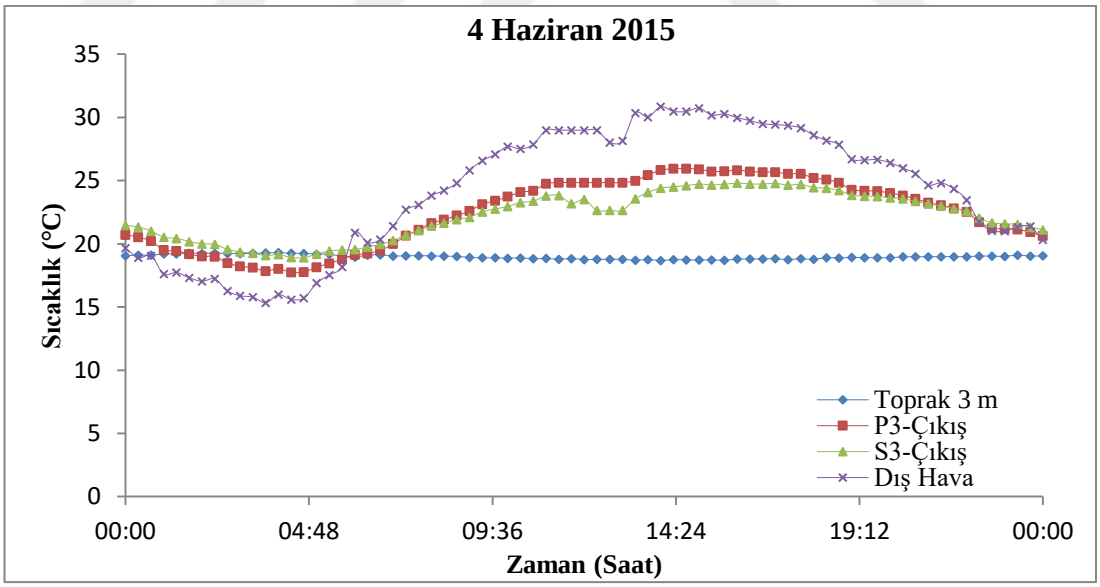
THID sistemlerinde kullanılan malzemenin soğutma durumunda performansa etkisini araştırmak üzere Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında belirli günlerdeki çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.

4 Haziran 2015 tarihinde 6 m/s hava hızında yapılan ölçümlerde metal malzemenin PVC' ye göre daha uygun olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 4.25.).



Şekil 4.25. 2 m derinlik için 4 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

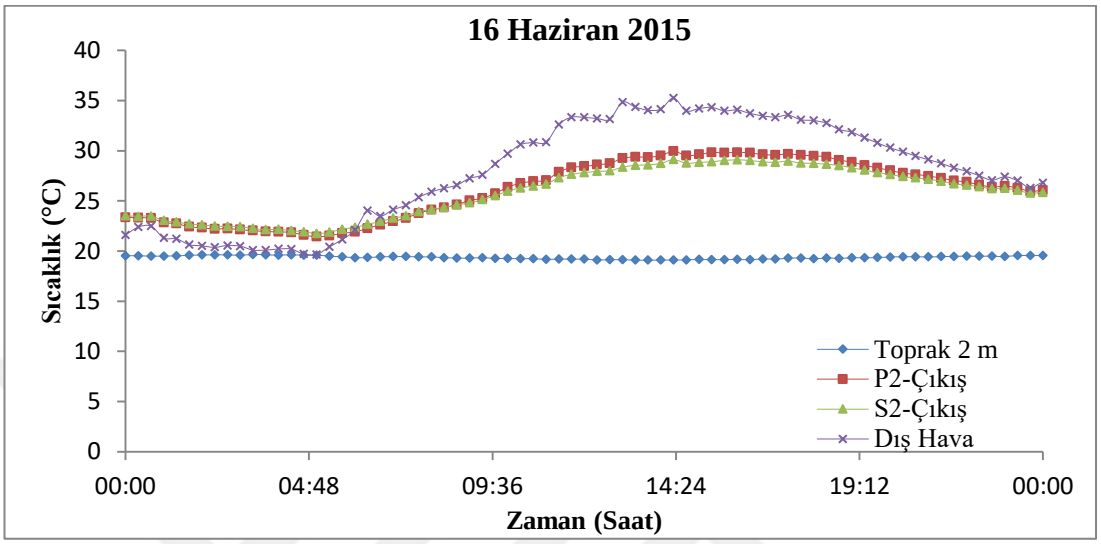
3 m toprak derinliği için çıkış sıcaklıkları birbirine yakın olmakla birlikte metal malzemenin PVC' ye göre daha düşük sıcaklığa sahip olduğu Şekil 4.26.' da gösterilmektedir.



Şekil 4.26. 3 m derinlik için 4 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

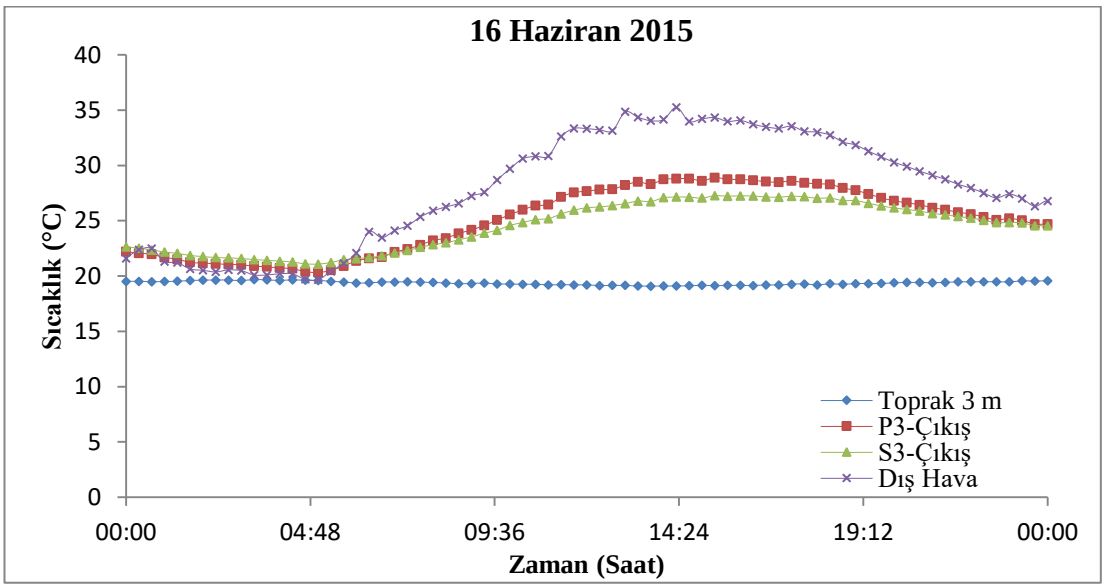
Isıtma durumunda ki PVC ve metal malzemenin THID üzerine etkisi, soğutma durumunda da görülmektedir. Derinlik arttıkça metal malzemenin PVC malzemeye göre daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Çıkış sıcaklıkları birbirine yakın olmakla birlikte 2 m derinlikteki metal malzemenin PVC' ye göre daha düşük sıcaklığa sahip olduğu Şekil 4.27.' de gösterilmektedir.



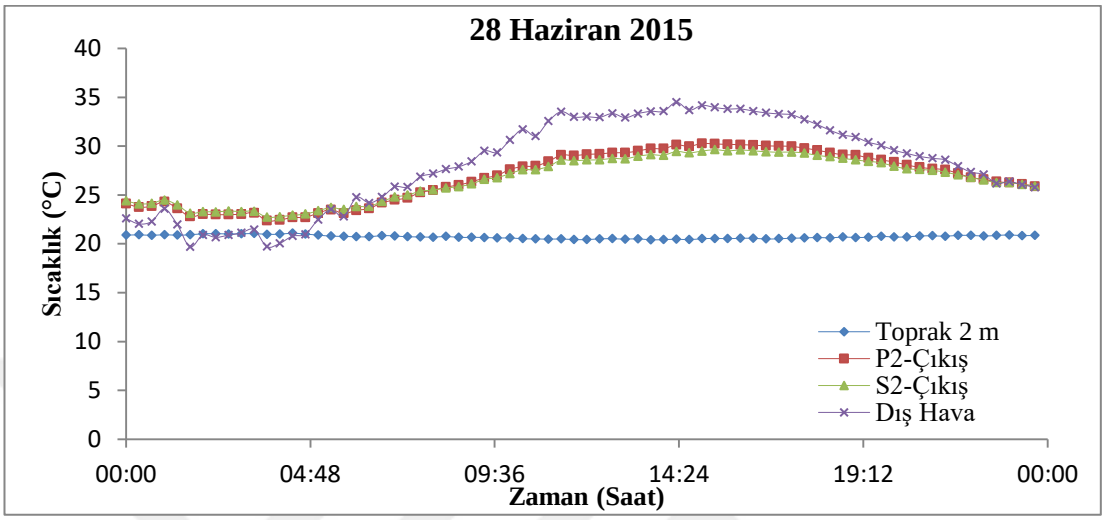
Şekil 4.27. 2 m derinlik için 16 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

Metal malzemenin PVC malzemeye göre üstünlüğü 3 m toprak derinliğindeki ölçüm sonuçlarını gösteren Şekil 4.28.' de daha belirgin bir şekilde görülmektedir.



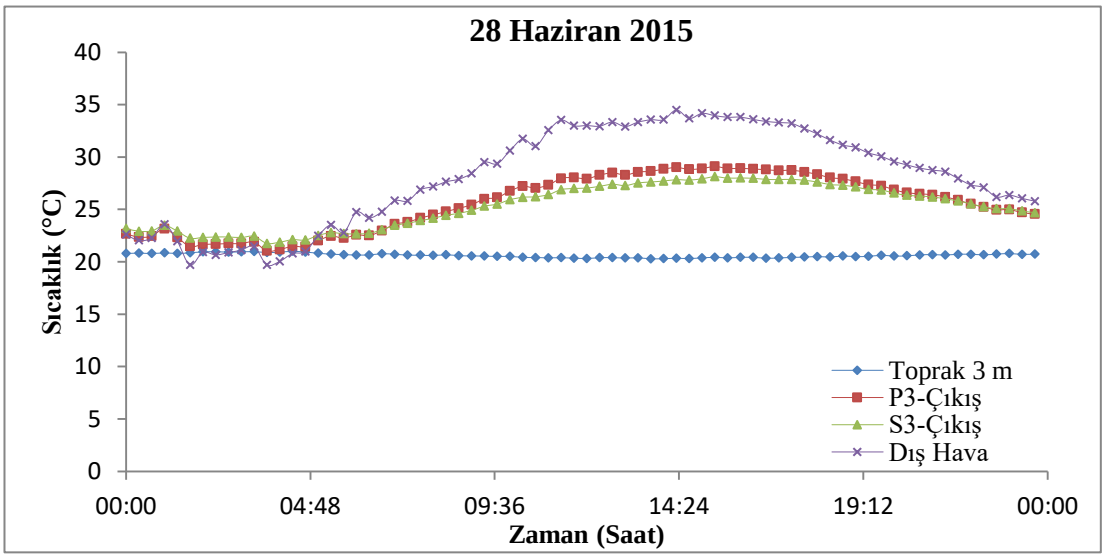
Şekil 4.28. 3 m derinlik için 16 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

Şekil 4.29.' da metal malzeme kullanılmış olan THID sisteminin daha düşük bir çıkış sıcaklığına sahip olduğu görülmekle birlikte sonuçların 2 m toprak derinliği için nerdeyse aynı olduğu anlaşılmaktadır.



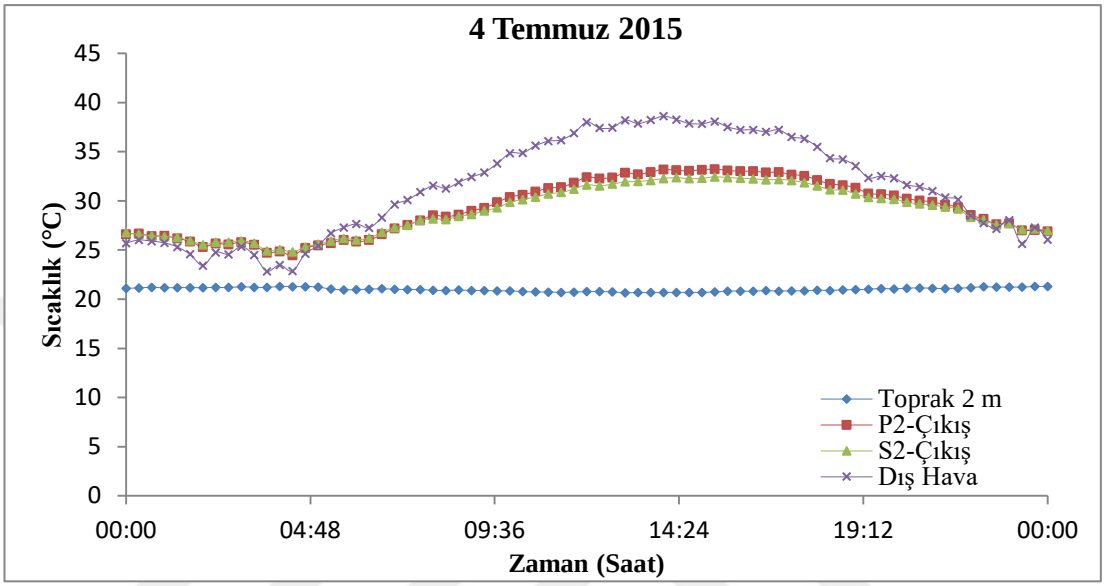
Şekil 4.29. 2 m derinlik için 28 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s)

Şekil 4.30.' da 3 m toprak derinliğindeki ölçüm sonuçları gösterilmektedir. Metal malzeme kullanılan THID sisteminin daha düşük bir çıkış sıcaklığına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Dış hava sıcaklığı arttıkça iki sistem arasındaki farkın arttığı, azaldıkça farkın da azaldığı görülmektedir.



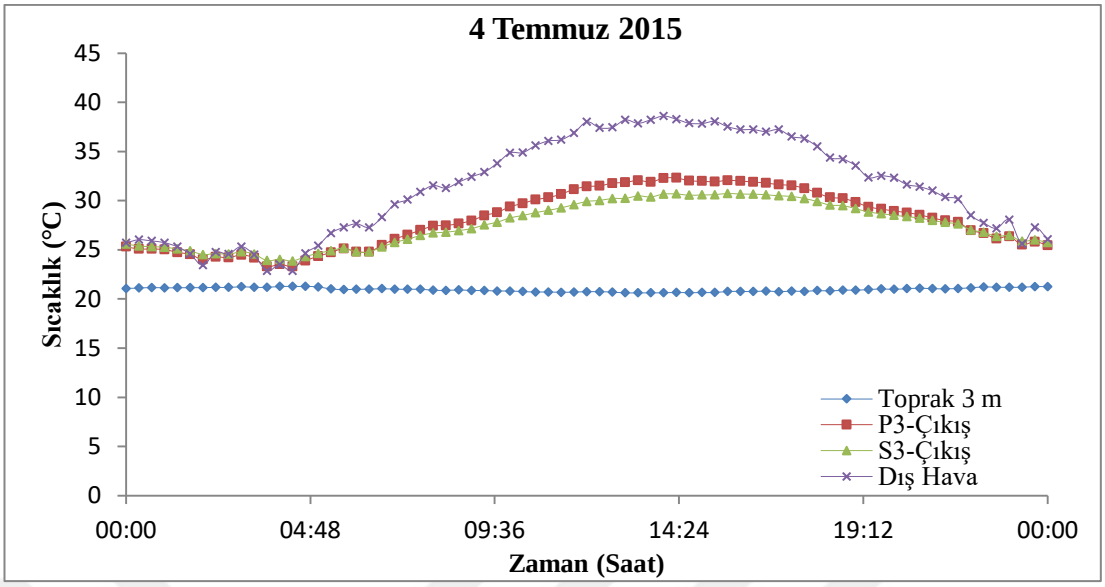
Şekil 4.30. 3 m derinlik için 28 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 8 m/s)

Şekil 4.31.' de metal malzeme kullanılmış olan THID sisteminin PVC malzeme kullanılan THID sistemine göre daha düşük bir çıkış sıcaklığına sahip olduğu görülmekle birlikte sonuçların 2 m toprak derinliği için nerdeyse aynı olduğu anlaşılmaktadır.



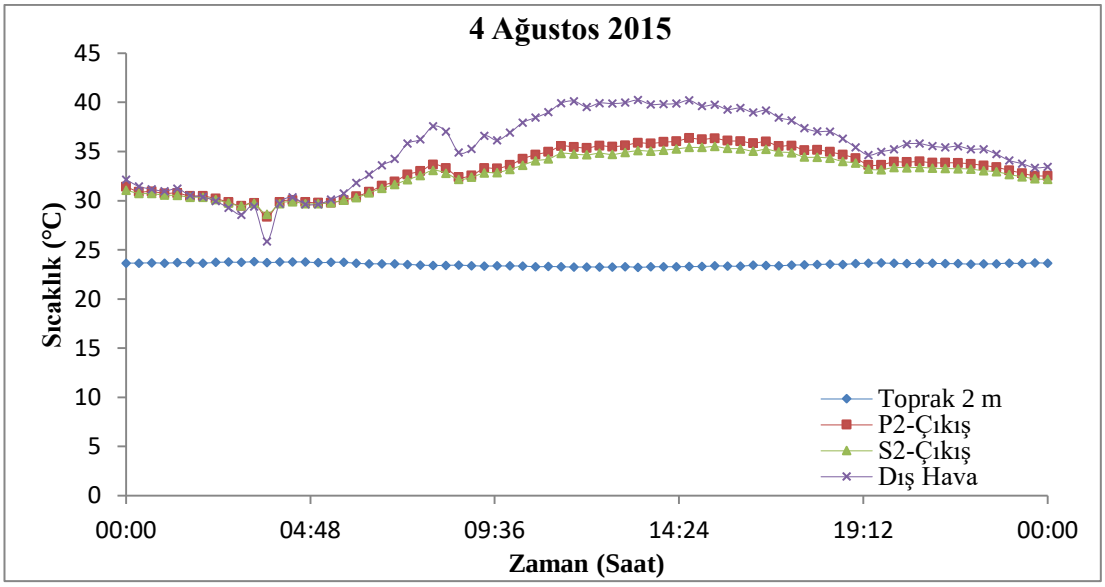
Şekil 4.31. 2 m derinlik için 4 Temmuz 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 4 m/s)

3 m toprak derinliğindeki ölçüm sonuçlarının gösterildiği Şekil 4.32.' de ise metal malzemenin özellikle sıcaklığın yüksek olduğu zaman diliminde PVC malzemeye göre daha uygun olduğu görülmektedir.



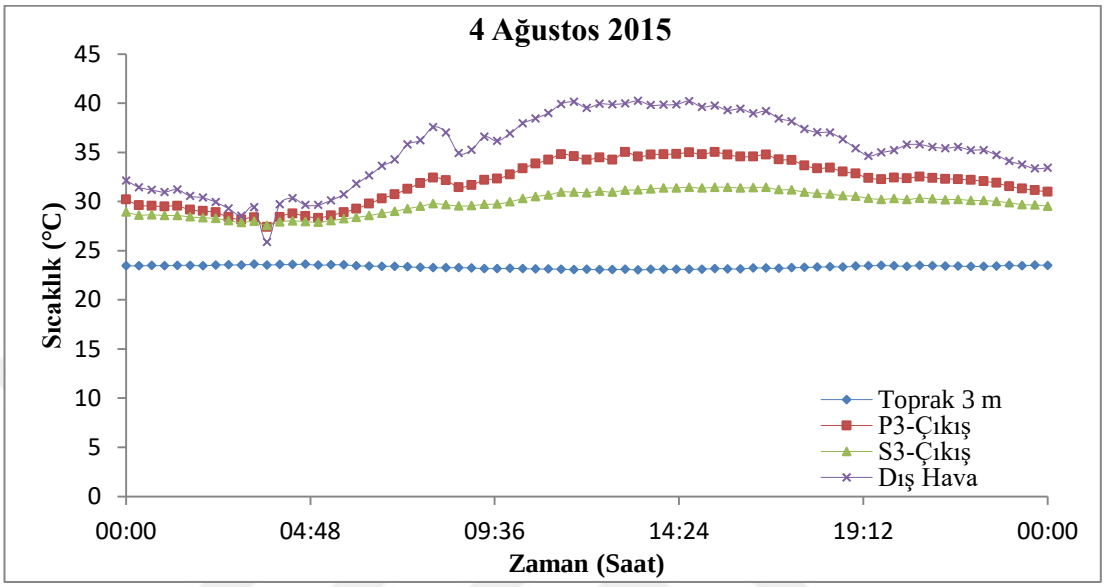
Şekil 4.32. 3 m derinlik için 4 Temmuz 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 4 m/s)

Şekil 4.33.' de metal malzeme kullanılmış olan THID sisteminin PVC malzeme kullanılan THID sistemine göre daha düşük bir çıkış sıcaklığına sahip olduğu görülmekle birlikte sonuçların 2 m toprak derinliği için nerdeyse aynı olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.33. 2 m derinlik için 4 Ağustos 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

3 m toprak derinliğindeki ölçüm sonuçlarının gösterildiği Şekil 4.34.' de ise metal malzemenin özellikle sıcaklığın yüksek olduğu zaman diliminde PVC malzemeye göre daha uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 4.34. 3 m derinlik için 4 Ağustos 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi (Hava hızı 6 m/s)

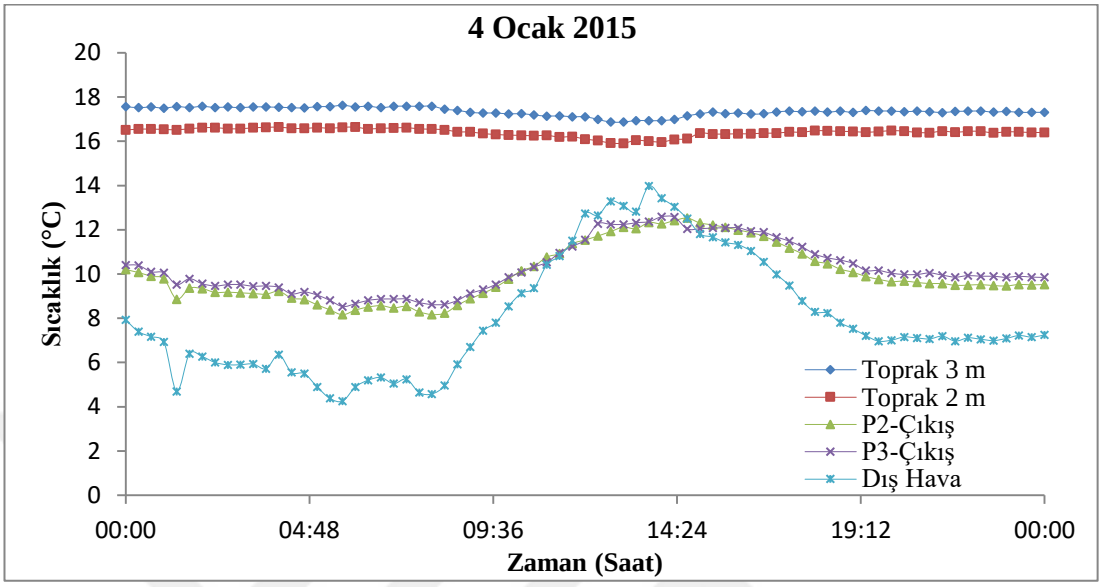
4.2. Toprak Derinliğinin THID Performansı Üzerine Etkisi

THID sistemlerinin performansına toprak derinliğinin etkisini incelemek için aynı malzemeden yapılmış ve aynı çaplara sahip 2 adet THID; 2 m ve 3 m derinlikteki toprağa yerleştirilmiştir. Hem ısıtma hem de soğutma durumundaki ölçümler aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Toprak derinliğinin ısıtma durumundaki etkisi

THID performansının toprak derinliğiyle değişimini görmek için PVC ve metal malzemelerden yapılmış sistemlerin belirli günlerdeki çıkış sıcaklıkları incelenmiştir.

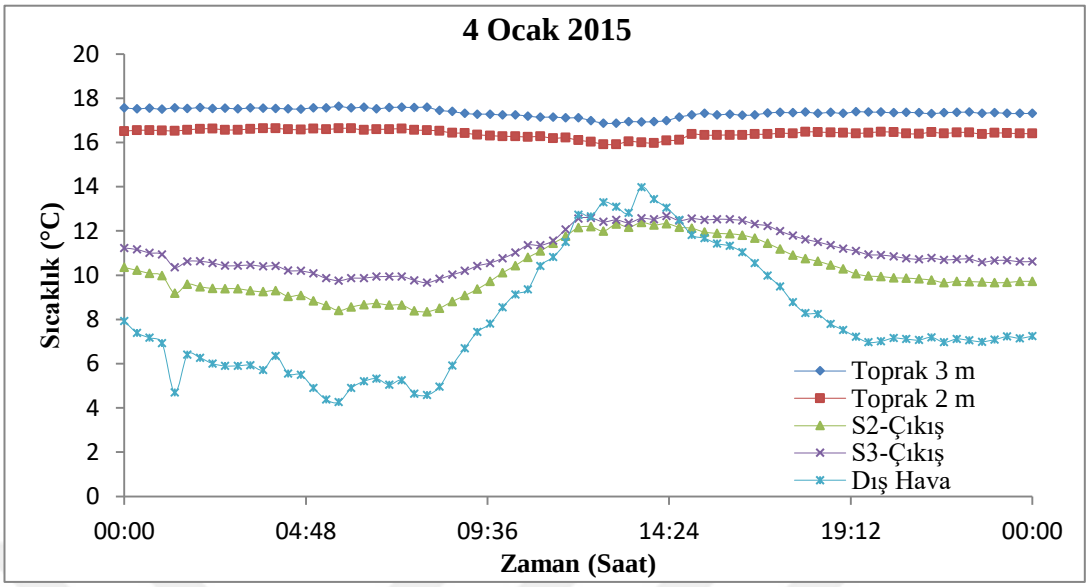
Şekil 4.35.' de PVC malzemenin kullanıldığı 3 m derinlikteki sistemle 2 m derinlikte sistem arasındaki sıcaklık farkının çok az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.35. PVC malzeme için 4 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi

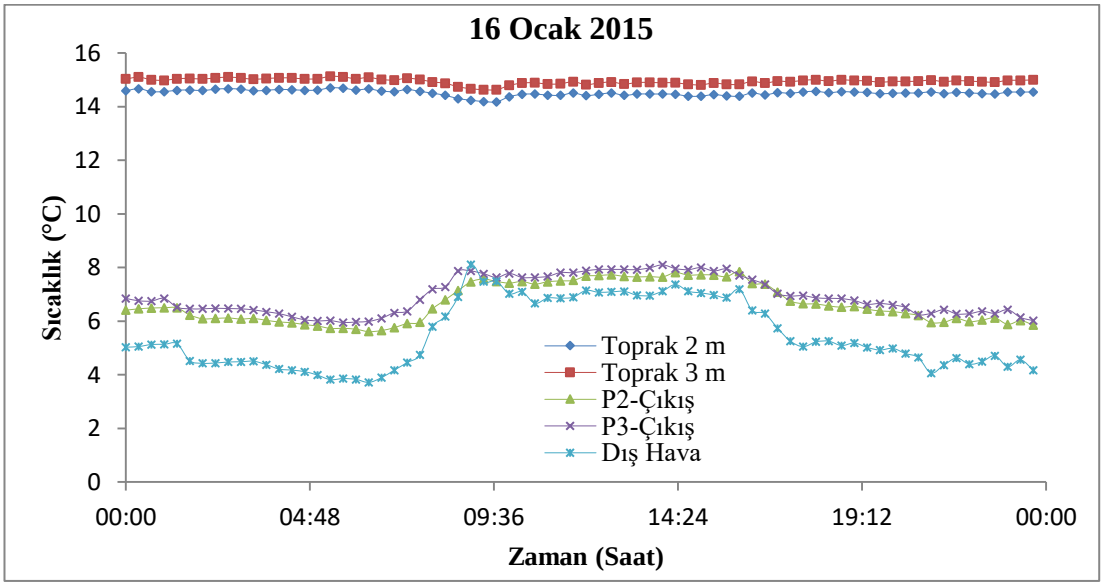
Şekil 4.36.' da metal malzemelerin kullanıldığı 3 m derinlikteki sistemle 2 m derinlikte sistem arasındaki sıcaklık farkının yaklaşık 2 ºC olduğu görülmektedir. 3 m toprak derinliğindeki sistemin daha uygun olduğu anlaşılmaktadır.

6 m/s hızla yapılan ölçümlerde PVC malzeme için 3 m derinliğin, 2 m derinlikten daha uygun olduğu görülmektedir. Aynı şekilde 6 m/s hızla yapılan ölçümde metal malzeme için 3 m derinliğin, 2 m derinlikten daha uygun olduğu görülmektedir. Her iki sistem karşılaştırıldığında metal malzemenin kullanıldığı sistemler de toprak derinliğinin etkisi daha fazla görünmektedir.



Şekil 4.36. Metal malzeme için 4 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi

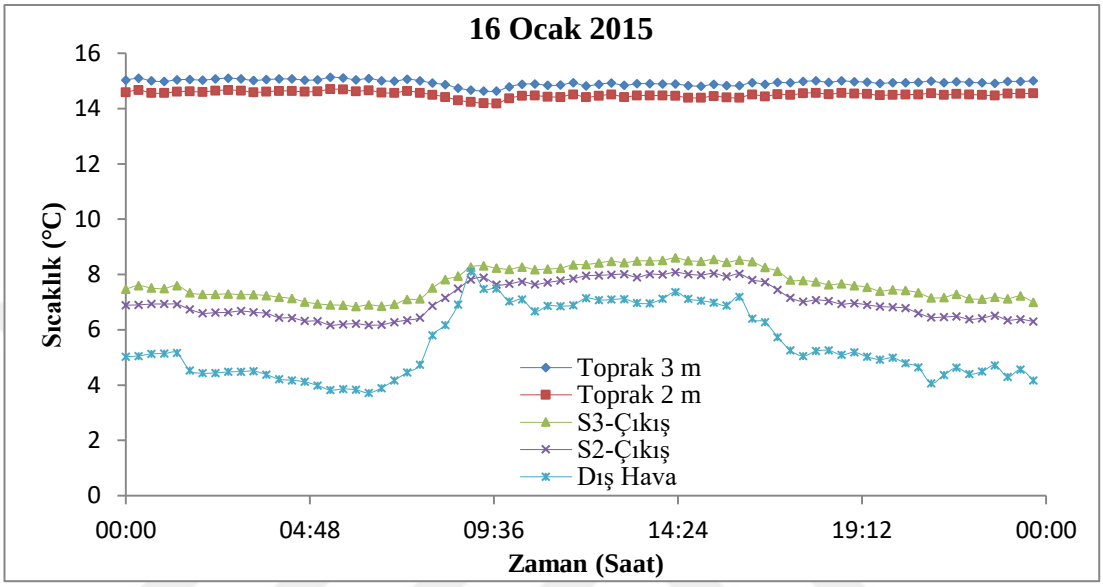
Şekil 4.37.' de PVC malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine farklı toprak derinliklerinin etkisi gösterilmektedir. Sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte 3 m derinlikteki sistemin daha uygun olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.37. PVC malzeme için 16 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi.

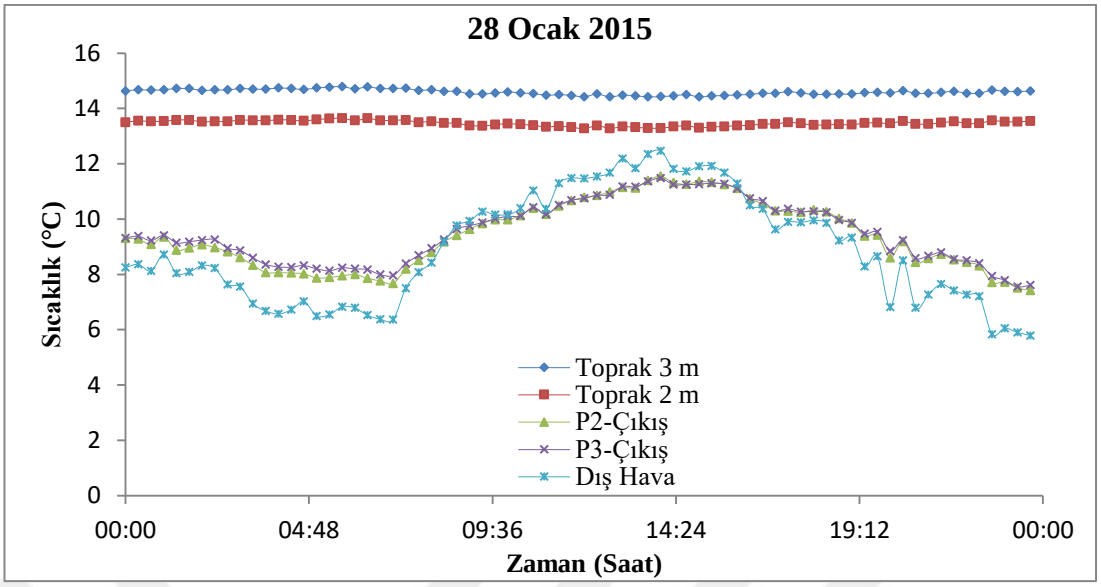
Metal malzemelere ait farklı toprak derinliklerinin incelendiği 16 Ocak 2015 tarihli ölçüm sonuçları Şekil 4.38.' de verilmiştir. Her iki ölçüm sonuçları

karşılaştırıldığında metal malzemenin derinlikle değişimi PVC' ye göre daha yüksek oranda olmaktadır. 2 m ve 3 m derinlikteki toprağın sahip olduğu sıcaklık değerleri birbirine çok yakın olduğu için THID sistemlerine toprak derinliğinin etkisi oldukça sınırlı olmaktadır.



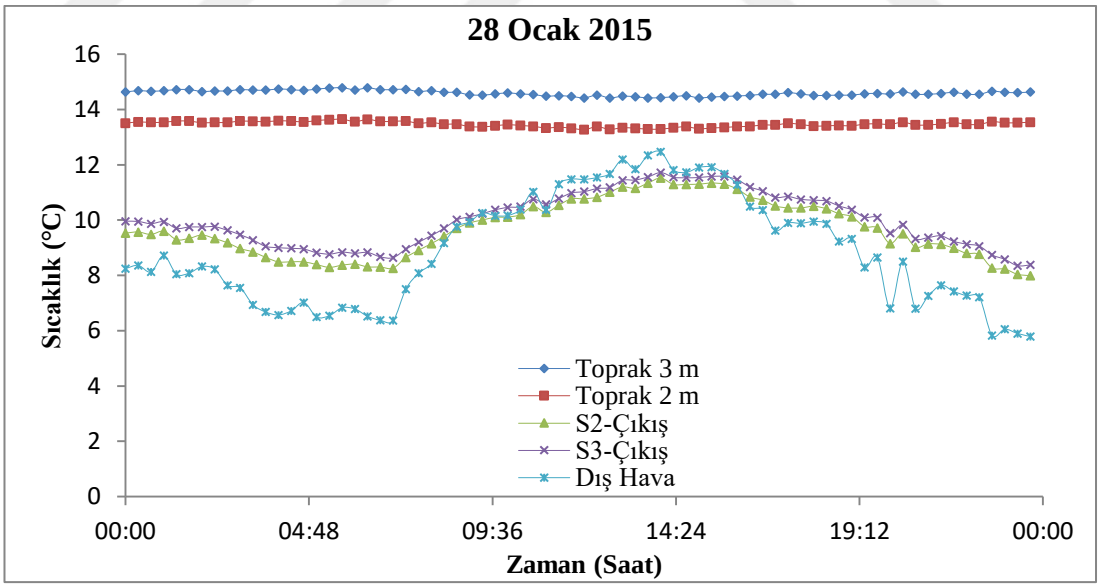
Şekil 4.38. Metal malzeme için 16 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi.

Şekil 4.39.' da PVC malzemenin kullanıldığı THID sistemlerinin derinlikle değişimi gösterilmektedir. Toprak sıcaklıkları arasında yaklaşık 1 ºC' lik bir farkın tespit edildiği ölçümde THID sistemlerinin çıkış sıcaklıklarının neredeyse eşit olduğu belirlenmiştir.



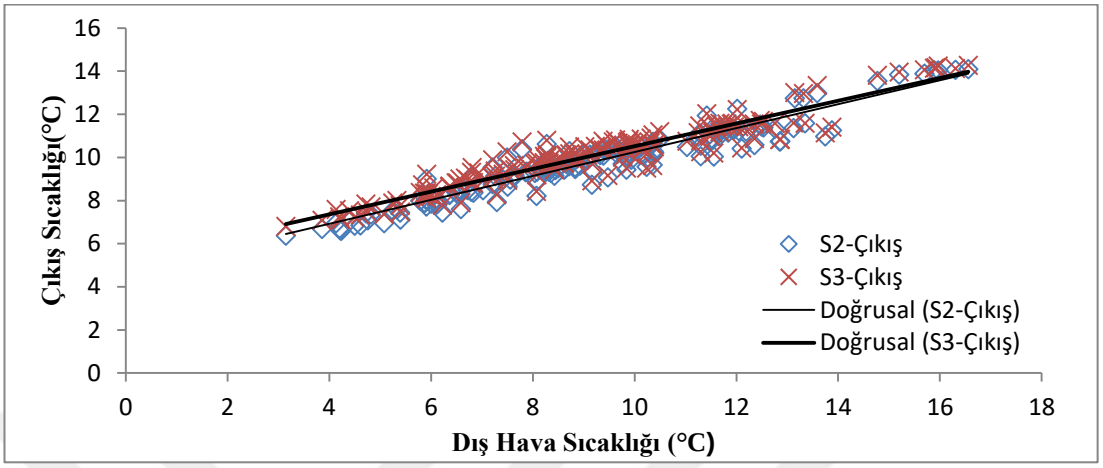
Şekil 4.39. PVC malzeme için 28 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi.

28 Ocak 2015 tarihli tüm gün yapılan ölçümlerde 3 m derinlikteki sistemin 2 m derinlikteki sistemden daha yüksek çıkış sıcaklığına sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil4.40.).



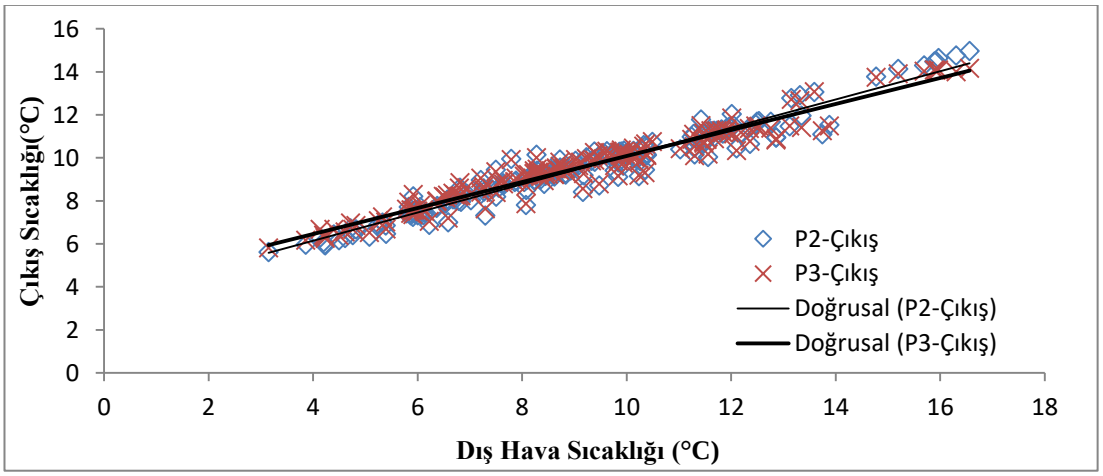
Şekil 4.40. Metal malzeme için 28 Ocak 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi.

Şekil 4.41.' de metal malzeme için çıkış sıcaklıklarının dış hava sıcaklığı ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.41. Çıkış sıcaklıklarının dış hava sıcaklığı ile değişimi (Metal malzeme için)

PVC malzeme için çıkış sıcaklıklarının dış hava sıcaklığı ile değişimi Şekil 4.42.' de belirtilmektedir. Sonuçlar birbirine çok yakın olmakla birlikte dış ortam sıcaklığının düşük olduğu anlarda derinlik etkisinin daha belirgin olduğu gözlemlenmektedir. Metal malzemeler arasındaki çıkış sıcaklığı farkının PVC malzemelere göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

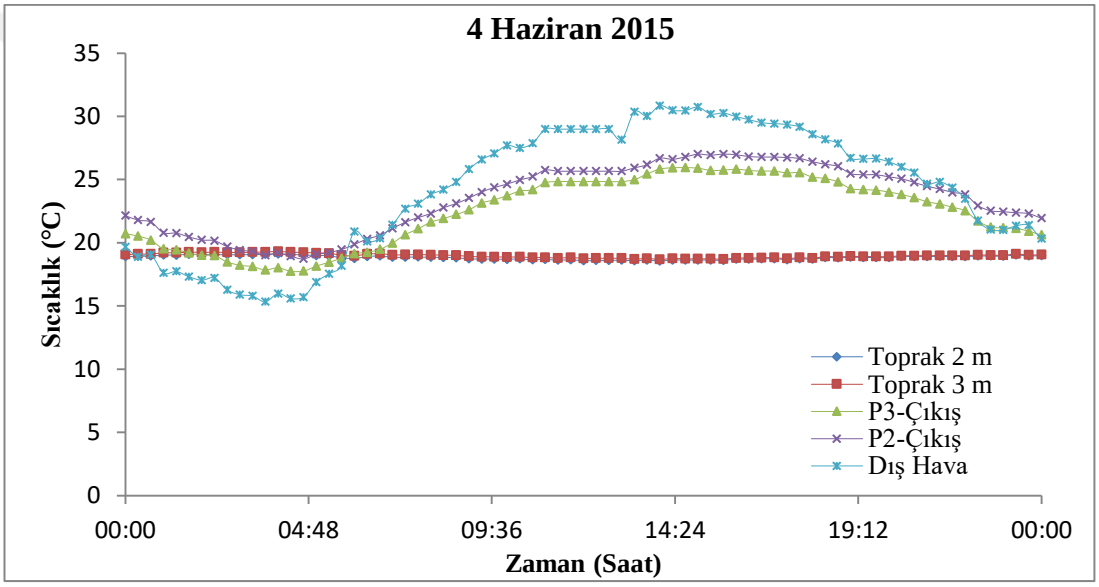


Şekil 4.42. Çıkış sıcaklıklarının dış hava sıcaklığı ile değişimi (PVC malzeme için)

4.2.2. Toprak derinliğinin soğutma durumundaki etkisi

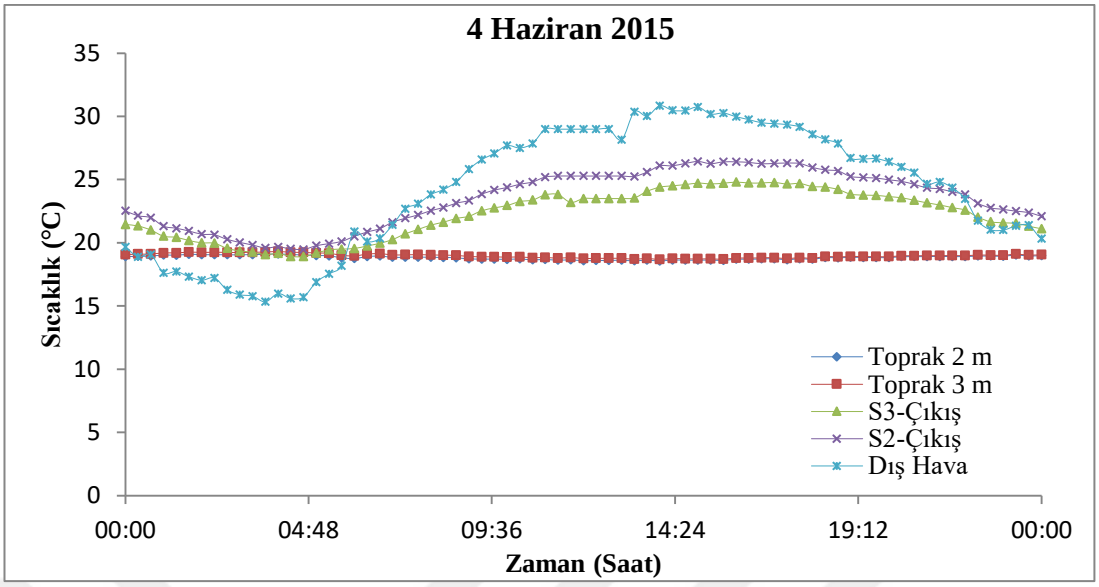
THID performansının soğutma durumunda toprak derinliğiyle değişimini görmek için PVC ve metal malzemelerden yapılmış sistemlerin çıkış sıcaklıkları incelenmiştir.

Şekil 4.43.' de PVC malzemeye ait çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi gösterilmektedir. 3 m derinlikteki sistemin daha düşük bir çıkış sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir.



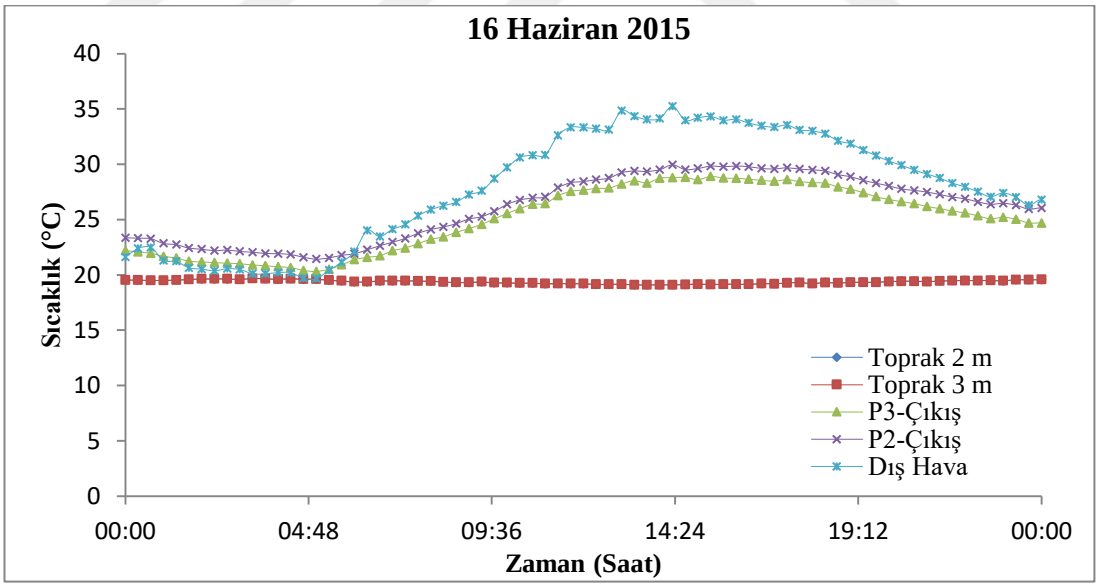
Şekil 4.43. PVC malzeme için 4 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi.

Şekil 4.44.' de metal malzemeye ait çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi gösterilmektedir. 3 m derinlikteki sistemin daha düşük bir çıkış sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir.



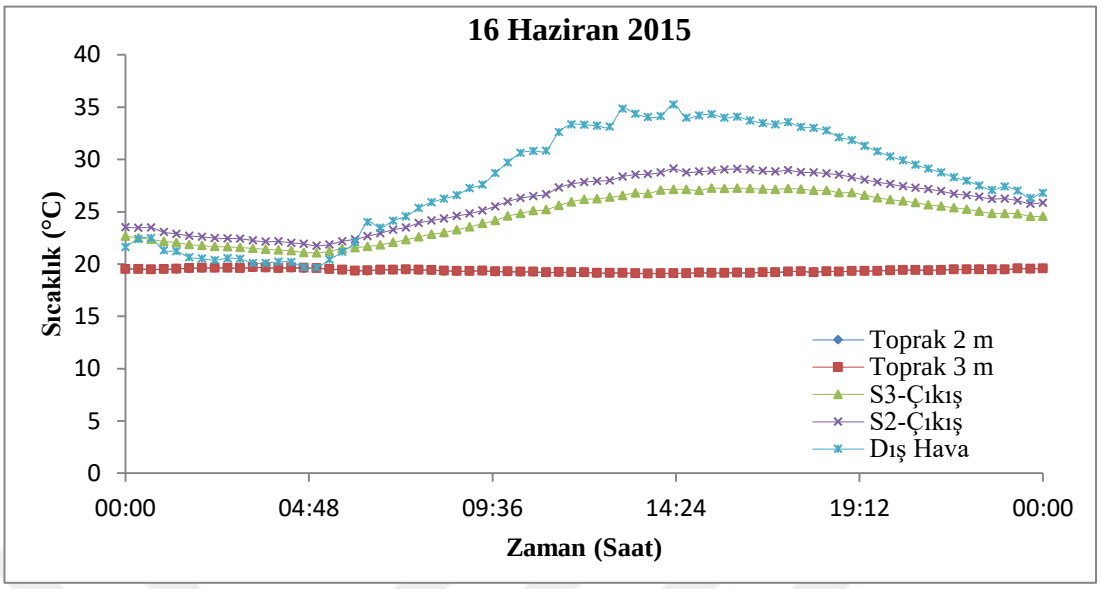
Şekil 4.44. Metal malzeme için 4 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi.

16 Haziran 2015 tarihindeki ölçümlere bakıldığında 3 m derinliğin daha uygun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.45).



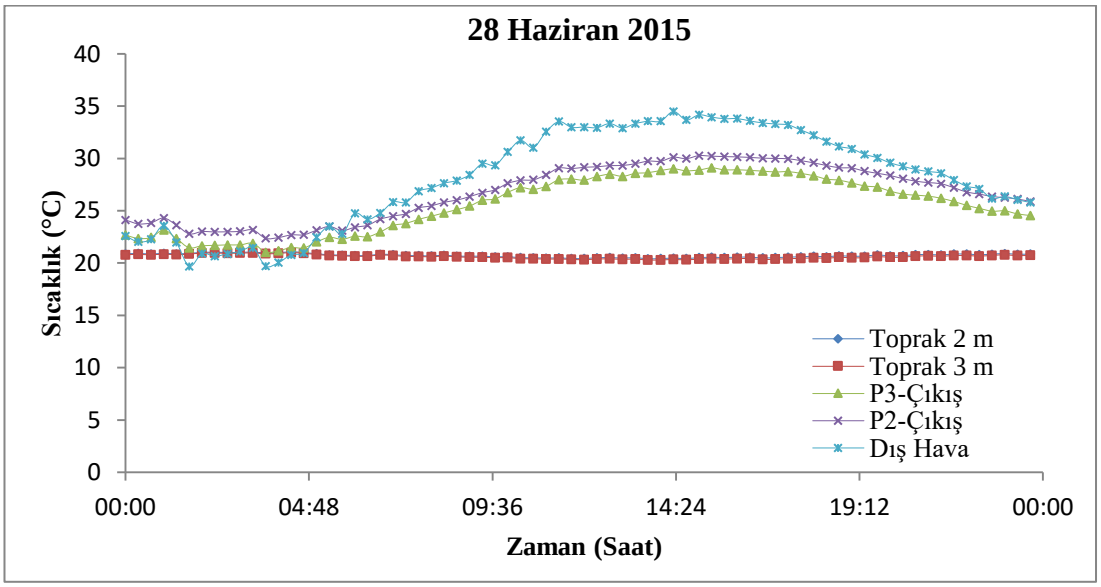
Şekil 4.45. PVC malzeme için 16 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi.

Benzer şekilde 16 Haziran 2015 tarihindeki ölçümler karşılaştırıldığında 3 m derinliğin 2 m derinliğe göre daha uygun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.46).

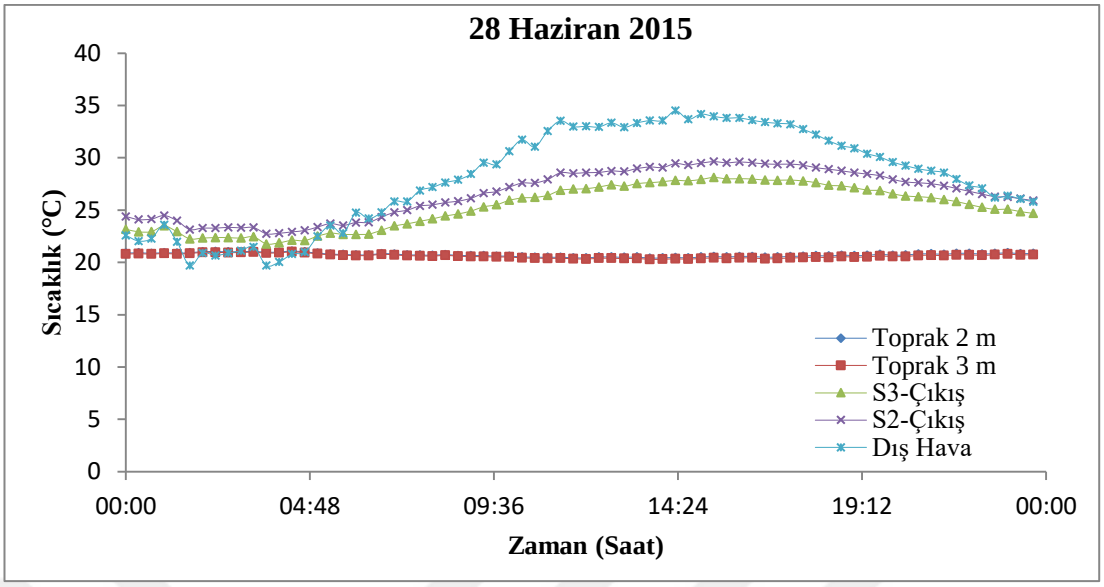


Şekil 4.46. Metal malzeme için 16 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi.

Şekil 4.47.'de 3 m derinlikteki THID sisteminin daha uygun olduğu görülmektedir. Metal malzemenin karşılaştırılması için 28 Haziran tarihinde yapılan ölçümde 3 m derinliğin daha uygun olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.48).



Şekil 4.47. PVC malzeme için 28 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi.



Şekil 4.48. Metal malzeme için 28 Haziran 2015' de sıcaklıkların zamanla değişimi.

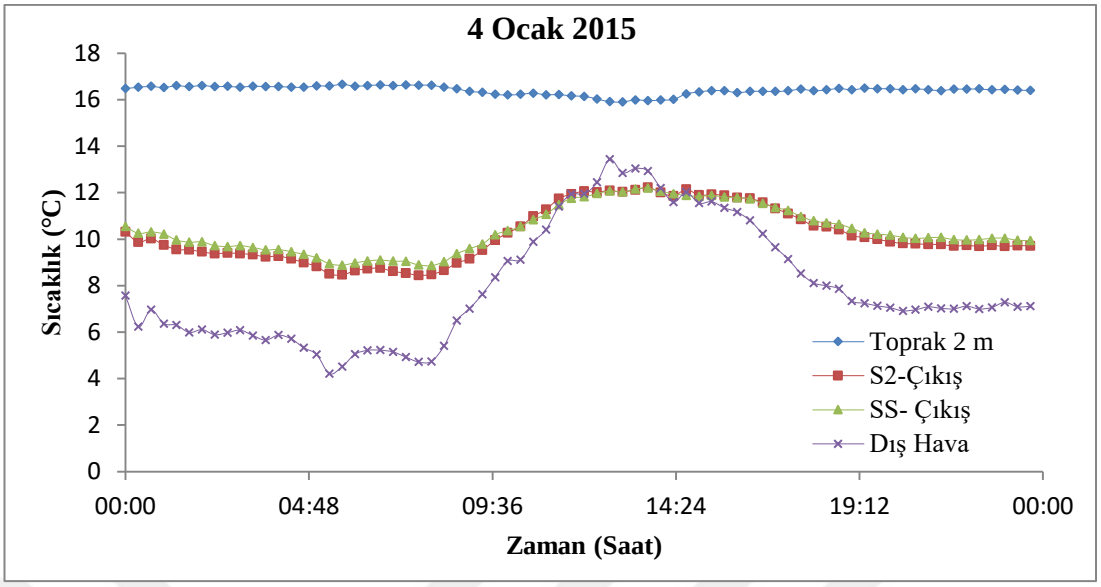
Sonuç olarak soğutma durumunda 3 m derinliğin 2 m derinliğe göre daha düşük çıkış sıcaklığı verdiği tespit edilmiştir.

4.3. Boru Çapının THID Performansı Üzerine Etkisi

Literatürde THID sistemlerinin performansına etki eden parametrelerden biri olarak sayılan boru çapı; deneysel çalışmada 10 ve 15 cm çapındaki iki adet THID sisteminin karşılaştırılması ile performans üzerindeki etkileri incelenecektir. Şekillerde PS ve SS olarak gösterilen sistemlerdeki borular 10 cm çapında, P2 ve S2 olarak gösterilen sistemlerdeki borular ise 15 cm çapındadır.

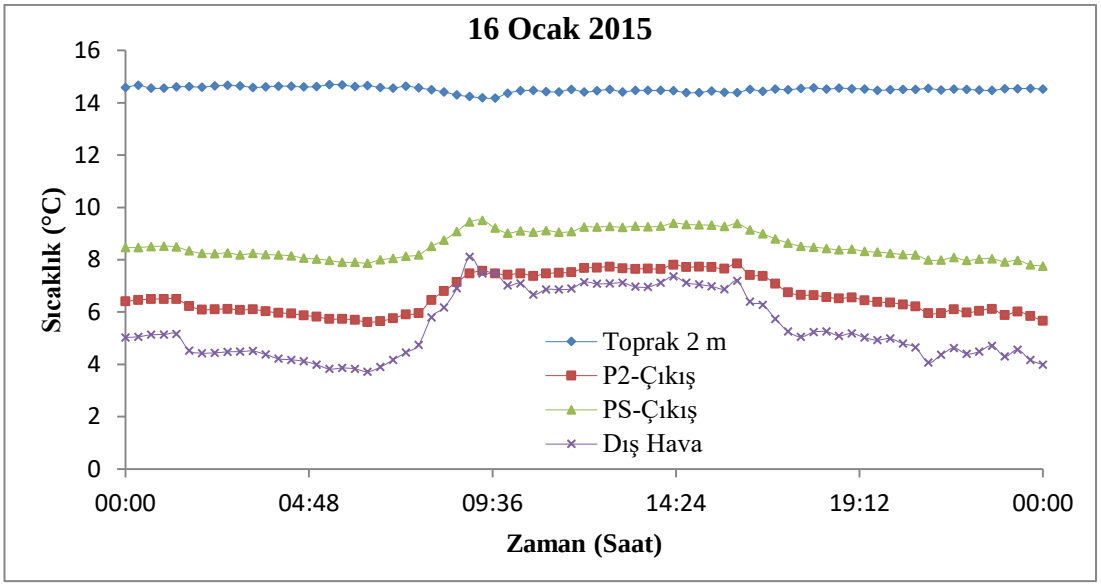
4.3.1. Boru çapının ısıtma durumundaki etkisi

Farklı boru çaplarına sahip THID sistemlerinin çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.49.' da 10 cm çapındaki metal borunun kullanıldığı THID sisteminin (SS) 15 cm çapındaki sistemden (S2) daha uygun olduğu belirtilmektedir.



Şekil 4.49. 10 cm (SS) ve 15 cm (S2) çapındaki metal borulara ait 4 Ocak 2015 tarihli ölçüm.

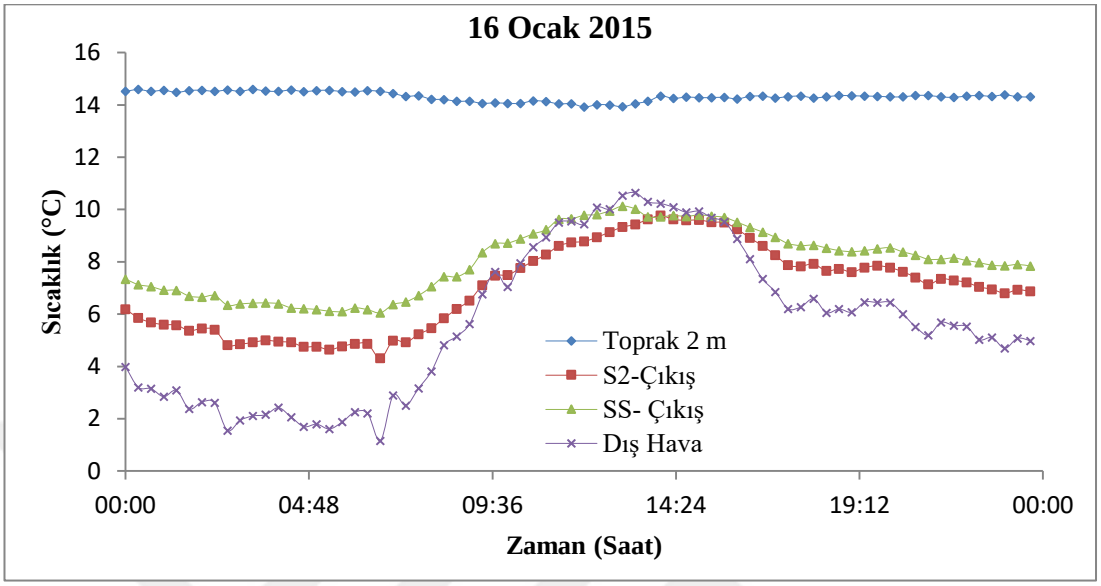
Şekil 4.50.' de 10 cm çapındaki PVC borunun 15 cm çapındaki PVC borudan daha uygun olduğu görülmektedir. PS ile gösterilen sistemin çıkış sıcaklığı P2 ile gösterilen sistemin çıkış sıcaklığından yaklaşık 2 ºC daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.50. 10 cm (PS) ve 15 cm (P2) çapındaki PVC borulara ait 16 Ocak 2015 tarihli ölçüm.

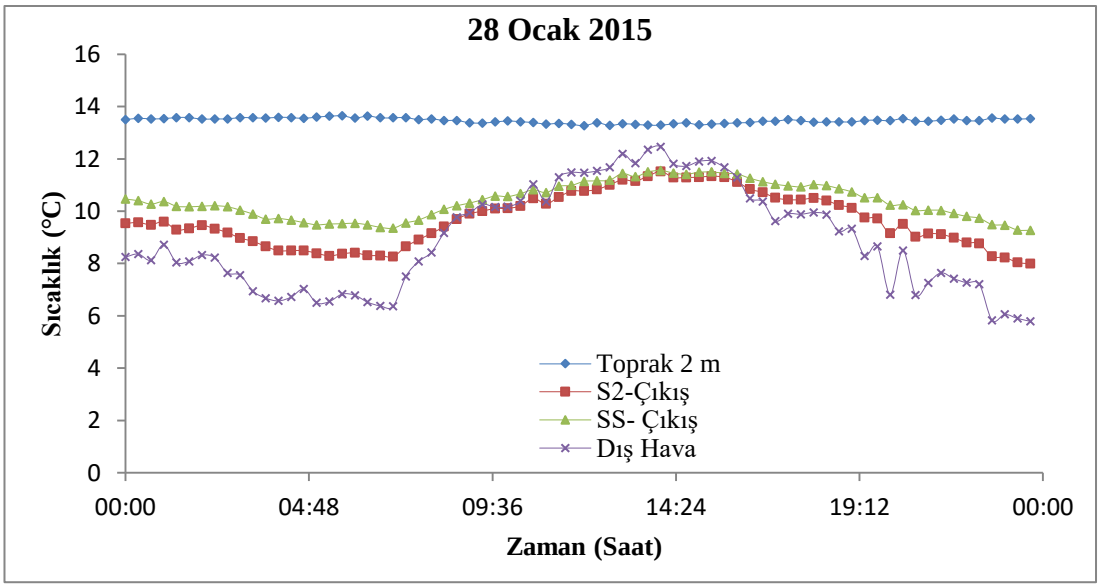
Şekil 4.51.' de 10 cm çapındaki metal borunun 15 cm çapındaki metal borudan daha uygun olduğu görülmektedir. Hava hızı 6 m/s olarak ölçülmüştür. SS ile

gösterilen sistemin çıkış sıcaklığı S2 ile gösterilen sistemin çıkış sıcaklığından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.51. 10 cm (SS) ve 15 cm (S2) çapındaki metal borulara ait 16 Ocak 2015 tarihli ölçüm.

Hava hızının 6 m/s olarak ölçüldüğü 28 Ocak 2015 tarihindeki çıkış sıcaklıkları karşılaştırıldığında 10 cm çapındaki metal borunun 15 cm çapındaki metal borudan daha uygun olduğu görülmektedir (Şekil 4.52.).

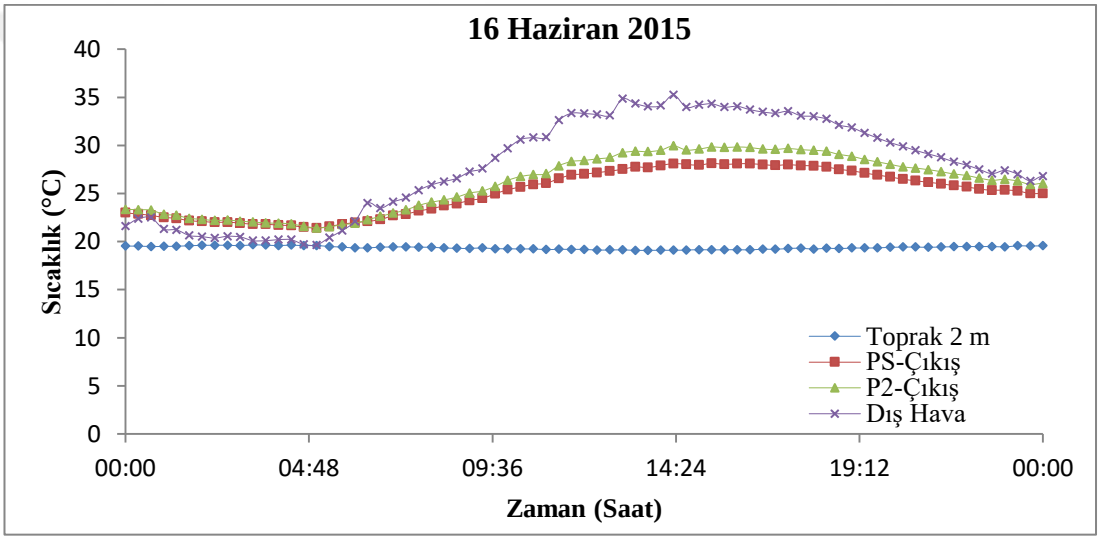


Şekil 4.52. 10 cm (SS) ve 15 cm (S2) çapındaki metal borulara ait 28 Ocak 2015 tarihli ölçüm.

Sonuç olarak ısıtma durumu için daha küçük boru çapının daha yüksek hava çıkış sıcaklığı verdiği tespit edilmiştir.

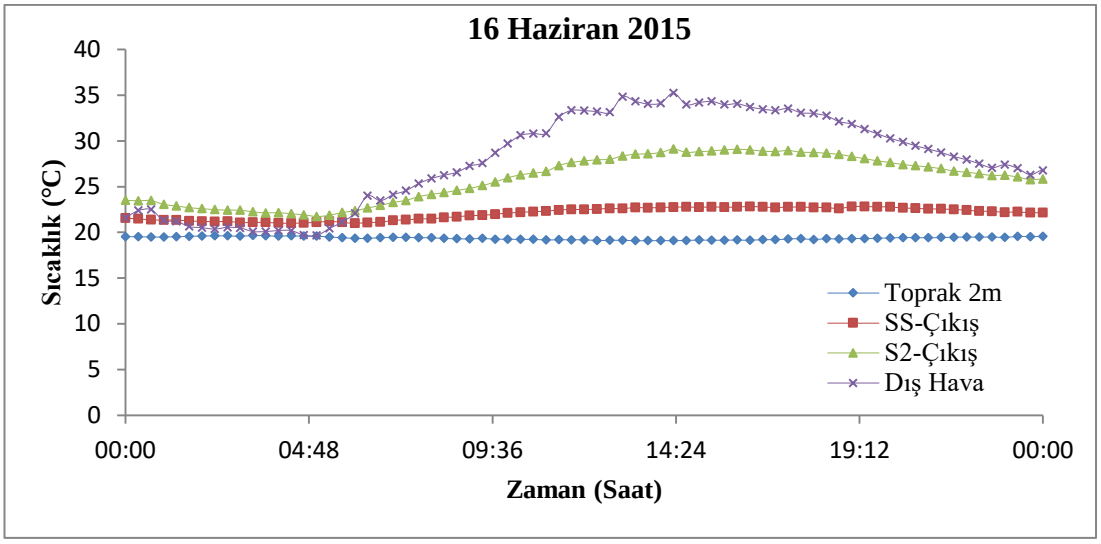
4.3.2. Boru çapının soğutma durumundaki etkisi

Soğutma durumundaki THID sistemlerinin performansına boru çapının etkisi incelenmiştir. Şekil 4.53.' de PS ile gösterilen 10 cm çapında boru kullanılan THID sisteminin P2 ile gösterilen 15 cm çapında boru kullanılan sistemden daha düşük bir sıcaklık elde ettiği görülmektedir.



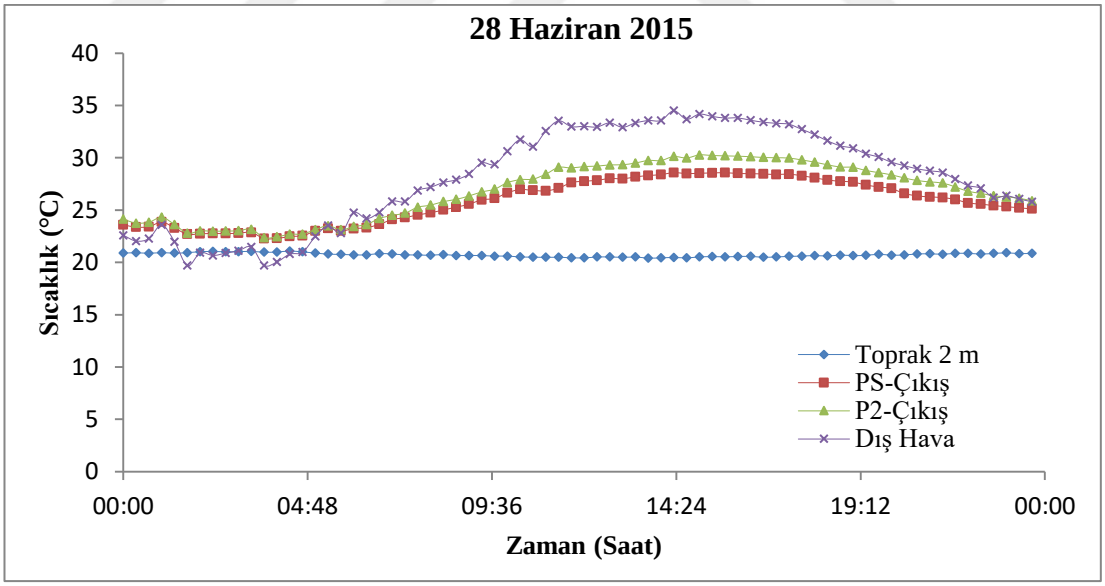
Şekil 4.53. 10 cm (PS) ve 15 cm (P2) çapındaki PVC borulara ait 16 Haziran 2015 tarihli ölçüm

SS ile gösterilen THID sisteminin S2 ile gösterilen sistemden daha düşük bir sıcaklık elde ettiği görülmektedir. 16 Haziran 2015 tarihli ölçümde SS' e ait çıkış sıcaklığının toprak sıcaklığına çok yakın olduğu gözlemlenmektedir(Şekil 4.54.).



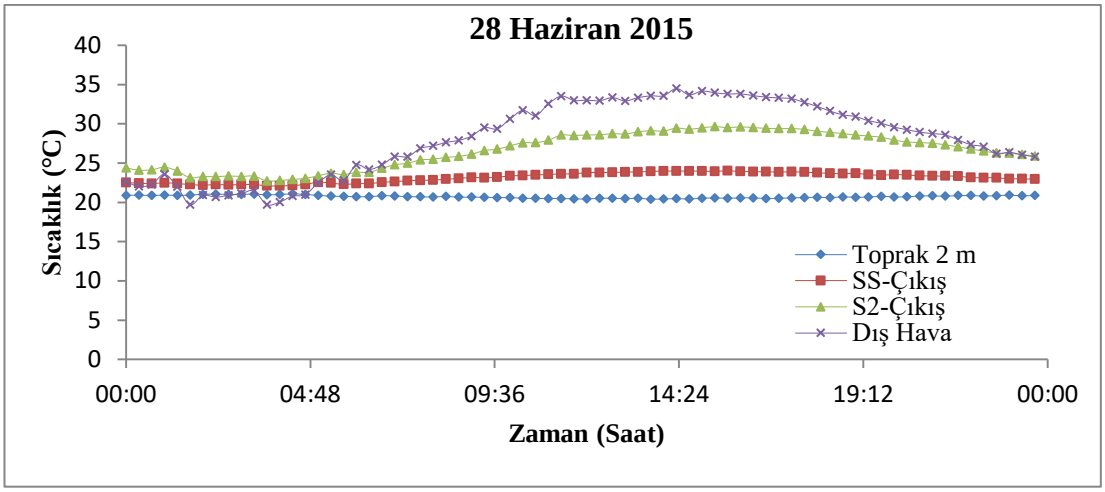
Şekil 4.54. 10 cm (SS) ve 15 cm (S2) çapındaki metal borulara ait 16 Haziran 2015 tarihli ölçüm.

28 Haziran 2015 tarihinde yapılan ölçümler karşılaştırıldığında Şekil 4.55.' de gösterilen PVC borulara ait sonuçlar da PS' in P2' den daha uygun olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.55. 10 cm (PS) ve 15 cm (P2) PVC borulara ait 28 Haziran 2015 tarihli ölçüm.

Metal malzemelerin sonuçlarının karşılaştırıldığı Şekil 4.56.' da SS' in giriş sıcaklığı ile çıkış sıcaklığı arasındaki farkın S2'den daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.56. 10 cm (SS) ve 15 cm (S2) çapındaki metal borulara ait 28 Haziran 2015 tarihli ölçüm

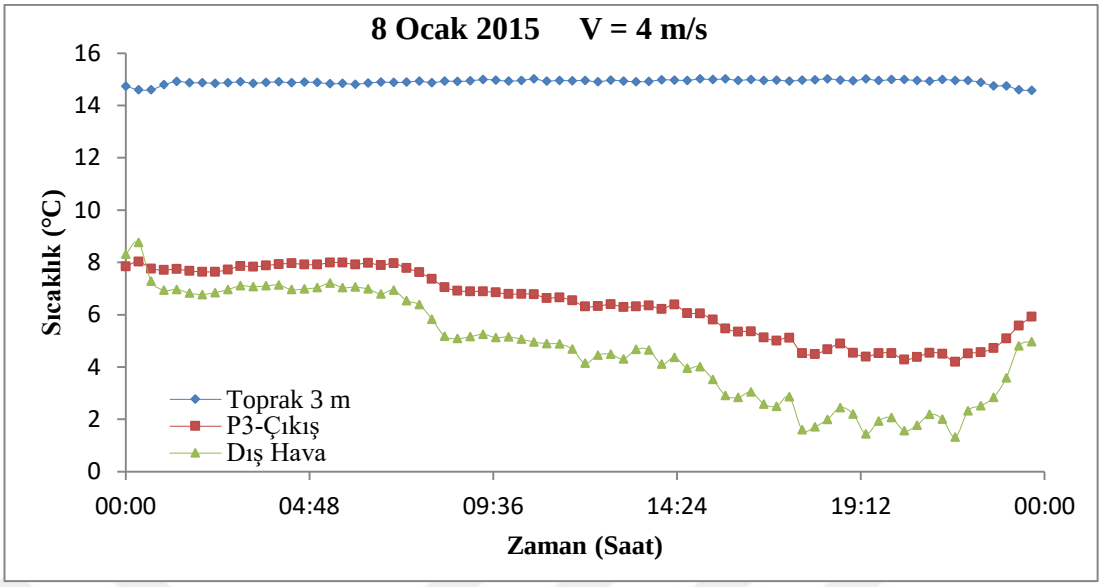
Sonuç olarak soğutma durumu için daha küçük çaptaki boruların daha düşük hava çıkış sıcaklığı verdiği belirlenmiştir.

4.4 Hızın THID Performansı Üzerine Etkisi

Hava hızının THID sistemleri üzerine etkisini incelemek üzere kış ve yaz mevsiminin belli günlerinde 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s hızlarında ölçümler alınarak karşılaştırma yapılmıştır. 3 m toprak derinliğindeki metal malzemeden yapılmış THID sistemine ait sonuçlar incelenmiştir. Hız ölçümleri farklı günlerde yapıldığından karşılaştırma hava giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark ($\Delta T = T_ç - T_g$) üzerinden yapılmıştır.

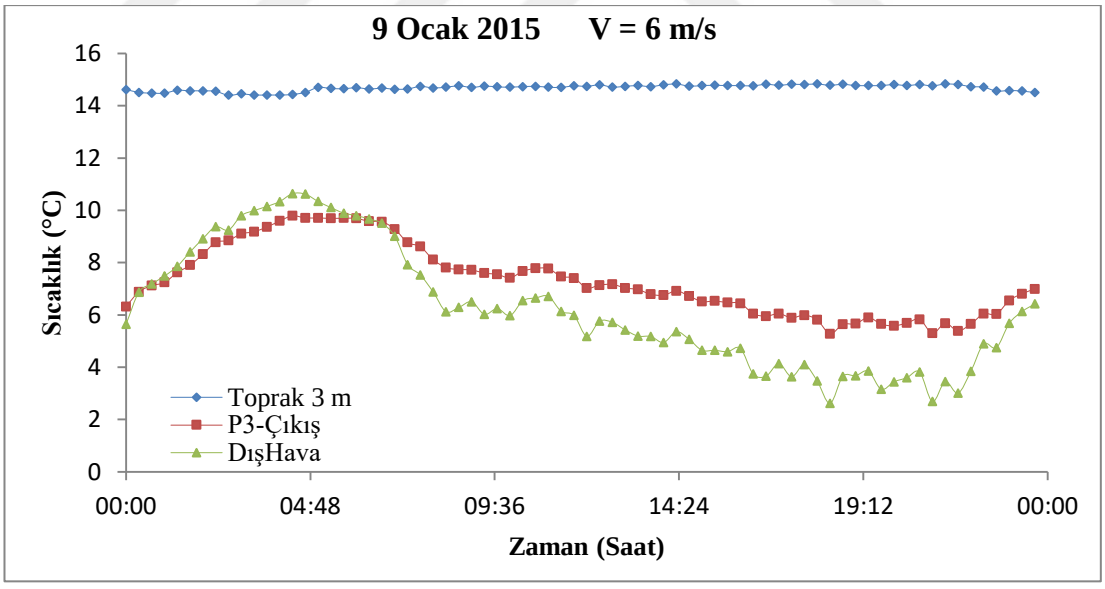
4.4.1. Hava hızının ısıtma durumundaki etkisi

4 m/s hızındaki havanın çıkış sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.57.' de gösterilmektedir.



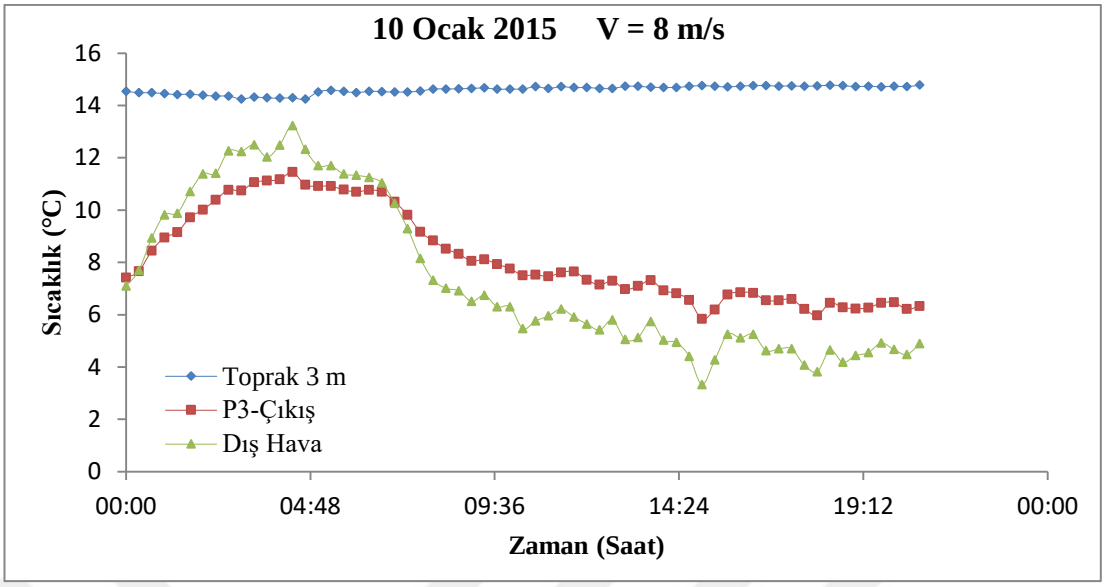
Şekil 4.57. 4 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

Şekil 4.58.' de 6 m/s hızındaki havanın çıkış sıcaklığının zamanla değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.58. 6 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

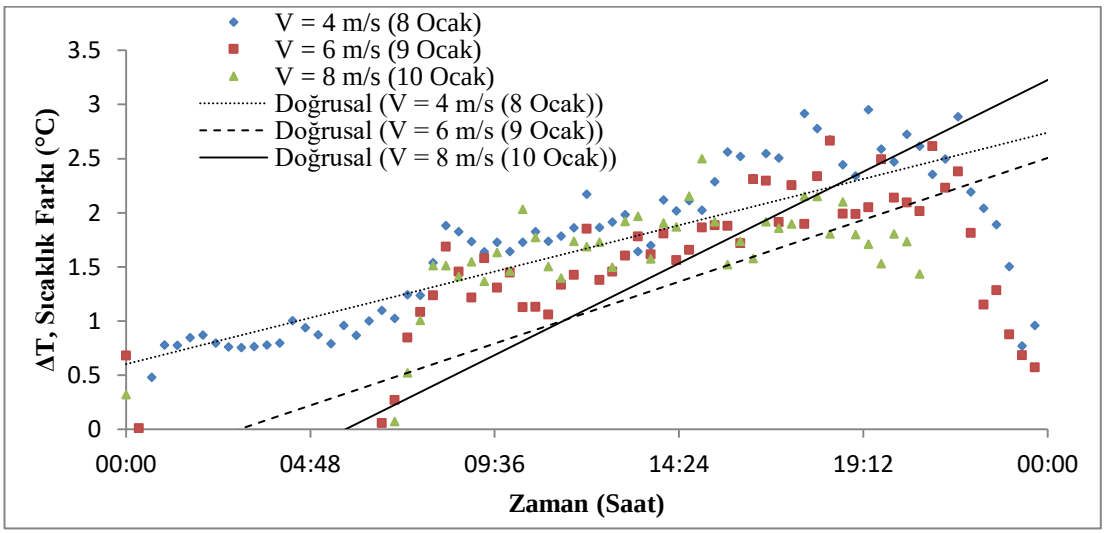
8 m/s hızındaki havanın çıkış sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.59.' da belirtilmektedir.



Şekil 4.59. 8 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

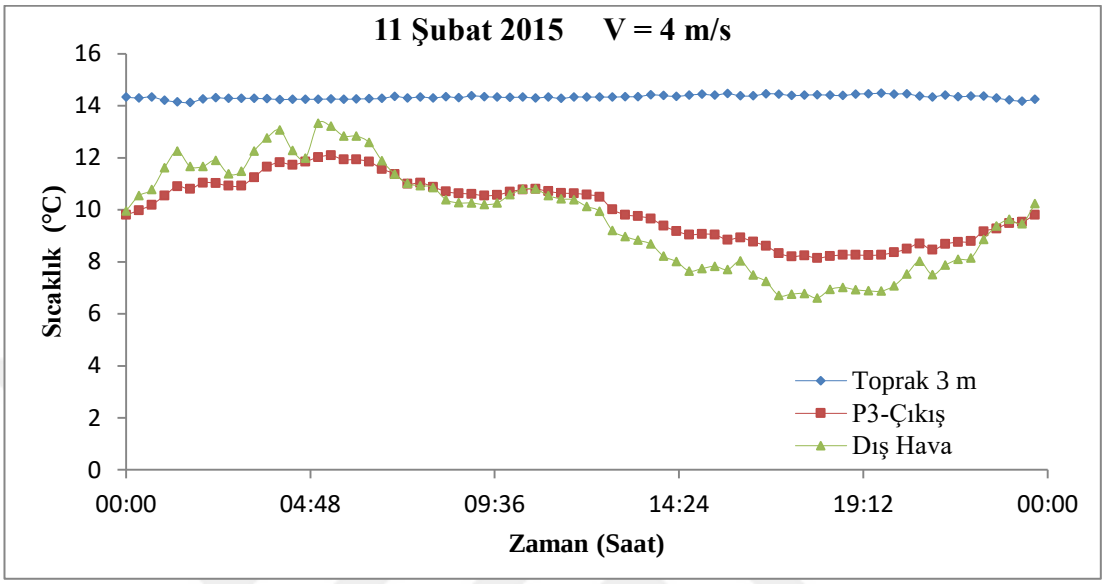
Hız etkisi uygulaması farklı günlerde (8, 9 ve 10 Ocak) yapıldığı için karşılaştırma amacıyla sıcaklık farkları arasındaki değişim Şekil 4.60.' da gösterilmektedir.

Sıcaklık farklarının değişimi incelendiğinde birbirine yakın değerler olduğu gözlemlenmekte olup, 8 m/s hızında sıcaklık farkının diğer hızlardan daha yüksek bir eğilim gösterdiği tespit edilmiştir.



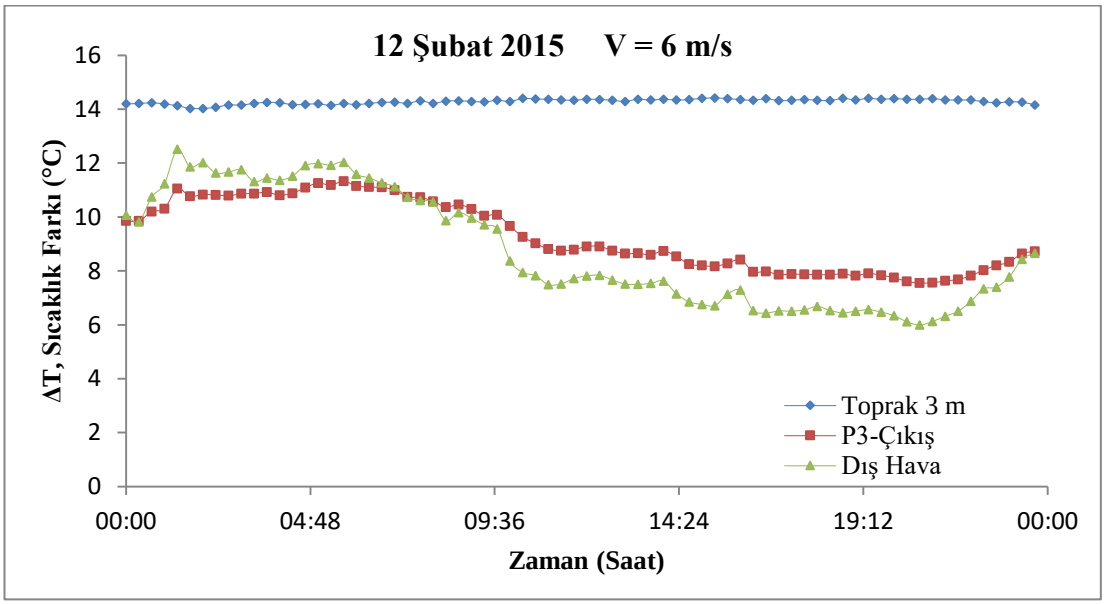
Şekil 4.60. 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s hızlarına ait sıcaklık farklarının zamanla değişimi

Şekil 4.61.' de hava hızının 4 m/s olduğu durumda çıkış sıcaklığının zamanla değişimi belirtilmektedir.



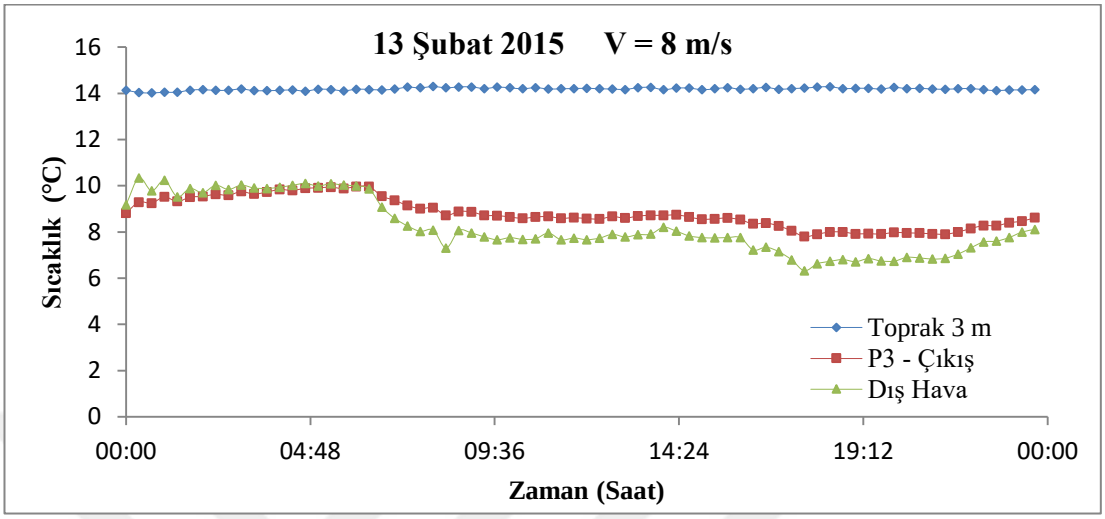
Şekil 4.61. 4 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

Hava hızının 6 m/s olduğu durumda çıkış sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.62.' de belirtilmektedir.



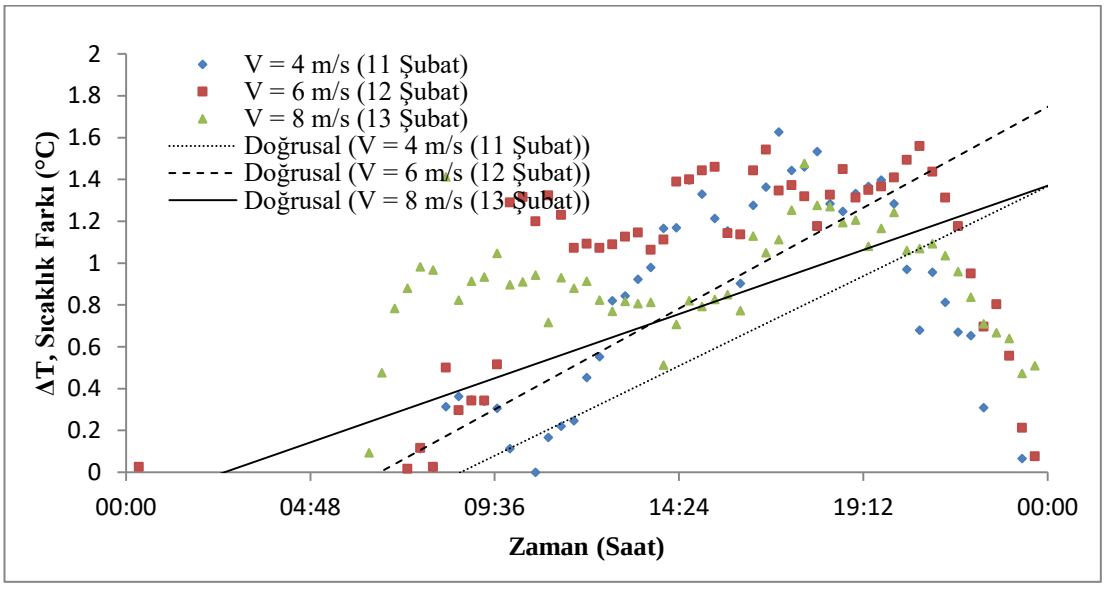
Şekil 4.62. 6 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

8 m/s hava hızının ölçüldüğü 13 Şubat tarihli ölçümde çıkış sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.63.'de gösterilmektedir.



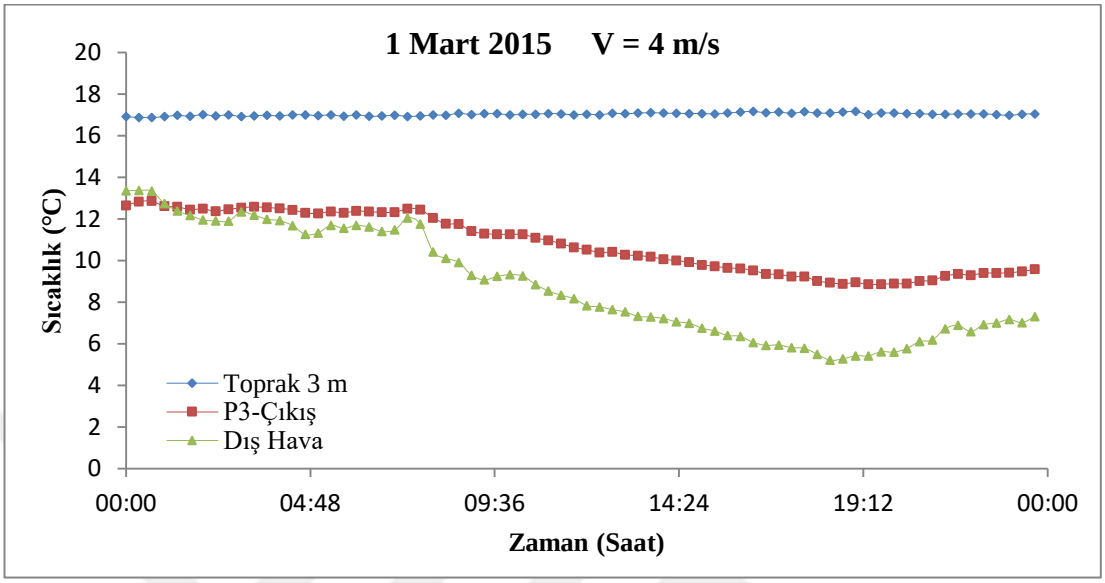
Şekil 4.63. 8 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

Şekil 4.64.' de 11, 12 ve 13 Şubat tarihlerinde yapılan ölçümlerde 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s' lik hızlarda yapılan ölçümlerde; çıkış sıcaklığı ile giriş sıcaklığını temsil eden dış hava sıcaklığı arasındaki farkın birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. 4 m/s' lik hava hızına ait sıcaklık farkının diğer hızlardan daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.



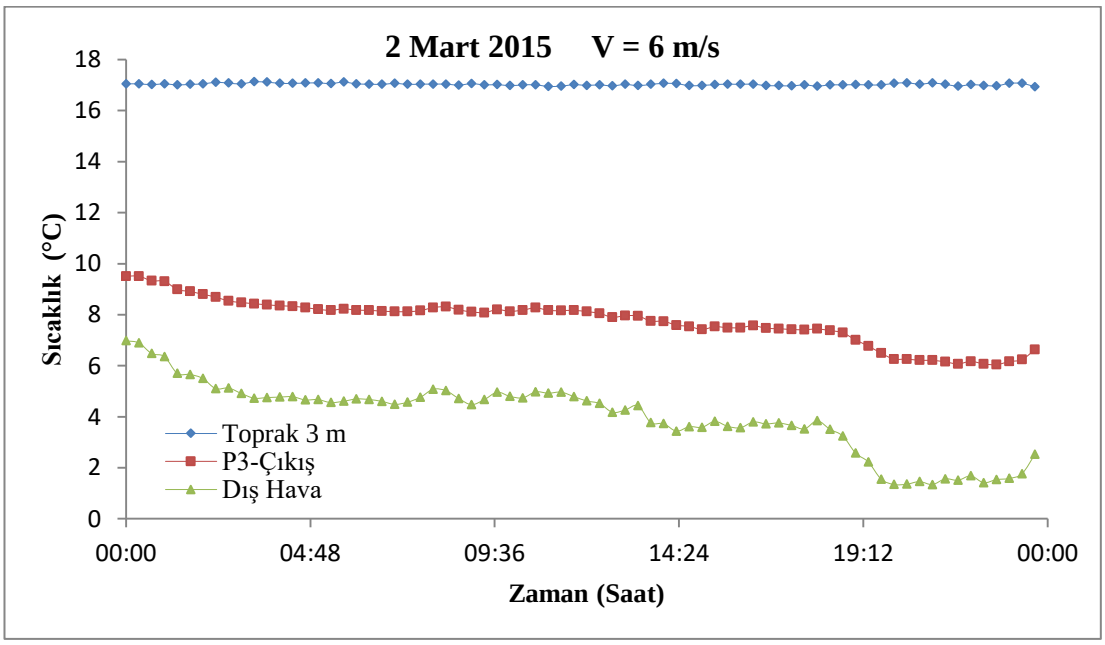
Şekil 4.64. 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s hızlarına ait sıcaklık farklarının zamanla değişimi

Şekil 4.65.' de hava hızının 4 m/s olduğu durumda çıkış sıcaklığının zamanla değişimi gösterilmektedir.



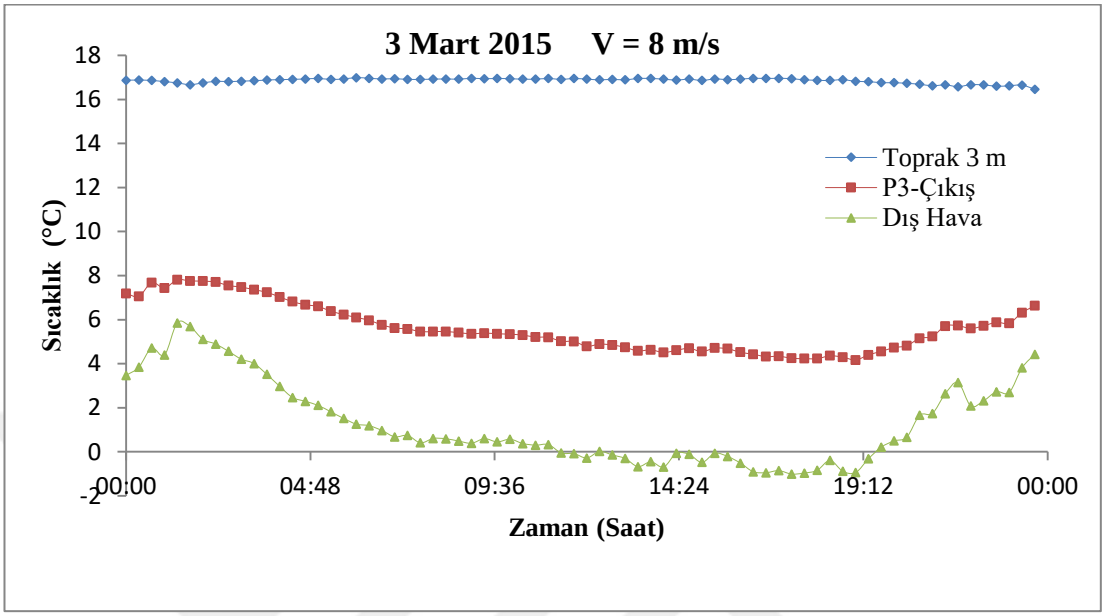
Şekil 4.65. 4 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

6 m/s' lik hava hızının olduğu durumda çıkış sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.66.' da gösterilmektedir.



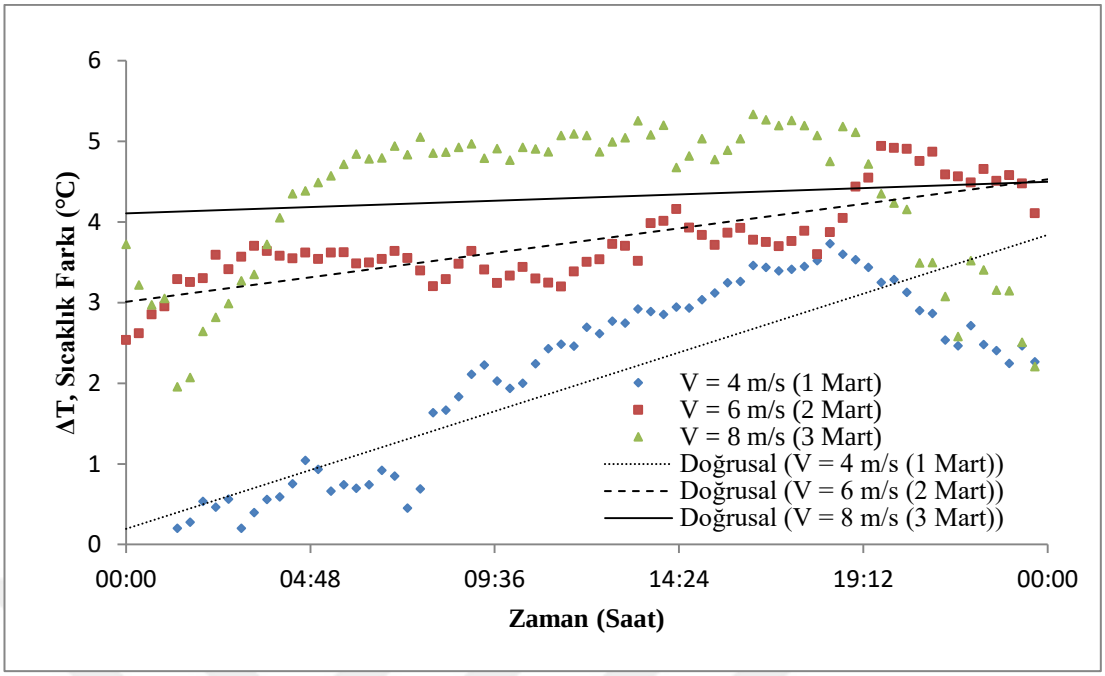
Şekil 4.66. 6 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

8 m/s' lik hava hızının olduğu durumda çıkış sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.67.' de gösterilmektedir.



Şekil 4.67. 8 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

Şekil 4.68.' de 1, 2 ve 3 Mart tarihlerinde yapılan ölçümlerde 8 m/s' lik ölçümün yapıldığı 3 Mart tarihindeki sıcaklık farkının diğer günlere göre daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Bu sonucun çıkmasında dış hava sıcaklığının diğer günlerden daha düşük değerlerde ölçülmesinin etkisinin olduğu düşünülmektedir.



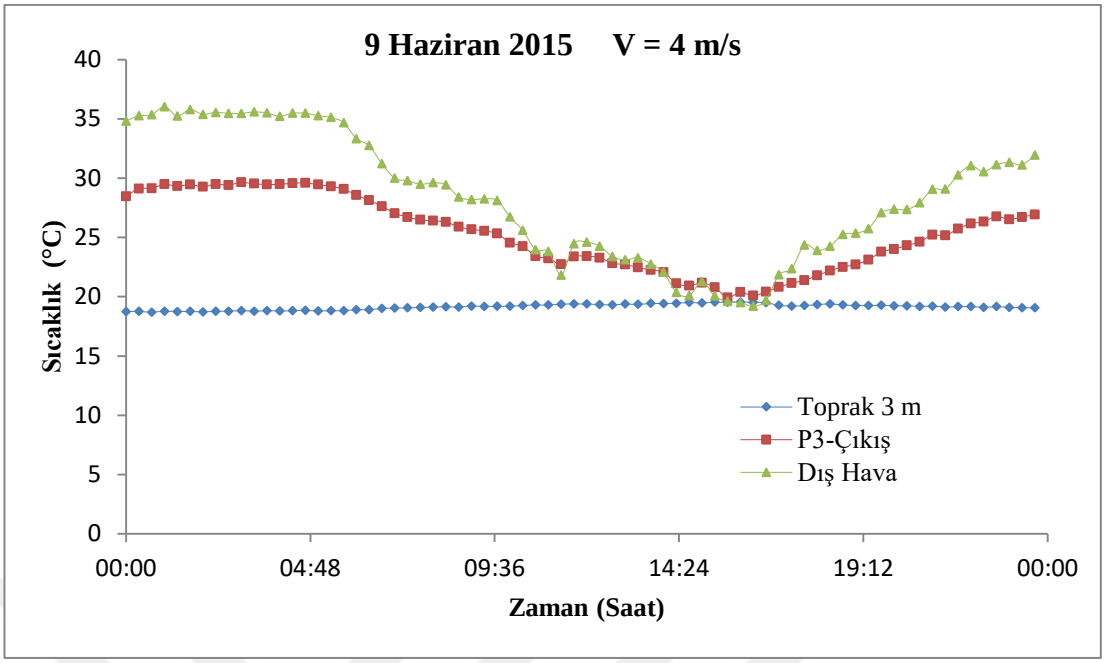
Şekil 4.68. 4m/s, 6 m/s ve 8 m/s hızlarına ait sıcaklık farklarının zamanla değişimi

Kış aylarına ait hız etkisinin sonuçları genel olarak değerlendirildiği zaman; ölçümlerin farklı günlerde yapılması doğru ve kesin sonuçları alma açısından olumsuz bir durum teşkil ettiği görülmektedir. Bununla birlikte birbirine yakın dış hava sıcaklıklarına ait günlerde yapılan ölçümlerde farklı hızların çıkış sıcaklığını etkilediği görülmektedir. Farklı dış hava sıcaklıklarının etkisi olmakla birlikte hızın artmasıyla çıkış sıcaklığının da arttığı gözlemlenmektedir. Böylece yüksek hızlarda giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkı artmaktadır.

4.4.2. Hava hızının soğutma durumundaki etkisi

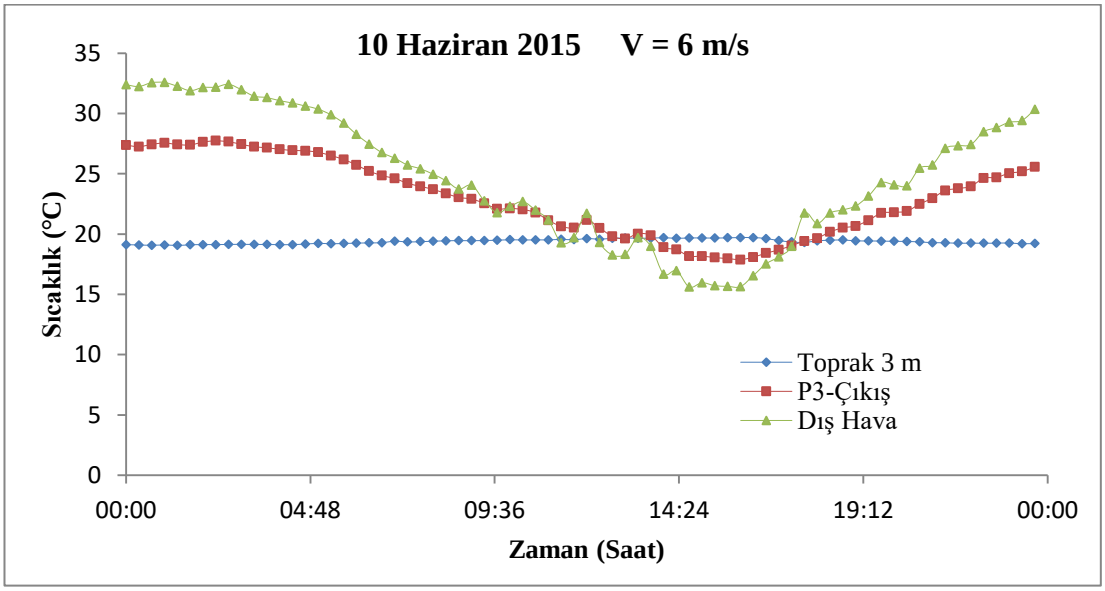
Hava hızının soğutma durumundaki performansını incelemek üzere 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s'lik hava hızları için belli günlerde ki ölçümler karşılaştırılarak THID sistemleri için en uygun hız değeri tespit edilmeye çalışılmaktadır.

Şekil 4.69.' da hava hızının 4 m/s olduğu durumda çıkış sıcaklığının zamanla değişimi gösterilmektedir. Aynı zamanda dış hava sıcaklığının da değişimi görülebilmektedir.



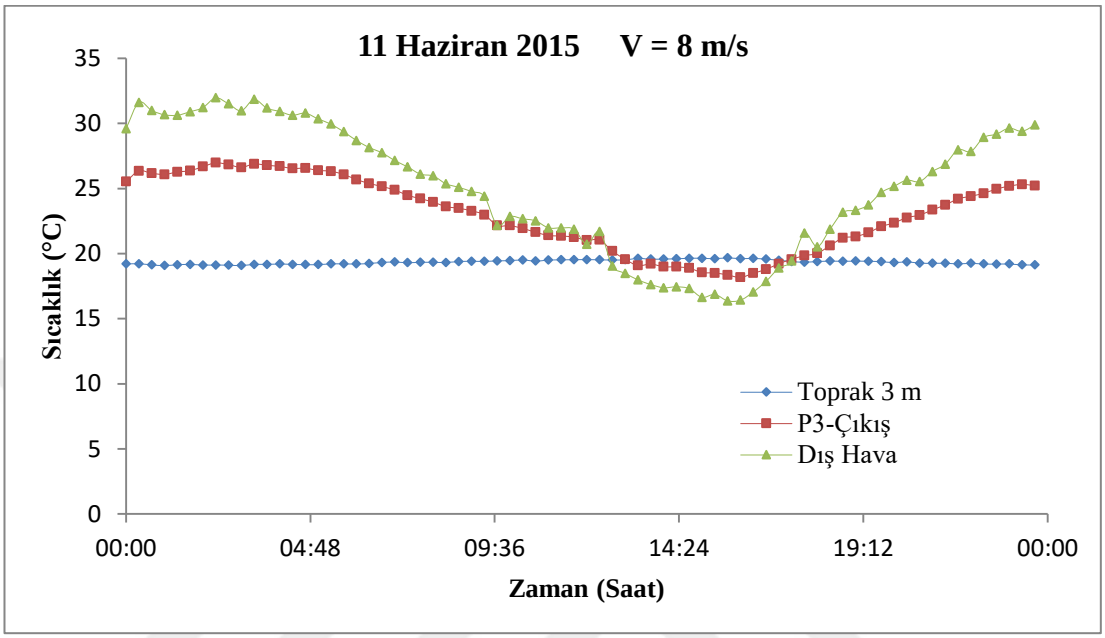
Şekil 4.69. 4 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

6 m/s' lik hıza sahip giriş havasının zamanla değişimi Şekil 4.70.' de gösterilmektedir. Aynı zamanda çıkış sıcaklığının da zamanla değişimi görülebilmektedir.



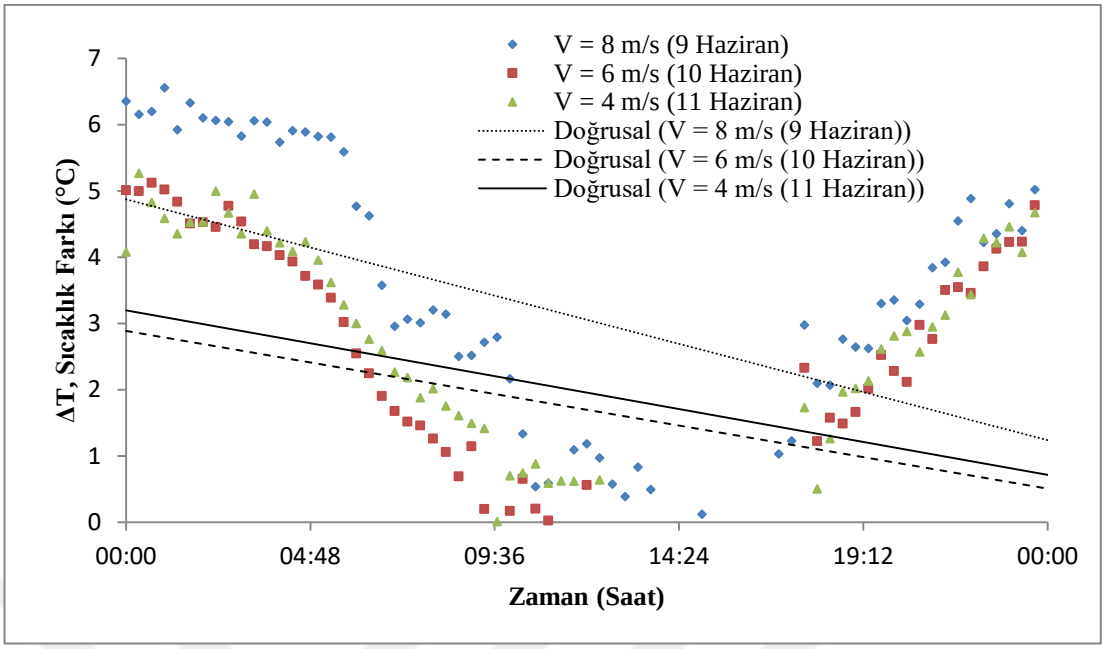
Şekil 4.70. 6 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

8m/s' lik hıza sahip giriş havasının zamanla değişimi Şekil 4.71.' de gösterilmektedir. Aynı zamanda çıkış sıcaklığının da zamanla değişimi görülebilmektedir.



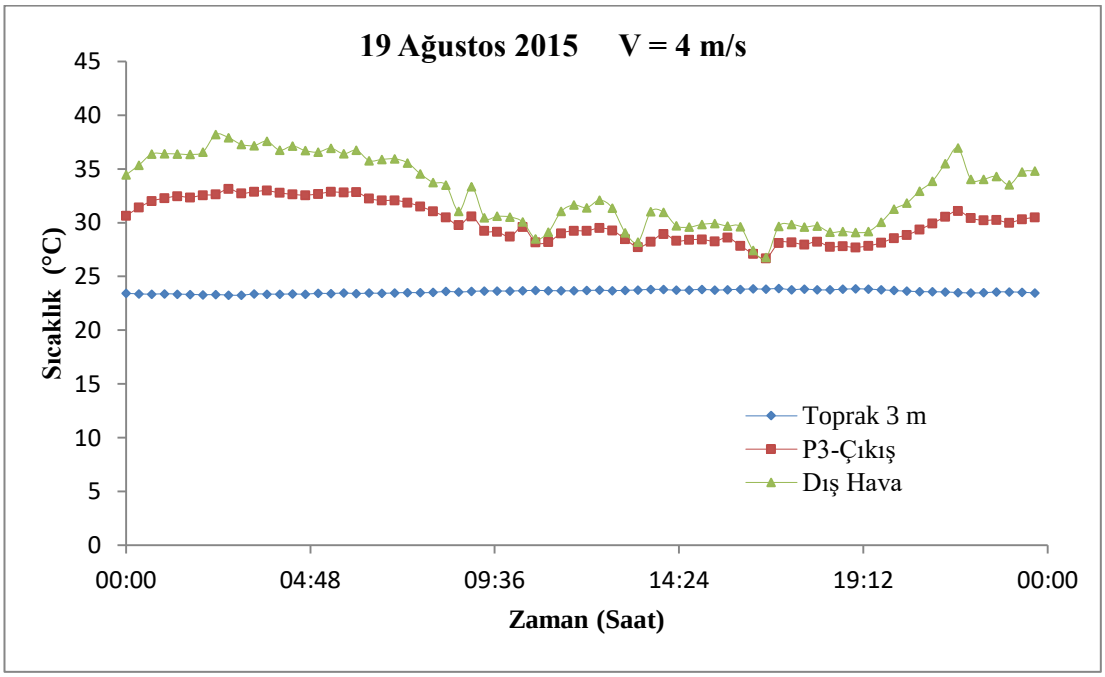
Şekil 4.71. 8 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

Şekil 4.72' de 9, 10 ve 11 Haziran tarihlerinde 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s' lik hızlarda yapılan ölçümlerde; çıkış sıcaklığı ile dış hava sıcaklığı arasındaki farkın birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. 8 m/s' lik hava hızına ait sıcaklık farkının diğer hızlardan daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



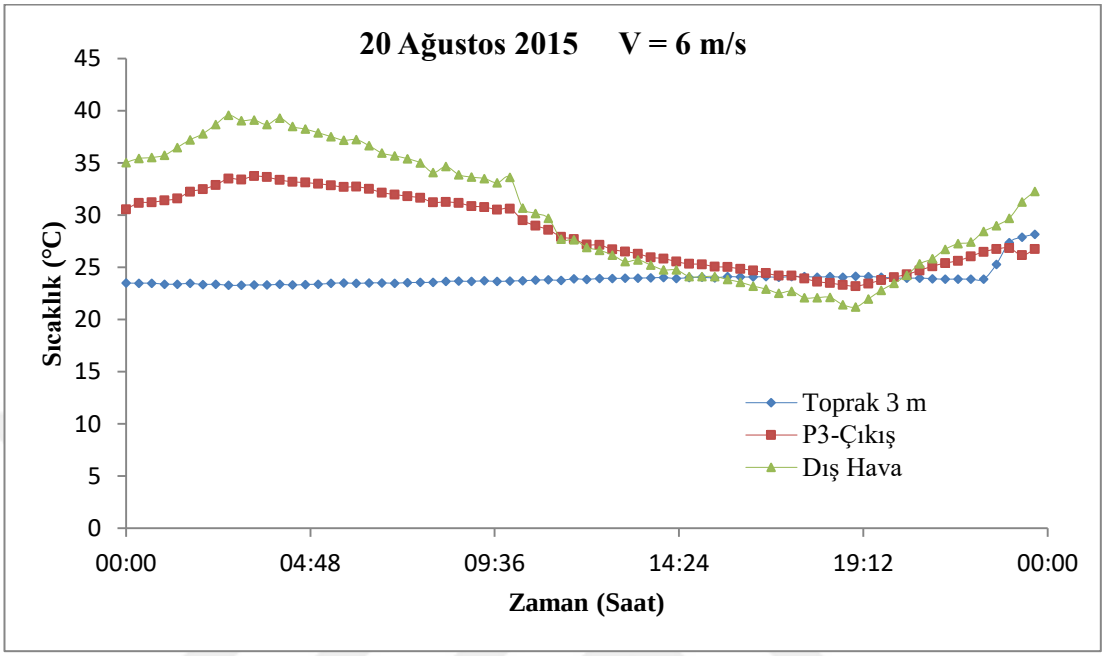
Şekil 4.72. 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s hızlarına ait sıcaklık farklarının zamanla değişimi

4 m/s' lik hıza sahip giriş havasının zamanla değişimi Şekil 4.73.' de gösterilmektedir. Aynı zamanda çıkış sıcaklığının da zamanla değişimi görülebilmektedir.



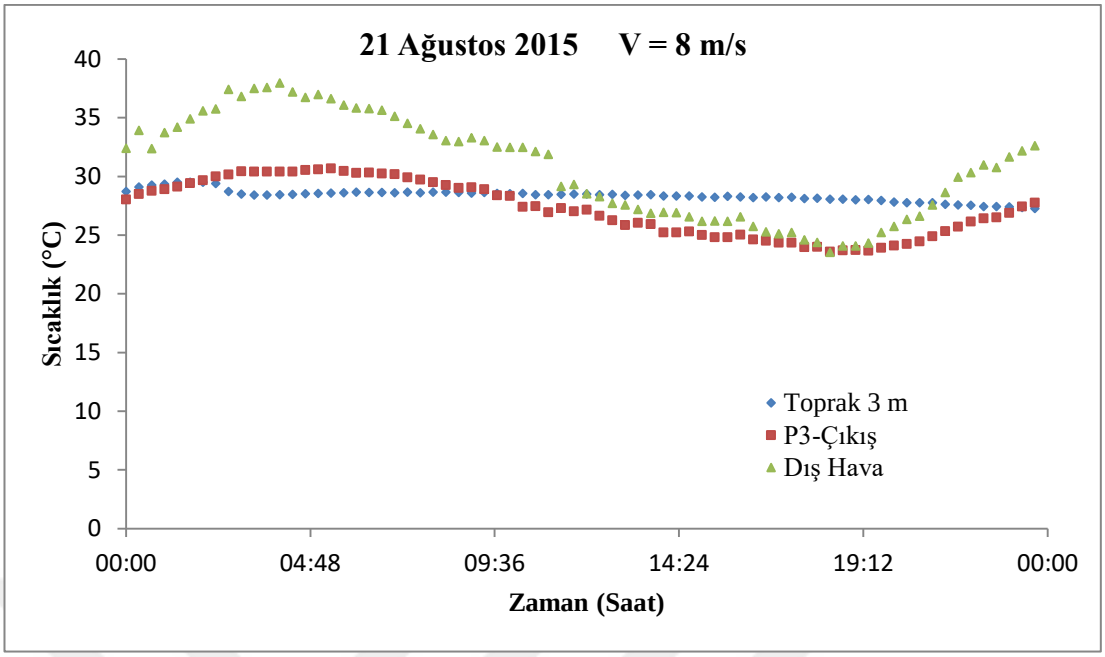
Şekil 4.73. 4 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

Şekil 4.74.' de 6 m/s' lik hıza sahip giriş havasının ve çıkış havasının zamanla değişimi gösterilmektedir..



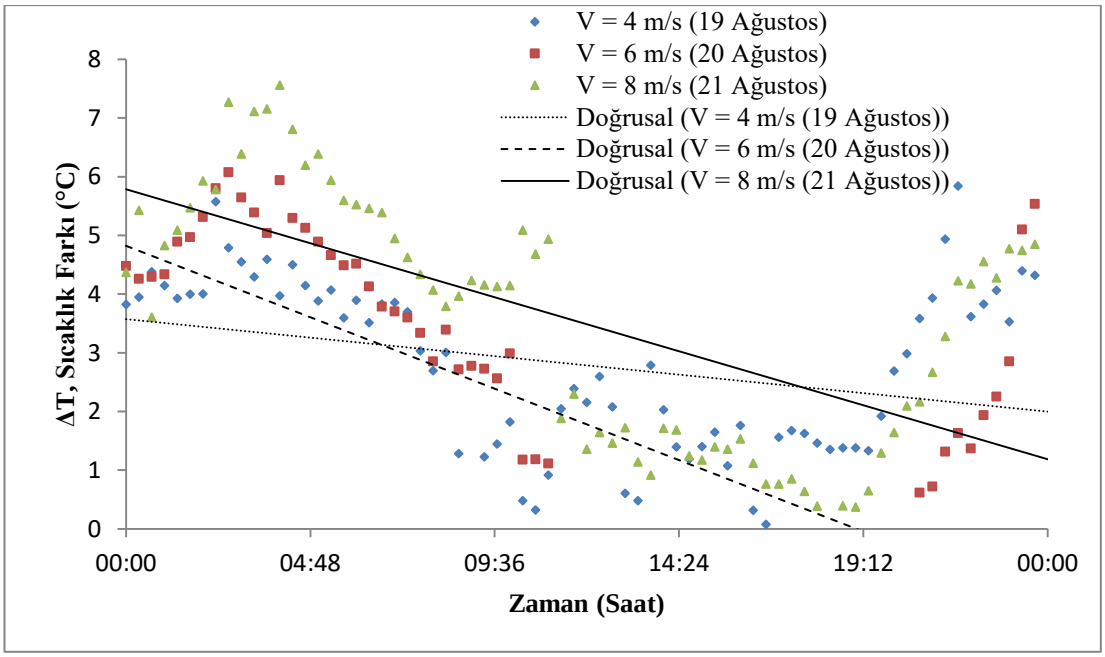
Şekil 4.74. 6 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

Şekil 4.75.' de 8 m/s' lik hıza sahip giriş havasının zamanla değişimi gösterilmektedir. 21 Ağustos tarihinde yapılan ölçümde çıkış ve toprak sıcaklığının zamanla değişimi görülmektedir.



Şekil 4.75. 8 m/s hava hızında çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

Şekil 4.76' da 19, 20 ve 21 Ağustos tarihlerinde 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s' lik hızlarda yapılan ölçümlerde; çıkış sıcaklığı ile dış hava sıcaklığı arasındaki farkın birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. 8 m/s' lik hava hızına ait sıcaklık farkının diğer hızlardan daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



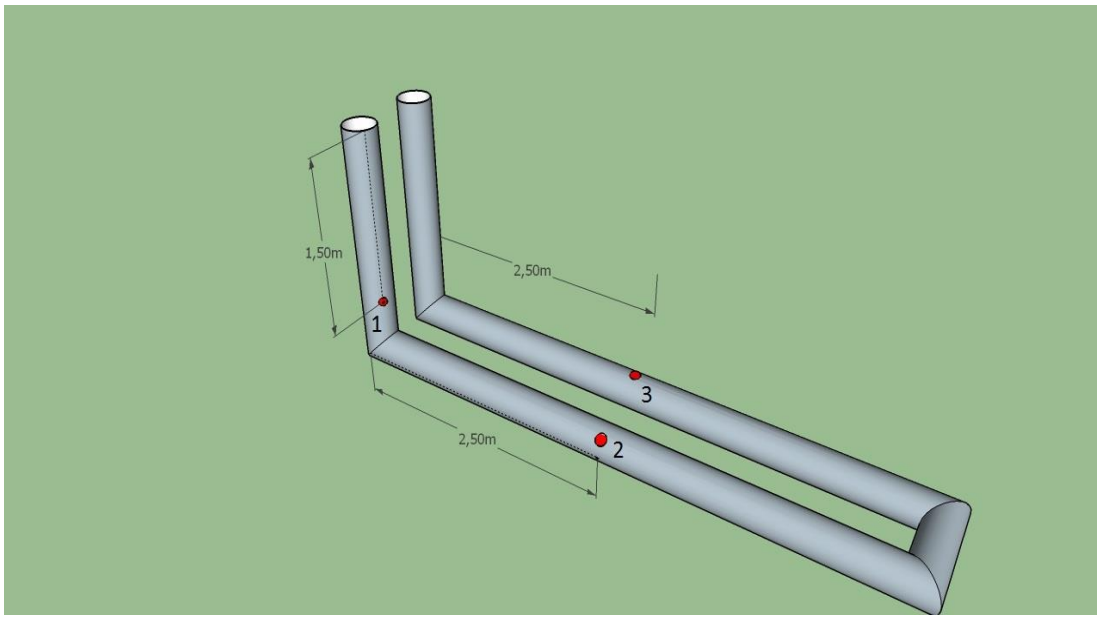
Şekil 4.76. 4 m/s, 6 m/s ve 8 m/s hızlarına ait sıcaklık farklarının zamanla değişimi

Gün boyu yapılan ölçümlerde özellikle dış hava sıcaklığının yüksek olduğu dönemlere dikkat edildiğinde 8 m/s' lik hıza sahip THID sisteminin en yüksek, 4 m/s' lik THID sisteminin ise en düşük sıcaklık farkına sahip olduğu gözlemlenmektedir.

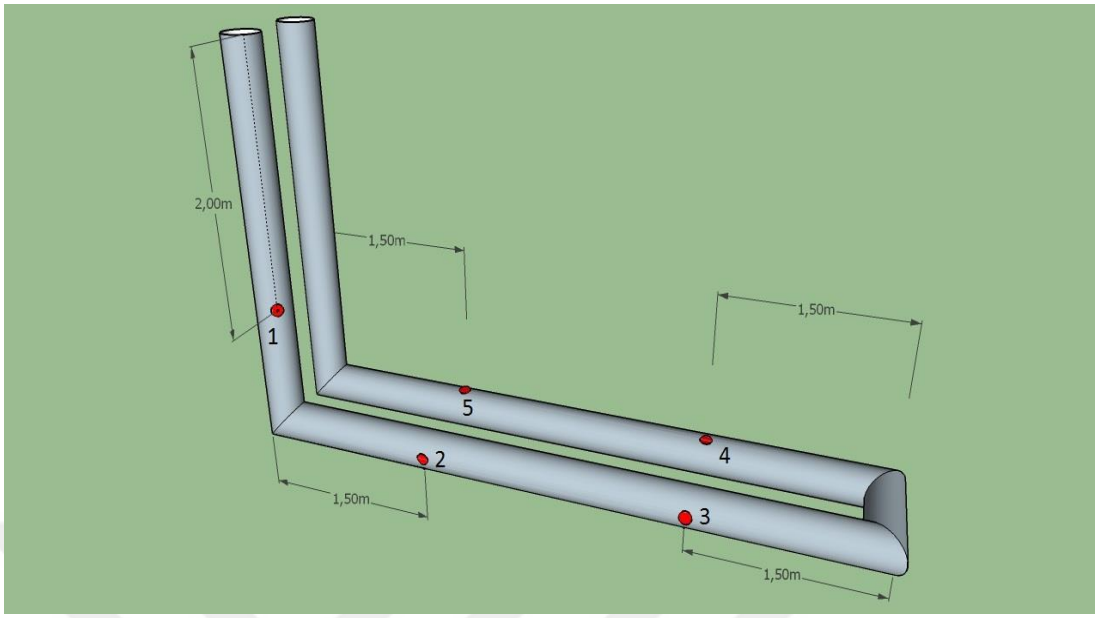
4.5. Boru Uzunluğunun THID Performansı Üzerine Etkisi

Boru uzunluğunun ısıtma ve soğutma durumundaki etkisini incelemek üzere her bir THID sistemi üzerindeki ölçüm noktalarından alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.77.' de 2 m derinlikteki PVC ve metal malzemeden yapılmış THID sistemlerine ait sıcaklık ölçüm noktaları gösterilmektedir. Şekil üzerinde gösterilen noktalarla beraber aynı zamanda çıkış sıcaklığını ölçmek üzere çıkışın 20 cm altında ayrı bir ölçüm daha yapılmaktadır. 3 m derinlikteki THID sistemlerinde çıkış sıcaklığının ölçüldüğü noktanın dışında 5 ölçüm noktası daha bulunmaktadır (Şekil 4.78.).



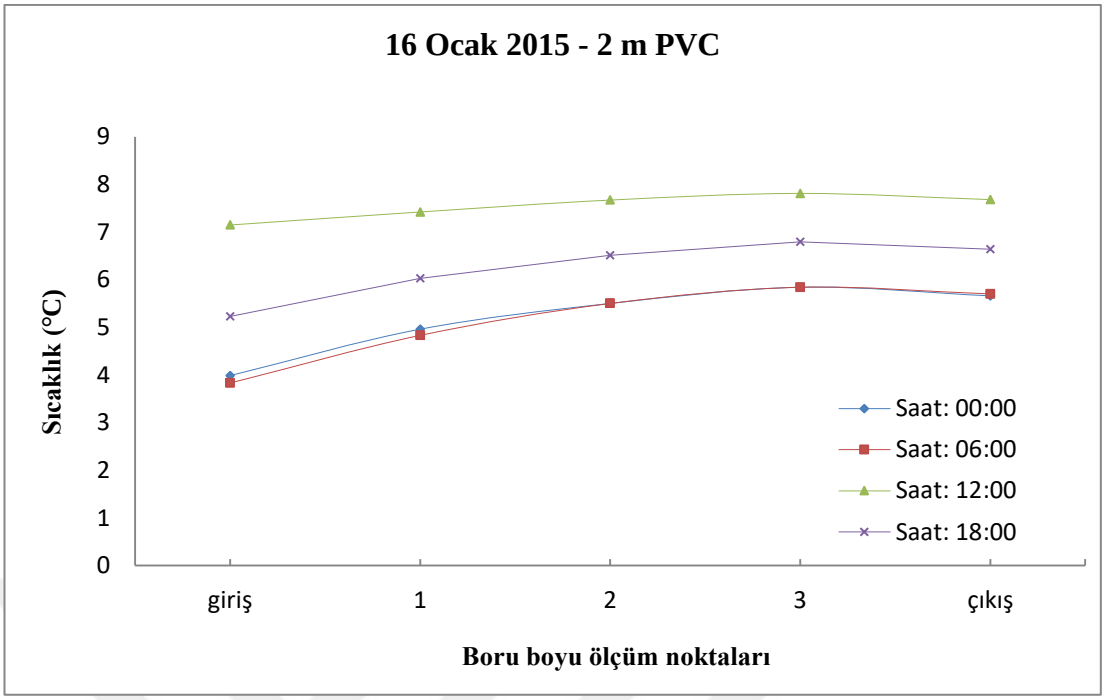
Şekil 4.77. 2m derinlikteki THID' ler için sıcaklık ölçüm noktaları



Şekil 4.78. 3 m derinlikteki THID' ler için sıcaklık ölçüm noktaları

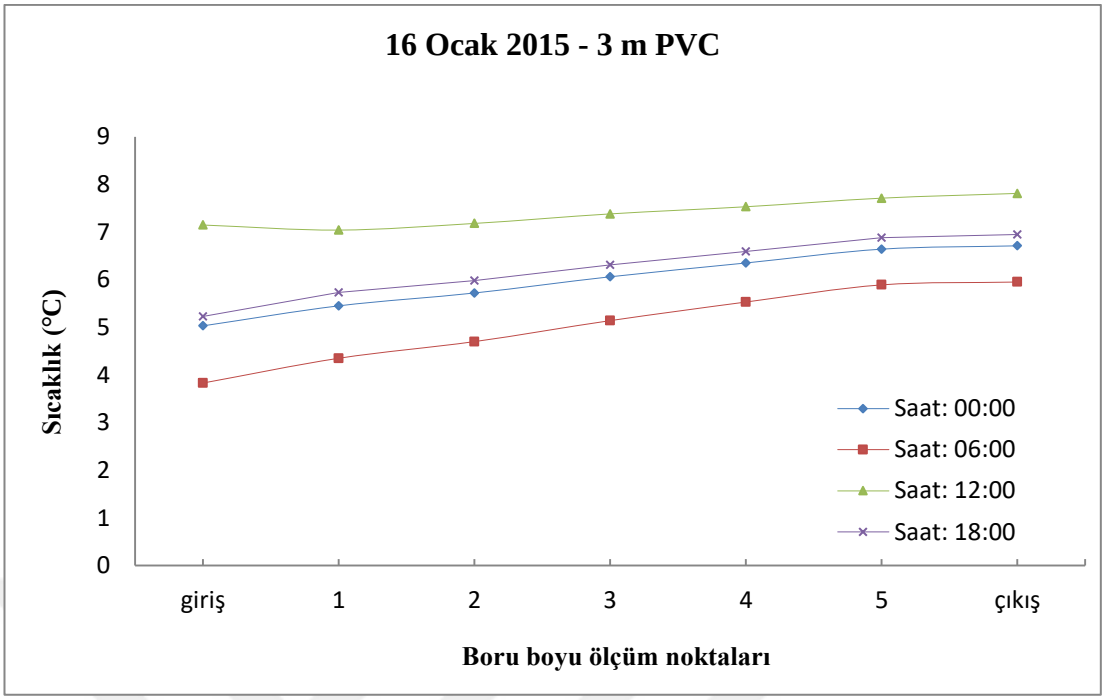
4.5.1. Boru uzunluğunun ısıtma durumundaki etkisi

Şekil 4.79.' da THID sistemi üzerindeki herbir ölçüm noktasında belirlenen sıcaklık değerlerinin günün belirli saatlerindeki değişimi gösterilmektedir. 4,5 m' den sonra sıcaklık neredeyse değişmemektedir. Esas sıcaklık artışının ilk 1,5 m' lik mesafede olduğu görülmektedir. 4,5 m' de ölçülen değer ile çıkışta ölçülen değer arasında ortalama 0,3 °C değişmektedir. 10 m' de bulunan noktada ölçülen sıcaklığın çıkış noktasında ölçülen sıcaklıktan yüksek çıktığı gözlemlenmektedir.



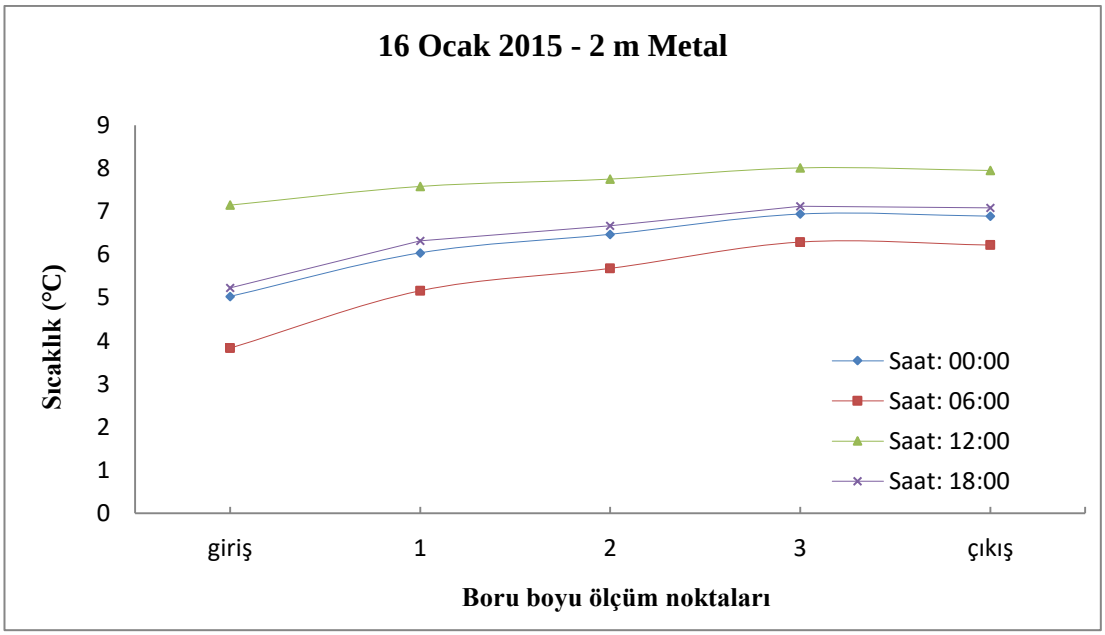
Şekil 4.79. 2 m derinlikteki PVC için sıcaklık ölçüm noktaları

Şekil 4.80.' de 3 m derinlikteki PVC malzemenin kullanıldığı THID sistemine ait noktaların sıcaklık değişimi gösterilmektedir. 16.5m' de bulunan çıkış noktasında ölçülen sıcaklık değeri ile 12m mesafede bulunan ölçüm noktasının sıcaklık değerinin aynı olduğu görülmektedir. Bu iki noktanın dışında diğer ölçüm noktalarına dikkat edildiğinde mesafe arttıkça sıcaklığında arttığı görülmektedir.



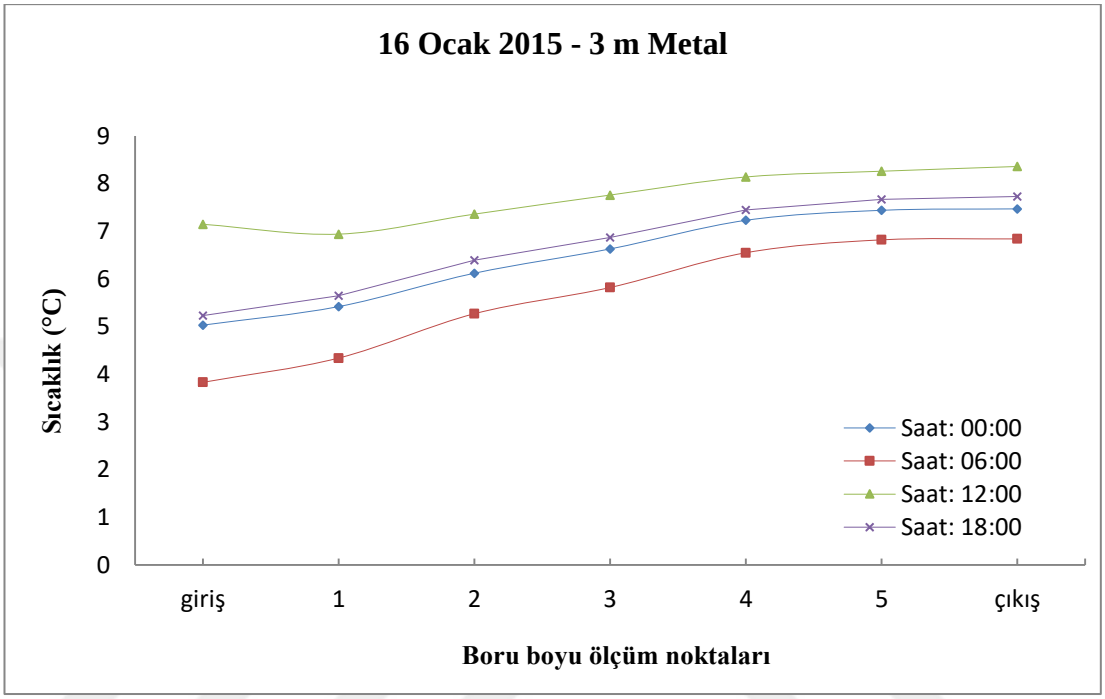
Şekil 4.80. 3m derinlikteki PVC malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları

2m derinlikteki metal malzeme kullanılan THID sistemi üzerindeki herbir ölçüm noktasında belirlenen sıcaklık değerlerinin değişimi Şekil 4.81.' de gösterilmektedir.



Şekil 4.81. 2 m derinlikteki metal malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları

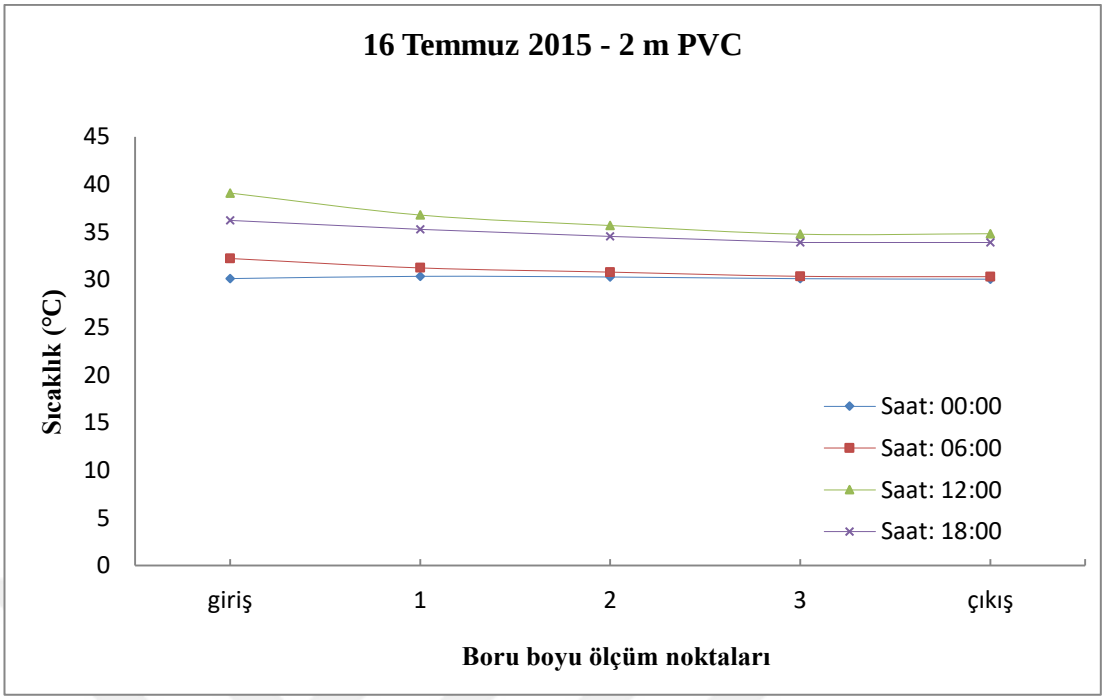
Şekil 4.82.' de 3 m derinlikteki metal malzeme kullanılan THID sistemine ait sıcaklık ölçüm noktalarının değişimi belirtilmektedir.



Şekil 4.82. 3 m derinlikteki metal malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları

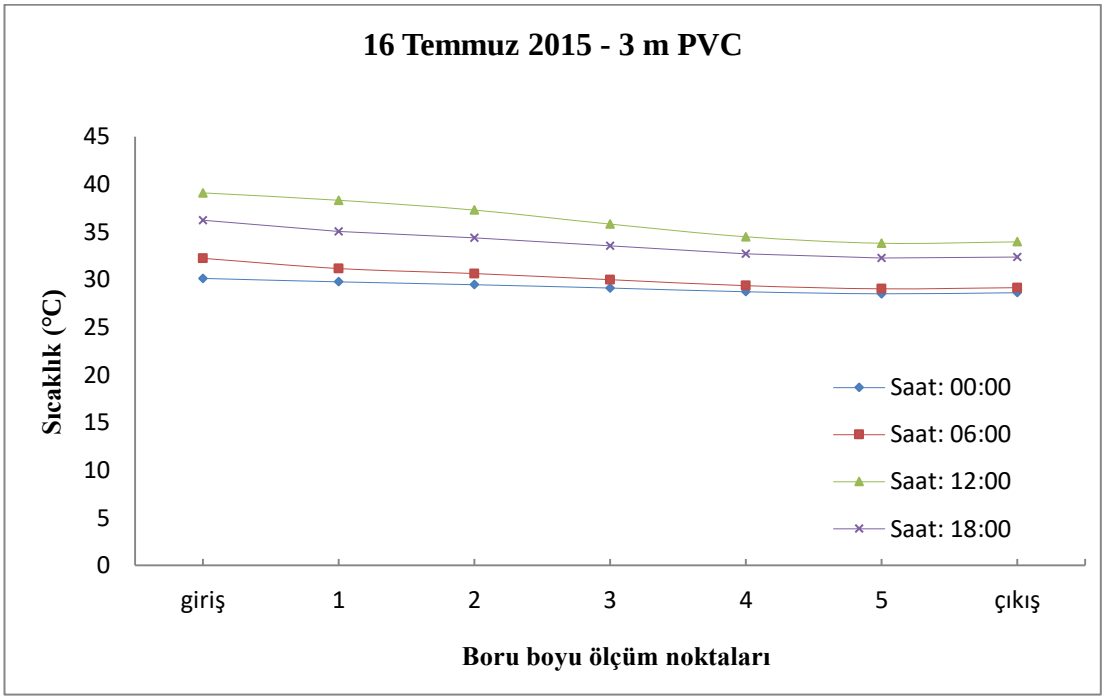
4.5.2. Boru uzunluğunun soğutma durumundaki etkisi

3m derinlikteki metal malzeme kullanılan THID sistemine ait sıcaklık ölçüm noktalarının değişimi Şekil 4.83.' de görülmektedir.



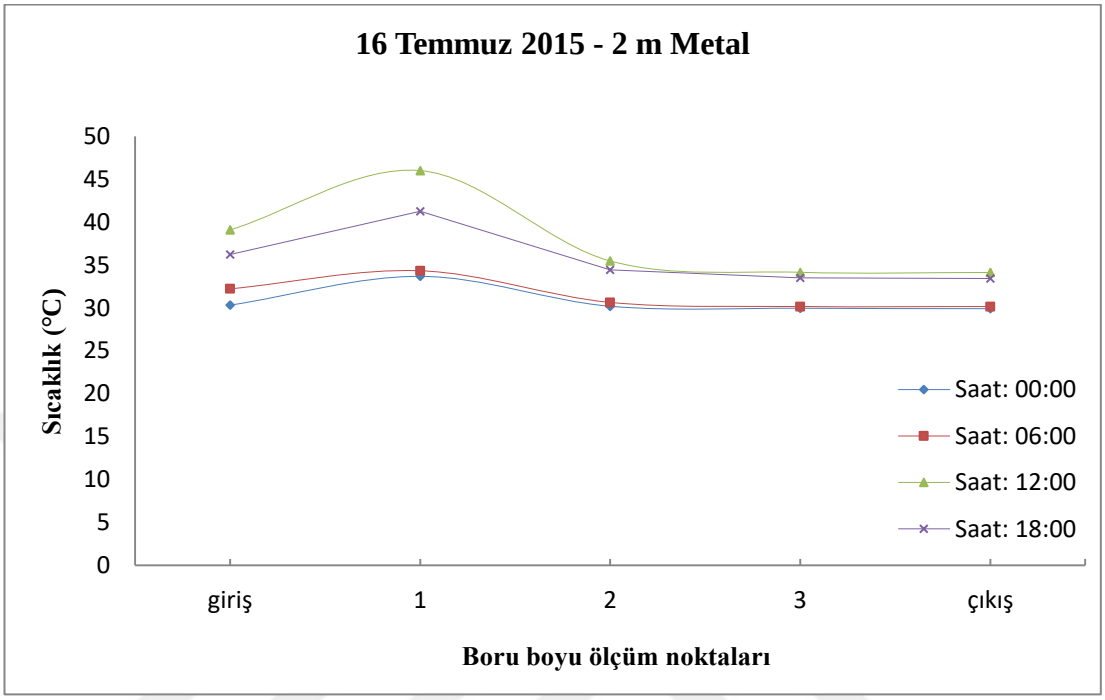
Şekil 4.83. 2 m derinlikteki PVC malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları

Şekil 4.84.' de 2 m derinlikteki PVC malzeme kullanılan THID sistemine ait sıcaklık ölçüm noktalarının değişimi belirtilmektedir.



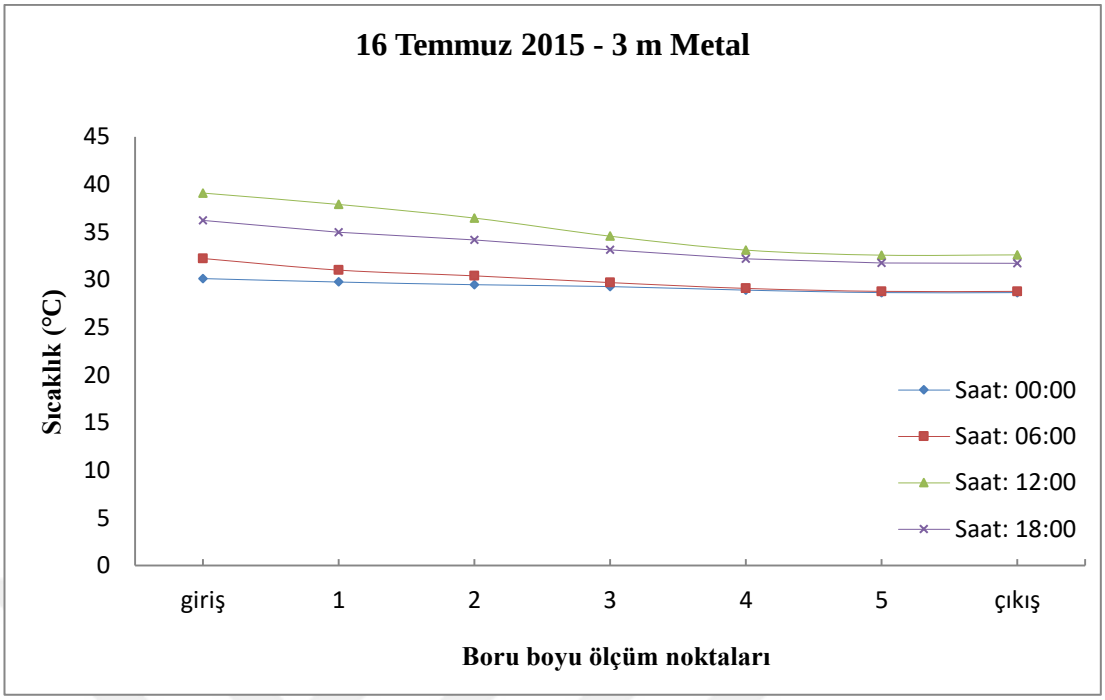
Şekil 4.84. 3 m derinlikteki PVC malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları

Şekil 4.85.' de 3 m derinlikteki metal malzeme kullanılan THID sistemine ait sıcaklık ölçüm noktalarının değişimi belirtilmektedir.



Şekil 4.85. 2 m derinlikteki metal malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları

2 m derinlikteki metal malzeme kullanılan THID sistemine ait sıcaklık ölçüm noktalarının değişimi Şekil 4.86.' da gösterilmektedir.

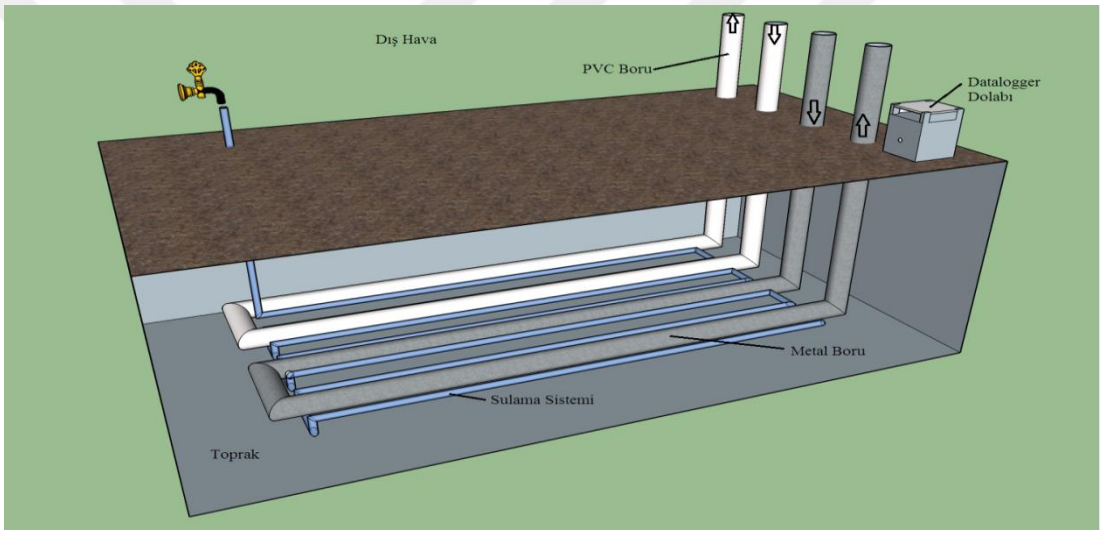


Şekil 4.86. 2 m derinlikteki metal malzeme için sıcaklık ölçüm noktaları

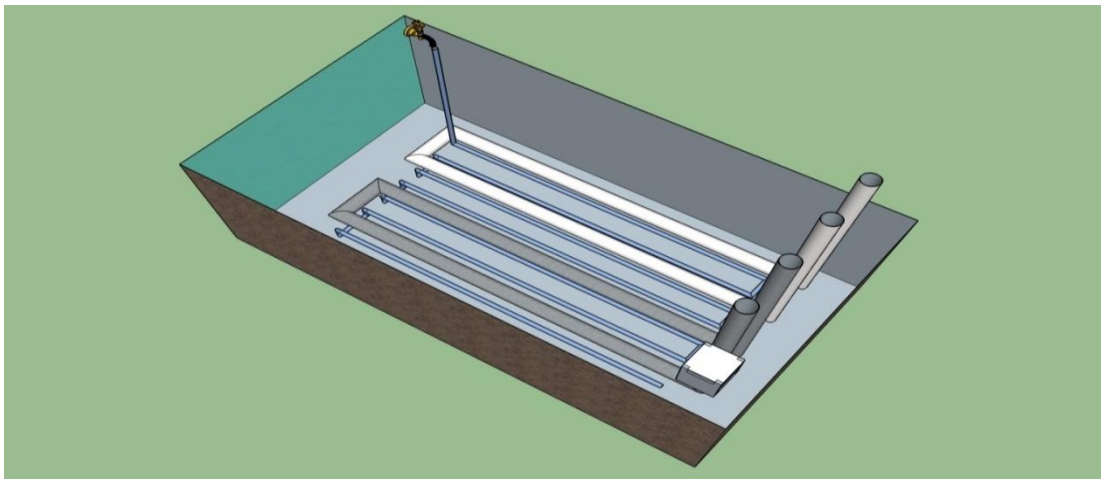
4.6. Toprak Nemliliğinin THID Performansı Üzerine Etkisi

10 cm çapındaki PVC ve metal malzemeden yapılmış iki adet THID sisteminin etrafındaki toprak; sistemlerin yanına yerleştirilen 3 cm çapındaki boru ile sulanarak nemlendirilmiştir. Su sıcaklığının da ölçüldüğü bu çalışmada toprağın nemliliğinin THID performansına etkisi araştırılmıştır.

Şekil 4.87.'de THID sistemleri ve sulama hattına ait çizim görülmektedir. Sulama hattının metal ve PVC boruların tamamen etrafı ıslatılacak şekilde yerleştirilmesi amaçlanmıştır (Şekil 4.88.).



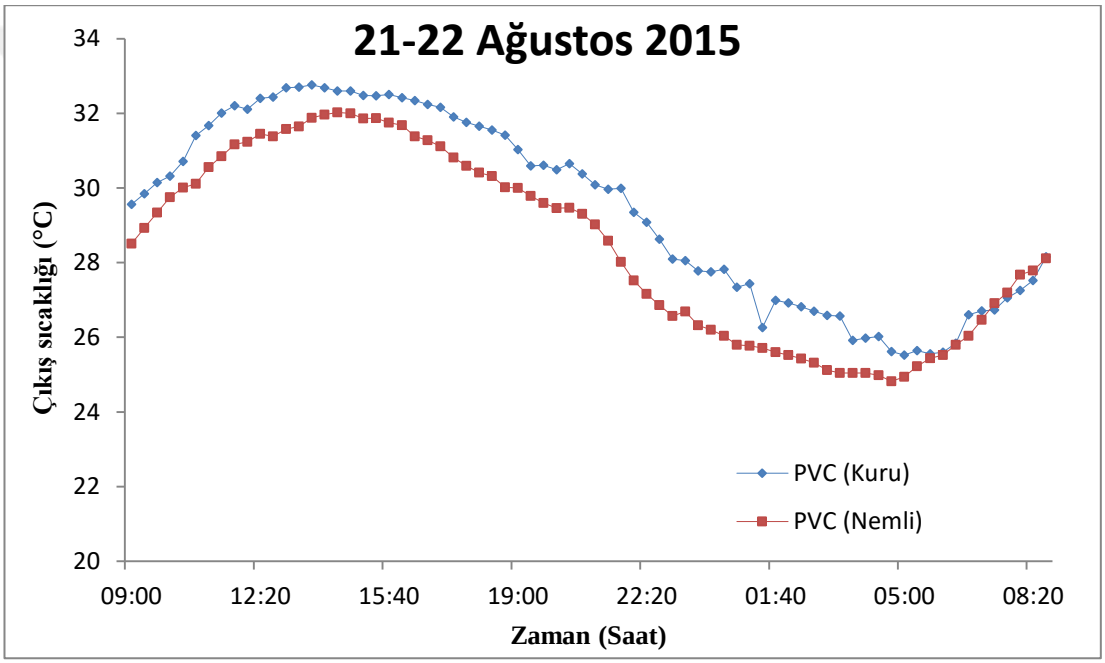
Şekil 4.87. THID sistemleri ve sulama hattına ait çizim.



Şekil 4.88. THID sistemleri ve sulama hattının üstten görünüşü

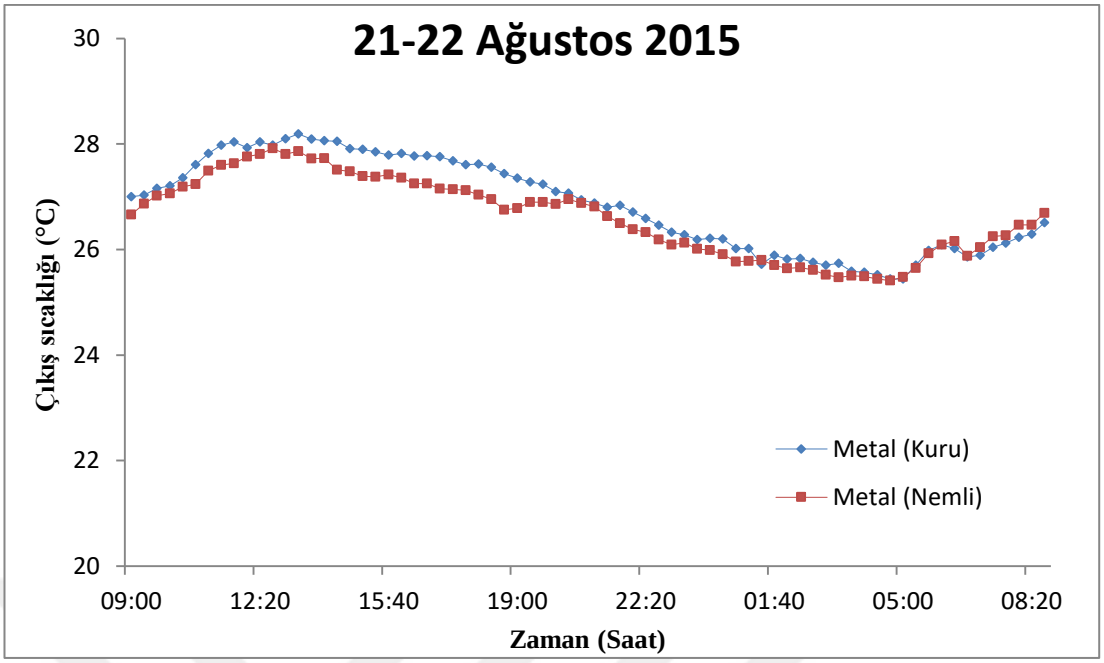
Yapılan deneysel çalışmada öncelikle 10 cm aralıklarla delik delinen sulama borusunun toprağı iyice ıslatabilmesi için bir gün boyunca açık bırakılmıştır. Sulama yapılan güne ve sulama yaptıktan sonraki güne ait ölçümler Şekil 4.89-4.95 gösterilmiştir. Toprak 25.3 °C sıcaklığındaki şebeke suyu ile nemlendirilmiştir.

PVC malzemenin kulanıldığı THID sisteminin kuru toprak durumundaki (21 Ağustos) ve nemlendirilmiş toprak durumundaki (22 Ağustos) çıkış sıcaklıkları Şekil 4.89.' da gösterilmiştir. Şekilden nemli toprakta daha düşük çıkış sıcaklığı elde edilmiştir.



Şekil 4.89. 21 ve 22 Ağustos tarihlerine ait PVC ölçüm sonuçları

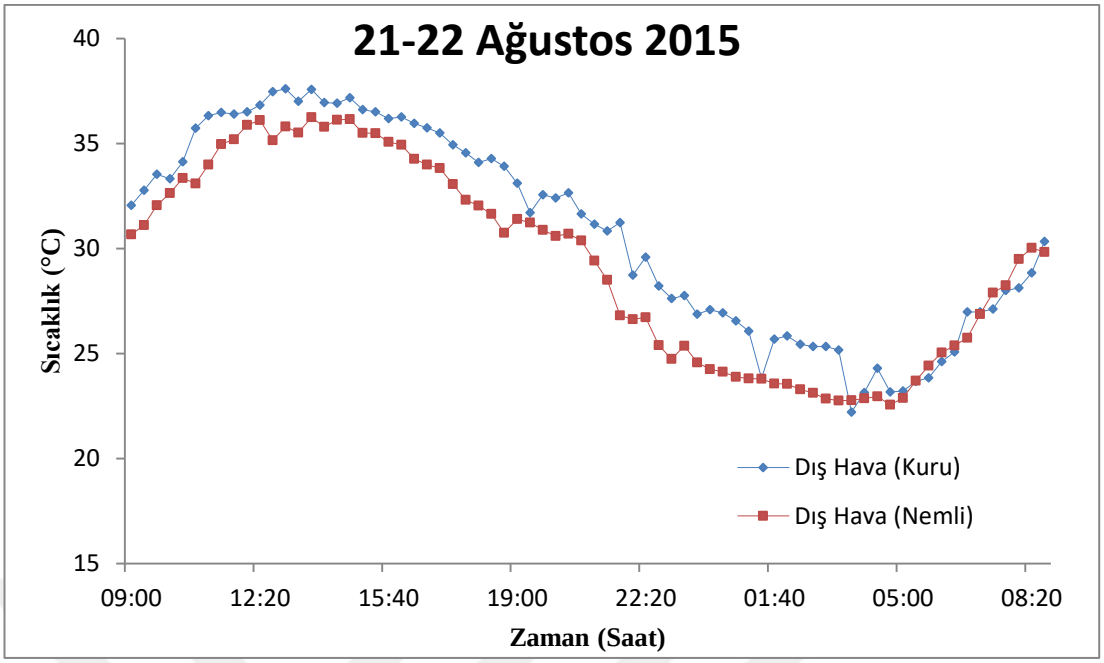
Şekil 4.90.'da metal malzemenin kulanıldığı THID sisteminin kuru toprak durumundaki (21 Ağustos) ve nemlendirilmiş toprak durumundaki (22 Ağustos) çıkış sıcaklıkları gösterilmiştir.



Şekil 4.90. 21 ve 22 Ağustos tarihlerine ait metal ölçüm sonuçları

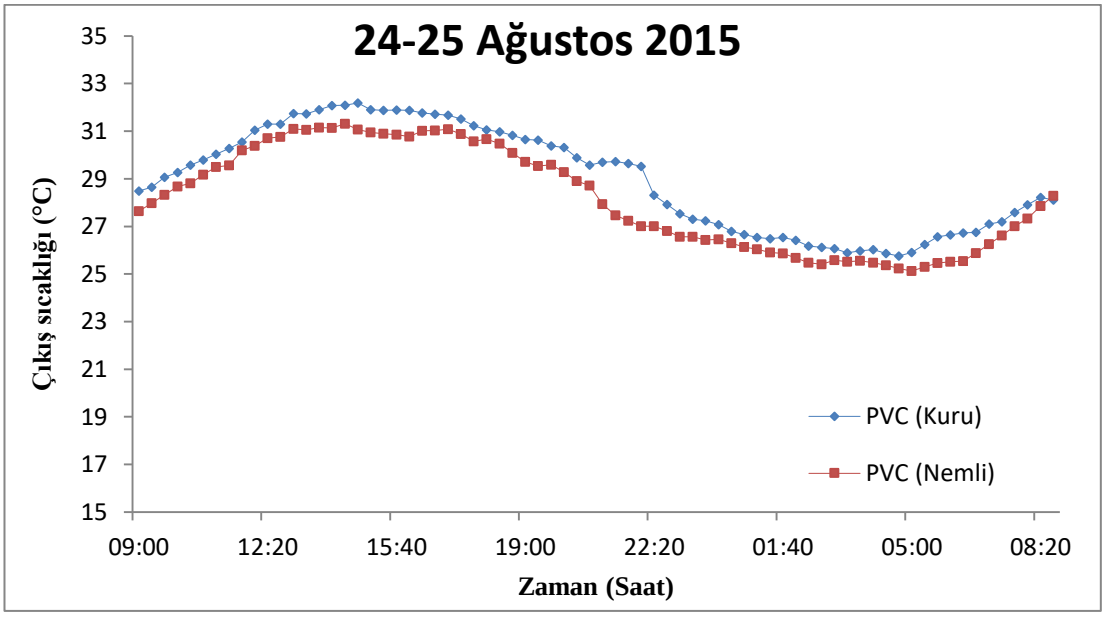
Şekil 4.91.'de 21 ve 22 Ağustos tarihlerine ait dış ortam sıcaklıklarının ölçümleri gösterilmektedir.

21 ve 22 Ağustos tarihlerindeki ölçümler incelendiğinde toprak nemlendirildikten sonra çıkış sıcaklığında her iki sistem içinde bir düşüş gözlemlenmektedir. Ancak dış hava sıcaklığının da azaldığı ölçüm günlerinde nemlendirmenin sıcaklıktaki düşüşe etkisi net olarak tespit edilememiştir.



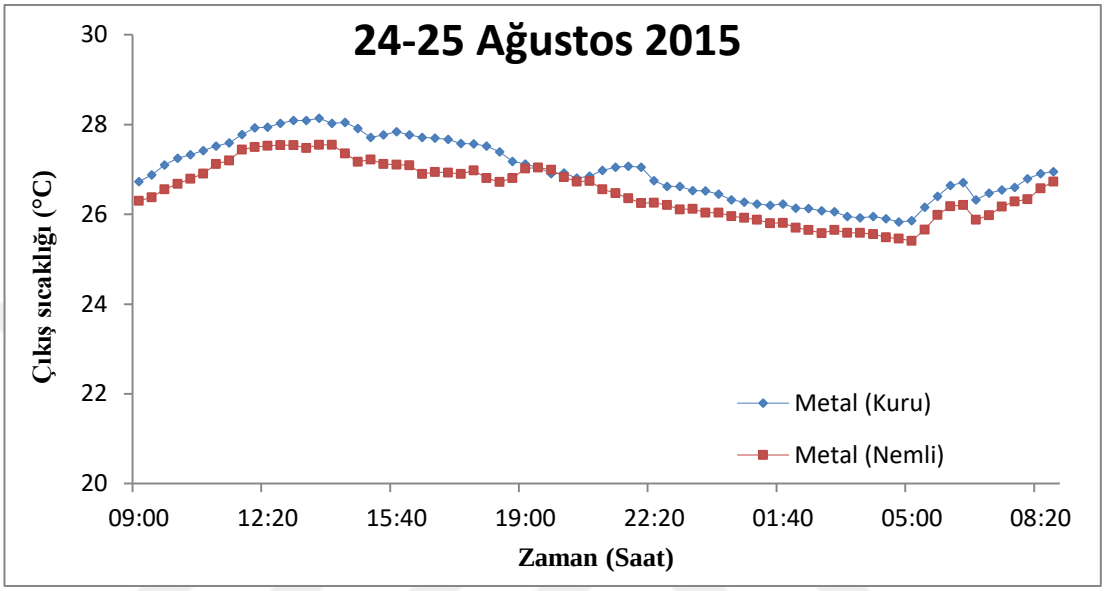
Şekil 4.91. 21 ve 22 Ağustos tarihlerine ait dış ortam ölçüm sonuçları

Şekil 4.92.'de THID sisteminin kuru toprak durumundaki (24 Ağustos) ve nemlendirilmiş toprak durumundaki (25 Ağustos) çıkış sıcaklıkları gösterilmektedir. PVC malzemeye ait ölçüm sonuçlarının gösterildiği şekilde sonuçlar birbirine çok yakın çıkmıştır.



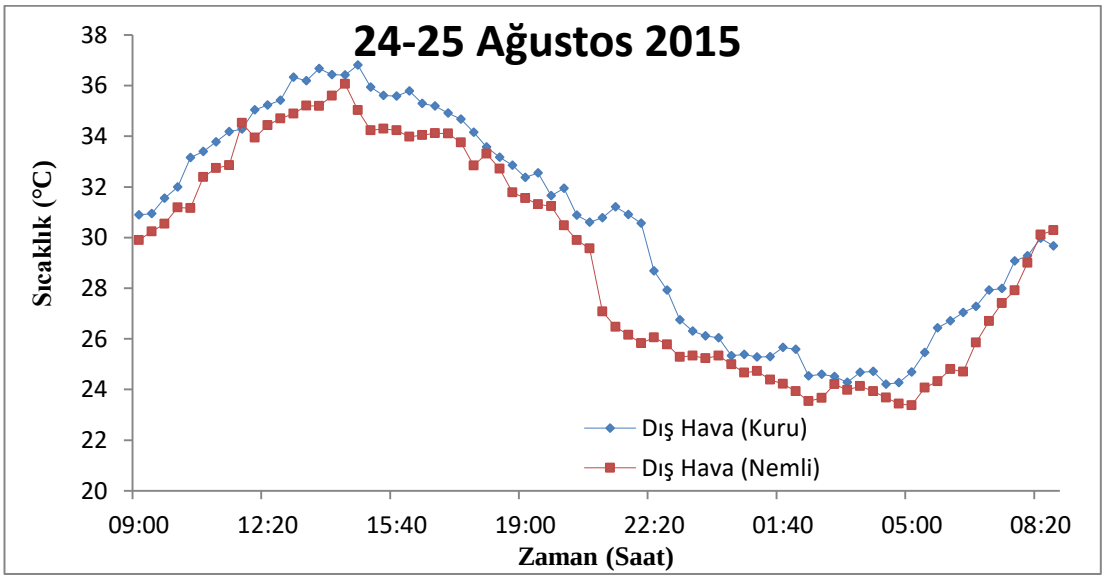
Şekil 4.92. 24 ve 25 Ağustos tarihlerine ait PVC ölçüm sonuçları

Metal malzemenin kullanıldığı THID sisteminin kuru toprak durumundaki (24 Ağustos) ve nemlendirilmiş toprak durumundaki (25 Ağustos) çıkış sıcaklıkları karşılaştırıldığında yine sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.93.).



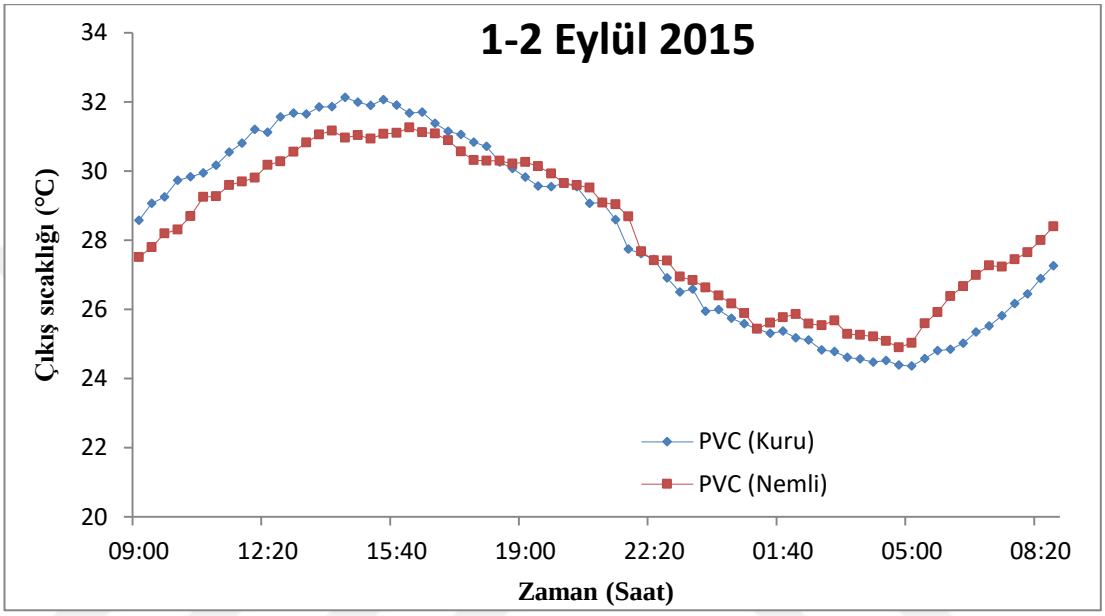
Şekil 4.93. 24 ve 25 Ağustos tarihlerine ait metal ölçüm sonuçları

Şekil 4.94.' de 24 ve 25 Ağustos tarihlerine ait dış ortam sıcaklıklarının zamanla değişimi gösterilmektedir.



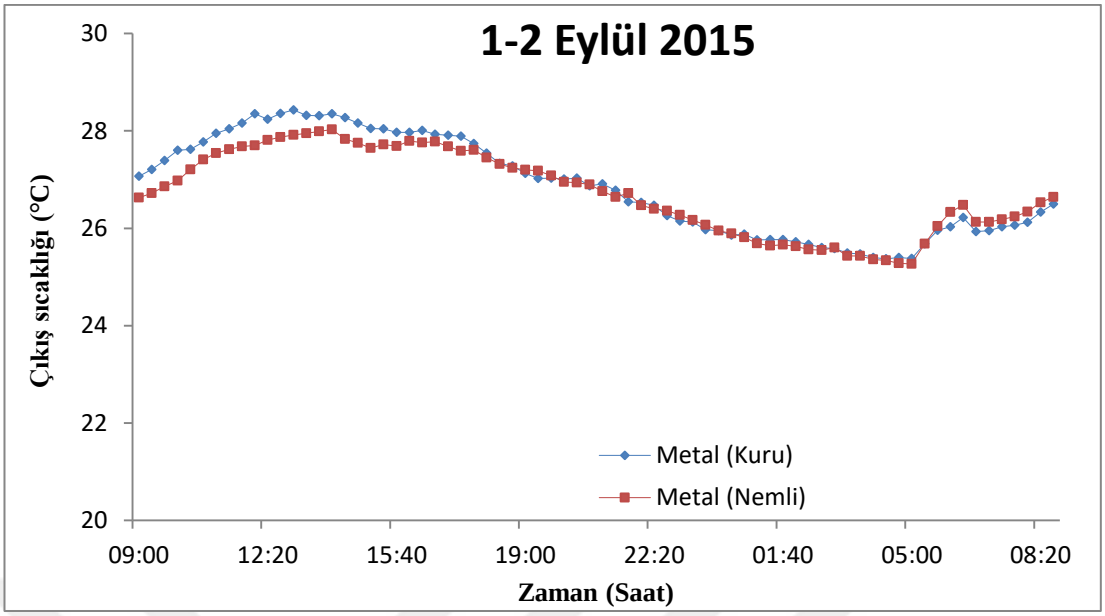
Şekil 4.94. 24 ve 25 Ağustos tarihlerine ait dış ortam ölçüm sonuçları

Şekil 4.95.'de THID sisteminin kuru toprak durumundaki (1 Eylül) ve nemlendirilmiş toprak durumundaki (2 Eylül) çıkış sıcaklıkları gösterilmektedir. PVC malzemeye ait ölçüm sonuçlarının gösterildiği şekilde toprağın nemlendirildiği sisteme ait sonuçların düşük çıktığı gözlemlenmiştir.



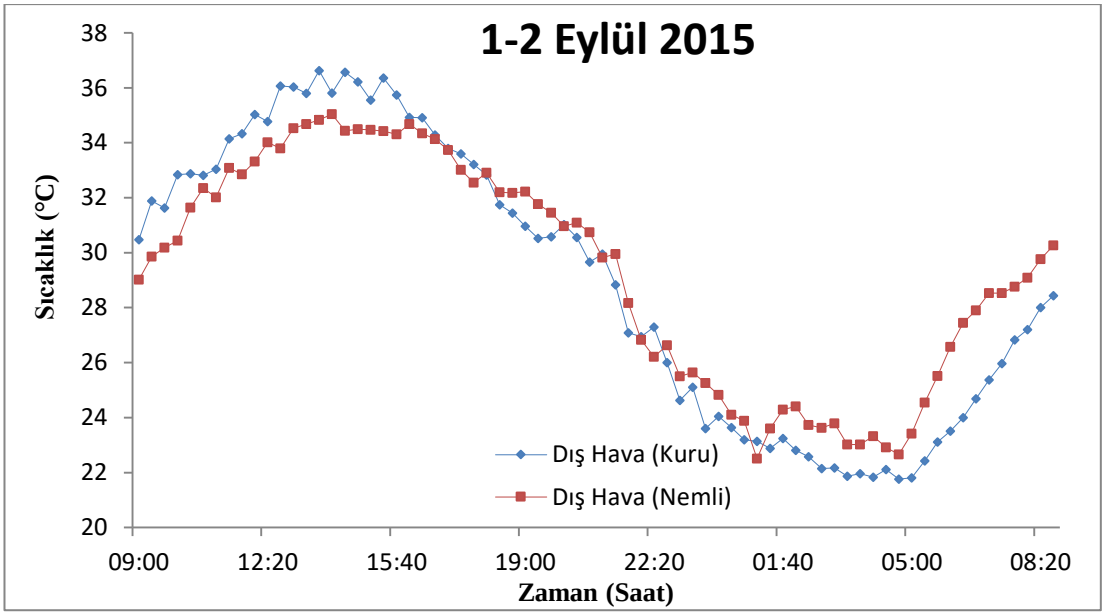
Şekil 4.95. 1 ve 2 Eylül tarihlerine ait PVC ölçüm sonuçları

Metal malzemenin kullanıldığı THID sisteminin kuru toprak durumundaki (1 Eylül) ve nemlendirilmiş toprak durumundaki (2 Eylül) çıkış sıcaklıkları gösterilmektedir. Ölçümler incelendiğinde yine toprak nemlendirildikten sonra çıkış sıcaklığında düşüş olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 4.96.).



Şekil 4.96. 1 ve 2 Eylül tarihlerine ait metal ölçüm sonuçları

Dış ortam sıcaklığının da nemlendirmeden sonra düşmesi nemli toprağın THID performansına etkisinin tam olarak tespit edilmesini zorlaştırmaktadır(Şekil 4.97). Ancak toprak nemlendirldiğinde çıkış sıcaklığının daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



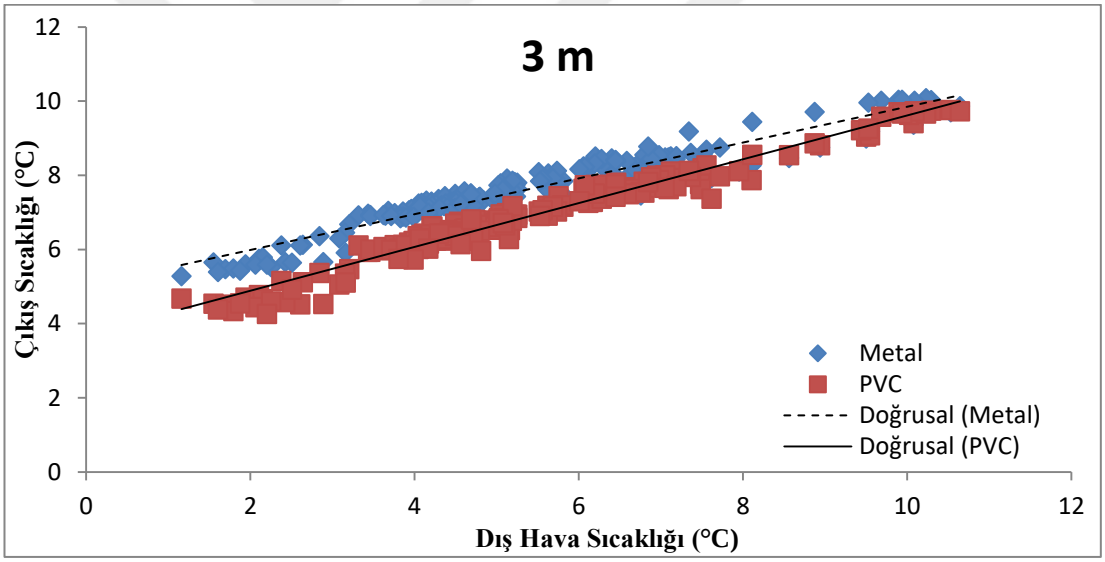
Şekil 4.97. 1 ve 2 Eylül tarihlerine ait dış ortam sıcaklıkları

4.7. Dış Hava Sıcaklığının Çıkış Sıcaklığına Etkisi

THID sistemlerinin çıkış sıcaklıklarına dış havanın etkisi ısıtma ve soğutma durumları için araştırılmıştır. Her malzeme ve derinlik için ölçümler alınmıştır. Belirli günlere ait ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

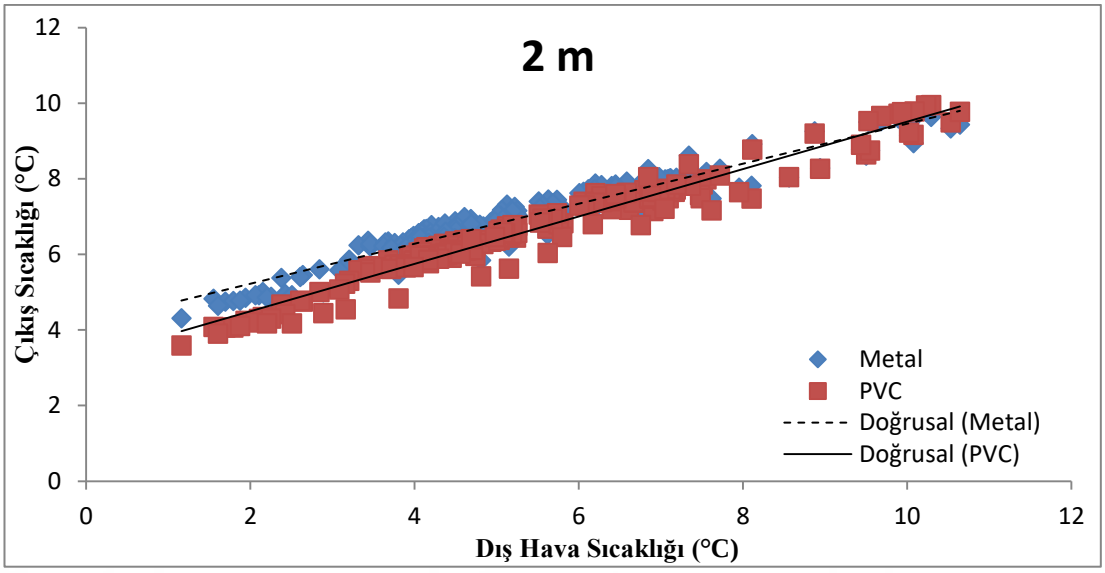
4.7.1. Isıtma durumunda çıkış sıcaklığının giriş sıcaklığı ile değişimi

Isıtma durumunda çıkış sıcaklığının dış hava sıcaklığı ile değişimini incelemek üzere 15 ve 16 Ocak 2015 tarihli ölçüm sonuçları alınmıştır. 3 m derinlikteki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait sonuçlar; dış hava sıcaklığı arttıkça çıkış sıcaklığınında arttığını göstermektedir (Şekil 4.98.).



Şekil 4.98. Dış hava sıcaklığının çıkış sıcaklığı üzerine etkisi (3 m derinlik)

2m derinlikteki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait sonuçlara bakıldığında; dış hava sıcaklığı arttıkça çıkış sıcaklığınında arttığı görülmektedir(Şekil 4.99.).

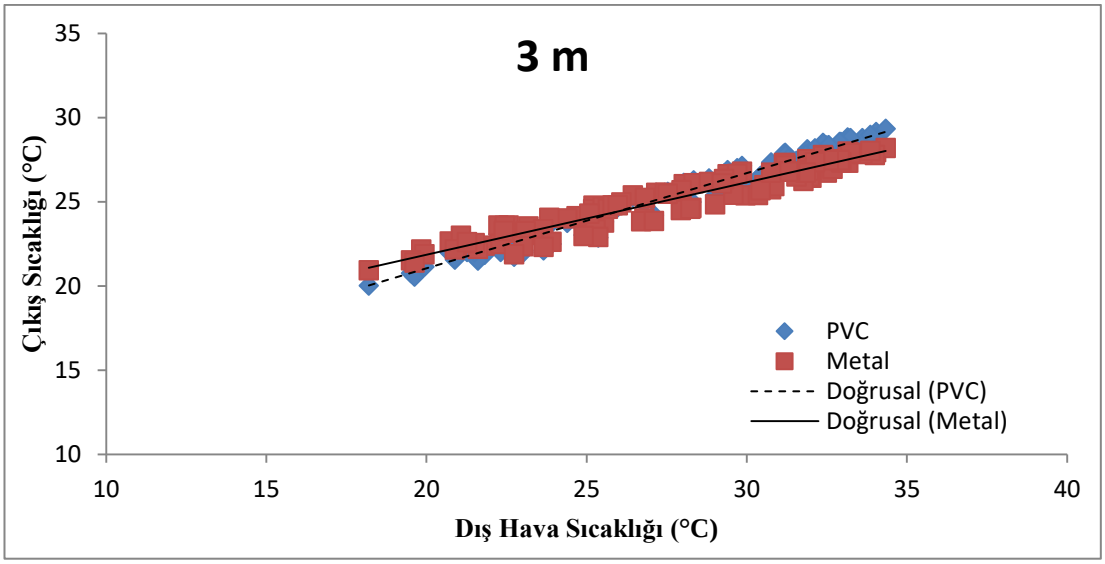


Şekil 4.99. Dış hava sıcaklığının çıkış sıcaklığı üzerine etkisi (2 m derinlik)

Sonuç olarak ısıtma durumunda dış hava sıcaklığının çıkış sıcaklığına etkisinin olduğu görülmektedir. 3 m derinlik için dış hava sıcaklığı arttıkça çıkış sıcaklığının da arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca metal malzemenin; düşük dış hava sıcaklığında PVC malzemeye göre daha yüksek çıkış sıcaklığına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Dış hava sıcaklığı arttıkça her iki sistemin çıkış sıcaklıkları arasında fark azalmaktadır. 2 m toprak derinliği içinde aynı durum geçerli olmakla birlikte 3 m' ye göre 2 sistem arasındaki sıcaklık farkı daha azdır.

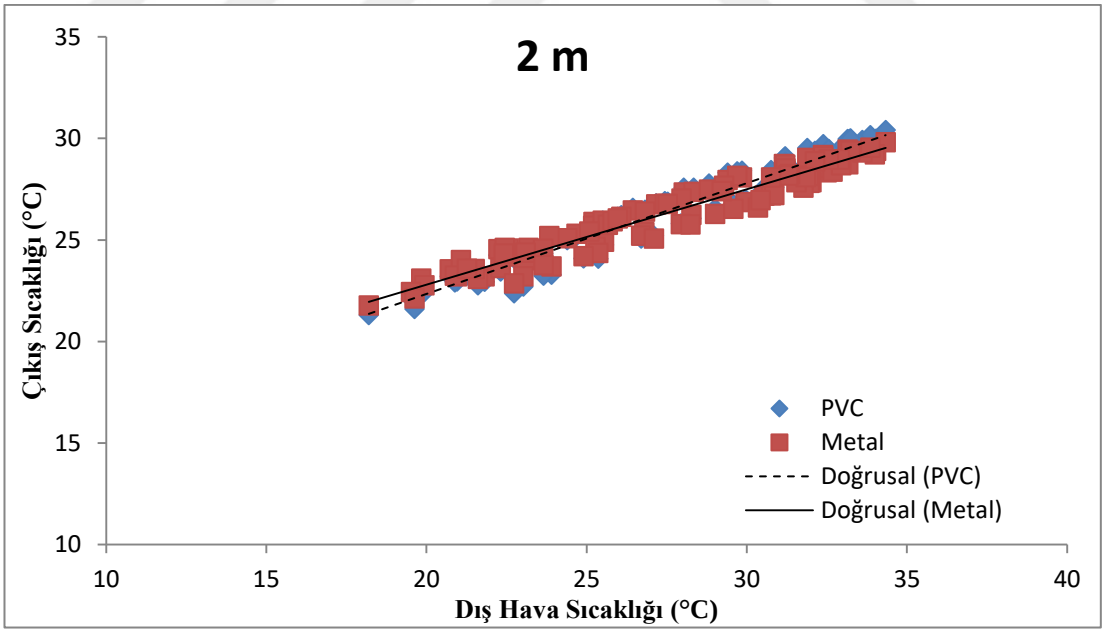
4.7.2. Soğutma durumunda çıkış sıcaklığının dış hava sıcaklığı ile değişimi

Soğutma durumunda çıkış sıcaklığının dış hava sıcaklığı ile değişimini incelemek üzere 25-26-27-28-29-30 Haziran 2015 tarihli ölçüm sonuçları alınmıştır. 3 m derinlikteki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait sonuçlar; dış hava sıcaklığı arttıkça çıkış sıcaklığınında arttığını göstermektedir (Şekil 4.100.).



Şekil 4.100. Dış hava sıcaklığının çıkış sıcaklığı üzerine etkisi (3 m derinlik)

2 m derinlikteki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait sonuçlara bakıldığında; dış hava sıcaklığı arttıkça çıkış sıcaklığınında arttığı görülmektedir (Şekil 4.101.).



Şekil 4.101. Dış hava sıcaklığının çıkış sıcaklığı üzerine etkisi (2 m derinlik)

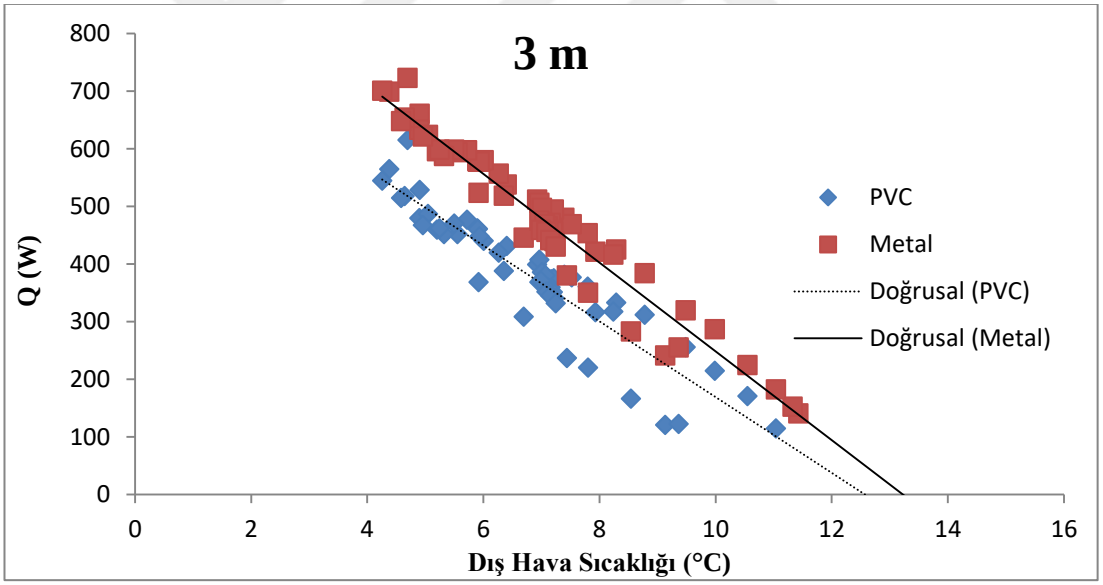
Sonuç olarak soğutma durumunda dış hava sıcaklığının çıkış sıcaklığına etkisinin olduğu görülmektedir. 3 m derinlik için dış hava sıcaklığı arttıkça çıkış

sıcaklığının da arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca metal malzemenin; düşük dış hava sıcaklığında PVC malzemeye göre daha düşük çıkış sıcaklığına sahip olduğu anlaşılmaktadır. 2 m toprak derinliği içinde aynı durum geçerli olmakla birlikte 3 m' ye göre 2 sistem arasındaki sıcaklık farkı daha azdır.

4.8. Dış Hava Sıcaklığının Topraktan Çekilen Isı Miktarına Etkisi

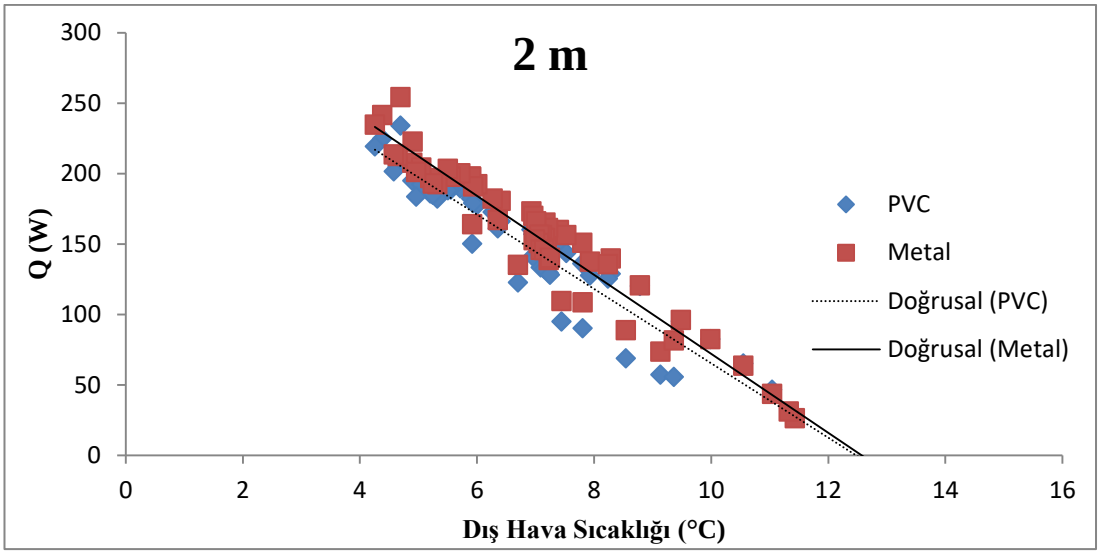
Dış hava sıcaklığının kış aylarında topraktan çekilen ısı miktarına etkisi her bir THID sistemi için incelenmiştir.

3 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait 4 Ocak tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; dış hava sıcaklığı arttıkça topraktan çekilen ısı miktarının azaldığı görülmektedir (Şekil 4.102).



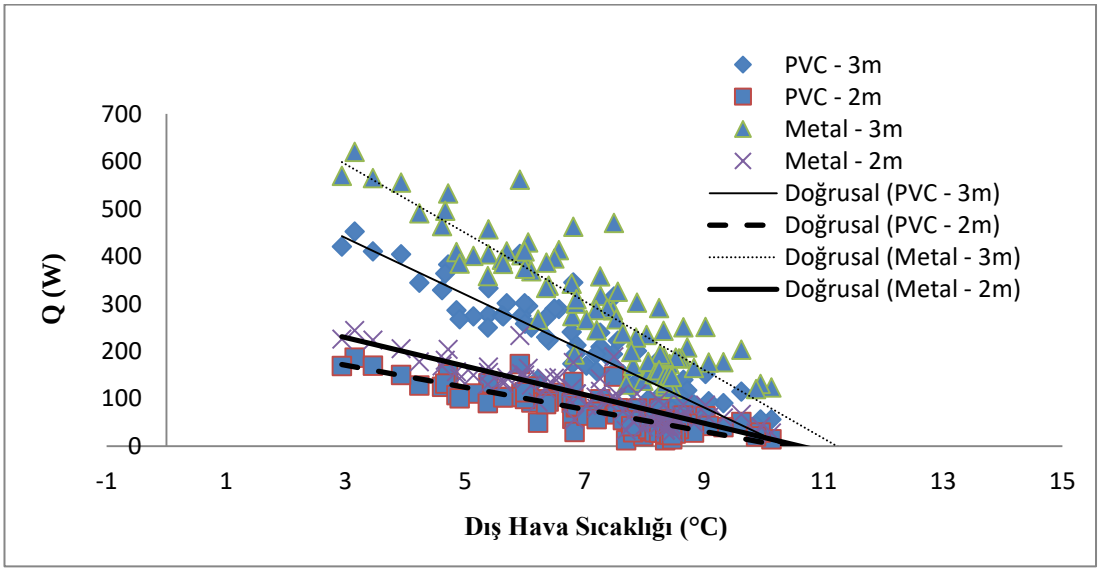
Şekil 4.102. Topraktan çekilen ısının dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m)

Şekil 4.103.'de gösterilen 2 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait 4 Ocak tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; dış hava sıcaklığı arttıkça topraktan çekilen ısı miktarının azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.103. Topraktan çekilen ısının dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m)

Şekil 4.104.' de topraktan çekilen ısı miktarının dış hava sıcaklığı ile değişimi 4 sistem için beraber gösterilmektedir. Sıcaklığın artmasıyla topraktan çekilen ısı miktarının azaldığı görülmektedir. En yüksek ısıtma kapasitesinin 3 m metal (620 W), en düşük ısıtma kapasitesinin ise 2 m PVC' ye (160 W) ait olduğu görülmektedir.

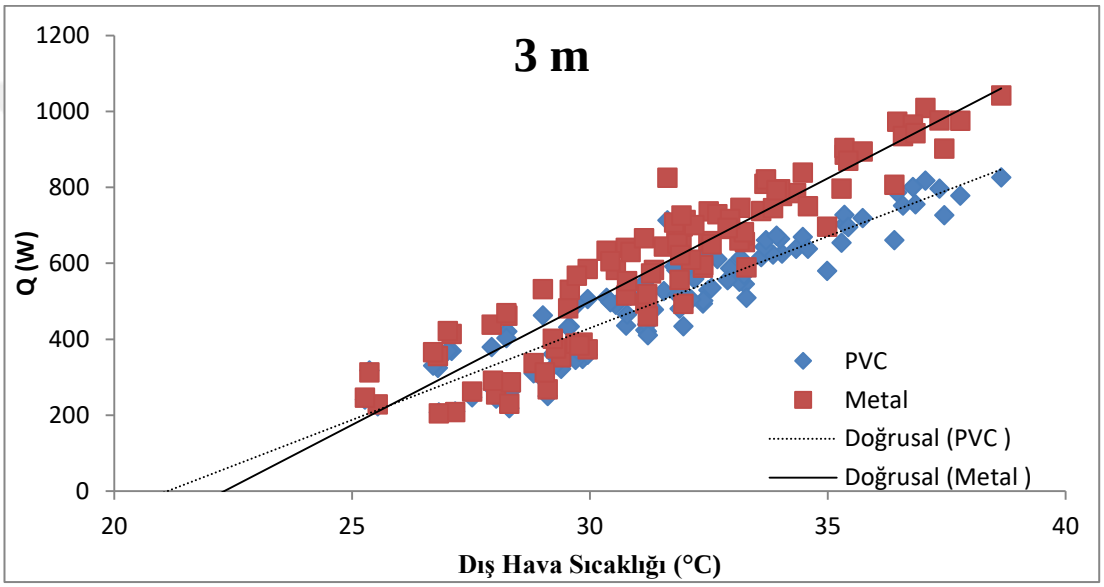


Şekil 4.104. Isıtma döneminde çekilen ısının dış hava sıcaklığı ile değişimi

4.9. Dış Hava Sıcaklığının Soğutma Kapasitesine Etkisi

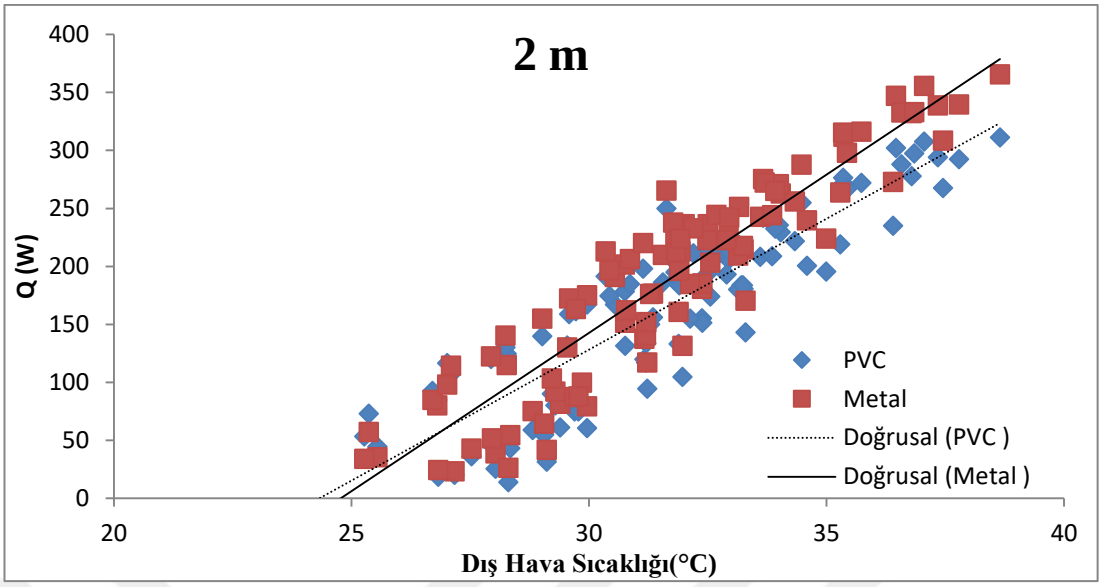
3 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait 27-28-29 Haziran tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; dış hava sıcaklığı arttıkça soğutma kapasitesinin de arttığı görülmektedir (Şekil 4.105).

Yüksek sıcaklıklarda soğutma kapasitesinin 1000 W' a kadar çıktığı gözlemlenmektedir.



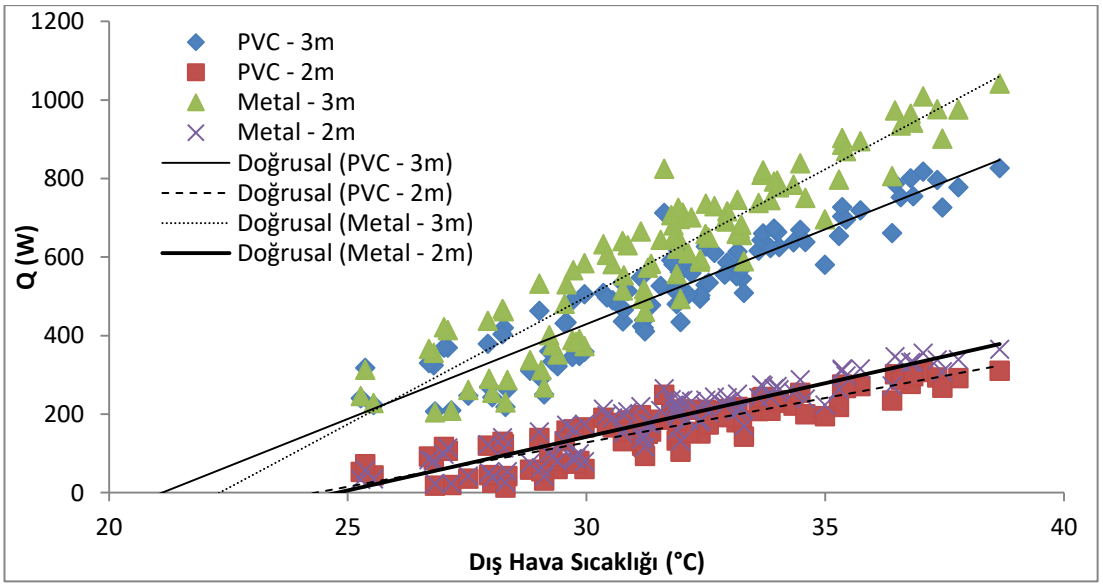
Şekil 4.105. Toprağa verilen ısının dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m)

2 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait 27-28-29 Haziran tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; dış hava sıcaklığı arttıkça soğutma kapasitesinin de arttığı görülmektedir (Şekil 4.106).



Şekil 4.106. Toprağa verilen ısının dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m)

Şekil 4.107.' de 4 THID sistemine ait soğutma kapasitelerinin dış hava sıcaklığı ile değişimi beraber gösterilmektedir. Sırasıyla en yüksek soğutma kapasitesine sahip olan THID 3 m metal(1000 W), 3 m PVC (820 W), 2 m metal (360 W) ve son olarak 2 m PVC (300 W) olduğu görülmektedir.

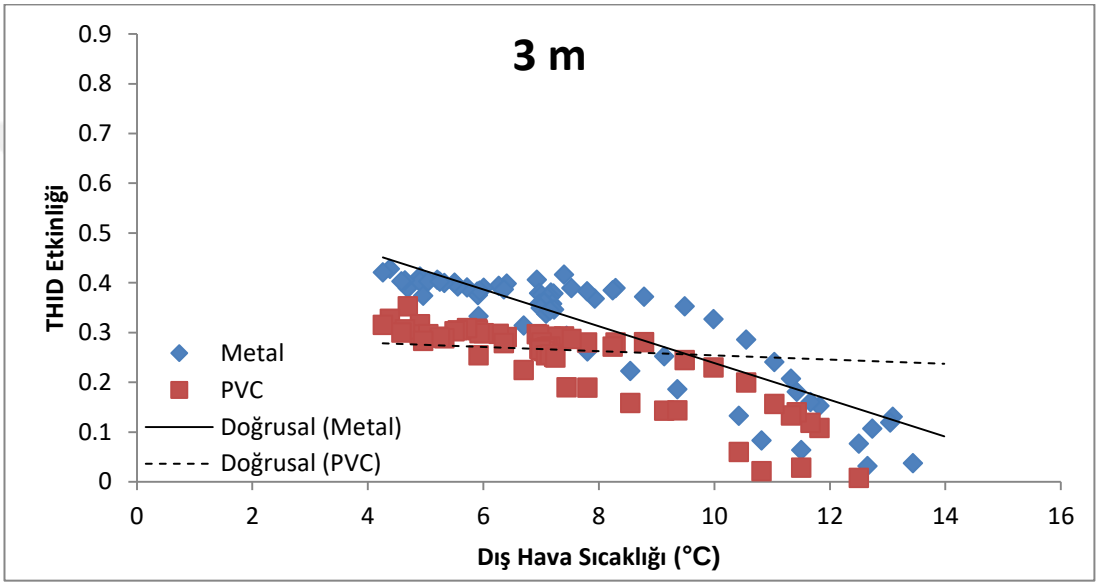


Şekil 4.107. Soğutma döneminde dış hava sıcaklığının soğutma yüküne etkisi

4.10. Dış Hava Sıcaklığına göre THID Etkinliğinin Değişimi

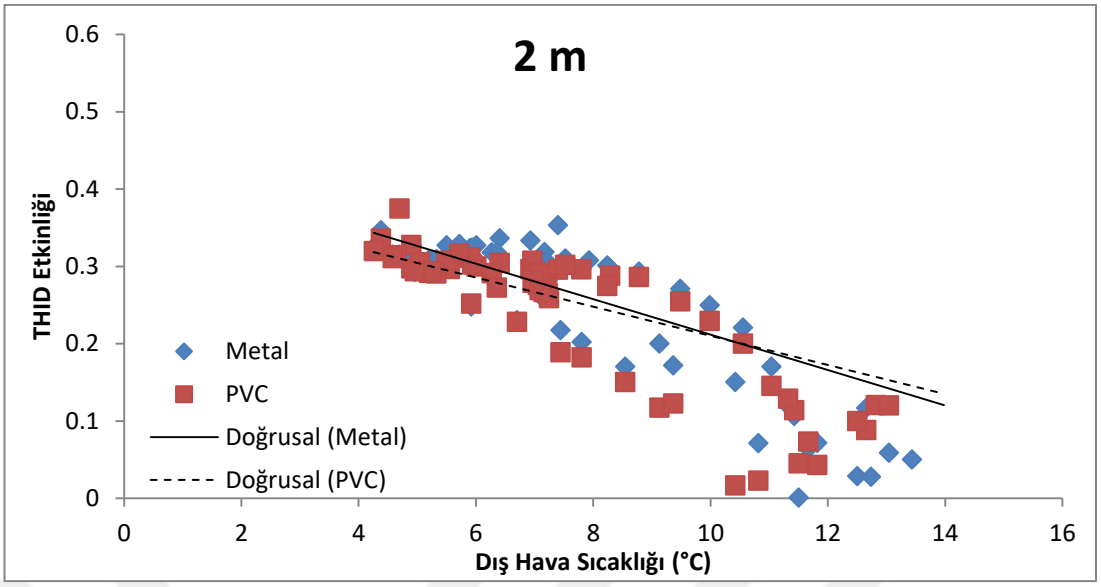
4.10.1. Isıtma durumunda dış hava sıcaklığına göre THID etkinliğinin değişimi

Şekil 4.108.' de gösterilen 3 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait Ocak tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı arttıkça azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.108. Isıtma durumunda THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m)

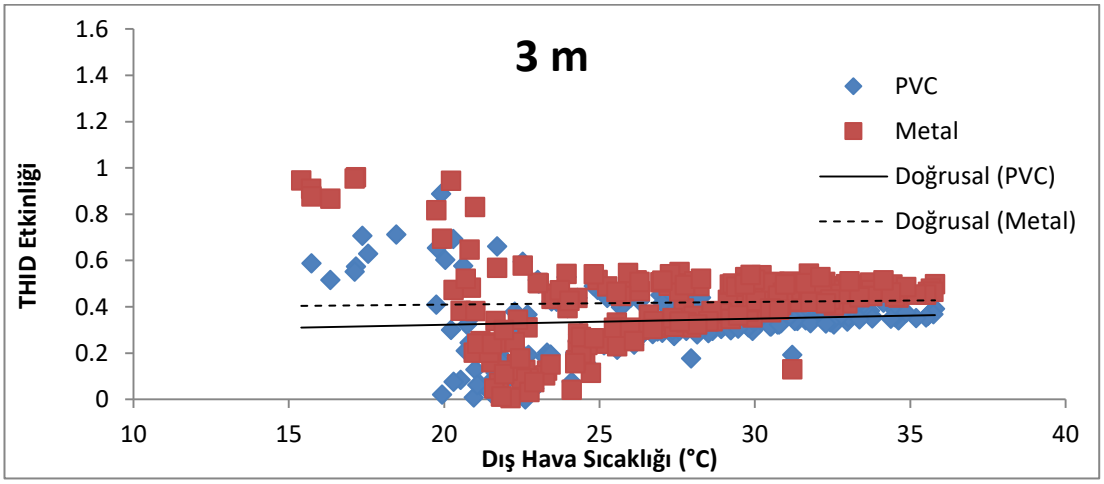
2 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait Ocak tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı arttıkça azaldığı gözlemlenmektedir.(Şekil 4.109.)



Şekil 4.109. Isıtma durumunda THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m)

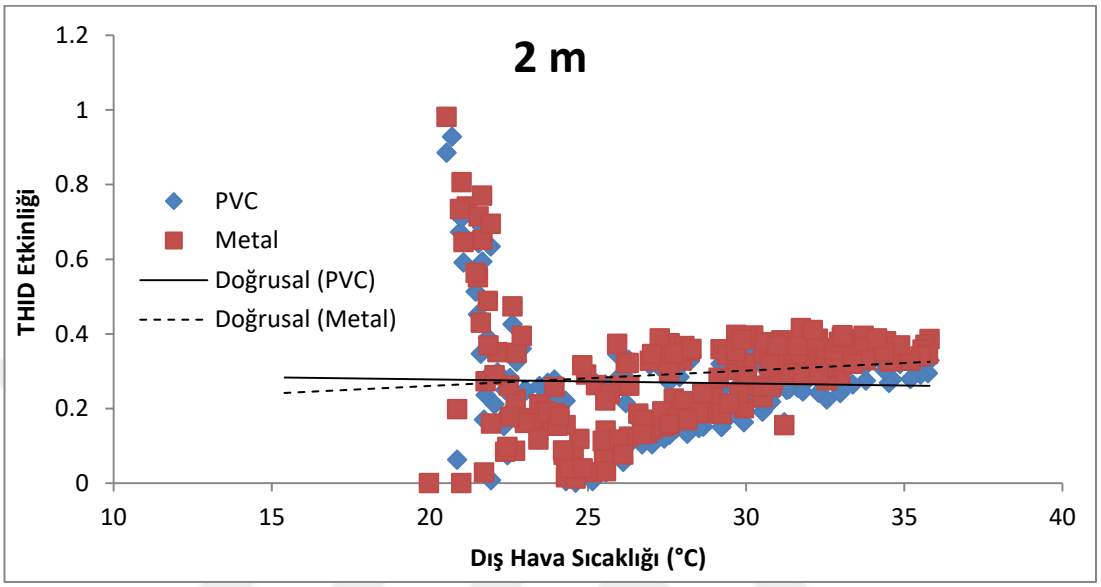
4.10.2. Soğutma durumunda dış hava sıcaklığına göre THID etkinliğinin değişimi

Şekil 4.110.' da gösterilen 3 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait Haziran tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı arttıkça değişmediği görülmektedir.



Şekil 4.110. Soğutma durumunda THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m)

2 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait Haziran tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı arttıkça değişmediği gözlemlenmektedir.(Şekil 4.111.)

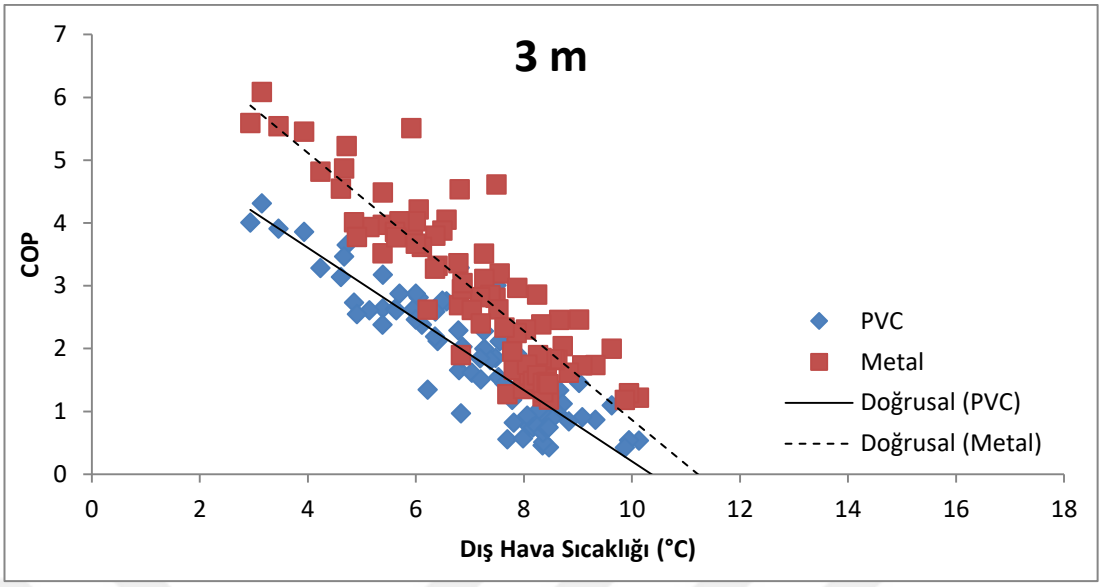


Şekil 4.111. Soğutma durumunda THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m)

4.11. Dış Hava Sıcaklığının COP Değişimine Etkisi

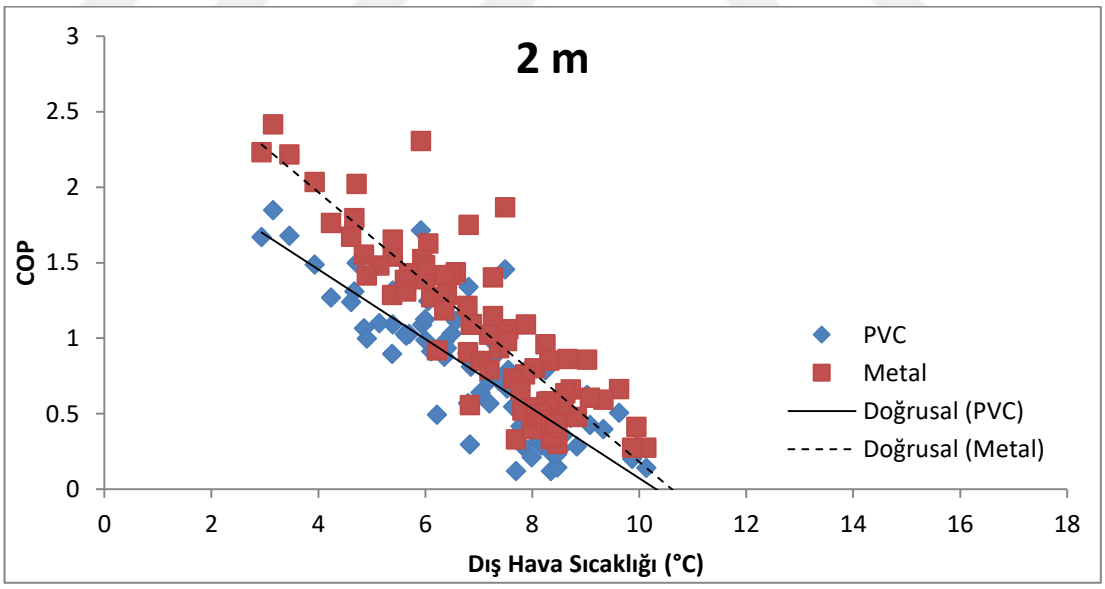
4.11.1. Isıtma durumunda dış hava sıcaklığının COP değişimine etkisi

Şekil 4.112.' de gösterilen 3 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait Ocak tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; COP değerinin dış hava sıcaklığı arttıkça azaldığı görülmektedir.



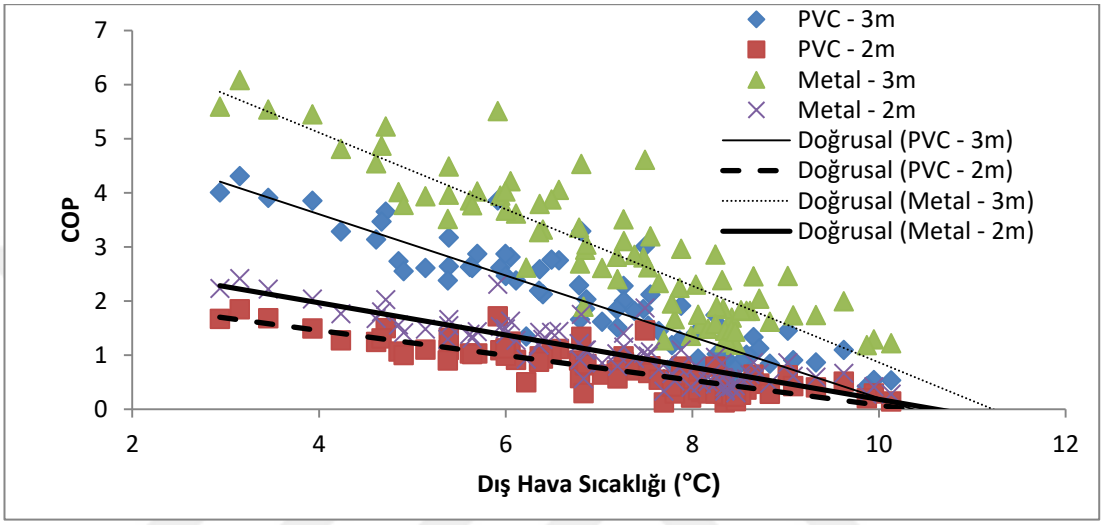
Şekil 4.112. Isıtma durumunda COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m)

2 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait Ocak tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; COP değerinin dış hava sıcaklığı arttıkça azaldığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.113.).



Şekil 4.113. Isıtma durumunda COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m)

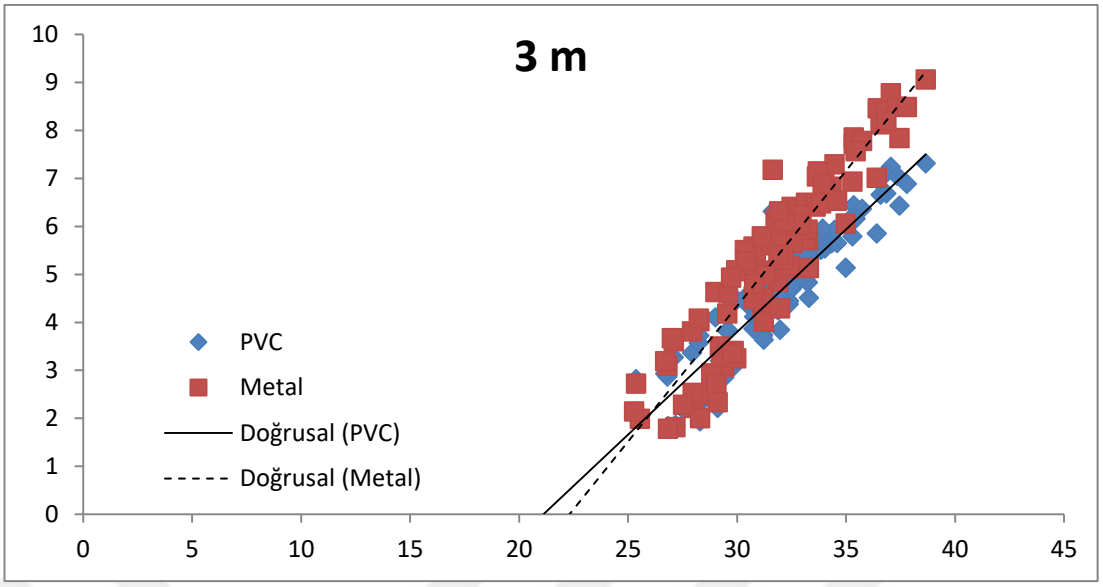
Şekil 4.114.' de ısıtma durumunda 4 THID sistemine ait COP değişiminin dış hava sıcaklığı ile değişimi gösterilmektedir. 3 m derinlikteki metal malzemenin kullanıldığı THID sisteminin en yüksek COP değerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca dış hava sıcaklığının artmasıyla tüm THID sistemleri için COP' nin azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.114. Isıtma durumunda 4 THID sisteminin COP değişiminin dış hava sıcaklığı ile değişimi

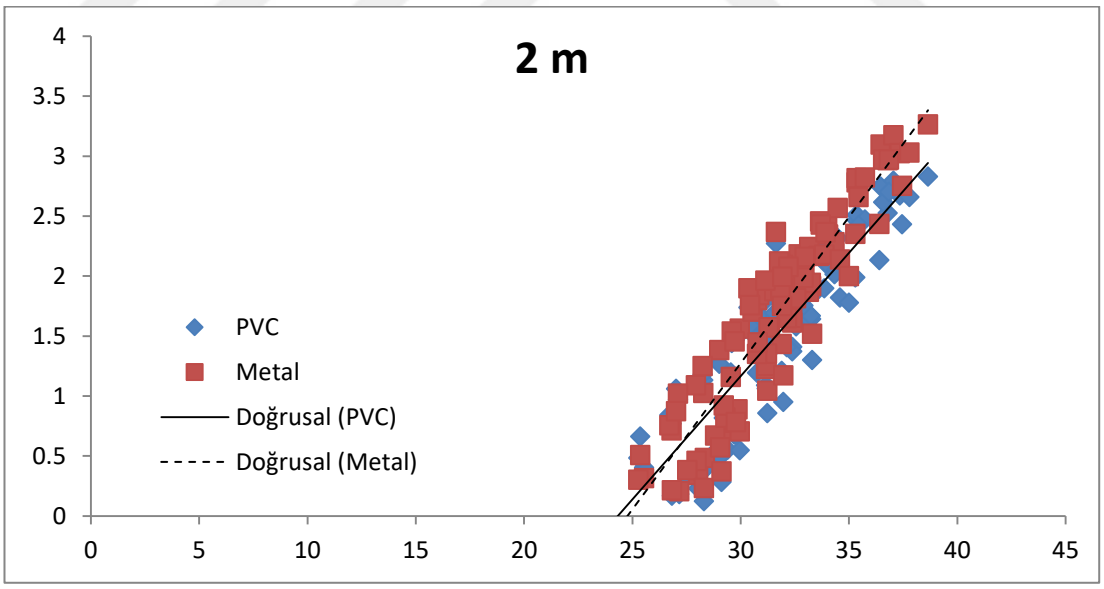
4.11.2. Soğutma durumunda dış hava sıcaklığının COP değişimine etkisi

Şekil 4.115.' de gösterilen 3 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait Haziran tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; dış hava sıcaklığı arttıkça COP değerinin de arttığı görülmektedir.



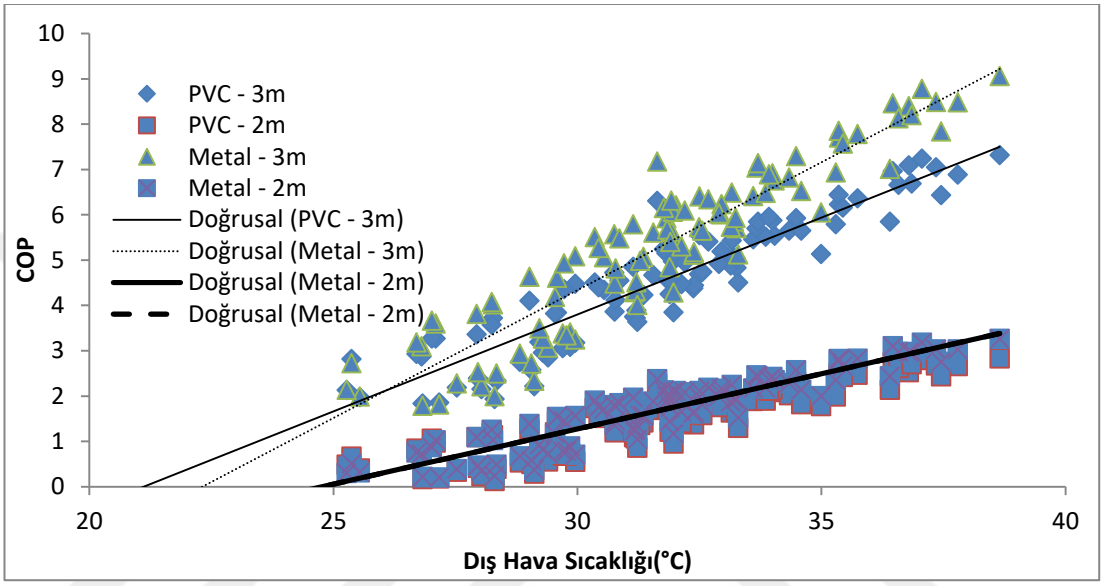
Şekil 4.115. Soğutma durumunda COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi (3 m)

Şekil 4.116.' da gösterilen 2 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait Haziran tarihli ölçüm sonuçları incelendiğinde; dış hava sıcaklığı arttıkça COP değerinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 4.116. Soğutma durumunda COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi (2 m)

Şekil 4.117.' de soğutma durumunda 4 THID sistemine ait COP değerlerinin dış hava sıcaklığı ile değişimi beraber gösterilmektedir. 3 m derinlikteki metal malzemenin kullanıldığı THID sisteminin en yüksek COP değerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca dış hava sıcaklığının artmasıyla tüm THID sistemleri için COP' ninde arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.117. Soğutma durumunda 4 THID sistemine ait COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Giriş dış hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı, boru malzemesi, boru uzunluğu, boru çapı, hava hızı, toprak derinliği gibi THID sisteminin ısıl performansına etki eden parametreler göz önüne alınarak 6 THID sisteminin deneysel analizi Şanlıurfa iklim şartlarında ısıtma ve soğutma durumları için yapılmıştır.

Ocak, Şubat ve Mart aylarında yapılan tüm ölçümlerin sonucuna bakıldığında 2 m derinlikte malzemenin farklı olmasının çıkış sıcaklığı üzerinde yaklaşık 1 ^{o}C' lik etkisinin olduğu tespitedilmiştir. 3 m derinlikteki THID sistemleri incelendiğinde ise bu sıcaklık farkı artmaktadır. Metal malzemenin, PVC malzemeye göre daha uygun olduğu ve ısıtma döneminde yapılan ölçümlerin geneline bakıldığı zaman derinlik arttıkça malzeme etkisinin arttığı belirlenmiştir.

Dış hava sıcaklığının düşük olduğu zaman aralıklarında metal malzemenin uygunluğu daha belirgin bir şekilde görülmüştür. Ancak dış hava sıcaklığının toprak sıcaklığına yaklaştığı zaman aralıklarında ise PVC ve metal malzeme arasında nerdeyse hiçbir fark olmadığı gözlemlenmiştir.

Soğutma dönemi olarak Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarındaki ölçümlerde malzemenin sistem performansı üzerine etkisi ısıtma dönemi ile benzer sonuçlar göstermiştir. 2 m derinlikte THID sistemleri arasında ciddi bir fark olmamakla birlikte, 3 m derinlikte özellikle sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde malzeme etkisinin önemli olduğu ve çıkış sıcaklığını düşürdüğü tespit edilmiştir. Metal malzemelerin kullanıldığı sistemlerde toprak derinliğinin etkisi daha belirgin bir şekilde görülmüş ve PVC malzemelerde ise çıkış sıcaklıklarının birbirine çok yakın çıktığı tespit edilmiştir.

Uygun boru çapının bulunması için ısıtma ve soğutma dönemlerinde yapılan ölçümlerde mevcut THID sistemleri için 10 cm boru çapının 15 cm'ye göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Hava hızının sistem performansı üzerine etkisi incelenirken ısıtma ve soğutma dönemleri ayrı ayrı ele alınmıştır. Birbirine yakın dış hava sıcaklıklarına ait günlerde yapılan ölçümlerde farklı hızların çıkış sıcaklığını etkilediği görülmektedir. 8m/s' lik hava hızının en uygun çalışma hızı olduğu gözlemlenmiştir. Soğutma döneminde gün boyu yapılan ölçümler incelendiğinde 8m/s lik hıza sahip THID sisteminin en yüksek sıcaklık farkına ($T_g - T_ç$), 4 m/s lik hıza sahip THID sisteminin ise en düşük sıcaklık farkına ($T_g - T_ç$) sahip olduğu belirlenmiştir.

Boru uzunluğunun etkisinin incelendiği ölçümlerde mesafenin artmasıyla kışın sıcaklığın arttığı, yazın ise azaldığı belirlenmiştir.

Soğutma dönemi için toprak nemlendirildikten sonra çıkış sıcaklığında metal ve PVC sistemlerinde bir düşüş gözlemlenmiştir. Ancak dış hava sıcaklığının da azaldığı ölçüm günlerinde nemlendirmenin sıcaklıktaki düşüşe etkisi net olarak tespit edilememiştir.

Dış hava sıcaklığının artmasıyla hem ısıtma hem de soğutma döneminde çıkış sıcaklığınında tüm sistemler için arttığı belirlenmiştir.

Isıtma döneminde ki ölçümler göz önüne alındığında dış hava sıcaklığı arttıkça topraktan çekilen ısı miktarının bütün sistemler için azaldığı görülmüştür.

Soğutma döneminde belirli günlere ait ölçüm sonuçları incelendiğinde dış hava sıcaklığının artmasıyla soğutma kapasitesinin de arttığı görülmüştür.

THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı ile değişiminin incelenmesi sonucunda; soğutma döneminde bir etkisinin olmadığı, ısıtma döneminde sıcaklığın artmasıyla etkinliğin kısmen azaldığı sonucuna varılmıştır.

COP değerlerinin ısıtma dönemine dış hava sıcaklığının artmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Soğutma döneminde ise COP değerinin arttığı görülmektedir.

Kış ve yaz dönemlerinde ölçümler alınarak yapılan bu uygulamanın neticesinde Şanlıurfa ili için THID sistemlerinin ısıtma ve soğutma konumlarında iyi bir performansa sahip oldukları görülmüş olup, enerji tasarrufu açısından da oldukça uygun olduğu belirtilmiştir.

5.2. Öneriler

Enerji kaynaklarımızı çeşitlendirmek ve kaynak temini konusunda mümkün olduğunca dışa bağımlılığımızı minimize etmek bakımından yenilenebilir enerji kaynaklarımızın kullanım oranlarının artırılması oldukça önemlidir. Bu bakımdan THID sistemlerinin özellikle Şanlıurfa gibi ılıman bir iklime sahip bölgelerde kullanılması ile ilgili çalışmaların yaygınlaşması gerekmektedir.

THID sistemlerinin performansı üzerine daha fazla araştırma yapılması geekmektedir.

Isıtma, soğutma ve havalandırma uygulamalarında THID sistemlerinden faydalanılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

ABBASPOUR-FARD, M. H., GHOLAMI, A. and KHOJASTEHPOUR M. 2011. Evaluation of an earth-to-air heat exchanger for the North-East of Iran with semi-arid climate. International Journal of Green Energy, 8:4, 499-510.

AL-AJMI, F., LOVEDAY, D.L. and HANBY, V.I. 2006. The cooling potential of earth–air heat exchangersfor domestic buildingsin a desert climate. Building and Environment, 41: 235–244.

ASCIONE, F., BELLIA, L. and MINICHIELLO, F. 2011. Earth-to-air heat exchangers for Italian climates. Renewable Energy, 36: 2177,2188.

ARSLAN, ATA ERDAL. 2014. Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Doğal Gazlı Kombi Birleşik Sisteminin Enerji Verimliliği Yönünden Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

BADESCU, V. 2007. Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house, Renewable Energy, 32: 845-855.

BANSAL, V., MISRA, R., AGRAWAL, G.D. and MATHUR, J. 2009. Performance analysis of earth–pipe–air heat exchanger for summer cooling. Energy and Buildings, 42: 645-648.

BANSAL, V., MISRA, R., AGRAWAL, G.D. and MATHUR, J. 2012. Performance evaluation and economic analysis of integrated earth–air–tunnel heat exchanger–evaporative cooling system. Energy and Buildings, 55: 102–108.

BOJIC, M., TRIFUNOVIC, N., PAPADAKIS, G. and KYRITSIS, S. 1997. Numerical Simulation, technical and economic evaluation of air-to-earth heat exchanger coupled to a building. Energy, 22:12, 1151-1158.

BOJIC. M., PAPADAKIS, G. and KYRITSIS, S. 1999. Energy from a two-pipe, earth-to-air heat exchanger. Energy, 24: 519–523.

BP Statistical Review of World Energy. 2015. British Petroleum (BP), London, UK.

BULUT, H., DEMİRTAŞ Y., KARADAĞ R., HİLALİ İ. 2015. Experimental Analysis of an Earth Tube Ventilation System under Hot and Dry Climatic Conditions, Proceedings of The 8th Mediterranean Congress of Heating Ventilation and Air-Conditioning-Climamed 2015, 1-8, 9–11 September 2015, Juan Les Pins, France.

BULUT H., KARADAĞ, R., DEMİRTAŞ, Y., HİLALİ, İ. 2015. Şanlıurfa Kış Şartlarında Bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisinin Performans Analizi. 12.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 2, 1789-1804, İzmir.

ÇALIŞKAN, MUSTAFA. 2011.Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Mevcut Yatırımlar. Rüzgâr Enerjisi ve Santralleri Semineri R.Koç Müzesi, İstanbul.

ÇAPIK, MEHMET. 2012. Present situation and potential role of renewable energy in Turkey. Renewable Energy,46,: 01-13.

ÇENGEL, Y.A. ve BOLES, M.A. 2008. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik (5. Basım), İzmir: İzmir Güven Kitabevi.

CHIESA, G., SIMONETTI, M. and GROSSO M. 2014. A 3-field earth-heat-exchange system for a school building in Imola, Italy: Monitoring results. Renewable Energy, 62: 563-570.

DALOĞLU A. 2015 Performance Analysis of an Earth Tube Heat Exchanger for Summer Cooling in Ankara. Proceedings of The 8th Mediterranean Congress of Heating Ventilation and Air-Conditioning-Climamed 2015, 1-8, 9–11 September 2015, Juan Les Pins, France.

DARKWA, J., KOKOGIANNAKIS, G., MAGADZIRE, C.L. and YUAN, K. 2011. Theoretical and practical evaluation of an earth-tube (E-tube) ventilation system. Energy and Buildings, 43: 728–736.

ERDOĞAN, M. 2014. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelinin termodinamik analiz yöntemi ile incelenerek, yenilenebilir enerji kullaniminin gelecek projeksiyonlarinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

ERDOĞAN, S., YILMAZ, M., ŞAHİN, B. VE ÖZYURT, Ö., 2006. Isı pompası sistemlerinin Seçimi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 92: 40-49.

ERTÜRK F., AKKOYUNLU A., VARINCA K.B. 2006. Enerji Üretimi ve Çevresel Etkileri, Türkasya Stratejik Araştırmalar Merkezi, Stratejik Rapor No:14, Tasarım yayınları, s.88

FREIRE, A.D. J., ALEXANDRE, J. L.C., SILVA, V. B., COUTO, N. D and ROUBOA, A. 2013. Compact buried pipes system analysis for indoor air conditioning. Applied Thermal Engineering, 51: 1124-1134.

GİZLENCİ, Ş., ACAR, M. ve ŞAHİN, M. 2012. "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (Biyodizel, Biyoetanol ve Biyokütle) Projeksiyonu," Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, sayı 8(3), s. 337-344.

GHOSAL, M.K. and TIWARI, G.N. 2006. Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse. Energy Conversion and Management, 47: 1779–1798.

HEPBASLI, A. 2013. Low exergy modelling and performance analysis of greenhouses coupled to closed earth-to-air heat exchangers (EAHEs). Energy and Buildings, 64: 224–230.

KOÇ, K., ve KAYA, K. 2015. Enerji kaynakları – Yenilenebilir enerji durumu. Mühendis ve Makina, 56, 668: 36-47.

KOLTUKÇU, H. 2010. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından SWOT Analizi," Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

MAEREFAT, M. and HAGHIGHI, A.P. 2010. Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney. Renewable Energy, 35: 2316-2324.

MIHALAKAKOU, G., LEWIS J.O. and SANTAMOURIS, M. 1996. The influence of different ground covers on the heating potential of earth to air heat exchangers. J. Renewable Energy, 7: 33-46.

MISRA, R., BANSAL, B., AGARWAL, G.D., MATHUR, J. and ASERI, T. 2012. Thermal performance investigation of hybrid earth air tunnel heat exchanger. Energy and Buildings, 49: 531–535.

MONGKON, S., THEPA, S., NAMPRAKAI, P. and PRATINTHONG, N. 2013. Cooling performance and condensation evaluation of horizontal earth tube system for the tropical greenhouse. Energy and Buildings, 66: 104–111.

OZGENER, O. and OZGENER, L. 2011. Determining the optimal design of a closed loop earth to air heat exchanger for greenhouse heating by using exergoeconomics. Energy and Buildings, 43: 960–965.

OZGENER, O. and OZGENER, L. 2013. Three cooling seasons monitoring of exergetic performance analysis of an EAHE assisted solar greenhouse building. Journal Of Solar Energy Engineering-Transactions Of The Asme, 135:2 , 021008-1-7.

OZGENER, O., OZGENER, L. and TESTER, J. W. 2013. A practical approach to predict soil temperature variations for geothermal (ground) heat exchangers applications. International Journal of Heat and Mass Transfer, 62: 473–480.

PERETTI, C., ZARRELLA, A., DE CARLI, M. and ZECCHIN, R. 2013. The design and environmental evaluation of earth-to-airexchangers (EAHE). A literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 28: 107–116.

PFAFFEROTT, J. 2003. Evaluation of earth-to-air heat exchangers with a standardised method to calculate energy efficiency. Energy and Buildings, 35: 971–983.

SANTAMOURIS, M., MIHALAKAKOU, G., ARGIRIOU, A. and ASIMAKOPOULOS,D.N.1995. On the performance of buildings coupled with earth to air heat exchangers. Solar Energy, 54:6, 375-380.

SEHLI, A., HASNI, A. and TAMALI, M. 2012. The potential of earth-air heat exchangers for low energy cooling of buildings in South Algeria. Energy Procedia,18: 496 – 506.

SETHI, V.P., SUMATHY K., LEE, C. and PAL, D.S. 2013. Thermal modeling aspects of solar greenhouse microclimate control: A review on heating technologies. Solar Energy, 96: 56–82.

SHUKLA, A., TIWARI, G. N. and SODHA, M. S. 2006. Parametric and experimental study on thermal performance of an earth–air heat exchanger, Internatıonal Journal of Energy Research. 30: 365–379.

TAN, L. and LOVE, J. A. 2013. A literature review on heating of ventilation air with large diameter earth tubes in cold climates. Energies 6: 3734-3743.

TURGAY, B. 2013. EAHX (Toprak-Hava Isı Eşanjörü). 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Kitabı, 307-315.

YEŞİLNACAR, M.İ., SÜZEN, M.L., ŞENER, B., DOYURAN V. , 2012. Municipal solid waste landfill site selection for the city of Sanliurfa-Turkey: an example using MCDA integrated with GIS. International Journal of Digital Earth, 5/2, 147-164.

YILDIZ, A., OZGENER, O. and OZGENER, L. 2011. Exergetic performance assessment of solar photovoltaic cell (PV) assisted earth to air heat exchanger (EAHE) system for solar greenhouse cooling. Energy and Buildings, 43: 3154–3160.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Yunus DEMİRTAŞ
Uyruğu	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	BATMAN 20.11.1984
Telefon :	5356279667
e-mail :	yunusdemirtas@harran.edu.tr

EĞİTİM

Derece	**Adı, İlçe, İl**		**Bitirme Yılı**
Lise :	Batman Anadolu Lisesi	BATMAN	2002
Üniversite :	Kırıkkale Üniversitesi	KIRIKKALE	2009
Yüksek Lisans :	Harran Üniversitesi	ŞANLIURFA	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2009-2011	Batman Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanlığı	Makine Mühendisi
2011-2014	Siirt Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2014-…	Harran Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLAR

BULUT, H., DEMİRTAŞ, Y., KARADAĞ, R., HİLALİ, İ. 2015. Experimental Analysis of an Earth Tube Ventilation System under Hot and Dry Climatic Conditions, Proceedings of The 8th Mediterranean Congress of Heating Ventilation and Air-Conditioning-Climamed 2015, 1-8, 9–11 September 2015, Juan Les Pins, France.

BULUT, H., KARADAĞ, R., DEMİRTAŞ, Y., HİLALİ, İ. 2015. Şanlıurfa Kış Şartlarında Bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisinin Performans Analizi. 12.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 2, 1789-1804, İzmir