T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI HİDROJELLERİN SENTEZİ VE ŞİŞME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Fatma TANRIVERDİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA ANABİLİM DALI

KONYA, 2007

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAZI HİDROJELLERİN SENTEZİ VE ŞİŞME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Fatma TANRIVERDİ

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet OKUDAN

2007, 200 Sayfa

Bu çalışmada; NIPAAm, NHMAAm, AA komonomerleri ile PEG400, çapraz bağlayıcı (BIS), başlatıcı-hızlandırıcı sistemi (APS-TEMED) kullanılarak yeni sıcaklık duyarlı hidrojeller sentezlenmiştir. Komonomerlerin miktarları değiştirilerek, jellerin şişme özelliklerindeki değişmeler incelenmiştir. Sentezlenen jellerin destile su içinde 20 ^{o}C'de şişme kinetikleri, 80 ^{o}C' de büzülme kinetikleri ve farklı sıcaklıklardaki şişme davranışları gravimetrik metodla belirlenmiştir.

Üç monomerden çıkılarak elde edilen NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG jelleri sentezinde kullanılan AA' nın şişme değerlerine olumlu yönde katkıda bulunduğu, NHMAAm' ın katkısının çok daha az olduğu belirlenmiştir. Tüm jellerin sıcaklık duyarlı oldukları, PEG400 kullanılmayan jellerin şişme özelliklerinin tamamında daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur.

Sentezlenen jellerin yapıları, FT-IR ve SEM teknikleriyle aydınlatılmıştır.

Anahtar kelimeler: Hidrojel, sıcaklık duyarlılık, şişme, büzülme, NIPAAm

ABSTRACT

MS. Thesis

THE SYNTHESIS OF SOME HYDROGELS AND INVESTIGATION OF THEIR SWELLING PROPERTIES

Fatma TANRIVERDİ

Selcuk University

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Chemistry

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ahmet OKUDAN

2007, 200 Page

In this study, new thermosensitive hydrogels were synthesized by using NIPAAm, AA, NHMAAm as comonomers and PEG400, BIS as a crosslinker and APS-TEMED as initiator-activator system. Swelling properties of hydrogels were investigated by changing amounts of comonomers. In distilled water, swelling kinetics at 20 ^{o}C, deswelling kinetics at 80 ^{o}C and swelling behaviour at different temperatures of synthesized hydrogels were determined by gravimetric methods.

The amount of AA which is used in the synthesis process of three monomers formed gels, which are NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG gels, has positive effect on swelling values. Moreover, the effect of used NHMAAm' s amount in that process is quite less. The truth was found that all the hydrogels are thermosensitive and all the swelling properties of hydrogels which aren't used PEG400, better than the others.

The structures of synthesized hydrogels were characterized by FT-IR and SEM technics.

Key words: Hydrogel, thermosensitive, swelling, deswelling, NIPAAm

ÖNSÖZ

Bu çalışma, S.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Öğretim Üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Ahmet OKUDAN yönetiminde yapılarak, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü' ne Yüksek lisans tezi olarak sunulmuştur.

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışma, S.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından FBE 06201061 no' lu proje ile desteklenmiştir.

Yüksek lisans çalışmamın konusunun seçiminde, hazırlanmasında, çalışmalarımın tüm safhalarında ve tezin hazırlanmasında bana her zaman destek olan saygı değer hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet OKUDAN'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında olduğu gibi bu çalışmamda da maddi ve manevi her konuda desteklerini esirgemeyen sevgili babam Ömer TANRIVERDİ ve ablam Ayşe TANRIVERDİ'ye ve ailemin tüm bireylerine ayrı ayrı teşekkür ederim.

Fatma TANRIVERDİ

Konya-2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET **ii**

ABSTRACT **iii**

ÖNSÖZ **iv**

İÇİNDEKİLER **v**

ŞEKİLLERİN LİSTESİ **viii**

TABLO VE GRAFİK LİSTESİ **ix**

1.GİRİŞ **1**

1.1. Polimerler 3

1.2. Polimer Çözeltileri 5

1.2.1. Gerçek Polimer Çözeltileri 5

1.2.2. Polimerlerin Şişmesi ve Çözünmesi 6

1.2.3. Polimerlerin Şişmesini ve Çözünmesini Etkileyen Faktörler 7

1.2.3.1. Polimer ve Çözücünün Kimyasal Yapısı 7

1.2.3.2. Polimerlerin Mol Kütlesi 9

1.2.3.3. Polimerlerin Zincir Esnekliği 9

1.2.3.4. Makromoleküllerin İstiflenme Yoğunluğu 10

1.2.3.5. Zincirin Kimyasal Yapısındaki Heterojenlikler 10

1.2.3.6. Polimerlerin Faz Hali 10

1.2.3.7. Ağ Yapının Varlığı ve Yoğunluğu 10

1.2.3.8. Sıcaklık 11

1.3. Polimer Jeller 11

1.3.1. Jel Oluşum Mekanizması 12

1.4. Hidrojeller 13

1.4.1. Hidrojellerin Sınıflandırılması 16

1.4.1.1. Homopolimer Hidrojeller 17

1.4.1.2. Kopolimer Hidrojeller 17

1.4.1.3. Çoklu Polimer Hidrojeller 17

1.4.1.4. IPN veya İç İçe Geçmiş Polimerik Ağ Yapılı Hidrojeller 18

1.4.1.5. İyonik Olmayan Hidrojeller 19
1.4.1.6. İyonik Hidrojeller 19
1.4.1.7. Anyonik hidrojeller 20
1.4.1.8. Katyonik Hidrojeller 20
1.4.2. Hidrojellerin Eldesi ve Yapısı 20
1.4.2.1. Kimyasal Çapraz Bağlanma ile Hidrojel Hazırlanması 20
1.4.2.2. Yüksek Enerjili Işınlar ile Hidrojel Hazırlanması 22
1.4.3. Hidrojellerde Suyun Konumu 22
1.4.4. Hidrojellerin Şişmesi 23
1.4.5. Hidrojellerin Kullanım Alanları 25
1.5. Uyarı-Cevap Polimerleri 26
1.5.1. Sıcaklık-Duyarlı Hidrojeller 27
1.5.2. pH-Duyarlı Hidrojeller 29
1.5.3. Sıcaklık ve pH-Duyarlı Hidrojeller 31
1.5.4. İyon ve pH-Duyarlı Hidrojeller 31
1.5.5. Magnetik Alan Duyarlı Hidrojeller 32
1.5.6. Elektrik Alan Duyarlı Hidrojeller 33
1.5.7. Çözücü Duyarlı Hidrojeller 34
2. KAYNAK TARAMASI 35
3. MATERYAL VE METOD 46
3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler 46
3.2. Kullanılan Cihazlar 48
3.3. Hidrojel Üretimi 48
3.4. Şişme Deneyleri 54
3.4.1. Kinetik Şişme Ölçümleri 54
3.4.2. Kinetik Büzülme Ölçümleri 55
3.4.3. Jellerin Sıcaklık Duyarlılıklarının Belirlenmesi 55
3.4.4. Infrared (IR) Analizleri 55
3.4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri 55
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA 56
4.1. Şişme Deneyleri 56
4.1.1. Şişme Kinetiği Ölçümleri 56

4.1.1.1. NHMAAm Değişiminin Jellerin Şişme Kinetiklerine Etkisinin İncelenmesi 56

4.1.1.2. AA Değişiminin Jellerin Şişme Kinetiklerine Etkisinin İncelenmesi 67

4.1.1.3. PEG400 Değişiminin Jellerin Şişme Kinetiklerine Etkisinin İncelenmesi 82

4.1.2. Sıcaklık Duyarlılık Ölçümleri 95

4.1.2.1. NHMAAm Değişiminin Jellerin Sıcaklık Duyarlılıklarına Etkisinin İncelenmesi 95

4.1.2.2. AA Değişiminin Jellerin Sıcaklık Duyarlılıklarına Etkisinin İncelenmesi 106

4.1.2.3. PEG400 Değişiminin Jellerin Sıcaklık Duyarlılıklarına Etkisinin İncelenmesi 121

4.1.3. Kinetik Büzülme Ölçümleri 134

4.1.3.1. NHMAAm Değişiminin Jellerin Büzülme Kinetiklerine Etkisinin İncelenmesi 134

4.1.3.2. AA Değişiminin Jellerin Büzülme Kinetiklerine Etkisinin İncelenmesi 146

4.1.3.3. PEG400 Değişiminin Jellerin Büzülme Kinetiklerine Etkisinin İncelenmesi 160

4.1.4. FT-IR analizleri 173

4.1.5. SEM analizleri 174

5. SONUÇ ve ÖNERİLER 175

6. KAYNAKLAR 177

7. EKLER 181

ÖZGEÇMİŞ 189

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Homopolimer türleri 4
Şekil 1.2. Kopolimer türleri 5
Şekil 1.3. Hidrojelin şematik olarak gösterimi 14
Şekil 1.4. Hidrojel içindeki dört temel etkileşimin sistematik olarak gösterilmesi 15
Şekil 1.5. IPN türü hidrojellerin türleri 19
Şekil 1.6. Çapraz bağlanmanın şematik gösterimi 21
Şekil 1.7. Şişmiş bir hidrojeldeki suyun bulunma çeşitleri 23
Şekil 1.8. Sulu ortamda farklı davranış gösteren polimer zincirlerinin çözelti ve hidrojel oluşturması. 24
Şekil 1.9. Poli(akrilik asit) hidrojelinin pH' a bağlı olarak şişmesi ve büzülmesi 29
Şekil 1.10. Poli(vinilalkol) hidrojelinin magnetik alandan etkilenmesi 33
Şekil 1.11. Hidrojelin farklı elektrik alanlardaki davranışı 33
Şekil 7. 1. NIPAAm100/AA5/NHMAAm20/PEG400 (0) jeline ait FT-IR spektrumu 178
Şekil 7. 2. NIPAAm100/AA10/NHMAAm10/PEG400 (0) jeline ait FT-IR spektrumu 178
Şekil 7. 3. NIPAAm100/AA0/NHMAAm0/PEG400 (0) jeline ait FT-IR spektrumu 179
Şekil 7. 4. NIPAAm100/AA10/NHMAAm5/PEG400 (0) jeline ait FT-IR spektrumu 179
Şekil 7. 5. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEG400 (100) jeline ait SEM fotoğrafı 180
Şekil 7. 6. NIPAAm100/AA5/NHMAAm20/PEG400 (500) jeline ait SEM fotoğrafı 180
Şekil 7. 7. NIPAAm100/AA1/NHMAAm20/PEG400 (500) jeline ait SEM fotoğrafı 181
Şekil 7. 8. NIPAAm100/AA5/NHMAAm5/PEG400 (500) jeline ait SEM fotoğrafı 181
Şekil 7. 9. NIPAAm100/AA0/NHMAAm5/PEG400 (100) jeline ait SEM fotoğrafı 182
Şekil 7. 10. NIPAAm100/AA0/NHMAAm5/PEG400 (300) jeline ait SEM fotoğrafı 182
Şekil 7. 11. NIPAAm100/AA10/NHMAAm0/PEG400 (0) jeline ait SEM fotoğrafı 183
Şekil 7. 12. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEG400 (300) jeline ait SEM fotoğrafı 183
Şekil 7. 13. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEG400 (500) jeline ait SEM fotoğrafı 184
Şekil 7. 14. NIPAAm100/AA10/NHMAAm10/PEG400 (0) jeline ait SEM fotoğrafı 184

TABLO VE GRAFİK LİSTESİ

Tablo 1.1. Bazı polimerler ve bazı çözücülerin δ değerleri 8

Tablo 1.2. pH-duyarlı hidrojellerin hazırlanmasında kullanılan bazı monomerler 30

Tablo 3.1. Kullanılan maddeler, bazı fiziksel özellikleri ve molekül yapıları 46

Tablo 3.2. Sentezlenen jellerdeki reaktif miktarları 52

Tablo 4.1. sentezlenen bazı hidrojellerin IR spektrum değerleri ve yorumları 173

Grafik 4.1. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 56

Grafik 4.2. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 57

Grafik 4.3. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 58

Grafik 4.4. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 59

Grafik 4.5. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 60

Grafik 4.6. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 61

Grafik 4.7. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 62

Grafik 4.8. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 63

Grafik 4.9. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 64

Grafik 4.10. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 65

Grafik 4.11. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 67

Grafik 4.12. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 68

Grafik 4.13. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 69

Grafik 4.14. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 70

Grafik 4.15. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 71

Grafik 4.16. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 72

Grafik 4.17. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 73

Grafik 4.18. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 74

Grafik 4.19. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 75

Grafik 4.20. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 76

Grafik 4.21. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 77

Grafik 4.22. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 78

Grafik 4.23. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 79

Grafik 4.24. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 80

Grafik 4.25. NIPAAm100/AA1/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 82

Grafik 4.26. NIPAAm100/AA5/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 83

Grafik 4.27. NIPAAm100/AA10/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 84

Grafik 4.28. NIPAAm100/AA0/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 85

Grafik 4.29. NIPAAm100/AA1/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 86

Grafik 4.30. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 87

Grafik 4.31. NIPAAm100/AA10/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 88

Grafik 4.32. NIPAAm100/AA1/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 89

Grafik 4.33. NIPAAm100/AA10/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 90

Grafik 4.34. NIPAAm100/AA1/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 91

Grafik 4.35. NIPAAm100/AA5/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 92

Grafik 4.36. NIPAAm100/AA10/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 93

Grafik 4.37. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 95

Grafik 4.38. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 96

Grafik 4.39. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 97

Grafik 4.40. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 98

Grafik 4.41. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 99

Grafik 4.42. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 100

Grafik 4.43. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 101

Grafik 4.44. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 102

Grafik 4.45. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 103

Grafik 4.46. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 104

Grafik 4.47. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 106

Grafik 4.48. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 107

Grafik 4.49. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 108

Grafik 4.50. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 109

Grafik 4.51. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 110

Grafik 4.52. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 111

Grafik 4.53. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 112

Grafik 4.54. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 113

Grafik 4.55. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 114

Grafik 4.56. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 115

Grafik 4.57. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 116

Grafik 4.58. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 117

Grafik 4.59. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 118

Grafik 4.60. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi 119

Grafik 4.61. NIPAAm100/AA1/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 121

Grafik 4.62. NIPAAm100/AA5/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 122

Grafik 4.63. NIPAAm100/AA10/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 123

Grafik 4.64. NIPAAm100/AA0/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 124

Grafik 4.65. NIPAAm100/AA1/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 125

Grafik 4.66. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 126

Grafik 4.67. NIPAAm100/AA10/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 127

Grafik 4.68. NIPAAm100/AA1/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 128

Grafik 4.69. NIPAAm100/AA10/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 129

Grafik 4.70. NIPAAm100/AA1/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 130

Grafik 4.71. NIPAAm100/AA5/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 131

Grafik 4.72. NIPAAm100/AA10/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi 132

Grafik 4.73. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 134

Grafik 4.74. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 135

Grafik 4.75. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 136

Grafik 4.76. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG500 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 137

Grafik 4.77. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 138

Grafik 4.78. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 139

Grafik 4.79. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 140

Grafik 4.80. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 141

Grafik 4.81. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 142

Grafik 4.82. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi 143

Grafik 4.83. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG500 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 145

Grafik 4.84. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 146

Grafik 4.85. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 147

Grafik 4.86. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 148

Grafik 4.87. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 149

Grafik 4.88. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 150

Grafik 4.89. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 151

Grafik 4.90. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 152

Grafik 4.91. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 153

Grafik 4.92. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 154

Grafik 4.93. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG500 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 155

Grafik 4.94. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 156

Grafik 4.95. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 157

Grafik 4.96. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi 158

Grafik 4.97. NIPAAm100/AA1/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 160

Grafik 4.98. NIPAAm100/AA5/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 161

Grafik 4.99. NIPAAm100/AA10/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 162

Grafik 4.100. NIPAAm100/AA0/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 163

Grafik 4.101. NIPAAm100/AA1/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 164

Grafik 4.102. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 165

Grafik 4.103. NIPAAm100/AA10/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 166

Grafik 4.104. NIPAAm100/AA1/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 167

Grafik 4.105. NIPAAm100/AA10/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 168

Grafik 4.106. NIPAAm100/AA1/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 169

Grafik 4.107. NIPAAm100/AA5/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 170

Grafik 4.108. NIPAAm100/AA10/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi 171

1. GİRİŞ

Günümüzde, polimerler insan yaşamının hemen her aşamasında sıkça kullanılmaktadır. Önceleri gündelik eşya yapımında ya da endüstride çok temel uygulamalarda kullanılan polimerler, bugün uzay teknolojisindeki araştırmalardan, biyotıp alanında yapay organ yapımına, tarımsal alanda gübrelerin denetimli salınımlarında kullanımlarından, kontakt lens yapımına kadar değişen çok geniş bir aralık içerisinde kullanılmaktadır. Her geçen gün daha da artarak gerek üniversitelerde, gerekse endüstride araştırmacıların yoğun ilgileri ile karşı karşıya kalmaktadır. Gelişen polimer bilimi içinde son zamanlarda jeller; özellikle hidrojeller öne çıkmaktadır (Küçük 2002).

Polimer jeller, su veya uygun çözücüde şişmiş ağ yapılardır. Suda şişmiş jellere hidrojel denilmektedir. Hidrojeller; yapılarında hidrofilik gruplar bulunduran, ancak ağ yapısı nedeniyle suda çözünmeyen, belli bir denge değerine kadar şişebilen polimerlerdir. Şişme miktarını kontrol eden iki faktör; polimer zincirlerinin hidrofilitesi ve çapraz bağ yoğunluğudur (Taşdelen 2002). Ağ yapı iskeletine çeşitli komonomerlerin katılmasıyla uyarıcılara cevap verebilen hidrojeller hazırlanabilmektedir. Uyarıcılara cevap; şişme veya büzülme şeklinde ortaya çıkar. Uyarı-cevap hidrojellerine aynı zamanda akıllı hidrojeller denilmektedir. Hidrojeller; çevre koşullarındaki ufak değişiklikleri algılayarak, şişerek veya büzülerek cevap verirler. Jel özelliklerinde değişime neden olduğu kanıtlanan uyarıcılar; pH, iyonik kuvvet, elektrik alan, magnetik alan, çözücü bileşimi, ışık, basınç ve sıcaklığı kapsar. Bu kadar çok uyarıcıya cevap verebilen başka tür bir madde yoktur (Yamashita ve ark. 2002).

Günümüzde, bir uyarıcıya duyarlı ve cevap verebilen jeller üzerindeki çalışmalar, çeşitli sıcaklık ya da pH' daki küçük değişimlere cevap veren hidrojeller üzerine yoğunlaşmıştır. Poli (N-izopropil akrilamid) (PNIPAAm) üzerinde en çok çalışılan sıcaklığa duyarlı hidrojeldir. PNIPAAm hidrojelinin en düşük kritik çözelti sıcaklığı, (lower critic solution temperature) (LCST), 32-34 °C arasındadır (Zhang ve ark. 2000). PNIPAAm jeli; LCST' nin altındaki sıcaklıklarda şişer, üzerindeki sıcaklıklarda ise büzülür (Özmen 2002).

Sıcaklığa duyarlı hidrojeller hakkında pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda; sadece NIPAAm' dan oluşan hidrojellerin yanısıra; hidrofilik, hidrofobik, iyonik, iyonik olmayan, yüklü, nötral, zayıf iyonlaşabilen komonomerler içeren makrogözenekli hidrojeller ve bu jellerin karakterizasyonları, şişme özellikleri incelenmiştir (Yıldız 2001).

Sıcaklığa duyarlı jellerin dışında; iyonik kuvvet, çözücü, basınç, ışık hassasiyeti, elektrik veya magnetik alandaki değişimlere cevap veren jellerle de çalışılmaktadır (Yamashita ve ark. 2002).

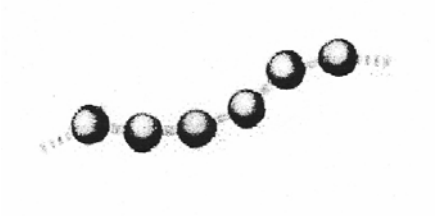
Ayırma proseslerinde kullanılan klasik yöntemlerin dışında düşük enerji ihtiyaçlarına bağlı olarak polimer jellerin kullanıldığı ayırma prosesleri, endüstriyel uygulamalar için gittikçe çekici olmaktadır. Hidrojeller; özellikle son 30 yılda çocuk bezleri, iyon değiştirici reçineler, biomedikal malzemeler, kontrollü ilaç salım sistemleri, robotik cihazlar, sensörler, moleküler ayırma sistemleri gibi pek çok alanda dikkat çeken uygulama alanları bulmuşlardır (Küçük 2002).

Bu çalışmanın amacı; öncelikle sıcaklığa duyarlı yeni hidrojellerin sentezlenmesi, bu jellerin sıcaklığa duyarlılıklarının, sudaki şişme ve büzülme kinetiklerinin incelenmesidir. Hem hidrofilik hem de hidrofobik gruplar içeren monomerler kullanarak, Polietilenglikol' un (PEG) de kullanılmasıyla elde edilen kopolimer jellerin şişme özelliklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca monomerlerin ve PEG' un mol oranları değişiminin hazırlanan jellerin şişme özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

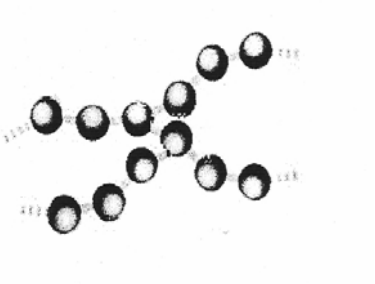
1.1. Polimerler

Polimerler, büyük makromoleküllerden oluşan maddelerdir. Polimer moleküllerini oluşturmak üzere birbirleri ile kimyasal bağlarla bağlanan küçük moleküllere monomer denir. Monomer birimlerinden başlayarak polimer moleküllerinin elde edilmesine yol açan reaksiyonlara ise polimerizasyon reaksiyonları denir. Makromolekül denilen bir polimer molekülünde yapı birimlerinden yüzlerce, binlerce, bazen daha fazlası birbirine bağlanır. Monomer maddeler genel olarak yapılarında çift bağ, üçlü bağ, iki veya daha fazla fonksiyonel grup bulundururlar (Basan 2001).

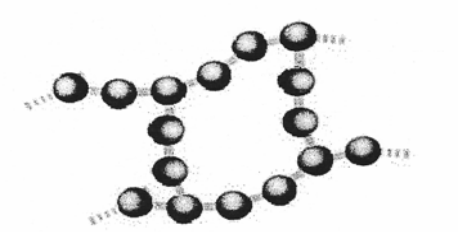
Polimerler monomerlerin kimyasal reaksiyonu sonucunda meydana gelen makromoleküllerdir. Monomerler, polimerleri oluşturmak üzere zincirler şeklinde bir araya gelip, kimyasal olarak bağlanabilirler. Bu yolla lineer, dallanmış, ağ yapılı polimerler oluşabilir. Polimerler, büyük moleküller olarak bir arada genellikle kovalent bağlarla tutulurlar. Bir polimeri oluşturmak üzere birleşen birimler birbirinin tıpatıp aynısı moleküller olabileceği gibi iki veya daha çok çeşitli moleküller de olabilir. Bir polimer molekülünde bulunan ortalama monomer ünitesiyle sayısına polimerizasyon derecesi denir. Tek tür tekrar ünitesiyle oluşan polimerler homopolimer olarak adlandırılırlar. Homopolimerler lineer, dallanmış veya çapraz bağ yapıda olabilirler. Bunlar şekil 1.1’ de görülmektedir. İki farklı tekrar ünitesine sahip polimerler kopolimer, üç ayrı tür tekrar ünitesi içerenler ise terpolimer olarak adlandırılır.



Doğrusal (lineer) homopolimer



Dallanmış homopolimer



Çapraz bağlı homopolimer

Şekil 1.1. Homopolimer türleri

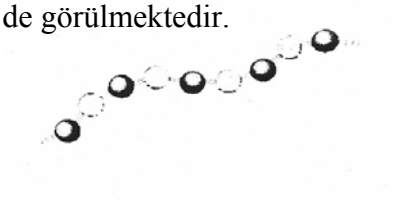
Kopolimerler dört grupta toplanabilir:

1) Rastgele kopolimer: İki ayrı tekrar ünitesinin molekülleri rastgele dizilmiştir.
2) Ardışık kopolimer: İki ayrı tekrar ünitesinin molekülleri dönüşümlü olarak sıralanmıştır.
3) Blok kopolimer: Bir tekrar ünitesinin molekülleri blok halinde birbirine bağlı olup, bir zincire öteki monomerin zinciri bağlanmıştır.
4) Aşı kopolimeri: Bir polimerin uzun zincirine öteki monomerin zinciri bağlanmıştır.

Kopolimer türleri şematik olarak şekil 1.2'de görülmektedir.



Rastgele kopolimer



Dönüşüm (ardışık) kopolimer



Blok kopolimer Aşı (graft) kopolimer

Şekil 1.2. Kopolimer türleri

Bir monomer, yeni bağlar oluşturan herhangi bir reaksiyon ile bir polimere dönüştürülebilir. Herhangi bir polimerizasyon şemasının esasını bir monomerin oluşturabileceği bağ sayısı teşkil eder. Corether, monomerin verilen bir reaksiyon için oluşturabildiği bu bağ sayısına fonksiyonalite demiştir (Küçük 2002). İki fonksiyonlu grup içeren monomerlerin birleşmesi ile lineer polimer molekülleri elde edilir. Çapraz bağlı yapılar ikiden fazla fonksiyonel grubu olan monomerler yoluyla oluşturulur.

1.2. Polimer Çözeltileri

Polimerler ile küçük moleküllü sıvıların, polimerlerin şişmesi ve çözünmesi ile sonuçlanan etkileşmesi, hem polimerlerin işlenmesi hem de onlardan yapılan eşyaların kullanılması bakımından çok büyük önem taşır. Örneğin, bir çok sentetik lif ve film polimer çözeltilerinden elde edilir. Fabrikada polimerik malzemelerden eşyaların yapılmasında kullanılan plastikleştirme prosesi polimerlerin plastikleştirici içinde şişmesi esasına dayanır. Vernik ve yapıştırıcılar bir çeşit polimer çözeltileridir. Bunların hepsinde polimerlerin küçük moleküllü sıvı içinde şişmesi veya çözünmesi çok önemlidir.

1.2.1. Gerçek polimer çözeltileri

Gerçek bir çözelti aşağıdaki karakteristik özelliklere sahip olan çok bileşenli bir sistemdir.

- bileşenler arasında etkileşme
- kendiliğinden oluşma
- zamanla sabit derişim

- homojenlik yani sadece tek bir faz bulunması
- termodinamik kararlılık

Bu özellikleri ayrıntılı olarak inceleyelim. Gerçek çözeltiler bileşenler arasında bir etkileşme olduğu zaman meydana gelir. Eğer bu etkileşme varsa bileşenler molekül, atom veya iyon olarak doğrudan temas ettikleri zaman dışarıdan verilen bir iş harcamadan kendiliğinden dağılır. Böyle meydana gelen kendiliğinden dağılmaya çözünme veya iyonlarına ayrışma yeteneği olan bileşenlerin birbirine karışması denir.

Bileşenler herhangi bir oranda karışabilir, buna tam karışabilirlik denir veya belli bir oranda karışabilir buna da kısmi karışabilirlik denir. Karışma belli bir bileşime yani belli bir derişime sahip bir çözelti meydana getirir. Eğer sıcaklık ve basınç gibi dış koşullar değişmezse, gerçek bir çözeltinin derişimi zamanla sabit kalır.

Gerçek bir çözelti tek fazlı bir sistemdir. Çözelti fazı bir ara yüzey ile çökelek, buhar veya çözelti gibi diğer fazlara ayrılabilir ama kendisinin içinde bir ara yüzey yoktur yani sistem homojendir.

Gerçek bir çözeltinin en önemli özelliği termodinamik kararlılığı veya denge halidir. Eğer bir çözelti sabit hacim ve sıcaklıkta Gibbs serbest enerjisi azalmasıyla birlikte oluşuyorsa termodinamik olarak kararlıdır. Gibbs serbest enerjisi, daha sonra zamanla değişmeyen belli bir denge değerine kadar azalır.

Eğer 1 mol çözeltinin Gibbs serbest enerjisi $G_{çöz}$ ile karışmadan önceki bileşenlerin 1 molünün serbest enerjisi de $\sum G_{bil}$ ile gösterilirse, o zaman $G_{çöz} < \sum G_{bil}$ veya $\Delta G < 0$ olur. Dengede $G_{çöz} = \sum G_{bil}$ ve $\Delta G = 0$ dır.

Gibbs serbest enerjisi değişmeyen sisteme denge sistemi denir (Basan 2001).

1.2.2. Polimerlerin şişmesi ve çözünmesi

Bir polimer, küçük moleküllü maddeler gibi, bütün sıvılarda çözünemez. Belli bir polimer için ‘iyi çözücü’ denen bazı sıvılar ile polimer doğrudan temas edince kendiliğinden çözünür. Bir polimer ‘zayıf çözücü’ veya ‘çöktürücü’ denen diğer

sıvılarla temas edince hiçbir değişikliğe uğramaz. Örneğin, doğal kauçuk benzende kendiliğinden çözünür fakat su ile etkileşmez. Jelatin suda iyi çözünür ama etil alkol ile etkileşmez. İlk halde gerçek bir çözeltinin oluşması beklenebilir fakat ikinci halde sadece kolloidal bir çözelti meydana gelebilir. Gerçekte, kendiliğinden oluşan polimer çözeltileri gerçek bir çözeltinin bütün özelliklerine sahiptir. Bununla beraber gerçek polimer çözeltileri onları küçük moleküllü maddelerin gerçek çözeltilerinden ayıran spesifik özelliklere sahiptir. Bunlar çözünmeden önce şişme, yüksek viskozite, yavaş difüzyon ve yarı geçirgen zarlardan geçme yetersizliği gibi özelliklerdir.

1.2.3. Polimerlerin şişmesini ve çözünmesini etkileyen faktörler

Polimerlerin şişme veya çözünme yeteneği, polimer ve çözücünün kimyasal yapısına, polimerin mol kütlesine, polimer zincirinin esnekliğine, makromoleküllerin istiflenme yoğunluğuna, faz haline, zincirin kimyasal yapısındaki heterojenliklere, ağyapının varlığına ve yoğunluğuna ve ortamın sıcaklığına bağlıdır (Basan 2001).

1.2.3.1. Polimer ve çözücünün kimyasal yapısı

Maddelerin karşılıklı çözünürlüğü onların kimyasal bileşenlerine bağlıdır. Bu da uzun zamandır bilinen benzer benzeri çözer ilkesine dayanır. Sonra, moleküler arası etkileşme enerjisinin benzerliği benzeşme kriteri olarak alınmıştır.

En basiti , sadece Van der Waals etkileşmeleri , yani dispersiyon , çekme ve dipol dipol etkileşmesi gösteren çözeltilerdir. Eğer sıvılar polar değilse yani sıfır dipol momente sahipse ve sıvılar arasında dispersiyon kuvvetleri etkinse , bu sıvılar genellikle geniş bir sıcaklık aralığında birbirleri içerisine iyice karışır. Bu bakış açısına göre, poliizobütilen, poliizopren gibi amorf haldeki polar olmayan hidrokarbon polimerlerin doymuş küçük moleküllü hidrokarbonlar ve onların karışımlarında çözünmesi beklenir. Böyle polimerler aseton gibi polar sıvılarda ve özelliklede su ve küçük mol kütleli alkol gibi hidrojen bağı yapabilen sıvılarda çözünmez ve şişmezler. Tersine selüloz nitrat gibi polar gruplar içeren polimerler de polar olmayan sıvılarda çözünmezler. Benzer polariteye sahip olan sıvılarla etkileşmeye girme eğilimindedirler.

Polimerlerin çözünürlüğünde, moleküller arası etkileşmenin ölçüsü olan bir sıvının kohezyon enerji yoğunluğu (KEY) ile bağlantılı olan Hıldebrand'ın çözünürlük parametresi, δ , çok sık kullanılır.

$$\delta = \left(\frac{\Delta E_i^o}{V_i} \right)^{1/2}$$

Burada $\Delta E_i^o / V_i$ oranı kohezyon enerji yoğunluğu, ΔE_i^o sıvının buharlaşma enerjisi ve V_i onun hacmidir. Belli bir polimerin en iyi çözücüsü, KEY değeri polimerin KEY değerine benzeyen sıvıdır. Bu parametreleri hesaplamak için bir çok yöntem vardır ve bir çok polimerin δ değerini hesaplamak için kullanılırlar. Tablo 1.1' de çözücü olarak kullanılan bazı sıvılar ve polimerler için δ değerleri verilmiştir. Küçük δ değerlerine sahip olan maddeler apolar maddelerdir; büyük δ değerlerine sahip olanlar ise büyük dipol momente veya hidrojen bağı yapma yeteneğine sahip olan maddelerdir.

Tablo 1.1. Bazı polimerler ve bazı çözücülerin δ değerleri

Sıvılar	**$\delta(cal/cm^3)^{0,5}$**	**Polimerler**	**$\delta(cal/cm^3)^{0,5}$**
n-hekzan	7.30	Silikon kauçuğu	7.30
Dietil eter	7.40	Poliizobütilen	7.90
n-oktan	7.55	Polietilen	7.94
Karbon tetraklorür	8.60	Polipropilen	8.10
n-propil benzen	8.65	Poli (n-bütil metakrilat)	8.80
Etil asetat	9.10	Polistiren	9.10
Benzen	9.15	Poli (metil metakrilat)	9.30
Kloroform	9.30	Poli (vinil klorür)	9.55
Metil etil keton	9.30	Poli (etilen tereftalat)	10.10
1,2-dikloretan	9.80	Anilin ve promellitik asit'in poliimidi	11.70
Tetrahidrofuran	9.90		
Aseton	10.00		
n-hekzanol	10.00		
Tetrakloretan	10.40		
Dimetil asetamid	11.10		
Dimetil formamid	12.10		
Etanol	12.70		
Metanol	14.50		
Su	23.20		

Bu veriler arasında belli bir ilişki vardır. Örneğin, δ = 7-8 arasında değerlere sahip olan polimerler δ = 12-14 arasında değerlere sahip sıvılarda çözünmezler, aynı zamanda δ = 10-12 arasında olan polimerler de δ = 6-8 arasında değerleri olan sıvılarda çözünmezler. Bu nedenle çözücüler δ değerinin ortasında değerlere sahip olan sıvılar arasında aranmalıdır (Basan 2001).

1.2.3.2. Polimerin mol kütlesi

Bir polimerin çözünme yeteneği, herhangi bir polimer homolog serisinde polimerin mol kütlesi arttıkça azalır. Bir serinin küçük moleküllü üyeleri verilen bir sıvıda sınırsız bir şekilde çözünürken, yüksek moleküllü olanlar sadece sınırlı olarak şişer. Bu tüm zincir uzunluğu boyunca ortaya çıkan etkileşme enerjisinin büyüklüğünden ve kimyasal bağlar ile birbirlerine bağlanmış zincir birimlerinin sınırlı hareketliliğinden ileri gelir. Polimer homologlarının farklı çözünme yeteneği onların fraksiyonlarına ayrılmasında kullanılır (Basan 2001).

1.2.3.3. Polimerin zincir esnekliği

Bir polimerin çözünme mekanizması zincirlerin birbirlerinden ayrılıp onların içine çözücü moleküllerinin difüzlenmesinden ibarettir. Her iki proses de zincir esnekliğine bağlıdır. Eğer zincirler esnekse, onlar birimlerin veya parçaların sahip oldukları grupların ard arda yer değiştirmesiyle kısmen hareket edebilir. Sonra, iki zincirin tüm uzunlukları boyunca aynı zamanda ayrılması için enerji harcanmasına gerek yoktur. Komşu zincirlerin küçük bir kısmının birbirinden ayrılması yeterlidir. Bu, zincir birimleri ile çözücü moleküllerinin arasındaki yüzey enerjisinin yerini tutan az miktarda enerji ister. Bu nedenle, kural olarak apolar olan esnek zincirli polimerler genellikle apolar sıvılar ile karışabilir.

Sert zincirler kısmi hareket yapamazlar ve bu yüzden iki sert zincirin birbirinden ayrılması büyük miktarda enerji gerektirir. Olağan sıcaklıklarda, birimlerin çözücü molekülleri ile etkileşme enerjisi zincirleri tamamen ayırmak için gereken enerjiden daha yüksek değildir. Polar grupların varlığından dolayı zincir sertliğine sahip olan amorf doğrusal polimerler kuvvetli polar sıvılarda kolayca şişer, fakat bir kural olarak olağan sıcaklıklarda onların içinde çözünmez. Çok sert

polimerleri çözmek için, polimer ve çözücü arasında çok kuvvetli etkileşim olmalıdır (Basan 2001).

1.2.3.4. Makromoleküllerin istiflenme yoğunluğu

Etkileşme enerjisi moleküller arası uzaklığa bağlı olduğu için polimer moleküllerinin seyrek istiflenmesi daha zayıf zincirler arası etkileşmeye ve daha iyi çözünürlüğe neden olur (Basan 2001).

1.2.3.5. Zincirin kimyasal yapısındaki heterojenlikler

Bir çok polimerin kimyasal bileşimi onların hazırlanma koşullarına bağlı olarak birbirlerinden farklıdır. Örneğin, selüloz asetat'ın farklı örnekleri farklı asetillenme derecesine sahip olabilir, selüloz nitrat'ın farklı örnekleri farklı nitrolama derecesine sahip olabilir. Böyle polimerlerin çözünürlükleri birbirinden farklıdır. Çünkü onların zincirlerinde farklı miktarda asetat ve nitro grupları bulunmaktadır (Basan 2001).

1.2.3.6. Polimerlerin faz hali

Kristalin polimerleri çözmek için onların kristal örgülerinin bozulması gerekir ve bu büyük bir enerji gerektirir. Bu nedenle, bir kural olarak oda sıcaklığında kristalin polimerler, benzer polaritelere sahip olan sıvılarda bile çözünemez. Örneğin, 20 $^{\circ}$C'de polietilen n-hekzanda sınırlı bir şekilde şişer, fakat biraz ısıtılırsa çözünür. İzotaktik kristalin polistiren ataktik polistiren için uygun olan çözücülerde oda sıcaklığında çözünmeyecektir (Basan 2001).

1.2.3.7. Ağ yapının varlığı ve yoğunluğu

Zincirler arasında az sayıda çapraz bağın bulunması bile onların birbirlerinden ayrılmasını ve çözeltiye geçmesini engeller. Bir polimeri çözünmez hale getirmek için, her iki zincir arasında en az bir bağın oluşturulması gerekir. Ortama eklenen çapraz bağlayıcı miktarının artırılmasıyla, yapıdaki çapraz bağ yoğunluğu artacağından; önemli miktarda çapraz bağlayıcı eklenmesiyle polimerin herhangi bir çözücüdeki çözünürlüğü engellenebilir.

Eğer polimerdeki çapraz bağ miktarı nispeten az ise, yani ağ yapı zincirleri oldukça uzunsa, küçük moleküllü maddelerin molekülleri polimer fazının içine girebilir. Bu, komşu zincirlerin kısmen birbirlerinden uzaklaşması ile birlikte olur ve bu yüzden çapraz bağlı polimerler sınırlı miktarda şişebilir. Çapraz bağ yoğunluğunun artması polimerin küçük moleküllü sıvıları absorplama yeteneğini azaltır. Ağ yapı zincirleri çok kısa olduğu zaman, polimer şişme özelliğini tamamen kaybeder. Örneğin, doğrusal yapıya sahip olan resolik fenol formaldehit polimeri, aseton ve alkolde kolayca çözünür. Bir ağ yapı ürünü olan resitol bu çözücülerde sadece sınırlı bir şekilde şişer ve resit bu çözücülerde hiç şişmez (Basan 2001).

1.2.3.8. Sıcaklık

Bir polimerin çözünürlüğü, sıcaklık artmasıyla artırılabilir veya azaltılabilir. Aynı sıcaklık aralığında, bazı polimerler ısıtıldığı zaman daha iyi çözünürken; diğerleri aynı çözücüde soğutulduğu zaman daha iyi çözünebilir (Basan 2001).

1.3.Polimer Jeller

"Jel" terimi sıvı ortamlarda şişebilme özelliğine sahip, çapraz bağlı bir polimerik örgüden oluşan yapıları tanımlamak için kullanılır (Arı 1998). Jeller, günlük yaşamımızla yakın ilişkidedir. Jellerle ilgili çalışmaların son zamanlarda popüler olmasının sebebi jellerin her yerde bulunmasıdır. Örneğin; vücudumuzda, kornea ve bağlantı dokuları jellerdir. Karın ve akciğer gibi iç bölgelerin yüzeyi jellerle kaplıdır (Küçük 2002).

Jeller ile ilgili çalışmaların artmasıyla beraber çeşitli jel tanımları öne sürülmüştür. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

Jeller genel olarak iki bileşenden oluşurlar, bunlardan biri katı, diğeri sıvıdır. Jel sıvısı çok fazla olan katı veya katıya yakın bir sistemdir. Jelatin jeli (% 95-99) su ve yalnız (%5-1) jelatin içerdiği halde bulunduğu şekli korumaktadır. Agar - agar jeline gelince % 99.8 su ve yalnız % 0.2 solidi olan bir polisakkarittir (Tüzün 1992).

Polimer jeller su veya uygun çözücüde şişmiş ağ yapılardır.

Bir jel, ısısal hareketlerle bozulmayacak kadar sağlam bağlarla bağlı ağ-yapılı polimer-çözücü sistemidir (Basan 2001).

Jel; sıvı ortamda şişebilen çapraz bağlı polimer örgüsüdür. Özellikleri bu iki bileşenin (polimer ile ortam) etkileşimine bağlıdır. Sıvı, polimer örgüsünün büzüşmesini önler, polimer ağ ise boşluklarında sıvıyı tutarak şişer (Arı 1998).

1.3.1. Jel oluşum mekanizması

Bir jelin polimerik örgüsü çeşitli şekillerde hazırlanabilir. Tipik kondenzasyon polimerizasyonunda, bifonksiyonel birimler, çapraz bağ olarak adlandırılan polifonksiyonel birimlere sahip uzun zincir molekülleri oluşturacak şekilde bir araya gelirler. Polimerik örgü, bifonksiyonel birimlerden oluşan çapraz bağlayıcı polimer zincirleriyle de meydana gelebilir.

Jeller, çapraz bağlanma gücüne bağlı olarak iki grupta incelenebilirler:

Kimyasal bağlı jeller: Stiren, akrilamid jeller, bu tür jellere örnek olarak verilebilir. Kovalent bağlarla çapraz bağlı jeller veya hidrojen bağları ile oluşturulan jeller bu grupta yer almaktadır.

Fiziksel kuvvetlerle bağlı jeller: Örneğin jöle. Bunlar van der waals kuvvetleri, hidrofobik ve iyonik etkileşimler gibi zayıf kuvvetlerle bir arada tutulan jellerdir.

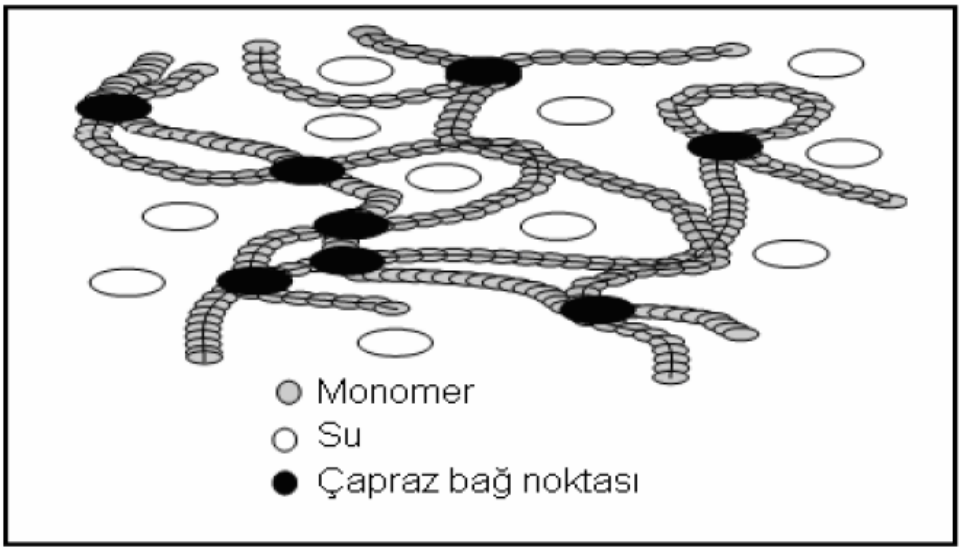
Jel oluşum mekanizmasını anlayabilmek için tipik bir sentetik polimer, örneğin polistiren moleküllerini içeren bir çözelti düşünelim. Her bir polistiren molekülü yaklaşık 10.000 adet stiren monomerinin kimyasal bağlanması sonucu oluşmuştur ve bu uzun zincir çoğunlukla bir yumak görünümündedir. Seyreltik bir çözeltide her bir yumak birbirinden bağımsızdır, ancak polimer konsantrasyonunun artışıyla yumaklar bir araya gelmeye başlarlar. Sonuçta polimer molekülleri arasındaki sürtünme nedeniyle çözelti viskoz hale gelir. Daha yüksek konsantrasyonlarda ise yumaklar birbiri içine girerek spagetti görünümü alırlar. Bu tür sistem, hem viskoz çözelti ve hem de elastik katı özelliği gösterdiği için “viskoelastik sistem” olarak adlandırılır. Belli koşullarda çözeltideki polimer zincirleri kalıcı bağlarla birbirine bağlanarak büyük, çapraz bağlanmış zincirleri oluştururlar. Bu durum viskoelastik çözeltiden jel

haline geçiştir. Jel örneği polimer çözeltisi gibi akmaz, daha çok katı özelliği gösterir. Bazı jellerde moleküler örgü, bir çift elektronun iki atom tarafından paylaşıldığı klasik kovalent bağlarla bir arada tutulurken, diğerlerinde yakın atomların birbirini çekmesi sonucu oluşan Van der Waals kuvvetleri, iki molekülün bir hidrojen atomu tarafından bir arada tutulduğu hidrojen bağları ve moleküldeki suyu sevmeyen kısımların bir araya gelmesiyle oluşan hidrofobik etkileşimler ile bir arada tutulurlar. Daha kompleks bir oluşum, proteinler gibi biyolojik polimerlerde görülür. Örneğin jöle, jelatindeki protein üçlü heliksi sayesinde jel yapısına ulaşmaktadır (Arı 1998).

1.4. Hidrojeller

Hidrojeller ya da su içeren jeller, hidrofillik ve suda çözünmezlikle karakterize edilen polimerlerdir. Suda çözünmeyip şişebilen yani suyun büyük kısmını yapıları içerisine de alabilen, üç boyutlu polimerik şebekeler olup jelatin, ağar ve alginatlar gibi hem doğal hem de sentetik polimerleri kapsamaktadır. Suda bir denge hacmine kadar şişerler fakat şekillerini korurlar.

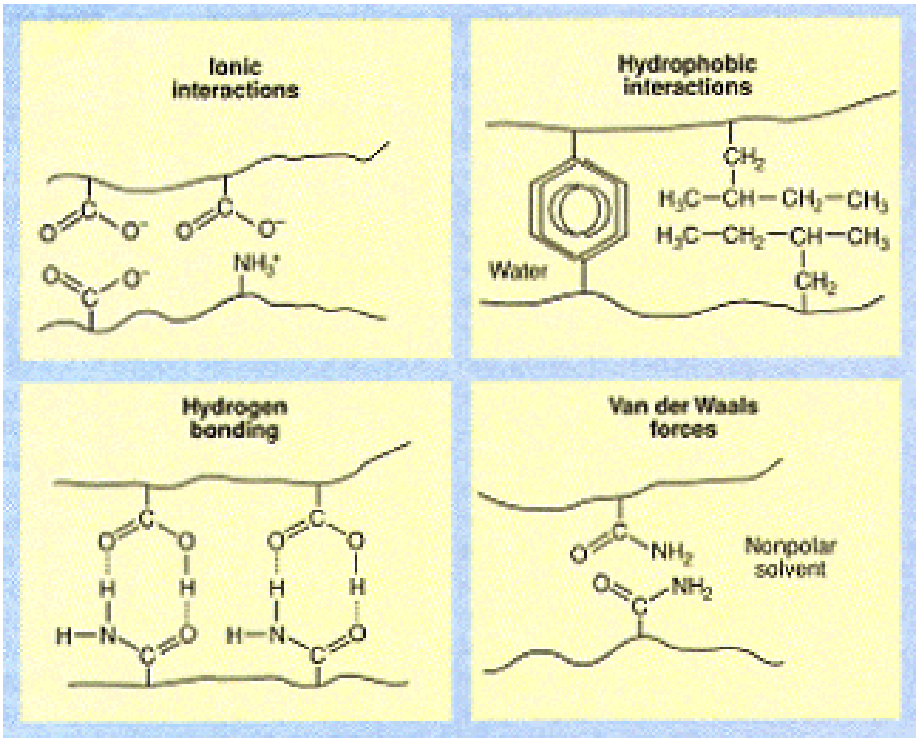
Çapraz bağlı bu yapılarda bağlar kovalent veya iyoniktir. Bu bağlardan daha zayıf olan Van der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağı ile bir arada tutulan yapılar da, çapraz bağ gibi davranarak hidrojel davranışı gösterir. Yani yarı kristalin ve gerçek anlamda çapraz bağlanmamış hidrofilik polimerler de, hidrojelleri oluşturarak, fiziksel anlamda çapraz bağlı gibi davranır ve suda çözünmezler. Hidrofillik, -OH, -COOH, $-CONH_2$, $-SO_3H$ vb. gibi grupların varlığı dolayısıyladır. Çözünmezlik ve şeklin kararlılığı ise üç boyutlu ağ yapının varlığındandır (Küçük 2002). Şekil 1.3' te bir hidrojel şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Hidrojelin şematik olarak gösterimi

Dört temel etkileşim, makromoleküllerin yapılarının ve spesifik fonksiyonlarının belirlenmesinde ve bunların yorumlanmasında, biyolojik tabiatlarında önemli bir rol oynar. Bu etkileşimler; hidrojen bağları, hidrofobik etkileşimler, Van der Waals etkileşimleri ve iyonik etkileşimlerdir. Büyüklük, sıcaklığa bağlılık ve sulu ortamda davranış tamamen bu temel etkileşimlerin miktarının farkıdır ve bu kuvvetlerin farkı çeşitli biyolojik fonksiyonların meydana çıkmasına izin verir. Polimerin faz davranışını bu kuvvetlerin nasıl belirlediğini anlamak önemlidir (Özmen 2002).

Bir hidrojeldeki dört temel etkileşim şekil 1.4’ te gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Hidrojel içindeki dört temel etkileşimin sistematik olarak gösterilmesi

Jelin faz geçişi, polimerin şişmesi ile bunu karşılayan elastik kuvvetlerin dengesinin bir sonucudur. En önemli geri tepki kuvveti etkisi, ağ yapıya iyonizasyon ile bir jel üzerine yüklenebilen aynı cins yüklü polimerler arasındaki elektrostatik etkileşimdir. Karşıt iyonlarla osmotik basınç, yayılma (büyüme) basıncına eklenir. Jelde meydana gelen tüm bu ana kuvvetler faz geçişinin anlaşılmasında önemlidir (Müftüoğlu 2001).

Van der Waals etkileşimine örnek olarak akrilamid jeli verilebilir. Kısmi hidrolize edilmiş akrilamid jel, aseton-su karışımında faz geçişi göstermektedir. Bu geçişin sebebi, polimer-polimer etkileşimi yani Van der Waals kuvvetleri nedeniyledir. Faz geçişinin yeteri kadar büyük olabilmesi ve polimer-polimer etkileşimin ortaya çıkması için suya zayıf ve polar olmayan bir çözücünün, örneğin asetonun ilavesi yeterli olmaktadır (Küçük 2002).

Hidrofobik çözünenler suya konulduğunda iki olay birlikte gözlenir. Bunlardan biri hidrofobik hidratasyondur. Burada, su molekülleri hidrofobik çözünenlerin etrafında kafes benzeri yapılar oluştururlar. Bu hidratasyonun sonucu olarak polar olmayan moleküller suda çözünür hale gelirler. Diğer olay hidrofobik etkileşim,

veya hidrofobik çözünenlerin birleşimidir. Genellikle hidrofobik etkileşimlerin şiddeti hidrofobik hidratasyonu oluşturan su moleküllerinin sayısıyla orantılıdır. Sıcaklığın yükselmesi hidrofobik çözünenlerin etrafında yapılanmış su moleküllerinin toplam sayısında azalmaya neden olur ve bu durum hidrofobik etkileşimleri artırır. Sonuç olarak, sıcaklığın artması hidrofobik etkileşimleri güçlendirir; bu da dipol-dipol, Van der Waals ve elektronik kuvvetler gibi diğer etkileşimlere oldukça terstir (Müftüoğlu 2001).

1.4.1. Hidrojellerin sınıflandırılması

Polimerik hidrojeller, hazırlama yöntemlerine, iyonik yüklerine, fiziksel yapılarına ve çapraz bağlanma durumlarına bağlı olarak sınıflandırılabilirler (Swami 2004**)**. Bu sınıflandırma şematik olarak gösterilmiş ve önemli hidrojel türlerinden bazıları alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

Hazırlama yöntemine göre

- Homopolimer hidrojeller
- Kopolimer hidrojeller
- Çoklu polimer hidrojeller
- IPN (interpenetrating networks) hidrojeller

İçerdikleri yan gruplara göre

- Nötral (iyonik olmayan) hidrojeller
- İyonik hidrojeller

  Anyonik (negatif yüklü) hidrojeller

  Katyonik (pozitif yüklü) hidrojeller

  Poliamfolitik hidrojeller

Fiziksel yapılarına göre

- Amorf hidrojeller
- Yarı-kristalin hidrojeller
- Hidrojen bağlı hidrojeller
- Fiziksel hidrojeller
- Kimyasal hidrojeller

Kaynaklarına göre

- Doğal hidrojeller
- Sentetik hidrojeller

Su içeriklerine göre

- Düşük şişme dereceli (20-50 %) hidrojeller
- Orta şişme dereceli (50-90 %) hidrojeller
- Yüksek şişme dereceli (90-99,5 %) hidrojeller
- Süper-absorbant (>99,5 %) hidrojeller

Kimyasal kararlılıklarına göre

- Biobozunur hidrojeller
- Biobozunmayan hidrojeller

1.4.1.1. Homopolimer hidrojeller

Tek tür hidrofilik monomerlerden oluşturulan hidrojellerdir. Poli (2-hidroksi etil metakrilat), poli (gliseril metakrilat)' lar bu tür jellere verilebilecek örneklerdendir**.** Yumuşak kontak lens yapımı ve kontrollü ilaç salım aparatları gibi önemli uygulama alanları vardır (Asıl 2006).

1.1.4.2. Kopolimer hidrojeller

İki komonomerin çapraz bağlanmasıyla hazırlanırlar; ancak monomerlerden en az bir tanesi hidrofilik yapıda olmalıdır. Kopolimerik hidrojellerde çapraz bağlanma kovalent ya da iyonik olarak gerçekleşebilir (Asıl 2006). En çok araştırılan kopolimerik hidrojellere poli (2-hidroksi etil metakrilat-akrilik asit) ve poli (2-hidroksi etil metakrilat-metil metakrilat) örnek olarak verilebilir (Swami 2004).

1.1.4.3. Çoklu polimer hidrojeller

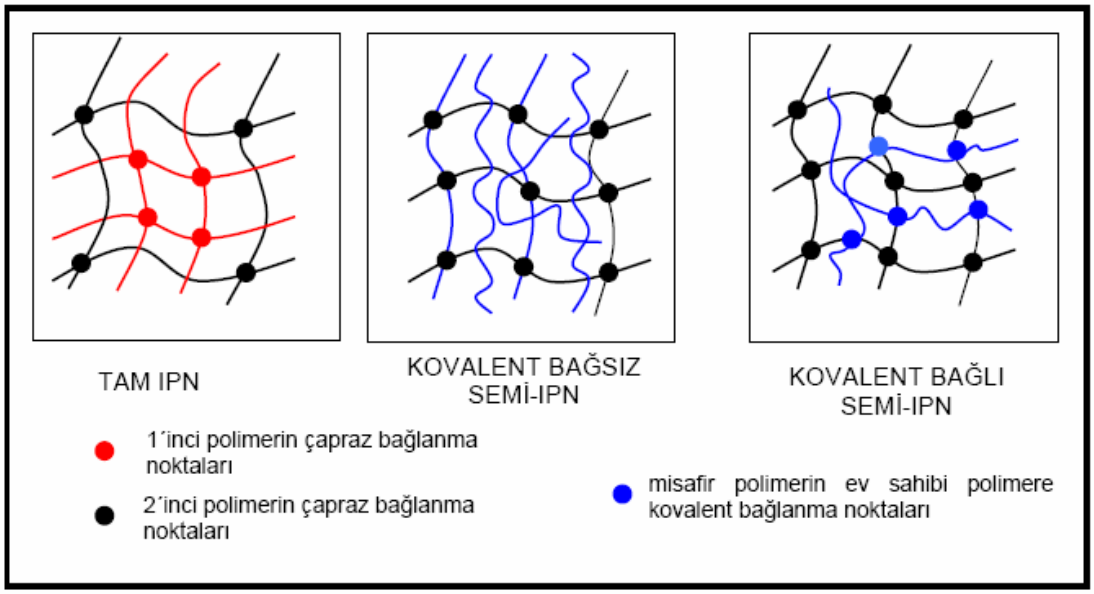
Üç veya daha fazla monomerden oluşan yapılardır. Bu tür hidrojellere hem pH' a hem de sıcaklığa duyarlı olan poli (N-izopropilakrilamid-akrilik asit-2-hidroksi etil metakrilat) [poli(NIPAAm-AA-HEMA)], poli(sodyum akrilat-N-izopropil akrilamid-

akrilamid) [poli(SA-NIPAAm-AAm)] hidrojelleri örnek olarak verilebilir (Swami 2004).

1.1.4.4. IPN veya iç içe geçmiş polimerik ağ yapılı hidrojeller

Çapraz bağlı iki polimerik örgünün fiziksel olarak birleşmesi ile oluşur. Bu yapılardan en az biri diğerinin varlığında sentezlenir ve/veya çapraz bağlanır. Örneğin; polioksietilen ve poliakrilik asitten hazırlanan IPN yapılar mevcuttur. Öncelikle çapraz bağlı polioksietilen hazırlanır, daha sonra bu örgü akrilik asit, başlatıcı ve çapraz bağlayıcı içeren karışımda şişirilirken polimerizasyon da gerçekleşir (Asıl 2006). IPN' yi oluşturan iki polimerik örgünün birbiriyle uyumlu olması IPN oluşumunu artırır, faz oluşumunu engeller.

Ayrıca IPN' yi oluşturan polimerler arasında kimyasal bağ bulunmadığından her iki bileşen de kendi özelliklerini korur ve aranan şartlara sahip bir yapı oluşumunu sağlayabilir (Swami 2004). Yarı-IPN tipi hidrojellerde polimerlerden biri çapraz bağ içerirken diğeri içermez (Lorenzo ve ark. 2005). Bu tür hidrojellerde misafir polimer zincirleri, ev sahibi ağ yapının içinde kovalent bağlı ya da bağsız olarak yer alabilirler. Kitosan ve türevleri gibi polisakkaritler, polivinilalkol (PVA), poli (etilen oksit) (PEO), polimetakrilik asit (PMA), poli (N-izopropil akrilamid) (PNIPAAm) gibi polimerlerden IPN ve yarı-IPN hidrojelleri elde edilebilir (Asıl 2006). Şekil 1.5' de IPN hidrojel türleri görülmektedir.



Şekil 1.5. IPN türü hidrojellerin türleri

1.4.1.5. İyonik olmayan hidrojeller

Yapılarında yüklü gruplar bulundurmayan homopolimerik veya kopolimerik nötr hidrojellerdir. Çözücünün osmotik basıncı yan zincirin gerilme enerjisi ile dengelendiği zaman denge değerine kadar şişerler. Bu hidrojellerin şişme ve büzüşme durumları genellikle çevre sıcaklığındaki değişimin bir sonucu olarak meydana gelir (Ostroha ve ark. 2004).

1.4.1.6. İyonik hidrojeller

Polielektrolitler olarak da bilinen iyonik hidrojeller, iyonik yüklü monomerlerden hazırlanırlar. Bu hidrojeller monomer yüklerinin pozitif ya da negatif olmasına göre katyonik ve anyonik hidrojeller olarak adlandırılırlar. Ayrıca pozitif ve negatif yüklerin her ikisinin de bir arada bulunduğu poliamfolitik hidrojeller mevcuttur (Sutani ve ark. 2002, English ve ark. 1998). İyonik hidrojellerin ana zincirinde yüklü grupların bulunması uyarılara duyarlılıkları artırır (Asıl 2006). Bu iyonik ağ yapılar hem asidik hem de bazik gruplar içerirler. Uygun pH ve iyonik şiddetteki sulu ortamda bu gruplar iyonize olur ve jelde sabit yükler oluşur. Bu yüklerin elektrostatik itme kuvvetlerinin sonucunda ağ yapı içerisine daha çok çözücü girebilir ve şişme dereceleri artar.

1.4.1.7. Anyonik hidrojeller

Anyonik hidrojeller, genellikle negatif yüklü asidik veya anyonik monomerlerin homopolimerlerinden ya da bir anyonik monomerle bir nötr monomerin kopolimerinden oluşur. Bunlar dış ortam pH sına bağlı olarak denge şişme davranışlarında ani değişimler gösterirler (Asıl 2006).

Ortam pH sı iyonlaşacak grubun pK_a değerinin üzerinde olduğu zaman, polimer üzerindeki yüklü grupların sayısı artar ve buna bağlı olarak zincirler arasındaki elektrostatik itme kuvvetleri güçlenir. Bu da ağ yapının hidrofilik özeliğini artırarak yüksek değerlere ulaşılmasını sağlar (Peppas ve ark. 2004). Anyonik hidrojellerin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılan monomerlere; akrilik asit, krotonik asit, itakonik asit örnek olarak verilebilir (Aras 1998).

1.4.1.8. Katyonik hidrojeller

Katyonik hidrojeller, pozitif yüklü bazik veya katyonik monomerlerin homopolimerlerinden ya da bir katyonik monomerle bir nötr monomerin kopolimerinden oluşurlar. Katyonik hidrojellerin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılan monomerlerden bazıları aminoetil metakrilat ve türevleri ile 4-vinil piridindir (Swami 2004). Bu hidrojellerde ortam pH sı iyonlaşacak grubun pK_b değerinin altında olduğu zaman iyonlaşırlar ve zincirler arasındaki elektrostatik itme kuvveti artar. Bu da ağ yapının artan hidrofilik özelliğine sahip olmasına ve yüksek şişme değerlerine neden olur (Peppas ve ark. 2004).

1.4.2. Hidrojellerin eldesi ve yapısı

Hidrojellerin hazırlanması kimyasal başlatıcılı serbest radikal polimerleşmesi ile veya yüksek enerjili ışınlar ile başlatılan radikalik zincir polimerleşmesi ile gerçekleştirilir (Asıl 2006).

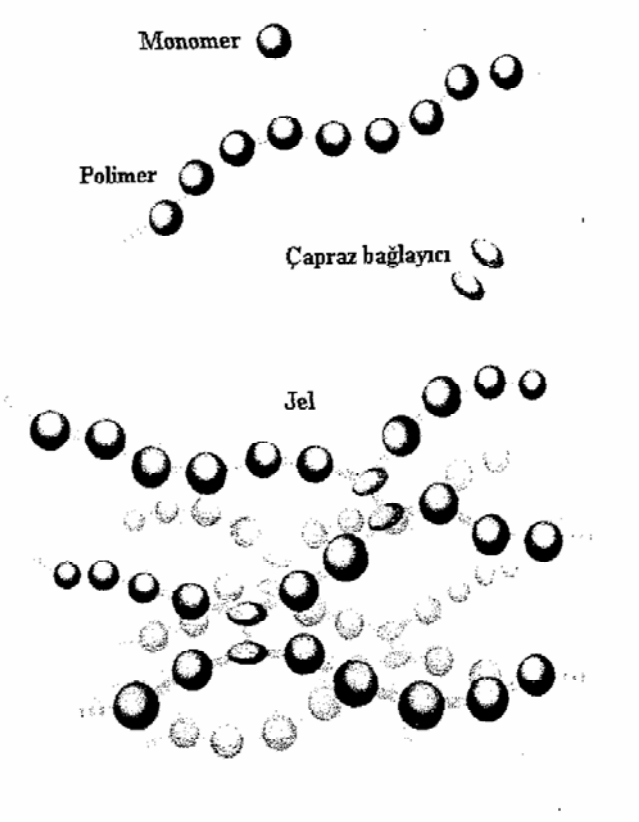
1.4.2.1. Kimyasal çapraz bağlanma ile hidrojel hazırlanması

Kimyasal çapraz bağlanma ile hidrojel hazırlanması, doğrusal veya dallanmış homopolimer yada kopolimerin az miktarda çapraz bağlayıcı kullanarak doğrudan çapraz bağlanması ile gerçekleştirilir (Asıl 2006).

Kimyasal çapraz bağlanma en az iki fonksiyonel gruba sahip küçük molekül ağırlıklı bir çapraz bağlayıcının kullanımını gerektirir. Çapraz bağlayıcı, sahip olduğu iki veya daha fazla fonksiyonel grupla, iki yüksek molekül ağırlıklı zinciri birbirine bağlar (Emik 2003).

En çok kullanılan çapraz bağlayıcılara gluteraldehit, formaldehit, maleik asit, etilenglikol dimetakrilat ve N,N-metilen bisakrilamid örnek olarak verilebilir (Champ ve ark. 2000, Wang ve ark. 2001).

Kimyasal çapraz bağlanma ile hidrojel hazırlanmasında başlatıcı olarak genellikle radikalik başlatıcılar kullanılır. En çok kullanılan radikalik başlatıcılar, amonyum persülfat, potasyum persülfat ile benzoil peroksit gibi peroksitlerdir (Champ ve ark. 2000). Şekil 1.6'da çapraz bağlanma şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Çapraz bağlanmanın şematik gösterimi

1.4.2.2. Yüksek enerjili ışınlar ile hidrojel hazırlanması

Yüksek enerjili ışınlar ile başlatılan radikalik zincir polimerleşmesinde, uyarılma α, β ve γ ışınları, elektronlar, protonlar ve nötronlar gibi hızlandırılmış taneciklerin etkisi ile yapılır ve özellikleri itibari ile fotokimyasal polimerleşmeye benzer. Bu yöntemin üstünlükleri, polimerleşmenin katı, sıvı, gaz fazlarından istenilen fazlarda yapılabilmesi ve başka yöntemlerle polimerleştirilmesi zor olan monomerlerin kolayca polimerleştirilmesidir (Özgündüz 2006).

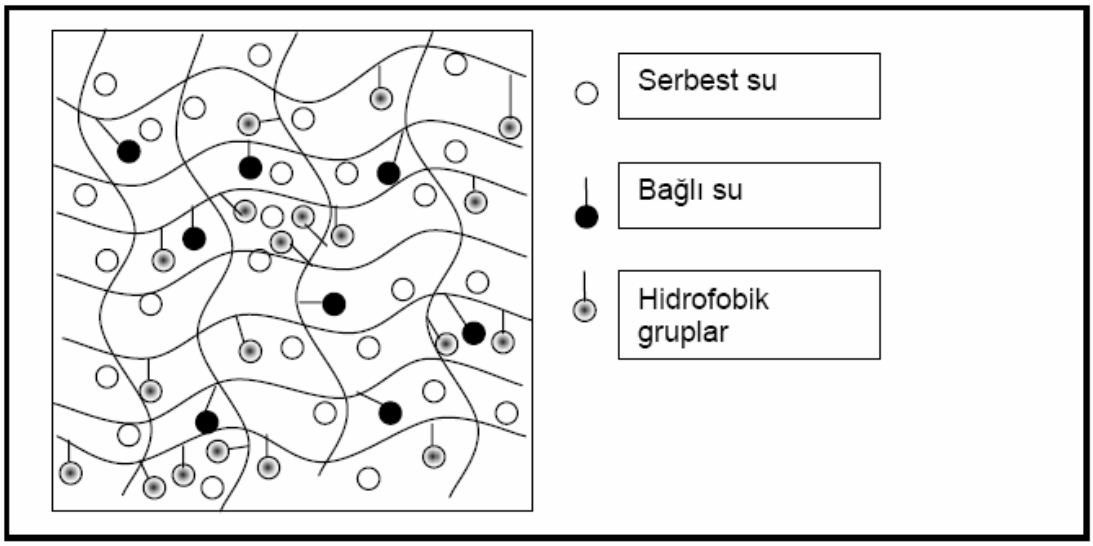
1.4.3. Hidrojellerde suyun konumu

Çapraz bağlı homo veya kopolimerik yapıların hidrojel olarak tanımlanabilmesi için -OH, -NH_2, -COOH, -COOR vb. gibi polar ve hidrofilik (su sever) fonksiyonel grupların bulunması gerekir.

Bu gruplar su ile etkileşerek hidrojen bağları oluştururlar. Bağlı duruma geçen su moleküllerinin varlığı ile hidrofilik gruplar çevresinde kütlesel bir büyüme olur ve jel şişmeye başlar. Hidrofilik grupların fazlalığı ile şişme arasında nicel bir ilişki vardır (Asıl 2006).

Şişmiş bir jelde üç tür suyun varlığından söz edilir.

- Bağlı su: Polimerin polar grupları ile bağ yapabilen sudur. Bu bağ türünün hidrojen bağı olduğu ileri sürülmektedir.
- Ara yüzey suyu: Polimerin hidrofobik (su sevmeyen) grupları çevresinde toplanan sudur. Hidrojen bağı gibi bir bağdan söz edilememekle beraber hidrofobik gruplar çevresinde hidrojen bağından daha zayıf bir bağlanma olabileceği öne sürülmektedir.
- Serbest ya da kütle su: Çapraz bağlı polimerlerin gözeneklerini dolduran bu su, normal su gibi davranır. Yani bir bağ söz konusu olmadan fiziksel olarak su molekülleri gözenekler içinde yer alırlar, polimerle etkileşmezler (Asıl 2006). Şekil 1.7' de bir jelde bulunabilecek su türleri görülmektedir.



Şekil 1.7. Şişmiş bir hidrojeldeki suyun bulunma çeşitleri

1.4.4. Hidrojellerin şişmesi

Şişme, küçük moleküllü bir sıvının, polimer yapısında bir değişme ile birlikte bir polimer tarafından soğurulması prosesidir. Yapısal boşluklara girerken çözücü molekülleri polimerin süper moleküler yapılarının arasını zorla açar. Buna yapılar arası şişme denir. Eğer onlar yapıların içine girerse, makromoleküller zorla açılır. Buna da yapı içi şişme denir. Çözücü içeriği artarken, polimer yapısı yavaş yavaş birbirinden ayrılır ve çözeltide, içinde çözücü bulunan oynak bir polimerik ağ yapı meydana gelir (Basan 2001).

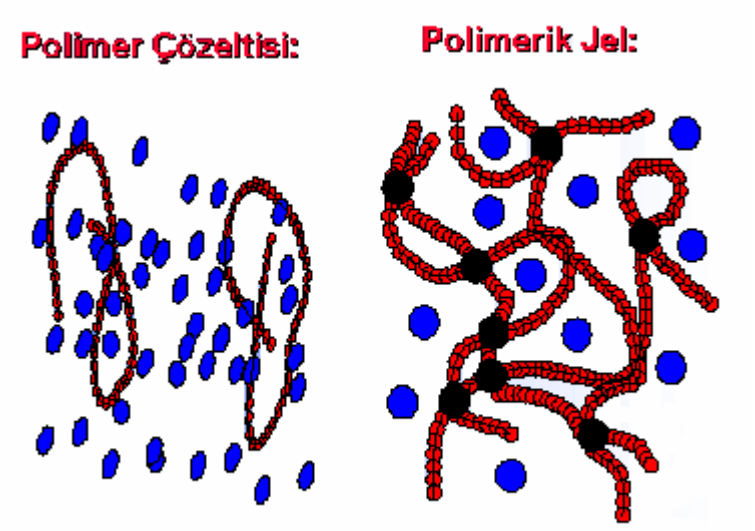
Şişme, polimer moleküllerinin çok büyük olmasından dolayı bir yönlü karışmadır. Küçük moleküllü bir sıvının polimerdeki çözeltisi olan şişmiş polimer, saf haldeki küçük moleküllü sıvı tabakası ile belli bir süre için birlikte bulunur. Polimer zincirleri yeterli miktarda birbirlerinden uzaklaştıkları zaman, çözücü molekülleri içine yavaş yavaş difüzlenmeye başlarlar. Orada daha derişik bir çözelti tabakası ile daha seyreltik bir çözelti tabakası bir arada bulunur. Biraz daha zaman geçtikten sonra, bu iki tabakanın derişimleri eşit olur ve tek fazlı homojen bir sisteme dönüşür.

Şişme sınırlı veya sınırsız olabilir. Sınırsız şişme kendiliğinden çözeltiye dönüşen şişmedir. Bir polimerin çözünmesinde görülen temel özellik karışan bileşen moleküllerinin büyüklük bakımından binlerce kez farklı olması ve bu nedenle farklı

hareketliliğe sahip olmasıdır. Küçük moleküllü sıvının hareketliliği çok yüksek ve makromoleküllerin hareketliliği ise tersine çok azdır. Bu yüzden, büyük moleküller bir çözücü fazına geçmek için fazla zamana sahip değildir. Bir polimer çözünmeden önce çok miktarda sıvıyı absorplar yani şişer (Basan 2001).

Sınırlı şişme küçük moleküllü sıvılar ile polimerlerin etkileşmesidir. Sıvıların polimer tarafından tutulma aşaması sınırlandığı zaman, polimerin kendiliğinden çözünmesi mümkün olamaz yani polimer zincirleri birbirlerinden tam olarak ayrılamazlar. Sonuçta, birisi küçük moleküllü sıvının polimerdeki çözeltisi ve eğer polimer tam olarak çözünebilen bir polimer değilse, diğeri saf haldeki küçük moleküllü sıvı veya polimerin küçük moleküllü sıvıdaki çözeltisi olmak üzere iki faz bir arada bulunur. Bu fazlar açıkça gözle görülebilir bir ara yüzey ile ayrılmıştır ve dengededir.

Eğer polimer kimyasal bağlardan meydana gelen bir ağ yapıya sahipse, polimerin ısısal bozunma sıcaklığının altındaki herhangi bir sıcaklıkta zincirler birbirinden ayrılamaz. Bu nedenle, çapraz bağlı polimerler doğal olarak çözünmez ama jel oluşturarak şişebilir (Basan 2001). Bir polimerin şişmesi ve çözünmesi arasındaki fark şekil 1.8' de gösterilmektedir.



Şekil 1.8. Sulu ortamda farklı davranış gösteren polimer zincirlerinin çözelti ve hidrojel oluşturması.

1.4.5. Hidrojellerin kullanım alanları

Hidrojeller; iyonik şiddet, elektromagnetik ışıma, pH ve sıcaklık gibi dış çevre koşullarındaki değişimlere, hacimlerini yüzlerce kat artırıp azaltarak kontrollü bir şekilde cevap verebilmeleri sayesinde biyomedikal, farmasötik, teknoloji ve tarımsal alanda geniş kullanım alanları bulmuştur (Nichifor 2003).

Hidrojeller; endüstriyel açıdan son derece önemli olan seyraltik sulu çözeltilerden büyük moleküllerin ayrılmasında kullanılmaktadırlar. Cussler ve ark., şişmiş bir jelin suyu emerken, su içerisinde çözünmüş maddeleri dışarıda tuttuğunu göstermişlerdir. Ayrıca hidrojeller, jel elektroforezi ve jel kromatografisi gibi moleküler ayırma işlemlerinde 'moleküler elek' görevini üstlenirler (Asıl 2006).

Hidrojeller yüksek oranda su tutmaları nedeniyle peçete, çocuk bezi gibi temizlik ürünlerinin yapımında, gübrelerin ve tarım ilaçlarının denetimli salınımlarında (İsmail 1999), endüstride yağ ve petrol içerikli sulu atıklardan saflaştırma ve suyun uzaklaştırılması işlemlerinde, hastane atıklarından suda çözünebilen ya da hidrojele uyumlu olarak soğurabileceği bazı fizyolojik (kan ve üre vb.) sıvıların soğurulmasında da kullanılırlar (Asıl 2006).

Akrilamid/metakrilik asit hidrojelleri sulu çözeltilerden bazı ağır metal iyonlarının adsorbsiyonunda kullanılmaktadır (Demirkol 2006). Ayrıca bu hidrojeller ve Akrilamid/itakonik asit hidrojelleri sulu çözeltideki bazı bazik boyaların adsorbsiyonunda ve tekstil endüstrisinin önemli çevresel problemlerinden biri olan çözme işleminde de kullanılırlar (Demirkol 2006).

Hidrojellerin biyomalzeme olarak ilk uygulaması kontak lensler olmuştur. Mekanik kararlılığının iyi olması, yüksek oksijen geçirgenliği ve uygun refraktif indise sahip oluşları kontak lenslerde kullanımlarının temel nedenleridir. Poli (2-hidroksietil metakrilat) ve kopolimerleri bu alanda çok yaygın kullanılan polimerlerdir. Tedavi amaçlı göz damlaları da hidrojellerin diğer bir kullanım alanıdır (Asıl 2006).

Hidrojellerin, dikiş işlemleri için kaplama uygulamaları, elektrot, elektroforez hücre ve yapay organ yapımı, kornea, doğuştan gelen kemik hastalıklarının tedavisi

gibi kullanım alanları vardır. Ayrıca homojen materyal olarak; kulak zarı tıkacı, sentetik kıkırdak, yemek borusu yapımı gibi biyotıp alanlarında, biyomühendislik, eczacılık, veterinerlik, gıda endüstrisi ve denetimli salım teknolojisinde kullanılırlar (Mahdavinia ve ark. 2004, Qui ve Park 2001). Hidrojellerin sensör olarak kullanımına dayalı yapılan çeşitli çalışmalar da vardır. Sheppard ve ark. biyoaktif tabakası duyarlı bir hidrojel olan ve iletkenlik ölçümüne dayalı olarak çalışan bir biyosensör geliştirmiştir (Yılmaztürk 1998).

Günümüzde biyoteknolojik alanda üzerinde en çok durulan konulardan biri hidrojellerin enzim ve hücre immobilizasyonunda taşıyıcı olarak kullanılmasıdır. Fiziksel enzim tutuklama yöntemi için kullanılan çapraz bağlı poliakrilamid bunlar için iyi bir örnektir. Hidrojellerin kontrollü ilaç salımı, özellikle de insülin salımı için taşıyıcı olarak kullanıldığı çeşitli uygulamalar da geliştirilmiştir (Atillasoy 2006).

Hidrojellerin diğer bir kullanım alanı ise yanık tedavisidir. Hidrojeller, esnek olmaları, dayanıklılıkları, antijenik olmamaları, su buharı ve metabolitleri geçirebilmelerinden dolayı bu sahada kullanım alanı bulmuşlardır. O_2 ve su bazlı ilaç geçişine izin veren poliüretan membran destekli hidrojeller yapışkan olmayan yanık sargıları olarak kullanılmaktadırlar (Asıl 2006).

Membranların iç yüzeylerinin hidrojellerle modifiye edilerek membran geçirgenliği kontrol edilebilir. Sıcaklığa cevap verebilen jel aşılamak yüzeye sıcaklığa duyarlılık açısından pek çok özellik kazandırır. Örnek olarak; kritik bir sıcaklığın altında hidrofilik, üzerinde hidrofobik yüzey elde edilir. Bu tür yüzeyler steroidlerin ve ilaçların ayırım işlemleri sırasında HPLC kolonunda da kullanılabilir (Atillasoy 2006).

Hidrojellerin tüm bu alanlarda kullanımları gün geçtikçe artmaktadır.

1.5. Uyarı-cevap Polimerleri

Çeşitli uygulamalarda kullanılacak polimerlerin, gerçek sistemlere benzer olarak dış ortamdan gelebilecek uyarılara cevap verebilecek özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu amaçla hazırlanan ve dış ortamdan gelen herhangi bir uyarı

sonucunda yapısal değişime uğrayarak tersinir fiziksel veya kimyasal özellikler gösteren polimerlere 'uyarı-cevap polimerleri ya da akıllı polimerler' adı verilmektedir (Demirkol 2006). Bu tersinir değişim, belli bir uyarıcı aralığında yavaş yavaş olabildiği gibi, ani/keskin bir değişim şeklinde gözlenebilmektedir. Bu olay termodinamik olarak hacim faz geçişi 'volume phase transition' (VPT) olarak adlandırılmaktadır (Emik 2003).

Polimerlerden üretilen uyarı-cevap hidrojelleri uyarı türüne göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilirler.

- Sıcaklık-duyarlı hidrojeller
- pH-duyarlı hidrojeller
- Elektrik alana duyarlı hidrojeller
- Magnetik alana duyarlı hidrojeller
- Çözücü duyarlı hidrojeller

Bazı hidrojeller birden fazla uyarıcıya karşı duyarlı olabilirler. Örneğin, sıcaklık-pH duyarlı hidrojeller, iyon-pH duyarlı hidrojeller gibi.

1.5.1. Sıcaklık-duyarlı hidrojeller

Uyarıcının sıcaklık olduğu sıcaklığa duyarlı hidrojeller durumunda hacim faz geçişinin gerçekleştiği sıcaklık, hacim faz geçişi sıcaklığı 'volume phase transition temperature' (VPTT) veya alt kritik çözelti sıcaklığı 'lower critical solution temperature' (LCST) olarak adlandırılmaktadır (Emik 2003).

Sıcaklık-duyarlı hidrojellerin genel özelliği; metil, etil ve propil gibi hidrofobik grupların varlığıdır (Qui ve Park 2001).

Sıcaklığa duyarlı hidrojellerin hazırlanmasında en çok kullanılan ve üzerinde inceleme yapılan monomer N-izopropilakrilamid' (NIPAm) dir. NIPA için –CONH- grupları hidrofilik ve $–CH(CH_3)_2$ grupları hidrofobiktir. Sulu ortamlarda hızlı bir şekilde serbest radikal polimerizasyonuna uğrayarak yüksek molekül ağırlıklı polimerler oluşturur. Poli (NIPAm)' ın LCST değeri 32-34 °C arasında değişiklik göstermektedir (Zhang ve ark. 2000).

pNIPAm hidrojellerinin hazırlanmasında, jelin suda çözünmesini önlemek için, N,N'-metilenbisakrilamid (NMBA), glioksalbisdiallilasetal (GLY) gibi bir çapraz bağlayıcı kullanılmaktadır (Xue ve ark. 2001). Bünyesinde bulunan hidrofobik gruplardan dolayı, pNIPAm jelinin düşük olan su absorbsiyonunu artırmak için, hidrojel; NIPAm ve çapraz bağlayıcı monomerleri ile birlikte, akrilamid (AAm), akrilik asit (AA) gibi suda çözünen üçüncü bir monomer varlığında hazırlanabilir (Huglin ve ark 1997). Kullanılan üçüncü monomerin miktarı oluşan polimerin hazırlanma sıcaklığında suda çözünmeyeceği ve sıcaklığa duyarlılığın fazla azalmayacağı oranda olmalıdır (Pelton 2000). Pek çok başka çalışmada ise üçüncü monomer olarak, metakrilik asit (MAA), 2-akrilamido 2-metilpropansülfonikasit (AMPS), sodyum metakrilat (MAANa) (Xue ve ark. 2001), N-hidroksimetilakrilamid (NHMAAm) (Yıldız ve ark. 2001) kullanılmıştır.

Sıcaklık-duyarlı polimerlerin önemli ve yararlı bir özelliği; LCST sıcaklıklarının monomer kompozisyonunun değişmesiyle kontrol edilebilmesidir. Hidrofobik bir monomer katılması LCST' nin azalmasına neden olurken (Xue ve Hamley 2002), hidrofilik bir monomer LCST sıcaklığını yükseltir (Huglin ve ark. 1997). Polimerde yüklü grupların bulunması da LCST üzerinde önemli etkiye sahiptir (Yılmaztürk 1998).

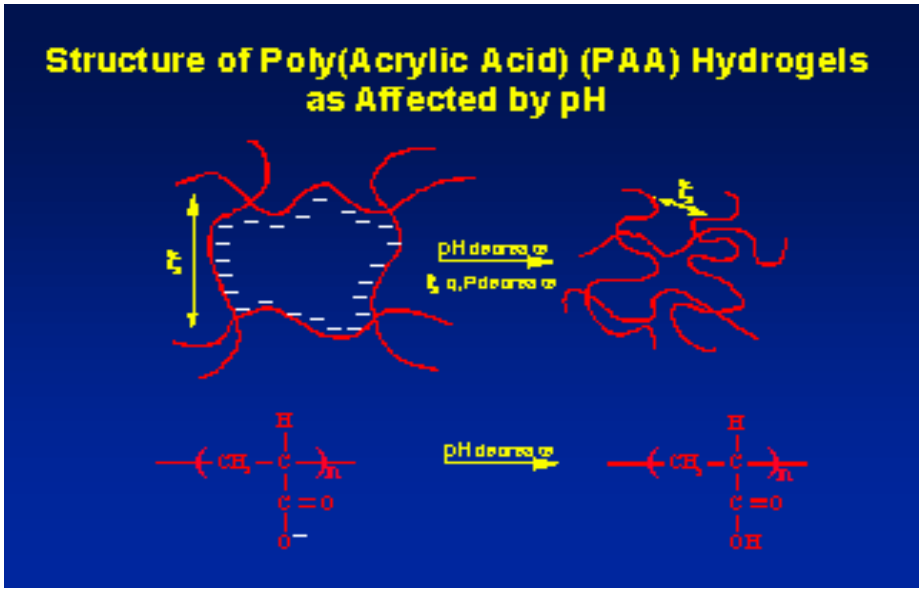
Pek çok uyarı-cevap jeli için su tutma/bırakma olayı difüzyon kontrollüdür. Bu sebeple sıcaklığa duyarlı hidrojellerde, jelin boyutu cevap hızını etkilemektedir. Çoğu çapraz bağlı polimer için 10^{-7}-10^{-6} cm^2/s değerinde olan difüzyon katsayısını 100 katı kadar artırmak kolay olmadığından, jel boyutunun küçültülmesi çabuk cevap için en iyi çözümdür (Emik 2003). Sıcaklığa duyarlı hidrojellerde jelin mikrojel olması durumunda sıcaklığın yükseltilmesiyle, büzülme saniyeler içinde gerçekleşirken, makrojel olması durumunda bu süre daha uzundur. Sürenin uzaması ise sıcaklıkla büzülen dış yüzeyin iç taraftan gelen suyun geçişini engellemesinden kaynaklanmaktadır (Zhang ve Zhuo 2002).

NIPAAm' ın polimerizasyonunda, başlatıcı olarak amonyumpersülfat (APS) veya potasyumpersülfat (KPS) gibi redoks tipi başlatıcılar ve hızlandırıcı olarak da N,N,N',N'-tetrametiletilendiamin (TEMED) veya potasyumbisülfit (KBS)

kullanılmaktadır. Yapısının NIPAAm' a benzemesi ve suda çözünürlüğü nedeniyle N,N'-metilenbisakrilamid en çok kullanılan çapraz bağlayıcıdır.

1.5.2. pH-duyarlı hidrojeller

Yapılarında karboksilik asit ve primer aminler gibi pendant asidik, bazik gruplar veya sülfonik asit ve kuaterner amonyum tuzları gibi kuvvetli asit ve bazlar içeren jeller ortam pH' ındaki değişime bağlı olarak iyonlaşır ve jel özellikleri değişir. Bu tür yapılara 'pH-duyarlı hidrojel' denilmektedir. İlk çalışılan pH-duyarlı hidrojeller akrilik asit ve metakrilik asit temelli hidrojellerdir (Arı 1998). Asidik grup içeren hidrojellerde ortam pH' ının artmasıyla, bazik grup içerenlerde ise ortam pH' ının azalmasıyla birlikte denge şişme değeri artar. Örneğin; -COOH grupları bazik ortamda $–COO^-$ iyonlarına dönüşür. Ortamdaki $–COO^-$ iyonları birbirlerini iter ve jelde şişme gözlenir (Küçük 2002). Şekil 1.9' da poli(akrilik asit) hidrojelinin şişme ve büzülme davranışı görülmektedir.

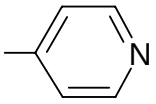


Şekil 1.9. Poli(akrilik asit) hidrojelinin pH' a bağlı olarak şişmesi ve büzülmesi

pH-duyarlı hidrojeller, polimer zincirinde veya çapraz bağlarda bir veya daha fazla sayıda iyonik veya iyonlaşabilen monomer içeren yapılardır. Kopolimerizasyon nötral hidrofilik veya hidrofobik monomerlerle sağlanır. Pek çok uyarı-cevap jelinde olduğu gibi pH-duyarlı jellerde de hidrofobik monomerler yapıya mekanik dayanım

kazandırmak amacıyla eklenir (Xue ve Hamley 2002). Monomer türü ve çapraz bağlayıcı ajan türü ve miktarı değiştirilerek istenen özelliklerde hidrojeller sentezlenebilir. Tablo 1.2'de pH-duyarlı jellerin hazırlanmasında kullanılan monomerlerin bazıları verilmiştir.

Tablo 1.2. pH-duyarlı hidrojellerin hazırlanmasında kullanılan bazı monomerler

Tür	Monomer	pH-duyarlı grup
Asidik	Akrilik asit	-COOH
	Metakrilik asit	-COOH
	Sodyum stiren sülfonat	$-SO_3^-Na^+$
	Sülfoksietil metakrilat	$-SO_3H$
Bazik	Aminoetil metakrilat	$-NH_2$
	N,N-dimetilaminoetil metakrilat	$-N(CH_3)_2$
	N,N-dietilaminoetil metakrilat	$-N(CH_2CH_3)_2$
	Vinil piridin	
	Vinilbenzil trimetilamonyum klorit	$-N(CH_3)_3^+Cl^-$

pH-duyarlı hidrojellerin denge şişme dereceleri; iyonik monomerlerin yüklerine, iyonlaşabilen grupların pK_a değerlerine, iyonlaşma derecesine, ağ yapıdaki iyonlaşan grupların konsantrasyonlarına, çapraz bağ yoğunluğuna, polimer zincirlerinin yapısına, pH' a, iyonik şiddete ve şişme ortamına bağlıdır (Yılmaztürk 1998).

Hidrojeldeki iyonlaşabilen monomer konsantrasyonu jelin şişmesinde ve pH-duyarlılığında önemli etkiye sahiptir. Bu etki; iyonlaşabilen monomerlerin nötral monomerlere göre daha hidrofilik olmasıyla açıklanır. İyonlaşabilen monomerler asidik gruplara sahipse, pH' ın artmasıyla iyonlaşma artmakta; bazik gruplara sahipse pH' ın artmasıyla birlikte iyonizasyon azalmaktadır. İyonlaşma derecesi arttığında ise jeldeki şişme artmaktadır.

Bir jelde çapraz bağ miktarı arttıkça, jel yapısı daha gergin ve sert olmaktadır. Bu da şişmeyi sınırlayıcı etki yapmaktadır. Diğer uyarı-cevap jellerinde olduğu gibi, çapraz bağ yoğunluğu ne kadar fazla ise şişme o kadar az olmaktadır. İyonik şiddetin artması jel içindeki osmotik basıncın azalmasına neden olur, bunun sonucunda da jelin denge şişme değeri azalır (Yıldız 2001).

1.5.3. Sıcaklık ve pH-duyarlı hidrojeller

Bu tür hidrojellerde hem sıcaklığa duyarlı hem de pH' a duyarlı işlevsel gruplar birlikte bulunurlar. pH' a duyarlılığı polimer yapısındaki –COOH, -NH_2 grupları sağlarken; sıcaklığa duyarlılık ise PNIPA örneğinde olduğu gibi hidrofilik ve hidrofobik gruplar tarafından sağlanır. Hidrojel uygun ortama geldiğinde, her grup kendi işlevini gerçekleştirir.

N-izopropil akrilamid yanında farklı monomerler kullanılarak yapılan çalışmalar da vardır.

Poli(vinil eter-akrilik asit) hidrojeli bu tür jellere örnek olarak verilebilir. Burada vinil eter monomeri sıcaklığa duyarlılığı sağlarken; akrilik asit monomeri de pH'a duyarlılığı sağlamaktadır (Gümüşderelioğlu ve Topal 2005).

1.5.4. İyon ve pH-duyarlı hidrojeller

İyon ve pH değişimine cevap veren hidrojellerle ilgili çalışmalar artarak sürmektedir. Bu tür hidrojellerde yine en çok akrilamid monomerlerine rastlamaktayız. pH'a duyarlılığı sağlamak için ise yine asidik veya bazik gruplar içeren monomerler kullanılmaktadır.

Chitosan-*g*-poli(Akrilik asit-Akrilamid) hidrojelinin iyon ve pH duyarlılığına sahip olduğu bulunmuştur. Jelin pH ve iyon duyarlılığı farklı deneylerde incelenmiştir.

Jel; iyon duyarlılığını incelemek için aynı konsantrasyonlarda NaCl ve $CaCl_2$ çözeltilerine konulduğunda, jelin bu çözeltilerde farklı şişme oranlarına sahip olduğu bulunmuştur. Bu farklılığın nedeni Na^+ ve Ca^{+2} iyonlarının valans değerleridir. Polimer ağ yapısı içinde karboksilat grupları katyonlarla etkileşmektedir. Deney

sonucunda $NaCl_{şişme} > CaCl_{2şişme}$ olduğu gözlenmiştir. 2 değerlikli kalsiyum iyonları varlığında, çapraz bağ yoğunluğu artar. Çünkü karboksilat grupları ile Ca^{+2} etkileştiğinde 'iyonik çapraz bağlanma' noktaları meydana gelir. Bu da jelin şişmesini azaltıcı rol oynar.

Jel; NaCl çözeltisine konulduğunda zamanla şişerken; buradan alınıp $CaCl_2$ çözeltisine konulduğunda büzülmektedir. Büzülmüş jel yeniden NaCl çözeltisine alındığında Na^+ iyonları Ca^{+2} iyonlarıyla yerdeğiştirir ve jel tekrar şişmeye başlar. Bu deney jelin iyon değiştirici sistemlerde kullanılabileceğinin göstergesidir.

Bu jelin pH duyarlılığı pH: 1.0-13.0 arasındaki değişen ortamlarda incelenmiştir (NaOH ve HCl çözeltileri kullanılmıştır) ve pH değişiklikleriyle birlikte hidrojeldeki değişimler gözlenmiştir. Bu deneyde iki keskin şişme davranışı gözlenmiştir. Asidik şartlardaki NH_3^+ itmeleri ve bazik ortamdaki COO^- itmelerinin olduğu bölgeler keskin değerleri oluşturur. pH'a duyarlılık –COOH ve $–CONH_2$ grupları nedeniyledir (Mahdavinia ve ark. 2004).

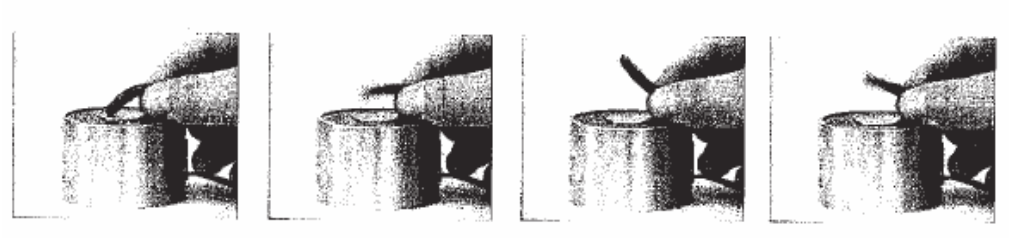
1.5.5. Magnetik alan duyarlı hidrojeller

Magnetik alana duyarlı jellere özel olarak *ferrojel* denilmektedir. Ferrojel hazırlanırken diğer jellerdeki gibi özel bir monomer seçimi yoktur. Burada önemli olan jelin çaprazbağlı yapılar içermesidir. Sonradan katılan dolgu maddeleriyle jele magnetik özellik verilmektedir. Genellikle dolgu maddesi olarak çözelti ortamında elde edilen Fe_3O_4 katılır.

Polivinilalkol jeli yaygın olarak çalışılan ferrojeldir. Bu jel; hazırlanan polimer çözeltisiyle Fe_3O_4 çözeltisinin karıştırılıp daha sonra kurutulmasıyla hazırlanır (Varga ve ark. 2005).

Burada katılan doldu maddesi ve çapraz bağ yoğunluğu jelin özelliklerini belirler.

Şekil 1.10' da poli(vinilalkol) hidrojelinin magnetik alandan etkilenmesi görülmektedir.



Şekil 1.10. Poli(vinilalkol) hidrojelinin magnetik alandan etkilenmesi

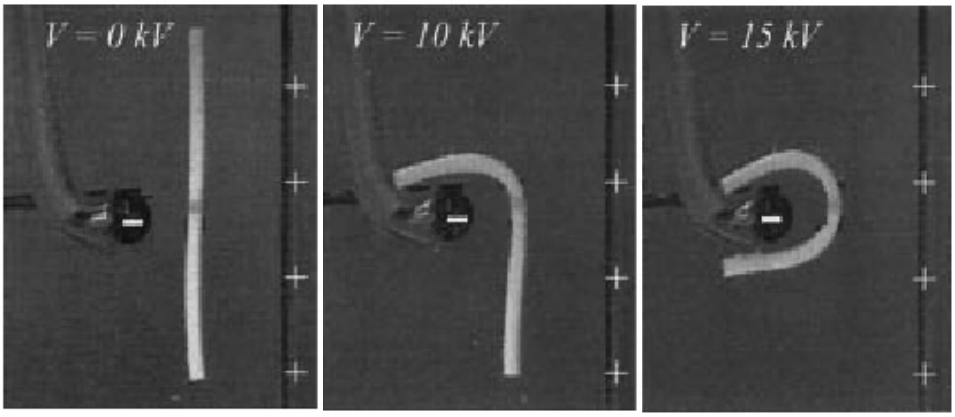
1.5.6. Elektrik alan duyarlı hidrojeller

Magnetik alana duyarlı hidrojellerde olduğu gibi; elektrik alana duyarlı hidrojellerde de özel bir monomer seçimi yoktur. Ancak elektrik alan duyarlı hidrojeller genellikle IPN hidrojeli şeklinde hazırlanır (Kim ve ark. 2002).

Bir jelin elektrik alana duyarlılığını incelemek için şu yollar izlenir.

- Jel sentezlenir, gerekli koşullarda kurutulur.
- Kurutulan jel; bir elektrolit içinde (ör: NaCl) şişirilir, belli boyutlarda kesilir.
- Petri kabına belli derişimlerde NaCl çözeltisi konur. Bu çözeltiye aralarında belli bir mesafe bulunan bir çift elektrot yerleştirilir. Jel bu iki elektrodun tam ortasına konulur. Petri kabının altına beyaz bir kâğıt konulur ve jelin yeri işaretlenir. Elektrik alan uygulandığında jelin anoda veya katoda gittiği belirlenir ve sapma açısı ölçülür.
- Kitosan/poli(allilamin) IPN jeli
- Kitosan/poli(akrilonitril) semi-IPN jeli
- Poli(PVA)/poli(akrilik asit) IPN jelleri üzerinde yaygın olarak çalışılan elektrik alana duyarlı jellerdir.

Şekil 1.11' de bir hidrojelin farklı voltajlardaki davranışları görülmektedir.



Şekil 1.11. Hidrojelin farklı elektrik alanlardaki davranışı

1.5.7. Çözücü duyarlı hidrojeller

Günümüzde yaygın olmamakla beraber; çözücü bileşiminin değiştirilmesi ile faz geçişine uğrayan hidrojeller sentezlenmektedir. Jelin çözücüye olan duyarlılığı jel yapısındaki gruplar ile çözücü molekülleri arasındaki benzerliğe dayanmaktadır. Grupların benzer olması jelin çözücüye duyarlılığını artırmaktadır. Örneğin; poli (NIPAAm-HEMA) jellerinin, etil alkol-su çözelti sisteminde etil alkol seçimlilikleri sudan daha fazladır. Çözelti bileşiminde alkol konsantrasyonunun artmasıyla alkole olan seçimlilik daha belirgin hale gelmektedir. Jel bileşiminde HEMA miktarının artması da yine alkol seçimliliğini artırmaktadır (Küçük 2002).

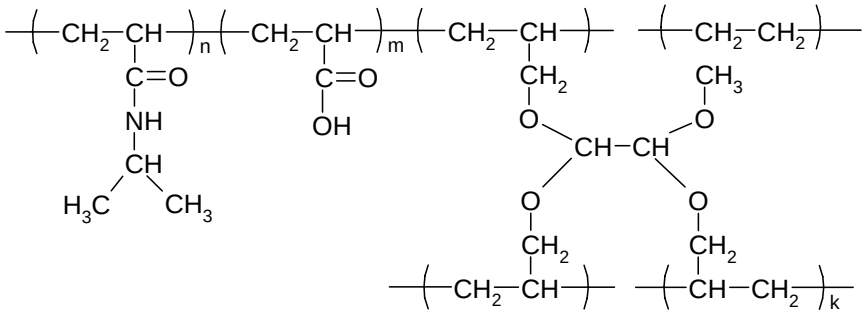
Bir başka örnekte ise; NIPAAm ve akrilamid jellerinin dimetilsülfoksit-su karışımı içerisindeki şişme davranışları verilebilir. Dimetilsülfoksit konsantrasyonu %33' ün altında olduğunda NIPAAm jel az miktarda şişmekte, konsantrasyon %33' ün üzerine çıktığında ise yapıda aniden büzülme görülmektedir (Arı 1998). Kısmi hidrolize poliakrilamid, akrilamid/akrilik asit kopolimeri gibi iyonik gruplar içeren hidrojellerin ortamdaki aseton konsantrasyonunun % 0 dan % 100 e değişimi ile hacim faz değişimine uğradığı görülmüştür (Küçük 2002).

Bunun yanında çözücü bileşimine duyarlı bir jel aynı zamanda gerekli şartları sağlıyorsa diğer uyarıcılara (pH, sıcaklık, iyon vb.) karşı da duyarlı olabilmektedir.

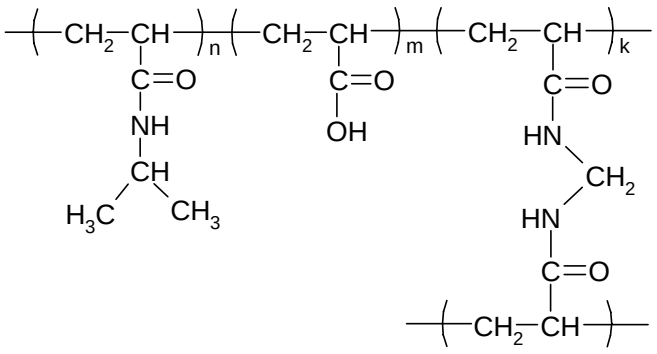
2. KAYNAK TARAMASI

Zhang ve Zhuo (2000), poli N-izopropilakrilamid) p(NIPAAm) hidrojelini, çapraz bağlayıcı N,N'-metilen bisakrilamid (BIS) varlığında, gözenekleştirici madde polietilenglikol 400 (PEG 400) kullanarak sentezlemişlerdir. Başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak amonyum persülfat (APS)-tetrametiletilendiamin (TEMED), çözücü olarak saf su kullanmışlardır. Sentezlenen jellerin sıcaklığa duyarlılığını ve büzülme hızlarını incelemişlerdir. Ayrıca PEG 400 miktarının şişme oranına ve hızına etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada gözenekleştirici madde kullanımının ve miktarının artmasının, hidrojellerin şişme oranını ve büzülme hızını artırdığını bulmuşlardır. Deneylerde NIPAAm 100 mg olarak kullanıldığında 25 °C' de PEG miktarı 0,2 ml olduğunda şişme oranını 22, PEG miktarı 0,8 ml' ye kadar artırıldığında şişme oranını 82 bulmuşlardır.

Xue ve ark. (2001), poli [N-izopropilakrilamid (NIPAAm)-akrilik asit (AA)] hidrojelini, çapraz bağlayıcılar N,N'-metilen bisakrilamid (BIS) ve tetra (alliloksietan) (GLY) varlığında deiyonize su-dioksan karışımı içinde sentezlemişlerdir. Başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak APS-TEMED kullanmışlardır. Bu çalışmada her iki çapraz bağlayıcı ile sentezlenen jellerin şişme özellikleri kıyaslanmıştır. GLY ile sentezlenen jelin, BIS ile sentezlenen jelden daha yüksek şişme değerlerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Öyle ki; GLY kullanıldığında şişme oranının BIS kullanıldığına göre 33 kat arttığı belirlenmiştir. Kullanılan diğer monomerlerin sabit miktarlarına karşı, GLY ve BIS miktarlarının değişiminin şişme oranında etkili olduğunu bulmuşlardır. Sentezlenen tüm jellerin sıcaklığa duyarlı olduklarını tespit etmişlerdir. GLY ile sentezlenen jelin yapısı aşağıdaki gibidir.



BIS ile sentezlenen jelin yapısı ise aşağıdaki gibidir.



Huglin ve ark. (1997), poli (N-izopropilakrilamid-akrilik asit) p(NIPAAm-AA), poli (N-izopropilakrilamid-metakrilik asit) p(NIPAAm-MAA) ve poli (N-izopropilakrilamid-2-metil-2-akrilamidopropan sülfonik asit) p(NIPAAm-AMPS) hidrojellerini sentezlemişlerdir. Tüm deneylerde çapraz bağlayıcı olarak BIS, başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak APS-TEMED ve çözücü olarak da saf su kullanmışlardır. Sentezlenen hidrojellerin sıcaklıkla birlikte şişme-büzülme davranışlarını incelemişlerdir. Kullanılan asidik monomerlerin asitlik kuvveti arttıkça, jellerin şişme değerlerinin de arttığını tespit etmişlerdir. Poli (NIPAAm-AMPS) jelinin en yüksek şişme değerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Deneyde kullanılan AMPS yüzdesi NIPAAm' a göre %1 iken jelin sıcaklığa duyarlı olduğunu, bu miktarların %5 ve %10' a çıkarılması halinde ise sıcaklığa duyarlılığın kaybolduğunu belirlemişlerdir.

Lee ve Chiu (2002), N-izopropilakrilamid, trimetil (akrilamidopropil) amonyum iyodür (TMAAI), akrilik asit, N'N'-dimetil (akrilamidopropil) amonyum propansülfonat (DMAAPS), poli(etilenglikol)metileter akrilat (PEGMEA) ve farklı molekül ağırlığına sahip polietilenglikol (PEG) kullanarak çeşitli kopolimer hidrojeller sentezlemişlerdir. Başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak APS-TEMED, çapraz bağlayıcı olarak BIS, çözücü olarak da saf su kullanmışlardır. Sentezlenen bu jellerin 25 °C' deki denge şişme değerlerini bulmuşlardır. Ayrıca nötralleştirilmiş AA ve TMAAI kullanıldığında yüksek şişme değerlerine ulaşmışlardır. Kullanılan PEG miktarının artmasıyla birlikte kopolimer hidrojellerin denge şişme değerlerinde

artış görmüşlerdir. En yüksek şişme değerlerinin p(NIPAAm-TMAAI) ve p(NIPAAm-AA) jellerinde olduğunu tespit etmişlerdir.

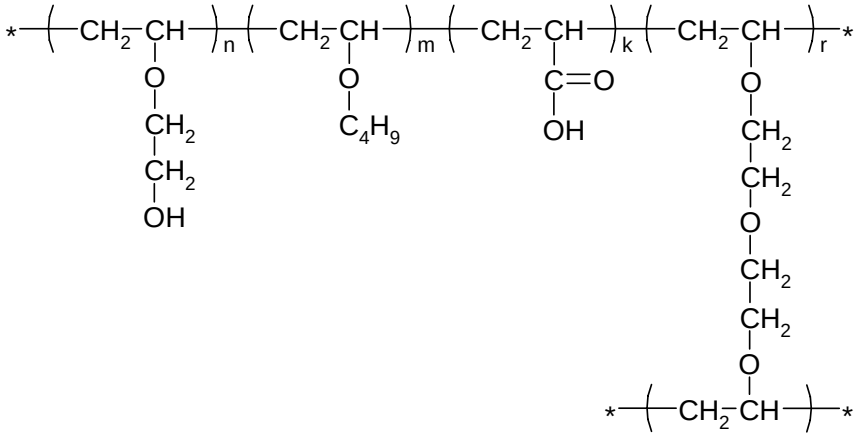
Xue ve ark. (2002), N-izopropilakrilamid (NIPAAm) ve di-n-propilakrilamid (DPAAm) monomerlerini kullanarak p(NIPAAm-DPAAm) hidrojelini sentezlemişlerdir. Çapraz bağlayıcı olarak BIS, başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak APS-TEMED, çözücü olarak da su-dioksan karışımını kullanmışlardır. Sentezi iki basamakta yapmışlardır. İlk basamakta ortam sıcaklığı 20 °C, ikinci basamakta -28 °C' dir. Aynı jeli, ayrıca 30 °C' de sentezlemişlerdir. Her iki yöntemle sentezlenen hidrojellerin şişme özelliklerini kıyaslamışlardır. Deneylerin iki veya tek basamakta yapılmasının şişme oranlarına etkisi çok fazla olmamasına rağmen, büzülme deneylerine etkisinin oldukça fazla olduğunu bulmuşlardır. Tek kademede (30 °C) yapılan deneylerde büzülme 1600 dk' da tamamlanırken, iki basamakta yapılan deneylerde büzülme 4 dk gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır. Sentezlenen jellerin SEM fotoğrafları çekilmiştir. İki basamakta yapılan jellerin gözenekli yapılar içerdiği görülürken, tek basamakta yapılan jellerin daha düz yüzeylere sahip olduğu görülmüştür. Gözenekli yapıların şişme ve büzülmenin hızını artırdığı tespit edilmiştir.

Champ ve ark. (2000), poli (N-izopropilakrilamid-akrilik asit) jelini saf su içinde sentezlemişlerdir. Çapraz bağlayıcı olarak BIS, başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak APS-TEMED kullanmışlardır. Akrilik asidin yanı sıra komonomer olarak akrilamid (AAm), 2-metil-2-akrilamidopropan sülfonik asit (AMPS), metakrilik asit (MAA) ve 2-hidroksietil metakrilat (HEMA) kullanmışlardır. Sentezlenen bu hidrojellerin; dekstran mavisi ve poli(etilenoksit) (PEO) sulu çözeltileri içinde denge şişme değerlerini 25 °C' de bulmuşlardır. Hidrojellerin bu çözeltiler içerisindeki absorbsiyon kapasitelerini UV-visible spektroskopi cihazıyla incelemişlerdir.

Xue ve ark. (2001), poli (N-izopropilakrilamid-akrilik asit) hidrojelini, BIS varlığında saf su içinde; GLY varlığında su-dioksan karışımı içinde sentezlemişlerdir. Başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak APS-TEMED kullanmışlardır. Bu hidrojellerin dekstran mavisi ve polietilenglikol çözeltileri içindeki ağyapı ve şişme parametrelerini tespit etmişlerdir. GLY varlığında sentezlenen jelin BIS varlığında

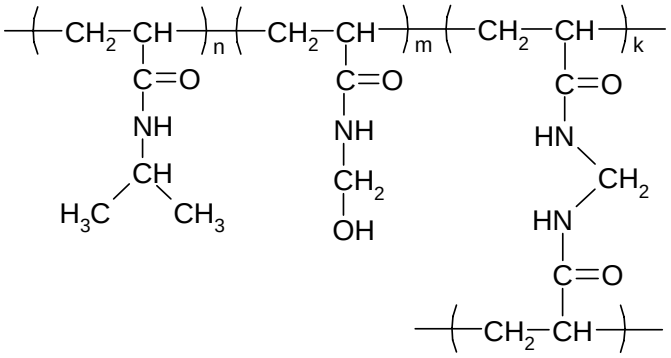
sentezlenen jele oranla 15 katı kadar daha yüksek şişme değerlerine sahip olduğunu bulmuşlardır.

Gümüşderelioğlu ve Topal (2005), poli (etilenglikol vinil eter-bütil vinil eter-akrilik asit) jelini çapraz bağlayıcı dietilenglikol divinil eter varlığında sentezlemişlerdir. Başlatıcı olarak γ-ışını kullanmışlardır. Şişme ölçümlerini LCST değerinin altında ve üstünde olmak üzere iki farklı sıcaklıkta incelemişlerdir. Sentezlenen jelin pH ve sıcaklık duyarlılığını araştırmışlar; jelin hem sıcaklık hem de pH duyarlı olduğunu bulmuşlardır. pH arttıkça şişme oranının arttığını tespit etmişlerdir. Jelin molekül yapısı IR, termal davranışı DSC ve TGA, yüzey yapısı ise SEM yöntemleriyle belirlenmiştir. Hidrojellerin SEM görüntüleri jel yüzeyinden ve enine kesitinden çekilmiştir. Enine kesit şeklinde alınan SEM fotoğraflarında yüzey kesitinden alınan görüntülere oranla daha çok gözenekli yapılar görülmüştür. Ayrıca AA içeren ve içermeyen jellerin SEM görüntüleri kıyaslanmıştır. AA içeren yapıların daha gevşek olduğu görülmüştür. Sentezlenen jelin yapısı aşağıdaki gibidir.



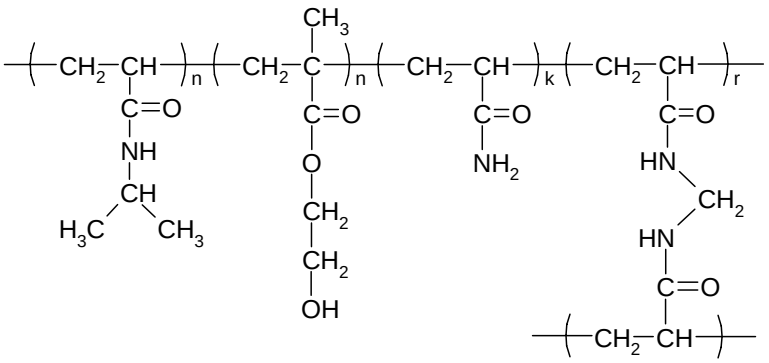
Yıldız ve ark. (2001), N-izopropilakrilamid (NIPAAm) ve N-hidroksimetilakrilamid (NHMAAm) monomerlerini kullanarak poli (NIPAAm-NHMAAm) hidrojelini, polietilenglikol 4000 (PEG 4000) varlığında sentezlemişlerdir. Çapraz bağlayıcı olarak BIS, başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak potasyum persülfat (KPS)-TEMED ve çözücü olarak da destile su kullanmışlardır. Sentezlenen hidrojellerin belirlenmiş sıcaklıklardaki (4 °C-70 °C) şişme ve büzülme davranışlarını incelemişlerdir. NIPAAm/NHMAAm oranı, PEG 4000 miktarı ve

çapraz bağlayıcı miktarının şişme özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Jel içinde NHMAAm miktarı arttıkça, jelin şişme miktarlarında ve büzülme hızında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. PEG 4000 konsantrasyonunun artmasının jelin şişme kapasitesini azalttığı görülmüştür. Ayrıca PEG 4000' ün şişme üzerine etkisinin jeldeki diğer monomerlerin mol yüzdelerine bağlı olduğu da gözlenmiştir. Sentezlenen jel yapısı aşağıdaki gibidir.



İsmail (1999), akrilik asit (AA) ve 2-hidroksimetilakrilamid (HEMA) monomerlerini kullanarak çeşitli hidrojeller sentezlemiştir. Hidrojel sentezinde BIS ve etilenglikoldimetakrilat (EDGM) olmak üzere iki çapraz bağlayıcı kullanmıştır. Başlatıcı olarak potasyum persülfat (KPS), çözücü olarak siklohekzan kullanmıştır. Akrilik asiti, KOH ve NaOH ile nötralize ederek kullanmıştır. Ayrıca bazı jellerin sentezlerinde farklı molekül ağırlıklı PEG (200, 1000, 4000) kullanmıştır. Sentezlenen jellerin su absorblama kapasiteleri ve su absorblama hızları BIS ve EGDM kullanımına, PEG' in molekül ağırlığına, NaOH ve KOH kullanılmasına bağlı olarak araştırılmıştır. EGDM ile çapraz bağlanan jellerin BIS ile çapraz bağlanarak sentezlenen jellerden 3 kat yüksek şişme değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Polietilenglikol' ün molekül ağırlığının artmasıyla jelin şişme miktarının da arttığı görülmüştür. Akrilik asidin NaOH ile nötralizasyonu sonucunda elde edilen jellerin su absorblama kapasitelerinin KOH ile nötralizasyonu sonucunda elde edilen jellere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Polimerizasyon ortamına PEG 4000, PEG 200 ve EGDM ilavesi ile elde edilen polimerlerin SEM mikrografikleri alınmıştır. EGDM esaslı polimerin yüzeyinde pürüzlülük görülmemesine karşın, PEG içeren polimerlerin yüzeylerinde pürüzlü yapıların olduğu görülmüştür.

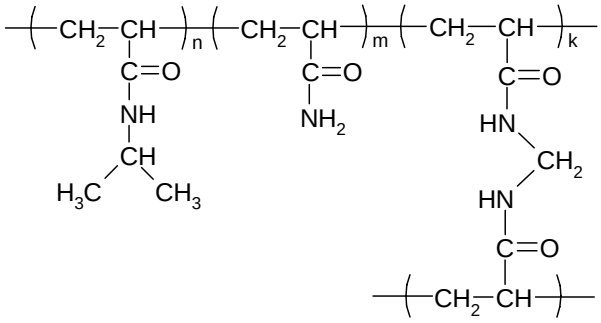
Küçük (2002), N-izopropilakrilamid (NIPAAm), akrilik asit (AA), 2-hidroksietilmetakrilat (HEMA) ve akrilamid (AAm) monomerlerini kullanarak poli (NIPAAm-HEMA), poli (NIPAAm-AA), poli (NIPAAm-HEMA-AAm) jellerini sentezlemiştir. Sentezlenen tüm jellerde farklı molekül ağırlıklı polietilenglikol (200, 1500, 4000) kullanmıştır. Çapraz bağlayıcı olarak BIS, başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak KPS-TEMED, çözücü olarak da su-metanol karışımı kullanmıştır. Sentezlenen jellerin su içindeki, N,N-dimetilasetamid ve etil alkol-su karışımları içindeki şişme ve büzülme davranışları araştırılmıştır. Jellerin denge şişme miktarını ve büzülme hızını etkileyen en önemli faktörün polietilenglikol' ün molekül ağırlığı olduğu bulunmuştur. PEG 1500 kullanıldığında jelin büzülmesi 350 dk' da tamamlanırken, PEG 4000 kullanıldığında büzülmenin 1600 dk' da tamamlandığı görülmüştür. Çözücü ayırmadaki seçimliliklerinin belirlenmesi için jeller, farklı konsantrasyonlarda su-etil alkol ve su-etil asetat çözeltilerine konulmuş ve seçimlilikleri gaz kromatografi cihazıyla belirlenmiştir. Su-etil alkol çözeltisinde, jel etil alkole seçimlilik göstermiştir. Su-etil asetat çözeltisinde ise seçimlilik olmadığı bulunmuştur. Ayrıca poli (NIPAAm-HEMA-AAm) jelinin hem pH hem de sıcaklık duyarlı olduğu tespit edilmiştir. poli (NIPAAm-HEMA-AAm) jelinin yapısı aşağıdaki gibidir.



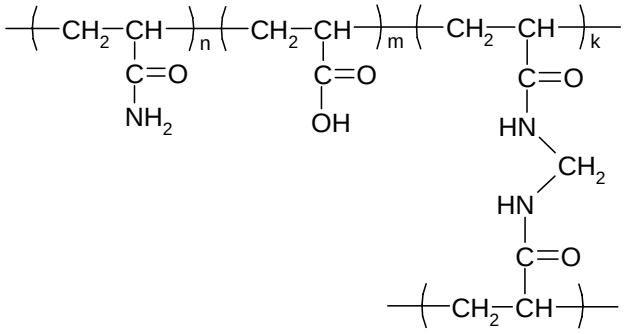
Aras (1998), N-izopropilakrilamid, akrilik asit, itakonik asit (IA), maleik asit (MA) monomerlerini kullanarak; poli (NIPAAm-AA), poli (NIPAAm-IA), poli (NIPAAm-MA) hidrojellerini sentezlemiştir. Başlatıcı olarak KPS, hızlandırıcı olarak TEMED ve çapraz bağlayıcı olarak da BIS kullanmıştır. Kopolimer jellerin sentezinde % 1, 5, 10 mol oranında komonomerler kullanmıştır. Jellerin şişme özelliklerine; hızlandırıcı ve çapraz bağlayıcı konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir.

Komonomerler %10 mol oranında kullanıldığında şişme oranlarının diğerlerine göre (%1 ve %5) arttığı bulunmuştur. Çapraz bağlayıcı ve hızlandırıcı miktarının artmasıyla jellerin şişme oranlarının azaldığı tespit edilmiştir. Jel yapıları IR spektroskopisi ile aydınlatılmıştır. GPC ile jellerin sayıca ortalama molekül ağırlıkları tespit edilmiştir.

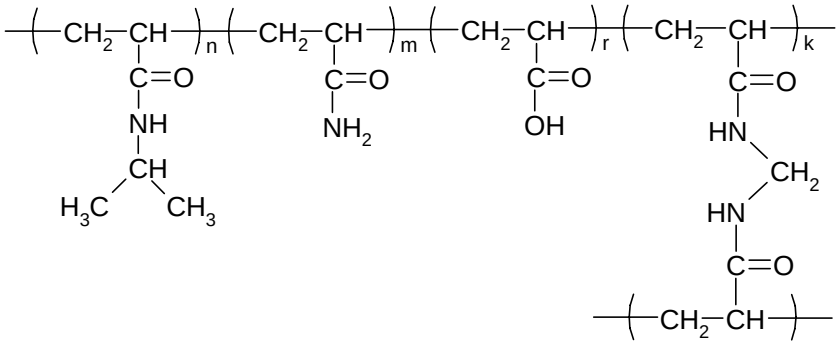
Yılmaztürk (1998), poli (NIPAAm-AAm-AA), poli (AAm-AA) ve poli (NIPAAm-AAm) jellerini sentezlemiştir. Çapraz bağlayıcı olarak BIS, başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak da APS-TEMED kullanmıştır. P(AAm-AA) jelinin pH, p(NIPAAM-AAm-AA) ve p(NIPAAm-AAm) jellerinin ise sıcaklık duyarlı oldukları tespit edilmiştir. Jel yapıları IR spektroskopisi ile, termal davranışları DSC ile aydınlatılmıştır. Sentezlenen jellerin yapıları aşağıdaki gibidir.



P(NIPAAm-AAm) jeli



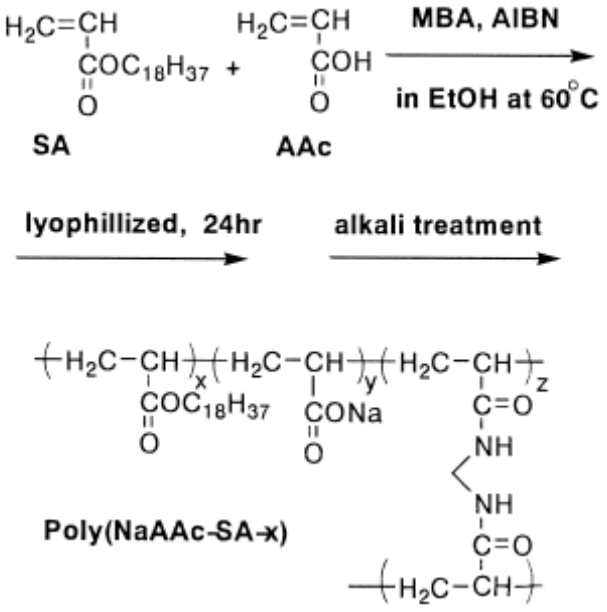
P(AAm-AA) jeli



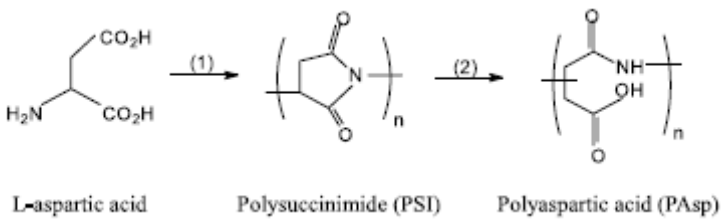
P(NIPAAm-AAm-AA) jeli

Xue ve Hamley (2002), NIPAAm ile birlikte di-n-propilakrilamid (DPAAm), di-n-oktilakrilamid (DOAAm) ve di-n-dodesilakrilamid (DDAAm) monomerlerini kullanarak sıcaklık duyarlı jeller sentezlemişlerdir. Çapraz bağlayıcı olarak BIS ve GLY, başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak APS-TEMED ve çözücü sistemi olarak da su-dioksan karışımı kullanılmıştır. Yapıdaki hidrofobik monomerlerin; jellerin LCST sıcaklığını düşürdüğü görülmüştür. Sentezlenen jellerin su ve su-sodyumdodesil sülfat (SDS) çözeltilerindeki şişme davranışları incelenmiştir.

Yamashita ve ark. (2002), poli[sodyum akrilat (NaAAc)-stearil akrilat (SA)] hidrojellerini, AA, stearil akrilat ve BIS (MBA) ile sentezlemişlerdir. Sentezin son kısmında alkali muamelesi ile jeldeki AA nötralleştirilmiştir. Başlatıcı olarak AIBN ve çözücü olarak etil alkol kullanmışlardır. Sentezlenen p(NaAAc-SA) hidrojellerinin 25 °C ve 50 °C' de şişme kinetikleri ölçülmüş, jelin 50 °C' deki şişme oranının 25 °C' deki şişme oranına göre 1,5 kat fazla olduğu bulunmuştur. P(NaAAc-SA) hidrojelinin LCST değeri 45 °C' dir, bu jelin LCST değerinin üstünde şiştiği, altında ise büzüldüğü görülmüştür. Buradan hareketle p(NaAAc-SA) jelinin sıcaklıkla olan ilişkisinin NIPAAm esaslı jellerin sıcaklıkla olan ilişkisine zıt olduğu bulunmuştur. Ayrıca jel içinde SA yüzdesinin artmasının şişme hızını artırdığı bulunmuştur.



Zhao ve ark. (2005), polisüksinimid (PSI) polimerini ve bir çapraz bağlayıcı (diamin) kullanarak poliaspartik asit (PAsp) hidrojelini sentezlemişlerdir. Sentezlenen jellerin; sıcaklık duyarlılıkları, 20 °C' deki şişme kinetikleri ve 60 °C' deki büzülme kinetikleri incelenmiş, ayrıca jellerin tampon çözeltilerde (pH:1-14) ve tuz çözeltilerindeki (Cl^- ve SO_4^{-2} tuzları) şişme oranları araştırılmıştır. Jelin ayrıca pH duyarlılığı da araştırılmış, pH' ın artmasıyla jelin şişme kapasitesinin ve büzülme hızının arttığı bulunmuştur. Jeldeki COO^- gruplarının $CaCl_2$ ve NaCl çözeltileri içinde pH: 10' da yüksek iyon değiştirme kabiliyetine sahip olduğu tespit edilmiştir.

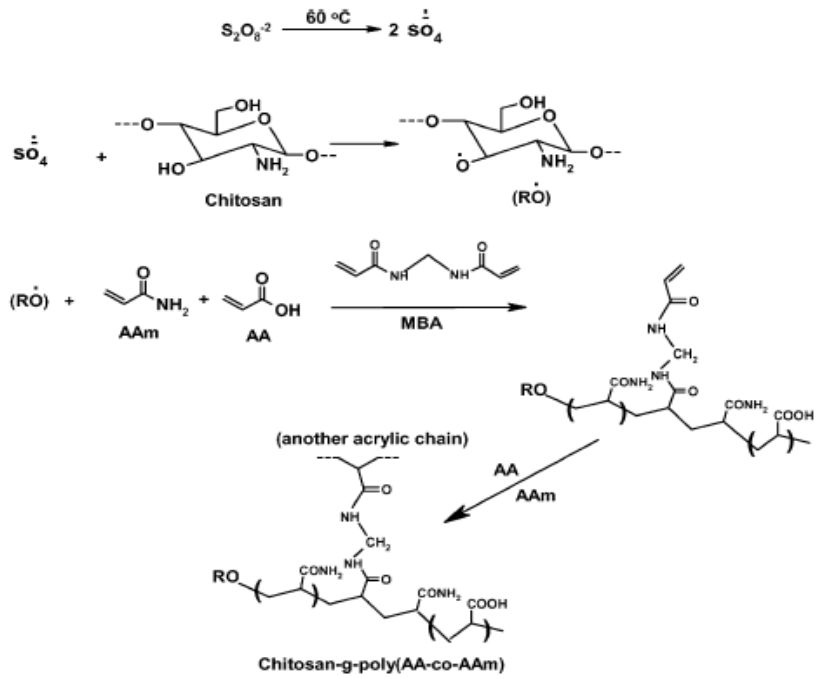


Xue ve ark. (2005), poli (N-etilakrilamid) jellerini sentezlemişlerdir. Çapraz bağlayıcı olarak BIS, başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak APS-TEMED ve çözücü olarak da deiyonize su kullanmışlardır. Su, KCl ve SDS çözeltilerine konulan

hidrojellerin bu ortamlardaki şişme oranını, polimer-çözücü etkileşim parametrelerini ve etkin çapraz bağ yoğunluklarını belirlemişlerdir.

Liu ve ark. (1999), NIPAAm, sodyum akrilat (NaAc) ve sodyum metakrilat (NaMAc) monomerlerini kullanarak sıcaklığa duyarlı hidrojeller sentezlemişlerdir. Çapraz bağlayıcı olarak BIS, başlatıcı-hızlandırıcı çifti olarak APS-TEMED ve çözücü olarak da deiyonize su kullanmışlardır. Sentezlenen jellerin sıcaklık duyarlılıkları ile şişme-büzülme davranışlarını incelemişlerdir. Düşük konsantrasyonlarda kullanılan NaAc veya NaMAc komonomerlerinin jelin şişme-büzülme davranışlarını etkilemediği, yüksek konsantrasyonlarda ise farklı etki yaptıkları bulunmuştur. p(NIPAAm-NaMAc) jellerinin p(NIPAAm-NaAc) jellerine oranla daha yüksek şişme oranlarına sahip olduğu bulunmuştur.

Mahdavinia ve ark. (2004), Kitosan, AA ve AAm kullanarak kitosan-*g*-p(AA-AAm) hidrojelini sentezlemişlerdir. Çapraz bağlayıcı olarak BIS, başlatıcı olarak KPS ve çözücü olarak destile su kullanmışlardır. BIS konsantrasyonunun ve AA/AAm oranının jelin su absorblama kapasitesine etkisini araştırmışlardır. Kitosan-*g*-p(AA/AAm) jellerinin ayrıca iyon ve pH duyarlı olduğu ve bu özellikleri nedeniyle iyon değiştirme yeteneğine sahip olduğu bulunmuştur. Jel yapıları FT-IR ile aydınlatılmıştır.



Yapılan tüm çalışmalarda deneyler inert atmosfer (N_2, Ar_2) ortamında gerçekleştirilmiştir.

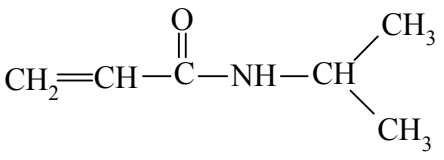
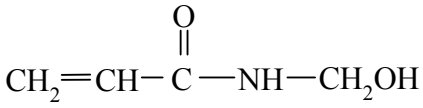
3. MATERYAL VE METOD

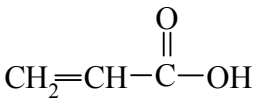
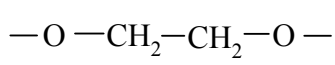
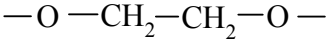
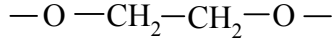
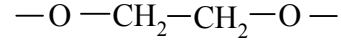
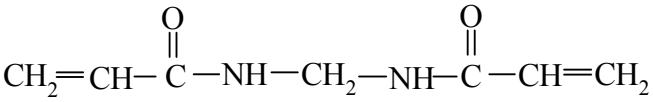
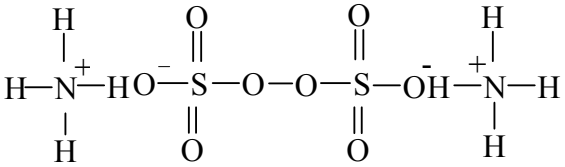
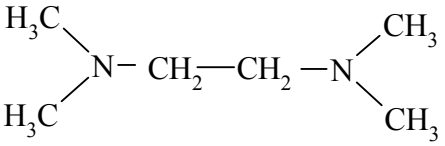
3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

- N-izopropilakrilamid (NIPAAm) %99 saflıkta olup Acros Organics firmasından temin edilmiştir.
- N-hidroksimetilakrilamid (NHMAAm) %48' lik sulu çözelti şeklinde (Aldrich) temin edilmiştir.
- Akrilik asit (AA) (Merck),
- Polietilenglikol 200 (PEG 200) (Merck),
- Polietilenglikol 400 (PEG 400) (Merck),
- Polietilenglikol 1000 (PEG 1000) (Merck),
- Polietilenglikol 4000 (PEG 4000) (Merck),
- N,N-metilenbisakrilamid (BIS) (Merck),
- Amonyum persülfat (APS) (Merck),
- N,N,N,N-tetrametiletilendiamin (TEMED) (Merck) firmasından temin edilmiştir.

Tüm kimyasal maddeler herhangi bir saflaştırma işlemi uygulanmaksızın kullanılmıştır. Tablo 3.1' de kullanılan kimyasal maddeler ve yapıları verilmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan maddeler, bazı fiziksel özellikleri ve molekül yapıları

Madde adı	Fiziksel özellikler	Molekül yapısı
NIPAAm	MA:113,16g/mol	
NHMAAm	MA: 101,1 g/mol d: 1,074 g/ml	

AA	MA: 72,06 g/mol d: 1,048 g/ml	
PEG 200	d: 1,124 g/ml	
PEG 400	d: 1,125 g/ml	
PEG 1000	-	
PEG 4000	-	
BIS	MA:154,17g/mol	
APS	MA: 228,2 g/mol	
TEMED	MA:116,21g/mol d: 0,776 g/ml	

3.2. Kullanılan Cihazlar

- Perkin Elmer Model 1605 FT-IR Spektrofotometre (S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü)
- Millipore Ultrasaf su Cihazı 18,2 MQ cm (S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü)
- Labart Model DZF-6030 A Vakum Etüvü (S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü)
- Binder ED53 Etüv (S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü)
- Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) JSM 5600, 30 kv. (Kırıkkale üniversitesi Fizik Bölümü)
- Nüve BM 302, BM 402 Termostatlı Su Banyosu, sıcaklık aralığı +20; +100 ^{o}C (S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü)
- Elektronik terazi (S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü)
- Azot tüpü (S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü)

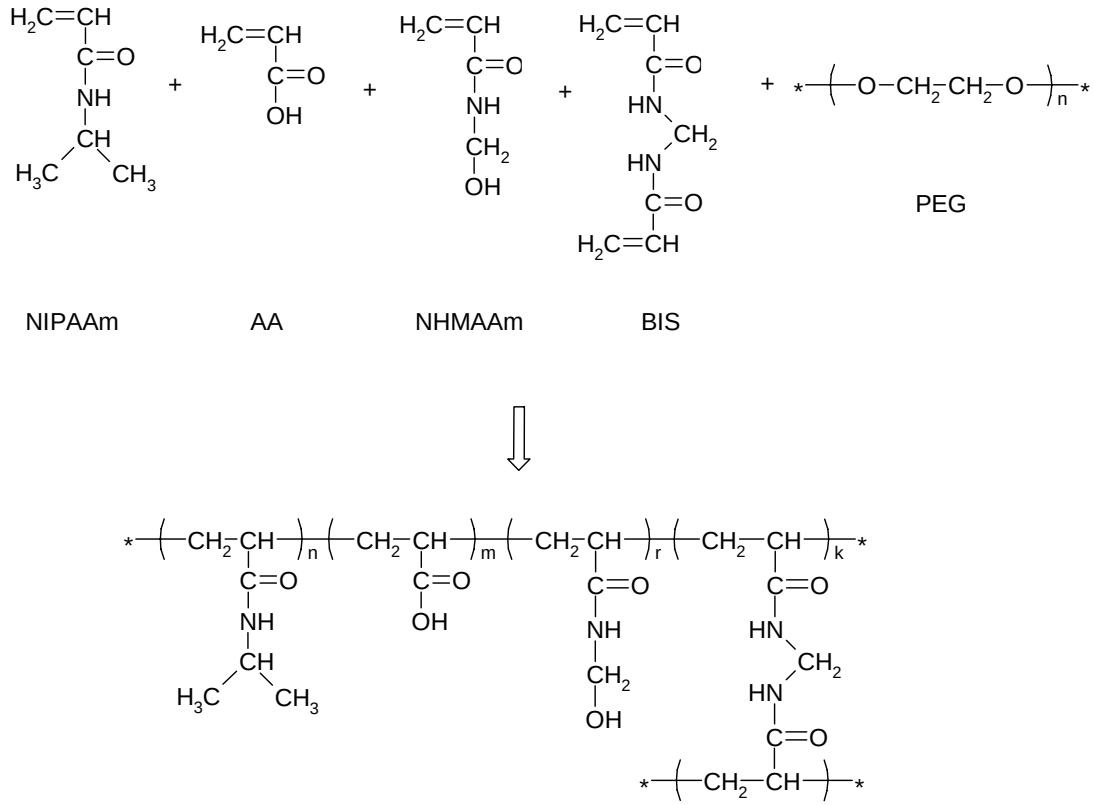
3.3. Hidrojel Üretimi

Çapraz bağlı hidrojeller aşağıda açıklandığı şekilde hazırlanmıştır:

100×17 mm boyutundaki cam tüplere hesaplanan miktarda NIPAAm, ardından deiyonize su [NIPAAm/su oranı tüm deneylerde 15/85 (w/w)' dir] konulup manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak monomerin çözünmesi sağlandı. Diğer monomerler AA (NIPAAm' a göre mol olarak % 1'den 10'a kadar) ve NHMAAm (NIPAAm' a göre molce % 5'den 20'ye kadar) değiştirilerek ortama eklendi. Homojen bir karışım elde edildikten sonra çapraz bağlayıcı BIS (Toplam monomere göre % 0,5 mol) ilave edildi. BIS' in çözünmesi tamamlanınca, başlatıcı APS (Toplam monomere göre %1 mol) eklendi. Çözünme tamamlandıktan sonra, deney tüpleri buz-su banyosuna daldırıldı ve enjektör iğnesi kullanılarak 10 dk süreyle deney tüpünden azot gazı geçirildi. Bu işlemden hemen sonra aktivatör TEMED (Toplam monomere göre molce %1) damla damla ilave edildi, çözelti karıştırılıp 15×55 mm boyutlarındaki petri kabına döküldü ve oda sıcaklığında jelleşmeye bırakıldı. 24 saat sonra oluşan jeller petri kaplarından alınarak reaksiyona girmemiş monomerlerin uzaklaştırılması

amacıyla deiyonize su ile yıkandı. Yıkama işleminden sonra jeller 40 °C' de vakum etüvünde sabit tartıma gelinceye kadar kurutuldu.

Sentezlenen jellerin molekül yapısı şu şekildedir.



BIS ile çapraz bağlanmış NIPAAm-AA-NHMAAm jeli

Kullanılan kimyasal maddelerin jel içindeki miktarları aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Tüm deneylerde NIPAAm; 0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol) alınmıştır.
AA, NHMAAm ve PEG miktarları NIPAAm' a göre hesaplanmıştır.

Deneylerde kullanılan AA' nın hesaplanması : AA, NIPAAm' a göre %1, 5, 10 mol oranlarında kullanılmıştır.
%1 mol AA' ya göre deneyde kullanılan AA miktarı aşağıdaki şekilde bulunmuştur.
$6{,}63.10^{-3}$x1/100= $6{,}63.10^{-5}$ mol AA alınır.
n=m/MA formülünden $6{,}63.10^{-5}$=m/72,06 m= 0,0048 g AA,
d=m/v formülünden 1,048=0,0048/v v=0,0045 ml AA bulunur.

Deneylerde kullanılan NHMAAm' ın hesaplanması : NHMAAm, NIPAAm' a göre %5, 10, 15, 20 mol oranlarında kullanılmıştır. %10 mol NHMAAm' a göre deneyde kullanılan NHMAAm miktarı aşağıdaki şekilde bulunmuştur.
$6{,}63.10^{-3}$x10/100= $6{,}63.10^{-4}$ mol NHMAAm alınır.
n=m/MA formülünden $6{,}63.10^{-4}$=m/101,1 m=0,0670 g NHMAAm bulunur.
Kullanılan NHMAAm, %48' lik sulu çözelti halindedir. Buna göre reaksiyona giren NHMAAm miktarı aşağıdaki şekilde bulunur.
NHMAAm miktarı: 0,067x100/48=0,139 g çözeltide 0,067 g NHMAAm vardır.
100 g çözeltide 48 g NHMAAm varsa, 0,0670 g NHMAAm 0,139 g çözeltide vardır.
d=m/v formülünden 1,074=0,139/v v=0,1294 ml NHMAAm bulunur.

Deneylerde kullanılan PEG 400' ün hesaplanması : PEG 400 ve kullanılan diğer PEG' ler NIPAAm' a göre ağırlıkça %100, 300, 500 olarak kullanılmıştır. %100 PEG 400 miktarları aşağıdaki şekilde bulunmuştur.
0,75 g NIPAAm kullanıldığında 0,75 g PEG 400 kullanılır.
d=m/v formülünden 1,125=0,75/v v= 0,6667 ml PEG 400 bulunur.
BIS, APS ve TEMED miktarları ise toplam monomer miktarına göre hesaplanır.
Deneylerde kullanılan BIS' in hesaplanması : BIS, toplam monomere göre %0,5 mol oranında kullanılmıştır. Buna göre BIS miktarı aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

Toplam monomer (NIPAAm+AA+NHMAAm) molü=$6,63.10^{-3}$+$6,63.10^{-5}$ +$6,63.10^{-4}$ =$7,36.10^{-3}$ mol

$7,36.10^{-3}$x0,5/100=$3,68.10^{-5}$ mol BIS

n=m/MA formülünden $3,68.10^{-5}$=m/154,17 m=0,0056 g BIS bulunur.

Deneylerde kullanılan APS' nin hesaplanması : Tüm deneylerde APS, toplam monomere göre %1 mol oranında kullanılmıştır. Buna göre APS miktarı aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$7,36.10^{-3}$x1/100=$7,36.10^{-5}$ mol APS

n=m/MA formülünden $7,36.10^{-5}$=m/228,20 m=0,0168 g APS bulunur.

Deneylerde kullanılan TEMED' in hesaplanması : Tüm deneylerde TEMED, toplam monomere göre %1 mol oranında kullanılmıştır. Buna göre TEMED miktarı aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$7,36.10^{-3}$x1/100=$7,36.10^{-5}$ mol TEMED

n=m/MA formülünden $7,36.10^{-5}$= m/116,21 m=0,0085 g TEMED,

d=m/v formülünden 0,776=0,0085/v v=0,0109 ml TEMED bulunur.

Tablo 3.2. Sentezlenen jellerdeki reaktif miktarları

Deney no	NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
1	100/5/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
2	100/10/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
3	100/5/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
4	100/5/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
5	100/5/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
6	100/5/10/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)
7	100/1/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
8	100/5/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
9	100/10/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
10	100/5/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
11	100/5/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
12	100/5/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
13	100/1/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
14	100/1/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
15	100/1/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
16	100/10/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
17	100/10/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)

18	100/10/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
19	100/10/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
20	100/1/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
21	100/5/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
22	100/10/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
23	100/10/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
24	100/1/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
25	100/1/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
26	100/1/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
27	100/1/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
28	100/1/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
29	100/1/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
30	100/10/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
31	100/10/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
32	100/10/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
33	100/10/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
34	100/5/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)
35	100/10/5/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)
36	100/1/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)

37	100/5/5/500		0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9,35.10^{-3}$ mol)
38	100/0/10/0	0,75 g ($6,63.10^{-3}$ mol)	-	0,1294 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	-
39	100/0/10/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$ mol)	-	0,1294 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)
40	100/0/10/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$ mol)	-	0,1294 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
41	100/10/0/0	0,75 g ($6,63.10^{-3}$ mol)	0,045 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	-	-

(BIS: 0,0056 g, APS: 0,0168 g, TEMED: 0,0109 ml, çözücü: 4,25 ml deiyonize su)

3.4. Şişme Deneyleri

Sentezlenen jellerin şişme ve büzülme kinetik ölçümleri ile sıcaklık duyarlılıkları gravimetrik metodla belirlenmiştir. Şişme deneyleri; 500 ml hacimli ağzı kapaklı plastik kapların içine belli miktarda su konularak yapılmıştır. Şişme deneyi uygulanacak kuru jeller, yüzeyleri delikli paslanmaz çelik silindirik kaplara konulmuş, bu kaplar da plastik kaplar içine yerleştirilmiştir. Silindirik kaplar su içinden çıkarılıp, bir havlu üzerinde 1-2 dk bekletildikten sonra tartım işlemleri uygulanmıştır. Toplam ağırlıktan silindirik kabın ağırlığa çıkarılarak jel ağırlıkları hesaplanmıştır. Tüm şişme deneyleri termostatlı su banyosu içinde yapılmıştır.

3.4.1. Kinetik şişme ölçümleri

Hidrojellerin kinetik şişme ölçümleri; 20°C' deki deiyonize su içerisine belli miktarda kuru polimerin konulup, ortamdan alınan jellerin belirli zaman aralıklarıyla (10-7950 dk) tartılmasıyla belirlenmiştir. Şişme değerleri $r=W_{şişmiş\ jel}-W_{kuru\ jel}/\ W_{kuru\ jel}$ formülü ile gH_2O/g polimer cinsinden hesaplanmış, jel tarafından absorblanan su miktarının zamanla değişimi belirlenmiştir. Jeller dengeye gelinceye kadar kinetik ölçümlere devam edilmiştir.

3.4.2. Kinetik büzülme ölçümleri

Jellerin büzülme kinetiğini belirlemek amacıyla 20°C' deki suda dengeye ulaşmış jeller bu ortamdan alınarak 80°C' deki diğer ortama aktarılmıştır. Jellerin su içeriğindeki azalma belirli zamanlardaki (2-1440 dk) gravimetrik ölçümlerle izlenmiştir. Jellerin tutmuş olduğu su içeriği $r=W_{şişmiş\ jel}-W_{kuru\ jel}/\ W_{kuru\ jel}$ formülü ile gH_2O/g polimer cinsinden hesaplanmış, jel tarafından desorblanan su miktarının zamanla değişimi belirlenmiştir.

3.4.3. Jellerin sıcaklık duyarlılıklarının belirlenmesi

Hidrojellerin sıcaklık duyarlılıkları; 20°C-80°C sıcaklık aralığındaki değerlerde (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80) ölçülmüştür. Bir sıcaklık ölçümünden diğer sıcaklıktaki ölçüme geçmeden önce hidrojellerin bulundukları sıcaklıkta dengeye gelmesi beklenmiş ve o sıcaklıktaki denge şişme değeri kaydedilmiştir. Denge şişme oranı $r=W_{şişmiş\ jel}-W_{kuru\ jel}/\ W_{kuru\ jel}$ formülü ile gH_2O/g polimer cinsinden hesaplanmıştır.

3.4.4. Infrared (IR) analizleri

Elde edilen polimerlerin molekül yapısı FT-IR spektrumları ile belirlenmiştir. Örnekler toz haline getirildikten sonra KBr ile disk haline getirilerek spektrumları alınmıştır.

3.4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri

SEM analizleri için bazı kuru ve şişme deneyleri tamamlanmış örnekler 40°C' deki vakum etüvünde kurutulduktan sonra görüntüleri alınmıştır. Fotoğraflar farklı büyütmelerle çekilmiştir.

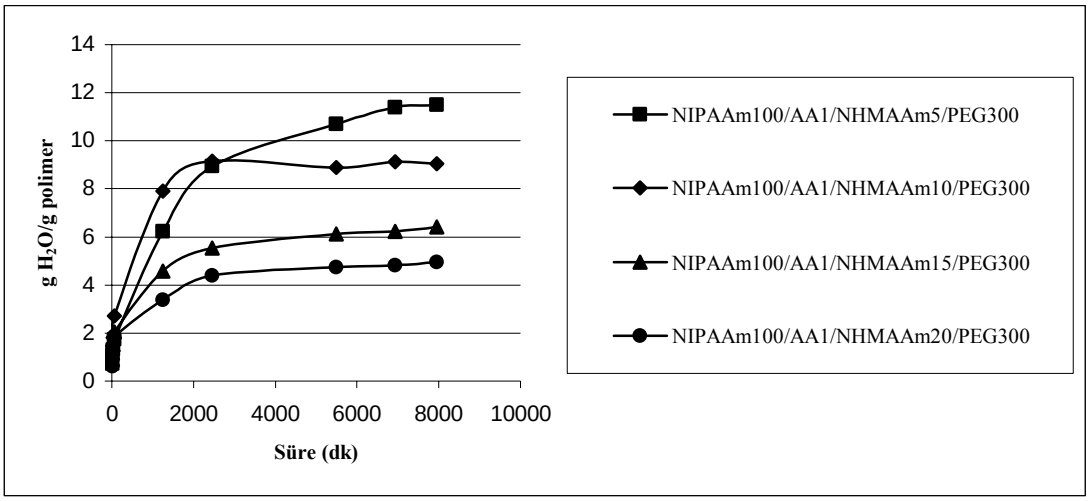
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Şişme Deneyleri

4.1.1. Kinetik şişme ölçümleri

4.1.1.1. NHMAAm değişiminin jellerin şişme kinetiklerine etkisinin incelenmesi

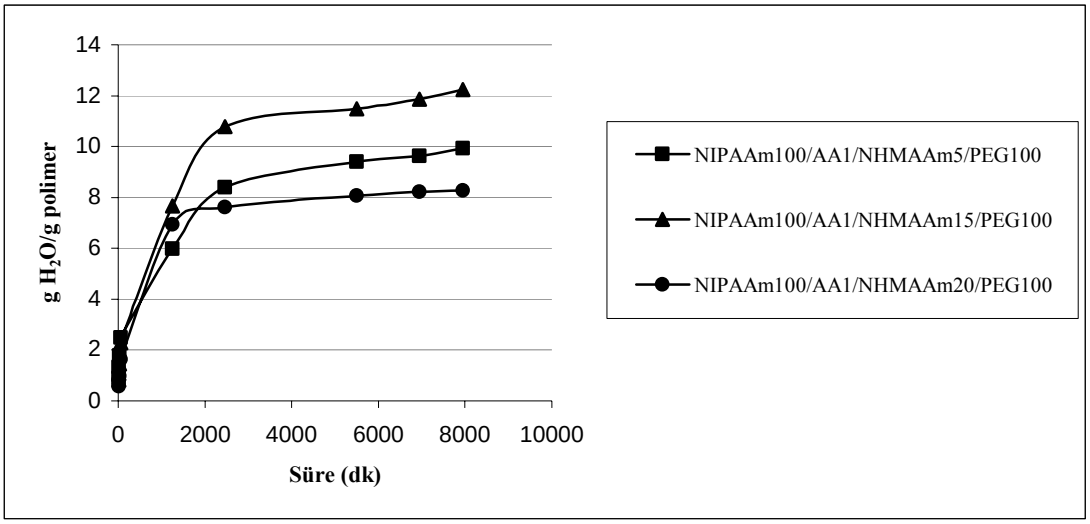
Deney No	NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
15	100/1/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
26	100/1/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
29	100/1/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
14	100/1/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.1. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.1' e göre; AA' nın, NIPAAm' a göre %1 mol oranında ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, jel içindeki NHMAAm miktarının artmasıyla birlikte jelin su absorblama kapasitesinin orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Şişme hızları incelendiğinde, %10 NHMAAm içeren jelin diğerlerine göre daha hızlı su absorbladığı görülmektedir. %10, 15 ve 20 NHMAAm içeren jellerin daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

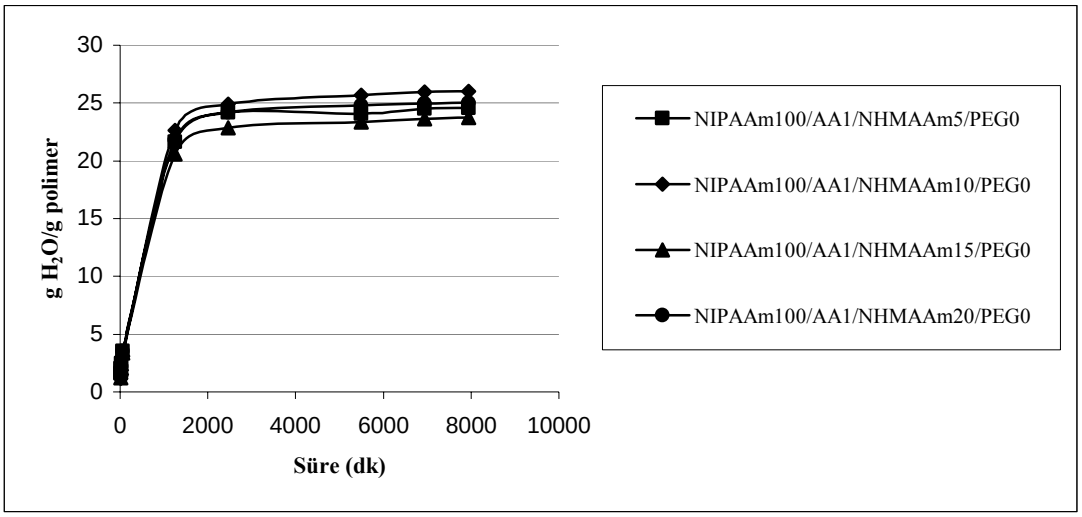
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/1/15/100	0,75 g($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/1/20/100	0,75 g($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.2. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.2' ye göre; AA' nın, NIPAAm' a göre %1 mol oranında ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda %15 NHMAAm içeren jelin en yüksek; %20 NHMAAm içeren jelin ise en düşük su absorblama kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Jellerin şişme hızlarında ve dengeye ulaşma sürelerinde belirgin bir farklılığın olmadığı görülmektedir. Jel içindeki NHMAAm miktarının değiştirilmesiyle, jellerin su absorblama kapasitelerinde orantılı bir azalma olmadığı görülmektedir.

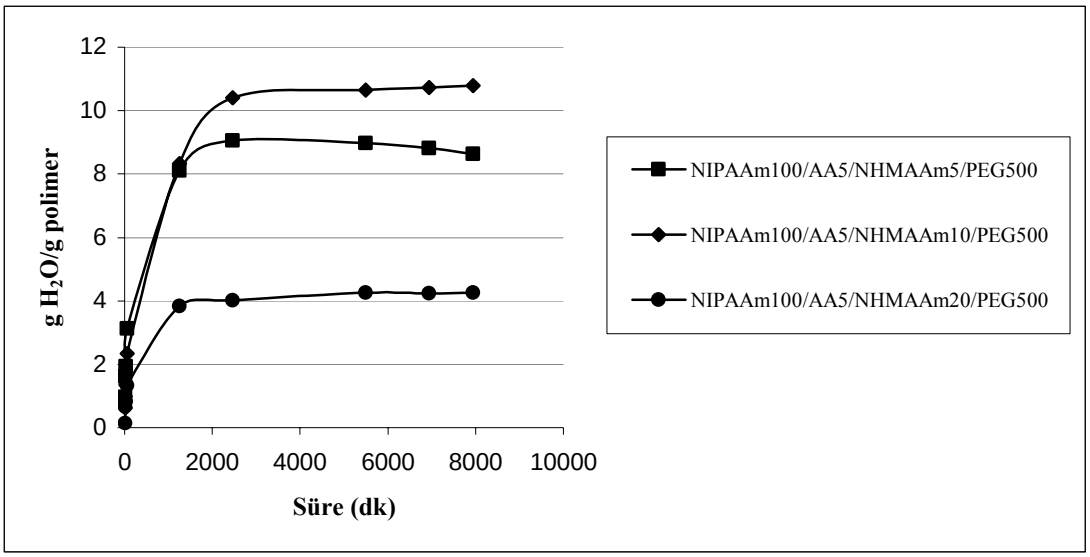
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/0	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	-
100/1/10/0	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	-
100/1/15/0	0,75 g($6,63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9,94.10^{-4}$ mol)	-
100/1/20/0	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	-



Grafik 4.3. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.3' e göre; AA' nın, NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması ve PEG' ün kullanılmaması durumunda, jel içindeki NHMAAm miktarının değiştirilmesiyle, sentezlenen jellerin su absorblama kapasitelerinde, hızlarında ve dengeye ulaşma sürelerinde belirgin bir farklılığın olmadığı, tüm jellerin su absorblama kapasitelerinde oldukça yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

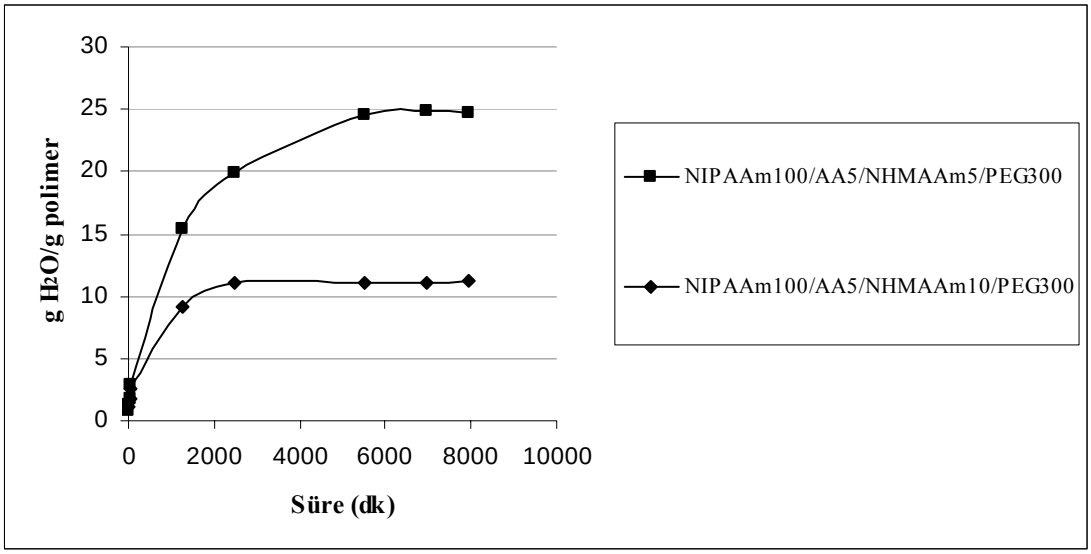
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)
100/5/10/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)
100/5/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.4. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.4' e göre; AA' nın, NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %500 oranında kullanılması durumunda, %10 NHMAAm içeren jelin, en yüksek su absorblama kapasitesine ve bu jelin %5 NHMAAm içeren jel ile birlikte yüksek su absorblama hızına sahip olduğu, %20 NHMAAm içeren jelin ise en düşük su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca jellerin dengeye ulaşma sürelerinde belirgin bir fark görülmemektedir.

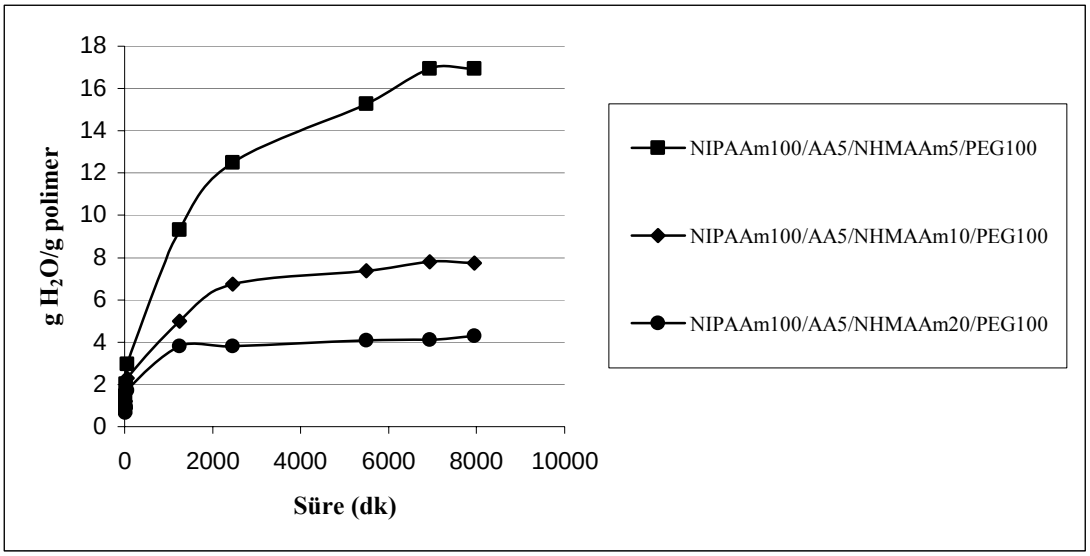
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.5. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.5' e göre; AA' nın, NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren jelin daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. %10 NHMAAm içeren jelin diğerlerine göre daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

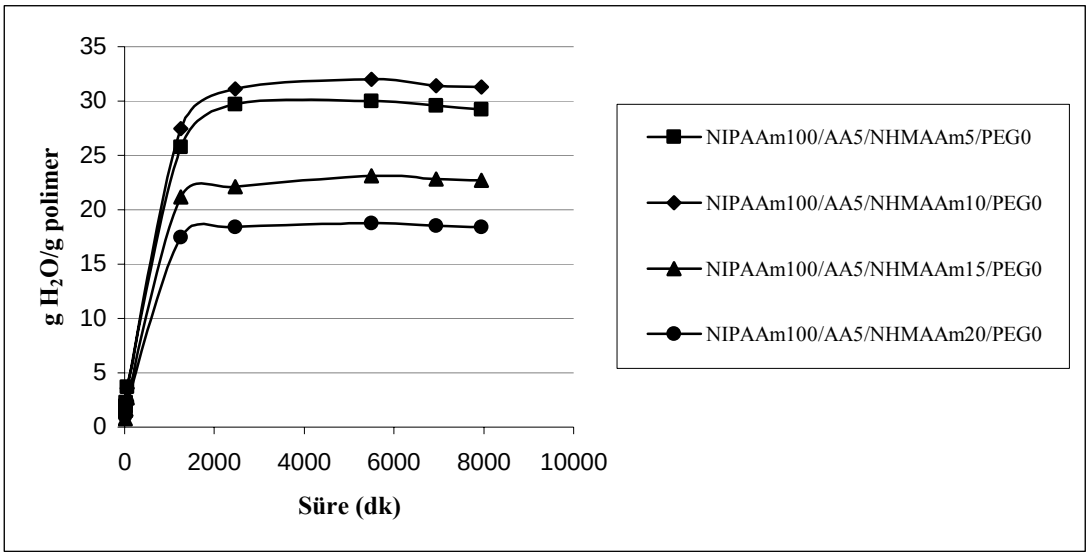
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.6. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.6' ya göre; AA' nın, NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren örneğin daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. En yüksek su absorblama kapasitesine sahip olan jelin diğerlerine göre daha uzun sürede dengeye ulaştığı görülmektedir. %20 içeren jelin ise daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

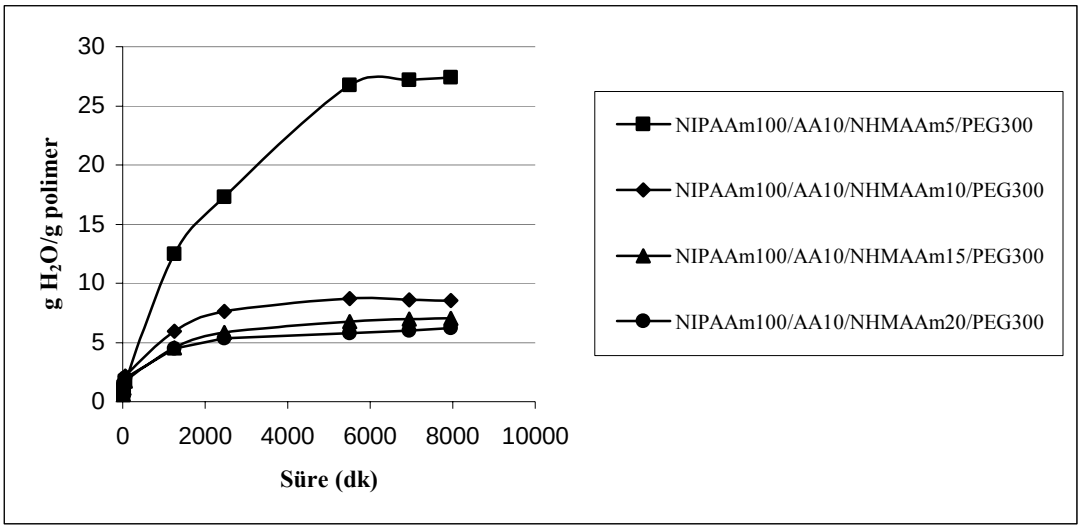
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/5/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/5/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/5/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-



Grafik 4.7. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.7' ye göre; AA' nın, NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanıldığı ve PEG400' ün kullanılmadığı durumda, %5 ve %10 NHMAAm içeren jellerin daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip oldukları, tüm jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları görülmektedir. PEG içermeyen jellerin şişme kapasitelerinin 30 kata kadar çıktığı görülmektedir.

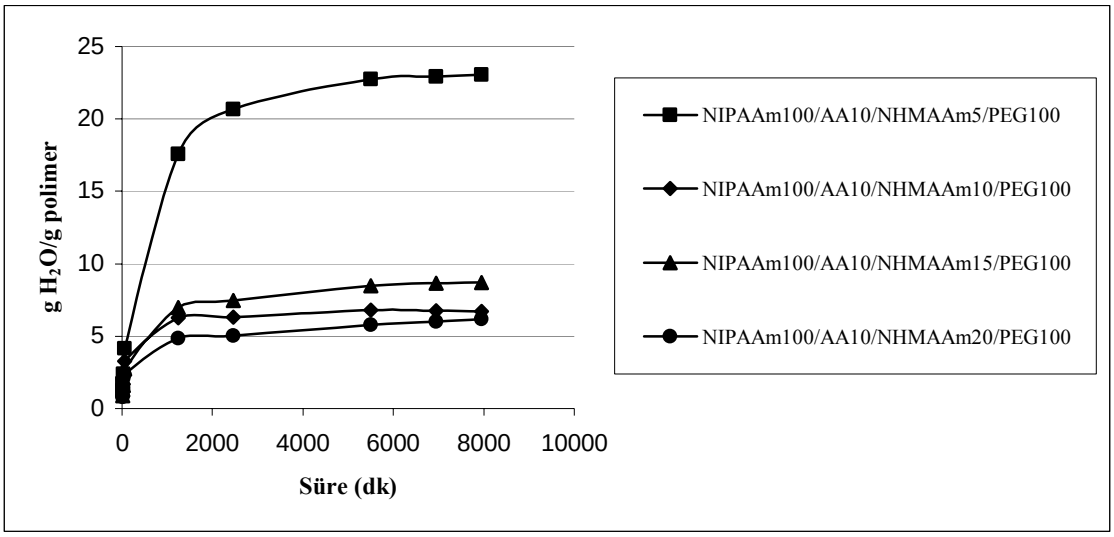
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.8. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.8' e göre; AA' nın, NIPAAm' a göre %10 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren jelin en yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. %20 NHMAAm içeren jelin diğerlerine göre daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

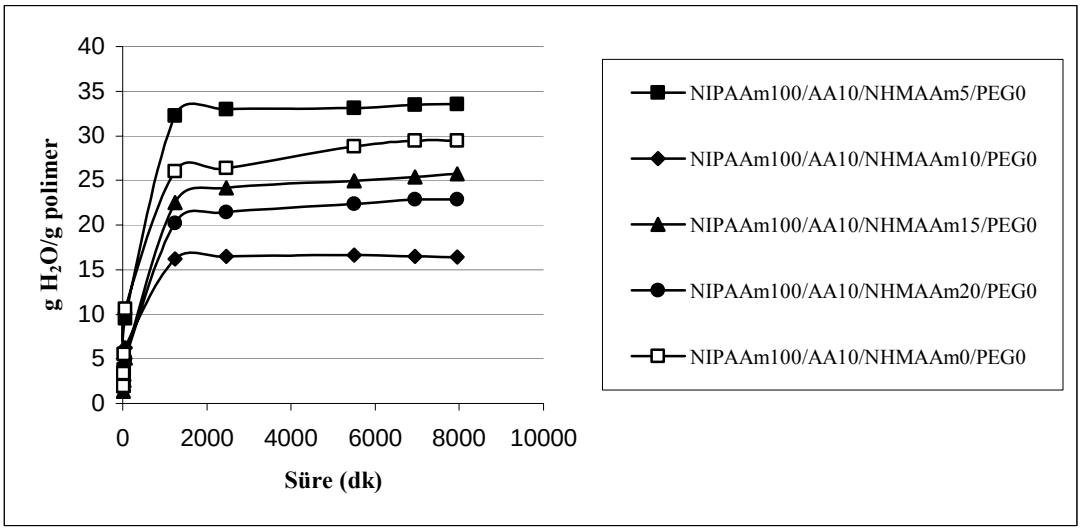
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.9. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.9' a göre; AA' nın, NIPAAm' a göre %10 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren örneğin daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. En yüksek su absorblama kapasitesine sahip olan jelin diğerlerine göre daha uzun sürede, %20 NHMAAm içeren jelin ise daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/10/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/10/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/10/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/10/0/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-	-



Grafik 4.10. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.10' a göre; AA' nın, NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanıldığı ve PEG400' ün kullanılmadığı durumda, %5 NHMAAm içeren jelin daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Tüm jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları görülmektedir.

20 ^{o}C' de yapılan şişme kinetik ölçümleri sonucunda, NHMAAm değişiminin su absorblama kapasitesine ve kinetiğine etkisi incelendiğinde;

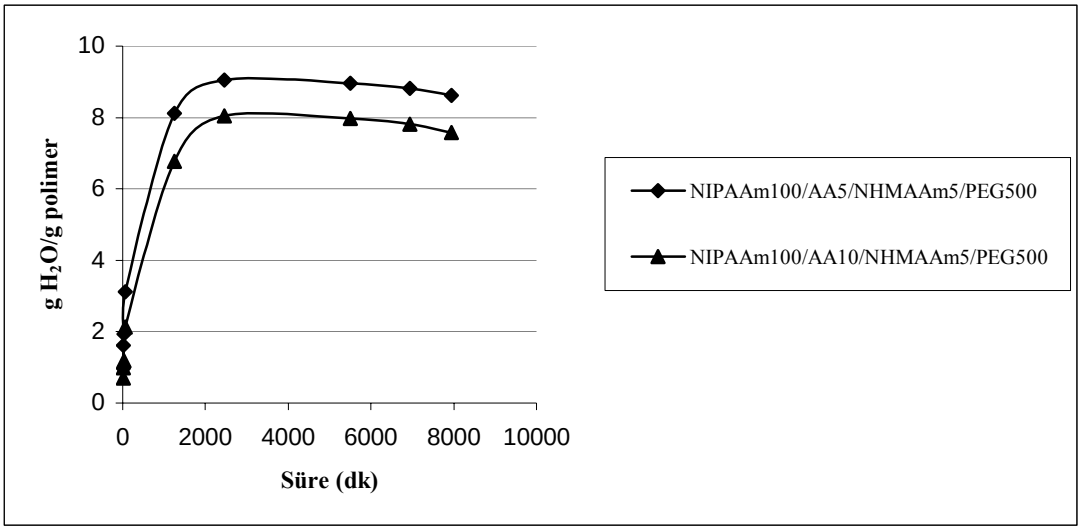
NHMAAm miktarı, NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanıldığında genelde yüksek bir absorblama kapasitesine (16-32) ve hızına, NHMAAm miktarının %20 mol oranında kullanılması durumunda ise genelde düşük bir absorblama kapasitesine (4-14) ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Bunun da NHMAAm' ın yapısında içerdiği hidrofobik kısımların varlığı ile ilgili olduğu; NHMAAm miktarının artmasıyla, jelde suyu sevmeyen kısımların oranının artmasının jelin şişmesini azaltıcı etki yaptığı düşünülebilir.

NHMAAm değişiminin su absorblama kapasitesine ve kinetiğine etkisinin incelenmesinde; AA miktarının NHMAAm' ın etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında kullanılan AA miktarının artmasıyla, su absorblama kapasitelerinin 12 kattan 32 kata kadar yükseldiği belirlenmiştir. AA, yapısındaki karboksil grupları nedeniyle hidrofilik bir monomerdir. Suyu seven gruplar jelin su absorblama kapasitesini artırıcı etki yaptığı düşünülebilir.

NHMAAm değişiminin su absorblama kapasitesine ve kinetiğine etkisinin incelenmesinde; PEG400 miktarının artmasıyla, jellerin su absorblama kapasitelerinin 34 kattan 12 kata kadar azaldığı belirlenmiştir. PEG400' ün kullanıldığı deneylerde, bulunan su absorblama kapasite değerlerini, PEG400 kullanılmaması durumundaki deneylere göre çok fazla değiştirmediği görülmektedir. Hatta PEG400' ün kullanılmadığı deneylerdeki değerler pek çok kez daha yüksek bulunmuştur.

4.1.1.2. AA değişiminin jellerin şişme kinetiklerine etkisinin incelenmesi

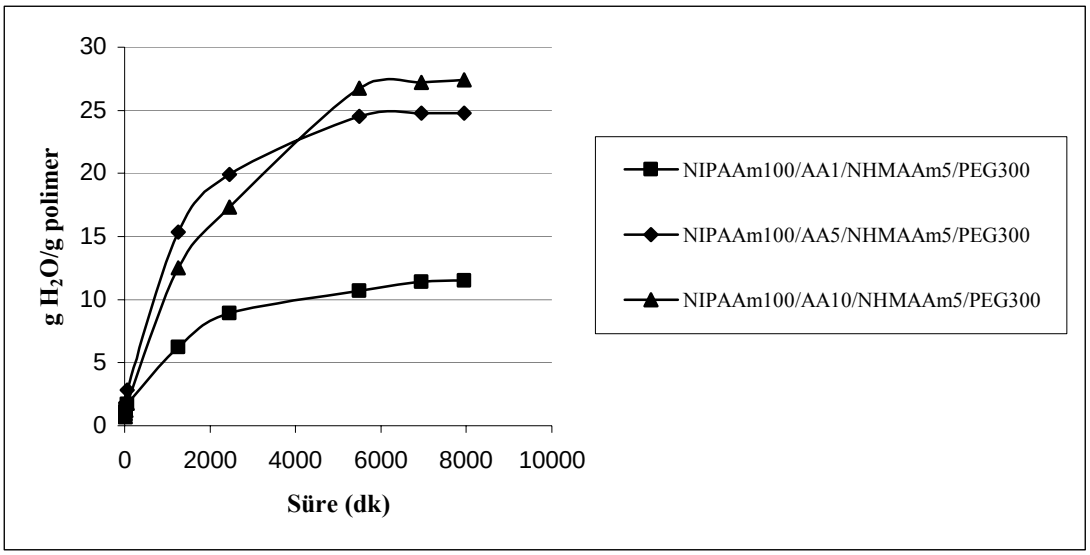
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/500	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9,35.10^{-3}$ mol)
100/10/5/500	0,75 g($6,63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9,35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.11. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.11' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %500 kullanılması durumunda, %5 AA içeren jelin daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca %5 ve 10 AA içeren jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları görülmektedir.

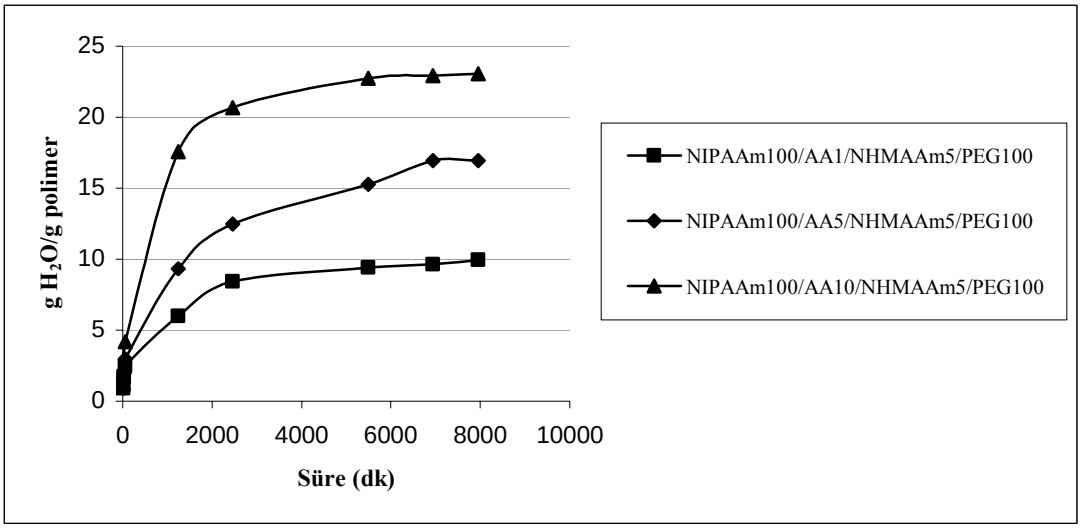
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
100/5/5/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol
100/10/5/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol



Grafik 4.12. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.12' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 kullanılması durumunda, %10 AA içeren jelin en yüksek, %1 AA içeren jelin ise en düşük su absorblama kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Jellerin şişme hızları incelendiğinde, %5 AA içeren jelin diğerlerine göre daha hızlı su absorbladığı görülmektedir. Ayrıca tüm jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları gözlenmiştir.

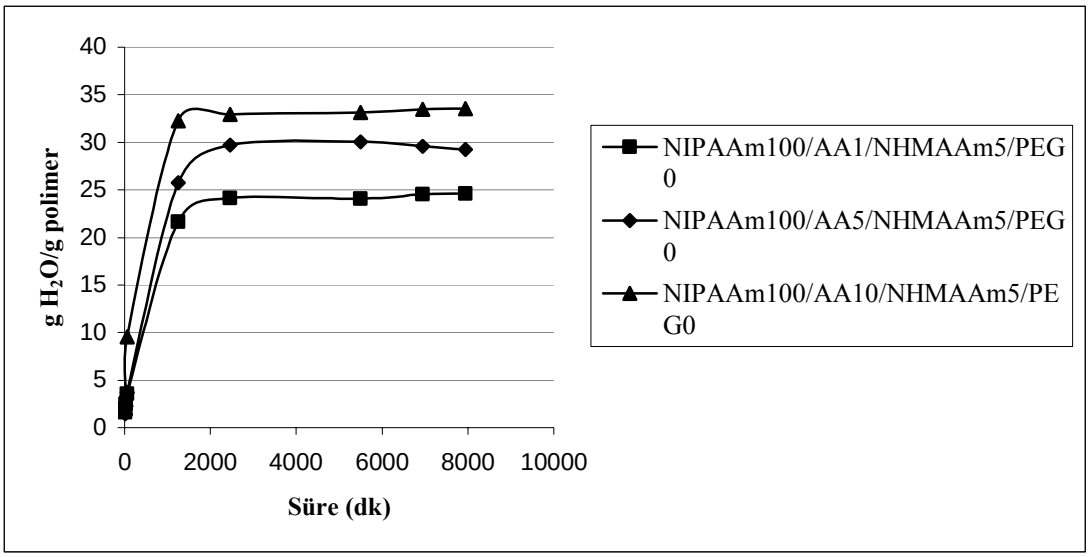
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)
100/5/5/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol))
100/10/5/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.13. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.13' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 kullanılması durumunda, %10 AA içeren jelin diğerlerine göre daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu, ayrıca bu jelin diğerlerine göre daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

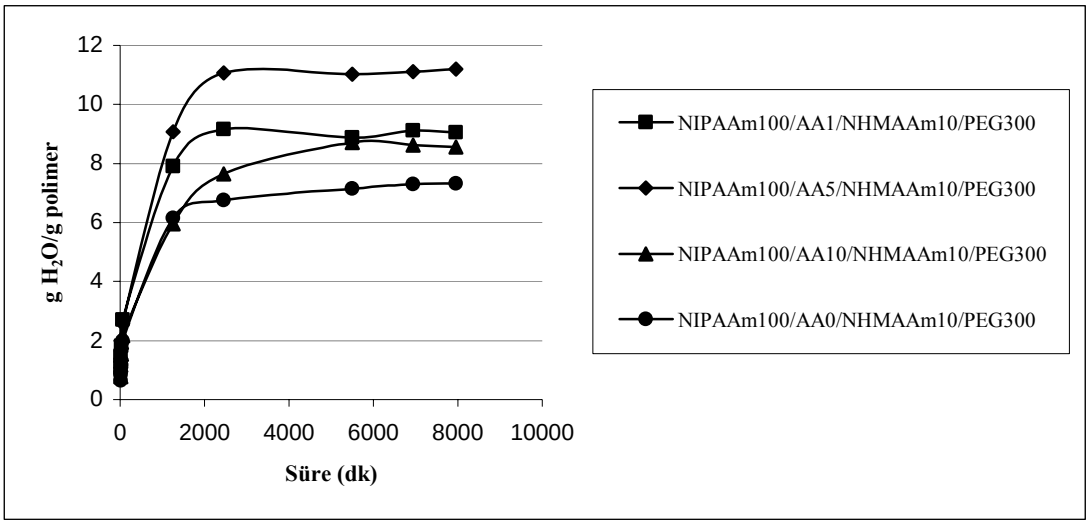
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/5/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/10/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-



Grafik 4.14. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.14' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanıldığı ve PEG400' ün kullanılmadığı durumda, %10 AA içeren jelin en yüksek; %1 AA içeren jelin ise en düşük su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Tüm jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları gözlenmiştir.

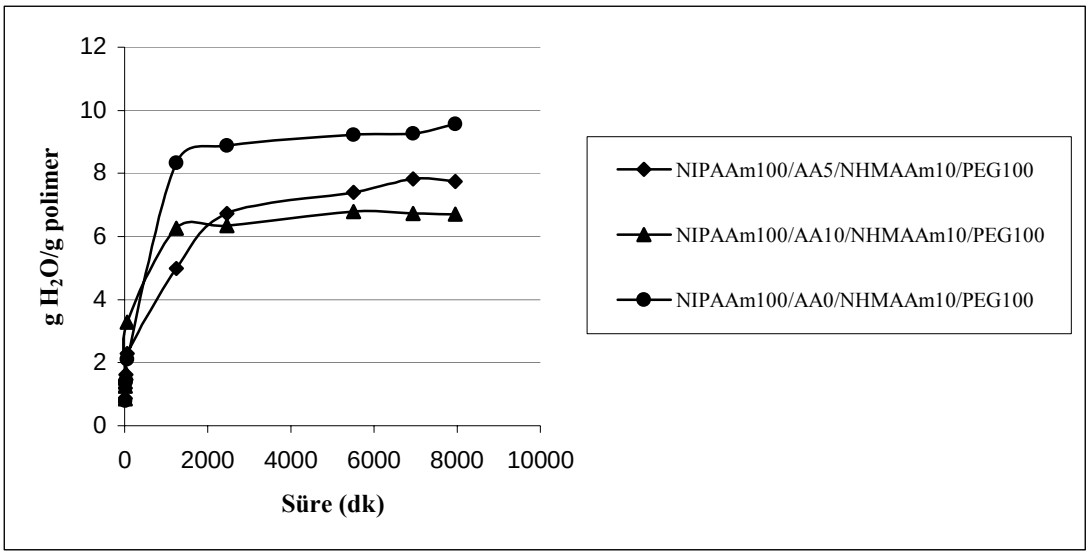
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/0/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.15. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.15' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 kullanılması durumunda, %5 AA içeren jelin en yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu ve bu jelin diğerlerine göre daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

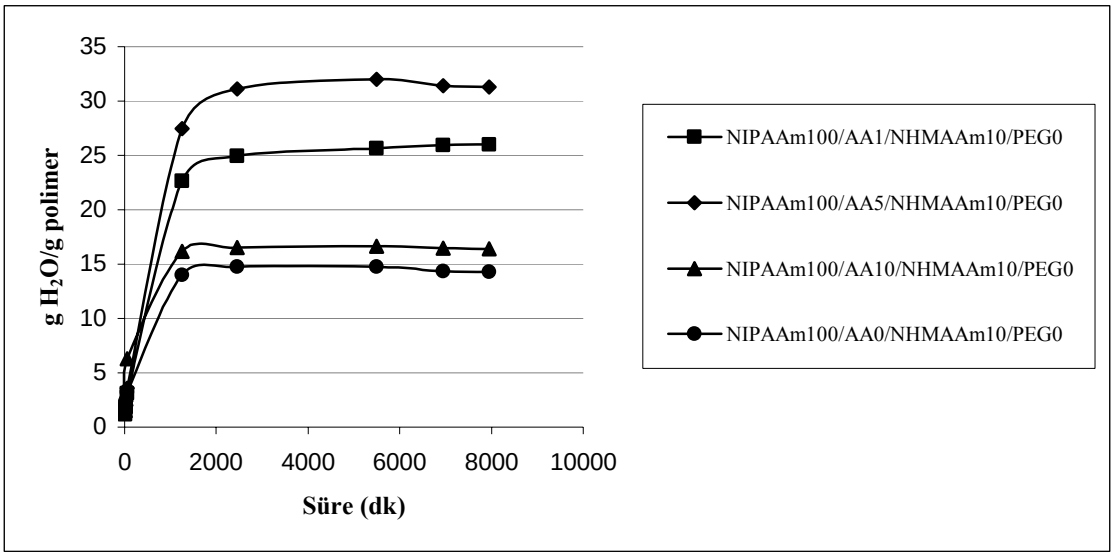
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/0/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.16. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.16' ya göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %500 kullanılması durumunda, AA içermeyen jelin en yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu ve bu jelin %5 AA içeren jel ile birlikte daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

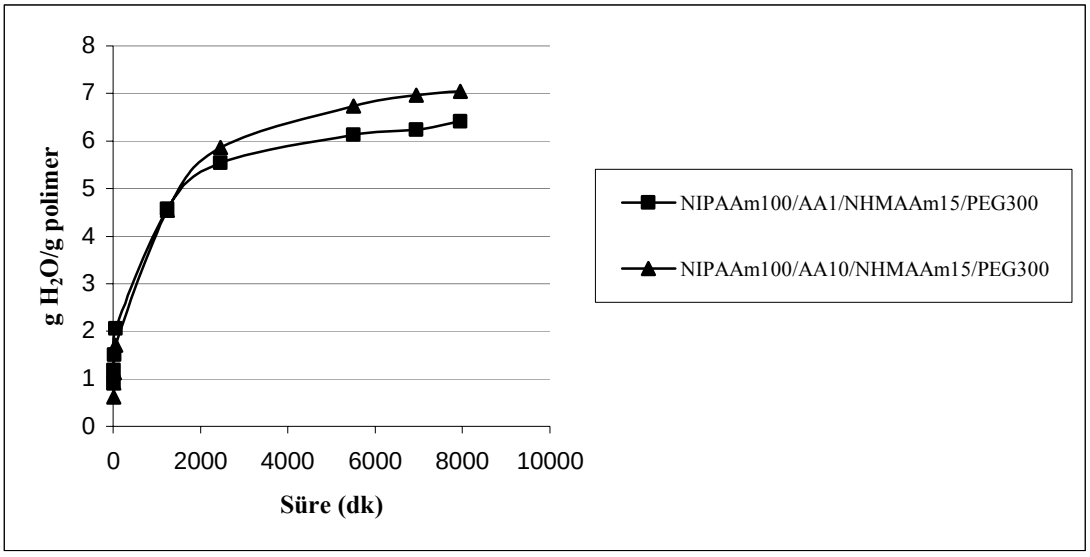
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/5/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/10/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/0/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-



Grafik 4.17. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.17' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanıldığı ve PEG400' ün kullanılmadığı durumda, %5 AA içeren jelin en yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Tüm jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları görülmektedir.

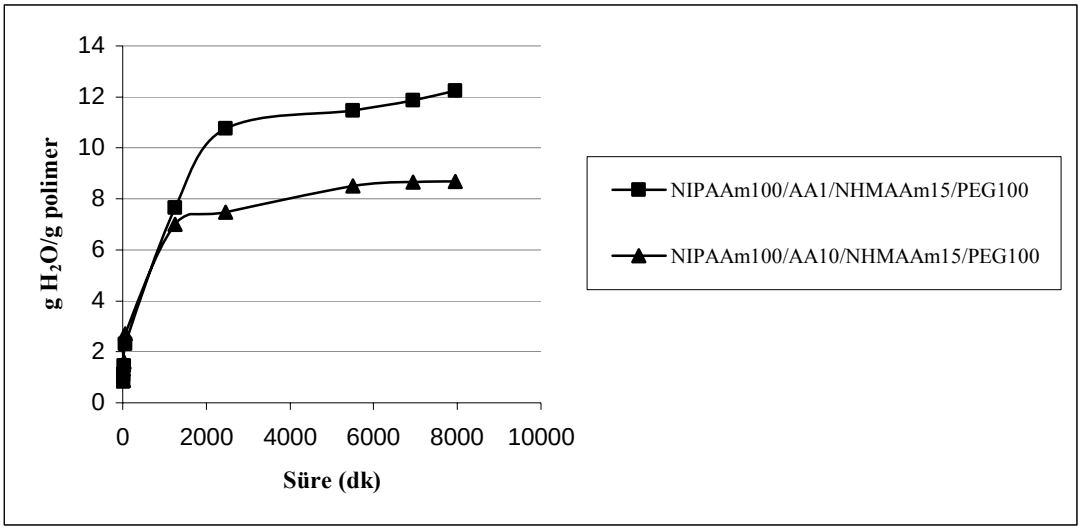
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.18. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.18' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 kullanılması durumunda, %10 AA içeren jelin daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Jellerin aynı sürede dengeye ulaştıkları görülmektedir.

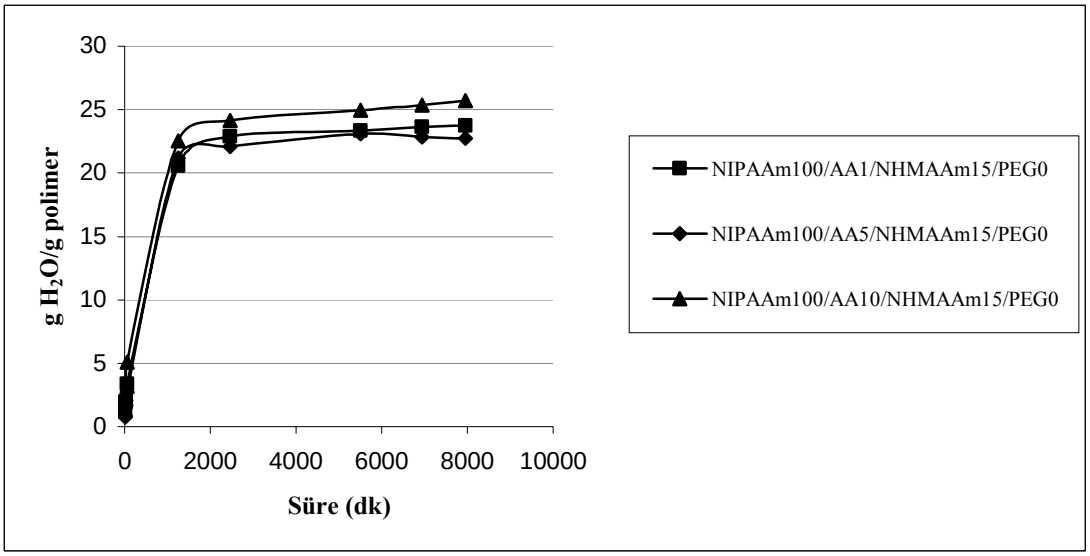
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.19. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.19' a göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 kullanılması durumunda, %1 AA içeren jelin daha yüksek su absorblama kapasitesi ve hızına sahip olduğu görülmektedir. %10 AA içeren jelin diğerlerine göre daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

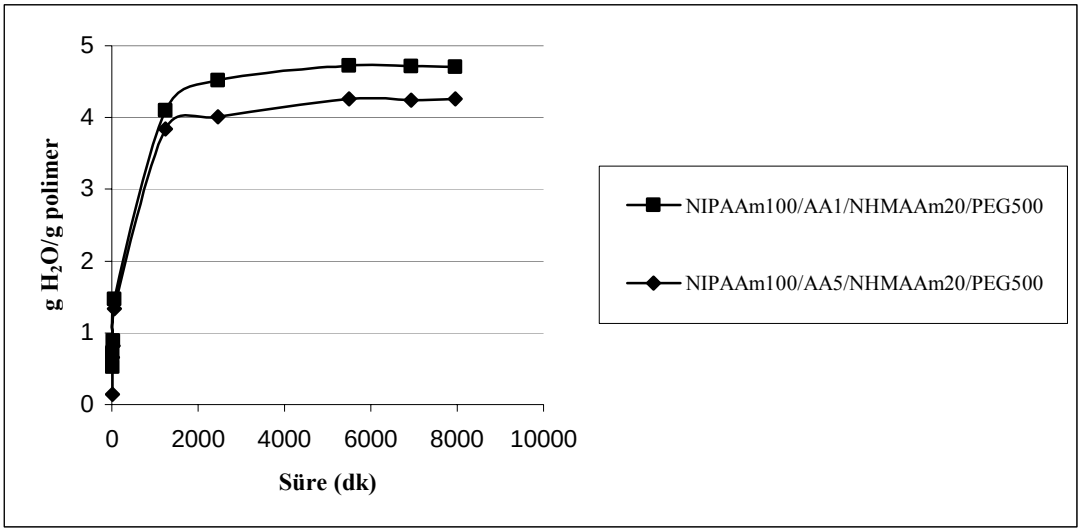
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/5/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	-
100/10/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	-



Grafik 4.20. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.20' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol oranında kullanıldığı ve PEG400' ün kullanılmadığı durumda, tüm jellerin su absorblama kapasitelerinin birbirine yakın olduğu, %10 AA içeren jelin diğerlerine göre biraz daha yüksek su absorblama kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Tüm jellerin dengeye ulaşma sürelerinin ve su absorblama hızlarının yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir.

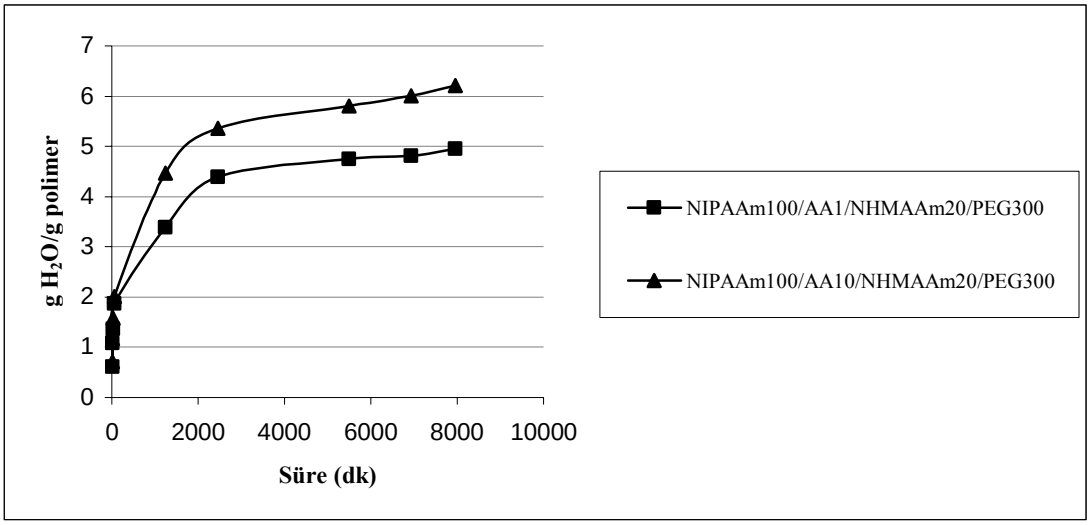
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/500	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9,35.10^{-3}$ mol)
100/5/20/500	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9,35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.21. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.21' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %500 kullanılması durumunda, %1 ve 5 AA içeren jellerin su absorblama kapasitelerinin, hızlarının ve dengeye ulaşma sürelerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

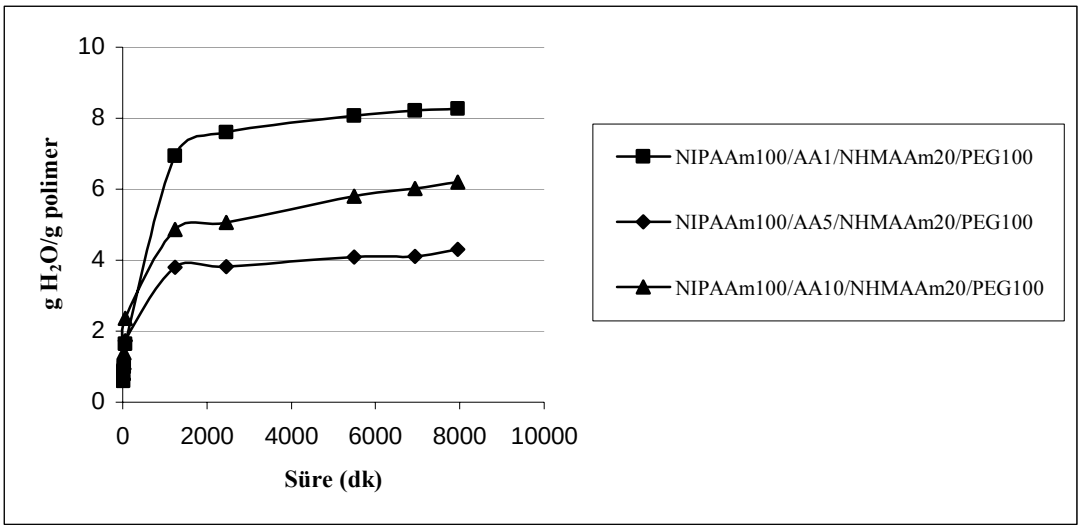
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.22. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.22' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 kullanılması durumunda, %10 AA içeren jelin daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu, her iki jelin dengeye ulaşma sürelerinin yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir.

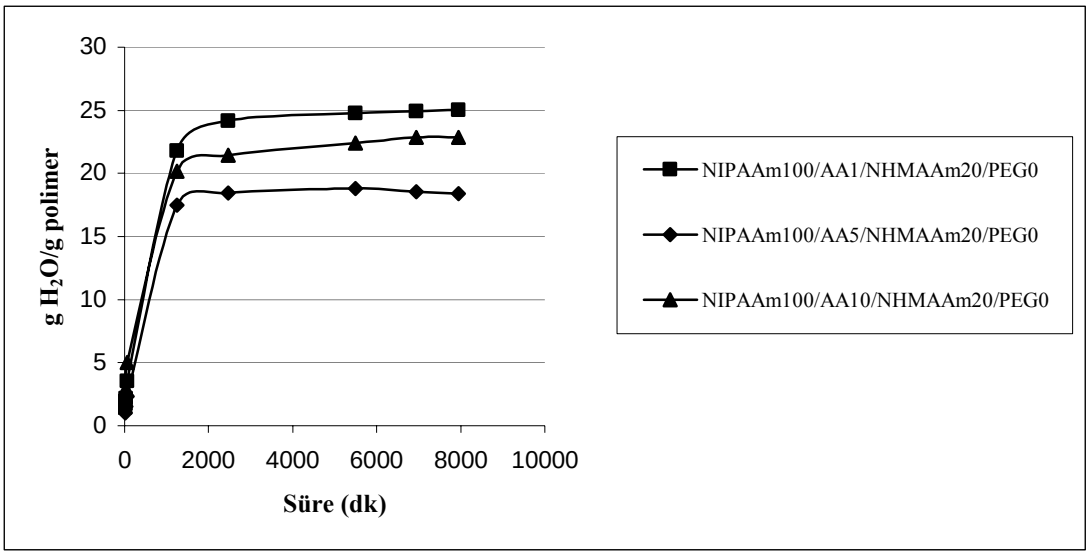
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.23. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.23' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve PEG400' ün de NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 kullanılması durumunda, %1 AA içeren jelin diğerlerine göre daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu, ancak %5 AA içeren jelin diğerlerine göre daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/5/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/10/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-



Grafik 4.24. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.24' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol oranında kullanıldığı ve PEG400' ün kullanılmadığı durumda, tüm jellerin yüksek su absorblama kapasitelerine ulaştıkları, bununla birlikte %1 AA içeren jelin en yüksek su absorblama kapasitesi ve hızına sahip olduğu görülmektedir. %5 AA içeren jelin diğerlerine göre daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

20 ^{o}C' de yapılan şişme kinetik ölçümleri sonucunda, AA değişiminin jellerin su absorblama kapasitesine ve hızına etkisi incelendiğinde;

AA miktarı, NIPAAm' a göre %5 ve 10 mol oranlarında kullanıldığında genelde yüksek bir absorblama kapasitesine (AA; %5 mol iken kuru jele göre 9-30 kata kadar; %10 mol iken ise kuru jele göre 9-38 kata kadar etkilediği) ve hızına, AA miktarı %1 mol oranında kullanıldığında ise genelde diğerlerine göre düşük bir absorblama kapasitesine (kuru jele göre 9-25 kat) ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Bunun; AA'ın yapısında bulunan iyonlaşabilen hidrofilik kısımlardan kaynaklandığı, AA miktarının artmasıyla, jelde suyu seven kısımların artmasının jelin şişmesini artırdığı düşünülebilir.

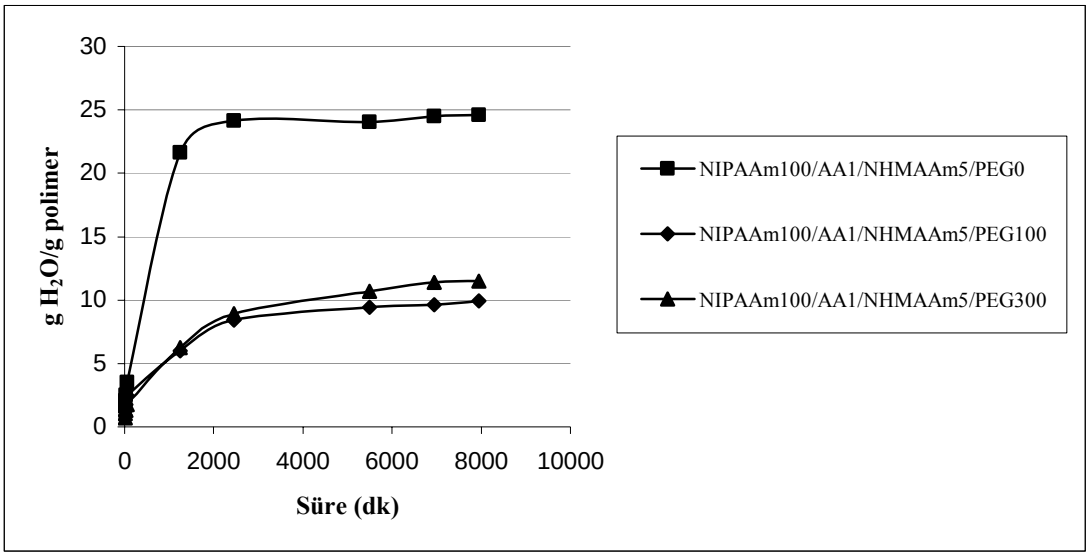
AA değişiminin su absorblama kapasitesine ve kinetiğine etkisinin incelenmesinde; kullanılan NHMAAm miktarının AA'ın etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında, NHMAAm miktarının artmasıyla, su absorblama kapasitelerinin 27 kattan 6 kata kadar azaldığı belirlenmiştir. NHMAAm'ın yapısındaki bulunan hidrofobik kısımlar nedeniyle şişmeyi azaltıcı etki yaptığı düşünülebilir.

AA değişiminin su absorblama kapasitesine ve kinetiğine etkisinin incelenmesinde; kullanılan PEG400 miktarının AA'nın etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında; PEG400 miktarının artmasıyla, jellerin su absorblama kapasitelerinin 34 kattan 5 kata kadar azaldığı belirlenmiştir. PEG400'ün kullanılmadığı deneylerde su absorblama kapasiteleri ve hızları PEG400'ün kullanıldığı deneylere göre pek çok kez daha yüksek bulunmuştur.

Kullanılan AA miktarının artmasının, jelin dengeye ulaşma sürelerini önemli ölçüde etkilemediği, zira hemen hemen tüm jellerin 2000 dk sonunda dengeye ulaştığı görülmektedir.

4.1.1.3. PEG400 değişiminin jellerin şişme kinetiklerine etkisinin incelenmesi

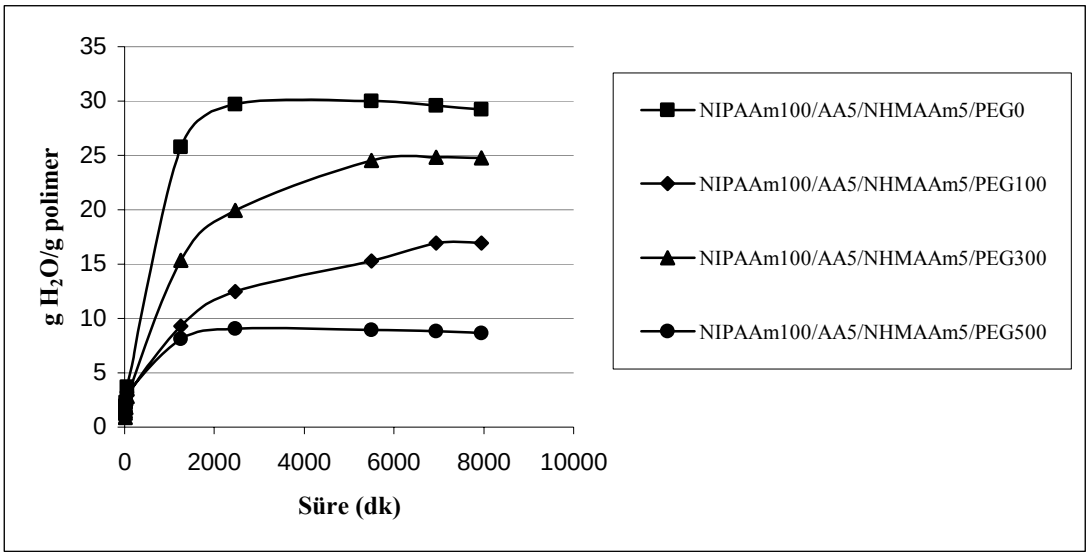
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	-
100/1/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/1/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.25. NIPAAm100/AA1/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.25' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre oldukça yüksek su absorblama değerlerine ve hızına sahip olduğu, ayrıca bu jelin daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

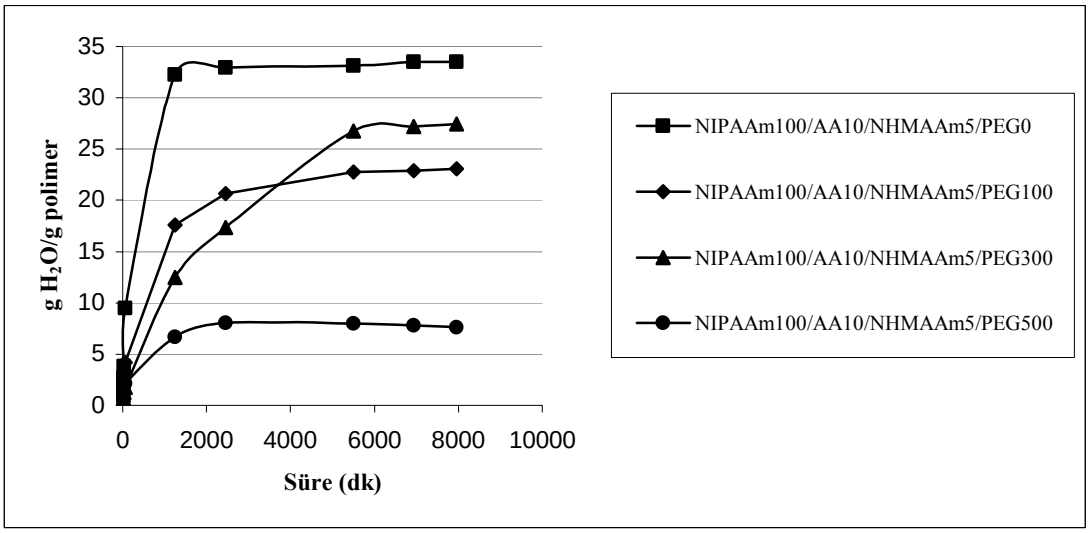
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/0	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1,33.10^{-4}$ mol)	-
100/5/5/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1,33.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)
100/5/5/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1,33.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
100/5/5/500	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1,33.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml (9,35.10-3 mol)



Grafik 4.26. NIPAAm100/AA5/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.26' ya göre; NHMAAm' ın ve AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin en yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu; %500 PEG içeren jelin diğerlerine göre daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

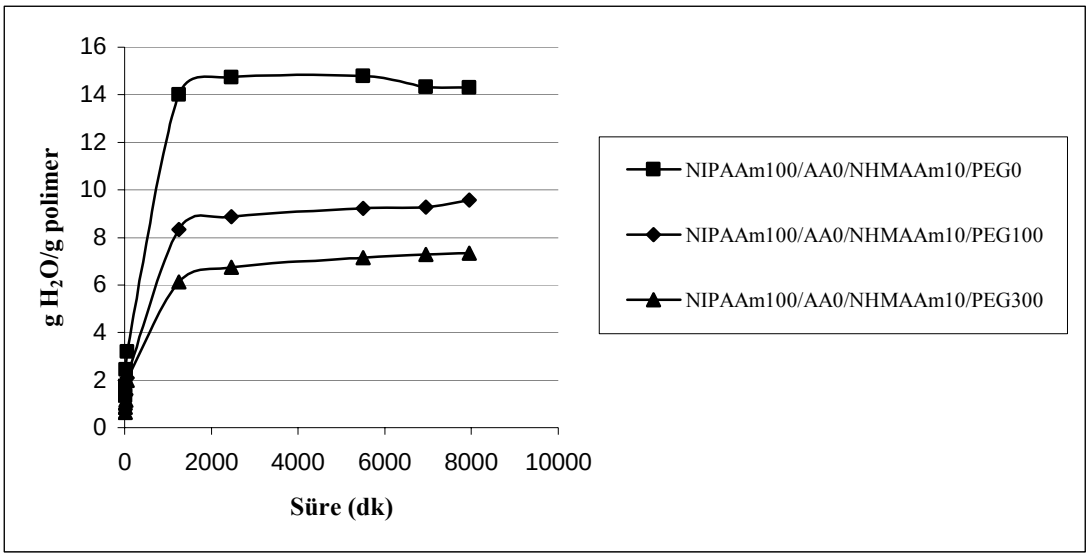
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/0	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1,33.10^{-4}$ mol)	-
100/10/5/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1,33.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)
100/10/5/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1,33.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
100/10/5/500	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6,63.10^{-4}$ mol))	0,0647 ml ($1,33.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml (9,35.10-3 mol)



Grafik 4.27. NIPAAm100/AA10/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.27' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin en yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu, aynı zamanda bu jelin %500 PEG içeren jel ile birlikte diğerlerine göre daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

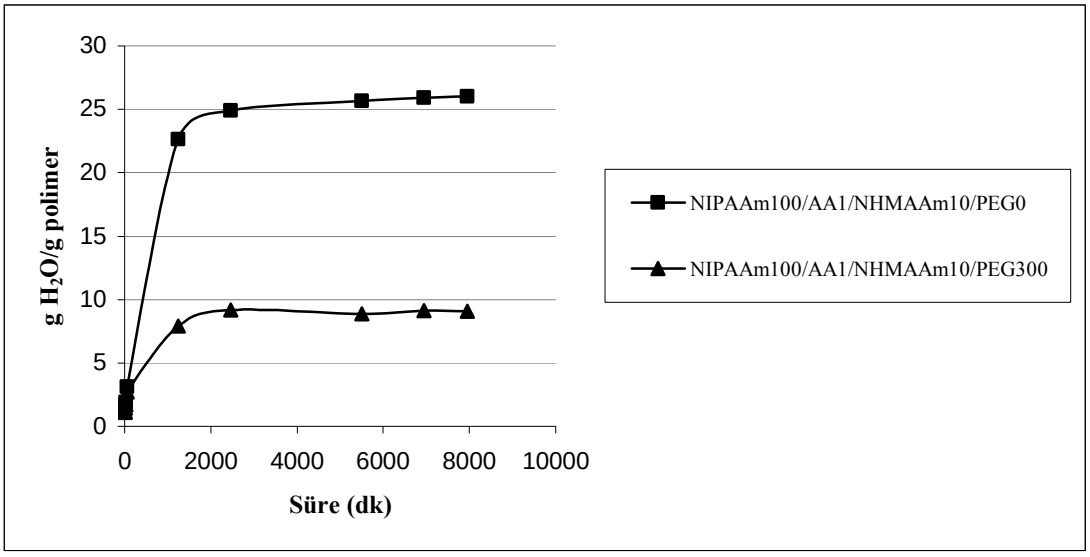
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/0/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/0/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/0/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.28. NIPAAm100/AA0/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.28' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanıldığı ve AA' nın kullanılmadığı durumda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. %300 PEG içeren jelin diğerlerine göre daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

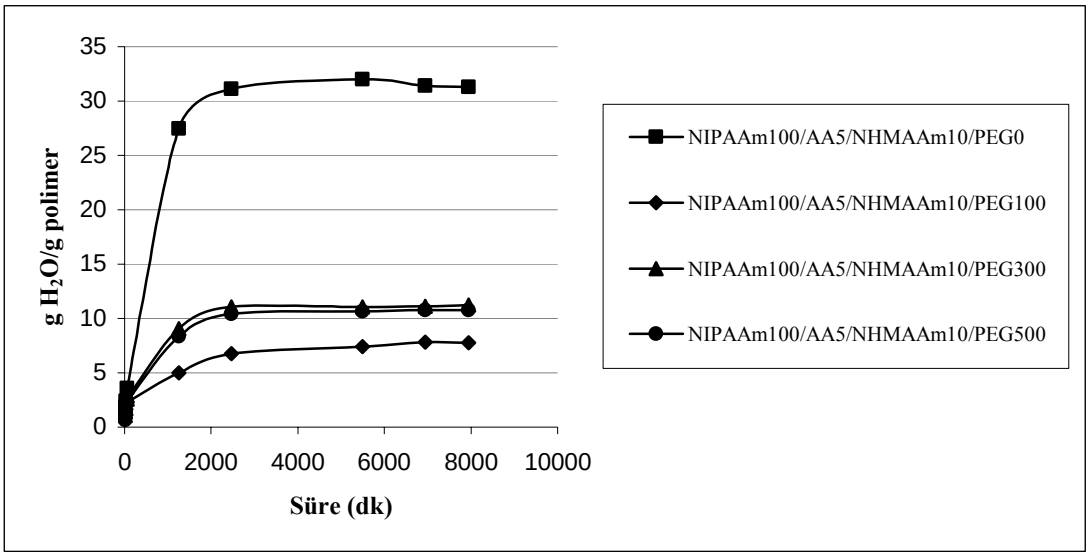
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/10/0	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	-
100/1/10/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.29. NIPAAm100/AA1/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.29' a göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin su absorblama kapasitesinin 25 kata kadar ulaştığı ve bu jelin daha hızlı şiştiği görülmektedir. %300 PEG içeren jelin daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

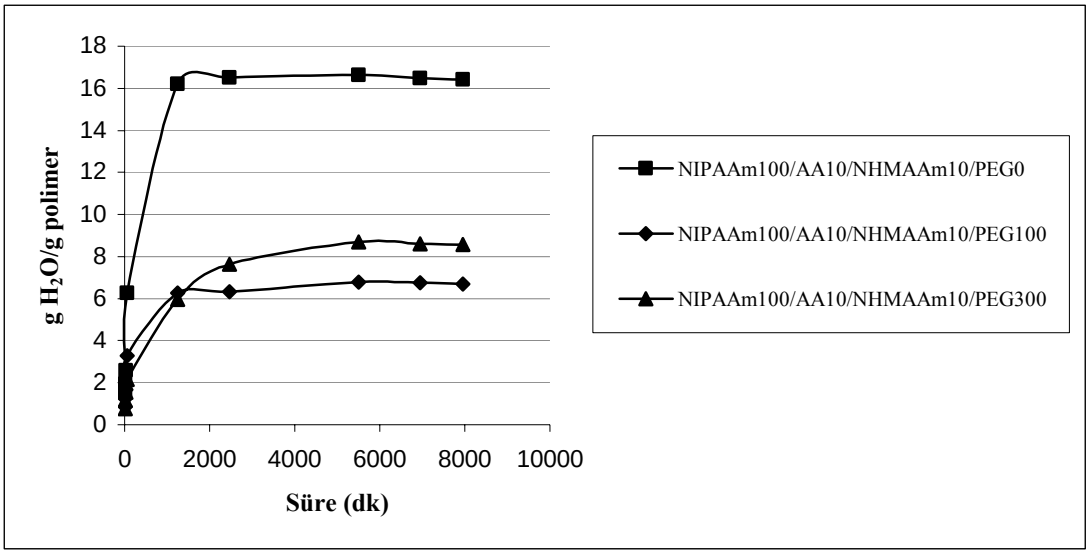
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/5/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/10/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.30. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.30' a göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine oranla çok yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Tüm jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları görülmektedir.

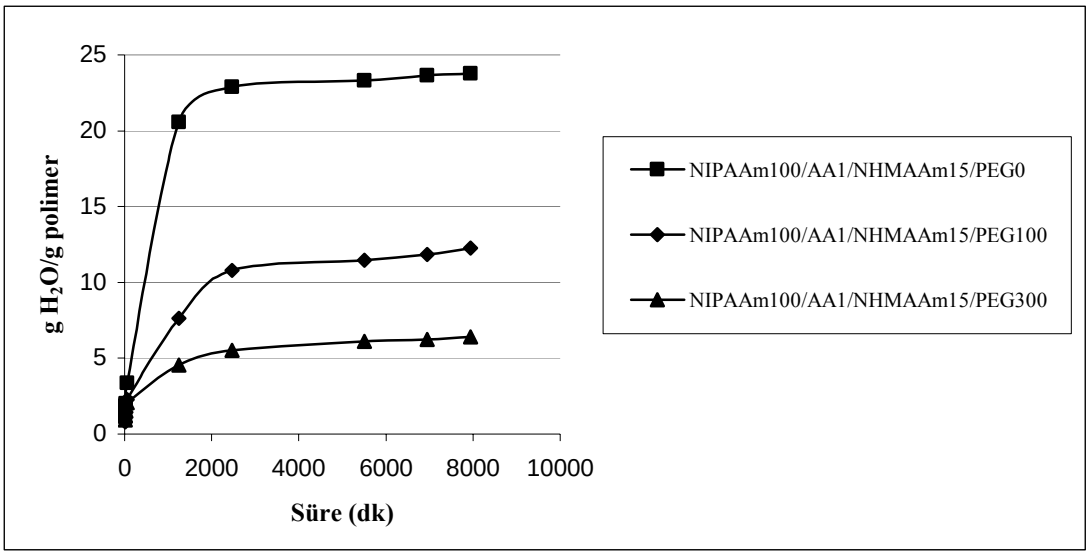
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/10/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.31. NIPAAm100/AA10/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.31' e göre; NHMAAm' ın ve AA 'nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre daha yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu; aynı zamanda bu jelin %300 PEG içeren jel ile birlikte daha kısa sürede dengeye ulaştığı görülmektedir.

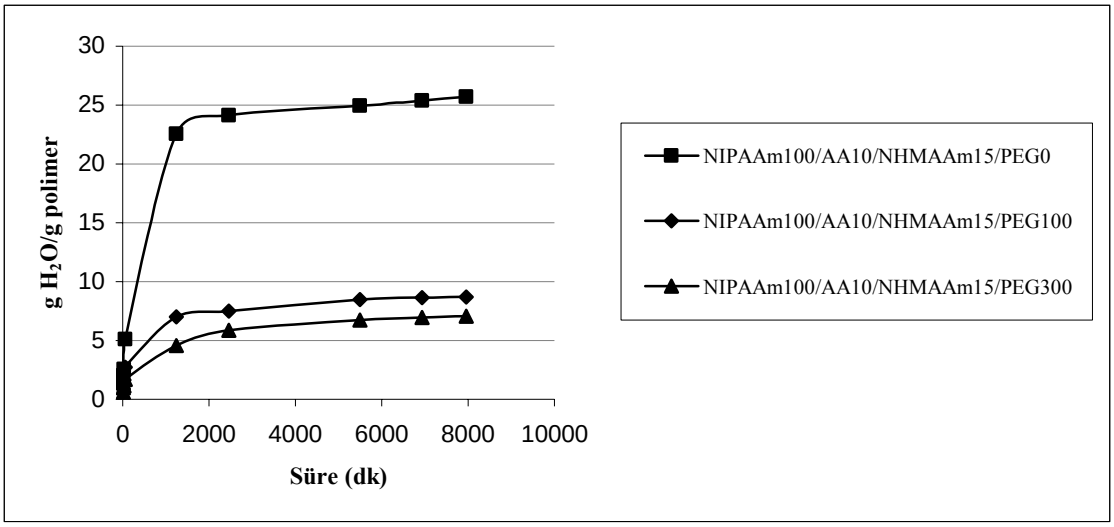
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/1/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/1/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.32. NIPAAm100/AA1/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.32' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre çok yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Tüm jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları görülmektedir.

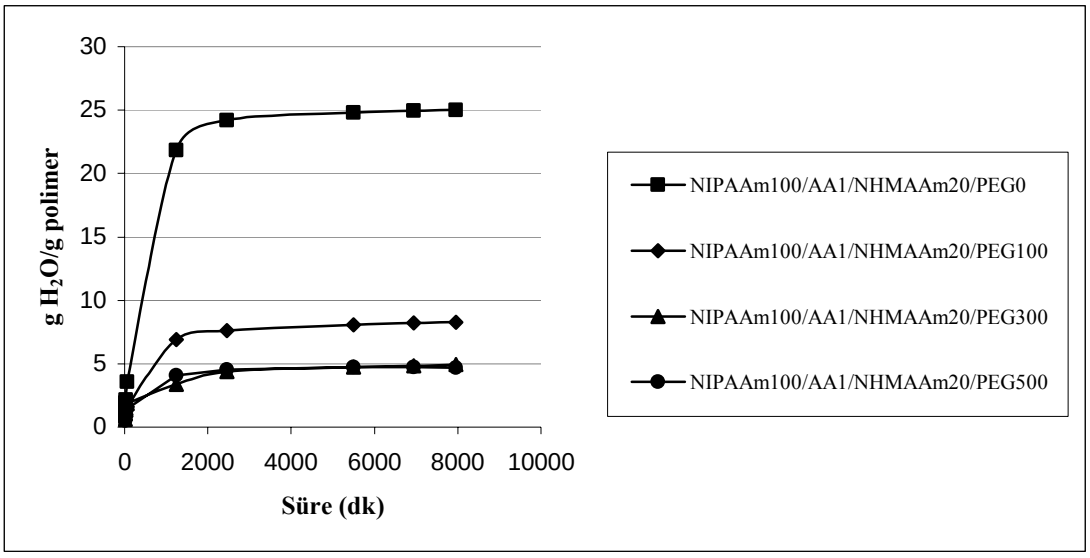
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/10/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.33. NIPAAm100/AA10/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.33' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre çok yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Tüm jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları görülmektedir.

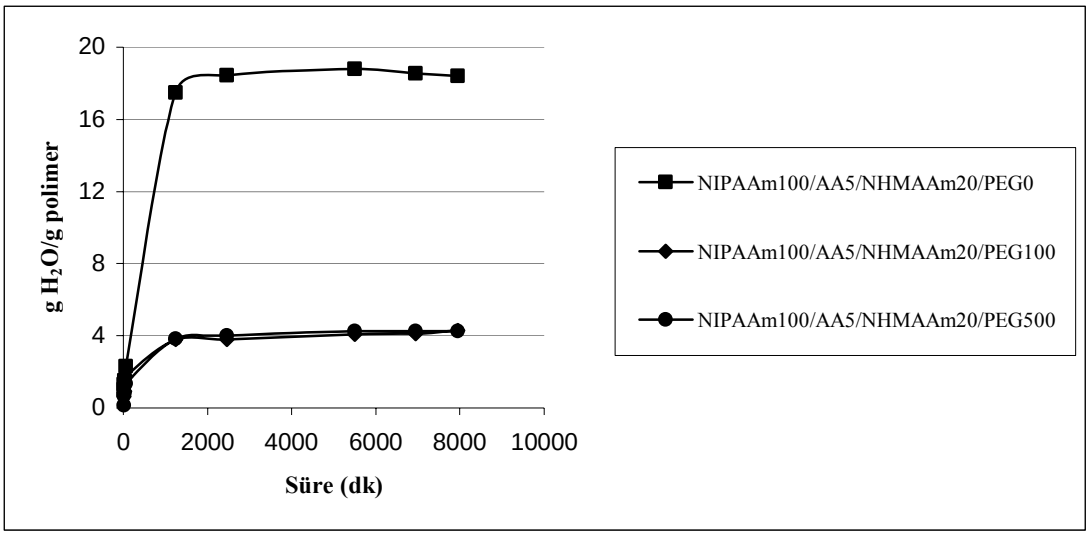
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/1/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/1/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol))	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/1/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.34. NIPAAm100/AA1/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.34' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre çok yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Tüm jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları görülmektedir.

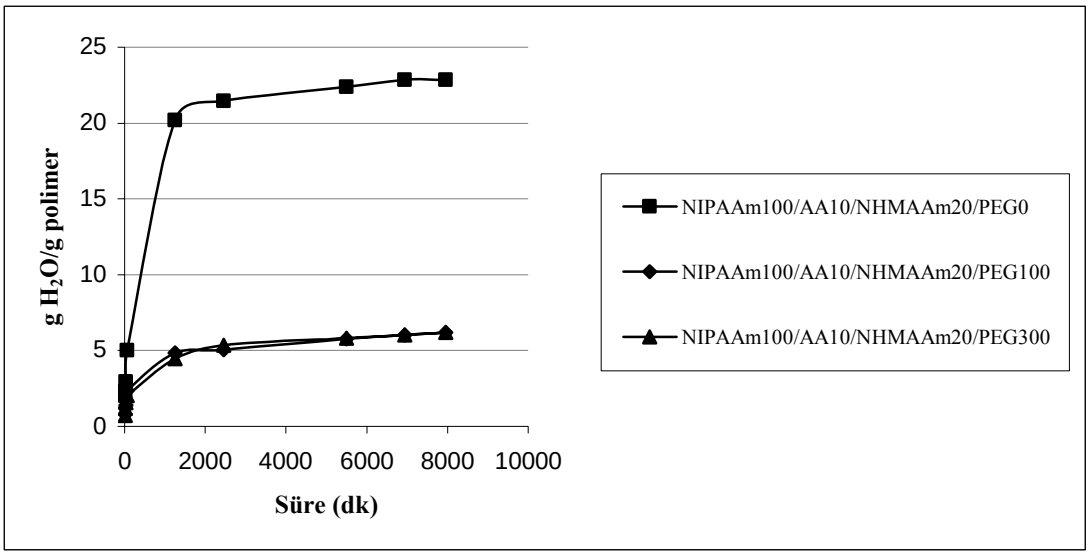
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/5/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.35. NIPAAm100/AA5/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.35' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre çok yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Tüm jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları görülmektedir.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/10/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol))	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.36. NIPAAm100/AA10/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.36' ya göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre çok yüksek su absorblama kapasitesine ve hızına sahip olduğu görülmektedir. Tüm jellerin yaklaşık olarak aynı sürede dengeye ulaştıkları görülmektedir.

20 ^{o}C' de yapılan şişme kinetik ölçümleri sonucunda, PEG 400 değişiminin jellerin su absorblama kapasitesine ve hızına etkisi incelendiğinde;

PEG 400 kullanılmadığında tüm jellerin yüksek bir su absorblama kapasitesine (kuru jele göre16-30 kata kadar) ve hızına sahip oldukları, özellikle, PEG 400' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 ve 500 oranlarında kullanıldığında jellerin genelde düşük bir su absorblama kapasitesine (kuru jele göre 6-10 kata kadar) ve hızına sahip oldukları belirlenmiştir.

Deneylerde kullanılan NHMAAm miktarının PEG 400' ün etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında; kullanılan NHMAAm miktarının, PEG 400 kullanılmadığında belirgin bir etkisinin olmadığı, ancak PEG 400'ün, %300 ve 500 oranında kullanıldığında; NHMAAm miktarının artmasının jelin şişmesini 11 kattan 4 kata kadar azalttığı belirlenmiştir.

Deneylerde kullanılan AA miktarının PEG 400' ün etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında; PEG 400 kullanılmadığında, AA miktarının artmasıyla, jelin su absorblama kapasitesinin 16 kattan 33 kata kadar arttığı, PEG 400 kullanıldığında ise AA miktarının belirgin bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

PEG 400 kullanımının sentezlenen hidrojellerin şişme kinetiklerine etkisi incelendiğinde, PEG 400' ün şişme kinetiklerini olumlu yönde etkilemediği hatta çoğu deneyde bu etkinin olumsuz yönde olduğu belirlenmiştir.

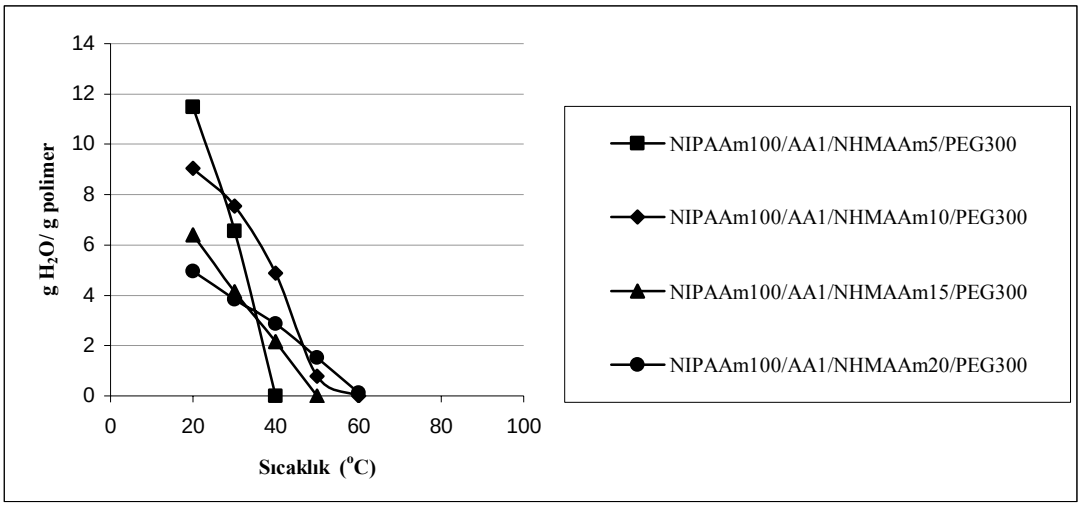
PEG 400 kullanılmasının ve miktarının değişmesinin, jelin dengeye ulaşma süresini önemli ölçüde etkilemediği, hemen hemen tüm jellerin 2000 dk sonunda dengeye ulaştığı belirlenmiştir.

4.1.2. Sıcaklık duyarlılık ölçümleri

Yapılan sıcaklık duyarlılık ölçümlerinde, sentezlenen jellerin hemen hemen hepsinin sıcaklığa duyarlı oldukları bulunmuştur.

4.1.2.1. NHMAAm değişiminin jellerin sıcaklık duyarlılıklarına etkisinin incelenmesi

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
100/1/10/300	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
100/1/15/300	0,75 g($6,63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9,94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
100/1/20/300	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)

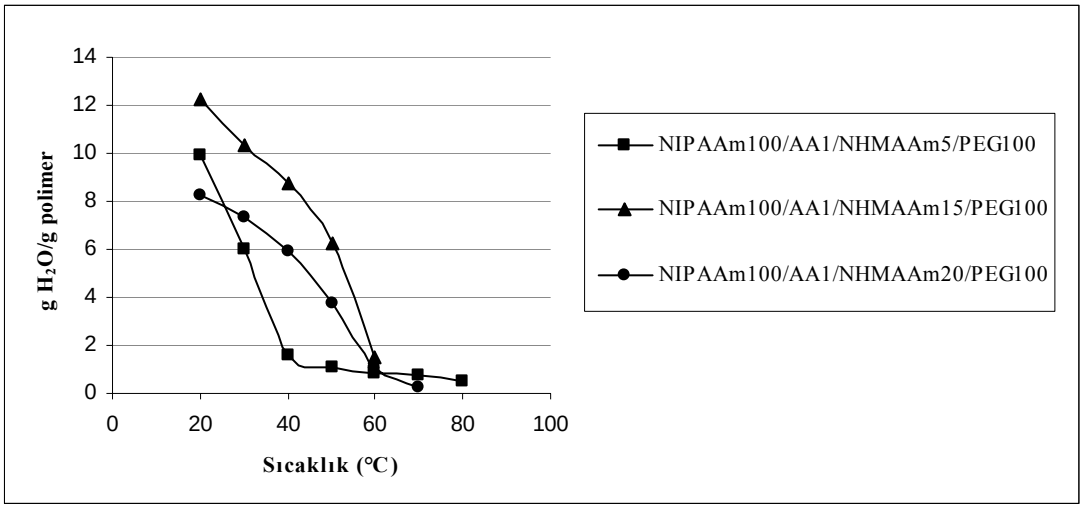


Grafik 4.37. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.37' ye göre; AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren jelin

absorbladığı suyun tamamını 40 ^{o}C' de, %10 ve 20 NHMAAm içeren jellerin ise 60 ^{o}C' de bıraktığı, jel içindeki NHMAAm miktarının artmasıyla birlikte faz geçiş aralığının da arttığı görülmektedir.

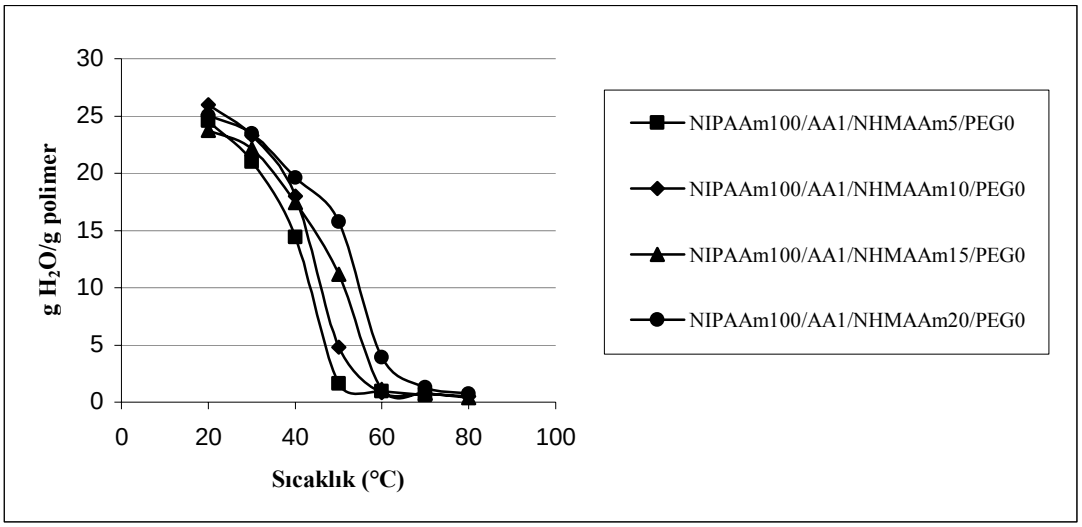
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)
100/1/15/100	0,75 g($6,63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9,94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)
100/1/20/100	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.38. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.38' e göre; AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren jelin absorbladığı suyun %90' ını 60 ^{o}C' de bıraktığı, %15 NHMAAm içeren jelin ise 60 ^{o}C' de absorbladığı suyun ancak %88' ini bırakabildiği; jel içindeki NHMAAm miktarının artmasıyla birlikte jelin faz geçiş aralığının da arttığı görülmektedir.

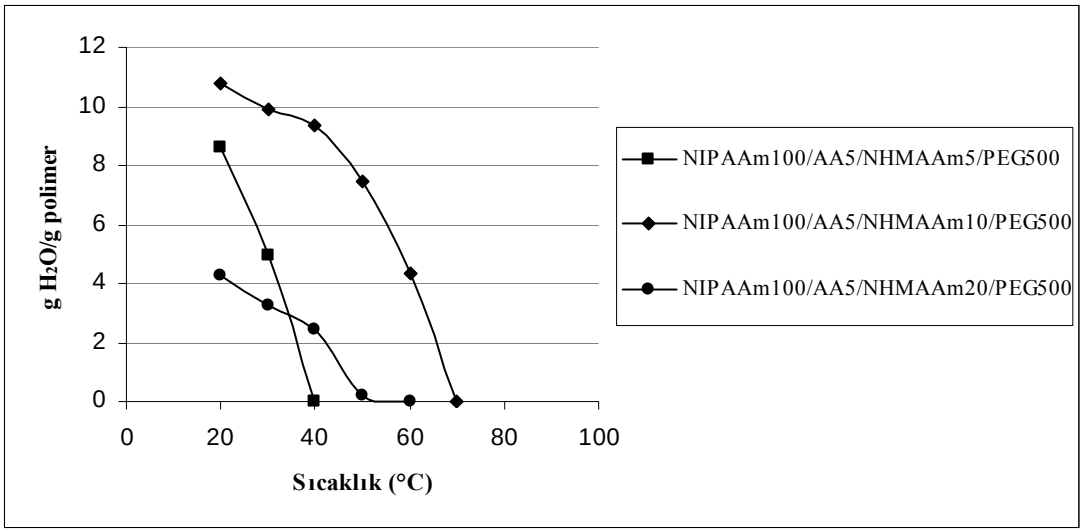
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/0	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	-
100/1/10/0	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	-
100/1/15/0	0,75 g($6,63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9,94.10^{-4}$ mol)	-
100/1/20/0	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	-



Grafik 4.39. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.39' a göre; AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, %5 NHMAAm içeren jelin absorbladığı suyun tamamını 60 ^{o}C' de, %20 NHMAAm içeren jelin ise 80 ^{o}C' de bıraktığı görülmektedir.

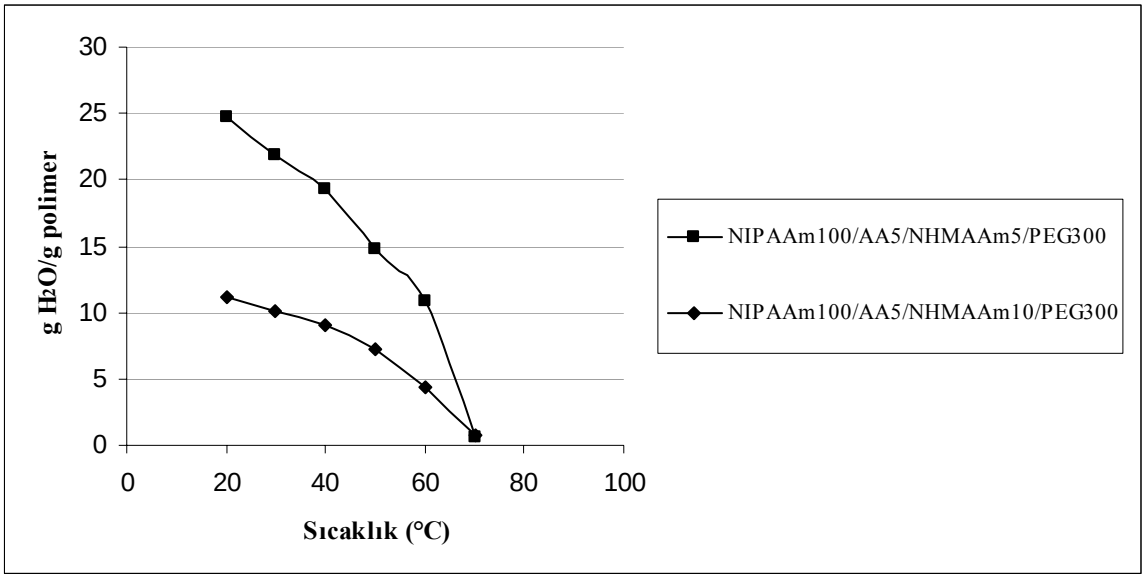
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)
100/5/10/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)
100/5/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.40. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.40' a göre; AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %500 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren jelin absorbladığı suyun tamamını 40 ^{o}C' de, %10 NHMAAm içeren jelin ise 70 ^{o}C' de bıraktığı görülmektedir.

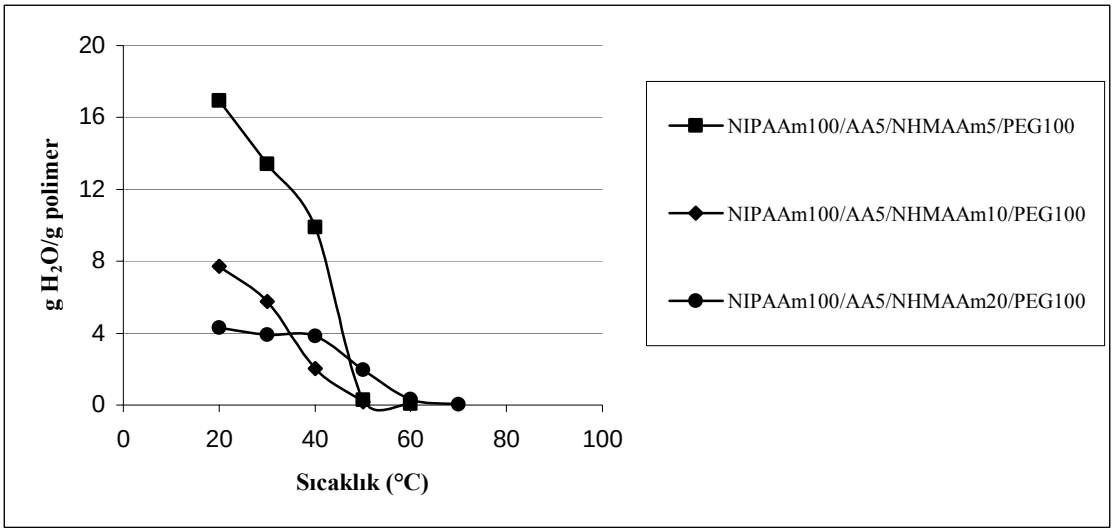
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.41. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.41' e göre; AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, her iki jelin de absorbladığı suyun tamamını 70 ^{o}C' de bıraktığı görülmektedir.

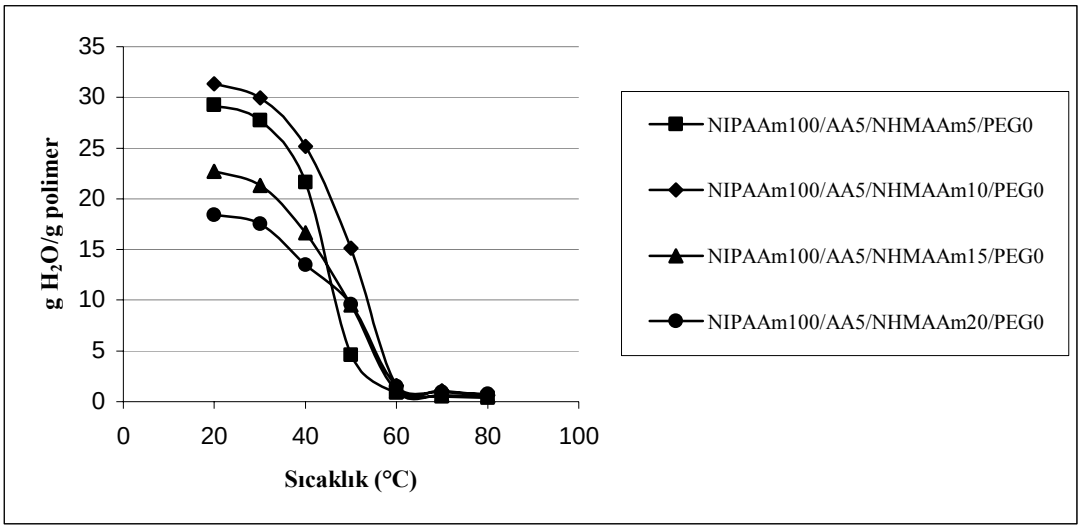
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.42. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.42' ye göre; AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %5 ve 10 NHMAAm içeren jellerin absorbladıkları suyun tamamını 50 ^{o}C' de, %20 NHMAAm içeren jelin ise 70 ^{o}C' de bıraktığı görülmektedir.

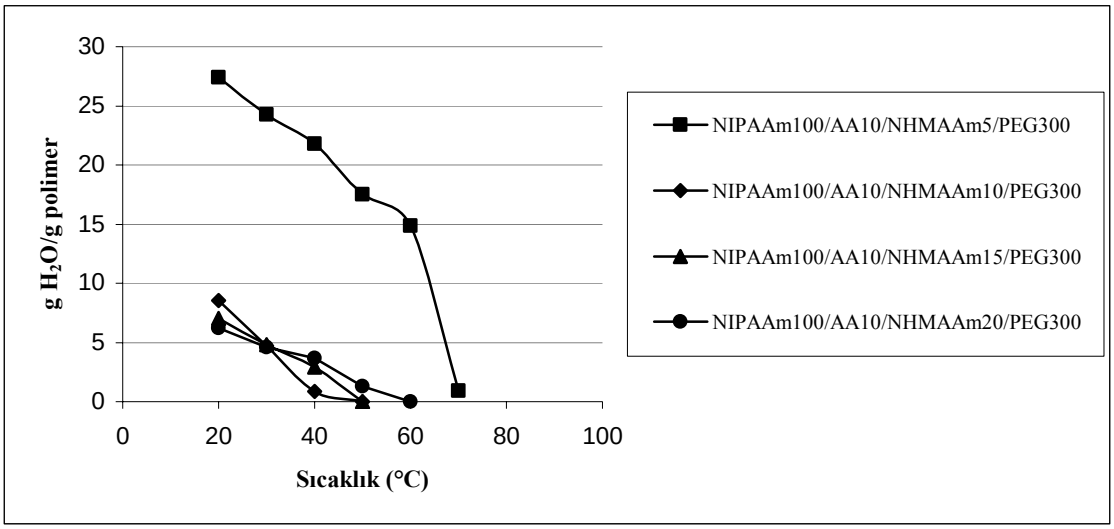
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/5/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/5/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/5/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-



Grafik 4.43. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.43' e göre; AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, tüm jellerin absorbladıkları suyun tamamını 60-80 ^{o}C aralığında bıraktıkları görülmektedir.

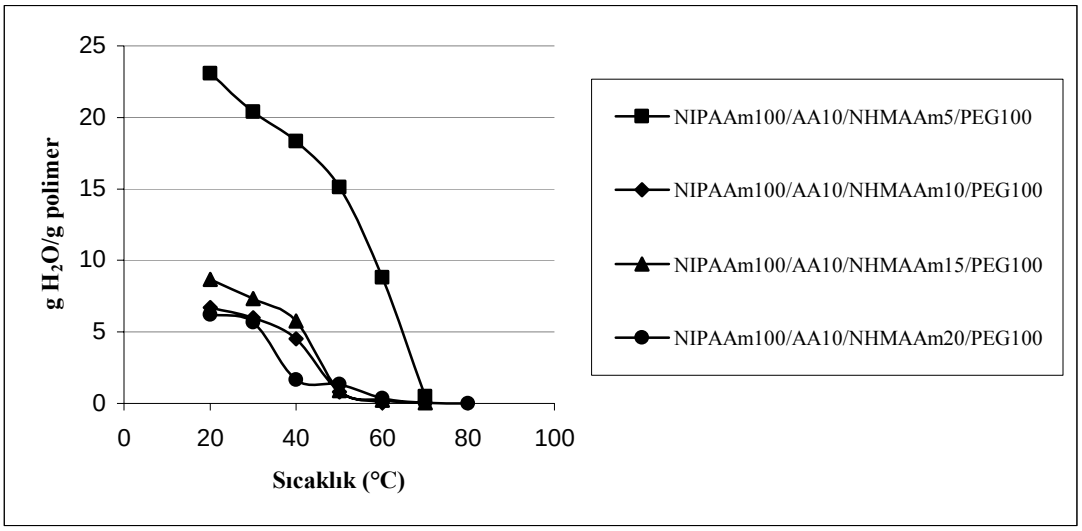
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.44. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.44' e göre; AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %10 ve 15 NHMAAm içeren jellerin absorbladıkları suyun tamamını 50 ^{o}C' de, %5 NHMAAm içeren jelin ise 70 ^{o}C'de bıraktığı görülmektedir.

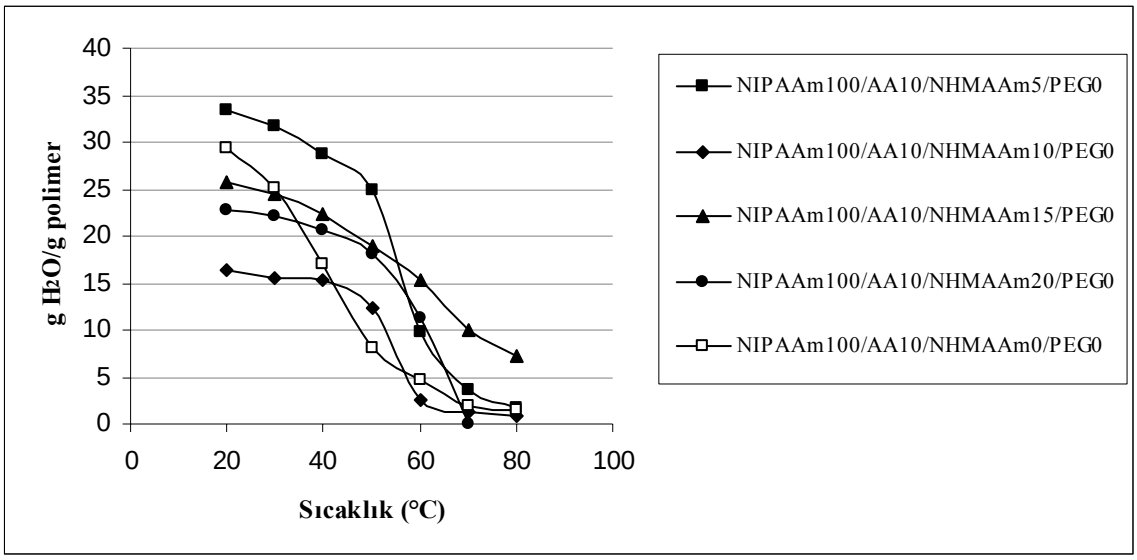
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.45. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.45' e göre; AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren jelin 70 ^{o}C' de, diğer jellerin ise 60 ^{o}C' de, absorbladıkları suyun %99' unu bıraktıkları görülmektedir.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/10/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/10/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/10/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/10/0/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-	-



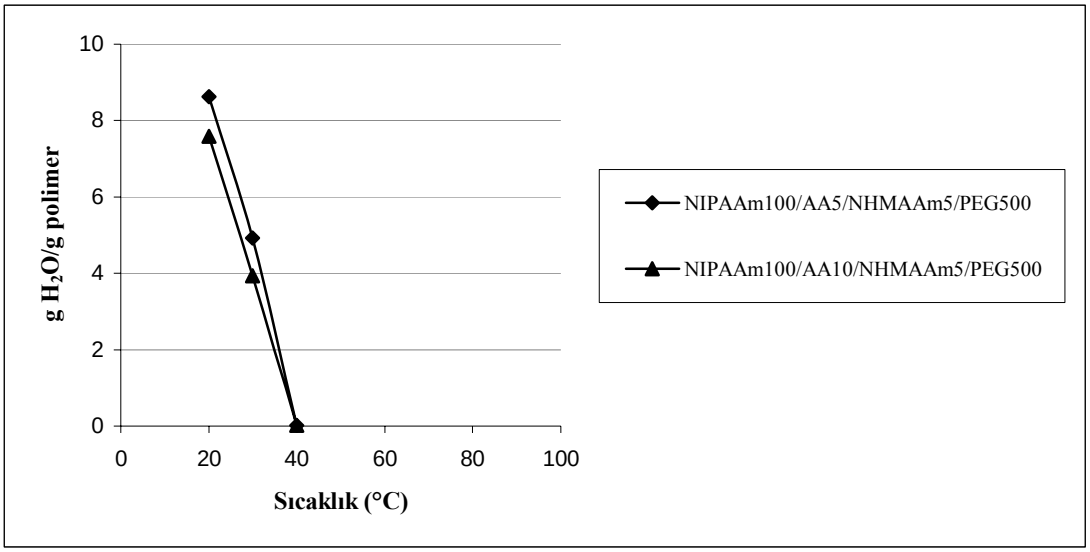
Grafik 4.46. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.46' ya göre; AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, %15 NHMAAm içeren jelin 80 ^{o}C' de, absorbladığı suyun ancak %72' sini bıraktığı; diğer jellerin ise 80 ^{o}C' de, absorbladıkları suyun neredeyse tamamını bıraktıkları görülmektedir.

NHMAAm değişiminin jellerin sıcaklık duyarlılığına etkisi incelendiğinde; NHMAAm miktarının artmasının tek başına belirgin bir şekilde jellerin sıcaklıkla olan davranışını etkilemediği görülmektedir. AA ve PEG400 kullanılmasının ve miktarlarının değiştirilmesinin NHMAAm'ın etkisine önemli bir katkıda bulunmadığı belirlenmiştir.

4.1.2.2. AA değişiminin jellerin sıcaklık duyarlılıklarına etkisinin incelenmesi

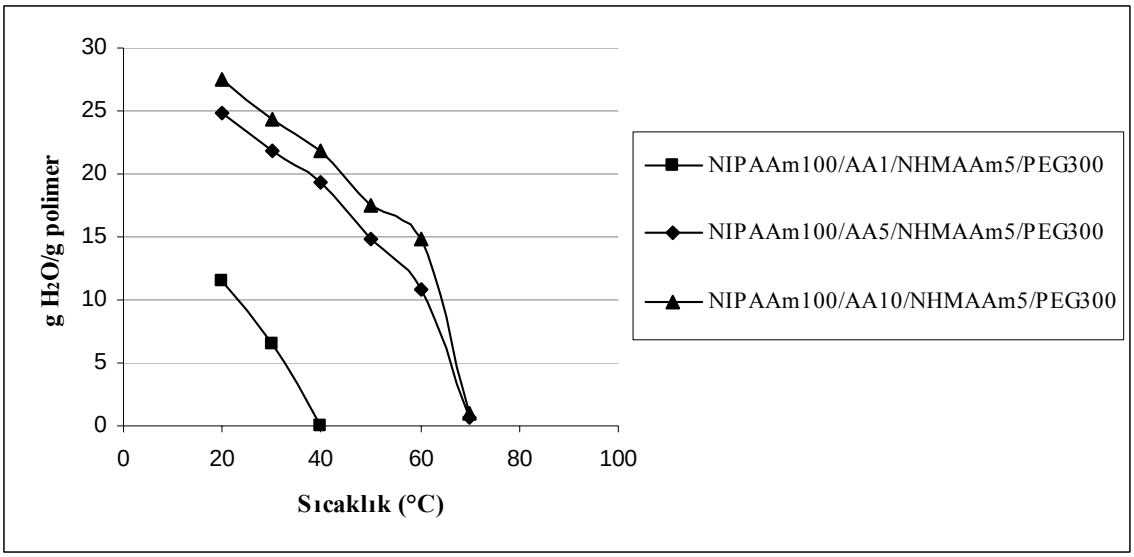
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)
100/10/5/500	0,75 g($6{,}63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.47. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.47' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %500 oranında kullanılması durumunda, her iki jelin de absorbladıkları suyun tamamını 40 ^{o}C' de bıraktıkları ve sıcaklık duyarlı oldukları görülmektedir.

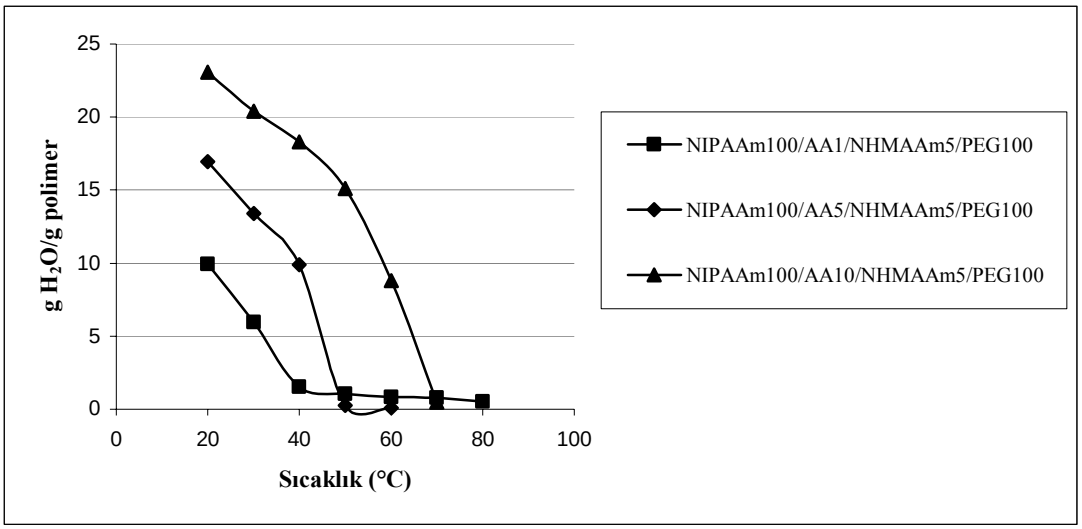
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
100/5/5/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol
100/10/5/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol



Grafik 4.48. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.48' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %1 AA içeren jelin absorbladığı suyun tamamını 40 ^{o}C' de bıraktığı; diğer jellerin ise 70 ^{o}C' de bıraktıkları görülmektedir.

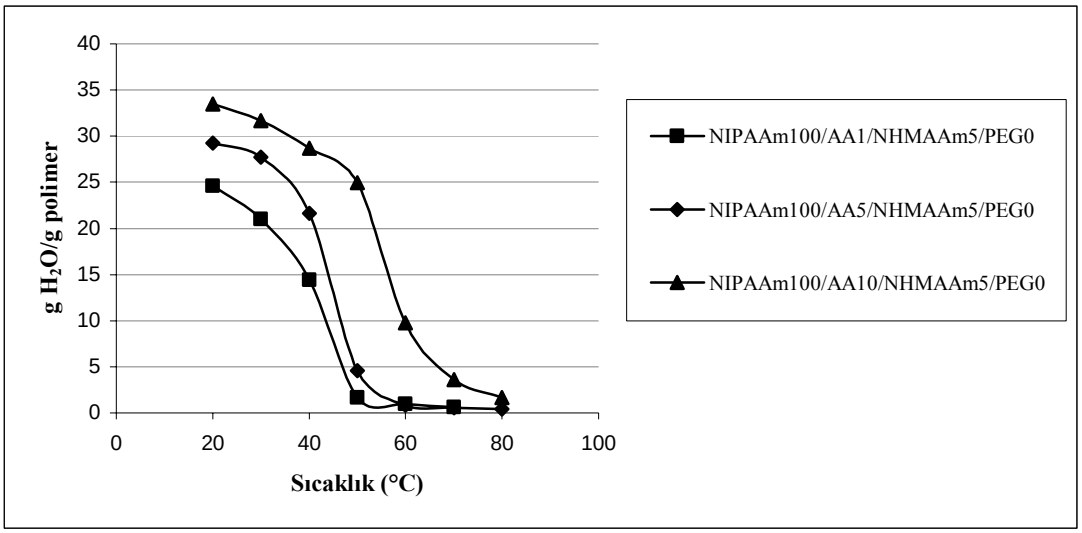
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol))
100/10/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.49. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.49' a göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %5 AA içeren jelin absorbladığı suyun %98' ini 50 ^{o}C' de; %10 AA içeren jelin ise 70 ^{o}C' de %98' ini bıraktığı görülmektedir. %1 AA içeren jelin 40 ^{o}C' de, absorbladığı suyun %80' ini bırakabildiği, sıcaklık 80 ^{o}C' ye ulaştığında ise %95' ini bıraktığı görülmektedir.

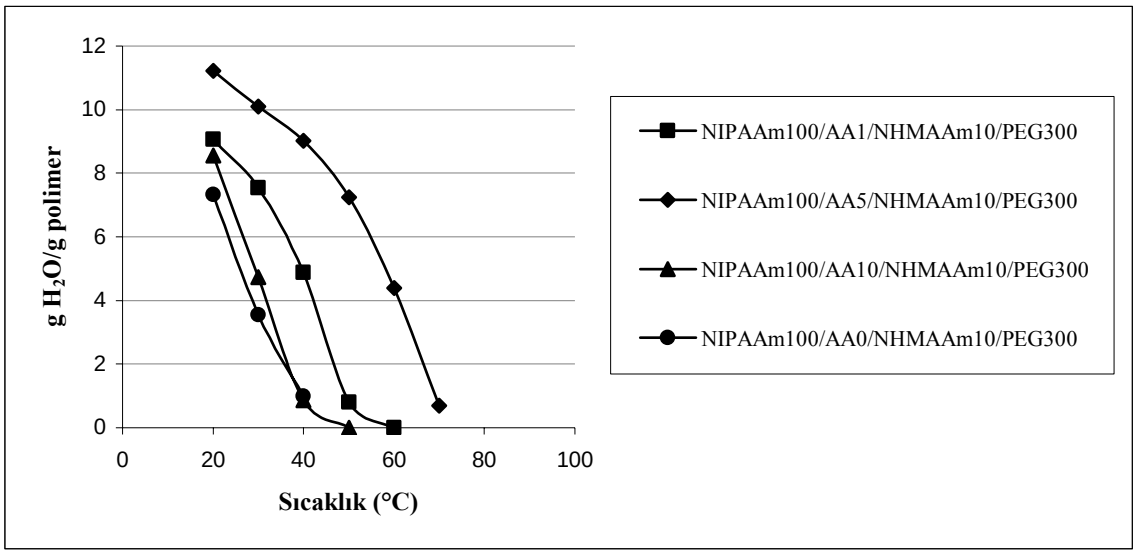
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/5/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/10/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-



Grafik 4.50. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.50' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, %1 ve 5 AA içeren jellerin absorbladıkları suyun %98' ini 60 ^{o}C' de bıraktıkları, %10 AA içeren jelin ise absorbladığı suyun %98' ini 80 ^{o}C' de bıraktığı görülmektedir.

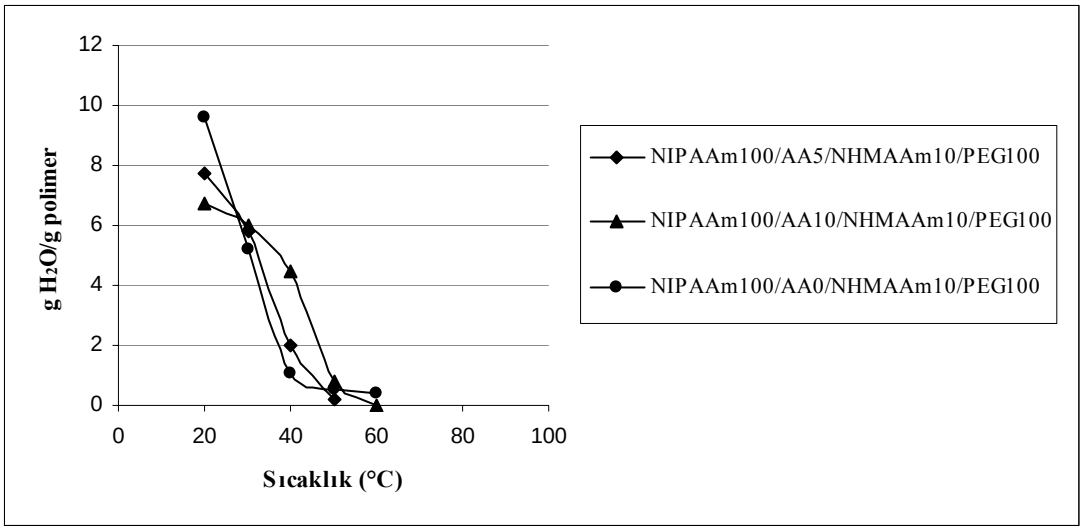
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/0/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.51. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.51' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, AA içermeyen jelin absorbladığı suyun %96' sını 40 ^{o}C' de bıraktığı, %5 AA içeren jelin ise %94' ünü 70 ^{o}C' de bıraktığı görülmektedir.

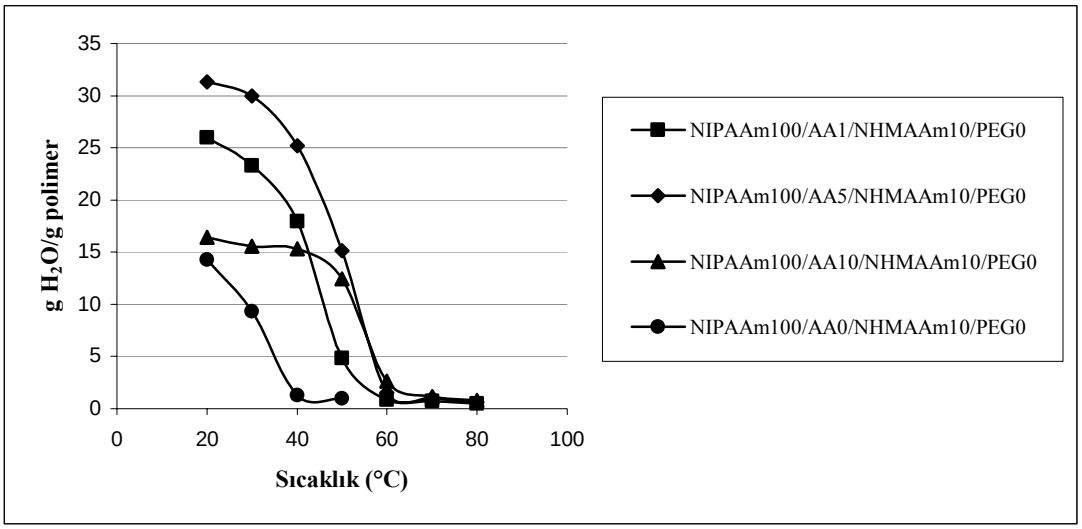
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/0/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.52. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.52' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %5 AA içeren jelin absorbladığı suyun tamamını 50 ^{o}C' de; diğer jellerin ise absorbladıkları suyun tamamına yakınını 60 ^{o}C' de bıraktıkları görülmektedir.

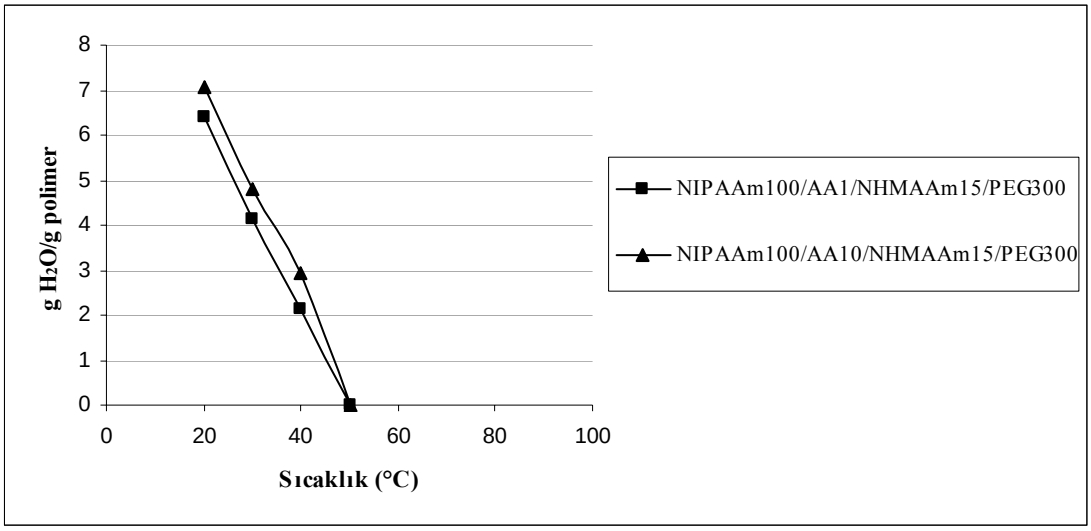
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/5/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/10/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/0/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-



Grafik 4.53. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.53' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, AA içermeyen jelin absorbladığı suyun tamamını 50 ^{o}C' de, diğerlerinin ise absorbladıkları suyun büyük bir kısmını 60-80 ^{o}C aralığında bıraktıkları; jel içinde AA miktarının artmasıyla faz geçiş aralığının da belirgin olarak arttığı görülmektedir.

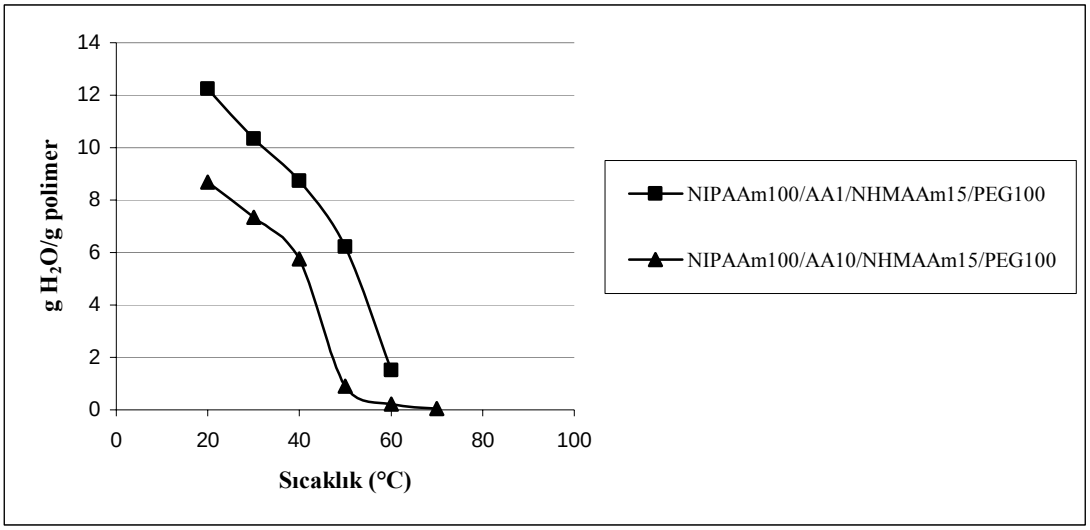
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.54. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.54' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, her iki jelin de absorbladıkları suyun tamamını 50 ^{o}C' de bıraktıkları görülmektedir.

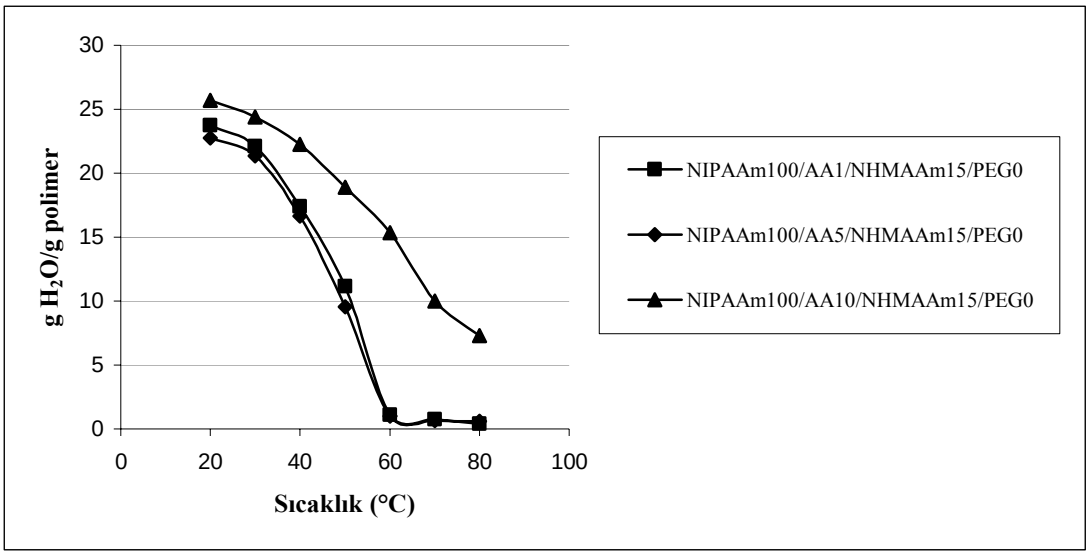
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.55. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.55' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %10 AA içeren jelin absorbladığı suyun tamamını 70 ^{o}C' de, %1 AA içeren jelin ise absorbladığı suyun %88' ini 60 ^{o}C' de bıraktığı görülmektedir.

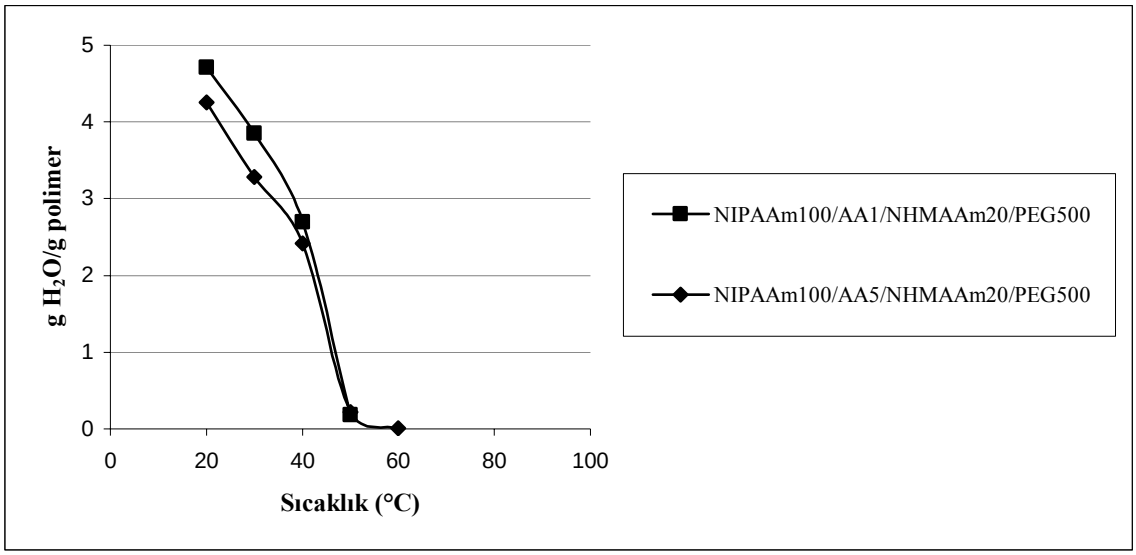
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/5/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	-
100/10/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	-



Grafik 4.56. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.56' ya göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, %5 ve 10 AA içeren jellerin absorbladıkları suyun tamamını 60-80 ^{o}C aralığında bıraktıkları, %10 AA içeren jelin 80 ^{o}C' de, absorbladığı suyun yaklaşık %72' sini bırakabildiği görülmektedir.

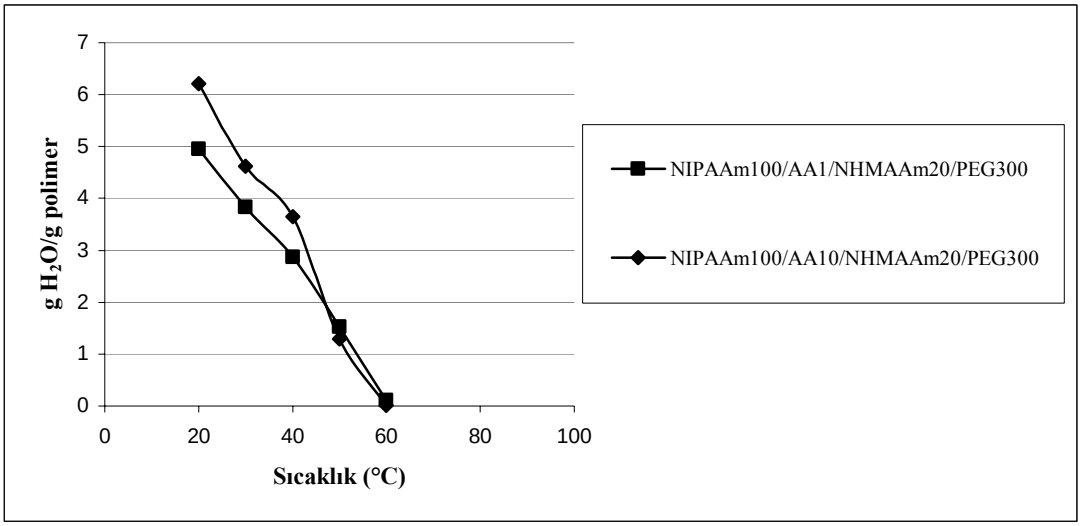
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/500	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9,35.10^{-3}$ mol)
100/5/20/500	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9,35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.57. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG500 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.57' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %500 oranında kullanılması durumunda, her iki jelin de absorbladıkları suyun tamamını 60 ^{o}C' de bıraktığı görülmektedir.

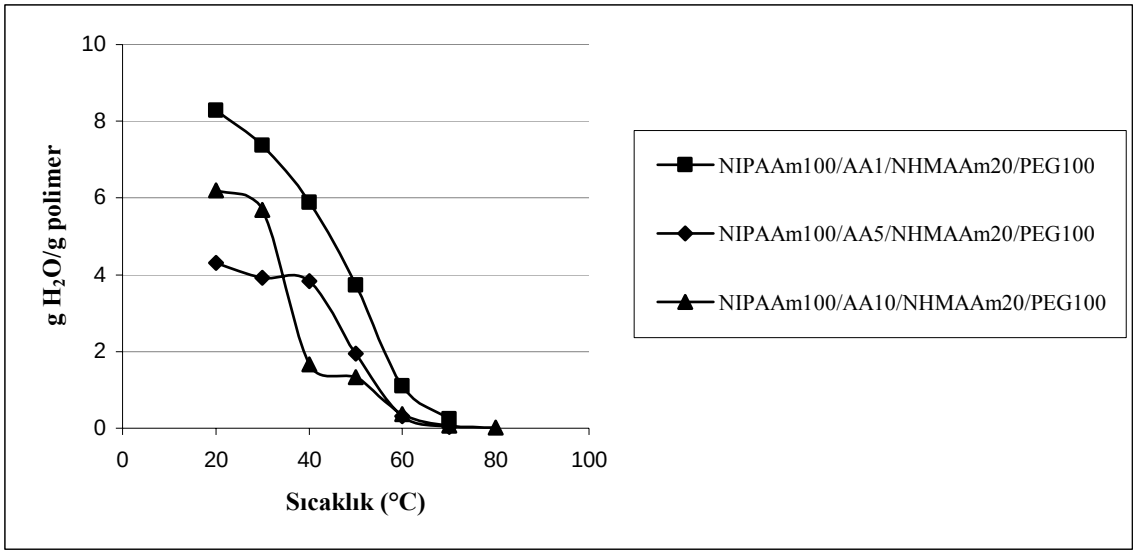
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.58. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG300 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.58' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, her iki jelin de absorbladıkları suyun tamamını 60 ^{o}C' de bıraktıkları görülmektedir.

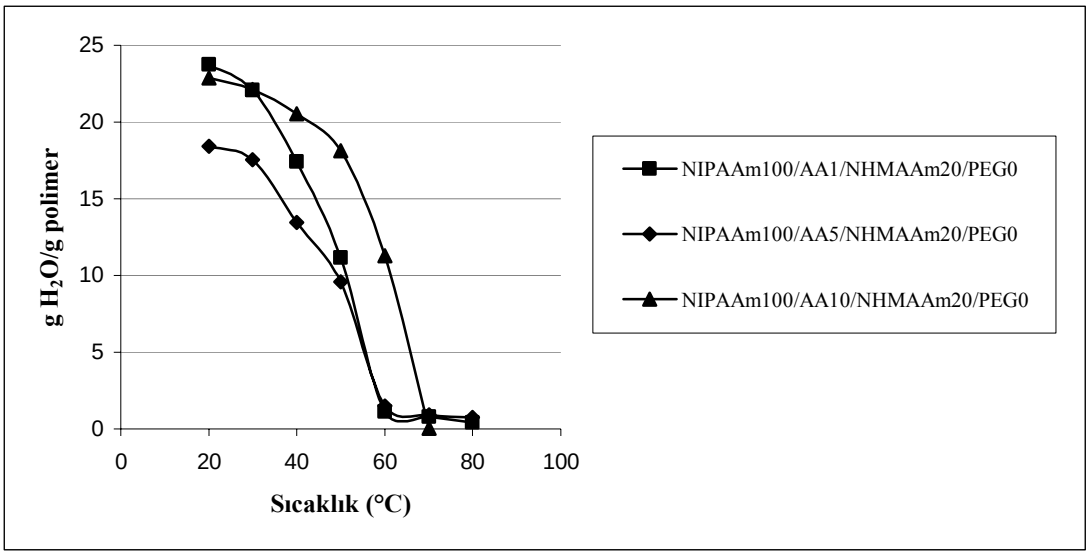
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.59. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG100 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.59' a göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, tüm jellerin absorbladıkları suyun tamamını 70 ^{o}C' de bıraktıkları; jel içindeki AA miktarının artmasıyla faz geçiş aralığının da belirgin olarak arttığı görülmektedir.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/5/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/10/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-



Grafik 4.60. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG0 kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.60' a göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, %1 ve 5 AA içeren jellerin absorbladıkları suyun tamamını 80 ^{o}C' de bıraktıkları, %10 AA içeren jelin ise 70 ^{o}C' de bıraktığı; jel içindeki AA miktarının artmasıyla faz geçiş aralığının da belirgin olarak arttığı görülmektedir.

AA değişiminin jellerin sıcaklık duyarlılığına etkisi incelendiğinde;

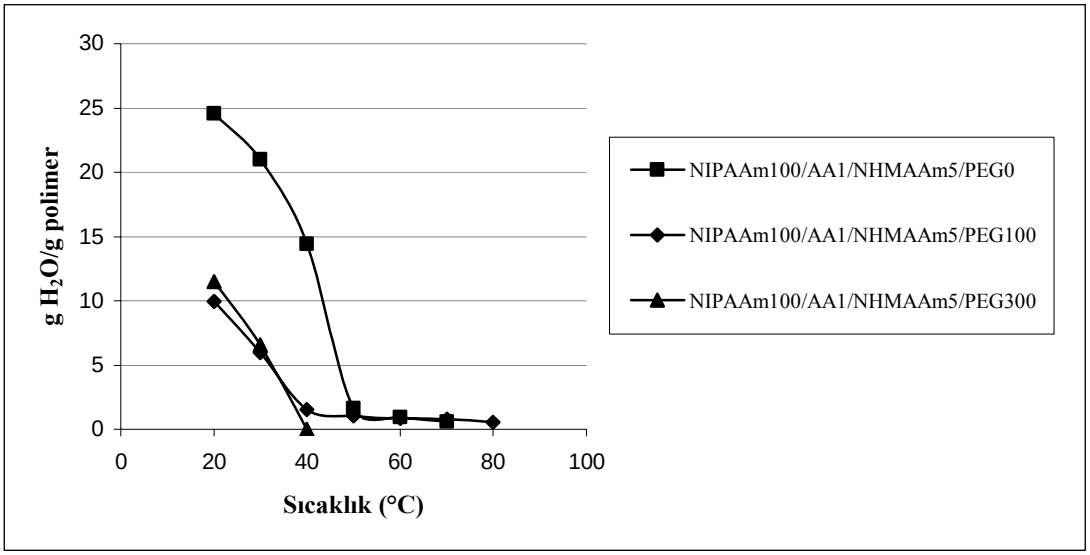
Kullanılan AA miktarı; NIPAAm'a göre %10 mol oranında kullanıldığında, genelde jellerin daha yüksek sıcaklıklarda büzülmelerini tamamladıkları, bazı jellerin ise tamamen büzülemedikleri, faz geçiş aralığının geniş olduğu; %1 mol oranında kullanıldığında ise genelde faz geçiş aralığının dar olduğu ve jellerin daha düşük sıcaklıklarda büzülmelerini tamamladıkları belirlenmiştir. AA'nın iyonlaşabilen hidrofilik bir monomer olmasından dolayı, AA yüzdesi arttıkça, yapıdaki iyonik drupların sayısının ve dolayısıyla elektrostatik itmenin artmasının, jelin büzülmesine ters bir etki yaptığı, bu nedenle de faz geçişini geciktirdiği düşünülebilir.

Kullanılan NHMAAm miktarının; AA'ın etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında; genelde NHMAAm miktarının AA' nın etkisine belirli bir katkıda bulunmadığı belirlenmiştir.

Kullanılan PEG400 miktarının; AA'nın etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında; PEG400 miktarının belirgin bir etkisinin olmadığı; bununla beraber %300 ve 500 oranlarında PEG400 kullanıldığında jelin daha düşük sıcaklıklarda büzüldüğü gözlemlenmiştir.

4.1.2.3. PEG400 değişiminin jellerin sıcaklık duyarlılıklarına etkisinin incelenmesi

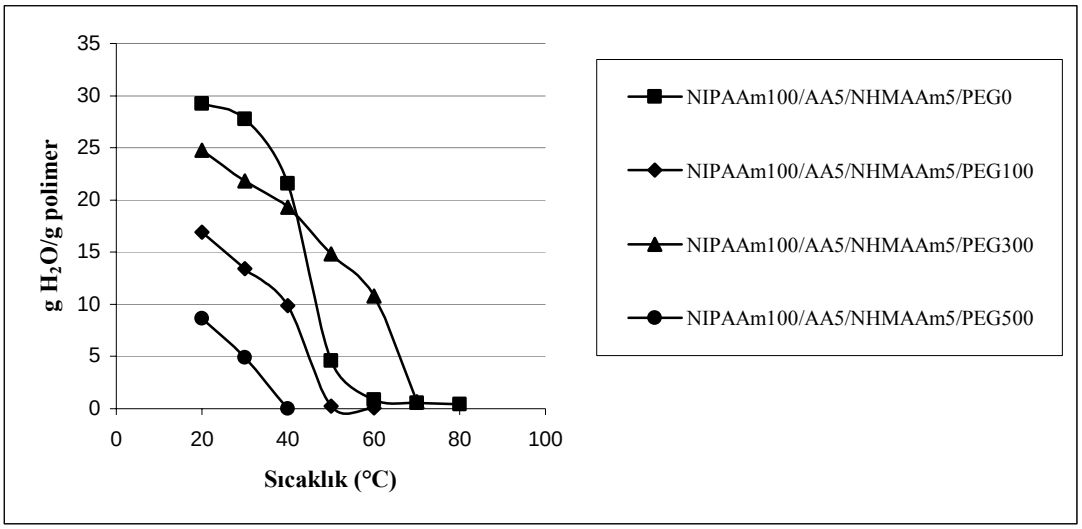
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	-
100/1/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/1/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.61. NIPAAm100/AA1/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.61' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, %100 ve 300 PEG içeren jellerin 40 ^{o}C' de, PEG içermeyen jelin 50 ^{o}C' de, absorbladıkları suyun tamamını bıraktığı ve jellerin 80 ^{o}C' ye kadar büzülmeye devam ettikleri görülmektedir.

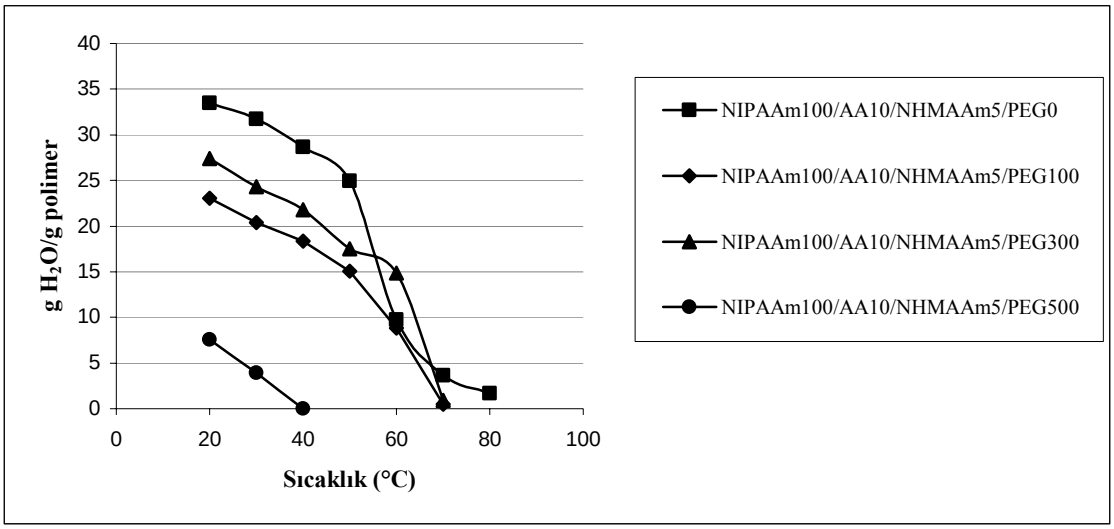
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	-
100/5/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/5/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml (9,35.10-3 mol)



Grafik 4.62. NIPAAm100/AA5/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.62' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanılması durumunda, %500 PEG içeren jelin 40 ^{o}C' de, %300 PEG içeren jelin ise 70 ^{o}C' de, absorbladıkları suyun tamamını bıraktıkları; en geniş faz geçiş aralığının PEG içermeyen jele ait olduğu görülmektedir.

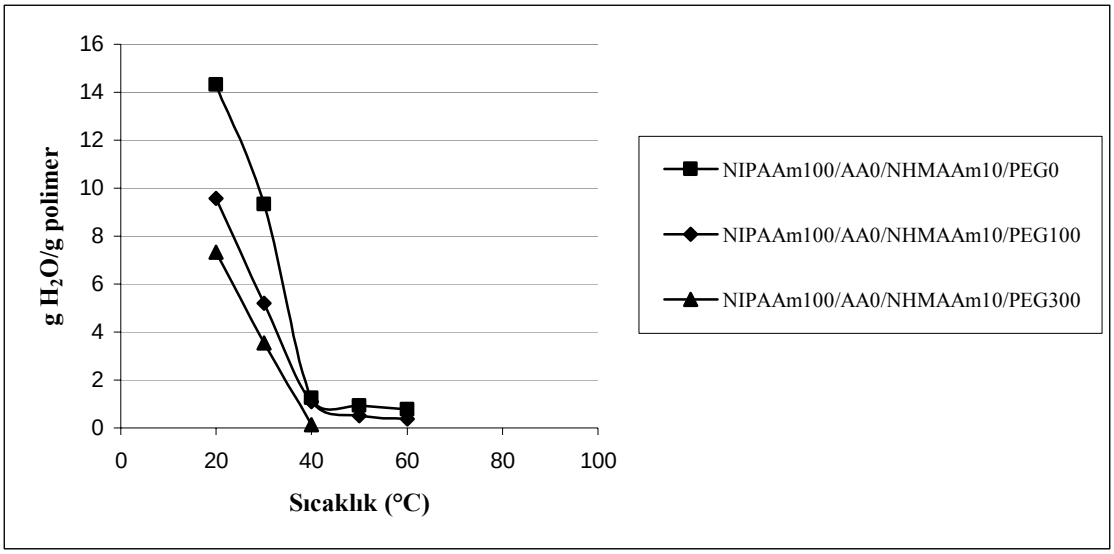
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	-
100/10/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/5/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol))	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml (9,35.10-3 mol)



Grafik 4.63. NIPAAm100/AA10/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.63' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanılması durumunda, %500 PEG içeren jelin absorbladığı suyun tamamını 40 ^{o}C' de bıraktığı; en geniş faz geçiş aralığının PEG içermeyen jele ait olduğu görülmektedir.

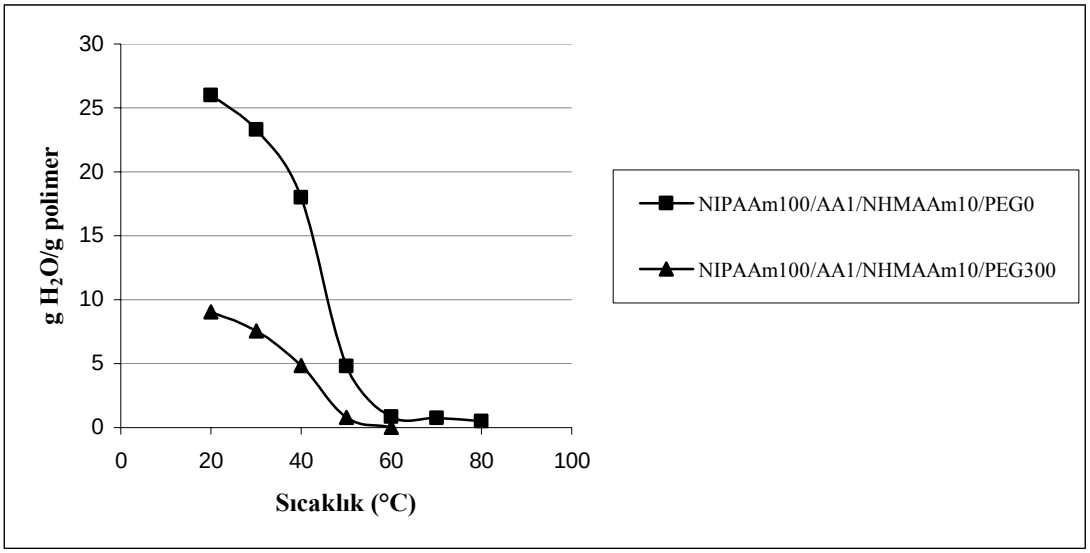
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/0/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/0/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/0/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.64. NIPAAm100/AA0/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.64' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanıldığı ve AA' nın kullanılmadığı durumda, %300 PEG içeren jelin absorbladığı suyun tamamını 40 ^{o}C' de bıraktığı, diğer jellerin ise 60 ^{o}C' ye kadar büzülmeye devam ettikleri görülmektedir.

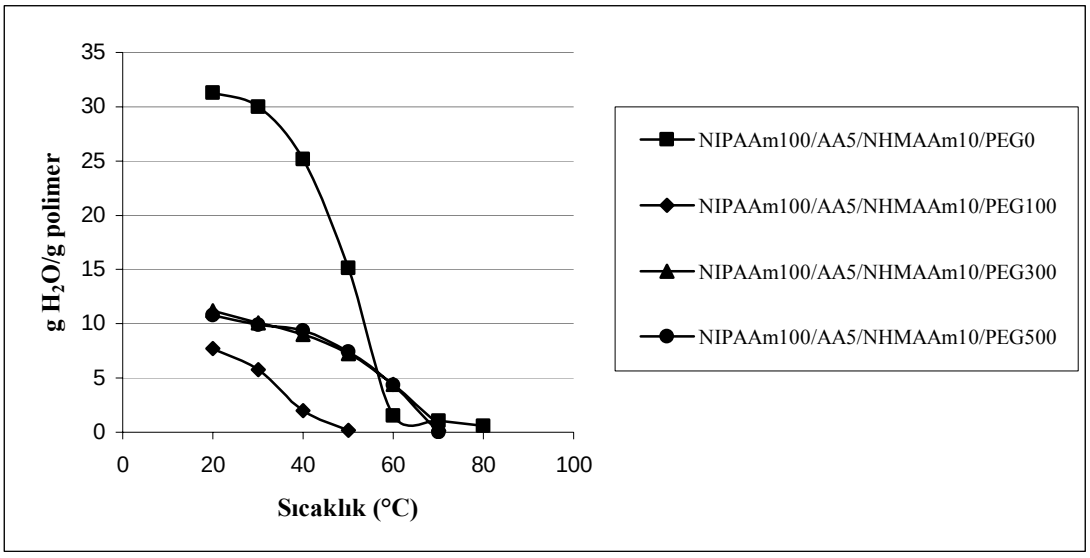
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/1/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.65. NIPAAm100/AA1/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.65' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, her iki jelin de absorbladıkları suyun tamamına yakınını 60 ^{o}C' de bıraktıkları görülmektedir.

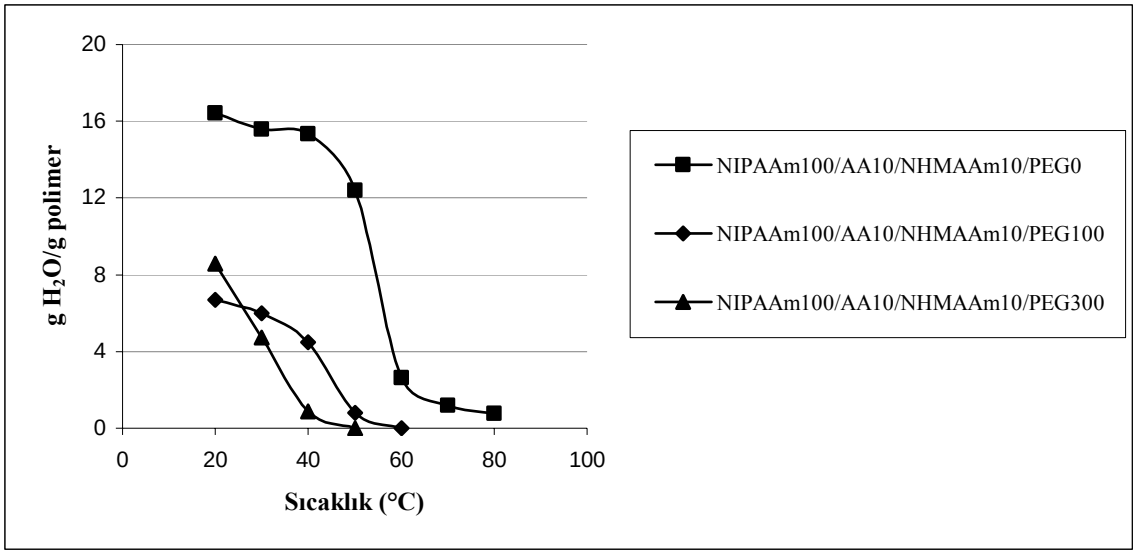
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/5/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/10/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.66. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.66' ya göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanılması durumunda, %100 PEG içeren jelin 50 ^{o}C' de, diğer jellerin ise 70 ^{o}C' de, absorbladıkları suyun tamamını bıraktıkları; PEG içeriğinin azalmasıyla birlikte faz geçiş aralığının da arttığı görülmektedir.

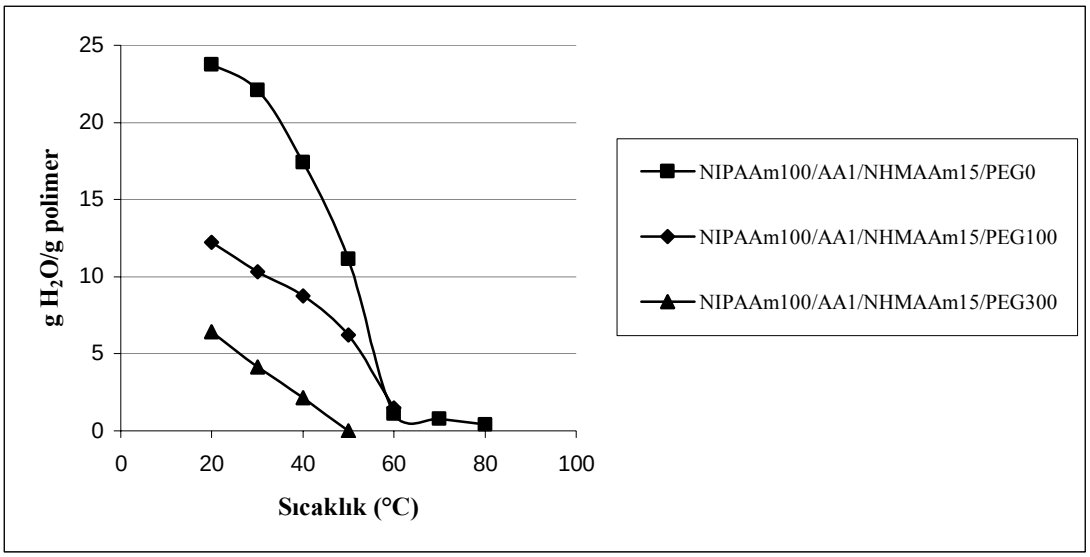
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/10/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.67. NIPAAm100/AA10/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.67' ye göre; NHMAAm' ın ve AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanılması durumunda, %300 PEG içeren jel absorbladığı suyun tamamını 40 ^{o}C' de bırakırken, PEG içermeyen jelde ise bu sıcaklığın 70-80 ^{o}C olduğu, PEG içeriğinin azalmasının faz geçiş aralığını artırdığı görülmektedir.

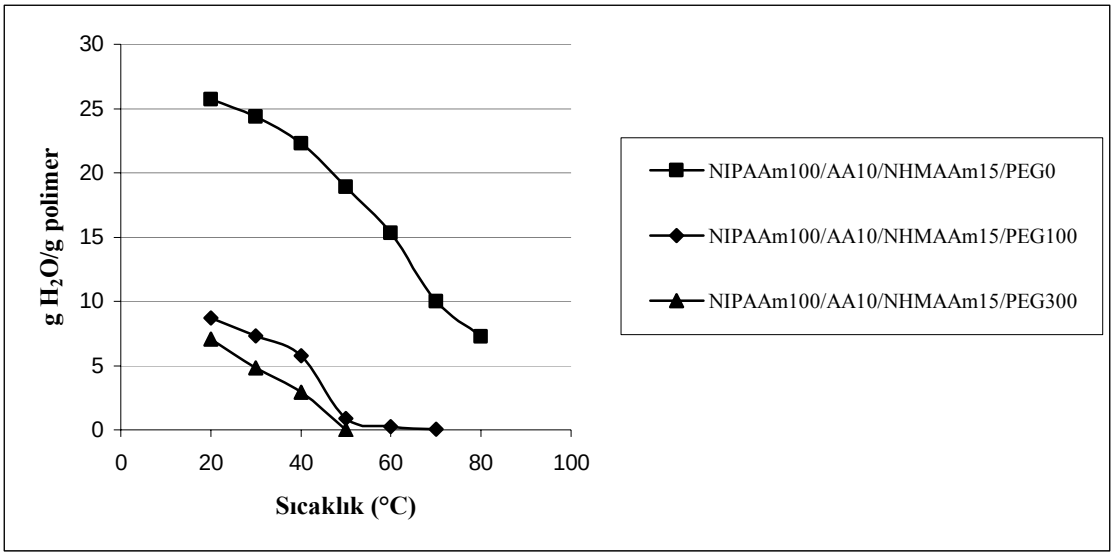
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/1/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/1/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.68. NIPAAm100/AA1/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.68' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, %300 PEG içeren jelin absorbladığı suyun tamamını 50 ^{o}C' de, diğer jellerin ise absorbladıkları suyun büyük bir kısmını 60 ^{o}C' de bıraktıkları görülmektedir.

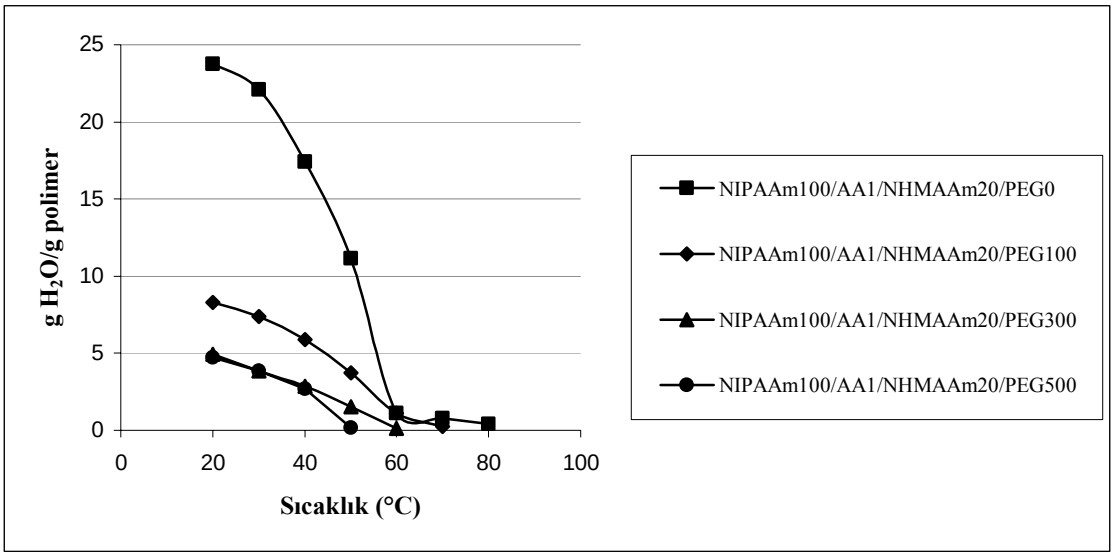
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/10/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.69. NIPAAm100/AA10/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.69' a göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanılması durumunda, %100 ve 300 PEG içeren jellerin absorbladıkları suyun tamamına yakınını 50 ^{o}C' de bıraktıkları; PEG içermeyen jelin ise 80 ^{o}C' de büzülmesini tamamlayamadığı; absorbladığı suyun ancak %72' sini bırakabildiği görülmektedir.

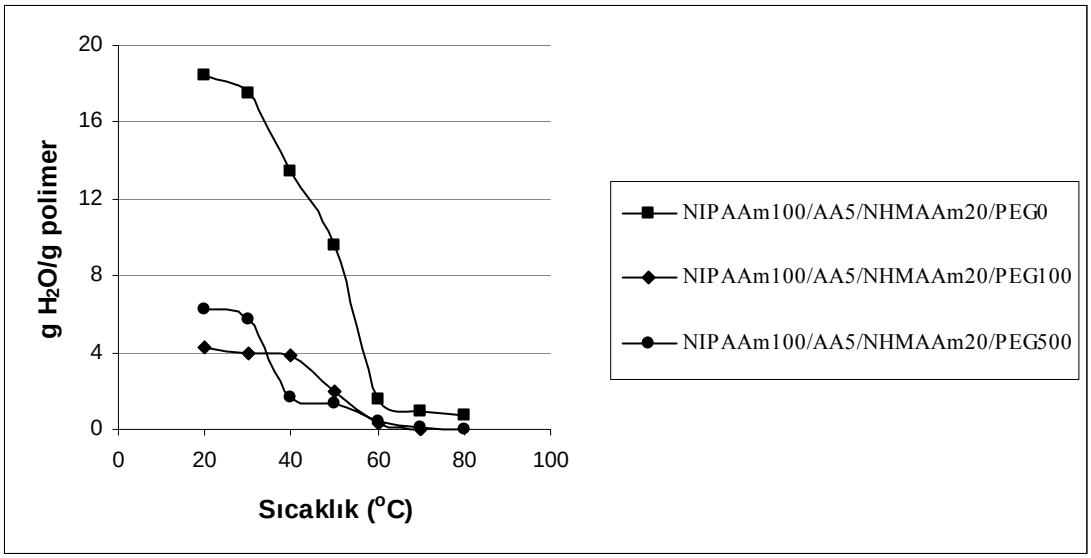
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/1/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/1/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol))	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/1/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.70. NIPAAm100/AA1/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.70' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, %500 PEG içeren jelin absorbladığı suyun tamamını 50 ^{o}C' de, PEG içermeyen jelin absorbladığı suyun büyük bir kısmını 60 ^{o}C' de bıraktığı görülmektedir.

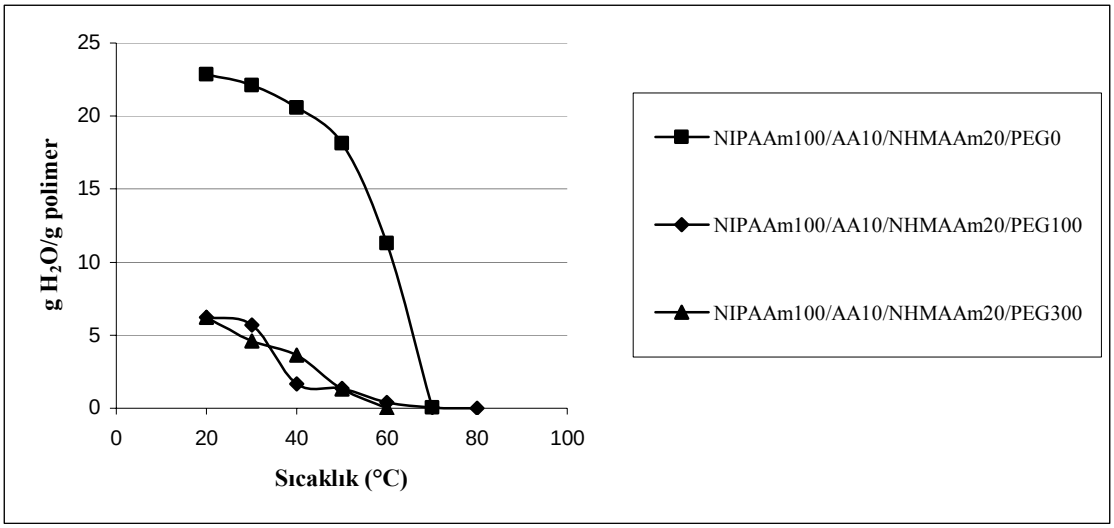
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/5/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.71. NIPAAm100/AA5/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.71' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanılması durumunda, %500 PEG içeren jelin absorbladığı suyun büyük bir kısmını 60 ^{o}C' de bıraktığı, PEG içermeyen jelin ise absorbladığı suyun %90' ını 60 ^{o}C' de bıraktığı görülmektedir.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/10/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol))	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.72. NIPAAm100/AA10/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su absorblama kapasitelerinin sıcaklıkla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.72' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanılması durumunda, %300 PEG içeren jelin absorbladığı suyun tamamını 60 ^{o}C' de, PEG içermeyen jelin ise 70 ^{o}C' de bıraktığı; PEG miktarının azalmasıyla birlikte faz geçiş aralığının arttığı görülmektedir.

PEG400 değişiminin jellerin sıcaklık duyarlılığa etkisi incelendiğinde;

PEG400 kullanılmasının jellerin sıcaklıkla olan davranışında önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Öyle ki; PEG400 kullanıldığında faz geçişi, kullanılmadığı duruma göre daha dar bir aralıkta olmuştur ve yine PEG400 kullanıldığında büzülmenin tamamlandığı sıcaklık, kullanılmadığı duruma göre düşmüştür. PEG400' ün kullanıldığı deneylerde, kullanılan PEG400 miktarı arttıkça, büzülmenin tamamlandığı sıcaklıktaki düşüş ve faz geçişinin daralması daha belirgin şekilde görülmektedir.

Kullanılan NHMAAm miktarının, PEG400' ün etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında NHMAAm miktarının jelin sıcaklıkla olan davranışını belirgin bir şekilde etkilemediği, tüm jellerin keskin bir şekilde 40-50 ^{o}C arasında büzülmeye uğradıkları belirlenmiştir.

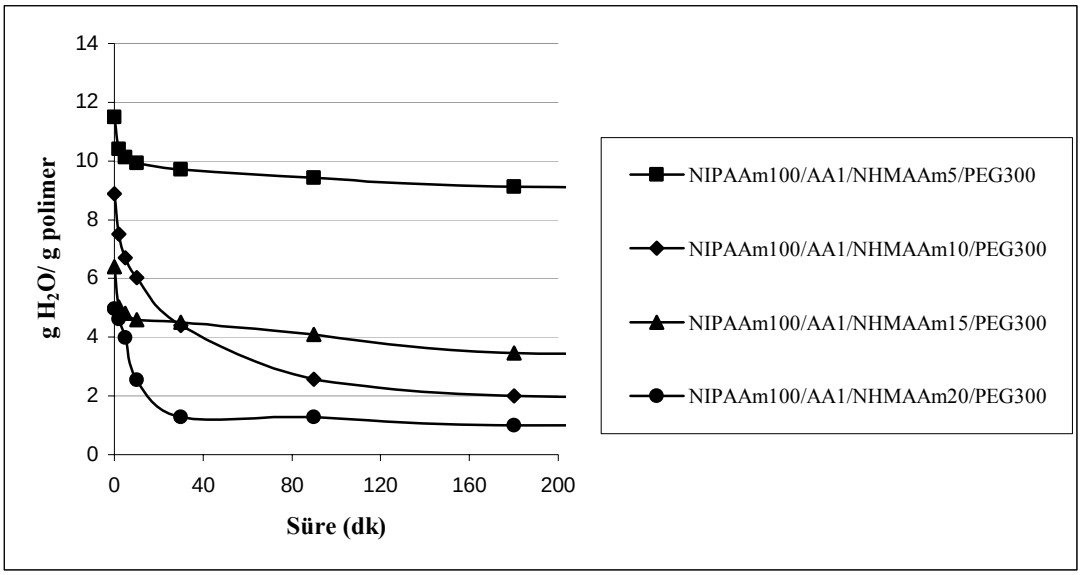
Kullanılan AA miktarının, PEG400' ün etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında, PEG400'ün kullanılmadığı, AA' nın NIPAAm' a göre %1 ve 5 mol oranlarında kullanıldığı durumlarda, jellerin sıcaklıkla olan davranışına bir etkisinin olmadığı, %10 mol oranında kullanıldığı durumda ise AA' nın jellerin faz geçiş aralığını artırdığı belirlenmiştir. PEG400 kullanıldığında ise AA miktarının değiştirilmesinin jellerin sıcaklık duyarlılığına etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

4.1.3. Kinetik büzülme ölçümleri

Büzülme kinetik ölçümleri bölüm 3.4.2' de anlatıldığı şekilde alınmıştır. Ölçümler 1440 dk'ya kadar yapılmış, ancak grafiklerde 180 dk' ya kadar olan değerler verilmiştir. Çünkü, 180 dk'dan sonra jellerin şişme değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.

4.1.3.1. NHMAAm değişiminin jellerin büzülme kinetiklerine etkisinin incelenmesi

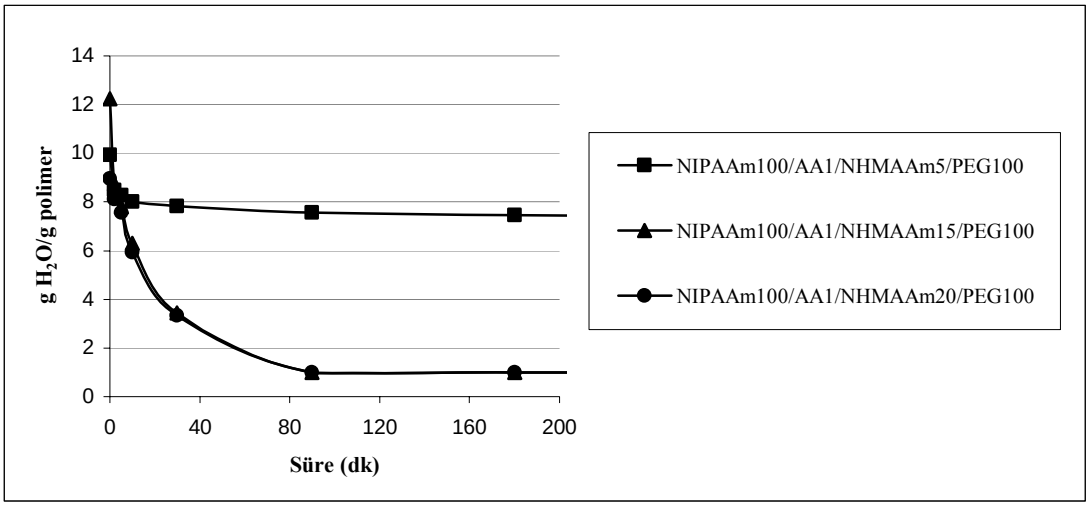
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
100/1/10/300	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
100/1/15/300	0,75 g($6,63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9,94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
100/1/20/300	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.73. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.73' e göre; AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 kullanılması durumunda, %20 NHMAAm içeren jelin absorbladığı suyun %88' ini 180 dk içinde bıraktığı, %5 NHMAAm içeren jelin ise 180 dk sonunda absorbladığı suyun sadece %33' ünü bırakabildiği görülmektedir.

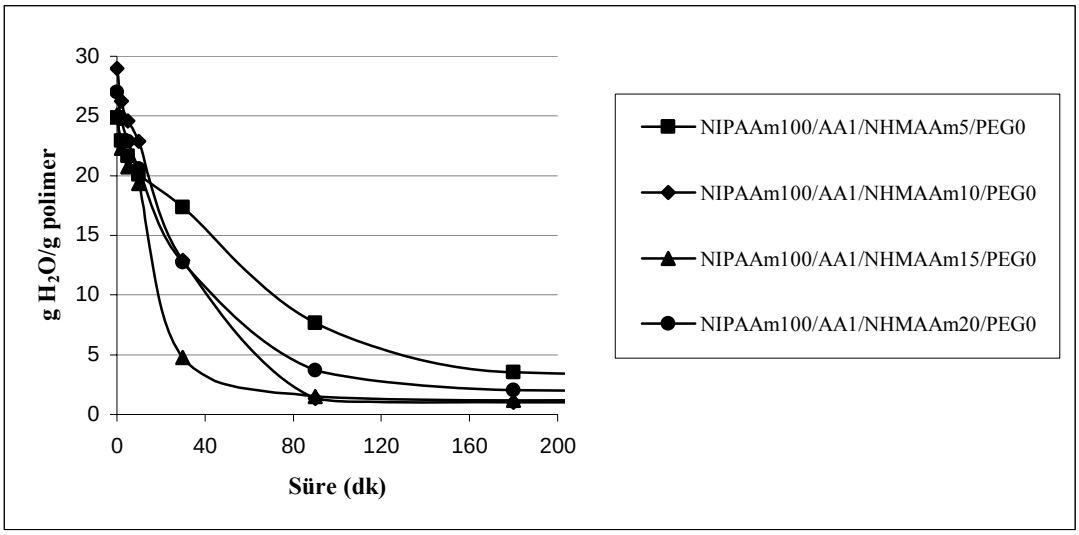
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)
100/1/15/100	0,75 g($6,63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9,94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)
100/1/20/100	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.74. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.74' e göre; AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %15 NHMAAm içeren jelin absorbladığı suyun %98' ini 90 dk içinde bıraktığı, %5 NHMAAm içeren jelin ise 90 dk sonunda absorbladığı suyun sadece %30' unu bırakabildiği görülmektedir.

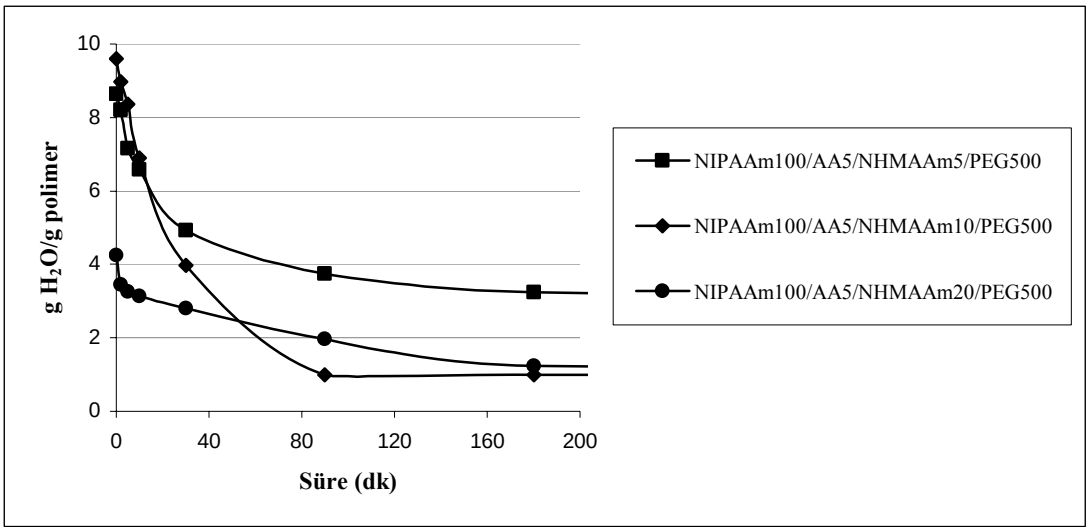
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/0	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	-
100/1/10/0	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	-
100/1/15/0	0,75 g($6,63.10^{-3}$ mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9,94.10^{-4}$ mol)	-
100/1/20/0	0,75 g($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	-



Grafik 4.75. NIPAAm100/AA1/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.75' e göre; AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, %10 NHMAAm içeren jelin 90 dk içinde absorbladığı suyun %98' ini, %5 NHMAAm içeren jelin ise %80' ini bıraktığı görülmektedir.

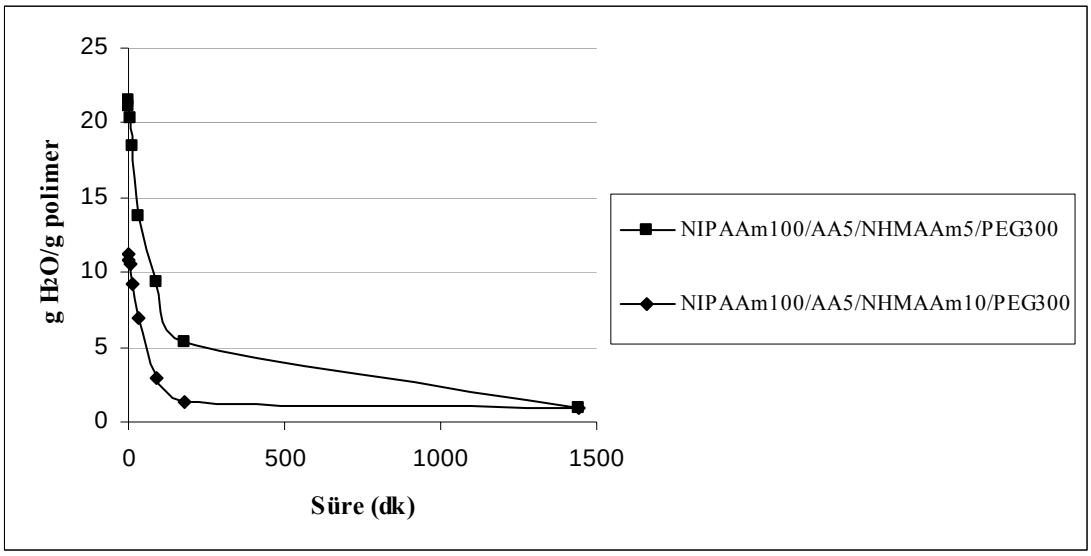
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)
100/5/10/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)
100/5/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.76. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG500 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.76' ya göre; AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %500 oranında kullanılması durumunda, %10 NHMAAm içeren jelin absorbladığı suyun %90' ını, %5 NHMAAm içeren jelin ise %56' sını 90 dk içinde bıraktığı görülmektedir.

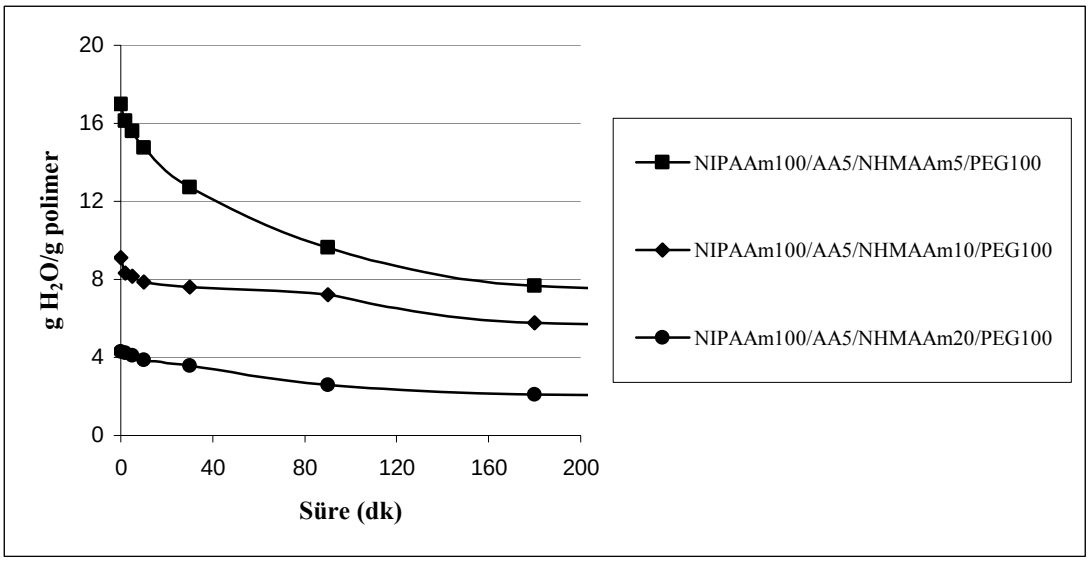
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.77. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.77' ye göre; AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren jelin absorbladığı suyun %77' sini, %10 NHMAAm içeren jelin ise %90' ını 90 dk içinde bıraktığı, 1440 dk sonunda ise her iki jelin de absorbladıkları suyun büyük bir kısmını bıraktıkları görülmektedir.

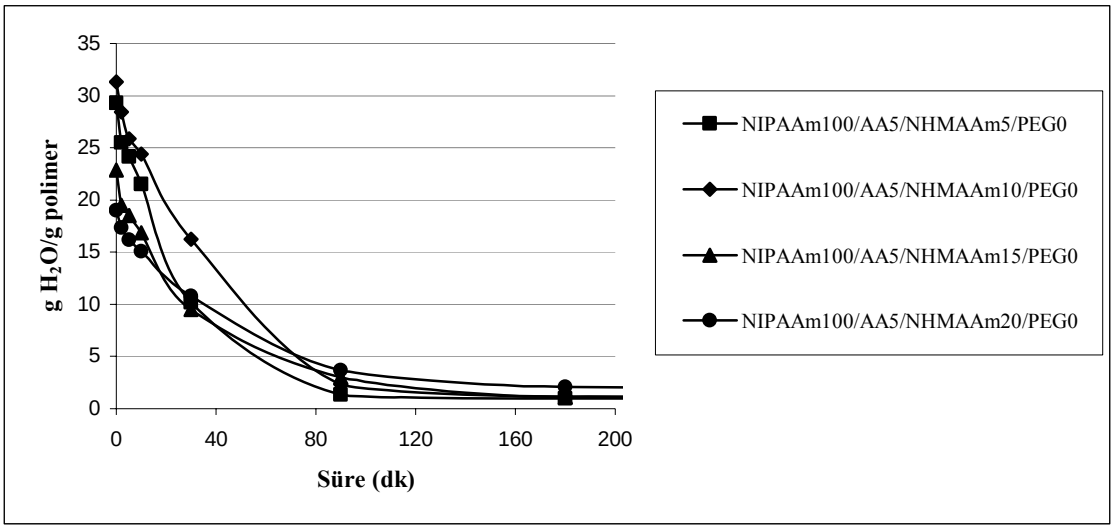
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.78. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.78' e göre; AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren jelin absorbladığı suyun %53' ünü, %20 NHMAAm içeren jelin ise %40' ını 180 dk sonunda bıraktıkları görülmektedir.

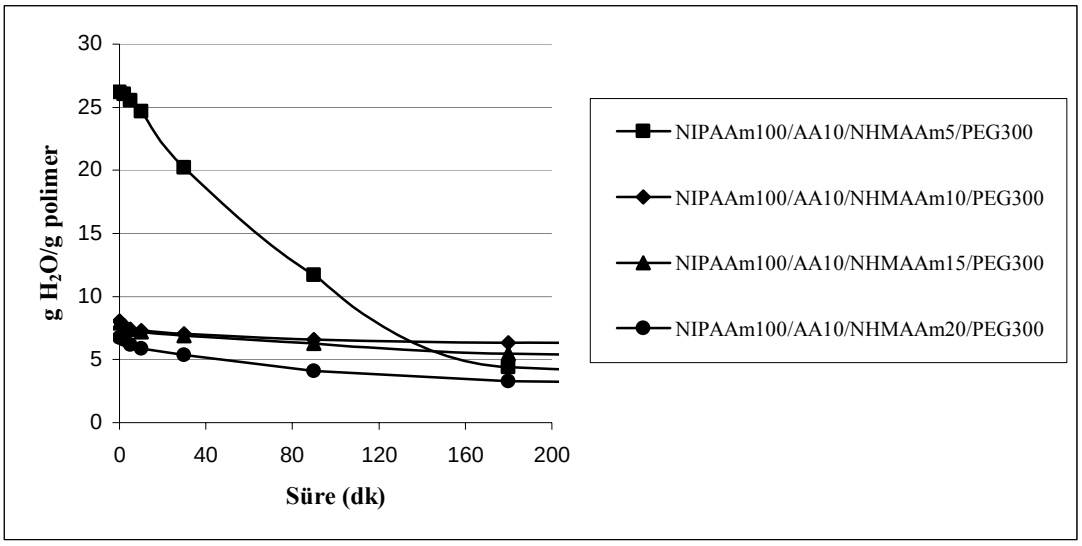
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 Oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/5/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/5/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/5/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-



Grafik 4.79. NIPAAm100/AA5/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.79' a göre; AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, %5 NHMAAm içeren jelin ilk dakikalarda daha hızlı büzüldüğü; tüm jellerin 90 dk içinde, absorbladıkları suyun büyük bir kısmını bıraktıkları görülmektedir.

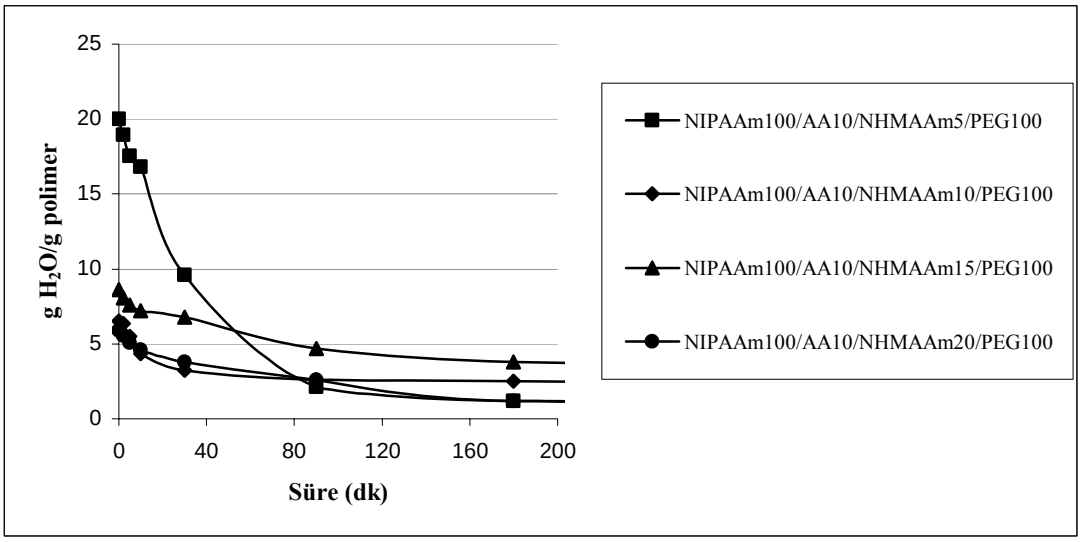
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.80. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.80' e göre; AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren jelin diğer jellere göre oldukça hızlı büzüldüğü ve 180 dk içinde absorbladığı suyun %85' ini bıraktığı görülmektedir.

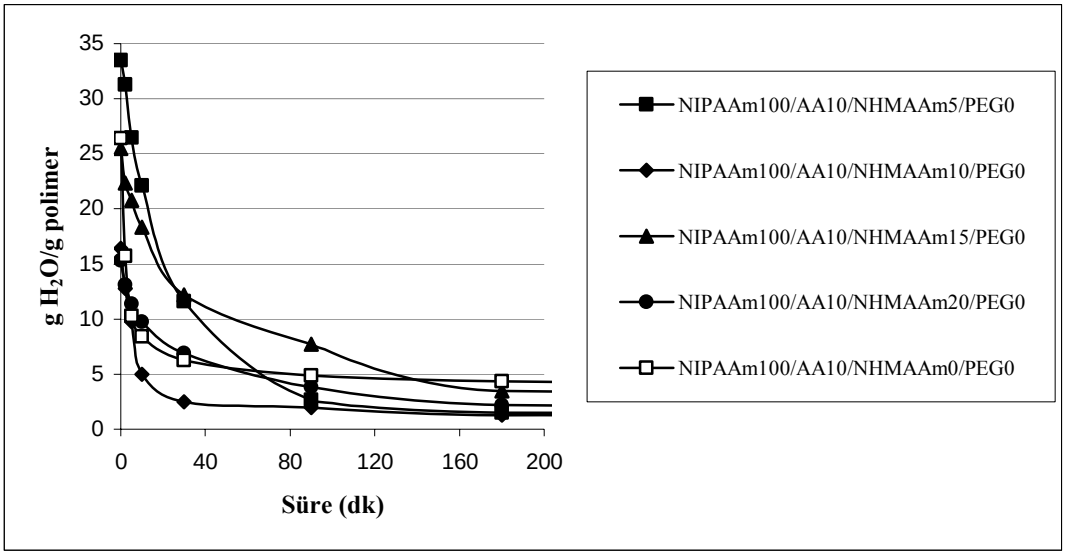
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.81. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.81' e göre; AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %5 NHMAAm içeren jelin diğer jellere göre daha hızlı büzüldüğü, 90 dk sonunda, absorbladığı suyun %90' ını bıraktığı görülmektedir.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/10/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/10/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/10/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/10/0/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-	-



Grafik 4.82. NIPAAm100/AA10/NHMAAmX/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine NHMAAm miktarının etkisi

Grafik 4.82' ye göre; AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, %5 NHMAAm içeren jelin diğer jellere göre ilk dakikalarda daha hızlı büzüldüğü; %10 NHMAAm içeren jelin 90 dk içinde, absorbladığı suyun %88' ini bıraktığı görülmektedir.

80 ^{o}C’ de yapılan büzülme kinetik ölçümleri sonucunda, NHMAAm değişiminin jellerin büzülme kinetiklerine etkisi incelendiğinde;

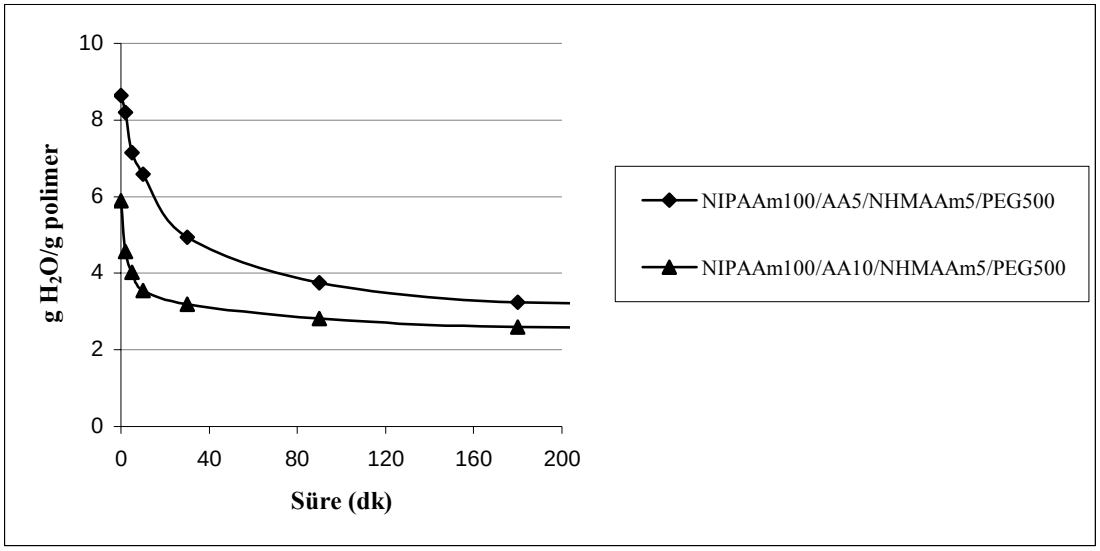
Kullanılan NHMAAm miktarının jellerin büzülme kinetiklerine ve desorblanan su miktarına belirli bir etkisinin olmadığı, deney şartlarının değiştirilmesiyle oldukça farklı sonuçlar alındığı görülmüştür.

AA miktarının NHMAAm’ ın etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında; NHMAAm’ ın NIPAAm’ a göre %5 mol oranında kullanıldığında ve AA’ nın, NIPAAm’ a göre %10 mol oranında kullanıldığında jellerin daha hızlı büzüldüğü; NHMAAm ve AA, diğer mol oranlarında kullanıldıklarında ise böyle bir etkinin olmadığı belirlenmiştir.

PEG400 miktarının NHMAAm’ ın etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında; PEG400 kullanılmadığı durumlarda, 180 dk sonunda, jellerin absorbladıkları suyun %80-95 ‘ini bıraktıkları görülürken, PEG400 kullanılan jellerin bu süre sonunda, absorbladıkları suyun genelde %20-50’ sini bıraktıkları belirlenmiştir. Sürenin daha da uzatılmasıyla (1440 dk’ ya kadar), desorblanan su miktarında önemli bir değişimin olmadığı görülmüştür.

4.1.3.2. AA değişiminin jellerin büzülme kinetiklerine etkisinin incelenmesi

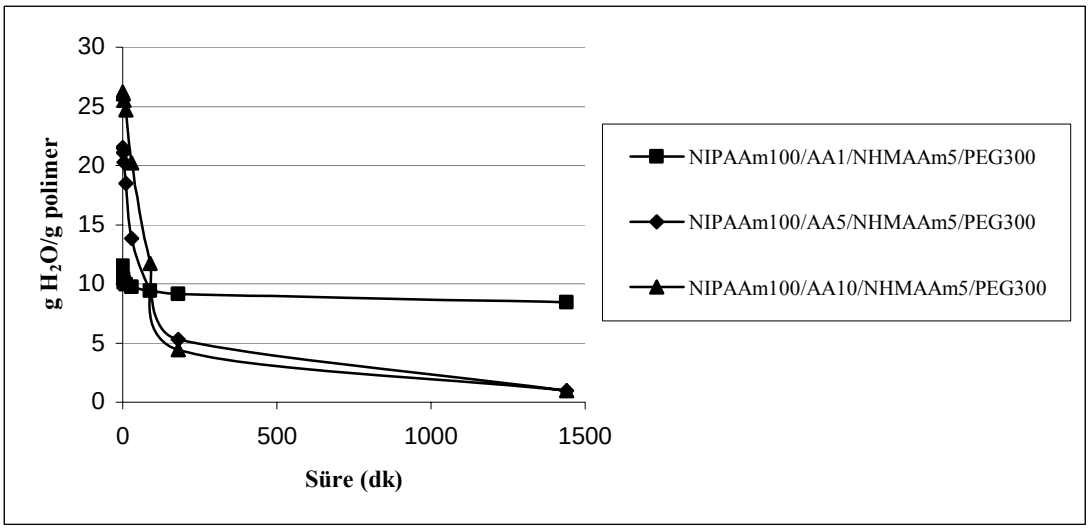
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/500	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9,35.10^{-3}$ mol)
100/10/5/500	0,75 g($6,63.10^{-3}$ mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9,35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.83. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG500 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.83' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %500 oranında kullanılması durumunda, her iki jelin büzülme hızlarında önemli bir fark olmadığı ve jellerin 180 dk sonunda, absorbladıkları suyun ancak %50' sini bırakabildikleri görülmektedir.

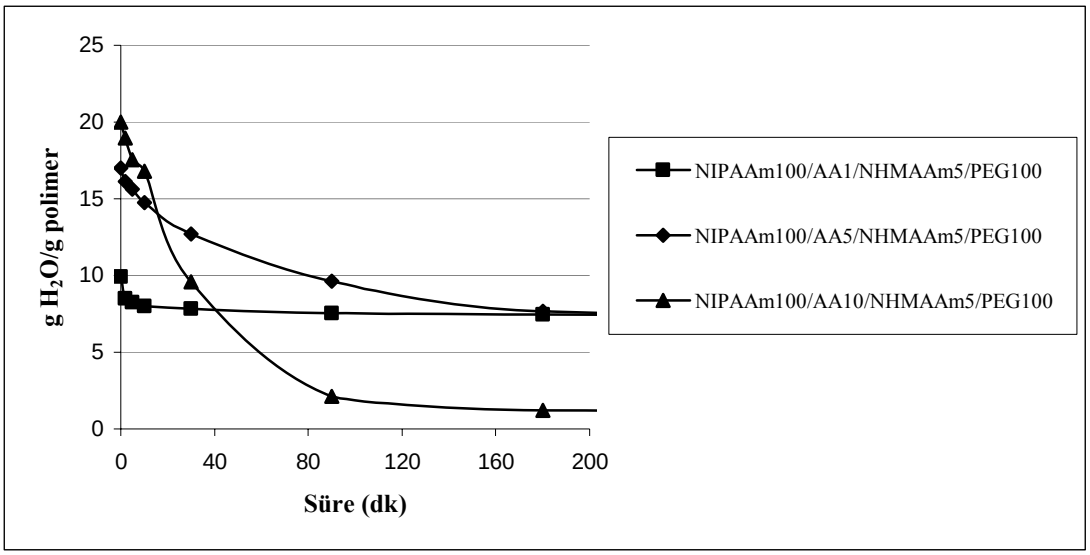
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol
100/10/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol



Grafik 4.84. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.84' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %10 AA içeren jelin diğerlerine göre daha hızlı büzüldüğü, 1440 dk sonunda, diğer jellerin absorbladıkları suyun tamamına yakınını bıraktığı; %1 AA içeren jelin bu süre içinde %18' ini bırakabildiği görülmektedir.

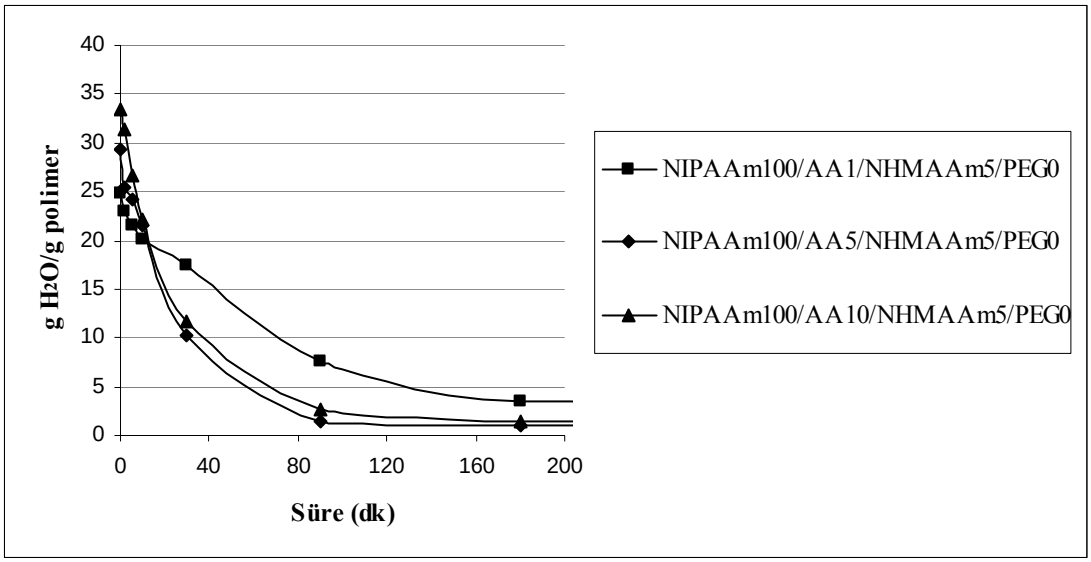
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)
100/5/5/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol))
100/10/5/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.85. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.85' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %10 AA içeren jelin 90 dk içinde, absorbladığı suyun %90' ını bıraktığı, %1 AA içeren jelin ise %30' unu bırakabildiği görülmektedir.

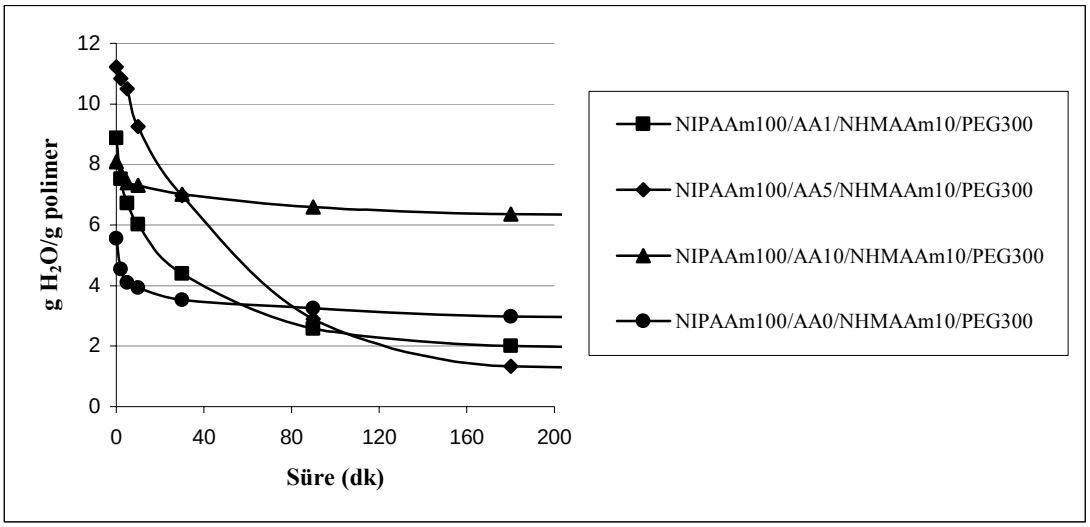
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/5/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-
100/10/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	-



Grafik 4.86. NIPAAm100/AAX/NHMAAm5/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.86' ya göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, jellerin desorblama hızlarında önemli bir fark olmadığı, 180 dk sonunda, absorbladıkları suyun büyük bir kısmını bıraktıkları görülmektedir.

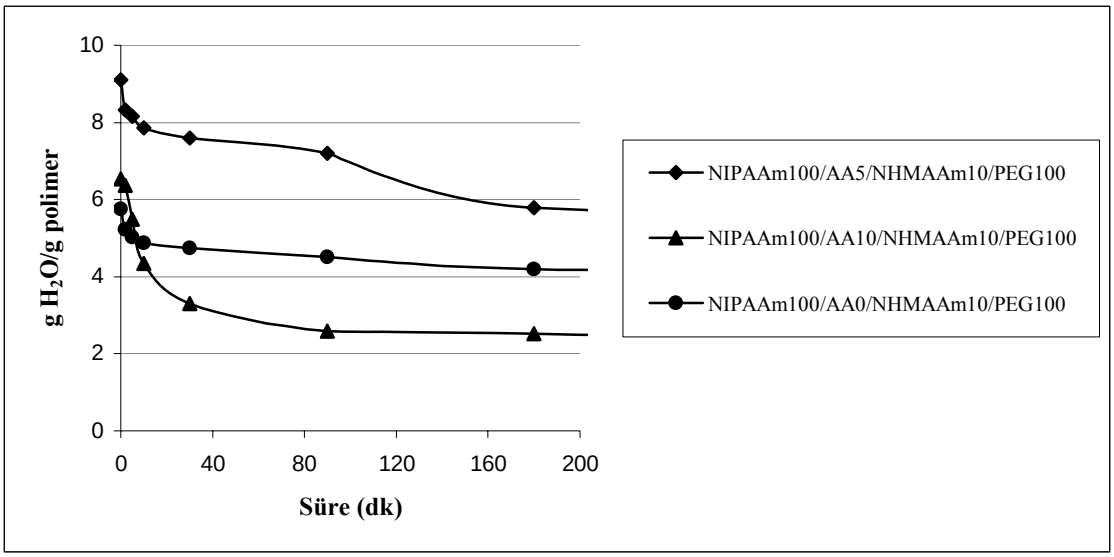
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/0/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.87. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.87' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %10 AA içeren jelin hem daha yavaş büzüldüğü, hem de 180 dk sonunda, absorbladığı suyun %20' sini bırakabildiği görülmektedir.

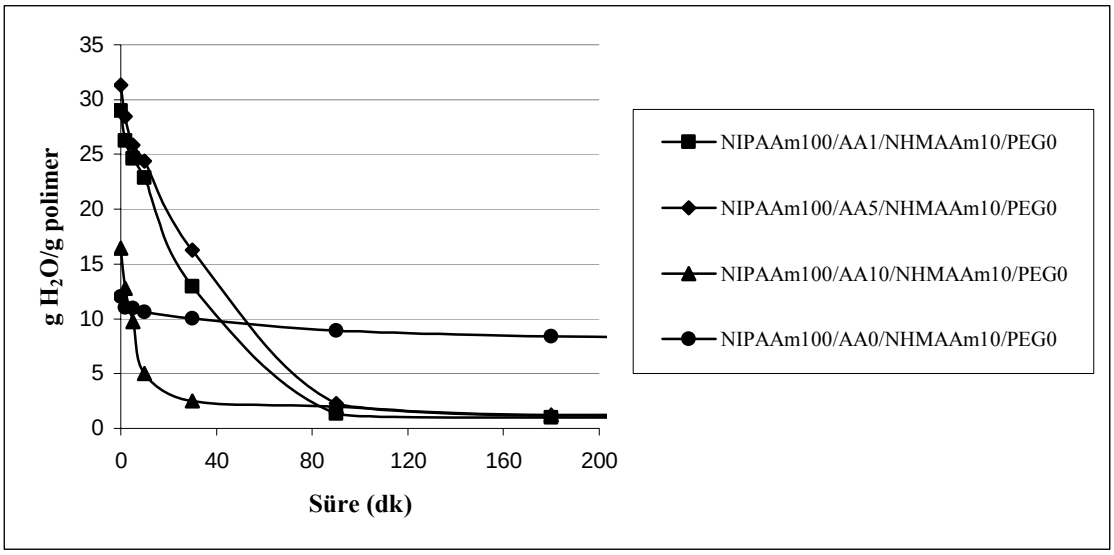
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/0/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.88. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.88' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %10 AA içeren jelin diğer jellere göre daha hızlı büzüldüğü, 180 dk sonunda tüm jellerin absorbladıkları suyun yaklaşık %30' luk bir kısmını bıraktıkları görülmektedir.

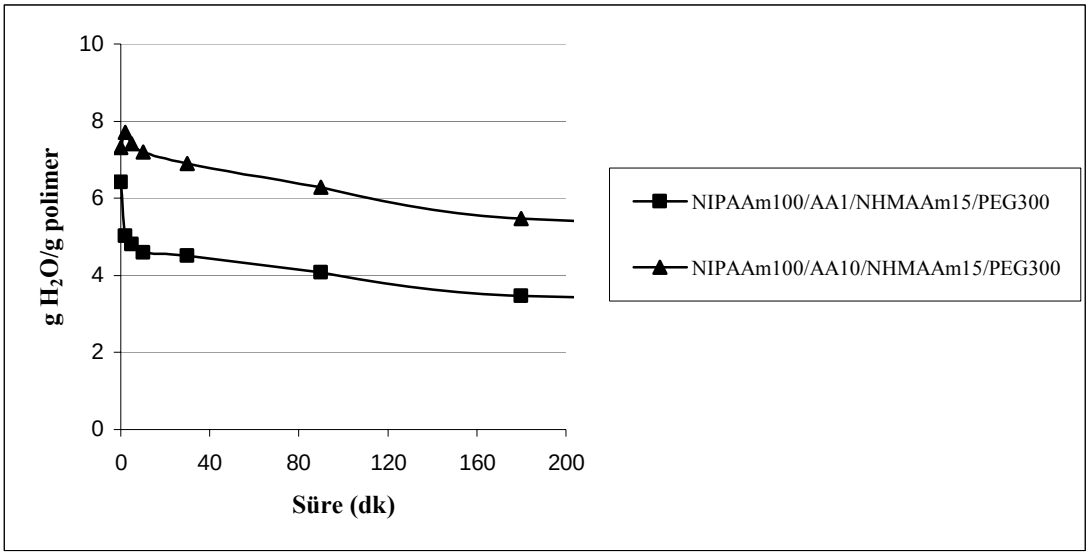
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/5/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/10/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/0/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-



Grafik 4.89. NIPAAm100/AAX/NHMAAm10/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.89' a göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, %10 AA içeren jelin ilk 30 dakikada diğer jellere göre daha hızlı büzüldüğü, 180 dk sonunda diğer jeller büyük ölçüde su kaybına uğrarken AA içermeyen jelin absorbladığı suyun sadece %18' ini bıraktığı görülmektedir.

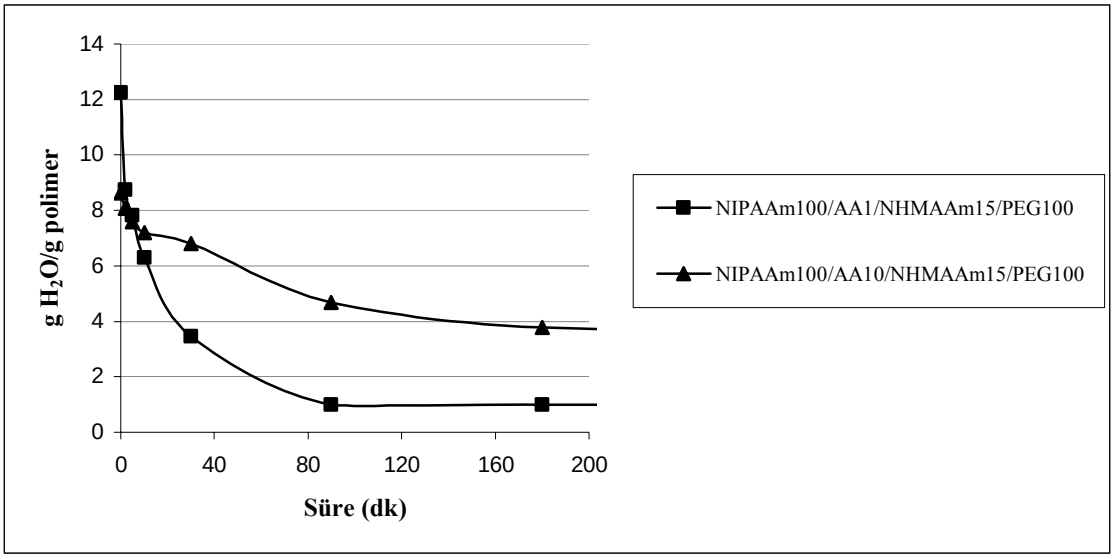
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.90. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.90' a göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %1 AA içeren jelin ilk dakikalarda daha hızlı büzüldüğü, her iki jelin de 180 dk sonunda az miktarda su kaybetikleri görülmektedir.

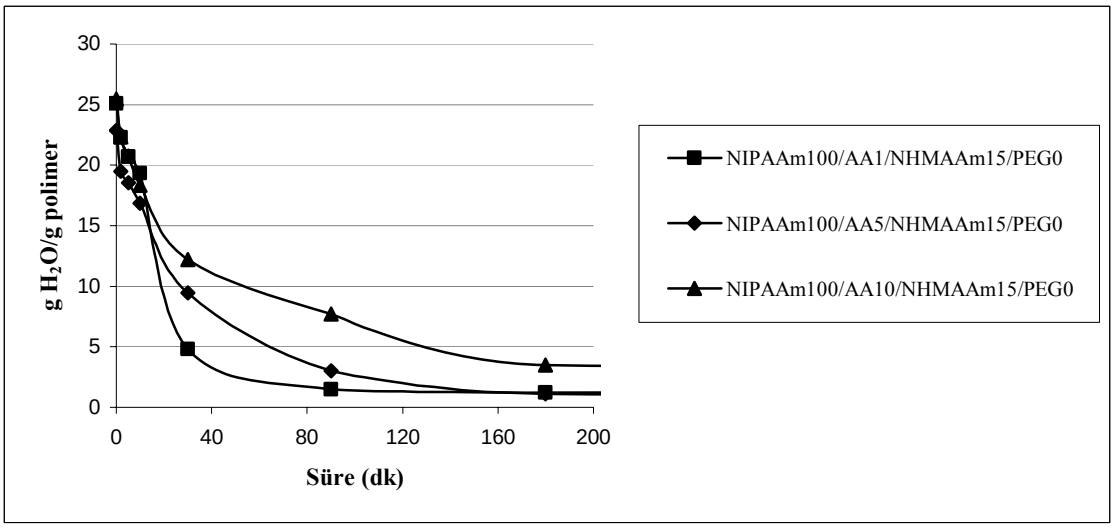
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.91. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.91' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %1 AA içeren jelin ilk 30 dakikada, absorbladığı suyun %73' ünü, 180 dk sonunda ise %92' sini bıraktığı; %10 AA içeren jelin ise ilk 30 dakikada, absorbladığı suyun % 24' ünü, 180 dk sonunda ise %56' sını bıraktığı görülmektedir.

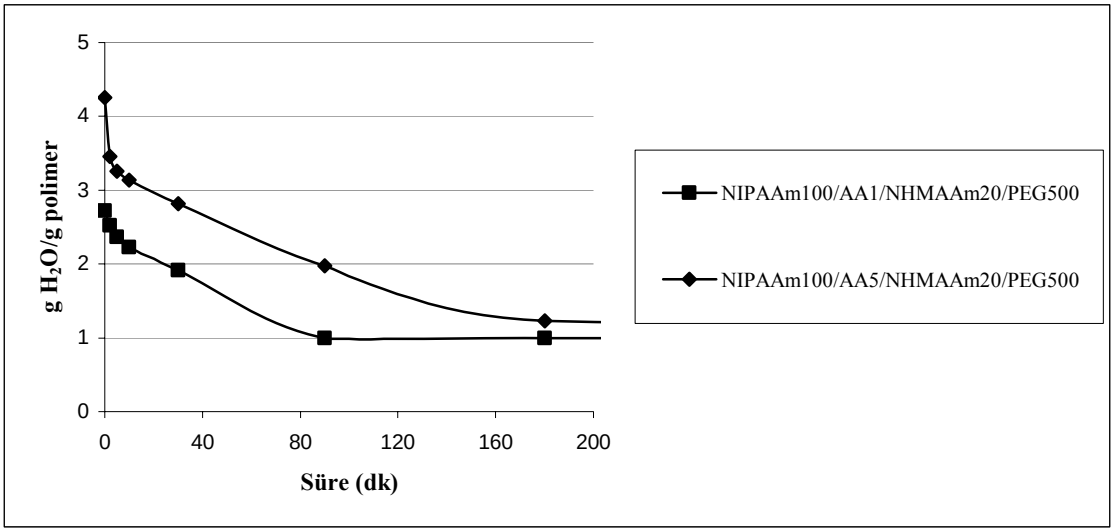
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/5/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	-
100/10/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol))	-



Grafik 4.92. NIPAAm100/AAX/NHMAAm15/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.92' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, %1 AA içeren jelin ilk dakikalarda diğer jellere göre daha hızlı büzüldüğü, 180 dk sonunda %1 ve5 AA içeren jellerin absorbladıkları suyun tamamına yakınını, %10 AA içeren jelin ise %88' ini bıraktığı görülmektedir.

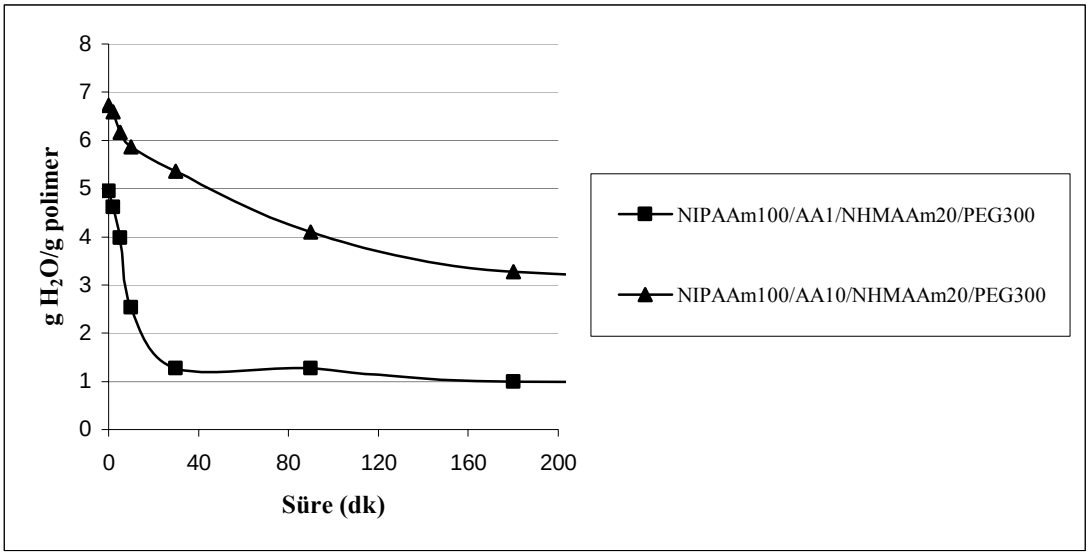
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)
100/5/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.93. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG500 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.93' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %500 oranında kullanılması durumunda, % 5 AA içeren jelin ilk dakikalarda daha hızlı büzüldüğü, 180 dk sonunda her iki jelde bir miktar su kaldığı görülmektedir.

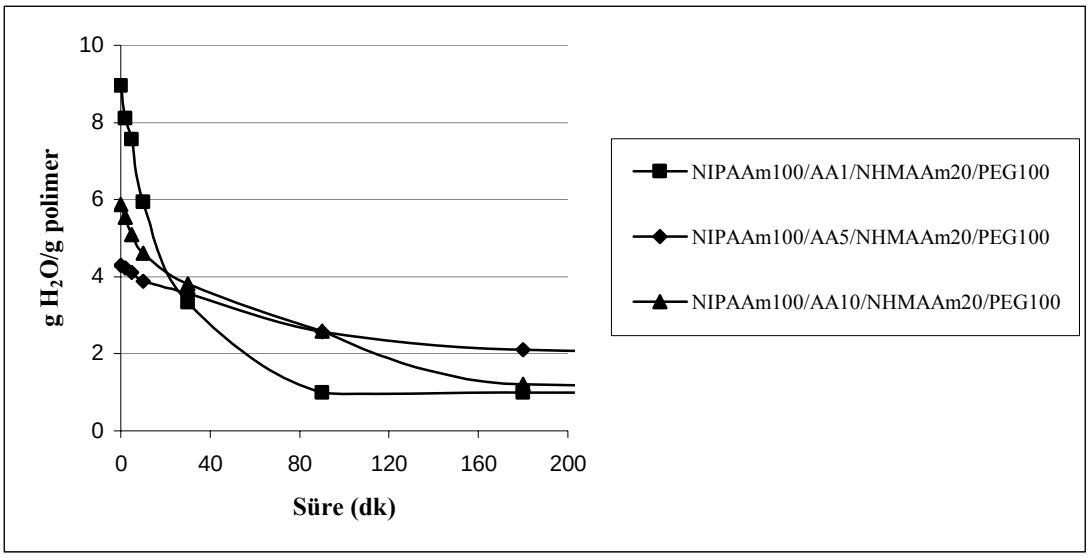
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6,63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)
100/10/20/300	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6,63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	2,0001 ml ($5,62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.94. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG300 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.94' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %300 oranında kullanılması durumunda, %1 AA içeren jelin ilk 30 dakikada, absorbladığı suyun %80' ini, %10 AA içeren jelin ise %19' unu bıraktığı ve bu jelin büzülmeye devam ettiği, 180 dk sonunda %53 su kaybettiği görülmektedir.

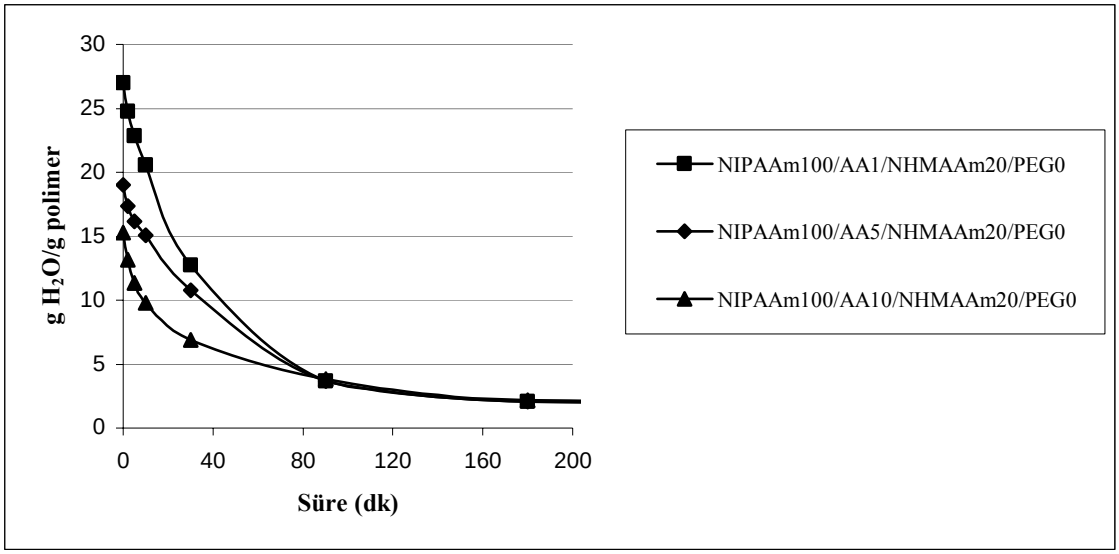
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.95. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG100 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.95' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve PEG' ün NIPAAm' a göre ağırlıkça %100 oranında kullanılması durumunda, %1 AA içeren jelin ilk dakikalarda daha hızlı büzüldüğü, 180 dk sonunda bu jelin absorbladığı suyun %90' ını, %5 AA içeren jelin ise %53' ünü bıraktığı görülmektedir.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/5/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/10/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-



Grafik 4.96. NIPAAm100/AAX/NHMAAm20/PEG0 kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine AA miktarının etkisi

Grafik 4.96' a göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol oranında kullanıldığı ve PEG' ün kullanılmadığı durumda, jellerin büzülme hızlarında önemli bir farkın olmadığı, 180 dk sonunda yine tüm jellerin absorbladıkları suyun büyük bir kısmını bıraktıkları görülmektedir.

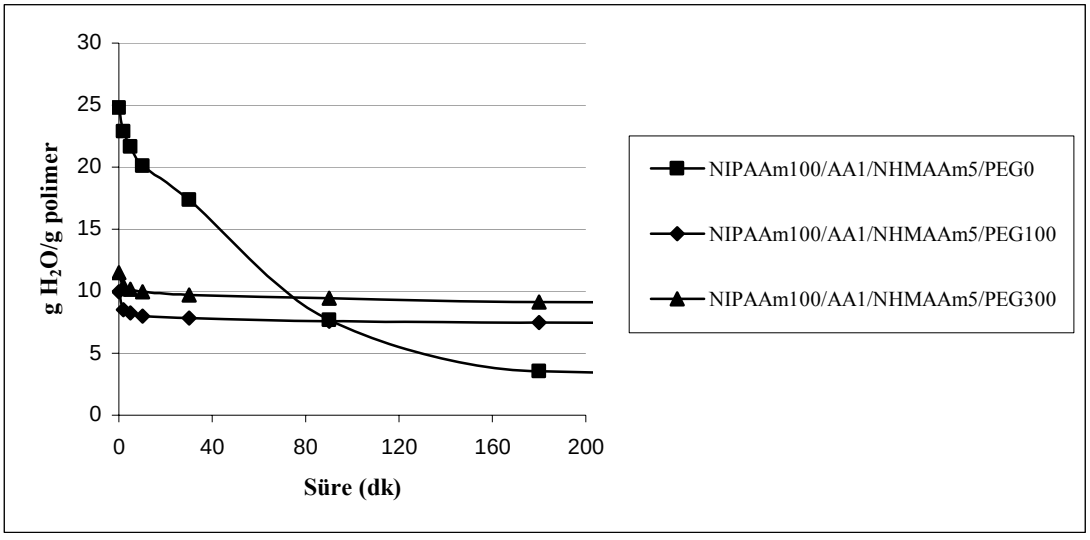
80 ^{o}C' de yapılan büzülme kinetik ölçümleri sonucunda, AA değişiminin jellerin büzülme kinetiklerine etkisi incelendiğinde;

Kullanılan AA miktarının jellerin büzülme hızlarını ve desorblanan su miktarını belirli bir şekilde etkilemediği, jellerin absorbladıkları suyun %18-90'ını bıraktıkları belirlenmiştir.

Kullanılan NHMAAm ve PEG400 miktarının AA' nın etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında; NHMAAm ve PEG400 miktarlarının jellerin büzülme hızına ve desorblanan su miktarına yine belirli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

4.1.3.3. PEG400 değişiminin jellerin büzülme kinetiklerine etkisinin incelenmesi

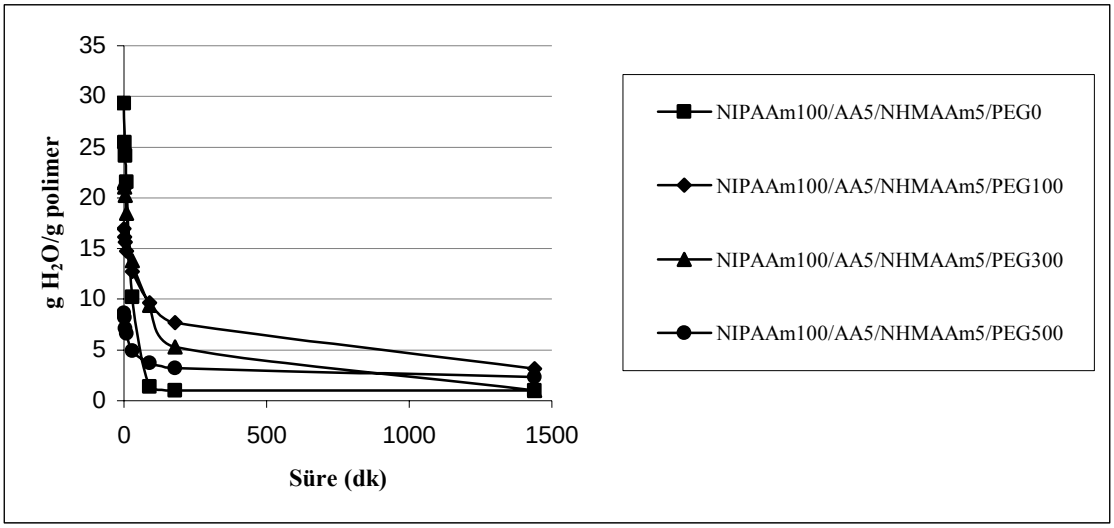
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	-
100/1/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/1/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.97. NIPAAm100/AA1/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.97' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre daha hızlı büzüldüğü, bu jelin 180 dk sonunda, absorbladığı suyun %86' sını bıraktığı, diğer jellerin ise çok az miktarda su bıraktıkları görülmektedir.

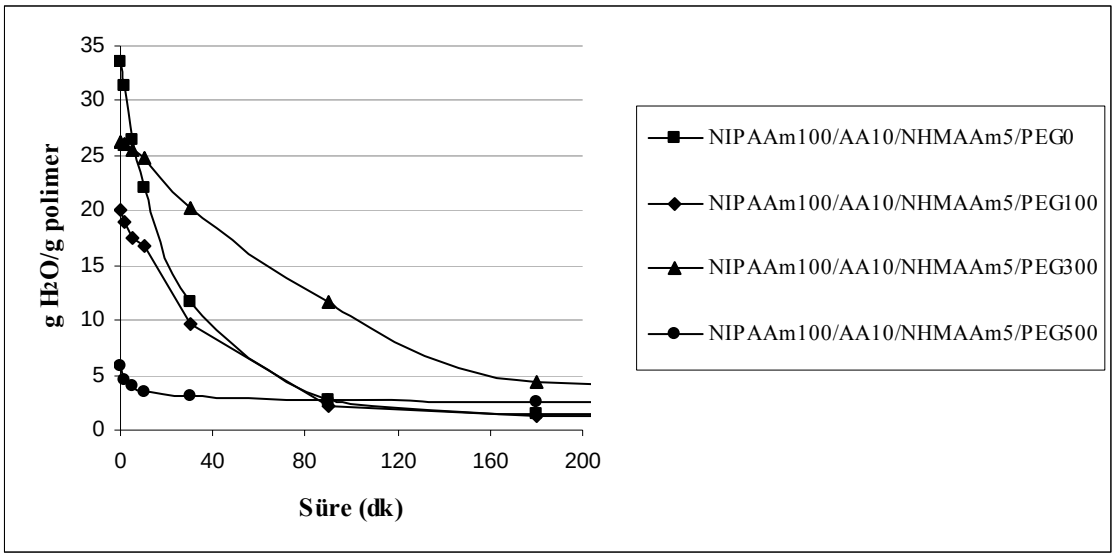
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	-
100/5/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/5/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml (9,35.10-3 mol)



Grafik 4.98. NIPAAm100/AA5/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.98' e göre; NHMAAm' ın ve AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin ilk dakikalarda, absorbladığı suyun %98' ini bıraktığı, diğer jellerin büzülme hızlarının ve su kayıplarının birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

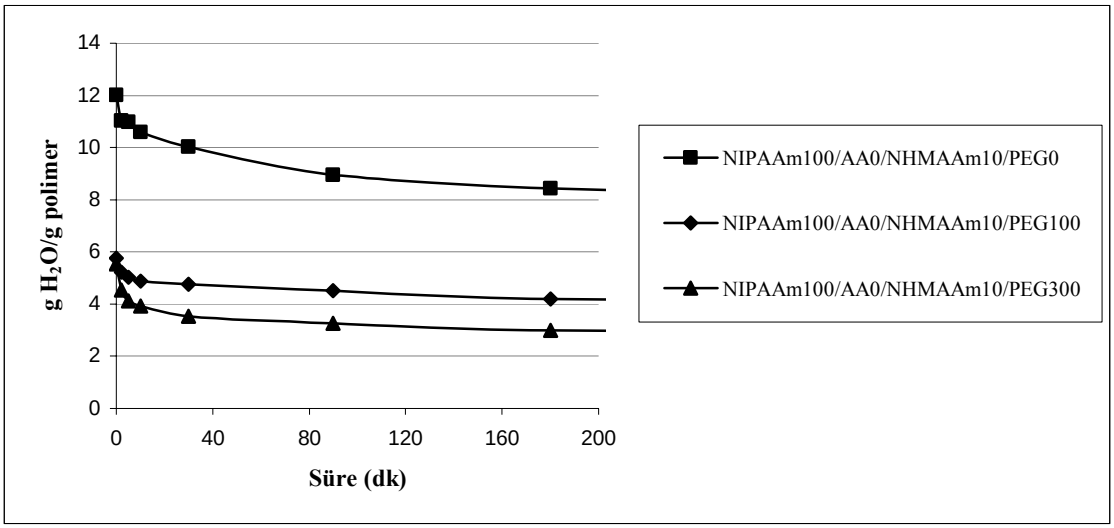
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/5/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	-
100/10/5/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/5/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/10/5/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol))	0,0647 ml ($1{,}33.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml (9,35.10-3 mol)



Grafik 4.99. NIPAAm100/AA10/NHMAAm5/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.99' a göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %5 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin ilk dakikalarda diğer jellere göre daha hızlı büzüldüğü, bu jelin 180 dk sonunda, absorbladığı suyun %96' sını, %300 PEG içeren jelin ise %80' ini bıraktığı görülmektedir.

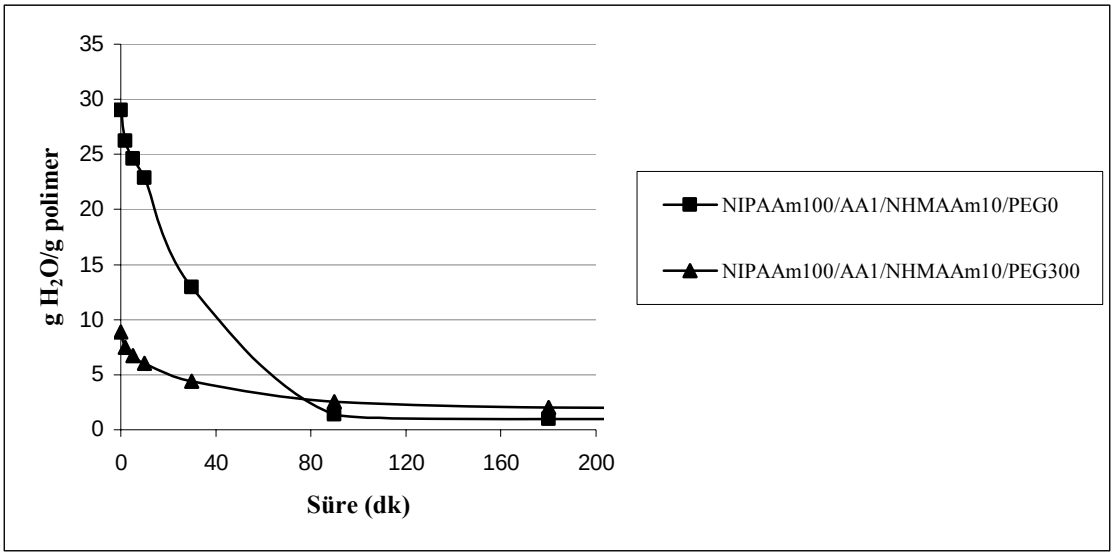
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/0/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/0/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/0/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	-	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.100. NIPAAm100/AA0/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.100' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanıldığı ve AA' nın kullanılmadığı durumda, jellerin ilk dakikalardaki büzülme hızlarında önemli bir fark olmadığı, 180 dk sonunda tüm jellerin absorbladıkları suyun çok azını bıraktıkları görülmektedir.

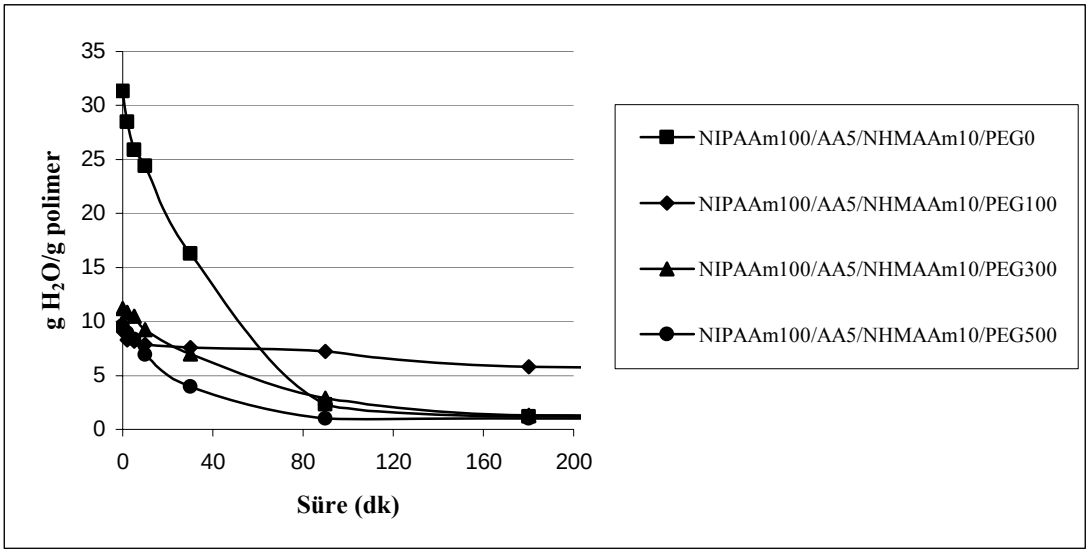
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/1/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.101. NIPAAm100/AA1/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.101' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin ilk dakikalarda daha hızlı büzüldüğü, 180 dk sonunda her iki jelin de absorbladıkları suyun büyük bir kısmını bıraktıkları görülmektedir.

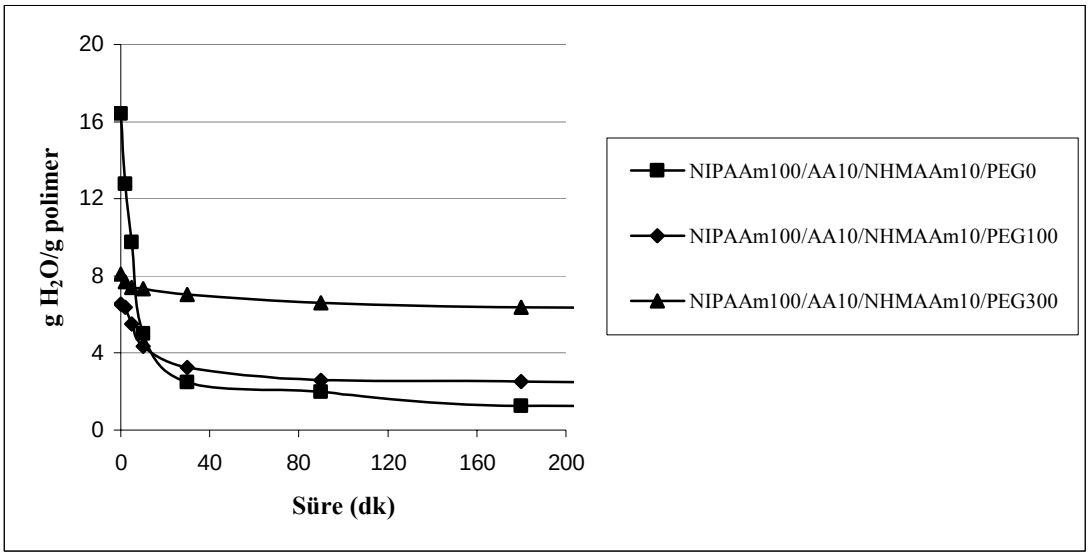
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/5/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/5/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/5/10/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3{,}31.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.102. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.102' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %10 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğer jellere göre daha hızlı büzüldüğü, %100 PEG içreren jelin 180 dk sonunda absorbladığı suyun %40' ını, diğer jellerin ise yaklaşık %90' ını bıraktıkları görülmektedir.

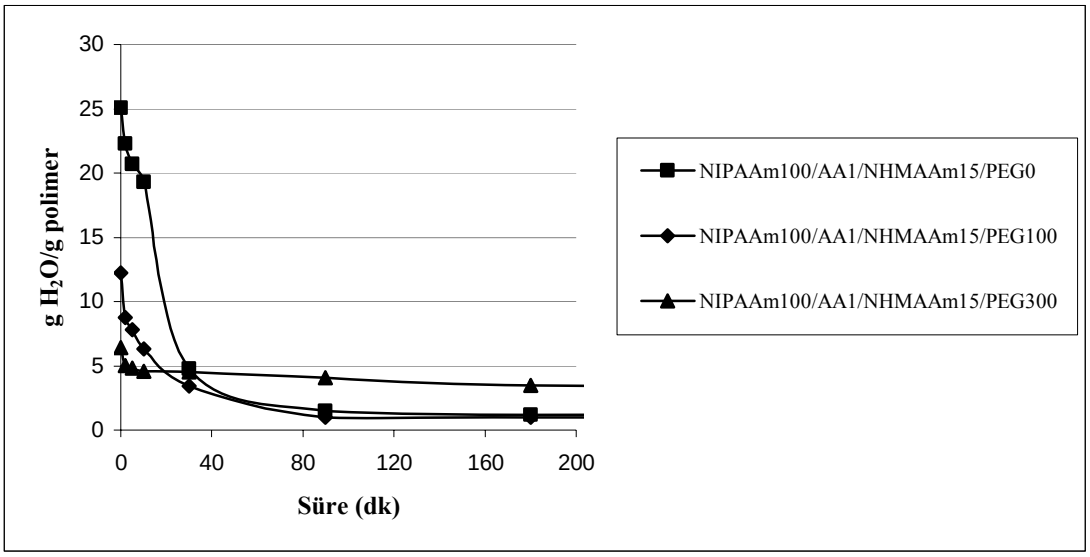
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/10/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	-
100/10/10/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/10/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1294 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.103. NIPAAm100/AA10/NHMAAm10/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.103' e göre; NHMAAm' ın ve AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre daha hızlı büzüldüğü ve bu jelin 180 dk sonunda, absorbladığı suyun %94' ünü, %300 PEG içeren jelin ise 180 dk sonunda, absorbladığı suyun % 37' sini bıraktığı görülmektedir.

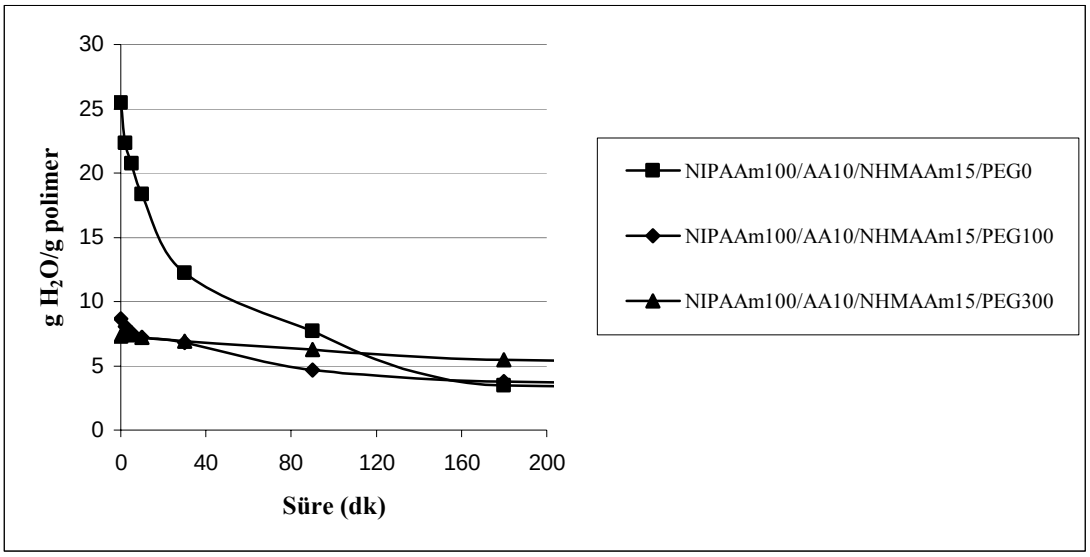
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/1/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/1/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.104. NIPAAm100/AA1/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.104' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre daha hızlı büzüldüğü ve bu jelin 180 dk sonunda %96' sını, %300 PEG içeren jelin ise %33' ünü bıraktığı görülmektedir.

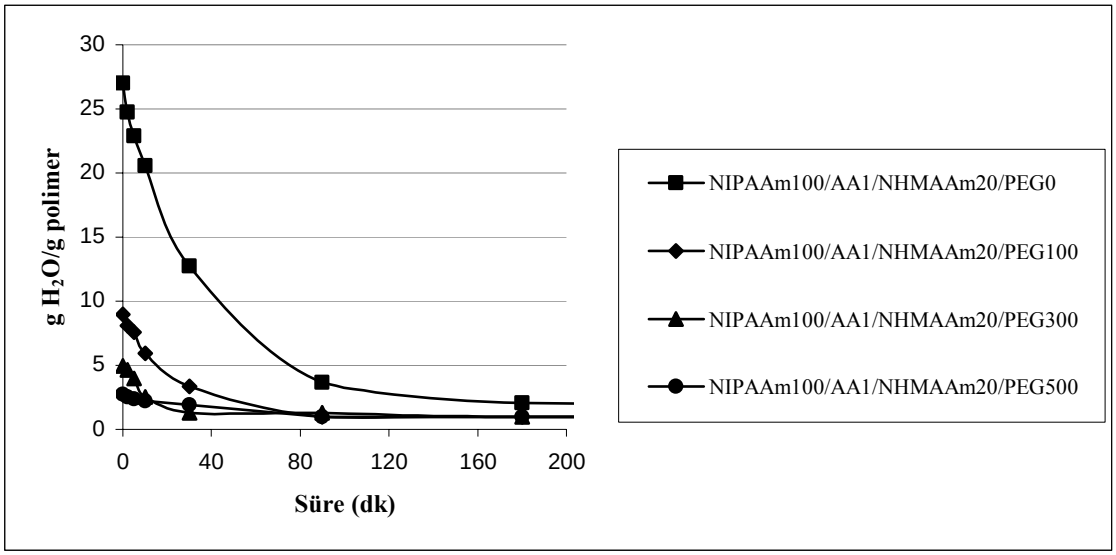
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/15/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	-
100/10/15/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/15/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,1941 ml ($9{,}94.10^{-4}$ mol)	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.105. NIPAAm100/AA10/NHMAAm15/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.105' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %15 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %10 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre daha hızlı büzüldüğü ve bu jelin 180 dk sonunda, absorbladığı suyun %84' ünü, diğer jellerin ise yaklaşık %30' unu bıraktıkları görülmektedir.

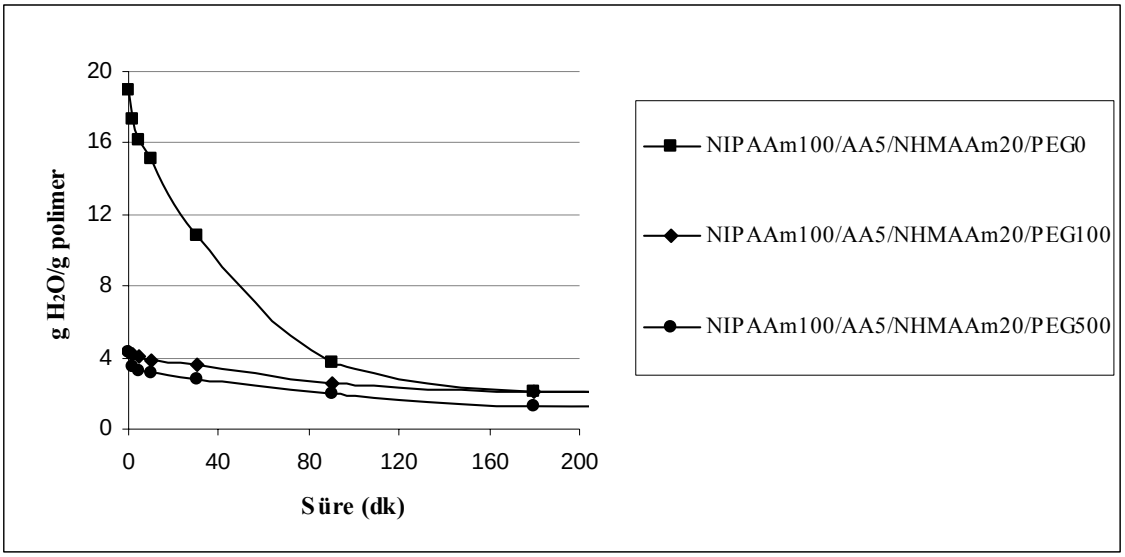
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/1/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/1/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/1/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol))	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)
100/1/20/500	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,0045 ml ($6{,}63.10^{-5}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9{,}35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.106. NIPAAm100/AA1/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.106' ya göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %1 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre daha hızlı büzüldüğü ve bu jelin 180 dk sonunda, absorbladığı suyun %96' sını bıraktığı görülmektedir.

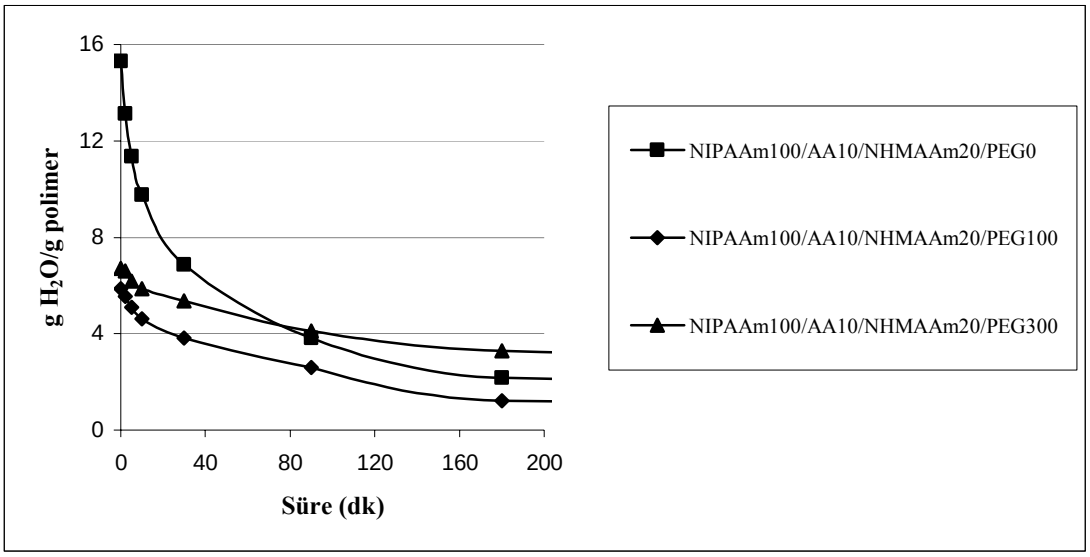
NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/5/20/0	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	-
100/5/20/100	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1,87.10^{-3}$ mol)
100/5/20/500	0,75 g ($6,63.10^{-3}$mol)	0,0225 ml ($3,31.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1,33.10^{-3}$ mol)	3,3335 ml ($9,35.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.107. NIPAAm100/AA5/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.107' ye göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre daha hızlı büzüldüğü ve bu jelin 180 dk sonunda, absorbladığı suyun %95' ini bıraktığı görülmektedir.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG400 oranı	NIPAAm	AA	NHMAAm	PEG 400
100/10/20/0	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	-
100/10/20/100	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol)	0,6667 ml ($1{,}87.10^{-3}$ mol)
100/10/20/300	0,75 g ($6{,}63.10^{-3}$mol)	0,045 ml ($6{,}63.10^{-4}$ mol)	0,2588 ml ($1{,}33.10^{-3}$ mol))	2,0001 ml ($5{,}62.10^{-3}$ mol)



Grafik 4.108. NIPAAm100/AA10/NHMAAm20/PEGX kopolimer jellerinin su desorblama kapasitelerinin zamanla değişimine PEG miktarının etkisi

Grafik 4.108' e göre; NHMAAm' ın NIPAAm' a göre %20 mol ve AA' nın NIPAAm' a göre %5 mol oranında kullanılması durumunda, PEG içermeyen jelin diğerlerine göre daha hızlı büzüldüğü ve bu jelin 180 dk sonunda, absorbladığı suyun %88' ini bıraktığı görülmektedir.

80 ^{o}C' de yapılan büzülme kinetik ölçümleri sonucunda, PEG400 değişiminin jellerin büzülme kinetiklerine etkisi incelendiğinde;

PEG400 kullanımının jellerin büzülme hızında ve desorblanan su miktarında belirgin bir etkisi olduğu; öyle ki PEG400 kullanılan jellerde kullanılmayan jellere göre, desorblanan su miktarının çok az olduğu belirlenmiştir. Özellikle PEG400'ün kullanılmadığı jellerin kullanıldığı durumdaki jellere göre daha hızlı büzüldüğü ve genelde 180 dk sonunda bu jellerin %85-98 oranında su kaybına uğradıkları belirlenmiştir. Jelde PEG400 kullanıldığında ve onun miktarının artırılmasıyla birlikte, büzülme hızında belirgin bir azalma olduğu ve genelde bu jellerin 180 dk sonunda %30-50 arasında su kaybına uğradıkları belirlenmiştir. Her iki durumda da sürenin daha da uzatılmasıyla (1440 dk' ya kadar) desorblanan su miktarında önemli bir değişimin olmadığı görülmüştür.

Kullanılan AA miktarının PEG400'ün etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında; AA miktarının artmasının; genel olarak PEG400' ün etkisine önemli bir katkıda bulunmadığı belirlenmiştir.

Kullanılan NHMAAm miktarının PEG400 'ün etkisini nasıl değiştirdiğine bakıldığında; NHMAAm miktarının artmasının, belirgin bir etkisi olmamakla birlikte genel olarak jelin büzülme hızını ve desorblanan su miktarını değiştirmediği belirlenmiştir.

4. 1. 4. FT-IR Analizleri

Elde edilen NIPAAm/AA/NHMAm/PEG kopolimer jellerinin yapısı IR Spektrofotometresi ile tespit edilmiştir. IR spektrumlarında; 1648-1656 cm^{-1} arasında görülen pikler karakteristik amid I bandını, 1539-1547 cm^{-1} arasında görülen pikler amid II bandını, 1100-1200 cm^{-1} arasında görülen pikler amid III bandını, 2930-2970 cm^{-1} arasında görülen pikler C-H gerilmesini, 1370-1378 cm^{-1} arasında görülen pikler C-H eğilmesini ve 3440-3460 cm^{-1} arasında görülen pikler N-H gerilmesini göstermektedir.

Spektrum değerleri ve yorumları Tablo 4.1' de özetlenmiştir.

Tablo 4.1. Sentezlenen bazı hidrojellerin IR spektrum değerleri ve yorumları

Dalga sayısı (cm^{-1})	Yorumlama
1648-1656	Karakteristik Amid I bandı (C=O gerilmesi)
1539-1547	N-sübstitüe amidlere ait N-H eğilmesi, Amid II bandı
2930-2970	Alifatik C-H gruplarına ait gerilme titreşimleri
1100-1200	Amid III bandı (C-N gerilmesi)
1370-1378	$-CH(CH_3)_2$ gruplarına ait C-H eğilmesi
3440-3460	Sekonder aminlere ait N-H gerilmesi

4. 1. 5. SEM Analizleri

Şekil 7.5-7.14 deki SEM fotoğrafları incelendiğinde; sentezlenen jellerde pürüzlü yapıların olduğu görülmektedir. NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG hidrojellerine;

PEG etkisi açısından bakıldığında; PEG400 kullanılan ve kullanılmayan deneylerde gözenekli yapı görülmekle beraber kullanılan PEG400 miktarı arttıkça gözenekli yapının arttığı görülmektedir.

AA ve NHMAAm etkisi açısından bakıldığında; AA ve NHMAAm miktarının artmasıyla pürüzlü yapının da arttığı görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG kopolimer jellerinin şişme kinetikleri sonuçlarına bakıldığında; içerdiği hidrofobik gruplar nedeniyle; jelde NHMAAm miktarının artmasıyla birlikte jellerin su absorblama kapasitesi ve hızının azaldığı; içerdiği hidrofilik gruplar nedeniyle AA miktarının artmasıyla birlikte jellerin su absorblama kapasitesi ve hızının arttığı; PEG400 miktarının artmasıyla ise jellerin su absorblama kapasitesi ve hızının azaldığı belirlenmiştir.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG kopolimer jellerinin sıcaklık duyarlılık sonuçlarına bakıldığında; AA miktarının artmasıyla, jelin faz geçiş aralığının genişlediği, büzülmelerin daha yüksek sıcaklıklarda tamamlandığı belirlenmiştir. PEG400 kullanılmasının, jellerin sıcaklıkla olan davranışlarını belirgin ölçüde etkilediği; PEG400 kullanıldığında sentezlenen jellerin faz geçiş aralığının, kullanılmadığı duruma göre daha dar bir alanda gerçekleştiği, büzülmelerin ise kullanılmadığı duruma göre daha düşük sıcaklıklarda tamamlandığı belirlenmiştir. NHMAAm değişiminin jellerin sıcaklıkla olan davranışında belirli bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG kopolimer jellerinin büzülme kinetikleri sonuçlarına bakıldığında; NHMAAm ve AA miktarının jellerin büzülme kinetiklerine belirgin bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. PEG400 kullanımının ve miktarının ise jellerin büzülme hızlarında doğrudan etkili olduğu; öyle ki; PEG400 kullanıldığında ve miktarı artırıldığında jellerin büzülme hızlarında belirgin bir azalma olduğu görülmüştür.

NIPAAm/AA/NHMAAm/PEG kopolimer jellerinin şişme özelliklerine genel olarak bakıldığında;

Sentezlerde kullanılan AA' nın miktarı arttıkça, jellerin su absorblama kapasitesinin ve hızının arttığı, faz geçiş aralığının genişlediği ve büzülmenin tamamlandığı sıcaklığın yükseldiği, AA' nın kullanımıyla büzülme hızının ve desorblanan su miktarının azaldığı, AA' nın miktarının artırılmasıyla ise büzülme hızının ve desorblanan su miktarının belirli bir şekilde değişmediği gözlenmiştir.

Sentezlerde kullanılan PEG400' ün su absorblama kapasitesini, absorblama ve desorblama hızını, desorblanan su miktarını azalttığı görülmektedir. PEG400 kullanımı faz geçiş aralığını daraltmış ve büzülmenin tamamlandığı sıcaklığı düşürmüştür. PEG400' ün kullanılmadığı deneylerde her açıdan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Sentezlerde kullanılan NHMAAm' ın miktarının artmasının, jellerin su absorblama kapasitesini ve hızını azalttığı, büzülme hızını ve desorblanan su miktarını, faz geçiş aralığını ve büzülmenin tamamlandığı sıcaklığı belirli şekilde etkilemediği gözlenmiştir.

IR spektrum değerleri; 1648, 1656 cm^{-1}(C=O gerilmesi); 1538, 1539, 1547 cm^{-1} (N-H eğilmesi); 2965, 2973 cm^{-1} (C-H gerilmesi); 1133, 1176 cm^{-1} (C-N gerilmesi); 1370, 1375, 1378 cm^{-1} (C-H eğilmesi); 3463 cm^{-1} (N-H gerilmesi)' dir.

Sonuç olarak; N-izopropilakrilamid, akrilik asit, N-hidroksimetil akrilamid ve polietilenglikol kullanılarak yeni tür sıcaklığa duyarlı hidrojeller sentezlenmiştir.

SentezlenenNIPAAm/AA/NHMAAm/PEG hidrojellerinin şişme özelliklerine bakıldığında bulunan değerlerin SEM fotoğraflarını çoğu kez desteklediği görülmektedir.

6. KAYNAKLAR

Aras, S., 1998, "İyonlaşabilen Gruplar İçeren N-izopropilakrilamid Kopolimer Jellerinin Sentez ve Karakterizasyonu", Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Arı, A., 1998, "Sıcaklık ve pH Duyarlı Poli(vinil-eter) Hidrojellerin Sentezi ve Biyolojik Karakterizasyonu", Yüksek Lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Asıl, D., 2006, "Kitosan-Polikrilik Asit-Polisitrakonik Asit İçeren Yarı IPN Tipi Hidrojellerin Şişme Özellikleri ve Flukanozol Salım Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Atillasoy, P., 2006, "Yük Boşalımı Tekniğiyle Hazırlanan Akıllı Jel Materyallerinin Karakterizasyonu", Yüksek Lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Basan, S., 2001, "Polimer Kimyası", Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, Sivas, 28-36.

Champ, S., Xue, W., Huglin, M.B., 2000, "Concentrating Aqueous Solutions of Water Soluble Polymers by Thermoreversible Swelling of Poly[(*N*-isopropylacrylamide)-co-(acrylic acid)] Hydrogels", Macromol. Chem. Phys., 201, 931-940.

Chen, J., Park, H., Park, K., 1999, "Synthesis of Superporous Hydrogels: Hydrogels with Fast Swelling and Superabsorbent Properties", J Biomed Mater Res., 44, 53-62.

Demirkol, N., 2006, "Kitosan-Poliakrilamid-Polisitrakonik Asit İçeren Yarı IPN Tipi Hidrojellerin Şişme Özellikleri ve Lipaz Salım Davranışları", Yüksek Lisans tezi Gazi Üniversitesi, Ankara.

Emik, S., 2003, "Uyarıya Duyarlı Hidrojeller", Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

English, A.E., Tanaka, T., Edelman, E.R., 1998, "Polymer and Solution Ion Shielding in Polyampholytic Hydrogels", Polymer, 39, 5893-5897.

Gümüşderelioğlu, M., Topal, İ.U., 2005, "Vinyl Ether/Acrylic Acid Terypolymer Hydrogels Synthesized by γ-Radiation: Characterization, Thermosensitivity and pH-Sensitivity", Radiation Physics and Chemistry, 73, 272-279.

Huglin, M.B., Liu, Y., Velada, J.L., 1997, "Thermoreversible Swelling Behaviour of Hydrogels Based on N-isopropylacrylamide with Acidic Comonomers", Polymer ,38, 5785-5791.

İsmail, O., 1999, "Akrilik Asit Esaslı Süper Absorban Jellerle İlgili Çalışmalar", Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kim, S.J., Park, S.J., Shin, M.S., Kim, S.I., 2002, "Characteristics of Electrical Responsive Chitosan/Polyallylamine Interpenetrating Polymer Network Hydrogel", Journal of Applied Polymer Science, 86, 2290-2295.

Kim, S.J., Shin, S.R., Lee, J.H., Lee, S.H., Kim, S.I., 2003, "Electrical Response Characterization of Chitosan/Polyacrylonitrile Hydrogel in NaCl Solutions", Journal of Applied Polymer Science, 90, 91-96.

Küçük, İ., 2002, "İki Farklı Uyarıcıya Duyarlı Polimer Jellerin Sentezi ve Karakterizasyonu", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Lee, W.F., Chiu, R.J., 2002, "Investigation of Charge Effects on Drug Release Behaviour for Ionic Thermosensitive Hydrogels", Materials Science and Engineering C, 20, 161-166.

Liu, Y., Velada, J.L., Huglin, M.B., 1999, "Thermoreversible Swelling Behaviour of Hydrogels Based on N-isopropylacrylamide with Sodium Acrylate and Sodium Methacrylate", Polymer, 40, 4299-4306.

Lorenzo, C.A., Concherio, A., Dubovik, A.S., Grinberg, N.V., Burova, T.V., Grinberg, V.Y., 2005, "Temperature-Sensitive Chitosan-Poly(*N*-isopropylacrylamide) Interpenetrated Networks with Enchanged Loading Capacity and Controlled Release Properties", Journal of Controlled Release, 102, 629, 641.

Mahdavinia, G.R., Pourjavadi, a., Hosseinzadeh, H., Zohuriaan, M.J., 2004, "Modified Chitosan 4. Superabsorbent Hydrogels from Poly(Acrylic acid-co-acrylamide) Grafted Chitosan with Salt- and pH-Responsiveness Properties", European Polymer Journal, 40, 1399-1407.

Müftüoğlu, O., 2001, "Biomodification of Temperature-Sensitive Hydrogels and Their Application in Cell Technology", Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Nichifor, M., Zhu, X.X., 2003, "Copolymers of *N*-alkylacrylamides and Styrene as New Thermosensitive Materials", Polymer , 44, 3053-3060.

Ostroha, J., Pong, M., Lowman, A., Dan, N., 2004, "Controlling the Collapse/Swelling Transition in Charged Hydrogels", Biomaterials , 25, 4345-4353.

Özgündüz, H.İ., 2006, "Akrilik Asit Akrilamid-Poli(vinil alkol) içeren Yarı IPN Tipi Hidrojellerin Şişme Özellikleri ve Lipaz Salım Davranışları", Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Özmen, M.M., 2002, "Swelling Properties and Elastic Behaviour of Temperature Sensitive Ionic Poly(N-t-butylacrylamide–co-Acrylamide) Hydrogels", Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Pelton, R., 2000, "Temperature-Sensitive Aqueous Microgels", Advances in Colloid and Interface Science, 85, 1-33.

Peppas, N.A., Bures, P., Leobandung, W., Ichikawa, H., 2000, "Hydrogels in Pharmaceutical Formulations", European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 50, 27-46.

Qiu, Y., Park, K., 2001, "Environment-Sensitive Hydrogels for Drug Delivery", Advanced Drug Delivery Reviews, 53, 321-339.

Sağdıç, A., 2005, "Ester Gruplu Modifiye Polistirenlerin Termal Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Sutani, K., Kaetsu, I., Uchida, K., Matsubara, Y., 2002, "Stimulus Responsive Drug Release from Polymer Gel. Controlled Release of Ionic Drug from Polyampholyte Gel", Radiation Physics and Chemistry, 64, 331-336.

Swami, S.N., 2004, "Radiation Synthesis of Polymeric Hydrogels for Swelling-Controlled Drug Release Studies", Doctor of Philosophy, University of Western Sydney New South Wales, Australia188.

Taşdelen, B.D., 2002, "Preparation, Characterization and Drug Release Behaviour of Thermo- and pH- Responsive Hydrogels and Microspheres", Doktora tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Tüzün, Ş., 1992, "Kolloid Kimyası".

Varga, Z., Filipcsei, G., Szilogyi, A. and Zrinyi, M., 2005, "Electric and Magnetic Field Structured Smart Compozities", Macromal. Symp., 227, 123-133.

Wang, M., Fang, Y., Hu, D., 2001, "Preparation and Properties of Chitosan-Poly(N-isopropylacrylamide) Full-IPN Hydrogels", Reactive & Functional Polymers, 48, 215-221.

Xue, W., Champ, S., Huglin, M.B., 2001, "Network and Swelling Parameters of Chemically Crosslinked Thermoreversible Hydrogels", Polymer, 42, 3665-3669.

Xue, W., Champ, S., Huglin, M.B., 2001, "New Superabsorbent Thermoreversible Hydrogels", Polymer, 42, 2247-2250.

Xue, W., Hamley, I.W., Huglin, M.B., 2002, "Rapid Swelling and Deswelling of Thermoreversible Hydrophobically Modified Poly(*N*-isopropylacrylamide) Hydrogels Prepared by Freezing Polymerisation", Polymer, 43, 5181-5186.

Xue, W., Hamley, I.W., 2002, "Thermoreversible Swelling Behaviour of Hydrogels Based on *N*-isopropylacrylamide with a Hydrophobic Comonomer", Polymer, 43, 3069-3077.

Xue, W., Huglin, M.B., Jones, T.G.J., 2005, "Swelling and Network Parameters of Crosslinked Thermoreversible Hydrogels of Poly(*N*-ethylacrylamide)", European Polymer Journal, 41, 239-248.

Yamashita, K., Hashimoto, O., Nishimura, T., Nango, M., 2002, "Preparation of Stimuli-Responsive Water Absorbent", Reactive & Functional Polymers, 51, 61-68.

Yıldız, B., Işık, B., Kış, M., 2001, "Synthesis of Thermoresponsive *N*-hydroxymethyl acrylamide Hydrogels by Redox Polymerization", Polymer, 42, 2521-2529.

Yıldız, B., 2001, "Sıcaklığa Duyarlı Hidrojellerin ve pH'a Duyarlı Hidrojellerin Hazırlanması ve Şişme Özelliklerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Yılmaztürk, N.B., 1998, "Temperature and pH Responsive Hydrogels", Yüksek Lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Zhang, X.Z., Zhuo, R.X., 2000, "Novel Synthesis of Temperature-Sensitive Poly (*N*-isopropylocrylamide) Hydrogel with Fast Deswelling Rate", European Polymer Journal, 36, 643-645.

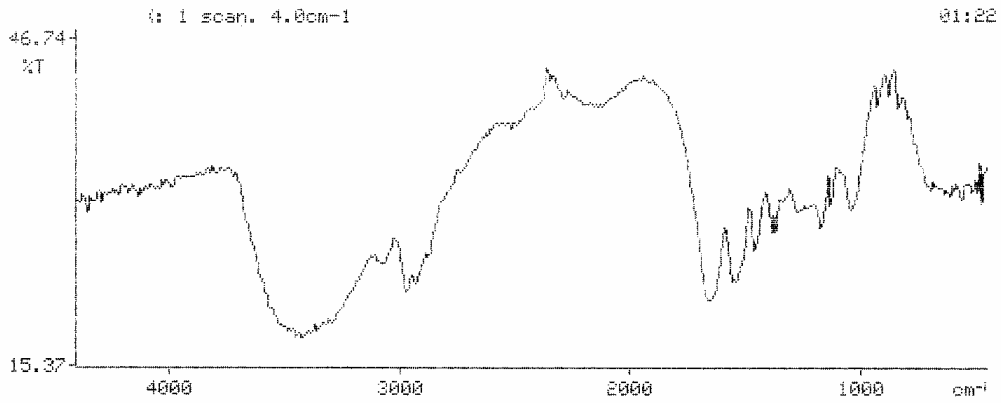
Zhang, X.Z., Zhuo, R.X., 2000, "Preparation of Fast-Responsive, Thermally Sensitive Poly(*N*-isopropylacrylamide) Gel", European Polymer Journal, 36, 2301-2303.

Zhang, X.Z., Zhuo, R.X., 2002, "Synthesis and Properties of Thermosensitive Poly(*N*-isopropylacrylamide-co-methyl methacrylate) Hydrogel With Rapid Response", Materials Letters, 52, 5-9.

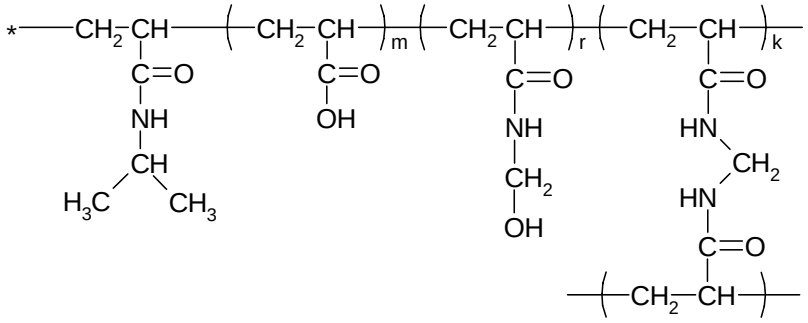
Zhao, Y., Su, H., Fang, L., Tan, T., 2005, "Superabsorbent Hydrogels from Poly(Aspartic Acid) with Salt-, Temperature- and pH-Responsiveness Properties", Polymer, 46, 5368-5376.

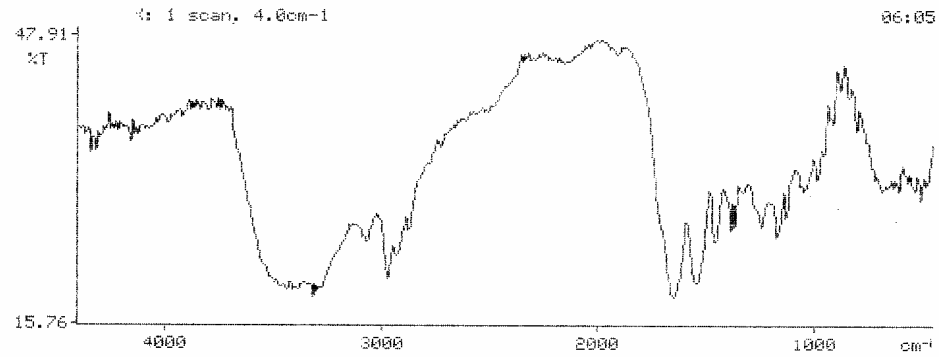
7. EKLER

Bu bölümde sentezlenen bazı hidrojellerin FT-IR spektrumları ve SEM fotoğrafları verilmiştir.

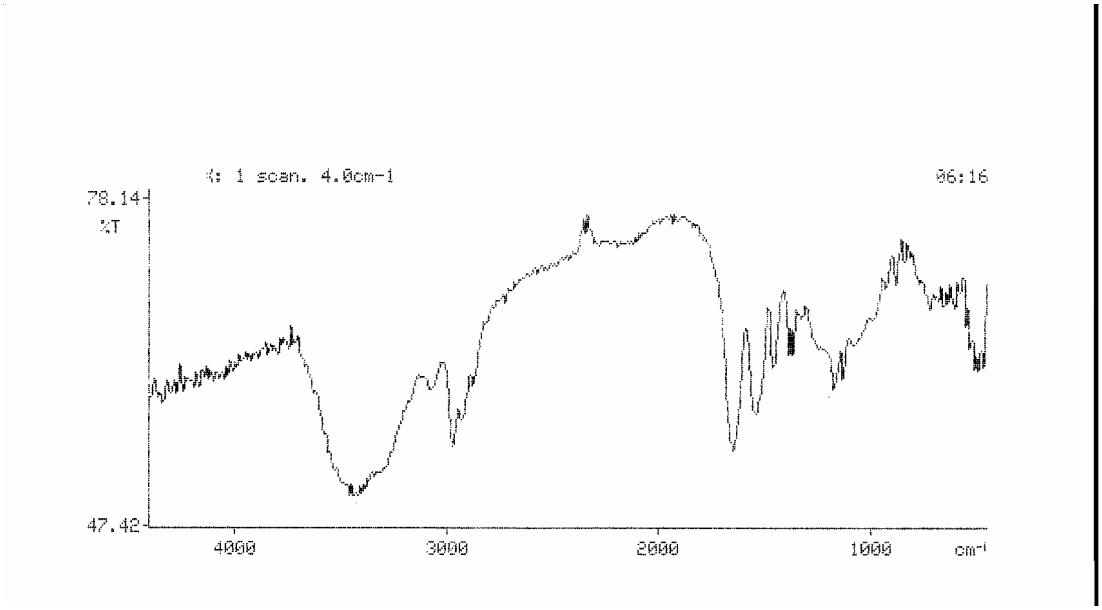


Şekil 7. 1. NIPAAm100/AA5/NHMAAm20/PEG400 (0) jeline ait FT-IR spektrumu

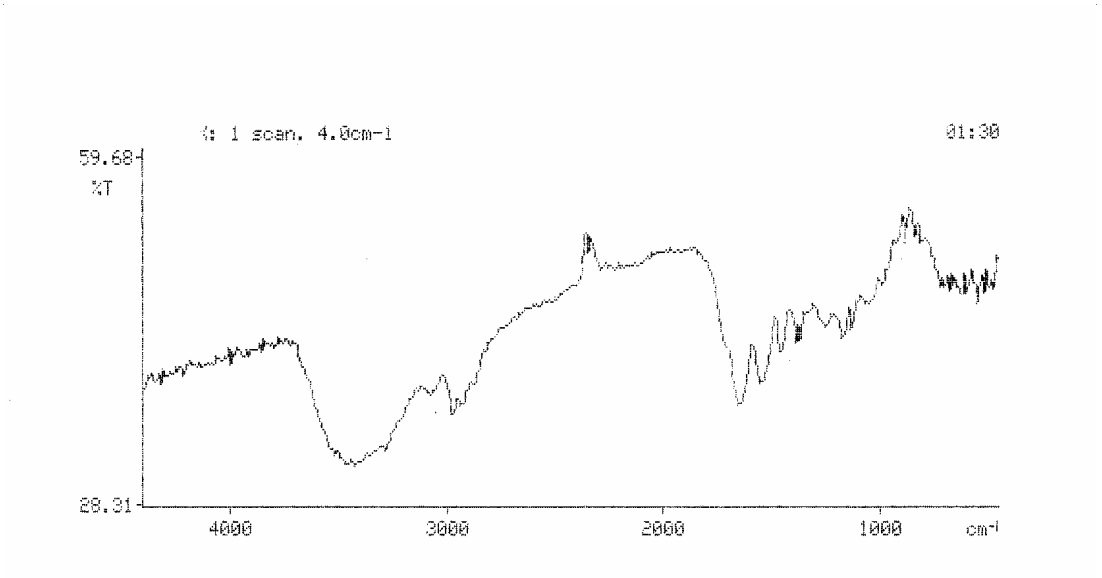




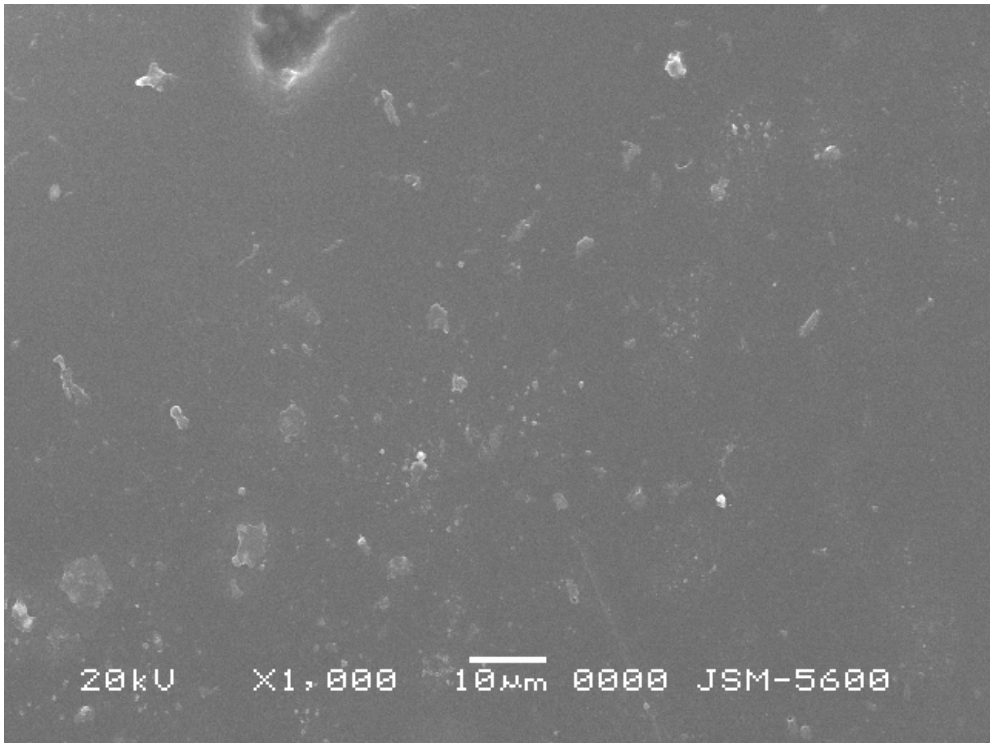
Şekil 7. 2. NIPAAm100/AA10/NHMAAm10/PEG400 (0) jeline ait FT-IR spektrumu



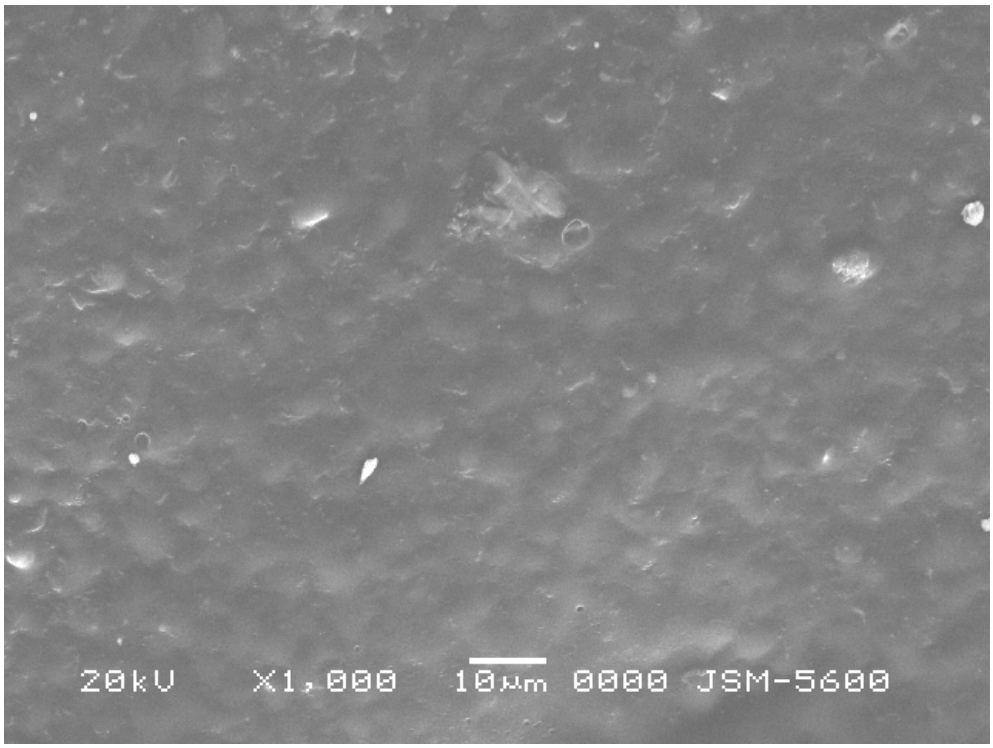
Şekil 7. 3. NIPAAm100/AA0/NHAAm0/PEG400 (0) jeline ait FT-IR spektrumu



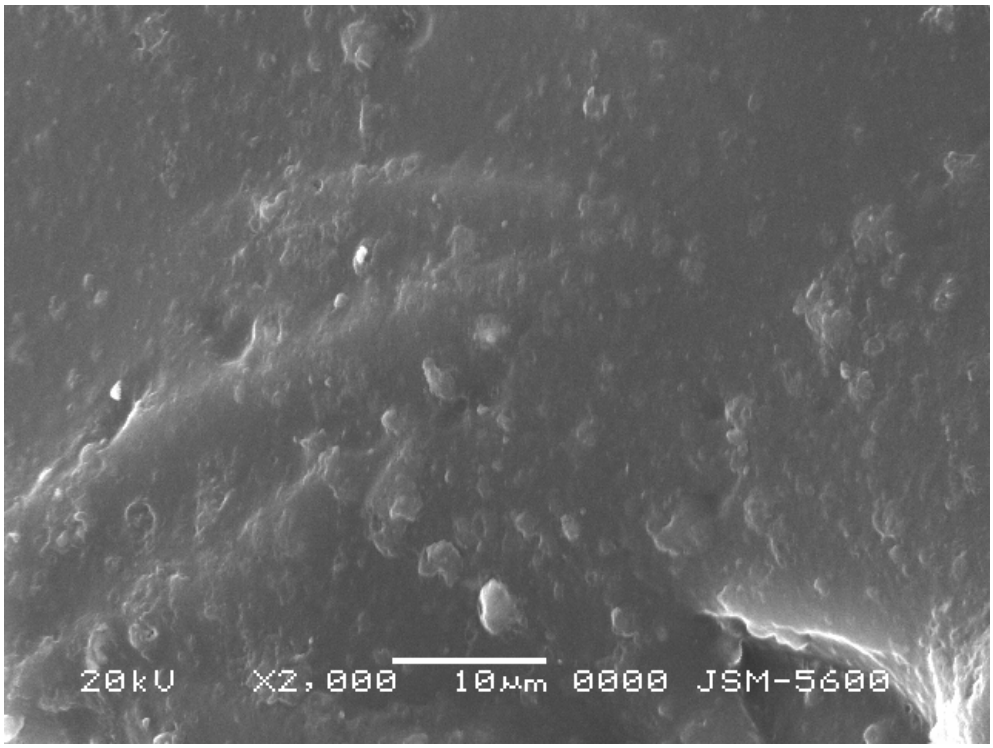
Şekil 7. 4. NIPAAm100/AA10/NHMAAm5/PEG400 (0) jeline ait FT-IR spektrumu



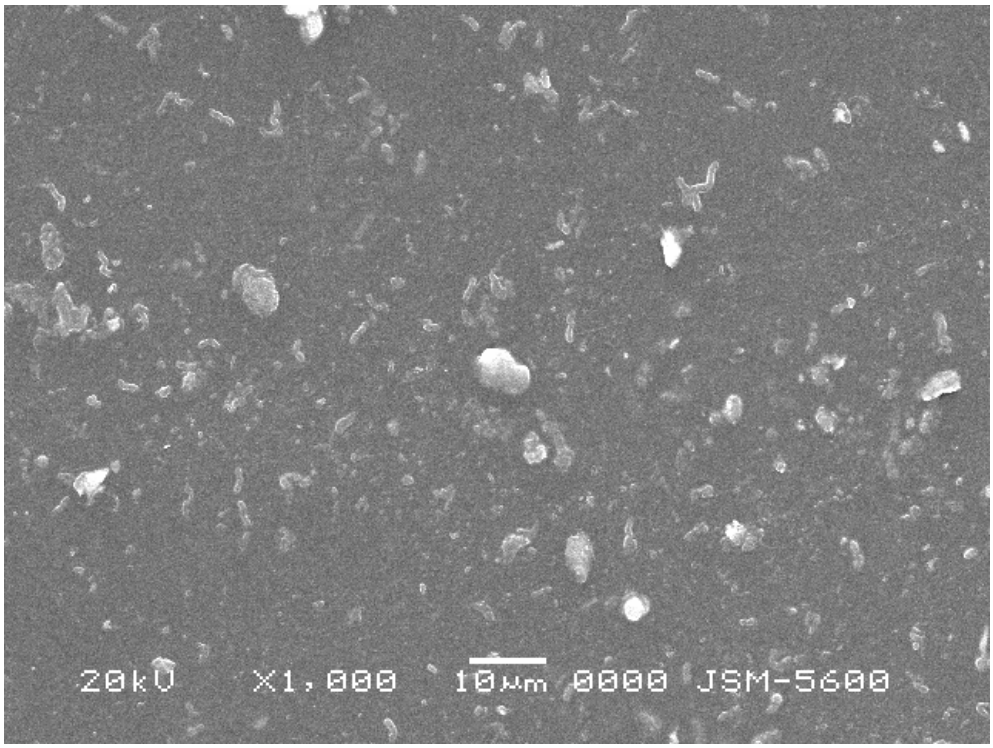
Şekil 7. 5. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEG400 (100) jeline ait SEM fotoğrafı



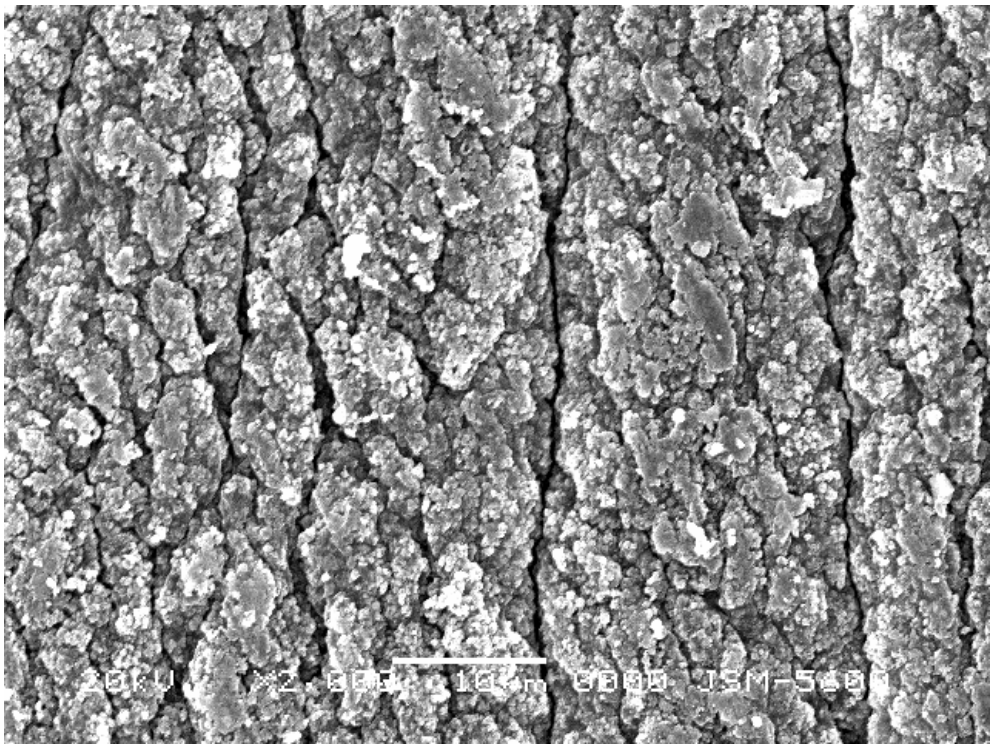
Şekil 7. 6. NIPAAm100/AA5/NHMAAm20/PEG400 (500) jeline ait SEM fotoğrafı



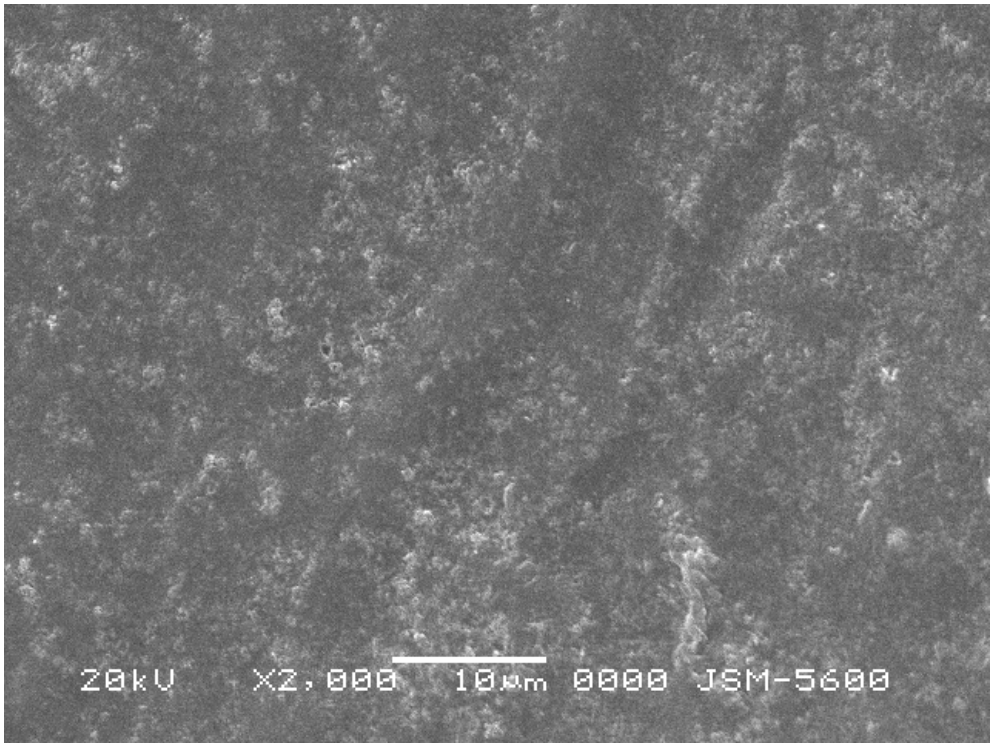
Şekil 7. 7. NIPAAm100/AA1/NHMAAm20/PEG400 (500) jeline ait SEM fotoğrafı



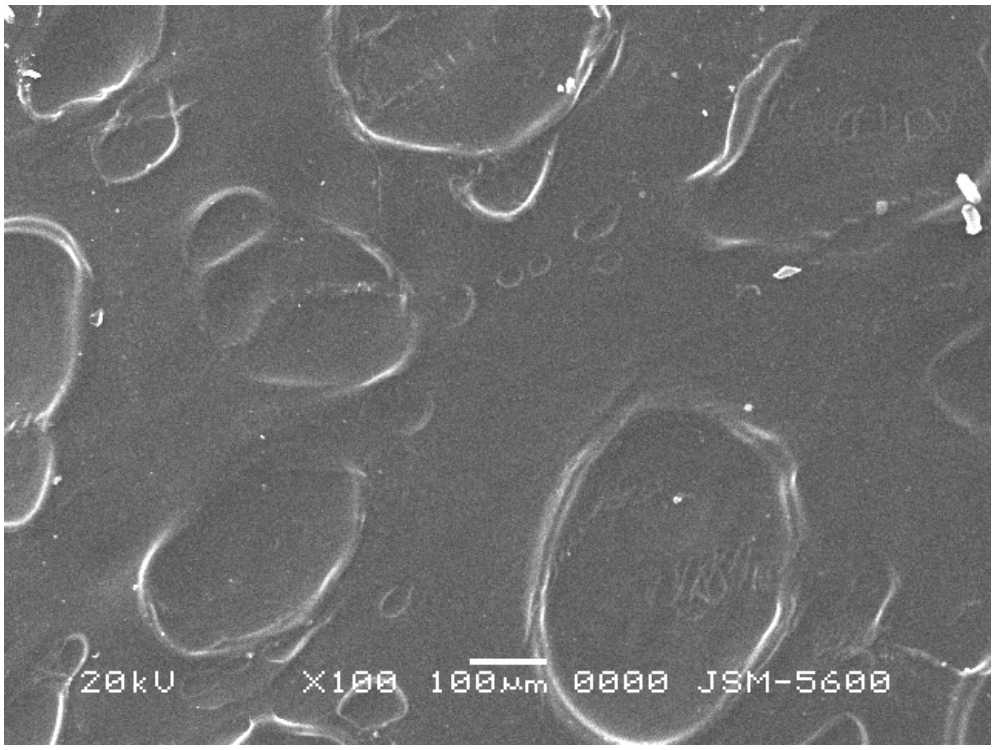
Şekil 7. 8. NIPAAm100/AA5/NHMAAm5/PEG400 (500) jeline ait SEM fotoğrafı



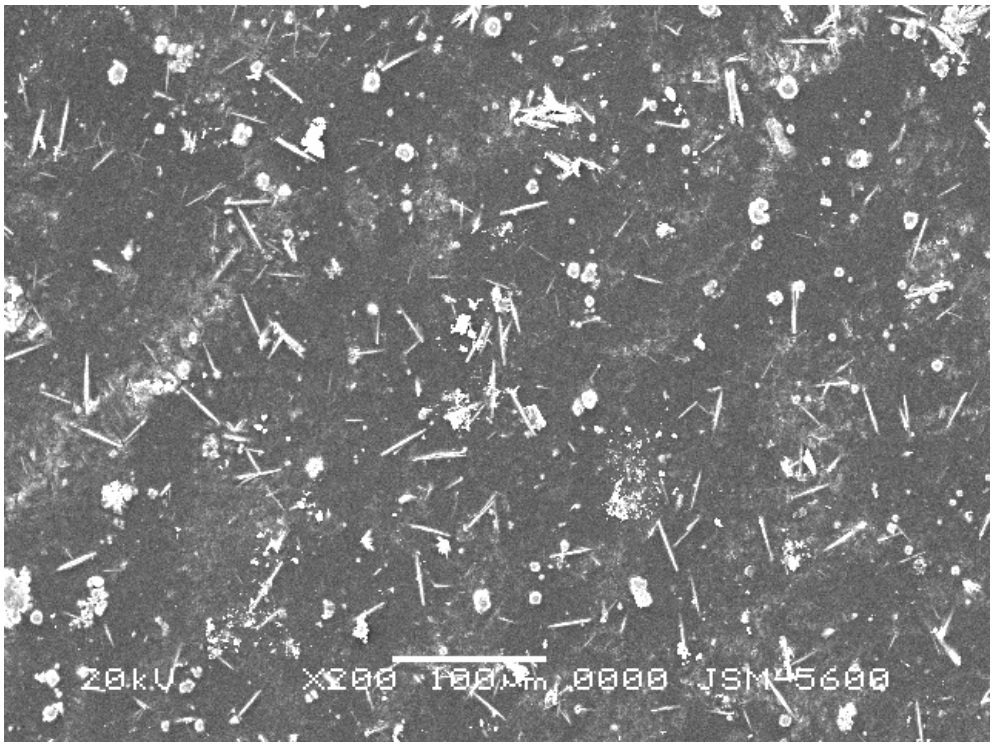
Şekil 7. 9. NIPAAm100/AA0/NHMAAm5/PEG400 (100) jeline ait SEM fotoğrafı



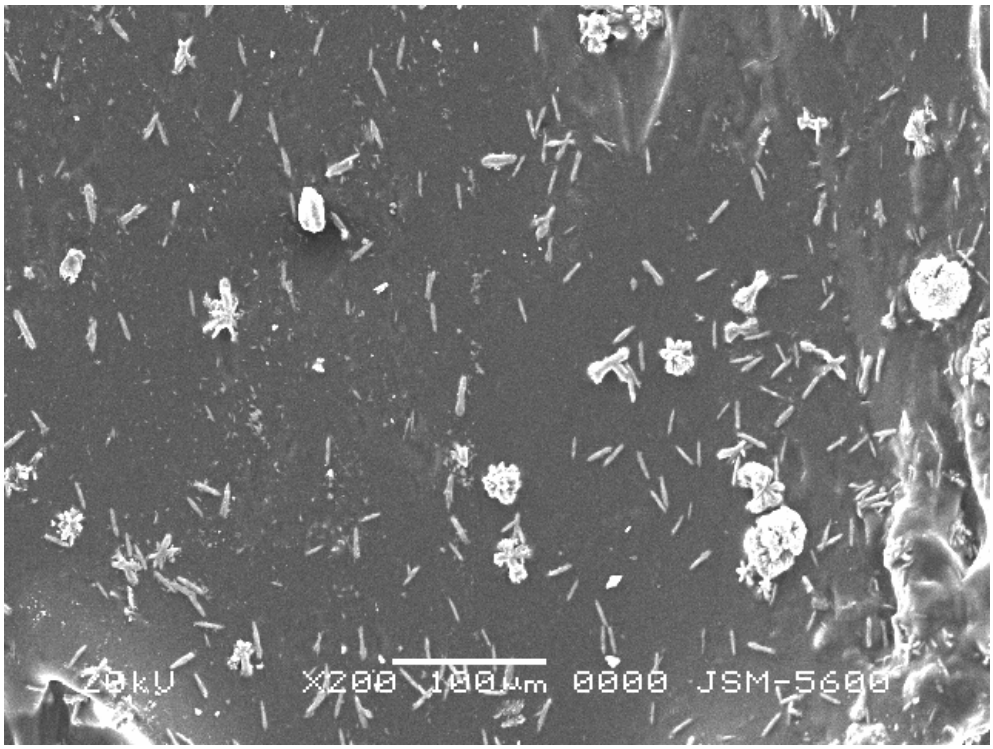
Şekil 7. 10 NIPAAm100/AA0/NHMAAm5/PEG400 (300) jeline ait SEM fotoğrafı



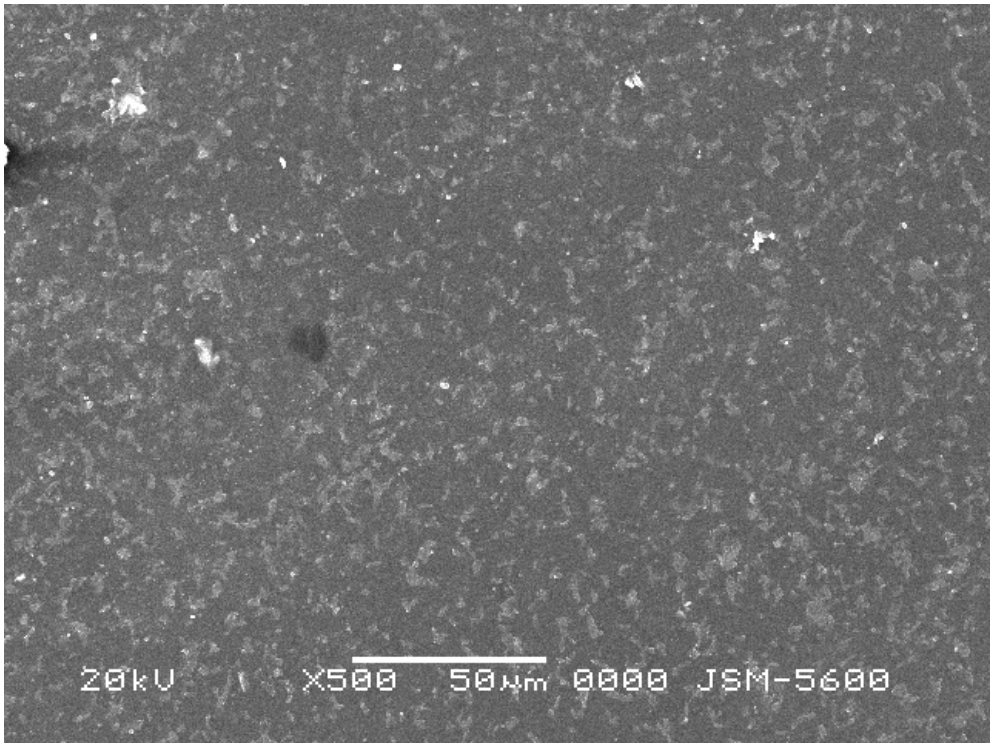
Şekil 7. 11. NIPAAm100/AA10/NHMAAm0/PEG400 (0) jeline ait SEM fotoğrafı



Şekil 7. 12. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEG400 (300) jeline ait SEM fotoğrafi



Şekil 7. 13. NIPAAm100/AA5/NHMAAm10/PEG400 (500) jeline ait SEM fotoğrafı



Şekil 7. 14. NIPAAm100/AA10/NHMAAm10/PEG400 (0) jeline ait SEM fotoğrafı

ÖZGEÇMİŞ

16.04.1982 yılında Ankara Keçiören ilçesinde doğan Fatma Tanrıverdi ilk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladıktan sonra Konya Selçuklu Lisesi'ni bitirdi. 2004 yılında lisans öğrenimini Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünü bitirdi. Aynı yıl S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Şu an babası ve ablasıyla birlikte Konya'da ikamet etmektedir.