

**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI
2016-YL-004**

**BENTONİT ve SODYUM ALJİNAT İÇEREN YENİ
AKRİLAMİD/POTASYUM 3-SÜLFOPROPİL
METAKRİLAT HİBRİT HİDROJELLERİN
ELDESİ, KARAKTERİZASYONU ve
BİYOPOTANSİYEL KULLANIM
KAPASİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Zehra Deniz KASİM

**DANIŞMAN:
Prof. Dr. Erdener KARADAĞ**

AYDIN-2016

Onay



T. C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

Bu tezde sunulan tüm bilgi ve sonuçların, bilimsel yöntemlerle yürütülen gerçek deney ve gözlemler çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce, sonuç ve bilgilere bilimsel etik kuralları gereği eksiksiz olarak uygun atıf yaptığımı ve kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

...../...../2016

Zehra Deniz KASİM

ÖZET

BENTONİT ve SODYUM ALJİNAT İÇEREN YENİ AKRİLAMİD/POTASYUM 3-SÜLFOPROPİL METAKRİLAT HİBRİT HİDROJELLERİN ELDESİ, KARAKTERİZASYONU ve BİYOPOTANSİYEL KULLANIM KAPASİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Zehra Deniz KASİM

Yüksek Lisans Tezi, Kimya Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erdener KARADAĞ
2016, 162 sayfa

Bu çalışmada, yardımcı monomer olarak potasyum 3-sülfopropil metakrilat, kil olarak bentonit ve sodyum aljinat gibi doğal bir polimer içeren akrilamid esaslı yeni hibrit hidrojel ve semi-IPN hidrojeller sentezlenmiştir. Çalışmada elde edilen hidrojeller, poli(etilen glikol) diakrilat gibi bir çapraz bağlayıcının kullanılmasıyla çözelti ortamında serbest radikalik polimerleşme tepkimesi ile hazırlanmıştır. Kimyasal çapraz bağlı kopolimerlerin yapısal karakterizasyonu, Fourier transform infrared spektroskopisi (FT-IR/ATR) kullanılarak yapılmıştır. Hibrit hidrojel ve semi-IPN hidrojellerin yüzey gözenekliliği hakkında bilgi edinebilmek için SEM mikrografları alınmıştır. Hazırlanan çapraz bağlı hibrit hidrojel ve semi-IPN hidrojellerin su/sıvı soğurum özelliklerini araştırmak amacıyla 25°C’da dinamik su/sıvı soğurum testleri uygulanmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla su/sıvı soğurum kinetiği ve difüzyon mekanizması ile ilgili parametreler hesaplanmıştır. Çapraz bağlı hibrit hidrojel ve semi-IPN hidrojellerin yüzeye soğurum özelliklerinin araştırılması amacıyla, model molekül olarak lauths violet (thionin) seçilmiştir. Çalışma sonunda sentezlenen hibrit hidrojel ve semi-IPN hidrojellerin lauths violet boyarmaddesini sulu çözeltilerden yüksek oranda soğurdıkları belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Akrilamid, kompozit, hibrit, bentonit, kil, semi-IPN, sodyum aljinat, hidrojel, yüzeye soğurum, lauths violet.

ABSTRACT

PREPARATION, CHARACTERIZATION and INVESTIGATION of BIOPOTENTIAL USING CAPACITIES of NEW ACRYLAMIDE/POTASSIUM 3-SULFOPROPYL METHACRYLATE HYBRIDE HYDROGELS CONTAINING SODIUM ALGINATE and BENTONITE

Zehra Deniz KASİM

M.Sc. Thesis, Department of Chemistry

Supervisor: Prof. Dr. Erdener KARADAĞ

2016, 162 pages

In this study, acrylamide monomer and potassium 3-sulfopropyl methacrylate as a comonomer and in order to form a composite structure with sodium alginate as a naturel polymer and bentonite as a clay mineral have been synthesized for the production of chemically crosslinked copolymers. Hydrogel systems were prepared by free radical polymerization in aqueous solution using poly (ethylene glycol) diacrylate as a crosslinker. Structural characterization of prepared chemically crosslinked polymers were tried to determine by using Fourier Transform Infrared Spectroscopy/Attenuated Total Reflectance (FT-IR/ATR). SEM micrographs were taken for determination of surface porosity of hydrogel systems. Dynamic swelling tests were applied at 25°C for the purpose of investigation of swelling properties of crosslinked hybrid hydrogels and semi-IPN hydrogels. According to obtained data, parameters concerning swelling kinetics and diffusion mechanism were calculated. A cationic dye such as lauths violet (thionin) was selected as model molecule to investigate of adsorption properties of hydrogels. It was determined that crosslinked hybrid hydrogels and semi-IPN hydrogels have adsorbed dye of lauths violet from aqueous solutions in high level.

Key words: Acrylamide, potassium 3-sulfopropyl methacrylate, sodium alginate, clay, bentonite, hydrogel, composite, adsorption, lauths violet.

ÖNSÖZ

Farklı karakterlerdeki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, iki veya daha fazla mikro veya makro bileşenin karışımı veya birleşimiyle oluşan malzemeler “hibrit (kompozit) malzemeler” olarak adlandırılırlar. Kompozit grubu malzemelere değişik özellikler katmak için çeşitli kil mineralleri ile çapraz bağlı polimerlerin değişik özellikleri birleştirilerek, “polimer/kil kompozit” sistemler oluşturulabilir. Polimerlerin uygulama alanlarını genişletmek için bazı biyopolimerik gruplar birlikte kullanılarak yeni malzemeler üretilir.

Hidrojeller, üç boyutlu ağ yapıya sahip hidrofilik polimerler olarak tanımlanırlar. Bu polimerler büyük miktarlarda suyu soğurabilir ve soğurdıkları suyu bünyelerinde tutabilirler. Bu çalışmada yeni kimyasal çapraz bağlı kopolimerler sentezlenmiştir. Sentezlenen kopolimerlerin spektroskopik analizleri ve su/sıvı soğurma karakterizasyonları yapılmış, boyarmaddenin sulu çözeltilerinden adsorpsiyon kapasiteleri incelenmiştir.

Lisansüstü eğitimim süresince tezimin planlanıp yürütülmesinde büyük titizlik, sabır ve özveriyle destek olan, çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren, yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini paylaşmaktan çekinmeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erdener KARADAĞ’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımı yürütebilmek için ihtiyaç duyduğum imkanları bana sağlayan Adnan Menderes Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü’ne ve FEF 15 006 no’lu araştırma projeme kaynak sağlayan Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu’na teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Ömer Barış ÜZÜM ve Arş. Gör. Dr. Semiha KUNDAKCI’ya, laboratuvar çalışmalarım sırasında her türlü yardımı gösteren sevgili arkadaşım Gözde ÇETİN’e çok teşekkür ederim.

FT-IR analizleri için, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Nanobilim ve Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezi Müdürü Sayın Prof. Dr. Nurettin ŞAHİNER’e ve SEM mikrografların alındığı, İzmir Yüksek Teknik Enstitüsü (İYTE) Malzeme Araştırma Merkezi Müdürlüklerine teşekkür ederim.

Hayatımın her anında olduğu gibi tez çalışmamda da her konuda desteklerini ve sevgilerini esirgemeyen annem Ayşe KASİM, babam Mehmet KASİM, ağabeyim Musa KASİM ve ablam Hatice KASİM’e, her türlü sıkıntılarımda ve sevinçlerimde hep yanımda olan, desteğini ve sevgisini hiçbir zaman esirgemeyen hayat arkadaşım Sercan ÖZTÜRK’e sonsuz teşekkür ederim.

Zehra Deniz KASİM

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI.....	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ÖNSÖZ.....	xi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xxi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxxii
EKLER DİZİNİ.....	xxxiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Malzeme Bilimi.....	5
2.1.1. Malzeme Türleri.....	5
2.2. Hibrit (Kompozit) Malzemeler.....	6
2.2.1. Kompozit Malzemelerin Gruplandırılması	6
2.2.2. Polimer Kompozitler	8
2.2.3. Polimer Kompozitlerin Kullanım Alanları.....	9
2.2.4. Polimer/Kil Kompozitler.....	9
2.2.5. Bentonit.....	10
2.2.5.1. Bentonit Çeşitleri.....	11
2.3. Polimerler	11
2.4. Hidrojeller	14
2.4.1. Hidrojellerin Sınıflandırılması	15
2.4.2. Hidrojellerin Kullanım Alanları	15
2.4.3. İyonik Hidrojeller.....	16

2.4.4. İç İç Geçmiş Polimerik Ağ Yapılı Hidrojeller.....	16
2.4.4.1. IPN'lerin Sınıflandırılması	17
2.4.5. Semi-IPN Oluşumunda Kullanılan Polimerler	18
2.4.6. Polisakkaritler.....	19
2.5. Hidrojel Sentezi	21
2.6. Hidrojellerde Su/Sıvı Soğurumu ve Difüzyon.....	22
2.7. Hidrojellerde Karakterizasyon.....	23
2.7.1. Spektroskopik Karakterizasyon.....	23
2.7.2. SEM Analizi	24
2.7.3. Su/Sıvı Soğurum Karakterizasyonu	24
2.7.4. Difüzyon.....	26
2.8. Çevrede Su Kirliliği.....	27
2.8.1. Çevrede Su Kirliliğinin Giderilmesi.....	28
2.9. Adsorpsiyon.....	29
2.9.1. Adsorpsiyon Türleri	29
2.9.2. Adsorpsiyon İzotermi.....	30
2.9.3. Denge Adsorpsiyon Çalışmaları.....	31
2.9.4. Sulu Ortamlardan Boyarmadde Uzaklaştırılması	32
3. MATERYAL VE YÖNTEM	34
3.1. Kullanılan Kimyasallar.....	34
3.2. Polimerik Örneklerin Hazırlanması.....	35
3.2.1. Hidrojel, Hibrit Hidrojel ve Semi-IPN'lerin Sentezi.....	35
3.3. Polimerik Örneklerin Karakterizasyonu.....	39
3.3.1. Spektroskopik Karakterizasyon.....	39
3.3.2. Su/Sıvı Soğurum Karakterizasyonu	39
3.3.2.1. Farklı Su-Çözücü Karışımlarında Sıvı Soğurum Çalışmaları	40

3.3.3. SEM Analizi.....	40
3.3.4. Boyarmadde Soğurumu.....	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	42
4.1. Çapraz Bağlı Polimerlerin Hazırlanması.....	42
4.2. Spektroskopik Karakterizasyon.....	45
4.3. Su/Sıvı Soğurum Karakterizasyonu	47
4.3.1. Dinamik Su/Sıvı Soğurum Çalışmaları	48
4.3.1.1. Denge Su/Sıvı Soğurumu	48
4.3.2. Su Soğurumuna Yardımcı Monomer (KSM) Etkisi	69
4.3.3. Dengede Su/Sıvı Kapasitesi (DSK).....	70
4.3.3.1. Farklı Çözücü-su karışımlarında DSK değişimi	70
4.3.4. Hidrojel Sistemlerde Su Soğurum Kinetiği.....	72
4.3.4.1. Farklı Çözücü-Su Karışımlarında Sıvı Soğurum Kinetiği	78
4.3.5. Suyun Difüzyonu	91
4.3.5.1. Farklı Çözücü-Su Karışımlarında Sıvının Difüzyonu	97
4.3.6. Hidrojel sistemlerde Su/Sıvı Soğurum Hız Katsayısı	111
4.3.6.1. Farklı Su-Çözücü Karışımlarında Su/Sıvı Soğurum Hız Katsayısı.....	116
4.4. SEM Çalışmaları	127
4.5. Yüzeye Soğurum	129
5. SONUÇ	141
KAYNAKLAR	145
EKLER.....	159
ÖZGEÇMİŞ	161

KISALTMALAR DİZİNİ

AAm	Akrilamid
AAm/KSM	Akrilamid/potasyum 3-sülfopropil metakrilat
AAm/KSM/SAL	Akrilamid/potasyum 3-sülfopropil metakrilat/ Sodyum aljinat
AAm/KSM/BENT	Akrilamid/potasyum 3-sülfopropil metakrilat/ bentonit
AAm/KSM/BENT/SAL	Akrilamid/ potasyum 3-sülfopropil metakrilat/ bentonit/sodyum aljinat
APS	Amonyum persülfat
ASE-su	%60'lık aseton-su karışımı
%Ads	Yüzde adsorpsiyon
BENT	Bentonit
C	Çözeltinin başlangıç derişimi
C _b	Hidrojel tarafından soğurulan çözünenin derişimi
cm	Santimetre
C _s	Çözeltinin denge derişimi
D	Difüzyon katsayısı
dak	Dakika
dS/dt	Su/sıvı soğurum hızı
DSK	Dengede su/sıvı kapasitesi
F	Su/sıvı soğurum kesri
FT-IR	Fourier transform infrared spektroskopisi
g	Gram
k	Difüzyon sabiti
K _d	Dağılma katsayısı
k _s	Su soğurum hız sabiti

KSM	Potasyum 3-sülfopropil metakrilat
k_{ss}	Su/sıvı soğurum hız katsayısı
LV	Lauths violet (Thionin)
m	Metre
M	Molar (mol dm^{-3})
M_d	Dengedeki jelin içerdığı su/sıvı kütlesi
mg	Miligram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
mmol	Milimol
M_n	Sayica ortalama mol kütlesi
M_t	t anında jelin içerdığı su/sıvı miktarı
MET-su	%60'lık metanol-su karışımı
n	Difüzyon üsteli
nm	Nanometre
PEGDA	Poli(etilen glikol) diakrilat
q	1,0 g hidrojin adsorpsiyon kapasitesi
r	Su/sıvı soğurulmuş jelin yarıçapı
r_0	Başlangıç su/sıvı soğurum hızı
%S	t anındaki su/sıvı soğurum
SAL	Sodyum aljinat
SEM	Taramalı elektron mikroskobu (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)
% S_d	Dengede su/sıvı soğurumu
% S_{mak}	Jelin denge anındaki (teorik) su/sıvı soğurumu
t	Süre (dakika)
TEMED	N,N,N',N'-Tetrametiletildiamin

THF-su	%60'lık tetrahidrofur-an-su karışımı
v	Hacim (L)
W_d	Dengedeki (su/sıvı soğurulmuş) polimerin kütlesi
W_t	t süre sonraki su/sıvı soğurulmuş polimer kütlesi
W_0	Kuru polimer kütlesi
λ_{mak}	Maksimum dalga boyu
π	pi sayısı, (3,141592654)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bentonit kristalinin şematik görünüşü	10
Şekil 2.2. Monomer moleküllerinin polimerizasyon tepkimeleri ile birbirlerine bağlanarak iri polimer moleküllerini oluşturması.....	12
Şekil 2.3. Çapraz bağlı hidrojelin yapısı	14
Şekil 2.4. IPN tipi hidrojel türleri.....	17
Şekil 2.5. Sodyum aljinatın molekül yapısı.....	20
Şekil 2.6. Çapraz bağlı polimerlerin sentezinde görülebilecek üç durumun şematik gösterimi	21
Şekil 3.1. Polimerik örneklerin hazırlanma şeması	39
Şekil 3.2. Çapraz bağlı hidrojellerin boyar madde soğurumu	41
Şekil 4.1 AAm (Akrilamid) monomeri ve KSM (potasyum 3-sülfopropil metakrilat) yardımcı monomerinin kimyasal yapısı	42
Şekil 4.2. Poli (etilen glikol)diakrilat'ın kimyasal yapısı ve bağlanma noktaları.....	43
Şekil 4.3. APS/TEMED ile serbest radikal oluşumunun şematik gösterimi	44
Şekil 4.4. Çapraz bağlı AAm/KSM kopolimerlerinin hazırlanması.....	45
Şekil 4.6. AAm/KSM/BENT hidrojellerinin FT-IR spektrumları.....	46
Şekil 4.7. AAm/KSM/SAL hidrojellerinin FT-IR spektrumları	46
Şekil 4.8. AAm/KSM/BENT/SAL hidrojellerinin FT-IR spektrumları	47
Şekil 4.9. AAm/KSM hidrojellerinin su/sıvı soğurum izotermi	49
Şekil 4.10. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin su/sıvı soğurum izotermi	49
Şekil 4.11. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin su/sıvı soğurum izotermi	50
Şekil 4.12. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinin su/sıvı soğurum izotermi.....	50
Şekil 4.13. AAm/KSM hidrojellerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri	51

Şekil 4.14. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri.....	52
Şekil 4.15. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri.....	52
Şekil 4.16. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri.....	53
Şekil 4.17. AAm/KSM hidrojenlerinin ve AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri.....	53
Şekil 4.18. AAm/KSM hidrojenlerinin ve AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri.....	54
Şekil 4.19. AAm/KSM hidrojenlerinin ve AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri.....	54
Şekil 4.20. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin su/sıvı soğurum izotermi.....	55
Şekil 4.21. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin su/sıvı soğurum izotermi.....	55
Şekil 4.22. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri.....	57
Şekil 4.23. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri.....	57
Şekil 4.24. AAm/KSM hidrojenlerinin ASE-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi.....	58
Şekil 4.25. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin ASE-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi	59
Şekil 4.26. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin ASE-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi	59
Şekil 4.27. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin ASE-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi	60
Şekil 4.28. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin ASE-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi	60

Şekil 4.29. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin ASE-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi.....	61
Şekil 4.30. AAm/KSM hidrojenlerinin MET-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi.....	61
Şekil 4.31. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin MET-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi.....	62
Şekil 4.32. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin MET-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi	62
Şekil 4.33. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin MET-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi	63
Şekil 4.34. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin MET-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi.....	63
Şekil 4.35. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin MET-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi.....	64
Şekil 4.36. AAm/KSM hidrojenlerinin THF-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi.....	64
Şekil 4.37. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin THF-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi	65
Şekil 4.38. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin THF-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi	65
Şekil 4.39. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin THF-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi	66
Şekil 4.40. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin THF-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi	66
Şekil 4.41. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin THF-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi.....	67
Şekil 4.42. Çalışmada üretilen hidrojel sistemlerde %S _d değerlerinin KSM içeriği ile değişimi	70
Şekil 4.43. AAm/KSM hidrojenlerinin su soğurum kinetiği eğrileri	73
Şekil 4.44. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin su soğurum kinetiği eğrileri.....	74

Şekil 4.45. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojjellerinin su soğurum kinetiği eğrileri	74
Şekil 4.46. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojjellerinin su soğurum kinetiği eğrileri	75
Şekil 4.47. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojjellerinin su soğurum kinetiği eğrileri	76
Şekil 4.48. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojjellerinin su soğurum kinetiği eğrileri	76
Şekil 4.49. AAm/KSM hidrojjellerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	78
Şekil 4.50. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojjellerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	78
Şekil 4.51. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojjellerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	79
Şekil 4.50. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojjellerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	79
Şekil 4.53. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojjellerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	80
Şekil 4.54. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojjellerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	80
Şekil 4.55. AAm/KSM hidrojjellerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	81
Şekil 4.56. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojjellerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	81
Şekil 4.57. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojjellerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	82
Şekil 4.58. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojjellerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	82
Şekil 4.59. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojjellerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	83

Şekil 4.60. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri.....	83
Şekil 4.61. AAm/KSM hidrojenlerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	84
Şekil 4.62. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri.....	84
Şekil 4.63. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri	85
Şekil 4.64. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri.....	85
Şekil 4.65. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri.....	86
Şekil 4.66. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri.....	86
Şekil 4.67. AAm/KSM hidrojenlerinde InF-Int değişimi	92
Şekil 4.68. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinde InF-Int değişimi	93
Şekil 4.69. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinde InF-Int değişimi.....	93
Şekil 4.70. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinde InF-Int değişimi.....	94
Şekil 4.71. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinde InF-Int değişimi.....	95
Şekil 4.72. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinde InF-Int değişimi.....	95
Şekil 4.73. AAm/KSM hidrojenlerinde ASE-su'daki InF-Int değişimi.....	97
Şekil 4.74. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinde ASE-su'daki InF-Int değişimi.....	97
Şekil 4.75. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinde ASE-su'daki InF-Int değişimi	98
Şekil 4.76. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinde ASE-su'daki InF-Int değişimi	98

Şekil 4.77. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde ASE-su'daki InF-Int değişimi	99
Şekil 4.78. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde ASE-su'daki InF-Int değişimi	99
Şekil 4.79. AAm/KSM hidrojellerinde MET-su'daki InF-Int değişimi	100
Şekil 4.80. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde MET-su'daki InF-Int değişimi	100
Şekil 4.81. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde MET-su'daki InF-Int değişimi	101
Şekil 4.82. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinde MET-su'daki InF-Int değişimi	101
Şekil 4.83. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde MET-su'daki InF-Int değişimi	102
Şekil 4.84. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde MET-su'daki InF-Int değişimi	102
Şekil 4.85. AAm/KSM hidrojellerinde THF-su'daki InF-Int değişimi	103
Şekil 4.86. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde THF-su'daki InF-Int değişimi	103
Şekil 4.87. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde THF-su'daki InF-Int değişimi	104
Şekil 4.88. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinde THF-su'daki InF-Int değişimi	104
Şekil 4.89. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde THF-su'daki InF-Int değişimi	105
Şekil 4.90. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde THF-su'daki InF-Int değişimi	105
Şekil 4.91. AAm/KSM hidrojellerinin $-\ln(1-F)-t$ değişimi	111
Şekil 4.92. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin $-\ln(1-F)-t$ değişimi	112
Şekil 4.93. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin $-\ln(1-F)-t$ değişimi	112
Şekil 4.94. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinin $-\ln(1-F)-t$ değişimi ...	113

Şekil 4.95. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin $-\ln(1-F)$ – değişimi	114
Şekil 4.96. Farklı SAL içeriğine sahip AAM/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin $-\ln(1-F)$ – değişimi	114
Şekil 4.97. AAm/KSM hidrojellerinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	116
Şekil 4.98. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	116
Şekil 4.99. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	117
Şekil 4.100. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	117
Şekil 4.101. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi.....	118
Şekil 4.102. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL hibrit hidrojellerinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	118
Şekil 4.103. AAm/KSM hidrojellerinde MET-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	119
Şekil 4.104. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde MET-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	119
Şekil 4.105. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde MET-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	120
Şekil 4.106. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinde MET-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	120
Şekil 4.107. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde MET-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	121
Şekil 4.108. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde MET-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	121
Şekil 4.109. AAm/KSM hidrojellerinde THF-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi	122
Şekil 4.110. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde THF-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi.....	122

Şekil 4.111. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinde THF-su'daki –ln(1-F)-t değişimi	123
Şekil 4.112. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinde THF-su'daki –ln(1-F)-t değişimi	123
Şekil 4.113. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinde THF-su'daki –ln(1-F)-t değişimi	124
Şekil 4.114. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL hibrit hidrojenlerinde THF-su'daki –ln(1-F)-t değişimi	124
Şekil 4.115. AAm/(0) KSM (a) ve AAm/(60) KSM (b) hidrojenlerinin SEM mikrografları	127
Şekil 4.116. AAm/(0) KSM/BENT (a) ve AAm/(60) KSM/BENT (b) hibrit hidrojenlerinin SEM mikrografları	128
Şekil 4.117. AAm/(0) KSM/SAL (a) ve AAm/(60) KSM/SAL (b) semi-IPN hidrojenlerinin SEM mikrografları	128
Şekil 4.118. AAm/(0) KSM/BENT/SAL (a) ve AAm/(60) KSM/BENT/SAL (b) hibrit hidrojenlerinin SEM mikrografları	129
Şekil 4.119. AAm/KSM hidrojenlerine LV soğurumu	130
Şekil 4.120. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerine LV soğurumu	130
Şekil 4.121. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerine LV soğurumu.....	131
Şekil 4.122. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerine LV soğurumu.....	131
Şekil 4.123. AAm/KSM hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltisindeki görünümleri.....	132
Şekil 4.124. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltisindeki görünümleri.....	133
Şekil 4.125. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltisindeki görünümleri.....	133
Şekil 4.126. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltisindeki görünümleri	134
Şekil 4.127. AAm/KSM hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltisinden çıkarılmış hallerinin görünümleri.....	137

Şekil 4.128. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin farklı derişimlerde LV çöztisinden çıkarılmış hallerinin görünümleri	137
Şekil 4.129. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin farklı derişimlerde LV çöztisinden çıkarılmış hallerinin görünümleri	138
Şekil 4.130. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinin farklı derişimlerde LV çöztisinden çıkarılmış hallerinin görünümleri	138
Şekil 4.131. AAm/KSM hidrojellerinin ve AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin kuru, suda ve LV çöztisindeki görünümleri	139
Şekil 4.132. AAm/KSM hidrojellerinin ve AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin kuru, suda ve LV çöztisindeki görünümleri	139
Şekil 4.133. AAm/KSM hidrojellerinin ve AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinin kuru, suda ve LV çöztisindeki görünümleri	140

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Hidrojel, hibrit hidrojel ve semi-IPN üretiminde kullanılan kimyasalların formülleri ve kısaltmaları.....	34
Çizelge 3.2. Soğurum çalışmalarında kullanılan Lauths violet (LV)'nin kimyasal formülü ve bazı özellikleri.....	35
Çizelge 3.3 Polimerik örneklerin hazırlanmasında kullanılan KSM, BENT ve SAL içeriklerinin örneklere göre değişimleri	38
Çizelge 4.1. Hidrojel sistemlerin sudaki %S _d değerleri	51
Çizelge 4.2. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde %S _d değerleri	56
Çizelge 4.3. Hidrojel sistemlerin ASE-su; MET-su ve THF-su'daki %S _d değerleri	67
Çizelge 4.4. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerin ASE-su; MET-su ve THF-su'daki %S _d değerleri.....	68
Çizelge 4.5. Çalışmada üretilen hidrojel sistemlerde DSK değerlerinin değişimi.....	70
Çizelge 4.6. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde DSK değerleri	71
Çizelge 4.7. Çalışmada üretilen hidrojel sistemlerde DSK değerleri.....	71
Çizelge 4.8. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde DSK değerleri	72
Çizelge 4.9. Hidrojel sistemlerde su soğurum kinetiği ile ilgili parametreler.....	75
Çizelge 4.10. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde su soğurum kinetiği ile ilgili parametreler.....	77
Çizelge 4.11. Hidrojel sistemlerin ASE-su'daki sıvı soğurum kinetiği ile ilgili parametreler	87
Çizelge 4.12. Hidrojel sistemlerin MET-su'daki sıvı soğurum kinetiği ile ilgili parametreleri	88
Çizelge 4.13. Hidrojel sistemlerin THF-su'daki sıvı soğurum kinetiği ile ilgili parametreleri	89

Çizelge 4.14. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde ASE-su ve MET-su'daki sıvı soğurum kinetiği ile ilgili parametreleri.....	90
Çizelge 4.15. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde THF-su'da sıvı soğurum kinetiği ile ilgili parametreleri	91
Çizelge 4.16. Hidrojel sistemlerde su difüzyonu ile ilgili parametreler	94
Çizelge 4.17. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde su difüzyonu ile ilgili parametreler.....	96
Çizelge 4.18. Hidrojel sistemlerin ASE-su'daki sıvı difüzyonu ile ilgili difüzyon parametreleri	106
Çizelge 4.19. Hidrojel sistemlerin MET-su'daki sıvı difüzyonu ile ilgili difüzyon parametreleri	107
Çizelge 4.20. Hidrojel sistemlerin THFE-su'daki sıvı difüzyonu ile ilgili difüzyon parametreleri	108
Çizelge 4.21. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerin ASE-su ve MET-su'daki sıvı difüzyonu ile difüzyon parametreleri	109
Çizelge 4.22. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerin THF-su'daki sıvı difüzyonu ile difüzyon parametreleri	110
Çizelge 4.23. Hidrojel sistemlerde su/sıvı soğurum hız katsayısı değerleri	113
Çizelge 4.24. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde su/sıvı soğurum hız katsayısı değerleri.....	115
Çizelge 4.25. Hidrojel sistemlerin ASE-su; MET-su ve THF-su'daki su/sıvı soğurum hız katsayısı değerleri.....	125
Çizelge 4.26. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde su/sıvı soğurum hız katsayısı değerleri.....	126
Çizelge 4.27. Hidrojel sistemlerde yüzeye soğurum ile ilgili parametreler	135
Çizelge 4.28. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojellerde yüzeye soğurum ile ilgili parametreler	136

EKLER DİZİNİ

Ek 1.1. Lauths violet (Thionin) çözeltilerinin denge derişimlerinin hesaplanmasında kullanılan çalışma eğrisi.....	159
--	-----



1. GİRİŞ

Polimer kimyası, kimya biliminin en gelişmiş alanlarından birisidir. Çağdaş yaşamın her aşamasında yoğun şekilde kullanılan polimerler yüksek mol kütleli bileşiklerdir. 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 salınımda kullanılmalarından, biyobozunur polimerik atel yapımına kadar değişen çok geniş bir aralık içerisinde kullanılmaktadır. Polimerlerin bu kullanım alanlarındaki çeşitlilik, yeni polimerler üretmek ve yeni kullanım alanlarının ortaya çıkarılması üzerinde çok yoğun ve çeşitli araştırmalar yapılmasına neden olmuştur (Orakdoğan ve Okay, 2006; Karadağ vd., 2009; Zhou vd., 2009; Patrickios, 2010; Alizadeh vd., 2012; Shi vd., 2013; Basan, 2015; Seçkin, 2015).

Monomerler, birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak büyük moleküller oluşturabilen küçük mol kütleli kimyasal maddelerdir. Polimerler ise, çok sayıda monomerin kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu iri moleküllü kimyasallardır. Polimerler, hafif, ucuz, mekanik özellikleri çoğu kez yeterli, kolay şekillendirilebilen, değişik amaçlarda kullanıma uygun, dekoratif, kimyasal yolla aşınmaya uğramayan maddelerdir. Tıp, biyokimya, biyofizik ve moleküler biyoloji açısından da polimerlerin önemi büyüktür. Polimer kimyası, kimya yanında yukarıda sözü edilen çoğu bilim alanını kapsayan ayrı bir bilim disiplini olarak gelişmektedir (Saçak, 2010; Basan, 2015; Seçkin, 2015).

Polimer kompozitler, korozyona dirençli, uzun süreli kullanımlara yatkın, işlenmeleri kolay, hafif, karmaşık geometrilerde biçimlendirilebilen, birim kütle başına yük taşıma özellikleri yüksek malzemelerdir. Polimer ve polimer kompozitlerin başlıca hedefleri en az çelik kadar sağlam, olabildiğince hafif, yüksek kullanım sıcaklıklarına dayanıklı ve ekonomik malzeme üretimidir (Şahin, 2006; Seçkin, 2015 Saçak, 2010).

Kompozit malzeme üretiminde genellikle toz halde kil ve silikajel gibi soğurucuların uygulamalardaki zorlukları ve kullanımdaki güçlükleri gidermek için, bunların destek bir yapıya bağlanarak kullanılması uygulamadaki kolaylığı arttırmıştır. Bu anlamda bazı polimerlerin, kil veya silikajelden oluşan kompoziti hazırlanarak kullanım için uygun ve yüksek soğurum yeteneğine sahip “polimer/kil kompozitler” elde edilebilir (Saçak, 2010; Seçkin, 2015).

Bentonit, sepiyolit, montmorillonit, kaolin, illit gibi kil mineralleri; poliakrilamid, poli(N-izopropilakrilamid), poli(akrilik asit), polianilin, polistiren gibi polimerler ile birlikte birçok çalışmada oldukça sık kullanılmıştır kullanılmıştır (Ulusoy vd., 2005; Kaşgöz vd., 2008; Kundakcı vd., 2008; Ulusoy vd., 2009; Wang vd., 2011; Zhang vd., 2012; An vd., 2012; Mahdavinia vd., 2013; Kumar vd., 2013; Rashidzadeh vd., 2014).

Bentonit, smektit grubuna dahil bir kil mineralidir ve esas olarak montmorillonitten oluşmuştur. Smektit kil minerali suyu veya organik molekülleri soğurarak şişer ve aynı zamanda önemli bir iyon değiştiricidir. Endüstri, tarım, madencilik ve mühendislik alanlarında kullanılan çok yönlü bir kildir. Düşük maliyeti ve çevrede bol bulunuşu ile bentonit, üzerinde çok çalışılan bir mineraldir (Kayır, 2007).

Hidrojeller, su içerisinde çözünmeden şişebilme özelliğine sahip, çapraz bağlı, üç boyutlu ağ yapılı polimerlerdir. Su içeriği kendi kütlesinden % 100 daha fazla olan hidrojellere “süper soğurucu” denir. Bir polimerin hidrojel olabilmesi için ana zincirde ya da yan dallarda hidroksil, karboksil, karbonil, amin ve amid gibi hidrojen bağı oluşturabilen su sever grupların bulunması gerekir. Son yıllarda hem bilimsel hem de teknolojik açıdan hidrojellerin önemi gittikçe artmakta ve geniş kullanım alanına yayılmaktadır. Hidrojeller, çok iyi su tutabilme-suda/sulu ortamda şişebilme yeteneklerinden dolayı biyoteknoloji, biyomühendislik, biyomedikal bilimler, eczacılık gibi alanlarda kullanılır (Saçak, 2010; Basan, 2015; Seçkin, 2015).

Değişik amaçlarla hazırlanmış hidrojel sistemlerin farklı çözücülerde sıvı soğurum davranışlarının bilinmesi, hidrojellerin kullanım alanlarını belirleyecek önemli kriterlerdendir. Bu çalışmada aseton, metanol ve tetrahidrofuran gibi üç farklı çözücünün %60’lık çözeltileri hazırlanarak hidrojel sistemlere sıvı soğurum karakterizasyonlarının temelleri de araştırılacaktır kullanılır (Ganji vd., 2010; Liu vd., 2010; Patrickios, 2010; Hofmann, 2012; Wang vd., 2013a).

Mekanik olarak dayanıklı polimerlerin geliştirilmesi amacıyla, kendisini oluşturan polimerlerden birisinin veya tümünün çapraz bağlı olduğu, üç boyutlu ağ yapılar olan “İç içe geçmiş ağ yapılı polimerler” (Interpenetrating Polymer Network, IPN) kullanılabilir. IPN’i oluşturan iki polimerik örgünün birbirleriyle uyumlu olması IPN oluşumunu artırır. Faz oluşumunu engeller. IPN’i oluşturan polimerler

arasında kimyasal bağ bulunmadığı için her iki bileşende kendi özelliklerini korur ve aranan şartlara sahip bir yapı oluşturabilir. IPN'i oluşturan polimerlerden bir tanesi düz zincirli yapıda bulunursa bu tür yapılar semi-IPN olarak adlandırılırlar. Semi-IPN tipi hidrojellerde polimerlerden biri çapraz bağ içerirken diğeri içermez. Bu tür polimerlerde misafir polimer zincirleri, ev sahibi ağ yapının içinde kovalent bağlı veya kovalent bağısız olarak yer alabilirler. IPN'lerin üretiminde sodyum aljinat, ksantan gam, jelatin, karragenan, karboksimetil selüloz, kitin, kitosan gibi doğal polimerlerin yanında poli(vinil alkol), poli(etilen glikol), poliakrilamid, poli(N-izopropil alkol) gibi yapay polimerler de kullanılabilir. Kullanım amacı ve yerine göre bu polimerlerin bir araya getirilmesi ile farklı özelliklere sahip IPN yapılar oluşturulabilir (Shukla ve Srivastava, 1995; Zhao vd., 2006; Wang vd., 2011; Bhattacharya vd., 2012; Bardajee ve Hooshyar, 2013; Dragan, 2014; Karadağ ve Kundakcı, 2015; Kundakcı ve Karadağ, 2014).

Biyomedikal alanda en yaygın kullanılan yapay polimerler, hidroksietilmetakrilat, etilen glikol dimetakrilat; N-vinil pirolidon, metakrilik asit, vinil asetat, vinil alkol ve akrilamid gibi monomerlerden elde edilirler. Yine bu alanda en çok kullanılan doğal polimerler ise, karragenan, jelatin, kolojen, kitin, kitosan, dekstran ve nişastadır. Hidrojeller şişmelerine ve boyut değiştirmelerine karşın kararlı yapıdadırlar. Ancak biyolojik ortamda daha küçük birimlere bölünerek ve zaman içinde bozularak yok olan yapıların sentezi de mümkündür. Bu tip hidrojeller biyomedikal alanda, yapay böbrek, yapay idrar kesesi, aktarıcı/taşıyıcı hortum, diyaliz zarı yapımı ve bunun gibi çok çeşitli uygulamaları vardır (Kundakcı vd., 2011, Karadağ ve Üzümlü, 2012; Zhao vd., 2013; Karadağ ve Kundakcı, 2015).

Doğal polimerler, biyoyumluluk, biyobozunurluk, toksik olmama ve çevresel koşullara daha kolay uyum sağlama özelliklerinden dolayı IPN oluşumunda oldukça fazla kullanılan yapılar olmuşlardır. Son yıllarda çoğu araştırmacı, sodyum aljinat, ksantan gam, jelatin, karragenan, nişasta, kitin, kitosan, karboksimetil selüloz, dextran gibi doğal polimerler üzerinde çalışmalar yapmaya odaklanmıştır (Kosmala vd., 2000; Khurma vd., 2008; Klouda ve Mikos, 2008; Farris vd., 2009; Martinez-Ruvalcaba vd., 2009; Zhang vd., 2011; Mohanan vd., 2011; Eid vd., 2013; Wang vd., 2013c).

Yapılan çalışmada doğal polimer olan sodyum aljinat kullanılmıştır. Birçok alanda yaygın olarak kullanılan sodyum aljinat, *Laminaria*, *Macrocystis* isimli bir deniz yosununun hücre duvarından elde edilen temel olarak selülozda olduğu gibi 1,4-β-

D-glukoz birimlerinin bulunduğu bir polimer iskeletinden oluşmaktadır. Hem sıcak hem de soğuk suda çözülmesi, düşük polisakkarit derişimlerinde bile çözeltilere yüksek viskozitesi vermesi, geniş sıcaklık aralıklarında sodyum aljinat tarafından oluşturulan çözeltilerin viskozitesinde minimum değişim görülmesi, hem asidik hem de alkali çözeltilerde çözünmesi ve kararlı olması gibi özellikleri nedeniyle pek çok alanda kullanılan bir polisakkarittir (Hu vd., 2015; Bhattacharyya vd., 2014; Rashidzadeh vd., 2014; Yong Lee vd., 2011).

Bu çalışmada kil minerali olan bentonit ve doğal bir polimer olan sodyum aljinat kullanılarak, çapraz bağlı polimer üretiminde yaygın olarak kullanılan akrilamidin ana yapı olarak birlikte oluşturacakları yeni bir polimerik taşıyıcı/soğurucu üretimi, karakterizasyonu ve potansiyel soğurum özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bentonit ve sodyum aljinat içeren akrilamid esaslı yeni bir polimerik adsorban ya da taşıyıcı sistem sulu çözelti ortamında serbest radikalik katılma polimerleşmesi ile elde edilmiştir. Radikalik polimerleşme tepkimesini başlatmak amacıyla amonyum persülfat ve tepkimenin hızla ilerlemesini sağlamak amacıyla *N,N,N',N'*-tetrametiletilendiamin kullanılmıştır. Sentez aşamasında, yardımcı monomer potasyum 3-sülfopropil metakrilat oranı değiştirilerek kopolimer ve kompozit polimerlerin özelliklerine yardımcı monomer etkisi araştırılmıştır. Sentezlenen hidrojel ve polimerik kompozitlere 25°C'ta dinamik su/sıvı soğurum testleri uygulanarak su/sıvı soğurum karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Spektroskopik karakterizasyon için FT-IR/ATR spektroskopisinden, gözenek yapısının aydınlatılması amacıyla da SEM tekniğinden yararlanılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında, hidrojellerin ve polimerik kompozitlerin yüzeye soğurum özelliklerinin araştırılması amacıyla katyonik özellikteki boyarmadde "lauths violet" model molekül olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların sonunda soğurumun temel ilkeleri ortaya koymak amacıyla adsorpsiyon kapasitesi, yüzde adsorpsiyon ve dağılma katsayısı gibi soğurum parametreleri hesaplanarak potasyum 3-sülfopropil metakrilat, bentonit ve sodyum aljinatın soğurumu nasıl etkiledikleri araştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Malzeme Bilimi

Malzemeler, mühendislik ürün ve sistemlerinin üretiminde kullanılan, mekanik, fiziksel ve kimyasal olarak istenilen özelliklere sahip katılardır. Malzemeler insanlık tarihinde her zaman önemli bir yol oynamış ve tarihsel dönemlerin adları, o dönemde geliştirilen ve kullanılan malzemelere atfen verilmiştir (Cıralı Taş Devri, Tunç Devri vs.). (Aran, 2008; Seçkin, 2015) Malzeme biliminin genel amacı, malzemelerin içyapısını tanıtmak, içyapılar ile özellikler arasında bağlantılar araştırmak, bu şekilde geliştirilen temel ilkeler ve kavramlar ışığında uygulamada kullanılan malzeme türlerini sınıflara ayırarak özelliklerini incelemektir (Aran, 2008; Seçkin, 2015).

2.1.1. Malzeme Türleri

Malzemelerin sınıflandırılması aşağıdaki biçimde yapılabilmektedir. (Aran, 2008; Seçkin, 2015)

- ❖ Metaller
- ❖ Seramikler
- ❖ Polimerler
- ❖ Kompozitler
- ❖ Yarı-iletkenler

Metaller: Mühendislikte kullanılan malzemelerin önemli bir kısmı metaller ve bu metallerin alaşımlarıdır.

Seramikler: Metal ve ametallerden oluşmaktadır.

Polimerler: Genellikle petrol türevi ürünlerden elde edilen malzemelerdir.

Kompozitler: İki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile bu malzemelerin üstün özelliklerini aynı malzemede toplayan ya da yepyeni bir özellik ortaya çıkaran malzemelerdir.

Yarı-iletkenler: Elektronikte kullanılan çok önemli malzemelerdir. Ne iyi bir iletken, ne de tam bir yalıtkandır (Aran, 2008; Seçkin, 2015).

2.2. Hibrit (Kompozit) Malzemeler

Makroskobik olarak birbirinden farklı iki ya da daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile üretilen malzemeler “hibrit (kompozit) malzemeler” olarak adlandırılırlar. Karbon elyafı plastikler, çelik donatılı beton elemanlar ve otomobil lastikleri kompozitlere örnek olarak verilebilir (Şahin, 2006; Seçkin, 2015).

Kompozit malzemelerin hazırlanmasında temel amaç, değişik maddelerin iyi özelliklerini sadece bir üründe birleştirmektir. Bir araya getirilmeleri ile oluşan kompozit malzeme, her ikisinden farklı özelliklere sahiptir. Kompozit malzeme üretimi ile yüksek dayanım, yüksek sertlik, mükemmel aşınma direnci, yüksek sıcaklık kapasitesi, iyi korozyon direnci, iyi termal ve ısı iletkenliği, hafif malzeme, ekonomik ve estetik görünüm gibi yeni özellikler sağlanabilmektedir. Yeni polimerik malzeme üretiminde kullanılan yapılar polimerler, çapraz bağlı polimerler, iç içe geçmiş ağ yapıları sistemler ve hidrojelldir (Sorenson vd., 2001; Saçak, 2010; Seçkin, 2015; Basan, 2015).

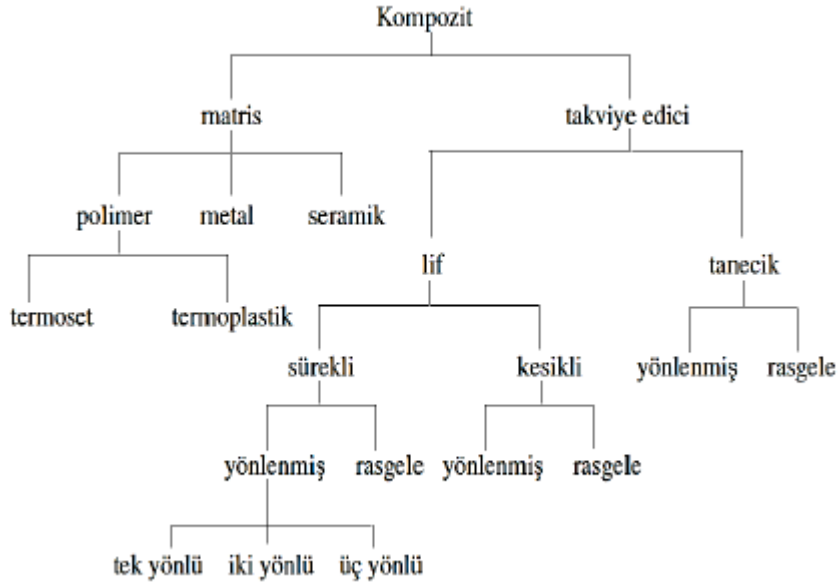
Kompozit malzemeler, “matriks” olarak adlandırılan malzemeye farklı güçlendirici maddelerin katılmasıyla hazırlanır. Üç temel elemanı vardır. Bunlar;

- ❖ **Matriks elemanı:** Takviye elemanını bir arada tutan, dış etkenlerden koruyan ve kompozit şeklini belirleyen yapıdır. Matriksler kullanım yerlerine göre seçilirler. Çeşitli polimerler matriks olarak kullanılır.
- ❖ **Takviye (destek) elemanı:** Kompozit malzemenin dayanıklılığında sorumlu, “Çekirdek” olarak da adlandırılan elemanıdır. Genellikle cam, karbon, kılcal kristal, polimer lif ve çeşitli toz seramikler kullanılır.
- ❖ **Katkı maddeleri:** Özelliklerin geliştirilmesi için matrikse farklı kimyasallar, dolgu maddeleri ve diğer katkı maddeleri eklenir.

2.2.1. Kompozit Malzemelerin Gruplandırılması

Kompozitler farklı yaklaşımlarla kendi içlerinde gruplandırılabilirler. Bunlardan en yaygını, takviye malzemesi ve matriks türüne göre yapılandır. Kompozitlerde

matriks malzeme olarak polimerler, metaller veya seramikler kullanılabilir.



Matriks türüne göre kompozitler; (Aran, 2008; Saçak, 2010; Seçkin, 2015)

- ❖ Polimerik kompozitler
- ❖ Metalik kompozitler
- ❖ Seramik kompozitler

şeklinde üçe ayrılırlar.

Polimerik kompozitler değişik alanlarda kullanılan metal parçaları, daha hafif ve dayanıklı başka maddelerle değiştirmek amacıyla geliştirilmişlerdir. Kompozitlerin, kullanım yerleri, fiyatı, işlenebilirlikleri ve spesifik dayanıklılıkları metallerden üstün oldukları noktalardır (Botelho vd., 2006; Şahin, 2006; Saçak, 2010; Seçkin, 2015).

Takviye edici açısından kompozitlerin gruplandırılması ise, takviye edicinin geometrik şekline bakılarak yapılır. Bu yaklaşımla kompozitler; aşağıdaki gibi iki gruba ayrılırlar.

❖ Tanecik takviyeli kompozitler

❖ Lif takviyeli kompozitler

Tanecik Takviyeli Kompozitler: Tanecikli takviye malzemesi ve polimerden hazırlanmış kompozite, tanecik takviyeli polimerik kompozit adı verilir. Karbonatlar, kil, mika, silikatlar, mikroküreler, tarımsal atıklar, metal tozları veya parçaları ve pudra kullanılan tanecikli malzemeler arasındadır. Tanecikli takviye ediciler ucuzdurlar, kompozitlerinin yapımı kolaydır ve karmaşık geometrili ürünlerde sorun yaratmazlar.

Lif Takviyeli Kompozitler: Lifler, makroskobik açıdan homojen, boyu kesitinin en az 100 katı olan esnek malzemeler şeklinde yapılırlar. Değişik cam lifleri, karbon lifi, aramit lifi gibi değişik kökenli lifler kompozitlerde takviye amacı ile kullanılır. Bu tür polimer ve liften hazırlanmış kompozite, lif takviyeli polimerik kompozit adı verilir.

Polimerik kompozitler uzay araçlarındaki metal parçaları, daha hafif ve dayanıklı başka maddelerle değiştirmek amacıyla geliştirilmişlerdir. Kompozitlerin, kullanım yerleri, fiyatı, işlenebilirlikleri ve spesifik dayanıklılıkları metallere üstün oldukları noktalardır (Botelho vd., 2006; Şahin, 2006; Saçak, 2010; Seçkin, 2015).

Kompozit malzemeler, yüksek direnç, tasarım esnekliği, elektriksel özellikler, korozyona dayanım, kalıplama kolaylığı, şeffaflık, ahşap, beton ve demir yüzeylere uygulanabilme, yanmazlık, içerisine farklı malzemeler yerleştirebilme, tamir edilebilirlik ve işlenebilirlik gibi avantajlar sağlar (Şahin, 2006; Saçak, 2010; Seçkin, 2015).

2.2.2. Polimer Kompozitler

Korozyona dirençli, uzun süreli kullanımlara yatkın, işlenmeleri kolay, hafif, karmaşık geometrilerde biçimlendirilebilen, birim kütle başına yük taşıma özellikleri yüksek malzemelerdir. Bu üstün özelliklerinden dolayı çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar.

Polimer ve polimer kompozitlerin başlıca hedefleri en az çelik kadar sağlam, olabildiğince hafif, yüksek kullanım sıcaklıklarına dayanıklı ve ekonomik

malzeme üretimidir. Çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılan polimerik kompozitler, hafiflik ve mekanik dayanım gibi özellikler ile birlikte, insan dokusu/sıvı ile uyum sağlayabilen ve sertlik derecesi ayarlanabilen yapay doku ve organlar gibi uygulamalarda da kullanılmaktadır (Şahin, 2006; Saçak, 2010; Seçkin, 2015).

2.2.3. Polimer Kompozitlerin Kullanım Alanları

Polimer kompozitler; korozyona dirençli, işlenmeleri kolay, hafif malzemelerdir. Uzun süreli kullanımlara yatkındırlar, karmaşık geometrilerde biçimlendirilebilirler ve birim kütle başına yük taşıma özellikleri yüksektir. Bu özellikleri sebebiyle birçok alanda kullanılırlar (Kaşgöz vd., 2008; Kundakçı vd., 2008; Wang vd., 2011; Zhang vd., 2012; An vd., 2012; Ajbary vd., 2013; Maqueda vd., 2013; Kundakçı ve Karadağ vd., 2014; Karadağ ve Kundakçı, 2015; Seçkin, 2015).

Polimer kompozitler yaygın olarak uçak, roket, füze gövdeleri, kalitesi yüksek spor malzemeleri, yapay kemik gibi maliyetinin önemli olmadığı alanların yanında lastik, otomotiv, ilaç, elektronik, çevre, biyomühendislik, biyoteknoloji gibi alanlarda kullanılmaktadırlar (Ulusoy vd., 2005; Wang vd., 2011; Maqueda vd., 2013; Rashidzadeh vd., 2014; Seçkin, 2015).

2.2.4. Polimer/Kil Kompozitler

Genellikle toz halde kil ve silikajel gibi soğurucuların uygulamalardaki zorlukları ve kullanımdaki güçlükleri gidermek için, bunların destek bir yapıya bağlanarak kullanılması uygulamadaki kolaylığı arttırmıştır. Bu anlamda bazı polimerlerin, kil veya silikajelden oluşan kompoziti hazırlanarak kullanım için uygun ve yüksek soğurum yeteneğine sahip polimer kompozitler elde edilebilir. Farklı maddeleri soğurabilmek için yüksek yeteneğe sahip farklı kil mineralleriyle hidrojenlerin esneklik, geçirgenlik gibi özellikleri birleştirilerek oluşturulan polimer kompozit sistemler ile yapılan fazla sayıda çalışma mevcuttur. Bentonit, sepiyolit, montmorillonit, kaolin, illit gibi kil mineralleri poliakrilamid, poli(N-izopropilakrilamid), poli(akrilik asit), polianilin, polistiren gibi polimerler bu çalışmalarda oldukça sık kullanılmışlardır (Ulusoy vd., 2005, 2009; Kaşgöz vd., 2008; Kundakçı vd., 2008; Wang vd., 2011; Zhang vd., 2012; An vd., 2012;

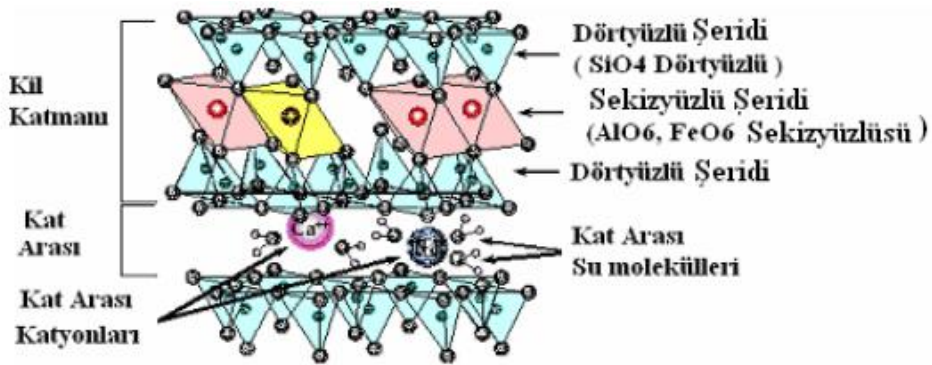
Mahdavinia vd., 2013; Kumar vd., 2013; Rashidzadeh vd., 2014; Karadağ vd., 2014; Karadağ ve Kundakçı, 2015; Seçkin, 2015).

2.2.5. Bentonit

BENT, montmorillonit smektit olarak adlandırılan şerit silikatlar ailesinin bir türüdür. BENT'in en önemli özelliği su/sıvı soğurumudur. BENT ince tanelidir ve gözenekli bir yapıya sahiptir. BENT, (yoğunluğu 2,2-2,7 g cm⁻³) su soğurunca yüksek biçimlenme özelliğine (plastisiteye) sahip olan doğal bir kildir. BENT'in yapıştırıcı özelliği vardır. BENT ateşe ve ısıya dayanıklıdır, iyon değiştirme özelliğine sahiptir. (Kayır, 2007)

BENT'in kimyasal formülü, (Na-Ca) (Al-Mg)₆ (Si₄O₁₀)₃ (OH)₆.nH₂O'dur. BENT'in, kristal yapısı, şerit şeklinde ve üç katlıdır. Bu katlar, dizilmiş sekizyüzlü ve dörtyüzlüden oluşmuştur. Dörtyüzlünün merkezinde silisyum, sekizyüzlünün merkezinde ise Al, Mg, Na, Ca, Fe, Li vb. gibi katyonlar bulunur. (Kayır, 2007;)

BENT, kristalize olmuş kil mineralleri arasında yaygın ve önemli bir yere sahip olan bir kil mineralidir (Şekil 2.1). Kaygan görümlü, ince taneli, toprağımsı bir yapıya sahiptir (Kayır, 2007).



Şekil 2.1. Bentonit kristalinin şematik görünüşü (Kayır, 2007)

En önemli özelliklerinden biri su soğurumuyla jelimsi bir kitle meydana getirmesidir. %1-2 ölçüsünde BENT, su içine konularak kuvvetli şekilde çalkalanırsa, dibe çökmeden suda askıda kalır. BENT'in kıvamlılık (tikсотropi) özelliği, su ile temasa geçtiğinde jel, çalkalandığında sıvı hale gelebilme özelliğidir. Çok değişik renklerde gözlenebilen BENT'in iyon (katyon) değiştirme

kapasitesi oldukça yüksektir. Süspansiyon halindeki kolloid BENT taneleri negatif yüklüdür. (Kayır, 2007)

2.2.5.1. Bentonit Çeşitleri

BENT çeşitleri; aşağıdaki gibi gruplandırılabilir. (Kayır, 2007)

Kalsiyum-Bentonit (Ca-Bentonit), aktive edilmiş Bentonit, Doğal Sodyum Bentonit (Na-Bentonit), Organik Bentonit, Asitle Aktive edilmiş Bentonit.

Kalsiyum-Bentonit (Ca-Bentonit): Orta katında çoğunlukla kalsiyum (Ca^{2+}) veya Magnezyum (Mg^{2+}) yer alan bentonitlere verilen addır. (Kayır, 2007)

Aktive Edilmiş Bentonit: Kalsiyum bentonitlerin alkali aktivasyonu ile sodyum bentonite dönüştürülmesiyle oluşan bentonite verilen addır. Kısacası soda külü katkısıyla orta kattaki Ca^{2+} -iyonları Na^+ iyonlarıyla yer değiştiren bentonittir. (Kayır, 2007)

Doğal Sodyum Bentonit (Na-Bentonit): Orta katında ağırlıklı olarak Na^+ iyonları bulunan ayrıca değişen yoğunluklarda Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları da içerebilen bentonitlerdir. (Kayır, 2007)

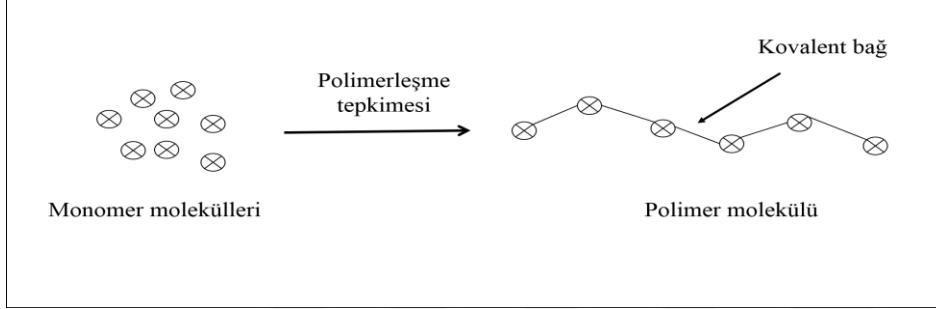
Organik Bentonit: Orta kattaki katyonları, örneğin alkil amonyum gibi polar organik moleküllerle yer değiştirmiş bentonitlerdir. Bu bentonitler su sevmezler, organik çözücülerle su soğururlar. (Kayır, 2007)

Asitle Aktive Edilmiş Bentonit: Yapısı asitlerle etkileştirilerek; aktivasyon derecesine göre orijinal Ca^{2+} ve Mg^{2+} ve Na^+ katyonlarının çoğu alınmış, kafesteki alüminyum, demir, magnezyum ve silisyum kısmen arıtılmış bentonitlerdir. Bu bentonitlerin bir gramı 200 m^2 gibi geniş yüzey alanına ve mikro gözeneklere sahiptir (Kayır, 2007).

2.3. Polimerler

Monomerler, birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak büyük moleküller oluşturabilen küçük mol kütleli kimyasal maddelerdir. Polimerler ise, çok sayıda monomerin kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu iri moleküllü

kimyasallardır. Monomer molekülleri Şekil 2.2’de basitçe gösterilen polimerleşme tepkimeleriyle birbirlerine bağlanırlar ve polimer molekülüne dönüşürler (Sperling, 2006; Gooch, 2007; Patrickios, 2010; Saçak, 2010, Seçkin, 2015).



Şekil 2.2. Monomer moleküllerinin polimerizasyon tepkimeleri ile birbirlerine bağlanarak iri polimer moleküllerini oluşturması

Doğrusal polimerler: Ana zincirleri üzerinde yalnız yan grupların bulunduğu polimerlerdir. Bu polimerlerin ana zincirleri kovalent bağlarla başka zincirlere de bağlı değildir. Doğrusal polimerler uygun çözücülerde çözünürler, defalarca eritilip yeniden şekillendirilebilirler.

Dallanmış polimerler: Polimer ana zincirlerine kendi kimyasal yapılarına özdeş dal görüntüsünde başka zincirlerin kovalent bağlarla bağlanması ile oluşmuş polimerlerdir. Yan dalların boyları birbirinden farklı olabileceği gibi, üzerlerinde başka dallarda bulunabilir. Doğrusal polimerler gibi uygun çözücülerde çözünürler.

Çapraz bağlı polimerler: Farklı polimer zincirlerinin değişik uzunluktaki zincir parçaları ile birbirlerine kovalent bağlarla bağlanması ile oluşan polimerlerdir. Bu tip polimerlerde çapraz bağ sayısının fazla olması ağ yapılı polimer yapısına yol açar. Çapraz bağlı polimerler çözünmezler, ancak uygun çözücülerde şişebilirler. Çapraz bağ yoğunluğu arttıkça polimerin çözücüdeki şişme derecesi azalır.

Polimer zincirleri belirli bir hareketliliğe sahiptir. Polimer zincirleri arasında oluşan zayıf Van der Waals bağları dışında, eğer polimer zincirinde bir polar grup (PVC’deki klor gibi) bulunursa daha kuvvetli bağların oluşumu söz konusudur ve zincirler birbirinden bağımsız olarak hareket edemez. Polimer zincirlerinin çok

uzun ve bükümlü olması zincirlerin birbirine dolaşmış olmasına neden olabilir. Polimer zincirleri adeta birbirine dolaşmış ipliklerden oluşan bir yumağı andırır.

Kopolimerin hazırlanmasında A ve B gibi iki farklı monomer kullanıldığında elde edilecek polimerin ana zincirinde, genel olarak aşağıda verilen üç düzenlenme beklenir:

a) Rastgele kopolimer: A ve B gibi iki ayrı tekrar ünitesinin molekülleri rastgele dizilmiştir.

-A-B-B-A-A-A-B-A-B-B-B-B

b) Ardışık kopolimer: A ve B tekrar ünitelerinin molekülleri dönüşümlü olarak sıralanmıştır.

-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A

c) Blok kopolimer: A ve B tekrar ünitelerinin molekülleri blok halinde birbirine bağlı olup, bir zincire öteki monomerin zinciri bağlanmıştır.

-A-A-A-A-B-B-B-B-A-A-A-A

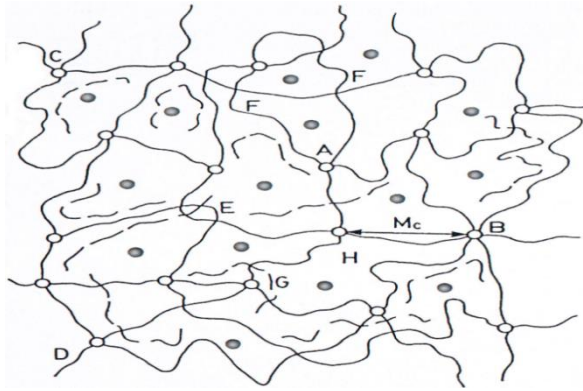
Bazı polimer moleküllerinin, geleneksel kimyasal maddelerin moleküllerinden çok büyük olabileceğine yönelik ilk görüş 1920’de Staudinger tarafından ortaya atılmıştır. Bu öneri 10 yıl sonra kabul edilmiş ve “polimer” kelimesi bilimsel alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Polimer kimyasındaki gelişmelere bağlı olarak farklı yapı ve özelliklerde polimerler sentezlenmiş ve bu polimerlerden yapılan ürünler hızla metal ve seramik türü malzemelerin yerini almıştır. Polimerlerden yapılmış farklı özelliklere sahip ürünler değişik alanlarda kullanılırlar (Saçak, 2010; Seçkin, 2015; Basan, 2015).

Polimerler insan yaşamını önemli ölçüde kolaylaştırırlar. Modern dünyanın vazgeçilmezleri haline gelen polimerlerin, insanların yaşamlarını kolaylaştırıcı etkileri günümüzde de hızla sürmektedir. Örneğin, optik özellikleri camdan iyi olan poli(metil metakrilat)’tan yeterli ışık geçirgenliğine sahip 33 cm kalınlığına kadar levhalar hazırlanabilmektedir (Sperling, 2006; Gooch, 2007; Saçak, 2010; Seçkin, 2015; Basan, 2015).

2.4. Hidrojeller

Hidrojeller, su içerisinde çözünmeden şişebilme özelliğine sahip, çapraz bağlı, üç boyutlu ağ yapılı polimerlerdir. Su içeriği kendi kütlelerinden %100 daha fazla olan hidrojellere “süper soğurucu” denir. Bir polimerin hidrojel olabilmesi için ana zincirde ya da yan dallarda hidroksil, karboksil, karbonil, amin ve amid gibi hidrojen bağı oluşturabilen su sever grupların bulunması gerekir. Bu gruplar nedeniyle bağlı duruma geçen su, çapraz bağlı polimerde hacim ve kütle artışıyla şişmeye neden olur. Çapraz bağlı polimerdeki su sever grupların sayısının fazla olması daha çok şişmeye sebep olur (Kopecek vd., 2007; Üzümlü, 2008; Ganji vd., 2010; Liu ve Urban, 2010; Laftah vd., 2011).

Hidrojellerin üç boyutlu yapısı kimyasal bağlar ya da iyonik etkileşim, hidrojen bağı, Van der Waals kuvvetleri, hidrofobik etkileşimler gibi kohezyon kuvvetleri aracılığıyla gerçekleşir. Hidrofobik etkileşimler, fiziksel çapraz bağ benzerinde etkileşimler olduğu için jellerin şişme davranışını doğrudan etkiler. Hidrojeller yapılarında çok fazla su bulundurmaları, yumuşak ve esnek yapıları gibi taşıdıkları birçok fiziksel özellik açısından canlı dokularla karşılaştırıldıklarında, büyük bir benzerlik göstermektedir. Bir hidrojelin çapraz bağlı yapısı Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Çapraz bağlı hidrojelin yapısı. A; Dört fonksiyonlu, B; Çok fonksiyonlu çapraz bağları göstermektedir. C ve D; Zincir uçlarıdır. E; Dolaşmış ve birbirine karışmış zincirleri göstermektedir. F; İki zincir takılmasını göstermektedir. G; Çapraz bağlanmamış küçük zincirleri gösterir. M_c ; İki çapraz bağ merkezi arasındaki zincirin molekül kütleleridir. H; difüzyon için uygun olan çapraz bağlar arasındaki boşluk. •; Çapraz bağlar arasındaki boşluklara difüzyon için uygun olan çapraz bağlar arasındaki boşluk.

2.4.1. Hidrojellerin Sınıflandırılması

Hidrojeller, hazırlanma yöntemlerine, fiziksel yapılarına, iyonik yüklerine ve çapraz bağlanma durumuna göre sınıflandırılabilirler (Hasgöl, 2013).

İçerdikleri yan gruplara göre;

İyonik hidrojeller (anyonik, katyonik, poliamfolitik)

İyonik olmayan hidrojeller (nötral)

Çapraz bağlanmalarına göre;

Fiziksel hidrojeller

Kimyasal hidrojeller

Hazırlanma yöntemlerine göre;

Kopolimer hidrojeller

Homopolimer hidrojeller

Çoklu polimer hidrojeller

2.4.2. Hidrojellerin Kullanım Alanları

Son yıllarda hem bilimsel hem de teknolojik açıdan hidrojellerin önemi gittikçe artmakta ve geniş kullanım alanına yayılmaktadır. Hidrojeller, çok iyi su tutabilme, su ve sulu ortamda şişebilme yeteneklerinden dolayı aşağıdaki alanlarda kullanılır (Ganji vd., 2010; Liu ve Urban, 2010; Patrickios, 2010; Hofmann, 2012; Wang vd., 2013a, Seçkin, 2015).

- ❖ Biyoteknoloji
- ❖ Biyomühendislik
- ❖ Biyomedikal bilimler
- ❖ Eczacılık

- ❖ Tarım
- ❖ Veterinerlik
- ❖ Yiyecek endüstrisi
- ❖ Telekomünikasyon

2.4.3. İyonik Hidrojeller

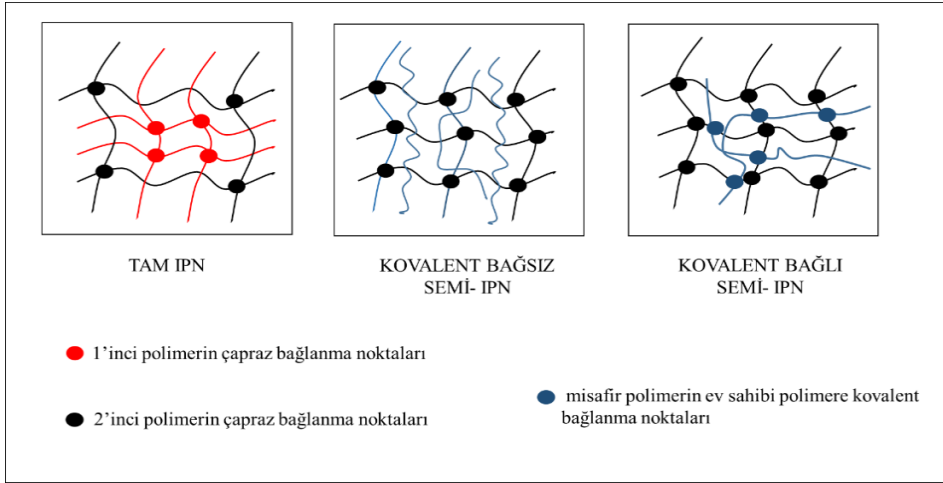
İyonik hidrojel, polielektrolit olarak da bilinirler ve iyonik yüklü monomerlerden hazırlanırlar. Bu hidrojel monomer yükünün pozitif ya da negatif olmasına göre katyonik ve anyonik hidrojel olarak adlandırılırlar. Ayrıca pozitif ve negatif yüklerin ikisinin de bulunduğu hidrojel de poliamfolitik hidrojel olarak adlandırılır. İyonik hidrojellerin ana zincirinde yüklü grupların bulunması uyarılara duyarlılıklarını artırır. Bu iyonik ağ yapılar asidik ve bazik gruplar içerirler. Uygun 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 su/sıvı soğurum dereceleri artar (Asıl, 2006; Gnanou ve Fontanille, 2008).

2.4.4. İç İç Geçmiş Polimerik Ağ Yapılı Hidrojeller

“İç içe geçmiş ağ yapı polimerler” (Interpenetrating Polymer Network, IPN) kendisini oluşturan polimerlerden birisinin veya tümünün çapraz bağlı olduğu, üç boyutlu ağ yapılarıdır. IPN’i oluşturan her bir ağ yapı aynı anda ya da sonradan oluşturulabilir. IPN’i oluşturan iki polimerik örgünün birbirleriyle uyumlu olması IPN oluşumunu artırır. Faz oluşumunu engeller. IPN’i oluşturan polimerler arasında kimyasal bağ bulunmadığı için her iki bileşen de kendi özelliklerini korur ve aranan şartlara sahip bir yapı oluşturabilir.

IPN’deki yapılar kimyasal olarak da birbirlerine bağlanabilirler. IPN’lerden hazırlanan materyaller içerdikleri polimerik ağ yapıların özelliklerini gösterirler. IPN’i oluşturan polimerlerden bir tanesi düz zincirli yapıda bulunursa bu tür yapılar semi-IPN olarak adlandırılırlar. Semi-IPN tipi hidrojelde polimerlerden biri çapraz bağ içerirken diğeri içermez. Bu tür polimerlerde misafir polimer zincirleri, ev sahibi ağ yapının içinde kovalent bağlı veya kovalent bağırsız olarak yer alabilirler (Mishra vd., 2007; Bhattacharya vd., 2012; Dragan ve Loghin, 2013;

Dragan, 2014; Karadağ vd., 2014; Kundakcı ve Karadağ, 2014; Karadağ ve Kundakcı, 2015).



Şekil 2.4. IPN tipi hidrojel türleri (Hasgül, 2013)

2.4.4.1. IPN'lerin Sınıflandırılması

IPN'ler sentez yöntemine göre iki alt gruba ayrılmıştır.

- Ardışık iç içe geçmiş ağ yapılı polimerler
- Eş zamanlı iç içe geçmiş ağ yapılı polimerler (SIN)

İç içe geçmiş ağ yapılı polimerler yapılarına göre;

- Semi-IPN (yarı-IPN)
- Tam IPN
- Termoplastik IPN
- Lateks IPN
- Gradient IPN

olarak sınıflandırılmaktadır (Bischoff ve Cray, 1999; Bajpai vd., 2008; Karadağ vd., 2009; Kundakcı vd., 2011; Üzümlü ve Karadağ, 2011; Liu vd., 2014; Bajpai vd., 2013).

Semi-IPN: Yalnızca bileşenlerden birisinin çapraz bağlı olduğu yapılardır ve her iki yöntemle de sentezlenebilirler.

Tam IPN: Tüm bileşenler ağ yapıdadır.

Termoplastik IPN: Fiziksel çapraz bağların kimyasal çapraz bağlardan daha çok olduğu IPN türleridir.

Lateks IPN: Çekirdek-kabuk yapısını gösteren lateks parçacıkları şeklinde elde edilen yapılardır.

Gradient IPN: Çapraz bağ yoğunluğunun ya da bileşiminin, bir bölgeden diğerine geçildiğinde sırasıyla her bir bileşenin özelliğini gösterdiği yapılar olarak tanımlanmaktadır.

İç içe geçmiş ağ yapılar, polimerik kompozit malzemelerin özel bir sınıfıdır. Doğal ve yapay polimerlerin birlikte kullanılması ile istenilen özelliğe sahip IPN yapılar oluşturulabilir. Doğal ve yapay polimerler kullanılarak elde edilmiş IPN'ler, yapay bileşenin mekanik özelliği ile doğal bileşenin biyolojik özelliğinin birleştirilmesi ile elde edilen yapılardır (Lopes ve Felisberti, 2003; Peng vd., 2008; Bajpai vd., 2008; Yang vd., 2008; Carvalho vd., 2009; Moraes vd., 2009; Rahman vd., 2010; Kundakcı vd., 2011; Hoffman, 2012).

2.4.5. Semi-IPN Oluşumunda Kullanılan Polimerler

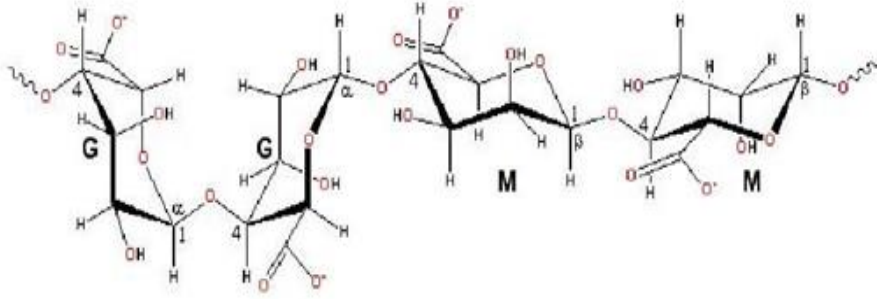
IPN'lerin üretiminde sodyum aljinat, ksantan gam, jelatin, karragenan, karboksimetil selüloz, kitin, kitosan gibi doğal polimerlerin yanında poli(vinil alkol), poli(etilen glikol), poliakrilamid, poli(N-izopropil alkol) gibi yapay polimerler de kullanılmaktadır. Kullanım amacı ve yerine göre bu polimerlerin bir araya getirilmesi ile farklı özelliklere sahip IPN yapılar oluşturulabilir (Shukla ve Srivastava, 1995; Zhao vd., 2006; Wang vd., 2011; Bhattacharya vd., 2012; Bardajee ve Hooshyar, 2013; Dragan, 2014; Kundakcı ve Karadağ, 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

2.4.6. Polisakkaritler

Polisakkaritler, monosakkaritlerin bir araya gelmesi ile oluşan doğal polimerlerdir. Yapılarında saf monosakkaritler bulunacağı gibi, monosakkaritlerin oksidasyon ürünleri ve diğer bazı kimyasal gruplar da bulunabilir. Bunlar tatlı maddeler değildir. Çoğunlukla beyaz şekilsiz toz halinde olurlar. Saf halde iken indirgeme, aldehid veya keton özelliği göstermezler. Mol kütleleri genellikle yüksektir ve $1,0 \times 10^4$ ile $4,0 \times 10^6$ arasında değişebilir. Şekilleri düz zincir, dallanmış veya halka şeklinde olabilirler. Bilinen monosakkarit sınıflarının sonuna “an” eki getirilerek adlandırılırlar (Pentozan veya pentan, heksozan veya heksan, araban, glukon, mannan, galaktan gibi). Eğer tek tür monosakkaritten meydana gelirse, “Homopolisakkaritler” denilir. İçlerinde diğer gruplar da bulunursa (Uronik asitler gibi) “Heteropolisakkarit” adını alırlar (Bingöl, 1976).

Doğal polimerler olan polisakkaritler, biyoyumluluk, biyobozunurluk, toksik olmama ve çevresel koşullara daha kolay uyum sağlama özelliklerinden dolayı IPN oluşumunda oldukça fazla kullanılan yapılar olmuşlardır. Son yıllarda çoğu araştırmacı, aljinat, ksantan gam, jelatin, karragenan, nişasta, kitin, kitosan, karboksimetil selüloz, dekstran gibi doğal polimerler üzerinde çalışmalar yapmaya odaklanmıştır (Zhao vd., 2006; Wang vd., 2011; Bhattacharya vd., 2012; Nalbantoğlu, 2012; Bardajee ve Hooshyar, 2013; Hasgül, 2013; Dragan, 2014; Kundakcı ve Karadağ, 2014; Karadağ ve Kundakcı, 2015; Peng vd., 2014; hu vd., 2015; Wu vd., 2010).

Birçok alanda yaygın olarak kullanılan sodyum aljinat (SAL), *Laminaria*, *Macrocystis* isimli bir deniz yosununun hücre duvarından elde edilen temel olarak selülozda olduğu gibi 1,4-β-D-glukoz birimlerinin bulunduğu bir polimer iskeletinden oluşmaktadır. Hem sıcak hem de soğuk su/sıvıda çözülmesi, düşük polisakkarit derişimlerinde bile çözeltilere yüksek viskozitesi vermesi, geniş sıcaklık aralıklarında sodyum aljinat tarafından oluşturulan çözeltilerin viskozitesinde minimum değişim görülmesi, hem asidik hem de alkali çözeltilerde çözünmesi ve kararlı olması gibi özellikleri nedeniyle pek çok alanda kullanılan bir polisakkarittir (Hu vd., 2015; Bhattacharyya vd., 2014; Rashidzadeh vd., 2014; Yong Lee vd., 2011; Wu vd., 2010).



Şekil 2.5. Sodyum aljinatın molekül yapısı (Hu vd., 2015;)

SAL; değişik ilaçlarda, sargı bezlerinde, ilaçları kapsüllemeye ve dişçilikte, tekstil endüstrisinde reaktif boya baskısında kullanılır. Reaktif boyar maddelerde koyu kıvamı sağlamak için kullanılan SAL, boyar maddelerle tepkimeye girmez ve nişasta bazlı koyulaştırıcılardan farklı olarak, yıkamayla kolaylıkla ürünlerden uzaklaştırılabilir. Yüksek viskozite, düşük katı madde yapısındaki SAL içeren boyar maddeler pamuk için, düşük viskozite, yüksek katı madde yapıdakiler ise ipek için kullanılır. Kağıt üretiminde sertlik vermek amacıyla SAL ilaveleri, inşaatlarda kullanılan çimento, alçı ve harcın plastikliğini arttırmakta işe yarar. Plastik tutkallarda, duvar kağıdı tutkallarında, cam macunlarına, pilin katmanları arasında izolasyonu sağlamada, yapay tahta üretiminde SAL kullanılır (Hu vd., 2015; Bhattacharyya-Ray vd., 2014).

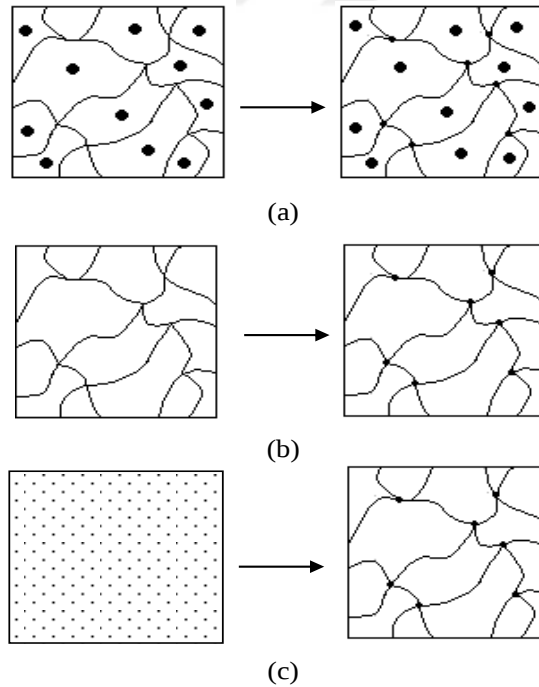
SAL; dondurma, yoğurt, krema ve peynir üretiminde pürüzsüz ürün elde etmek için, sütlü içecekler ve bitkisel içeceklerde süspansiyon oluşturucu ve kıvamlaştırıcı olarak kullanılır. SAL ayrıca C vitamini parçalanmasını ve yağ oksidasyonunu önlediği için tercih edilmektedir. Ayrıca köpüklü içeceklerde (bira, köpüklü kahveler gibi) köpük oluşturucu, reçel, puding, domates suyu ve konserve ürünler için emülgatör ve koyulaştırıcı, pastacılıkta (dolgu ve kaplamada), meyveli ürünlerde jöle ve diğer jellerin hazırlanmasında, erişte, ekmek, şehriye, pastacılık ve donmuş gıdalar için su tutmalarını sağlamak amacıyla, donmuş gıdalar, et, balık ve diğer benzeri ürünlerin kaplanması, film oluşturucu madde olarak kullanılmaktadır. Karides gibi denizcilik ürünlerinin soğukta depolanması sırasında yenilebilir film olarak aljinat türevleri ile kaplanması, karideslerin olan raf ömrünü iki kat arttırmak için de SAL kullanılır (Hu vd., 2015; Bhattacharyya - Ray vd., 2014).

2.5. Hidrojel Sentezi

Şişmiş ve hidrofilik gruplar içeren ağ yapılı polimerlerin sentezinde aşağıdaki teknikler izlenebilir (Karadağ vd., 2010, 2014; Üzüm ve Karadağ, 2010, 2011; Kundakçı vd., 2012; Hoffman, 2012; Cui vd., 2014; Peng vd., 2014; Kundakçı ve Karadağ, 2014; Karadağ ve Kundakçı, 2015).

- ❖ Çözelti veya katı haldeki kopolimer ya da homopolimerin çapraz bağlanması ve sonradan su/sıvı veya uygun bir biyolojik sıvı veya çözücünde şişmeye bırakılması.
- ❖ Bir veya daha çok, tek fonksiyonlu veya çok fonksiyonlu monomerlerin birlikte kopolimerleşme ve çapraz bağlanmasının sonrasında uygun bir ortamda şişmeye bırakılması.

Anlatılan bu durumları daha iyi açıklamak için Şekil 2.6 düzenlenmiştir.



Şekil 2.6. Çapraz bağlı polimerlerin sentezinde görülebilecek üç durumun şematik gösterimi (Üzüm, 2008)

- a) Çözelti halindeki bir polimerin çapraz bağlanması.
- b) Katı bir polimerin çapraz bağlanması.
- c) İki monomerin birlikte kopolimerleşmesi ve aynı zamanda da çapraz bağlanması (Monomerlerden birisi çapraz bağlayıcı olarak davranabilmektedir).

2.6. Hidrojellerde Su/Sıvı Soğurumu ve Difüzyon

Su/sıvı soğurumu, küçük moleküllü bir sıvının, polimer yapısında değişme ile birlikte polimer tarafından soğurulmasıdır. Yapısal boşluklara girerken çözücü molekülleri, polimerlerin süper moleküler yapılarının aralarını zorla açar. Buna yapılar arası su/sıvı soğurumu ya da şişme denir. Eğer yapıların içine girerlerse, makromoleküller zorla açılır. Buna da yapı içi su/sıvı soğurumu denir. Çözücü miktarı artarken, polimer yapısı yavaş yavaş birbirinden ayrılır ve çözeltide, içinde çözücü bulunan oynak bir polimerik ağ yapı meydana gelir (Basan, 2015; Altay, 2010; Üzüm ve Karadağ, 2010, 2011; Kundakcı vd., 2008, 2009, 2012; Nalbantoğlu, 2012; Hasgöl, 2013; Karadağ vd., 2014; Kundakcı ve Karadağ, 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

Su/sıvı soğurumu, polimer molekülleri çok büyük olduğu için tek 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. Burada derişik bir çözelti tabakası ile seyreltik bir çözelti tabakası bir arada bulunur. Biraz zaman geçtikten sonra, bu iki tabakanın derişimleri eşit olur ve tek fazlı homojen bir sisteme dönüşür (Altay, 2010; Üzüm ve Karadağ, 2010, 2011; Kundakcı vd., 2008, 2009, 2012; Nalbantoğlu, 2012; Hasgöl, 2013; Basan, 2015).

Su/sıvı soğurumları sınırlı veya sınırsız olabilir. Sınırlı su/sıvı soğurumu, küçük moleküllü sıvılar ve polimerlerin etkileşmesidir. Sıvıların polimer tarafından tutulma aşaması sınırlandığı zaman, polimerin kendiliğinden çözünmesi mümkün değildir, yani polimer zincirleri birbirlerinden tam olarak ayrılmazlar. Eğer polimer kimyasal bağlardan meydana gelen bir ağ yapıya sahipse, polimerin ısısal bozunma sıcaklığının altındaki herhangi bir sıcaklıkta zincirler birbirlerinden ayrılamaz.

Bu nedenle, çapraz bağlı polimerler doğal olarak çözünmezler, ancak jel oluşturarak su/sıvı soğurabilir (Altay, 2010; Üzüm ve Karadağ, 2010, 2011; Kundakcı vd., 2008, 2009, 2012; Nalbantoğlu, 2012; Hasgöl, 2013; Karadağ vd., 2014; Kundakcı ve Karadağ, 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

Sınırsız su/sıvı soğurum kendiliğinden çözeltiye dönüşen şişmedir. Bir polimerin çözünmesinde, karışan bileşen moleküllerinin büyüklük bakımından binlerce kez farklı olmalıdır ve bu nedenle farklı hareketliliğe sahip olmalıdır. Küçük molekülü sıvının hareketliliği çok yüksek ve makro moleküllerinin hareketliliği ise çok azdır. Bu yüzden büyük moleküller çözücü fazına geçmek için fazla zamana sahip değildir. Bir polimer çözünmeden önce çok miktarda sıvıyı absorblar, yani su/sıvı soğururlar (Altay, 2010; Üzüm ve Karadağ, 2010, 2011; Kundakcı vd., 2008, 2009, 2012; Nalbantoğlu, 2012; Hasgöl, 2013; Karadağ vd., 2014; Kundakcı ve Karadağ, 2014; Karadağ ve Kundakcı, 2015).

2.7. Hidrojellerde Karakterizasyon

Çapraz bağlı polimerlerin karakterizasyonu için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan en temel olanları ısısal, spektroskopik, yapısal özellikler ve su/sıvı soğurum özelliklerinin araştırılmasına yönelik yöntemlerdir (Nalbantoğlu, 2012; Hasgöl, 2013).

2.7.1. Spektroskopik Karakterizasyon

Polimerik yapıların aydınlatılmasında en çok kullanılan spektroskopik yöntem İnfrared (Kızılötesi) (IR) spektroskopisidir. IR spektroskopisi ile polimerlerin nitel ve nicel analizleri yapılmaktadır. Günümüzde bilgisayar bağlantılı, *Fourier Transform Infrared Spektrofotometreleri* (Fourier Geçirmeli Kızılötesi) (FT-IR) ve Attenuated Total Reflectance (Azalan tam yansımaya spektroskopisi) (ATR) ünitesi olan FT-IR/ATR ile daha duyarlı analizler yapılmaktadır.

Dalga boyu ayırıcısı yerine bir interferometrenin kullanıldığı bu teknikte, tüm dalga boylarında yayılan ışınımın bilgisayar yardımıyla her dalga boyunda ayrı ayrı çözümlenerek soğurumlar toplanmaktadır.

Böylece düşük derişimlerdeki örneklerle çalışılabilmekte ve en zayıf soğurum değerleri bile büyük duyarlıkla ölçülebilmektedir (Skoog ve Leary, 1992; Hasgöl,

2013; Cui vd., 2014; Gupta vd., 2014; Liu vd., 2014; Karadağ vd., 2014; Kundakcı ve Karadağ, 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

2.7.2. SEM Analizi

Üretimleri gerçekleştiren polimerik sistemlerin yüzey özelliklerinin incelenmesi, polimerlerin karakterizasyonu için oldukça önemlidir. Polimerik örneklerin yüzey özelliklerini ve gözenekliliği hakkında bilgi edinebilmek amacıyla sık kullanılan yöntemlerden biri taramalı elektron mikroskopi (*Scanning Electron Microscopy*, SEM) yöntemidir (Bhattacharya vd., 2012; Bueno vd., 2013; Dragan, 2014; Singh ve Bala, 2014; Cui vd., 2014; Gupta vd., 2014; Liu vd., 2014; Karadağ vd., 2014; Kundakcı ve Karadağ, 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

2.7.3. Su/Sıvı Soğurum Karakterizasyonu

Çapraz bağlı ağ yapılı polimerler ve kopolimerler uygun çözücü ortamına konulduklarında, çözücü yapıya girer ve su ya da sıvı soğurumu başlar. Belirli bir süre sonunda çözücünün jele girme hızı, jelden salım hızına eşit olur ve dengeye ulaşılır. Su/sıvı soğurum davranışı gösteren ağ yapılı polimer ve kopolimerlerin karakterizasyonunda su/sıvı soğurum kinetiğinin incelenmesi önemlidir. Bu nedenle öncelikle su/sıvı soğurum eğrileri oluşturulmalıdır. Su/sıvı soğurum eğrileri, uygun çözücü ortamına bırakılan polimerin kütlesindeki ya da hacmindeki değişikliklerin zamanla izlenmesi ile oluşturulur (Evmenenko vd., 1999; Dolbow vd., 2004; Kaşgöz vd., 2008; Kundakcı vd., 2008, 2009, 2012; Ganji vd., 2010; Üzüm ve Karadağ, 2010, 2011; Bueno vd., 2013; Rashidzadeh vd., 2014; Cui vd., 2014; Gupta vd., 2014; Liu vd., 2014; Souda ve Sreejith, 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

Su/sıvı soğurum değeri (%S);

$$\%S = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlikte W_0 , başlangıçtaki kuru polimerin kütlesini, W_t ; t süre sonraki su/sıvı soğurulmuş polimerin kütlesini ifade eder. Denge durumunda, su/sıvı soğurulmuş hidrojel en büyük su/sıvı soğurum değerine sahiptir. Çözücüyle dengede bulunan hidrojeller için dengede su/sıvı kapasitesi (DSK);

$$DSK = \frac{W_d - W_0}{W_d} \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte W_d ; dengedeki su/sıvı soğurulmuş polimerin kütlesini, W_0 ; kuru polimerin kütlesini ifade eder (Karadağ vd., 2014; Kundakcı ve Karadağ, 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

Dinamik su/sıvı soğurum testleri sonucu oluşturulan su/sıvı soğurum kinetiği eğrilerinin ikinci dereceden olduğu varsayılır ve;

$$\frac{dS}{dt} = k_s(S_{\text{mak}} - S)^2 \quad (3)$$

eşitliği uygulanır (Kundakcı vd., 2011). Eşitlikteki dS/dt ; su/sıvı soğurum hızını, S_{maks} ; jelin denge anındaki (t_{den}) su/sıvı soğurum değerini ($\%S_d$), S ; t anındaki su/sıvı soğurum değerini ($\%S$) ve k_s ; su/sıvı soğurum hız sabitini göstermektedir. Eşitliğin $t=0$ için $S=0$ ve $t=t_{\text{den}}$ için $S=S_{\text{mak}}$ sınır koşullarında matematiksel düzenlenmesi sonucu;

$$\frac{t}{S} = A + Bt \quad (4)$$

eşitliği elde edilir.

Eşitlikte $A(=1/S_{\text{mak}}^2 k_s)$; başlangıç su/sıvı soğurum hızının ($1/r_0$) tersi, $B(=1/S_{\text{mak}})$ ise en büyük su/sıvı soğurum değerinin tersidir (Peniche vd., 1997; Azizian, 2004; Kundakcı vd., 2011; Üzüm ve Karadağ, 2012).

Polimerik ve kopolimerik yapıların su/sıvı soğurum kinetiği ve difüzyon türünün açıklanmasında kullanılan temel yasalar “Fick” yasalarıdır. Su/sıvı soğurum özelliği gösteren polimerlerin su/sıvı soğurum kinetiği verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir (Peppas ve Franson, 1983; Ende ve Peppas, 1996, 1997; Saraydın vd., 2004; Karadağ vd., 2010; Üzüm ve Karadağ, 2010, 2011, 2012; Nalbantoğlu, 2012; Hasgül, 2013; Kundakcı ve Karadağ, 2014; Karadağ vd., 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

$$F = \frac{M_t}{M_d} = kt^n \quad (5)$$

Bu eşitlikte M_t ; t anında jelin içerdiği sıvı miktarını, M_d ; denge halinde jelin içerdiği sıvı kütlesi, n ; çözücünün/sıvının difüzyon türünü gösteren difüzyon üstelini ve k ; difüzyon sabitini göstermektedir. F ; jelin t anında aldığı sıvı

miktarının dengede alınan sıvı miktarına oranıdır ve su/sıvı soğurum kesri olarak tanımlanır.

2.7.4. Difüzyon

Difüzyon türü ve mekanizmasının aydınlatılması da, su/sıvı soğurum davranışı gösteren ağ yapılı polimerlerin karakterizasyonunda önemlidir. Difüzyon türünün belirlenebilmesi için eşitlik 5'te verilen difüzyon üsteli (n) parametresinin bilinmesi gerekir. Difüzyon üsteli (n), su/sıvı soğurumunun henüz dengeye ulaşmadığı bölgede ve çözücü kütlesinin %60'lık kesiminin ($F < 0,60$) jele girmesi için geçen zaman aralığında $\ln F - \ln t$ doğrusunun eğiminden bulunmaktadır. Bu doğrunun kesim noktası ise k değerini verir. Bulunan bu değerler aynı zamanda difüzyon katsayısının hesaplanmasında da kullanılabilir.

Çözücünün difüzyon hızı ve hidrojel çözücü sisteminin durulma hızı, hidrojellerde su/sıvı soğurumunu denetleyen iki önemli parametredir. Difüzyon türü ve mekanizması bu parametrelere bağlı olarak aşağıdaki sınıflandırmaya göre yapılmaktadır (Ende ve Peppas, 1996, 1997; Karadağ vd., 2010; Üzümlü ve Karadağ, 2010, 2011; Kundakcı vd., 2012; Kundakcı ve Karadağ, 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

- ❖ *Fick tipi difüzyon (Durum I):* Durulma hızının difüzyon hızından daha büyük olduğu ve denge su/sıvı soğurum değerine kısa sürede ulaşıldığı difüzyon türüdür. Bu durumdaki su/sıvı soğurum, difüzyon ile denetlenir ve polimerik yapıya giren ya da yapıdan çıkan türün miktarı zamanın karekökü ile orantılı olarak artar ($n=0,5$).
- ❖ *Süper durum II (Durum II):* Difüzyon hızının durulma hızından daha büyük olduğu difüzyon türüdür ($n=1$).
- ❖ *Fick tipi olmayan ya da anormal tip difüzyon (Durum III):* Su/sıvı soğurum üzerinde difüzyon ve durulmanın aynı anda etkin olduğu difüzyon türüdür ($0,5 < n < 1$).

Su/sıvı soğurum kinetiğinin incelenmesinde önemli olan parametrelerden birisi de difüzyon katsayısıdır. Silindirik geometrideki yapılar için difüzyon katsayısı D , Fick'in II. yasasının düzenlenmesi ve kısa zaman aralığında çözülmesi ile elde edilen Eşitlik 6 yardımıyla bulunabilir (Dengre vd., 2000; Ganji vd., 2010; Üzümlü

ve Karadağ, 2011; Kundakcı vd., 2012; Kundakcı ve Karadağ, 2014; Karadağ vd., 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

$$D = \pi r^2 \left(\frac{k}{4} \right)^{1/n} \quad (6)$$

Eşitlikte yer alan n ve k değerleri, $\ln F - \ln t$ grafiklerinden hesaplanan difüzyon üsteli ve difüzyon sabiti değerleridir. r değeri şişmiş hidrojelın cm cinsinden yarıçapıdır.

Su/sıvı soğurum kinetiğinin incelenmesinde bir diğer önemli parametre de su/sıvı soğurum hız katsayısı (k_{ss}) dır. Bu parametrenin hesaplanması için aşağıda verilen bağıntı kullanılır.

$$-\ln(1 - F) = k_{ss} t + E \quad (7)$$

Bu eşitlikte F ; jelin t anında aldığı çözücü miktarının dengede alınan çözücü miktarına oranıdır ve su/sıvı soğurum kesri olarak tanımlanır. E ; su/sıvı soğurum kinetiği ile ilgili sabit değerdir. k_{ss} 'nin hesaplanması için $-\ln(1-F)-t$ grafikleri oluşturulur ve elde edilen doğrunun eğiminden k_{ss} değeri bulunur (Ali vd., 2003; Karadağ vd., 2004, 2005; Hasgöl, 2013).

2.8. Çevrede Su Kirliliği

Akarsu, göl ve denizlerdeki canlı yaşamın ve ekolojik dengenin zaman içerisinde değişmesi, sularda kirlenmenin ortaya çıkmasına neden olur. İçme ve kullanma amacı ile kullanılan su kaynaklarının doğal yapılarında oluşan değişimler, çevre ve canlı sağlığı açısından zararlı olabilecek seviyelere ulaştığı zaman kullanım alanlarında daralmalar meydana gelir. Bu sebeple, kirli suların mutlaka temizlenmesi gereklidir.

Başlıca, organik kirleticiler, mikroorganizmalar, endüstriyel atıklar (petrol kökenli, plastikler, elyaflar, elastomerler, ilaçlar, deterjanlar, pestisitler, besin katkı maddeleri, gübreler, çözücüler, değişik kökenli boyalar) ve radyoetkin kirleticiler vardır (Rıfı vd., 1995; Li vd., 2002; Manju vd., 2002; Hull vd., 2004; Crini, 2006; Üzümlü vd., 2007; Kundakcı vd., 2008; Chu ve Hsiao, 2009; Üzümlü ve Karadağ, 2010; Wojnarovits vd., 2010; Deng vd., 2013; Dragan ve Loghin, 2013; Mahdavinia ve Asgari, 2013; Souda ve Sreejith, 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

2.8.1. Çevrede Su Kirliliğinin Giderilmesi

Yeryüzü ve yer altı sularının kirlenmesini önlemek için kirlenmiş sıvıların arıtılması gereklidir. Bu amaçla üç temel yöntem kullanılabilir;

- ❖ Mekanik arıtma (çöktürme, süzme)
- ❖ Kimyasal arıtma (çöktürme, nötrleştirme, yüzeye soğurma, vb.)
- ❖ Biyolojik arıtma

Mekanik olarak arıtma yapıldıktan sonra gerekliliğe göre biyolojik ya da kimyasal arıtma yapılabilir. Kimyasal arıtma yine kirlenmiş suyun niteliğine uygun olarak seçilebilecek çeşitli yöntemlerle yapılır. Bu yöntemlerin en çok kullanılanları;

- ❖ yükseltgenme, indirgenme ve nötrleştirme
- ❖ çöktürme
- ❖ adsorpsiyon (yüzeye soğurma)
- ❖ özütleme
- ❖ yüzdürme
- ❖ iyon değişimi

Önemli bir arıtma yöntemi olan yüzeye soğurma, özellikle boyarmadde ve ağır metal iyonlarının sulu ortamlardan uzaklaştırılarak kirli suların temizlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, yüzeye tutucu maddelerden (aktif karbon, kok, cüruf, turba, kil, yapay iyon değiştiriciler ve hidrojeller) yapılan süzgeçten kirli su yavaş yavaş geçirilebileceği gibi bu maddelerle kirli su bir süre etkileştirilerek sudaki kirliliğin uzaklaştırılması sağlanabilmektedir (Crini, 2006; Wang vd., 2010; Humelnicu vd., 2011; Kundakcı vd., 2012; Dragan ve Loghin, 2013; Mahdavinia ve Asgari, 2013; Zhou vd., 2013; Dragan ve Dinu, 2015; Karadağ ve Kundakçı, 2015; Üzüm ve Karadağ, 2008; Zhou vd., 2014; Karadağ ve Kundakçı, 2012; Karadağ vd., 2007; Marondi vd., 2013; Zang vd., 2003; Missana vd., 2003; Dobritoiu ve Patachia, 2013).

2.9. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, yıllardır bir fizikokimyasal proses olarak kullanılmasına rağmen, son kırk yıldır geliştirilip önemli bir endüstriyel ayırma tekniği haline gelmiştir. Adsorpsiyonda moleküller biri katı, diğeri sıvı ya da gaz olmak üzere iki ayrı fazda dağılırlar. Adsorpsiyondan farklı olarak, çözünmüş moleküller gaz fazının yoğun olduğu bölgeden sıvı fazının yoğun olduğu bölgeye difüzlenirler. Adsorpsiyonda moleküller akışkanın yoğun olduğu fazdan ayrı bir adsorplanmış faz oluşturmak üzere katı adsorbanın yüzeyine difüzlenirler. Aynı şekilde adsorpsiyon sıvı fazdaki eser miktardaki bileşenlerin uzaklaşmasında ve yeniden kazanılmasında ve zararlı maddelerin bir endüstriyel atıktan kolayca uzaklaştırılmasında kullanılırlar (Nalbantoğlu, 2012; Hasgöl, 2013).

Adsorpsiyona alternatif olabilecek dikkate değer bazı uygulamalar; destilasyon, absorpsiyon ve sıvı ekstraksiyondur. Her proses bileşenlerin farklı özelliklerinden yararlanarak ayırma işlemini gerçekleştirir. Bu özellik destilasyonda buharlaşabilirlik, absorpsiyonda çözünürlük, ekstraksiyonda dağılım katsayısı ve adsorpsiyonda ise bileşenlerden birinin diğerlerine göre daha hızlı adsorplanabilirliğidir (Nalbantoğlu, 2012; Hasgöl, 2013).

2.9.1. Adsorpsiyon Türleri

İki tip adsorpsiyon vardır: Bunlar fiziksel adsorpsiyon ve kimyasal adsorpsiyondur.

Fiziksel adsorpsiyonda, adsorplanmış molekülleri adsorban yüzeyine bağlı tutan kuvvetler Van der Waals kuvvetleri cinsindendir. Az seçimseldir, katının bütün yüzeyini ilgilendirir. Fiziksel adsorpsiyon ısısı düşüktür. Adsorpsiyon dengesi iki yönlüdür ve çabuktur. Bu tür adsorpsiyonda, adsorplanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığındadır.

Kimyasal adsorpsiyon, kemisorpsiyon, adsorplanan moleküllerle adsorban yüzey molekülleri ya da atomları arasındaki gerçek bir tepkimeden ileri gelir ve kimyasal adsorpsiyon hızı sıcaklıkla artar.

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon aşağıdaki gibi karşılaştırılabilir. (Hasgöl, 2013).

Fiziksel adsorpsiyon	Kimyasal adsorpsiyon
Adsorpsiyon ısısı düşüktür.	Adsorpsiyon ısısı yüksektir.
Özgül değildir.	Özgüldür.
Tek tabakalı veya çok tabakalıdır.	Sadece tek tabakalıdır.
Sadece düşük sıcaklıklarda gerçekleşir.	Geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleşir.
Hızlı, aktif değil ve tersinirdir.	Aktiftir, yavaş ve tersinmez olabilir.
Elektron transferi yoktur.	Bağ oluşumuna neden olan elektron transferi gerçekleşir.

Genellikle herhangi bir adsorpsiyon, sıcaklık yükselirken azalmalıdır. Yüksek sıcaklıkta olan adsorpsiyon düşük sıcaklık olan adsorpsiyondan farklıdır. Yüksek sıcaklık adsorpsiyonu aktive edilmiş kemisorpsiyondur. Düşük sıcaklık adsorpsiyonu ise Van der Waals adsorpsiyondur. Fiziksel kuvvetler yapıya özel olmadığından Van der Waals adsorpsiyonu bütün hallerde meydana gelir. Kemisorpsiyon ise ancak bu çeşit karşılıklı kimyasal etki olanağı bulunduğu zaman meydana gelir.

2.9.2. Adsorpsiyon İzotermi

Sabit sıcaklıkta yürütülen adsorpsiyon çalışmalarından elde edilen denge derişimine karşı adsorplanan madde miktarının grafiğe geçirilmesi ile adsorpsiyon izotermi elde edilmektedir. Kimyasal adsorpsiyonda yüzey ile adsorplanan maddenin teması sonucu oluşan olay tek tabakalı olarak tamamlanmaktadır. Fakat uygun basınç ve sıcaklık koşulları sağlandığında fiziksel adsorpsiyon çok tabakalı olabilir.

Gazların katılar tarafından adsorpsiyonuna ait beş tip adsorpsiyon izotermi gözlenmiştir. Brauner, Emet ve Teller tarafından geliştirilen bu beş adsorpsiyon izotermi tipi, gazların katılar tarafından adsorpsiyonunda doğru sonuçlar vermektedir. Fakat bu izotermelerde, çözücü etkisi ve çözünenlerin kendi aralarındaki etkileşimleri yok sayıldığı zaman, çözelti adsorpsiyonunda elde edilen

izotermilerin açıklanmasında eksiklikler görülür (Zhang vd., 2003; Karadağ vd., 2007; Üzüm vd., 2007; Kundakcı vd., 2008; Li vd., 2009; Wang vd., 2010; Üzüm ve Karadağ, 2011; Marandi vd., 2013; Chen vd., 2013).

Çözeltiden ya da sıvı karışımlardan istenmeyen bir türün ortamdan uzaklaştırılmasına dair çalışmalar yaygın bir biçimde devam etmektedir. Çözelti adsorpsiyon izotermlerinin sınıflandırılmasında ve adsorpsiyon mekanizmalarının açıklanmasında Giles sınıflandırılması kullanılmaktadır. Giles adsorpsiyon sınıflandırmasının, özellikle boyarmadde ve benzeri organik moleküllerin yoğun olarak bulunduğu ortamlardan adsorpsiyonlarının incelendiği çalışmalarda somut sonuçlar verdiği bilinmektedir (Üzüm ve Karadağ, 2011, 2012; Karadağ ve Kundakcı, 2012; Marandi vd., 2013; Wang vd., 2013b).

2.9.3. Denge Adsorpsiyon Çalışmaları

Denge adsorpsiyon uygulamalarında 1,0 g çapraz bağlı polimer tarafından soğurulan madde miktarının, yani adsorpsiyon kapasitesinin hesaplanması sıkça kullanılan bir yöntemdir. Farklı derişimde çözeltiler ile çapraz bağlı polimerin etkileştirilmesi sonucu, sabit sıcaklıkta derişimin adsorpsiyona etkisi incelenir. Bu amaçla aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır (Li vd., 2009; Humelnicu vd., 2011; Marandi vd., 2013; Wang vd., 2013b; Dragan ve Loghin, 2013; Kundakcı ve Karadağ, 2014; Karadağ vd., 2014; Karadağ ve Kundakcı, 2015).

$$q = \frac{C - C_s}{m} \times v \quad (8)$$

Burada q; 1,0 g hidrojel tarafından soğurulan madde miktarı (adsorpsiyon kapasitesi), C; çözeltilerin başlangıç derişimi, C_s; çözeltilerin denge derişimi, v; çözelti hacmi ve m; hidrojin kütlesidir. Hesaplanan q adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin çözeltilerin son derişimine karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilen izoterm, çapraz bağlı polimer ve çözeltideki çözünen madde arasında gerçekleşen adsorpsiyon ile ilgili bilgi verir.

Çözelti ile dengede bulunan çapraz bağlı polimer ve çözücü arasında gerçekleşen adsorpsiyon için hesaplanabilecek diğer bir parametre de, çapraz bağlı polimerin adsorpsiyon yüzdesidir. %Ads aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\%Ads = \frac{C_b}{C} \times 100 \quad (9)$$

Eşitlikte C_b ; hidrojel tarafından adsorplanan madde miktarıdır ve $C_b=C-C_s$ eşitliği ile hesaplanır (Üzüm ve Karadağ, 2011; Hasgül, 2013; Kundakcı ve Karadağ, 2014; Karadağ vd., 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

Çözünenlerin, sulu faz ve adsorplayıcı arasındaki dağılımları dağılma katsayısı ile tanımlanır. Çözünenin toplam derişimi ve soğurulan türlerin toplam derişimi ile ilişkili olan dağılma katsayısı, K_d , aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir (Schwarte ve Peppas, 1998; Şahiner vd., 1998; Missana vd., 2003; Kundakcı vd., 2008; Humelnicu vd., 2011; Üzüm ve Karadağ, 2011; Karadağ ve Kundakcı, 2012; Karadağ ve Üzüm, 2012; Marandi vd., 2013; Wang vd., 2013b; Kundakcı ve Karadağ, 2014; Karadağ vd., 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).

$$K_d = \frac{C_b}{C_s} \quad (10)$$

Burada K_d ; denge halindeki dağılma katsayısını, C_s ; çözeltiye ait denge derişimini, C_b ; çapraz bağlı polimer tarafından adsorplanan çözünenin derişimini ifade eder.

2.9.4. Sulu Ortamlardan Boyarmadde Uzaklaştırılması

Boyarmaddeler uygulandığı malzemeye kalıcı biçimde rengini veren, yoğun renkli ve karmaşık yapıları organik bileşiklerdir. Bu tür maddeler kağıt, deri, plastik, kozmetik, mürekkep, gıda ve özellikle tekstil endüstrisinde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Boyarmaddelerin üretim ve uygulama sürecinde oluşan atıklar suyu kirletmektedir. Boyarmaddeler, farklı sınıf ve türlere ayrılmış asidik, bazik yada nötral organik bileşiklerdir. Boyarmaddelerin su/sıvılarda oluşturabilecekleri nötralleşme ya da yükseltgenme-indirgenme tepkimeleri, su çözünmüş olarak bulunan oksijenin gereksiz yere harcanmasına neden olur. Böylece suyun kimyasal oksijen gereksinimi (COD) artar (kimyasal oksijen gereksinimi su/sıvılarda bulunan organik maddelerin tümünün yükseltgenmesi için gereken oksijen gereksinimi olarak tanımlanabilir). Bu durum, su/sıvıda yaşayan canlı organizmaların oksijen gereksiniminin karşılanmamasına ve ölümlerine neden olur. Su kirliliğinin giderilmesinde kullanılan yüzeye soğurma önemli bir yöntemdir.

Yüzeye soğurma tekniği ile boyarmadde uzaklaştırılmasında, akrilamid esaslı çapraz bağlı polimerlerin kullanıldığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Karadağ vd., 2007; Kundakcı vd., 2008; Ozay vd., 2009; Li vd., 2009; Karadağ vd., 2009, 2010; Wu vd., 2010; Humelnicu vd., 2011; Kundakcı vd., 2009, 2011; Üzüm ve Karadağ; 2006, 2011; Zhou vd., 2013; Shi vd., 2013; Mahdavinia ve Asgari, 2013; Dobritoiu ve Patachia, 2013; Dragan ve Loghin, 2013; Ajbary vd., 2013; Kundakcı ve Karadağ, 2014; Zhou vd., 2014, Karadağ ve Kundakcı, 2015).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Kimyasallar

Yapılan çalışmada, çapraz bağlı kopolimer üretiminde monomer olarak akrilamid (AAm) (SIGMA, Steinhelm, Almanya), yardımcı monomer olarak potasyum 3-sülfopropil metakrilat (KSM) (ALDRICH, Steinhelm, Almanya), çapraz bağlayıcı olarak poli(etilen glikol) diakrilat (PEGDA) ($M_n=700 \text{ g mol}^{-1}$) (ALDRICH, Steinhelm, Almanya) kullanılmıştır. Semi-IPN oluşturmak üzere doğal bir polimer olan sodyum aljinat (SAL) (SIGMA, Steinhelm, Almanya) ve kil olarak bentonit (BENT) (ALDRICH, Steinhelm, Almanya) kullanılmıştır. Başlatıcı olarak amonyum persülfat (APS) (SIGMA, Steinhelm, Almanya) ve hızlandırıcı olarak *N,N,N',N'*-tetrametiletilendiamin (TEMED) (SIGMA, Steinhelm, Almanya) kullanılarak çapraz bağlı kopolimer üretimi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kimyasalların formül ve kısaltmaları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

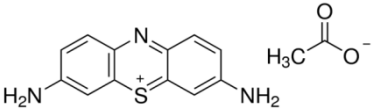
Çizelge 3.1. Hidrojel, hibrit hidrojel ve semi-IPN üretiminde kullanılan kimyasalların formülleri ve kısaltmaları

Madde	Formül	Kısa gösterim
Akrilamid (propen amid)	$H_2C=CHCONH_2$	AAm
Potasyum 3-sülfopropil metakrilat	$H_2C=C(CH_3)CO_2(CH_2)_3SO_3K$	KSM
Poli(etilen glikol) diakrilat	$CH_2=CHCO[OCH_2CH_2]_nOCOCH=CH_2$	PEGDA
Sodyum aljinat	$(C_6H_7NaO_6)_n$	SAL
Bentonit	$(Na,Ca)(Al,Mg)_6(Si_4O_{10})_3(OH)_6.nH_2O$	BENT
Amonyum persülfat	$(NH_4)_2S_2O_8$	APS
<i>N,N,N',N'</i> -Tetrametiletilendiamin	$(CH_3)_2NCH_2CH_2N(CH_3)_2$	TEMED

Polimerik kompozit hidrojellerin yüzey soğurum özelliklerinin incelenmesi için boyarmadde olarak katyonik karakterdeki lauths violet (Thionin) (ALDRICH, Milwaukee, Amerika Birleşik Devletleri) kullanılmıştır.

Kullanılan boyarmaddenin kimyasal formülü, kısa gösterimi ve bazı özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Soğurum çalışmalarında kullanılan Lauths violet (LV)’nin kimyasal formülü ve bazı özellikleri

İsim	Kimyasal Formül	Mol Kütlesi (g mol ⁻¹)	λ_{mak} (nm)	Renk İndeks No
Lauths violet (Thionin) (LV)		287,34	598	52000

3.2. Polimerik Örneklerin Hazırlanması

Bu çalışmada, KSM yardımcı monomeri kullanılarak AAm esaslı hidrojel ve polimerik kompozitler, çözelti ortamında serbest radikalik polimerleşme tepkimesiyle çapraz bağlayıcı kullanılarak sentezlenmiştir. Çapraz bağlı yapıların sentezlenmesinde çapraz bağlayıcı olarak PEGDA kullanılmıştır. Üretim için kullanılan yöntem aşağıda ayrıntılı açıklanmıştır.

3.2.1. Hidrojel, Hibrit Hidrojel ve Semi-IPN’lerin Sentezi

AAm esaslı anyonik hidrojellerin sentezinde yardımcı monomer olarak KSM ve çapraz bağlayıcı olarak PEGDA kullanılmıştır. Doğal bir polimer olan SAL içeren polimerik yapıların üretiminde %2,0’lik sulu SAL çözeltisi kullanılmıştır. Oda sıcaklığında hazırlanan sulu SAL çözeltisinden, polimerik yapıların %1,0 SAL içeriğine sahip olabilmeleri için, belirli hacimlerde alınarak kullanılmıştır. Kompozit kopolimerlerin üretiminde %2,0’lik su-BENT süspansiyonu kullanılmıştır. Oda sıcaklığında hazırlanan su-BENT süspansiyonundan, polimerik yapıların %1,0 BENT içeriğine sahip olabilmeleri için, belirli hacimlerde kullanılmıştır.

AAm/KSM hidrojel üretimi: AAm esaslı hidrojelleri sentezlemek için kullanılan AAm monomer miktarı sabit tutulmuş ve eklenen KSM yardımcı monomerinin

miktarı değiştirilerek çapraz bağlayıcı yardımıyla çözelti ortamında serbest radikalik polimerleşme yöntemi kullanılmıştır. Hidrojel sentezi için, 1,0 g (14,07 mmol) AAm monomeri 1,0 mL suda çözülerek sulu AAm çözeltisi hazırlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan çözeltilere ayrı ayrı sırasıyla 0 mg, 20 mg (0,081 mmol), 40 mg (0,162 mmol), 60 mg (0,243 mmol), 80 mg (0,324 mmol) şeklinde değişen oranlarda KSM eklenerek monomer karışımı elde edilmiştir (Çizelge 3.3). Bu karışıma, sırasıyla 0,25 mL (0,004 mmol) %1,0'lik çapraz bağlayıcı PEGDA, 5,0 g/100 mL APS çözeltisinden 0,2 mL (0,044 mmol) ve 0,25 mL (0,017 mmol) %1,0'lik TEMED eklenmiştir. Hazırlanan çözeltiler çapı 0,7 cm ve yüksekliği 0,3 cm olan özel polimerik silindirik kalıplara doldurularak çapraz bağlanmaları sağlanmıştır (Şekil 3.1). Çapraz bağlanmaları tamamlanan polimer örnekleri açık havada kurutulmuştur. Sonra kalıplardan çıkarılan polimerik örnekler, vakum etüvünde 25 gün bekletilerek tamamen kurumaları sağlanmıştır.

AAm/KSM/BENT hibrit hidrojel üretimi: 1,0 g (14,07 mmol) AAm monomeri, %2,0'lik 0,5 mL su – BENT süspansiyonu ve 0,5 mL saf sudan oluşan 1,0 mL çözeltiye 0 mg, 20 mg (0,081 mmol), 40 mg (0,162 mmol), 60 mg (0,243 mmol), 80 mg (0,324 mmol) KSM eklenerek hazırlanan karışıma sırasıyla 0,25 mL (0,004 mmol) %1,0'lik çapraz bağlayıcı PEGDA, 5,0 g/100 mL APS çözeltisinden 0,2 mL (0,044 mmol) ve 0,25 mL (0,017 mmol) %1,0'lik TEMED eklenmiştir (Çizelge 3.3). Hazırlanan çözeltiler çapı 0,7 cm ve yüksekliği 0,3 cm olan özel polimerik silindirik kalıplara doldurularak çapraz bağlanmaları sağlanmıştır. Çapraz bağlanmaları tamamlanan polimer örnekleri açık havada kurutulmuştur. Sonra kalıplardan çıkarılan polimerik örnekler, vakum etüvünde 25 gün bekletilerek tamamen kurumaları sağlanmıştır.

Farklı miktarlarda BENT içeren AAm/KSM/BENT hibrit hidrojel üretimi: BENT miktarının değişimi ile üretilen hidrojellerin özelliklerinin nasıl değiştiğini incelemek için 60 mg (0,243 mmol) KSM miktarı sabit tutularak, %0,5; %1,0; %1,5 ve %2,0 BENT içeriğine sahip polimerik yapılar üretilmiştir. 1,0 g (14,07 mmol) AAm monomerinin, 0,25; 0,5; 0,75 ve 1,0 mL (%2,0'lik) su–BENT süspansiyonu ve sırasıyla 0,75; 0,5; 0,25 ve 0,0 mL saf sudan oluşan 1,0 mL çözeltisine 60 mg (0,289 mmol) KSM eklenerek hazırlanan karışıma sırasıyla 0,25 mL (0,004 mmol) %1,0'lik çapraz bağlayıcı PEGDA, 5,0 g/100 mL APS çözeltisinden 0,2 mL (0,044 mmol) ve 0,25 mL (0,017 mmol) %1,0'lik TEMED eklenmiştir (Çizelge 3.3). Hazırlanan çözeltiler çapı 0,7 cm ve yüksekliği 0,3 cm olan özel polimerik silindirik kalıplara doldurularak çapraz bağlanmaları

sağlanmıştır. Çapraz bağlanmaları tamamlanan polimer örnekler açık havada kurutulmuştur. Sonra kalıplardan çıkarılan polimerik örnekler, vakum etüvünde 25 gün bekletilerek kurumaları sağlanmıştır.

AAM/KSM/SAL semi-IPN hidrojel üretimi: 1,0 g (14,07 mmol) AAm monomeri, %2,0'lik 0,5 mL SAL çözeltisi ve 0,5 mL saf sudan oluşan 1,0 mL çözeltiye 0 mg, 20 mg (0,081 mmol), 40 mg (0,162 mmol), 60 mg (0,243 mmol), 80 mg (0,324 mmol) KSM eklenerek hazırlanan karışıma sırasıyla 0,25 mL (0,004 mmol) %1,0'lik çapraz bağlayıcı PEGDA, 5,0 g/100 mL APS çözeltisinden 0,2 mL (0,044 mmol) ve 0,25 mL (0,017 mmol) %1,0'lik TEMED eklenmiştir (Çizelge 3.3). Hazırlanan çözeltiler çapı 0,7 cm ve yüksekliği 0,3 cm olan özel polimerik silindirik kalıplara doldurularak çapraz bağlanmaları sağlanmıştır. Çapraz bağlanmaları tamamlanan polimer örnekleri açık havada kurutulmuştur. Sonra kalıplardan çıkarılan polimerik örnekler, vakum etüvünde 25 gün bekletilerek tamamen kurumaları sağlanmıştır.

Farklı miktarlarda SAL içeren AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojel üretimi: SAL miktarının değişimi ile üretilen hidrojellerin özelliklerinin nasıl değiştiğini incelemek için 60 mg (0,243 mmol) KSM miktarı sabit tutularak, %0,5; %1,0; %1,5 ve %2,0 SAL içeriğine sahip polimerik yapılar üretilmiştir. 1,0 g (14,07 mmol) AAm monomerinin, 0,25; 0,5; 0,75 ve 1,0 mL (%2,0'lik) SAL çözeltisi ve sırasıyla 0,75; 0,5; 0,25 ve 0,0 mL saf sudan oluşan 1,0 mL çözeltisine 60 mg (0,289 mmol) KSM eklenerek hazırlanan karışıma sırasıyla 0,25 mL (0,004 mmol) %1,0'lik çapraz bağlayıcı PEGDA, 5,0 g/100 mL APS çözeltisinden 0,2 mL (0,044 mmol) ve 0,25 mL (0,017 mmol) %1,0'lik TEMED eklenmiştir (Çizelge 3.3). Hazırlanan çözeltiler çapı 0,7 cm ve yüksekliği 0,3 cm olan özel polimerik silindirik kalıplara doldurularak çapraz bağlanmaları sağlanmıştır. Çapraz bağlanmaları tamamlanan polimer örnekleri açık havada kurutulmuştur. Sonra kalıplardan çıkarılan polimerik örnekler, vakum etüvünde 25 gün bekletilerek tamamen kurumaları sağlanmıştır.

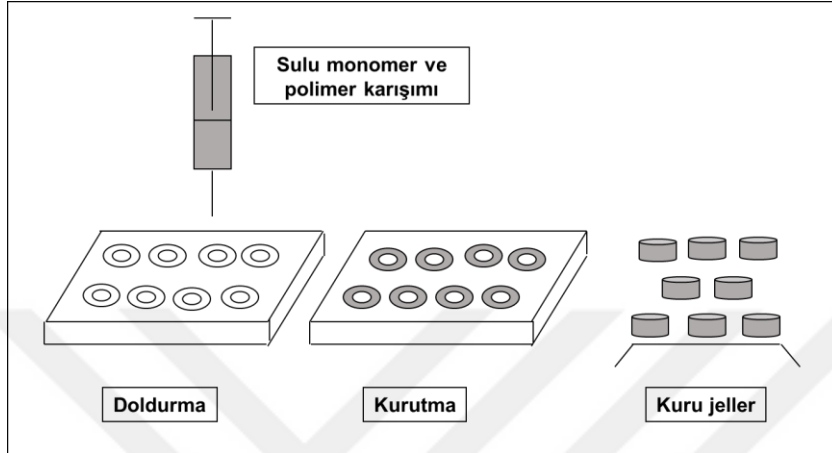
AAM/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojel üretimi: 1,0 g (14,07 mmol) AAm monomeri, %2,0'lik 0,5 mL su-BENT süspansiyonu ve %2,0'lik 0,5 mL SAL çözeltisinden oluşan 1,0 mL çözeltiye 0 mg, 20 mg (0,081 mmol), 40 mg (0,162 mmol), 60 mg (0,243 mmol), 80 mg (0,324 mmol) KSM eklenerek hazırlanan karışıma sırasıyla 0,25 mL (0,004 mmol) %1,0'lik çapraz bağlayıcı PEGDA, 5,0 g/100 mL APS çözeltisinden 0,2 mL (0,044 mmol) ve 0,25 mL (0,017 mmol)

%1,0'lik TEMED eklenmiştir. Hazırlanan çözeltiler çapı 0,7 cm ve yüksekliği 0,3 cm olan özel polimerik silindirik kalıplara doldurularak çapraz bağlanmaları sağlanmıştır. Çapraz bağlanmaları tamamlanan polimer örnekler açık havada kurutulmuş ve kalıplardan çıkarılan polimerik örnekler, vakum etüvünde 25 gün bekletilmiştir.

AAm/KSM, AAm/KSM/BENT, AAm/KSM/SAL, AAm/KSM/BENT/SAL hidrojel, hibrit hidrojel ve semi-IPN'lerin hazırlanmasında Çizelge 3.3'de verilen değerlere uyulmuştur.

Çizelge 3.3. Polimerik örneklerin hazırlanmasında kullanılan KSM, BENT ve SAL içeriklerinin örneklere göre değişimleri

	KSM (mg)	Su (mL)	BENT (mL) (%2'lik BENT-su süspansiyonu)	SAL (mL) (%2'lik sulu SAL çözeltisi)
AAm/KSM	0-80	1,00	-	-
AAm/KSM/BENT	0-80	0,50	0,50	-
AAm/KSM/SAL	0-80	0,50	-	0,50
AAm/KSM/BENT/SAL	0-80	-	0,50	0,50
AAm/KSM/BENT (BENT değişimi)	60	0,75- 0,50- 0,25-0,00	0,25-0,50-0,75- 1,00	-
AAm/KSM/SAL (SAL değişimi)	60	0,75- 0,50- 0,25-0,00	-	0,25-0,50-0,75- 1,00



Şekil 3.1. Polimerik örneklerin hazırlanma şeması

3.3. Polimerik Örneklerin Karakterizasyonu

Hazırlanan polimerlerin karakterizasyonu için spektroskopik karakterizasyon ve şişme karakterizasyonu yöntemleri uygulanmıştır. Çapraz bağlı yapıların yüzey özellikleri ile ilgili bilgi edinebilmek için taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscopy, SEM) mikrografları da alınmıştır. Ayrıca yüzey soğurum özelliklerini araştırmak amacıyla boyarmadde soğurum çalışmaları yapılmıştır.

3.3.1. Spektroskopik Karakterizasyon

Çapraz bağlı polimerlerin spektroskopik karakterizasyonlarının yapılması için, çalışmada elde edilen örneklerin; azalan tam yansıma spektroskopisi (Attenuated Total Reflectance; ATR) ünitesi olan Fourier transform infrared spektrofotometresi (Fourier Geçirmeli Kızılötesi) (FT-IR) ile FT-IR/ATR spektrumları alınmıştır. Spektrumların alınabilmesi için Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Polimer Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan THERMO SCIENTIFIC NICOLET is10 SMARTt FT-IR/ATR (Amerika) kullanılmıştır.

3.3.2. Su/Sıvı Soğurum Karakterizasyonu

Hazırlanan çapraz bağlı kopolimerlere 25°C'da dinamik su/sıvı soğurum testleri uygulanmıştır. Bunun için kuru haldeki kopolimerler 0,0001 g duyarlılıkta tartım yapabilen DENVER TP-214 elektronik terazi yardımıyla tartılarak MEMMERT WB 29 su banyosunda $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ sabit sıcaklıkta, içinde damıtık su bulunan beherlere konularak şişmeye bırakılmıştır. Polimerik örneğin suya bırakıldığı an

$t=0$ alınmış ve belirli zaman aralıklarında çıkarılan hidrojeller yüzeyindeki su kurulanıp aynı duyarlılıkla tartılmıştır. Değişmeyen kütle değeri elde edilene kadar işleme devam edilmiştir. Değişmeyen değerler elde edildiğinde şişmenin dengeye ulaştığı kabul edilmiştir ve deney sonuçlandırılmıştır.

3.3.2.1. Farklı Su-Çözücü Karışımlarında Sıvı Soğurum Çalışmaları

Bu çalışmada kullanılan çözücüler; aseton (ASE) (Riedel-de Haen, Almanya), metanol (MET) (Riedel-de Haen, Almanya) ve tetrahidrofuran (THF) (Riedel-de Haen, Almanya)'dur. Bu çalışmada elde edilecek hidrojel sistemlerin değişik çözücülerdeki sıvı soğurum özelliklerini denetlemek ve incelemek amacı ile %60'lık ASE-su, %60'lık MET-su ve %60'lık THF-su karışımları hazırlanmıştır.

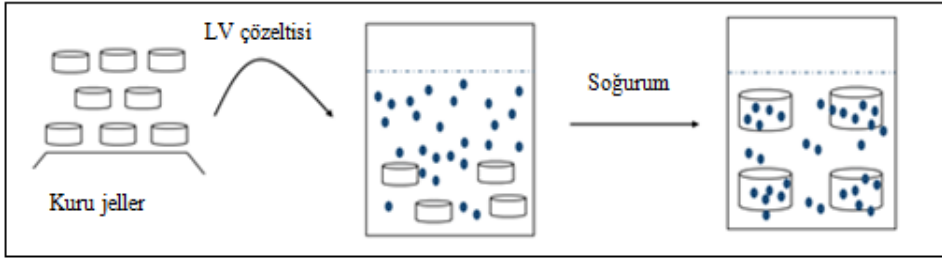
3.3.3. SEM Analizi

Çalışmada hazırlanan çapraz bağlı kopolimerlerin yüzey görünümü hakkında bilgi edinebilmek için SEM mikrografları çekilmiştir. SEM çekimi için İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE), Malzeme Araştırma Merkezi'nde (MAM) bulunan PHILLIPS XL-30S FEG, FEI QUANTA 250 FEG (Hollanda) cihazı kullanılmıştır.

3.3.4. Boyarmadde Soğurumu

Kuru haldeki çapraz bağlı polimerik örnekler boyarmadde çözeltilerinde bir süre bekletildiklerinde, örneklerde uygun renklenmeler görülmüştür. (Şekil 3.2.) Yapılan ön denemelerde hidrojel, hibrit hidrojel ve semi-IPN hidrojellerin LV'yi soğurabileceği görülmüş ve yüzey soğurum çalışmalarında bu boyarmadde kullanılmıştır. Sulu LV soğurumunu nicel olarak açıklayabilmek için $2,0 \times 10^{-5} - 6,0 \times 10^{-5}$ M arasında değişen derişimlerde sulu boyarmadde çözeltileri ile 60 mg (0,243 mmol) KSM (yardımcı monomer) içeren çapraz bağlı kopolimerler dengeye gelene kadar 25°C 'da etkileştirilmişlerdir. (Şekil 3.2.) Yardımcı monomer içeriğinin soğuruma etkisini araştırmak için $5,0 \times 10^{-5}$ M sabit derişimde boyarmadde çözeltileri ile 20; 40; 60 ve 80 mg KSM yardımcı monomeri içeren çapraz bağlı kopolimerlerin etkileşmesi sağlanmıştır. Dengeye gelen hidrojeller dekantasyon yöntemi ile çözeltiden ayrılmış ve çözelti absorbansları ADÜ FEF Kimya Bölümü'nde bulunan SHIMADZU UV-VIS spektrofotometre (Avustralya) kullanılarak 598 nm dalga boyunda ölçülmüştür (Üzüm, 2008; Kundakcı vd., 2008; Kundakcı vd., 2009). Ölçüm için referans olarak saf su kullanılmıştır.

Öncesinde hazırlanan ve ekte sunulan çalışma eğrisi yardımıyla ölçülen absorbans değerlerine karşılık gelen derişimler hesaplanmıştır.



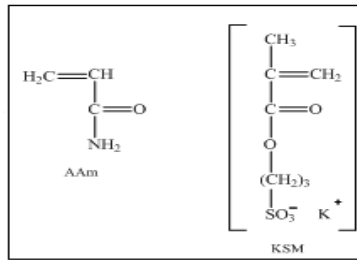
Şekil 3.2. Çapraz bağlı hidrojellerin boyar madde soğurumu

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çapraz Bağlı Polimerlerin Hazırlanması

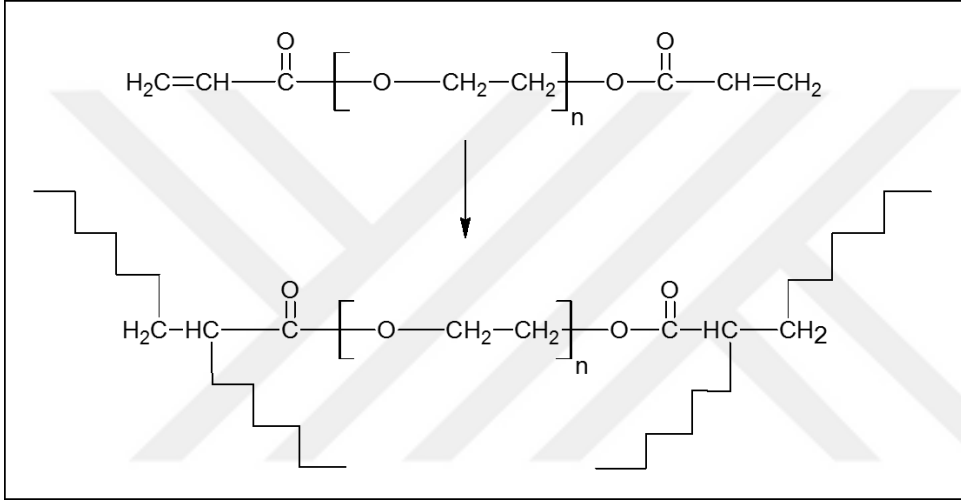
Bu çalışmada akrilamid (AAm) monomeri ve hidrofilik gruplar taşıyan potasyum 3-sülfopropil metakrilat (KSM) anyonik yardımcı monomeri kullanılarak değişik özellikte yeni hidrojeller, semi IPN hidrojeller ve hibrit hidrojeller sentezlenmiştir. Semi IPN ve bazı hibrit hidrojellerin elde edilmesi için doğal bir polimer olan sodyum aljinat (SAL) kullanılmıştır. Ayrıca polimer hibrit/kompozit hidrojellerin elde edilmesi için bentonit (BENT) gibi bir kil kullanılmıştır. Monomerler poli(etilen glikol) diakrilat (PEGDA) çapraz bağlayıcısı kullanılarak çözeltide serbest radikalik polimerleşme tepkimesi ile polimerleştirilmiştir. Spektroskopik karakterizasyon ve şişme karakterizasyonu yöntemleri kullanılarak bu çalışmada elde edilen kimyasal çapraz bağlı kopolimerlerin karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca polimerik örneklerin yüzey özellikleri hakkında bilgi edinebilmek amacıyla SEM görünümü/mikrografları alınmıştır. Üretilen çapraz bağlı kopolimerlerin, çevre kirliliğinin önemli bir sorunu olan boyarmadde kirliliğinin giderilmesinde adsorban olarak kullanımı için yüzeye soğurum çalışmaları yapılmıştır.

“BENT” ile “SAL” içeren ve “BENT” ile “SAL” içermeyen hidrojeller, PEGDA kimyasal çapraz bağlayıcısı kullanılarak çözelti ortamında serbest radikalik polimerleşme tepkimesi ile üretilmişlerdir. AAm monomerinin su, BENT-su süspansiyonu ve sulu SAL çözeltisine, farklı özelliklerde polimerik örnekler elde edebilmek amacıyla değişen miktarlarda KSM yardımcı monomeri eklenmiştir. Çapraz bağlayıcı, başlatıcı ve hızlandırıcı yardımıyla çapraz bağlı kopolimerlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1.’de AAm monomeri ile KSM yardımcı monomerinin kimyasal yapıları verilmiştir.



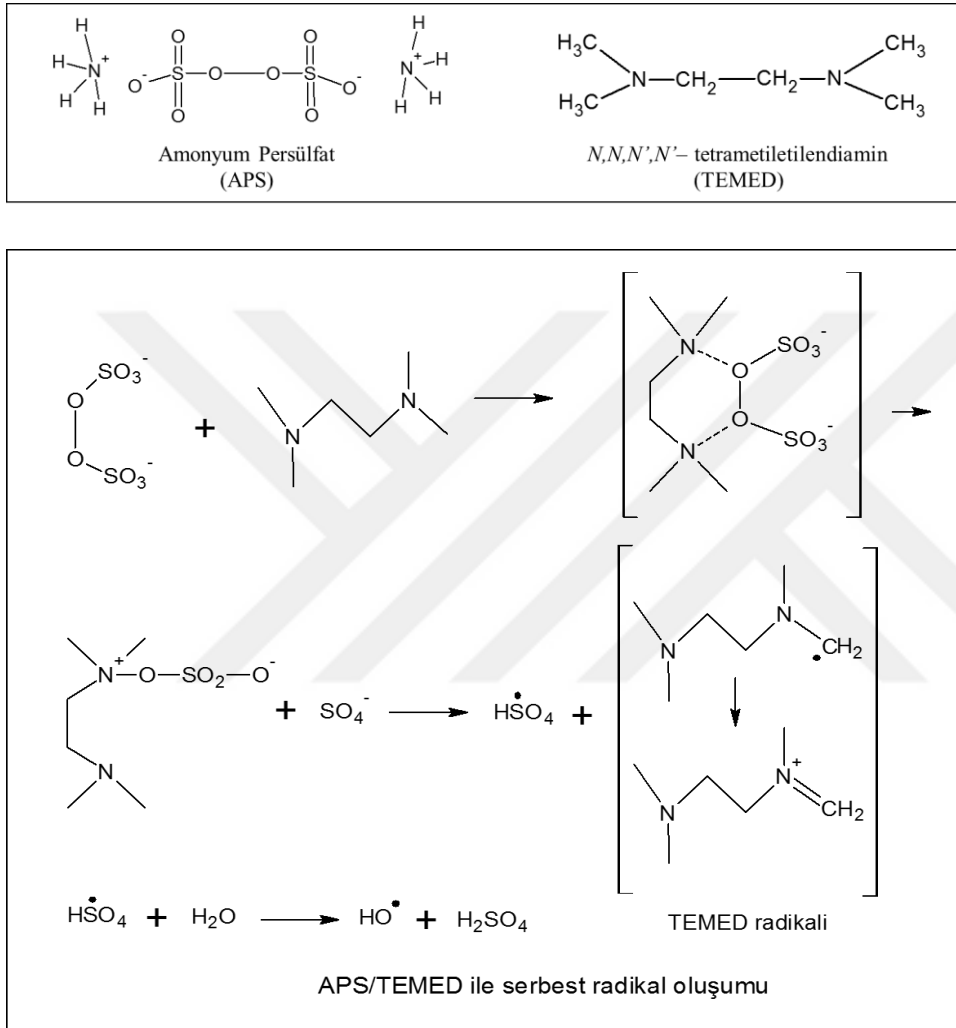
Şekil 4.1. AAm (Akrilamid) monomeri ve KSM (potasyum 3-sülfopropil metakrilat) yardımcı monomerinin kimyasal yapısı

Üretim sırasında çapraz bağlanmayı sağlamak amacıyla iki fonksiyonlu bir çapraz bağlayıcı olan PEGDA kullanılmış ve kimyasal çapraz bağlı hidrojeller elde edilmiştir. Kullanılan PEGDA'nın kimyasal yapısı ve çapraz bağlanmanın şematik gösterimi Şekil 4.2'de verilmiştir.

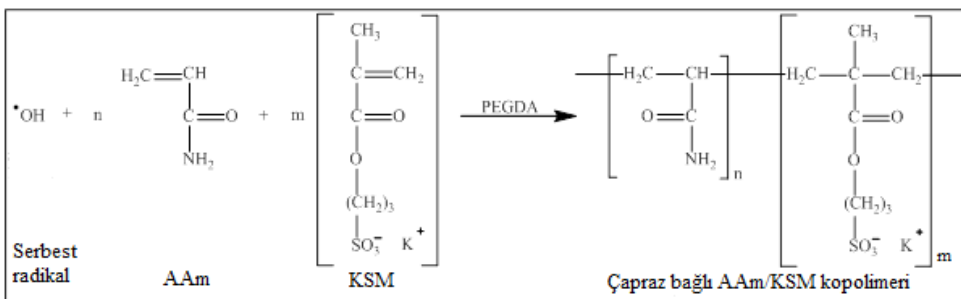


Şekil 4.2. Poli(etilen glikol) diakrilat'ın kimyasal yapısı ve bağlanma noktaları

Üretim için “başlatıcı” olarak amonyum persülfat (APS) ve “hızlandırıcı” olarak N,N,N',N' -tetrametiletildiamin (TEMED) kullanılmıştır.



Şekil 4.3. APS/TEMED ile serbest radikal oluşumunun şematik gösterimi

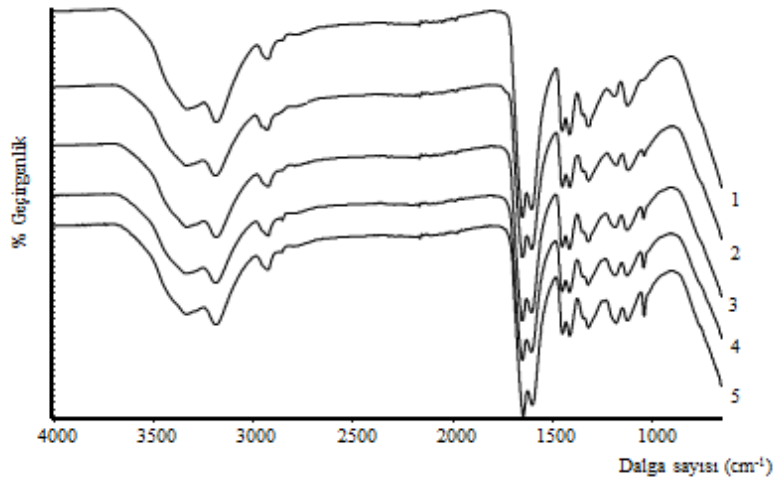


Şekil 4.4. Çapraz bağlı AAm/KSM kopolimerlerinin hazırlanması

Şekil 4.3 ve 4.4'te APS ile TEMED'in serbest radikal oluşum mekanizması ve oluşan serbest radikal ile AAm ve KSM'den çapraz bağlı AAm/KSM kopolimerlerinin elde edilmesi gösterilmiştir.

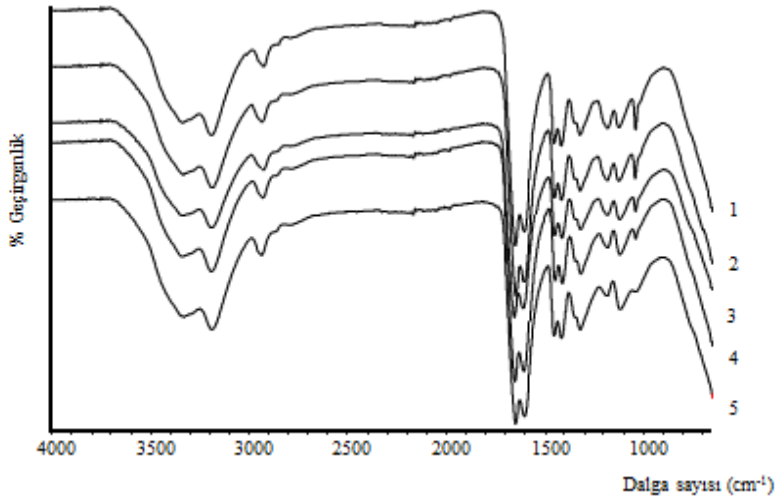
4.2. Spektroskopik Karakterizasyon

Hazırlanan hidrojellerin kimyasal yapısını aydınlatmak için spektroskopik incelemeler FT-IR spektrofotometresi ile yapılmıştır. Bu amaçla çapraz bağlı kopolimerlerin FT-IR spektrumları alınmıştır. 500-4000 cm^{-1} dalga sayısı aralığında alınan spektrumlar aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4.5. AAm/KSM hidrojellerinin FT-IR spektrumları

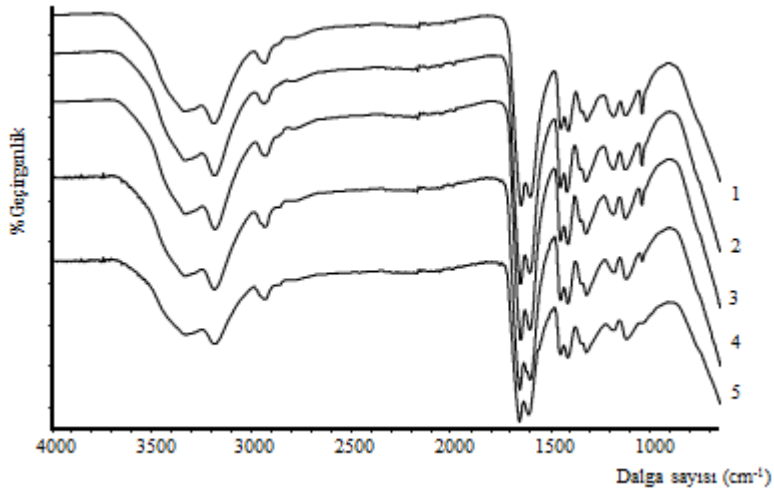
1) 0KSM 2) 20KSM 3) 40KSM 4) 60KSM 5) 80KSM



Şekil 4.6. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin FT-IR spektrumları

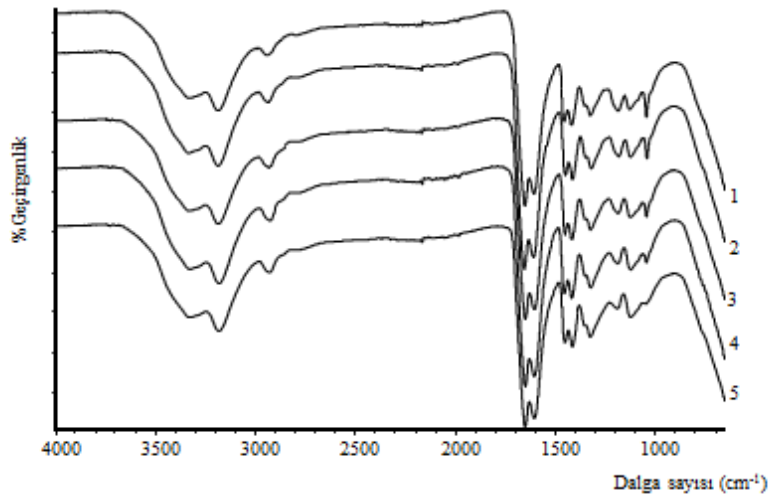
1) 0KSM/BENT 2) 20KSM/BENT 3) 40KSM/BENT

4) 60KSM/BENT 5) 80KSM/BENT



Şekil 4.7. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin FT-IR spektrumları

1) 0KSM/SAL 2) 20KSM/SAL 3) 40KSM/SAL 4) 60KSM/SAL 5) 80KSM/SAL



Şekil 4.8. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinin FT-IR spektrumları

- 1) 0KSM/BENT/SAL 2) 20KSM/BENT/SAL 3) 40KSM/BENT/SAL
4) 60KSM/BENT/SAL 5) 80KSM/BENT/SAL

Şekil 4.5 – 4.8’de sunulan spektrumlar incelendiğinde 3000–3600 cm^{-1} arasında görülen geniş band, AAm’e ait N-H gerilmelerini göstermektedir. Ayrıca 3000–3600 cm^{-1} arasında görülen band BENT ve SAL’ın yapısında bulunan O-H gerilmelerinin üst üste çakışması olarak da açıklanabilir. 2900 cm^{-1} civarında görülen pik C-H gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. KSM ve AAm’e ait karakteristik C=O gerilim bandı, 1600–1700 cm^{-1} aralığında görülmektedir. AAm’de bulunan $-\text{CONH}_2$ bandı 1600 cm^{-1} civarında gözlenmektedir. 1000–1300 cm^{-1} arasında gözlenen pikler alifatik C-N titreşimleri olabilir. KSM’de bulunan SO gruplarına ait bandlar 1040 cm^{-1} civarında gözlenmektedir (Skoog ve Leary, 1992).

Şekil 4.5 – 4.8’de sunulan spektrumlardan alınan bilgiler ışığında AAm’in, KSM’in, SAL’ın ve BENT’in polimerik sistemlerde yer aldığı söylenebilir.

4.3. Su/Sıvı Soğurum Karakterizasyonu

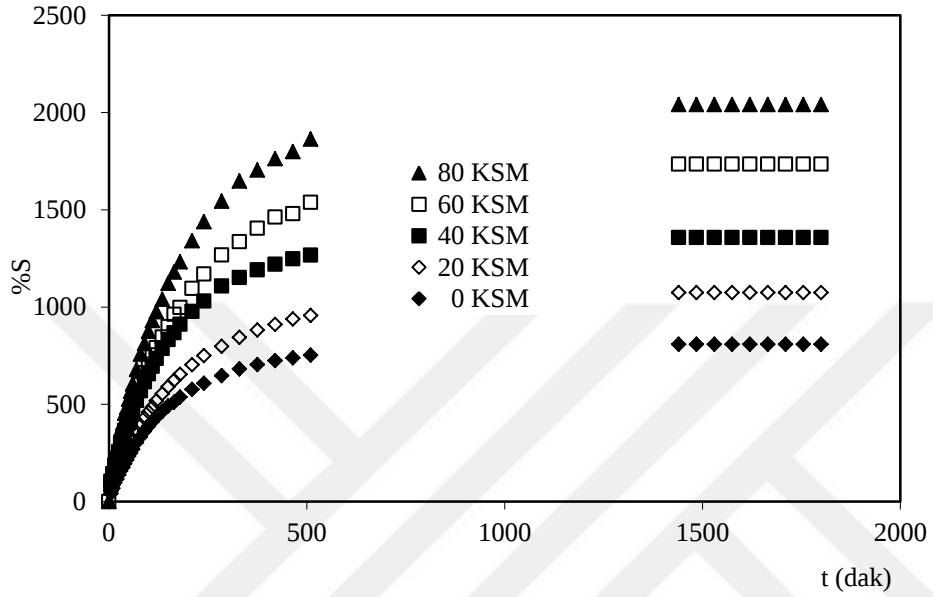
Çapraz bağlı polimerlerin karakterizasyonunda oldukça önemli olan su/sıvı soğurum davranışının ve difüzyon özelliklerinin incelenmesi için kimyasal çapraz bağlı hidrojellere sabit sıcaklıkta dinamik şişme testleri uygulanmıştır.

4.3.1. Dinamik Su/Sıvı Soğurum Çalışmaları

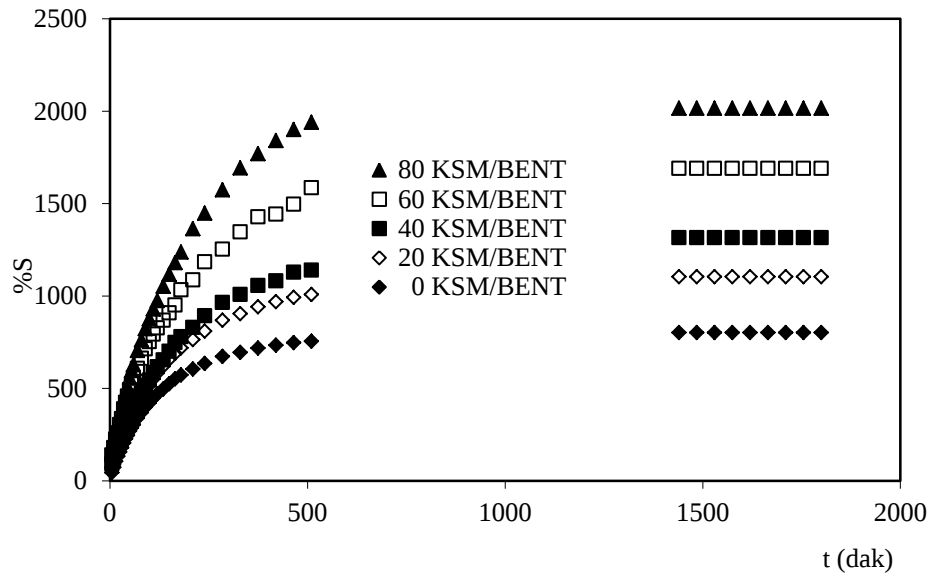
Çapraz bağlı polimerlerde su veya başka sıvıların ya da su/çözücü karışımlarının soğurum davranışının incelenmesi için kimyasal çapraz bağlı hidrojelere sabit sıcaklıkta dinamik şişme testleri uygulanmıştır. Bu amaçla kuru çapraz bağlı polimerik sistemler, duyar tartım yapan bir terazide tartılmıştır. Kuru polimerik örneğin damıtık suya ya da hacimce %60'lık ASE-su; MET-su ve THF-su gibi değişik su-çözücü karışımlarına konulma anı “0” olarak alınmıştır. Belirli süre aralıklarında sudan, ASE-su; MET-su ve THF-su gibi değişik su-çözücü karışımlarından alınan örneklerin yüzeyindeki su kurulandıktan sonra tartılmıştır.

4.3.1.1. Denge Su/Sıvı Soğurumu

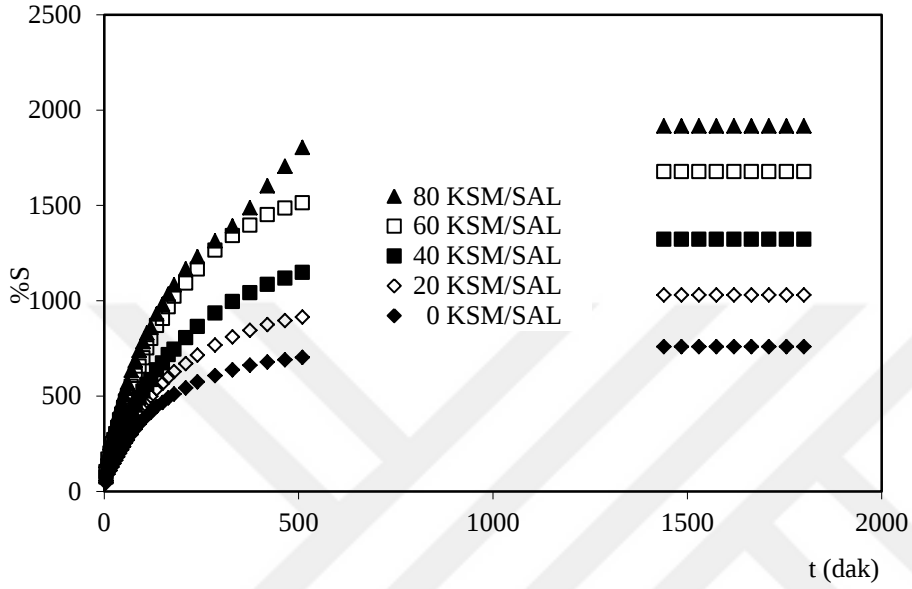
Dinamik su/sıvı soğurum testleri sonunda çapraz bağlı polimerler dengeye gelerek sabit su/sıvı soğurum (%S) değerine ulaşmışlardır. Bu değer “denge su/sıvı soğurum” değeri (%S_d) olarak adlandırılır ve elde edilen veriler yardımıyla %S–t grafikleri çizilerek su/sıvı soğurum izotermi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu izotermi sırası ile verilmiştir.



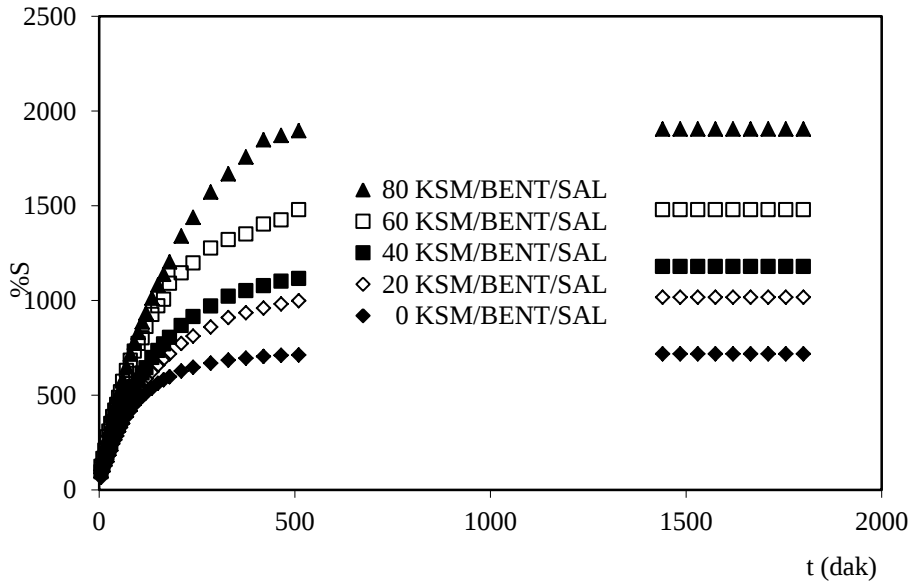
Şekil 4.9. AAm/KSM hidrojenlerinin su/sıvı soğurum izotermeleri



Şekil 4.10. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin su/sıvı soğurum izotermeleri



Şekil 4.11. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin su/sıvı soğurum izotermi

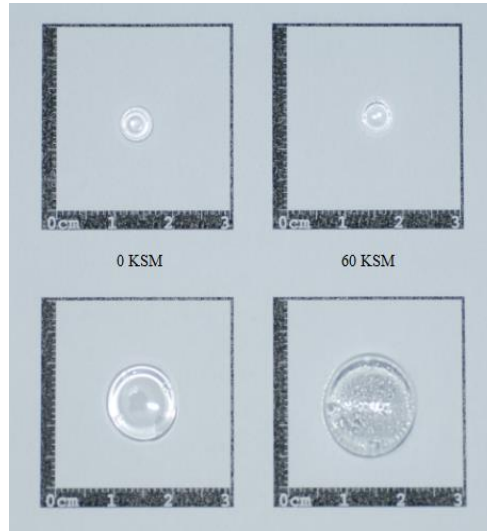


Şekil 4.12. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin su/sıvı soğurum izotermi

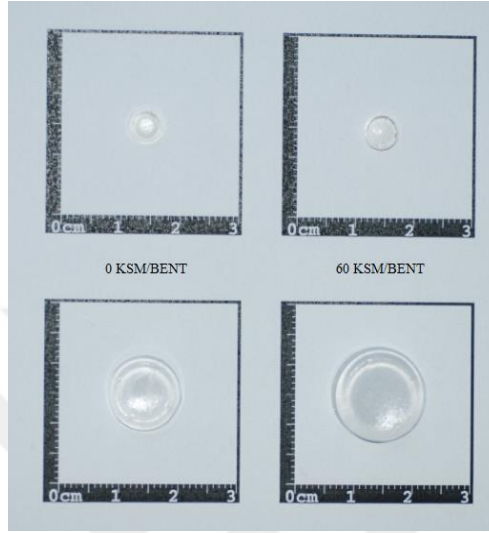
Çizelge 4.1. Hidrojel sistemlerin sudaki %S_d değerleri

KSM/mg	0	20	40	60	80
	Denge su/sıvı soğurum değerleri (%S _d)				
AAm/KSM	808	1074	1357	1735	2040
AAm/KSM/BENT	802	1104	1315	1690	2015
AAm/KSM/SAL	759	1030	1322	1667	1916
AAm/KSM/BENT/SAL	718	1017	1179	1479	1905

Suda bekletilen hidrojellerin fiziksel olarak nasıl etkilendiğini görsel olarak sunabilmek amacı ile çapraz bağlı hidrojellerin kuru ve suda şişmiş hallerinin fotoğrafları aşağıda verilmiştir.



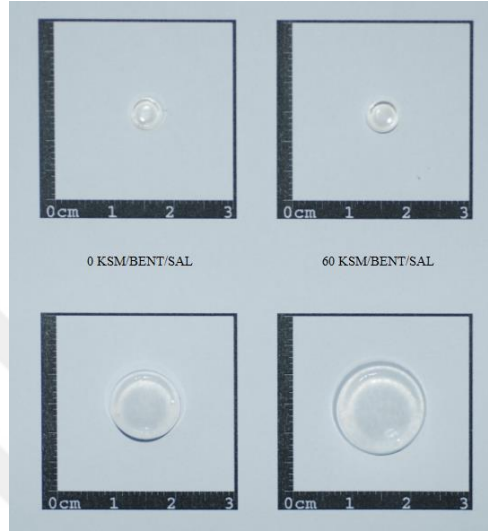
Şekil 4.13. AAm/KSM hidrojellerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri



Şekil 4.14. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri



Şekil 4.15. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri



Şekil 4.16. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri



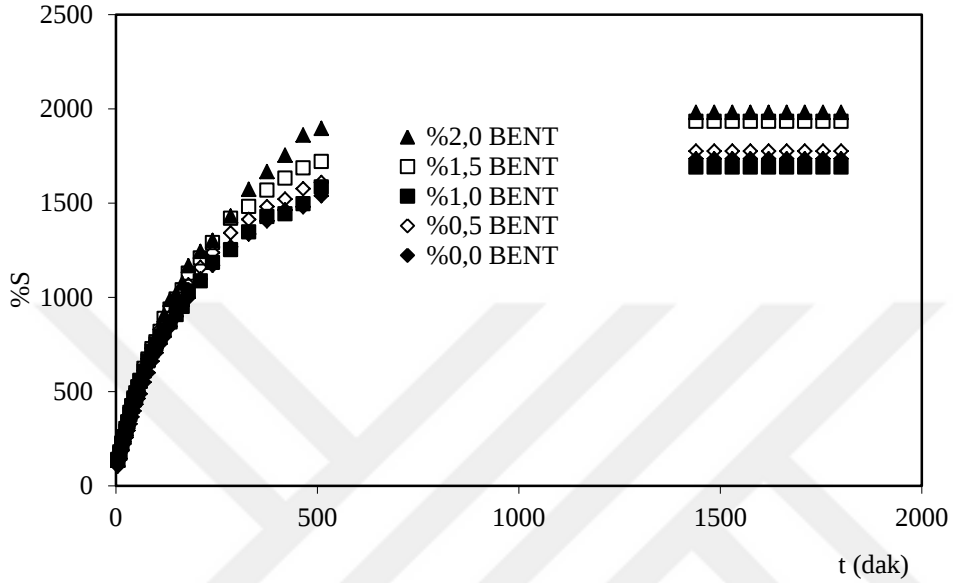
Şekil 4.17. AAm/KSM hidrojenlerinin ve AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri



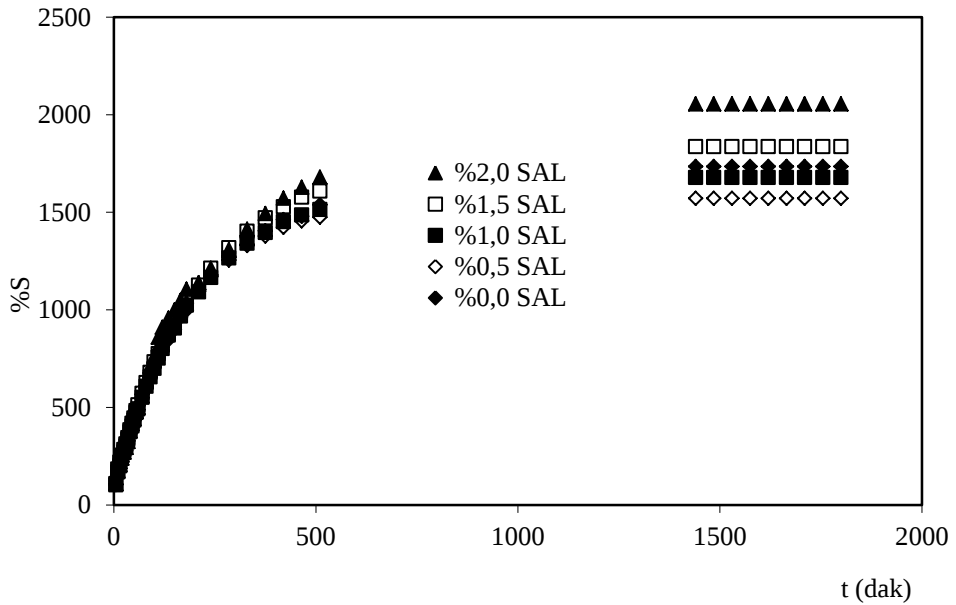
Şekil 4.18. AAm/KSM hidrojenlerinin ve AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri



Şekil 4.19. AAm/KSM hidrojenlerinin ve AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri



Şekil 4.20. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin su/sıvı soğurum izotermi



Şekil 4.21. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin su/sıvı soğurum izotermi

Çizelge 4.2. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde %S_d değerleri

% 2,0'lik BENT-su/sıvı süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	Denge su/sıvı soğurum değerleri (%S _d)				
BENT	1735	1775	1690	1934	1980
SAL	1735	1571	1677	1836	2055

Çizelge 4.1. incelendiğinde, kopolimerdeki KSM miktarının artışı ile %S_d değerlerinde de önemli artışlar olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi, KSM molekülünde bulunan hidrofilik grupların artması ile doğru orantılı olarak %S_d değerleri de artmaktadır. Sabit BENT ve SAL eklenmesi ile üretilen hidrojellerin KSM artışına bağlı olarak %S_d değerleri de artmaktadır. BENT içeren hibrit hidrojeller incelendiğinde içermeyenlere oranlara çok daha düşük su soğurum gözlenmiştir. Nedeni BENT'in çapraz bağlı örgü içerisinde yer almasından dolayı fiziksel olarak su soğurumunu nicel olarak etkilemiş olması olabilir. SAL içermeyen hidrojellerinin tümünde, SAL içeren semi-IPN hidrojel yapılara oranla daha yüksek su soğurum gözlenmiştir. Bunun nedeni, hidrojellerin ağ yapısı içerisinde bulunan SAL moleküllerinin, kullanılabilir serbest hacmi azaltması ve bu nedenle su soğurum değerlerinin azalması olabilir.

Çizelge 4.2 incelendiğinde, 60 mg KSM içeren hidrojellerde BENT miktarının ve SAL miktarının artması ile %S_d değerlerinde yine artma görülmektedir. Diğer yandan SAL eklenmesi ile elde edilen %S_d değeri, BENT'e oranla düşüktür. Bunun nedeni, SAL eklenmesi ile suyun difüzlenebileceği boşlukların azalması söz konusu olabilir.

Suda bekletilen 60 mg KSM içeren farklı BENT ve SAL içeriklerine sahip hidrojellerin fiziksel olarak nasıl etkilendiğini görsel olarak sunabilmek amacı ile çapraz bağlı hidrojellerin kuru ve suda şişmiş hallerinin fotoğrafları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.22. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri

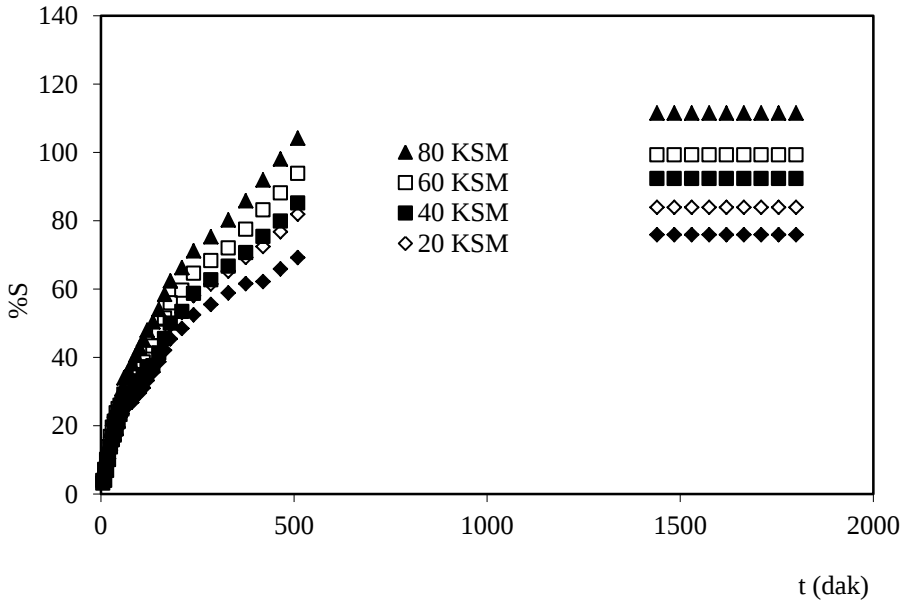


Şekil 4.23. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin kuru ve suda şişmiş görünümleri

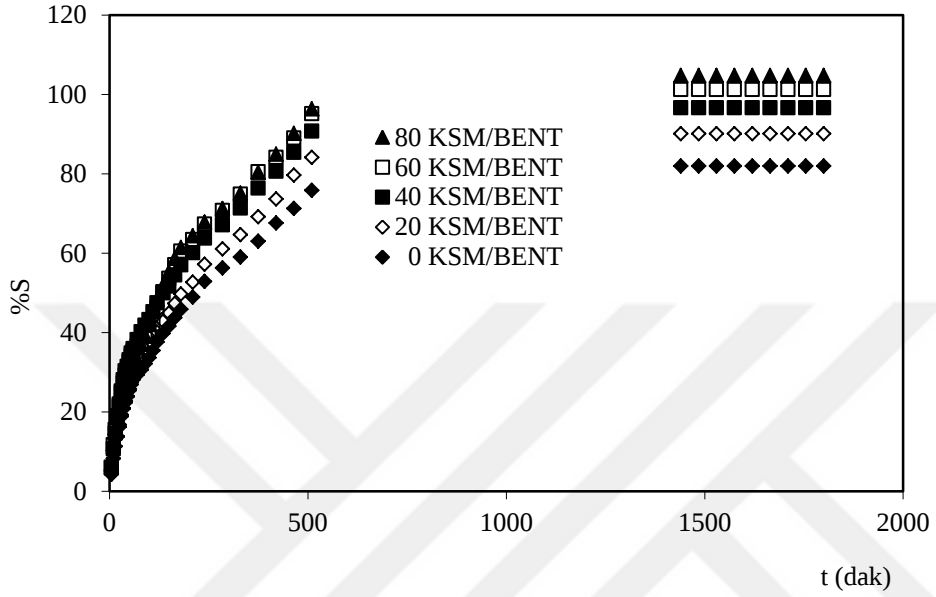
Farklı Su-Çözücü Karışımlarında Sıvı Soğurum Çalışmaları

Değişik amaçlarla hazırlanmış hidrojel sistemlerin farklı çözücülerde şişme davranışlarının bilinmesi, hidrojellerin kullanım alanlarını belirleyecek önemli kriterlerdendir. Çözünenin bir çözültiden geri kazanımı, denetimli ilaç salım sistemlerindeki uygulamalar, çevre duyarlı membran/yarı geçirgen zarların hazırlanması ve farklı ortamlardaki davranışlarının bilinmesi, hidrojellerin faz dönüşüm uygulamalarında hacim ve diğer bazı fiziksel özelliklerin izlenmesi, ve benzer uygulamalarda hidrojellerin farklı karakterdeki çözücülerdeki davranışlarının bilinmesi çok önemlidir. Bu çalışmada kullanılan çözücüler; aseton (ASE), metanol (MET) ve tetrahidrofuran (THF)'dur. Bu çalışmada elde edilen hidrojel sistemlerin değişik çözücülerdeki sıvı soğurum özelliklerini denetlemek ve incelemek amacı ile hacimce %60'lık ASE-su, %60'lık MET-su ve %60'lık THF-su karışımları hazırlanmıştır.

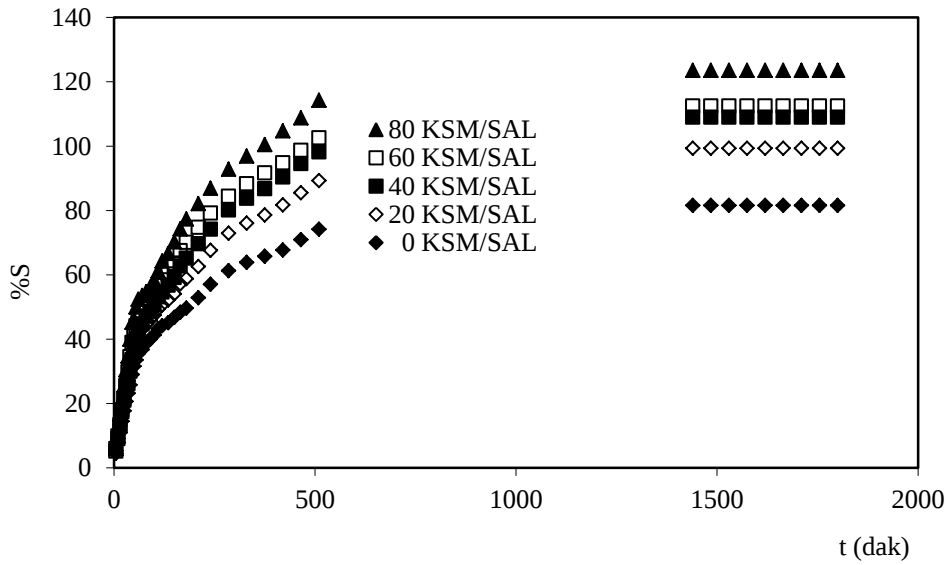
ASE-Su'da Sıvı Soğurum Çalışmaları



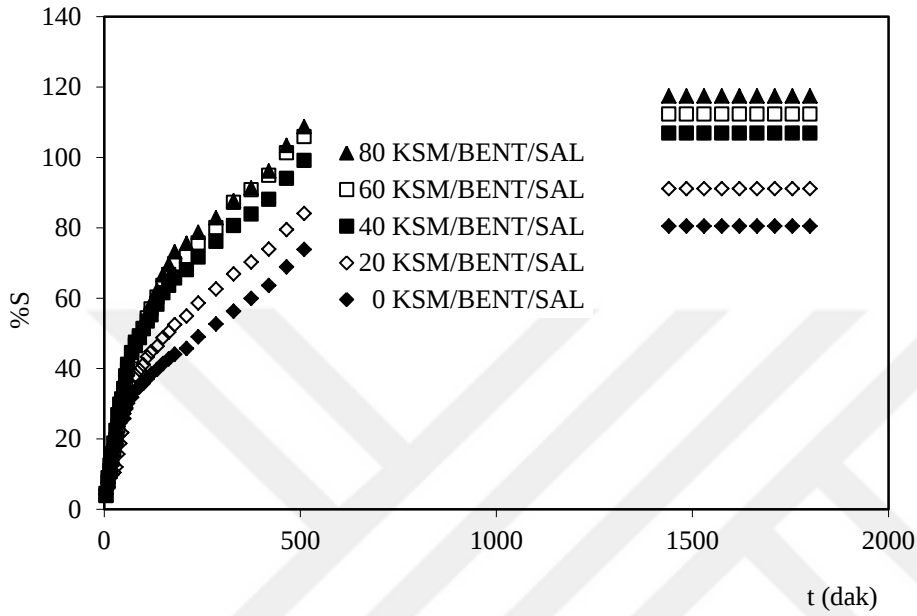
Şekil 4.24.AAm/KSM hidrojellerinin ASE-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi



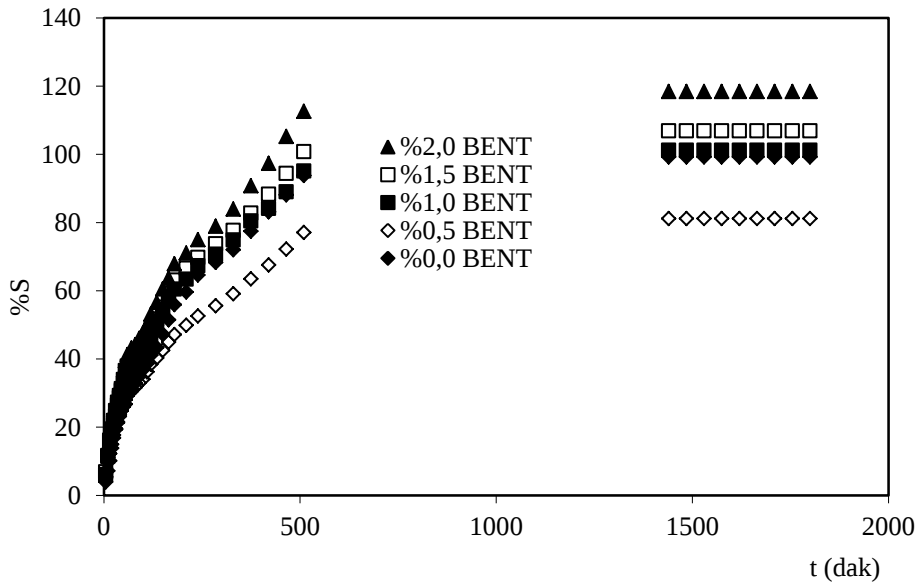
Şekil 4.25. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin ASE-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi



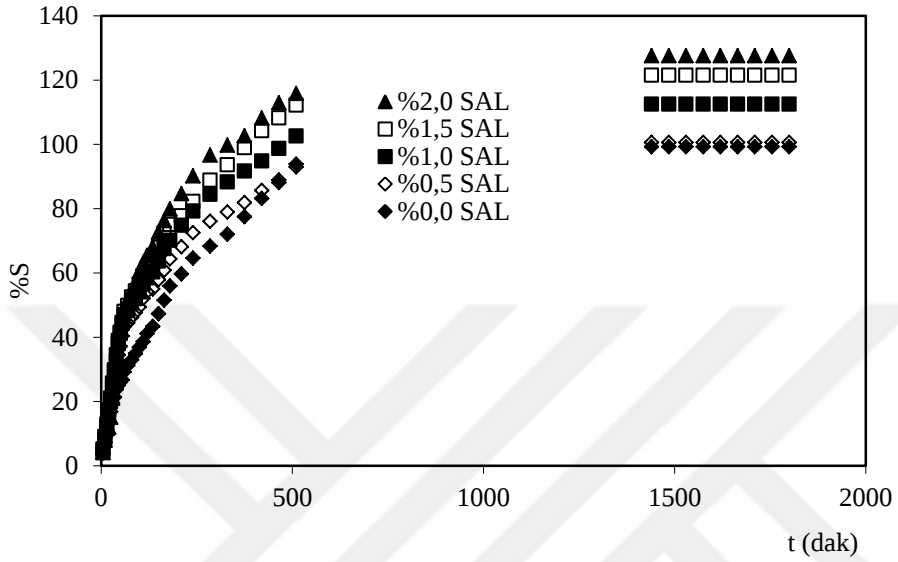
Şekil 4.26. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin ASE-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi



Şekil 4.27. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin ASE-su'nda dinamik sıvı soğurum izotermi

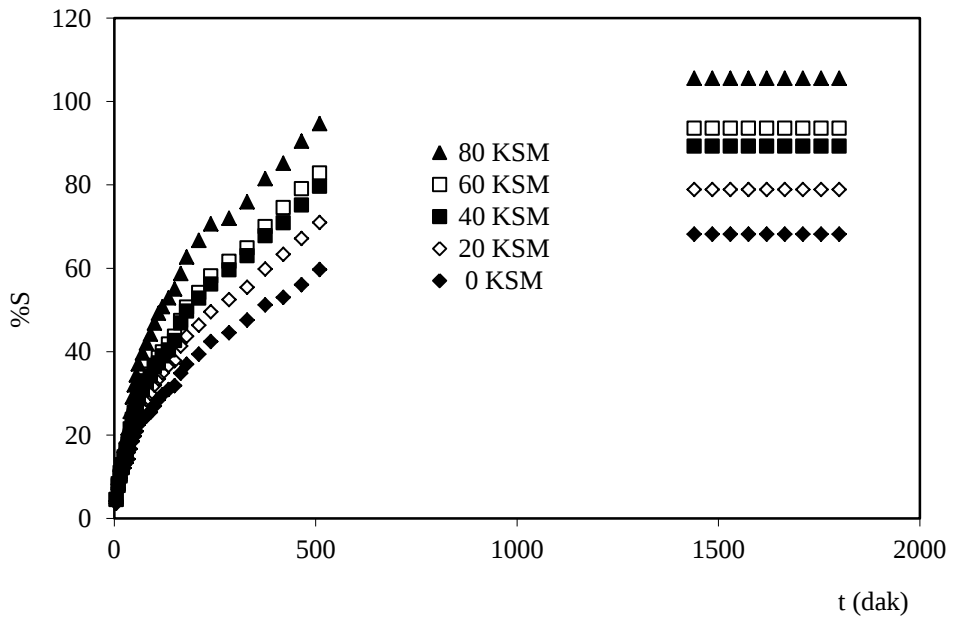


Şekil 4.28. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin ASE-su'nda dinamik sıvı soğurum izotermi

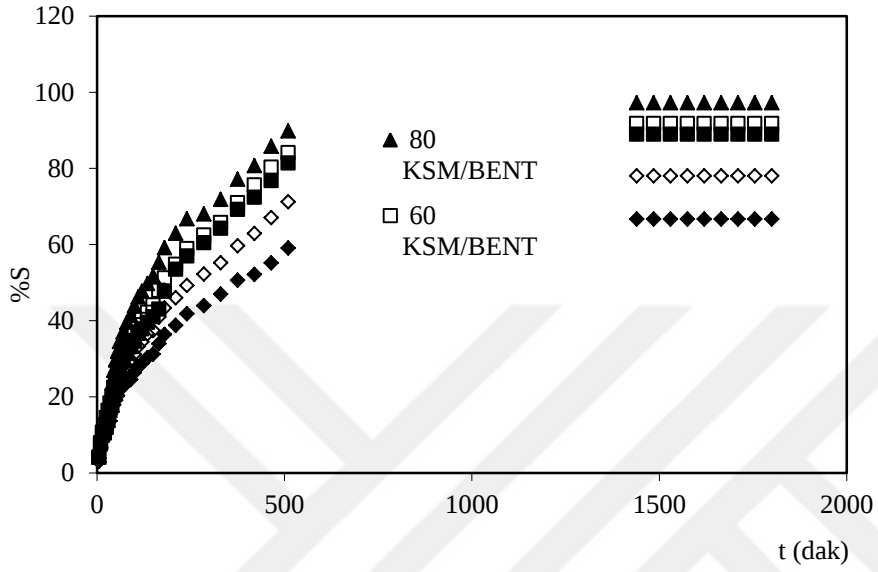


Şekil 4.29. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin ASE-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi

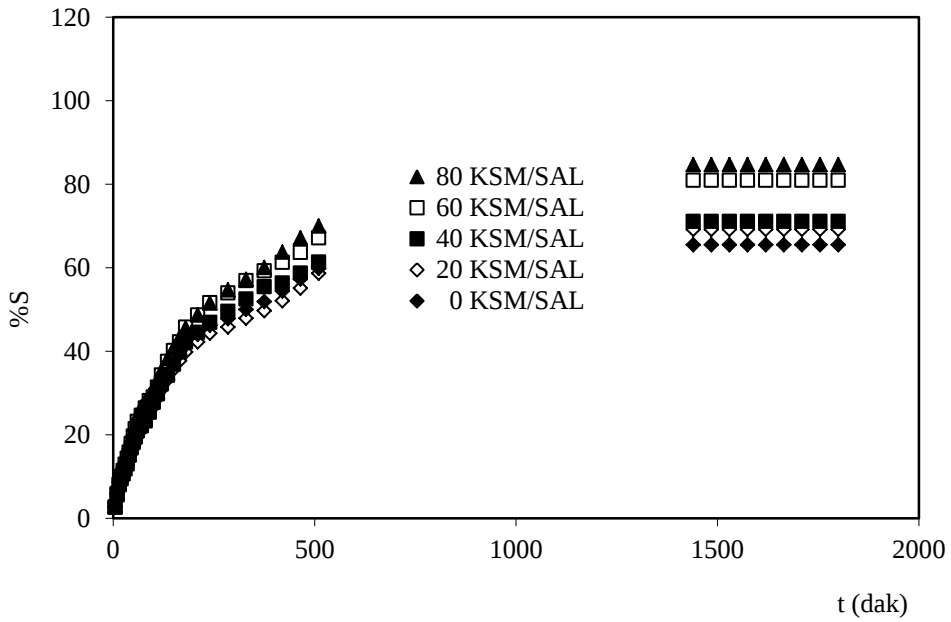
MET-Su'da Sıvı Soğurum Çalışmaları



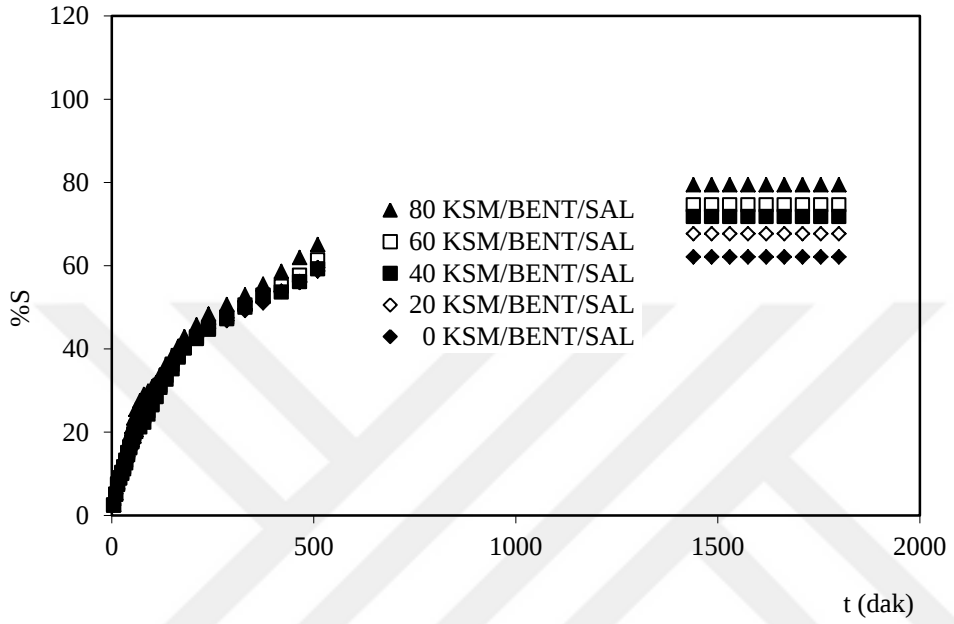
Şekil 4.30. AAm/KSM hidrojellerinin MET-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi



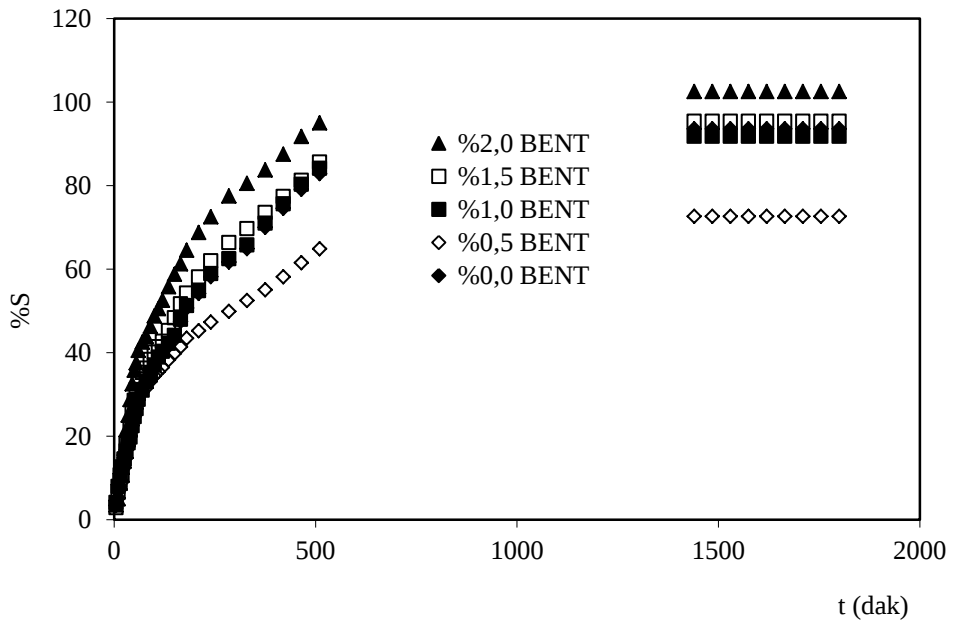
Şekil 4.31. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin MET-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi



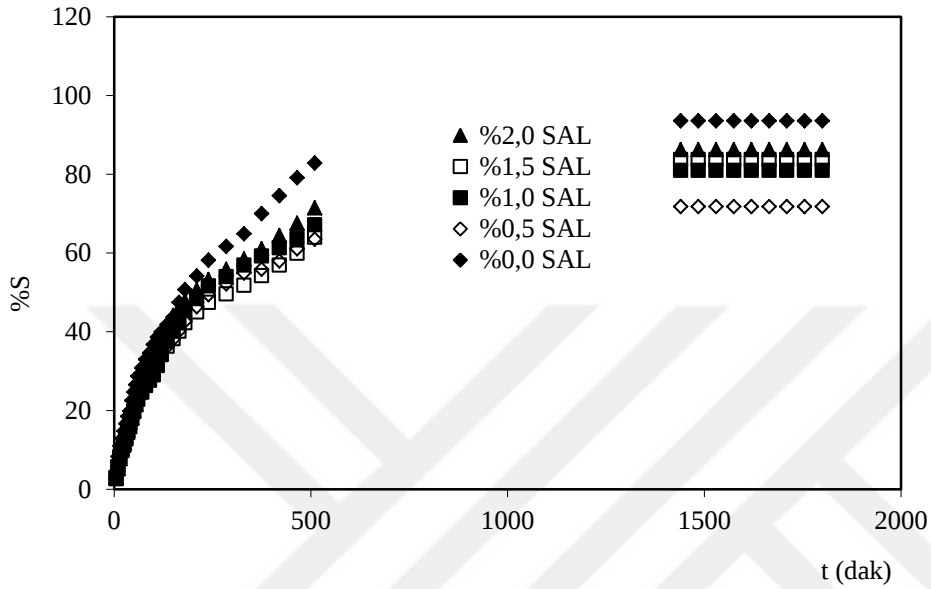
Şekil 4.32. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin MET-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi



Şekil 4.33. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojjlerinin MET-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi

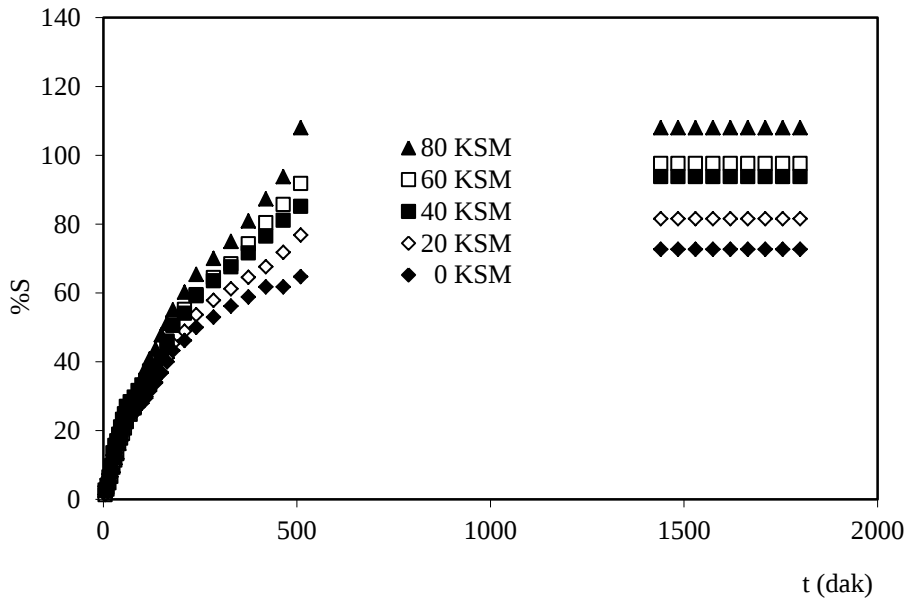


Şekil 4.34. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojjlerinin MET-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi

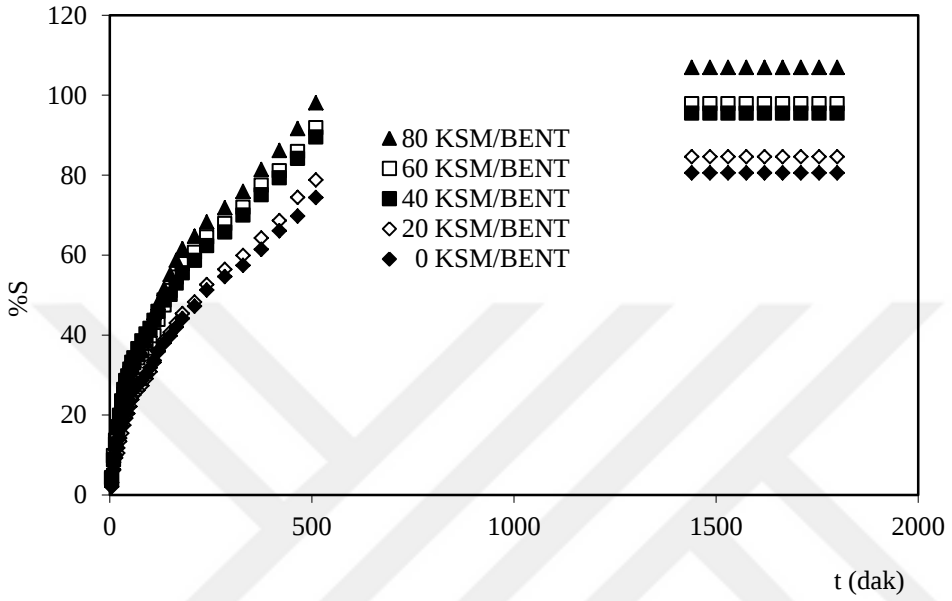


Şekil 4.35. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin MET-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi

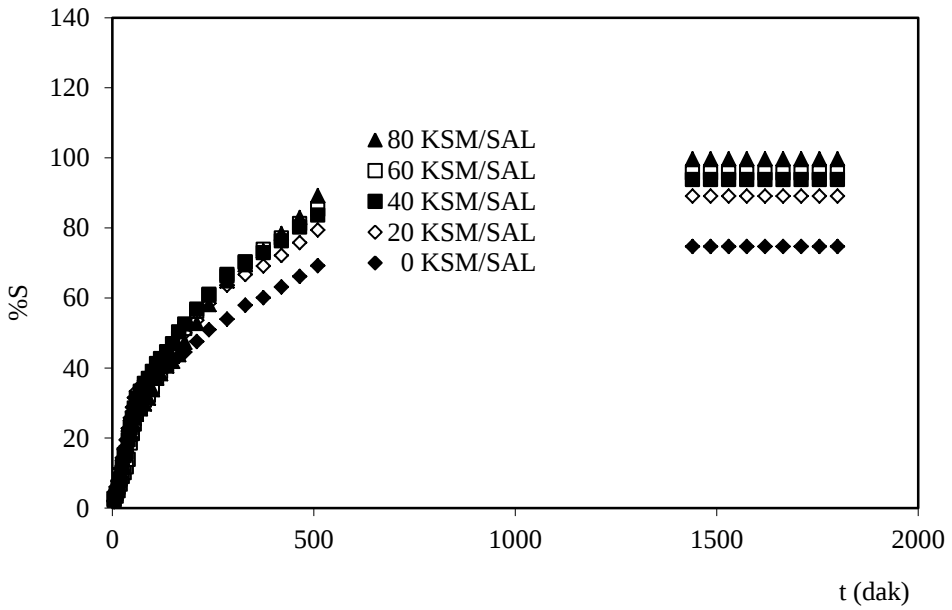
THF-Su'da Sıvı Soğurum Çalışmaları



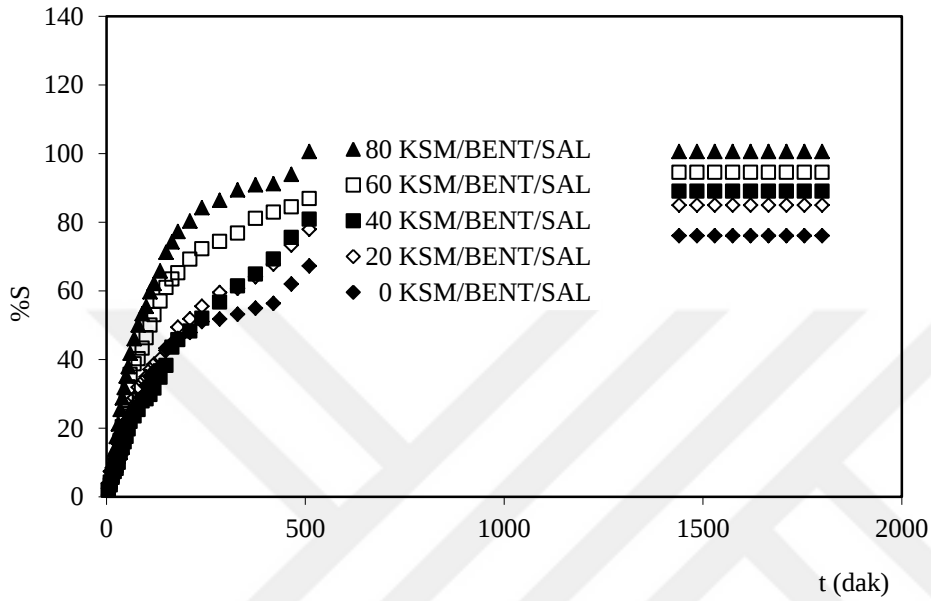
Şekil 4.36. AAm/KSM hidrojellerinin THF-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi



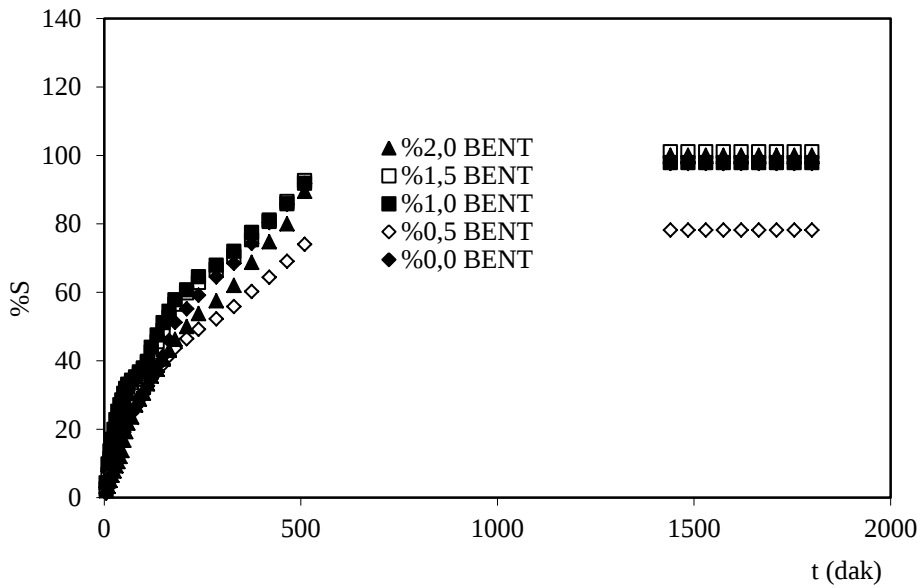
Şekil 4.37. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin THF-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi



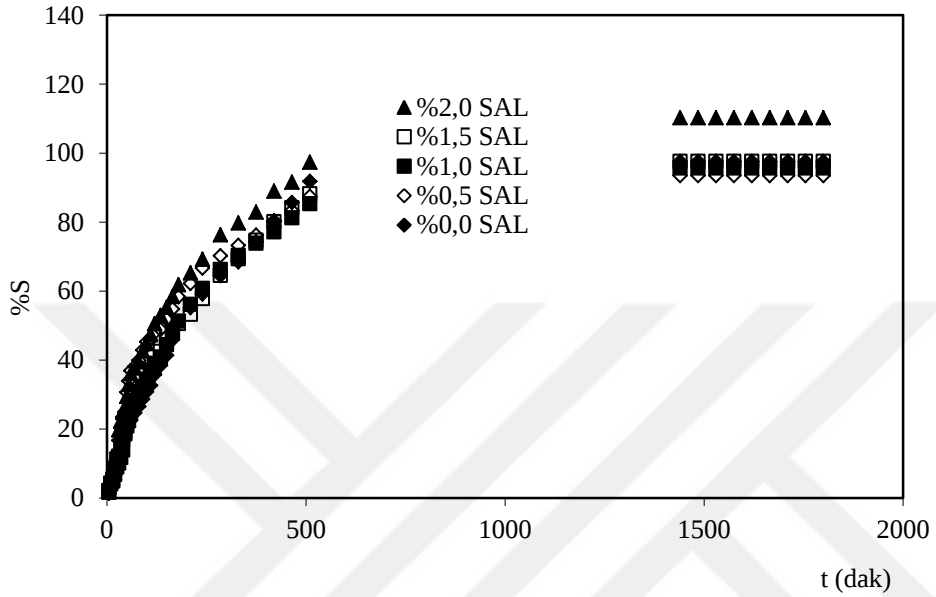
Şekil 4.38. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin THF-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi



Şekil 4.39. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinin THF-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi



Şekil 4.40. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin THF-su'da dinamik sıvı soğurum izotermi



Şekil 4.41. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin THF-su’da dinamik sıvı soğurum izotermi

Çizelge 4.3. Hidrojel sistemlerin ASE-su; MET-su ve THF-su’deki %S_d değerleri

KSM/mg	0	20	40	60	80
	Denge sıvı soğurum değerleri (%S _d)				
	ASE-su				
AAm/KSM	76	84	92	99	111
AAm/KSM/BENT	82	90	97	101	105
AAm/KSM/SAL	82	99	109	112	124
AAm/KSM/BENT/SAL	80	91	107	112	117
	MET-su				
AAm/KSM	68	79	89	94	106
AAm/KSM/BENT	67	78	89	92	97
AAm/KSM/SAL	66	69	71	81	85
AAm/KSM/BENT/SAL	62	68	72	75	79
	THF-su				
AAm/KSM	73	82	94	98	108
AAm/KSM/BENT	81	85	95	98	107
AAm/KSM/SAL	75	89	94	96	100
AAm/KSM/BENT/SAL	76	85	89	95	101

Çizelge 4.4. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerin ASE-su; MET-su ve THF-su'daki %S_d değerleri

% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	Denge sıvı soğurum değerleri (%S _d)				
	ASE-su				
BENT	99	81	101	107	118
SAL	99	101	112	121	128
	MET-su				
BENT	94	73	92	95	103
SAL	94	72	81	84	86
	THF-su				
BENT	98	78	98	101	100
SAL	98	93	96	98	110

Farklı çözücü-su karışımlarında yapılan sıvı soğurum çalışmalarında elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3.'te sunulmuştur. Bu sonuçlar KSM değişimi açısından, Çizelge 4.1.'de elde edilen sonuçlara paralellik göstermektedir. Çizelge 4.3. incelendiğinde, kopolimerdeki KSM miktarının artışı ile %S_d değerlerinde de önemli artışlar olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi, KSM molekülünde bulunan hidrofilik grupların artması ile doğru orantılı olarak %S_d değerleri de artmaktadır. Benzer sonuçlar örneklere BENT ve SAL eklenmesi ile üretilen hidrojellerin KSM artışına bağlı olarak %S_d değerlerinde de görülmektedir.

Farklı çözücü-su karışımlarında yapılan sıvı soğurum çalışmalarında elde edilen sonuçları, suda; ASE-su'da; MET-su'da ve THF-su'da yapılan şişme çalışmaları ile karşılaştırdığımızda, %S_d değerlerinde; %808-2040 arası değişen değerlerden, %77-117 arası değişen değerlere düşüşler izlenir. Bunun nedeni; şişme ortamında bulunan “ana” hidrofilik kaynak olan suyun, önceki şişme çalışmalarına oranla, % 60 kadar azalmasıdır. Böylece hidrojel yapılar ile hidrojen bağı yaparak çapraz bağlı sistemlerin içinde yer alan zincirleri birbirinden ayıracak bağ yapıcı karakterin “hacimce” azalmasıdır.

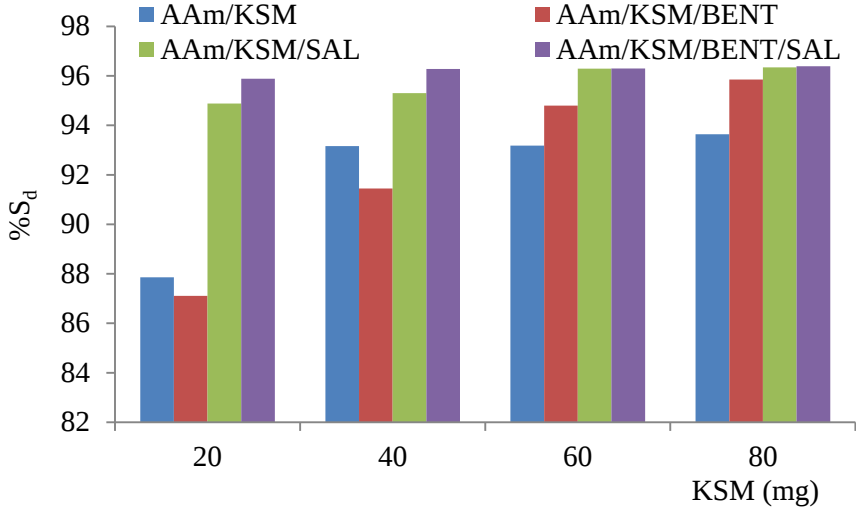
Çizelge 4.4 incelendiğinde, 60 mg KSM içeren hidrojellerde BENT miktarının artması ile %S_d değerlerinde artma görülmektedir. Bunun nedeni, BENT içeren hibrit hidrojellerde BENT moleküllerinin suyun hidrofilik gruplarla etkileşmesi ile suyun difüzlenebileceği boşlukların azalması şeklinde açıklanabilir. Aynı şekilde 60 mg KSM içeren hidrojellerde SAL miktarının artması ile %S_d değerlerinde artma görülmektedir. Bunun nedeni, SAL içeren semi-IPN hidrojellerde SAL moleküllerinin suyun hidrofilik gruplarla etkileşmesidir.

4.3.2. Su Soğurumuna Yardımcı Monomer (KSM) Etkisi

Bu çalışmada üretilen AAm/KSM, AAm/KSM/BENT, AAm/KSM/SAL ve AAm/KSM/BENT/SAL hidrojellerinde yer olan yardımcı monomer KSM, üzerinde su sever gruplar taşımaktadır (Şekil 4.1). Üretimde 1,0 g AAm ile birlikte sırası ile 0; 20; 40; 60 ve 80 mg KSM kullanılmıştır. KSM hidrofilik yapıda ve su sever gruplar taşıyan bir moleküldür.

Çizelge 4.1 incelendiğinde KSM içermeyen AAm hidrojelleri %808 gibi su soğurum değeri gösterirken 20-80 mg KSM içeren hidrojellerin su soğurum değerleri %1074-2040 arasında değişmiştir. Bu beklenen bir sonuç olmuştur. Benzer şekilde BENT ve SAL içeren hidrojellerde şişme, KSM artışına bağlı olarak artış göstermiştir.

Genel olarak bu çalışmada elde edilen polimerik örneklerin su soğurum değerlerine KSM, BENT ve SAL etkisinin beraber değerlendirilebilmesi için Şekil 4.42 oluşturulmuştur. Şekil 4.42’de, sentezde yer alan KSM, BENT ve doğal bir polimer olan SAL’ın şişmeye olan etkisi aynı anda değerlendirilebilmiştir.



Şekil 4.42. Çalışmada üretilen hidrojel sistemlerde %S_d değerlerinin KSM içeriği ile değişimi

4.3.3. Dengede Su/Sıvı Kapasitesi (DSK)

Çapraz bağlı polimerler çözücü ortamına bırakıldıktan belirli bir süre sonra, çözücünün yapıya girme ve yapıdan salınma hızları eşit hale gelir ve dengeye ulaşılır. Bu noktada hidrojel en büyük su soğurum değerine sahiptir. Dengede su/sıvı kapasitesi (DSK) bu durumdaki hidrojeller için hesaplanan ve biyoyumluluk için oldukça önemli olan bir parametredir. Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanan DSK değerleri Çizelge 4.5-4.6'da verilmiştir. Hidrojeller için DSK değerlerinin 0,60'dan büyük olması, bu yapıların, potansiyel biyoyumluluğunun bir göstergesidir.

Çizelge 4.5. Çalışmada üretilen hidrojel sistemlerde DSK değerlerinin değişimi

KSM/mg	0	20	40	60	80
	Dengede su/sıvı kapasitesi (DSK)				
AAm/KSM	0,8899	0,9148	0,9314	0,9455	0,9533
AAm/KSM/BENT	0,8891	0,9169	0,9293	0,9441	0,9527
AAm/KSM/SAL	0,8835	0,9115	0,9297	0,9437	0,9504
AAm/KSM/BENT/SAL	0,8778	0,9105	0,9218	0,9367	0,9501

Çizelge 4.6. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde DSK değerleri

% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	Dengede su/sıvı kapasitesi (DSK)				
BENT	0,9455	0,9466	0,9441	0,9508	0,9519
SAL	0,9455	0,9402	0,9437	0,9483	0,9536

4.3.3.1. Farklı Çözücü-su karışımlarında DSK değişimi

Çizelge 4.7. Çalışmada üretilen hidrojel sistemlerde DSK değerleri

KSM/mg	0	20	40	60	80
	Dengede sıvı kapasitesi (DSK)				
	ASE-su				
AAm/KSM	0,4315	0,4563	0,4801	0,4981	0,5272
AAm/KSM/BENT	0,4504	0,4740	0,4914	0,5030	0,5112
AAm/KSM/SAL	0,4494	0,4984	0,5216	0,5293	0,5227
AAm/KSM/BENT/SAL	0,4459	0,4767	0,5166	0,5290	0,5401
	MET-su				
AAm/KSM	0,4054	0,4410	0,4716	0,4834	0,5135
AAm/KSM/BENT	0,4000	0,4591	0,4708	0,4786	0,4930
AAm/KSM/SAL	0,3958	0,4088	0,4155	0,4490	0,4570
AAm/KSM/BENT/SAL	0,3830	0,4036	0,4179	0,4273	0,4427
	THF-su				
AAm/KSM	0,4208	0,4492	0,4840	0,4940	0,5193
AAm/KSM/BENT	0,4461	0,4583	0,4884	0,4945	0,5167
AAm/KSM/SAL	0,4276	0,4712	0,5044	0,4889	0,4993
AAm/KSM/BENT/SAL	0,4320	0,4677	0,4710	0,4859	0,5015

Çizelge 4.8. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde DSK değerleri

% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	Dengede sıvı kapasitesi (DSK)				
	ASE-su				
BENT	0,4981	0,4481	0,5030	0,5167	0,5422
SAL	0,4981	0,5015	0,5293	0,5485	0,5606
	MET-su				
BENT	0,4834	0,4207	0,4786	0,4818	0,5062
SAL	0,4834	0,4179	0,4490	0,4558	0,4630
	THF-su				
BENT	0,4940	0,4208	0,4945	0,5025	0,5000
SAL	0,4940	0,4831	0,4889	0,4939	0,5244

Çizelge 4.7. incelendiğinde, hidrojel içeriğindeki KSM miktarının artmasıyla DSK değerleri artış göstermektedir. BENT ve SAL içeren hidrojellerin DSK değerlerinin, BENT ve SAL içermeyenlere göre oranla daha düşük olduğu gözlenmektedir. Yüksek KSM içeriklerine ulaşıldığında DSK değerlerinde önemli bir artış olmadığı izlenmektedir.

Çizelge 4.8. incelendiğinde, hidrojel içeriğindeki BENT ve SAL miktarının artmasıyla genellikle DSK değerleri artış göstermektedir. Ayrıca 60 mg KSM içeren hidrojellerde BENT ve SAL değişimi için elde edilen DSK değerleri de %S_a değerleri ile uyumlu bir şekilde, eklenen BENT ve SAL miktarı ile arttığı izlenmiştir.

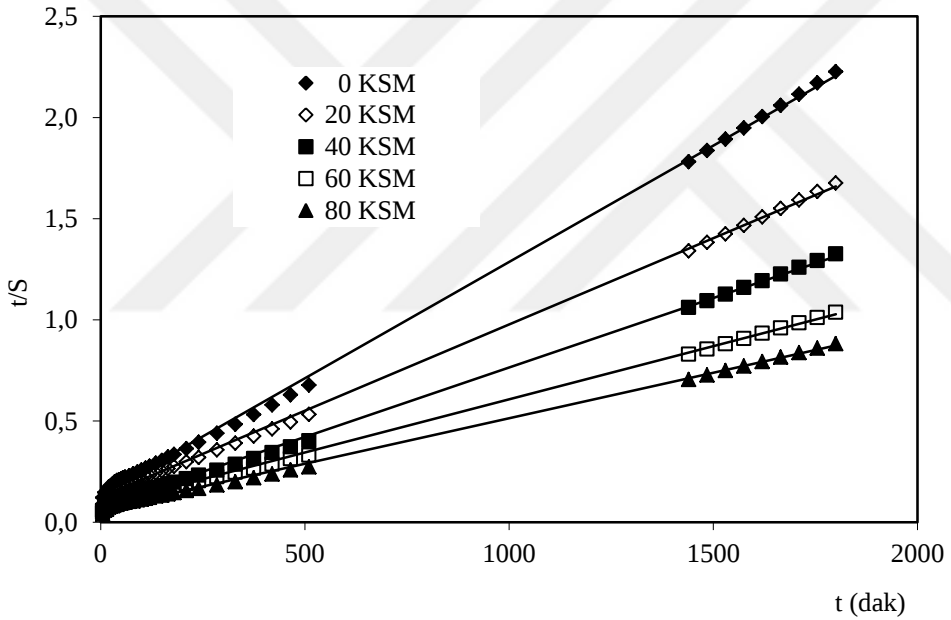
4.3.4. Hidrojel Sistemlerde Su Soğurum Kinetiği

Dinamik su soğurum testleri sonucu oluşturulan su soğurum kinetiği eğrileri ikinci dereceden varsayılır. Eşitlik 3'de verilen bağıntı değerlendirilerek elde edilen Eşitlik 4 kullanılarak şişme kinetiğinin matematiksel analizi yapılabilir. Bu bağıntı ile bulunan sonuçlar değerlendirilerek çapraz bağlı polimerler için su soğurum karakterizasyonunun temelleri daha iyi ortaya konabilir.

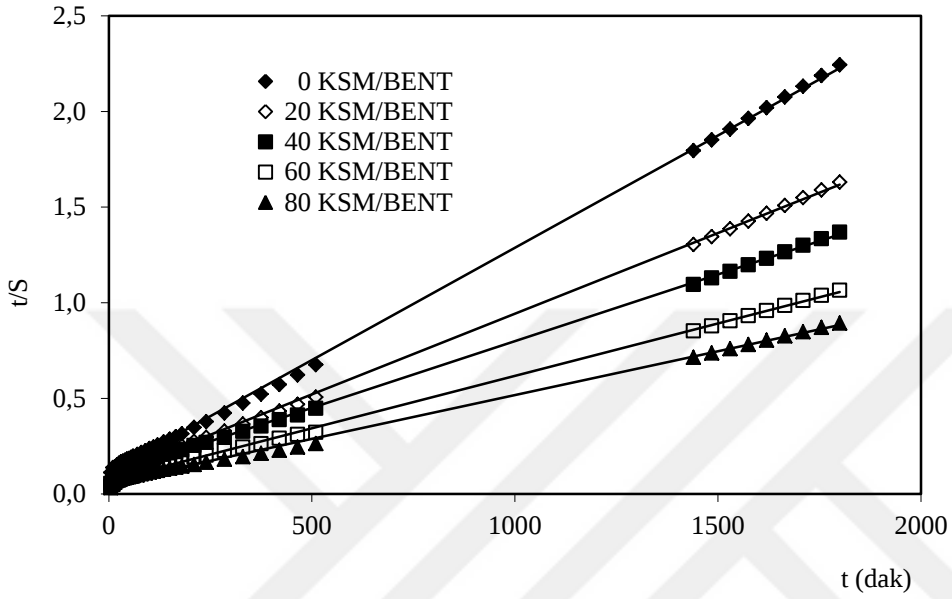
Hazırlanan çapraz bağlı polimerlerin sudaki su soğurum hızını belirleyen su soğurum hız sabiti k_s , başlangıç su soğurum hızı r_0 ve teorik denge su soğurum

değeri $\%S_{\text{mak}}$ Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanmış ve çizelgelerde sunulmuştur. Bu değerlerin hesaplanabilmesi için aşağıda sunulan t/S - t grafikleri çizilerek elde edilen doğruların eğimleri ve kesim noktaları kullanılmıştır.

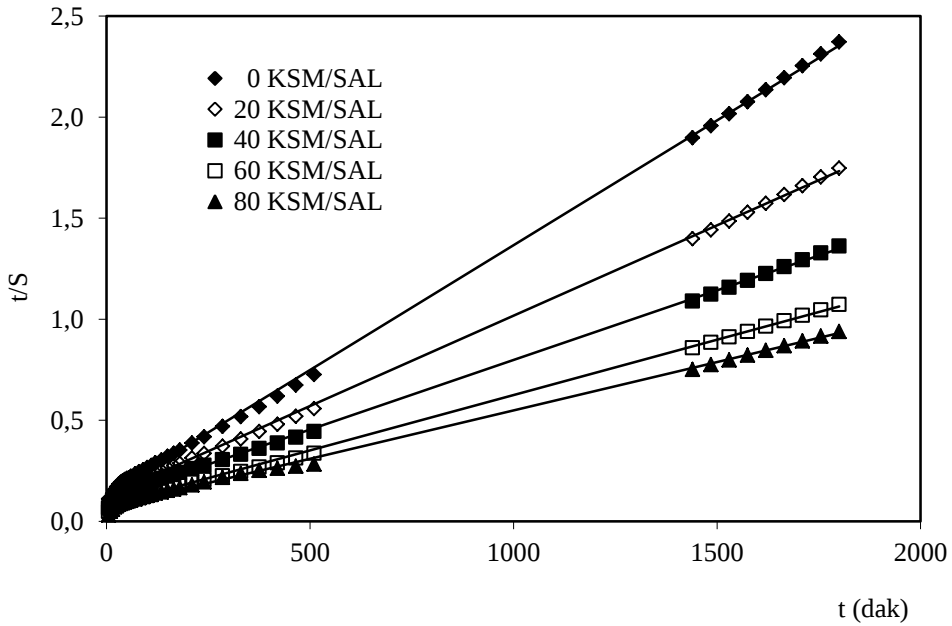
İlgili doğruların eğimlerinden Eşitlik 4’de verilen B ve doğruların kesiminden de A değerleri bulunmuştur. B değeri, $1/\%S_{\text{mak}}$ ’a eşit olup bu eşitlikten $\%S_{\text{mak}}$ değeri bulunmuştur. A değeri $1/S_{\text{mak}}^2 k_s$ ’ye ve aynı zamanda $1/r_0$ ’a eşit olup eşitliklerden k_s ve r_0 değerleri bulunmuştur.



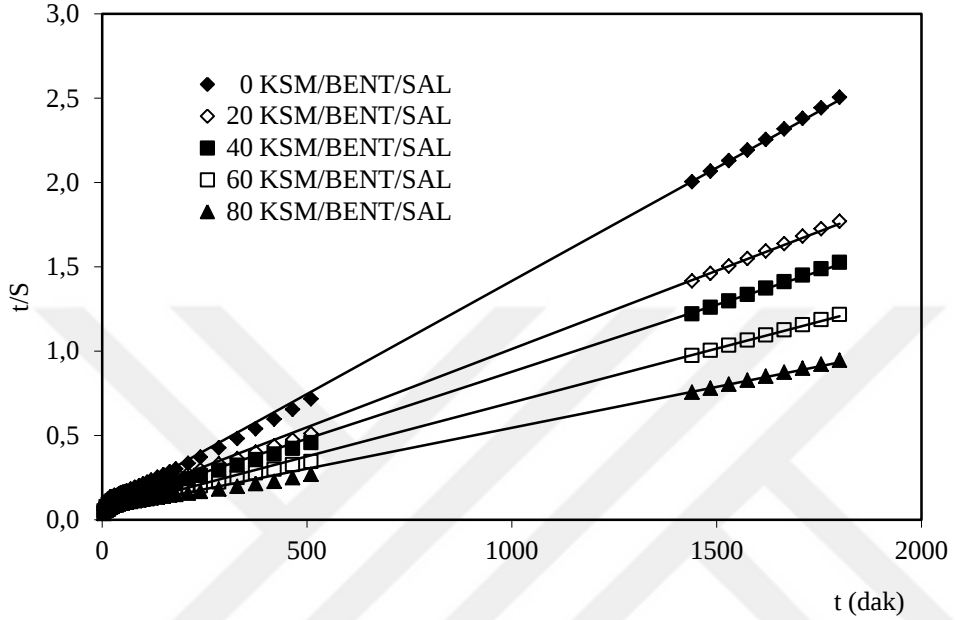
Şekil 4.43. AAm/KSM hidrojellerinin su soğurum kinetiği eğrileri



Şekil 4.44. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin su soğurum kinetiği eğrileri



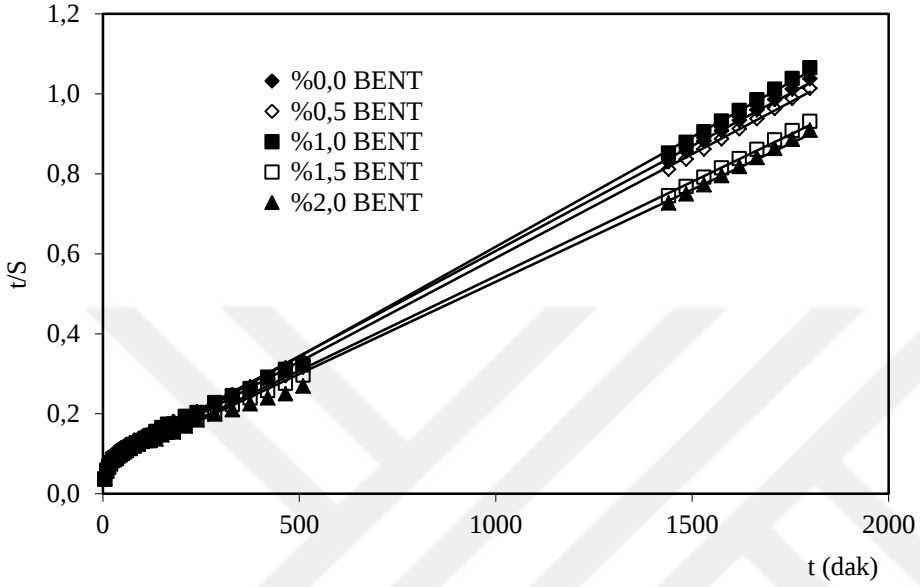
Şekil 4.45. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin su soğurum kinetiği eğrileri



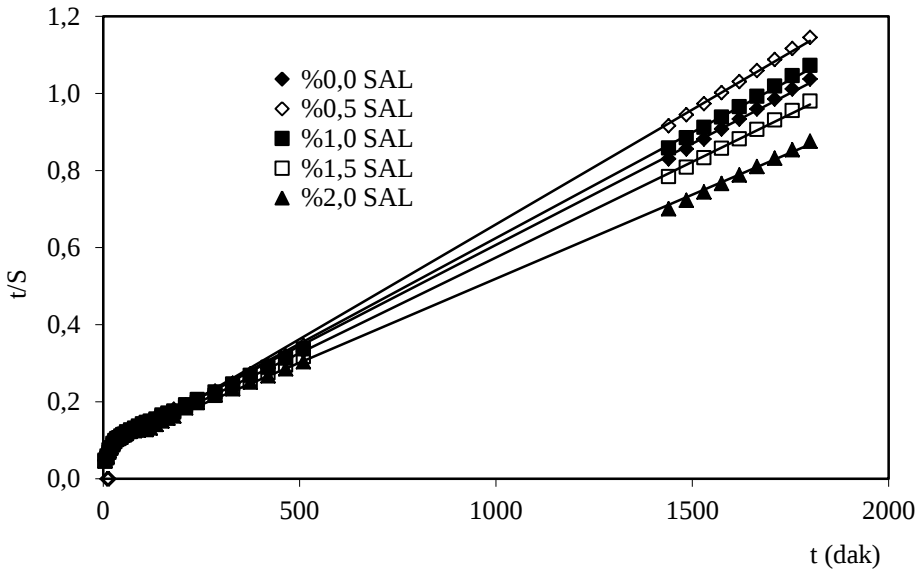
Şekil 4.46. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinin su soğurum kinetiği eğrileri

Çizelge 4.9. Hidrojel sistemlerde su soğurum kinetiği ile ilgili parametreler

KSM/mg	0	20	40	60	80
Başlangıç su/sıvı soğurum hızı (r_0 (dS/dt) ₀ , g _{su} /g _{jel} dak)					
AAm/KSM	7,353	8,032	12,804	12,285	15,723
AAm/KSM/BENT	8,842	10,152	9,901	14,388	17,094
AAm/KSM/SAL	7,605	8,091	9,166	13,072	14,225
AAm/KSM/BENT/SAL	13,333	11,862	12,107	17,606	16,667
Su/sıvı soğurum hız sabiti ($k_s \times 10^6$, g _{jel} /g _{su} dak)					
AAm/KSM	9,726	5,844	6,039	3,395	3,184
AAm/KSM/BENT	12,186	7,229	4,824	4,325	3,595
AAm/KSM/SAL	11,601	6,467	4,354	3,926	3,257
AAm/KSM/BENT/SAL	24,002	10,226	7,647	7,188	3,927
Teorik denge su/sıvı soğurum (%S _{mak} , g _{su} /g _{jel} dak)					
AAm/KSM	869	1172	1456	1902	2222
AAm/KSM/BENT	852	1185	1433	1824	2181
AAm/KSM/SAL	810	1118	1451	1825	2090
AAm/KSM/BENT/SAL	745	1077	1258	1565	2060



Şekil 4.47. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin su soğurum kinetiği eğrileri



Şekil 4.48. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin su soğurum kinetiği eğrileri

Çizelge 4.10. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde su soğurum kinetiği ile ilgili parametreler

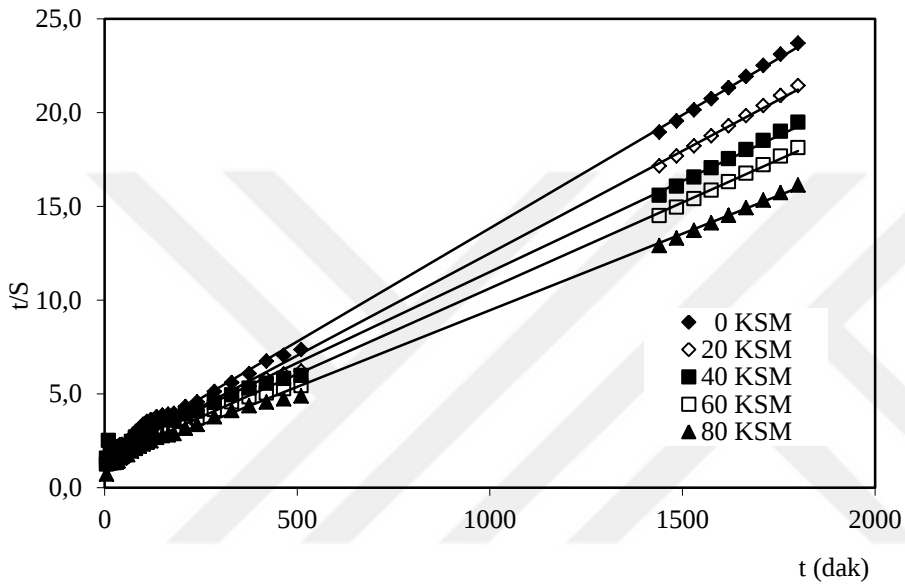
% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	Başlangıç su/sıvı soğurum hızı (r_0 (dS/dt) ₀ , g _{su} /g _{jel} dak)				
BENT	12,285	14,225	14,388	13,908	14,493
SAL	12,285	15,456	13,072	12,853	19,268
	Su/sıvı soğurum hız sabiti ($k_s \times 10^6$, g _{jel} /g _{su} dak)				
BENT	3,395	3,838	4,325	3,103	3,079
SAL	3,395	5,481	3,926	3,168	3,986
	Teorik denge su soğurum (%S _{mak} , g _{su} /g _{jel} dak)				
BENT	1902	1925	1824	2117	2170
SAL	1902	1679	1825	2014	2199

Çizelge 4.9. incelendiğinde, en belirgin özellik, %S_{mak} değerleri ile daha önceden hesaplanan denge su soğurum değerlerinin uyumudur. AAm/KSM hidrojelleri dinamik su soğurum testleri sonucunda %808-2040 arasında su soğurum değerleri gösterirken, su soğurum kinetiği analizleri sonucu bu değerler, %869-2060 olarak hesaplanmıştır.

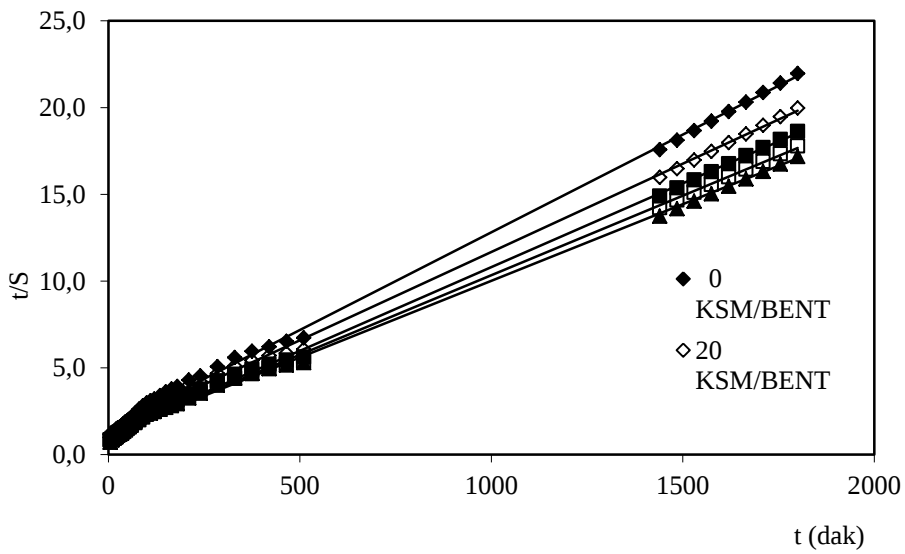
Çizelge 4.10. incelendiğinde, en belirgin özellik, %S_{mak} değerleri ile daha önceden hesaplanan denge su soğurum değerlerinin uyumudur. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojelleri dinamik su soğurum testleri sonucunda %1735-1980 arasında su soğurum değerleri gösterirken, su soğurum kinetiği analizleri sonucu bu değerler, %1902-2170 değişmektedir. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojelleri dinamik su soğurum testleri sonucunda %1735-2055 arasında su soğurum değerleri gösterirken, su soğurum kinetiği analizleri sonucu bu değerler, %1902-2199 olarak hesaplanmıştır.

4.3.4.1. Farklı Çözücü-Su Karışımlarında Sıvı Soğurum Kinetiği

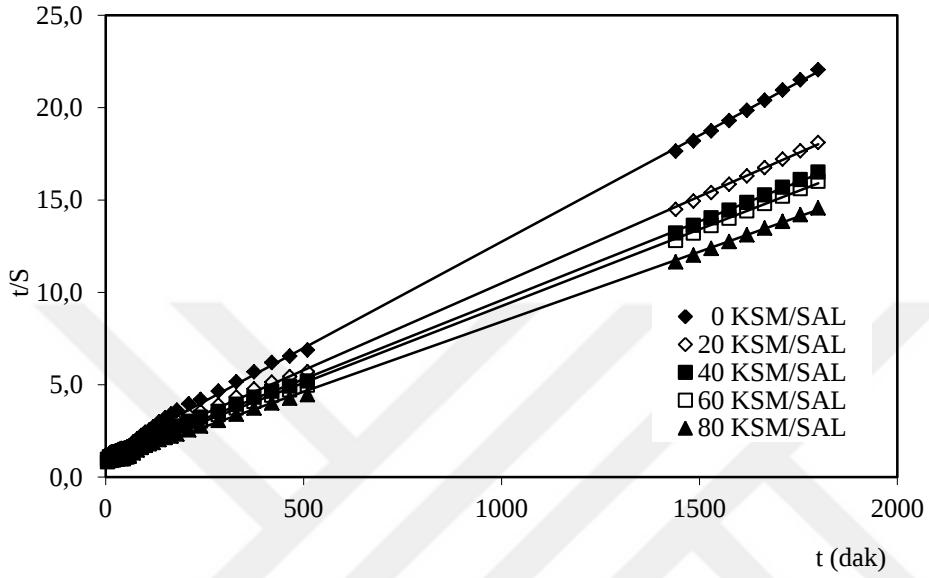
ASE-Su'da Sıvı Soğurum Kinetiği



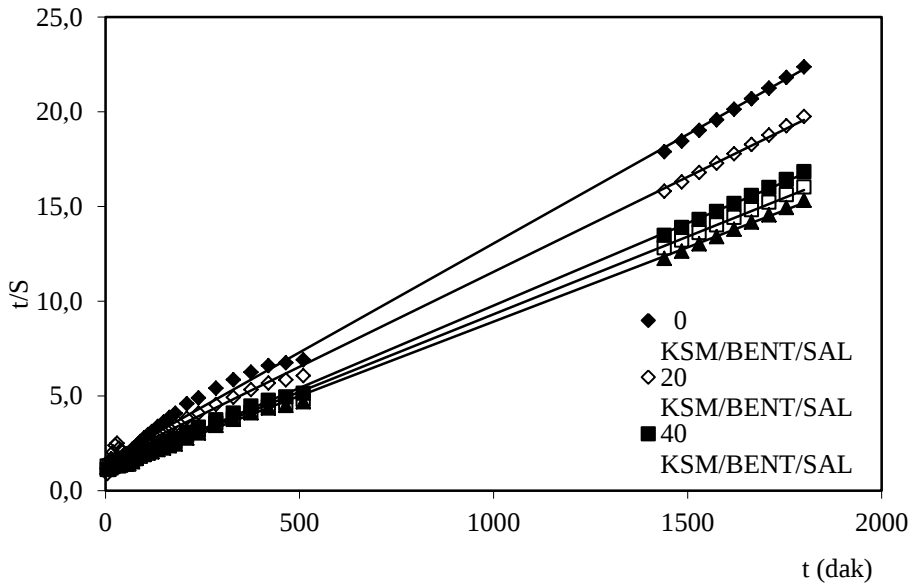
Şekil 4.49. AAm/KSM hidrojellerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri



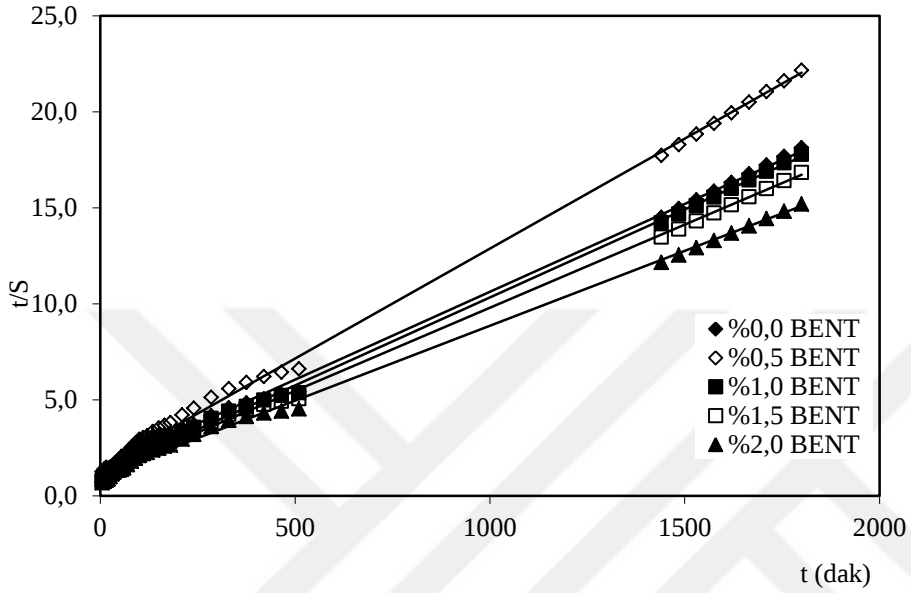
Şekil 4.50. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri



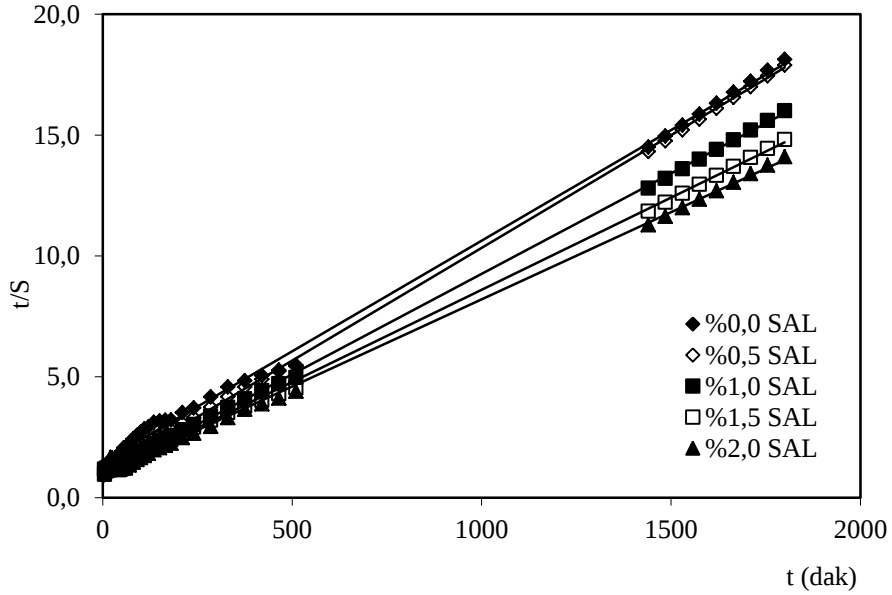
Şekil 4.51. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri



Şekil 4.52. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri

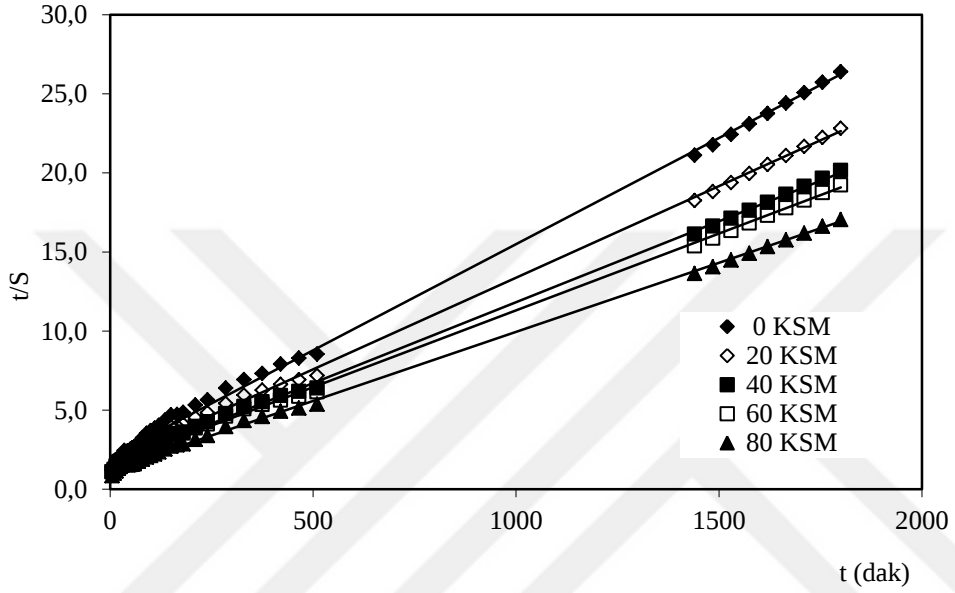


Şekil 4.53. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri

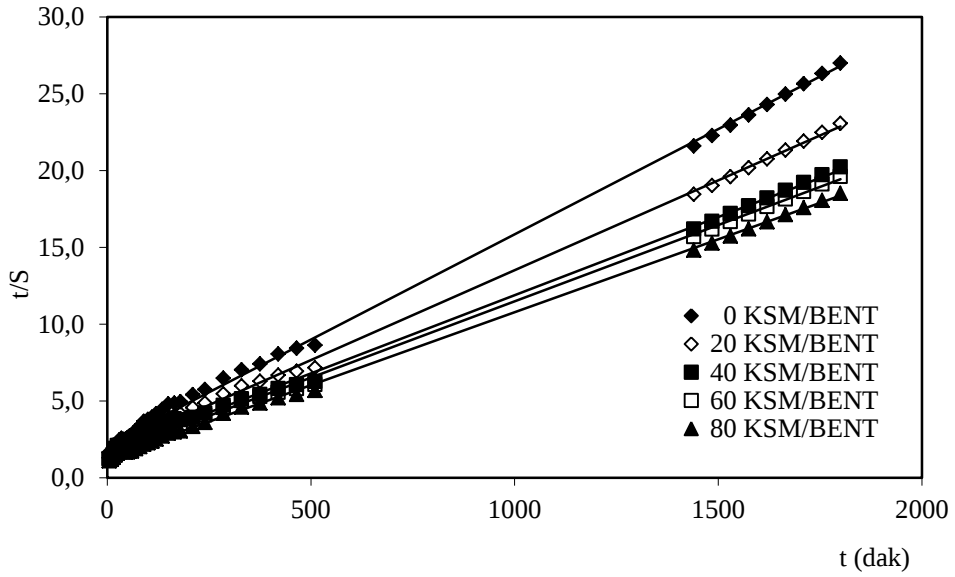


Şekil 4.54. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin ASE-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri

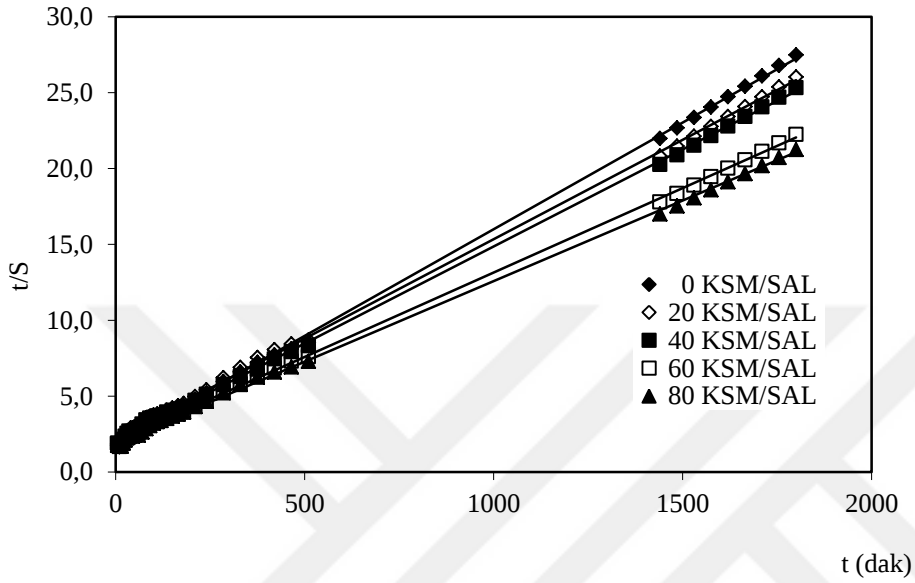
MET-Su'da Sıvı Soğurum Kinetiği



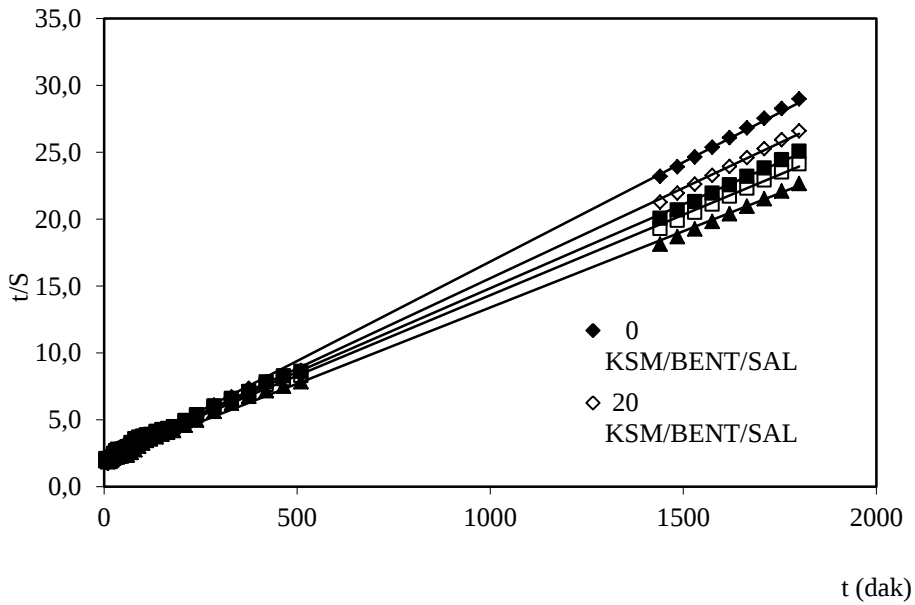
Şekil 4.55. AAm/KSM hidrojellerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri



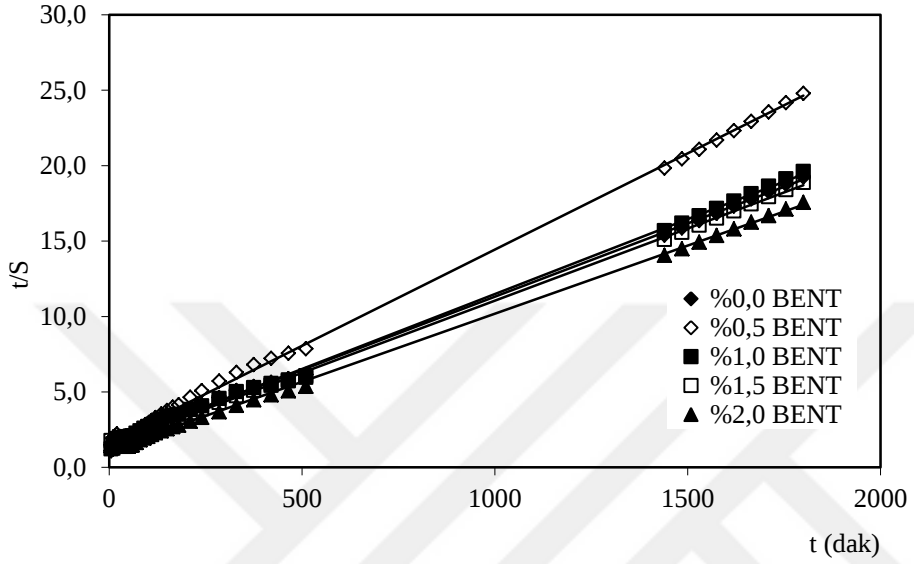
Şekil 4.56. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri



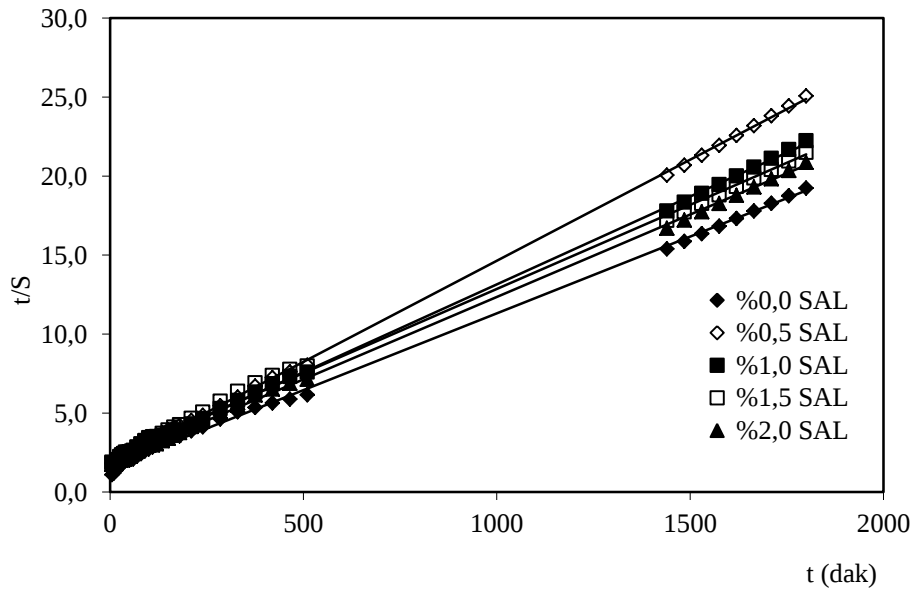
Şekil 4.57. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojjlerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri



Şekil 4.58. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojjlerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri

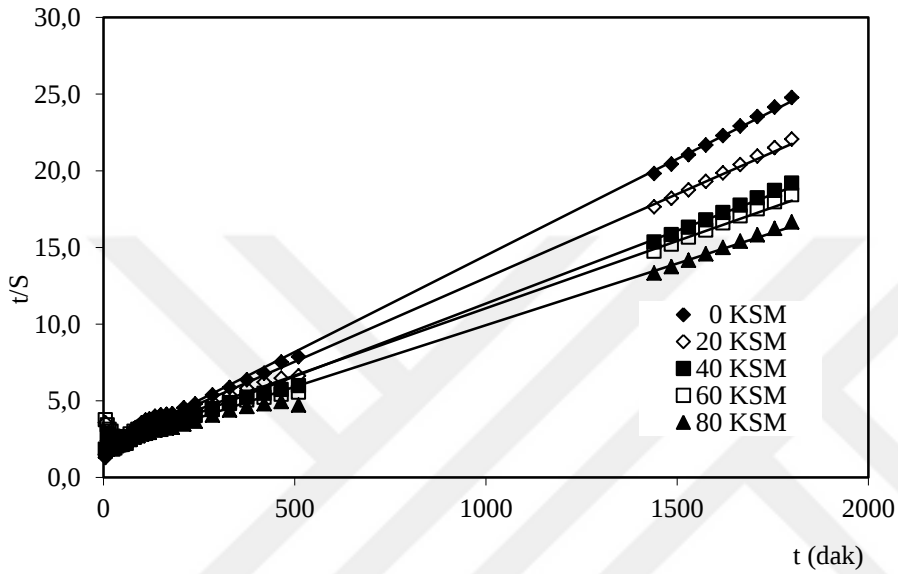


Şekil 4.59. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri

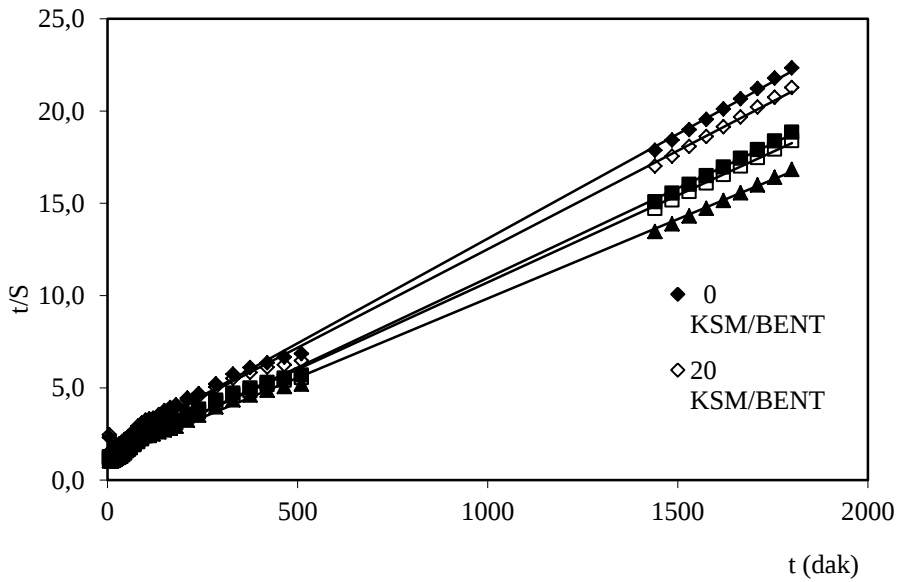


Şekil 4.60. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin MET-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri

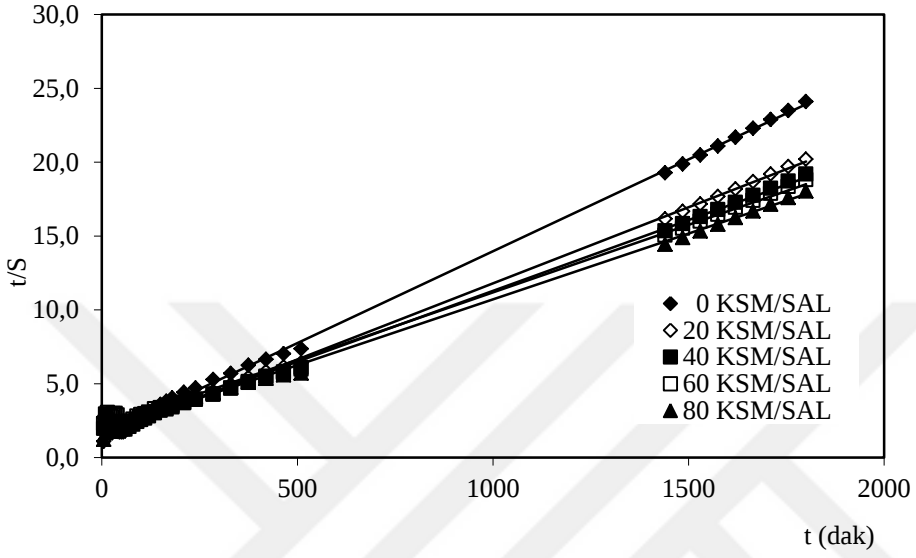
THF-Su'da Sıvı Soğurum Kinetiği



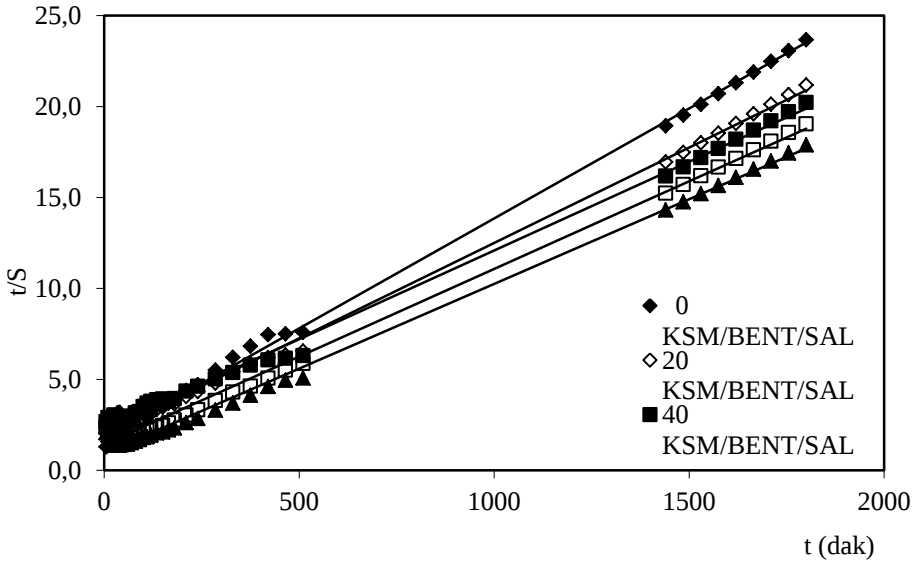
Şekil 4.61. AAm/KSM hidrojenlerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri



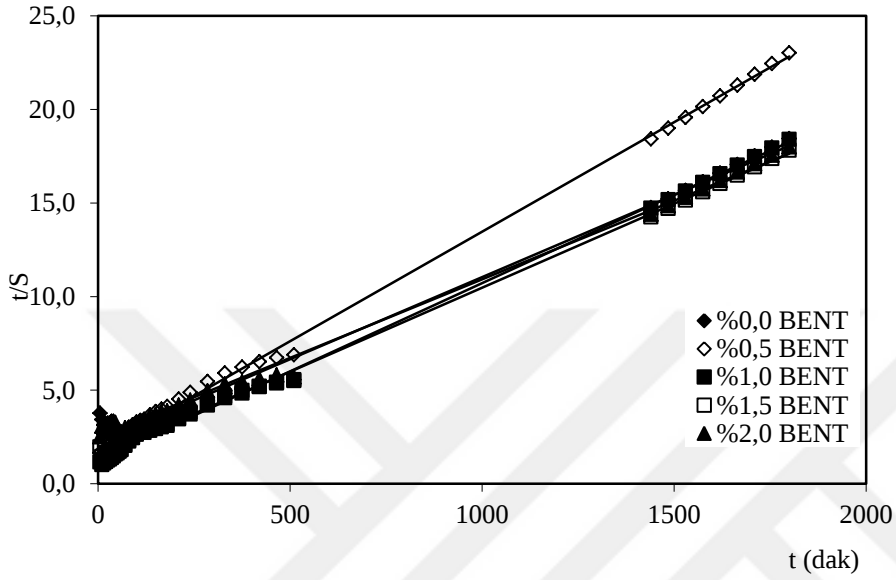
Şekil 4.62. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri



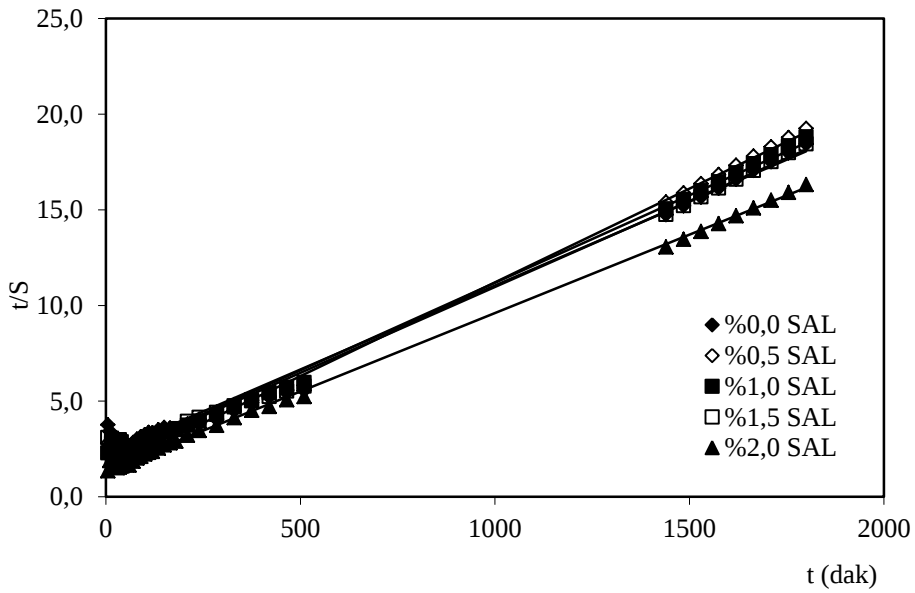
Şekil 4.63. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri



Şekil 4.64. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri



Şekil 4.65. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri



Şekil 4.66. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin THF-su'da sıvı soğurum kinetiği eğrileri

Çizelge 4.11. Hidrojel sistemlerin ASE-su'daki sıvı soğurum kinetiği ile ilgili parametreleri

KSM/mg	0	20	40	60	80
	ASE-su				
	Başlangıç su/sıvı soğurum hızı (r_0 (dS/dt) ₀ , g _{su} /g _{jel} dak)				
AAm/KSM	0,570	0,627	0,552	0,675	0,768
AAm/KSM/BENT	0,647	0,668	0,873	0,852	0,849
AAm/KSM/SAL	0,816	0,921	0,964	1,053	1,196
AAm/KSM/BENT/SAL	0,645	0,654	0,931	0,891	0,920
	Su/sıvı soğurum hız sabiti ($k_s \times 10^6$, g _{su} /g _{jel} dak)				
AAm/KSM	83,252	74,640	51,859	56,490	51,184
AAm/KSM/BENT	82,106	69,254	81,377	71,509	66,213
AAm/KSM/SAL	108,124	81,527	70,345	72,670	68,728
AAm/KSM/BENT/SAL	85,288	65,738	70,434	59,860	56,500
	Teorik denge su/sıvı soğurum (%S _{mako} , g _{su} /g _{jel} dak)				
AAm/KSM	83	92	103	109	123
AAm/KSM/BENT	89	98	104	109	113
AAm/KSM/SAL	87	106	117	120	132
AAm/KSM/BENT/SAL	87	100	115	122	128

Çizelge 4.12. Hidrojel sistemlerin MET-su'daki sıvı soğurum kinetiği ile ilgili parametreleri

KSM/mg	0	20	40	60	80
	MET-su				
	Başlangıç su/sıvı soğurum hızı (r_0 (dS/dt) ₀ , g _{su} /g _{jel} dak)				
AAm/KSM	0,482	0,559	0,628	0,626	0,826
AAm/KSM/BENT	0,550	0,466	0,587	0,643	0,781
AAm/KSM/SAL	0,445	0,514	0,483	0,495	0,510
AAm/KSM/BENT/SAL	0,509	0,479	0,437	0,438	0,500
	Su/sıvı soğurum hız sabiti ($k_s \times 10^6$, g _{jel} /g _{su} dak)				
AAm/KSM	87,237	75,082	65,789	59,065	63,039
AAm/KSM/BENT	75,297	87,450	69,932	63,406	70,364
AAm/KSM/SAL	76,382	101,463	78,931	61,347	57,498
AAm/KSM/BENT/SAL	112,356	87,236	68,736	63,422	65,003
	Teorik denge su/sıvı soğurum (%S _{mak} , g _{su} /g _{jel} dak)				
AAm/KSM	74	86	98	103	114
AAm/KSM/BENT	85	73	98	101	105
AAm/KSM/SAL	76	71	78	90	94
AAm/KSM/BENT/SAL	67	74	80	83	88

Çizelge 4.13. Hidrojel sistemlerin THF-su'daki sıvı soğurum kinetiği ile ilgili parametreleri

KSM/mg	0	20	40	60	80
	THF-su				
	Başlangıç su/sıvı soğurum hızı (r_0 (dS/dt) ₀ , g _{su} /g _{jel} dak)				
AAm/KSM	0,528	0,478	0,540	0,441	0,527
AAm/KSM/BENT	0,573	0,544	0,804	0,777	0,799
AAm/KSM/SAL	0,653	0,673	0,589	0,490	0,557
AAm/KSM/BENT/SAL	0,567	0,497	0,428	0,697	0,106
	Su/sıvı soğurum hız sabiti ($k_s \times 10^6$, g _{jel} /g _{su} dak)				
AAm/KSM	83,716	57,016	48,743	33,901	34,021
AAm/KSM/BENT	73,647	62,031	75,936	69,106	58,944
AAm/KSM/SAL	101,054	71,531	54,149	40,943	44,271
AAm/KSM/BENT/SAL	82,899	54,657	40,759	64,684	9,224
	Teorik denge su/sıvı soğurum (%S _{mak} , g _{su} /g _{jel} dak)				
AAm/KSM	79	92	105	114	124
AAm/KSM/BENT	88	94	103	106	116
AAm/KSM/SAL	80	97	104	109	112
AAm/KSM/BENT/SAL	83	95	103	104	107

Çizelge 4.14. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde ASE-su ve MET-su'daki sıvı soğurum kinetiği ile ilgili parametreleri

% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	ASE-su				
	Başlangıç su/sıvı soğurum hızı (r_0 (dS/dt) ₀ , g _{su} /g _{jel} dak)				
BENT	0,675	0,700	0,852	0,873	0,942
SAL	0,675	0,988	1,053	1,029	1,007
	Su/sıvı soğurum hız sabiti ($k_s \times 10^6$, g _{jel} /g _{su} dak)				
BENT	56,490	91,699	71,509	65,393	57,279
SAL	56,490	85,788	72,670	59,837	52,363
	Teorik denge su/sıvı soğurum (%S _{mak} , g _{su} /g _{jel} dak)				
BENT	109	87	109	116	128
SAL	109	107	120	131	139
	MET-su				
	Başlangıç su/sıvı soğurum hızı (r_0 (dS/dt) ₀ , g _{su} /g _{jel} dak)				
BENT	0,626	0,595	0,643	0,710	0,865
SAL	0,626	0,479	0,437	0,438	0,500
	Su/sıvı soğurum hız sabiti ($k_s \times 10^6$, g _{jel} /g _{su} dak)				
BENT	59,065	96,757	63,409	65,033	70,524
SAL	59,065	87,236	68,736	63,422	65,003
	Teorik denge su/sıvı soğurum (%S _{mak} , g _{su} /g _{jel} dak)				
BENT	103	78	101	104	111
SAL	103	74	80	83	88

Çizelge 4.15. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde THF-su'da sıvı soğurum kinetiği ile ilgili parametreleri

% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	THF-su				
	Başlangıç sıvı soğurum hızı (r_0 (dS/dt) ₀ , g _{su} /g _{jel} dak)				
BENT	0,441	0,567	0,777	0,668	0,396
SAL	0,441	0,710	0,490	0,503	0,712
	Su/sıvı soğurum hız sabiti ($k_s \times 10^6$, g _{jel} /g _{su} dak)				
BENT	33,901	77,624	69,106	53,856	27,955
SAL	33,901	68,133	40,943	38,976	47,832
	Teorik denge su/sıvı soğurum (%S _{mak} , g _{su} /g _{jel} dak)				
BENT	114	85	106	111	119
SAL	114	102	109	114	122

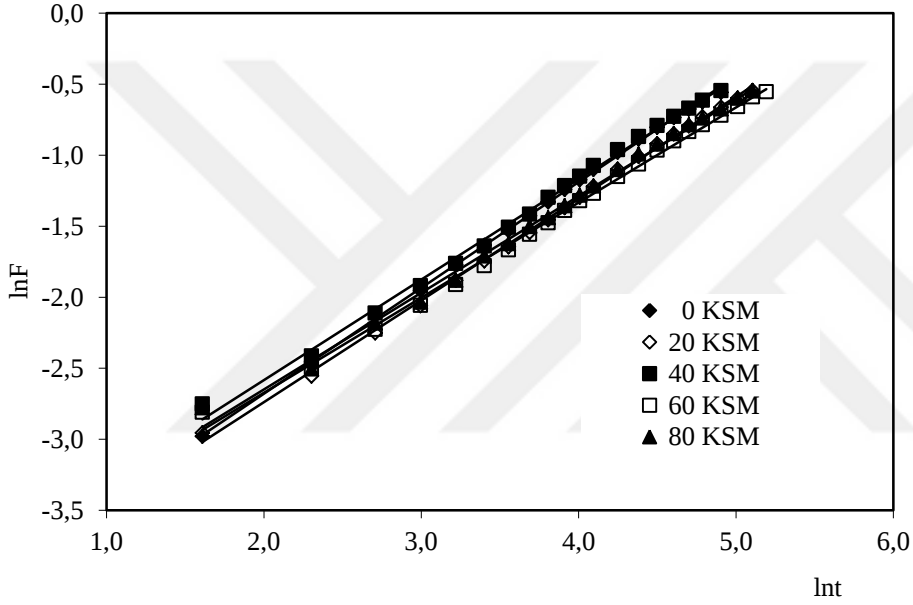
Çizelge 4.11-12-13. incelendiğinde, %S_{mak} değerleri ile daha önceden hesaplanan denge su/sıvı soğurum değerlerinin uyumudur. AAm/KSM hidrojelleri dinamik sıvı soğurum testleri sonucunda %68-111 arasında şişme değerleri gösterirken, su soğurum kinetiği analizleri sonucu bu değerler, %83-123 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14-15. incelendiğinde, %S_{mak} değerleri ile daha önceden hesaplanan dengede su/sıvı soğurum değerlerinin uyumudur. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojelleri dinamik su/sıvı soğurum testleri sonucunda %94-118 arasında su/sıvı soğurum değerleri gösterirken, su/sıvı soğurum kinetiği analizleri sonucu bu değerler, %109-128 değişmektedir. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojelleri dinamik su/sıvı soğurum testleri sonucunda %94-128 arasında su/sıvı soğurum değerleri gösterirken, su/sıvı soğurum kinetiği analizleri sonucu bu değerler, %103-139 olarak hesaplanmıştır.

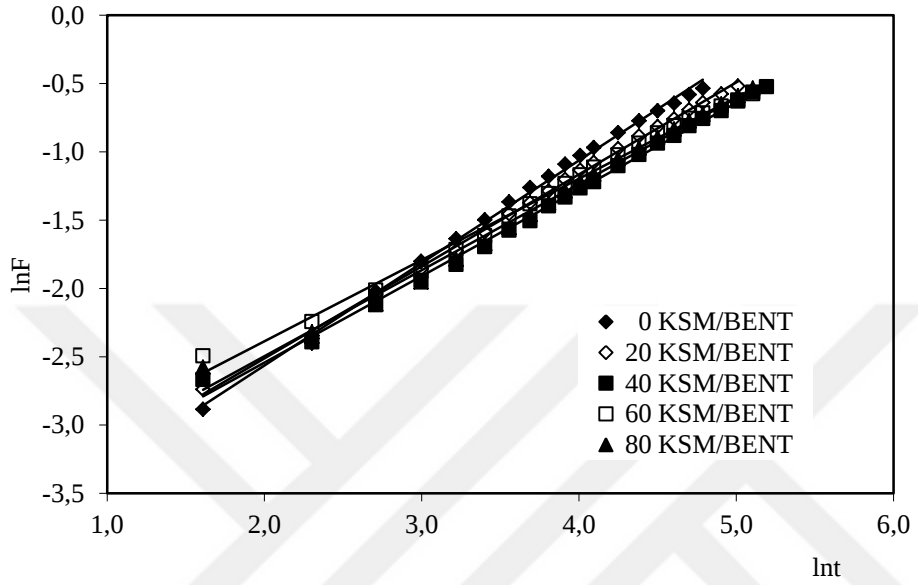
4.3.5. Suyun Difüzyonu

Çapraz bağlı polimerik yapıların temel şişme davranışlarının ve difüzyon türünün açıklanmasında kullanılan en temel yasalar Fick yasalarıdır. Difüzyonun temelleri 1855 yılında Fick tarafından ortaya atılmıştır. Su soğurum özelliği gösteren polimerlerin su soğurum kinetiği; Eşitlik 5'te verilen temel bağıntı incelenmektedir. Bu amaçla PEGDA ile çapraz bağlanmış kopolimerlere su

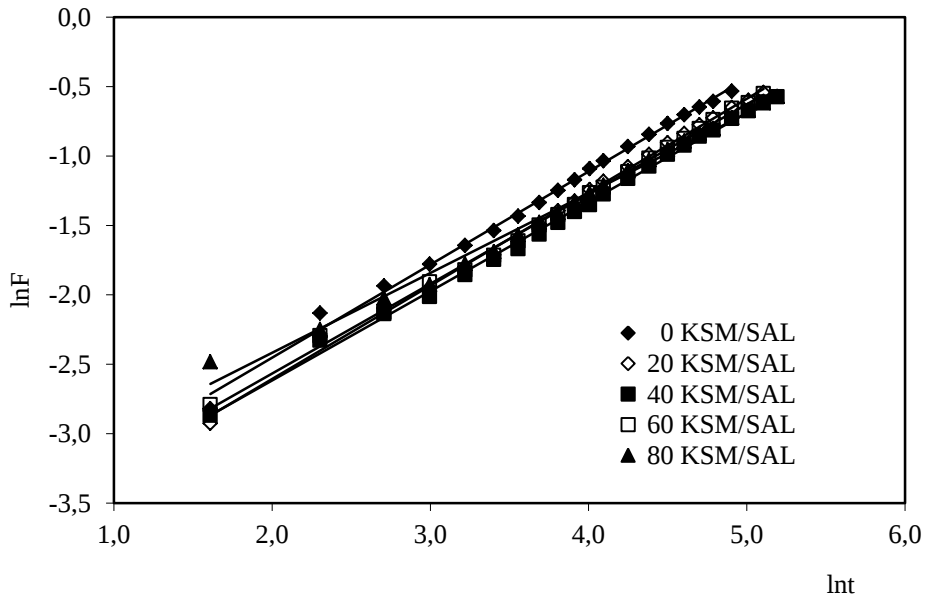
difüzyonunun incelenmesi için Eşitlik 5’te verilen bağıntının logaritmik formu kullanılarak $\ln F - \ln t$ grafikleri çizilmiştir. Grafiklerde elde edilen doğruların eğiminden difüzyon üsteli (n) ve kesim noktalarından ise difüzyon sabiti (k) değerleri bulunmuştur. Bulunan (n) ve (k) değerlerinden Eşitlik 6’daki difüzyon katsayısı (D) hesaplanmıştır.



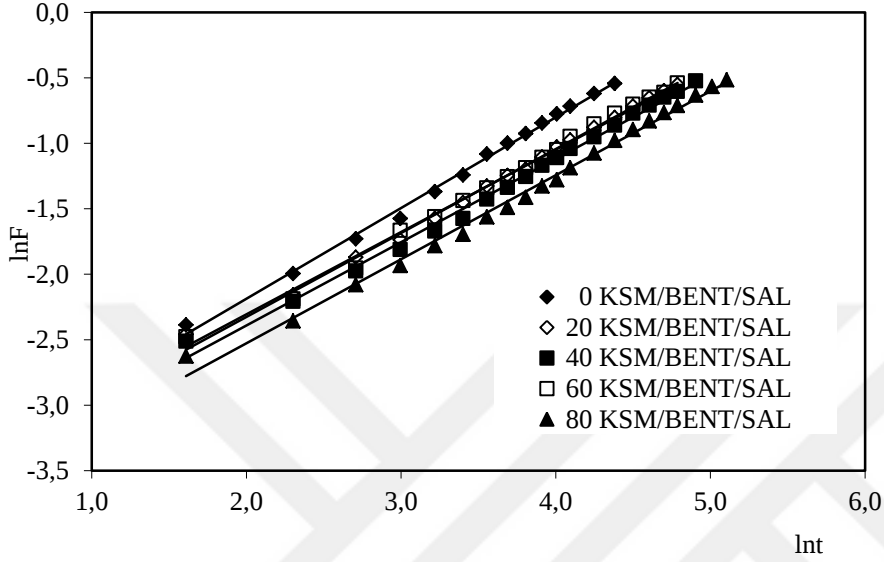
Şekil 4.67. AAm/KSM hidrojellerinde $\ln F - \ln t$ değişimi



Şekil 4.68. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde $\ln F$ - $\ln I$ değişimi



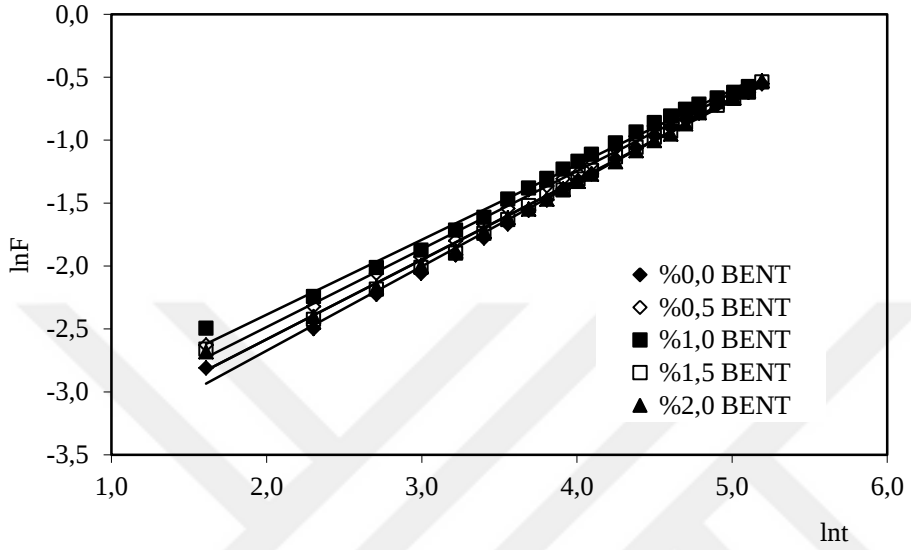
Şekil 4.69. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde $\ln F$ - $\ln I$ değişimi



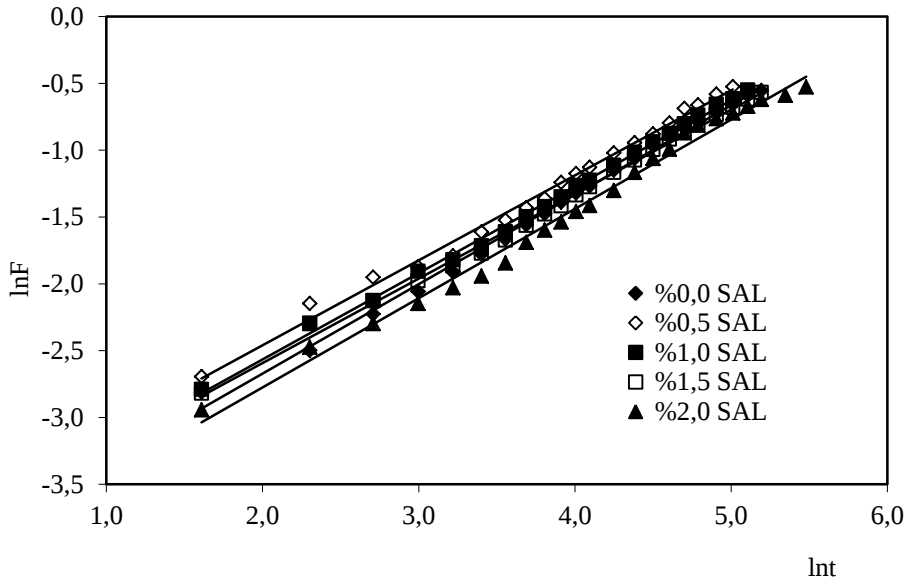
Şekil 4.70. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinde $\ln F$ - $\ln t$ değişimi

Çizelge 4.16. Hidrojel sistemlerde su difüzyonu ile ilgili parametreler

KSM/mg	0	20	40	60	80
	Difüzyon üsteli (n)				
AAm/KSM	0,7541	0,7160	0,7075	0,6996	0,6807
AAm/KSM/BENT	0,7504	0,6734	0,6333	0,5949	0,6300
AAm/KSM/SAL	0,6703	0,6729	0,6426	0,6465	0,5748
AAm/KSM/BENT/SAL	0,6933	0,6288	0,6363	0,6413	0,6417
	Difüzyon sabiti ($k \times 10^3$)				
AAm/KSM	15,4646	15,4029	18,3486	18,1044	18,1280
AAm/KSM/BENT	17,1802	21,1060	22,1748	27,9846	34,1771
AAm/KSM/SAL	22,5302	19,2220	20,2197	21,0828	28,2602
AAm/KSM/BENT/SAL	28,0463	28,3168	25,6375	27,0816	22,1216
	Difüzyon katsayısı ($D \times 10^5$)				
AAm/KSM	60,0301	65,9829	99,5615	101,1830	97,7371
AAm/KSM/BENT	66,6061	55,0371	42,1440	42,1288	118,2857
AAm/KSM/SAL	41,9006	44,0281	35,4443	46,0842	36,4217
AAm/KSM/BENT/SAL	61,3681	43,0741	47,4459	59,2876	50,1449



Şekil 4.71. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojelinde $\ln F$ - $\ln I$ değişimi



Şekil 4.72. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojelinde $\ln F$ - $\ln I$ değişimi

Çizelge 4.17. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde su difüzyonu ile ilgili parametreler

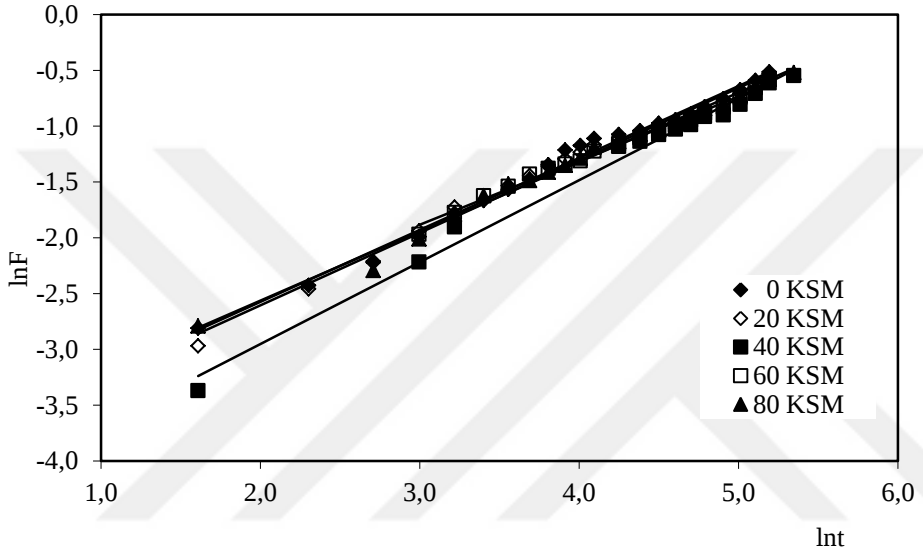
% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	Difüzyon üsteli (n)				
BENT	0,6696	0,6195	0,5949	0,6336	0,6310
SAL	0,6696	0,6360	0,6465	0,6325	0,6680
	Difüzyon sabiti ($k \times 10^3$)				
BENT	18,1044	24,1396	27,9846	21,2840	21,3907
SAL	18,1044	23,9449	21,0828	21,0996	16,3930
	Difüzyon katsayısı ($D \times 10^5$)				
BENT	71,6108	29,5801	42,1288	48,6102	50,4611
SAL	71,6108	30,3971	46,0842	41,3604	47,1323

Difüzyon üsteli (n), difüzyon türünün belirlenmesi için kullanılan önemli bir parametredir. Çizelge 4.16. incelendiğinde hazırlanan çapraz bağlı polimerler için n değerleri 0,57-0,75 arasında bulunmuştur. Bu değerler $0,5 < n < 1$ aralığındadır. Bu durumda, hidrojellerin su difüzyon türü Fick tipi olmayan (anormal) difüzyon sınıfına girmektedir. Yani hidrojellerin şişmesi sırasında difüzlenmenin ve durulmanın aynı anda olduğu söylenebilir.

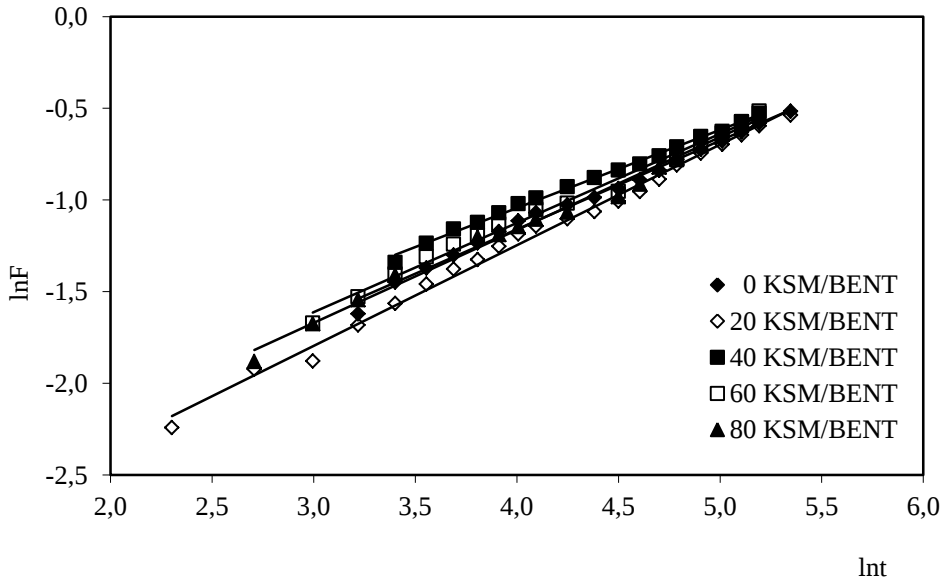
Çizelge 4.17. incelendiğinde, hazırlanan çapraz bağlı polimerler için n değerleri 0,59-0,66 arasında bulunmuştur. Bu değerler $0,5 < n < 1$ aralığındadır. Bu durumda, hidrojellerin su difüzyon türü Fick tipi olmayan (anormal) difüzyon sınıfına girmektedir. Yani hidrojellerin şişmesi sırasında difüzlenmenin ve durulmanın aynı anda olduğu söylenebilir.

4.3.5.1. Farklı Çözücü-Su Karışımlarında Sıvının Difüzyonu

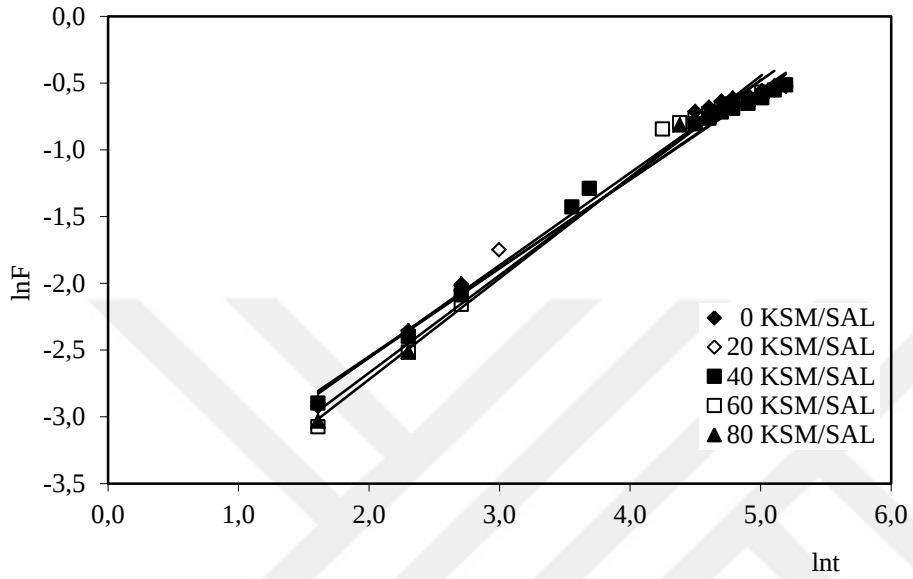
ASE-Su'da Sıvının Difüzyonu



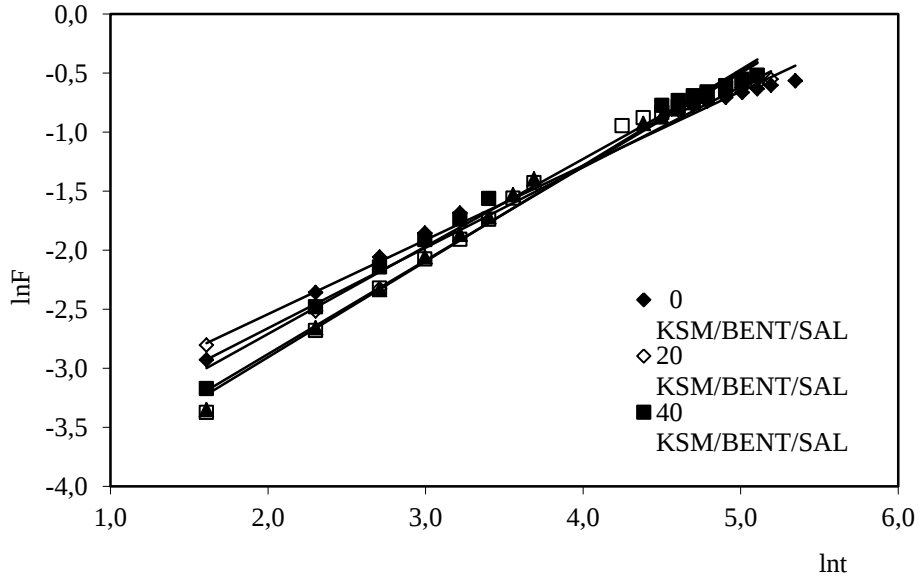
Şekil 4.73. AAm/KSM hidrojenlerinde ASE-su'daki $\ln F$ - $\ln t$ değişimi



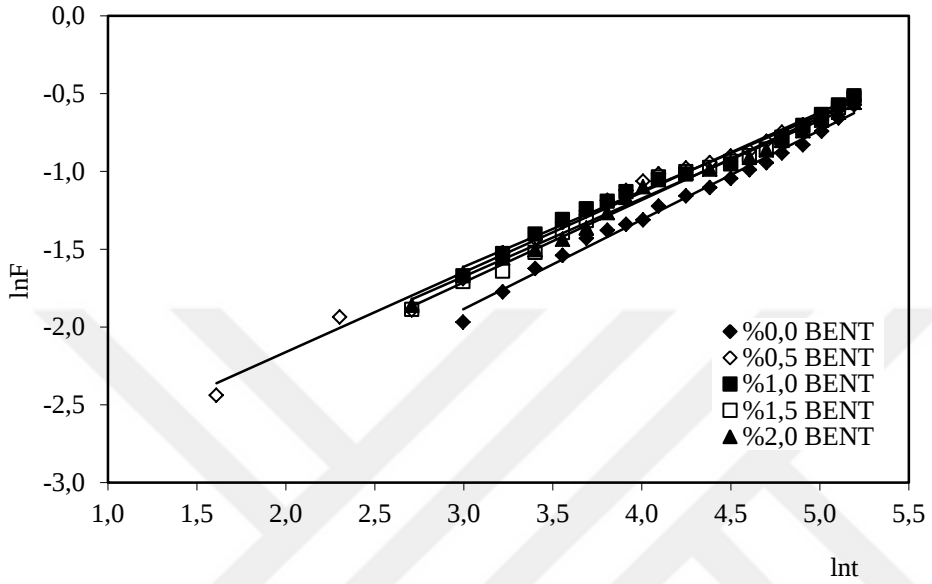
Şekil 4.74. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinde ASE-su'daki $\ln F$ - $\ln t$ değişimi



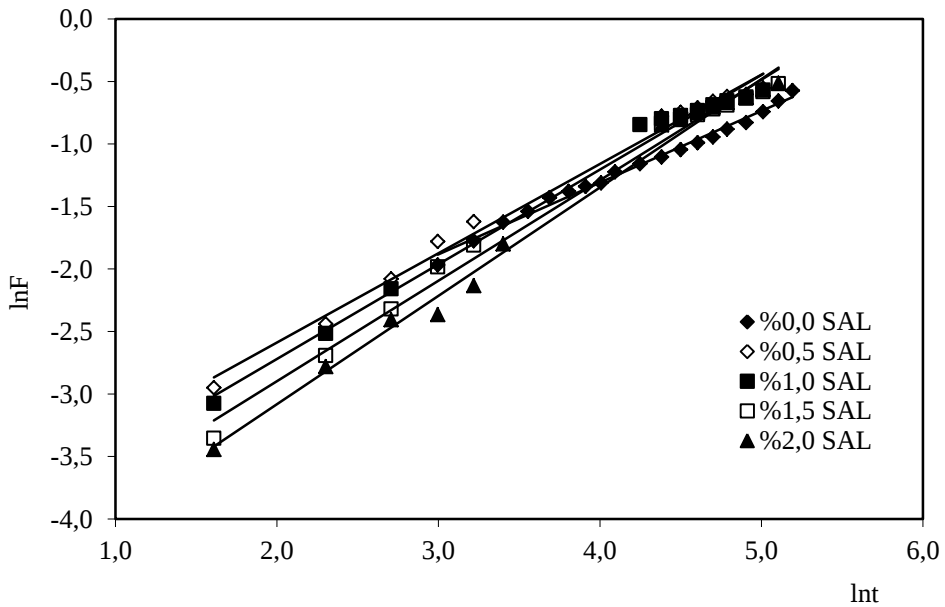
Şekil 4.75. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde ASE-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi



Şekil 4.76. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinde ASE-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi

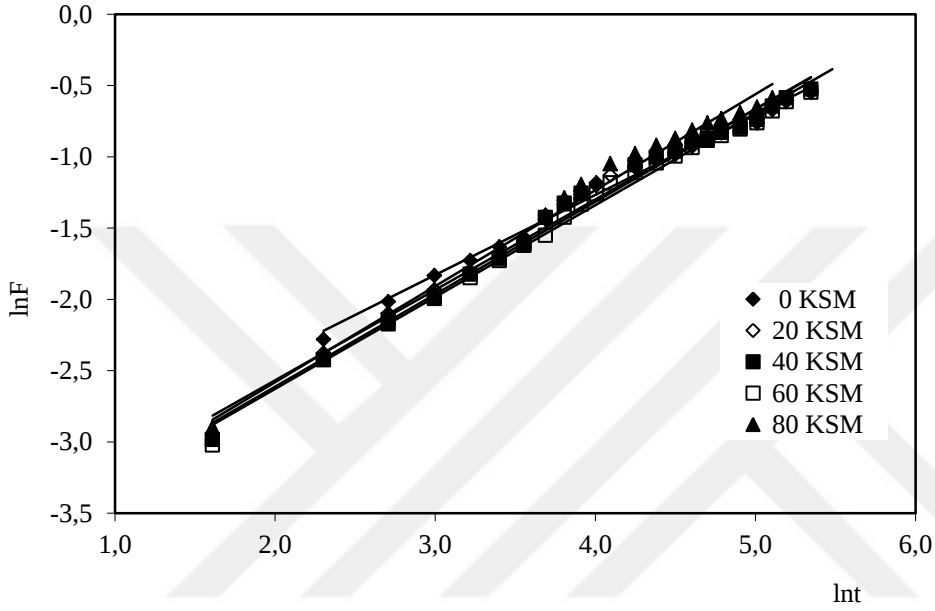


Şekil 4.77. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojelinde ASE-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi

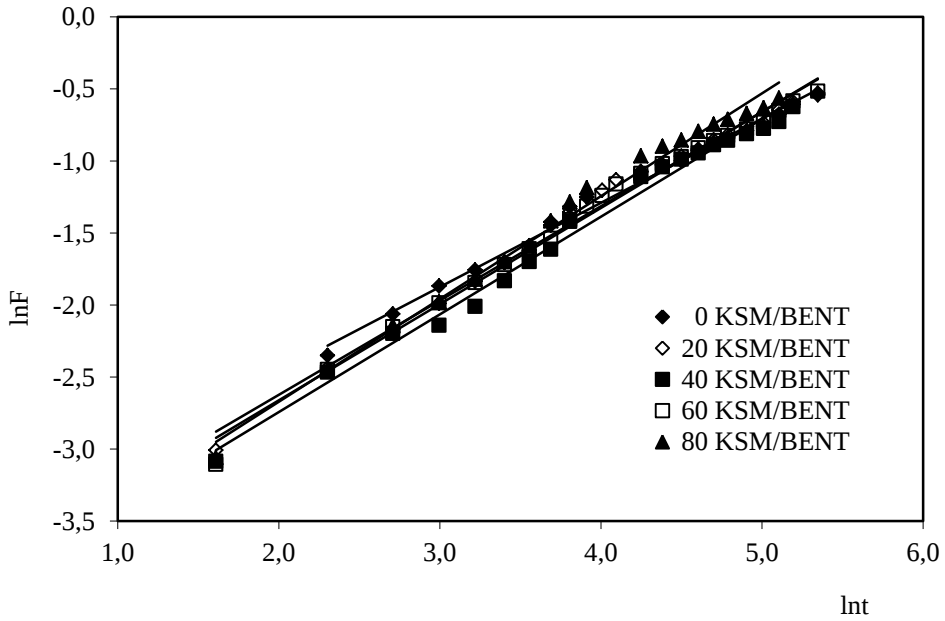


Şekil 4.78. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojelinde ASE-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi

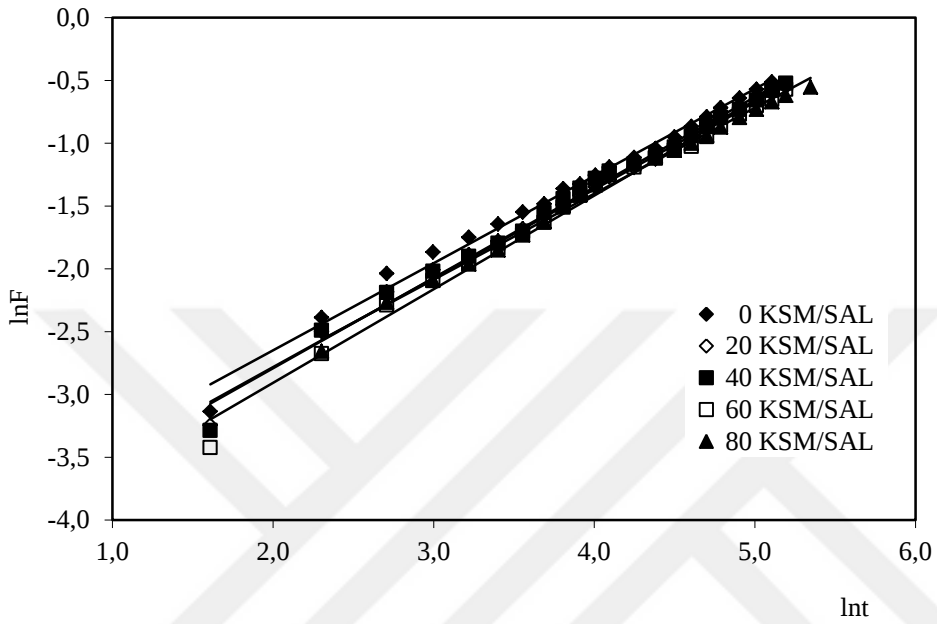
MET-Su'da Sıvının Difüzyonu



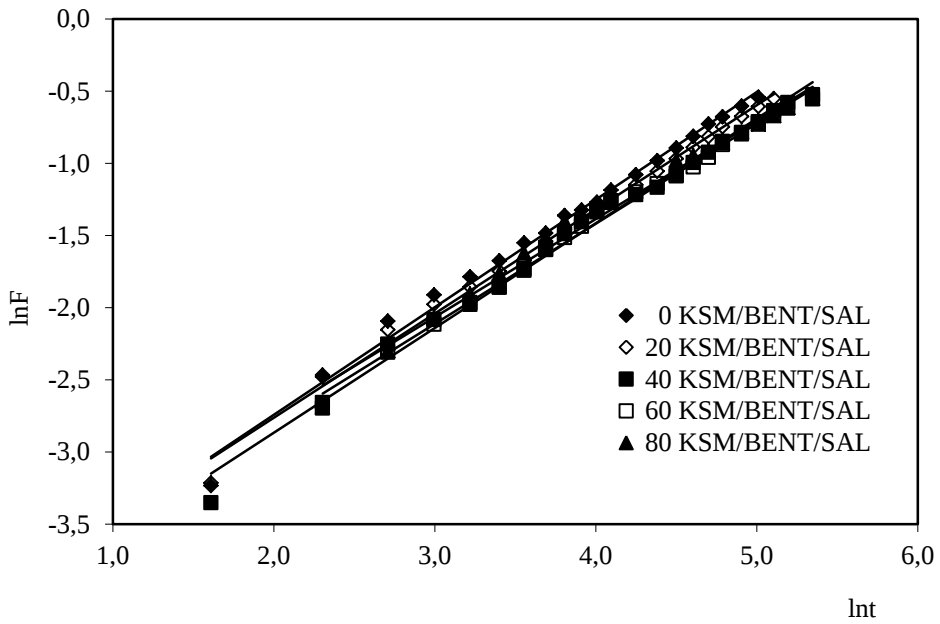
Şekil 4.79. AAm/KSM hidrojenlerinde MET-su'daki $\ln F$ - $\ln t$ değişimi



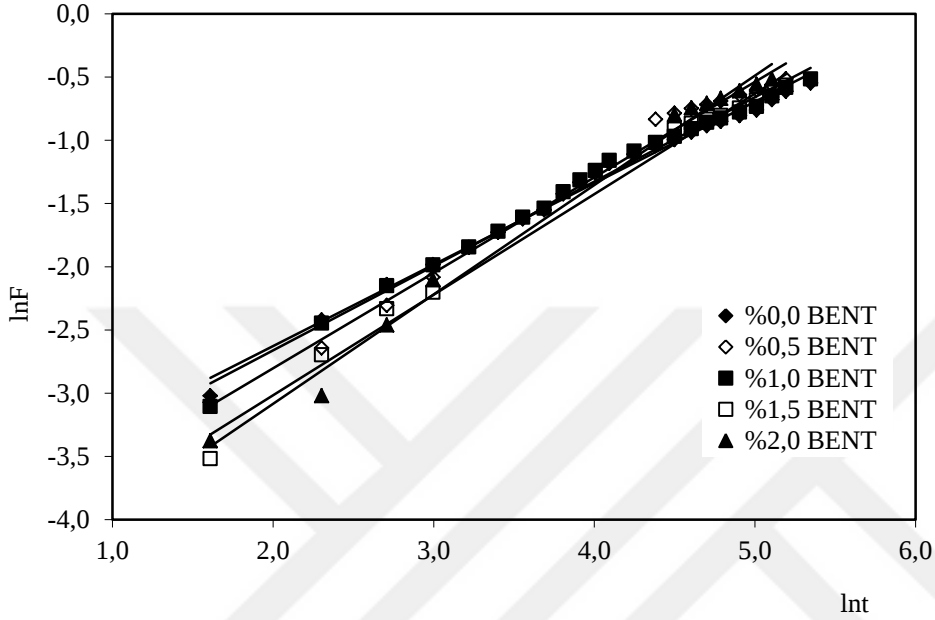
Şekil 4.80. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinde MET-su'daki $\ln F$ - $\ln t$ değişimi



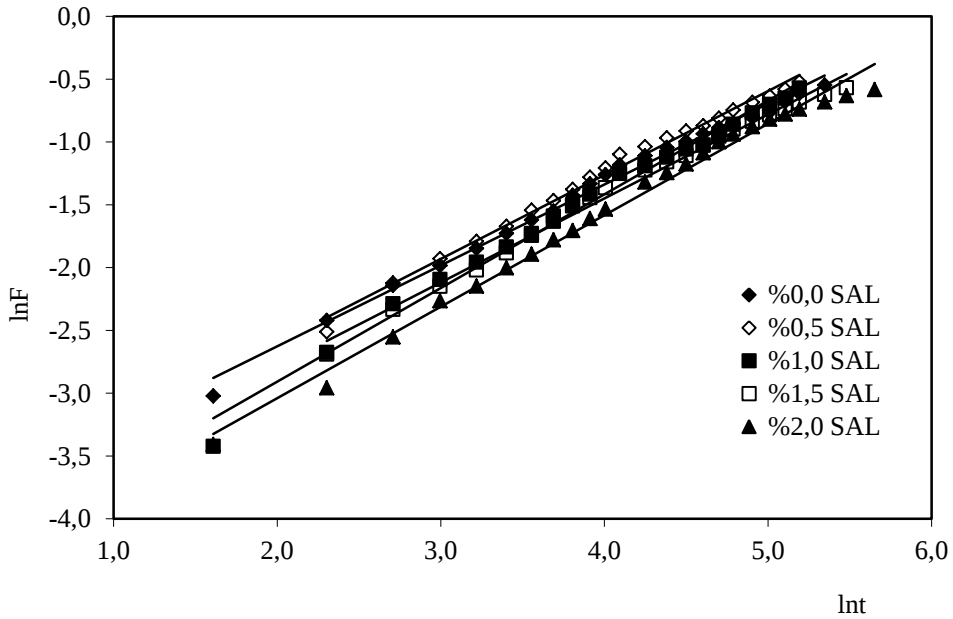
Şekil 4.81. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinde MET-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi



Şekil 4.82. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinde MET-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi

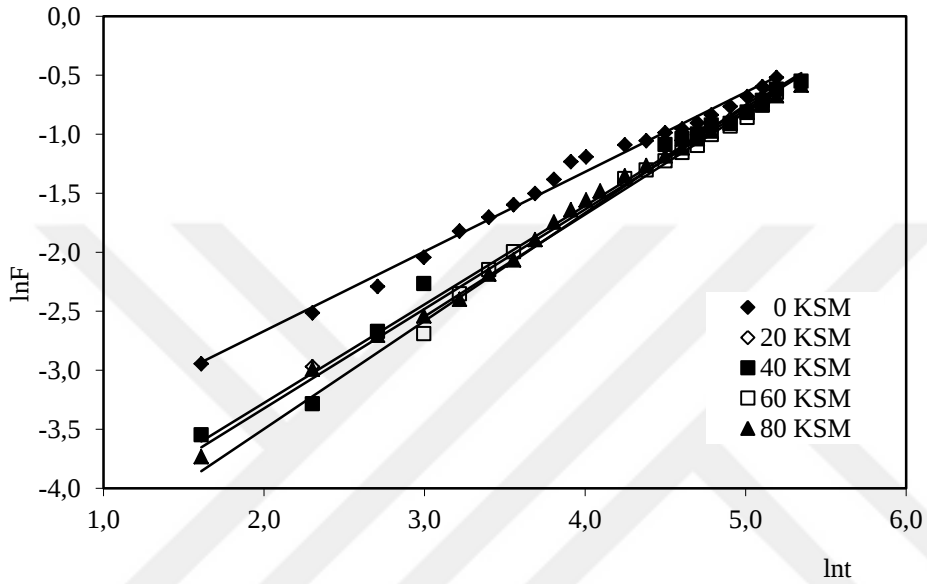


Şekil 4.83. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinde MET-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi

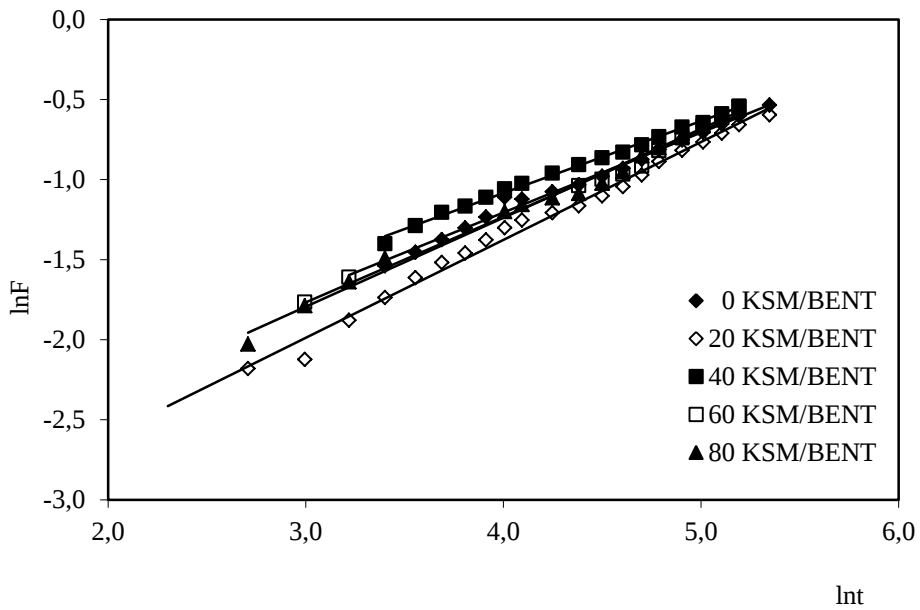


Şekil 4.84. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinde MET-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi

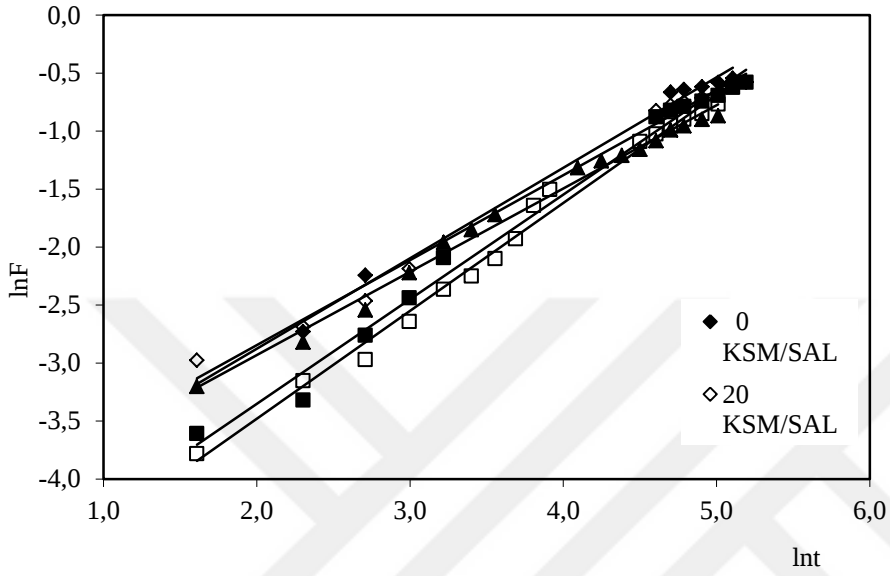
THF-Su'da Sıvının Difüzyonu



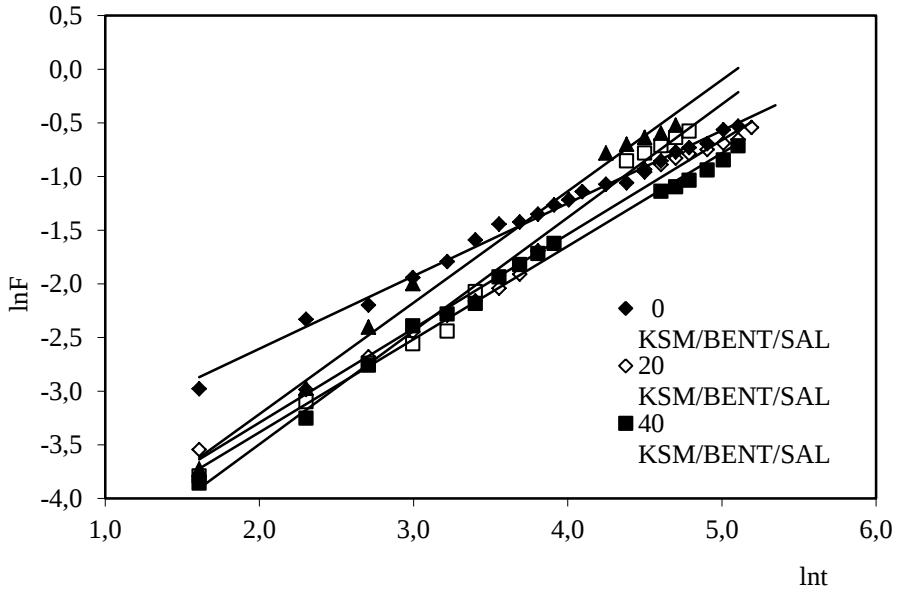
Şekil 4.85. AAm/KSM hidrojellerinde THF-su'daki $\ln F$ - $\ln t$ değişimi



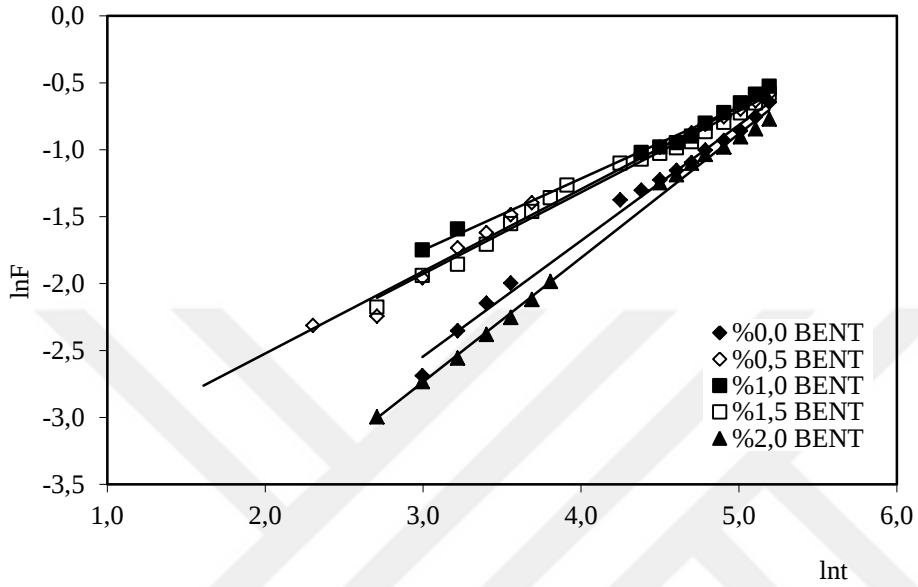
Şekil 4.86. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde THF-su'daki $\ln F$ - $\ln t$ değişimi



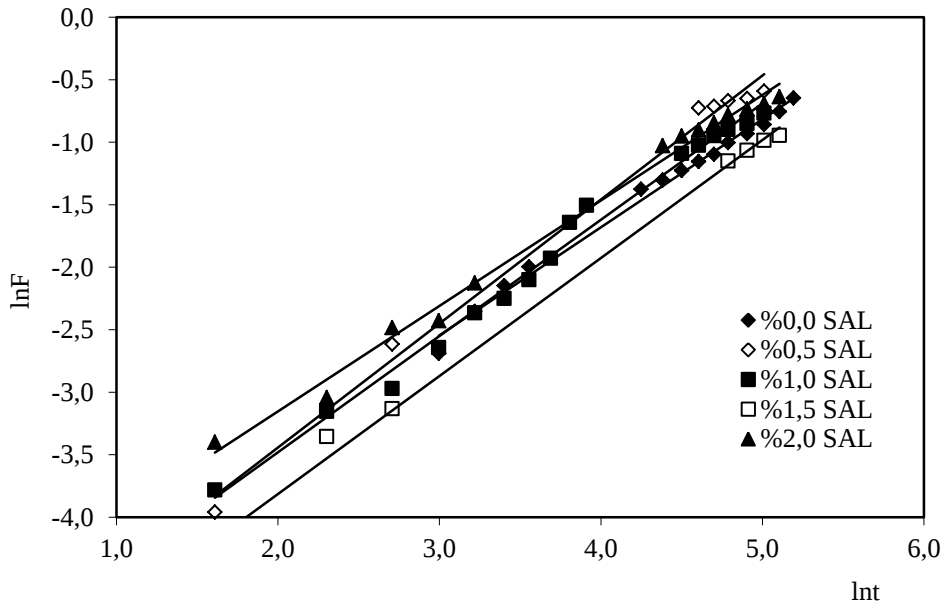
Şekil 4.87. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde THF-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi



Şekil 4.88. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerinde THF-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi



Şekil 4.89. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde THF-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi



Şekil 4.90. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde THF-su'daki $\ln F$ - $\ln I$ değişimi

Çizelge 4.18. Hidrojel sistemlerin ASE-su'daki sıvı difüzyonu ile ilgili difüzyon parametreleri

KSM/mg	0	20	40	60	80
	ASE-su				
	Difüzyon üsteli (n)				
AAm/KSM	0,6447	0,6494	0,7343	0,5779	0,6125
AAm/KSM/BENT	0,4842	0,5491	0,4262	0,4866	0,5068
AAm/KSM/SAL	0,6916	0,6619	0,6682	0,7577	0,7311
AAm/KSM/BENT/SAL	0,6288	0,6815	0,7407	0,8115	0,7935
	Difüzyon sabiti ($k \times 10^3$)				
AAm/KSM	20,9986	20,1490	12,0258	27,1847	22,2192
AAm/KSM/BENT	45,1846	31,9718	64,0110	46,3238	41,1184
AAm/KSM/SAL	19,4560	20,8209	20,3882	14,4755	16,0363
AAm/KSM/BENT/SAL	22,3909	17,8902	15,1493	10,7958	11,4840
	Difüzyon katsayısı ($D \times 10^5$)				
AAm/KSM	18,6787	16,4276	23,3930	11,8396	16,3273
AAm/KSM/BENT	3,6650	6,6943	3,0743	5,9535	7,6011
AAm/KSM/SAL	15,1037	13,6545	16,3371	30,1380	33,4976
AAm/KSM/BENT/SAL	7,4129	11,8429	20,6945	30,1793	31,4618

Çizelge 4.19. Hidrojel sistemlerin MET-su'daki sıvı difüzyonu ile ilgili difüzyon parametreleri

KSM/mg	0	20	40	60	80
	MET-su				
	Difüzyon üsteli (n)				
AAm/KSM	0,5612	0,6342	0,6484	0,6441	0,6731
AAm/KSM/BENT	0,5843	0,6543	0,6779	0,6675	0,7137
AAm/KSM/SAL	0,6938	0,7047	0,7198	0,7455	0,6841
AAm/KSM/BENT/SAL	0,7453	0,7218	0,7255	0,6938	0,6794
	Difüzyon sabiti ($k \times 10^3$)				
AAm/KSM	29,8402	21,5819	20,0646	19,9326	19,7185
AAm/KSM/BENT	26,5772	19,6064	16,5926	18,3872	16,5976
AAm/KSM/SAL	17,6627	15,0436	14,5422	12,2896	15,9483
AAm/KSM/BENT/SAL	14,5117	14,9089	13,3372	15,0964	16,5148
	Difüzyon katsayısı ($D \times 10^5$)				
AAm/KSM	6,2335	11,7247	14,2773	15,1070	23,7614
AAm/KSM/BENT	5,3043	9,7936	11,7836	13,9083	23,1053
AAm/KSM/SAL	11,4035	12,3961	15,7126	18,8349	15,6304
AAm/KSM/BENT/SAL	10,4405	10,2601	10,8943	10,6730	11,9133

Çizelge 4.20. Hidrojel sistemlerin THF-su'daki sıvı difüzyonu ile ilgili difüzyon parametreleri

KSM/mg	0	20	40	60	80
	THF-su				
	Difüzyon üsteli (n)				
AAm/KSM	0,6480	0,9104	0,8351	0,8579	0,8432
AAm/KSM/BENT	0,4999	0,6114	0,4494	0,5343	0,5552
AAm/KSM/SAL	0,7681	0,7326	0,9022	0,9075	0,6947
AAm/KSM/BENT/SAL	0,6780	0,8777	0,8458	1,0563	1,0383
	Difüzyon sabiti ($k \times 10^3$)				
AAm/KSM	19,7402	4,9183	7,1018	6,0222	6,6696
AAm/KSM/BENT	40,5467	21,8774	56,0338	34,4103	31,4455
AAm/KSM/SAL	12,2724	13,4215	5,7636	5,1426	13,6529
AAm/KSM/BENT/SAL	19,0422	6,4177	6,4048	3,6706	5,0408
	Difüzyon katsayısı ($D \times 10^5$)				
AAm/KSM	12,1752	31,9595	28,8459	32,6432	35,9741
AAm/KSM/BENT	3,9471	8,8187	3,7726	7,7332	10,3049
AAm/KSM/SAL	17,7435	16,1405	31,3209	32,7890	15,9586
AAm/KSM/BENT/SAL	10,6196	21,7180	19,0577	58,8541	81,0330

Çizelge 4.21. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerin ASE-su ve MET-su'daki sıvı difüzyonu ile difüzyon parametreleri

% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	ASE-su				
	Difüzyon üsteli (n)				
BENT	0,5739	0,4481	0,5030	0,5167	0,5422
SAL	0,5739	0,7142	0,7577	0,8037	0,8669
	Difüzyon sabiti ($k \times 10^3$)				
BENT	27,1847	41,3080	46,3238	36,9422	41,6439
SAL	27,1847	18,0105	14,4755	11,0536	8,1048
	Difüzyon katsayısı ($D \times 10^5$)				
BENT	11,8396	6,7589	5,9535	9,0389	8,7009
SAL	9,4782	22,8913	30,1380	37,1925	49,7435
	MET-su				
	Difüzyon üsteli (n)				
BENT	0,6441	0,7548	0,6675	0,7953	0,8651
SAL	0,6441	0,6684	0,7455	0,6687	0,7287
	Difüzyon sabiti ($k \times 10^3$)				
BENT	19,9326	13,4013	18,3872	9,9847	8,1129
SAL	19,9326	19,5203	12,2896	16,1732	11,1379
	Difüzyon katsayısı ($D \times 10^5$)				
BENT	15,1070	20,2483	13,9083	26,8310	47,7650
SAL	15,1070	13,3942	18,8349	13,2522	17,6739

Çizelge 4.22. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerin THF-su'daki sıvı difüzyonu ile difüzyon parametreleri

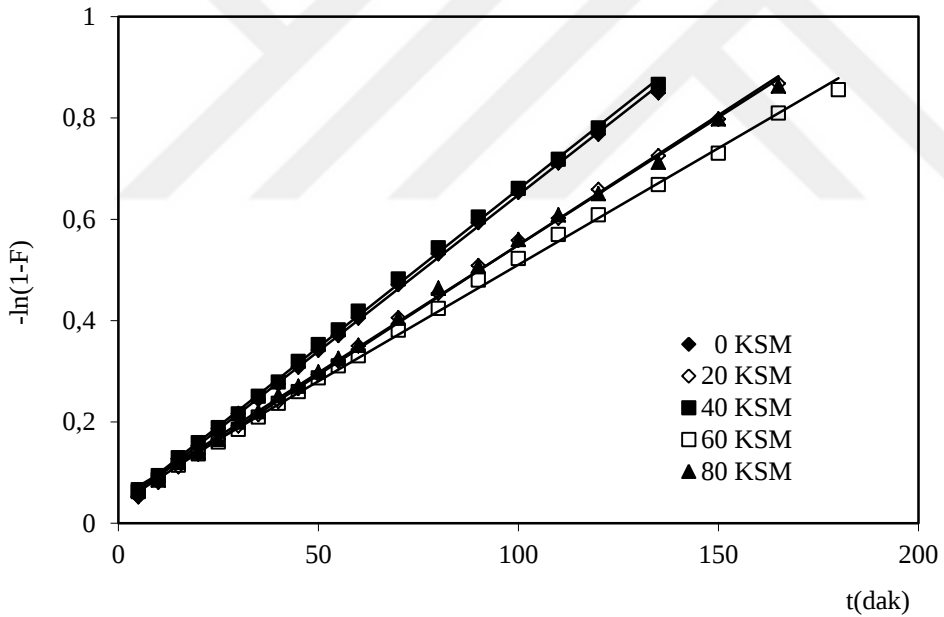
% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	THF-su				
	Difüzyon üsteli (n)				
BENT	0,8579	0,6139	0,5343	0,6068	0,8790
SAL	0,8579	0,9784	0,9075	0,8594	0,8251
	Difüzyon sabiti ($k \times 10^3$)				
BENT	6,0222	23,5177	34,4103	25,5978	4,7987
SAL	6,0222	4,5547	5,1426	3,8836	8,3516
	Difüzyon katsayısı ($D \times 10^5$)				
BENT	32,6432	11,6862	7,7332	13,4864	33,6915
SAL	32,6432	43,3137	32,7890	23,2511	32,9032

Çizelge 4.18-19-20. incelendiğinde, difüzyon üsteli n değerlerinin, polimerler için 0,56-0,86 arasında bulunmuştur. Bu değerler $0,5 < n < 1$ aralığındadır. Bu durumda, hidrojellerin su difüzyon türü Fick tipi olmayan (anormal) difüzyon sınıfına girmektedir. Yani hidrojellerin şişmesi sırasında difüzyonun ve durulmanın aynı anda olduğu söylenebilir.

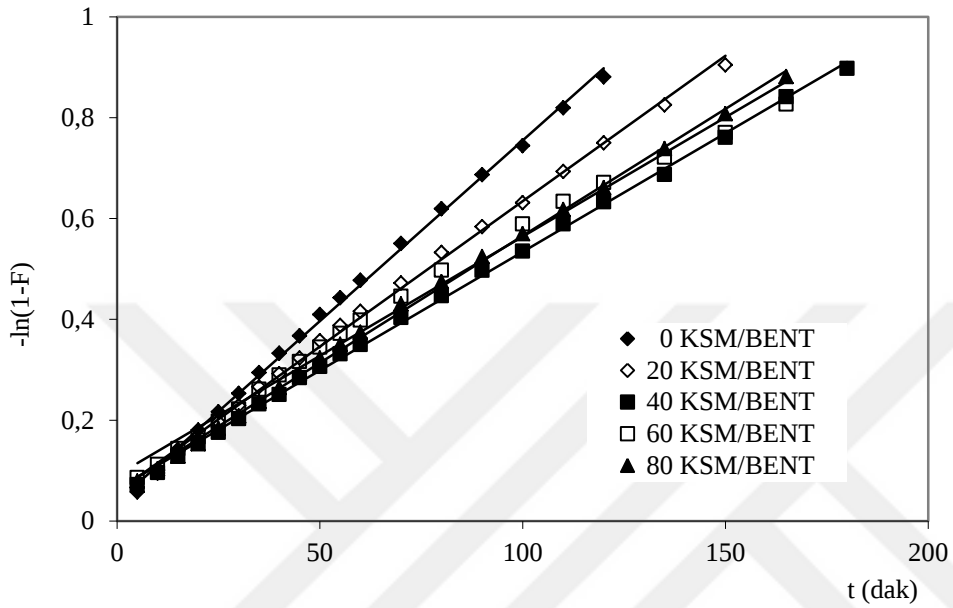
Çizelge 4.21-22. incelendiğinde, hazırlanan çapraz bağlı polimerler için (n) değerleri 0,50-0,61 arasında bulunmuştur.

4.3.6. Hidrojel sistemlerde Su/Sıvı Soğurum Hız Katsayısı

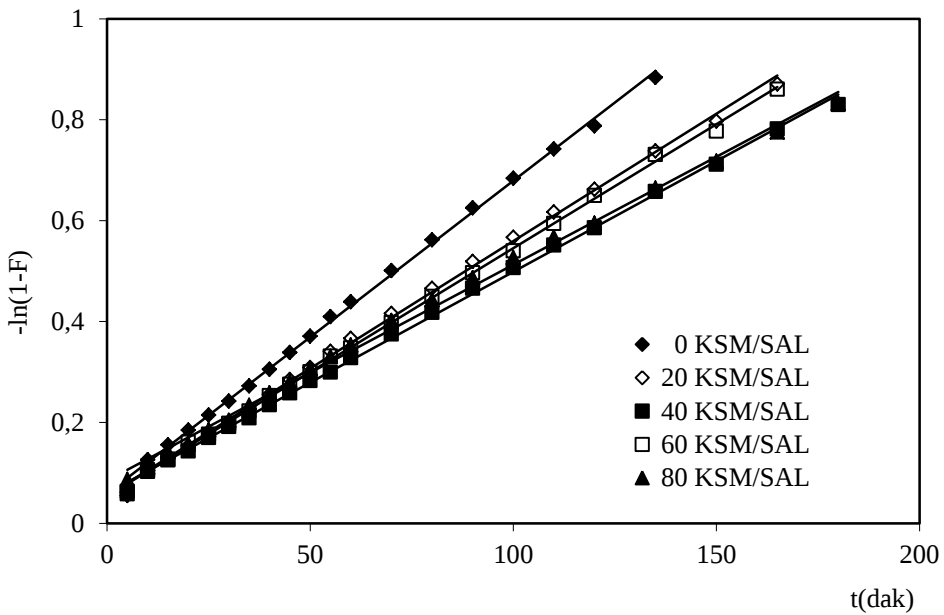
Çapraz bağlı polimer ya da gözenekli katılara suyun ya da bir başka sıvının difüzyonunu karakterize eden bir diğer parametre de su/sıvı soğurum hız katsayısı (k_{ss}) dır. Eşitlik 7'den elde edilen k_{ss} değerleri değerlendirilir ve su soğurumunun temelleri hakkında bilgi edinilir. $-\ln(1-F)-t$ grafiklerinin eğiminden hesaplanan k_{ss} değerleri yorumlanarak su/sıvı soğurumunun temelleri araştırılabilir. Bu çalışmada hazırlanan hidrojel sistemler için düzenlenen $-\ln(1-F)-t$ grafikleri aşağıda sırası ile sunulmuştur.



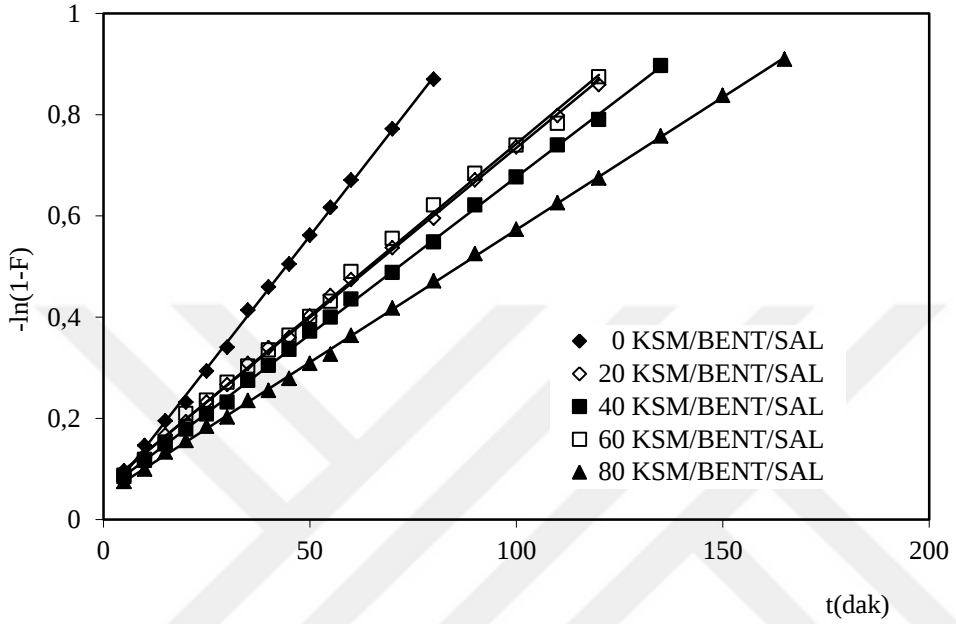
Şekil 4.91. AAm/KSM hidrojellerinin $-\ln(1-F)-t$ değişimi



Şekil 4.92. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin $-\ln(1-F)$ - t değişimi



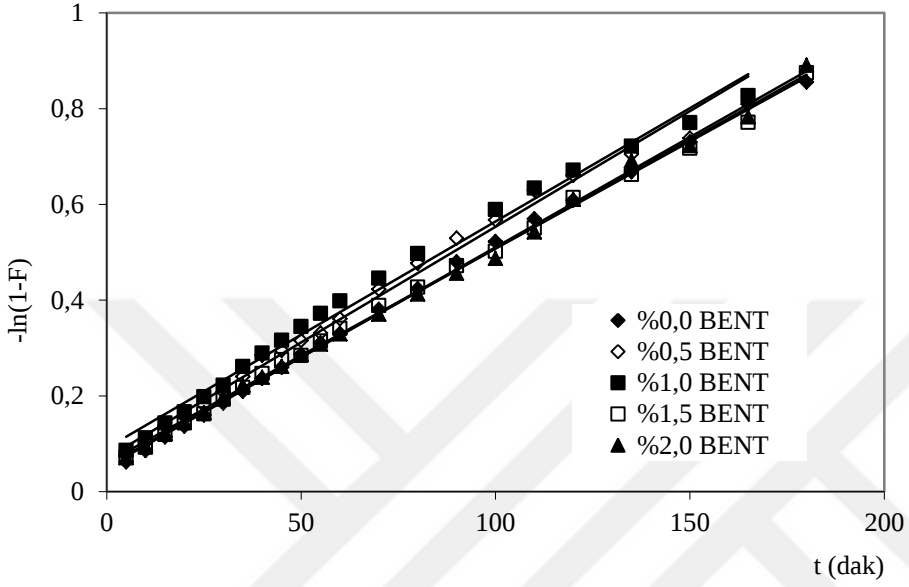
Şekil 4.93. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin $-\ln(1-F)$ - t değişimi



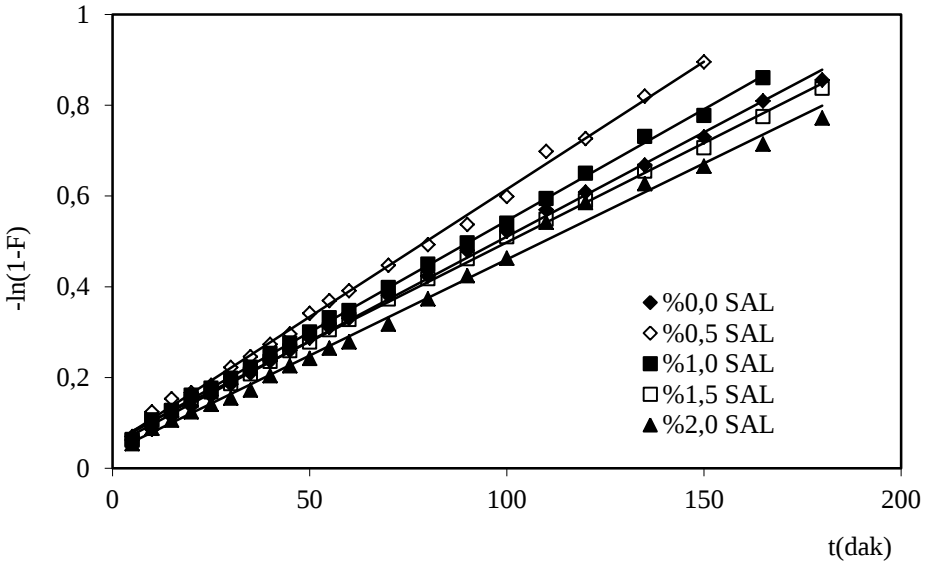
Şekil 4.94. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin $-\ln(1-F)$ - t değişimi

Çizelge 4.23. Hidrojel sistemlerde su/sıvı soğurum hız katsayısı değerleri

KSM/mg	0	20	40	60	80
	Su/sıvı soğurum hız katsayısı ($k_{ss} \times 10^{-3}$)				
AAm/KSM	6,17	5,13	6,42	4,60	5,04
AAm/KSM/BENT	7,16	5,77	4,71	4,73	5,04
AAm/KSM/SAL	6,20	5,50	4,39	4,91	4,28
AAm/KSM/BENT/SAL	10,50	6,70	6,22	6,80	5,24



Şekil 4.95. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin $-\ln(1-F) - t$ değişimi



Şekil 4.96. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin $-\ln(1-F) - t$ değişimi

Çizelge 4.24. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde su/sıvı soğurum hız katsayısı değerleri

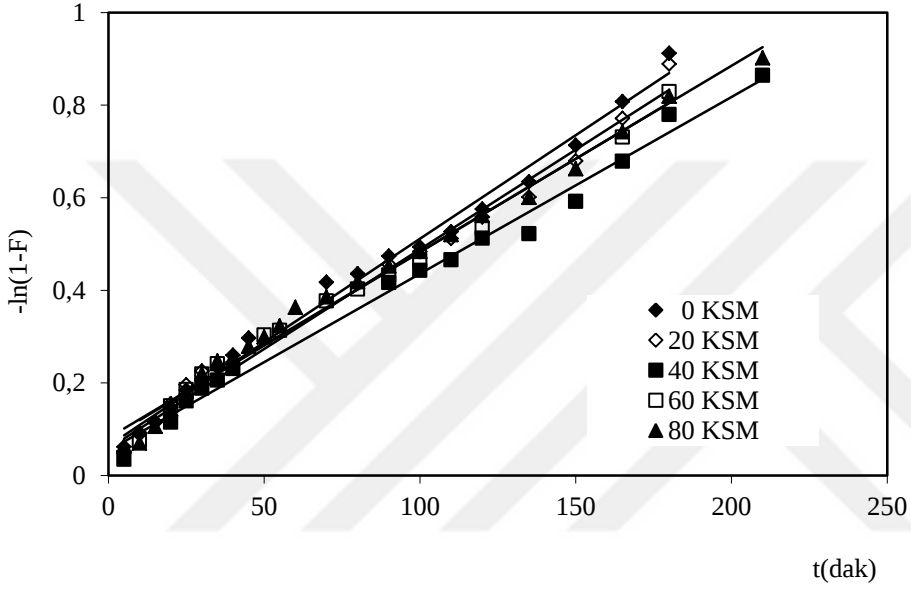
% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	Su/sıvı soğurum hız katsayısı ($k_{ss} \times 10^3$)				
BENT	4,60	4,83	4,73	4,47	4,54
SAL	4,60	5,62	4,91	4,38	4,24

Çizelge 4.23. incelendiğinde, k_{ss} değeri, genellikle KSM eklenmesi ile azalmıştır. Su soğurumunun düşük KSM değerlerinde artış gösterdiği söylenebilir. Aynı şekilde BENT ve SAL ayrı ayrı eklenmesi ile de k_{ss} değerlerinde düşüş görülmektedir. Doğal polimer ve kil eklenmesiyle düşüş oranının, KSM eklenmesiyle oluşan düşme oranından fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle, AAm/KSM hidrojellerinin gözeneklerine su difüzyonunun, AAm/KSM/BENT ve AAm/KSM/SAL hidrojellerine göre daha kararlı bir şekilde ilerleyebileceği ya da daha kararlı davranabileceği düşünülebilir. Ayrıca BENT ve SAL birlikte eklenmesi ile de k_{ss} değerlerinde artış görülmektedir AAm/KSM/BENT/SAL hidrojellerinin gözeneklerine su difüzyonunun daha kararlı bir şekilde ilerleyebileceği ya da daha kararlı davranabileceği düşünülebilir.

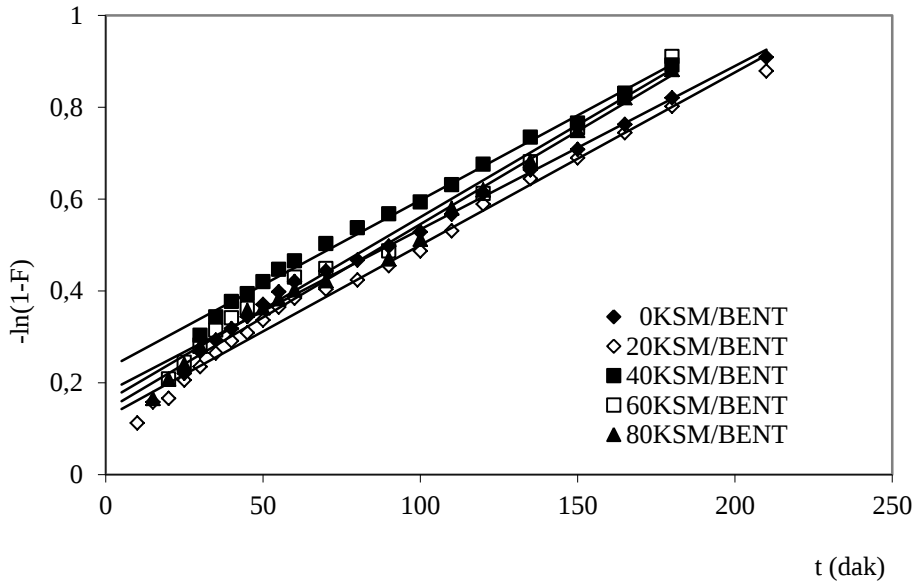
Çizelge 4.24. incelendiğinde, farklı BENT ve SAL içeriğine sahip 60 mg KSM içeren polimerik örneklerin k_{ss} değerleri incelendiğinde BENT ve SAL içermeyenlere göre su soğurumunun yüksek BENT ve SAL değerlerinde genellikle düşüş gösterdiği söylenebilir. SAL oranının artmasıyla meydana gelen k_{ss} değerindeki düşüş oranının, BENT oranının artmasıyla meydana gelen k_{ss} değerindeki düşüş oranından fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle, değişen oranlarda BENT içeren hidrojellerin gözeneklerine su difüzyonunun, değişen oranlarda SAL içeren hidrojellere göre daha kararlı bir şekilde ilerleyebileceği ya da daha kararlı davranabileceği söylenebilir.

4.3.6.1. Farklı Su-Çözücü Karışımlarında Su/Sıvı Soğurum Hız Katsayısı

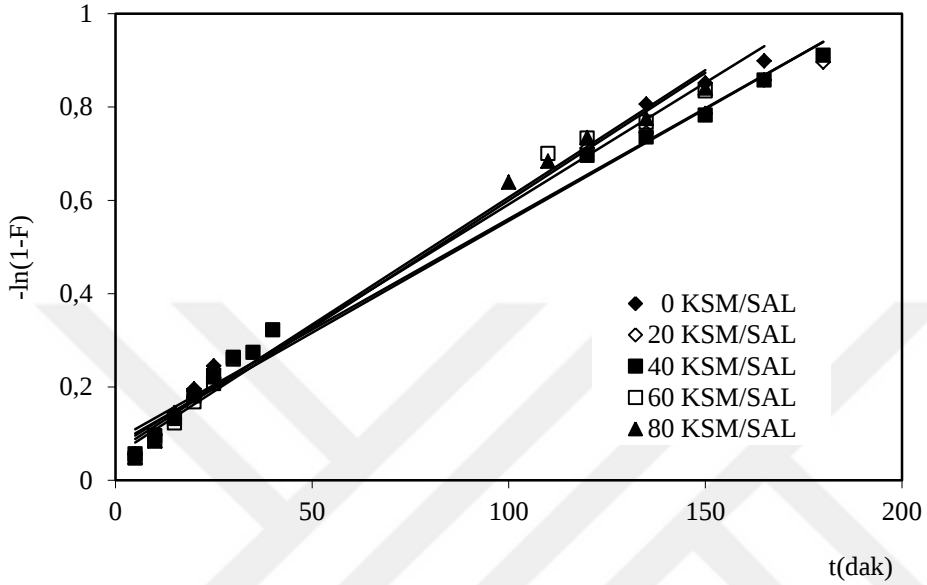
ASE-Su'da Su/Sıvı Soğurum Hız Katsayısı



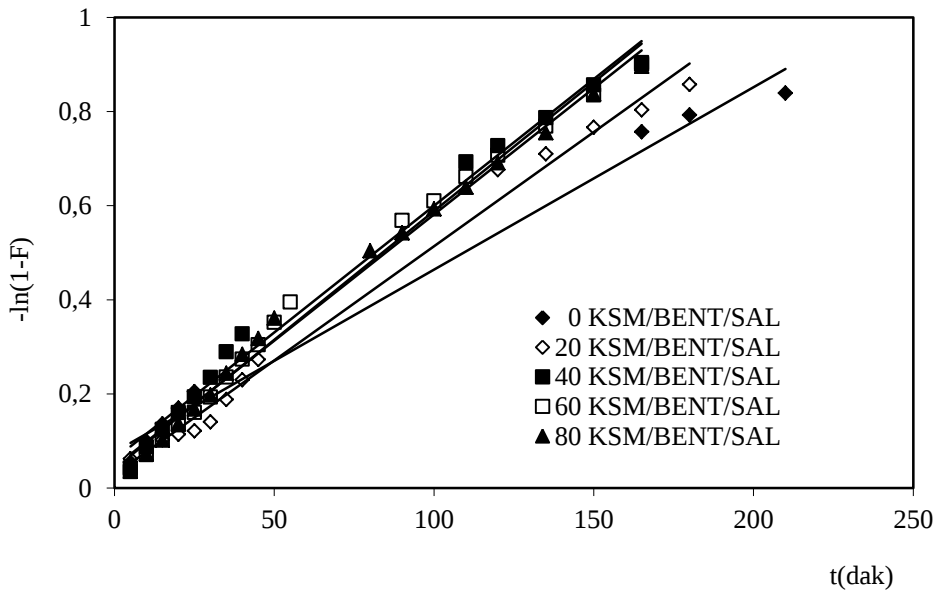
Şekil 4.97. AAm/KSM hidrojenlerinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ - t değişimi



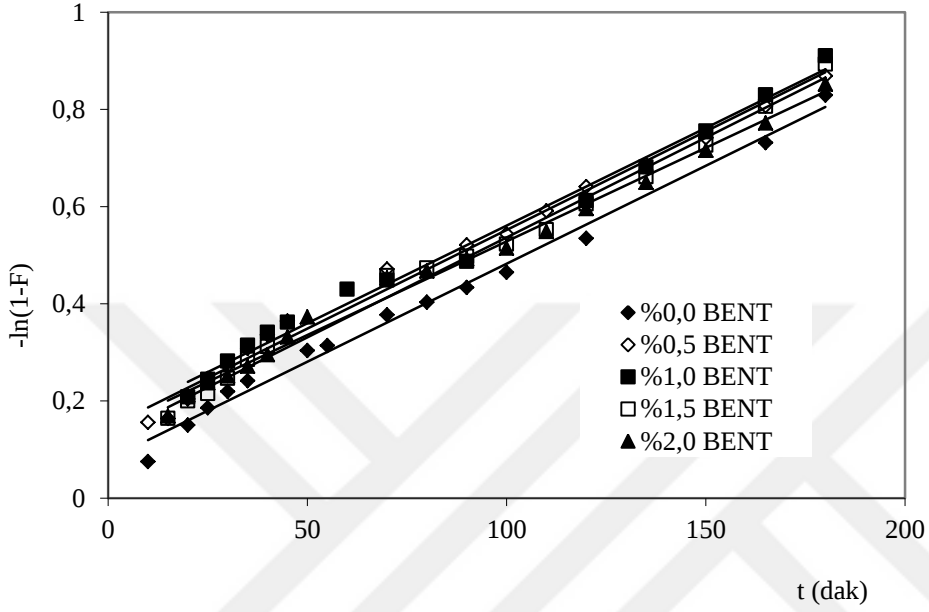
Şekil 4.98. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ - t değişimi



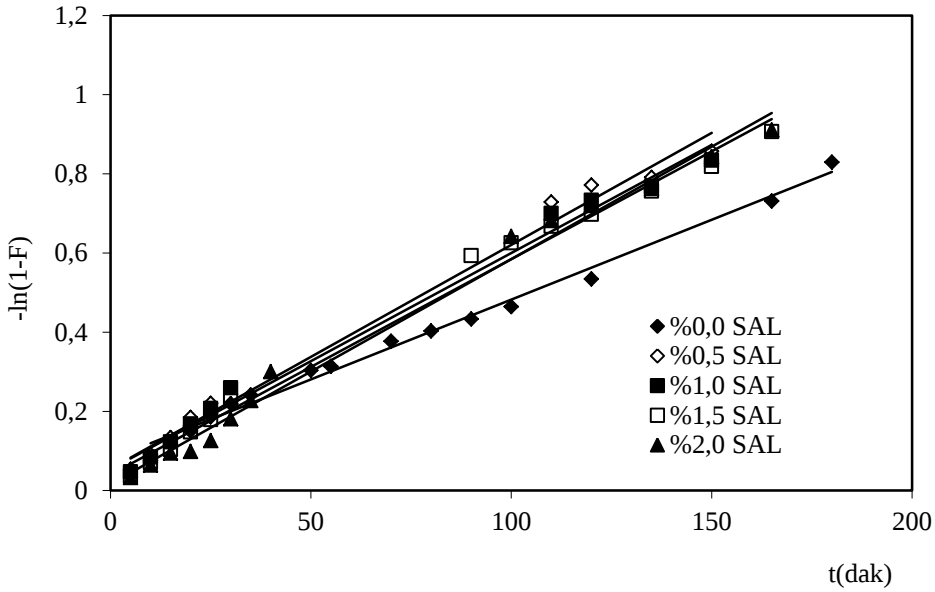
Şekil 4.99. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi



Şekil 4.100. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi

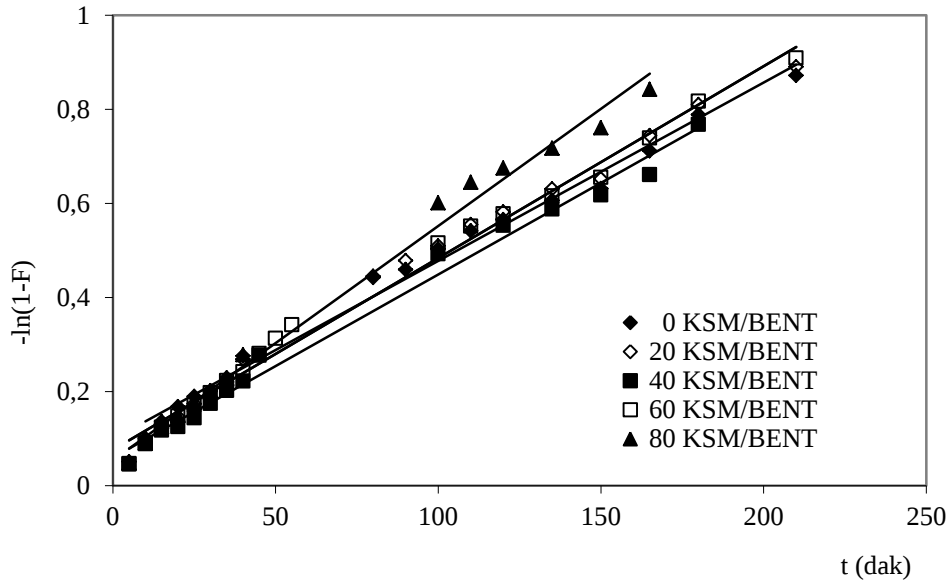
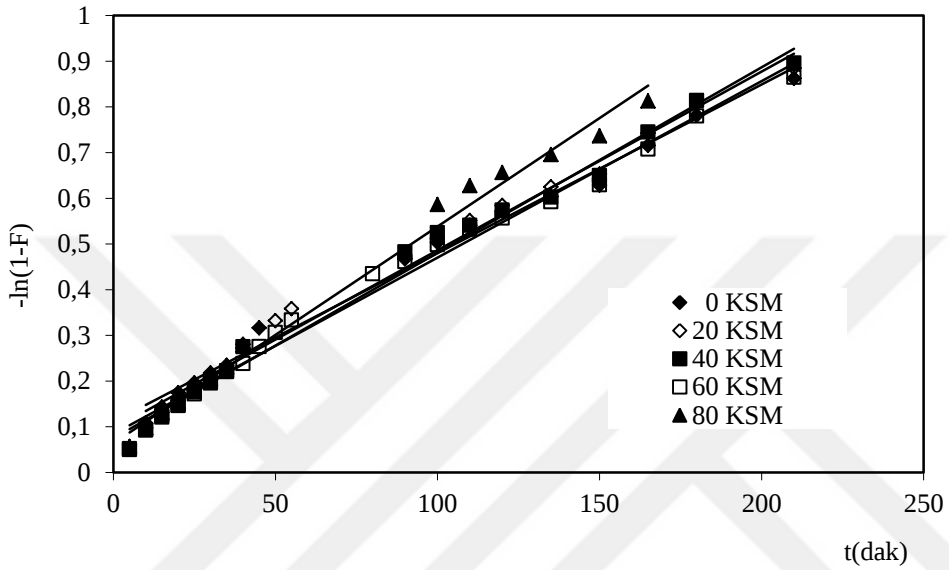


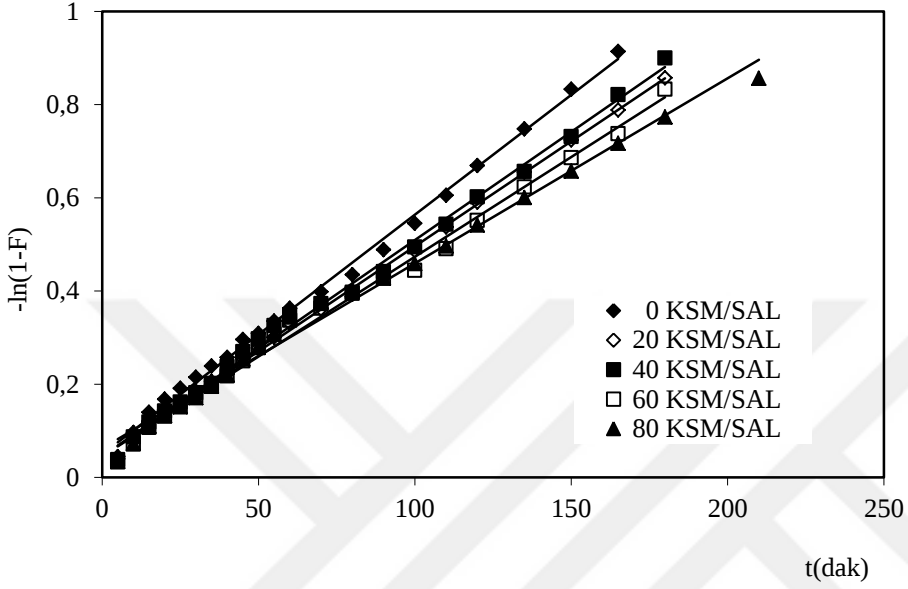
Şekil 4.101. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojelinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi



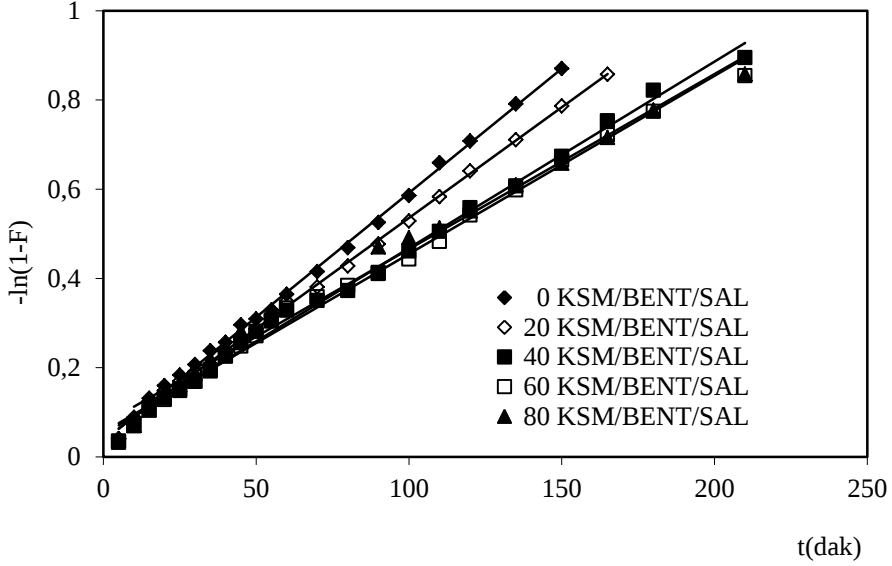
Şekil 4.102. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL hibrit hidrojelinde ASE-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi

MET-Su'da Su/Sıvı Soğurum Hız Katsayısı

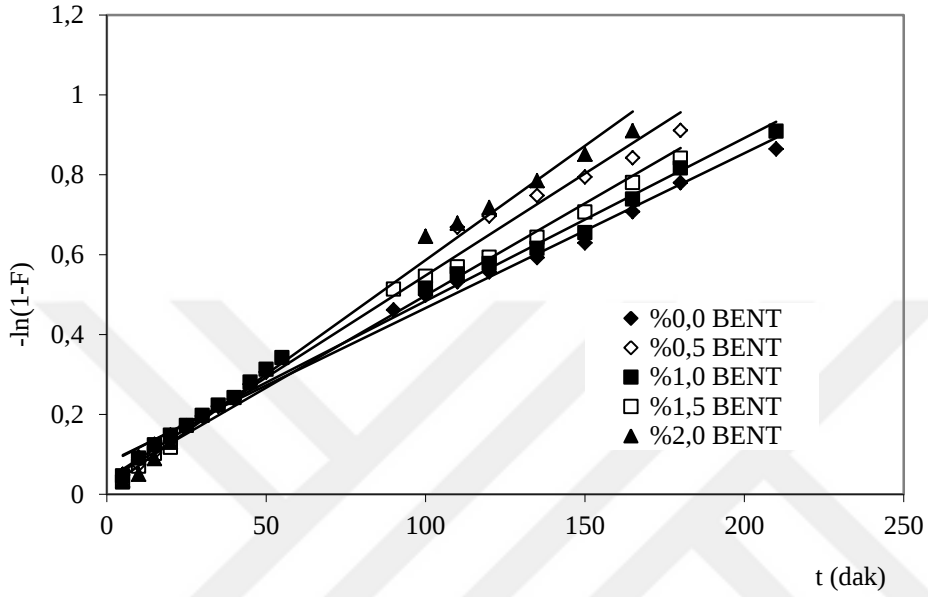




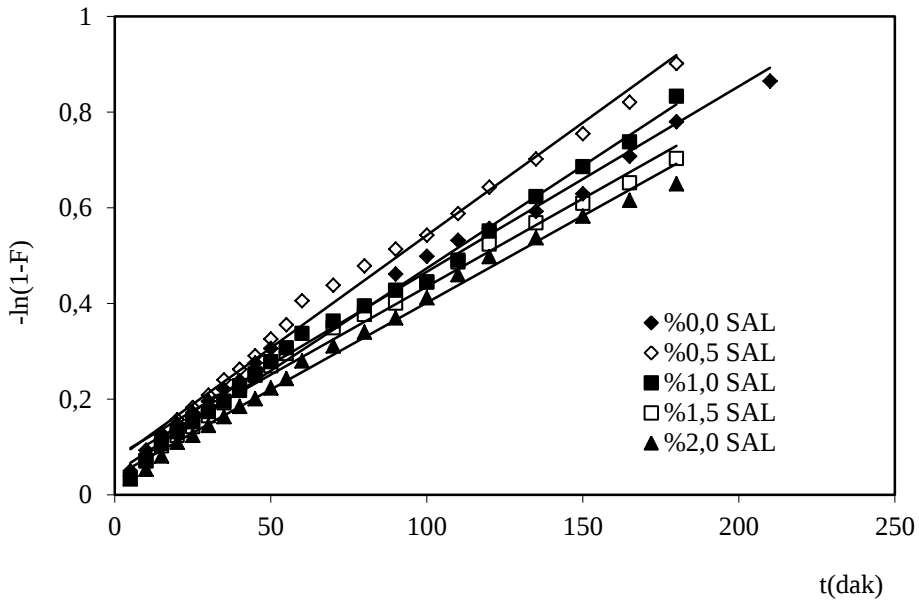
Şekil 4.105. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinde MET-su'daki $-\ln(1-F)$ - t değişimi



Şekil 4.106. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinde MET-su'daki $-\ln(1-F)$ - t değişimi

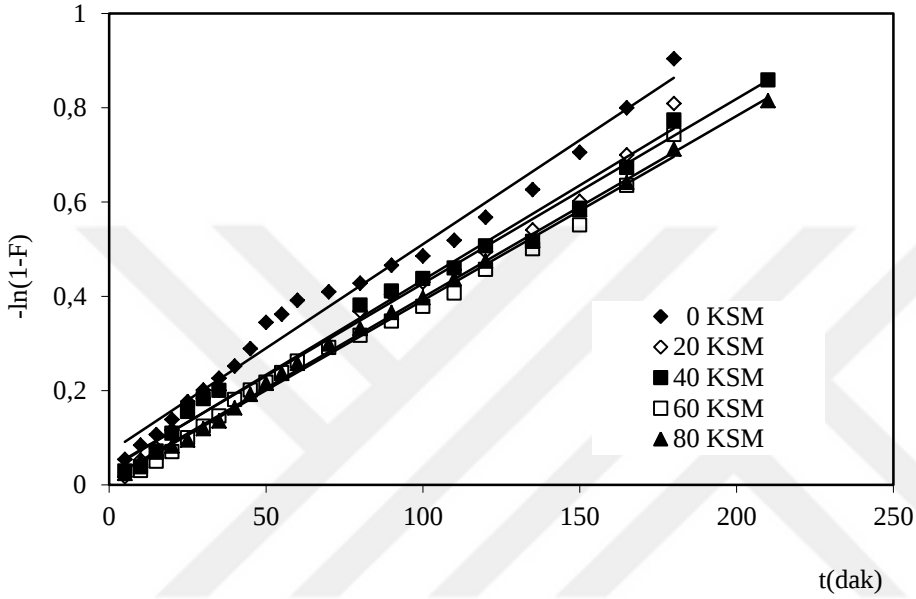


Şekil 4.107. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinde MET-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi

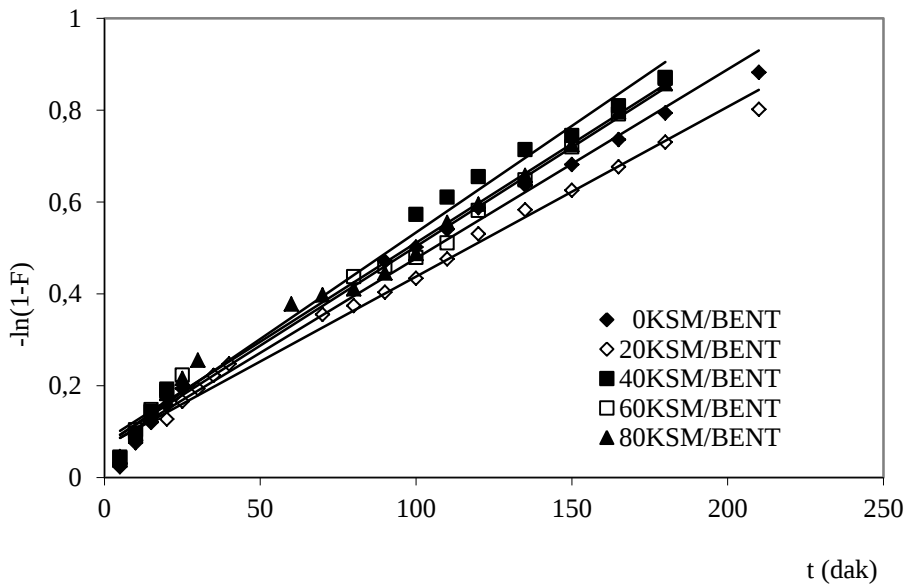


Şekil 4.108. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinde MET-su'daki $-\ln(1-F)$ -t değişimi

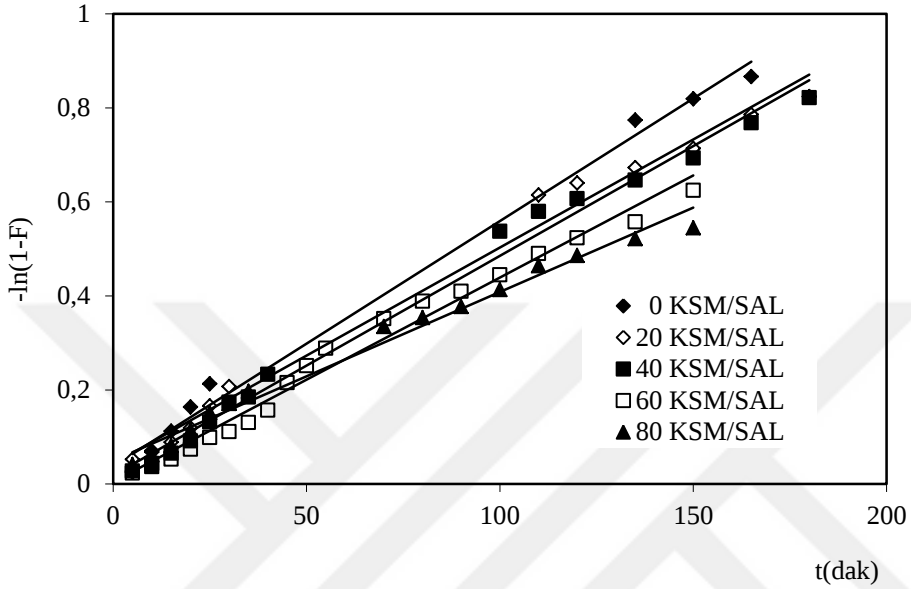
THF-Su'da Su/Sıvı Soğurum Hız Katsayısı



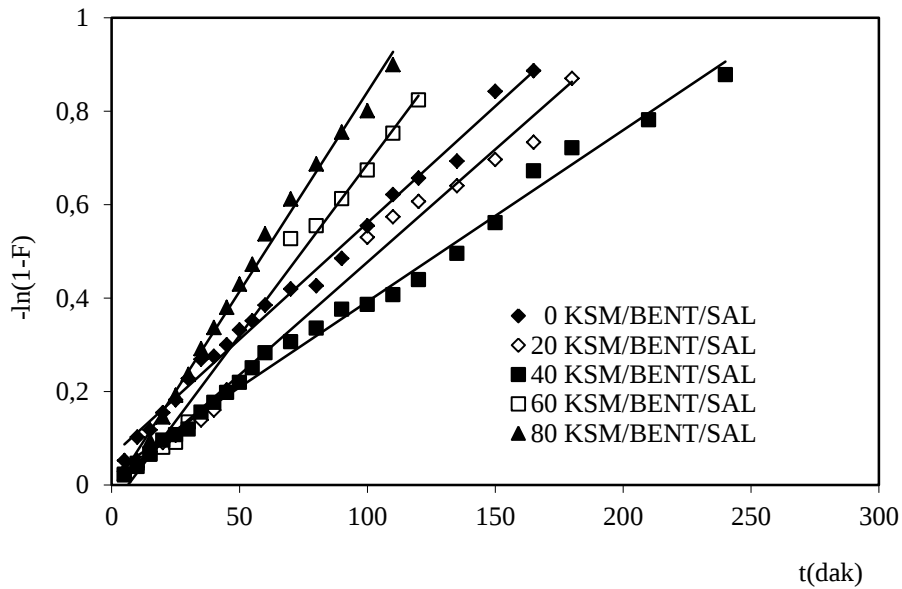
Şekil 4.109. AAm/KSM hidrojenlerinde THF-su'daki $-\ln(1-F)$ - t değişimi



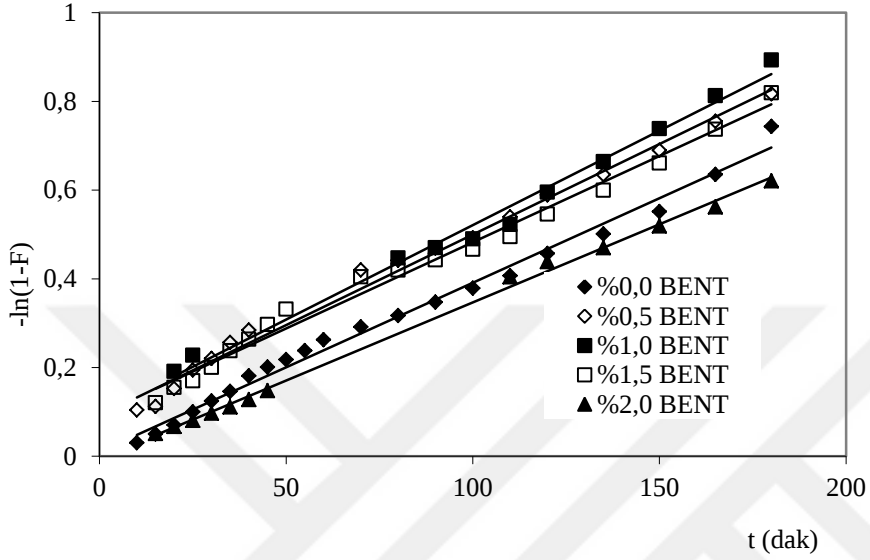
Şekil 4.110. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinde THF-su'daki $-\ln(1-F)$ - t değişimi



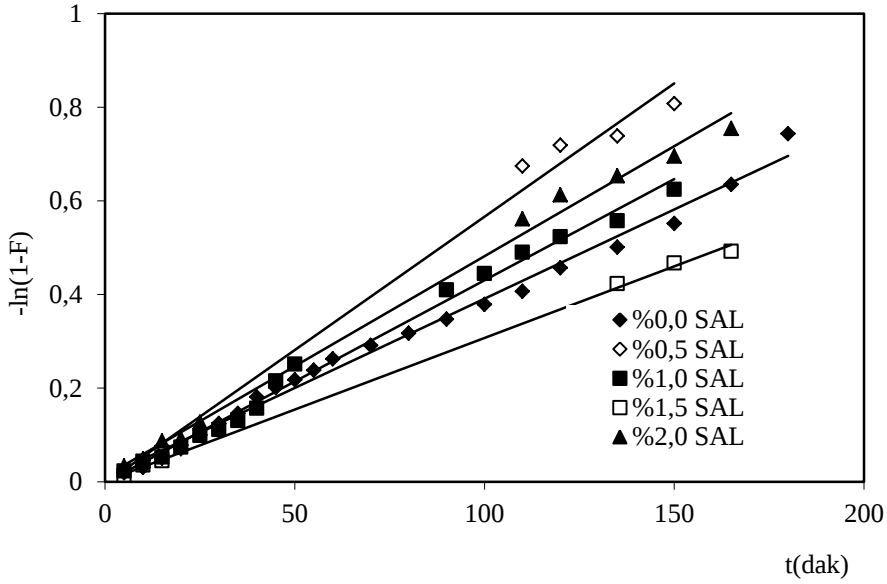
Şekil 4.111. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojjellerinde THF-su'daki $-\ln(1-F)$ - t değışimi



Şekil 4.112. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojjellerinde THF-su'daki $-\ln(1-F)$ - t değışimi



Şekil 4.113. Farklı BENT içeriğine sahip AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinde THF-su'daki $-\ln(1-F)$ - t değişimi



Şekil 4.114. Farklı SAL içeriğine sahip AAm/KSM/SAL hibrit hidrojenlerinde THF-su'daki $-\ln(1-F)$ - t değişimi

Çizelge 4.25. Hidrojel sistemlerin ASE-su; MET-su ve THF-su'daki su/sıvı soğurum hız katsayısı değerleri

KSM/mg	0	20	40	60	80
	Su/sıvı soğurum hız katsayısı ($k_{ss} \times 10^3$)				
	ASE-su				
AAm/KSM	4,47	4,30	3,82	4,03	4,02
AAm/KSM/BENT	3,56	3,76	3,69	4,02	4,06
AAm/KSM/SAL	5,21	4,80	4,74	5,46	5,45
AAm/KSM/BENT/SAL	3,88	4,85	5,38	5,47	5,36
	MET-su				
AAm/KSM	3,69	3,91	4,06	3,86	4,75
AAm/KSM/BENT	3,79	4,08	3,90	4,08	4,98
AAm/KSM/SAL	5,14	4,51	4,67	4,28	3,97
AAm/KSM/BENT/SAL	5,57	4,96	4,18	3,99	3,92
	THF-su				
AAm/KSM	4,32	4,09	3,92	3,85	3,85
AAm/KSM/BENT	4,12	3,70	4,64	4,32	4,31
AAm/KSM/SAL	5,06	4,60	4,67	4,25	3,37
AAm/KSM/BENT/SAL	4,99	4,83	3,67	7,34	8,55

Çizelge 4.26. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojel sistemlerde su/sıvı soğurum hız katsayısı değerleri

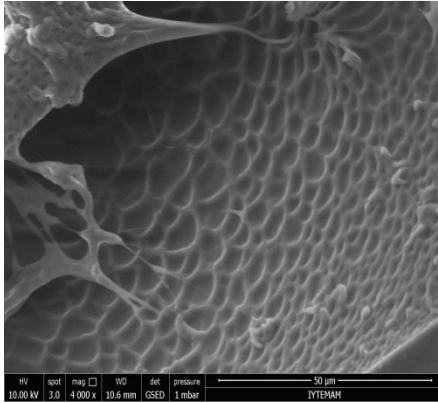
% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,0	0,25	0,50	0,75	1,00
	Su/sıvı soğurum hız katsayısı ($k_{ss} \times 10^3$)				
	ASE-su				
BENT	4,03	4,06	4,02	4,11	3,85
SAL	4,03	5,66	5,46	5,45	5,68
	MET-su				
BENT	3,88	5,10	4,08	4,61	5,72
SAL	3,88	4,71	4,28	3,68	3,63
	THF-su				
BENT	3,85	3,99	4,32	3,86	3,19
SAL	3,85	5,56	4,25	2,87	4,47

Çizelge 4.25. ve 4.26. incelendiğinde, k_{ss} değeri, genellikle KSM eklenmesi ile artmıştır. Su soğurumunun yüksek KSM değerlerinde genellikle artış gösterdiği söylenebilir. Aynı şekilde BENT eklenmesi ile de k_{ss} değerlerinde artış görülmektedir ve kil eklenmesiyle artış oranının, KSM eklenmesiyle oluşan artış oranından az miktarda fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle, AAm/KSM hidrojellerinin gözeneklerine su difüzyonunun, AAm/KSM/BENT hidrojellerine göre daha kararlı bir şekilde ilerleyebileceği ya da daha kararlı davranabileceği düşünülebilir. Aynı şekilde SAL eklenmesi ile de k_{ss} değerlerinde düşüş görülmektedir ve doğal polimer eklenmesiyle düşüş oranının AAm/KSM/BEN/SAL hidrojellerine göre daha az olduğu görülmektedir.

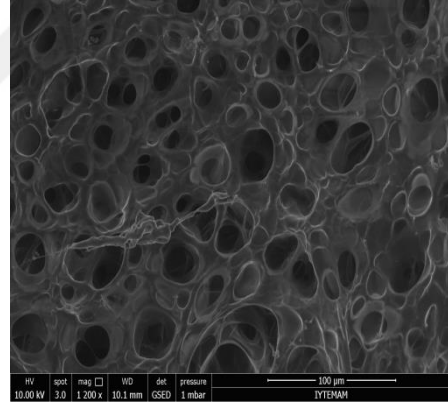
4.4. SEM Çalışmaları

Hazırlanan çapraz bağlı kopolimerlerin yüzey gözenekliliği hakkında bilgi edinebilmek amacıyla SEM mikrografları alınmıştır. SEM mikrograflarının elde edilmesinde şişmiş haldeki polimerik örnekler kullanılmıştır. Farklı büyütme ölçekleri kullanılarak alınan görüntüler şekilde sunulmuştur. SEM mikrografları, çapraz bağlanmalar sonucunda oluşan gözenekler hakkında görsel fikir vermektedir.

Mikrograflar incelendiğinde yüzeylerde mikrometre ölçeğinde gözenek ve içe doğru ilerleyen kanal ve boşluklar izlenmektedir.

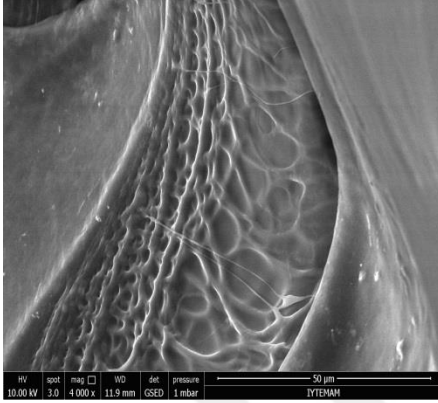


a)

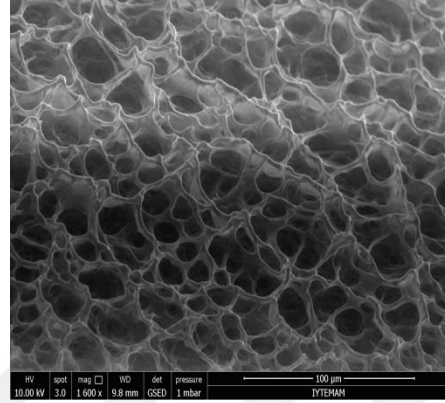


b)

Şekil 4.115. AAm/(0) KSM (a) ve AAm/(60) KSM (b) hidrojellerinin SEM mikrografları



a)

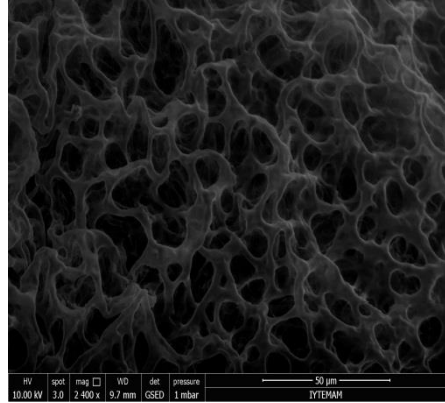


b)

Şekil 4.116. AAm/(0) KSM/BENT (a) ve AAm/(60) KSM/BENT (b) hibrit hidrojenlerinin SEM mikrografları

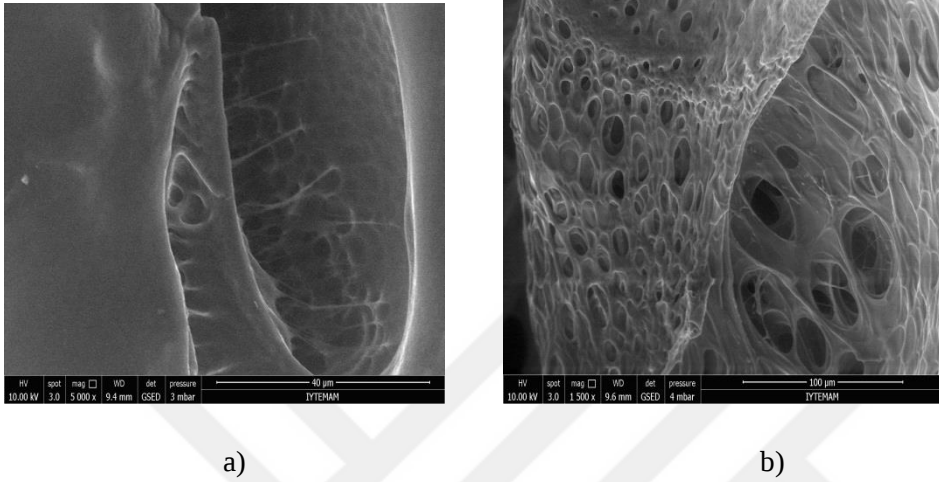


a)



b)

Şekil 4.117. AAm/(0) KSM/SAL (a) ve AAm/(60) KSM/SAL (b) semi-IPN hidrojenlerinin SEM mikrografları



Şekil 4.118. AAm/(0) KSM/BENT/SAL (a) ve AAm/(60) KSM/BENT/SAL (b) hibrit hidrojenlerinin SEM mikrografları

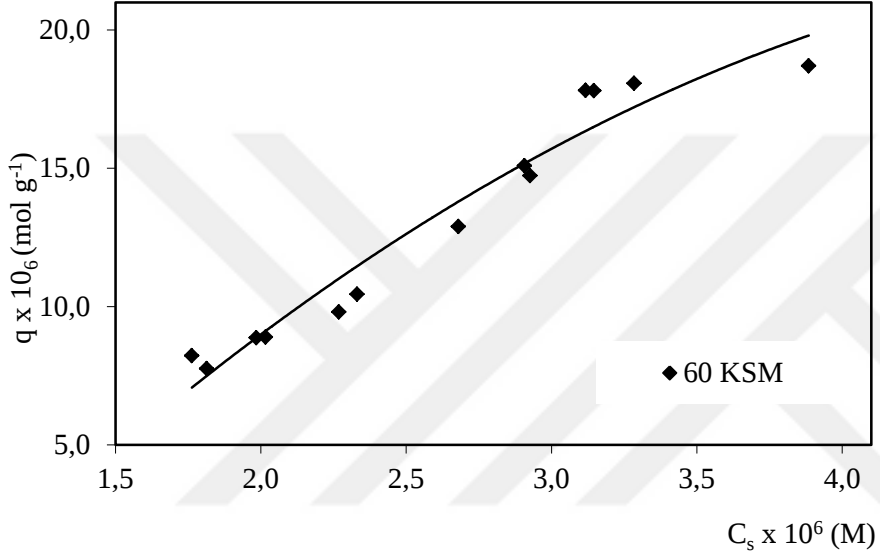
4.5. Yüzeye Soğurum

KSM yardımcı monomeri kullanılarak sentezlenen anyonik özellikteki hidrojenlerin, hibrit hidrojenlerinin ve semi-IPN hidrojenlerin yüzeye soğurum özelliklerinin araştırılabilmesi için, sulu ortamlarda katyonik özellik gösteren bir boyarmaddenin model molekül olarak kullanılması amaçlanmıştır. Kimyasal yapısı Çizelge 3.2’de sunulan lauths violet (LV) (Thionin), katyonik özellikte bir boyarmaddedir ve anyonik özellikteki çapraz bağlı polimerler ile kuvvetli etkileşim göstermesi beklenmiştir.

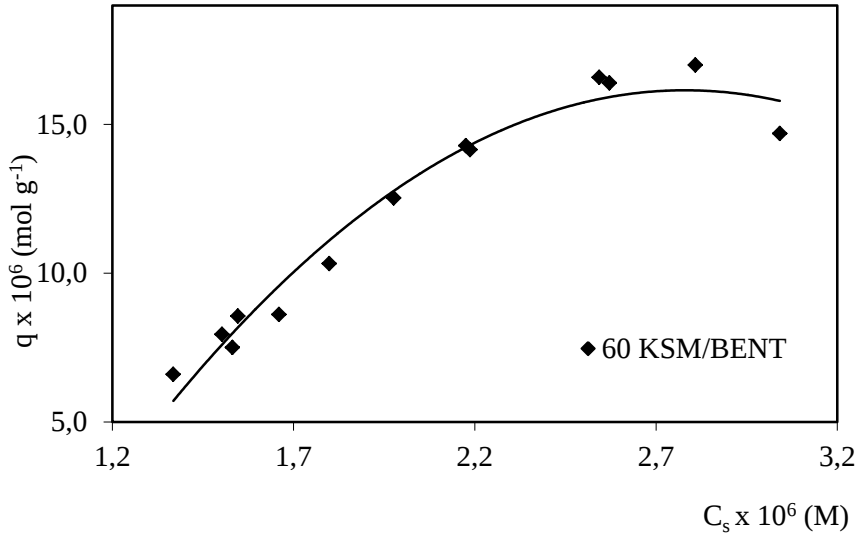
Yüzeye soğurum çalışmalarında temel olarak araştırılması gereken önemli iki nokta vardır. Bunlardan ilki, soğuruma çözelti derişiminin etkisi, diğeri ise sabit çözelti derişiminde, polimerik örneklerde bulunan bileşenlerin değişik içeriklerinin soğuruma etkisidir.

Boyarmadde soğurumuna derişimin etkisini araştırabilmek amacıyla, 60 mg sabit kütlede yardımcı monomer içeriğine sahip hidrojenlerin, hibrit hidrojenlerinin ve semi-IPN hidrojenlerin, $2,0 \times 10^{-5}$ – $6,0 \times 10^{-5}$ M arasında değişen 21 farklı derişimde LV çözelti ile dengeye gelene dek etkileşimleri sağlanmıştır. 25°C’da gerçekleştirilen soğurum çalışmaları sonucu elde edilen veriler yardımıyla, denge adsorpsiyon izotermi oluşturularak adsorpsiyon kapasitesi olarak adlandırılan, 1,0 g çapraz bağlı polimer tarafından soğurulan

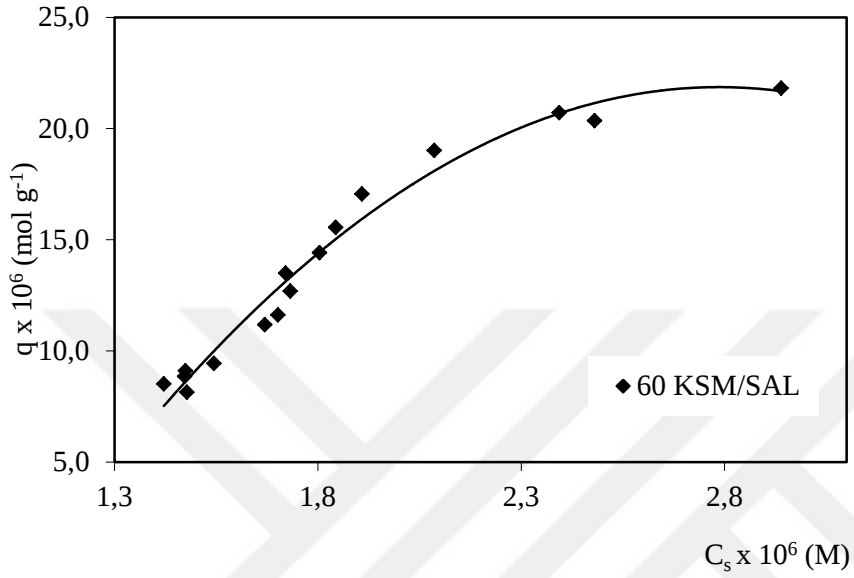
boyarmaddenin mol miktarı, q hesaplanmıştır. LV için Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanan q değerleri ve çözeltinin denge derişimi, C_s kullanılarak çizilen denge adsorpsiyon izotermi Şekil 4.115-4.118.'de sunulmuştur.



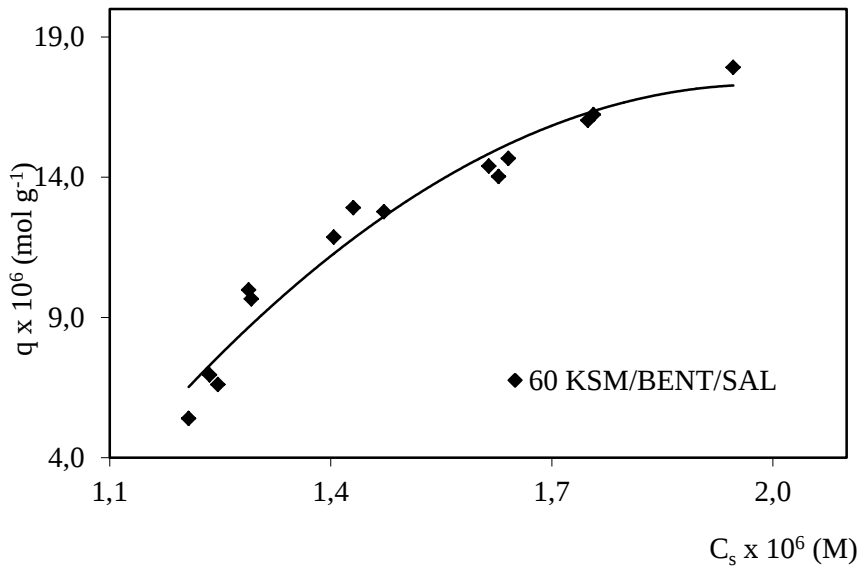
Şekil 4.119. AAm/KSM hidrojellerine LV soğurumu



Şekil 4.120. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerine LV soğurumu



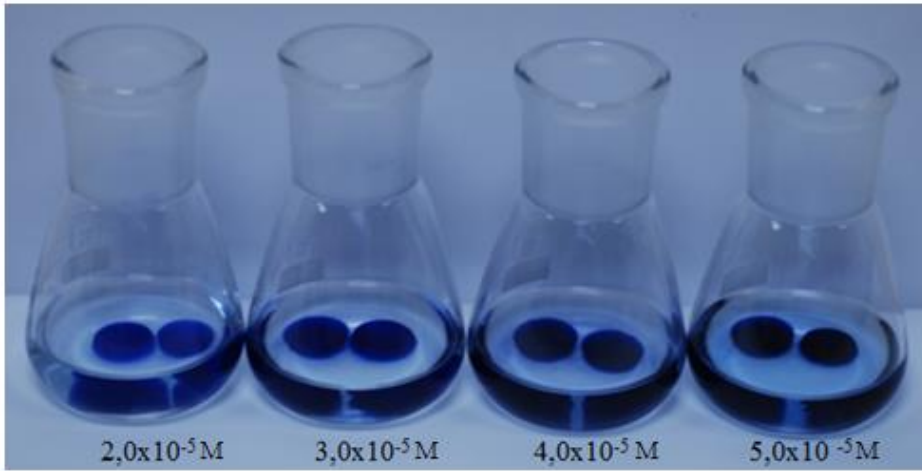
Şekil 4.121. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerine LV soğurumu



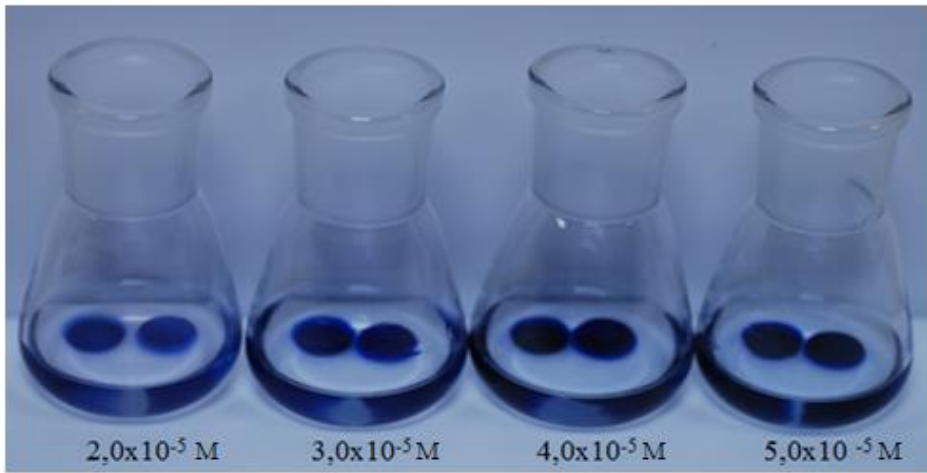
Şekil 4.122. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojellerine LV soğurumu

Grafikler incelendiğinde, adsorpsiyon izotermelerinin çözelti derişimlerine paralel olarak aynı karakterde artışlar gösterdiği söylenebilir. Sentezlenen hidrojelellrin, hibrit hidrojellerin ve semi-IPN hidrojellerin çok yoğun ortamlarda bile soğurum yapabilme yetenekleri ortaya konabilir.

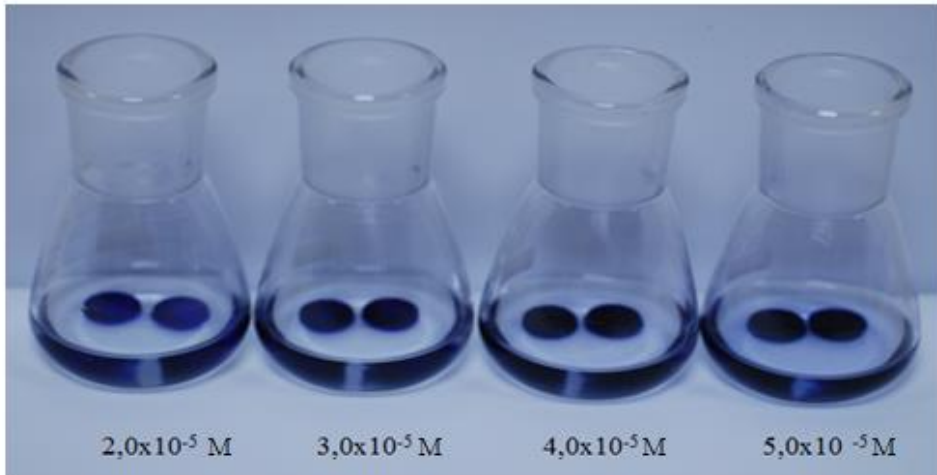
Görsel olarak fikir vermesi amacıyla, 4 farklı derişimde çözelti ile dengeye gelen hidrojellerin, hibrit hidrojellerin ve semi-IPN hidrojellerin görünümüleri şekilde sunulmuştur.



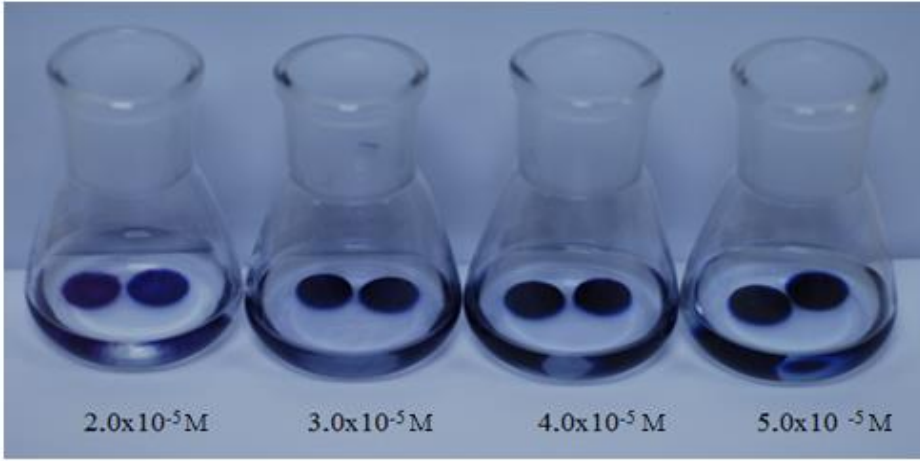
Şekil 4.123. AAm/KSM hidrojellerinin farklı derişimlerde LV çözeltisindeki görünümüleri



Şekil 4.124. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltisindeki görünümüleri



Şekil 4.125. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltisindeki görünümüleri



Şekil 4.126. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltilisindeki görünümüleri

Yüzeye soğuruma KSM etkisinin araştırılması amacıyla $5,0 \times 10^{-5}$ M sabit çözelti derişimi seçilmiştir. 25°C sabit sıcaklıkta gerçekleştirilen çalışmanın ikinci kısmında, 20, 40, 60 ve 80 mg yardımcı monomer içeren hidrojenler sabit derişimdeki çözeltiler ile dengeye gelene kadar etkileştirilmişlerdir. Ayrıca, hibrit hidrojel yapısında bulunan BENT ve semi-IPN hidrojel yapısında bulunan SAL miktarının soğuruma etkisini araştırabilmek için değişen oranlarda polimer içeren hidrojenler sabit derişimde çözeltiler ile etkileştirilmiştir. Eşitlik 8, 9 ve 10 yardımıyla hesaplanan q , $\% \text{Ads}$ ve K_d değerleri Çizelge 4.27 ve 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Hidrojel sistemlerde yüzeye soğurum ile ilgili parametreler

KSM/mg	20	40	60	80
	Yüzde adsorpsiyon (%Ads)			
AAm/KSM	87,85	93,16	93,18	93,64
AAm/KSM/BENT	87,11	91,45	94,80	95,85
AAm/KSM/SAL	94,88	95,30	96,29	96,34
AAm/KSM/BENT/SAL	95,88	96,28	96,30	96,39
	Adsorpsiyon kapasitesi ($q \times 10^5$)			
AAm/KSM	1,49	1,60	1,68	1,70
AAm/KSM/BENT	1,69	1,93	1,60	1,57
AAm/KSM/SAL	1,71	1,74	1,63	1,71
AAm/KSM/BENT/SAL	1,54	1,55	1,71	1,56
	Dağılma katsayısı (K_d)			
AAm/KSM	7,24	13,61	13,67	14,72
AAm/KSM/BENT	6,76	10,70	18,22	23,10
AAm/KSM/SAL	18,52	20,30	25,98	26,34
AAm/KSM/BENT/SAL	23,30	25,87	26,06	26,72

Çizelge 4.28. Farklı BENT ve SAL içeriğine sahip, 60 mg KSM içeren hidrojelde yüzeye soğurum ile ilgili parametreler

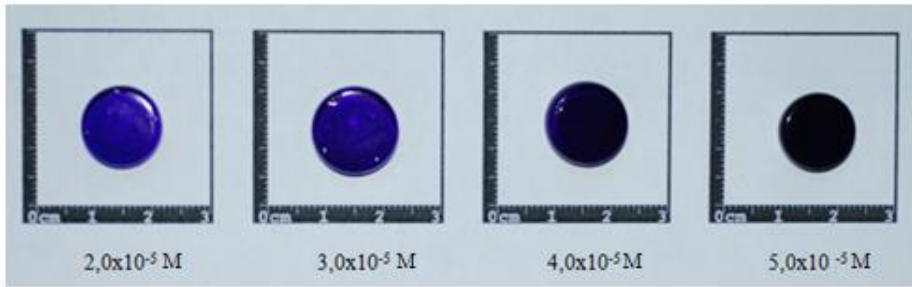
% 2,0'lik BENT-su süspansiyonu/%2,0'lik sulu SAL çözeltisi (mL)	0,25	0,50	0,75	1,0
	Yüzde adsorpsiyon (%Ads)			
BENT	94,56	94,80	95,42	95,45
SAL	94,56	96,29	95,42	95,45
	Adsorpsiyon kapasitesi ($q \times 10^5$)			
BENT	1,56	1,60	1,59	1,70
SAL	1,68	1,63	1,63	1,70
	Dağılma katsayısı (K_d)			
BENT	17,39	18,22	20,84	20,97
SAL	17,39	25,98	20,84	20,97

KSM içermeyen çapraz bağlı AAm polimerleri herhangi bir soğurum göstermemektedir. KSM gibi sulu ortamlarda anyonik özellik gösteren yardımcı monomerlerin çapraz bağlı kopolimerik yapıda bulunması ile katyonik moleküllere karşı duyarlı hidrojeleller, hibrit hidrojel ve semi-IPN hidrojel elde edilmiştir. KSM miktarının artması ile artan adsorpsiyon kapasitesi değerleri bunu kanıtlar niteliktedir.

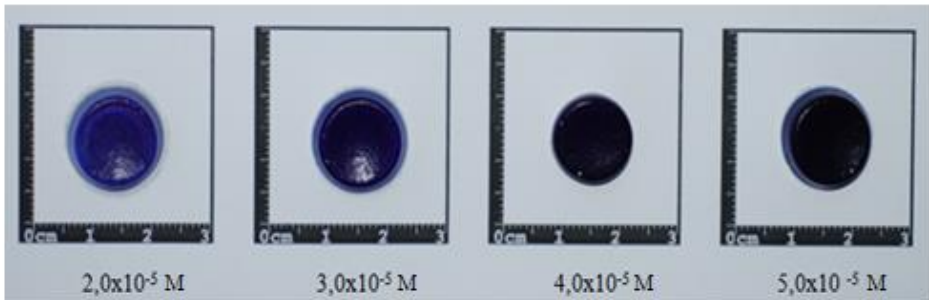
Çizelge 4.27 incelendiğinde, adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin KSM içeriğine bağlı olarak arttığı görülmektedir. %Ads ve K_d değerleri de q değerlerinde ki artışı destekler nitelikte artmıştır.

Çizelge 4.28 incelendiğinde, BENT ve SAL içeriğinin artmasıyla soğurum değerlerinde bir kararlılık gözlenmektedir. %Ads değerleri 94,56-95,45 arasında değişmiştir. q değerlerinde de artma gözlenmiştir ve değerler 1,56-1,70 arasında hesaplanmıştır. K_d değerleri de 17,39-20,97 arasında olacak şekilde artmıştır. SAL içeriğinin artmasıyla da %Ads düşüş görülmüştür. %Ads değerleri 94,56-95,45 arasında değişmiştir. q değerlerinde de artma gözlenmiştir ve değerler 1,68-1,70 arasında hesaplanmıştır. K_d değerleri de 17,39-20,97 arasında olacak şekilde artmıştır.

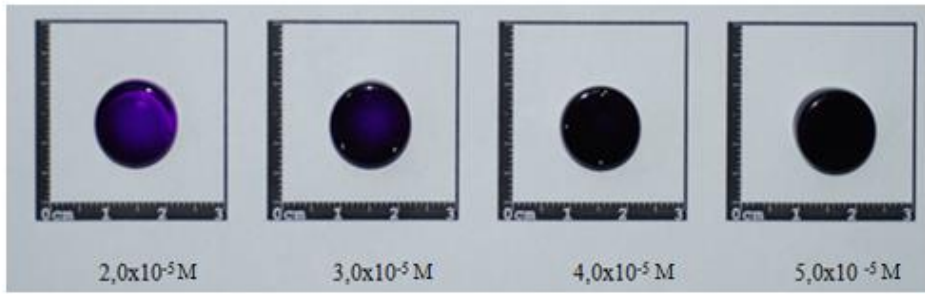
Çapraz bağlı kopolimer tarafında soğurulan boyarmadde derişiminin çözeltide kalan boyarmadde derişimine oranlanması ile bulunan K_d değerlerinin 1'den büyük çıkması, polimerik yapının seçilen boyarmadde için iyi bir adsorban olduğu anlamına gelmektedir. Çizelgelerde sunulan K_d değerleri incelendiğinde, üretilen hidrojenlerin LV için iyi bir adsorban oldukları söylenebilir.



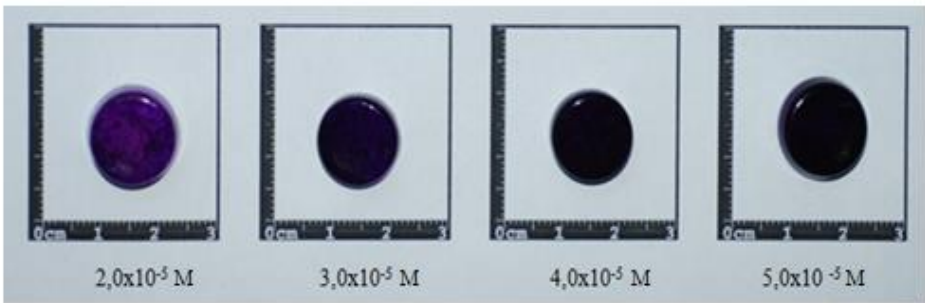
Şekil 4.127. AAm/KSM hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltisinden çıkarılmış hallerinin görünümüleri



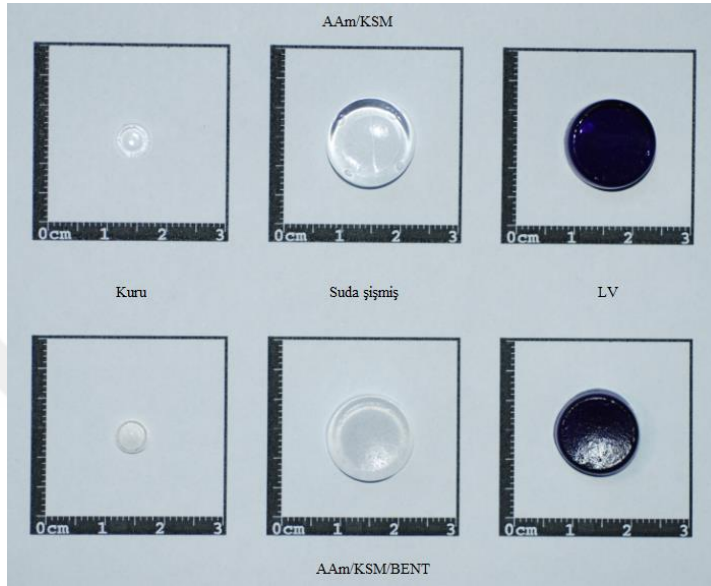
Şekil 4.128. AAm/KSM/BENT hibrit hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltisinden çıkarılmış hallerinin görünümüleri



Şekil 4.129. AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltilisinden çıkarılmış hallerinin görünümüleri



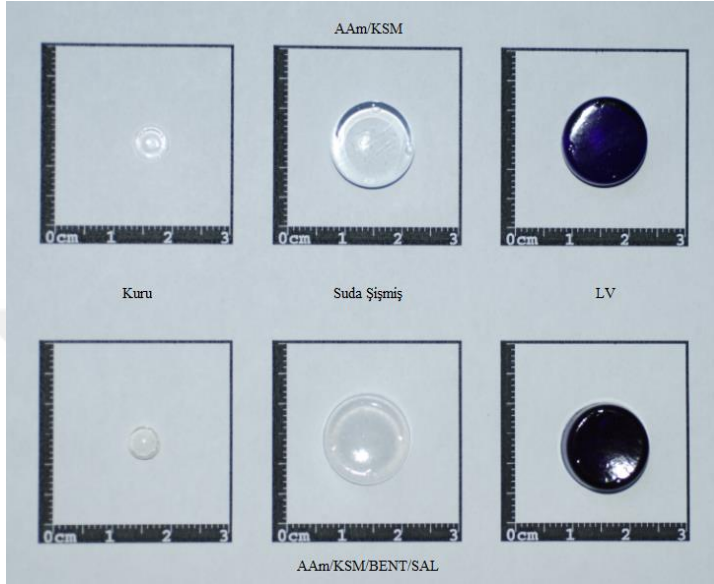
Şekil 4.130. AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin farklı derişimlerde LV çözeltilisinden çıkarılmış hallerinin görünümüleri



Şekil 4.131. AAm/KSM hidrojellerinin ve AAm/KSM/BENT hibrit hidrojellerinin kuru, suda ve LV çözeltisindeki görünüşleri



Şekil 4.132. AAm/KSM hidrojellerinin ve AAm/KSM/SAL semi-IPN hidrojellerinin kuru, suda ve LV çözeltisindeki görünüşleri



Şekil 4.133. AAm/KSM hidrojenlerinin ve AAm/KSM/BENT/SAL hibrit hidrojenlerinin kuru, suda ve LV çözeltisindeki görünüşleri

5. SONUÇ

Bu çalışmada çözelti ortamında serbest radikalik katılma polimerleşmesi ile potasyum 3-sülfopropil metakrilat yardımcı monomerini, bentonit kilini içeren, akrilamid esaslı hibrit hidrojellerin ve doğal bir polimer olan sodyum aljinat içeren, akrilamid esaslı anyonik semi-IPN hidrojellerin sentezi gerçekleştirilmiştir. Hidrojellerin, hibrit hidrojellerin ve semi-IPN hidrojellerin sentezinde poli(etilen glikol) diakrilat çapraz bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Akrilamid esaslı hidrojellerin üretimi, çözelti ortamında serbest radikalik polimerleşme tepkimesi ile gerçekleştirilmiştir.

Üretilen hidrojellerin, hibrit hidrojellerin ve semi-IPN hidrojellerin, FT-IR spektrumları alınmıştır. Elde edilen spektrumlarda, hidrojellerin, hibrit hidrojellerin ve semi-IPN hidrojellerde bulunan fonksiyonel gruplara ait karakteristik bandlar izlenerek çapraz bağlı kopolimerlerin yapıları aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Çapraz bağlı kopolimerlerin gözenek yapısı hakkında fikir edinebilmek için taramalı elektron mikroskopi (Scanning Electron Microscopy, SEM) yöntemi kullanılmıştır. SEM mikrografları incelendiğinde hidrojellerin genellikle gözenekli yapıya sahip oldukları ve içerdikleri maddelere göre gözenekliklerinin değiştiği gözlenmiştir.

Hidrojellere dinamik su/sıvı soğurum testleri uygulanarak, su/sıvı soğurum davranışları hakkında önemli veriler elde edilmiştir. Su/sıvı soğurum veriler incelendiğinde, KSM içeren hidrojellerde KSM miktarının artmasıyla su soğurum değerlerinin %808-2040 ve ASE-su, MET-su ve THF-su sıvı soğurum değerlerinin %68-111 arasında değiştiği görülmüştür. Yapısına BENT eklenen hidrojellerde KSM miktarının artmasıyla su soğurum değerlerinin %802-2015 ve ASE-su, MET-su ve THF-su sıvı soğurum değerlerinin %67-107 arasında değiştiği görülmüştür.

Yapısına SAL eklenen hidrojellerde KSM miktarının artmasıyla su soğurum değerlerinin %759-1916 ve ASE-su, MET-su ve THF-su sıvı soğurum değerlerinin %66-124 arasında değiştiği görülmüştür. Hem BENT hem de SAL eklenen hidrojellerde ise KSM eklenmesiyle su soğurum değerlerinin %718-1905 ve

ASE-su, MET-su ve THF-su sıvı soğurum değerlerinin %62-117 arasında değiştiği görülmüştür.

Değerler incelendiğinde, hidrojel sistemlerde, denge su/sıvı soğurum değerleri, çapraz bağlı yapıda bulunan KSM miktarının artışı ile uyumlu bir artış göstermiştir.

Denge su/sıvı soğurum değerleri BENT içeriğinin değişimi yönünden incelendiğinde, 60 mg KSM içeren jellerde BENT miktarının artmasıyla su/sıvı soğurum değerlerinde artış görülmüştür. Denge su/sıvı soğurum değerleri SAL içeriğinin değişimi yönünden incelendiğinde ise, 60 mg KSM içeren hidrojellerde SAL miktarının artmasıyla su/sıvı soğurum değerlerinde artış görülmüştür.

Çapraz bağlı polimerler için biyoyumluluğun potansiyel bir göstergesi olarak değerlendirilen dengede su/sıvı kapasitesi değerleri (DSK), su, ASE-su, MET-su ve THF-su'daki KSM içeren hidrojellerin tümü için yapıdaki KSM içeriğinin artışı ile artmaktadır. Tüm çapraz bağlı kopolimerler değerlendirildiğinde DSK değerleri 0,3830-0,9536 arasında değişmektedir. Bu değerler, biyoyumluluk için gerekli olan 0,60 değerinin üzerindedir.

Verilerin kinetik açıdan incelenmesi ile hesaplanan, teorik denge su soğurum değerleri oldukça önemlidir. Dinamik su soğurum testleri sonunda hesaplanan denge su soğurum değerleri, teorik denge su soğurum değerleri ile uyum göstermektedir. Bu durum, kinetik analizin doğru temeller üzerine oluşturulduğunun bir göstergesidir.

Hidrojellerin, hibrit hidrojellerin ve semi-IPN hidrojellerin su/sıvı difüzyonunun araştırılması için yapılan çalışmalar sonunda, difüzyon üsteli (n), difüzyon sabiti (k) ve difüzyon katsayısı (D) değerleri hesaplanmıştır. Difüzyon üsteli değerleri, çapraz bağlı kopolimere su/sıvı difüzyonunun türünün belirlenmesi açısından önem taşır. Su, ASE-su, MET-su ve THF-su'daki BENT ve SAL içermeyen yapılarda n değerleri 0,5612-0,8432 arasında değişim göstermiştir. BENT içeren yapılarda n değerleri 0,4842-0,7137 arasında değişmiştir. SAL içeren yapılarda n değerleri 0,5748-0,7311 arasında değişmiştir. BENT ve SAL içeren yapılarda ise n değerleri 0,6288-1,0383 arasında değişmiştir. Elde edilen veriler sonucunda çapraz bağlı kopolimerlere su/sıvı difüzyonunun genellikle Fick tipi olamayan (non-Fickian) difüzyon türüne uygun olduğu söylenebilir.

Çapraz bağlı polimerik sistemlerde su/sıvı difüzyonu açısından incelenecek bir diğer parametre olan difüzyon katsayısının (D), yardımcı monomer artışı ile genellikle bir artış göstermiştir.

Çapraz bağlı polimerler için su/sıvı soğurumunu incelemek için su/sıvı soğurum hız katsayısı (k_{ss}) hesaplanarak değerlendirme yapılmıştır. k_{ss} değeri, genellikle KSM eklenmesiyle azalmıştır.

Anyonik hidrojellerin yüzeye soğurum özelliklerinin araştırılması amacıyla, kationik özellikteki Lauths violet (Thionin) (LV), model molekül olarak seçilmiştir. Çapraz bağlı kopolimerlerin soğurum özellikleri, LV derişiminin, BENT kil mineralinin, SAL doğal polimerinin ve KSM yardımcı monomerinin etkisi açısından incelenmiştir.

Boyar madde soğurumuna derişimin etkisini araştırabilmek amacıyla, 60 mg KSM içeriğine sahip hidrojellerin, $2,0 \times 10^{-5}$ - $6,0 \times 10^{-5}$ M arasında değişen 21 farklı derişimde LV çözeltileri ile dengeye gelene dek etkileşmeleri sağlanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen denge değerleri ile q-C_s grafikleri oluşturulmuştur ve hidrojel sistemleri için sulu LV çözeltilerinin derişimi arttıkça, 1,0 g kopolimer tarafından soğurulan boyarmadde miktarı olan q değerleri genel olarak artış göstermiştir.

Yüzeye soğuruma KSM etkisinin araştırılması amacıyla $5,0 \times 10^{-5}$ M sabit çözelti derişimi seçilmiştir. 25°C sabit sıcaklıkta gerçekleştirilen çalışmanın ikinci kısmında, 20, 40, 60 ve 80 mg KSM içeren hidrojeller sabit derişimdeki çözeltilerde dengeye gelene dek etkileştirilmiş ve soğuruma KSM, BENT, SAL etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda q, %Ads ve K_d gibi parametreler hesaplanmıştır.

KSM içeren hidrojellerin q değerleri $1,49 \times 10^{-5}$ - $1,70 \times 10^{-5}$ M arasında değişim göstermiştir. BENT içeren polimerik örneklerin q değerleri $1,57 \times 10^{-5}$ - $1,93 \times 10^{-5}$ M arasında değişmiştir. SAL içeren polimerik örneklerin q değerleri $1,63 \times 10^{-5}$ - $1,74 \times 10^{-5}$ M arasında değişim göstermiştir. Hem BENT hem de SAL içeren örneklerin q değerleri ise $1,54 \times 10^{-5}$ - $1,71 \times 10^{-5}$ M arasında değişim göstermiştir.

Soğurum da hesaplanan bir diğer parametre olan %Ads değerleri de q değerlerinde olduğu gibi KSM etkisiyle genellikle artış göstermiştir. KSM içeren hidrojellerin %Ads değerleri, %88-94 arasında değişim göstermiştir. BENT içeren hidrojeller

için %Ads değerleri, %87-96 arasında değişmiştir. SAL içeren hidrojellerde ise %Ads değişimi, %95-96 arasındadır. Hem BENT hem de SAL içeren hidrojellerde ise bu değişim, %95-96 arasındadır.

K_d değerleri, çapraz bağlı kopolimerlerin belirlenen bir tür için iyi bir adsorban olup olmadığının belirlenmesi amacıyla kullanılır. K_d 'nin 1,0'den büyük olması çapraz bağlı kopolimerin iyi bir adsorban olduğunun bir göstergesidir. Hesaplanan K_d değerleri incelendiğinde, KSM içeriği 20 mg'ın üstünde olan hidrojellerin, hibrit hidrojelelrin ve semi-IPN hidrojellerin 1,0'den büyük K_d değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Bu değerler BENT ve SAL eklenmesiyle bir miktar daha arttığı görülmüştür.

Sonuç olarak, hidrojellerin, hibrit hidrojelelrin ve semi-IPN hidrojellerin LV için iyi adsorban oldukları söylenebilir.

Yüksek oranda su tutma yeteneği ile AAm/KSM, AAm/KSM/BENT, AAm/KSM/SAL, AAm/KSM/BENT/SAL hidrojelleri, çevrede belirlenen kimyasalların ve istenmeyen, kirlilik yaratan boyar madde, ağır metal iyonları, radyoaktif element iyonları, atık sularda bulunabilecek toksik maddeler, deterjan türü organik maddeler vb. kirleticileri üzerine soğurarak değişik ortamlardan uzaklaştırabilecekleri söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Ajbary, M., Santos, A., Morales-Flórez, V., Esquivias, L. 2013. Removal of basic yellow cationic dye by an aqueous dispersion of Moroccan stevensite. **Applied Clay Science**, 80–81: 46–51.
- Ali, A.E., Shawsy, H.A., Abd El Rehim, H.A., Hegazy, E.A. 2003. Synthesis and characterization of PVP/AAC copolymer hydrogel and its applications in the removal of heavy metals from aqueous solution. **European Polymer Journal**, 39: 2337-2344.
- Alizadeh, M., Abbasi,F., Farahi M., Jalili K. 2012. Silicone-based hydrogels prepared by interpenetrating polymer network synthesis: Swelling properties and confinements effects on the formation kinetics. **Journal of Applied Polymer Science**, 124: 985-992.
- Altay, A. 2010. Hidrofobik Grup İçeren poli (N-izopropilakrilamid) Hidrojellerin Sentezi ve Bunların faz-geçiş (LCST) Sıcaklıklarının İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- An, J., Wang, W., Wang, A. 2012. Preparation and swelling behavior of a pH-responsive psyllium-g-poly(acrylic acid)/attapulgit superabsorbent nanocomposite. **International Journal of Polymeric Materials**, 61:906-918.
- Aran, A. 2008. Malzeme Bilgisi Ders Notları, İstanbul.
- Asıl, D. 2006. Kitosan-Poliakrilik Asit-Polisitrakonik Asit İçeren Yarı IPN Tipi Hidrojellerin Şişme Özellikleri ve Flukanozol Salım Davranışlarının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Azizian, S. 2004. Kinetic models of sorption a theoretical analysis. **Journal of Colloid and Interface Science**, 276: 47-52.
- Bajpai, A.K., Shukla, S.K., Bhanu, S., Kankane, S. 2008. Responsive polymers in controlled drug delivery. **Progress in Polymer Science**, 33: 1088-1118.
- Bajpai, S.K., Banger, P. 2013. Photopolymerized pH-sensitive semi-IPN: Synthesis, water uptake analysis, and preliminary drug release study. **Polymer Engineering & Science**, DOI: 10.1002/pen.23484.

- Bardajee, G.R., Hooshyar, Z. 2013. Novel potentially biocompatible nanoporous hydrogel based on poly ((2-dimethylaminoethyl) methacrylate) grafted onto salep: synthesis, swelling behavior and drug release study. **Journal of Polymer Research**, 20: 67-74.
- Basan, S. 2015. Polimer Kimyası, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Bhattacharya, S.S., Mishra, A., Pal, D., Ghosh, A.K., Ghosh, A., Banerjee, S., Sen, K.K. 2012. Synthesis and characterization of poly(acrylic acid)/poly(vinyl alcohol)-xanthan gum interpenetrating network (IPN) superabsorbent polymeric composites. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 51: 878-884.
- Bhattacharyya, R., Ray S. 2014. Adsorption of industrial dyes by semi-IPN hydrogels of Acrylic copolymers and sodium alginate. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, 22 : 92-102.
- Bingöl, G. 1976. Karbohidratlar. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Bischoff, R., Cray, S.E. 1999. Polysiloxanes in macromolecular architecture. **Progress in Polymer Science**, 24: 185-219.
- Botelho, E. C., Campos, A.N., De Barros, E., Pardini, L.C., Rezende, M.C. 2006. Damping behavior of continuous fiber/metal composite materials by the free vibration method. **Composites Part B: Engineering**, 37: 255-263.
- Bueno, V.B., Bentini, R., Catalani, L.H., Petri, D.F.S. 2013. Synthesis and swelling behavior of xanthan-based hydrogels. **Carbohydrate Polymers**, 92: 1091-1099.
- Carvalho, R.A., Maria, T.M.C., Moraes, I.C.F., Bergo, P.V.A., Kamimura, E.S., Habitante, A.M.Q.B., Sobral, P.J.A. 2009. Study of some physical properties of biodegradable films based on blends of gelatin and poly(vinyl alcohol) using a response-surface methodology. **Materials Science and Engineering C**, 29: 485-491
- Chen, Y., Chen, L., Bai, H., Li, L. 2013. Graphene oxide-chitosan composite hydrogels as broad-spectrum adsorbents for water purification. **Journal of Materials Chemistry A**, 1: 1992-2001.

- Chu, B., Hsiao, B.S. 2009. The role of polymers in break through technologies for water purification. **Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics**, 47: 2431-2435.
- Crini, G. 2006. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. **Bioresource Technology**, 97: 1061-1085.
- Cui, L., Jia, J., Guo, Y., Liu, Y., Zhu, P. 2014. Preparation and characterization of IPN hydrogels composed of chitosan and gelatin cross-linked by genipin. **Carbohydrate Polymers**, 99: 31-38.
- Deng, S., Xu, H., Jiang, X., Yin, J. 2013. Poly(vinyl alcohol) (PVA)-enhanced hybrid hydrogels of hyperbranched poly(ether amine) (hPEA) for selective adsorption and separation of dyes. **Macromolecules**, 46: 2399-2406.
- Dengre, R., Bajpai, M., Bajpai, S.K. 2000. Release of vitamin B12 from poly(N-vinyl-2-pyrrolidone)-crosslinked polyacrylamide hydrogels: A kinetic study. **Journal of Applied Polymer Science**, 76: 1706-1714.
- Dobritoiu, R., Patachia, S. 2013. A study of dyes sorption on biobased cryogels. **Applied Surface Science**, 285P: 56-64.
- Dolbow, J., Eliot, F., Ji, H. 2004. Chemically induced swelling of hydrogels. **Journal of the Mechanics and Physics of Solids**, 52: 51-84.
- Dragan E., Dinu, M. 2015. Progress in Polysaccharide/Zeolites and Polysaccharide Hydrogel Composite Sorbents and Their Applications in Removal of Heavy Metal Ions and Dyes. **Current Green Chemistry**, 2 : 342-353.
- Dragan, E.S. 2014. Design and applications of interpenetrating polymer network hydrogels: A review. **Chemical Engineering Journal**, 243: 572-590.
- Dragan, E.S., Loghin, D.F.A. 2013. Enhanced sorption of methylene blue from aqueous solutions by semi-IPN composite cryogels with anionically modified potato starch entrapped in PAAm matrix. **Chemical Engineering Journal**, 234: 211-222.
- Eid, M. 2013. Preparation and characterization of natural polymers as stabilizer for magnetic nanoparticles by gamma irradiation. **Journal of Polymer Research**, 20: 112-121.

- Ende, M.T., Peppas, N.A. 1996. Transport of ionizable drugs and proteins in crosslinked poly(acrylic acid) and poly(acrylic acid-co-2-hydroxyethyl methacrylate) hydrogels. I. Polymer characterization. **Journal of Applied Polymer Science**, 59: 673-685.
- Ende, M.T., Peppas, N.A. 1997. Transport of ionizable drugs and proteins in crosslinked poly(acrylic acid) and poly(acrylic acid-co-2-hydroxyethyl methacrylate) hydrogels. II. Diffusion and release studies. **Journal of Controlled Release**, 48: 47-56.
- Evmenenko, G., Alexev, V., Budtova, T., Buyanov, A., Frenkel, S. 1999. Swelling-induced changes of polyelectrolyte gels. **Polymer**, 40: 2975-2979.
- Farris, S., Schaich, K.M., Liu, L., Piergiovanni, L., Yam, K.L. 2009. Development of polyion-complex hydrogels as an alternative approach for the production of bio-based polymers for food packaging applications: A review. **Trends in Food Science**, 20: 316-332.
- Ganji, F., Vasheghani-Farahani, S., Vasheghani-Farahani, E. 2010. Theoretical description of hydrogel swelling: A review. **Iranian Polymer Journal**, 19: 375-398.
- Gnanou, Y., Fontanille, M. 2008. Organic and Physical Chemistry of Polymers. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.
- Gooch, J.W. 2007. Encyclopedic Dictionary of Polymers. Springer Science Business Media, LLC, Springer Street, New York, NY 10013, USA.
- Gupta, B., Tummalapalli, M., Deopura, B.L., Alam, M.S. 2014. Preparation and characterization of in-situ crosslinked pectin-gelatin hydrogels. **Carbohydrate Polymers**, 106: 312-318.
- Hasgöl, B. 2013. Karragenan Katkılı Yeni Polimer/Kil Kompozit Hidrojellerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Potansiyel Soğurum Kapasitelerinin Araştırılması. Adnan Menderes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Aydın.
- Hoffman, A.S. 2012. Hydrogels for biomedical applications. **Advanced Drug Delivery Reviews**, 64: 18-23.
- Hu, Y., Tao, C., Dong, X. 2015. Preparation and characterization of composite hydrogel beads based on sodium alginate. **Polym. Bull**, 72 : 2857–2869.

- Hull, L.C., Grossman, C., Fjeld, R.A., Coates, J.T., Elzerman, A.W. 2004. Hybrid empirical-theoretical approach to modeling uranium adsorption. **Applied Geochemistry**, 19: 721-736.
- Humelnicu, D., Dinu, M.V., Dragan, E.S. 2011. Adsorption characteristics of UO_2^{2+} and Th^{4+} ions from simulated radioactive solutions onto chitosan/clinoptilolite sorbents. **Journal of Hazardous Materials**, 185: 447-455.
- Karadağ E., Kundakçı, S. 2015. Application of highly swollen novel biosorbent hydrogels in uptake of uranyl ions from aqueous solutions. **Fibers and Polymers**, 16(10); 2165-2176.
- Karadağ, E., Kırıştı, T., Kundakçı, S., Üzümlü, Ö.B. 2010. Investigation of sorption/swelling characteristics of chemically crosslinked AAm/SMA hydrogels as biopotential sorbent. **Journal of Applied Polymer Science**, 117: 1787-1797.
- Karadağ, E., Kundakçı, S. 2012. A Novel Polymeric Adsorbent for Water and Dye Uptake: Acrylamide/Sodium Acrylate Copolymers and Semi-Interpenetrating Polymer Networks Composed of Gelatin and/or PVA. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 51: 1513-1523.
- Karadağ, E., Kundakçı, S., Üzümlü, Ö.B. 2009. Water sorption and dye uptake studies of highly swollen AAm/AMPS hydrogels and semi-IPNs with PEG. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 48: 1217-1229.
- Karadağ, E., Nalbantoğlu, A., Kundakçı, S., Üzümlü, Ö.B. 2014. Highly swollen polymer/clay composite sorbent-based AAm/AMPS hydrogels and semi-IPNs composed of carboxymethyl cellulose and montmorillonite and cross-linked by PEGDA. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 53: 54-64.
- Karadağ, E., Saraydın, D., Güven, O. 2004. Water absorbency studies of γ radiation crosslinked poly(acrylamide-co-2,3-dihydroxybutanedioic acid) hydrogels. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B**, 225: 489-496.

- Karadağ, E., Üzüm, Ö.B. 2012. A study on water and dye sorption capacities of novel ternary acrylamide/sodium acrylate/PEG semi IPN hydrogels. **Polymer Bulletin**, 68: 1357–1368.
- Karadağ, E., Üzüm, Ö.B., Kundakcı, S., Saraydın, D. 2007. Polyelectrolyte CASA hydrogels for uptake of uranyl ions from aqueous solution. **Journal of Applied Polymer Science**, 104: 200-204.
- Karadağ, E., Üzüm, Ö.B., Saraydın, D., Güven, O. 2005. Swelling characterization of gamma-radiation induced crosslinked acrylamide/maleic acid hydrogels in urea solutions. **Materials & Design**, 27: 576-584.
- Kaşgöz, H., Durmuş, A., Kaşgöz, A. 2008. Enhanced swelling and adsorption properties of AAm-AMPSNa/clay hydrogel nanocomposites for heavy metal ion removal. **Polymers for Advanced Technologies**, 19: 213-220.
- Kayır, Z. 2007. Endüstriyel Fırınlar ve Refrakter Sempozyumu, Sakarya.
- Khurma, J.R., Nand, A.V. 2008. Temperature and pH sensitive hydrogels composed of chitosan and poly(ethylene glycol). **Polymer Bulletin**, 59: 805-812.
- Klouda, L., Mikos, A.G. 2008. Thermoresponsive hydrogels in biomedical applications. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, 68: 34-45.
- Kopecek, J., Yang, J. 2007. Hydrogels as smart biomaterials. **Polymer International**, 56: 1078-1098.
- Kosmala, J.D., Henthorn, D.B., Peppas, L.B. 2000. Preparation of interpenetrating Networks of gelatin and dextran as degradable biomaterials. **Biomaterials**, 21: 2019-2023.
- Kumar, M., Tamilarasan, R., Sivakumar V. 2013. Adsorption of Victoria blue by carbon/Ba/alginate beads: Kinetics, thermodynamics and isotherm studies. **Carbohydrate Polymers**, 98: 505-513.
- Kundakcı, S., Karadağ, E. 2014. Preliminary swelling and dye sorption studies of acrylamide/4-styrenesulfonic acid sodium salt copolymers and semi-interpenetrating polymer networks composed of gelatin and/or PEG. **Polymer Bulletin**, 71: 351-370.

- Kundakcı, S., Ögüt, H.G., Üzümler, Ö.B., Karadağ, E. 2012. Swelling characterization and adsorptive features of acrylamide/Itaconic acid hydrogels and semi-IPNs for uranyl ions. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 51: 1550-1561.
- Kundakcı, S., Ögüt, H.G., Üzümler, Ö.B., Karadağ, E. 2011. Equilibrium swelling characterization and dye uptake studies of acrylamide-co-methylenesuccinic acid hydrogels and semi-IPNs with PEG. **Polymer-Plastic Technology and Engineering**, 50: 947-956.
- Kundakcı, S., Üzümler, Ö.B., Karadağ, E. 2008. Swelling and dye sorption studies of acrylamide/2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid/bentonite highly swollen composite hydrogels. **Reactive & Functional Polymers**, 68: 458-473.
- Kundakcı, S., Üzümler, Ö.B., Karadağ, E. 2009. A new composite sorbent for water and dye uptake: Highly swollen acrylamide/2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid/clay hydrogels crosslinked by 1,4-butanediol dimethacrylate. **Polymer Composites**, 30: 29-37.
- Laftah, W.A., Hashim, S., Ibrahim, A.N. 2011. Polymer Hydrogels: A Review. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 50: 1475-1486.
- Li, P., Siddaramaiah, Kim, N.H., Yoo, G.H., Lee, J.H. 2009. Poly(acrylamide/laponite) nanocomposite hydrogels: swelling and cationic dye adsorption properties. **Journal of Applied Polymer Science**, 111: 1786-1798.
- Li, W., Zhao, H., Teasdale, P.R., John, R., Zhang, S. 2002. Synthesis and characterization of a polyacrylamide-polyacrylic acid copolymer hydrogel for environmental analysis of Cu and Cd. **Reactive & Functional Polymers**, 52: 31 – 41.
- Liu, F., Urban, M.W. 2010. Recent advances and challenges in designing stimuli-responsive polymers. **Progress in Polymer Science**, 35: 3-23.
- Liu, J., Li, Q., Su, Y., Yue, Q., Gao, B. 2014. Characterization and swelling-deswelling properties of wheat straw cellulose based semi-IPNs hydrogel. **Carbohydrate Polymers**, 107: 232-240.

- Lopes, C.M.A., Felisberti, M.I. 2003. Mechanical behaviour and biocompatibility of poly(1-vinyl-2-pyrrolidinone)-gelatin IPN hydrogels. **Biomaterials**, 24: 1279-1284.
- Mahdavinia, G. R., Asgari, A. 2013. Synthesis of kappa-carrageenan-g-poly(acrylamide)/sepiolite nanocomposite hydrogels and adsorption of cationic dye. **Polymer Bulletin**, 70: 2451-2470.
- Manju, G.N., Anoop Krishnan, K., Vinod, V.B., Anirudhan, T.S. 2002. An investigation into the sorption of heavy metal from waste waters by polyacrylamide-grafted iron(II)oxide. **Journal of Hazardous Materials**, B91: 221-238.
- Maqueda, C., dos Santos Afonso, M., Morillo, E., Torres Sánchez, R.M., Perez-Sayago, M., Undabeytia, T. 2013. Adsorption of diuron on mechanically and thermally treated montmorillonite and sepiolite. **Applied Clay Science**, 72: 175-183.
- Marandi, G.B., Kermani, Z.P., Kurdtabar, M. 2013. Fast and efficient removal of cationic dyes from aqueous solution by collagen-based hydrogel nanocomposites. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 52: 310-318.
- Martinez-Ruvalcaba, A., Sanchez-Diaz, J.C., Becerra, F., Cruz-Barba, L.E. 2009. Swelling characterization and drug delivery kinetics of polyacrylamide-co-itaconic acid/chitosan hydrogels. **Express Polymer Letters**, 3: No.1, 25-32.
- Mishra, S., Bajpai, R., Katare, R., Bajpai, A.K. 2007. Radiation induced crosslinking effect on semi-interpenetrating polymer networks of poly(vinyl alcohol). **Express Polymer Letters**, 1: 407-415.
- Missana, T., Garcia-Gutierrez, M., Maffiote, C. 2003. Experimental and modeling study of the uranium (VI) sorption on Goethite. **Journal of Colloid and Interface Science**, 260: 291-301.
- Mohanan, A., Vishalakshi, B., Ganesh, S. 2011. Swelling and diffusion characteristics of stimuli-responsive N-isopropylacrylamide and κ -carrageenan semi-IPN hydrogels. **International Journal of Polymeric Materials**, 60: 787-798.

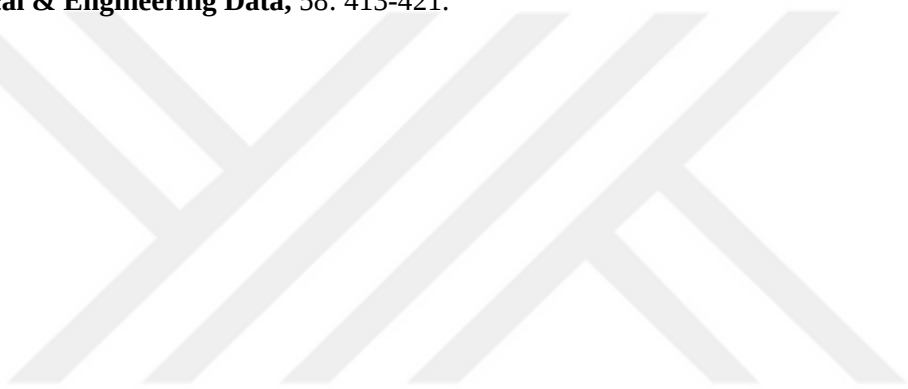
- Moraes, I.C.F., Carvalho, R.A., Bittante, A.M.Q.B., Solorza-Feria, J., Sobral, P.J.A., 2009. Film forming solutions based on gelatin and poly(vinyl alcohol) blends: Thermal and rheological characterizations. **Journal of Food Engineering**, 95: 588-596.
- Nalbantoğlu, A. 2012. Kimyasal Çapraz Bağlı 2-Akrilamido-2-Metil-1-Propansülfonik Asit, Sodyum Karboksimetil Selüloz ve Montmorillonit İçeren Akrilamid Esaslı Polimerik Kompozitlerin Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Yüzeye Soğurum Çalışmalarının Değerlendirilmesi. Adnan Menderes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Aydın.
- Orakdoğan, N., Okay, O. 2006. Reentrant conformation transition in poly(N,N-dimethylacrylamide) hydrogels in water-organic solvent mixtures. **Polymer**, 47: 561-568.
- Ozay, O., Ekici, S., Baran, Y., Aktas, N., Sahiner, N. 2009. Removal of toxic metal ions with magnetic hydrogels. **Water Research**, 43: 4403-4411.
- Patrickios, C.S. 2010. Polymer Networks: Recent developments. **Macromolecular Symposia**, 291-292: 1-11.
- Peng, F., Guan, Y., Zhang, B., Bian, J., Ren, J., Yao, C. 2014. Synthesis and properties of hemicelluloses-based semi-IPN hydrogels. **International Journal of Biological Macromolecules**, 65: 564-572.
- Peng, H.T., Martineau, L., Shek, P.N. 2008. Hydrogel-elastomer composite biomaterials: 3. Effect of gelatin molecular weight and type on the preparation and physical properties of interpenetrating polymer networks. **Journal of Material Science**, 19: 997-1007.
- Peniche, C., Cohen, M.E., Vazquez, B., Roman, J.S. 1997. Water sorption of flexible networks based on 2-hydroxyethyl methacrylate-triethylenglycol dimethacrylate copolymers. **Polymer**, 38: 5977-5982.
- Peppas, N.A., Franson, N.M. 1983. The swelling interface number as a criterion for prediction of diffusional solute release mechanisms in swellable polymers. **Journal of Polymer Science**, 21: 983-997.

- Rahman, Md.A., Khan, M.A., Tareq, S.M. 2010. Preparation and characterization of polyethylene oxide(PEO)/gelatin blend for biomedical application: Effect of gamma radiation. **Journal of Applied Polymer Science**, 117: 2075-2082.
- Rashidzadeh, A., Olad, A., Salari, D., Reyhanitabar, A. 2014. On the preparation and swelling properties of hydrogel nanocomposite based on sodium alginate-g-Poly(acrylic acid-co-acrylamide)/clinoptilolite and its application as slow release fertilizer. **Journal of Polymer Research**, 21: 344-358.
- Rıfı, E.H., Rastegar, F., Brunette, J.P. 1995. Uptake of cesium, strontium and europium by a poly(sodium acrylate-acrylic acid) hydrogel. **Talanta**, 42(6): 811-816.
- Saçak, M. 2010. Polimer Kimyası. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Saraydın, D., Karadağ, E., Işıkver, Y., Şahiner, N., Güven, O. 2004. The influence of preparation methods on the swelling and network properties of acrylamide hydrogels with crosslinkers. **Journal of Macromolecular Science, Part, A-Pure and Applied Chemistry**, A41(4): 421-433.
- Schwarte, L.M., Peppas, N.A. 1998. Novel poly(ethylene glycol)-grafted, cationic hydrogels: preparation, characterization and diffusive properties. **Polymer**, 39: 6057-6066.
- Seçkin, T. 2015. Polimer Kimyası Fonksiyonel Yaklaşım ve Uygulamaları, Seçkin Kitabevi, Ankara.
- Shi, Y., Xue, Z., Wang, X., Wang, L., Wang, A. 2013. Removal of methylene blue from aqueous solution by sorption on lignocellulose-g-poly(acrylic acid)/montmorillonite three-dimensional cross-linked polymeric network hydrogels. **Polymer Bulletin**, 70: 1163–1179.
- Shukla, P., Srivastava, A.K. 1995. Synthesis and properties of semi-interpenetrating network based on styrene-acrylonitrile-vinyl acetate terpolymer and zinc acrylate. **Polymer Gels and Networks**, 3: 375-386.
- Singh, B. Bala, R. 2014. Polysaccharide based hydrogels as controlled drug delivery system for GIT cancer. **International Journal of Biological Macromolecules**, 65: 524-533.

- Skoog, D.A., Leary, J.J. 1992. Principles of Instrumental Analysis. Saunders College Publishing, Florida, USA.
- Sorenson, W., Sweeny, F., Campbell, T.W. 2001. Preparative Methods of Polymer Chemistry. John Wiley & Sons Inc., US.
- Souda, P., Sreejith, L. 2014. Environmental sensitive hydrogel for purification of waste water: part 1: synthesis and characterization. **Polymer Bulletin**, 71: 839-854.
- Sperling, L.H. 2006. Introduction to Physical Polymer Science. John Willy & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.
- Şahin, Y. 2006. Kompozit Malzemelere Giriş. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Şahiner, N., Pekel, N., Güven, O. 1998. Radiation synthesis of N-vinyl-2-pyrrolidone/acrylonitrile interpenetrating polymer networks and their use in uranium recover from aqueous systems. **Radiation Physics and Chemistry**, 52(1-6): 271-276.
- Ulusoy, U., Akkaya, R. 2009. Adsorptive features of polyacrylamide-apatite composite for Pb^{2+} , UO_2^{2+} and Th^{4+} . **Journal of Hazardous Materials**, 163: 98-108.
- Ulusoy, U., Şimşek, S. 2005. Lead removal by polyacrylamide/bentonite and zeolite composites: Effect of phytic acid immobilization. **Journal of Hazardous Materials**, B127: 163-171.
- Üzüm, Ö.B. 2008. Yeni Akrilamid Esaslı Anyonik IPN'lerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Şişme/Soğurum/Denetimli Salınım Potansiyellerinin Araştırılması. Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Aydın.
- Üzüm, Ö.B., Karadağ, E. 2006. Synthetic polymeric absorbent for dye based on chemically crosslinked acrylamide/mesaconic acid hydrogels. **Journal of Applied Polymer Science**, 101: 405-413.
- Üzüm, Ö.B., Karadağ, E. 2010. Equilibrium swelling studies of chemically crosslinked highly swollen acrylamide-sodium acrylate hydrogels in various water-solvent mixtures. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 49: 609-616.

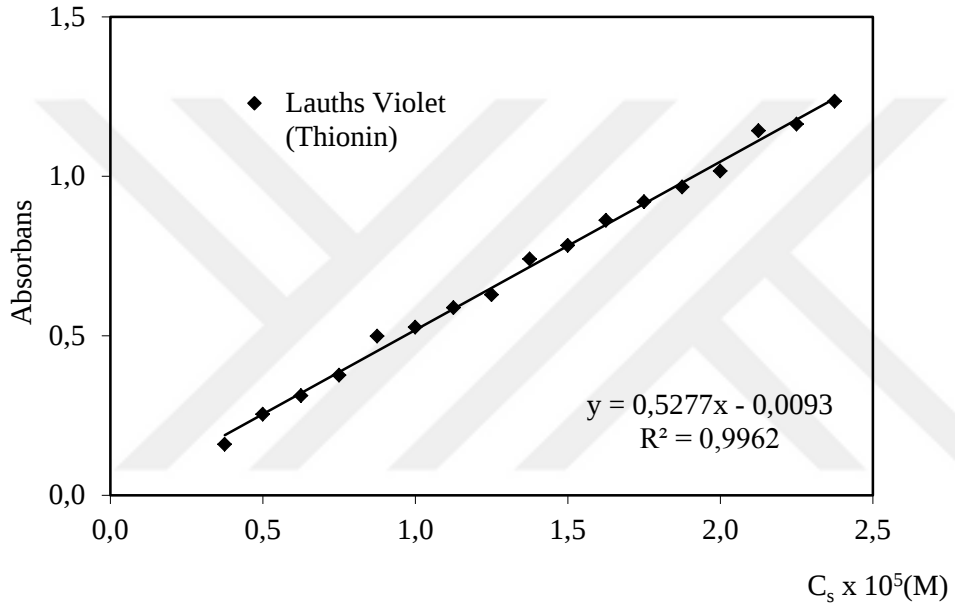
- Üzüm, Ö.B., Karadağ, E. 2011. Dye sorption and water uptake properties of crosslinked acrylamide/sodium methacrylate copolymers and semi-interpenetrating polymer networks composed of PEG. **Seperation Science of Technology**, 46: 489-499.
- Üzüm, Ö.B., Karadağ, E. 2012. Behavior of semi-IPN hydrogels composed of PEG and AAm/SMA copolymers in swelling and uptake of Janus Green B from aqueous solutions. **Journal of Applied Polymer Science**, 125: 3318-3328.
- Üzüm, Ö.B., Kundakcı, S., Karadağ, E. 2007. Uranyl ion uptake from aqueous solutions by chemically crosslinked polyelectrolyte CAMA hydrogels. **Polymer-Plastics Technology & Engineering**, 46: 775-780.
- Wang, H., Li, C., Peng, Z., Zhang, S. 2011. Characterization and thermal behavior of kaolin. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 105: 157-160.
- Wang, J., Liu, F., Wei, J. 2011. Enhanced adsorption properties of interpenetrating polymer network hydrogels for heavy metal ion removal. **Polymer Bulletin**, 67: 1709-1720.
- Wang, W., Huang, D., Kang, Y., Wang, A. 2013b. One-step in situ fabrication of a granular semi-IPN hydrogel based on chitosan and gelatin for fast and efficient adsorption of Cu^{2+} ion. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, 106: 51-59.
- Wang, W., Kang, Y., Wang, A. 2013a. One-step fabrication in aqueous solution of a granular alginate based hydrogel for fast and efficient removal of heavy metal ions. **Journal of Polymer Research**, 20: 101-108.
- Wang, Y., Wang, W., Shi, X., Wang, A. 2013c. Enhanced swelling and responsive properties of an alginate-based superabsorbent hydrogel by sodium p-styrenesulfonate and attapulgitite nanorods. **Polymer Bulletin**, 70: 1181-1193.
- Wang, Y., Zeng, L., Ren, X., Song, H., Wang, A. 2010. Removal of methyl violet from aqueous using poly(acrylic acid-co-acrylamide) attapulgitite composite. **Journal of Environmental Sciences**, 22(1): 7-14.

- Wojnarovis, L., Foldvary, Cs.M., Takacs, E. 2010. Radiation-induced grafting of cellulose for adsorption of hazardous water pollutants: A review. **Radiation Physics and Chemistry**, 79: 848-862.
- Wu, F.C., Tseng, R.L., Juang, R.S. 2010. A review and experimental verification of using chitosan and its derivatives as adsorbents for selected heavy metals. **Journal of Environmental Management**, 91: 798-806.
- Yang, X., Zhu, Z., Liu, Q., Chen, X. 2008. Thermal and rheological of poly(vinyl alcohol) and water-soluble chitosan hydrogels prepared by a combination of γ -ray irradiation and freeze thawing. **Journal of Applied Polymer Science**, 109: 3825-3830.
- Zhang, A., Asakura, T., Uchiyama, G. 2003. The adsorption mechanism of uranium (VI) from sea water on a macroporous fibrous polymeric adsorbent containing amidoxime chelating functional group. **Reactive & Functional Polymers**, 57: 67-76.
- Zhang, N., Liu, M., Shen, Y., Chen, J., Dai, L., Gao, C. 2011. Preparation, properties, and drug release of thermo- and pH-sensitive poly((2-dimethylamino)ethyl methacrylate)/ poly(N,N-diethylacrylamide) semi-IPN hydrogels. **Journal of Materials Science**, 46:1523-1534.
- Zhang, Y., Gu, Q., Dong, Z., He, P. 2012. Effect of reaction parameters on swelling properties of poly (acrylic acid-acrylamide/montmorillonite) nanocomposite superabsorbents. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, 51: 407-412.
- Zhao, S.P., Ma, D., Zhang, L.M. 2006. New semi-interpenetrating network hydrogels: synthesis, characterization and properties. **Macromolecular Bioscience**, 6: 445-451.
- Zhao, W., Huang, Y., Liao, X., Yang, Q. 2013. The molecular structure characteristics of long chain branched polypropylene and its effects on non-isothermal crystallization and mechanical properties. **Polymer**, 54: 1455-1462.
- Zhou, L., Huang, J., He, B., Zhang, F., Li, H. 2014. Peach gum for efficient removal of methylene blue and methyl violet dyes from aqueous solution. **Carbohydrate Polymers**, 101: 574-581.

- Zhou, W., Zhang, Y., Jin, K., Qui, X., Ren, X., Hu, S., Zhang, F. 2009. Synthesis and characterization of functionalized acrylic-acrylamide-based superabsorbent gels. **Journal of Applied Polymer Science**, 114: 2828-2836.
- Zhou, Y., Zhang, M., Hu, X., Wang, X., Niu, J., Ma, T. 2013. Adsorption of cationic dyes on a cellulose-based multicarboxyl adsorbent. **Journal of Chemical & Engineering Data**, 58: 413-421.
- 

EKLER

Ek 1. Lauths violet çözeltilerinin denge derişimlerinin hesaplanmasında kullanılan çalışma eğrisi.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Zehra Deniz KASİM
Doğum Yeri ve Tarihi : 13.05.1989 / Giresun

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Adnan Menderes Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü 2009–2013
Yüksek Lisans Öğrenimi : Adnan Menderes Üniversitesi,
Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı 2013–
2015
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

A. Makaleler

-Acrylamide/potassium 3-sulfopropyl methacrylate/sodium alginate/bentonite hybrid hydrogels: Synthesis, characterization and its application in lauths violet removal from aqueous solutions, Erdener KARADAĞ, **Zehra Deniz Kasim**, Ömer Barış ÜZÜM, Semiha KUNDAKÇI, *Fibers and Polymers*, 2015, (Yayına gönderildi)

-Diğer

B. Bildiriler

-Bentonit Mineralinin *Safranin T* Adsorpsiyonunda Kullanılması
Zehra Deniz KASİM, Berna AYDIN, Gözde ÇETİN

3. Ulusal Kimya Öğrenci Kongresi, Aydın, 2012.

-1,4-bütandiol dimetakrilat ile çapraz bağlanmış akrilamid/çinko akrilat hidrojenlerinin su soğurum özellikleri

Zehra Deniz KASİM, Berna AYDIN, Semiha KUNDAKÇI, Ömer Barış ÜZÜM, Erdener KARADAĞ

V. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi, Tokat, 2014.

-Bentonit ve sodyum aljinat içeren yeni akrilamid/potasyum 3-sülfopropil metakrilat hibrit hidrojenlerinin şişme karakterizasyonu

Zehra Deniz KASİM, Erdener KARADAĞ

27. Ulusal Kimya Kongresi, Çanakkale, 2015.

C. Katıldığı Projeler

-Adnan Menderes Üniversitesi Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı tarafından desteklenen ve 2014 yılında başlatılan “*Bentonit ve Sodyum Aljinat İçeren Yeni Akrilamid/Potasyum 3-Sülfopropil Metakrilat Hibrit Hidrojellerin Eldesi, Karakterizasyonu ve Biyopotansiyel Kullanım Kapasitelerinin Araştırılması*” (FEF 15 006) adlı yüksek lisans araştırma projesi Prof. Dr. Erdener KARADAĞ ile birlikte yürütülerek 2016 yılında sonlandırılmıştır.

D. Staj Yaptığı Yerler

-AYTB AYDIN Laboratuvar Hizmet A.Ş / Gıda – Toksin - Su - Atık Su Analizleri Laboratuvarı

-İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü / Toprak Analizleri Laboratuvarı

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: –

İLETİŞİM

E-posta Adresi : denizkasim26@gmail.com