ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORATEZİ

Fatih BARUTÇU

BASINÇLI SULAMA SİSTEMLERİNDE DEĞİŞKEN HIZLI POMPALARLA ENERJİ KAZANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

ADANA, 2011

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BASIÇLI SULAMA SİSTEMLERİNDE DEĞİŞKEN HIZLI POMPALARLA ENERJİ KAZANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Fatih BARUTÇU

DOKTORA TEZİ

TARIM MAKİNALARI

Bu tez 10/08/2011 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.

İmza……	İmza……	İmza…….
Prof.Dr.M.Tunç ÖZCAN	Prof.Dr.Emin GÜZEL	Prof.Dr.Mahmut ÇETİN
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

İmza…….	İmza……
Doç.Dr.Ahmet İNCE	Yrd.Doç.Dr.Selçuk UĞURLUAY
ÜYE	ÜYE

Bu tez Enstitümüz Tarım Makineleri Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No. FBE2002D193

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

ÖZ

DOKTORA TEZİ

BASINÇLI SULAMA SİSTEMLERİNDE DEĞİŞKEN HIZLI POMPALARLA ENERJİ KAZANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Fatih BARUTÇU

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Danışman: Prof.Dr.M.Tunç ÖZCAN
Yıl: 2011, Sayfa: 187
Jüri: Prof.Dr. M.Tunç ÖZCAN
Prof.Dr. Emin GÜZEL
Prof.Dr. Mahmut ÇETİN
Doç. Dr. Ahmet İNCE
Yrd.Doç.Dr. Selçuk UĞURLUAY

Sulama pompa istasyonlarının birçoğu tasarım hatalarının oluşturduğu yüksek enerji maliyeti nedeniyle çalıştırılamamakta, çalıştırıldığında yüksek maliyeti beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada, iki ayrı basınçlı sulama şebekesine servis eden bir pompa istasyonunda enerji kazanım olanakları incelenmiş ve enerji kazanımı sağlayacak bir işletme modeli geliştirilmiştir. Model, değişken sulama suyu ihtiyacına göre pompa ve sulama sistem eğrilerini tüm sulama sezonu boyunca eşleştirerek enerji tüketimini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bunun için, pompa ve sulama sistemi bir bütün olarak ele alınarak tesisin mevcut durumu incelenmiş, geliştirilen yöntem ile sistemin optimizasyonu yapılarak klasik uygulamaya kıyasla sağlanan enerji kazanım miktarları değişken hız teknolojisine dayalı çeşitli senaryolar altında belirlenmiştir. Ayrıca, incelenen seçeneklerin özgül enerjisi ve pompa istasyonu genel verimleri hesaplanmış, ekonomik analizleri gerçekleştirilmiştir. Pompa karakteristik eğrilerini sulama sistem eğrilerine adapte etmek, değişken hız teknolojisine sahip pompa istasyonları ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, simülasyon araçları ve değişken hız teknolojisi yaklaşımı birleştirilerek kullanılmıştır. Sabit hızlı pompa işletme modeline kıyasla, üç farklı senaryo altında pompa istasyonunda yıllık %12, %15 ve %30.3 oranında bir enerji kazanımı sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Özgül enerji tüketiminin M-1 sulama sisteminde 0.4591 kWh m^{-3}'den 0,2835 kWh m^{-3}'e, M-2 sulama sisteminde 0.3956 kWh m^{-3}'den 0.3076 kWh m^{-3}'e düşebileceği gösterilmiştir.

Tüm bulgular ve ekonomik analizler, önerilen yaklaşımın enerji kazanımı açısından oldukça verimli, ekonomik açıdan uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Değişken hızlı pompa, Frekans değiştirici, Enerji kazanımı, Basınçlı sulama sistemi, Pompaj maliyeti

ABSTRACT

PhD. THESIS

A RESEARCH ON ENERGY SAVING POSSIBILITIES WITH VARIABLE SPEED PUMPS IN PRESSURIZED IRRIGATION SYSTEMS

Fatih BARUTÇU

UNIVERSITY OF ÇUKUROVA
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINES

Supervisor: Prof.Dr.M.Tunç ÖZCAN
Year: 2011, Page: 187
Jury: Prof.Dr. M.Tunç ÖZCAN
Prof.Dr. Emin GÜZEL
Prof.Dr. Mahmut ÇETİN
Doç. Dr. Ahmet İNCE
Yrd.Doç.Dr. Selçuk UĞURLUAY

Many of the irrigation pumping stations cannot be operated due to high energy costs resulting from design mistakes or when operated they bring about high running costs. In this study, energy saving possibilities were analysed in a pumping station serving two different pressurized irrigation networks and a model to save provide energy savings was developed. The model is aimed to optimize energy consumption by matching pump and system characteristic curves during the whole irrigation season. For this purpose, current situation of the pumping plant was investigated by evaluating pump and irrigation system as a whole. By optimizing the system with the help of the methodology developed, the quantity of energy savings respect to classical approach was determined under different scenarios based on variable speed technologies. In addition, overall efficiency of the pumping station and the specific energy of the alternatives examined were calculated, the economic analysis was carried out. The adaption of pumping characteristic curves to irrigation system curves is possible with pumping stations having variable speed technologies. Therefore, simulation tools and variable speed technologies approach were used in combination. It was concluded that in comparison with the current constant speed operation, annual energy savings of about 12%, 15% and 30.3% may be achieved at the pumping station under three scenarios. It was demonstrated that specific energy consumption can be decreased from 0.4591 kWh m^{-3} to 0,2835 kWh m^{-3} and from 0.3956 kWh m^{-3} to 0.3076 kWh m^{-3} in M-1 and M-2 irrigation systems respectively.

All the results and economic analyses showed that the presented methodology is efficient in terms of energy savings and applicable in terms of economics.

Key Words: Variable speed pump, Frequency drive, Energy saving, Pressurized irrigation system, Pumping cost

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu konuda çalışmaya beni cesaretlendiren ve gerekli tüm altyapıyı, teknik bilgi ve desteği sağlayan, çalışma boyunca kıymetli zamanını esirgemeyen engin deneyiminden yararlandığım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet Tunç ÖZCAN'a şükranlarımı arz ederim.

Tez izleme jüri üyeliği süresince, değişik düşünce ve teknik bilgi destekleriyle çalışmama ivme kazandıran değerli hocam Sayın Prof. Dr. Emin GÜZEL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Yine, tez izleme komitesinde görev alarak; bilgi birikimi ve tecrübesiyle çalışmamı zenginleştiren, ayrıca çalışma boyunca sürekli beni motive eden kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Mahmut ÇETİN'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca; Jüri üyesi olarak tezimi değerlendiren ve teknik bilgi destekleri ile tezimin zenginleşmesini sağlayan değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Ahmet İNCE ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk UĞURLUAY'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmada her türlü şartlarda veri toplamada, çalışma alanın tanıtılması ve incelenmesinde yardımcı olan, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi yöneticilerine ve çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Çalışmam süresince karşılaştığım problemlerin çözümünde deneyimlerinden yararlandığım mesai arkadaşım Sayın Dr. Ahmet UYAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam içinde, pompa denemelerine destek sağlayan Sayın İhsan OLGUN'a ve Elmakser Su Teknolojileri çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tüm çalışmam sırasında gösterdikleri sabır ve anlayış nedeniyle çalışma arkadaşlarım Sayın Hamit DOĞAN ve Sayın Recep AKPAK'a, çalışmanın belirli bölümlerinde yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Sayın Utku ALPAYDIN'a ve Sayın Mehmet Akif EKER'e teşekkür ederim.

Sadece bu çalışma sırasında değil, hayatımın her anında bana büyük destek veren değerli anneme, babama ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım ve yoğun iş yüküm dolayısıyla, sürekli bana destek olan kıymetli eşim Elif BARUTÇU'ya göstermiş olduğu sabır ve yardımları için teşekkür eder; şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT III
TEŞEKKÜR V
İÇİNDEKİLER VII
ÇİZELGELER DİZİNİ IX
ŞEKİLLER DİZİNİ XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR XV
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 9
3. MATERYAL VE METOT 27
3.1. Materyal 27
3.1.1. Çalışma Alanının Tanıtılması 27
3.1.2. Pompa İstasyonu 29
3.2. Metot 33
3.2.1. Basınçlı Sulama Sisteminin Analizi 35
3.2.2. Santrifüj Pompaların Karakteristik Eğrileri 39
3.2.2.1. Debi Ölçümleri 44
3.2.2.2. Basınç Ölçümleri 45
3.2.2.3. Gücün ölçülmesi 47
3.2.2.4. Pompa Veriminin Bulunması 48
3.2.3. Debi Hidrografları 49
3.2.3.1. "WinGenera" Simülasyon yazılımı 50
3.2.4. Enerji Tüketimi 59
3.2.5. Enerji Maliyeti ve Ekonomik Analiz 61
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 65
4.1. Pompa Karakteristik Eğrileri 65
4.1.1. Toplam Dinamik Yükseklik (H_m) – Debi (Q) Eğrisi 65
4.1.2. Güç–Debi Eğrisi 67
4.1.3. Verim–Debi Eğrisi (η–Q) 69

4.2. Sulama Sisteminin Analizi 70
4.3. Sulama Sistemi ve Pompaların Eşleştirilmesi 73
4.4. Debi Hidrografları 76
4.5. Pompa İstasyonunun Enerji Tüketimi (Senaryo 1) 81
4.5.1. Sabit Hızlı Pompa Operasyonu için Güç Gereksinimi 82
4.5.2. Değişken Hızlı Pompa Operasyonu için Güç Gereksinimi 83
4.5.3. Enerji Gereksinimi 85
4.5.3.1. Motor ve Frekans Değiştirici Yük Durumunun Enerji Kazanımına Etkisi 91
4.5.3.2. Özgül Enerji 100
4.6. İşletme Maliyeti ve Ekonomik Analiz 102
4.7. Pompa İstasyonunun Enerji Tüketimi (Senaryo 2) 104
4.7.1. Güç İhtiyacı ve Enerji Gereksinimi 106
4.7.2. Enerji Maliyeti ve NBD 110
4.8. Pompa İstasyonunun Enerji Tüketimi (Senaryo 3) 113
4.8.1. Güç İhtiyacı ve Enerji Gereksinimi 114
4.8.2. Enerji Maliyeti ve NBD 120
4.9. Enerji Kazanım Senaryolarının Karşılaştırılması 124
4.10. Pompa İstasyonu Genel Verimleri 126
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 129
5.1. Sonuçlar 129
5.2. Öneriler 133
KAYNAKLAR 135
ÖZGEÇMİŞ 143
EKLER 145

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Pompa istasyonunda kullanılan pompalara ait teknik özellikler..... 30
Çizelge 3.2. Pompa istasyonunda kullanılan elektrik motorlarına ait teknik özellikler..... 30
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan ultrasonik debimetreye ait teknik veriler..... 32
Çizelge 3.4. Elektrik motoru frekansının pompa debisi, basınç yükü ve gücüyle ilişkisi..... 42
Çizelge 4.1. M-1 sulama sistemi için olası sistem debileri ve frekansları..... 79
Çizelge 4.2. M-2 sulama sistemi için olası sistem debileri ve frekansları..... 80
Çizelge 4.3. Sabit hızlı pompa operasyonunda pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-1 sulama sistemi için)..... 82
Çizelge 4.4. Sabit hızlı pompa operasyonunda pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-2 sulama sistemi için)..... 83
Çizelge 4.5. Değişken hızlı pompa operasyonunda pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-1 sulama sistemi için)..... 84
Çizelge 4.6. Değişken hızlı pompa operasyonunda pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-2 sulama sistemi için)..... 85
Çizelge 4.7. Sabit hızlı pompa operasyonu enerji gereksinimi (M-1 sulama sistemi için)..... 86
Çizelge 4.8. Sabit hızlı pompa operasyonu enerji gereksinimi (M-2 sulama sistemi için)..... 87
Çizelge 4.9. Değişken hızlı pompa operasyonu enerji gereksinimi (M-1 sulama sistemi için)..... 88
Çizelge 4.10. Değişken hızlı pompa operasyonu enerji gereksinimi (M-2 sulama sistemi için)..... 88
Çizelge 4.11. Değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla elde edilen güç ve enerji kazanımı (M-1 sulama sistemi için)..... 90

Çizelge 4.12. Değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla elde edilen güç ve enerji kazanımı (M-2 sulama sistemi için)..... 91
Çizelge 4.13. Şebekeden çekilen güç (P_a) ve elektrik motoru yük oranları (M-1 sulama sistemi) 94
Çizelge 4.14. Şebekeden çekilen güç (P_a) ve elektrik motoru yük oranları (M-2 sulama sistemi) 95
Çizelge 4.15. FD kayıplarına ve sistem yük-verim ilişkisine bağlı enerji gereksinimi (M-1 sulama sistemi) 96
Çizelge 4.16. Değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla elde edilen güç ve enerji kazanımı (M-1 sulama sistemi için)..... 97
Çizelge 4.17. FD kayıplarına ve sistem yük-verim ilişkisine bağlı enerji gereksinimi (M-2 sulama sistemi) 98
Çizelge 4.18. Değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla elde edilen güç ve enerji kazanımı (M-2 sulama sistemi için)..... 99
Çizelge 4.19. Değişken hızlı pompa istasyonu için gereksinilen enerji 99
Çizelge 4.20. Birim pompalanan su hacmi başına gerekli enerji miktarı 101
Çizelge 4.21. Yatırımın Net Bugünkü Değeri (NBD) 104
Çizelge 4.22. Değişken hızlı pompa operasyonunda, pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-1 sulama sistemi için)..... 106
Çizelge 4.23. Değişken hızlı pompa operasyonunda, pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-2 sulama sistemi için)..... 107
Çizelge 4.24. Değişken hızlı pompa istasyonunda enerji gereksinimi 108
Çizelge 4.25. Farklı senaryolara göre pompa istasyonu enerji gereksinimi ve Senaryo 1'e kıyasla elde edilen kazanım miktarı 109
Çizelge 4.26. Birim pompalanan su hacmi başına gerekli enerji miktarı 110
Çizelge 4.27. Yatırımın Net Bugünkü Değeri (NBD) 112
Çizelge 4.28. Sabit hızlı pompa operasyonunda debiye karşılık, basınç yükü, pompa verimleri ve güç gereksinimleri..... 115

Çizelge 4.29. Değişken hızlı pompa operasyonunda pompa verimleri ve güç gereksinimleri 116
Çizelge 4.30. Sabit hızlı pompa operasyonunda enerji gereksinimi..... 117
Çizelge 4.31. Değişken hızlı pompa operasyonunda enerji gereksinimi 118
Çizelge 4.32. Değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa istasyonuna kıyasla elde edilen enerji kazanım değerleri 119
Çizelge 4.33. Birim pompalanan su hacmi başına gerekli enerji miktarı (M-1 sulama sistemi için)..... 120
Çizelge 4.34. Yatırımın Net Bugünkü Değeri (NBD) 122
Çizelge 4.35. Yatırımın Net Bugünkü Değeri (NBD) ve Geri Ödeme Süresi 123
Çizelge 4.36. Enerji gereksinimleri ve enerji kazanım miktarlarının mevcut sabit hızlı pompa istasyonu ile kıyaslanması 124
Çizelge 4.37. Farklı senaryoların ekonomik açıdan karşılaştırılması..... 125
Çizelge 4.38. Farklı senaryolar altında değişken hızlı pompa istasyonu genel verimlerinin ve özgül enerji değerlerinin mevcut sabit hızlı pompa istasyonu ile karşılaştırılması 127

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Toplu basınçlı sulama yapılan bir bölgede sulama yapan çitçi sayısı ve su maliyeti ilişkisi (Oliveira ve ark., 2004) 4
Şekil 1.2. Optimum boru çapı seçimi..... 5
Şekil 3.1. Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliği 2008-2009 üretim yılı arazi kullanım planı 28
Şekil 3.2. Çalışma alanına ait bir hava fotoğrafı ve sulama hatlarının temsili konumu 29
Şekil 3.3. Pompa Norm 200/500 ve 250/500 modelleri ve teknik ölçüleri..... 30
Şekil 3.4. Çalışmaya konu pompaj tesisi ve pompaların yerleşimi 31
Şekil 3.5. Krohne UFM 610P ultrasonik debimetre 32
Şekil 3.6. HT Vega 76 serisi güç analizatör cihazı..... 33
Şekil 3.7. Bir sulama sisteminin hidrolik performansının temsili noktaları (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000) 37
Şekil 3.8. COPAM Sınıflandırılmış Karakteristik Eğriler Modeli ve parametreleri..... 38
Şekil 3.9. Santrifüj pompanın temsili karakteristik eğrileri (Jensen, 1983)..... 40
Şekil 3.10. Pompa eşverim eğrilerinin çizilmesi (Barutçu, 2005)..... 41
Şekil 3.11. Sulama sistemi karakteristik eğrisi ve pompa hızına bağlı basınç yükü (H_m) – debi (Q) eğrilerinin eşleşmesi..... 43
Şekil 3.12. Ultrasonik debimetrenin boru hattına bağlanması 44
Şekil 3.13. Ultrasonik debimetre ile debi ölçümlerinin yapılması 45
Şekil 3.14. Güç ve enerji analiz/ölçüm cihazı ile ölçümlerin yapılması..... 47
Şekil 3.15. Talebe dayalı basınçlı bir sulama sistemine ait tipik bir debi hidrografı (Lamaddalena, 1997)..... 49
Şekil 3.16. Çalışmaya esas sulama sisteminde kullanılan saatlik olasılık dağılım işlevi 57
Şekil 3.17. Bir simülasyon neticesinde elde edilen günlük debi hidrografları..... 59
Şekil 4.1. Pompa H_m -Q eğrisi (M-1 sulama sistemi – Norm 250-500 tip pompa) 65

Şekil 4.2. Pompa H_m-Q eğrisi (M-2 sulama sistemi – Norm 200-500 tip pompa) 66
Şekil 4.3. Pompa gücü–debi eğrileri (Norm 200-500 tip pompa) 67
Şekil 4.4. Pompa gücü–Debi eğrileri (Norm 250-500 tip pompa) 68
Şekil 4.5. Farklı pompa devirlerindeki verim-debi eğrileri (Norm 200-500 tip pompa) 69
Şekil 4.6. Farklı pompa devirlerindeki verim-debi eğrileri (Norm 250-500 tip pompa) 70
Şekil 4.7. M-1 sulama sistemi sulama sistem eğrileri..... 71
Şekil 4.8. M-2 sulama sistemi sulama sistem eğrileri..... 72
Şekil 4.9. Pompa karakteristik eğrileri ve M-1 sulama sistem eğrisi 74
Şekil 4.10. Pompa karakteristik eğrileri ve M-2 sulama sistem eğrisi 75
Şekil 4.11. M-1 sulama sisteminde bazı günler için oluşturulmuş debi hidrografları..... 78
Şekil 4.12. M-1 sulama sisteminde gerçekleşmesi olası sistem debileri ve frekans histogramları 80
Şekil 4.13. M-2 sulama sisteminde gerçekleşmesi olası sistem debileri ve frekans histogramları 81
Şekil 4.14. Elektrik motoru verim–yük eğrisi ilişkisi (Platts, 2005) 92
Şekil 4.15. Frekans Değiştirici (FD), elektrik motoru yük verim ilişkisi 93
Şekil 4.16. Sabit ve değişken hızlı pompa işletme modellerinin yıllık enerji maliyeti 103
Şekil 4.17. M-1 sulama sistemi ve pompa karakteristiklerinin eşleşmesi 105
Şekil 4.18. M-2 sulama sistemi ve pompa karakteristiklerinin eşleşmesi 105
Şekil 4.19. Sabit ve değişken hızlı pompa işletme modellerinin yıllık enerji maliyeti 111
Şekil 4.20. Alternatif pompanın karakteristikleri ve %90 sistem yük eğrisi ile eşleştirilmesi (M-1 sulama sistemi için) 113
Şekil 4.21. Alternatif pompanın karakteristikleri ve %90 sistem yük eğrisi ile eşleştirilmesi (M-2 sulama sistemi için) 114
Şekil 4.22. Sabit ve değişken hızlı pompa işletme modellerinin yıllık enerji maliyeti 121

SİMGELER VE KISALTMALAR

AWC_{in}	:	Sulama sezonu başında toprakta depolanan kullanılabilir su miktarı	[mm]
AWC_{max}	:	Sulama sezonu başında toprakta depolanan maksimum kullanılabilir su miktarı	[mm]
AWC_{min}	:	Sulama sezonu başında toprakta depolanan minimum kullanılabilir su miktarı	[mm]
C	:	Konfigürasyon sayısı	
C_K^R	:	Belirli bir system debisi için olası konfügürasyon sayısı	
C_o	:	Yatırım başlangıcındaki masraflar	[TL]
C_t	:	Yatırımın t yılındaki nakit akışı	[TL]
D	:	Hidrant nominal debisi	[l s^{-1}]
D	:	Boru çapı	[mm]
$D_{döngü}$	:	Bitki büyüme döngüsünün süresi	[gün]
E	:	Enerji gereksinimi	[kWh]
Ea	:	Uygulama randımanı	[%]
E_s	:	Özgül enerji	[kWh m^{-3}]
ET_0	:	Referans bitki su tüketimi	[mm $gün^{-1}$]
ET_c	:	Bitki su tüketimi	[mm $gün^{-1}$]
$ET_{t,j,I}$	:	Bitki su tüketimi (t gününde, hidrant j'nin suladığı i bitkisi için)	[mm $gün^{-1}$]
F	:	Debi dağılım frekansı	
$F_{yıg}$	:	Saatlik debi dağılımının yığışımlı frekansı	
FD	:	Frekans değiştirici	
$H_{j,min}$	:	Hidrant j için gerekli minimum basınç yükü	[mSS]
H_j	:	Hidrant j için basınç yükü	[mSS]
$(H_j)_r$	:	R konfigürasyonu içindeki hidrant j'deki basınç yükü	[mSS]
H_{min}	:	Gerekli minimum basınç yükü	[mSS]

H_m	:	Toplam manometrik yükseklik	[mSS]
I	:	Elektrik akımı	[A]
I_n	:	Net sulama suyu gereksinimi	[mm gün^{-1}]
$I_{t,j,I}$	:	Sulama suyu miktarı (t gününde, hidrant j'nin suladığı i bitkisi için)	[mm]
K	:	Eşzamanlı açık hidrant sayısı	
$Kc_{1,BD}$	:	Büyüme dönemi başlangıcındaki bitki katsayısı	
$Kc_{2,BD}$	:	Büyüme dönemi sonundaki bitki katsayısı	
$Kc_{t,BD}$	:	Büyüme dönemi içinde, t günü için bitki katsayısı	
L	:	Boru uzunluğu	[m]
MAD_i	:	Bitki i için tüketilmesine izin verilen kullanılabilir su miktarı	[%]
n	:	Pompa dönme hızı	[min^{-1}]
N	:	Eşzamanlı olarak çalışan hidrant sayısı	
NBD	:	Net Bugünkü Değer	[TL]
p	:	Her bir hidrantın çalışma olasılığı	
p	:	Yatırımın geri ödeme süresi	[yıl]
P	:	Güç	[kW]
P_e	:	Etkili yağış	[mm gün^{-1}]
$P_{yıg}$	:	Yığışımlı olasılık	
P_a	:	Elektrik şebekesinden çekilen güç	[kW]
P_{YG}	:	Pompanın yuttuğu güç	[kW]
P_{VG}	:	Pompa çarkının suya verdiği güç (su gücü)	[kW]
q_s	:	Sulama modülü	[l s^{-1} ha^{-1}]
Q	:	debi	[l s^{-1}]
Q_r	:	r sayıda hidrantın debisi	[l s^{-1}]
r	:	Iskonto oranı	[%]
R	:	Toplam hidrant sayısı	
Rd_{min}	:	Bitki büyüme dönemi başlangıcındaki kök derinliği	[m]

Rd_{max}	:	Bitki büyüme dönemi sonundaki kök derinliği	[m]
Rd_t	:	t günündeki kök derinliği	[m]
$Rd_{t,i,j}$	:	t gününde hidrant j'nin suladığı bitki i'nin kök derinliği	[m]
RS	:	Üniform dağılım işlevine sahip rasgele sayı	
S_d	:	Ekim tarihi	
$S_{d,in}$	:	Olası en erken ekim tarihi	
$S_{d,fin}$	:	Olası en geç ekim tarihi	
t_{irr}	:	Sulama süresi	[h]
T	:	İşletme süresi	[h]
THC_J	:	Hidrant kapanma zamanı	
THO_j	:	Hidrant açılma zamanı	
u	:	Boyutsal direnç katsayısı	[s^2 m^{-1}]
u_d	:	Üniform dağılım için 0 ve 1 arasında üretilen rasgele sayı	
U	:	Elektriksel gerilim	[V]
V	:	Hacim	[m^3]
V_h	:	Ortalama saatlik hacim	[m^3]
V_t	:	Toplam sulama suyu hacmi	[m^3]
W	:	Kolayca kullanılabilir su miktarı	[mm]
Y	:	Sürtünme yük kaybı	[m]
Z_h	:	Pompa istasyonu için piyezometrik yükseklik	[mSS]
Z_r	:	R konfigürasyonu için piyezometrik yükseklik	[mSS]
η	:	Verim	[%]
η_p	:	Pompa verimi	[%]
η_m	:	Elektrik motoru verimi	[%]
γ	:	Bazin pürüzlülük katsayısı	[$m^{0.5}$]

1. GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda tarımsal alanda karşılaşılan en büyük problemlerden birisi, tarımda sulama ve enerji kullanımıdır. Bahsedilen bu problem ulusal gündemimizde önemli yer işgal etmektedir. Özellikle, son yıllarda artan küresel ısınma tehdidi tüm ilgiyi tarım sektörü üzerine çevirmiştir. Küresel ısınmanın sonucu olarak su kaynaklarında ciddi bir azalma söz konusudur. Bu sebeple, bu kaynakların daha verimli kullanılması gerekmektedir.

Sulama suyu dağıtım sistemleri içinde basınçlı sulama sistemleri son zamanlarda oldukça yaygınlaşmış olup açık kanallara oranla önemli avantajlara sahiptir. Geleneksel sulama suyu dağıtım sistemlerinde sudan herkesin eşit bir şekilde faydalanabilmesini garanti etmek amacıyla bazı rotasyon kriterlerine göre su dağıtımı gerçekleştirilmekte bunun sonucunda bazı sıkıntılar meydana gelmektedir. Bu durumda bazı bitkiler ihtiyaç duyduğu zaman sulanamamakta bu nedenle verim kaybı oluşabilmektedir (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000). Basınçlı sulama sistemleri, bitki su ihtiyacını karşılayacak su miktarını sağlamakta, böylece çiftlik seviyesinde daha verimli su kullanımını temin etmekte ve kayıpları minimum düzeyde tutmaktadır. Basınçlı sistemler suyu daha verimli iletebilmekte ayrıca kuyruk suyundan yararlananlar için eşitsizlik problemlerinin bertaraf edilmesine katkı sağlamaktadır. Kısa iletim süresi ve açık kanallara kıyasla daha küçük sistem kayıplarından dolayı çiftlik seviyesinde daha fazla çalışma esnekliği sağlanabilmektedir. Bu sistemler gelişmiş sulama programlarının adapte edilmesine böylece tarla içi su kullanım etkinliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır (Pereira ve ark., 2003). Kullanıcılara daha iyi hizmet sağlamayı garanti etmekte, daha yüksek iletim randımanı ile daha fazla alanın sulanmasını sağlamaktadır. Ayrıca topoğrafik sınırlamaların da üstesinden gelebilmektedirler. Kullanılan sulama suyu miktarı ölçülebildiğinden birim su hacmi başına fiyatlandırma sistemi kolayca uygulanabilmektedir. Sonuç olarak, çiftçiler gelirlerini maksimize ederek büyük oranda su kazanımı sağlayabilmektedir.

Tüm bu sayılan faydalarına karşın, basınçlı sulama sistemlerinin önündeki en büyük engel, suyun iletiminde ve taşınmasında gerekli olan enerji masrafı, diğer bir ifadeyle pompaj maliyetidir. Sulama, su iletimi ve pompaj işlemleri için enerji gerektirmektedir. Birçok sulama amaçlı pompa istasyonunda, enerji maliyeti tüm harcamalar içerisinde ana kısmı oluşturmaktadır. Araştırmalar; bir pompaj sistemi ömür maliyeti içerisinde yatırım masraflarının %5, bakım onarım masraflarının %10 enerji masraflarının ise %85 yer tuttuğunu göstermiştir (Ackermann, 2003; Anonymous, 2005). Bu sebeple üreticiler basınçlı sulama sistemlerini karsız ya da kısmen karlı bulmaktadırlar. Çoğu pompa istasyonu düşük verimle işletilmekte ve gerektiğinden çok daha fazla güç tüketmektedir. Bu ise, aşırı işletme maliyetini beraberinde getirmektedir. Bunun yanında, yükselen enerji fiyatları gelecekteki pompaj maliyetleri ile ilgili olarak bir belirsizliğe yol açmaktadır.

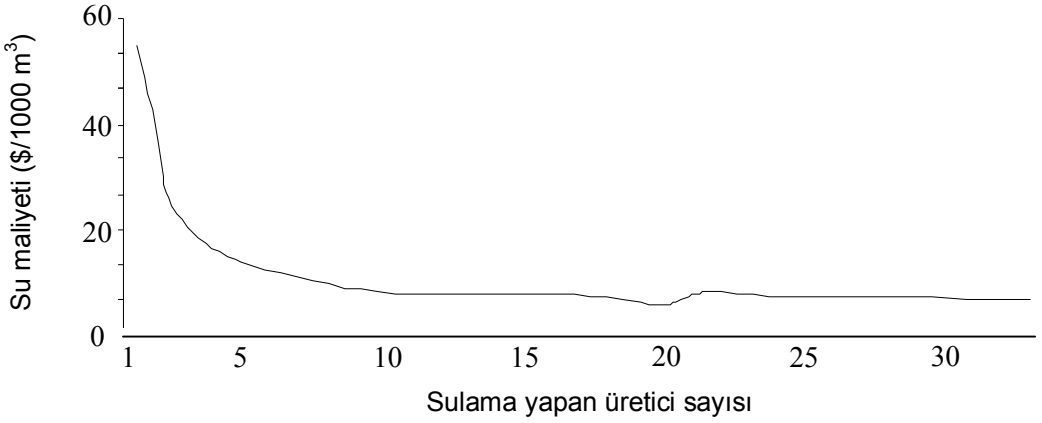
Pompa istasyonları çoğunlukla maksimum sistem debisini sağlamak üzere tesis edilmektedir. Ancak, maksimum debi sınırlı bir zaman dilimi için oluşmakta ya da hiç oluşmamaktadır. Bunun yanında, üretim sezonu boyunca debi sabit değildir. Özellikle basınçlı sulama sistemlerinde, bitki su tüketiminin zamanla değişkenlik göstermesi nedeniyle, debi ve basınç yükü ihtiyacında sürekli değişiklikler meydana gelmektedir. Bu durum, ürün çeşitlemesine gidilmiş arazilerde farklı bitkilere farklı zamanlarda suyun verilmesi veya aynı anda farklı hidrantların açık olması ve hidrantların bulunduğu konumdan kaynaklanabilmektedir. Böyle sistemlerde sulama sistem eğrisi de duruma göre değişiklik göstermektedir. Sistemin sürekli maksimum debide çalışması ise atık enerji ile sonuçlanmaktadır. Debi ve basınç yükü gereksinimlerindeki dalgalanmalar, pompa istasyonunun sadece enerji verimliliğini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda su kullanım etkinliğini ve su dağılım üniformitesini de olumsuz olarak etkilemektedir.

Pompa birimleri, tarla içi sulama sistemine uygun yeterli basınçtaki suyu çiftçilere sağlamak amacıyla tesis edilmektedir. Tüketilen enerji, sistem debisine, işletme basıncına ve işletme süresine bağlıdır. Enerji kazanımı; sistem debisinin, işletme basıncının, işletme süresinin azaltılması ile gerçekleştirilebileceği gibi sistem veriminin yükseltilmesiyle de gerçekleştirilebilir (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000,

Barutçu, 2005). Enerji ve su kullanımı açısından optimum verim, sistem işletme koşullarına bağlı olarak pompa istasyonunun hidrant seviyesinde gerekli minimum basınç değerine göre işletilmesiyle başarılabilir (Lamaddalena ve Piccinni, 1993; Ait Kadi ve ark., 1998; King ve Wall, 2000; Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Barutçu 2005).

Enerji tüketimini etkileyen bir diğer yaygın problem, çok yüksek basınç oluşumuna neden olan, sistemin aşırı boyutlandırılmasıdır. Sistemin tasarımı sırasında sulama sistem kayıplarına güvenlik payları da eklenmektedir. Pompa seçiminde gelecekteki ihtiyaçları da göz önüne almak için pompa debisinin %25, basınç yükünün %10 arttırılması yaygın bir uygulamadır. Bu işlem seçilen pompanın ihtiyaçtan çok daha büyük olmasına etki etmektedir. Bu uygulama ile pompalar en iyi verim noktalarından uzaklarda çalıştırılmakta, debi fazla geldiği için de vana kısılarak debiyi ayarlamak mecburiyeti doğmaktadır (Ertöz ve Duymuş, 2001) . Böylece enerji kayıpları oluşabilmekte ve düşük verimden dolayı daha fazla enerji gerekli olabilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Enerji Biriminin yaptığı bir araştırma, pompaların daha verimli kullanılmaları halinde %20 enerji kazanımı yapılabileceğini göstermiştir (KPPC, 2002).

Talebe dayalı basınçlı sulama sistemlerinde üreticiler ne zaman ve ne miktarda sulama suyu kullanacaklarına kendileri karar vermektedirler (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000). Enerji kullanımı ile ilgili olarak temel amaç enerji maliyetini en aza indirmek olacağından dolayı, üreticilerin davranışları mutlaka dikkate alınmalıdır. Sistemden eşzamanlı olarak faydalanan çiftçi sayısı sistemin verimini, performansını ve ekonomisini etkilemektedir (Oliveira ve ark., 2004). Şekil 1.1, eşzamanlı sulama yapan üretici sayısındaki artış ile sulama suyu maliyeti arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekildeki ilişkide eşzamanlı sulama yapan çiftçi sayısının bir işlevi olarak sadece elektrik enerjisi tüketimi dikkate alınmıştır.

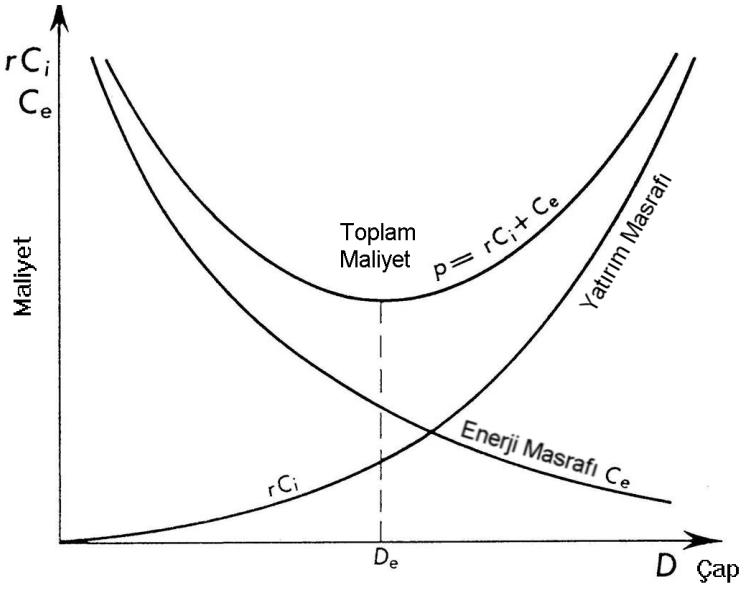


Şekil 1.1. Toplu basınçlı sulama yapılan bir bölgede sulama yapan çitçi sayısı ve su maliyeti ilişkisi (Oliveira ve ark., 2004)

Talebe dayalı basınçlı sulama sistemleri genellikle olasılık yaklaşımına göre dizayn edilmektedir. Clément (1966), her bir hidrantın bir çalışma olasılığına sahip olduğunu varsayarak eş zamanlı çalışan hidrantların maksimum sayısını hesaplayabilmek amacıyla bir yaklaşım geliştirmiştir. Eş zamanlı olarak çalışan hidrantların mekânsal dağılımına göre çeşitli akış rejimleri oluşabilmektedir (Ait Kadi ve Lamaddalena, 1991; Lamaddalena, 1997). Herhangi bir zamanda açık olan hidrant sayısı bilinmediğinden dolayı akış rastgele olarak dikkate alınmaktadır. (Lamaddalena, 1997; Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Pulido-Calvo ve ark., 2003). Debi ve basınç yükü ihtiyacı sulama sezonu boyunca; bitki deseni, bitki büyüme periyodu, bitki hasat zamanı, tarla içi sulama sisteminin tipi, arazi topografyası, meteorolojik koşullar, tarla içi sulama sisteminin etkinliği ve çiftçilerin sulamadaki davranışlarına göre değişebilmektedir (Hanson ve ark., 1996; Lamaddalena, 1997; King ve Wall, 2000; Pulido-Calvo ve ark., 2003).

Diğer taraftan, çoğu basınçlı sulama sistemi tasarımlanırken optimal boru çapı göz önüne alınmaktadır. Şekil 1.2, optimal boru çapının nasıl seçildiğini göstermektedir. Ancak, bu seçim enerji maliyetindeki ani dalgalanmaların neden olduğu enerji maliyet eğrisindeki kaymaları göz önüne almamaktadır. Bu durumda daha önceden dizayn edilmiş bir çok sulama sistemi optimum noktada çalışmamaktadır. Bu şartlarda, tüm sistemin yeniden değişmesi mümkün değildir.

Uygun modelleme ve yeni teknolojilerin enerji kazanımını sağlamak amacıyla birleştirilmesi gerekmektedir (Barutçu, 2005).



Şekil 1.2. Optimum boru çapı seçimi

Enerji tüketimini azaltmak için bazı teknikler kullanılmaktadır: Pompalanan su hacminin azaltılması, basınç yükünün azaltılması (örn. tank su seviyesi optimizasyonu) ya da enerji maliyetini azaltmak (örn. enerji maliyetinin yüksek olduğu pik saatlerde pompalamadan kaçınmak, depolama tanklarını etkin şekilde kullanmak; pik dönem dışında suyu depolayıp normal zamanda geri almak), pompanın veriminin yükseltilmesi (pompaları verimlerinin en yüksek olduğu noktaya yakın olarak çalıştırmak) vs. Bununla birlikte, yukarıda sayılan tüm bu pompa işletme teknikleri ve rezervuar kontrol sistemleri pompa karakteristik eğrisi ve sistem eğrisini tam olarak eşleştirememektedir. Sonuç olarak, sulama sistem eğrisinin ya da pompa karakteristik eğrisinin farklı işletme noktalarını yakalamak için değiştirilmesi gerekmektedir (Barutçu, 2005).

Bitkisel ürün verimini azaltmadan enerji maliyetini düşürmenin en etkin yolu performans ve verimi azaltmaksızın işletme basıncının düşürülmesiyle gerçekleştirilebilir. En uygun işletme noktası, pompa tarafından sağlanan enerji oranının sulama sistemi tarafından istenen enerji miktarına eşit olduğu zamanda

oluşmaktadır. Pompa çark çapı veya pompa hızı değiştirilerek sistemin en uygun işletme noktasında (Pompa H_m-Q eğrisiyle sistem yük eğrisinin kesiştiği nokta) çalıştırılabilmesi sağlanabilmektedir. Fakat pompa çarkı işletme sırasında değiştirilememekte ya da tıraşlanamamaktadır. Pompa çark çapındaki değişiklikler ancak pompanın sabit basınç ihtiyaçlarına uygunluğunu sağlamak maksadıyla yapılabilir (Nesbitt, 2001). Bu nedenle, işletme sezonu boyunca basınç ihtiyacındaki değişikliklere ancak pompa hızını değiştirerek cevap vermek önerilmektedir.

Değişken olmayan pompa hızlarıyla çalışılması durumunda, pompa debisi genellikle ana boru üzerindeki bir akış sınırlayıcı ya da vananın kısılması suretiyle ayarlanmaktadır. Çünkü sabit hızlı pompalar değişken işletme koşullarına uyum sağlayamamaktadır. Herhangi bir zamanda arzu edilen basınç yükü ihtiyacını karşılamak ve sürdürmek için, pompa hızını uyarlayan değişken hız sürücülerine, yani, Frekans Değiştirici (FD)'lere ihtiyaç vardır.

Yakın zamanlarda güç elektroniğindeki gelişmelerin sonucunda frekans değiştiriciler ile enerji kayıpları azaltılıp maliyet düşürüldüğü için pompaların değişken devirli olarak kullanılması yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu uygulamada devir sayısını azaltmak ve arttırmak mümkün olduğundan pompa seçiminde ilerideki ihtiyaçları göz önüne almak için büyük debili pompa seçmektense, kullanma şartlarına uygun pompa seçilerek sistem karakteristiğini değiştirmeden istenen debinin sağlanması mümkün olmuştur.

FD'li pompa istasyonu, işletilen pompa sayısını ve hızını sistem değişkenlerine adapte ederek sabit kontrol parametrelerinin devamını sağlayan bir sistemdir. Esas yararı Benzeşim Yasaları'ndan kaynaklanmaktadır. Böylece, sadece sistem ihtiyaçlarını tatmin edecek güç gereksinimlerini sağlamak için pompa kontrol avantajı elde edilmiş olmaktadır (Evans, 2011).

Hızdaki azalma, güç ihtiyacında önemli ölçüde azalmaya neden olmaktadır. Bu basit ilişki değişken hızlı pompa kullanımının esas nedenidir. (Nesbitt, 2001). Pompa hızı mekanik bir problem yaşanmaksızın geniş bir sınır içerisinde değiştirilebilmektedir. Hızın değiştirilmesi pompa ünitesinde hiçbir fiziksel bir değişiklik olmadan motor hızının elektriksel olarak değiştirilmesiyle gerçekleşmektedir.

Değişken hızlı pompalar; içme suyu dağıtım şebekelerinde ve atık su dönüşüm sistemlerinde daha önce kullanımı bilinen; ancak, sulama sistemleri için yeni sayılan bir teknolojik yeniliktir. Bu teknolojinin yararı sadece işletme süresi boyunca enerji kazanımıyla sınırlı değil, aynı zamanda pompa istasyonunun bakımıyla da ilgilidir. Ancak; bu teknolojinin kullanımı pompa istasyonlarında kapsamlı bir araştırma ve uygun bir yöntemin geliştirilmesiyle mümkündür.

Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Pompa İstasyonu bünyesindeki 6 adet santrifüj pompa ile yaklaşık olarak 3800 da alana hizmet eden önemli bir pompaj tesisidir. Her yıl 3800 da alan bu pompa istasyonundan sağlanan su ile sulanmaktadır. Pompa istasyonu kurulduğu yıldan bu yana sulama hizmetini yerine getiriyorsa da zaman içerisinde değişen şartlara uyum sağlayamamıştır. Tesis edildiği yıllara oranla bitki örtüsündeki değişim, pompaların aşınması, teknolojinin gelişimi ile birlikte bu pompaların hangi verim noktalarında ve hangi performansla çalıştığı bilinmemektedir.

Bu çalışma ile;

- Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Çiftliği Pompa İstasyonunun performans analizinin yapılarak çalışma koşullarını belirlemek,
- Değişken sulama suyu ihtiyacını karşılayacak gerekli minimum basıncı sağlayacak işletme metodunu geliştirmek,
- Yeni yöntem ile sistemin optimizasyonu yapılarak klasik uygulamaya kıyasla sağlanan enerji kazanım miktarını belirlemek
- İşletme karakteristiğine göre tasarım hataları var ise yeni yönteme göre uygun tasarım elemanlarının seçimini yapmak amaçlanmıştır.

Çalışmanın sonucunda, pompa istasyonunun yeni yönteme göre çalıştırılması halinde yüksek enerji potansiyeli içermesi, bölgedeki ve ülkemizdeki diğer büyük çaplı sulama sistemlerinin geliştirilmesinde rol oynayacaktır. Daha önceki yıllarda tesis edilmiş ancak günümüz koşullarına uymayan pompa işletmelerinin modifikasyonunda örnek teşkil edecektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Clément (1966), talebe dayalı basınçlı sulama sistemlerinin kapasitesinin hesaplanmasıyla ilgili olarak iki farklı model önermiştir. İlki, "Birinci Clément Modeli" olarak adlandırılmış olup olasılık yaklaşımına dayanmaktadır. Birinci model, talebe dayalı basınçlı sulama şebekelerinin tasarımında her bir şebeke hattındaki akışın eşzamanlı açık hidrant sayısına ve her bir hattaki debiye bağlı olarak gün içinde sabit olmadığı hipotezine dayalı olarak geliştirilmiştir. Buna göre her bir hidrant için iki olasılık mevcut olup hidrantın açık olma olasılığı p_i, kapalı olma olasılığı ise (1- p_i)'dir. İkinci Clément modeli, hidrantların açık ve kapalı olma durumuna göre sulama işleminin simülasyonuna dayanmaktadır. Model her bir hidrant için ortalama işletme süresinin tahminini kapsamaktadır.

Tezer (1978), pompaj tesislerinin proje, seçim ve işletme yöntemlerini incelemiştir. Santrifüj pompalarda debi, basınç, hız ve güç gibi karakteristik değerlerin çok geniş sınırlar içinde değiştiğini ifade etmiştir. Bu geniş sınırlar içerisinde bir pompanın tanımlanabilmesi, imalat ve seçimi için bazı kıyaslama değerlerinin kullanılması gerektiğini vurgulamıştır. Bu değerlerin, debi (Q), manometrik yükseklik (H_m), devir sayısı (n) ve çark çıkış çapı (D) gibi değişkenler yardımı ile elde edilebileceğini açıklamıştır. Araştırıcı, aynı yayınında, bir pompanın genel güç dengesini ve bir pompada meydana gelen güç kayıplarını ve nedenlerini ortaya koymuştur.

Clément ve Galand (1979), değişken hızlı pompalar ile regülasyondan istenilen faydaların elde edilebilmesini sağlayacak şartları bildirmişlerdir. Buna göre; (i) sulama sistem yük eğrisinin çok eğimli, pompa karakteristiğinin yatay bir seyir izlediği fazla enerji kaybının olduğu durumlarda, (ii) basınç yükünün yapılan işe ve sezona bağlı olarak çok değişken olduğu pompa istasyonlarında, (iii) agro-klimatik koşullar sonucu sulama yoğunluğunun çok arttığı durumlarda, değişken hızlı pompalardan beklenen faydaların elde edilebileceği belirtilmiştir.

Tezer (1979), pompaj tesislerinde başarı derecesinin düşüklüğünü üç temel nedene dayandırmıştır: Bunlar; (i) yapımdan doğan nedenler, (ii) tasarım ve seçimden doğan nedenler, (iii) işletme ve bakımdan doğan nedenler olarak

sıralanmıştır. Araştırıcı, yapımdan doğan nedenlerin, kuvvet makinası ve pompanın yapımında uygulanan teknolojiye endeksli olduğunu, pompalarda ise verimin, pompanın hidrolik, geometrik ve mekanik özellikleri tarafından etkilendiğine işaret etmiştir. Tesisin tasarımı ve tesis elemanlarının seçiminin başarı için daha önemli olduğunu vurgulamıştır. Mevcut koşullara uyan pompa ve kuvvet kaynağı seçimi için teknik gereksinmeler yanında her iki elemanın en yüksek verimle çalışabileceği işletme noktasının belirlenmesinin gerektiği kaydedilmiştir. Santrifüj pompaların en yüksek verimi sağladığı işletme noktası dışında geniş bir çalışma alanı bulunması nedeniyle bu işletme noktasının tesis koşullarına uyması gerektiği ifade edilmiştir.

Yazıcı (1979), çalışmasında; ölçüm hatalarından ve kabullenmelerdeki standart farklılıklarından bahsetmiştir. KSB firmasına ait bir pompa ile farklı ölçüm metotları kullanılarak yapılan denemelerde, manometrik yükseklikte %5, efektif güç değerinde %9, genel verimde %6.2 gibi dalgalanmalar tespit etmiştir. Türk Standartları Enstitüsüne göre, basma borusundaki manometre, boru çapının (1-4) katı ilerde, İngiliz standartlarına göre (1-3) katı ilerde, basma borusundaki vana, TS'ye göre boru çapının en az altı katı, İngiliz standartlarına göre en az üç katı ilerde olması gerektiğini ve burada standartlar arasındaki farklılığı belirtmiştir.

Jensen (1983), sulama sistemlerinin tasarım ve işletme kriterlerini açıklamış; planlama, sistem seçimi, toprak-su ilişkileri, su gereksinimi, pompaj sistemleri ve performans değerlendirmesi gibi konuları incelemiştir. Bir santrifüj pompanın karakteristik eğrilerini tanımlayarak pompa çalıştırılma düzenlerini ve sistem karakteristiğine göre pompa seçim kriterlerini açıklamıştır.

Little ve McCrodden (1989), su iletim sistemlerinde oluşan enerji maliyetinin %90'ının pompaj işlemi nedeniyle oluştuğunu bildirmiştir.

Lambeth ve Houston (1991), atık su ön temizleme işleminde değişken hızlı pompaların kullanımı ile sabit hızlı pompalara kıyasla %20 enerji kazanımı sağlanacağını bildirmiştir.

Lamaddalena ve Piccinni (1993), iletilen debinin fonksiyonu olarak çalışan değişken hızlı ve sabit hızlı pompalarla donanımlı iki farklı sulama pompa istasyonunu enerji maliyeti açısından karşılaştırmışlardır. Enerji kazanımının büyük

ölçüde debi değişimine bağlı olduğunu ve güç gereksiniminde %21 potansiyel kazanım olduğunu bildirmişlerdir.

Ormsbee ve Lansey (1994), sulama pompaj sistemlerinde optimal bir kontrol işleminin 3 ana bileşeni dikkate alması gerektiğini bildirmiştir. Bunlar; (i) sulama sistemi hidrolik modeli, (ii) talep tahmin modeli ve (iii) optimal kontrol modelidir.

Evans ve ark. (1996), Kuzey Karolina'da sulama amaçlı kullanılan pompa istasyonlarında yıllık maliyetin hektar başına 62 dolar olduğunu ve sulamanın çok büyük miktarda enerji harcadığını bildirmiştir. Sulamada kullanılan farklı pompa tiplerinin sahip olduğu verim aralıklarını ve tavsiye edilen minimum pompa verim değerlerini belirtmişlerdir. Santrifüj pompaların verimlerinin %55-85 aralığında çok değişken değerlere sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca elektrik motoru büyüklüğüne bağlı olarak karakteristik tam yük motor verimlerini ortaya koymuşlardır.

Bouabe (1996), bir sulama şebekesinin, yükseltilmiş rezervuar yerine değişken hızlı pompa istasyonuna dönüştürülmesi durumunda elde edilen enerji kazanımını değerlendirmiştir. Değişken hızlı pompaların kullanımı ile enerji tüketiminde önceki uygulamaya kıyasla %17 azalma sağlandığı açıklanmıştır. Çalışmada yağmurlama sulama sisteminin damla sulama sistemi ile yer değiştirilmesi ile ilgili bir hipoteze de yer verilmiştir. Bu durumda, enerji tüketiminde yaklaşık %34 azalma olacağı bildirilmiştir. Araştırıcı çalışmasında, regülasyon sistemlerinin sağladığı özellikleri; (i) talep edilen akış özelliklerine pompa grubunun otomatik olarak adapte edilmesi, (ii) herhangi bir sistem çalışma noktasında minimum basınç yükü koşullarının sağlanması, (iii) ekonomik koşullara en uygun işletme modelinin oluşturulması olarak sıralamıştır.

Hanson ve ark. (1996), farklı arazi koşullarında değişken hızlı pompalarla donanımlı pompa istasyonlarında bir araştırma yapmışlardır. Toplam beş arazinin her birinde 3 farklı deneme yapılmıştır. Öncelikle pompalar normal koşullar altında sabit hızlarla çalıştırılmış, ikinci olarak pompa hızları azaltılarak ve sonra debiler vana ile kısılarak çalıştırılmıştır. Sonuç olarak azaltılmış pompa hızları ile arzulanan debi ve basınç yükü değerinin tam olarak eşleştiği gözlenmiştir. Ayrıca %32 ile %59 arasında güç ihtiyacında azalma tespit etmişlerdir.

Yazıcı (1996), en iyi enerji kazanım noktasını gerçekleştirmek için pompa hızının değiştirilerek regülasyon yapılmasının daha iyi bir yöntem olduğunu bildirmiştir. Bu şekilde, düşük frekanslı akışlar ile dalgalanmaların önüne geçmenin daha uygun olduğu belirtilmiştir. Bunu başarmanın yolunun doğru akımlı motorlar ile çalışan pompaların kullanılması olduğu açıklanmıştır.

Lamaddalena (1997), COPAM (Combined Optimization and Performance Analysis Model) isimli bir bilgisayar yazılım modeli geliştirmiştir. Modelin; çoklu akış rejimi yaklaşımına göre sulama şebekesindeki optimal boru çaplarının seçimini, elde edilen sonuçlara göre sulama sisteminin performans analizini gerçekleştirdiği bildirilmiştir. COPAM'ın; (i) debi hesaplamaları, (ii) boru çapı hesaplamaları ve (iii) analiz adı altında üç farklı program setini aynı yazılım paketi içinde bulundurduğu vurgulanmıştır.

Kadi ve ark. (1998), su kulesi kullanılan basınçlı bir sulama sisteminin değişken hızlı pompalar ile yer değiştirmesi sonucundaki potansiyel enerji kazanımını incelemiştir. Toplam elektrik harcamalarında %16 azalma sağlandığı belirtilmiştir. Sulama sisteminin damla sulamaya dönüştürülmesi durumunda potansiyel kazanımların elektrik için yapılan tüm harcamalar içerisinde %18 olacağı açıklanmıştır.

Uyan (1998), yaptığı araştırmada, bir santrifüj pompaya ait tüm karakteristiklerin ortaya konulması için santrifüj pompa deney seti geliştirmiş ve bir santrifüj pompanın karakteristik eğrilerinin (basınç yükü-debi, güç-debi, verim debi, eşverim eğrileri) nasıl elde edildiğini açıkça bildirmiştir.

King ve Wall (2000), değişken hızlı pompaların bir center-pivot sulama sistemi üzerinde denemesini yaparak enerji kazanım potansiyelini incelemişlerdir. 392 m uzunluğundaki center-pivot sistem veri kaydedici ve kontrol ünitesi ile donatılmıştır. Araştırmada 4 farklı kontrol sistemi kullanılmıştır. Sonuç olarak sabit hızlı pompalara kıyasla sabit debi koşullarında %15.8 ve değişken debi koşullarında %20.2 enerji kazanımı sağlanmıştır. Ayrıca çalışmada, frekans değiştiricinin verimi de göz önüne alınmıştır. Bu durumda sırasıyla %7.5 ve %12.4 enerji kazanımı elde edilmiştir.

Lamaddalena ve Sagardoy (2000), talebe dayalı basınçlı sulama sistemlerinin performansının ortaya koyulması amacıyla bir bilgisayar modeli geliştirmişler ve modeli Akdeniz ikliminde çeşitli arazi koşullarında test etmişlerdir. Modelin sadece sulama şebekesinin zayıf noktalarını çok kısa sürede belirlemekle kalmayıp aynı zamanda değişen talep koşullarına göre pompa istasyonunun güç gereksiniminin de belirlenmesinde çok faydalı olduğu sonucuna varmışlardır. Araştırıcılar, debi ve basınç ihtiyacındaki değişimlerin pompa istasyonunun sadece enerji etkinliğini azaltmasını olumsuz etkilemediğini aynı zamanda uygulama oranını ve tarla dağılım tekdüzeliğini de olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Optimum verimin (enerji ve su kullanımı açısından) sistem işletme koşulları süresince hidrantta gerekli minimum basıncın devamlı sağlanmasıyla başarılabileceği bildirilmiştir. Bunun ise geleneksel pompaların değişken hızlarda işletilmesi ve hız kontrolünün uygun işletme metodolojisinin kurulmasıyla mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Ertöz ve Duymuş (2001), değişken devirli pompa seçiminin teknik ve ekonomik yönlerini incelemişlerdir. Değişken hızlı pompaların, değişen debi ihtiyaçlarını karşılamanın yanında bazı teknolojik zorunluluklar için de kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Bunlar: (i) Pompalarının çalıştırılma ve durdurulmalarında darbeyi önlemek, akıştaki dalgalanmaları azaltmak, (ii) yatay milli santrifüj pompalarda basma yüksekliği, çark çapının en küçük değerlerinde sağlandığı durumlarda, düşük verimde çalışmak yerine çarkın en iyi kısımlarını kesip atmadan yüksek verimli olarak daha düşük devirde pompaları çalıştırmak, (iii) debisi veya basma yüksekliği düşük olan pompayı değiştirmeden, motor gücü uygunsa veya yeni bir motorla biraz daha yüksek devirde çalıştırmak suretiyle sistem gereksinimlerini karşılamaktır.

Araştırıcılar aynı yayında, değişken devirli pompalarda frekans değiştiricilerin tam yükteki kayıplarının % 2-6 arasında olduğunu, devir sayısının azalmasıyla yükler de büyük ölçüde azalacağından hem elektrik motorunun hem de frekans değiştirici verimlerinin azalacağını ortaya koymuşlar,

Planells ve ark. (2001), talebe dayalı basınçlı sulama şebekelerinin, tasarımı ve işletilmesiyle ilgili olarak, üç temel yönünü incelemişlerdir. İlk önce, ortalama sistem akış oranının bir işlevi olarak her bir sulama setine verilecek debi miktarı

hesaplanmıştır. İkinci olarak, maksimum ve minimum talep eğrileri araştırıcıların kendi geliştirdikleri bir yöntemle belirlenmiştir. Üçüncü olarak ise, pompa istasyonunun yatırım maliyetlerini ve kullanım koşullarına bağlı işletme maliyetlerini en aza indirecek regülasyon ve boyutlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım talebe dayalı bir basınçlı sulama sistemi üzerinde; (i) biri değişken hızlı geri kalanlar sabit hızlı olmak üzere ve (ii) tüm pompalar değişken hızlı olmak üzere farklı şekillerde uygulanmış ve karşılaştırılmıştır. Tüm uygulamalarda, pompaların hepsinin değişken hızlı olarak çalıştırılması durumunda daha az enerji tüketimi gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

Araştırıcılar aynı çalışmada, basınçlı sulama sistemlerinde hidrantın arazideki konumuna bağlı olarak birim debi için basınç gereksiniminin değiştiğini, farklı hidrant konumlarının ve eşzamanlı olarak çalışan hidrant sayısının farklı işletme koşulları yarattığını bildirmişlerdir.

Hla ve Scherer (2001), Kuzey Dakota'da 37 pompa istasyonu (18'i yağmurlama sulama sistemi üzerinde ve 19'u yüzey sulama sistemi üzerine kurulu) üzerinde yaptıkları bir araştırmada, pompa istasyonlarının %46'sının standart dışı verim değerlerinde çalıştığını; sulama sisteminin gereksiniminden 7-14 kWh daha fazla enerji harcadıklarını bildirmiştir. Ayrıca, yağmurlama sulama sistemine servis yapan pompa istasyonlarının yüzey sulama sistemlerine servis yapanlara göre daha yüksek verimde çalıştıkları gözlemlenmiştir.

Nesbitt (2001), Pompa istasyonlarında enerji tüketimini etkileyen en yaygın problemin güvenlik payları, gelecek ihtiyaçlar ve yük kayıplarından kaynaklanan aşırı boyutlandırma olduğunu belirtmiştir. Çözüm olarak, pompa eğrisiyle sulama sistem eğrisinin eşleştirilmesi böylece verimin yükseltilmesi gerektiğini bildirmiştir.

KPPC (2002), frekans değiştiricilerin; arzulanan taleplere pompa hızlarını eşleştirmek suretiyle, devamlı kontrol sağlayabildiklerini, motor sistemi üzerinde daha az mekanik ve elektriksel stres oluşturduğunu böylece bakım ve tamir masraflarının azaldığını ve motor ömrünün uzadığını belirtmiştir.

Aynı yayında, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Biriminin yaptığı bir çalışmanın sonucu olarak, pompaların daha verimli kullanılmaları halinde %20 enerji kazanımı yapılabileceği bildirilmiştir.

Pérez ve ark. (2002), bir pompa istasyonunun optimum regülasyonu için bir yöntem sunmuşlar ve sundukları yöntemi 127.7 ha büyüklüğündeki bir arazide test etmişlerdir. Yöntem ilk aşamada maksimum ve minimum sistem talep eğrilerinin analizi ile başlamaktadır. İkinci aşama, günlük sulama talep eğrilerinin sulama zamanı ve otomasyon dikkate alınarak çizilmesidir. Belirlenen maksimum ve minimum talep eğrileri pompa istasyonunun boyutlandırılmasında başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Bu veriler programlanabilir bir cihaz içindeki PID (Oransal, İntegral, Türevsel) modülünün içine girilerek sabit ya da değişken hızdaki farklı pompaların çalışmasını kontrol etmektedir. Yöntem içinde, pompa istasyonu regülasyonu olarak, sabit manometrik düzenleme ve dinamik debi–basınç düzenlemesi olmak üzere iki seçenek sunulmuştur. Manometrik düzenleme, pompa istasyonunda 40 m sabit basıncı sağlamak üzere tasarımlanmıştır. Bu düzenlemede, 200 $l\,s^{-1}$ sistem debisinde bazı hidrantlarda basınç yetersizliği olduğu belirtilmiştir. Pompa istasyonundaki pompaların sadece bir tanesinin değişken hız sürücüsüne sahip olduğu düzenlemede, pompa istasyonu genel veriminin elektrik şebekesinden çekilen toplam enerjinin %65'i kadar olduğu kaydedilmiştir. Bu düzenlemede değişken hız sürücüsüne bağlı pompanın sabit hızlı pompalara göre %25 daha büyük seçilmesi gerektiği, böylece sıradaki pompanın devreye girmesi durumunda sistemden fazla akım çekilmesinden kaçınılacağı vurgulanmıştır. Pompa istasyonunda tüm pompaların değişken hızlı olduğu düzenleme ile sadece bir tanesinin değişken hızlı olduğu düzenleme arasında güç tüketimi yönünden bir fark olmadığı, sadece hepsinde değişken hız sürücüsü olmasının %40 daha fazla maliyetli olduğu bildirilmiştir. Bunun sonucunda araştırıcının değişken hız sürücüsü kayıplarını ihmal ettiği anlaşılmaktadır. Araştırıcılar, ayrıca çalışmalarında, sulama sistemi üzerinde bulunan hidrantların topoğrafik konumlarına göre basınçlı sulama sisteminin sağladığı birim debi için basınç ihtiyacının değişkenlik gösterebileceğini bildirmişlerdir. Aynı anda çalışan hidrantların sayısına ve bu hidrantların konumlarına bağlı olarak farklı işletme koşullarının oluştuğunu belirtmişlerdir.

Smajstrla ve ark. (2002), sulama pompa sistemlerinin verimleriyle ilgili olarak pompa istasyonunun tarla içi performansının değerlendirilmesi amacıyla bir

prosedür geliştirmiştir. Ayrıca, sulama pompa istasyonlarının standart altı çalışmasının nedenlerini ortaya koymuştur. Araştırıcılar;

- Verimsiz pompa ve güç ünitesi,
- Pompa ve güç ünitesinin kötü eşleştirilmesi,
- İşletme koşullarının değişmesi,
- İşletme debisinin ana vananın kısılmasıyla ayarlanması,
- Pompa emme hattı süzgecinin tıkanması,
- Aşınmış pompa çarkı,
- Derin kuyu pompalarında uygunsuz çark kullanımı,
- Sulama sisteminin farklılaşması (örneğin; yağmurlama sisteminden mini yağmurlama ya da damla sulama sistemine geçiş) gibi nedenlerden dolayı verimsiz olduğu sonucuna varmıştır

Türk Standartları Enstitüsü (2002), TS EN ISO 9906 standardında rotodinamik pompaların hidrolik kabul deneyleri açıklanmıştır.

Ackermann (2003), Bir sulama pompa sisteminin tüm ömür maliyeti içersinde başlangıç masraflarının %5, bakım-onarım masraflarının %10, enerji maliyetinin ise %85 yer tuttuğunu bildirmiştir.

Ertöz (2003), frekans değiştirici verimlerinin %96 - %98 arasında olduğunu, enerji tüketiminden sağlanacak kazancın aynı zamanda pompanın toplam basma yüksekliğinin statik basma yüksekliğine oranına da bağlı olduğunu kaydetmiştir. Statik basma yüksekliği arttıkça devir azalması ile pompa veriminin azaldığına işaret etmiştir.

Pulido-Calvo ve ark. (2003), farklı enerji tarifelerinin toplam sulama suyu kullanımının saatlik dağılımına etkisi üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Enerji tarifelerine temel olarak pik dönem, orta dönem ve pik dönem dışı zaman olmak üzere günü 3 parçaya bölmüşlerdir. Pik saatler enerji fiyatlarının en yüksek olduğu zaman dilimi ve pik periyot dışı saatler ise enerji fiyatlarının en düşük olduğu zaman dilimini ifade etmektedir. Çalışma sonucunda pik dönem dışı, normal dönem ve pik dönem günlük su kullanım oranları sırası ile %42, %55 ve %3 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, su kullanımının enerji tarifesinin yüksek olduğu

zamanlarda büyük oranda azaldığı fakat toplam su kullanımının büyük ölçüde aynı kaldığı bildirilmiştir.

Walski ve ark. (2003), Pompa Benzeşim Yasaları'nın değişken hızlı pompaların gerçek karakteristikleri ile uyumluluğunu belirlemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bunun için pompalar geniş bir debi ve hız aralığında test edilmişlerdir. Pompa basınç yükü–debi eğrilerinin benzeşim yasaları ile tam uyumlu olduğunu, verim eğrilerinde ise frekans değiştirici verim kaybından dolayı farklılık gözlendiğini saptamışlardır.

CENEf (2004), Moskova'da Krasnogorsk'ta 1997-2000 yılları arasında yapılan bir proje ile ev suyu dağıtım sistemlerinde otomatik kontrol ve enerji tasarrufu için değişken hızlı pompalar kullanılmıştır. Projenin sonucu olarak, evsel su iletim sistemlerinde değişken hızlı pompaların kullanımı ile elektrik tüketiminde %17 azalma sağlandığı bildirilmiştir.

Oliveira ve ark. (2004), eşzamanlı sulama yapan çiftçi sayısındaki artış ile sulama suyu maliyeti arasındaki ilişkiyi incelemiştir. İncelemede, eşzamanlı sulama yapan çiftçi sayısının bir işlevi olarak sadece elektrik enerjisi tüketimi dikkate alınmıştır. Eşzamanlı sulama yapan çiftçi sayısındaki artışın sulama suyu maliyetinde önemli ölçüde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada, her bir üreticinin kendi pompaj tesisi yerine merkezi pompa istasyonlarının bulunmasının avantajları belirtilmiştir. Bunlar; (i) enerjinin daha iyi kullanımı, (ii) koordinasyonun sağlanması, (iii) yüksek verime sahip daha büyük boyutlu pompa ve motorların kullanımı ve (iv) altyapı için daha az sermayeye ihtiyaç duyulması olarak değerlendirilmiştir.

Barutçu (2005), bir santrifüj pompaya ait eşverim eğrilerinin nasıl elde edileceğini ortaya koymuştur. Farklı pompa hız değerlerinde sağlanan basınç yükü–debi "H_m-Q" eğrileri, aynı skalaya sahip bir koordinat sistemi üzerinde verim-debi "η-Q" eğrileri ile birleştirilirse pompa eşverim eğrilerinin elde edilebileceğini bildirmiştir. Bunun için, öncelikle "H_m-Q" eğrilerinin, daha sonra aynı grafik üzerine "η-Q" eğrilerinin çizilmesi gerektiği, eğer "H_m-Q" eğrileri üzerinde gösterilen eşverim noktaları birbiriyle birleştirilirse eşverim eğrilerinin elde edilebileceğini yöntem olarak açıklamıştır.

Calejo ve ark. (2005), talebe dayalı basınçlı sulama sistemlerinde pik periyot süresince saatlik debi hidrograflarını hesaplamak amacıyla "IRDEMAND" olarak adlandırılan bir model geliştirmişler ve bu modeli Portekiz–Lucefecit basınçlı sulama şebekesinde test etmişlerdir. Geliştirilen model, deterministik ve stokastik bileşenleri benimsemiştir. Bunlar; (1) sulama zamanlarının sulanan çiftlik arazisi temelinde hesaplanması için toprak su dengesinin modeli kullanılarak simülasyonu, (2) ortalama saatlik debi, ekim zamanı, sulama derinliği, su uygulama randımanı ve süresine bağlı olarak her bir hidrant için sulamaya başlama zamanının tahmini, (3) sulama şebekesi debi hidrograflarının hesaplanması ve tarla düzeyindeki debi taleplerinin sistem ile bütünleştirilerek göreceli akış rejimlerinin hesaplanmasıdır. Araştırıcılar, su talebinin tahmini için önerilen yöntemin uygun olduğu ve yöntemin basınçlı sulama sistemlerinde saatlik olarak debi hidrografları üretebildiği sonucuna varmışlardır. Modelin farklı bitki desenleri, sulama stratejileri ve yönetim teknikleri için debi hidrograflarını tahmin edebildiğini böylece sulama sistemlerinin tasarımı ve işletmedeki sistemlerin performans analizi için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Çalışır ve ark. (2005a), sulamada kullanılan değişik anma çaplarındaki (Ø75-150) yatay milli kademesiz santrifüj pompaların özgül enerji tüketim değerinin traktör kuyruk milinden tahriklilerde ortalama 0.36 kWh m^{-3}, AC elektrik motoru ile tahrik edilen tiplerde ise 0.28 kWh m^{-3} düzeyinde olduğunu belirlemişlerdir. Pompa basma hattı borusunun anma çapının artmasıyla özgül enerji tüketiminin azaldığını vurgulamışlardır.

Çalışır ve ark. (2005b), Orta Anadolu koşullarında çalışan sulama amaçlı motopomp pompaj tesislerinin ortalama özgül enerji tüketim değerinin 0.79 kWh m^{-3} düzeyinde olduğunu belirlemişlerdir.

Khadra ve Lamaddalena (2005), pompa istasyonu seviyesinde debi hidrograflarının elde edilebilmesi amacıyla bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. "WinGenera" adlı modelin, hidrant düzeyinde bitki su ihtiyaçlarını belirleyerek bunları sulama şebekesi ile ilişkilendirdiği kaydedilmiştir. Modelin temel amacının pompa istasyonu seviyesinde debi hidrograflarının ve olası hidrant kombinasyonlarının üretilmesi olduğu belirtilmiştir.

Planells ve ark. (2005), pompa istasyonlarının regülasyonunda ve uygun şekilde boyutlandırılmasında yardımcı olması amacıyla bir karar destek sistemi geliştirmişler ve geliştirdikleri yöntemi İspanya'da turunçgil yetiştirilen 127.7 ha büyüklüğündeki bir araziye uygulamışlardır. Geliştirilen yöntemin toplam pompaj maliyetleri (yatırım ve enerji) ve operasyon kalitesi arasında en iyi dengeyi sağlamaya yönelik olduğu ifade edilmiştir. Araştıcılar kullandıkları yöntemde ilk olarak maksimum ve minimum sistem eğrilerinin analizini gerçekleştirmiş, ikinci olarak günlük talep eğrilerini sulama sistemine özgü koşulları dikkate alarak belirlemişler, son olarak işletme maliyetlerini en aza indirecek ve hizmet kalitesini sağlayacak sabit ve değişken hızlı pompaların sayısını ve tipini belirlemişlerdir. Araştırmanın sonucund; en uygun maliyetli çözümün bir veya iki adet değişken hızlı, geri kalanların sabit hızlı pompa kullanılması durumunda elde edildiğini kaydedilmiştir. Bu çözümde pompaların düşük güçlü olmasına rağmen sayıca fazla olmasının pompaların arızalanma durumunda operasyonun kesintiye uğrama riskini bertaraf ettiğini vurgulanmıştır. Sistemde iki adet değişken hızlı pompa bulunmasının birçok durumda sistem verimini artırdığı, artan yatırım maliyetlerinin azalan enerji tüketimi ile karşılanabileceği ayrıca iki adet değişken hızlı pompanın düşük sistem debilerine adaptasyonu kolaylaştırdığı ortaya konulmuştur.

Platts (2005), standart elektrik motorlarında motor yük oranındaki değişime bağlı olarak, yük oranının azalmasıyla motor veriminde düşüşler görüldüğü ancak enerji-etkin elektrik motoru kullanımında motor veriminin, genellikle %50 motor yük oranına kadar sabit kaldığı ve bu yük oranının altında keskin bir düşüş gösterdiğini bu nedenle değişken hız gerektiren endüstriyel işlerde enerji-etkin motor kullanılmasının daha iyi olacağını bildirmiştir.

Alegre ve ark. (2006), su tedarik hizmetleri için 170 adet performans göstergesi tanımlamışlardır. Pompaj sistemleri için 4 adet performans göstergesi saptanmıştır. Bunlar; (i) pompaj kullanımı (%); maksimum pompaj kapasitesinin gerçek kullanım yüzdesi, (ii) standartlaştırılmış enerji tüketimi (kWh/m^3/100m); 1 m^3 suyu 100 m yüksekliğe basmak için gerekli ortalama enerji miktarı, (iii) reaktif enerji kullanımı (%) ve (iv) enerji geri kazanımı (%); pompaj için toplam enerji tüketiminin

ters türbin pompalardan sağlanan yüzdesidir. Standartlaştırılmış enerji tüketimi, referans olarak 0.5 kWh/m^3/100 m olarak verilmiştir.

Khadra ve Lamaddalena (2006), bir sulama sistemine ait debi hidrografları ile ilgili olarak hiç bir bilgi mevcut değil ise, debi hesaplamasında toprak su dengesi yaklaşımının kullanılmasını önermişlerdir. Araştırıcılar, bu yaklaşımı esas alan "WinGenera" adlı yazılımı geliştirmişlerdir. WinGenera yazılımı hidrant seviyesinde su ihtiyacını belirlemek ve bunu sulama sisteminin bütünüyle ilişkilendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Yazılımın temel amacı, sulama sisteminin başında oluşan debi hidrograflarını üreterek böylece olası debi konfigürasyonlarını oluşturmaktır.

Barutçu ve ark. (2007), talep esaslı basınçlı bir sulama şebekesinde enerji kazanımının sağlanması için gerekli ölçütleri incelemişler ve enerji kazanımı için yeni bir metodoloji geliştirmişleridir. Araştırıcılar, geliştirdikleri yöntemi pilot bir sulama sistemi üzerinde test ederek analiz etmişlerdir. Çalışmanın gerçekleştirildiği pompa istasyonu, 2 adet dikey milli santrifüj pompaya sahip olup, her iki pompa frekans değiştiriciye sahiptir. Kullanılan yöntemde, değişken hızlı pompalar ardışık olarak çalıştırılarak, klasik pompa uygulamalarına (sabit hızlı) kıyasla elde edilen enerji kazanımı belirlenmiştir. Kullanılan yöntemde, değişken hızlı pompalar sistem debisine göre regüle edilmiştir. Dolayısıyla, frekans değiştiriciler debimetreden gelen sinyale göre pompa hızını ayarlamaktadır. Pompa istasyonu sabit, tek bir manometrik ayar basıncına göre düzenlenmemiş olup, sulama sistemi talep eğrisine göre dinamik bir regülasyon uygulanmıştır. Böylece, sadece sistemin ihtiyacı olan basınç yükü pompa istasyonunda sağlanmıştır. Sonuç olarak, sabit hızlı pompa istasyonlarına kıyasla %32.9 enerji kazanım potansiyelinin olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmanın sonucunda değişken hızlı pompa istasyonunun finansal olarak uygulanabilir ve ekonomik olduğu bulunmuştur. Geri ödeme süresi normal şartlar altında yaklaşık 8 yıl olarak bulunmuştur.

Calejo ve ark. (2008), Güney Portekiz'de, Lucefecit Basınçlı Sulama Şebekesi'nin analizi ve hidrolik performansının değerlendirilmesi amacıyla iki simülasyon modelini (ICARE ve AKLA) kullanmışlar ve karşılaştırmışlardır. Model ICARE, sınıflandırılmış sulama sistem karakteristik eğrileri ile sulama sisteminin genel performansını değerlendirirken, model AKLA, hidrant düzeyinde göreceli

basınç açığının ve güvenilirliğin tespit edilmesini sağlamaktadır. Her iki model de hidrantlardaki akış oranının bilindiğini ve sabit olduğunu varsaymaktadır. Araştırıcılar, model ICARE ve AKLA'nın basınçlı sulama sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde çok faydalı olduğunu bildirmişlerdir. Model ICARE ile yapılan analizler de mevcut sulama sisteminin tasarım değerlerinin maksimum akış koşulları için yeterli olmadığı tespit edilmiş ancak bu analizin hidrantların performansı hakkında herhangi bir tespit içeremediği, Model AKLA'nın ise hidrant seviyesinde göreceli basınç açığı ve güvenilirlik ile ilgili bilgi sunduğu araştırıcılar tarafından vurgulanmıştır.

Moreno ve ark. (2007), pompa istasyonlarında enerji verimliliği analizi için bir model geliştirmişlerdir. Modelin, gerçek su talep senaryoları için enerji maliyetini en aza indirecek pompa çalışma sıralarının belirlenmesine izin vereceği kaydedilmiştir. Model, Tarazona de La Mancha (İspanya) pompa istasyonunda, her bir pompa için hidrolik ve elektriksel parametreler ölçülerek kalibre edilmiştir. Araştırıcılar yaptıkları çalışmada, pompaların teorik eğrilerini dikkate almışlardır. Dolayısıyla, sadece pompa ve motor verimleri göz önüne alınmıştır. Bu yöntem ile enerji kazanımının sadece pompaların işletmeye alınma sırasının geliştirilmesi ile enerji kazanımının elde edildiği ifade edilmiştir. Çalışmanın yapıldığı pompa istasyonu, 10 adet 103 kW'lık pompaya sahip olup bunlardan 2 adedi değişken hızlı iken geri kalanlar sabit hızla çalışmaktadır. Tüm pompalar bir PLC ile kontrol edilmektedir. PLC, değişken ve sabit hızlı pompaların (62 m basınç yüküne göre) harekete geçme sırasını kontrol etmektedir. Çalışma sonucunda pompa istasyonunun işletme düzeninin değiştirilmesi ile %16 ekonomik kazanımın elde edildiği saptanmıştır.

Planells ve ark. (2007), talebe dayalı basınçlı bir sulama sisteminin toplam maliyetini (yatırım ve enerji maliyeti) en aza indirebilmek için sulama sistem planını ve boru çaplarının optimizasyonunu da göz önüne alan bir prosedür geliştirmeyi amaçlamıştır. Araştırıcının optimizasyon süreci üç aşamayı içermektedir. İlk olarak, en yüksek debi talebi koşullarında sistem planına ve boru boyutlarına göre boru maliyeti belirlenmiştir. İkinci olarak, enerji ve yıllık pompaj yatırım maliyetleri değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada, en düşük toplam maliyet belirlenmiştir. Bu metodun farklı sulama suyu dağıtım sistemlerinde kullanılabileceği bildirilmiştir.

Rodríguez Díaza ve ark. (2007a), iklim değişikliğinin sulama suyu talebine etkisini modelleyip haritalamışlardır. Bitki örtüsü ve coğrafik bilgi sistemleri kombinasyonlarının kullanımı ile agroklimadaki (toprak nemi gereksinimini belirleyen iklim değişkenleri) ve sulama ihtiyacındaki değişikliklerin boyutsal etkisini gösteren haritalar üretilmiştir. Sulama suyu ihtiyacının modellenmesi sonucunda, 2050'lerde konuma ve bitki desenine bağlı olarak sezonsal sulama ihtiyacında %15-20 arasında bir artış olacağı belirtilmiştir. Bunun sonucu olarak sulama sistemlerinin daha uzun süren ve yüksek pik dönemlerine göre tesis edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Rodríguez Díaza ve ark. (2007b), bir sulama sisteminde, sulama sezonu boyunca herhangi bir zamanda akan suyun debisinin hesaplanması ve sulama sezonunun simüle edilmesi amacıyla bir simülasyon modeli geliştirmişler, modelden elde edilen sonuçlar kullanılarak su talep frekanslarının tahmin edilebileceğini bildirmişlerdir. Araştırıcılar, modelden elde ettikleri sonuçları Clément ve Mavropoulos formüllerinden elde edilenlerle karşılaştırmışlar, böylece hangi modelin daha gerçekçi ve tatmin edici olduğunu ortaya koymaya çalışmışlardır. Geliştirilen model çeşitli aşamaları içermektedir. Bunlar; her bir tarım arazisinin bitki tipine ve sulama sistemine göre sektörlere ayrılması, her bir sektör için bitki yetiştirme takviminin belirlenmesi, bitki su ihtiyacının hesaplanması, sulama sektörlerine ve bitkiye göre sulama prosedürünün kurulması, her bir sulama sektörü için toprak su dengesinin kurulması, frekans eğrilerinin elde edilmesi ve farklı modellerin karşılaştırılmasının yapılmasıdır. Araştırıcılar, sulama sezonunun simülasyonu ile her bir işletme tarafından günlük olarak tüketilen su miktarının bilindiğine; sulamanın gün içinde ne zaman yapılacağına modelin kendisinin karar verdiğine işaret etmişlerdir. Böylece, sulamanın başlangıç ve bitiş zamanları bilindiği için, saatlik olarak sistemden talep edilen debi tahmin edilebilmektedir. Araştırıcılar bu verileri kullanarak, Clément ve Mavropoulos'un pik periyod olasılık eğrileri, frekans eğrileri ve saatlik talep eğrilerini simülasyon modeli yardımıyla belirlemişlerdir. Su talebinin gün içinde iki pik zamanda (sabah-öğle arası ve akşamüstü) yoğunlaşmasından dolayı, istatistiksel metotların talebi biraz düşük tahmin ettiğini ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte, adı geçen modeller ile

hesaplanan tasarım debilerinin sulama sistem tasarımında geçerli bir değer olduğunu özellikle Clément formülünün kullanımının iyi bir tasarım ölçütü oluğunu bildirmişlerdir. Mavropulos'un metodunun az sayıda hidrant bulunan sistemler için çok uygun olmadığını ancak çok sayıda hidrant bulunan sistemler için kabul edilebilir olduğunu ortaya koymuşlardır.

Rodríguez Díaza ve ark. (2009), İspanya'nın Palmera sulama bölgesinde yaptıkları bir çalışmada, basınçlı sulama şebekesinin enerji gereksinimi açısından analizini gerçekleştirmişlerdir. Sulama şebekesinin, hidrolik simülatör EPANET modeline dayanan, çeşitli su talep seviyeleri için dört alternatif yönetim senaryosu kullanılarak simülasyonu yapılmıştır. Birinci senaryo mevcut durum olup, tüm hidrantlarda aynı anda minimum basınç yükünü karşılayacak, pompa istasyonu seviyesinde sabit bir basınç yükünü ifade etmektedir. İkinci senaryo "dinamik basınç yükü" olarak adlandırılmış olup birinci senaryo ile benzerlik göstermekte, ancak bu senaryoda sadece işletmede olan hidrant kombinasyonlarında minimum basınç yükü koşulları sağlanmaktadır. Böylece yüksek basınç yüküne ihtiyaç duymayan hidrantlar açık olmadığı zaman pompa istasyonu seviyesindeki basınç yükü de azalmaktadır. Üçüncü senaryoda, sulama şebekesi arazi yükseklik kodlarına göre iki bağımsız sektöre ayrılmış, sulama süresi diğer senaryodakilerin aksine 24 h yerine 12 h olarak uygulanırken debi iki katına çıkarılmıştır. Pompa istasyonu seviyesindeki basınç yükü en fazla basınç isteyen hidrantlara göre sabitlenmiştir. Senaryo 4, Senaryo 3'ün benzeri olup pompa istasyonundaki basınç yükü dinamik olarak sadece açık olan hidrantlarda minimum basınç yükünü karşılayacak şekilde ayarlanmıştır. Sonuç olarak, enerji tüketiminde Senaryo 3 ile %20 oranında azalma olduğu, dinamik basınç yükü kontrolünün uygulandığı Senaryo 4 ile enerji kazanımının %30'a kadar arttığı bildirilmiştir.

Moreno ve ark. (2009), pompaların teorik karakteristiklerinin ve verim eğrilerinin, işletmedeki pompa sayısının ve bir pompa istasyonunun işletme maliyetlerinin azaltılmasında kullanılan frekans değiştirici sayısının belirlenmesinde bir karar destek mekanizması geliştirmek amacıyla bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntem, İspanya'nın Cuenca Bölgesi'nde 170 ha'lık "La Pinada" sulama alanı ve pompa istasyonuna uygulanmıştır. Pompa istasyonu, 4 adet 33 kW'lık pompa ve

bunların ikisine bağlı frekans değiştiricilere sahiptir. Pompa istasyonu 51 mSS monometrik basınç yükünü sağlamak üzere (hidrant seviyesinde minimum 25 mSS) tesis edilmiştir. Model, pompa H_m–Q ve Q–η eğrilerini, pompa sayılarını, basınç yükünü ve sulama sezonu boyunca debi dağılımını giriş verisi olarak kullanmaktadır. Model, benzeşim yasalarını kullanarak değişken hızlı pompaların davranışını ve sabit pompaların işletme noktasını simüle etmektedir. Böylece debi–verim ilişkisi oluşan tüm debi aralığı için hesaplanabilmektedir. Model, sistem eğrilerinin elde edilmesinde Lamaddalena ve Sagardoy (2000) tarafından önerilen yöntem uygulanmıştır. Araştırıcılar, pompa istasyonunda kullanılan pompa sayısı arttıkça işletme noktasının, maksimum verim noktasına daha yakın olduğunu tespit etmişlerdir. Sulama sezonu boyunca debi dağılımının, seçilecek pompaların optimal karakteristiği ve verim eğrileri üzerine önemli bir etkiye sahip olduğunu değerlendirmişlerdir. Pompa istasyonunun az sayıda pompa ile tesis edilmesi durumunda, optimal karakteristik eğrilerin dikkate alınan debi dağılımına bağlı olarak farklı olduğu sonucuna varmışlardır. Düşük debilerin yüksek frekans değerine sahip olduğu durumlarda, optimal H_m–Q eğrisinin üniform debi dağılımına kıyasla daha dik olduğu tespit edilmiştir. Pompa H_m–Q eğrisinin dik olması durumunda, işletme noktasının pompa verim eğrisinin azalan bölgesinde olduğu, H_m–Q eğrisinin üniform debi dağılımına bağlı olarak daha düz olması halinde işletme noktasının maksimum verim bölgesinde olduğu kaydedilmiştir. Araştırıcılar buna bağlı olarak, pompalar seçilirken işletme noktasının, maksimum verim bölgesinde veya verim eğrisinin azalan bölgesinde olması gerektiğini ancak hiçbir zaman verim eğrisinin yükselen bölgesinde olmaması gerektiğini belirtmişlerdir. Optimal pompa sayısının belirlenmesinde enerji ve maliyet analizinin yapılması gerektiği kaydedilmiştir. Pompa seçiminin doğru yapılması halinde, ortalama enerji kullanımı açısından bir veya iki değişken hızlı pompanın ardışık olarak kullanılmasının önemli bir farklılık yaratmadığı ancak pompaların hatalı seçimi halinde ikinci bir frekans değiştiricinin pompa enerji verimini geliştirdiği değerlendirilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü pompa istasyonunda önerilen yöntemin uygulanması halinde, şebekeden çekilen ortalama gücün 69.1 kW'tan 46.8 kW'a düştüğü böylece pompa istasyonunda %32.3 enerji kazanımı sağlandığı bildirilmiştir.

Moreno ve ark. (2010), Sulama birliklerinde enerji verimliliğini artıracak bir yöntem geliştirmişler ve geliştirdikleri yöntemi İspanya'nın Castilla-La Mancha Bölgesinde bulunan 15 sulama birliğinde test etmişlerdir. Sulama birliklerinin performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak amacıyla, 19 adet gösterge belirlenerek kullanmışlardır. Bu göstergeler ile sulama birliklerinin enerji tüketimi, enerji verimliliği ve enerji maliyeti değerlendirilmiştir. Sulama şebekelerinin hidrolik simülasyon modellerinin geliştirilerek, yönetim koşullarına göre, sulama sistem performansının değerlendirilmesinde EPANET (Rossman, 2000) yazılımını kullanılmışlardır. Pompa karakteristikleri ve verim eğrileri, pompa sayısı, basınç yükü ve sulama sezonu boyunca gerçekleşen debi hidrografları (ölçülen veya istatistiksel dağılıma göre gerçekleşen) değişkenlerini kullanan bir model ile Pompa istasyonu enerji verimliliğini saptamışlardır. Araştırmanın sonucunda, sulama birliklerinin genel enerji verimliliği %47.9 olarak bulunmuştur. İspanya Endüstri Bakanlığı sulama birlikleri için enerji verimliliğinin %50 ve üzerinde olmasını "çok iyi" olarak değerlendiren bir ölçüt tanımlamıştır. Bu nedenle, araştırıcılar sulama birliklerinin ortalama verimlerinin iyi olduğu sonucuna varmışlardır. Geliştirilen yöntemin sulama birliklerine uygulanması durumunda ortalama enerji kazanımının %9.5 ve ortalama ekonomik kazanımların %14.6 oranında arttığı tahmin edilmiştir. Pik saatler dışında sulama ve enerji fiyatlarındaki oran farklılığından dolayı, ortalama ekonomik kazanımların ortalama enerji kazanımından daha yüksek bulunduğu belirtilmiştir.

Lamaddalena ve Khila (2011), enerji tüketimini optimize edecek en iyi pompa istasyonu işletme modelini belirlemek amacıyla farklı iki arazide bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırıcılar, değişken hızlı pompalar kullanarak debi ve basınç gereksinimini tüm sulama sezonu boyunca pompa sistemi karakteristik eğrileri ile eşleştirmişlerdir. Pompa karakteristik eğrileri değişken hız teknolojisine dayanan çeşitli regülasyon tipleri kullanılarak sulama sistem eğrileri ile eşleştirilmiştir. Her bir teknik ile elde edilen enerji kazanımı Güney İtalya'da "Capitanata Sulama Birliği"nin yönettiği iki sulama bölgesinde (564 ha ve 445 ha) test edilmiş ve ölçülmüştür. Pompa istasyonunda biri yedek olmak üzere ve toplam 4 adet yatay milli santrifüj pompa bulunmaktadır. Pompa istasyonu, sulama sistem girişinde sabit basınç yükünü sürdürecek şekilde 1. sulama bölgesi için 65 mSS, 2. sulama bölgesi

için 43 mSS basınç yükü için tesis edilmiştir. Çalışmada 3 farklı değişken hızlı regülasyon gerçekleştirilmiş olup bunlardan birincisinde sadece 1 pompa frekans değiştiriciye bağlı, diğeri tam hızda çalıştırılmıştır, ikinci tip regülasyonda, her bir pompa ayrı olarak frekans değiştiricilere bağlanmış ve ardışık olarak çalıştırılmıştır. Üçüncü tip düzenlemede ise, her iki pompa ayrı ayrı frekans değiştiricilere bağlanmış, sistem ihtiyacına göre aynı hızlarda eş zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Regülasyon 1 ile her iki sulama bölgesinde %24 ve %30, regülasyon 3 ile yaklaşık %27 ve %35'lik enerji kazanımı sağladıkları bildirilmiştir. Regülasyon 2'nin enerji kazanımı açısından regülasyon 1'e kıyasla aralarında bir fark olmadığı ve bu işletme modelinin uygulanması için çok daha gelişmiş yazılımlara ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

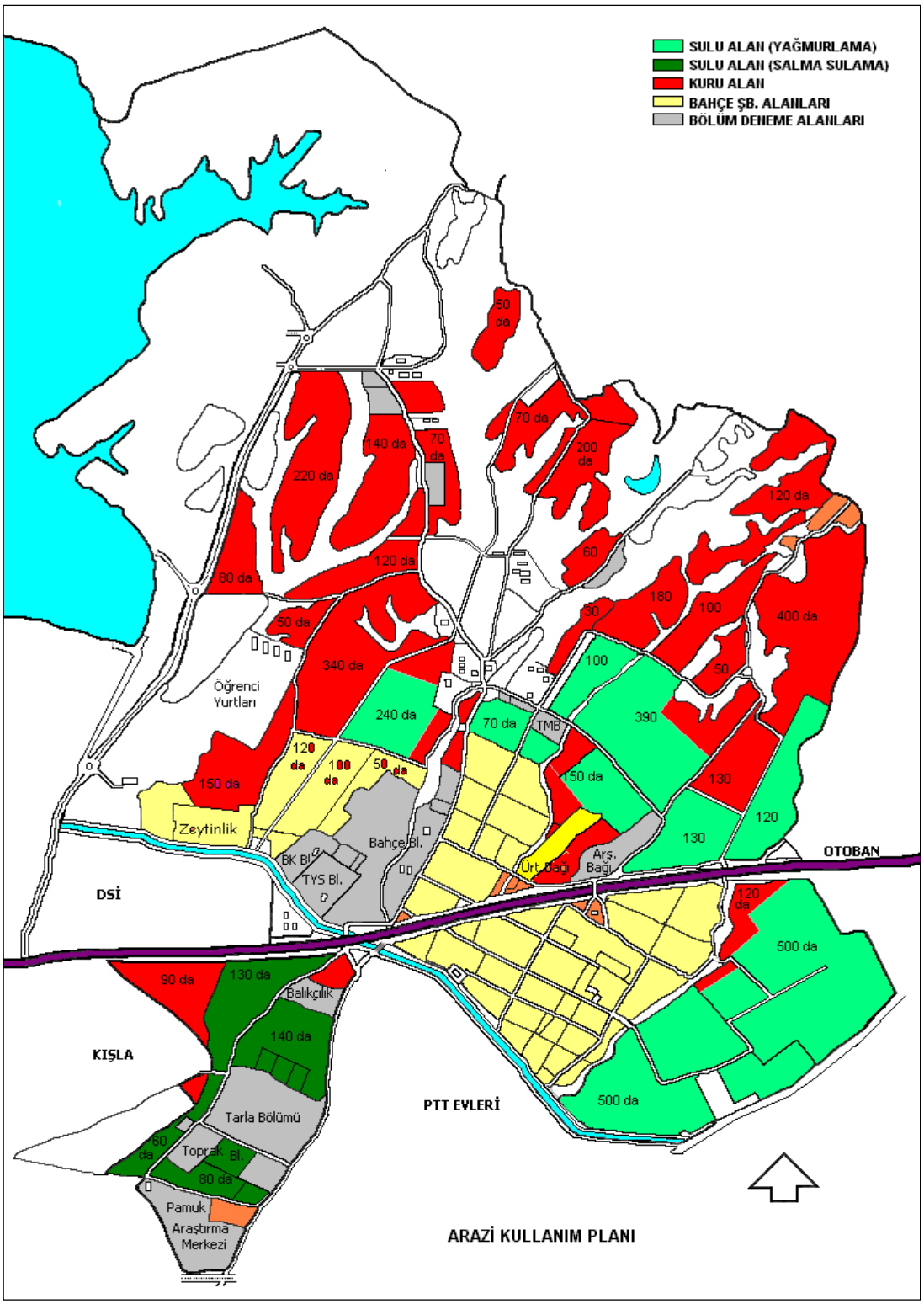
3.1.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Çalışma Alanı, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Çiftliği Pompa İstasyonu ve bu pompa istasyonunun hizmet ettiği 3810 dekarlık tarım arazisini kapsamaktadır (Şekil 3.1). Çalışma konusu tarım arazisi önemli bir kısmı düz kalanı da engebeli topoğrafya arasında bir dağılıma sahiptir. Çalışma alanının deniz seviyesinden yüksekliği 46 m'den 75 m'ye kadar değişkenlik göstermekte olup ortalama rakım 60.5 m'dir. Pompa istasyonundaki piyezometrik yükseklik 46 m'dir.

Çalışmaya konu alanda tek ve çok yıllık tarla bitkileri ve bahçe bitkileri ürünleri yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bitki örtüsü; narenciye, buğday, yonca, mısır, fiğ, üzüm, nar, ikinci ürün mısır gibi yetiştirme sezonları birbirinden farklı bitkilerden oluşmaktadır.

Pompa istasyonu, birbirinden bağımsız iki sulama sistemine servis yapmaktadır. Her bir sulama sisteminde 32 adet hidrant bulunmakta olup, toplamda 64 adet hidranttan oluşmaktadır. Toplam sulanabilir alan 3810 dekardır (Şekil 3.2). Pompa istasyonunun servis yaptığı birinci sulama hattı M-1, toplam 1980 dekarlık bir araziyi sulamaktadır. Diğer sulama hattı M-2 ise, 1830 dekarlık bir alanı kapsamaktadır. Hidrantların nominal debisi 12 $l\,s^{-1}$ olup hidrantta gerekli minimum basınç yükü 30 mSS'dur. Her bir hidrant 5 hektar ile 12,6 hektar aralığında değişen büyüklükteki arazilere hizmet etmektedir. Sulama suyu kaynağı, DSİ sulama kanalına bağlı bir rezervuar olup, kapasite problemi bulunmamaktadır.

Sulama boruları asbestli çimento boru olup, her iki sulama hattı pompa istasyonu çıkışında 500 mm'lik bir çapa sahiptir. Tarla içi sulama sistemini ağırlıklı olarak yağmurlama ve damla sulama sistemleri oluşturmaktadır; çok az bir kısım ise yüzey sulama sistemleri ile sulanmaktadır. Çalışmaya konu sulama projesi şebeke planı 1:40000 ölçeğinde ekte sunulmuştur (EK 12).



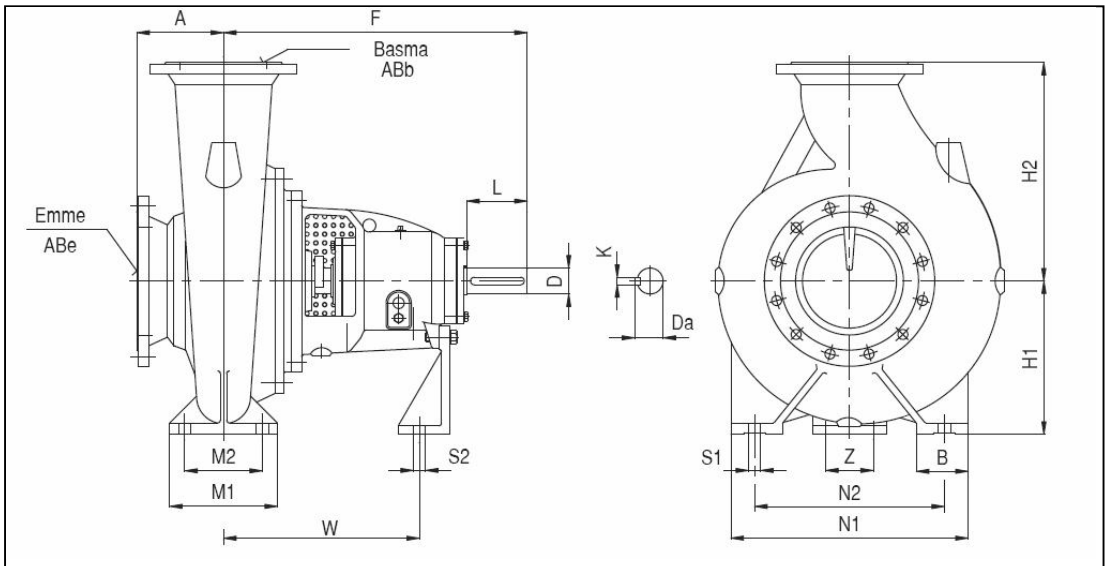
Şekil 3.1. Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliği 2008-2009 üretim yılı arazi kullanım planı



Şekil 3.2. Çalışma alanına ait bir hava fotoğrafı ve sulama hatlarının temsili konumu

3.1.2. Pompa İstasyonu

Çalışmaya konu pompa istasyonunda 6 adet yatay milli santrifüj pompa bulunmaktadır. Pompalar Türbosan firmasınca imal edilmiştir; 4 adeti Norm 200/500 tipinde, iki adeti ise Norm 250/500 tipindedir. Pompa istasyonu içerisinde bulunan pompalara ve elektrik motorlarına ait teknik veriler Şekil 3.3, Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu pompalardan 2 adeti M-1 sulama hattına, 3 adeti M-2 sulama hattına, 1 adeti ise her iki sulama hattına servis yapacak şekilde paralel olarak düzenlenmiştir (Şekil 3.4). Pompalar 1450 min^{-1} nominal hıza sahip olup 160 kW güce sahip elektrik motorları ile çalıştırılmaktadır.



Model	ABb	ABe	A	F	H1	H2	B	M1	M2	N1	N2	S1	S2	D	DA	K	L	W	Z
Norm 200/500	200	250	210	785	400	500	160	300	240	720	600	M24	M20	70	74,5	20	140	541	190
Norm 250/500	250	300	240	785	425	545	160	300	240	720	600	M24	M20	70	74,5	20	140	541	190

Şekil 3.3. Pompa Norm 200/500 ve 250/500 modelleri ve teknik ölçüleri

Çizelge 3.1. Pompa istasyonunda kullanılan pompalara ait teknik özellikler

Model	Nominal Hız [min^{-1}]	Basınç yükü, [mSS]	Debi [$m^3\ h^{-1}$]	Emme/basma flanş ölçüleri
Norm 200/500	1480	83.6	446.3	∅250/200
Norm 250/500	1480	59	583.2	∅300/250

Çizelge 3.2. Pompa istasyonunda kullanılan elektrik motorlarına ait teknik özellikler

Senkronize hız n_s= 1500 min^{-1} (2p = 4 kutup)							
Model	Nominal Güç	Nominal Hız	Verim	Güç Faktörü	Nominal Akım	Gerilim	Ağırlık
315M	P_n [kW]	n [min^{-1}]	η [%]	cosφ	In [A]	[V]	[kg]
	160	1484	94	0.89	291	380/660 V	1180

Pompa istasyonu, her bir pompanın basma hattı üzerinde birer mekanik manometre ile donanımlıdır. Ayrıca elektrik panosu üzerinde anlık gerilim ve akım şiddeti ölçümlerinin yapılabileceği analog ölçüm cihazları bulunmaktadır.



Şekil 3.4. Çalışmaya konu pompaj tesisi ve pompaların yerleşimi

Debimetre

Sulama sistemi üzerinde basma hattı boyunca sistem debisini ölçmek amacıyla herhangi bir düzenek bulunmamaktadır. Basma hattı boru çapının büyük boyutlarda olması, flanşlı debimetre kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle, pompaların çalışma karakteristiklerinin belirlenmesi ve sistem debisinin ölçülmesi amacıyla ultrasonik debimetre kullanılmıştır (Şekil 3.5). Ultrasonik debimetreler ölçüm yapılacak boru üzerinde herhangi bir işleme gerek kalmaksızın borunun dışından ölçüm işlemini gerçekleştirmektedirler. Çalışmada kullanılan ultrasonik debimetrenin özellikleri aşağıda sıralanmıştır (Çizelge 3.3).



Şekil 3.5. Krohne UFM 610P ultrasonik debimetre

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan ultrasonik debimetreye ait teknik veriler

Akış oranı (debi) sınırları	0.1 – 100000 $m^3\ h^{-1}$,
Eşdeğer akış hızı:	0.2 - 7 $m\ s^{-1}$
Boru çapı	13 – 5000 mm (13-1000 mm standart)
Çelik boru et kalınlığı	< 75 mm
Boru malzemesi	Metal, plastik ve iç / dış kaplanmış borular
Ölçme hatası	$v \geq 1\ m\ s^{-1}$: ölçülen değerin ± %2.0'si $v < 1\ m\ s^{-1}$: ± 0.02 $m\ s^{-1}$
Tekrarlanabilirlik	Ölçülen değerin ± %0.5
Ortam sıcaklığı	-25°C'den + 60°C'ye kadar
Sensör ölçme sıcaklıkları	-20°C'den + 200°C'ye kadar
Re	>10000 sıvılar için
Güç kaynağı:	90-257 VAC, 50 / 60 Hz, güç tüketimi: 9 VA

Güç analizatör cihazı

Pompa ve elektrik motoru çalışırken elektriksel parametrelerin doğrudan ölçülmesinde "HT Vega 76" model bir güç analizatör cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.6). Cihaz akım şiddeti, gerilim, güç ve enerji ölçümlerini gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 3.6. HT Vega 76 serisi güç analizatör cihazı

3.2. Metot

Sulama pompa istasyonları genel olarak belirli bir sistem debisi ve basınç yüküne göre dizayn edilmekte ve pompalar bu tasarım parametrelerine göre seçilerek sabit hızlarda çalıştırılmaktadır. Tasarım hatalarının olması veya işletme koşullarının (iklim, bitki örtüsü, sulama sisteminin değiştirilmesi vs.) zaman içinde değişmesi sonucunda pompa istasyonundan istenilen verim elde edilememekte; bu durum fazla enerji tüketimine yol açmaktadır. Çalışmaya konu pompa istasyonunda üç farklı senaryoya göre, alternatif sistemlerin enerji gereksinimi hesaplanarak sabit ve değişken hızlı pompa işletme modellerinin enerji gereksinimi ve maliyeti bakımından kıyaslaması yapılmıştır. Senaryolar aşağıda tanımlanmıştır.

Senaryo 1: *Çalışmaya konu pompa istasyonundaki pompaların arazi şartlarındaki pompa testlerine dayalı karakteristikleri dikkate alınarak sabit ve değişken hızlı pompa operasyonlarının (regülasyon 1'e göre) enerji gereksiniminin karşılaştırılması ve ekonomik analizi*

Bu senaryo altında değişken hızlı pompa işletme modeli aşağıdaki biçimde uygulanmış ve "regülasyon 1" olarak adlandırılmıştır.

Regülasyon 1: Pompa istasyonunda her bir sulama hattı için, sadece tek bir pompanın frekans değiştiriciye bağlı olarak değişken hızda, geri kalan pompaların sabit hızda çalıştırılması

Pompa istasyonlarında enerji gereksinimi hesaplanırken birçok araştırıcı FD kayıpları ile motor ve frekans değiştiricilerin yük durumuna bağlı verim kayıplarını dikkate almamaktadır. Bu duruma dikkat çekebilmek ve bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla bu çalışmada Senaryo 1 altında yapılan hesaplamalar iki duruma göre gerçekleştirilmiştir. Sistemde yer alan FD kayıpları ile motor ve FD yük durumlarının ihmal edildiği durum *"Senaryo 1a"* FD kayıplarının ve motor ve FD yük durumunun dikkate alındığı durum *"Senaryo 1b"* olarak adlandırılmıştır. Diğer senaryolar altında yapılan tüm hesaplamalarda FD kayıpları ile motor ve FD yük durumunun dikkate alınmasından dolayı nihai karşılaştırmalarda Senaryo 1b'de elde edilen sonuçlar kullanılmıştır.

Senaryo 2: *Mevcut pompa istasyonundaki pompaların ölçülen karakteristikleri dikkate alınarak değişken hızlı pompa operasyonu (regülasyon 2'ye göre) için gerekli enerji gereksiniminin hesaplanması ve ekonomik analizi*

Bu senaryo altında değişken hızlı pompa işletme modeli aşağıdaki biçimde uygulanmış ve "regülasyon 2" olarak adlandırılmıştır.

Regülasyon 2: Mevcut pompa istasyonundaki her bir pompa için ayrı bir frekans değiştirici kullanılarak tüm pompaların değişken hızlarda, aynı debiyi basacak şekilde eşzamanlı çalıştırılması

Senaryo 3: *Çalışmaya konu pompa istasyonunda bulunan mevcut pompalara alternatif daha yüksek verimli pompaların kullanılması durumunda, sabit ve değişken hızlı pompa operasyonlarının enerji gereksiniminin karşılaştırılması ve ekonomik analizi*

Senaryo 3 altında, değişken hızlı pompa operasyonu hesaplamaları sadece "regülasyon 1"e göre yapılmıştır.

Değişken hızlı pompaların kullanımında birçok düzenleme tipi mevcuttur. Regülasyon 1 değişken hızlı pompa istasyonlarında en yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Bazı araştırıcılar (Planells ve ark., 2005; Moreno ve ark., 2007; Moreno ve ark.;2009; Lamaddalena ve Khila, 2011), regülasyon 2'nin belirli

durumlarda enerji kazanımı açısından olumlu sonuçlarının olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, farklı senaryolar altında her iki düzenlemeye de yer verilerek, elde edilen sonuçlar diğer araştırmalarla karşılaştırılmıştır.

Her üç senaryonun uygulanması için bir dizi ölçüm ve analiz gerçekleştirilmiştir. Bunlar; (i) basınçlı sulama sisteminin analizi, (ii) pompaların karakteristik eğrilerinin elde edilmesi, (iii) debi hidrograflarının elde edilmesi, (iv) enerji tüketimi değerlerinin hesaplanarak kıyaslanması ve (v) ekonomik analizlerin gerçekleştirilmesidir.

3.2.1. Basınçlı Sulama Sisteminin Analizi

Talebe dayalı basınçlı sulama şebekelerinde aynı sistem debisi için her bir şebeke hattı boyunca akan debi, o hat üzerinde açık olan hidrant sayısına ve debisine bağlı olarak değişmektedir. Bu hidrantların konumuna bağlı olarak, her bir hidrantta minimum basınç yükü gereksinimini garanti edebilmek amacıyla pompa istasyonunda değişken basınç yükü ihtiyacı gerekli olmaktadır. Bu durum, talebe dayalı basınçlı sulama şebekelerinde birden fazla sulama sistem (talep) eğrisi olduğunu göstermektedir (Lamaddalena, 1997; Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Planells ve ark., 2001; Pérez ve ark., 2002).

Sulama sistem analizi, sulama sistem tasarım parametrelerini (basınç veya debi yönünden) minimum seviyede karşılamak için sistem gereksinimlerinin tanımlanmasında ve performansının ölçülmesinde kullanılan bir işlemdir. Bu analiz elle yapılabileceği gibi bilgisayar yardımı ile de yapılabilmektedir. Özellikle büyük çaplı sulama sistemlerinin analizinde bilgisayar simülasyon programlarının kullanımı kaçınılmazdır. Bilgisayar ile modelleme yapmanın en önemli avantajlarından birisi pratik olması ve yapılan işlemin uygun olmasındandır. Bilgisayar temelli modelleme ile mevcut bir sulama sisteminin yeterliliği de incelenebilmektedir.

Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Çiftliği Pompa İstasyonuna bağlı sulama sisteminin analizi amacıyla Lamaddalena (1997) tarafından geliştirilen "COPAM-Sınıflandırılmış Karakteristik Eğriler Modeli" kullanılmıştır. Model, sulama sisteminde oluşabilecek olası sulama sistem (talep) eğrilerinin

hesaplanmasında ve oluşturulmasında kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan model ve modelin çalışma prensibi aşağıda tanımlanmıştır (Lamaddalena, 1997; Lamaddalena ve Sagardoy, 2000):

Her bir hidrantın nominal debi ($l\,s^{-1}$) değerini verebildiği kabul edildiğinde, bir konfigürasyon (r) içerisinde bulunan hidrantın istenilen basınç yükü yönünden yeterli durumda olması için aşağıdaki durumun gerçekleşmesi gerekmektedir.

$$(H_j)_r \geq H_{min} \tag{3.1}$$

Burada; $(H_j)_r$, r konfigürasyonu içerisinde bulunan j hidrantındaki basınç yükünü tanımlamaktadır. H_{min}, tarla içi sulama sistemi için gerekli minimum işletme basıncını ifade etmektedir.

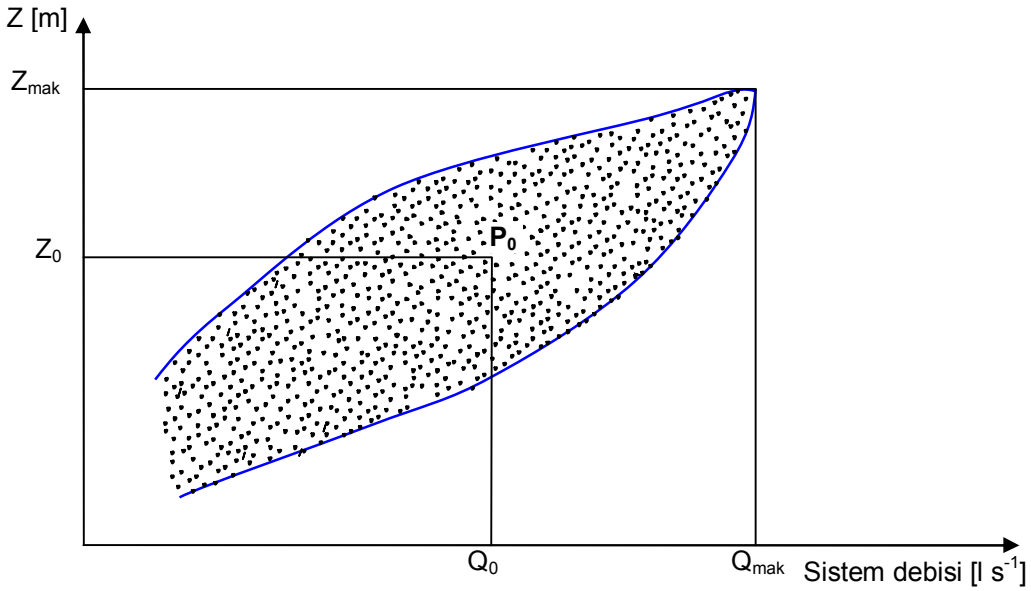
Her bir hidrant konfigürasyonu için yukarıda belirtilen koşulun sağlanması, işletilen her bir hidrantın topoğrafik konumuna bağlıdır. Sistem, genel olarak muhtemel konfigürasyonların sadece belirli bir yüzdesini basınç yönünden tatmin edebilmektedir. Sulama sistemi içerisinde (0 ve Q_{mak}) arasında akan herhangi bir debi değeri Q için, yukarıda bahsedilen ilişkiyi, her biri farklı hidrant konfigürasyonlarına karşılık gelen farklı piyezometrik yükseklik (Z_r) değerleri sağlayabilmektedir. Bu nedenle, tüm olası konfigürasyonlar (r) için, (0 ve Q_{mak}) debi arasında her bir debiye karşılık gelen piyezometrik yükseklik değerleri (Q_r, Z_r) hesaplanırsa bir düzlemde (Q, Z) noktalar bulutu elde edilir. Q_r debisine karşılık noktalar kümesinin üst tarafındaki herhangi bir piyezometrik yükseklik değeri (Z_r) pompa istasyonu tarafından sistemde sağlanırsa, yukarıda bahsedilen ilişki %100 sağlanmış olur. Noktalar kümesinin alt tarafındaki herhangi bir piyezometrik yükseklik değeri sistemde sağlandığında, hiçbir hidrant Eşitlik 3.1'de belirtilen ilişkiyi sağlayamamaktadır (Şekil 3.7) (Bethery, 1990; Lamaddalena, 1997; Lamaddalena ve Sagardoy, 2000).

Şekil 3.7'de, alt ve üst eğriler arasında kalan diğer noktalar sırasıyla birleştirildiğinde, her biri hidrant konfigürasyonlarını basınç yönünden belirli yüzdelerde tatmin eden eğriler elde edilebilir.

Tüm olası konfigürasyonların incelenmesi oldukça fazla miktardaki durumun ortaya çıkmasına yol açar. Bu ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$C_K^R = \frac{R!}{K!(R-K)!} \tag{3.2}$$

Burada; C_K^R, Q_r sistem debisi için olası konfigürasyon sayısını belirtmektedir. K, eşzamanlı olarak açık hidrant sayısını, R ise sulama sisteminde bulunan toplam hidrant sayısını belirtmektedir.



Şekil 3.7. Bir sulama sisteminin hidrolik performansının temsili noktaları (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000)

Açık hidrant sayısı:

$$K = Q_r / d \tag{3.3}$$

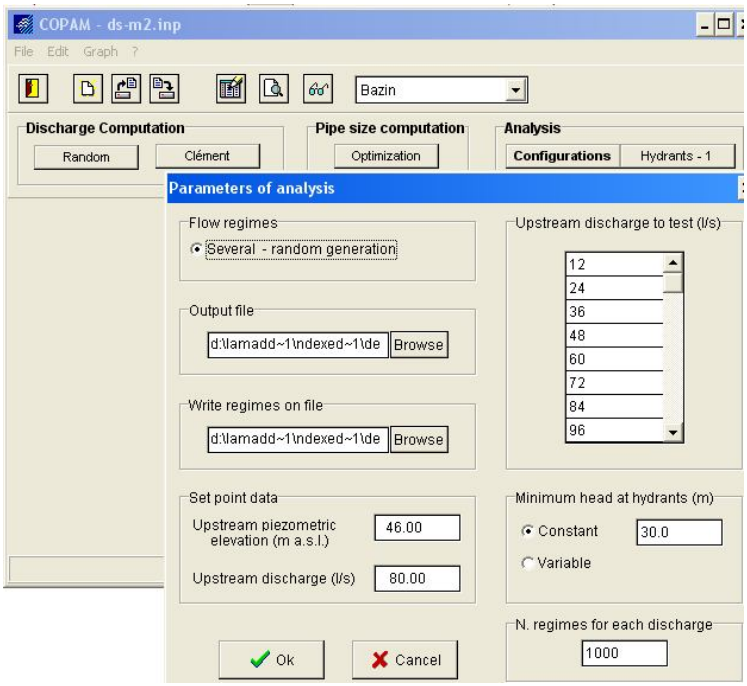
Burada; d, her bir hidrantın verdiği nominal debiyi göstermektedir.

Her bir debi değeri için incelenen C sayıda konfigürasyon, toplam hidrant sayısına (R), yakın olmalıdır (Bethery, 1990). Böylece, herhangi bir hidrantın

hesaplanan konfigürasyon dışında kalma olasılığı azalacağından hata oranı da düşecektir. "C" bilindiği takdirde tekdüze olasılık dağılımına sahip bir tesadüfî sayı üreteci kullanılabilir. Böylece, K hidrantları her bir konfigürasyon için (1 ve R) aralığında çizilir.

Çalışmada, sınıflandırılmış karakteristik eğrilerin elde edilmesi amacıyla Lamaddalena (1997) tarafından geliştirilen ve Lamaddalena ve Sagardoy (2000) tarafından yayınlanan COPAM isimli yazılım kullanılmıştır (Şekil 3.8).

Seçilen bir debiye göre, eş zamanlı olarak çalışan hidrant sayıları tesadüfî olarak seçilmekte ve buna göre sistemde oluşabilecek olası talep eğrileri çizilmektedir. Bu prosedür çeşitli konfigürasyonlar için tekrarlanmaktadır.



Şekil 3.8. COPAM Sınıflandırılmış Karakteristik Eğriler Modeli ve parametreleri

Çalışmada 1 l s^{-1} ve 382 l s^{-1} aralığında değişen sistem debisine göre eş zamanlı olarak çalışan 1000 tesadüfü hidrant konfigürasyonu belirlenmiştir. Araştırılan konfigürasyon sayısının fazla olması hesaplanan talep eğrilerinin doğruluğunu artırmaktadır. Pompa istasyonunun deniz seviyesinden yüksekliği 46 m ve hidrantlarda istenen en düşük basınç 30 mSS olarak model içinde tanımlanmıştır.

Modelin kullanımı için öncelikle sulama sistemi üzerinde bulunan her bir hidrant ve bunların arazi üzerindeki düşey (deniz seviyesinden olan yüksekliği) ve yatay konumu (hidrantların başlangıç noktasına ve birbirlerine göre uzaklığı) belirlenmiştir. Sulama sistemine ait olan teknik veriler (boru çapı, boru boyu uzunluğu) mevcut sulama sistemi projesinden elde edilmiştir. Sulama projesi yapıldığı günden bu yana sistem üzerinde yapılan değişiklikler göz önüne alınarak kullanılmayan hidrantlar hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Sulama sistem eğrilerinin belirlenebilmesi için, arazi üzerinde bulunan hidrantların konumu belirlenerek borularda oluşan yük kayıpları, olası her bir debi değeri için hesaplanmıştır. Bu eğriler pompa performanslarının belirlenmesinde belirleyici kriterlerden birisi olmaktadır. Sulama sisteminde oluşan yük kayıplarının hesaplanmasında Darcy-Weisbach eşitliği kullanılmıştır (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000).

$$Y = 0{,}000857\left(1 + 2\gamma / \sqrt{D}\right)^2 \frac{Q^2}{D^5} L = uQ^2 L \tag{3.4}$$

Burada;

Y : Sürtünme yük kaybı [m]

γ : Bazin pürüzlülük katsayısı [$m^{0.5}$] ,

Q: Boru içerisinde akan debi [$m^3 s^{-1}$],

u : Boyutsal direnç katsayısı [$s^2\ m^{-1}$],

D: Boru çapı [m],

L : Boru uzunluğu [m]'dur.

Bazin pürüzlülük katsayısı, kullanılmış asbestli çimento borular için 0.06 olarak alınmıştır (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000).

3.2.2. Santrifüj Pompaların Karakteristik Eğrileri

Pompalar mekanik olmaları nedeni ile çalışma karakteristik özellikleri hassas bir şekilde belirlenebilir. Bu özellikler imalata ve pompa tipine göre değişir. Hemen

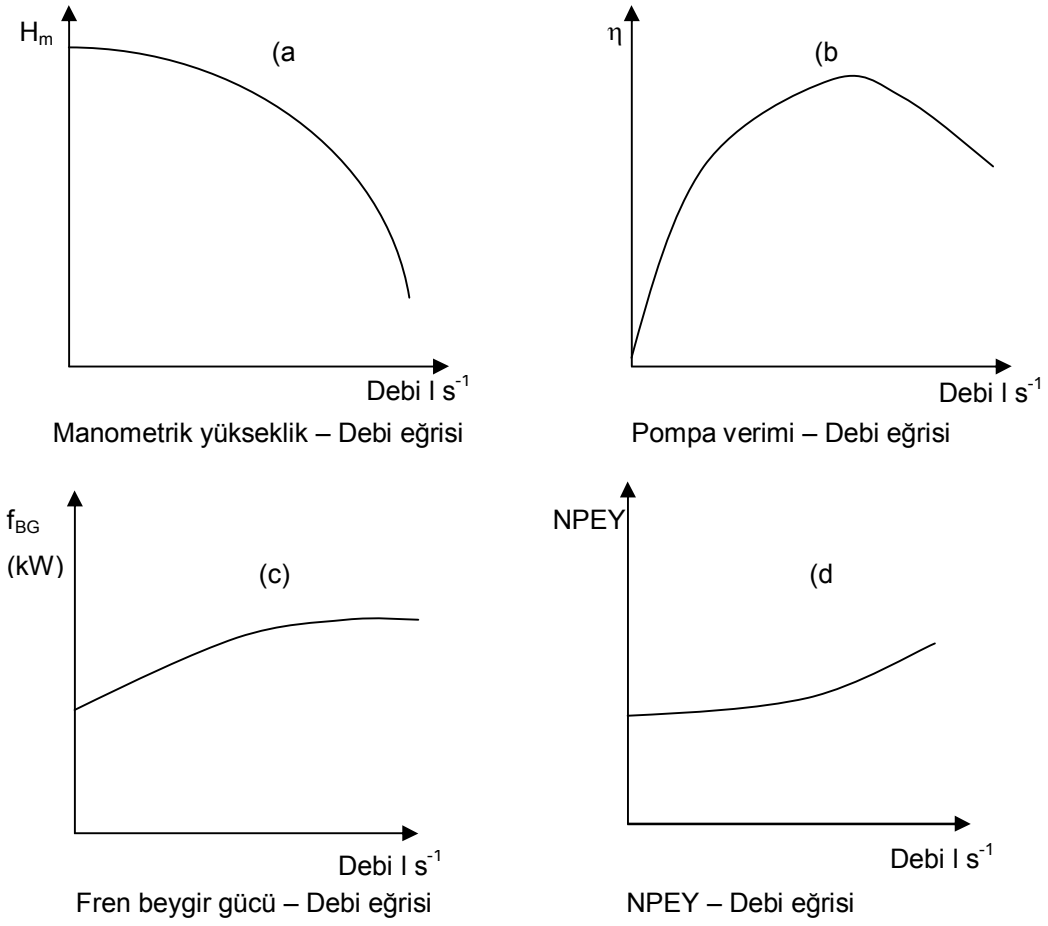
hemen bütün pompa üreticileri, ürettikleri her tip pompanın çalışma karakteristiklerini belirlemekte ve bunu yayınlamaktadır. Üretici firmalar genelde dört karakteristik eğriyi elde etmektedirler. Bunlar:

1. Manometrik Basınç Yükü – Debi (H_m – Q) Eğrisi; toplam manometrik yüksekliğe bağlı olarak debi değişimini (Şekil 3.9a),

2. Verim – Debi (η – Q) Eğrisi; debiye göre pompa veriminin değişimini, (Şekil 3.9b),

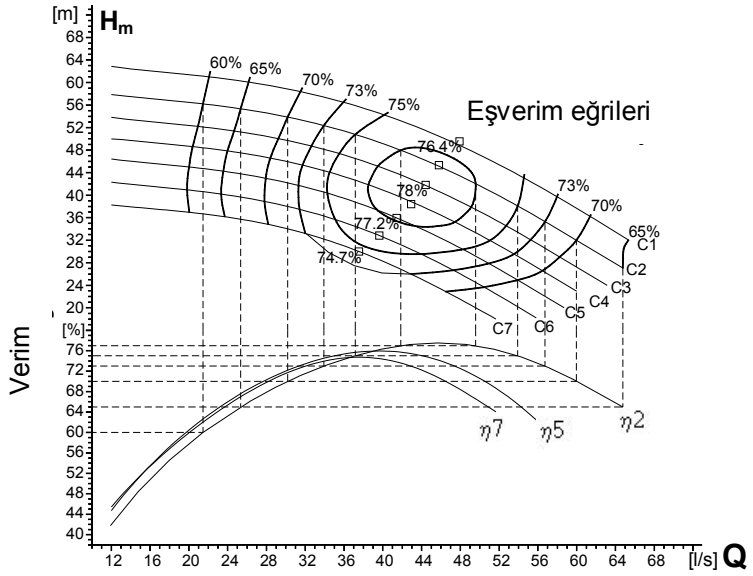
3. Fren Beygir Gücü – Debi (f_{BG}– Q) Eğrisi; debiye göre pompa fren gücünün değişimini (Şekil 3.9c),

4. Net Pozitif Emme Yükü – Debi (NPEY– Q) Eğrisi; debiye göre emmedeki net pozitif yük değişimini gösterir (Şekil 3.9d) (Jensen, 1983).



Şekil 3.9. Santrifüj pompanın temsili karakteristik eğrileri (Jensen, 1983)

Farklı pompa hızları için sağlanan pompa karakteristik eğrileri aynı ölçekteki bir koordinat sistemi üzerinde birleştirilirse pompa eşverim eğrileri elde edilebilir (Şekil 3.10). Bunun için öncelikle H_m-Q eğrileri çizilir. Daha sonra, η-Q eğrileri aynı kâğıt üzerine çizilir. η-Q eğrisi üzerindeki aynı verim değerlerinden farklı pompa hızlarında elde edilen H_m-Q eğrilerine dikler çıkılarak kesişme noktaları işaretlenir. H_m-Q eğrileri üzerinde belirlenen bu eşverim değerleri birleştirilirse pompa eşverim eğrileri elde edilebilir (Barutçu, 2005).



Şekil 3.10. Pompa eşverim eğrilerinin çizilmesi (Barutçu, 2005)

Araştırmaya konu pompa istasyonunda kullanılan pompalar, arazi şartlarında test edilerek nominal hızlarına ait karakteristik eğriler belirlenmiştir. Pompaların farklı çalışma hızlarına ait olan H_m-Q eğrileri ise Pompa Benzeşim Yasaları'ndan elde edilmiştir.

Benzeşim Yasaları (Walski, 2003; Wilhelm ve ark., 2004) pompa hızı ve pompa çark çapı ile debi, basınç yükü ve pompa gücü arasındaki matematiksel ilişkiyi açıklamaktadır. Pompa çark çapında ya da pompa hızındaki değişim nedeniyle farklılaşan pompa karakteristik eğrileri ve bunun enerji gereksinimini nasıl etkilediği Pompa Benzeşim Yasaları kullanılarak belirlenebilir. Yasa, pompa hızı ile

ilgili olarak 3 önemli pompa parametresi üzerinde etkilidir. Buna göre: (i) debinin değişimi, pompa hızıyla orantılıdır, (ii) basınç yükündeki değişim, pompa hızındaki değişimin karesiyle orantılıdır, (iii) pompa gücündeki değişim, pompa hızındaki değişimin küpüyle orantılıdır. Eşitlik 3.5, 3.6 ve 3.7 bu ilişkiyi açıklamaktadır.

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \tag{3.5}$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \tag{3.6}$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \tag{3.7}$$

Q_i : Debi, n_i : Pompa dönme hızı, H_i : Pompa basınç yükünü ve

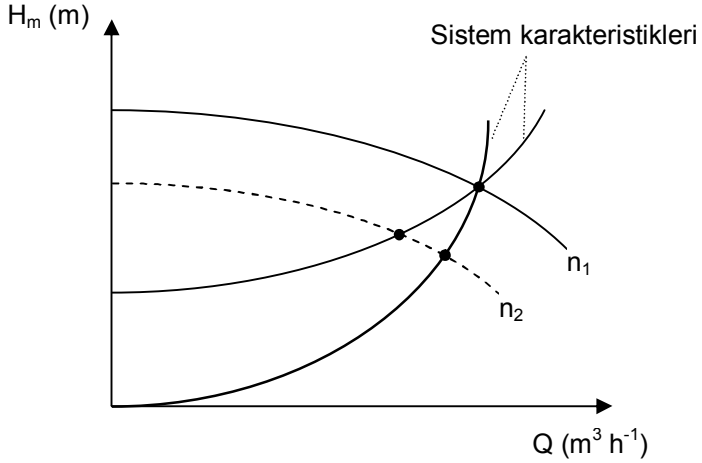
P_i : Pompa gücünü ifade etmektedir (i=1, 2).

Çizelge 3.4, Benzeşim Yasaları'na göre, pompa hızındaki değişimin debi, basınç yükü ve pompa gücü üzerindeki etkisini göstermektedir. Buna göre; pompa hızındaki %50 azalma; debide %50, basınç yükünde %75 ve güç ihtiyacında %87'lik bir azalma ile sonuçlanmaktadır.

Çizelge 3.4. Elektrik motoru frekansının pompa debisi, basınç yükü ve gücüyle ilişkisi

Frekans, f [Hz]	Nominal hız, n [%]	Nominal hız, n [min^{-1}]	Debi, Q [%]	Basınç yükü, H [%]	Güç, P [%]
50	100	3000	100	100	100
45	90	2700	90	81	73
40	80	2400	80	64	52
35	70	2100	70	49	35
30	60	1800	60	36	22
25	**50**	**1500**	**50**	**25**	**13**
20	40	1200	40	16	7

Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta; Benzeşim Yasaları'nın sadece farklı pompa hızları için yeni pompa eğrileri elde etmek amacıyla kullanıldığıdır. Pompa tarafından tüketilen güç aynı zamanda sistem eğrisine de bağlıdır (Şekil 3.11). Bu nedenle, güç kazanımları hesaplanırken sulama sistem eğrisinin de dikkate alınması gerekmektedir (Perez, 2007). Aksi halde büyük hesaplama hataları yapılabilmektedir.



Şekil 3.11. Sulama sistemi karakteristik eğrisi ve pompa hızına bağlı basınç yükü (H_m) – debi (Q) eğrilerinin eşleşmesi

Benzeşim Yasaları'nın bir diğer formu pompa çark çapıyla ilgilidir. Buna göre; (i) debinin değişimi, pompa çark çapıyla orantılıdır, (ii) basınç yükündeki değişim, çark çapındaki değişimin karesiyle orantılıdır, (iii) pompa gücündeki değişim, pompa çark çapındaki değişimin küpüyle orantılıdır.

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right) \tag{3.8}$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \tag{3.9}$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 \tag{3.10}$$

Q_i : Debi, D_i : Pompa çark çapı, H_i : Pompa basınç yükünü ve

P_i : Pompa gücünü ifade etmektedir (i=1, 2).

3.2.2.1. Debi Ölçümleri

Debi ölçümlerinde Krohne UFM-610P marka ultrasonik debimetre kullanılmıştır. Büyük çaplı borularda, boru üzerinde hiçbir fiziksel müdahale gerektirmeden ölçüm yapan ultrasonik debimetre (Şekil 3.12) pompa istasyonunda, ölçüm cihazının standartlarında belirtildiği gibi, pompa çıkışından itibaren boru çapının 5 katı uzaklığa yerleştirilmiştir. Bu çalışmada, ultrasonik debimetre, pompa çıkışından itibaren 2.5 m uzaklığa yerleştirilerek ölçümler alınmıştır.



Şekil 3.12. Ultrasonik debimetrenin boru hattına bağlanması

Pompa çıkışlarındaki sürgülü vanalar tam kapalı konumdan tam açık konuma kadar değişik kademelerde açılarak debi değerleri ölçülmüştür. Cihazın ölçebileceği en küçük ve en büyük değerler 0,1 - 100000 $m^3\ h^{-1}$ (0.027 -27777.8 $l\ s^{-1}$) arasındadır.

Denemeler 5'er dakikalık zaman dilimlerinde yapılmıştır. Böylece akışın laminar hale gelmesi beklenmiştir. Vana tamamen kapalı olarak denemeye başlanmış ve sürgülü vana ile ayarlamak suretiyle 10 ayrı basınç değerindeki debi değerleri ultrasonik debimetreden okunmuştur. Denemeler, vananın kapalı konumundan açık konumuna doğru 2 tekrarlı ve vananın tam açık konumundan kapalı konumuna doğru

2 tekrarlı olmak üzere, toplam 4 tekrar yapılmış ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Şekil 3.13'de pompa denemeleri sırasında ultrasonik debimetre ile yapılan bir debi ölçümü görülmektedir.



Şekil 3.13. Ultrasonik debimetre ile debi ölçümlerinin yapılması

3.2.2.2. Basınç Ölçümleri

Basma hattındaki basıncı ölçmek için Herde marka, bar cinsinden basınç (0 ile 16 bar arasındaki) değerlerini gösteren manometreler kullanılmıştır. Manometreler, TS 9906'ya göre basma borularının pompa ile boru bağlantı noktasından itibaren basma boru çapının (1–4) katı uzağa yerleştirilmelidir. Bu çalışmadaki pompa testlerinde ise, TS'ye uygun olarak 730 mm uzağa yerleştirilmiştir.

Emme hattında oluşan yük kayıpları, emme hattında kullanılan boru aparatlarına ve borunun cinsine göre abak ve formüllerden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Pompalarda basınç yükü, su sütunu olarak hesaplanmaktadır. Toplam manometrik yükseklik, pompa tarafından suya verilen enerji toplamıdır (Doğuş, l963; Uyan, 1998).

$$H_m = h_b - h_e + \left(\frac{V_b^{\,2}}{2g} - \frac{V_e^{\,2}}{2g} \right) \tag{3.11}$$

H_m : Toplam manometrik yükseklik [mSS],

h_b : Pompa mukayese eksenine göre düzeltilmiş basma yüksekliği [mSS],

h_e : Pompa mukayese eksenine göre düzeltilmiş emme yüksekliği [mSS],

V_b : Basma borusunda basınç ölçme noktasındaki su hızı [m s^{-1}],

V_e : Emme borusunda basınç ölçme noktasındaki su hızı [m s^{-1}],

g : Yerçekimi ivmesi [m s^{-2}] 'dir.

Pompa emme ve basma boruları aynı çapta ise süreklilik denklemine göre her iki kesitteki su hızı aynı olacağından;

$$H_m = h_b - h_e \quad \text{olur.} \tag{3.12}$$

Normal santrifüj pompalarda, emme borusunda vakum basıncı, basma borusunda ise manometrik basınç mevcuttur. Buna göre (3.12) numaralı eşitlikte basma yüksekliği pozitif, emme yüksekliği de negatif değer olarak yerine konulursa;

$$H_m = h_b - (-h_e) = h_b + h_e \quad \text{olur.} \tag{3.13}$$

Basma borusundaki göstergede okunan basınç atmosfer basıncından yüksek ise;

$$h_b = \frac{10 \times P_b}{\gamma} + Z_b \ (mSS) \tag{3.14}$$

P_b : Basma borusunda bulunan basınç göstergesinde bulunan basınç [kg cm^{-2}],

Z_b : Basma borusunda bulunan basınç göstergesi ekseni ile mukayese ekseni arasındaki dikey mesafe [m],

γ : Suyun yoğunluğu [1 kg dm^{-3}]'dur.

Bu çalışmada, emme borusunda oluşan yük kayıpları h_e, emme hattında kullanılan boru aparatlarına ve borunun cinsine göre abak ve formüllerden

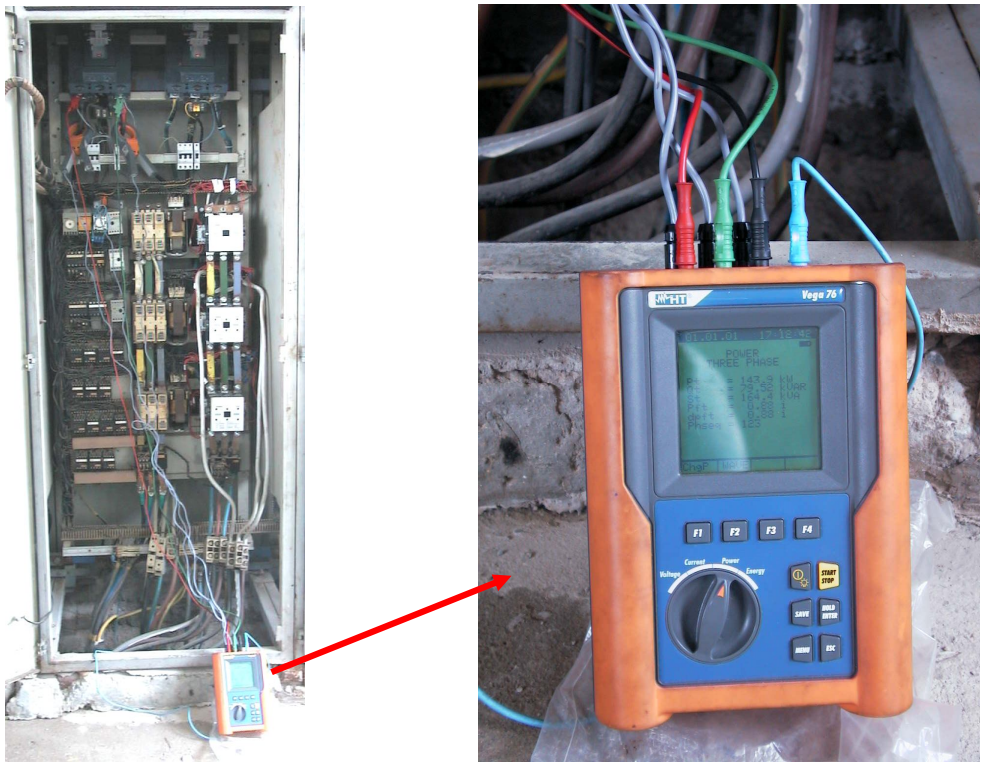
yararlanılarak hesaplanmıştır. Sürtünme kayıpları Darcy-Weisbach eşitliğine göre hesaplanmıştır (Eşitlik 3.4).

Denemede kullanılan manometre, P_b değerini doğrudan (bar) olarak vermiştir. Bu nedenle manometreden okunan değerin mSS cinsine dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$1 \text{ bar} \cong 10.2 \text{ mSS} \tag{3.15}$$

3.2.2.3. Gücün ölçülmesi

Güç ölçümünde, pompa tarafından yutulan güç (fren gücü veya mil gücü) ölçülür. Denemeler esnasında güç ölçümü, "Güç ve Enerji Analiz / Ölçüm Cihazı HT VEGA 76" serisi tarafından yapılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Güç ve enerji analiz/ölçüm cihazı ile ölçümlerin yapılması

Cihaz, pompanın yuttuğu gücü doğrudan sistemden okuyabildiğinden Eşitlik 3.16 kullanılarak pompanın her basınç kademesinde şebekeden çektiği güç bulunmuştur. Bu gücün bir kısmı elektrik motorunda mekanik enerjiye dönüşmüş ve pompa miline fren gücü olarak verilmiştir. Elektrik motorunun verimi % 94 düzeyindedir.

$$P_{YG} = \frac{1{,}73 \times U \times I \times \cos\varphi \times \eta_m}{1000} \tag{3.16}$$

P_{YG} : Pompanın yuttuğu güç [kW],

U : Pompanın çektiği volt [V],

I : Pompanın çektiği amper [A],

η_m : Motor verimi (% 94),

$cos\varphi$: Güç faktörü'dür.

Ölçüm cihazı doğrudan elektrik şebekesinden çekilen gücü okuduğundan, aşağıdaki formül kullanılarak pompanın yuttuğu güç hesaplanabilir.

$$P_a = \frac{P_{YG}}{\eta_m} \tag{3.17}$$

P_a : Elektrik şebekesinden absorbe edilen toplam güç [kW]'tür.

3.2.2.4. Pompa Veriminin Bulunması

Pompa verimi, pompa çarkının suya verdiği gücün, pompanın yuttuğu güce oranlanması ile elde edilir.

$$\eta_p = \frac{P_{VG}}{P_{YG}} \times 100 \tag{3.18}$$

$$P_{VG} = \frac{H_m \times Q \times \gamma}{102} \tag{3.19}$$

η_p : Pompa verimi [%],

P_{VG} : Pompa çarkının suya verdiği güç [kW],

H_m : Toplam manometrik yükseklik [mSS],

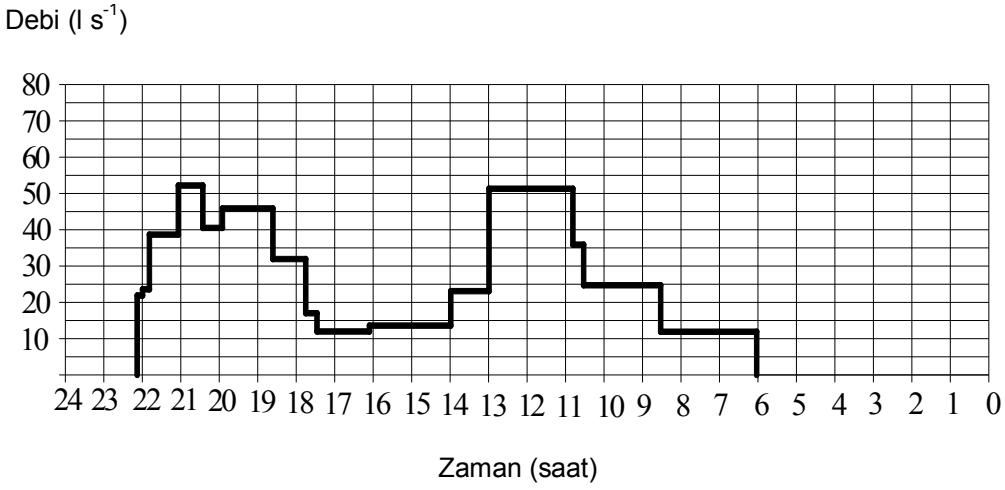
Q : Pompa debisi [l s^{-1}],

γ : Suyun yoğunluğu [1 kg dm^{-3}],

3.2.3. Debi Hidrografları

Debi hidrografları, belirli bir zamanda bir sulama sisteminden akan debi miktarını göstermektedir (Şekil 3.15). Debi hidrografları sulama pompalarının ihtiyaç duyduğu enerji miktarının hesaplanmasında gerekli olup sulama suyu gereksinimini belirler ve çiftçinin su kullanımındaki davranışını göstermektedir.

Debi hidrograflarını kaydedebilmesi için kayıt cihazıyla (data logger) donanımlı bir debimetrenin sulama sezonu boyunca kullanılması gerekmektedir. Çalışma sırasında böyle bir donanımın sisteme entegrasyonunda yaşanan güçlüklerden ve güvenlik problemlerinden dolayı debi hidrograflarının elde edilebilmesi amacıyla bir sonraki başlık altında detayları anlatılan bir simülasyon modeli kullanılmıştır.



Şekil 3.15. Talebe dayalı basınçlı bir sulama sistemine ait tipik bir debi hidrografı (Lamaddalena, 1997)

3.2.3.1. "WinGenera" Simülasyon yazılımı

Sulama sistemine ait debi hidrografları ile ilgili olarak hiç bir bilgi mevcut değil ise, debi hesaplamasında toprak su dengesi yaklaşımı önerilmektedir. Her bir üretim parselindeki su ihtiyacı; bitki deseni, toprak yapısı, hava koşulları, ekim tarihi, sulama sistemi ve çiftçinin davranışı gibi araziye özel koşullara göre toprak su dengesi gözetilerek belirlenir. Çalışmada kullanılan WinGenera yazılımı, Khadra ve Lamaddalena (2005) tarafından geliştirilmiş olup, hidrant seviyesinde su ihtiyacını belirlemek ve bunu sulama sisteminin bütünüyle ilişkilendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Yazılımın temel amacı, sulama sisteminin başında oluşan debi hidrograflarını üreterek böylece olası debi konfigürasyonlarını oluşturmaktır.

Su dengesi hesabı:

Her bir hidrantın hizmette bulunduğu arazinin günlük su dengesi aşağıdaki eşitlikle açıklanabilir:

$$I_n = ET_c - \left(P_e + GW + W_e\right) \tag{3.20}$$

I_n : Net sulama suyu gereksinimi [mm gün^{-1}],
ET_c : Bitki su tüketimi [mm gün^{-1}],
P_e : Etkili yağış [mm gün^{-1}],
GW : Yer altı suyu katkısı [mm gün^{-1}],
W_e : Toprak nem içeriği [mm gün^{-1}]'dir.

Model içerisinde kullanılan giriş verileri:

a) Günlük meteorolojik veriler,
b) Tarla karakteristikleri,
c) Pik dönem süresince alınan debinin saatlik olasılık dağılım işlevidir.

a) Günlük Meteorolojik Veriler

Referans bitki su tüketimi (ET_0)

Günlük meteorolojik veriler referans ET_0'ın hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan modelin uygulamasında, Akdeniz ikliminde geniş ölçekte test edildiğinden dolayı Penman-FAO eşitliği (Allen ve ark., 1998) kullanılmıştır. Bu model ET_0'ın günlük bazda hesaplanmasında rüzgâr hızı ve nem oranındaki değişimleri göz önüne aldığından dolayı iyi sonuçlar vermektedir.

Günlük sıcaklık (minimum, maksimum, ortalama), oransal nem (ortalama ve maksimum), güneş ışınımı, rüzgâr hızı ve yağış verileri Adana Meteoroloji istasyonundan 2009 yılı için elde edilmiştir.

Bitki su tüketimi (ET_c)

Bitki su tüketiminin tahmin edilmesinde kullanılan yöntemlerin çoğu iklim faktörlerinin standart bir bitkiye olan etkisini ele alır. Ancak bitki su tüketiminin belirlenmesinde doğru bir tahmin yapabilmek için bitki ve çevresel koşullarında dikkate alınması gerekmektedir. Bu etmenler iklim, toprak nemi, bitki büyüme dönemleri ve bitkinin toprak yüzeyini örtme oranıdır. Bu yüzden referans bitki su tüketimi (ET_0), bitki büyüme döneminin her aralığı için uygun bir bitki katsayısı (K_c) ile düzeltilerek bitki su tüketimi tahmin edilir. Bu katsayıya bitki katsayısı denir ve K_c ile gösterilir.

Bitkinin su gereksinimi aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur.

$$ET_c = K_c\, ET_0 \tag{3.21}$$

Farklı bitki büyüme dönemleri için bitki katsayıları K_c yayınlanmış araştırma sonuçlarından (Allen ve ark., 1998 ve Anonymous, 1982) elde edilmiştir. Bitki katsayısının zaman içerisindeki değişiminin doğrusal olduğu varsayılmaktadır. Her

bir büyüme dönemi (BD=1,2….n,), belirli bir büyüme süresine, d_{BD}, sahiptir. Günlük K_c değeri aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir:

$$Kc_{t,BD} = Kc_{1,BD} + t_{BD} (Kc_{2,BD} - Kc_{1,BD})/d_{BD} \quad (3.22)$$

$Kc_{t,BD}$: t günü için bitki katsayısı

$Kc_{1,BD}$: Varsayılan periyodun başlangıcındaki bitki katsayısı

$Kc_{2,BD}$: Varsayılan periyodun sonundaki bitki katsayısı

t_{BD} : Varsayılan periyodun içinde bulunulan günün sayısı

d_{BD} : Varsayılan periyodun uzunluğu [gün] (BD = 1,2….n, büyüme periyodu sayı indisidir).

b) Tarla karakteristikleri

Ekim tarihi

Ekim tarihi, S_d, bitkiye ve aynı bitki için çiftçinin kararına bağlı olarak değişmektedir. Çok yıllık bitkiler için bu tarih, ekim tarihinden ziyade çiçeklenme zamanı olarak dikkate alınmaktadır. Bu nedenle bu tarihler her bir bitki ve arazi için en erken ($S_{d,in}$) ve en geç ($S_{d,fin}$) ekim tarihi aralığında rastgele üretilerek ekim tarihindeki zaman değişkenliği göz önüne alınır. Aşağıdaki eşitlik bunun için kullanılabilir:

$$S_d = S_{d,in} + u_d (S_{d,fin} - S_{d,in}) \quad (3.23)$$

u_d : 0 ve 1 arasında üniform dağılım için üretilen rastgele sayıdır.

Bu çalışmada yer alan her bir bitki için ekim tarihleri (ağaçlar için yılın ilk günü alınmıştır) ekte sunulmuştur (EK 8).

Başlangıçtaki Kullanılabilir Toprak Su Rezervi

Sulama sezonunun başlangıcında toprakta depolanan su (AWC_{in}) her bir bitki (i), her bir arazi (k) için toprak koşullarına bağlı olarak olağan değerler içerisinde

minimumdan (AWC_{min}) maksimuma (AWC_{mak}) kadar aşağıdaki eşitlik kullanılarak rastgele olarak üretilmiştir.

$$AWC_{in} = AWC_{min} + u_d\,(AWC_{min} - AWC_{mak}) \tag{3.24}$$

u_d : 0 ve 1 arasında üniform dağılım için üretilen rastgele sayıdır.

Çalışma koşullarında kullanılabilir başlangıç toprak su rezervi her bir bitki için ekte sunulmuştur (EK 9, EK 10).

Kök gelişimi

Zaman içindeki kök büyüme oranı bir bitki değişkenidir ve gün 1'den gün t_x'e (bitkiye bağlı olarak) kadar doğrusal olarak artışla tahmin edilebilir. Gün (t_x+1)'den sonra bitki büyüme döngüsünün sonuna, $D_{döngü}$, kadar sabit bir değer kullanılır. Bu nedenle, kök derinliği (Rd_t) belirli bir gün (t) için FAO-24'te açıklandığı gibi aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Doorenbos ve Pruitt, 1977):

$$Rd_t = Rd_{\min} + \left(\frac{Rd_{mak} - Rd_{\min}}{t_x}\right) t \;, \qquad 0 < t < t_x \tag{3.25}$$

$$Rd_t = Rd_{mak} \;, \qquad t_x+1 < t < D_{döngü} \tag{3.26}$$

Rd_{min} : Bitki büyüme döneminin başlangıcındaki kök derinliği [m],

Rd_{mak} : Bitki büyüme döneminin sonundaki kök derinliği [m],

$D_{döngü}$: Bitki büyüme döngüsünün süresi [gün]'dir.

Kullanılabilir su miktarı

Sulama sezonunun başlangıcında, t günü için toprakta depolanan su, hidrant j'nin suladığı bitki i için hesaplanabilir.

Kullanılabilir su miktarı $W_{t,j,i}$, t gününde, j hidrantının suladığı i bitkisi için:

$$W_{t,j,i} = AWC_{t,j,i}\ Rd_{t,j,i}\ MAD_i \quad (3.27)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanabilir.

Burada;

MAD_i : bitki i için tüketilmesine izin verilen kullanılabilir su miktarı; bitkinin stres yaşamadan topraktan alabileceği kullanılabilir suyun yüzdesi,

$Rd_{t,j,i}$: t gününde j hidrantı tarafından sulanan i bitkisinin kök derinliğidir.

$W_{t,j,i}$ günlük olarak aşağıdaki eşitliğe bağlı olarak değişecektir (Villalobos ve Fereres, 1989; Lamaddalena, 1997; Khadra, 2004) :

$$W_{t,j,i} = W_{t-1,j,i} - ET_{t,j,i} + Pe_{t,j,i} \quad (3.28)$$

Burada;

$W_{t,j,i}$: t günündeki toprak nem içeriği [mm gün^{-1}],

$W_{t-1,i,j}$: t–1 günündeki toprak nem içeriği [mm gün^{-1}],

$ET_{t,j,i}$: Bitki su tüketimi [mm gün^{-1}],

$Pe_{t,j,i}$: Etkili yağış [mm gün^{-1}]'tır.

Sulama, toprak nem içeriğinin bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyecek bir düzeye düşmesine imkân vermeyecek zamanda yapılmalıdır. Toprağa bir defada verilecek su miktarı, her sulamada iklim ve toprak yapısına göre değişkenlik gösterebilir.

$W_{0,j,i}$ izin verilebilir azalma olsun.

Eğer;

$W_{t,j,i} > W_{0,j,i}$ ise,

$W_{t,j,i} = W_{0,j,i}$ olarak varsayılır.

Eğer;

$W_{t,j,i} < W_{0,j,i}(1\text{-}MAD)$ ise,

sulama gereklidir ve uygulanacak su miktarı;

$$I_{t,j,i} = \frac{W_{0,j,i} - W_{t,j,i}}{E_a}[mm] \quad \text{eşitliğiyle hesaplanabilir.} \quad (3.29)$$

E_a : Tarla sulama randımanı

Bu nedenle j hidrantının açık kalması gereken süre (t_{irr}) şöyle hesaplanabilir:

$$t_{irr} = \frac{I_{t,j,i}}{d_j} \tag{3.30}$$

d_j :, hidrant j'nin tarla içi sulama sistemine servis ettiği suyun debisi [l s^{-1}]'dir.

d_j'nin nominal debi değerine eşit olduğu varsayılır. Sulama süresinin, t_{irr}, saat olarak elde edilmesi için uygun dönüştürme katsayıları kullanılır.

Sulama sistemindeki tüm hidrantlar için aynı işlem yapıldığı zaman her bir gün için eş zamanlı olarak çalışan hidrantların sayısını ve süresini bilmek mümkün olacaktır.

Çalışmada kullanılan tüm giriş verileri EK 7, EK 8, EK 9 ve EK 10'da sunulmuştur.

c) Olasılık dağılım işlevi

Olasılık dağılım işlevi çiftçinin sulama hakkına, sosyal durumuna ve hidrantta bulunan suyun basıncına göre çiftçinin tercih ettiği sulama saatlerini göstermektedir. Gerçekte, günün bazı saatlerinde, pik dönem içerisinde tüm çiftçiler eşzamanlı olarak sulama yapma eğilimindedir. Bu durumda, basıncın yetersiz olduğu yerlerdeki bazı çiftçiler tarla içi sulama sisteminde yeterli basıncı sağlayabilmek amacıyla sulama zamanlarını (örneğin gece saatleri) değiştirmek zorunda kalabilirler.

Saatlik debi hidrografları elde edebilmek için sulama sisteminin başına bir debi ölçer yerleştirerek sistem debisi kaydedilmelidir. Böylece, pik dönem süresince sulama sisteminin ortalama saatlik debisi (μ_h) hesaplanabilir.

$$V_h = \mu_h \Delta_t \tag{3.31}$$

V_h : Sulama suyu hacmi [m^3],

μ_h : Ortalama saatlik debi (20 günlük pik periyota esas) [$l\ s^{-1}$]'dir.

Zaman aralığı Δt = 1 saat olarak dikkate alınmıştır.

Toplam ortalama sulama suyu hacmi, V_T:

$$V_T = \sum_{h=1}^{24} V_h \tag{3.32}$$

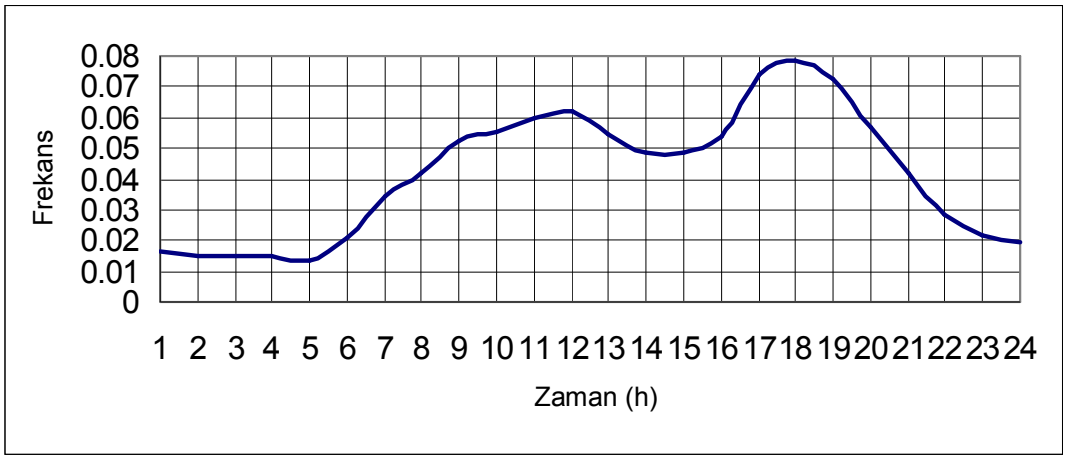
Sulama suyunun frekans dağılımı:

$$f_h = \frac{V_h}{\sum_{h=1}^{24} V_h} \tag{3.33}$$

Frekans dağılımı, analiz için çok sayıda veri mevcut olması durumunda olasılık dağılım işlevine benzeyebilmektedir. Şekil 3.16'de olasılık dağılım işlevinin grafiği gösterilmiştir.

Pik periyot süresince oluşan saatlik yığışımlı frekans:

$$F_h = \sum_{h=1}^{24} \frac{V_h}{\sum_{h=1}^{24} V_h} \tag{3.34}$$



Şekil 3.16. Çalışmaya esas sulama sisteminde kullanılan saatlik olasılık dağılım işlevi

WinGENERA yazılımının tüm prosedürü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

1. Her bir bitki (i) için ve her bir hidrant (j) tarafından sulanan her bir alan için aşağıdaki değişkenler rastgele olarak üretilirler:

- Ekim tarihi (Eşitlik 3.23)
- Başlangıç kullanılabilir toprak nem içeriği (Eşitlik 3.24)

2. Başlangıç değişkenleri oluşturulduktan sonra, su dengesi günlük bazda bütün sulama sezonu için oluşturulur. Sulama derinliği ($I_{t,i,j}$), her gün (t), bitki (i) ve hidrant (j) için hesaplanır.

3. Her gün için, her bir hidrant tarafından sulanan her bir bitkinin ihtiyaç duyduğu sulama suyu hacmi toplanır (ic: hidrant j'nin suladığı bitki örtüsü sayısıdır ve her bir hidrant için maksimum üç bitki örtüsü hesaplanabilir).

$$V_{t,j} = \sum_{i=1}^{ic} I_{t,i,j} \tag{3.35}$$

Ve tüm sulanan bölge (alan) için;

$$V_t = \sum_{j=1}^{R} V_{t,j} \tag{3.36}$$

R: toplam hidrant sayısıdır.

4. Sulama suyu hacmi sezonunun ilk gününden başlayarak son güne kadar hesaplanır. 10 günlük ortalamalar, V_w, gün t=1 den başlayarak son gün t=LD (w=1, ……..LD-10)'ye kadar kaydırılarak hesaplanır.

5. Pik dönem gün t_m'nin etrafında oluşur.

V_{tm} = maksimum (V_w)

Ve, bu nedenle, pik periyot, t_m gününden 5 gün öncesi ve 4 gün sonrası olmak üzere 10 günlük bir dönem [t_m-5, t_m+4] olarak hesaplanacaktır.

6. Bu periyot belirlendikten sonra program, gün t= t_m-5 ve t_m+4 aralığı için her bir hidrant tarafından dağıtılan su hacmine, $V_{t,j}$, geri döner. Bu hacimlerin her birisi için model tarafından bir rastgele sayı, RS, üretilir ve yığışımlı frekans eğrisinde, F_h, bildirilen (Eşitlik 3.34) j hidrantının sulamaya başlama zamanının THO_j, belirlenmesinde kullanılır.

7. Her bir hidrant j'nin nominal debi d_j'ye eşdeğer debi sağladığı varsayıldığında sulama süresi t_{irr} (Eşitlik 3.30) ve her bir hidrantın kapanma zamanı THC_j hesaplanabilir.

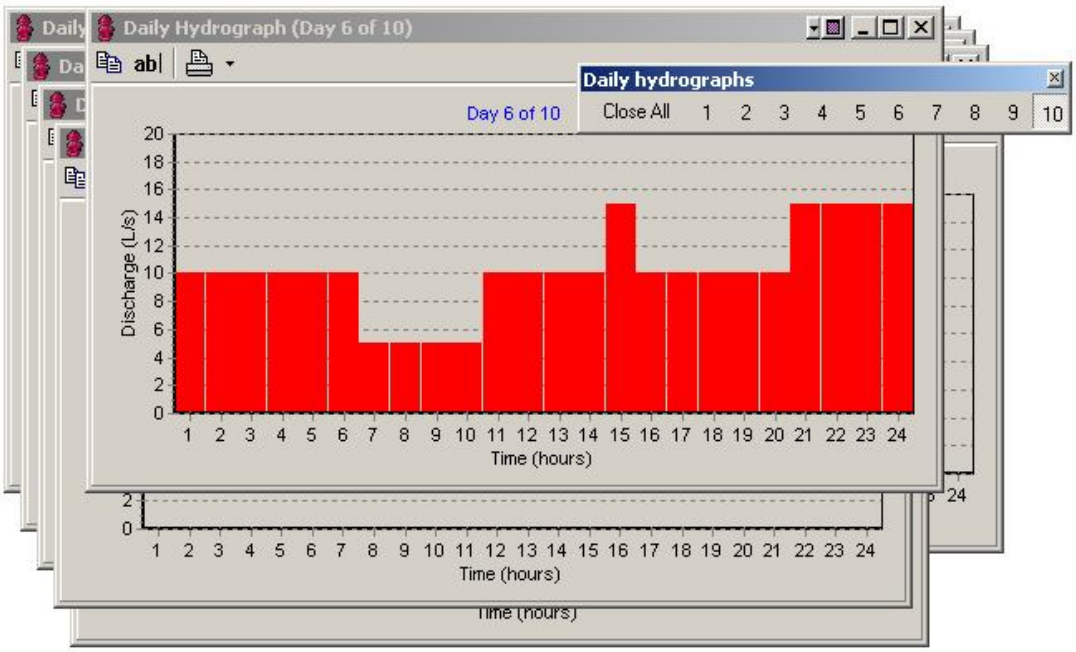
$$THC_j = THO_j + t_{irr} \tag{3.37}$$

Böylece her bir hidranttaki saatlik akış hidrografları elde edilebilir.

8. Hidrantlardaki saatlik akış hidrografları birleştirilir ve her bir saate ilişkin debiler hesaplanır. Böylece saatlik zaman adımlarında sulama sistem çıkış debisi oluşturulur (Şekil 3.17).

Şekil 3.17, WinGenera programında yapılan bir simülasyon neticesinde elde edilen saatlik debi hidrograflarını göstermektedir.

9. Altıncı ve yedinci maddeler aynı zamanda hangi hidrantın hangi saatte açılacağını belirler.



Şekil 3.17. Bir simülasyon neticesinde elde edilen günlük debi hidrografları

3.2.4. Enerji Tüketimi

Enerji tüketimi güç gereksinimine ve işletme süresine bağlı olarak değişmektedir. Bu sayılan unsurlar bilindiği takdirde pompa istasyonunda tüketilen enerji miktarını hesaplamak mümkün olabilir.

Enerji tüketimi:

$$E = P_a \times T \tag{3.38}$$

P_a : Elektrik şebekesinden absorbe edilen toplam güç [kW],

E : Enerji [kWh],

T : İşletme süresi [h]'dir.

Pompa istasyonunun güç gereksinimi; sistem debisine, basınç yüküne, işletmedeki pompaların ve elektrik motorlarının verimine bağlı olarak değişmektedir. Elektrik şebekesinden absorbe edilen toplam güç (P_a) yukarıda sıralanan bu faktörleri

kapsamakta olup Bölüm 3.2.2.3 altında açıklanan Eşitlikler 3.16 ve 3.17 kullanılarak hesaplanabilir.

Değişken hızlı pompa istasyonlarında ise güç gereksinimi hesabı yapılırken, pompa ve elektrik motorunun yanında, sistemde kullanılan Frekans Değiştirici (FD) veriminin de ayrıca dikkate alınması gerekmektedir ve bu çalışmada bu husus dikkate alınmıştır.

Birim pompalanan akışkan hacmi için harcanan enerji, özgül enerji (E_s) olarak adlandırılmaktadır (Ertöz ve Duymuş, 2001). Özgül enerji, sistemde belirli bir periyot süresince dağıtılan akışkan hacmi için aynı periyot süresince harcanan güç miktarının ölçülmesiyle belirlenebilir. Seçilen birime bağlı olarak değişmekle beraber, metrik sistemde genellikle "kWh m^{-3}" olarak formüle edilmektedir. Özgül enerji, tanımı gereği, enerji tüketiminin belirlenmesi için en doğru yöntemdir. Özgül enerji, sadece pompa verimini değil, sistem verimini etkileyen tüm faktörlerin verimini dikkate almaktadır. Özgül enerji, ayrıca pompa karakteristik eğrisi üzerinde pompaların nerede çalıştığını dikkate alır. Böylece düşük verimli bir pompanın, yüksek verimli bir pompadan daha az güç tüketebildiği görülebilir. Bu, basit anlamda, pompa karakteristiğinin sistemle nasıl eşleştiğiyle açıklanabilir. Özgül enerjiyi bir ölçüt olarak kullanmanın diğer bir faydası; farklı pompalar veya pompaj sistemlerinin enerji maliyetinin karşılaştırılmasının özgül enerji yardımıyla yapılabilmesidir (Asdal, 2009).

$$E_s = \frac{E}{V} = \frac{\frac{Q \times H_m \times \gamma}{\eta} \times T}{Q \times T} \tag{3.39}$$

γ : Özgül ağırlık [kg m^{-3}],

E_s : Özgül enerji [kWh m^{-3}],

V : Pompalanan su hacmi [m^3]'tür.

Eşitlik 3.39'da görüldüğü gibi, özgül enerji toplam basınç yüküne bağlı olarak pompaj veriminin ters ifadesidir. Bu nedenle, özgül enerji bilindiği zaman herhangi bir işletme noktası için genel sistem verimini hesaplamak mümkündür.

Özgül ağırlık değeri SI birim sistemine göre "N m^{-3}" olarak ifade edilmektedir. Özgül ağırlık (γ) "N m^{-3}", pompaj için harcanan enerji (E) "joule" birimine dönüştürülürse herhangi bir manometrik yükseklik değeri için genel pompaj verimi elde edilebilir. Bu çalışmada, sulama sistemlerinin gerektirdiği ortalama basınç yüküne göre pompa istasyonunun genel verimi çeşitli senaryolar için incelenmiştir.

$$1000 \text{ kg } m^{-3} = 9810 \text{ N } m^{-3} \quad (3.40)$$

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ joule (J)} \quad (3.41)$$

3.2.5. Enerji Maliyeti ve Ekonomik Analiz

Yıllık işletme giderleri, enerji giderleri, tamir bakım giderleri ve işçilik giderlerinden oluşmaktadır. Pompa istasyonunun yıllık enerji giderleri aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$YEG = E \times P_e \quad (3.42)$$

YEG : Yıllık enerji gideri [TL],

E : Enerji [kWh],

P_e : Elektrik enerjisi bedeli [TL kWh^{-1}]'dir.

Pompa istasyonun başka işletme modellerine dönüştürülmesi ile elde edilecek enerji kazanımı yıllık enerji giderlerinde azalma sağlayacaktır. Enerji maliyetindeki kazanımların hesaplanmasında aşağıda belirtilen ilişki kullanılır.

$$\text{Finansal kazanım (TL yıl}^{-1}) = \text{Enerji kazanımı (kWh yıl}^{-1}) \text{ x Pe (TL kWh}^{-1}) \quad (3.43)$$

Gerçekleştirilecek yatırımın uygulanabilir olup olmadığının hesaplanması amacıyla yatırımın geri ödeme süresi ve Net Bugünkü Değer (NBD)'i hesaplanmıştır.

Net bugünkü değer (NBD) yöntemi, paranın zaman değerini, yani bugünkü ve gelecekteki tüketime ilişkin tercihleri göz önünde bulunduran proje değerlendirme

yöntemidir. Bir projenin net bugünkü değeri, ekonomik ömrü boyunca oluşan net nakit akımlarının önceden belirlenen bir iskonto oranına göre bugünkü değere indirgenmiş değerleri toplamıdır. Başka bir ifade ile, bir yatırımın yatırım dönemi boyunca sağladığı getirinin piyasa faizi veya kendi faizi ile iskonto edilmesi, bugüne indirgenmesi sonucu ulaşılan değerdir (Demirbugan, 2008). NBD hesaplanırken ilk aşama, kullanılacak olan indirgeme oranının belirlenmesidir. Fayda ve maliyetlerin bugünkü değerlerinin tespitinde kullanılan indirgeme oranı, genellikle piyasa faiz oranıdır. Çünkü yatırımda kullanılan sermayenin fırsat maliyeti, aynı sermayenin o dönemde ödünç verilmesiyle elde edilecek faiz geliridir (Battiato, 1993).

$$NBD = C_o + \sum_{t=1}^{t=son} \frac{C_t}{(1+r)^t} \tag{3.44}$$

C_o : Yatırımın başlangıcındaki masraflar (bu değer negatiftir)

C_t : Yatırımın t yılındaki nakit akışı (kazanım–maliyet)

r : Faiz ya da indirgeme oranı

t : Yatırımın ömrünü gösteren yılların sayısı

NBD analiz tekniği uygulanırken, ilk olarak, "İndirgenmiş Nakit Akımı Tablosu" hazırlanır. İndirgeme tekniği, nakit akım tablosunu oluşturan yıllık nakit akımlarının (nakit girişleri ve nakit çıkışları) bugünkü değerinin bulunarak indirgenmiş net nakit akımının elde edilmesi esasına dayanır. İndirgenmiş net nakit akımının elde edilebilmesi için, önce her yılın maliyeti gelirden çıkarılarak net nakit akımı elde edilir. Daha sonra belirli bir indirgeme oranı kullanılarak her yıl için ayrı ayrı indirgenen net nakit akımları bulunur. Bunların toplamı, projenin "Net Bugünkü Değeri"ni oluşturur (Ayanoğlu ve ark., 1996). NBD'nin sıfırdan büyük olması yatırımın finansal olarak uygulanabilir olduğunu gösterir. Tek proje mevcut ise NBD'nin artı (pozitif) olması projenin kabulü için zorunlu gerekliliktir. Ancak değerlendirilen proje sayısı birden fazla ise, bu durumda NBD'si en büyük olan proje tercih edilecektir (Cesur, 2006).

Yapılan çalışmada, pompa istasyonunda enerji kazanımını sağlayacak her seçenek yatırım için Net Bugünkü Değer hesaplaması gerçekleştirilmiştir.

Geri ödeme süresi, bir projenin net kar ve amortismanlar toplamından oluşan nakit girişlerinin, toplam ilk yatırım tutarını tamamen geri ödemesi için gerekli olan süredir. Bu yöntem ile; yatırımcının kabul ettiği asgari bir geri ödeme süresiyle söz konusu projenin geri ödeme süresinin karşılaştırılması yoluyla projenin red veya kabulü hakkında karar verilebilir. Alternatif projeler arasında bir seçim yapıldığında ise geri ödeme süresi en kısa olan projeye öncelik verilmesi hususunda bilgi sahibi olunabilir (Ayanoğlu ve ark., 1996). Geri ödeme süresinin hesaplanmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Türkiye gibi yüksek faiz oranının olduğu ülkelerde paranın zaman değerini dikkate alan "indirgenmiş nakit akım tablosu"na göre yapılan hesaplamalar daha doğru olmaktadır (Ayanoğlu ve ark., 1996).

$$I = \sum_{t=1}^{p} \frac{C_t}{(1+r)^t} \tag{3.45}$$

p: Geri ödeme süresi [yıl] ve I: Toplam yatırım tutarı [TL]'dır.

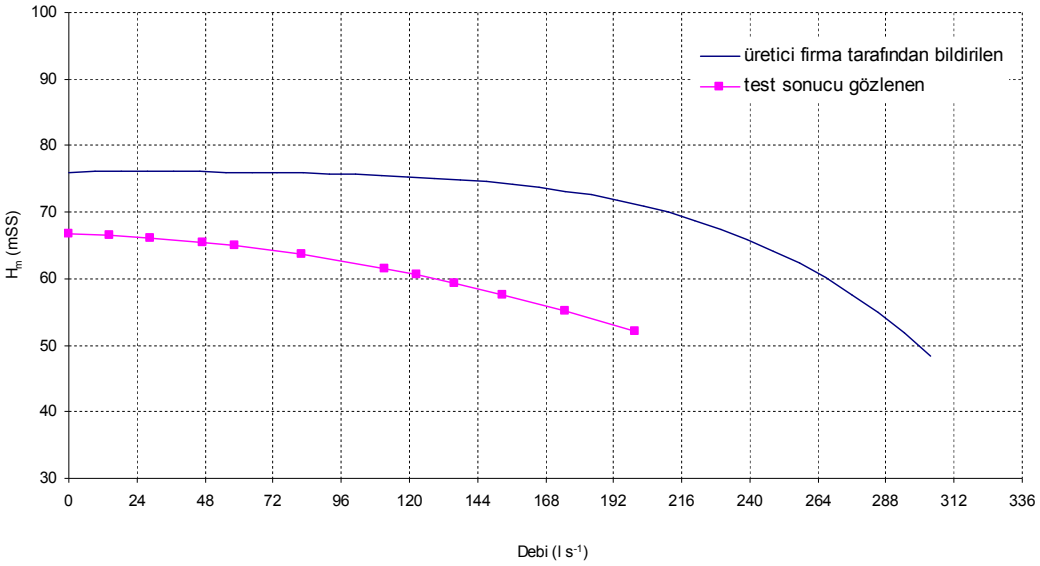
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Pompa Karakteristik Eğrileri

4.1.1. Toplam Dinamik Yükseklik (H_m) – Debi (Q) Eğrisi

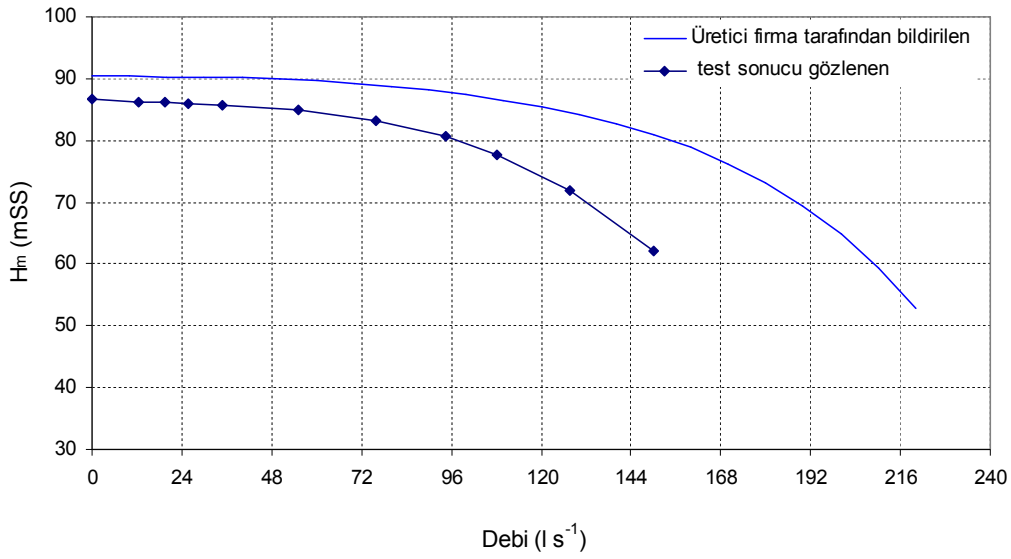
Pompaj sistemlerinin enerji ve maliyet analizleri gerçekleştirilirken pompaların gerçek karakteristiklerinin bilinmesi ve simülasyon modellemelerinde bu verilerin dikkate alınması yapılacak hesaplamaların doğruluğunu artıracaktır. Walski (2003), yaptığı araştırmanın sonucunda bu gerçeğe vurgu yapmış ve pompa işletme noktalarının ve değişken hız sürücülerinin verimlerinin belirlenmesinde gerçek pompa karakteristiklerinin kullanılması gerektiğini ifade etmiştir.

Çalışmaya konu pompa istasyonunda bulunan pompalar işletme koşullarında test edilmiş ve performans eğrileri üretici firmanın bildirmiş olduğu değerler ile kıyaslanmıştır. Türbosan marka Norm 200/500 ve Norm 250/500 tipi pompalara ait bu performans eğrileri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Pompa H_m -Q eğrisi (M-1 sulama sistemi – Norm 250-500 tip pompa)

Şekil 4.1 incelendiğinde, üretici tarafından bildirilen pompa performans değerleri ile arazi şartlarında ölçülen performans değerleri arasında ciddi farklılıklar olduğu görülmektedir. Kullanılan pompalar, aynı basınç koşullarında katalog değerlerinden daha az debi vermektedirler. Bu veriler, pompa verimlerinde zaman içinde bir azalma olduğunu göstermektedir. Pompa veriminin azalması; (i) pompa çarkının korozyona uğraması ve aşınmasına, (ii) sulama suyunun içerdiği siltasyon maddeleri, kum, organik maddelerin pompa çarkında yol açtığı fiziksel hasarlara ve (iii) kavitasyon nedeni ile pompa çarkında oluşan korozyona bağlı olabilir. Sayılan nedenlerle pompaların çarklarında meydana gelen aşınmalar ve hasarlar pompa genel veriminin düşmesine neden olmaktadır. Farklı araştırmaların neticesinde, kısa süreli kullanımların pompa çarkında mikro düzeyde aşınmaya neden olduğu halde, uzun süreli kullanımların daha büyük hasar meydana getirdiği, korozyon ve aşınmanın birleşerek belli bir süre sonunda pompa genel veriminin düşmesine neden olabildiği görülmüştür (Yüksel ve Eker 2009a; Yüksel ve Eker 2009b; Yüksel ve Eker 2010).



Şekil 4.2. Pompa H_m-Q eğrisi (M-2 sulama sistemi – Norm 200-500 tip pompa)

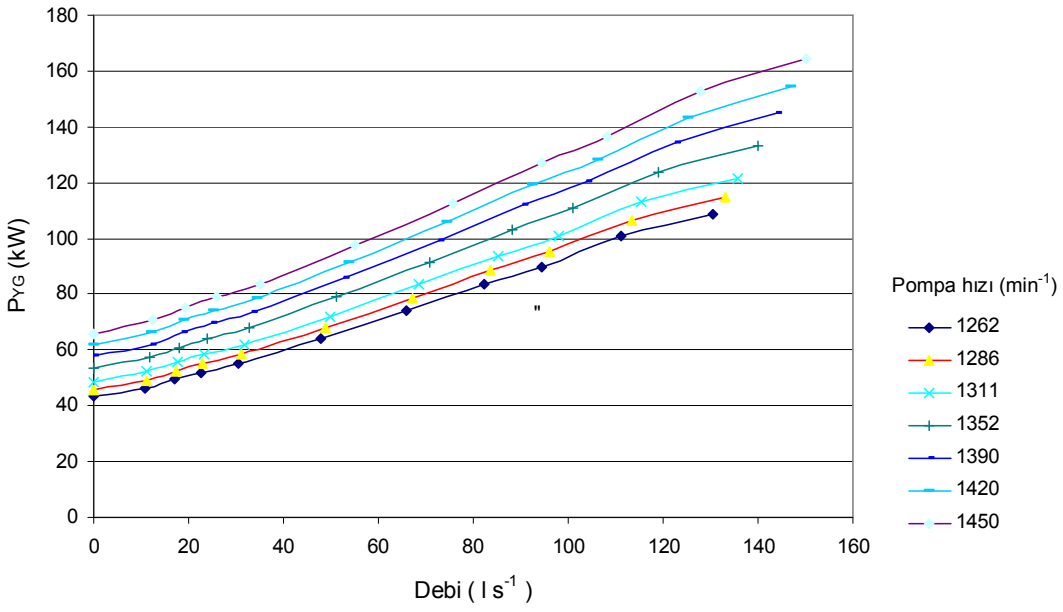
Şekil 4.2 incelendiğinde, Şekil 4.1'de görülenlere benzer şekilde, üretici firmanın bildirdiği pompa karakteristiği ile arazi şartlarında ölçülen pompa

performans değerleri arasında fark olduğu görülmektedir. Kullanılan pompalar, aynı basınç koşullarında katalog değerlerinden daha az debi vermektedirler. Başka bir ifade ile birim pompalanan su için üretilen basınç yükü daha düşüktür.

M-1 sulama sistemine hizmet eden pompa tipi (Norm 250-500), M-2 sulama sistemine hizmet eden pompa (Norm 200-500) tipine göre daha düşük basma yüksekliğine sahiptir. Pompaların bu şekilde seçilmesinin temel nedeni, M-1 sulama siteminin topoğrafik konumu nedeniyle daha düşük basınç yüküne gereksinim göstermesi olarak görülebilir. Her iki sulama hattındaki (M-1 ve M-2) pompaların aynı işletme ve bakım koşullarında çalışmalarından dolayı Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de görüldüğü gibi pompa basınç yüklerinde benzer şekilde düşüş meydana gelmiştir.

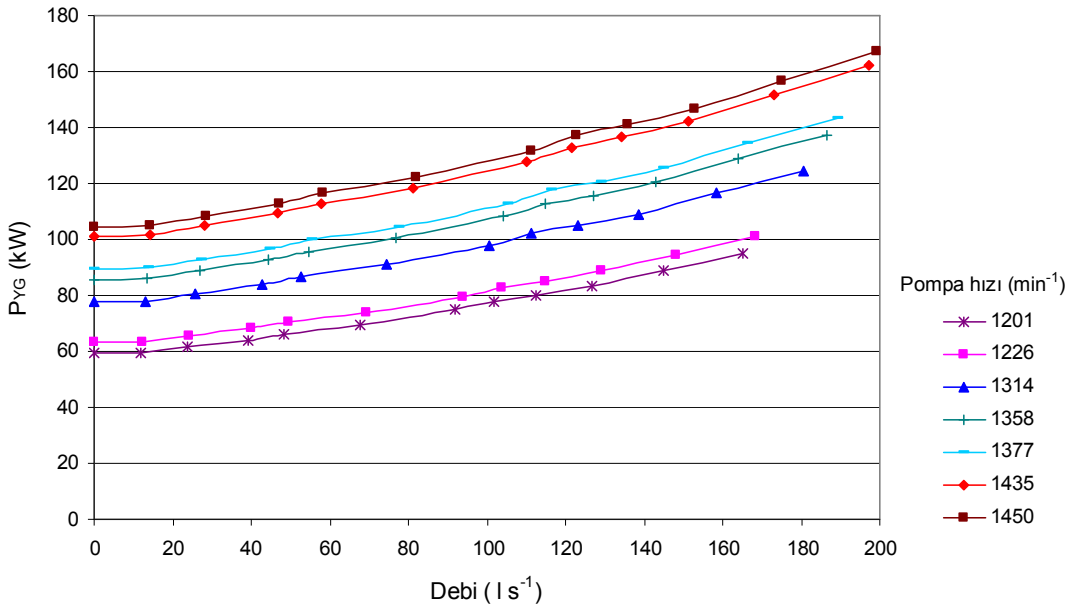
4.1.2. Güç–Debi Eğrisi

Pompa gücü-debi eğrisi; H_m –Q ve Verim-Q eğrilerinin bir fonksiyonudur. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi debinin sıfır olduğu noktada (pompanın kapalı vanaya karşı çalıştığı konum) bir güç sarfiyatının olduğudur. Aynı pompanın bazı farklı devirleri için elde edilen güç eğrileri Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Pompa gücü–debi eğrileri (Norm 200-500 tip pompa)

Şekil 4.3'e göre, pompanın yuttuğu güç (P_{YG}), debi arttıkça artmaktadır. Diğer taraftan pompanın güç ihtiyacı pompanın devir sayısı azaldıkça düşmektedir. Örneğin pompa hızı 1450 min^{-1}'dan 1262 min^{-1}'ya düştüğü zaman güç ihtiyacı sıfır debi değeri için %34 oranında azalırken 80 $l\,s^{-1}$ debi değeri için %29 oranında azalmaktadır. Benzer şekilde, Şekil 4.4'te Norm 250-500 tip pompa için farklı pompa devirlerindeki güç–debi ilişkisi görülmektedir. Grafiklerde görülen farklı pompa hızları, debi hidrograflarından elde edilen olası pompa çalışma noktalarına karşılık gelmektedir.



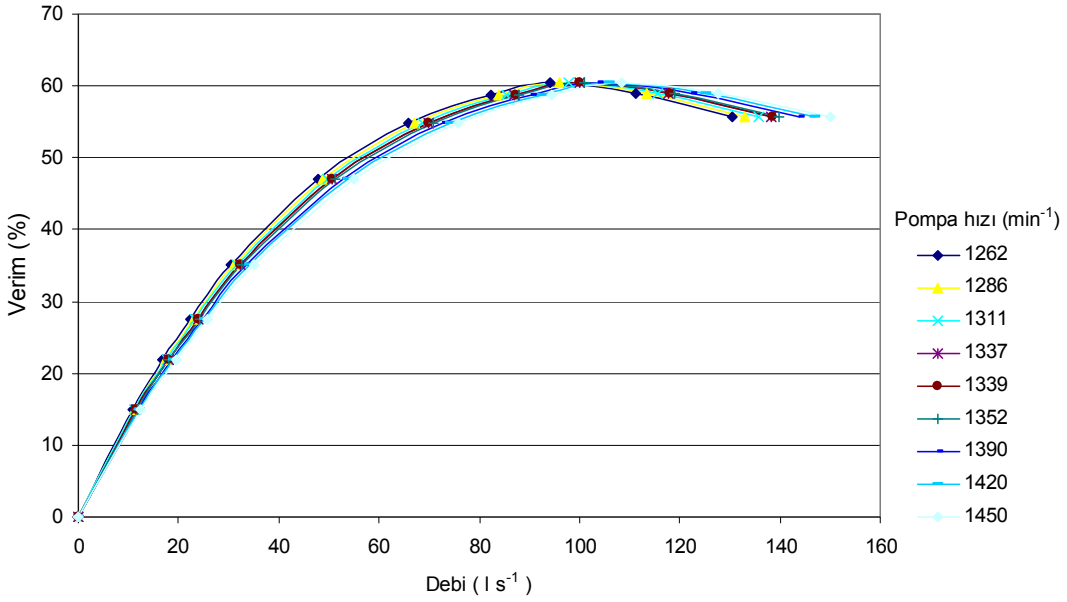
Şekil 4.4. Pompa gücü–Debi eğrileri (Norm 250-500 tip pompa)

Pompa güç–debi eğrisi, diğer pompa karakteristikleri H_m –Q ve Verim-Q eğrisinin bir fonksiyonu olduğundan güç–debi karakteristiği pompa tipine göre farklılık göstermektedir. Bu durum Şekil 4.3 ve 4.4 kıyaslandığında açıkça görülmektedir.

4.1.3. Verim–Debi Eğrisi (η–Q)

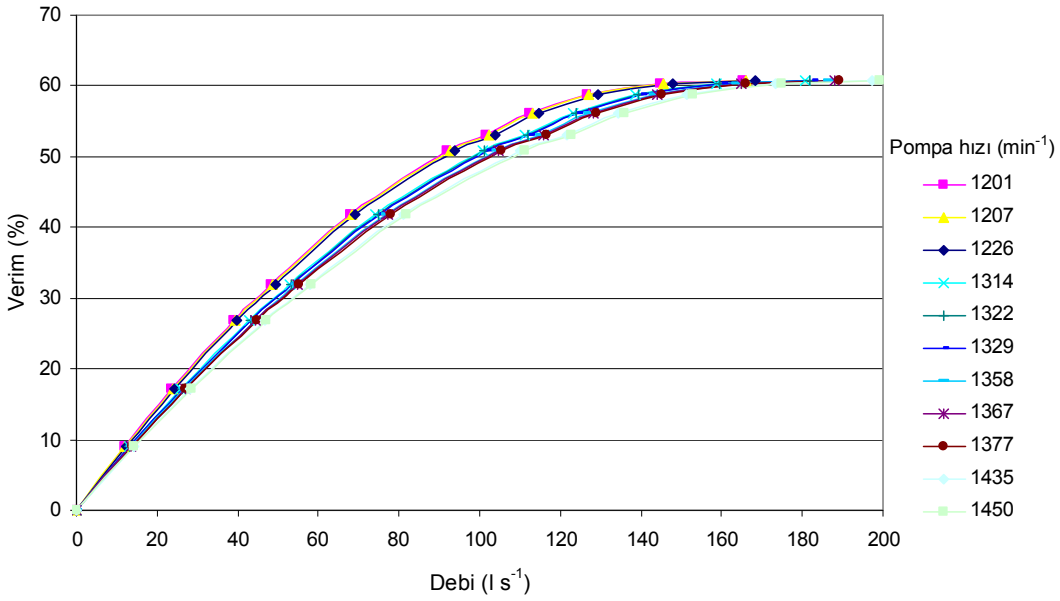
Pompa verimlerinin hesaplanabilmesi amacıyla öncelikle pompanın verdiği güç (su gücü) ve pompanın yuttuğu güç değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler bulunduktan sonra Eşitlik 3.18 kullanılarak pompa verimi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.

Pompa istasyonunda bulunan 4 adet Norm 200-500 tip pompanın ölçülen verimleri tam pompa devrinde maksimum %60.4 olup pompa üreticisinin bildirildiği katalog verim değerine kıyasla (EK 11) daha düşük bulunmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Farklı pompa devirlerindeki verim-debi eğrileri (Norm 200-500 tip pompa)

M-1 sulama sistemine servis yapan 2 adet Norm 250-500 tip pompanın verim testlerinin sonucu Şekil 4.6'da görülmekte olup maksimum verim değeri %60.8 olarak bulunmuştur. Bu pompanın verimi de diğer model için bahsedildiği gibi orijinal verim değerlerine kıyasla daha düşük bir değerdedir.



Şekil 4.6. Farklı pompa devirlerindeki verim-debi eğrileri (Norm 250-500 tip pompa)

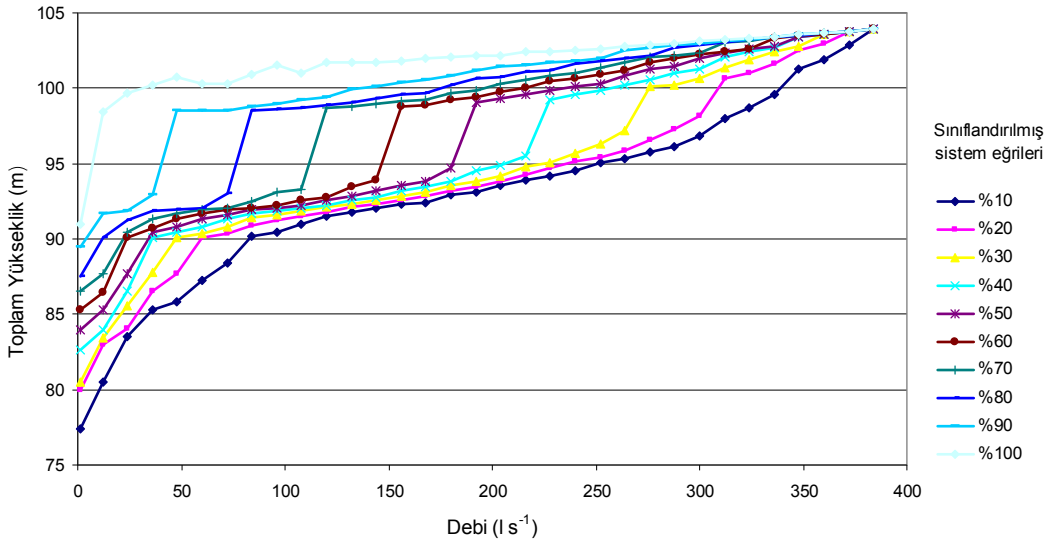
4.2. Sulama Sisteminin Analizi

Çalışmaya konu sulama sisteminin analizinde "Sınıflandırılmış Karakteristik Eğriler Modeli" M-1 ve M-2 sulama sistemleri için uygulanmıştır. M-1 sulama sistemi 1980 dekar araziye hizmet etmekte olup, bu sulama sistemi üzerinde 32 adet hidrant bulunmaktadır. Her bir hidrantın nominal debisi 12 $l\,s^{-1}$ olup hidrant seviyesinde istenen en düşük basınç yükü 30 mSS'dur. M-2 sulama sistemi ise 1830 dekar büyüklüğündeki bir alana hizmet etmekte olup, M-1 sisteminde olduğu gibi, 32 adet hidranta sahiptir.

Çalışma sahasında bulunan hidrantların topoğrafik konumlarına ve aynı anda çalışan hidrant kombinasyonlarının birbirlerine göre olan konumlarına göre sistemde birden fazla yük eğrisi bulunabilmektedir (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Planells ve ark., 2001). Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de M-1 ve M-2 sulama sistemleri için "Sınıflandırılmış Sulama Sistem Eğrileri" sunulmuştur. 1 $l\,s^{-1}$ 'den 382 $l\,s^{-1}$'ye kadar değişen sistem debisi için tesadüfü olarak 1000 adet hidrant konfigürasyonu belirlenmiştir. Sulama sırasında oluşabilecek sulama sistem eğrileri %10'luk aralıklarla gösterilmiştir. Bu yüzdelik eğrilerin anlamı; pompa istasyonu tarafından

sisteme sağlanan basıncın, belirtilen yüzdedeki hidrant konfigürasyonunu basınç yönünden tatmin ettiği, yani bu hidrantların yeterli basınca sahip olduğu, geri kalan yüzdedeki hidrant konfigürasyonlarının ise yeterli basınç yüküne sahip olmadıklarıdır. Şekillerde görülen toplam yükseklik; arazinin deniz seviyesinden yüksekliğini, hidrantlarda istenen minimum basınç yükü değerini ve sürtünme kayıplarını kapsamaktadır. Buna göre; pompa istasyonunun kotu 46 m ve hidrantlarda gereksinim duyulan minimum basınç yükü 30 mSS olduğundan dolayı sınıflandırılmış sulama sistem eğrileri 76 m'nin üzerinde başlamıştır (Şekil 4.7).

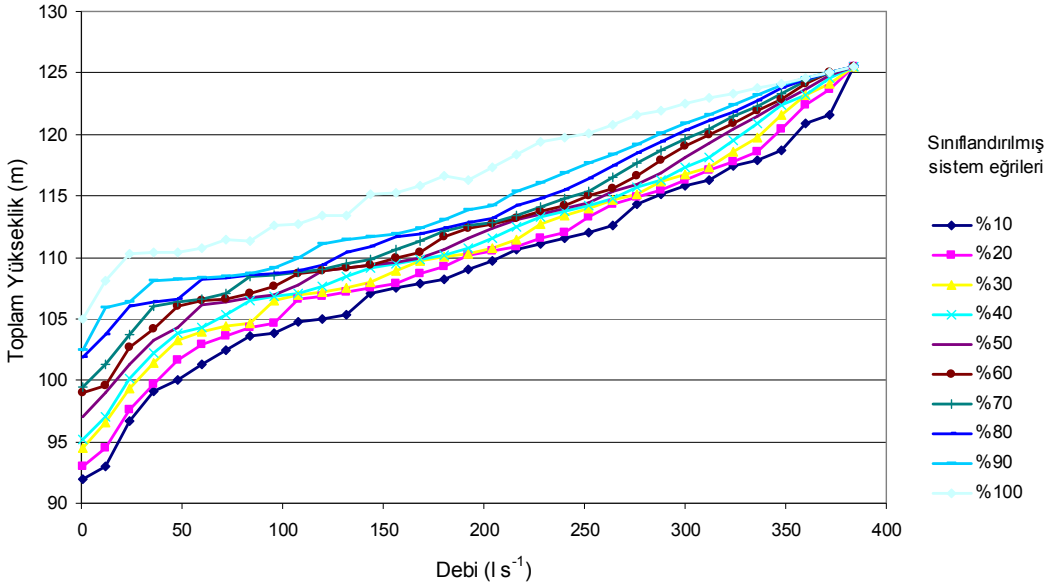
Şekil 4.7' de sunulan sistem eğrileri ve önceki bölümlerde bildirilen mevcut pompa karakteristiği değerlendirilirse, sistemin maksimum debi koşullarında bile basınç yükü bakımından yeterli olduğu tahmin edilebilir. Seçilen pompanın karakteristiği maksimum sistem eğrisinin de üzerindedir. Bu bilgi, pompa istasyonu yöneticilerinin özellikle düşük sistem debilerinde basınç fazlalığından dolayı vana kısma şikayetini de doğrulamaktadır.



Şekil 4.7. M-1 sulama sistemi sulama sistem eğrileri

Şekil 4.8'de sunulan sistem eğrileri ve pompa karakteristiği göz önüne alınırsa, mevcut pompa sistemi maksimum debi koşullarında M-2 sulama sisteminin genel performansının uygun olması için yeterli değildir. Maksimum debi

koşullarında işletme noktası 72 mSS (Z_o=118 m)'una denk gelmektedir. Bu değer minimum sistem eğrisinin altında kalmaktadır. Bu bilgi, pompa istasyonu yöneticilerinin pik dönemde basınç yetersizliği şikâyetlerini teyit etmiştir.



Şekil 4.8. M-2 sulama sistemi sulama sistem eğrileri

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 dikkatlice incelendiğinde, gereksinim duyulan basınç yükü bakımından her iki grafik arasında farklılık olduğu görülmektedir. Bu farklılık M-2 sulama sistemi üzerinde yer alan hidrantların pompa istasyonuna olan mesafesinin yanında topoğrafik olarak daha yüksek kotlarda konumlanmış olmasından da kaynaklanmaktadır. M-2 sulama sistemi, M-1 sulama sistemine kıyasla ortalama 15 m daha yüksekte konumlanmıştır. Her iki şekilde görüldüğü gibi, sınıflandırılmış sistem eğrileri debi arttıkça birbirlerine yaklaşarak tek bir noktada birleşmektedir. Maksimum debi koşullarına doğru gidildikçe toplam hidrant sayısı içinde açık hidrantların kombinasyon sayısı azalmaktadır. Bu nedenle, maksimum ve minimum sistem eğrileri giderek birbirine yaklaşmaktadır. Maksimum debide tüm hidrantların açık olması nedeniyle tek bir sistem yük eğrisi oluşacağı için sistem eğrileri maksimum debi değerinde birleşmektedir.

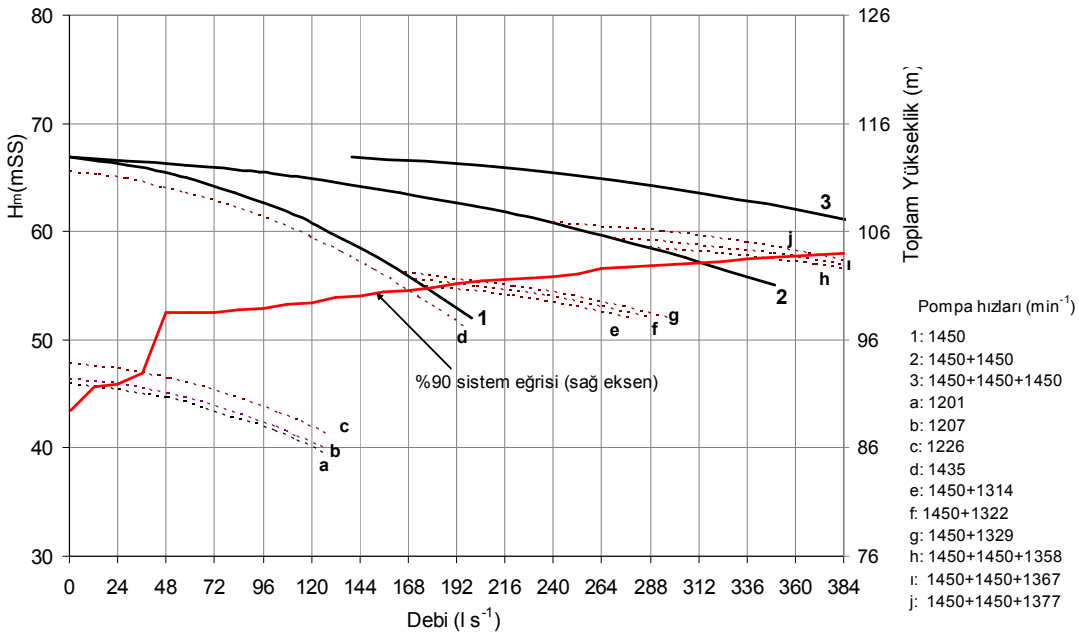
Bu çalışmada, sulama ve pompaj sisteminin hidrolik ve ekonomik optimizasyonu için uygulanan yöntem için %90 sistem yük eğrisi temel olarak alınmıştır. Her ne kadar, bir konfigürasyon içinde sadece bir hidrant bile (H_j), gerekli minimum basınç yükü değerine (H_{min}) sahip değilse, o hidrant konfigürasyonu için yetersiz denilse de, işletme noktasının %70 sınıflandırılmış sistem eğrisinin üzerinde olması durumunda sistemin performansı "çok iyi" olarak değerlendirilmektedir (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Calejo ve ark., 2008; Lamaddalena ve Khila, 2011). Bu durumda seçilen %90 sistem yük eğrisi sistem performansı açısından kabul edilebilir ve çok iyi bir değerdir.

4.3. Sulama Sistemi ve Pompaların Eşleştirilmesi

Herhangi bir debi değerinde, hidrantlarda istenilen basıncın sağlanabilmesi için pompa istasyonunda olması gereken çıkış basıncı, sistem yük eğrisi takip edilerek bulunabilir. Ancak, mevcut pompalar nominal hız değerlerinde çalıştıkları için pompaj sisteminin çalışma noktası, sulama sistem eğrisi ile tam hızdaki pompa H_m-Q eğrisinin kesişme noktası olacaktır. Kesişme noktası, istenilenden daha yüksek debiye karşılık geldiği durumlarda pompa çıkış noktasındaki bir vana ile akış kısılarak istenilen debi değeri sağlanmaktadır. Ancak, bu durumda sistemin gereksinim duyduğu basınçtan çok daha fazla bir basınç yükü sağlanmakta ve fazla güç gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Maksimum debi koşullarında dahi vananın %10 kapalı kalması yaygın görülen bir durumdur (BPMA, 2002). Bu kontrol yönteminde, düşük debi koşullarında bir miktar güç tasarrufu sağlanabilmektedir. Ancak dikkat edilmesi gereken bir nokta; debinin azalmasıyla birlikte pompanın maksimum verim noktalarından daha düşük verim değerlerinde çalışmaya zorlanmasıdır. Önceki bölümde de anlatıldığı üzere, bunu önlemenin yolu pompaları değişken devirlerde çalıştırmaktır. Pompa çalışma devri azaltılarak istenilen debi değerleri için sadece sistemin gereksinim duyduğu kadar bir basınç yükü değeri sağlanabilir.

Çalışmaya konu pompaların karakteristik eğrileri ile hizmet ettiği sulama sistemine ait sistem yük eğrisi aynı grafik üzerinde gösterilerek olası pompa çalışma

noktaları görülebilmektedir. Şekil 4.9'da, M-1 sulama sistemine servis yapan pompaların çeşitli işletme noktaları için tek ve paralel çalışması durumunda oluşacak pompa karakteristik eğrileri ve M-1 sulama sistemi yük eğrisinin eşleşmesi görülmektedir.



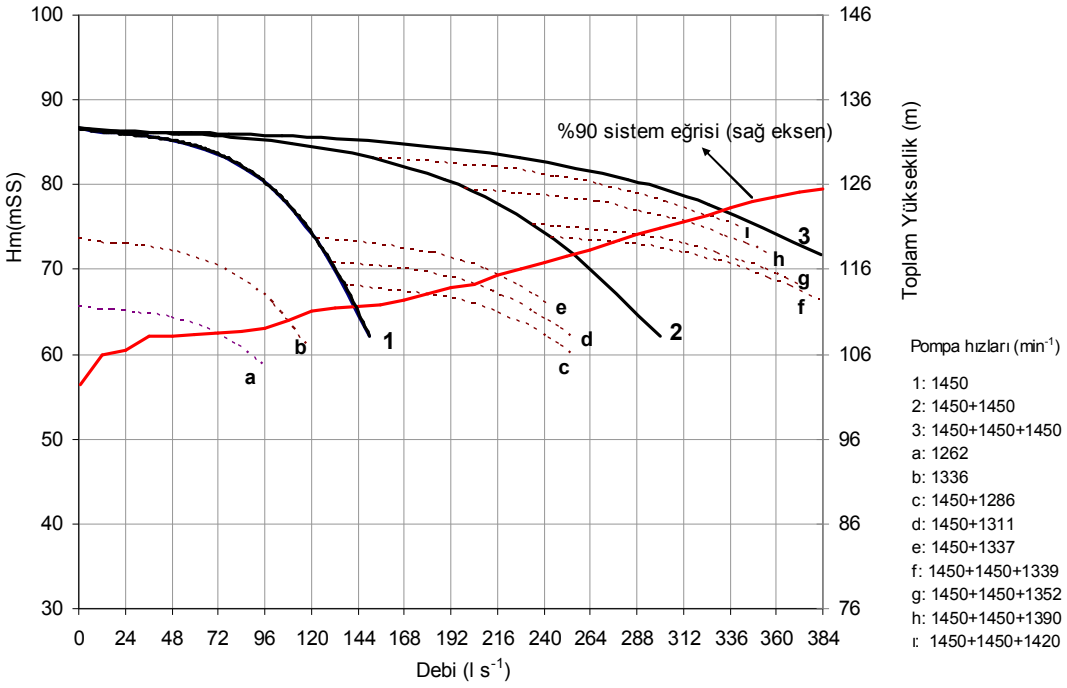
Şekil 4.9. Pompa karakteristik eğrileri ve M-1 sulama sistem eğrisi

Şekil 4.9'da görülen eğri 1, Norm 250-500 tip pompanın tek çalıştırılması durumundaki pompa karakteristiğini gösterirken, eğri 2 aynı iki birim pompanın paralel çalıştırılması durumundaki pompa karakteristiğini göstermektedir. M-1 sulama sisteminde 2 adet Norm 250-500 tip 1 adet ise Norm 200-500 tip pompa bulunmaktadır. 3 numaralı eğri bu üç pompanın paralel çalıştırılması durumunda oluşacak pompa karakteristiğini temsil etmektedir. Kesik çizgiler ise, farklı sistem debileri için olası pompa çalışma noktalarına göre pompa hızlarının uyarlanması durumunda oluşan pompa karakteristiklerini belirtmektedir. Buna göre; kesik çizgi a, b, c ve d tek bir pompanın sırasıyla 1201 min^{-1}, 1207 min^{-1}, 1226 min^{-1} ve 1435 min^{-1} pompa devrinde; e f ve g iki pompanın sırasıyla 1450+1214 min^{-1}, 1450+1322 min^{-1} ve 1450+1329 min^{-1} pompa hızlarında ve aynı şekilde h, ı ve j üç pompanın sırasıyla

1450+1450+1358 min^{-1}, 1450+1450+1367 min^{-1} ve 1450+1450+1377 min^{-1} pompa hızlarında paralel çalıştırılması durumundaki pompa karakteristiklerini göstermektedir. Grafik dikkatle incelenirse, 178 $l\,s^{-1}$' den sonra ikinci pompanın birinci pompa ile birlikte, 315 $l\,s^{-1}$' den sonra üçüncü pompanın bir ve ikinci pompalarla beraber çalışması gerektiği görülmektedir.

Değişken hızlı pompa istasyonlarında işletme noktası, daima sistem yük eğrisini takip etmektedir. Sulama sisteminde debi ihtiyacı arttıkça, pompaların bağlı bulunduğu bir frekans değiştirici, belirlenen debi değeri için gerekli minimum basıncı sağlayacak şekilde pompa hızını düzenler. Böylece pompalar tekrar sistem basınç gereksinimini karşılayabilir.

Şekil 4.10'da, M-2 sulama sistemine servis yapan pompaların (Norm 200-500) farklı hızlarda tek ve birlikte paralel çalışması durumunda oluşacak pompa H_m-Q eğrilerinin M-2 sulama sistemi yük eğrisi ile eşleşmesi görülmektedir.



Şekil 4.10. Pompa karakteristik eğrileri ve M-2 sulama sistem eğrisi

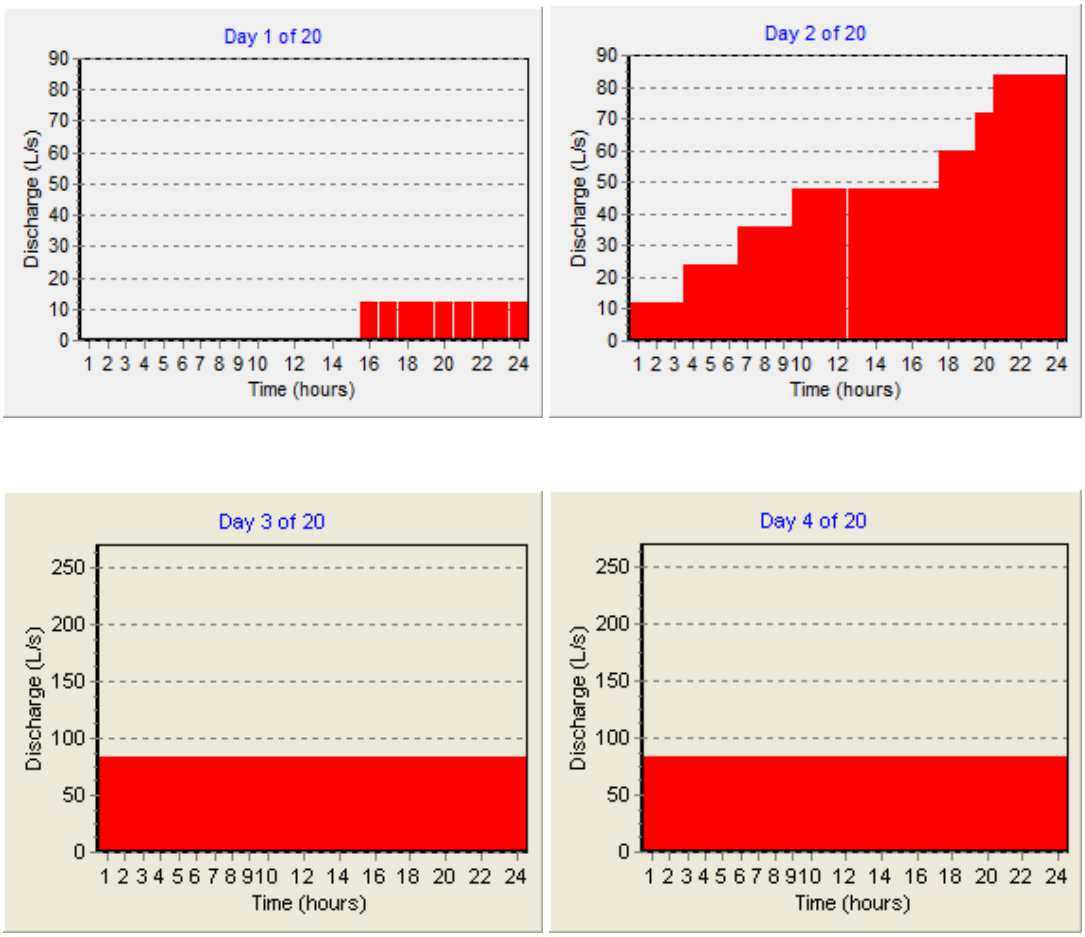
Şekil 4.10'da kalın çizgi ile gösterilen 1 numaralı eğri tek bir pompanın tam hızda (1450 min^{-1}) tek başına, 2 numaralı eğri iki birim pompanın 1450 min^{-1} hızda paralel olarak, 3 numaralı eğri ise 3 birim pompanın 1450 min^{-1} hızda paralel olarak eş zamanlı çalışması durumundaki pompa karakteristiklerini göstermektedir. Kesik çizgi a ve b, tek bir pompanın sırasıyla 1262 min^{-1} ve 1336 min^{-1} pompa devrinde çalıştırılması durumunda elde edilen temsili pompa karakteristik eğrisini göstermektedir. Kesik çizgiler c,d ve e iki pompanın sırasıyla 1450+1286 min^{-1}, 1450+1311 min^{-1} ve 1450+1337 min^{-1} pompa hızlarında, benzer şekilde kesik çizgi f, g, h, ve ı üç pompanın sırasıyla 1450+1450+1339 min^{-1}, 1450+1450+1352 min^{-1}, 1450+1450+1390 min^{-1}, 1450+1450+1420 min^{-1} pompa hızlarında paralel çalıştırılması durumundaki pompa karakteristiklerini göstermektedir. Grafik analiz edildiğinde, 142 $l\,s^{-1}$'den sonra ikinci pompanın, 256 $l\,s^{-1}$'den sonra üçüncü pompanın devreye girmesi gerektiği görülmektedir.

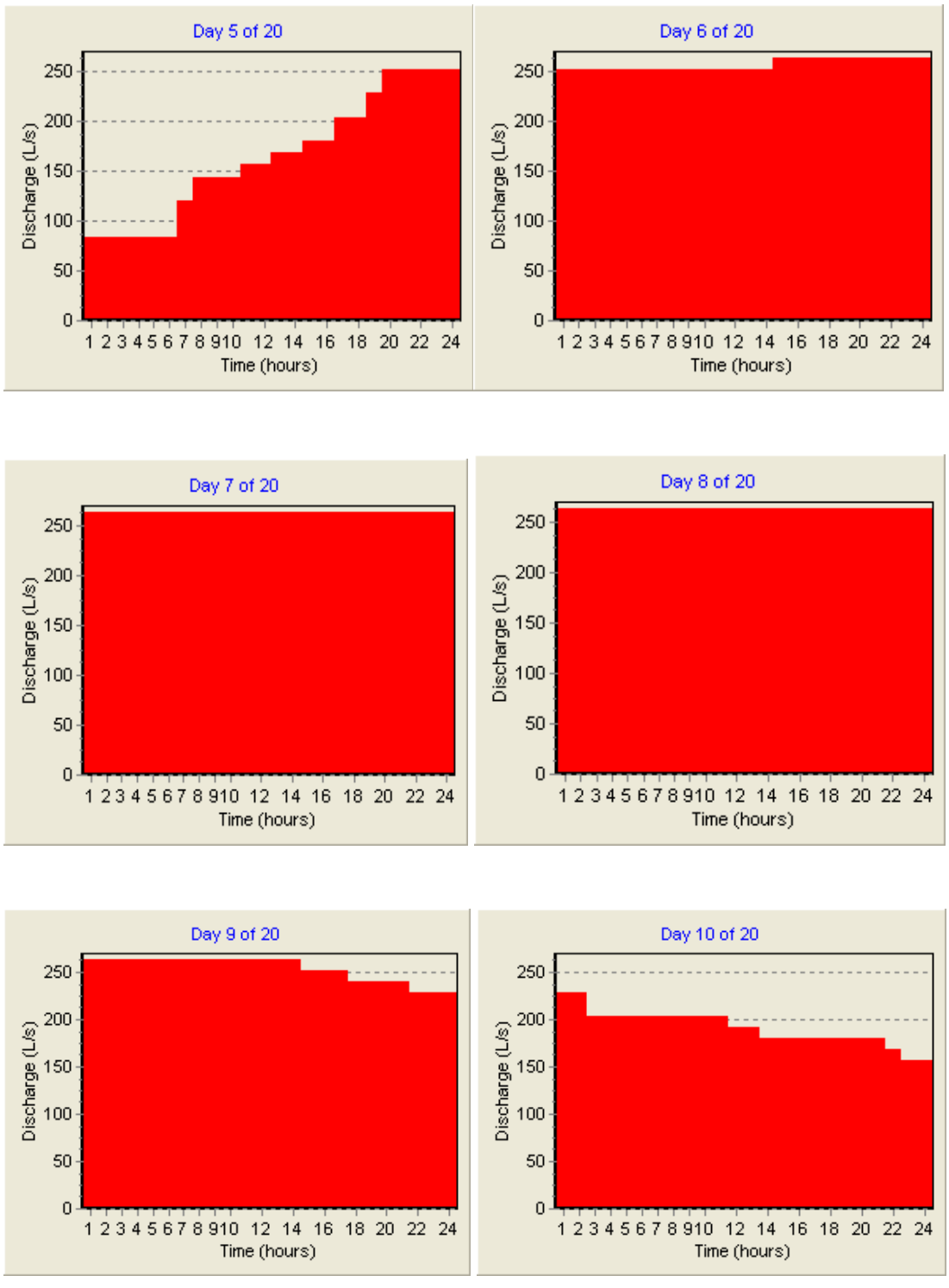
İkinci ve üçüncü pompaların devreye girdiği işletme noktaları "regülasyon 1"e göre çalışan değişken hızlı pompa istasyonunda kritik işletme noktalarıdır. Bu işletme noktalarında sistemdeki sabit hızlı pompalar tam devirde çalışırken değişken hızlı pompa en düşük hız değeri ile düşük sistem gereksinimlerini karşılamaya çalışacaktır. Bu noktada değişken hızla çalışan pompa, en iyi verim noktasından uzakta olacağından pompa veriminde ciddi düşüşler görülebilir. Bu durumda beklenen enerji kazanımı sağlanamayabilmektedir.

4.4. Debi Hidrografları

Çalışma alanında pompa çıkış debisini ölçmek amacıyla bir debimetre bulunmadığından dolayı önceki bölümde anlatılan model "WinGenera", çalışmaya konu sulama sistemlerine (M-1 ve M-2 sulama sistemi) uygulanmış ve pompa istasyonu çıkış debileri ve hidrant konfigürasyonları simüle edilmiştir. Programda kullanılan meteorolojik veriler, 2009 yılı için Adana Meteoroloji istasyonundan elde edilmiş ve giriş verisi olarak kullanılmıştır.

Sulama sezonu içinde, pik periyot 20 gün olarak dikkate alınmış ve 480 saatlik debi konfigürasyonu elde edilmiştir. Yazılım, sulama siteminden saatlik çekilen debinin olasılık dağılım işlevine göre hidrant konfigürasyonlarını belirlemektedir. Olasılık dağılım fonksiyonu Akdeniz çevresinde ve ikliminde yaygın olarak gerçekleştirilen testlerden (Lamaddalena, 1997; Khadra, 2004) elde edilmiş ve tüm sulama sezonu için kullanılmıştır. Pik periyot içinde bazı günlere ait günlük debi hidrografları örnek olarak Şekil 4.11'de raporlanmıştır. Tüm sulama sezonu için, pompa istasyonu çıkış debileri saatlik olarak elde edilmiş ayrıca, her bir bitki örtüsünün ihtiyaç duyduğu sulama suyu hacimsel ve zamansal olarak ekte sunulmuştur (EK 4, EK 5).





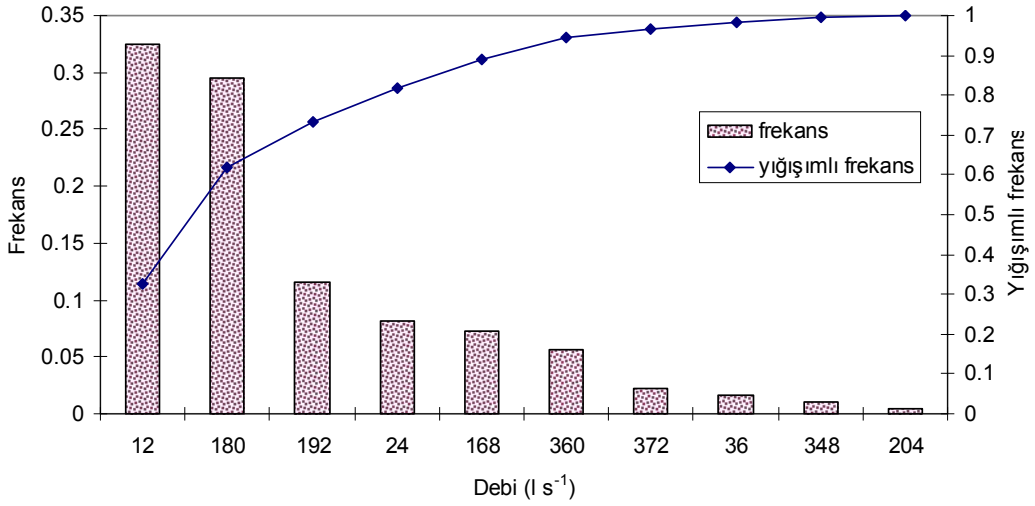
Şekil 4.11. M-1 sulama sisteminde bazı günler için oluşturulmuş debi hidrografları

Çizelge 4.1. M-1 sulama sistemi için olası sistem debileri ve frekansları

Q [l s^{-1}]	F [h]	$F_{yıg}$ [h]	P [%]	$P_{yıg}$ [%]
12	1074.8	1074.8	32.5	32.5
24	271.0	1345.8	8.2	40.7
36	53.0	1398.8	1.6	42.4
168	236.3	1635.1	7.2	49.5
180	973.2	2608.3	29.5	79.0
192	379.0	2987.3	11.5	90.4
204	17.0	3004.3	0.5	91.0
348	37.5	3041.8	1.1	92.1
360	189.0	3230.8	5.7	97.8
372	72.0	3302.8	2.2	100.0
TOPLAM	3302.8			

Çizelge 4.1, bir sulama sezonu boyunca gerçekleşen debi değerleri için frekans (F), yığışımlı frekans ($F_{yıg}$), olasılık (P) ve yığışımlı olasılık ($P_{yıg}$) değerlerini göstermektedir. Çizelgeden anlaşılacağı gibi, sulama sezonu boyunca sistemden alınan su hacmi değişkenlik göstermektedir. Yığışımlı frekans değeri olan 3302.8 h M-1 sulama sistemine servis yapan pompaların toplam işletme süresini belirtmektedir. 12 l s^{-1} debi, P = %32,5 olasılık değeri ile en yüksek gerçekleşme olasılığına sahipken 204 l s^{-1}, P = %0.5 gerçekleşme olasılığına sahip gözükmektedir. Sulama sezonu boyunca pompaların çalışmadığı dönemde oluşan sıfır debi değeri hesaplamalar sırasında dikkate alınmamıştır.

Şekil 4.12, Çizelge 4.1'de sunulan debi frekans histogramlarını olasılık değerlerinin büyüklüğüne göre sıralayarak göstermektedir.



Şekil 4.12. M-1 sulama sisteminde gerçekleşmesi olası sistem debileri ve frekans histogramları

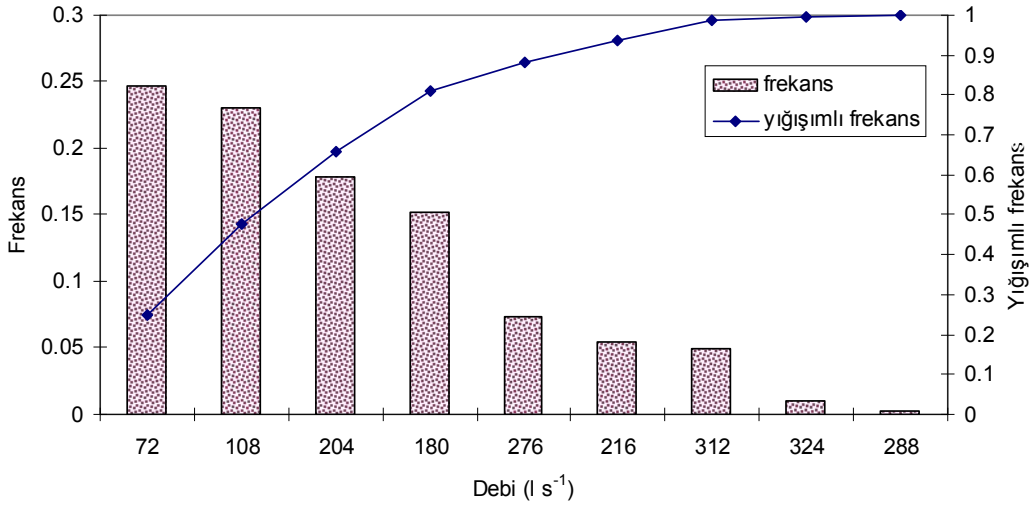
Çizelge 4.2'de, M-2 sulama sisteminde bir sulama sezonu boyunca gerçekleşen debi değerleri için frekans, yığışımlı frekans, olasılık ve yığışımlı olasılık değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.2. M-2 sulama sistemi için olası sistem debileri ve frekansları

Q [l s^{-1}]	F [h]	$F_{yığ}$ [h]	P [%]	$P_{yığ}$ [%]
72	739.6	739.6	24.7	24.7
108	693.0	1432.6	23.1	47.8
180	456.0	1888.6	15.2	63.0
204	536.0	2424.6	17.9	80.9
216	164.0	2588.6	5.5	86.4
276	222.4	2811.0	7.4	93.8
288	10.0	2821.0	0.3	94.1
312	146.0	2967.0	4.9	99.0
324	30.0	2997.0	1.0	100.0
TOPLAM	2997.0			

Yığışımlı frekans değeri olan 2997 h, M-2 sulama sistemine servis yapan pompaların toplam işletme süresini belirtmektedir. 72 l s^{-1} debi, P = %24.7 olasılık değeri ile en yüksek gerçekleşme olasılığına sahipken, 288 l s^{-1}, P = %1 gerçekleşme olasılığına sahip gözükmektedir. Sulama sezonu boyunca pompaların çalışmadığı dönemde oluşan sıfır debi değeri hesaplamalar sırasında dikkate alınmamıştır.

Şekil 4.13, Çizelge 4.2'de sunulan verilere göre debi-frekans histogramlarını göstermektedir.



Şekil 4.13. M-2 sulama sisteminde gerçekleşmesi olası sistem debileri ve frekans histogramları

4.5. Pompa İstasyonunun Enerji Tüketimi (Senaryo 1)

Senaryo 1: *Çalışmaya konu pompa istasyonundaki pompaların arazi şartlarındaki pompa testlerine dayalı karakteristikleri dikkate alınarak sabit ve değişken hızlı pompa operasyonlarının (regülasyon 1'e göre) enerji gereksiniminin karşılaştırılması ve ekonomik analizi*

Sabit hızlı pompa işletme modeli ile değişken hızlı pompa işletme modeli arasındaki enerji tüketim değerlerini karşılaştırmak için sulama sistemlerinde meydana gelen her bir sistem debisi için güç gereksinimi hesaplanmıştır. Her bir hidrant 12 l s^{-1} nominal debi değerine sahip olduğundan dolayı, aralık değeri olarak

12 l s^{-1} dikkate alınmıştır. Sulama sistemlerinde oluşan debi değerleri, aynı zamanda pompa çalışma noktalarını ifade etmekte olup, Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'den elde edilmiş ve hesaplamalar bu debi değerleri için gerçekleştirilmiştir.

4.5.1. Sabit Hızlı Pompa Operasyonu için Güç Gereksinimi

Pompa ve elektrik motorunun güç ihtiyacı Eşitlik 3.16 ve 3.17 kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir debi değeri için gerekli basınç yükü (H_m) pompa H_m -Q karakteristik eğrisi üzerinden okunmuştur. Pompanın maksimum hızı, 50 Hz frekans değerinde stroboskop kullanılarak yapılan testler sonucunda 1450 min^{-1} olarak ölçülmüştür. Elektrik motorunun verimi, üretici firmanın bildirdiği verilere dayanarak, %94 olarak kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlar M-1 ve M-2 sulama sistemleri için Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te giriş verileri ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.3. Sabit hızlı pompa operasyonunda pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-1 sulama sistemi için)

Q	H_m	η_{p1}	η_{p2}	η_{p3}	Pompa hızı [min^{-1}]	P_{YG} [kW]			P_a [kW]		
[l s^{-1}]	[m]	[%]	[%]	[%]	P1, P2, P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
12	66.6	7.4	-	-	1450	105.9	-	-	112.7	-	-
24	66.3	14.7	-	-	1450	106.2	-	-	112.9	-	-
36	65.9	21.1	-	-	1450	110.3	-	-	117.3	-	-
168	55.9	59.9	-	-	1450	153.7	-	-	163.5	-	-
180	63.1	44.6	44.6	-	1450	124.8	124.8	-	132.8	132.8	-
192	62.7	46.4	46.4	-	1450	127.1	127.1	-	135.3	135.3	-
204	62.2	48.3	48.3	-	1450	128.8	128.8	-	137.1	137.1	-
348	62.4	47.7	47.7	55.8	1450	127.9	127.9	162.8	136.1	136.1	173.2
360	60.8	49.1	49.1	55.6	1450	127.4	127.4	160.7	135.5	135.5	171.0
372	60.4	51	51	55.7	1450	129.3	129.3	158.9	137.5	137.5	169.0

M-1 sulama sisteminde 178 l s^{-1}'ye kadar tek bir pompa, 315 l s^{-1}'ye kadar iki birim pompa çalışırken, 315 l s^{-1}'den daha büyük debilerde 3. pompa da devreye alınmaktadır (Şekil 4.9). Bu nedenle, 178 l s^{-1}'den küçük debi değerleri için 2. pompanın, 315 l s^{-1}'den küçük değerler için 3. pompanın güç gereksinimi sıfır olarak gözükmektedir (Çizelge 4.3).

M-2 sulama sisteminde 142 l s^{-1}'ye kadar tek bir pompa, 256 l s^{-1}'ye kadar iki birim pompa çalışırken, 256 l s^{-1}'den daha büyük debilerde 3. pompa da devreye alınmaktadır (Şekil 4.10). Bu nedenle 142 l s^{-1}'den küçük debi değerleri için 2. pompanın, 256 l s^{-1}'den küçük değerler için 3. pompanın güç gereksinimi sıfır olarak gözükmektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Sabit hızlı pompa operasyonunda pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-2 sulama sistemi için)

Q	H_m	η_{p1}	η_{p2}	η_{p3}	Pompa hızı [min^{-1}]	P_{YG} [kW]			P_a [kW]		
[l s^{-1}]	[m]	[%]	[%]	[%]	P1, P2, P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
72	83.7	53.6	-	-	1450	110.2	-	-	117.2	-	-
108	77.7	60.3	-	-	1450	136.5	-	-	145.2	-	-
180	81.4	58.0	58.0	-	1450	123.8	123.8	-	131.7	131.7	-
204	79.1	60.0	60.0	-	1450	131.9	131.9	-	140.3	140.3	-
216	77.7	60.3	60.3	-	1450	136.5	136.5	-	145.2	145.2	-
276	81.0	58.4	58.4	58.4	1450	125.1	125.1	125.1	133.1	133.1	133.1
288	80.3	59.0	59.0	59.0	1450	128.1	128.1	128.1	136.3	136.3	136.3
312	78.7	60.2	60.2	60.2	1450	133.3	133.3	133.3	141.8	141.8	141.8
324	77.7	60.3	60.3	60.3	1450	136.5	136.5	136.5	145.2	145.2	145.2

4.5.2. Değişken Hızlı Pompa Operasyonu için Güç Gereksinimi

Sabit hızlı pompa operasyonu için yukarıda tanımlanan tüm işlemler değişken hızlı pompa operasyonu için de uygulanmıştır. Öncelikle, sulama sezonunda oluşacak her bir debi sınıfı için (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13) basınç yükü gereksinimi bulunmuştur. Sınıflandırılmış sistem karakteristik eğrileri "COPAM" yazılımı

kullanılarak elde edilmiştir. Hesaplamalarda, %90 sistem yük eğrisi dikkate alınmıştır. Sulama sisteminde oluşması muhtemel her bir debi değerine karşılık gelen, minimum basınç gereksinimini sağlayacak pompa hızları Benzeşim Yasası kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan hızlara karşılık gelen pompa verim değerleri pompa verim-debi eğrileri kullanılarak grafik üzerinden okunmuştur. Nihayetinde, pompa ve elektrik motorunun güç gereksinimi belirtilen giriş verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te giriş verileri ile beraber verilmiştir.

Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi, M-1 sulama sistemi üzerindeki pompaların muhtemel çalışma noktalarındaki pompa hızları 1192 min^{-1} ile 1450 min^{-1} arasında değişmektedir. Minimum güç gereksinimi pompa bazında 52.3 kW, maksimum 157.7 kW'tır.

Çizelge 4.5. Değişken hızlı pompa operasyonunda pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-1 sulama sistemi için)

Q	H_m	η_{p1}	η_{p2}	η_{p3}	Pompa hızı [min^{-1}]			P_{YG} [kW]			P_a [kW]		
[l s^{-1}]	[m]	[%]	[%]	[%]	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
12	45.7	9.0	-	-	1201	-	-	59.7	-	-	63.5	-	-
24	45.9	17.3	-	-	1207	-	-	62.4	-	-	66.4	-	-
36	47.0	24.6	-	-	1226	-	-	67.4	-	-	71.7	-	-
168	54.5	60.0	-	-	1435	-	-	149.7	-	-	159.2	-	-
180	54.8	60.4	1.9	-	1450	1314	-	157.7	77.5	-	167.8	82.5	-
192	55.2	60.3	12.2	-	1450	1322	-	156.2	79.9	-	166.2	85.0	-
204	55.4	60.1	20.4	-	1450	1329	-	155.6	85.1	-	165.5	90.5	-
348	57.6	58.9	58.9	44.7	1450	1450	1192	146.8	146.8	52.3	156.2	156.2	55.7
360	57.7	58.8	58.8	52.3	1450	1450	1201	146.2	146.2	60.4	155.6	155.6	64.3
372	57.8	58.6	58.6	56.9	1450	1450	1215	145.9	145.9	69.9	155.3	155.3	74.3

Çizelge 4.6. Değişken hızlı pompa operasyonunda pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-2 sulama sistemi için)

Q	H_m	η_{p1}	η_{p2}	η_{p3}	Pompa hızı [min^{-1}]			P_{YG} [kW]			P_a [kW]		
[$l\ s^{-1}$]	[m]	[%]	[%]	[%]	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
72	62.5	56.6	-	-	1262	-	-	77.9	-	-	82.9		-
108	63.9	60.0	-	-	1336	-	-	112.8	-	-	120.0		-
180	67.1	57.3	41.8	-	1450	1286	-	160.3	63.5	-	170.6	67.6	-
204	68.3	57.7	54.4	-	1450	1311	-	158.8	82.5	-	169.0	87.7	-
216	69.4	58.1	57.8	-	1450	1337	-	157.1	96.2	-	167.2	102.3	-
276	73.2	59.3	59.3	32.1	1450	1450	1339	149.8	149.8	63.7	159.4	159.4	67.7
288	74.1	59.7	59.7	44.0	1450	1450	1352	147.3	147.3	75.8	156.7	156.7	80.6
312	75.6	60.1	60.1	56.8	1450	1450	1390	143.1	143.1	104.5	152.2	152.2	111.1
324	76.4	60.3	60.3	59.7	1450	1450	1420	140.6	140.6	122.5	149.6	149.6	130.3

M-2 sulama sistemi üzerindeki pompaların olası çalışma noktalarındaki pompa hızları ve güç gereksinimleri Çizelge 4.6'da görülmektedir. Buna göre, M-2 sulama sistemine hizmet eden pompalar 1262 min^{-1} ile 1450 min^{-1} pompa hızlarında çalışmaktadır. Pompaların güç gereksinimi 63.5 kW ile 160.3 kW arasındadır.

4.5.3. Enerji Gereksinimi

Pompa istasyonunda harcanan elektrik enerjisi Eşitlik 3.38 kullanılarak hesaplanabilir. Belirli sulama sistem debilerinde, elektrik motorunun elektrik şebekesinden çektiği güç miktarı ve çalışma süresi kullanılarak pompa istasyonunun enerji gereksinimi hesaplanmıştır. Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de sabit hızlı pompa operasyonu için giriş verileri ile birlikte enerji gereksinimleri verilmiştir.

Çizelge 4.7'ye göre en büyük enerji tüketimi, 258488.4 kWh ile 180 $l\ s^{-1}$'de oluşmaktadır. Bunun temel nedeni, toplam enerji tüketiminin çalışma süresi ve güç tüketiminin bir fonksiyonu olmasındandır. M-1 sulama sisteminde bir sulama sezonu

boyunca gerekli olan toplam enerji miktarı sabit hızlı pompa operasyonu için 694493.4 kWh olup, pompaların toplam çalışma süresi 3302.8 saattir.

Çizelge 4.7. Sabit hızlı pompa operasyonu enerji gereksinimi (M-1 sulama sistemi için)

Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	P_a [kW]			E [kWh]			
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	Toplam
12	1074.8	112.7	-	-	121120.9	-	-	121120.9
24	271.0	112.9	-	-	30608.7	-	-	30608.7
36	53.0	117.3	-	-	6218.0	-	-	6218.0
168	236.3	163.5	-	-	38646.3	-	-	38646.3
180	973.2	132.8	132.8	-	129244.2	129244.2	-	258488.4
192	379.0	135.3	135.3	-	51261.7	51261.7	-	102523.5
204	17.0	137.1	137.1	-	2330.1	2330.1	-	4660.2
348	37.5	136.1	136.1	173.2	5103.7	5103.7	6495.0	16702.3
360	189.0	135.5	135.5	171.0	25617.2	25617.2	32317.6	83551.9
372	72.0	137.5	137.5	169.0	9901.7	9901.7	12169.7	31973.1
Toplam	3302.8							694493.4

Çizelge 4.8 incelendiğinde görülmektedir ki M-2 sulama sisteminde bir sulama sezonu için gerekli olan toplam enerji miktarı 673476.6 kWh olup pompaların toplam çalışma süresi 2997 saattir. En büyük enerji tüketimi 150365.1 kWh ile 204 l s^{-1}'de oluşmaktadır.

Bu enerji gereksinim değerlerinin alternatif sistemlerle karşılaştırılması ve ekonomik analizi yapılmaksızın tek başına değerlendirilmesi doğru bir yaklaşım değildir. İlerleyen bölümlerde çeşitli senaryolar altında bu analizler yapılarak farklı seçeneklerin hem enerji kazanımı hem de ekonomik kazanım açısından değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.8. Sabit hızlı pompa operasyonu enerji gereksinimi (M-2 sulama sistemi için)

Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	P_a [kW]			E [kWh]			
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	Toplam
72	739.6	117.2	-	-	86676.7	-	-	86676.7
108	693.0	145.2	-	-	100636.7	-	-	100636.7
180	456.0	131.7	131.7	-	60043.0	60043.0	-	120086.0
204	536.0	140.3	140.3	-	75182.6	75182.6	-	150365.1
216	164.0	145.2	145.2	-	23815.9	238159	-	47631.8
276	222.4	133.1	133.1	133.1	29609.3	29609.3	29609.3	88827.8
288	10.0	136.3	136.3	136.3	1363.1	1363.1	1363.1	4089.2
312	146.0	141.8	141.8	141.8	20697.9	20697.9	20697.9	62093.7
324	30.0	145.2	145.2	145.2	4356.6	4356.6	4356.6	13069.7
Toplam	2997.0							673476.6

Mevcut sulama pompa istasyonu enerji kazanımı amacıyla değişken hızlı pompa istasyonuna dönüştürüldüğü takdirde M-1 ve M-2 sulama sistemlerinde tüketilecek enerji miktarı giriş verileri ile birlikte Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da verilmiştir.

M-1 sulama sistemine bağlı pompaların değişken hızlı olarak çalıştırılması durumunda en yüksek enerji tüketimi 243543.8 kWh ile 180 l s^{-1}'lik sistem debisinde oluşmaktadır. 3302.8 saat pompa çalışma süresi için gerekli enerji miktarı 583190 kWh olup, sabit hızlı pompa operasyonuna göre daha az bir tüketim meydana gelmektedir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.10'a göre, M-2 sulama sistemine bağlı olarak çalışan pompaların değişken hızlı operasyonunda en yüksek enerji tüketimi 137604 kWh ile 204 l s^{-1}'lik sistem debisinde oluşmaktadır. 2997 saat pompa çalışma süresi için gerekli enerji miktarı 598312.5 kWh olup, sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla daha az bir tüketim meydana gelmektedir.

Çizelge 4.9. Değişken hızlı pompa operasyonu enerji gereksinimi (M-1 sulama sistemi için)

Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	P_a [kW]			E [kWh]			
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	Toplam
12	1074.8	63.5	-	-	68245.5	-	-	68245.5
24	271	66.4	-	-	17986.0	-	-	17986.0
36	53	71.7	-	-	3799.6	-	-	3799.6
168	236.3	159.2	-	-	37622.7	-	-	37622.7
180	973.2	167.8	82.5	-	163300.3	80243.5	-	243543.8
192	379	166.2	85.0	-	62973.9	32198.9	-	95172.9
204	17	165.5	90.5	-	2814.2	1539.0	-	4353.2
348	37.5	156.2	156.2	55.7	5857.4	5857.4	2087.2	13802.0
360	189	155.6	155.6	64.3	29401.4	29401.4	12152.6	70955.4
372	72	155.3	155.3	74.3	11178.1	11178.1	5352.7	27708.8
Toplam	3302.8							583190.0

Çizelge 4.10. Değişken hızlı pompa operasyonu enerji gereksinimi (M-2 sulama sistemi için)

Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	P_a [kW]			E [kWh]			
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	Toplam
72	739.6	82.9	-	-	61309.2	-	-	61309.2
108	693.0	120.0	-	-	83160.0	-	-	83160.0
180	456.0	170.6	67.6	-	77782.0	30817.6	-	108599.6
204	536.0	169.0	87.7	-	90571.0	47033.0	-	137604.0
216	164.0	167.2	102.3	-	27415.3	16784.2	-	44199.5
276	222.4	159.4	159.4	67.7	35440.7	35440.7	15066.5	85948.0
288	10.0	156.7	156.7	80.6	1566.8	1566.8	806.1	3939.8
312	146.0	152.2	152.2	111.1	22221.3	22221.3	16226.3	60669.0
324	30.0	149.6	149.6	130.3	4487.4	4487.4	3908.5	12883.3
Toplam	2997.0							598312.5

M-1 sulama sistemi için sabit ve değişken hızlı pompa operasyonlarının güç ve enerji kazanımı açısından karşılaştırılması Çizelge 4.11'de verilmiştir. Çizelge 4.11'e göre, değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla yaklaşık 111303.4 kWh $yıl^{-1}$ enerji kazanımı söz konusudur. Bu değer sabit hızlı pompaya kıyasla %16 oranında bir enerji kazanımına eşdeğerdir. En büyük enerji kazanımı (%43.7) 12 l s^{-1} sistem debisinde oluşmaktadır. Küçük sistem debilerinde enerji kazanımı daha fazla iken, debi arttıkça enerji kazanım oranı azalmaktadır. Bu durum sistemde yer alan her bir paralel bağlantıdaki pompanın çalışmaya başlaması ile kendini tekrarlamaktadır. Önceki bölümde vurgulandığı gibi, 178 l s^{-1} ve 315 l s^{-1} M-1 sulama sistemi için sırasıyla 2. ve 3. pompaların işletmeye alındığı kritik debi değerleridir. Bu sistem debilerine yaklaşıldıkça değişken hızlı pompa nominal hız değerine yaklaştığı için elektrik şebekesinden çekilen güç sabit hızlı pompalarınki ile eşitlenmektedir. Ayrıca, bu kritik debilerin hemen üzerindeki sistem debilerinde, işletmedeki sabit hızlı pompalar tam hızda ve yüksek verimde çalışırken değişken hızlı pompa çok düşük verim değerlerinde çalışacağından beklenen enerji kazanım oranları düşük kalmaktadır. Buna göre, 168 l s^{-1}, 180 l s^{-1} 192 l s^{-1} ve 204 l s^{-1} sistem debilerinin enerji kazanımı açısından kritik debiler olduğu söylenebilir. Ancak, kazanılan enerji miktarı işletme süresine de bağlı olduğundan dolayı, kritik debi değerlerini değerlendirmek için temel olarak güç kazanımlarına bakmak daha doğru olmaktadır. Örneğin 204 l s^{-1} sistem debisinde 18.1 kW güç kazanımına karşılık 307 kWh $yıl^{-1}$ enerji kazanımı elde edilmişken, güç kazanımının çok düşük olduğu (4.3 kW) 168 l s^{-1} debi değerinde 1023.6 kWh $yıl^{-1}$ enerji kazanımı elde edilmiştir. Bu durumda, güç kazanım değerinin yüksek olduğu debilerde değişken hızlı pompa istasyonunun daha uzun süre çalışması sabit hızlı pompa istasyonuna kıyasla çok daha fazla eneri kazanımı sağlayacaktır. Pompa istasyonunun işletilmesinde bu hususun bilinip, ona göre yönetilmesi karlılığı artıracaktır.

Çizelge 4.11. Değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla elde edilen güç ve enerji kazanımı (M-1 sulama sistemi için)

Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	Güç kazanımı [kW]	Enerji kazanımı [kWh $yıl^{-1}$]	Enerji kazanımı [%]
12	1074.8	49.2	52875.3	43.7
24	271.0	46.6	12622.7	41.2
36	53.0	45.6	2418.4	38.9
168	236.3	4.3	1023.6	2.6
180	973.2	15.4	14944.6	5.8
192	379.0	19.4	7350.6	7.2
204	17.0	18.1	307.0	6.6
348	37.5	77.3	2900.3	17.4
360	189.0	66.6	12596.5	15.1
372	72.0	59.2	4264.3	13.3
Yıllık	3302.8		111303.4	16.0

M-2 sulama sistemi için sabit ve değişken hızlı pompa operasyonları arasındaki göreceli güç ve enerji kazanımları değer ve oran olarak hesaplanıp Çizelge 4.12'de verilmiştir. Çizelgeye göre, değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla yaklaşık olarak 75164.1 kWh $yıl^{-1}$ enerji kazanımı söz konusudur. Bu değer sabit hızlı pompaya kıyasla %11.2 oranında bir enerji kazanımına eşdeğerdir. En büyük enerji kazanımı (%29.3) 72 l s^{-1} sistem debisinde oluşmaktadır. Küçük sistem debilerinde enerji kazanımı daha fazla iken, debi arttıkça enerji kazanım oranı azalmaktadır. Bu durum sistemde yer alan her bir paralel bağlantıdaki pompanın çalışmaya başlaması ile kendini tekrarlamaktadır. M-2 sulama sistemi için, enerji kazanım oranlarına bakıldığında 276 l s^{-1}, 288 l s^{-1}, 312 l s^{-1}, 324 l s^{-1} enerji kazanımı açısından çok kritik debi değerleridir. Ancak, işletme süresi de dikkate alındığında, yaklaşık 15 kW güç kazanımı elde edilebilen 288 l s^{-1} sistem debisi, düşük çalışma süresine sahip olduğundan enerji kazanım değerinin de düşük kaldığı söylenebilir. Bu şekilde, yüksek güç kazanım potansiyeli olan debi

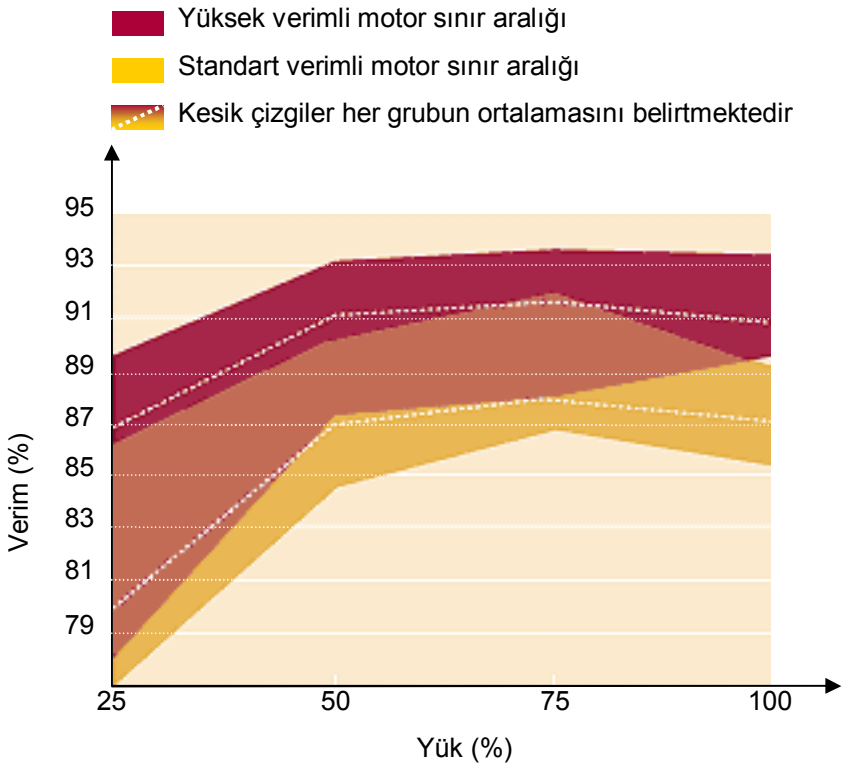
değerlerinde daha yüksek pompa çalışma süresi sağlanarak potansiyel kazanımlar artırılabilir.

Çizelge 4.12. Değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla elde edilen güç ve enerji kazanımı (M-2 sulama sistemi için)

Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	Güç kazanımı [kW]	Enerji kazanımı [kWh $yıl^{-1}$]	Enerji kazanımı [%]
72	739.6	34.3	25367.5	29.3
108	693.0	25.2	17476.7	17.4
180	456.0	25.2	11486.3	9.6
204	536.0	23.8	12761.1	8.5
216	164.0	20.9	3432.3	7.2
276	222.4	12.9	2879.8	3.2
288	10.0	14.9	149.4	3.7
312	146.0	9.8	1424.7	2.3
324	30.0	6.2	186.4	1.4
Yıllık	2997.0		75164.1	11.2

4.5.3.1. Motor ve Frekans Değiştirici Yük Durumunun Enerji Kazanımına Etkisi

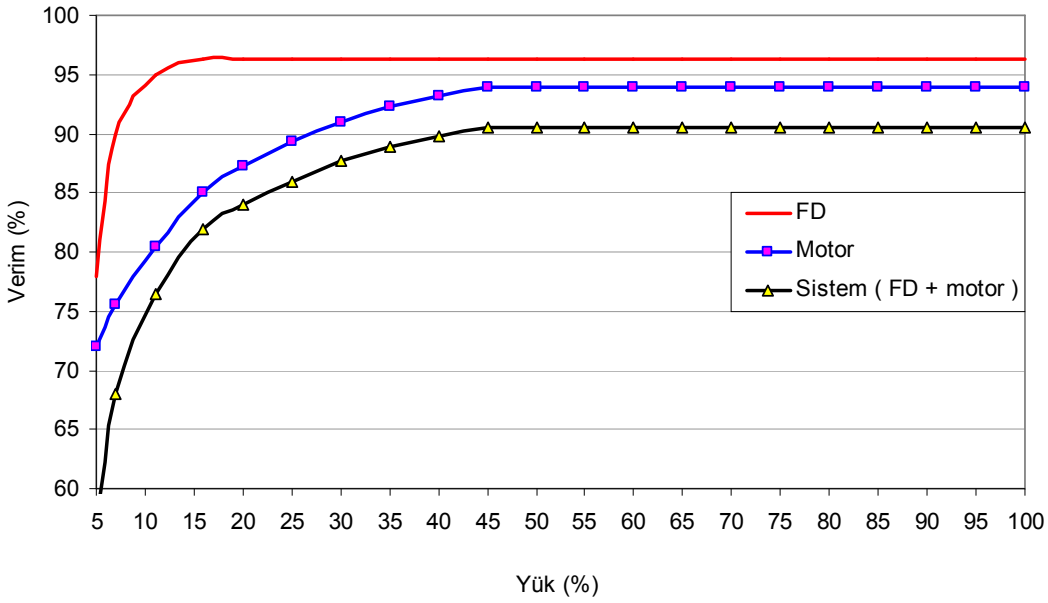
Şimdiye kadar yapılan analizlerde elektrik motorunun veriminin sabit kaldığı varsayılmıştır. Ancak hem elektrik motorlarının hem de değişken hızlı pompa istasyonlarında kullanılan frekans değiştiricilerin veriminde, yük durumuna göre değişiklikler olmaktadır. Pompa devir sayısı düştükçe yüklerde de düşüş görüleceğinden elektrik motoru ve frekans değiştiricinin verimleri azalmaktadır (Ertöz ve Duymuş, 2001; Walski ve ark., 2003). Motor büyüklüğüne bağlı olarak değişmekle birlikte, elektrik motorlarının verimi genellikle tam yükün %50'sine kadar fazla bir değişkenlik göstermeyip yatay bir seyir izlemektedir. Motor verimi, %50 motor yükünün altında keskin bir düşüş göstermektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Elektrik motoru verim–yük eğrisi ilişkisi (Platts, 2005)

Frekans değiştirici hiçbir zaman %100 verimle çalışmamaktadır. Mutlaka frekans değiştiricinin bünyesinde de kayıplar bulunmaktadır (Evans, 2007). Elektrik motorunun ve frekans değiştiricinin yük durumuna göre verimlerindeki tipik değişiklikler Şekil 4.15'te görülmekte olup, bu durum dikkate alınmadan yapılan pompaj sistemi optimizasyonu enerji maliyetlerini azaltmaktan öte artırabilmektedir.

Değişken hızlı pompa istasyonlarında sistem verimi, tek başına elektrik motorunun kullanıldığı sabit hızlı pompa istasyonlarının veriminden %4-6 oranında daha düşüktür (Ertöz ve Duymuş, 2001). Bu nedenle, motor sisteminden sürekli tam yükte iş gerektiren süreçler frekans değiştirici ile daha fazla enerji gerektirmektedir.



Şekil 4.15. Frekans Değiştirici (FD), elektrik motoru yük verim ilişkisi

Bu çalışmada, söz konusu problemden kaçınmak amacıyla frekans değiştirici ve elektrik motoru kayıpları göz önüne alınmış ve bu hesaplamalar karşılaştırma kolaylığını sağlamak bakımından "Senaryo 1b" olarak adlandırılırken önceki hesaplamalar "Senaryo 1a" olarak adlandırılmıştır. Buna göre, enerji gereksinimi Şekil 4.15, Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'ten istifade edilerek yeniden hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'te M-1 ve M-2 sulama pompaj sistemlerinde sabit ve değişken hızlı pompa operasyonları için pompa çalışma noktalarındaki elektrik motoru yük oranlarının karşılaştırması görülmektedir.

Çizelge 4.13'e göre motor yük oranı değişken hızlı operasyonda %36.8 ile %103,8 arasında değişirken, sabit hızlı pompa operasyonunda %70.4 ile %108.3 arasında değişmektedir. Motor yükünün %45'in altına düşmesi durumunda sistem verimi de düşmektedir. Sistemde tek bir frekans değiştirici kullanılması durumunda frekans değiştiriciye bağlı olan motor (değişken hızlı olan), sistemdeki nominal hızda çalışan diğer motorlardan daha düşük verimle çalışmaktadır. Örneğin sistem yük durumuna göre verim kaybının yaşanmadığı bölgede frekans değiştiriciye bağlı motor için sistem verimi (FD+motor) %90,5 iken aynı işletme modelindeki frekans değiştiriciye bağlı olmayan motor için sistem verimi %94 olacaktır.

Çizelge 4.13. Şebekeden çekilen güç (P_a) ve elektrik motoru yük oranları (M-1 sulama sistemi)

Q [l s^{-1}]	Değişken Hızlı Pompa Operasyonu						Sabit Hızlı Pompa Operasyonu					
	P_a [kW]			Motor Yükü [%]			P_a [kW]			Motor Yükü [%]		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
12	66.6	-	-	41.6	-	-	112.7	-	-	70.4	-	-
24	69.3	-	-	43.3	-	-	112.9	-	-	70.6	-	-
36	74.5	-	-	46.6	-	-	117.3	-	-	73.3	-	-
168	165.3	-	-	103.3	-	-	163.5	-	-	102.2	-	-
180	167.8	85.6	-	104.9	53.5	-	132.8	132.8	-	83.0	83.0	-
192	166.2	88.2	-	103.8	55.1	-	135.3	135.3	-	84.5	84.5	-
204	165.5	94.0	-	103.5	58.8	-	137.1	137.1	-	85.7	85.7	-
348	156.2	156.2	58.9	97.6	97.6	36.8	136.1	136.1	173.2	85.1	85.1	108.3
360	155.6	155.6	67.4	97.2	97.2	42.1	135.5	135.5	171.0	84.7	84.7	106.9
372	155.3	155.3	77.2	97.0	97.0	48.2	137.5	137.5	169.0	86.0	86.0	105.6

Sistem yük verim ilişkisi ve FD kayıpları yapılan araştırmalarda, bazı araştırıcılar tarafından dikkate alınmamıştır. Lamaddalena ve Khila (2011) bir pompa istasyonunda yaptıkları bir araştırmada, sistemde tek bir frekans değiştirici bulunan bir regülasyon ile her bir pompanın ayrı ayrı frekans değiştiricilere bağlı olduğu başka bir regülasyon tipini enerji kazanımı yönünden karşılaştırmış ve iki regülasyon tipi için, enerji kazanımı yönünden bir farklılık olmadığını bildirmişlerdir. Ancak, yukarıda belirtildiği gibi birden fazla frekans değiştiricinin kullanıldığı pompa istasyonlarının, frekans değiştirici kayıplarından dolayı daha fazla enerji tüketmeleri kaçınılmazdır. Bununla birlikte, frekans değiştiriciye bağlı değişken hızlı pompaların eşit debi sağlamak üzere aynı hızlarda eşzamanlı çalışmaları durumunda ortaya çıkan üçüncü bir regülasyon tipinde enerji kazanım oranları artabilir (Planells ve ark., 2005; Moreno ve ark., 2007; Moreno ve ark., 2009). Bunun temel nedeni; değişken hızlı pompaların aynı hızlarda paralel çalışması durumunda en iyi işletme noktasına daha yakın verim noktalarını yakalayabilmeleridir.

Çizelge 4.14'e göre, motor yük oranı değişken hızlı operasyonda %44 ile %106.6 arasında değişirken, sabit hızlı pompa operasyonunda %73.2 ile %90.8 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.14. Şebekeden çekilen güç (P_a) ve elektrik motoru yük oranları (M-2 sulama sistemi)

Q	Değişken Hızlı Pompa Operasyonu						Sabit Hızlı Pompa Operasyonu					
	P_a [kW]			Motor Yükü [%]			P_a [kW]			Motor Yükü [%]		
[l s^{-1}]	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
72	86.1	-	-	53.8	-	-	117.2	-	-	73.2	-	-
108	124.6	-	-	77.9	-	-	145.2	-	-	90.8	-	-
180	170.6	70.3	-	106.6	44.0	-	131.7	131.7	-	82.3	82.3	-
204	169.0	91.1	-	105.6	56.9	-	140.3	140.3	-	87.7	87.7	-
216	167.2	106.3	-	104.5	66.4	-	145.2	145.2	-	90.8	90.8	-
276	159.4	159.4	70.5	99.6	99.6	44.1	133.1	133.1	133.1	83.2	83.2	83.2
288	156.7	156.7	83.7	97.9	97.9	52.3	136.3	136.3	136.3	85.2	85.2	85.2
312	152.2	152.2	115.4	95.1	95.1	72.1	141.8	141.8	141.8	88.6	88.6	88.6
324	149.6	149.6	135.3	93.5	93.5	84.6	145.2	145.2	145.2	90.8	90.8	90.8

Motor ve frekans değiştiricinin yük durumuna göre sistem verimindeki değişiklikler ve FD kayıpları göz önüne alınarak pompa çalışma noktaları ve çalışma süreleri için enerji gereksinim değerleri yeniden hesaplandığında Çizelge 4.15'teki sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre, sabit hızlı pompa operasyonunun enerji gereksinimi 694493.4 kWh iken değişken hızlı pompa operasyonunun enerji gereksinimi 594180.2 kWh olarak belirlenmiştir. Sabit hızlı pompa işletme modelinde frekans değiştirici kullanılmadığından ve motor yük oranları %70.4 ile %108.3 aralığında değiştiğinden dolayı Senaryo 1a ile Senaryo 1b arasında enerji tüketimi yönünden bir değişiklik meydana gelmemiştir. Değişken hızlı pompa operasyonunda ise, FD kayıpları, FD ve motor yük oranlarının sistem verimine etkisinden dolayı Senaryo 1a'ya kıyasla enerji gereksiniminde 10990.2 kWh'lik bir

artış gerçekleşmiştir. Bu değer Senaryo 1a'ya kıyasla, yaklaşık %1.8 oranında bir artışa eşdeğerdir.

Çizelge 4.15. FD kayıplarına ve sistem yük-verim ilişkisine bağlı enerji gereksinimi (M-1 sulama sistemi)

Q [l s^{-1}]	Değişken Hızlı Pompa Operasyonu				Sabit Hızlı Pompa Operasyonu			
	E [kWh]				E [kW]			
	P1	P2	P3	Toplam	P1	P2	P3	Toplam
12	71552.7	-	-	71552.7	121120.9	-	-	121120.9
24	18777.0	-	-	18777.0	30608.7	-	-	30608.7
36	3949.8	-	-	3949.8	6218.0	-	-	6218.0
168	39068.2	-	-	39068.2	38646.3	-	-	38646.3
180	163300.3	83326.6	-	246626.9	129244.2	129244.2	-	258488.4
192	62973.9	33436.1	-	96410.0	51261.7	51261.7	-	102523.5
204	2814.2	1598.2	-	4412.3	2330.1	2330.1	-	4660.2
348	5857.4	5857.4	2209.7	13924.5	5103.7	5103.7	6495.0	16702.3
360	29401.4	29401.4	12741.5	71544.3	25617.2	25617.2	32317.6	83551.9
372	11178.1	11178.1	5558.3	27914.5	9901.7	9901.7	12169.7	31973.1
TOPLAM				594180.2	TOPLAM			694493.4

Sonuç olarak, güç ve enerji gereksinimleri karşılaştırıldığında M-1 sulama sisteminde ortaya çıkan kazanım değerleri Çizelge 4.16'da verilmektedir. Bir sulama sezonu boyunca oluşan enerji kazanım değeri yaklaşık olarak %14.4'tür. Bu oran, pompa çalışma noktalarına ve çalışma süresine bağlı olarak değişebilir. Özellikle yüksek kazanım sağlayan, daha düşük sistem debilerine ihtiyacın arttığı durumlarda bu oran artış gösterecektir. Çizelgede negatif olarak gösterilen değer, enerji kazanımının söz konusu olmadığı çalışma noktasını belirtmektedir. Böylece, bu işletme noktasında değişken hızlı operasyon sistem veriminin sabit hızlı operasyon sistem verimine kıyasla daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.16. Değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla elde edilen güç ve enerji kazanımı (M-1 sulama sistemi için)

Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	Güç kazanımı [kW]	Enerji kazanımı [kWh $yıl^{-1}$]	Enerji kazanımı [%]
12	1074.8	46.1	49568.1	40.9
24	271	43.7	11831.8	38.7
36	53	42.8	2268.2	36.5
168	236.3	-1.8	-421.9	-1.1
180	973.2	12.2	11861.5	4.6
192	379	16.1	6113.5	6.0
204	17	14.6	247.9	5.3
348	37.5	74.1	2777.8	16.6
360	189	63.5	12007.6	14.4
372	72	56.4	4058.6	12.7
Yıllık	3302.8		100313.2	14.4

M-2 sulama sistemi için; motor ve frekans değiştiricinin yük durumuna göre sistem verimindeki değişiklikler göz önüne alınarak pompa çalışma noktaları ve çalışma süreleri için enerji gereksinim değerleri yeniden hesaplandığında Çizelge 4.17'de sunulan sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre, sabit hızlı pompa operasyonunun enerji gereksinimi 673476.6 kWh iken değişken hızlı pompa operasyonunun enerji gereksinimi 608984.3 kWh olarak belirlenmiştir. Sabit hızlı pompa işletme modelinde frekans değiştirici kullanılmadığından ve motor yük oranları %73,2 ile %90,8 aralığında değiştiğinden dolayı bir önceki senaryo (Senaryo 1a) ile Senaryo 1b arasında enerji gereksinimi yönünden bir fark bulunmamaktadır. Değişken hızlı pompa operasyonunda ise; FD kayıpları, FD ve motor yük oranlarının sistem verimine etkisinden dolayı Senaryo 1a'ya kıyasla enerji gereksiniminde 10671.8 kWh'lik bir artış gerçekleşmiştir. Bu değer Senaryo 1a'ya kıyasla, yaklaşık %1.8 oranında bir artışa eşdeğerdir.

Çizelge 4.17. FD kayıplarına ve sistem yük-verim ilişkisine bağlı enerji gereksinimi (M-2 sulama sistemi)

Q [l s^{-1}]	Değişken Hızlı Pompa Operasyonu				Sabit Hızlı Pompa Operasyonu			
	E [kWh]				E [kWh]			
	P1	P2	P3	Toplam	P1	P2	P3	Toplam
72	63664.8	-	-	63664.8	86676.7	-	-	86676.7
108	86355.1	-	-	86355.1	100636.7	-	-	100636.7
180	77782.0	32069.9	-	109851.9	60043.0	60043.0	-	120086.0
204	90571.0	48840.1	-	139411.1	75182.6	75182.6	-	150365.1
216	27415.3	17429.1	-	44844.4	23815.9	23815.9	-	47631.8
276	35440.7	35440.7	15678.7	86560.2	29609.3	29609.3	29609.3	88827.8
288	1566.8	1566.8	837.1	3970.7	1363.1	1363.1	1363.1	4089.2
312	22221.3	22221.3	16849.8	61292.4	20697.9	20697.9	20697.9	62093.7
324	4487.4	4487.4	4058.6	13033.5	4356.6	4356.6	4356.6	13069.7
TOPLAM				608984.3	TOPLAM			673476.6

M-2 sulama sistemi için, sabit ve değişken hızlı pompa operasyonları karşılaştırıldığında ortaya çıkan güç ve enerji kazanım değerleri Çizelge 4.18'de sunulmuştur. Buna göre; pompa işletme modeli sabit hızlıdan değişken hızlıya dönüştürüldüğünde, yaklaşık olarak %9.6 oranında bir enerji kazanımı sağlanabilmektedir. Çizelgede negatif olarak gösterilen değerler, enerji kazanımının söz konusu olmadığı çalışma noktalarını belirtmektedir. Bu durumun temel nedeni; bahsedilen çalışma noktalarında değişken hızda çalışan pompa istasyonu sistem veriminin sabit hızlı pompa istasyonu sistem verimine kıyasla daha düşük olmasıdır. Bu durumdan kaçınmak için, tek bir değişken hızlı pompa yerine pompa istasyonunda bulunan her bir pompanın FD'lere bağlanarak eş zamanlı çalıştırılması tercih edilebilir (Planells ve ark., 2005; Moreno ve ark., 2007; Moreno ve ark., 2009; Lamaddalena ve Khila, 2011). Ancak bu durumda sistem maliyetinin ve enerji kazanımının tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir. Ayrıca sistemde birden fazla FD bulunması, FD kayıplarından dolayı sistem genel veriminin düşmesine neden olabilir.

Çizelge 4.18. Değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla elde edilen güç ve enerji kazanımı (M-2 sulama sistemi için)

Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	Güç kazanımı [kW]	Enerji kazanımı [kWh $yıl^{-1}$]	Enerji kazanımı [%]
72	739.6	31.1	23011.9	26.5
108	693.0	20.6	14281.5	14.2
180	456.0	22.4	10234.0	8.5
204	536.0	20.4	10954.0	7.3
216	164.0	17.0	2787.4	5.9
276	222.4	10.2	2267.6	2.6
288	10.0	11.8	118.4	2.90
312	146.0	5.5	801.2	1.3
324	30.0	1.2	36.2	0.3
Yıllık	2997.0		64492.2	9.6

Genel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla, sistemde yer alan FD kayıplarının ve motor ve FD yük durumlarının ihmal edildiği senaryo (senaryo 1a) ile FD kayıplarının ve motor ve FD yük durumunun dikkate alındığı senaryo (senaryo 1b) kıyaslanmış ve sonuçlar Çizelge 4.19'da sunulmuştur.

Çizelge 4.19. Değişken hızlı pompa istasyonu için gereksinilen enerji

Sulama sistemi	Enerji Gereksinimi [kWh $yıl^{-1}$]		Değişim* [%]
	Senaryo 1a	Senaryo 1b	
M-1	583190.0	594180,2	1.88
M-2	598312.5	608984.3	1.78

* Senaryo 1a'ya kıyasla Senaryo 1b için enerji gereksinimindeki artış

Önceki bölümde vurgulandığı gibi, sabit hızlı pompaların kullanımı ile Senaryo 1a ve Senaryo 1b arasında enerji tüketimi açısından herhangi bir fark bulunmamıştır. Bunun temel nedeni motor yük oranlarının kritik eşiğin altına düşmemiş olmasındandır. Değişken hızlı işletme modeli açısından ise her iki senaryo

arasında fark olduğu anlaşılmaktadır. M-1 ve M-2 sulama sistemleri için bulunan sonuçlar yaklaşık olarak aynı olup, pompa istasyonunda FD kayıpları ve yük oranları dikkate alınması durumunda Senaryo 1a'ya kısayla Senaryo 1b için M-1 ve M-2 sulama sistemleri için hemen hemen aynı olmak üzere yaklaşık %1.8 oranında daha fazla enerji tüketildiği ortaya çıkmaktadır. Birçok araştırıcı yaptıkları çalışmalarda sadece pompa ve motor verimlerini göz önüne almışlar pompa istasyonunun diğer bileşenlerinin verimlerini dikkate almamışlardır. Motor verimini dikkate alan birçok araştırıcı ise motor yük oranını dikkate almamıştır. Örneğin; Moreno ve ark. (2007) yaptıkları pompa istasyonu enerji verimliliği çalışmasında, pompa istasyonundaki tüm bileşenlerin verimini dikkate almışlar ancak motor ve FD yük durumlarını dikkate almamışlardır. Rodríguez Díaza ve ark. (2007b), talebe dayalı basınçlı bir sulama sisteminde enerji kazanım olanaklarını araştırırken pompaj sistem verimini sabit olarak 0.75 kabul etmiştir. Benzer şekilde Pérez ve ark. (2002), yaptıkları araştırmada, elektrik motorunun verimini %86, FD verimini %96 alarak sabit şekilde hesaplamalarına dahil etmiştir. Başka bir araştırmada Lamaddalena ve Khila (2011), değişken hızlı pompalar ile enerji kazanımını hesaplarken pompa üreticisinin sağladığı verileri kullanmışlar, pompaları arazi şartlarında test etmemişler ayrıca FD kayıplarını ve FD, motor yük durumlarının sistem verimine etkisini göz ardı etmişlerdir.

Mevcut çalışma, değişken hızlı pompa işletme modelinde gereksinilen enerji miktarını sistem bileşenleri kayıpları ve yük durumlarını da dikkate alarak karşılaştırmıştır.

4.5.3.2. Özgül Enerji

Pompalanan akışkanın her birim hacminin pompajı için harcanan enerji, özgül enerji (E_s) olarak adlandırılmaktadır (Ertöz ve Duymuş, 2001). Farklı pompalar veya pompaj sistemlerinin enerji maliyetinin karşılaştırılması özgül enerji yardımıyla yapılabilir.

Çizelge 4.20, sabit ve değişken hızlı pompa operasyonlarında harcanan özgül enerji değerini karşılaştırarak göstermektedir. Çalışma konusu sulama sistemlerinin

analizi sonucunda her bir sulama sisteminde (M-1 ve M-2) bir sulama sezonu boyunca gerekli olan su hacmi bilinmektedir (EK 5 ve EK 6). M-1 sulama sisteminde kullanılan su miktarı 1512748.5 m^3 $yıl^{-1}$'dır. Değişken hızlı pompaların sisteme adaptasyonu durumunda birim pompalanan su başına harcanan elektrik enerjisi 0.3928 kWh m^{-3} iken sabit hızlı pompa istasyonunda bu değer 0.4591 kWh m^{-3}'tür. Aynı karşılaştırma M-2 sulama sistemi için yapıldığında, değişken hızlı pompaların sisteme adaptasyonu durumunda birim pompalanan su başına harcanan elektrik enerjisi 0,3577 kWh m^{-3} iken sabit hızlı pompa istasyonunda bu değer 0,3956 kWh m^{-3}'tür.

Çizelge 4.20. Birim pompalanan su hacmi başına gerekli enerji miktarı

Sulama Sistemi	Operasyon tipi	Pompalanan Su Hacmi [m^3 $yıl^{-1}$]	Gerekli enerji miktarı [kWh $yıl^{-1}$]	E_s [kWh m^{-3}]
M-1	Değişken Hızlı Operasyon	1512748.5	594180.2	0.3928
	Sabit Hızlı Operasyon		694493.4	0.4591
M-2	Değişken Hızlı Operasyon	1702367.5	608984.3	0.3577
	Sabit Hızlı Operasyon		673476.5	0.3956

Çizelgelerden anlaşılacağı gibi, basıncın değişken olduğu durumlarda pompaj sisteminde herhangi bir düzenleme yapılmaması sulamada kullanılan enerji maliyetini artırmaktadır. Değişken hızlı pompa kullanımı sabit hızlı pompa kullanımına göre bir kazanım sağlamaktadır. Pompaların devir hızı, debisi, basınç yükü değiştikçe özgül enerjisi de değişmektedir (Ertöz, 2006). M-1 ve M-2 sulama sistemlerindeki özgül enerji miktarındaki farklılık (i) her iki sulama sistemi üzerindeki bitki desenindeki farklılıktan, dolayısıyla bitkilerin su ihtiyacındaki farklılıktan (ii) sulama sistemleri üzerinde bulunan hidrantların topoğrafik konumundan dolayısıyla gerekli basınç yükü gereksinimindeki farklılıktan (iii) aynı anda çalışan hidrant sayısındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Kısaca, bitki desenine bağlı olarak oluşan hidrant kombinasyonlarının farklı işletme noktaları

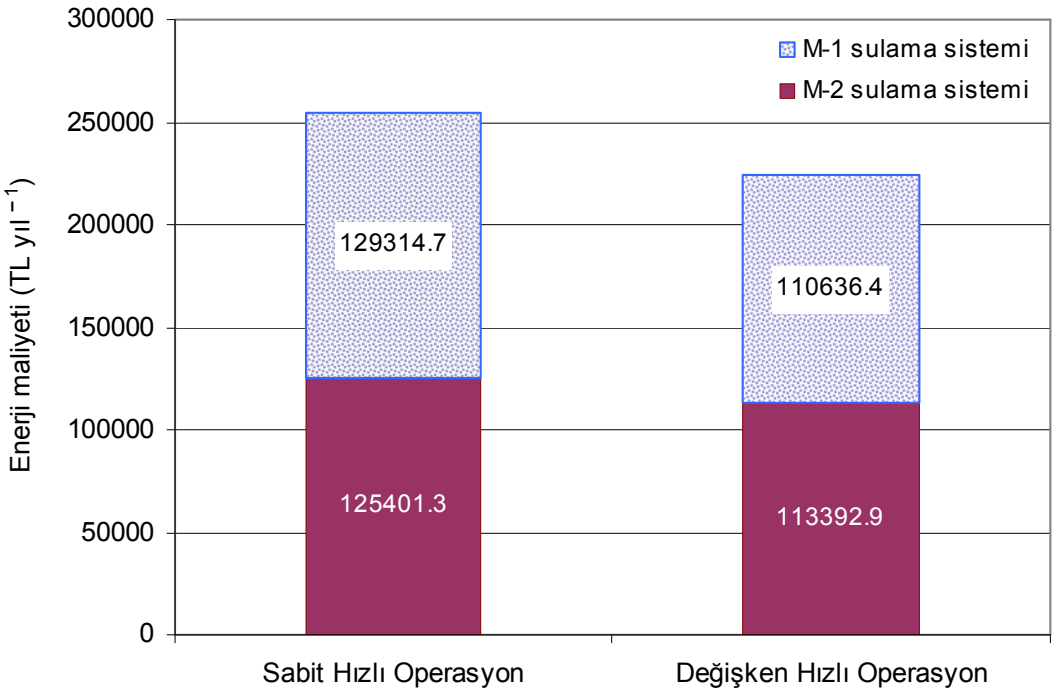
oluşturabilmesi nedeniyle M-1 ve M-2 sulama sistemlerinde kullanılan pompaların işletme noktaları birbirinden farklı olabilmektedir. Böylece harcanan özgül enerji miktarı da farklılık gösterebilmektedir.

4.6. İşletme Maliyeti ve Ekonomik Analiz

Sistem tasarımcıları, üreticilerin tüm taleplerine cevap verebilecek, aynı zamanda en düşük maliyetli sistemi tercih edeceğinden dolayı enerji kazanım değerinin parasal olarak ifade edilmesi çok daha anlamlı olabilmektedir. Başka bir ifadeyle, alternatif önerilerin uygulanabilir değerde olması gerekmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada önerilen yaklaşımın finansal olarak uygulanabilir olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Yıllık enerji kazanımının parasal değeri sabit hızlı pompa işletme modeli ile değişken hızlı pompa işletme modeli arasındaki farktan oluşmaktadır (Eşitlik 3.43). Çalışmanın gerçekleştirildiği bölgede tarımsal sulama enerji birim maliyeti 2011 yılı için 0,1862 TL kWh^{-1}'tir. Böylece, yıllık finansal kazanım miktarı Eşitlik 3.43 kullanılarak hesaplandığında, 30686 TL'lik bir tasarruf yapılabileceği ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4.16, çalışma konusu pompa istasyonunun sabit ve değişken hızlı pompa işletme modelleri ile çalıştırılması durumunda ortaya çıkan enerji maliyetini göstermektedir. Yıllık kazanım her iki işletme modeli arasındaki fark olup M-1 sulama sistemi için 18678 TL ve M-2 sulama sistemi için 12008 TL'dir. Toplamda sulama pompa istasyonunda oluşan yıllık enerji kazanımının parasal değeri 30686 TL'dir. Bu değer, maliyette yaklaşık %12.05 oranında bir azalmaya ulaşmaktadır.



Şekil 4.16. Sabit ve değişken hızlı pompa işletme modellerinin yıllık enerji maliyeti

Değişken hızlı pompa istasyonu ile sabit hızlı pompa istasyonu arasındaki yatırım maliyetindeki temel fark frekans değiştirici, PLC sistemi ve bazı mühendislik uygulamalarından kaynaklanmakta olup, yapılan piyasa araştırmaları neticesinde bu maliyetler toplamının yaklaşık 43510 TL olduğu görülmüştür. Bu şartlar altında; yatırımın 15 yıl ekonomik ömrü ve %7 yıllık faiz oranı ile yatırımın şimdiki net değeri hesaplanmış elde edilen sonuçlar Çizelge 4.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.21'e göre, yıllık kar akışları toplamı 279492.5 TL, yatırımın Net Bugünkü Değeri ise 235981.8 TL'dir. Yığışımlı net faydanın negatiften pozitife geçtiği yıl, toplam geri ödeme süresini göstermektedir. Buna göre yatırımın geri ödeme süresi 1.6 yıldır. Bu durumda yatırımın oldukça karlı olduğu ve uygulanmaya değer olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.21. Yatırımın Net Bugünkü Değeri (NBD)

r=%7				
Yıllar	Şimdiki Kâr [TL]	Başlangıçtaki Yatırım Maliyeti [TL]	Net Bugünkü Değeri [TL]	Yığışımlı Net Fayda [TL]
0	0.0	43510.0	-43510.0	-43510.0
1	28679.2	0.0	28679.2	-14830.8
2	26803.0	0.0	26803.0	11972.2
3	25049.5	0.0	25049.5	
4	23410.8	0.0	23410.8	
5	21879.2	0.0	21879.2	
6	20447.9	0.0	20447.9	
7	19110.2	0.0	19110.2	
8	17860.0	0.0	17860.0	
9	16691.6	0.0	16691.6	
11	15599.6	0.0	15599.6	
11	14579.1	0.0	14579.1	
12	13625.3	0.0	13625.3	
13	12733.9	0.0	12733.9	
14	11900.9	0.0	11900.9	
15	11122.3	0.0	11122.3	
Toplam	279492.5			
NBD			**235981.8**	

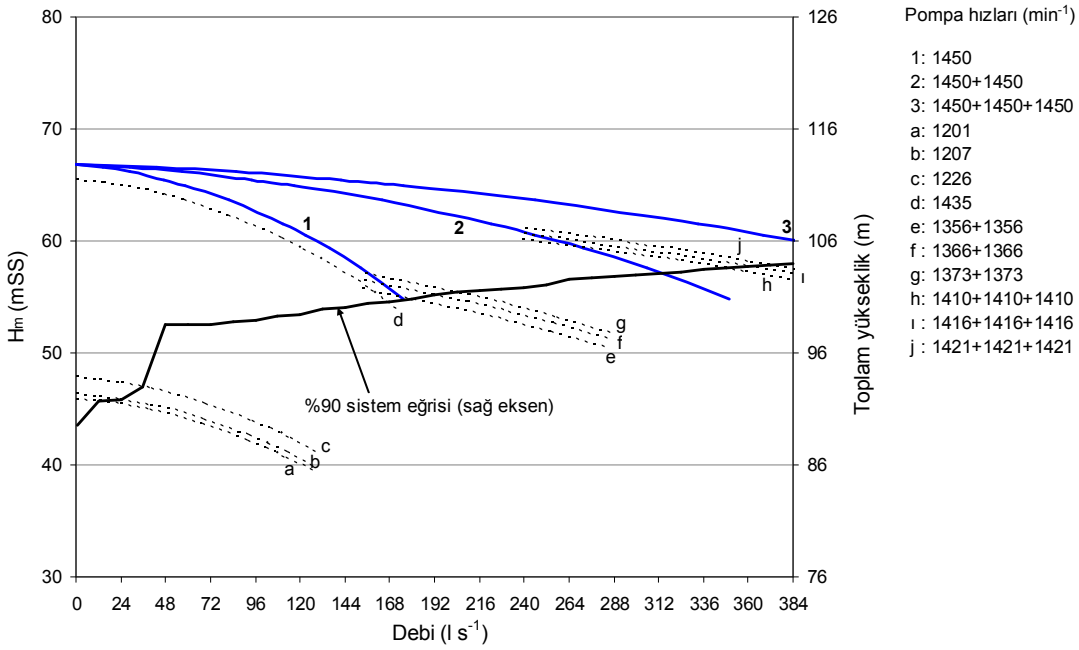
4.7. Pompa İstasyonunun Enerji Tüketimi (Senaryo 2)

Senaryo 2: *Her bir pompaya bir frekans değiştiricinin bağlı olması ve bu pompaların eş zamanlı olarak çalışarak eşit debi sağladığı değişken hızlı pompa operasyonunda enerji gereksiniminin hesaplanması ve sistemin ekonomik analizi:*

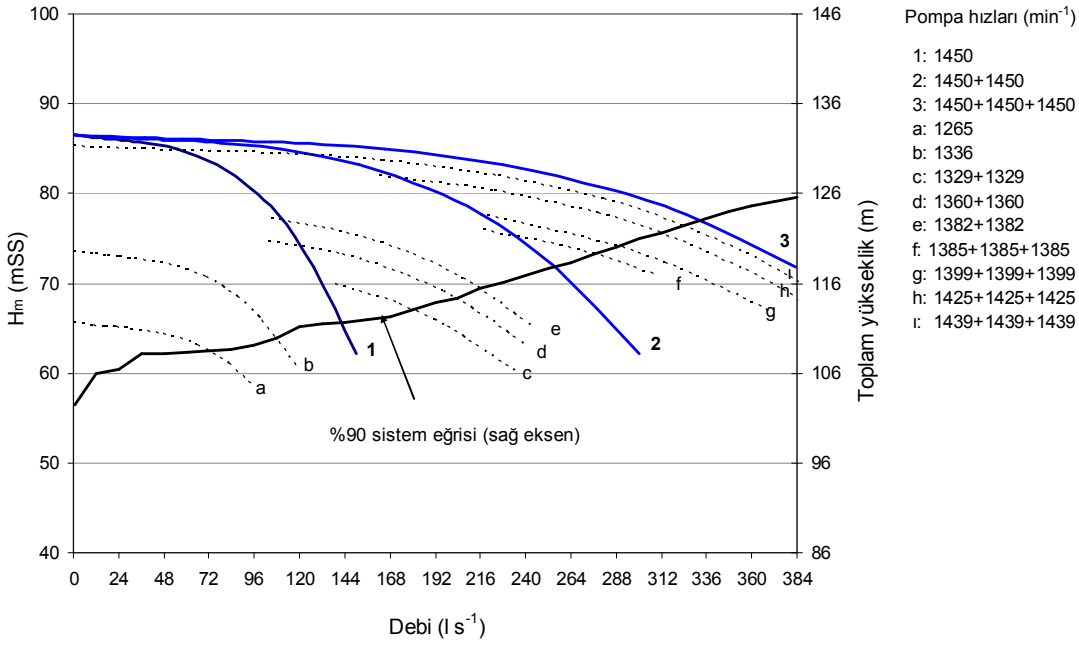
Regülasyon 2'ye göre pompa istasyonunun çalışma prensibi aşağıda açıklanmıştır:

Pompa istasyonundaki her bir pompa frekans değiştiriciye sahiptir. 1. pompa minimumla maksimum arasında değişen hızlarda çalışmaktadır. Sıradaki pompanın devreye girdiği sistem debisinden sonra her iki pompanın, arzulanan talebe göre eşit debi sağlamak üzere aynı hızlarda hareket edecek şekilde pompa hızları FD tarafından düzenlemektedir. Sistemde bulunan pompalar aynı tip ise her iki değişken hızlı pompa da eşit hızlarda çalışacaklardır. Pompalar aynı tip değilse her iki pompanın aynı debiyi sağlayacak şekilde hızları FD tarafından uyarlanacaktır.

Çalışma alanında bulunan mevcut pompaların "regülasyon 2"ye göre karakteristik eğrileri ile sulama sistemi yük eğrisi aynı grafik üzerinde gösterilerek olası pompa çalışma noktaları görülebilmektedir (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18).



Şekil 4.17. M-1 sulama sistemi ve pompa karakteristiklerinin eşleşmesi



Şekil 4.18. M-2 sulama sistemi ve pompa karakteristiklerinin eşleşmesi

4.7.1. Güç İhtiyacı ve Enerji Gereksinimi

Seçilen pompaların karakteristiklerine ve sulama sezonu boyunca gerçekleşecek olası debi hidrograflarına bağlı olarak oluşan pompa çalışma noktalarındaki pompa verimleri ve güç gereksinimleri pompa bazında, M-1 sulama sistemi için Çizelge 4.22'de, M-2 sulama sistemi için Çizelge 4.23'te sunulmuştur.

Çizelge 4.22. Değişken hızlı pompa operasyonunda, pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-1 sulama sistemi için)

Q	H_m	η_{p1}	η_{p2}	η_{p3}	Pompa hızı [min^{-1}]			P_{YG} [kW]			P_a [kW]		
[$l\ s^{-1}$]	[m]	[%]	[%]	[%]	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
12	45.7	9.0	-	-	1201	-	-	59.7	-	-	66.6	-	-
24	45.9	17.3	-	-	1207	-	-	62.4	-	-	69.3	-	-
36	47.0	24.6	-	-	1226	-	-	67.4	-	-	74.5	-	-
168	54.5	60.0	-	-	1435	-	-	149.7	-	-	165.3	-	-
180	54.8	46.5	46.5	-	1356	1356	-	104.0	104.0	-	114.9	114.9	-
192	55.2	49.3	49.3	-	1366	1366	-	105.4	105.4	-	116.4	116.4	-
204	55.4	50.0	50.0	-	1373	1373	-	110.9	110.9	-	122.5	122.5	-
348	57.6	52.5	52.5	58.7	1410	1410	1302	124.7	124.7	111.5	137.7	137.7	123.2
360	57.7	53.1	53.1	58.3	1450	1416	1315	127.8	127.8	116.4	141.2	141.2	128.6
372	57.8	53.9	53.9	57.8	1450	1421	1328	130.4	130.4	121.6	144.0	144.0	134.3

Çizelge 4.22'de sunulan veriler incelendiğinde, ikinci pompanın devreye girdiği çalışma noktasının hemen üzerinde (180 $l\ s^{-1}$, 192 $l\ s^{-1}$, 204 $l\ s^{-1}$,) şebekeden çekilen toplam güç miktarının "regülasyon 1"e kıyasla daha düşük kaldığı görülmektedir. Bunun temel nedeni ortalama hızlarda çalışan pompaların en iyi işletme noktasına daha yakın verim noktalarını yakalayabilmiş olmasıdır. Benzer sonuçlar diğer bazı araştırıcılar tarafından da vurgulanmıştır (Planells ve ark., 2005; Moreno ve ark., 2007; Moreno ve ark., 2009). Planells ve ark. (2005), sistemde iki adet değişken hızlı pompanın bulunmasının bir çok durumda önemli bir verim artışı sağladığını, düşük debilere adaptasyonu kolaylaştırdığını gözlemlemiştir. Moreno ve

ark. (2007), iki adet değişken hızlı pompanın düşük debilerde verim artışı sağladığını belirtmiştir. Moreno ve ark. (2009), uygun olmayan pompaların seçilmiş olması durumunda ikinci bir değişken hızlı pompanın bulunmasının pompa istasyonu enerji verimliliğini geliştirdiğini ifade etmiştir.

Çizelge 4.23. Değişken hızlı pompa operasyonunda, pompa verimleri ve güç gereksinimleri (M-2 sulama sistemi için)

Q	H_m	η_{p1}	η_{p2}	η_{p3}	Pompa hızı [min^{-1}]			P_{YG} [kW]			P_a [kW]		
[l s^{-1}]	[m]	[%]	[%]	[%]	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
72	62.5	56.6	-	-	1262	-	-	77.9	-	-	86.1	-	-
108	63.9	60.0	-	-	1336	-	-	112.8	-	-	124.6	-	-
180	67.1	59.4	59.4	-	1329	1329	-	99.7	99.7	-	110.1	110.1	-
204	68.3	60.3	60.3	-	1360	1360	-	113.2	113.2	-	125.1	125.1	-
216	69.4	60.2	60.2	-	1382	1382	-	122.0	122.0	-	134.8	134.8	-
276	73.2	59.0	59.0	59.0	1385	1385	1385	111.9	111.9	111.9	123.6	123.6	123.6
288	74.1	59.6	59.6	59.6	1399	1399	1399	117.0	117.0	117.0	129.2	129.2	129.2
312	75.6	60.3	60.3	60.3	1425	1425	1425	127.9	127.9	127.9	141.3	141.3	141.3
324	76.4	60.4	60.4	60.4	1439	1439	1439	133.9	133.9	133.9	148.0	148.0	148.0

Benzer durum M-2 sulama sistemine servis yapan pompalar için de söylenebilir. Çizelge 4.23'te sunulan verilere göre, ikinci pompanın devreye girdiği çalışma noktasının hemen üzerindeki sistem debilerinde (180 l s^{-1}, 204 l s^{-1}, 216 l s^{-1}) şebekeden çekilen toplam güç miktarı "regülasyon 1"e kıyasla daha düşük kalmıştır. Aynı şekilde, 3. pompanın devrede olduğu 276 l s^{-1}, 288 l s^{-1} sistem debileri için de regülasyon 2 güç kazanım noktasında regülasyon 1'e kıyasla daha verimlidir.

Genel olarak, her iki düzenleme açısından da; sistemdeki değişken hızlı pompaların hızı arttıkça regülasyon 1'in regülasyon 2'ye kıyasla güç kazanımı yönünden avantajının arttığı, ancak pompa geçiş noktalarındaki düşük debilerde regülasyon 2'nin güç kazanımı açısından regülasyon 1'e kıyasla daha avantajlı olduğu söylenebilir (Planells ve ark., 2005; Moreno ve ark., 2007; Moreno ve ark., 2009; Lamaddalena ve Khila, 2011).

Pompa istasyonunda harcanan elektrik enerjisi belirli sulama sistem debileri için, elektrik şebekesinden çekilen güç miktarı ve çalışma süresine bağlı olarak Eşitlik 3.38 yardımıyla hesaplanmıştır. Çizelge 4.24, değişken hızlı pompa operasyonu için gerekli enerji değerini giriş verileri ile birlikte göstermektedir.

Çizelge 4.24. Değişken hızlı pompa istasyonunda enerji gereksinimi

	Q	Çalışma süresi	E [kWh]			
	[l s^{-1}]	[h]	P1	P2	P3	Toplam
M-1 Sulama Sistemi	12	1074.8	71552.7	-	-	71552.7
	24	271.0	18777.0	-	-	18777.0
	36	53.0	3949.8	-	-	3949.8
	168	236.3	39068.2	-	-	39068.2
	180	973.2	111834.6	111834.6	-	223669.3
	192	379.0	44129.3	44129.3	-	88258.6
	204	17.0	2082.3	2082.3	-	4164.6
	348	37.5	5164.4	5164.4	4618.9	14947.8
	360	189.0	26682.1	26682.1	24302.2	77666.3
	372	72.0	10369.0	10369.0	9669.4	30407.5
	Toplam	3302.8	333609.4	200261.8	38590.5	572461.7
M-2 Sulama Sistemi	72	739.6	63664.8	-	-	63664.8
	108	693.0	86355.1	-	-	86355.1
	180	456.0	50217.4	50217.4	-	100434.7
	204	536.0	67028.5	67028.5	-	134057.0
	216	164.0	22104.9	22104.9	-	44209.8
	276	222.4	27497.1	27497.1	27497.1	82491.3
	288	10.0	1292.5	1292.5	1292.5	3877.5
	312	146.0	20623.0	20623.0	20623.0	61868.9
	324	30.0	4438.6	4438.6	4438.6	13315.8
	Toplam	2997.0	343221.9	193201.9	53851.2	590275.0

Senaryo 1 ve Senaryo 2'ye göre pompa istasyonunun enerji gereksinimi ve karşılaştırmalı kazanım miktarları Çizelge 4.25'te verilmiştir. Buna göre, her iki sulama sisteminde Senaryo 2'nin daha düşük enerji tükettiği görülmektedir. Bu tüketim miktarı, Senaryo 1'e kıyasla 40427.8 kWh olup % 3.3 enerji kazanımına eşdeğerdir. Lamaddalena ve Khila, (2011) yaptıkları bir araştırmada, regülasyon 2 ile sabit hızlı pompa işletme modeline kıyasla %27 enerji kazanımı elde ederken regülasyon 1 ile %24 enerji kazanımı sağlandığını bildirmişlerdir. Buna göre, her iki düzenleme arasındaki fark olan %3'lük değer mevcut çalışmanın sonucuyla da örtüşmektedir (Çizelge 4.25). Başka bir araştırmada, Planells ve ark. (2001), her bir aya ait maksimum dizayn debisinin sulama sezonu boyunca kullanıldığını varsaydığı senaryolarında, tüm pompaların değişken hızlı olarak çalışması durumda, sadece bir pompanın değişken geri kalanların sabit hızlı olduğu sisteme göre %14 enerji kazanımı elde etmişlerdir. Böylece regülasyon 2'nin birçok durumda, enerji kazanımı açısından daha iyi sonuçlar verebildiği görülmektedir.

Çizelge 4.25. Farklı senaryolara göre pompa istasyonu enerji gereksinimi ve Senaryo 1'e kıyasla elde edilen kazanım miktarı

Sulama sistemi	Gerekli Enerji [kWh]		Kazanım Miktarı	
	Senaryo 1 (regülasyon 1)	Senaryo 2 (regülasyon 2)	[kWh]	[%]
M-1	594180.2	572461.7	21718.5	3.6
M-2	608984.3	590275.0	18709.3	3.1
Yıllık	1203164.5	1162736.7	40427.8	3.3

Çizelge 4.26, Senaryo 2'ye göre değişken hızlı pompa operasyonunda (regülasyon 2) harcanan özgül enerji (E_s) değerini göstermektedir. Değişken hızlı pompaların regülasyon 2'ye göre çalıştırılması durumunda M-1 sulama sistemi için birim pompalanan su başına harcanan elektrik enerjisi 0.3784 kWh m^{-3}'tür. M-2 sulama sistemi için bu değer 0.3467 kWh m^{-3}'tür. Mevcut çalışmada regülasyon 2'nin regülasyon 1'e kıyasla daha düşük enerji gereksinimi nedeniyle regülasyon 2 için Çizelge 4.26'da gösterilen özgül enerji değerlerinin regülasyon 1 için elde edilen

verilere kıyasla daha düşük kaldığı görülmektedir. Her iki senaryo arasındaki enerji kazanımı normal olarak gerekli özgül enerji miktarlarına da yansımıştır.

Çizelge 4.26. Birim pompalanan su hacmi başına gerekli enerji miktarı

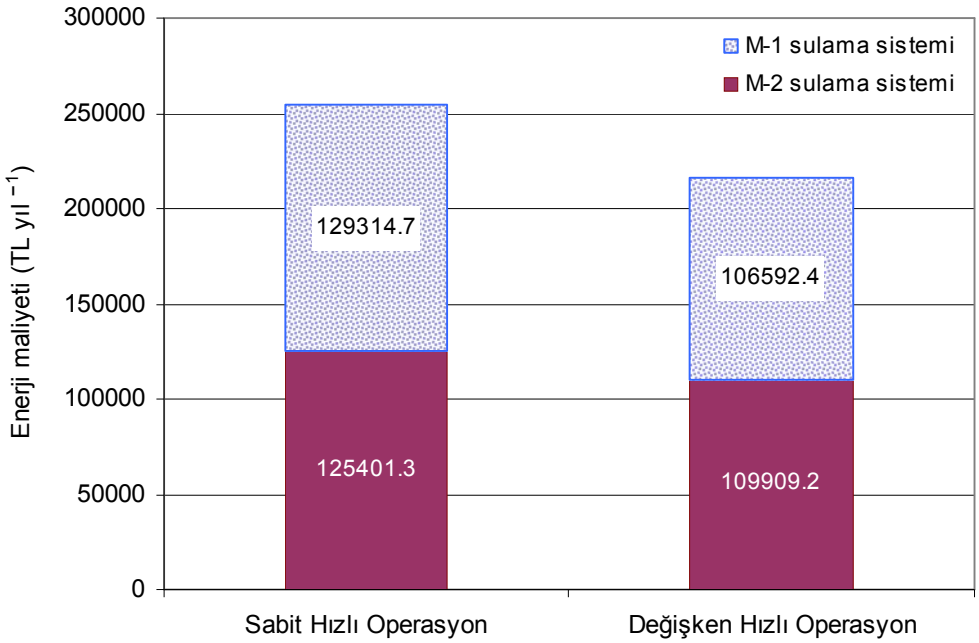
Sulama Sistemi	Operasyon tipi	Pompalanan Su Hacmi [m^3 $yıl^{-1}$]	Gerekli enerji miktarı [kWh $yıl^{-1}$]	E_s [kWh m^{-3}]
M-1	Değişken Hızlı Operasyon (regülasyon 2)	1512748.5	572461.7	0.3784
M-2	Değişken Hızlı Operasyon (regülasyon 2)	1702367.5	590275.0	0.3467

4.7.2. Enerji Maliyeti ve NBD

Seçenek sistemlerin kıyaslanmasında özgül enerji karşılaştırılması dışında uygulanan bir diğer yöntem önerilen seçeneğin finansal olarak uygulanabilir olup olmadığının değerlendirilmesidir. Bu amaçla önerilen seçenek için enerji kazanımının yıllık parasal değeri hesaplanmış ve NBD'si analiz edilmiştir. Ayrıca NBD akım tablosuna göre yatırımın geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

Yıllık enerji kazanımının parasal değeri sabit hızlı pompa işletme modeli ile değişken hızlı pompa işletme modeli (regülasyon 2) arasındaki farktan oluşmaktadır. 2011 yılı tarımsal sulama enerji birim maliyeti araştırmanın yapıldığı bölgede için 0.1862 TL kWh^{-1}'tir. Böylece, yıllık finansal kazanım miktarı Eşitlik 3.43 kullanılarak hesaplandığında 38214 TL'lik bir tasarruf yapılabileceği ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4.19, çalışma konusu pompa istasyonunun sabit ve değişken hızlı pompa işletme modeli (regülasyon 2) ile çalıştırılması durumunda ortaya çıkan enerji maliyetini göstermektedir. Yıllık kazanım her iki işletme modeli arasındaki fark olup M-1 sulama sistemi için 22722 TL ve M-2 sulama sistemi için 15492 TL'dir. Toplamda sulama pompa istasyonunda oluşan yıllık enerji kazanımının parasal değeri 38214 TL'dir. Bu değer, maliyette yaklaşık %15 oranında bir azalmaya erişmektedir.



Şekil 4.19. Sabit ve değişken hızlı pompa işletme modellerinin yıllık enerji maliyeti

Değişken hızlı pompa istasyonunun regülasyon 2'ye göre tesis edilmesi nedeniyle, her bir pompa için ayrı bir frekans değiştirici, PLC sistemi ve bazı mühendislik uygulamalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Yapılan piyasa araştırmaları neticesinde bu maliyetler toplamının önerilen seçenek için yaklaşık 130510 TL olduğu görülmüştür. Bu maliyet regülasyon 1'in maliyetinin üç katıdır. Bu şartlar altında; yatırımın 15 yıl ekonomik ömrü ve %7 yıllık faiz oranı ile yatırımın Bugünkü Net Değeri hesaplanmış elde edilen sonuçlar Çizelge 4.27'de sunulmuştur.

Çizelge 4.27'ye göre, yıllık kar akışları toplamı 348049 TL, yatırımın Net Bugünkü Değeri ise 217539 TL'dir. Yığışımlı net faydanın negatiften pozitife geçtiği yıl, toplam geri ödeme süresini göstermektedir. Buna göre yatırım 5. yılın başında kendini finanse edecektir. Eşitlik 3.45 yardımıyla hesaplandığında yatırımın geri ödeme süresi yaklaşık olarak 4.1 yıl olarak gözükmektedir.

Çizelge 4.27. Yatırımın Net Bugünkü Değeri (NBD)

r =%7				
Yılın Sonu	Şimdiki Kâr [TL]	Başlangıçtaki Yatırım Maliyeti [TL]	Net Bugünkü Değer [TL]	Yığışımlı Net Fayda [TL]
0	0.0	130510.0	-130510.0	-130510.0
1	35714.0	0.0	35714.0	-94796.0
2	33377.6	0.0	33377.6	-61418.4
3	31194.0	0.0	31194.0	-30224.4
4	29153.3	0.0	29153.3	-1071.1
5	27246.1	0.0	27246.1	26174.9
6	25463.6	0.0	25463.6	
7	23797.8	0.0	23797.8	
8	22240.9	0.0	22240.9	
9	20785.9	0.0	20785.9	
11	19426.1	0.0	19426.1	
11	18155.2	0.0	18155.2	
12	16967.5	0.0	16967.5	
13	15857.5	0.0	15857.5	
14	14820.0	0.0	14820.0	
15	13850.5	0.0	13850.5	
Toplam	348049.8			
NBD			217539.8	

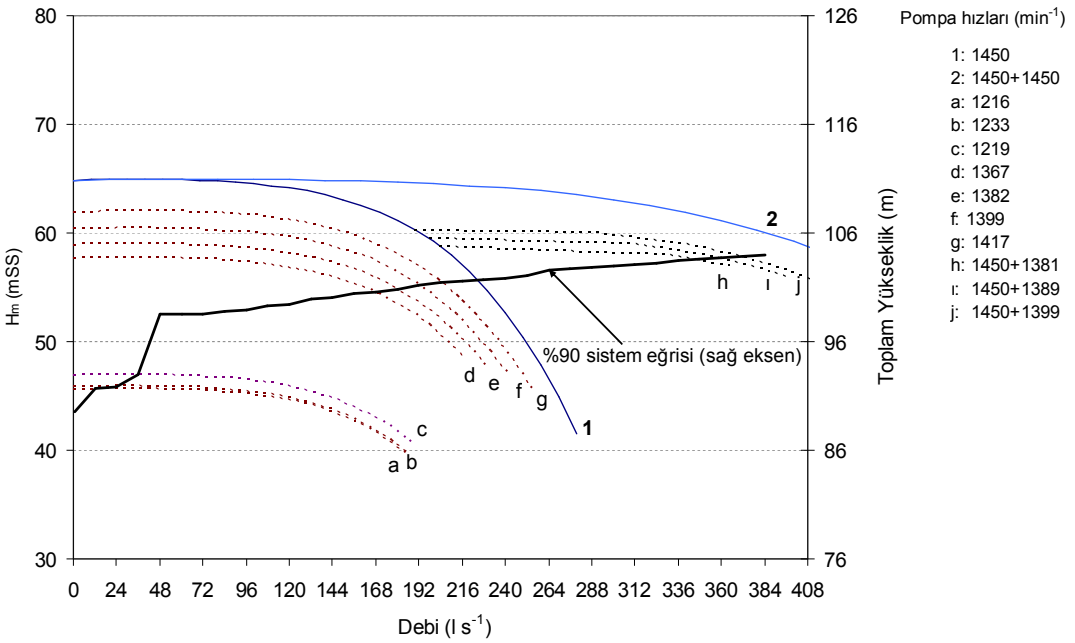
Regülasyon 1 ve regülasyon 2 ekonomik yönden karşılaştırıldığında; 15 yıl ekonomik yatırım ömrü için, NBD'si (235981 TL) regülasyon 2'nin NBD'sinden (217539 TL) daha büyük (%8.5) olması nedeniyle, regülasyon 1'in daha karlı olduğu söylenebilir. Ayrıca, ilk yatırım maliyetinin düşüklüğü ve kısa geri ödeme süresi nedeniyle değişken hızlı pompa istasyonunun regülasyon 1'e göre tesis edilme seçeneği daha avantajlı görülebilir. Pérez ve ark. (2002), benzer şekilde, tüm pompaların FD'lere sahip olmasının %40 daha maliyetli olduğunu bildirmiştir. Moreno ve ark. (2009), sistemde 2 adet değişken hızlı pompanın bulunmasının frekans değiştirici maliyetinden ötürü karsız olduğu sonucuna varmışlardır. Planells ve ark (2001), yüksek işletme verimliliği ve daha az enerji tüketimine rağmen tüm pompaların değişken hızlı olarak çalıştırılmasının büyük yatırım maliyeti getirdiğini saptamıştır. Diğer taraftan, regülasyon 2'nin uygulanması için çok daha gelişmiş programlara ihtiyaç bulunmaktadır (Lamaddalena ve Khila, 2011). Ancak mevcut çalışmada geri ödeme süresinin kabul edilebilir olması nedeniyle (4.1 yıl)

yatırımlarda bu seçeneğin dikkate alınmasında fayda bulunmaktadır (Planells ve ark., 2001).

4.8. Pompa İstasyonunun Enerji Tüketimi (Senaryo 3)

Senaryo 3: *Çalışmaya konu pompa istasyonunda bulunan mevcut pompalara alternatif daha yüksek verimli pompaların kullanılması durumunda sabit hızlı ve değişken hızlı pompa operasyonlarının enerji gereksiniminin karşılaştırılması ve ekonomik analizi*

M-1 ve M-2 sulama sistemleri için mevcut pompalara alternatif olarak seçilen pompaların üretici firma verileri kullanılarak olası pompa çalışma noktalarına karşılık gelen pompa hızları ve bunların karakteristiği hesaplanmıştır. Elde edilen veriler M-1 ve M-2 sulama sistemleri için Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

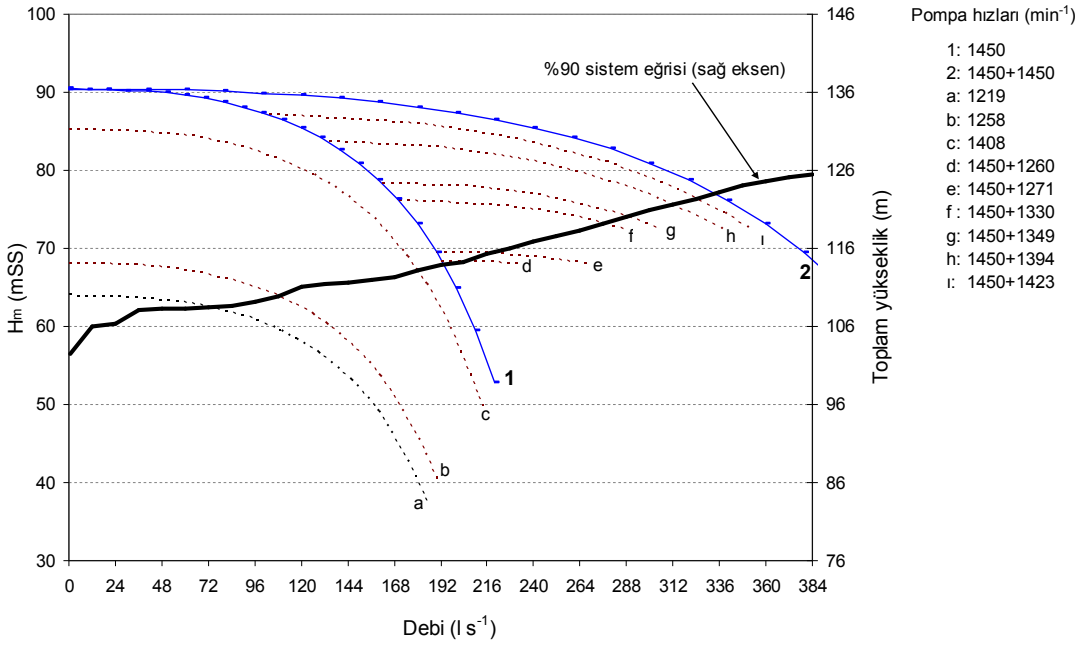


Şekil 4.20. Alternatif pompanın karakteristikleri ve %90 sistem yük eğrisi ile eşleştirilmesi (M-1 sulama sistemi için)

Alternatif olarak seçilen pompaların verimleri ve karakteristiklerinden dolayı M-1 ve M-2 sulama sistemleri için iki adet olmak üzere toplam 4 adet pompa yeterli

olmaktadır. M-1 sulama sisteminde 224 l s^{-1}'ye kadar tek bir pompa, 224 l s^{-1}'den daha büyük debilerde 2. pompa devreye alınmaktadır (Şekil 4.20). Bu nedenle, 224 l s^{-1}'den küçük debi değerleri için 2. pompanın güç gereksinimi sıfır olarak gözükmektedir.

Benzer şekilde, M-2 sulama sisteminde 193 l s^{-1}'ye kadar tek bir pompa, 193 l s^{-1}'den daha büyük debilerde 2. pompa paralel olarak devreye alınmaktadır (Şekil 4.21). Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de kesik çizgi ile gösterilen eğriler, debi hidrograflarından elde edilen sonuçlara göre olası pompa çalışma noktalarına karşılık gelen azaltılmış pompa hızlarını belirtmektedir.



Şekil 4.21. Alternatif pompanın karakteristikleri ve %90 sistem yük eğrisi ile eşleştirilmesi (M-2 sulama sistemi için)

4.8.1. Güç İhtiyacı ve Enerji Gereksinimi

Seçilen pompaların karakteristiklerine ve sulama sezonu boyunca gerçekleşecek olası (M-1 ve M-2) debi hidrograflarına bağlı olarak oluşan pompa çalışma noktalarındaki pompa verimleri ve güç gereksinimleri pompa bazında Çizelge 4.28'de sunulmuştur.

Çizelge 4.28'de görüldüğü gibi, pompaların nominal hızı 1450 min^{-1} olup, işletme sırasında pompa verimleri oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir (%7-78.3). Pompanın yuttuğu güç ise 101.9 kW ile 180.8 kW aralığında değişebilmektedir.

Çizelge 4.28. Sabit hızlı pompa operasyonunda debiye karşılık, basınç yükü, pompa verimleri ve güç gereksinimleri

	Q	H_m	η_{p1}	η_{p2}	Pompa hızı [min^{-1}]	P_{YG} [kW]		P_a [kW]	
	[l s^{-1}]	[m]	[%]	[%]	P1, P2	P1	P2	P1	P2
M-1 Sulama Sistemi	12	64.89	7	-	1450	109.1	-	116.0	-
	24	64.93	15	-	1450	101.9	-	108.4	-
	36	64.94	20.5	-	1450	111.8	-	118.9	-
	168	62.08	71	-	1450	144.0	-	153.2	-
	180	61.18	72.4	-	1450	149.1	-	158.6	-
	192	60.06	73	-	1450	154.9	-	164.8	-
	204	58.70	73	-	1450	160.8	-	171.1	-
	348	61.65	71.8	71.8	1450	146.5	146.5	155.8	155.8
	360	61.18	72.4	72.4	1450	149.1	149.1	158.6	158.6
	372	60.65	72.9	72.9	1450	151.7	151.7	161.4	161.4
M-2 Sulama Sistemi	72	89.17	59.2	-	1450	106.3	-	113.1	-
	108	86.71	72.8	-	1450	126.1	-	134.2	-
	180	73.16	71.4	-	1450	180.8	-	192.4	-
	204	87.24	70.9	70.9	1450	123.0	123.0	130.9	130.9
	216	86.71	72.8	72.8	1450	126.1	126.1	134.2	134.2
	276	83.03	78.1	78.1	1450	143.8	143.8	153.0	153.0
	288	82.04	78.3	78.3	1450	147.9	147.9	157.4	157.4
	312	79.70	77.6	77.6	1450	157.1	157.1	167.1	167.1
	324	78.33	76.8	76.8	1450	162.0	162.0	172.3	172.3

Seçilen pompalarla çalışan sabit hızlı pompa istasyonu değişken hızlı pompa istasyonuna dönüştürüldüğünde oluşacak pompa çalışma noktaları ve güç ihtiyacı Çizelge 4.29'da sunulmuştur.

Çizelge 4.29. Değişken hızlı pompa operasyonunda pompa verimleri ve güç gereksinimleri

	Q	H_m	η_{p1}	η_{p2}	Pompa hızı [min^{-1}]	P_{YG} [kW]		P_a [kW]	
	[l s^{-1}]	[m]	[%]	[%]	P1, P2	P1	P2	P1	P2
M-1 Sulama Sistemi	12	45.66	8.3	-	1216	64.7	-	71.5	-
	24	45.87	16.6	-	1219	65.0	-	71.8	-
	36	46.97	23.9	-	1233	69.4	-	76.6	-
	168	54.52	72.2	-	1367	124.4	-	137.4	-
	180	54.82	73.0	-	1382	132.5	-	146.4	-
	192	55.21	73.1	-	1399	142.2	-	157.1	-
	204	55.44	72.9	-	1417	152.1	-	168.0	-
	348	57.55	72.6	66.0	1450/1381	214.7	61.3	228.4	68.0
	360	57.68	72.7	68.9	1450/1389	214.5	69.1	228.2	76.3
	372	57.80	72.8	70.9	1450/1399	214.3	77.2	228.0	85.3
M-2 Sulama Sistemi	72	62.48	65.0	-	1219/	67.9	-	75.0	0
	108	63.92	76.7	-	1258/	88.2	-	97.5	0
	180	67.11	69.2	-	1408/	171.1	-	189.1	0
	204	68.26	65.8	14.8	1450/1260	196.0	50.8	208.6	57.4
	216	69.37	67.2	30.3	1450/1271	192.4	58.1	204.7	65.0
	276	73.21	71.5	71.8	1450/1330	180.5	96.1	192.1	106.2
	288	74.09	72.4	75.6	1450/1349	177.8	106.5	189.1	117.6
	312	75.62	74.3	78.3	1450/1394	171.8	132.4	182.8	146.2
	324	76.40	75.0	77.4	1450/1423	169.2	149.6	180.0	165.2

Pompa istasyonunda harcanan elektrik enerjisi belirli sulama sistem debilerinde, elektrik motorunun elektrik şebekesinden çektiği güç miktarı ve çalışma süresi kullanılarak Eşitlik 3.38 yardımıyla hesaplanmıştır. Çizelge 4.30, sabit hızlı

pompa operasyonu için gerekli enerji değerini giriş verileri ile birlikte göstermektedir.

Çizelge 4.30. Sabit hızlı pompa operasyonunda enerji gereksinimi

	Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	P_a [kW]		E [kWh]		
			P1	P2	P1	P2	Toplam
M-1 Sulama Sistemi	12	1074.8	116.0	-	124698.3	-	124698.3
	24	271.0	108.4	-	29363.4	-	29363.4
	36	53.0	118.9	-	6303.9	-	6303.9
	168	236.3	153.2	-	36202.5	-	36202.5
	180	973.2	158.6	-	154380.7	-	154380.7
	192	379.0	164.8	-	62444.5	-	62444.5
	204	17.0	171.1	-	2908.5	-	2908.5
	348	37.5	155.8	155.8	5843.5	5843.5	11686.9
	360	189.0	158.6	158.6	29981.5	29981.5	59962.9
	372	72.0	161.4	161.4	11620.1	11620.1	23240.2
	Toplam	3302.8			463746.8	47445.0	511191.8
M-2 Sulama Sistemi	72	739.6	113.1	-	83656.3	-	83656.3
	108	693.0	134.2	-	92975.1	-	92975.1
	180	456.0	192.4	-	87717.2	-	87717.2
	204	536.0	130.9	130.9	70162.7	70162.7	140325.4
	216	164.0	134.2	134.2	22002.8	22002.8	44005.5
	276	222.4	153.0	153.0	34030.6	34030.6	68061.2
	288	10.0	157.4	157.4	1573.6	1573.6	3147.2
	312	146.0	167.1	167.1	24397.5	24397.5	48795.0
	324	30.0	172.3	172.3	5169.8	5169.8	10339.6
	Toplam	2997.0			421685.7	157337.1	579022.7

Çizelge 4.30'a göre M-1 sulama sistemi pompaj uygulaması için gerekli enerji miktarı 511191.8 kWh olup işletme süresi 3302.8 saat'tir. M-2 sulama sistemi

pompaj uygulaması için gerekli işletme süresi 2997 saat olup toplamda 579022.7 kWh enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Pompa istasyonunun işletme modeli değişken hıza uyarlandığında aynı çalışma koşulları için gerekli enerji miktarı Çizelge 4.31'de sunulmuştur.

Çizelge 4.31. Değişken hızlı pompa operasyonunda enerji gereksinimi

	Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	P_a [kW]		E [kWh]		
			P1	P2	P1	P2	Toplam
M-1 Sulama Sistemi	12	1074.8	71.5	-	76844.4	-	76844.4
	24	271.0	71.8	-	19464.7	-	19464.6
	36	53.0	76.6	-	4061.1	-	4061.1
	168	236.3	137.4	-	32466.6	-	32466.6
	180	973.2	146.4	-	142474.3	-	142474.3
	192	379.0	157.1	-	59523.2	-	59523.2
	204	17.0	168.0	-	2856.4	-	2856.4
	348	37.5	228.4	68.0	8565.1	2548.8	11113.8
	360	189.0	228.2	76.3	43133.9	14428.6	57562.6
	372	72.0	228.0	85.3	16417.9	6142.9	22560.8
	Toplam	3302.8			405807.6	23120.3	428927.9
M-2 Sulama Sistemi	72	739.6	75.0	-	55437.4	-	55437.4
	108	693.0	97.5	-	67552.9	-	67552.9
	180	456.0	189.1	-	86211.3	-	86211.3
	204	536.0	208.6	57.4	111787.7	30748.3	142536.0
	216	164.0	204.7	65.0	33571.4	10656.0	44227.4
	276	222.4	192.1	106.2	42715.1	23614.3	66329.4
	288	10.0	189.1	117.6	1891.1	1176.3	3067.3
	312	146.0	182.8	146.2	26685.8	21350.7	48036.5
	324	30.0	180.0	165.2	5400.9	4956.7	10357.6
	Toplam	2997.0			431253.6	92502.3	523755.8

Çizelge 4.31'e göre M-1 sulama sistemi pompaj uygulaması için gerekli enerji miktarı 428927.9 kWh iken, M-2 sulama sistemi pompaj uygulaması için 523755.8 kWh enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31'deki verilerin ışığında değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla elde edilen enerji kazanım değerleri Çizelge 4.32'de verilmiştir. Buna göre M-1 sulama sisteminde yaklaşık olarak %16.1 oranında bir kazanım elde edilmektedir. Bu oran, tek bir pompanın işletmede olduğu düşük sistem debilerine doğru gidildikçe artmaktadır. En büyük kazanım, 12 l s^{-1} sistem debisi için %38.4 ile gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.32. Değişken hızlı pompa operasyonunda sabit hızlı pompa istasyonuna kıyasla elde edilen enerji kazanım değerleri

M-1 Sulama Sistemi				M-2 Sulama Sistemi			
Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	Enerji kazanımı [kWh yıl^{-1}]	Enerji kazanımı [%]	Q [l s^{-1}]	Çalışma süresi [h]	Enerji kazanımı [kWh yıl^{-1}]	Enerji kazanımı [%]
12	1074.8	47853.89	38.4	72	739.6	28218.9	33.7
24	271.0	9898.76	33.7	108	693.0	25422.2	27.3
36	53.0	2242.76	35.6	180	456.0	1505.9	1.7
168	236.3	3735.84	10.3	204	536.0	-2210.6	-1.6
180	973.2	11906.44	7.7	216	164.0	-221.8	-0.5
192	379.0	2921.27	4.7	276	222.4	1731.8	2.5
204	17.0	52.05	1.8	288	10.0	79.9	2.5
348	37.5	573.10	4.9	312	146.0	758.6	1.6
360	189.0	2400.35	4.0	324	30.0	-17.9	-0.2
372	72.0	679.43	2.9				
Toplam	3302.8	82263.89	16.1		2997.0	55266.9	9.5

M-2 sulama sistemi pompaj tesisinde elde edilen enerji kazanım oranı yaklaşık olarak %9.5 olarak bulunmuştur. Çizelgede negatif (-) olarak belirtilen değerler için enerji kazanımı söz konusu olmayıp değişken hızlı pompa operasyonundan istenilen neticeler bu çalışma noktaları için gerçekleşmemiştir.

Bunun temel nedeni, sistemde çalışan değişken hızlı 2. pompanın düşük verim noktalarında çalışmasıdır.

Çizelge 4.33, sabit ve değişken hızlı pompa operasyonlarında harcanan özgül enerji değerlerini göstermektedir. Çalışma konusu sulama sistemlerinin analizi sonucunda her bir sulama sisteminde (M-1 ve M-2) bir sulama sezonu boyunca gerekli olan su hacmi bilinmektedir. M-1 sulama sisteminde kullanılan su miktarı 1512748.5 m^3 $yıl^{-1}$'dır. Değişken hızlı pompaların sisteme adaptasyonu durumunda birim pompalanan su başına harcanan elektrik enerjisi 0.2835 kWh m^{-3} iken sabit hızlı pompa istasyonunda bu değer 0.3379 kWh m^{-3}'tür. Aynı karşılaştırma M-2 sulama sistemi için yapıldığında, değişken hızlı pompaların sisteme adaptasyonu durumunda birim pompalanan su başına harcanan elektrik enerjisi 0.3076 kWh m^{-3} iken sabit hızlı pompa istasyonunda bu değer 0.3401 kWh m^{-3}'tür.

Çizelge 4.33. Birim pompalanan su hacmi başına gerekli enerji miktarı (M-1 sulama sistemi için)

Sulama Sistemi	Operasyon tipi	Pompalanan Su Hacmi [m^3 $yıl^{-1}$]	Gerekli enerji miktarı [kWh $yıl^{-1}$]	E_s [kWh m^{-3}]
M-1	Değişken Hızlı Operasyon	1512748.5	428927.9	0.2835
	Sabit Hızlı Operasyon		511191.8	0.3379
M-2	Değişken Hızlı Operasyon	1702367.5	523755.8	0.3076
	Sabit Hızlı Operasyon		579022.7	0.3401

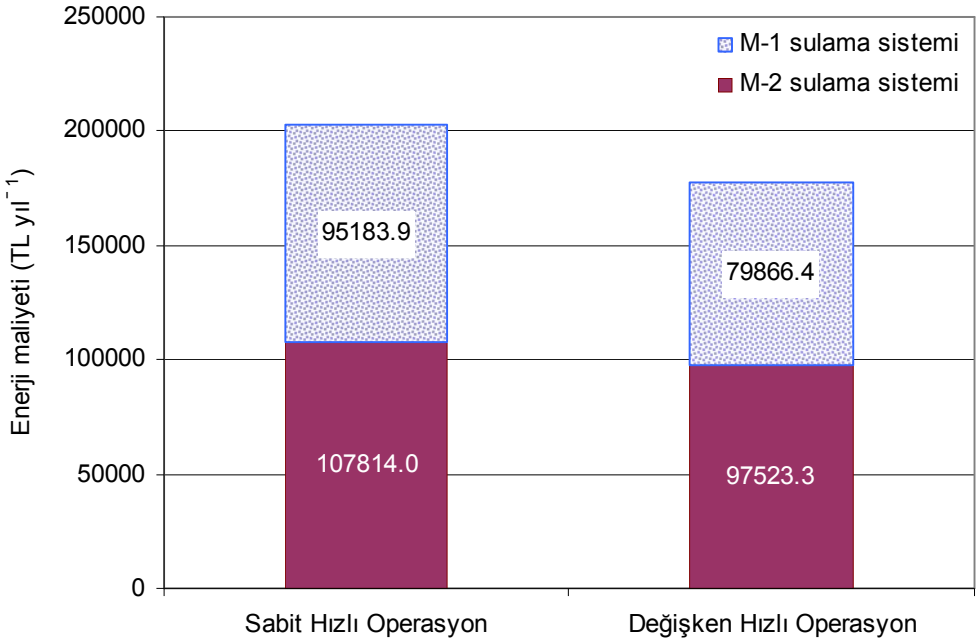
4.8.2. Enerji Maliyeti ve NBD

Seçenek sistemlerin kıyaslanmasında özgül enerji karşılaştırılması dışında uygulanan bir diğer yöntem, önerilen seçeneğin finansal olarak uygulanabilir olup olmadığının değerlendirilmesidir. Bu amaçla, önerilen seçenek için enerji kazanımının yıllık parasal değeri hesaplanmış ve NBD'si analiz edilmiştir.

Yıllık enerji kazanımının parasal değeri sabit hızlı pompa işletme modeli ile değişken hızlı pompa işletme modeli arasındaki farktan oluşmaktadır (Eşitlik 3.43).

Çalışmanın gerçekleştirildiği bölgede tarımsal sulama enerji birim maliyeti 2011 yılı için 0.1862 TL kWh^{-1}'tir. Böylece, yıllık finansal kazanım miktarı Eşitlik 3.43 kullanılarak hesaplandığında 25608 TL'lik bir tasarruf yapılabileceği ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4.22, çalışma konusu pompa istasyonunun sabit ve değişken hızlı pompa işletme modelleri ile çalıştırılması durumunda ortaya çıkan enerji maliyetini göstermektedir. Yıllık kazanım her iki işletme modeli arasındaki fark olup M-1 sulama sistemi için 15317 ve M-2 sulama sistemi için 10291 TL'dir. Toplamda sulama pompa istasyonunda oluşan yıllık enerji kazanımının parasal değeri 25608 TL'dir. Bu değer, maliyette yaklaşık %12.6 oranında bir azalmaya ulaşmaktadır.



Şekil 4.22. Sabit ve değişken hızlı pompa işletme modellerinin yıllık enerji maliyeti

Değişken hızlı pompa istasyonu ile sabit hızlı pompa istasyonu arasındaki yatırım maliyetindeki temel fark frekans değiştirici, PLC sistemi ve bazı mühendislik uygulamalarından kaynaklanmakta olup, yapılan piyasa araştırmaları neticesinde bu maliyetler toplamının önerilen seçenek için yaklaşık 48114 TL olduğu görülmüştür. Bu şartlar altında; yatırımın 15 yıl ekonomik ömrü ve %7 yıllık faiz oranı ile

yatırımın Bugünkü Net Değeri hesaplanmış elde edilen sonuçlar Çizelge 4.34'te sunulmuştur.

Çizelge 4.34. Yatırımın Net Bugünkü Değeri (NBD)

r =%7				
Yılın Sonu	Şimdiki Kâr [TL]	Başlangıçtaki Yatırım Maliyeti [TL]	Net Bugünkü Değer [TL]	Yığışımlı Net Fayda [TL]
0	0.0	48114.0	-48114.0	-48114.0
1	23932.9	0.0	23932.9	-24181.1
2	22367.2	0.0	22367.2	-1813.9
3	20903.9	0.0	20903.9	19090.1
4	19536.4	0.0	19536.4	
5	18258.3	0.0	18258.3	
6	17063.8	0.0	17063.8	
7	15947.5	0.0	15947.5	
8	14904.2	0.0	14904.2	
9	13929.2	0.0	13929.2	
11	13017.9	0.0	13017.9	
11	12166.3	0.0	12166.3	
12	11370.4	0.0	11370.4	
13	10626.5	0.0	10626.5	
14	9931.3	0.0	9931.3	
15	9281.6	0.0	9281.6	
Toplam	233237.6			
NBD			185123.6	

Çizelge 4.34'e göre, yıllık kar akışı toplamı 233237 TL, yatırımın Net Bugünkü Değeri ise 185123 TL'dir. Yığışımlı net faydanın negatiften pozitife geçtiği yıl, toplam geri ödeme süresini göstermektedir. Buna göre yatırımın geri ödeme süresi yaklaşık olarak 2.1 yıldır. Bu durumda yatırımın oldukça karlı olduğu ve uygulanmaya değer olduğu söylenebilir.

Senaryo 3'te kullanılan sistem yatırımı ve enerji kazanımı, pompa istasyonunun bugünkü mevcut hali ile karşılaştırılmıştır. Pompa istasyonunda uygun tasarım elemanlarının (pompalar ve elektrik motorları) yeniden seçiminin bugünkü piyasa koşullardaki maliyeti 84140 TL ve sistemin değişken hızlı pompa istasyonuna dönüştürülmesi için gerekli ek maliyet 48114 TL olup toplam sistem yatırımı 132254 TL'dir. Bu şartlar altında; yatırımın 15 yıl ekonomik ömrü ve %7 yıllık faiz

oranı ile yatırımın Bugünkü Net Değeri hesaplanmış elde edilen sonuçlar Çizelge 4.35'te sunulmuştur.

Çizelge 4.35. Yatırımın Net Bugünkü Değeri (NBD) ve Geri Ödeme Süresi

r=%7				
Yılın Sonu	Şimdiki Kâr [TL]	Başlangıçtaki Yatırım Maliyeti [TL]	Net Bugünkü Değer [TL]	Yığışımlı Net Fayda [TL]
0	0.0	132254.0	-132254.0	-132254.0
1	72267.6	0.0	72267.6	-59986.4
2	67539.8	0.0	67539.8	7553.4
3	63121.3	0.0	63121.3	
4	58991.9	0.0	58991.9	
5	55132.6	0.0	55132.6	
6	51525.8	0.0	51525.8	
7	48154.9	0.0	48154.9	
8	45004.6	0.0	45004.6	
9	42060.4	0.0	42060.4	
11	39308.8	0.0	39308.8	
11	36737.2	0.0	36737.2	
12	34333.8	0.0	34333.8	
13	32087.7	0.0	32087.7	
14	29988.5	0.0	29988.5	
15	28026.6	0.0	28026.6	
Toplam	704281.3			
NBD			572027.3	

Çizelge 4.35'e göre, yıllık kar akışı toplamı 704281 TL, yatırımın Net Bugünkü Değeri ise 572027 TL'dir. Yığışımlı net faydanın negatiften pozitife geçtiği yıl, toplam geri ödeme süresini göstermektedir. Buna göre yatırımın geri ödeme süresi 1.9 yıldır.

Tüm senaryolar altında gerçekleştirilen finansal analizler değerlendirildiğinde, enerji kazanımı açısından önerilen yatırım seçenekleri içinde en yüksek NBD değerine pompa istasyonundaki pompaların yenilenerek değişken hızlı olarak kullanılması durumunda ulaşılmaktadır.

4.9. Enerji Kazanım Senaryolarının Karşılaştırılması

Farklı senaryolar altında değişken hızlı pompa işletme modelleri ile mevcut sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla elde edilen enerji kazanım oranları Çizelge 4.36'da bildirilmiştir.

Çizelge 4.36'ya göre en yüksek enerji ihtiyacı (1367970 kWh) sabit hızlı pompalar kullanıldığında oluşmaktadır. Mevcut pompaların değişken hızlı (regülasyon 1) olarak çalıştırılması durumunda sabit hıza kıyasla yıllık 164805 kWh'lik bir enerji tasarrufu sağlanmış olup bu değer %12 oranında bir enerji kazanımına eşdeğerdir. Mevcut pompaların regülasyon 2'ye göre çalıştırılması durumunda bu enerji kazanım miktarı %3 oranında artış göstererek %15'e ulaşmaktadır. Mevcut pompaların daha yüksek verimli pompalar ile değiştirilerek değişken hızlı çalıştırılması durumunda, mevcut duruma kıyasla enerji kazanım miktarı 415286 kWh'e ulaşmış olup, yaklaşık %30 oranında bir enerji kazanımı elde edileceği görülmüştür. Bu oranlar M-1 ve M-2 sulama sistemleri için gerekli toplam enerji miktarına göre hesaplanmış olup, sulama sistemlerinin karakteristiklerine, bitki desenine ve işletme şartlarına göre değişebilir. Örneğin, enerji kazanım oranı M-1 sulama sistemi için hesaplanırsa %38.2'ye kadar çıkabilmektedir.

Çizelge 4.36. Enerji gereksinimleri ve enerji kazanım miktarlarının mevcut sabit hızlı pompa istasyonu ile kıyaslanması

Senaryo	Gerekli Enerji [kWh]			Kazanım Miktarı	
	M-1	M-2	Toplam	[kWh]	[%]
Sabit hız	694493.4	673476.6	1367970.0	0	0
Senaryo 1	594180.2	608984.3	1203164.5	164805.5	12
Senaryo 2	572461.7	590275.0	1162736.7	205233.3	15
Senaryo 3	428927.9	523755.8	952683.7	415286.3	30.3

Değişken hızlı pompa kontrol sistemleri gündeme geldiği zaman ilk olarak enerji kazanımı düşünülmektedir. Değişken hızlı sistemler enerji kazanımı açısından çoğunlukla en iyi çözümü sunmakla beraber ekonomik olarak bu her durumda

mümkün olmamaktadır (Evans, 2007). Bu durumda ömür boyu maliyet analizinin gerçekleştirilmesi finansal kazanımların değerlendirilmesi açısından önemlidir. Her bir senaryo için gerçekleştirilen ekonomik analizlerin sonucu birbiri ile karşılaştırıldığında en ekonomik ve kazançlı çözüm de bulunmuş olacaktır. Bu çalışmada gerçekleştirilen çeşitli senaryoların ekonomik açıdan karşılaştırılması Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.37'de gösterilen değerler 15 yıl ekonomik sistem ömrü ve yıllık %7 indirim oranı için elde edilmiştir. Genel olarak, pozitif NBD'ye sahip herhangi bir seçenek "uygulanabilir" sayılmakla birlikte, NBD'si daha büyük olan daha iyi bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. Bunun yanında bazı işletme yöneticileri veya karar verici kimseler, sermayelerinin en verimli şekilde değerlendirilebilmesini sağlamak üzere bazı ek değerlendirme araçlarını (iki, üç yıl gibi kısa geri ödeme süresi gibi) dikkate almaktadırlar (Perez ve Stark, 2007).

Çizelge 4.37. Farklı senaryoların ekonomik açıdan karşılaştırılması

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Yatırım Maliyeti [TL]	43510.0	130510.0	132254.0
Şimdiki Kar [TL]	279492.5	348049.8	704281.3
NBD [TL]	235981.8	217539.8	572027.3
Geri Ödeme Süresi [yıl]	1.6	4.1	1.9

Çizelge 4.37'ye göre tüm seçeneklerin NBD'si pozitif (+) olup finansal açıdan uygulanabilir olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, Senaryo 3'te açıklanan pompa istasyonunun yeni tasarım elemanları ile donatılarak değişken hızlı işletilmesi mevcut pompa istasyonuna kıyasla en iyi çözüm olarak görülmektedir. Bu yatırımın NBD'si 572027.3 TL olup geri ödeme süresi yaklaşık olarak 2 yıldır. Bu sonuç, mevcut pompa istasyonundaki pompaların ne kadar verimsiz çalıştığının da bir göstergesidir. Bunun yanında, her ne kadar Senaryo 2 altında elde edilen enerji kazanımı Senaryo 1'e kıyasla %3 oranında daha yüksek olsa da ekonomik analizler 15 yıl yatırım ömrü için Senaryo 1'in az da olsa daha karlı olduğunu göstermektedir.

Ayrıca Senaryo 2'nin geri ödeme süresi Senaryo 1'den 2.5 yıl daha uzun ve ilk yatırım maliyeti 3 kat daha fazladır. Bu sonuçlar Lamaddalena ve Khila (2011) ve Moreno ve ark. (2007)'nın araştırmalarını da destekler niteliktedir.

Değişken hızlı kontrol sistemleri uygulanırken enerji kazanımının yanında mutlaka diğer faydaların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Örneğin, frekans değiştirici kullanılan sistemlerde elektrik motorlarının yumuşak kalkış ve duruşu mekanik ve elektriksel stresi azaltırken su koçu darbesini de önlemektedir. Ayrıca tek başına bu bile motor ömrünü bazı durumlarda 2 katına kadar çıkarabilmektedir (Evans, 2007).

4.10. Pompa İstasyonu Genel Verimleri

Pompa istasyonunun genel verimi, herhangi bir işletme noktası için pompanın suya verdiği enerjinin, şebekeden çektiği enerjiye oranı olarak açıklanmaktadır. Ancak bu hesaplama, vana ile debi kontrol sistemlerinde pompa karakteristiğine de bağlı olarak fazladan üretilen basınç yükünün neden olduğu artık enerjiyi dikkate almamaktadır. Özgül enerji, toplam basınç yüküne bağlı olarak pompaj veriminin ters ifadesidir. Bu çalışmada uygulanan çeşitli seçeneklerin özgül enerjisi bilindiğinden, aynı iş için sistemin ortalama basınç yükü dikkate alınarak iki pompa sisteminin karşılaştırılması daha anlamlı olmaktadır. İhtiyaç duyulan ortalama basınç yükleri M-1 sulama sistemi için 54 m, M-2 sistemi için ise 68.7 m'dir. Böylece, Eşitlik 3.39, 3.40 ve 3.41 yardımıyla, çeşitli senaryolar altındaki değişken hızlı pompa istasyonlarının genel verimi hesaplanmış ve mevcut durumla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.38'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.38 incelendiğinde, Senaryo 3 altında değişken hızlı pompa istasyonu genel verimlerinin, seçilen yeni pompaların yüksek verimli olması nedeniyle, en yüksek değerlere (%51.9 ve %60.1) sahip olduğu görülmüştür. Senaryo 1 ve Senaryo 2 arasındaki temel fark değişken hızlı pompa istasyonunun düzenlenme şeklidir. Buna göre regülasyon 2, regülasyon 1'e kıyasla daha verimli (ortalama %1.5 daha fazla) gözükmektedir. Bunun sonucunda daha önceki bölümlerde belirtildiği

gibi enerji kazanım oranı regülasyon 1'e kıyasla regülasyon2'de daha yüksek olmuştur.

Çizelge 4.38. Farklı senaryolar altında değişken hızlı pompa istasyonu genel verimlerinin ve özgül enerji değerlerinin mevcut sabit hızlı pompa istasyonu ile karşılaştırılması

Senaryo tipi	Özgül Enerji [kWh m^{-3}]		Pompa istasyonu genel verimi [%]	
	M-1	M-2	M-1	M-2
Sabit hız	0.4591	0.3956	32.1	46.7
Senaryo 1	0.3928	0.3577	37.5	51.7
Senaryo 2	0.3784	0.3467	38.9	53.3
Senaryo 3	0.2835	0.3076	51.9	60.1

M-1 sulama sistemine hizmet eden pompaların genel veriminin M-2 sulama sistemine hizmet edenlere göre tüm senaryolarda daha düşük kaldığı görülmektedir. Bunun temel nedeni; M-1 sulama sitemi üzerindeki bitki desenine bağlı olarak düşük debiye ihtiyaç gösteren işletme noktalarının bulunması ve bu işletme noktalarındaki çalışma sürelerinin uzunluğudur. Düşük debili işletme noktalarında çalışmayı önlemek, bitkilerin sulama zamanlarını mümkün olduğunca aynı zamana denk getirerek pompa istasyonu seviyesinde genel sistem debisini artırmakla mümkün olabilir. Özellikle büyük sulama şebekelerinde kullanılan büyük pompaların yüksek verimlerde çalışması için bu işletme tarzı kaçınılmazdır. Aksi halde, büyük pompalar uygun olmayan verim noktalarında ve çok düşük debilerde çalışacak, bunun sonucunda enerji tüketimi artacaktır. İşletme yöneticilerinin bu duruma azami dikkati göstermesi pompa istasyonu verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

M-1 ve M-2 sulama sitemleri pompa genel verimleri arasındaki farkın bir diğer nedeni; M-1 sulama sitem eğrisinin ve seçilmiş pompaların düze yakın sığ bir karakteristik göstermiş olmasıdır. Nesbitt (2001), aynı konuya dikkat çekmiş ve sığ pompa karakteristiklerinin pompaların arzu edilmeyen işletme noktalarında çalışmasına neden olduğunu ifade etmiştir. Aynı şekilde, Mann (2006), düze yakın sistem eğrisi ve sığ pompa karakteristiğinin eşleşmesinin performans sıkıntısına yol açabileceğini vurgulamıştır.

Mevcut durumda, pompa istasyonları genel verimleri M-1 sulama sisteminde oldukça düşük (%32.1) bulunmuştur. Sulama pompa istasyonlarında, pompa istasyonu genel veriminin %50 ve üzerinde olması bazı araştırıcılar tarafından "mükemmel" olarak değerlendirilmektedir (Moreno ve ark., 2010). Bu çalışmada, önerilen yöntemin kullanılması durumunda pompa istasyonu genel verimini M-1 sulama sistemi için %19.8 ve M-2 sulama sitemi için %13.4 artırmanın mümkün olabileceği tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Pompa istasyonunda mevcut işletme modeline (sabit hızlı) alternatif değişken hızlı işletme modelinin (sabit hızlı ve değişken hızlı) enerji gereksinimi incelenmiştir. Alternatif modelin ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca işletme karakteristiğine göre tasarım hatalarını giderecek yeni metodolojiye göre uygun tasarım elemanlarının yeniden seçimi yapılarak enerji gereksinimi hesaplanmış ve önerilen bu seçeneğin ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Pompa istasyonunda kullanılan pompaların nominal verimleri yaklaşık olarak %15 oranında azalmış gözükmektedir. Pompalar ekonomik ömürlerini doldurmuş olup, yenileri ile değiştirilmelidir.
2. İşletme modelinin değişken hızlıya dönüştürülmesi durumunda gereksinim duyulan enerji miktarı, motor ve FD yük durumları dikkate alınmadığı zaman, M-1 sulama sistemi için 583190.0 kWh, M-2 sulama sistemi için 598312.5 kWh'tir. Bu değerler M-1 ve M-2 sulama sistemi için sırasıyla %16 ve %11.2 oranında enerji kazanımına eşdeğerdir.
3. İşletme modelinin değişken hızlıya dönüştürülmesi durumunda gereksinim duyulan enerji miktarı, motor ve FD yük durumları dikkate alındığı zaman, M-1 sulama sistemi için 594180.2 kWh, M-2 sulama sistemi için 608984.3 kWh'tir. Bu değerler M-1 ve M-2 sulama sistemi için sırasıyla %14.4 ve %9.6 oranında enerji kazanımına eşdeğerdir. Bu oranlar, pompa çalışma noktalarına ve çalışma süresine bağlı olarak değişebilir. Özellikle daha düşük sistem debilerine ihtiyaç arttığı durumlarda kazanım oranları artış göstermektedir. Örneğin, M-1 sulama sisteminde 12 $l\,s^{-1}$ sistem debisi için elde edilen enerji kazanımı oranı %40.9'dur. M-2 sulama sisteminde 72 $l\,s^{-1}$ sistem debisi için elde edilen enerji kazanımı yaklaşık olarak %26.5'tir.

4. Pompa istasyonunda en yüksek enerji ihtiyacı (1367970 kWh) sabit hızlı pompalar kullanıldığında oluşmaktadır. Mevcut pompaların regülasyon 1'e göre çalıştırılması durumunda sabit hıza kıyasla yıllık 164805 kWh'lik bir enerji tasarrufu sağlanmış olup bu değer %12 oranında bir enerji kazanımına eşdeğerdir. Mevcut pompaların regülasyon 2'ye göre çalıştırılması durumunda enerji kazanım miktarı %3 oranında artış göstererek %15'e ulaşmaktadır. Mevcut pompaların daha yüksek verimli pompalar ile değiştirilerek değişken hızlı çalıştırılması durumunda, mevcut duruma kıyasla enerji kazanım miktarı 415286 kWh'e ulaşmış olup, %30.3 oranında bir enerji kazanımı elde edileceği görülmüştür.
5. Farklı pompalar veya pompaj sistemlerinin enerji maliyetinin karşılaştırılması özgül enerji yardımıyla yapılabilir. Çalışma konusu pompa istasyonunda, değişken hızlı pompaların kullanılması (regülasyon 1) durumunda, M-1 sulama sitemi için, özgül enerji 0.3928 kWh m^{-3} iken sabit hızlı pompa istasyonunda bu değer 0.4591 kWh m^{-3}'tür. Aynı karşılaştırma M-2 sulama sistemi için yapıldığında, değişken hızlı pompaların sisteme adaptasyonu durumunda özgül enerji 0.3577 kWh m^{-3} iken sabit hızlı pompa istasyonunda bu değer 0.3956 kWh m^{-3}'tür.

   Değişken hızlı pompaların regülasyon 2'ye göre çalıştırılması durumunda M-1 sulama sistemi için birim pompalanan su başına harcanan elektrik enerjisi 0.3784 kWh m-3'tür. M-2 sulama sistemi için bu değer 0.3467 kWh m^{-3}'tür. Regülasyon 2 için elde edilen özgül enerji değerlerinin, regülasyon 1 için elde edilen verilere kıyasla daha düşük kaldığı görülmektedir. Bu nedenle, enerji kazanımı açısından regülasyon 2 daha fazla kazanım sağlamaktadır.
6. Sistem tasarımcıları, üreticilerin tüm taleplerine cevap verebilecek aynı zamanda en düşük maliyetli sistemi tercih edeceğinden dolayı enerji kazanım değerinin parasal olarak ifade edilmesi çok daha anlamlı olabilmektedir. Dolayısıyla, alternatif yaklaşımların uygulanabilir değerde olması gerekmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada önerilen yaklaşımların finansal olarak uygulanabilir olup olmadığı değerlendirilmiştir. Senaryo

1'e göre; yıllık kazanım her iki işletme modeli arasındaki fark olup, M-1 sulama sistemi için 18678 TL ve M-2 sulama sistemi için 12008 TL'dir. Toplamda sulama pompa istasyonunda oluşan yıllık enerji kazanımının parasal değeri 30686 TL'dir. Bu değer, maliyette yaklaşık %12 oranında bir azalmaya ulaşmaktadır.

Senaryo 2'ye göre yıllık kazanım değişken ve sabit hızlı işletme modelleri arasındaki fark olup M-1 sulama sistemi için 22722 TL ve M-2 sulama sistemi için 15492 TL'dir. Toplamda sulama pompa istasyonunda oluşan yıllık enerji kazanımının parasal değeri 38214 TL'dir. Bu değer, maliyette yaklaşık %15 oranında bir azalmaya erişmektedir.

7. Gerçekleştirilecek yatırımın uygulanabilir olup olmadığının hesaplanması ve çeşitli seçenekler arasından hangisinin daha kazançlı olduğunun belirlenmesi amacıyla yatırımın NBD'si ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Değişken hızlı pompa istasyonu ile sabit hızlı pompa istasyonu arasındaki yatırım maliyetindeki temel fark frekans değiştirici, PLC sistemi ve bazı mühendislik uygulamalarından kaynaklanmakta olup, yapılan piyasa araştırmaları neticesinde bu maliyetler toplamının regülasyon 1 için yaklaşık 43510 TL olduğu görülmüştür. Bu şartlar altında; yatırımın 15 yıl ekonomik ömrü ve %7 yıllık faiz oranı ile yatırımın Net Bugünkü Değeri (NBD) hesaplanmış ve 235981 TL bulunmuştur. Yatırımın geri ödeme süresi 1.6 yıldır. Bu durumda önerilen yaklaşımın oldukça karlı olduğu ve uygulanmaya değer olduğu söylenebilir. Geri ödeme süresi, daha küçük sulama sistemlerinde muhakkak daha uzun olacaktır. Ancak çalışma konusu arazi örneğinde olduğu gibi, büyük sulama sistemlerinde geri ödeme süresi elde edilen kazanımlara bağlı olarak oldukça kısa olmaktadır.

   Mevcut pompaların regülasyon 2'ye düzenlenmesi durumunda, her bir pompa için ayrı bir frekans değiştirici, PLC sistemi ve bazı mühendislik uygulamalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Yapılan piyasa araştırmaları neticesinde bu maliyetler toplamının yaklaşık 130510 TL olduğu görülmüştür. Bu maliyet regülasyon 1'in maliyetinin üç katıdır.

Yatırımın 15 yıl ekonomik ömrü ve %7 yıllık faiz oranı ile NBD'si 217539 TL ve geri ödeme süresi yaklaşık olarak 4.1 yıldır.

Her ne kadar enerji kazanımı açısından regülasyon 2 daha iyi bir seçenek olsa da, ekonomik yönden karşılaştırıldığında; 15 yıl ekonomik yatırım ömrü için, NBD'si daha büyük (%8.5) olması nedeniyle regülasyon 1'in regülasyon 2'den daha karlı olduğu söylenebilir. Ayrıca, ilk yatırım maliyetinin düşüklüğü ve kısa geri ödeme süresi nedeniyle değişken hızlı pompa istasyonunun regülasyon 1'e göre tesis edilme seçeneği daha avantajlı olabilir.

8. Çalışmaya konu pompa istasyonunda bulunan mevcut pompalara alternatif daha yüksek verimli tasarım elamanlarının (pompalar + elektrik motoru vs.) kullanılması durumunda (Senaryo 3) yeni pompaların sabit ve değişken hızlı operasyonları arasındaki enerji gereksiniminin karşılaştırılması ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu durumda, M-1 sulama sistemi pompaj uygulaması için gerekli enerji miktarı 428927.9 kWh iken, M-2 sulama sistemi pompaj uygulaması için 523755.8 kWh enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Buna göre, sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla M-1 sulama sisteminde yaklaşık olarak %16.1 oranında bir kazanım elde edilirken M-2 sulama sisteminde enerji kazanım oranı yaklaşık olarak %9.5 olarak bulunmuştur. M-1 sulama sitemi için, özgül enerji 0.2835 kWh m^{-3} iken M-2 sulama sistemi için bu değer 0.3076 kWh m^{-3}'tür.
9. Seçilen yeni tasarım elemanları ile geçekleştirilecek değişken hızlı pompa operasyonu çalışmaya konu pompa istasyonunun mevcut haliyle ve işletme modeli ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %30 enerji kazanımı elde edildiği görülmektedir. Yatırımın geri ödeme süresi 1.9 yıl olarak hesaplanmıştır.
10. Çalışmada incelenen tüm seçeneklerin NBD'si pozitif (+) olup, finansal açıdan uygulanabilir olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, Senaryo 3'te açıklanan pompa istasyonunun yeni tasarım elemanları ile donatılarak

değişken hızlı işletilmesi tüm incelenen seçenekler içinde en uygun seçenek olarak gözükmektedir.

11. Çalışma içinde incelenen sistemlerin enerji verimliliğini görebilmek amacıyla tüm seçenekler için sulama hattı bazında pompa istasyonu genel verimleri hesaplanmıştır. Yeni pompaların yüksek verimli olması nedeniyle Senaryo 3'e konu değişken hızlı pompa istasyonunun verimi en yüksek değere (%51.9 ve %60.1) sahiptir. Her iki sulama hattında da Senaryo 3'ü sırasıyla Senaryo 2 ve Senaryo 1'e konu olan değişken hızlı pompa istasyonları izlemektedir. Bu çalışmada, önerilen yöntemin kullanılması durumunda pompa istasyonu genel verimini M-1 sulama sistemi için %19.8 ve M-2 sulama sitemi için %13.4 artırmanın mümkün olabileceği tespit edilmiştir

5.2. Öneriler

1. Sistem veriminin yüksek olması ve geri ödeme süresini en aza indirmek için verimi yüksek pompalar, motorlar ve frekans değiştiriciler kullanılmalıdır.
2. Sistem güç ve enerji gereksinimlerinin hesaplanması sırasında sulama sistem analizinin gerçekleştirilmesi ve pompaların ölçülen karakteristiklerinin dikkate alınması gerekmektedir.
3. Sulama pompa istasyonları tasarım ve satın alma kararı verilirken aşağıdaki hususların göz önüne alınması tavsiye edilmektedir:
   - Yatırım maliyeti (pompa-sistem-borular-yardımcı servisler)
   - Enerji maliyeti
   - İşletme maliyeti
   - Bakım-onarım maliyeti
   - Arıza süresince üretim kaybı maliyeti
   - Faiz oranı
   - Sistem ömrü boyunca enerji fiyatlarında oluşacak artış

4. Yapılan araştırma neticesinde elde edilen tüm bulgular göstermiştir ki önerilen yaklaşım enerji kazanımı açısından oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Yukarıda bahsedilen tüm sonuçlar ve faydaları dikkate alındığında, enerji kazanımı açısından büyük bir potansiyele sahip olduğundan dolayı basınçlı sulama sistemlerinde değişken hızlı pompa işletme modelinin uygulanması tavsiye edilmektedir. Bu tür ileri sulama sistemlerinin yönetilmesinde iyi eğitilmiş teknik elemanların bulunması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

ACKERMANN, K., 2003. Minimizing Life Cycle Cost of Wastewater Pumps. Engineering in Life Sciences, 3(5): 233-236.

AIT KADI, M. and LAMADDALENA, N., 1991. Performance Analysis of On-demand Irrigation Systems: The model AKLA. CIHEAM-Bari Institute-Internal note (yayınlanmamış).

AIT KADI, M., LAMADDALENA, N., BOUABE, Z. and YACOUBI, Z., 1998. Studio Sulle Possibilità di Risparmio Energetico in un Sistema Irriguo Servito da di Sollevamento. Rivista di Irrigazione e Drenaggio, 45(1):25-30.

ALEGRE, H., BAPTISTA, J.M., CABRERA E., CUBILLO, F., DUARTE, P., HIRNER, W., MERKEL, W. and PARENA, R., 2006. Performance Indicators for Water Supply Services. Second Edition, IWA Publishing, London, s289.

ALLEN R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D. and SMITH, M., 1998. Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56, Roma, 300s.

ANONYMOUS, 1982. Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketimleri Rehberi. Köyişleri ve Kooperatifler Bakanlığı Toprak Su Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Yayın No 35, Ankara, 628s.

ANONYMOUS, 2005. Cost of Ownership. http://www.grundfos.com/web/grfosweb.nsf/GrafikOpslag/costofownership/$File/coo.pdf [Çevrimiçi Erişim: 20.06.2005].

AYANOĞLU, K., DÜZYOL, M.C., İLTER, N ve YILMAZ, C., 1996. Kamu Yatırım Projelerinin Planlanması ve Analizi. DPT, Ankara, 256s. "http://www2.dpt.gov.tr/dptweb/ekutup96/*" [Çevrimiçi Erişim: 23.06.2011]

ASDAL, R., 2009. Optimizing Pumping Sytems. Feature Report, Chemical Engineering, April, 2009: 42-45, http://www.scribd.com/doc/16615923/Optimizing-Pump-Systems [Çevrimiçi Erişim: 06.10.2011].

BARUTÇU, F., 2005. Energy Saving Criteria for Optimal Design of a Pumping Station Serving an On-demand İrrigation System. Master Science Thesis, CIHEAM, Bari Institute, Italy, 134s.

BARUTÇU, F., LAMADDALENA, N. and FRATINO, U., 2007. Energy Saving For A Pumping Station Serving An On-Demand Irrigation System: A Study Case. Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs, Options Mediterraneennes, Bari, Serie B 56(1): 367-379.

BATTIATO, S. E., 1993. Cost-Benefit Analysis and the Theory of Resource Allocation (A. Williams and E. Giardina editörler). Efficiency in the Public Sector: The Theory and Practice of Cost-Benefit Analysis, Edward Elgar Publishing, England, s26-42.

BETHERY, J., 1990. Reseaux Collectifs D'irrigation Ramifies Sous Pression : Calcul et Fonctionnement, CEMAGREF, Etudes, 6, 139s.

BOUABE, Z., 1996. Étude des Possibilités D'économie D'énergie a Travers la Conversion de la Régulation d'une Station de Pompage par Réservoir Surélevé à la Vitesse Variable. Master Science Thesis, CIHEAM, Bari Institute, 116s.

BPMA, 2002. Variable Speed Driven Pumps – Best Practice Guide. British Pump Manufacturers Association, UK, 47s.

CALEJO, M.J., TEIXEIRA, J.L., PEREIRA, L.S. and LAMADDALENA, N., 2005. Modelling the Irrigation Demand in a Pressurized System. Proceedings of the EFITA/WCCA 2005 Joint Conference on Information Technologies in Agriculture, Food and Natural Resources, Vila Real, Portugal, 765-770.

CALEJO, M.J., LAMADDALENA, N., TEIXEIRA, J.L. and PEREIRA, L.S., 2008. Performance Analysis of Pressurized Irrigation Systems Operating On-demand Using Flow-driven Simulation Models. Agricultural Water Management, 95:154-162.

CENEf, 2004. Case Studies of Successful and Replicable Success Stories of Energy Efficiency Programs on the Municipal Level. A Report of Work Plan, http://www.munee.org/go.idecs?i=311 [Çevrimiçi Erişim: 28.06.2010].

CESUR, A.M., 2006. Proje Değerlendirme Yöntemleri ve Kullanılan Enstrümanlar, Ankara, <http://www.emo.org.tr/ekler/baf163c24ed14b5_ek.doc?tipi=2&turu=X&sube=14> [Çevrimiçi Erişim: 28.06.2010].

CLÉMENT, R. 1966. Calcul des Débits Dans les Réseaux D'irrigation Fonctionnant à la Demande. La Houille Blanche 5: 553-575.

CLÉMENT, R. and GALAND, A., 1979. Irrigation par Aspersion et Réseaux Collectifs de Distribution Sous Pression. Paris, 182s.

ÇALIŞIR, S., TOPRAK, R. and ACAROĞLU, M., 2005a. Specific Energy Consumption of Motopumps in Irrigation. 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture & 27th International Conference of CIGR, İzmir, Turkey, Section IV: 276-280.

ÇALIŞIR, S., ACAROĞLU, M. and HACISEFEROĞULLARI, H., 2005b. Determination of Specific Energy Consumption of the Centrifugal Pumps Used in Irrigation. 9th International Advanced Technologies Symposium, Konya, Turkey, 1: 527-533.

DEMİRBUGAN, M.A., 2008. Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Net Bugünkü Değer (NBD) ve İç Karlılık Oranı (İKO) Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi, X(II).

DOORENBOS, J. and PRUITT, W.O., 1977. Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No 24, Roma.

DOĞUŞ, R., 1963. Santrifüj Pompa Deneme Laboratuvarı Projesi ve Projenin Tatbiki. A.Ü. Basımevi, Ankara, Yayın No: 220, 35s.

ERTÖZ, A.Ö., DUYMUŞ, E., 2001. Değişken Devirli Pompa Seçimi. 4. Pompa Kongresi, İstanbul, 24-32.

ERTÖZ, A.Ö., 2003. Pompalarda Enerji Verimliliği. VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir.

_____, 2006. Pompalar ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Verimliliği. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 96:50-56.

EVANS, R., SNEED, R.E. and HUNT, J.H., 1996. Pumping Plant Performance Evaluation. North Carolina Cooperative Extension Service,

http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/evans/ag452-6.html, [Çevrimiçi Erişim: 22.06.2011].

EVANS, J., 2007. Comparing Energy Consumption: To VFD Or Not To VFD. Pump&Systems, April: 18-23.

EVANS, B., 2011. Benefits &Applications for Microprocessor Controlled Variable Frequency Drive Pump Stations. Technical Bulletin, http://www.techsys. com.au/downloads/techbull/TBVFDpumping.pdf, [Çevrimiçi Erişim: 18.02.2011].

HANSON, B. WEIGAND, C. and ORLOFF, S., 1996. Performance of Electric İrrigation Pumping Plants Using Variable Frequency Drives. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 122(3):179-182.

HLA, A.K., and SCHERER, T.F., 2001. Operating Efficiencies of Irrigation Pumping Plants. Annual International Meeting, ASAE, Yayın No. 01-2090.

JENSEN, M.E., 1983. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph No 3, St. Joseph, Michigan, 840s.

KHADRA, R., 2004. Development of an Integrated Tool for the Analysis of Irrigation Systems Under Water Scarcity Conditions. PhD Thesis, Dipartamento di Scienze della Produzion Vegetali, University of Bari, 106s.

KHADRA, R. and LAMADDALENA, N., 2005. Un Modello per la Generazione delle Portate in una Rete Irrigua con Esercizio a Domanda. VIII Convegno Nazionale AIIA "l'ingegneria Agraria per lo Sviluppo Sostenibile dell'area Mediterranea", Catania.

KHADRA, R. and LAMADDALENA, N., 2006. A Simulation Model to Generate the Demand Hydrographs in Large-scale Irrigation Systems. Biosystem Engineering, 93(3): 335-346.

KING, B.A. and WALL, R.W., 2000. Distributed Instrumentation for Optimum Control of Variable Speed Electric Pumping Plants with Center Pivots. Applied Engineering in Agriculture, 16(1):45-50.

KPPC, 2002. Energy Efficiency for Wastewater Operations. http://www.kppc.org/ Publications/Print%20Materials/E2%20Manual/kppc%20E2%20manual.pdf, [Çevrimiçi Erişim: 28 Dec 2006].

LAMADDALENA, N. and PICCINNI, A.F., 1993. Sull'utilizzo delle Curve Caratteristiche Indicizzate di una Rete Irrigua per il Dimensionamento degli Impianti di Sollevamento. AIGR-Rivista di Ingegneria Agraria, 3:129-135.

LAMADDALENA, N., 1997. Integrated Simulation Modeling for Design and Performance Analysis of On-demand Pressurized Irrigation Systems. PhD, Dissertation. Technical University of Lisbon, Portugal, 210s.

LAMADDELENA, N. and SAGARDOY, J.A., 2000. Performance Analysis of On-demand Pressurized Irrigation Systems. FAO Irrigation and Drainage Paper No 59, Roma, 132s.

LAMADDELENA, N. and KHILA, S., 2011. Energy Saving with Variable Speed Pumps in On-demand Irrigation Systems. Irrigation Science, Published Online, http://www.springerlink.com/content/4357mwjt123ml521/fulltext.pdf.

LAMBETH, J. and HOUSTON, J., 1991. Adjustable Frequency Drives Save Energy. Water Environment and Technology, 3(5):34.

LITTLE, K.W. and MCCRODDEN, B.J., 1989. Minimization Raw Water Pumping Costs Using MILP. Journal of Water Resources Planning and Management, 115(4):511-522.

MANN, M., 2006. How To Use System-Head Curves. Technical Information Bulletin, Number 7, Peerless Pump Company, http://www.peerlessxnet.com/documents/tibs/TIB-7_How-to-use-head-curves.pdf, [Çevrimiçi Erişim: 14.09.2011]

MORENO, M.A., CARRIÓN, P.A., PLANELLS, P., ORTEGA, J.F. and TARJUELO J.M., 2007. Measurement and Improvement of the Energy Efficiency at Pumping Stations. Biosystems Engineering, 98:479-486.

MORENO, M.A., PLANELLS, P., CÓRCOLES, J.I., TARJUELO, J.M. and CARRIÓN, P.A., 2009. Development of a New Methodology to Obtain the Characteristic Pump Curves That Minimize the Total Cost at Pumping Stations. Biosystems Engineering, 102:95-105.

MORENO, M.A., ORTEGA, J.F., CÓRCOLES, J.I., MARTÍNEZ, A. and TARJUELO, J.M., 2010. Energy Analysis of Irrigation Delivery Systems:

Monitoring and Evaluation of Proposed Measures for Improving Energy Efficiency. Irrigation Science, 28:445-460.

NESBITT, B., 2001. Variable Speed Pumps-Are They Worth The Money? World Pumps, July 2001.

OLIVEIRA, D., RIBEIRO, M.C., MANTOVANI, E.C., SOARES, A.A., and TEIXEIRA, C.A., 2004. Energy Management of Pumping Systems in Irrigation Districts. An ASAE Meeting Presentation, Paper No: 042288.

ORMSBEE, L.E. and LANSEY, K.E., 1994. Optimal Control of Water Supply Pumping Systems. Journal of Water Resources Planning and Management, 120(2):237-252.

PEREIRA, L.S., CALEJO, M.J., LAMADDALENA, N., DOUIEB, A., and BOUNOUA, R., 2003. Design and Performance Analysis of Low Pressure Irrigation Distribution Systems. Irrigation and Drainage Systems, 17:305-324.

PÉREZ, P.C., ALANDI, P.P., ALVAREZ, F.O. and MARTIN-BENITEZ, M.T., 2002. Management and Over-Exploitation Risk of Water Resources in Semi-Arid Zones. Annual International ASAE Meeting Presentation, Paper No: 022192.

PEREZ, R.X., 2007. Affinity Laws for Piping Systems-Part One. Pump&Systems, July: 22-23.

PEREZ, R.X. and Stark, W.B., 2007. The Most Important Pump Calculation. Pump&Systems, May: 24-26.

PLANELLS, P., TARJUELO, J.M., ORTEGA, F. and CASANOVA, M.I., 2001. Design of Water Networks for On-Demand Irrigation. Irrigation Science, 20:189-201.

PLANELLS, P., CARRION, P.A., ORTEGA, F., MORENO, M.A. and TARJUELO, J.M., 2005. Pumping Selection and Regulation for Water Distribution Networks. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 131(3): 273-281.

PLANELLS, P., ORTEGA, J.F. and TARJUELO, J.M., 2007. Optimization of Irrigation Water Distribution Networks, Layout Included. Agricultural Water Management, 88:110–118.

PLATTS, 2005. AC Induction Motors [online]. Platts, a Division of The McGraw-Hill Companies, http://www.reliant.com/en_US/Platts/PDF/P_PA_35.pdf, [Çevrimiçi Erişim: 29.03.2011].

PULIDO-CALVO, I., ROLDAN, J., LOPEZ-LUQUE, R. and GUTIÉRREZ-ESTRADA, J.C., 2003. Water Delivery System Planning Considering Irrigation Simultaneity. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 129(4): 247-255.

RODRÍGUEZ DÍAZ, J.A., WEATHERHEAD, E.K., KNOX, J.W., and CAMACHO, E., 2007a. Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements in the Guadalquivir Rever Basin in Spain. Regional Environmental Change, 7:149-159.

RODRÍGUEZ DÍAZ, J.A., CAMACHO POYATO, E. and LÓPEZ LUQUE, R., 2007b. Model to Forecast Maximum Flows in On-Demand Irrigation Distribution Networks. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133(3):222-231.

RODRÍGUEZ DÍAZ, J.A., LÓPEZ LUQUE, R., CARRILLO COBO, M.T., MONTESINOS, P., and CAMACHO POYATO, E., 2009. Exploring Energy Saving Scenarios for On-demand Pressurised Irrigation Networks. Biosystems Engineering, 104(4):552-561.

ROSSMAN, L.A., 2000. EPANET 2 Users Manuel. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Cincinati.

SMAJSTRLA, A.G., HARRISON, D.S. and STANLEY, J.M., 2002. Evaluation Irrigation Pumping Systems [online]. University of Florida, http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE12200.pdf, [Çevrimiçi Erişim:22.11.2010].

TEZER, E., 1978. Sulamada Pompaj Tesisleri I-II-III (Proje, Seçim ve İşletme Yöntemleri). Topraksu Yayınları, Ankara.

_____, 1979, Pompaj Sulama Tesislerinde Başarı Derecesi. Birinci Ulusal Pompa Kongresi, İstanbul.

TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, 2002. TS EN ISO 9906, Rotodinamik Pompalar - Hidrolik Performans Kabul Deneyleri - Sınıf 1 ve Sınıf 2. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 68s.

UYAN, A., 1998. Santrifüj Pompa Deney Seti Geliştirilmesi ve Bir Santrifüj Pompanin Karakteristik Eğrilerinin Elde Edilmesi Üzerine Bir Araştirma. (A Research on Developing a Pump Test Unit and Determining Pump Characteristic Curves) Master Thesis, Cukurova University, Adana.

UZ, E. ve DEMİR, V., 1995. Santrifüj Pompalar Derinkuyu Pompaları Dalgıç Pompalar ve Pompa Denemeleri. E.Ü.Ziraat Fakültesi Ofset Basımevi, İzmir, 57s.

VILLALOBOS, F.J. and FERERES, E., 1989. A Simulation Model for Irrigation Scheduling Under Variable Rainfall, Soil and Water Division, 32(1):181-188.

WALSKI, T., ZIMMERMAN, K., DUDINYAK, M. and DILEEPKUMAR, P., 2003. Some Surprises in Estimating the Efficiency of Variable – Speed Pumps with the Pump Affinity Laws. Proceedings of World Water and Environmental Resources Congress, Philadelphia, USA.

WILHELM, L.R., DWAYNE, A. S. and GERALD, H. B., 2004. Fluid Flow. Chapter 4 in Food & Process Engineering Technology, ASAE, St Joseph, Michigan, 65-110.

YAZICI, H., 1979. Santrifüj Pompaların Denenmesi. Birinci Ulusal Pompa Kongresi, İstanbul, 247-284.

_____, 1996. Santrifüj Pompaların Denenmesi. İkinci Ulusal Pompa Kongresi, İstanbul, 1-15.

YÜKSEL, E. ve EKER, B., 2009a. Tarımsal Sulamada Kullanılan Santrifüj Pompa Çarkında Olabilecek Aşınmanın Belirlenmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 6(2):203-214.

_____, 2009b. Tarımsal Sulamada Kullanılan Santrifüj Pompaların Paslanmaz Çelik Malzemeden Yapılmış Çarklarında Meydana Gelebilecek Aşınmanın Belirlenmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 6(3):303-314.

_____, 2010. Tarımsal Sulamada Kullanılan Santrifüj Pompaların Alüminyum Çarklarında Meydana Gelebilecek Aşınmanın Belirlenmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 7(3):187-195.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Malatya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Malatya'da tamamladı. 1996 yılında Malatya Ziraat Meslek Lisesi'nden "Ziraat Teknisyeni" unvanı alarak mezun oldu. 1998 yılında Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Diyarbakır Kocaköy İlçe Tarım Müdürlüğü'nde "Ziraat Teknisyeni" olarak göreve başladı. 1996 yılında giriş yaptığı Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nü 2000 yılında bölüm birincisi olarak bitirdi. 2001 yılında GAP Eğitim Yayım ve Araştırma Merkezi'nde "Ziraat Mühendisi" olarak görev yaptı. 2002 yılında Adana Zirai Üretim İşletmesi ve Personel Eğitim Merkezi Müdürlüğü'nde göreve başladı. 2003-2005 yılları arasında Bari Uluslararası Akdeniz Tarım Enstitüsü (Instituto Agronomico Mediterraneo di Bari/Italia)'nde Yüksek Lisansını bitirdi. 2010 yılına kadar Adana Zirai Üretim İşletmesi ve Personel Eğitim Merkezi Müdürlüğü'nde "Eğitici Teknik Personel" ve "Makine Birim Sorumlusu" olarak görev yaptı. 2010 yılında İpekyolu Kalkınma Ajansının uzmanlık sınavını kazanarak, Gaziantep ilinde göreve başladı. Halen İpekyolu Kalkınma Ajansı'nda uzman olarak görev yapmaktadır.

Bugüne kadar yayınlanmış 5 adet (Pamuk Hasat Makineleri, Toprak İşlemesiz Tarım Tekniği, Bilgisayar Destekli Çizim, Organik Tarım: Temel Prensipleri ve Teknik Esasları, Proje Döngüsü Yönetimi El Kitabı) kitabın yazılmasında görev almıştır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

EKLER

EK 1

Sınıflandırılmış Karakteristik Eğrilerin Oluşturulmasında Kullanılan Giriş Verileri (M-1 Sulama Sistemi)

Sulama şebekesini oluşturan bölümler ve bağlantı noktaları							
Bölüm Numarası	Başlangıç Noktası	Bitiş Noktası	Alan [ha]	Hidrant Kodu*	Uzunluk [m]	Rakım [m]	Boru çapı [mm]
1	0	1	0	0	390.5	50.5	500
2	1	2	5	1	158	50.5	400
3	2	3	0	0	1	50.5	400
4	3	4	5	1	250	47.3	100
5	3	5	0	0	11	50.5	400
6	5	6	5	1	349	55.2	250
7	6	7	0	0	1	55.2	250
8	7	8	5	1	200	56.5	100
9	7	9	0	0	250	58.6	250
10	9	10	5	1	350	59.0	125
11	9	11	5	1	100	59.7	150
12	11	12	5	1	300	61.0	100
13	5	13	0	0	544	54.0	350
14	13	14	0	0	1	54.0	350
15	14	15	5	1	1	54.0	200
16	15	16	5	1	249	55.3	200
17	16	17	0	0	150	57.0	175
18	17	18	5	1	200	59.4	175
19	17	19	5	1	200	56.8	100
20	13	20	5	1	120	50.3	100
21	14	21	5	1	460	55.0	175
22	1	22	5	1	345	52.5	400
23	22	23	0	0	1	52.5	400
24	23	24	0	0	289	53.0	350
25	24	25	0	0	125	54.0	350
26	25	26	5	1	449	56.0	350
27	26	27	0	0	1	56.0	350
28	27	28	5	1	374	53.5	250
29	28	29	0	0	1	53.5	250
30	29	30	0	0	250	49.0	200

* Hidrant kodu: 0: belirtilen bölümde hidrant bulunmadığını,
1: belirtilen bölümün bağlantı bitiş noktasında 12 l s^{-1} nominal debiye sahip hidrant bulunduğunu ifade etmektedir.

EK 1'in devamı.

31	30	31	0	0	1	49.0	200
32	31	32	5	1	200	49.0	100
33	31	33	5	1	200	47.0	150
34	30	34	5	1	200	48.5	100
35	29	35	5	1	180	52.3	100
36	27	36	5	1	300	60.5	300
37	36	37	0	0	1	60.5	300
38	37	38	5	1	199	57.5	200
39	38	39	0	0	1	57.5	200
40	39	40	0	0	232	53.0	200
41	40	41	5	1	298	49.0	150
42	39	42	5	1	250	54.0	100
43	37	43	5	1	350	56.5	150
44	25	44	5	1	195	52.5	125
45	44	45	5	1	240	50.0	125
46	24	46	5	1	1	53.0	175
47	46	47	5	1	349	56.0	175
48	47	48	5	1	350	59.0	150
49	23	49	5	1	195	50.0	125
50	49	50	5	1	255	47.0	125

Anma çapı (mm)	γ Bazin $m^{0,5}$	Hidrantlarda istenen minimum basınç yükü (mSS)				30	
		Pompa istasyonu rakımı (m)				46.00	
100	0.06	İncelenen konfigürasyon sayısı				1000	
125	0.06	Hidrant nominal debisi ($l\ s^{-1}$)				12	
150	0.06						
175	0.06						
200	0.06						
250	0.06						
300	0.06						
350	0.06						
400	0.06						
500	0.06						

EK 2

Sınıflandırılmış Karakteristik Eğrilerin Oluşturulmasında Kullanılan Giriş Verileri (M-2 Sulama Sistemi)

Sulama şebekesini oluşturan bölümler ve bağlantı noktaları							
Bölüm Numarası	Başlangıç Noktası	Bitiş Noktası	Alan (ha)	Hidrant Kodu*	Uzunluk (m)	Rakım (m)	Boru çapı (mm)
1	0	1	0	0	1405	66.0	500
2	1	2	5	1	349	64.5	450
3	2	3	0	0	1	64.5	450
4	3	4	5	1	189	68.5	250
5	4	5	0	0	1	68.5	250
6	5	6	5	1	175	71.8	100
7	5	7	5	1	250	73.4	150
8	7	8	5	1	100	75.0	100
9	3	9	5	1	299	67.0	450
10	9	10	0	0	1	67.0	450
11	10	11	5	1	250	72.5	150
12	10	12	5	1	250	69.0	350
13	12	13	5	1	275	66.0	200
14	13	14	5	1	271	69.0	200
15	14	15	0	0	1	69.0	200
16	15	16	5	1	225	64.5	100
17	15	17	5	1	275	71.0	150
18	17	18	5	1	300	64.0	100
19	1	19	5	1	60	65.2	400
20	19	20	0	0	140	65.0	400
21	20	21	5	1	80	67.0	125
22	21	22	5	1	370	73.0	125
23	20	23	5	1	269	69.5	400
24	23	24	0	0	1	69.5	400
25	24	25	5	1	250	62.5	150
26	24	26	5	1	165	66.6	400
27	26	27	0	0	185	64.0	350
28	27	28	5	1	5	63.0	100
29	27	29	5	1	300	70.0	150
30	29	30	5	1	300	72.0	150
31	27	31	5	1	334	67.0	300
32	31	32	0	0	1	67.0	300
33	32	33	5	1	350	62.0	150

* Hidrant kodu: 0: belirtilen bölümde hidrant bulunmadığını,
1: belirtilen bölümün bağlantı bitiş noktasında 12 l s^{-1} nominal debiye sahip hidrant bulunduğunu ifade etmektedir.

EK 2'nin devamı.

34	32	34	5	1	349	69.0	300
35	34	35	0	0	1	69.0	300
36	35	36	5	1	274	62.8	200
37	36	37	0	0	1	62.8	200
38	37	38	5	1	250	65.2	100
39	37	39	0	0	250	60.0	150
40	39	40	5	1	125	60.0	150
41	39	41	5	1	275	60.0	100
42	35	42	0	0	150	68.4	150
43	42	43	5	1	250	70.0	100
44	42	44	5	1	215	65.0	125
45	44	45	5	1	250	60.0	125

Anma çapı	γ Bazin	Hidrantlarda istenen minimum basınç yükü (mSS)	30	
(mm)	$m^{0,5}$	Pompa istasyonu rakımı (m)	46.00	
100	0.06	İncelenen konfigürasyon sayısı	1000	
125	0.06	Hidrant nominal debisi ($l\ s^{-1}$)	12	
150	0.06			
175	0.06			
200	0.06			
250	0.06			
300	0.06			
350	0.06			
400	0.06			
500	0.06			

EK 3

M-1 Sulama Sistemi, Sınıflandırılmış Karakteristik Eğrileri için COPAM Çıktı Sonuçları

Q	Piyezometrik Yükseklik [mSS]*									
[l s^{-1}]	%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90	%100
1	77.40	80.00	80.50	82.60	84.00	85.30	86.50	87.50	89.50	91.00
12	80.50	83.02	83.46	83.96	85.27	86.45	87.68	90.10	91.66	98.45
24	83.49	84.04	85.60	86.51	87.65	90.09	90.48	91.28	91.87	99.65
36	85.31	86.52	87.81	90.12	90.46	90.70	91.31	91.88	92.97	100.25
48	85.79	87.67	90.11	90.44	90.77	91.31	91.70	91.91	98.49	100.77
60	87.28	90.07	90.39	90.77	91.32	91.72	91.92	92.08	98.52	100.33
72	88.41	90.38	90.84	91.35	91.59	91.94	92.01	93.03	98.54	100.33
84	90.21	90.91	91.38	91.69	91.99	92.06	92.51	98.56	98.79	100.89
96	90.48	91.23	91.62	91.84	92.06	92.24	93.12	98.62	98.94	101.50
108	90.98	91.50	91.85	92.07	92.22	92.54	93.27	98.68	99.26	100.99
120	91.50	91.80	92.12	92.26	92.57	92.79	98.66	98.90	99.39	101.69
132	91.77	92.14	92.31	92.56	92.83	93.43	98.77	99.04	99.93	101.69
144	92.01	92.34	92.56	92.79	93.23	93.93	98.99	99.36	100.09	101.74
156	92.27	92.57	92.84	93.18	93.53	98.82	99.10	99.57	100.39	101.84
168	92.44	92.86	93.13	93.48	93.83	98.92	99.24	99.69	100.52	101.94
180	92.89	93.18	93.51	93.82	94.68	99.22	99.65	100.20	100.82	102.11
192	93.09	93.50	93.81	94.49	99.05	99.41	99.85	100.61	101.21	102.12
204	93.55	93.84	94.21	94.86	99.35	99.77	100.34	100.76	101.44	102.20
216	93.89	94.28	94.83	95.51	99.58	100.00	100.57	101.08	101.55	102.39
228	94.13	94.71	95.10	99.27	99.85	100.46	100.87	101.16	101.68	102.40
240	94.55	95.14	95.68	99.63	100.15	100.68	101.04	101.67	101.81	102.55
252	95.07	95.44	96.34	99.86	100.29	100.88	101.37	101.80	102.02	102.64
264	95.36	95.86	97.18	100.24	100.86	101.22	101.69	101.94	102.55	102.80
276	95.75	96.56	100.09	100.53	101.23	101.74	102.03	102.14	102.70	102.89
288	96.15	97.26	100.19	101.05	101.41	101.94	102.18	102.69	102.85	102.99
300	96.83	98.17	100.68	101.27	101.99	102.23	102.35	102.90	102.96	103.10
312	97.96	100.69	101.37	102.10	102.34	102.46	103.01	103.07	103.13	103.20
324	98.66	101.01	101.85	102.39	102.57	102.63	103.18	103.24	103.24	103.31
336	99.58	101.60	102.44	102.68	102.75	103.29	103.36	103.36	103.43	103.43
348	101.25	102.50	102.80	103.36	103.42	103.48	103.48	103.48	103.55	103.55
360	101.91	102.93	103.54	103.60	103.60	103.61	103.68	103.68	103.68	103.68
372	102.88	103.73	103.73	103.74	103.80	103.80	103.80	103.80	103.80	103.80
384	103.94	103.94	103.94	103.94	103.94	103.94	103.94	103.94	103.94	103.94

* %10'luk aralıklarla ifade edilen piyezometrik yükseklik değerleri sadece o yüzdelik dilim kadar hidrant konfigürasyonunun basınç yükü yönünden tatmin olduğunu gösterir.

EK 4.

M-2 Sulama Sistemi, Sınıflandırılmış Karakteristik Eğrileri için COPAM Çıktı Sonuçları

Q	Piyezometrik Yükseklik [mSS]*									
[l s^{-1}]	%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90	%100
1	92.01	93.00	94.54	95.24	97.00	99.00	99.50	101.83	102.50	105.02
12	93.05	94.51	96.62	97.05	99.02	99.52	101.32	103.70	105.96	108.09
24	96.67	97.62	99.31	100.17	101.34	102.71	103.77	105.99	106.39	110.33
36	99.08	99.64	101.39	102.24	103.30	104.21	106.03	106.40	108.09	110.38
48	100.03	101.68	103.30	103.84	104.27	106.08	106.42	106.57	108.21	110.43
60	101.26	102.91	103.94	104.35	106.15	106.49	106.65	108.25	108.30	110.71
72	102.45	103.55	104.42	105.37	106.41	106.62	107.07	108.37	108.48	111.39
84	103.55	104.32	104.67	106.48	106.72	107.05	108.46	108.51	108.65	111.27
96	103.81	104.65	106.46	106.81	106.96	107.67	108.60	108.71	109.14	112.65
108	104.79	106.59	106.93	107.10	107.70	108.72	108.78	108.91	109.92	112.73
120	105.01	106.79	107.15	107.64	108.85	108.92	109.00	109.38	111.10	113.35
132	105.32	107.13	107.50	108.39	109.08	109.17	109.45	110.36	111.44	113.45
144	107.09	107.52	108.03	109.18	109.32	109.40	109.84	110.86	111.68	115.13
156	107.50	107.90	108.96	109.51	109.59	109.99	110.65	111.65	111.91	115.26
168	107.92	108.64	109.66	109.77	109.98	110.38	111.28	111.93	112.33	115.82
180	108.19	109.25	110.01	110.13	110.68	111.64	112.15	112.34	113.11	116.68
192	109.03	110.23	110.34	110.75	111.59	112.31	112.57	112.83	113.83	116.30
204	109.67	110.55	110.73	111.51	112.37	112.70	112.87	113.20	114.26	117.37
216	110.62	110.90	111.43	112.48	113.04	113.19	113.45	114.15	115.37	118.30
228	111.14	111.51	112.70	113.29	113.47	113.73	114.14	114.83	116.02	119.38
240	111.56	112.02	113.44	113.77	114.03	114.16	114.79	115.49	116.82	119.76
252	111.96	113.29	114.02	114.22	114.44	115.03	115.40	116.43	117.62	120.06
264	112.65	114.35	114.64	114.79	115.36	115.62	116.53	117.44	118.32	120.81
276	114.35	114.90	115.14	115.76	115.99	116.66	117.67	118.51	119.21	121.53
288	115.10	115.49	116.12	116.34	116.81	117.86	118.71	119.37	120.09	121.89
300	115.80	116.27	116.73	117.27	118.14	119.00	119.61	120.30	120.91	122.53
312	116.25	117.08	117.35	118.18	119.29	119.98	120.42	121.08	121.62	122.92
324	117.44	117.78	118.62	119.54	120.41	120.95	121.49	121.83	122.40	123.32
336	117.94	118.61	119.76	120.87	121.47	121.97	122.30	122.76	123.24	123.74
348	118.66	120.46	121.56	122.34	122.68	122.80	123.36	123.76	124.05	124.17
360	120.84	122.35	123.18	123.25	123.64	124.12	124.32	124.50	124.62	124.62
372	121.62	123.71	124.11	124.59	124.82	125.05	125.08	125.08	125.08	125.08
384	125.56	125.56	125.56	125.56	125.56	125.56	125.56	125.56	125.56	125.56

* * %10'luk aralıklarla ifade edilen piyezometrik yükseklik değerleri sadece o yüzdelik dilim kadar hidrant konfigürasyonunun basınç yükü yönünden tatmin olduğunu gösterir.

EK 5

M-1 Sulama Sistemi Servis Alanındaki Bitkilerin Hesaplanan* Su İhtiyaçları (m^3) ve Sulama Zamanları

Günler**	Narenciye	Buğday	Üzüm	Nar	Mısır	Şeftali
1	0	0	0	0	0	0
2	102157.89	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	30695.79	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0

* Penman-FAO eşitliğine göre hesaplanmıştır.
** Ocak ayının birinci gününden başlar.

EK 5'in devamı

Günler	Narenciye	Buğday	Üzüm	Nar	Mısır	Şeftali
38	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0
59	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
61	0	0	0	0	0	0
62	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0
64	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0
66	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0
69	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0
71	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0
73	0	0	0	0	0	0
74	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0
76	0	0	0	0	0	0
77	0	0	0	0	0	0
78	0	0	0	0	0	0
79	0	0	0	0	0	0

EK 5’in devamı.

Günler	Narenciye	Buğday	Üzüm	Nar	Mısır	Şeftali
80	0	0	0	0	0	0
81	0	0	0	0	0	0
82	0	0	0	0	0	0
83	0	0	0	0	0	0
84	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0
86	0	0	0	0	0	0
87	0	0	0	0	0	0
88	0	0	0	0	0	0
89	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0
92	0	0	0	0	0	0
93	0	0	0	0	0	0
94	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0
97	0	0	0	0	0	0
98	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0
101	0	0	0	0	0	0
102	0	0	0	0	0	0
103	0	0	0	0	0	0
104	0	0	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0
106	0	0	0	0	0	0
107	0	0	0	0	0	0
108	0	0	0	0	0	0
109	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0
111	0	0	0	0	0	0
112	0	0	3094.74	0	0	0
113	0	0	0	0	0	0
114	0	0	0	0	0	0
115	0	0	0	0	0	9236.8
116	0	0	0	0	0	0
117	0	0	0	0	0	0
118	0	0	0	0	0	0
119	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0
121	0	0	0	0	0	0

EK 5'in devamı.

Günler	Narenciye	Buğday	Üzüm	Nar	Mısır	Şeftali
122	0	0	0	0	0	0
123	0	94180.26	0	0	0	0
124	0	0	0	8723.68	0	0
125	0	0	0	0	0	0
126	0	0	0	0	0	0
127	0	0	0	0	0	0
128	0	0	0	0	0	0
129	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0
131	0	0	0	0	0	0
132	3536.84	0	0	0	0	0
133	0	0	0	0	0	0
134	0	0	3094.74	0	0	0
135	0	0	0	0	0	0
136	0	0	0	0	0	0
137	98621.05	0	0	0	0	0
138	0	0	0	0	0	0
139	0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0
141	0	0	0	0	0	9236.8
142	0	0	0	0	0	0
143	0	0	0	0	0	0
144	0	0	0	0	0	0
145	0	0	0	0	0	0
146	0	0	3094.74	0	0	0
147	0	0	0	0	0	0
148	0	0	0	8723.68	0	0
149	3536.84	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0
151	0	0	0	0	0	0
152	0	0	0	0	0	0
153	0	0	0	0	0	0
154	0	0	0	0	0	0
155	0	0	3094.74	0	0	0
156	0	0	0	0	0	0
157	0	0	0	0	0	0
158	98621.05	0	0	0	0	9236.8
159	0	0	0	0	0	0
160	0	0	0	0	0	0
161	0	0	0	0	0	0
162	0	0	0	0	0	0
163	3536.84	0	0	0	0	0

EK 5'in devamı.

Günler	Narenciye	Buğday	Üzüm	Nar	Mısır	Şeftali
164	0	0	0	0	0	0
165	0	0	3094.74	0	0	0
166	0	0	0	8723.68	0	0
167	0	0	0	0	135080.2	0
168	0	0	0	0	0	0
169	0	0	0	0	110207.1	0
170	0	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0
172	0	0	0	0	0	0
173	0	0	0	0	0	0
174	0	0	0	0	0	9236.8
175	0	0	3094.74	0	0	0
176	0	0	0	0	0	0
177	0	0	0	0	0	0
178	102157.89	0	0	0	0	0
179	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0
181	0	0	0	0	0	0
182	0	0	0	0	0	0
183	0	0	0	8723.68	0	0
184	0	0	0	0	0	0
185	0	0	0	0	0	0
186	0	0	0	0	0	0
187	0	0	0	0	0	0
188	0	0	3094.74	0	0	0
189	0	0	0	0	0	0
190	0	0	0	0	0	0
191	0	0	0	0	0	0
192	0	0	0	0	0	0
193	0	0	0	0	0	0
194	3536.84	0	0	0	0	0
195	0	0	0	0	0	0
196	0	0	0	0	0	0
197	0	0	0	0	156068	0
198	0	0	0	0	0	0
199	0	0	0	0	0	9236.8
200	0	0	0	0	127719.7	0
201	0	0	0	0	0	0
202	0	0	0	0	0	0
203	98621.05	0	0	0	0	0
204	0	0	3094.74	0	0	0
205	0	0	0	0	0	0

EK 5'in devamı.

Günler	Narenciye	Buğday	Üzüm	Nar	Mısır	Şeftali
206	0	0	0	0	0	0
207	0	0	0	0	0	0
208	0	0	0	0	0	0
209	0	0	0	0	0	0
210	0	0	0	0	0	0
211	3536.84	0	0	0	0	0
212	0	0	0	0	0	0
213	0	0	0	0	0	0
214	0	0	0	0	0	0
215	0	0	3094.74	0	0	0
216	0	0	0	8723.68	0	0
217	0	0	0	0	0	0
218	0	0	0	0	0	0
219	0	0	0	0	0	0
220	0	0	0	0	0	0
221	0	0	0	0	0	0
222	0	0	0	0	0	0
223	0	0	0	0	0	0
224	0	0	0	0	0	0
225	0	0	0	0	0	0
226	98621.05	0	0	0	0	0
227	0	0	0	0	0	0
228	0	0	0	0	0	0
229	0	0	0	0	0	0
230	0	0	0	0	0	0
231	0	0	0	0	0	9236.8
232	3536.84	0	3094.74	0	0	0
233	0	0	0	0	0	0
234	0	0	0	0	0	0
235	0	0	0	0	0	0
236	0	0	0	0	0	0
237	0	0	0	0	0	0
238	0	0	0	0	0	0
239	0	0	0	0	0	0
240	0	0	0	0	0	0
241	0	0	0	0	0	0
242	0	0	0	0	0	0
243	0	0	0	0	0	0
244	0	0	0	0	0	0
245	0	0	0	0	0	0
246	0	0	0	0	0	0
247	0	0	3094.74	0	0	0

EK 5'in devamı.

Günler	Narenciye	Buğday	Üzüm	Nar	Mısır	Şeftali
248	0	0	0	0	0	0
249	0	0	0	0	0	0
250	0	0	0	0	0	0
251	0	0	0	0	0	0
252	0	0	0	0	0	0
253	0	0	0	0	0	0
254	3536.84	0	0	0	0	0
255	0	0	0	0	0	0
256	0	0	0	0	0	0
257	0	0	0	0	0	0
258	0	0	0	0	0	0
259	98621.05	0	0	0	0	0
260	0	0	0	0	0	0
261	0	0	0	0	0	0
262	0	0	0	0	0	0
263	0	0	0	0	0	0
264	0	0	0	0	0	0
265	0	0	0	0	0	0
266	0	0	0	0	0	0
267	0	0	0	0	0	0
268	0	0	0	0	0	0
269	0	0	0	0	0	0
270	0	0	0	0	0	0
271	0	0	0	0	0	0
272	0	0	0	0	0	0
273	0	0	0	0	0	0
274	0	0	0	0	0	0
275	0	0	0	0	0	0
276	0	0	0	0	0	0
277	0	0	0	0	0	0
278	0	0	0	0	0	0
279	0	0	0	0	0	0
280	0	0	0	0	0	0
281	0	0	0	0	0	0
282	0	0	0	0	0	0
283	0	0	0	0	0	0
284	0	0	0	0	0	0
285	0	0	0	0	0	0
286	0	0	0	0	0	0
287	0	0	0	0	0	0
288	0	0	0	0	0	0
289	0	0	0	0	0	0

EK 5'in devamı.

Günler	Narenciye	Buğday	Üzüm	Nar	Mısır	Şeftali
290	0	0	0	0	0	0
291	0	0	0	0	0	0
292	0	0	0	0	0	0
293	3536.84	0	0	0	0	0
294	0	0	0	0	0	0
295	0	0	0	0	0	0
296	0	0	0	0	0	0
297	0	0	0	0	0	0
298	0	0	0	0	0	0
299	0	0	0	0	0	0
300	0	0	0	0	0	0
301	0	0	0	0	0	0
302	0	0	0	0	0	0
303	0	0	0	0	0	0
304	0	0	0	0	0	0
305	0	0	0	0	0	0
306	0	0	0	0	0	0
307	0	0	0	0	0	0
308	0	0	0	0	0	0
309	0	0	0	0	0	0
310	0	0	0	0	0	0
311	0	0	0	0	0	0
312	0	0	0	0	0	0
313	0	0	0	0	0	0
314	0	0	0	0	0	0
315	0	0	0	0	0	0
316	0	0	0	0	0	0
317	0	0	0	0	0	0
318	0	0	0	0	0	0
319	0	0	0	0	0	0
320	0	0	0	0	0	0
321	0	0	0	0	0	0
322	0	0	0	0	0	0
323	0	0	0	0	0	0
324	0	0	0	0	0	0
325	0	0	0	0	0	0
326	0	0	0	0	0	0
327	0	0	0	0	0	0
328	0	0	0	0	0	0
329	0	0	0	0	0	0
330	0	0	0	0	0	0
331	0	0	0	0	0	0

EK 5'in devamı.

Günler	Narenciye	Buğday	Üzüm	Nar	Mısır	Şeftali
332	0	0	0	0	0	0
333	0	0	0	0	0	0
334	0	0	0	0	0	0
335	0	0	0	0	0	0
336	0	0	0	0	0	0
337	0	0	0	0	0	0
338	0	0	0	0	0	0
339	0	0	0	0	0	0
340	0	0	0	0	0	0
341	0	0	0	0	0	0
342	0	0	0	0	0	0
343	0	0	0	0	0	0
344	0	0	0	0	0	0
345	0	0	0	0	0	0
346	0	0	0	0	0	0
347	0	0	0	0	0	0
348	0	0	0	0	0	0
349	0	0	0	0	0	0
350	0	0	0	0	0	0
351	0	0	0	0	0	0
352	0	0	0	0	0	0
353	0	0	0	0	0	0
354	0	0	0	0	0	0
355	0	0	0	0	0	0
356	0	0	0	0	0	0
357	0	0	0	0	0	0
358	0	0	0	0	0	0
359	0	0	0	0	0	0
360	0	0	0	0	0	0
361	0	0	0	0	0	0
362	0	0	0	0	0	0
363	0	0	0	0	0	0
364	0	0	0	0	0	0
365	0	0	0	0	0	0
Toplam (m^3)	725715.8	124876.1	34042.1	43618.4	529075	55421.1

EK 6

M-2 Sulama Sistemi Servis Alanındaki Bitkilerin Hesaplanan* Su İhtiyaçları (m^3)

Günler**	Buğday	Fiğ	Yonca	2.ürün Mısır
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	39059.65	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0
32	0	0	0	0
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0
36	0	0	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0

* Penman-FAO eşitliğine göre hesaplanmıştır.
** Ocak Ayının birinci gününden başlar.

EK 6’nın devamı.

Günler	Buğday	Fiğ	Yonca	2.ürün Mısır
39	0	0	0	0
40	0	0	0	0
41	0	0	0	0
42	0	0	0	0
43	0	0	0	0
44	0	0	0	0
45	0	0	0	0
46	0	0	0	0
47	0	0	0	0
48	0	0	0	0
49	0	0	0	0
50	0	0	0	0
51	0	0	0	0
52	0	0	0	0
53	0	0	0	0
54	0	0	0	0
55	0	0	0	0
56	0	0	0	0
57	0	0	0	0
58	0	0	0	0
59	0	0	0	0
60	0	0	0	0
61	0	0	0	0
62	0	0	0	0
63	0	0	0	0
64	0	0	0	0
65	0	0	0	0
66	0	0	0	0
67	0	0	0	0
68	0	0	0	0
69	0	0	0	0
70	0	0	0	0
71	0	0	0	0
72	0	0	0	0
73	0	0	0	0
74	0	0	0	0
75	0	0	0	0
76	0	0	0	0
77	0	0	0	0
78	0	0	0	0
79	0	0	0	0
80	0	0	0	0

EK 6’nın devamı.

Günler	Buğday	Fiğ	Yonca	2.ürün Mısır
81	0	0	0	0
82	0	0	0	0
83	0	0	0	0
84	0	0	0	0
85	0	0	0	0
86	0	0	0	0
87	0	0	0	0
88	0	0	0	0
89	0	0	0	0
90	0	42038.16	0	0
91	0	0	104210.5	0
92	0	0	0	0
93	0	0	0	0
94	0	0	0	0
95	0	0	0	0
96	0	0	0	0
97	0	0	0	0
98	0	0	0	0
99	0	0	0	0
100	0	0	0	0
101	0	0	0	0
102	0	0	0	0
103	0	0	0	0
104	0	0	0	0
105	0	0	0	0
106	0	0	0	0
107	0	0	0	0
108	0	0	0	0
109	0	0	0	0
110	0	0	0	0
111	0	50355.26	123157.9	0
112	0	0	0	0
113	0	0	0	0
114	0	0	0	0
115	0	0	0	0
116	0	0	0	0
117	0	0	0	0
118	0	0	0	0
119	0	0	0	0
120	0	0	0	0
121	0	0	0	0
122	0	0	0	0

EK 6’nın devamı.

Günler	Buğday	Fiğ	Yonca	2.ürün Mısır
123	119842.1	0	0	0
124	0	0	0	0
125	0	0	0	0
126	0	0	0	0
127	0	0	0	0
128	0	0	0	0
129	0	57484.21	0	0
130	0	0	0	0
131	0	0	0	0
132	0	0	0	0
133	0	0	0	0
134	0	0	0	0
135	0	0	0	0
136	0	0	0	0
137	0	0	0	0
138	0	61048.68	0	0
139	0	0	0	0
140	0	0	0	0
141	0	0	0	0
142	0	0	0	0
143	0	0	0	0
144	0	0	0	0
145	0	0	0	0
146	0	0	0	0
147	0	0	0	0
148	0	65009.21	0	0
149	0	0	0	0
150	0	0	0	0
151	0	0	0	0
152	0	0	0	0
153	0	0	0	0
154	0	0	56842.11	0
155	0	0	0	0
156	0	0	0	0
157	0	0	0	0
158	0	0	0	0
159	0	0	0	0
160	0	30552.63	0	0
161	0	0	0	0
162	0	0	0	0
163	0	0	0	0
164	0	0	0	0

EK 6’nın devamı.

Günler	Buğday	Fiğ	Yonca	2.ürün Mısır
165	0	0	0	0
166	0	0	0	0
167	0	0	0	151965.18
168	0	0	0	0
169	0	0	0	0
170	0	30552.63	0	156041.05
171	0	0	0	0
172	0	0	0	0
173	0	0	0	0
174	0	0	0	0
175	0	0	0	0
176	0	0	0	0
177	0	0	0	0
178	0	0	0	0
179	0	0	0	0
180	0	30552.63	0	0
181	0	0	0	0
182	0	0	0	0
183	0	0	0	0
184	0	0	0	0
185	0	0	56842.11	0
186	0	0	0	0
187	0	0	0	0
188	0	0	0	0
189	0	0	0	0
190	0	0	0	0
191	0	0	0	0
192	0	0	0	0
193	0	0	0	0
194	0	0	0	0
195	0	0	0	0
196	0	0	0	0
197	0	0	0	175576.52
198	0	0	0	0
199	0	0	0	0
200	0	0	0	0
201	0	0	0	180710.53
202	0	0	0	0
203	0	0	0	0
204	0	0	0	0
205	0	0	0	0
206	0	0	0	0

EK 6’nın devamı.

Günler	Buğday	Fiğ	Yonca	2.ürün Mısır
207	0	0	0	0
208	0	0	56842.11	0
209	0	0	0	0
210	0	0	0	0
211	0	0	0	0
212	0	0	0	0
213	0	0	0	0
214	0	0	0	0
215	0	0	0	0
216	0	0	0	0
217	0	0	0	0
218	0	0	0	0
219	0	0	0	0
220	0	0	0	0
221	0	0	0	0
222	0	0	0	0
223	0	0	0	0
224	0	0	0	0
225	0	0	0	0
226	0	0	0	0
227	0	0	0	0
228	0	0	0	0
229	0	0	0	0
230	0	0	0	0
231	0	0	0	0
232	0	0	0	0
233	0	0	56842.11	0
234	0	0	0	0
235	0	0	0	0
236	0	0	0	0
237	0	0	0	0
238	0	0	0	0
239	0	0	0	0
240	0	0	0	0
241	0	0	0	0
242	0	0	0	0
243	0	0	0	0
244	0	0	0	0
245	0	0	0	0
246	0	0	0	0
247	0	0	0	0
248	0	0	0	0

EK 6’nın devamı.

Günler	Buğday	Fiğ	Yonca	2.ürün Mısır
249	0	0	0	0
250	0	0	0	0
251	0	0	0	0
252	0	0	0	0
253	0	0	0	0
254	0	0	0	0
255	0	0	0	0
256	0	0	0	0
257	0	0	0	0
258	0	0	0	0
259	0	0	0	0
260	0	0	0	0
261	0	0	0	0
262	0	0	0	0
263	0	0	0	0
264	0	0	56842.11	0
265	0	0	0	0
266	0	0	0	0
267	0	0	0	0
268	0	0	0	0
269	0	0	0	0
270	0	0	0	0
271	0	0	0	0
272	0	0	0	0
273	0	0	0	0
274	0	0	0	0
275	0	0	0	0
276	0	0	0	0
277	0	0	0	0
278	0	0	0	0
279	0	0	0	0
280	0	0	0	0
281	0	0	0	0
282	0	0	0	0
283	0	0	0	0
284	0	0	0	0
285	0	0	0	0
286	0	0	0	0
287	0	0	0	0
288	0	0	0	0
289	0	0	0	0
290	0	0	0	0

EK 6’nın devamı.

Günler	Buğday	Fiğ	Yonca	2.ürün Mısır
291	0	0	0	0
292	0	0	0	0
293	0	0	0	0
294	0	0	0	0
295	0	0	0	0
296	0	0	0	0
297	0	0	0	0
298	0	0	0	0
299	0	0	0	0
300	0	0	0	0
301	0	0	0	0
302	0	0	0	0
303	0	0	0	0
304	0	0	0	0
305	0	0	0	0
306	0	0	0	0
307	0	0	0	0
308	0	0	0	0
309	0	0	0	0
310	0	0	0	0
311	0	0	0	0
312	0	0	0	0
313	0	0	0	0
314	0	0	0	0
315	0	0	0	0
316	0	0	0	0
317	0	0	0	0
318	0	0	0	0
319	0	0	0	0
320	0	0	0	0
321	0	0	0	0
322	0	0	0	0
323	0	0	0	0
324	0	0	0	0
325	0	0	0	0
326	0	0	0	0
327	0	0	0	0
328	0	0	0	0
329	0	0	0	0
330	0	0	0	0
331	0	0	0	0
332	0	0	0	0

EK 6'nın devamı.

Günler	Buğday	Fiğ	Yonca	2.ürün Mısır
333	0	0	0	0
334	0	0	0	0
335	0	0	0	0
336	0	0	0	0
337	0	0	0	0
338	0	0	0	0
339	0	0	0	0
340	0	0	0	0
341	0	0	0	0
342	0	0	0	0
343	0	0	0	0
344	0	0	0	0
345	0	0	0	0
346	0	0	0	0
347	0	0	0	0
348	0	0	0	0
349	0	0	0	0
350	0	0	0	0
351	0	0	0	0
352	0	0	0	0
353	0	0	0	0
354	0	0	0	0
355	0	0	0	0
356	0	0	0	0
357	0	0	0	0
358	0	0	0	0
359	0	0	0	0
360	0	0	0	0
361	0	0	0	0
362	0	0	0	0
363	0	0	0	0
364	0	0	0	0
365	0	0	0	0
Toplam (m^3)	158901.8	367593.4	511579	664293.28

EK 7

Meteorolojik Veriler (Adana Devlet Meteoroloji İstasyonu, 2009)

Günler*	Sıcaklık [C°]			Nispi Nem [%]		Solar ışınım [cal/cm^2/d]	Rüzgar hızı [km/d]	Yağış [mm]
	T_{min}	T_{mak}	T_{ort}	N_{mak}	N_{ort}			
1	-3.2	10	2.4	55	42.7	212	129.6	0
2	-3	10.5	3.7	74	58	192	60.48	0
3	3.7	11.2	8.5	73	66	61	138.24	0
4	6.8	9.2	7.4	93	89.7	10	103.68	0.1
5	6.7	11.8	9.7	92	87	71	155.52	12.3
6	9	11.4	10	94	89	62	112.32	13.7
7	6.4	11.3	8.5	91	86.7	41	172.8	27.9
8	4.2	17.3	8.9	93	76.3	192	1.8	15.6
9	5.6	16.8	10.5	94	61.3	200	172.8	0
10	2.9	15	8.1	85	63.3	193	34.56	0
11	4.2	12.2	7.7	85	53.3	190	285.12	0
12	2.7	14.5	6.2	67	46.7	223	120.96	0
13	-1.2	16.4	6.6	94	69	203	43.2	0
14	2.8	18.5	9.5	76	56.3	217	77.76	0
15	6.6	19.2	10.4	72	59	196	8.64	0
16	5.8	16	11.3	77	65.3	92	51.84	0
17	7.2	19.5	11.7	83	66.3	184	8.64	0.2
18	9	18.8	11.4	77	61.3	172	1.4	0
19	7.8	15.3	11.5	84	71	108	103.68	0
20	5.7	18	10.3	92	78	199	43.2	0
21	5.7	19.6	10.3	92	72.7	197	60.48	0
22	5.1	20	11.3	87	62	226	112.32	0
23	5	15.4	10.5	80	69	101	17.28	0
24	8.7	12	10.5	79	71.3	41	267.84	0.9
25	8	10	8.6	96	92.3	13	224.64	8.1
26	8.2	11	9.9	94	89.7	19	233.28	21.4
27	9.9	17	11.8	91	83.3	121	1.8	8.3
28	9.3	18	13.3	93	73	173	181.44	0
29	10.4	17.2	12.6	91	76.7	119	60.48	0
30	8.6	11.8	9.7	95	93	51	8.64	8.4
31	5	11	8.2	94	91	42	155.52	28.8
32	5	16	9.9	94	82	213	77.76	17.4
33	6.6	15.5	8.8	95	83.3	157	51.84	0
34	5	17.5	9.7	94	79.3	228	17.28	0
35	6.8	17.8	11.4	93	77.3	198	60.48	0
36	8.9	18.8	14.1	77	64.7	139	172.8	0
37	8.8	20	12.4	84	68.3	123	34.56	0
38	7.8	17.2	11	92	86.3	64	3.24	0

* Ocak ayının birinci gününden başlar.

EK 7'nin devamı.

Günler	Sıcaklık [C°]			Nispi Nem [%]		Solar ışınım [cal/cm^2/d]	Rüzgar hızı [km/d]	Yağış [mm]
	T_{min}	T_{mak}	T_{ort}	N_{mak}	N_{ort}			
39	10.4	16	13.5	90	86.3	48	69.12	0.6
40	12.6	16.8	14.8	72	70.7	20	164.16	0.4
41	11.2	16.9	12.8	88	77	89	103.68	0.6
42	4.9	17.5	10.5	94	77.7	130	8.64	0
43	8.9	18.6	14.4	92	92	93	1.44	0
44	11.2	21	14.4	93	93	122	69.12	1.7
45	8.2	21	13.7	85	85	138	34.56	0
46	10.3	14.5	11.2	89	88	89	77.76	0
47	6.8	11.4	8	90	88	64	103.68	11.5
48	2.8	15	8	89	89	151	60.48	9
49	4.4	13.1	7.4	91	80	70	155.52	0
50	5.1	14.2	10.7	75	75	99	224.64	0
51	6.2	11	7.6	93	86	45	181.44	1.4
52	5.1	9.6	6.6	94	94	66	17.28	11
53	2	15.5	7.2	94	94	124	5.4	9
54	5.9	13.5	9.2	89	89	93	25.92	0.4
55	7	13	8.6	92	92	101	233.28	12.1
56	6.3	16.6	11.2	95	95	128	51.84	8
57	8.5	15	10	95	95	132	181.44	8.2
58	7.8	14.3	10.4	90	90	99	25.92	20
59	8	10	8.4	95	94	82	25.92	18.8
60	4.4	17	9.9	94	94	173	43.2	4.3
61	3.7	15	9.2	78	65	136	8.64	0
62	4.6	18	10.8	89	89	163	60.48	0
63	6.9	19	13.9	90	90	142	86.4	0
64	10.8	17.6	14.1	88	88	101	138.24	0
65	12.2	21.2	16.6	74	74	130	190.08	0
66	15.8	20.4	17.9	58	58	207	328.32	0
67	15	21.4	16.8	81	55	144	103.68	0
68	8.9	19	14.1	93	93	376	103.68	0
69	8.9	18.6	14.5	93	93	400	138.24	0
70	12.9	20	15.6	90	90	327	138.24	2.4
71	9.8	21.6	14.4	95	95	389	8.64	0.8
72	9.6	20.8	15.2	88	88	365	129.6	0
73	9	18.6	11.6	93	93	466	112.32	3.5
74	5.7	14	8	85	64	265	112.32	0
75	2.5	16	8.4	79	79	407	25.92	1.5
76	2.2	17.5	9.5	66	66	482	34.56	0
77	4	17.7	10.4	80	80	421	77.76	0
78	7.4	14.5	10.8	93	90	169	60.48	5.3
79	7	18.3	11.5	82	82	377	120.96	5.2

EK 7'nin devamı.

Günler	Sıcaklık [C°]			Nispi Nem [%]		Solar ışınım [cal/cm^2/d]	Rüzgar hızı [km/d]	Yağış [mm]
	T_{min}	T_{mak}	T_{ort}	N_{mak}	N_{ort}			
80	4.8	19.5	12.2	75	75	403	34.56	0
81	6.2	18.7	13.6	90	90	456	129.6	0
82	9.5	14.5	11	93	90	38	103.68	27.3
83	5.9	17	9	93	93	380	17.28	38
84	6	17.8	13	84	84	412	103.68	0
85	10.3	14.6	11.3	94	94	147	120.96	6.8
86	9.9	14.2	11	92	90	178	233.28	25.2
87	8.8	18.3	11.2	92	92	376	17.28	15.1
88	7.8	21	13	80	51	479	86.4	0.1
89	5	20.5	13.5	86	86	518	86.4	0
90	8.9	22	16.2	93	93	428	77.76	0
91	9.4	26.2	17.5	93	93	472	8.64	0
92	11.8	28	19.5	81	81	433	60.48	0
93	14.6	27.3	20.2	80	77	384	86.4	0
94	14.8	24.5	18.5	86	86	423	60.48	0
95	12.5	23.2	17.9	92	92	391	69.12	0.5
96	13.7	26	19	86	86	331	207.36	0
97	13.6	19.5	15.7	80	77	329	172.8	0
98	10	21	15.4	90	90	403	60.48	0.5
99	8.8	23.3	16.9	94	94	496	34.56	0
100	10	23.2	16.1	92	92	486	43.2	0
101	9.9	23	16.5	86	86	451	69.12	0
102	10	24.4	16.1	94	94	328	34.56	0
103	9.8	27.3	18.1	76	76	505	25.92	0
104	12	25	18.8	77	77	334	77.76	0
105	11.9	20.5	14.2	88	88	316	164.16	5.4
106	10	19.6	14.4	92	92	255	17.28	1.5
107	7.5	21.2	13	94	94	339	25.92	1.5
108	5	22.5	15.9	89	89	538	60.48	0.6
109	7	25.5	16.7	90	90	210	60.48	0
110	10.2	28.2	19.1	89	89	161	86.4	0
111	12.9	30.1	20.2	82	82	250	86.4	0
112	12.7	28.5	21.3	88	88	515	69.12	0
113	12.9	23	19.1	86	86	508	164.16	0
114	13.4	23.4	17.7	91	91	475	120.96	0
115	12.2	23	15.4	96	83	532	198.72	0
116	9.2	22.2	16.9	93	93	564	112.32	24.3
117	11.5	24.4	18.4	93	93	567	25.92	0
118	13	22.9	18	91	91	543	138.24	0
119	12.8	24.3	18.6	83	83	423	60.48	0
120	12.8	22.5	18.8	92	92	446	95.04	0

EK 7'nin devamı.

Günler	Sıcaklık [C°]			Nispi Nem [%]		Solar ışınım [cal/cm^2/d]	Rüzgar hızı [km/d]	Yağış [mm]
	T_{min}	T_{mak}	T_{ort}	N_{mak}	N_{ort}			
121	13.2	22	18.3	91	91	419	69.12	0
122	13.6	22.8	18.7	85	70	541	129.6	0
123	12.7	27	20.5	90	63.7	522	95.04	0
124	16.2	23.2	19.7	83	70	280	267.84	0
125	15.4	21.8	18.1	92	75.7	517	319.68	17
126	14.2	19	16.8	90	87.7	278	60.48	0
127	14.9	21.4	17.3	94	81	354	120.96	4.2
128	12.1	24	19.1	90	73	537	8.64	0.1
129	12.7	24.8	19.6	84	71.3	521	8.64	0.3
130	11.2	28.1	19.5	94	59.3	618	51.84	0
131	11.8	27.2	20.6	78	65.7	556	120.96	0
132	14.2	28	21.3	90	58	609	95.04	0
133	12.2	30.5	22.4	83	56.7	638	51.84	0
134	14.4	33.3	24.5	75	46.3	582	51.84	0
135	15.6	33.9	25.1	80	58.3	556	69.12	0
136	17.8	33.1	24.8	93	70.3	599	172.8	0
137	17.3	35.2	26.5	85	54.3	624	34.56	0
138	17	36.8	26.7	83	55	588	95.04	0
139	18.7	36.3	25.3	78	60.3	536	155.52	0
140	19.3	28.3	23.2	91	73.3	438	60.48	0
141	17.5	27.5	22.9	90	71	594	112.32	0
142	16.8	26	21.7	88	71	511	51.84	0
143	15.8	28.2	22.9	91	72	545	112.32	6.9
144	17.1	27.5	22.7	90	78.3	515	138.24	0
145	17.5	29	23.6	90	74	642	172.8	0.2
146	18	29.8	24.2	87	58.3	624	112.32	0
147	16.5	29.4	23	48	41	649	155.52	0
148	13.4	29.6	23.2	53	41.3	688	95.04	0
149	15.3	29.6	23.6	52	42.3	690	95.04	0
150	14.4	33.4	24.4	76	50.7	646	25.92	0
151	15.2	33.3	25.2	72	57.7	600	155.52	0
152	18.5	34.7	26.6	91	60	625	155.52	0
153	17.5	34.2	27	82	57	657	120.96	0
154	17.8	32.4	25.8	78	69.3	604	95.04	0
155	21.8	30.1	24.8	89	73	622	155.52	0
156	18	28.4	23.8	83	74.3	594	164.16	0
157	18.2	31	25.5	85	64	607	138.24	0
158	17.4	32.6	26.4	86	61	599	112.32	0
159	19	35.5	28.1	80	50.7	628	69.12	0
160	18.8	36.8	29	69	45.3	611	69.12	0
161	19.4	38.5	30.2	75	48.3	617	69.12	0

EK 7'nin devamı.

Günler	Sıcaklık [C°]			Nispi Nem [%]		Solar ışınım [cal/cm^2/d]	Rüzgar hızı [km/d]	Yağış [mm]
	T_{min}	T_{mak}	T_{ort}	N_{mak}	N_{ort}			
162	21.6	32.9	27	90	77	438	103.68	0
163	24.3	31.2	26.8	90	78.7	484	112.32	0
164	24.2	31.5	26.6	87	77.3	461	164.16	0
165	23.2	30.5	26	90	80	467	112.32	0
166	22	33.7	27.4	91	72	565	103.68	0
167	19.2	34.4	28.7	60	43	634	86.4	0
168	19.8	36	28.8	68	52.7	610	77.76	0
169	21.1	35.3	28	89	70	579	146.88	0
170	20	35	28.6	86	56	620	129.6	0
171	21.5	33.2	27.4	90	76.7	601	146.88	0
172	24	31.6	27.6	93	80	582	146.88	0
173	24	32.1	27	92	83.3	533	103.68	0
174	21.5	33.3	27.9	96	81	570	77.76	0
175	23	36	29.5	92	76.3	600	164.16	0
176	24	35.6	29.2	87	75.3	560	146.88	0
177	22.8	33	27.8	90	78.3	485	146.88	0
178	21.8	31.6	26.5	90	73.7	606	146.88	0
179	20.5	30.5	26.1	90	78.3	512	103.68	0
180	21.6	29.6	25.8	92	82.7	554	112.32	0
181	21.6	32.7	27.2	91	79.3	606	86.4	0
182	21	34.5	28.6	96	74.7	603	233.28	0
183	22.5	32.2	27.9	93	82.7	633	112.32	0
184	23	31	27.2	92	82.3	527	146.88	0
185	23	31	26.9	88	79	553	138.24	0
186	22.5	30.1	24.6	95	87.7	425	112.32	0
187	21.4	31.4	27.1	90	81.3	581	112.32	2
188	24.4	32.5	27.8	87	78.7	561	164.16	0
189	23.7	33.2	27.9	95	83.7	582	181.44	0
190	24.2	33.4	28.3	96	82.7	570	51.84	0
191	24.8	33.3	28.2	96	86	530	86.4	0
192	24.8	33.5	28.6	95	83	573	103.68	0
193	25.9	32.8	28.3	93	84	610	120.96	0
194	24	31.5	27.7	94	81	600	181.44	0
195	18.3	32.3	22.8	95	93	426	95.04	0
196	18.7	34	27.7	96	69	618	120.96	20.7
197	22.6	31.7	27.8	95	76.7	491	95.04	0
198	24.1	33.2	28.4	96	81.3	495	120.96	0
199	24.3	32.4	28.4	96	84	563	146.88	0
200	25.6	32.7	28.6	93	84	550	164.16	0
201	26	34.3	29.2	96	85	566	120.96	0
202	25.4	36.3	29.8	96	78.3	580	155.52	0

EK 7’nin devamı.

Günler	Sıcaklık [C°]			Nispi Nem [%]		Solar ışınım [cal/cm^2/d]	Rüzgar hızı [km/d]	Yağış [mm]
	T_{min}	T_{mak}	T_{ort}	N_{mak}	N_{ort}			
203	26	34.4	29.4	97	77.3	569	164.16	0
204	25.2	35.4	30.2	93	74.3	571	86.4	0
205	26	35	29.8	95	77.3	582	95.04	0
206	24.2	35.3	29.5	96	77.3	533	120.96	0
207	25.2	35.3	29.6	95	81.3	574	164.16	0
208	24.4	35.6	29.9	95	80	592	155.52	0
209	25	36.5	30.8	96	75.7	550	43.2	0
210	23.4	36.2	29.6	60	43.7	505	120.96	0
211	22.1	33.6	28.6	90	77.3	576	224.64	0
212	24.4	34.3	29.6	96	77.3	565	95.04	0
213	25	33.3	29	92	80.3	572	164.16	0
214	25	34.6	29.4	96	69.7	558	77.76	0
215	23.8	34.4	28.9	88	73.7	549	146.88	0
216	23	37.6	30	88	61.3	591	69.12	0
217	24.2	35.4	29.4	93	80.7	318	95.04	0
218	25.6	34.2	29.7	95	83.3	354	112.32	0
219	27	33.4	29.6	95	83.3	307	138.24	0
220	24.2	33.6	28.8	93	80.7	349	103.68	0
221	25.5	34.7	30	89	77.3	402	77.76	0
222	24.7	35.4	29.6	57	52	301	95.04	0
223	22	34.4	28.4	62	46.3	328	112.32	0
224	20.2	35.4	28.6	72	52.3	330	95.04	0
225	20.7	34.5	28.6	90	73	320	120.96	0
226	24	35.2	29.6	97	76	313	155.52	0
227	23	34.8	28.8	98	81.3	320	77.76	0
228	24	35.1	29	96	83.3	318	112.32	0
229	24.6	34.5	29	95	82.7	303	103.68	0
230	24.1	34.9	29.5	97	82.3	299	60.48	0
231	24.8	36.3	30.1	98	82.7	282	164.16	0
232	23.8	38	30.9	97	69.7	301	112.32	0
233	21.7	38.5	31.1	70	50	309	172.8	0
234	21.7	37.1	29.9	84	63.7	309	77.76	0
235	23.2	36.4	29.6	90	66.3	303	86.4	0
236	22.8	35.7	29	94	69.7	309	95.04	0
237	24.8	33	28.4	90	76.3	350	146.88	0
238	23.4	33.9	28.1	95	77.7	498	155.52	0
239	23	35.2	28.9	96	71.3	526	86.4	0
240	22.7	35.2	28.8	96	73.3	514	86.4	0
241	23.7	34.1	28.8	96	79	443	86.4	0
242	24.2	33.7	28.8	96	81	426	77.76	0
243	23.8	34.2	28.6	95	80.7	439	129.6	0

EK 7’nin devamı.

Günler	Sıcaklık [C°]			Nispi Nem [%]		Solar ışınım [cal/cm^2/d]	Rüzgar hızı [km/d]	Yağış [mm]
	T_{min}	T_{mak}	T_{ort}	N_{mak}	N_{ort}			
244	22.8	34	28.1	96	81	465	138.24	0
245	24.1	34.4	29	94	80.7	455	138.24	0
246	24.8	36.3	29.9	96	75	474	112.32	0
247	24.2	35.6	29.6	86	74	434	129.6	0
248	24.2	35.8	28.9	96	82	464	120.96	0
249	23.2	33.7	28.2	96	81	469	120.96	0
250	22.7	32	27.3	95	81.3	454	129.6	0
251	24.3	33	27.9	95	79.3	369	95.04	0
252	21.9	31.4	26.2	96	73.7	406	112.32	5
253	21	32.1	26.1	90	76.3	424	146.88	0
254	21.3	32.2	26.6	94	78	455	77.76	0
255	22.1	27.4	23.6	97	88.7	133	103.68	0
256	21.8	30.3	25.9	91	80.3	286	112.32	2.5
257	22.5	29.5	25.6	96	88	413	43.2	0
258	21.4	32.3	26.4	96	80.7	424	77.76	4.7
259	22.3	32.7	26.9	97	78	421	95.04	0
260	20.4	33.3	26.1	68	50.7	466	77.76	0
261	20	31.3	25.4	82	72	351	129.6	0
262	18.2	29	21.3	95	87.7	259	34.56	0
263	15.7	28.4	21.4	98	82	343	77.76	2.2
264	16.9	27.4	17.6	96	96	298	86.4	1.2
265	14	28.5	21.4	95	68.7	444	86.4	17.3
266	14.3	30.6	22.4	78	59.7	457	43.2	0
267	17.1	32	24.5	84	64.3	450	77.76	0
268	16.3	31.7	23.9	96	69	441	77.76	0
269	18	32.2	24.4	95	73.3	391	69.12	0
270	18.9	31.3	23.47	94	64	374	60.48	0
271	18.2	28	21.6	43	33.7	480	285.12	0.6
272	16	27	19.5	60	47.3	436	43.2	0
273	12.8	28.5	20.6	86	65.3	423	34.56	0
274	13.9	30.7	21.6	86	58.7	387	60.48	0
275	16.5	33.6	23.6	77	55.3	416	95.04	0
276	18.8	34.5	24.4	73	57.3	366	103.68	0
277	17.9	30.7	24.2	91	77.3	379	103.68	0
278	19.8	30.2	24.5	96	81	362	69.12	0
279	20.2	29.2	22.5	98	85.7	334	60.48	0
280	17.2	30.6	23.3	96	76.7	357	34.56	1.5
281	18.4	32.3	24.9	96	63.7	357	77.76	0
282	19	33.2	24.6	86	61	371	86.4	0
283	17.2	33.2	23.6	87	64	382	69.12	0
284	18	32.5	23.9	89	65	373	95.04	0

EK 7’nin devamı.

Günler	Sıcaklık [C°]			Nispi Nem [%]		Solar ışınım [cal/cm^2/d]	Rüzgar hızı [km/d]	Yağış [mm]
	T_{min}	T_{mak}	T_{ort}	N_{mak}	N_{ort}			
285	17.8	34	25.3	80	60	325	69.12	0
286	18.5	29.2	23	95	78	343	103.68	0
287	18	29	22.6	98	80	338	77.76	0
288	18.6	33.5	23.9	96	64.3	343	60.48	0
289	19	35.8	24.8	81	56	350	60.48	0
290	18.8	35.9	25.2	76	57.3	324	77.76	0
291	19.4	37.5	26.8	70	50.3	302	43.2	0
292	20.7	37.6	27.1	67	47.7	267	112.32	0
293	21.7	37.4	26.2	63	47.7	271	69.12	0
294	18.9	29.1	24.3	94	84.3	206	77.76	0
295	19.5	30.3	24	95	75	311	17.28	0.1
296	18.6	33.3	24.3	95	69	267	51.84	0
297	20.6	33.9	25.1	66	51.7	290	77.76	0
298	19.8	32.9	24.4	66	53.3	261	129.6	0
299	19.6	33.3	26	74	56	283	216	0
300	16	25.7	18.2	95	88.7	147	164.16	7.9
301	14.5	26.6	20	96	80.7	307	86.4	4.7
302	16.8	23	18.8	95	89	148	69.12	0
303	15	20.8	18.7	95	90.3	105	34.56	1
304	15	22.6	17.4	96	91.7	169	51.84	0
305	14.3	17.5	15.6	96	95.7	108	103.68	22.2
306	12.2	18.2	14.1	96	84.7	176	69.12	22.2
307	10	19.3	14.4	88	67	305	138.24	6.1
308	11.2	16.2	14.2	98	96.7	39	190.08	1.6
309	15.3	23.3	18.2	98	86.7	255	34.56	48
310	14	24.8	18.2	96	82	288	138.24	0
311	15.8	26.3	19.5	90	72.7	177	103.68	0
312	15.7	27	20.3	81	66	243	155.52	0
313	16.2	25.2	19.4	96	83	249	25.92	0
314	15.3	25	18.6	97	85	258	60.48	0
315	14.2	22.2	17.2	98	90.7	186	43.2	0
316	15	22.6	17.8	98	89.7	253	86.4	1
317	10.5	17.5	13.4	98	94.7	92	112.32	19.2
318	9.6	20.3	14	98	81.3	262	95.04	7.8
319	6.5	19.9	12.5	96	79	273	17.28	1.6
320	10.1	14.8	11.6	96	87.7	58	1.8	0
321	7	20	12.2	97	76	166	34.56	0.4
322	5.8	20.3	12.4	96	60.7	276	77.76	0
323	4.8	21.2	11.9	94	74.7	312	34.56	0
324	7.2	21.3	13.1	91	70.7	263	25.92	0
325	7.6	21.8	13.4	96	75.3	235	8.64	0

EK 7’nin devamı.

Günler	Sıcaklık [C°]			Nispi Nem [%]		Solar ışınım [cal/cm^2/d]	Rüzgar hızı [km/d]	Yağış [mm]
	T_{min}	T_{mak}	T_{ort}	N_{mak}	N_{ort}			
326	9.2	23	13.2	92	69.3	264	60.48	0
327	8.7	23.2	13.5	90	72.3	258	60.48	0
328	9.7	19.8	13.8	89	71.3	175	25.92	0
329	10.4	21	13.6	88	69.7	196	86.4	0
330	9	21.2	13.3	96	79	238	34.56	0
331	9	22.1	12.8	95	76.7	237	25.92	0
332	8.9	20.8	13	95	78.7	245	34.56	0
333	9.7	20.5	14.8	94	83	215	34.56	0
334	9.2	22.5	13.9	98	76.3	237	25.92	0
335	5.4	22.6	10.6	81	66	113	103.68	0.4
336	3.7	21.1	10.2	86	65.4	111	112.32	0
337	3.8	20	11.6	89	64.6	87	77.76	1.8
338	9.8	15.1	12	90	66.3	33	95.04	0.6
339	10	15.7	12.1	92	68.3	21	86.4	1
340	9	13.4	10.5	90	69.3	27	86.4	2.8
341	5.1	18.1	10.8	90	73.4	97	95.04	0
342	3.6	19.2	9.9	92	72.7	103	112.32	0
343	1.9	18.6	9.2	94	76.6	109	95.04	0
344	5.3	13.2	10	96	66.2	21	95.04	0.4
345	9.8	15.6	12.4	98	67.6	19	103.68	15.6
346	8.9	12.3	11.1	98	65.2	35	103.68	37.6
347	7.6	14.6	10.9	97	67.3	58	95.04	7.2
348	2.6	16.4	3.4	96	64.8	113	112.32	0
349	1.6	13.7	7.3	91	66.6	76	146.88	0
350	5.4	13.4	10.1	96	72.4	31	86.4	6.2
351	8.6	14	10.7	98	70.4	62	103.68	23
352	5	18.6	11.4	96	70.4	101	103.68	7.8
353	9.6	17.5	12.6	96	65.7	49	138.24	1.8
354	7.4	17.5	11.3	90	61.6	56	112.32	0.4
355	7.7	18.1	12.5	98	64.8	60	103.68	23.8
356	6.7	19.7	11.2	91	67.5	82	103.68	1
357	6.5	20.3	11.1	89	68.2	95	103.68	0.4
358	6.3	14.3	9.7	94	71	58	95.04	1.2
359	6	18.8	10.9	96	68.5	103	95.04	7
360	7.1	14.4	11.1	94	67.4	33	103.68	0
361	10.9	17.3	13.7	91	68.6	43	138.24	0
362	10.3	17.5	13.7	92	68.5	52	95.04	0
363	8.9	19.3	13.1	90	72	101	112.32	0
364	0.9	20.5	10	89	70.4	95	103.68	0
365	0.5	22.4	9.9	88	68.6	100	103.68	0

EK 8

Debi Hidrograflarının Oluşturulmasında Kullanılan Bitki Örtüsü Verileri

Buğday

Ekim tarihi[1]		Sulama sezonu süresi [gün]	MAD[2]	Kök derinliği [m]		Kök gelişimi süresi[3] [gün]
Başlangıç	Bitiş			R_{min}	R_{mak}	
1	1	365	0.55	0.2	1.5	90
Bitki katsayısı		Büyüme dönemi süresi [gün]				
K_{c1}	K_{c2}					
0.75	1.15	86				
1.15	1	40				
1	0.25	30				

Fiğ

Ekim tarihi		Sulama sezonu süresi [gün]	MAD	Kök derinliği [m]		Kök gelişimi süresi [gün]
Başlangıç	Bitiş			R_{min}	R_{mak}	
90	90	365	0.5	0.2	0.9	60
Bitki katsayısı		Büyüme dönemi süresi [gün]				
K_{c1}	K_{c2}					
0.74	0.94	30				
0.94	1.29	30				
1.19	1.15	30				
1.15	0.14	20				
0.74	0.94	30				

Yonca

Ekim tarihi		Sulama sezonu süresi [gün]	MAD	Kök derinliği [m]		Kök gelişimi süresi [gün]
Başlangıç	Bitiş			R_{min}	R_{mak}	
91	93	365	0.5	0.5	1.5	40
Bitki katsayısı		Büyüme dönemi süresi [gün]				
K_{c1}	K_{c2}					
0.4	0.75	10				
0.75	1.25	30				
1.25	1.15	25				
1.15	0.9	10				
0.9	0.9	135				

[1] Sulama sezonunun başından itibaren gün sayısını ifade eder.
[2] Tüketilmesine izin verilen kullanılabilir su miktarı
[3] Kök gelişimi süresi; ağaç ve üzüm için, kökleri halihazırda gelişmiş olduğundan dolayı bir (1) gün olarak alınmıştır.

EK 8'in devamı.

Mısır

Ekim tarihi		Sulama sezonu süresi [gün]	MAD	Kök derinliği [m]		Kök gelişimi süresi [gün]
Başlangıç	Bitiş			R_{min}	R_{mak}	
167	172	365	0.6	0.5	1.7	65
Bitki katsayısı		Büyüme dönemi süresi [gün]				
K_{c1}	K_{c2}					
1.04	1.1	20				
1.1	1.2	35				
1.2	0.9	40				
0.9	0.6	20				

Narenciye

Ekim tarihi		Sulama sezonu süresi [gün]	MAD	Kök derinliği [m]		Kök gelişimi süresi [gün]
Başlangıç	Bitiş			R_{min}	R_{mak}	
1	1	365	0.5	0.5	1.2	1
Bitki katsayısı		Büyüme dönemi süresi [gün]				
K_{c1}	K_{c2}					
0.7	0.7	60				
0.7	0.7	90				
0.7	0.65	120				
0.65	0.7	95				

Üzüm

Ekim tarihi		Sulama sezonu süresi [gün]	MAD	Kök derinliği [m]		Kök gelişimi süresi [gün]
Başlangıç	Bitiş			R_{min}	R_{mak}	
90	90	365	0.35	1	1	1
Bitki katsayısı		Büyüme dönemi süresi [gün]				
K_{c1}	K_{c2}					
0.4	0.48	15				
0.48	0.59	15				
0.59	0.7	50				
0.7	0.7	80				
0.7	0.45	20				

EK 8'in devamı.

Nar

Ekim tarihi		Sulama sezonu süresi [gün]	MAD	Kök derinliği [m]		Kök gelişimi süresi [gün]
Başlangıç	Bitiş			R_{min}	R_{mak}	
95	95	365	0.65	1.7	1.7	1
Bitki katsayısı		Büyüme dönemi süresi [gün]				
K_{c1}	K_{c2}					
0.55	0.9	20				
0.9	1.15	70				
1.15	0.9	90				
0.9	0.65	30				

Şeftali

Ekim tarihi		Sulama sezonu süresi [gün]	MAD	Kök derinliği [m]		Kök gelişimi süresi [gün]
Başlangıç	Bitiş			R_{min}	R_{mak}	
91	91	365	0.65	1.5	1.5	1
Bitki katsayısı		Büyüme dönemi süresi [gün]				
K_{c1}	K_{c2}					
0.55	0.9	20				
0.9	1.15	70				
1.15	0.9	90				
0.9	0.65	30				

EK 9

M-1 Sulama Sistemi için Hidrant Giriş Verileri

Hidrant numarası	Başlangıç kullanılabilir su tutma kapasitesi [% hacim]	Q [l s^{-1}]	Su uygulama randımanı	Bitki Kodu*	Alan [ha]	Bitki Kodu	Alan [ha]**
1	15	0	0.95	0	0	0	0
2	15	12	0.95	5	12.6	0	0
3	15	0	0.95	0	0	0	0
4	15	12	0.95	5	7	0	0
5	15	0	0.95	0	0	0	0
6	15	12	0.95	5	4.9	0	0
7	15	0	0.95	0	0	0	0
8	15	12	0.95	5	5	0	0
9	15	0	0.95	0	0	0	0
10	15	12	0.95	6	5.6	0	0
11	15	12	0.95	5	10.1	0	0
12	15	12	0.95	5	9	0	0
13	15	0	0.95	0	0	0	0
14	15	0	0.95	0	0	0	0
15	15	12	0.95	7	5	0	0
16	15	12	0.95	8	6	0	0
17	15	0	0.95	0	0	0	0
18	15	12	0.95	1	5.3	4	5.3
19	15	12	0.95	1	6	4	6
20	15	12	0.95	5	5	0	0
21	15	12	0.95	1	6	4	6
22	15	12	0.95	5	6.1	0	0
23	15	0	0.95	0	0	0	0
24	15	0	0.95	0	0	0	0
25	15	0	0.95	0	0	0	0

* $1_{Buğday}$, $4_{Mısır}$, $5_{Narenciye}$, $6_{Üzüm}$, 7_{Nar}, $8_{Şeftali}$

** Aynı hidrantın birden fazla bitkiyi suladığı durumda ikinci sulanan bitkinin alanını ifade eder.

EK 9'un devamı.

Hidrant numarası	Başlangıç kullanılabilir su tutma kapasitesi [% hacim]	Q [l s^{-1}]	Su uygulama randımanı	Bitki Kodu	Alan [ha]	Bitki Kodu	Alan [ha]
26	15	12	0.95	1	5	4	5
27	15	0	0.95	0	0	0	0
28	15	12	0.95	1	5	4	5
29	15	0	0.95	0	0	0	0
30	15	0	0.95	0	0	0	0
31	15	0	0.95	0	0	0	0
32	15	12	0.95	1	5	4	5
33	15	12	0.95	1	5	4	5
34	15	12	0.95	1	5	4	5
35	15	12	0.95	1	5	4	5
36	15	12	0.95	1	5	4	5
37	15	0	0.95	0	0	0	0
38	15	12	0.95	1	5	4	5
39	15	0	0.95	0	0	0	0
40	15	0	0.95	0	0	0	0
41	15	12	0.95	1	5	4	5
42	15	12	0.95	1	5	4	5
43	15	12	0.95	1	5	4	5
44	15	12	0.95	5	5.3	0	0
45	15	12	0.95	5	7.5	0	0
46	15	12	0.95	5	6.2	0	0
47	15	12	0.95	5	9.5	0	0
48	15	12	0.95	5	10.8	0	0
49	15	12	0.95	5	5.1	0	0
50	15	12	0.95	5	5	0	0

EK 10

M-2 Sulama Sistemi için Hidrant Giriş Verileri

Hidrant numarası	Başlangıç kullanılabilir su tutma kapasitesi [% hacim]	Q [l s^{-1}]	Su uygulama randımanı	Bitki Kodu*	Alan [ha]	Bitki Kodu	Alan [ha]**
1	15	0	0.95	0	0	0	0
2	15	12	0.95	1	10	4	10
3	15	0	0.95	0	0	0	0
4	15	12	0.95	2	7.5	0	0
5	15	0	0.95	0	0	0	0
6	15	12	0.95	2	7.2	0	0
7	15	12	0.95	2	7.2	0	0
8	15	12	0.95	2	7.5	0	0
9	15	12	0.95	2	3.5	1	1.5
10	15	0	0.95	0	0	0	0
11	15	12	0.95	2	10.1	0	0
12	15	12	0.95	1	5.5	4	5.5
13	15	12	0.95	1	5	4	5
14	15	12	0.95	1	5	4	5
15	15	0	0.95	0	0	0	0
16	15	12	0.95	1	5	4	5
17	15	12	0.95	1	5	4	5
18	15	12	0.95	1	5	4	5
19	15	12	0.95	3	5	0	0
20	15	0	0.95	0	0	0	0
21	15	12	0.95	3	5	0	0
22	15	12	0.95	3	5	0	0
23	15	12	0.95	3	5	0	0
24	15	0	0.95	0	0	0	0
25	15	12	0.95	3	5	0	0

* $1_{Buğday}$, $2_{Fiğ}$, 3_{Yonca}, $4_{Mısır}$

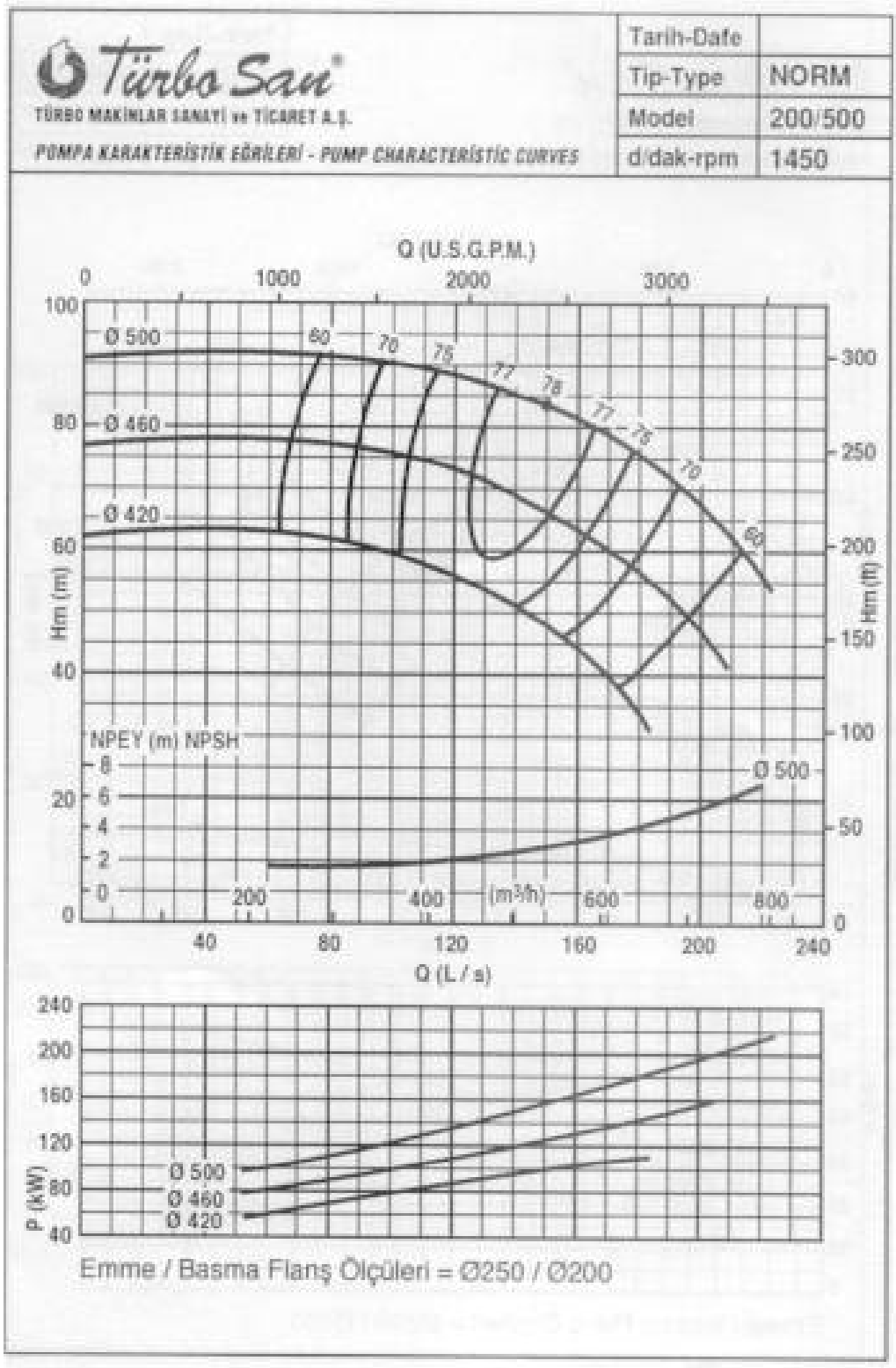
** Aynı hidrantın birden fazla bitkiyi suladığı durumda ikinci sulanan bitkinin alanını ifade eder.

EK 10'un devamı.

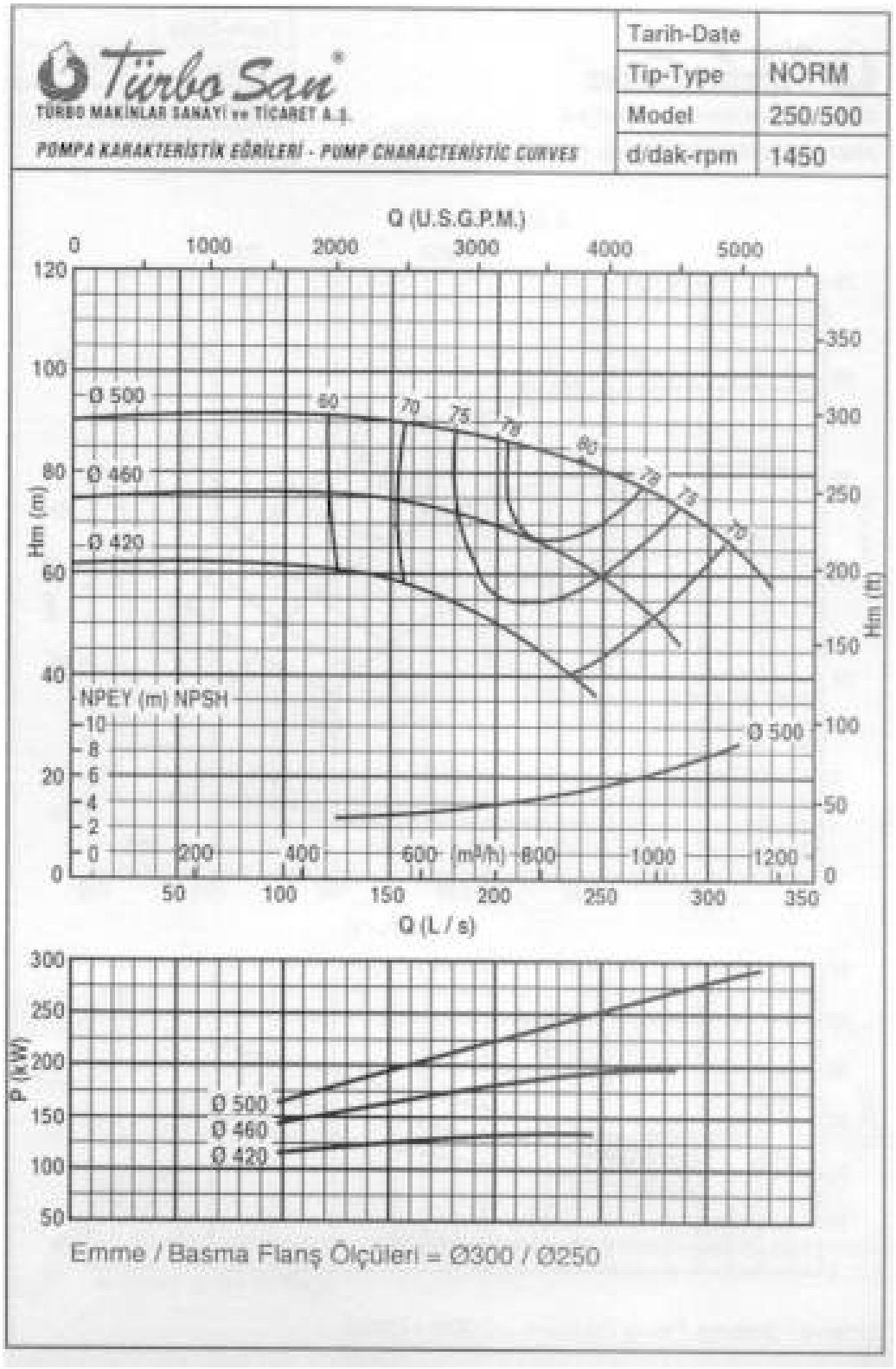
Hidrant numarası	Başlangıç kullanılabilir su tutma kapasitesi [% hacim]	Q [l s^{-1}]	Su uygulama randımanı	Bitki Kodu	Alan [ha]	Bitki Kodu	Alan [ha]
26	15	12	0.95	3	5	0	0
27	15	0	0.95	0	0	0	0
28	15	12	0.95	3	6	0	0
29	15	12	0.95	3	6	0	0
30	15	12	0.95	3	6	0	0
31	15	12	0.95	1	5	4	5
32	15	0	0.95	0	0	0	0
33	15	12	0.95	1	5	4	5
34	15	12	0.95	1	5	4	5
35	15	0	0.95	0	0	0	0
36	15	12	0.95	1	5	4	5
37	15	0	0.95	0	0	0	0
38	15	12	0.95	1	5	4	5
39	15	0	0.95	0	0	0	0
40	15	12	0.95	1	5	4	5
41	15	12	0.95	1	5	4	5
42	15	0	0.95	0	0	0	0
43	15	12	0.95	1	5	4	5
44	15	12	0.95	1	5	4	5
45	15	12	0.95	1	5	4	5

EK 11

Pompa İstasyonundaki Mevcut Pompaların Katalog Verileri



EK 11'in devamı.



EK 12.

Sulama projesi şebekesi planı

