




Ultrasonik Ksantan Degradasyonuna Tuz Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of NaCl on Ultrasonic Xanthan Degradation

Ali Özhan Akyüz 

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez T.B.M.Y.O., Burdur, Türkiye

Öz

Ksantan düşük maliyeti ve sulu çözeltilerde gösterdiği farklı fiziko kimyasal karakteristiklerinden dolayı ilaç, kozmetik ve gıda endüstrilerinde geniş uygulanabilirlik sunar. Bu çalışmada ksantanın ultrasonik degradasyonu NaCl çözeltilerinde incelenmiştir. NaCl konsantrasyonu 0.5-10 mM arasında seçilerek çözelti değiştirilmiş ve ultrases frekans-şiddeti, ksantan konsantrasyonu, sıcaklık sabit tutulmuştur. Degradasyon kinetiği viskozimetre ile izlenmiş ve çözeltideki NaCl konsantrasyonuna bağlı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Degradasyon, Ksantan, Ultrases, Viskozite

Abstract

Xanthan presents wide applicability in pharmaceutical, cosmetic and food industries because of low cost and different physicochemical characteristics in aqueous solutions. In this study ultrasonic degradation of Xanthan is investigated in NaCl solutions. The solution is changed by varying NaCl concentration between 0.5-10 mM and ultrasound frequency-intensity, xanthan concentration, temperature kept constant. Degradation kinetics was monitored by viscometry and is found to depend on NaCl concentration in solution.

Keywords: Degradation, Xanthan, Ultrasound, Viscosity

1. Giriş

Polisakkaritler monosakkarit kondenzasyonu ile oluşan uzun zincirli karbonhidrat moleküllerinin büyük bir ailesidir. Doğada çokça bulunurlar ve organizmaların tüm hayatları boyunca önemli bir role sahiptirler. Polisakkaritler gıda endüstrisinde düşük maliyetleri ile toksik olmayan özellikleri dolayısıyla kıvam arttırıcı ve dengeleyici olarak geniş bir kullanım alanına sahiptirler (Garcia-Ocha vd. 2000).

Ksantan doğal bir polisakkarit ve önemli bir endüstriyel biyopolimerdir. 1950'lerde ABD tarım bakanlığının Northern bölgesel araştırma laboratuvarlarında keşfedilmiştir. Ksantan *Xanthomonas campestris* bakterisinden aerobik fermentasyon ile üretilir. Temel yapısı 2.8:2.0:2.0 mol oranında iki glikoz, iki mannoz ve bir glukuronik asit içeren tekrar eden pentasakkaritlerden oluşan bir heteropolisakkarittir. Ana zincir β -(1-4)-D-glikoz içerir ve kimyasal yapısı selüloza benzer. Trisakkarit yan zincirleri iki mannoz

arasında bir glukuronik asit içermektedir. Ksantan soğuk ve sıcak suda kolayca çözülebilir ve sulu çözeltilerinin düşük konsantrasyonları bile oldukça yüksek viskozite özelliği gösterir (Kennedy ve Bradsaw 1984). Ksantan çözelti içerisinde tipik bir polielektrolit özellik göstermektedir. Yüksek polimerlerin aksine polielektrolit zincirlerinin çözelti içerisindeki davranışı çözeltinin iyonik şiddetine oldukça bağlıdır. Çözeltinin iyonik şiddeti reolojik özelliklerini kolayca değiştirebilmektedir. Sulu çözelti içerisinde ksantan omurgası düzensizdir ve zincirler yüklü yan grupların elektrostatik etkileşiminden dolayı oldukça gergin durumdadır. Çözeltinin iyonik şiddeti değiştirildiğinde (örneğin tuz eklenmesi, pH değişimi) elektrostatik etkileşimler perdelebilir ve gergin duran zincirler daha kompakt hale gelerek çözelti viskozitesinin azalmasına neden olabilir (Brunchi vd. 2014). Ksantan, çözeltiler için reolojik kontrol ajanı, emülsiyon stabilizatörü olarak kullanılabilir. Bu özelliklerinden dolayı birçok gıda ürününde kullanıldığı gibi ilaç yapımı, kozmetik, tekstil baskı boya, seramik sırlar, pas sökücülerde ve petrol endüstrisinde de kullanılmaktadır (Garcia-Ocha vd. 2000, Ogutu vd. 2015).

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: aakyuz@mehmetakif.edu.tr

Ultras 20 kHz ile 10 MHz arasında insan kulağının duyamadığı frekans aralığına sahiptir. Ultras, frekans ve şiddet değerlerine göre yüksek frekans / düşük şiddet ve düşük frekans /yüksek şiddet olmak üzere iki farklı kullanım alanına sahiptir. Düşük şiddetli ultras malzemelerde herhangi bir değişime neden olmaz ve araştırmalarda analitik bir teknik olarak kullanılmaktadır. Yüksek şiddetli ultras bir malzemede fiziksel ve kimyasal değişimlere neden olabilir. Bu kullanım türü literatürde sonokimya olarak adlandırılmaktadır. Sonokimya fizik ve kimyanın çeşitli alanları, malzeme bilimi, gıda mühendisliği gibi hem akademik hem de endüstriyel anlamda oldukça geniş ölçüde kullanılmaktadır. Düşük frekans yüksek şiddetli ultras sıvı bir ortamdan geçerken genleşme fazında yeterince güçlü bir negatif basınç uygulanırsa sıvı molekülleri arasındaki kritik uzaklık aşılır ve sıvı içerisinde kabarcıklar oluşur ve bir noktada şiddetli şekilde çökerler. Bu olay kavitasyon olayı olarak isimlendirilir (Chemat vd. 2011). Kavitasyon kabarcıklarının çökmesi aşırı sıcaklık ve aşırı basınç koşullarının çok kısa süreliğine oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca kavitasyon sonucunda şok dalgaları, türbülans, kayma kuvvetleri gibi hidrodinamik etkiler de oluşmaktadır (Akyüz vd. 2008). Ultras kütle transferi, emülsifikasyon, yüzey temizleme ve ısınma gibi değişimleri tetiklediği için özellikle malzeme ve çevre bilimlerinde kullanılmaktadır. Düşük frekans yüksek şiddetli ultras gıda alanında gazsızlaştırma, enzim ve mikrobiyal etkisizleştirme, emülsifikasyon, fermantasyon, kristalizasyon, enzim eldesi, homejenizasyon, gıda yüzey temizliği gibi oldukça çeşitli uygulamalara sahiptir (Demirdöven vd. 2008). Bir polimer zincirindeki bir bağın koparılması sonucu molekül ağırlığının azaltılması literatür de polimer degradasyonu olarak isimlendirilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda istenilen molekül ağırlığın da yada viskozitede polimer elde etmek için güvenilir ve hızlı yöntemlere ihtiyaç duyulur. Degradasyon bu amaçla oldukça geniş bir alanda kullanılmaktadır (Akyüz vd. 2008). Polimer degradasyonu çeşitli yöntemlerle yapılabilmektedir. Kimyasal yolla yapılan polimer degradasyonun da ek kimyasal maddelere ihtiyaç vardır, çapraz bağlı yapılar oluşabilir ve bağ kopması rastgele bir süreçtir. Termal degradasyon yüksek sıcaklık gerektirir, polimer zincirlerinde rastgele veya uçtan bağ kopması yaşanır, oligomer oluşumları meydana gelir. Enzimatik degradasyon hassasiyet ve çeşitli enzimleri gerektirmektedir. Akışa dayalı mekanik degradasyonda da çok özel cihazlar gerekmektedir. Ultrasonik polimer degradasyonu bu bahsedilen yöntemlerden farklıdır. Ultrasin polimer çözeltilerine uygulanmasının (sonikasyon) ilk etkisi

çözelti içerisindeki polimer degradasyonudur (polimer zincir kırılması). Kavitasyon sonucu oluşan hidrodinamik kuvvetler polimer zincirlerinin kırılmasına ve molekül ağırlığının azalmasına neden olmaktadır. Genel olarak, sonikasyon ortamındaki polimer zincirlerinin kırılması mekanizması rastgele olmayan bir mekanizmadır. Polimer zincirleri, ortaya yakın bağlardan kırılırlar ve bu kırılma belli bir limit değere kadar devam eder. Bu limit değer ultrasonik degradasyon için önemli bir parametredir (Akyüz vd. 2008). Sonikasyonla polimer zincirlerinin ortaya yakın yerden kırılmaları, monomer ve oligamer oluşumunun olmaması yani kırılmanın herhangi bir anında elde edilen ürünün başlangıç polimerine benzemesi ama zincirin daha kısa oluşu, yan zincir reaksiyonlarının gerçekleşmemesi kullanım alanlarına göre çeşitli avantajlar sağlamaktadır ve degradasyon ortamının kontrolünü yapmak kolaydır (Akyüz vd. 2009). Milas vd. (1986) ksantanın ultrasonik degradasyonu ile enzimatik degradasyonunu karşılaştırmışlardır. Ultrasonik degradasyonunun moleküler yapıda değişiklik olmadan polidispersite indeksini azalttığını; enzimatik degradasyonu ile ise polidispersite indeksini arttırdığını ve moleküler yapıda değişiklikler olduğunu vurgulamışlardır. Chun ve Park (1994) anyonik ksantan ve iyonik olmayan schizophyllanın ultrasonik degradasyonunu farklı başlangıç molekül ağırlıkları için 10 °C'de gerçekleştirerek, polielektrolit ve yüksüz polimer degradasyonu karşılaştırmalarını yapmışlardır. Li ve Feke (2015) ksantan degradasyonuna NaCl ve Na₂SO₄ etkisini 20 °C ve 60 dakika için incelemişlerdir. Bu iki tür tuzun degradasyona etkisini Hofmeister teorisiyle açıklamışlardır. Ksantanla ilgili literatürde oldukça fazla akademik çalışma olmasına rağmen ultras ve ksantan etkileşimi ile ilgili çok fazla çalışma yer almamaktadır.

Bu çalışmada çözelti içerisinde ultrasonik ksantan degradasyonuna NaCl etkisi viskozite ölçümleri ile araştırılmıştır. Viskozite ölçümü çözelti içindeki polimer zincirlerinin davranışını açıklamak için en uygun ve çokça kullanılan yöntemlerden birisidir. NaCl konsantrasyonu değişikçe ksantan zincirlerinin çözelti içerisindeki konformasyonları değişmiş ve dolayısıyla ultrasin degradasyon etkisi de değişmiştir. Viskozimetrik verinin analizi literatürdeki OHM ve Giz modelleriyle gerçekleştirilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

Sonikasyon uygulamaları için Sigma-Aldrich firmasından temin edilen viskozite ortalama molekül ağırlığı 1650000 g/mol olan ksantan kullanılmıştır. Deneyler Bandelin Sonopuls ultrasin cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Ultrasin frekansı (20

kHz) tüm degradasyon deneylerinde sabittir. Ksantanın 0.0004 g/mL'lik konsantrasyonu 0.5 mM, 1.5 mM, 5 mM, 10 mM NaCl –distile su çözeltileri ile hazırlanmıştır. Ksantanın bu konsantrasyonu hazırlanan dört tuz çözeltisi içinde kritik konsantrasyon değerinden düşüktür (Brunchi vd. 2014). Çözeltiler iki saat boyunca manyetik karıştırıcıyla yavaş hızda karıştırılarak homojen karışımlar elde edilmiş ve daha sonra 0.45 µm Agilent econo-filtre ile süzülmüştür. Sonikasyon hücresi olarak 100 mL'lik cam balon seçilmiştir. Sıcaklık 25 °C'de sabit tutulmuştur. Literatürden farklı olarak sonikasyon ortamından örnek alma işlemi yerine hacim değişimi olmaması için numuneler 900-1800-2700-3600-4500-5400-6300-7200 saniye sonikasyona tabi tutulmuştur. Hacim değişiminin sonikasyon ortamını ve sonuçları değiştirebileceği düşünülmüştür.

2.1. Viskozite Ölçümleri

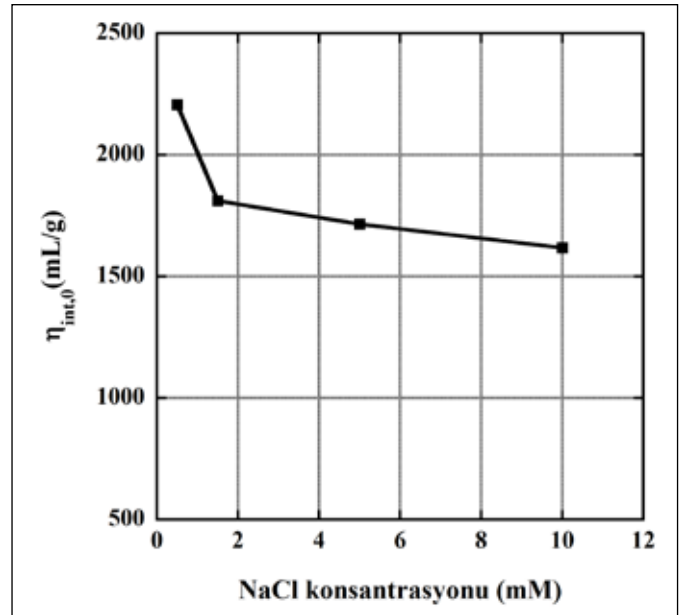
İntrinsik viskozite, çözelti içerisindeki her bir polimer molekülünün viskoziteye katkısını belirler. Bir polimer çözeltisinin intrinsik viskozitesi molekül ağırlığıyla direkt bağlantılıdır. Sonikasyona uğramış polimer çözeltilerinin viskozite ölçümleri ultrasonik degradasyon sürecini analiz etmek için kullanılabilir. Bir polimerin aynı çözücüde farklı konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanır, hepsinin viskozitesi belirlenir ve spesifik viskozite ile konsantrasyon arasındaki grafikten sıfır konsantrasyona ekstrapolasyon yapılarak intrinsik viskozite belirlenir. Bu çalışmada bu yoğun ve zaman alan işlem yerine seyreltik polimer çözeltileri için geliştirilen Solomon-Ciuta tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte sadece relatif viskozite (η_{rel}) ve tek bir polimer konsantrasyonu için intrinsik viskoziteyi belirlemek mümkündür. Bu teknik degradasyon kinetiğini analiz edebilmek için basit bir yoldur. Viskozite ölçümleri için 20 cm uzunluğunda ve 0.025 cm yarıçapındaki kapiler çelik boru Validyne Engineering DP15-28 basınç dönüştürücüye bağlanmıştır. Dönüştürücünün voltaj çıktısı kapilerdeki basınç değişimiyle orantılıdır. Watson-Marlow peristaltik pompa (1 mL/dakika) ile kapiler sisteme çözücü verilerek referans değeri elde edilmiş daha sonra sonikasyon numunelerine geçilmiştir. Relatif viskozite (η_{rel}) değerleri (1) ifadesiyle elde edilmiştir. (1) ifadesinde $V_{\text{çözücü}}$, $V_{\text{çözelti}}$ çözücü ve ksantan çözeltisi için kapiler boyunca basınç düşmesinden kaynaklanan ve bilgisayarda okunan voltaj değerleridir. Daha sonra bu değerler molekül ağırlıkları ile ilgili daha fazla bilgi verebilen intrinsik viskozite (η_{int}) değerlerine Solomon – Ciuta formülü (2) ile dönüştürülmüştür. (2) ifadesinde c ksantan konsantrasyonunu göstermektedir (Akyüz vd. 2013).

$$\eta_{rel} = \frac{V_{\text{çözelti}}}{V_{\text{çözücü}}} \quad (1)$$

$$\eta_{int} = \frac{\sqrt{2[\eta_{rel} - \ln \eta_{rel} - l]}}{c} \quad (2)$$

Şekil 1'de degradasyon deneyleri için kullanılan ksantan çözeltilerinin ölçülen başlangıç intrinsik viskozite değerleri NaCl konsantrasyonuna göre verilmiştir. NaCl konsantrasyonu arttıkça intrinsik viskozite değeri azalmıştır. Ksantan çözeltilerine belirli oranlarda NaCl eklenmesiyle çözeltideki tuz iyonları ksantan zincirlerindeki iyonik yükleri birbirlerine karşı perdelerler. Zincirler arasındaki elektrostatik itme kuvvetleri azalır ve daha kompakt hale gelirler. NaCl konsantrasyonu arttıkça bu etki daha da artmıştır. Sonuç olarak zincirler gergin halden daha esnek ve kompakt hale gelmişler ve dolayısıyla ksantan çözeltilerinin viskoziteleri azalmıştır. Bu durum literatürle de uyumludur (Vega vd. 2015).

Ksantan degradasyonun kinetik analizi için molekül ağırlığının değişimini belirlemede iyi sonuçlar veren OHM ve Giz modelleri kullanılmıştır. Ovenall tarafından ilk olarak kullanılan daha sonra Harrington ve Madras tarafından geliştirilen modelde (OHM model) belli boydan - ağırlıktan küçük polimer zincirleri kırılmaz ve kesme kuvvetleri belli bir bağa iki tarafından da etkir. OHM modelinin matematiksel ifadesi denklem 3'de verilmiştir (Vijayalakshmi ve Madras 2006). Giz modeline göre ultrasonik zincir kırılması heterojen bir yapıdadır. Önce uzun zincirler hızla kırılmaya



Şekil 1. NaCl konsantrasyonuna göre başlangıç intrinsik viskozite değerleri.

başlar ve sonra kırılma yavaşlayarak limit bir değere yaklaşır. Degradasyon süreci zaman sahipleri çeşitliliğine sahiptir. Bu çeşitlik çekilmiş eksponansiyel formda (denklem 4) tanımlanmıştır (Akyüz vd. 2008).

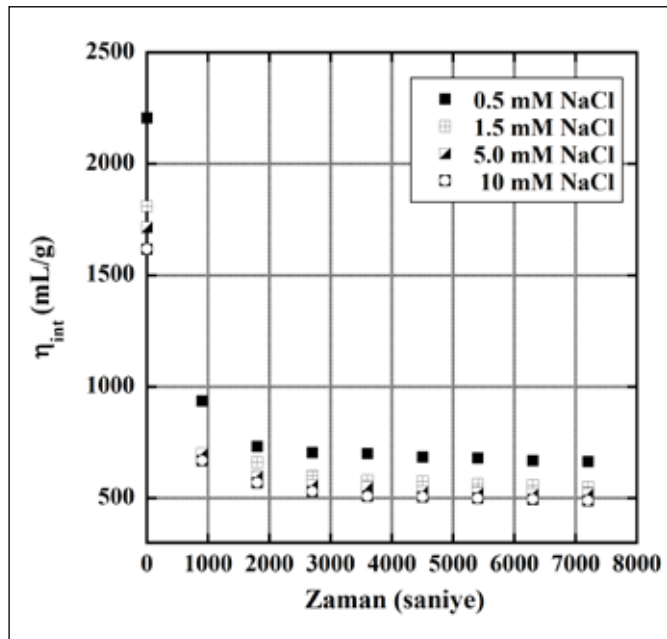
$$\ln\left(\frac{1}{\eta_{int,lim}} - \frac{l}{\eta_{int,t}}\right) = \ln\left(\frac{l}{\eta_{int,lim}} - \frac{l}{\eta_{int,0}}\right) - k_{OHM}t \quad (3)$$

$$\eta_{int,t} = \eta_{int,lim} + (\eta_{int,0} - \eta_{int,lim})e^{-(k_{OHM}t)/\beta} \quad (4)$$

Kullanılan bu iki model için verilen ifadelerde $\eta_{int,t}$ zamanın fonksiyonu olarak intrinsik viskozite, $\eta_{int,0}$ başlangıç intrinsik viskozite değeri ve $\eta_{int,lim}$ limit değerdir. Ayrıca k degradasyon sabiti olmak üzere uygun indisle verilmiştir. Bu iki degradasyon sabiti birbirleri arasında değerlendirilemez. OHM modelinde degradasyon sabitinin açık ifadesinde c polimer konsantrasyonu ve m_0 monomer molekül ağırlığı olmak üzere, $(\eta_{int,lim}/cm_0)$ terimi çarpım şeklinde yer alır. Giz modelinde fonksiyonun $(0-\infty)$ aralığındaki integrali $\beta/\Gamma(1/\beta)$ ifadesi üstel fonksiyonda degradasyon sabiti üzerinde etkisini vurgular.

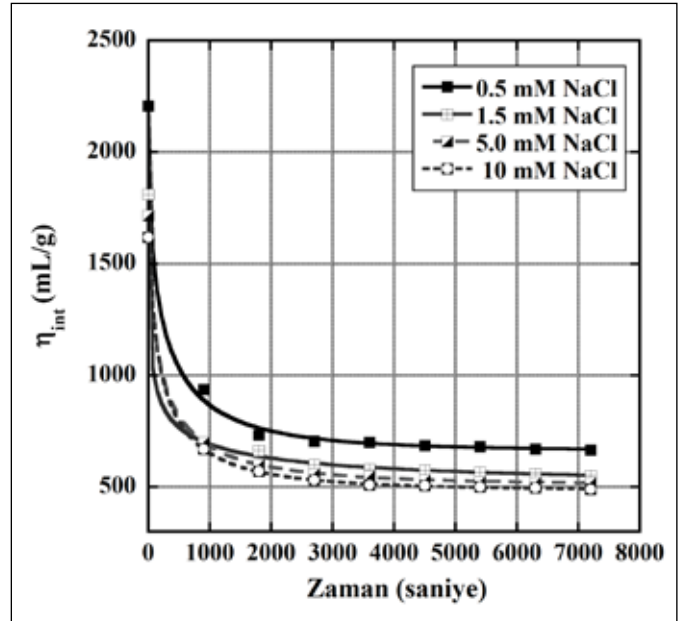
3. Bulgular

Ultrasonik ksantan degradasyonu deneylerinde intrinsik viskozite değişimleri Şekil 2'de verilmiştir. İntersik viskoziteni dört farklı NaCl konsantrasyonu içinde sonikasyonun başlangıç safhalarında hızlıca azaldığı ve sonra limit değerlere yaklaştığı görülmektedir.

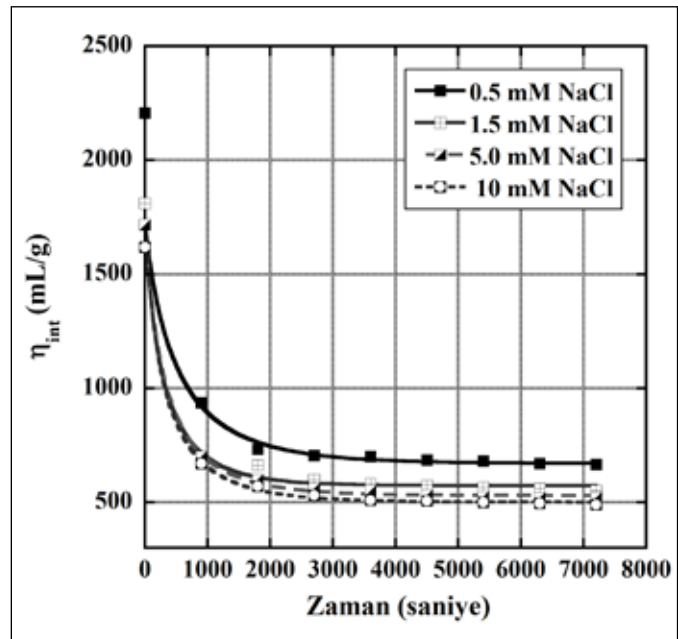


Şekil 2. Sonikasyon zamanına göre intrinsik viskozitelerin değişimi.

Şekil 3'te viskozite değerlerinin nonlinear eğri uydurma yöntemi kullanılarak Giz modeliyle karşılaştırılması görülmektedir. 0.5 mM için $R^2 = 0.997$, 1.5 mM için $R^2 = 0.998$, 5 mM için $R^2 = 0.997$, 10 mM için $R^2 = 0.998$ değerleri elde edilmiştir. Şekil 4'te deneysel verinin teorik OHM modeliyle sınanması verilmiştir. 0.5 mM için $R^2 = 0.998$, 1.5 mM için $R^2 = 0.998$, 5 mM için $R^2 = 0.997$, 10 mM için $R^2 = 0.998$ değerleri elde edilmiştir.

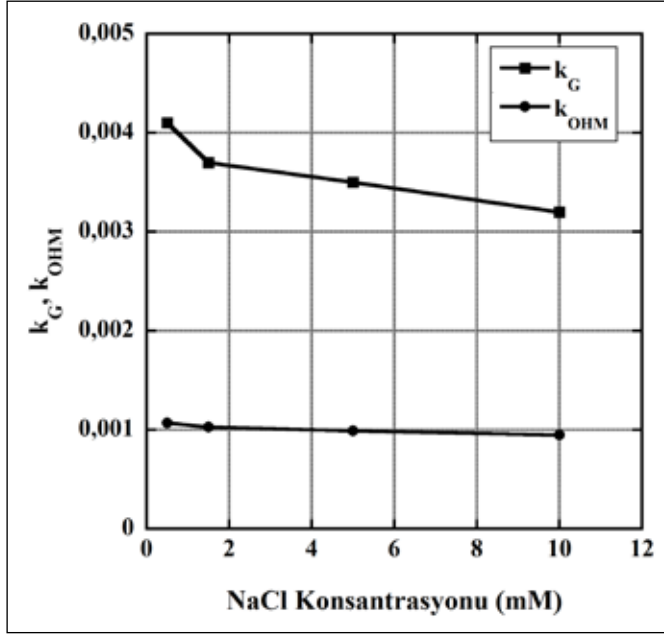


Şekil 3. Giz modelinin deneysel veri ile karşılaştırılması.

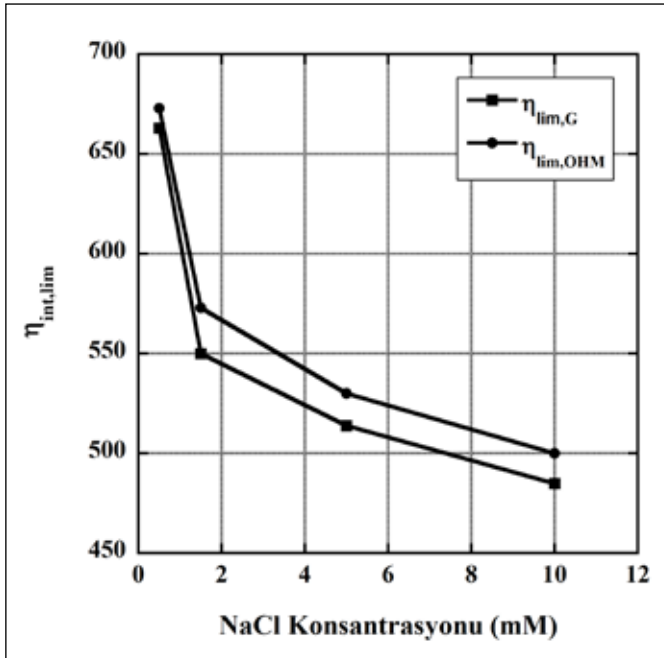


Şekil 4. OHM modelinin deneysel veri ile karşılaştırılması.

Şekil 5'te Giz ve OHM modelleri için nonlinear eğri uydurma ile elde edilen degradasyon sabiti değerlerinin NaCl konsantrasyonuna göre değişimleri verilmiştir. Çözelti içindeki NaCl konsantrasyonu arttıkça iki model içinde degradasyon sabitinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Şekil 6'da Giz ve OHM modelleri için nonlinear eğri uydurma



Şekil 5. NaCl konsantrasyonuna göre Giz ve OHM modeli degradasyon sabitlerinin değişimi.



Şekil 6. NaCl konsantrasyonuna göre Giz ve OHM modeli limit intrinsik viskozite değerleri.

ile elde edilen limit intrinsik viskozite değerlerinin değişimi gösterilmiştir.

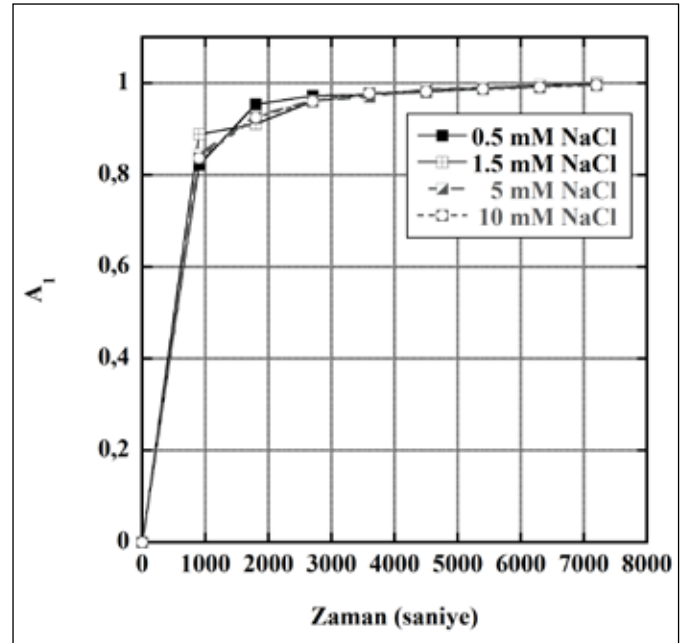
Daha düşük NaCl konsantrasyonlarında çözelti içindeki ksantan zincirleri daha açık durumdadır ve kaviteasyon sonucu oluşan hidrodinamik kuvvetler bu zincirleri daha kolay koparırlar. Dolayısıyla degradasyon sabiti yüksek limit intrinsik viskozite ise daha düşük çıkar. NaCl konsantrasyonu arttıkça elektrostatik etkileşimlerden dolayı zincirler daha kompakt hale gelir. Hidrodinamik kuvvetlerin bu zincirleri koparması biraz daha zorlaşır. Bu durumda degradasyon sabiti daha düşük NaCl konsantrasyonu durumuna göre düşük çıkarken limit değerler daha yüksek çıkar.

Ultrasonik ksantan degradasyonun farklı şekilde de karakterize edilebilir. (5) ve (6) ifadesinde verilen A_1 ve A_2 parametreleri degradasyonun mertebesi hakkında bilgi vermektedir (Casale ve Porter, 1979). A_1 herhangi bir andaki viskozitedeki değişimin toplam değişime oranıdır. A_2 ise herhangi bir andaki göreceli olarak kırılan bağ sayısı ile ilgili fikir vermektedir.

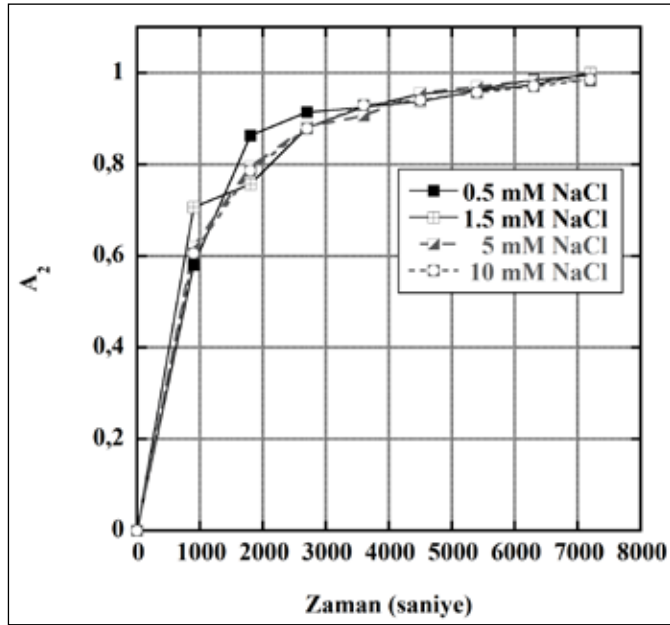
$$A_1 = (\eta_{int,0} - \eta_{int,t})(\eta_{int,0} - \eta_{int,lim})^{-1} \quad (5)$$

$$A_2 = A_1 (\eta_{int,lim} / \eta_{int,t}) \quad (6)$$

A_1 'in zamanla değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Düşük NaCl konsantrasyonunda degradasyon daha hızlı olmaktadır. 2000. saniyeden sonra A_1 neredeyse sabit kalmaktadır. Bu durum degradasyonun yavaşladığını göstermektedir.



Şekil 7. NaCl konsantrasyonuna göre A_1 parametresinin zamana göre değişimi.



Şekil 8. NaCl konsantrasyonuna göre A₂ parametresinin zamana göre değişimi.

A₂'nin zamanla değişimi şekil 8'de gösterilmiştir. A₂ ilk 3000 saniyede hızlı şekilde artmış bire yaklaştıkça artış hızı azalmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Ksantanın biyolojik, kimyasal ve termal degradasyonu literatür de yer almaktadır. Ultrases kullanılarak yapılan Ksantan degradasyonunda molekül ağırlığı ve viskozitenin kontrollü şekilde ve kimyasal yapıda değişiklik olmadan yapılması mümkündür.

Çalışmada Ksantanın ultrasonik degradasyonu sabit ultrases frekansı ve oda sıcaklığında, sabit ksantan konsantrasyonunda dört farklı NaCl konsantrasyonu için gerçekleştirilmiş ve degradasyon viskozimetre ile izlenmiştir. Çözeltideki NaCl miktarı çözücü kalitesini değiştirmekte ve ksantan zincirleri düşük NaCl konsantrasyonunda daha açık durmaktayken yüksek NaCl konsantrasyonunda ise daha kompakt halde durmaktadır. Daha açık duran zincirlerin ultrases etkisiyle kırılması kolayken kompakt haldekilerin kırılması daha zordur. Çözeltideki NaCl miktarı arttıkça degradasyon etkisi azalmıştır.

5. Kaynaklar

Akyüz, A., Çatalgil-Giz, H., Giz, A. 2008. Kinetics of ultrasonic polymer degradation: comparison of theoretical models with on-line data. *Macromol. Chem. Phys.*, (209): 801-09.

Akyüz, A., Çatalgil-Giz, H., Giz, A. 2009. Effect of solvent characteristics on the ultrasonic degradation of poly(vinylpyrrolidone) studied by on-line monitoring. *Macromol. Chem. Phys.*, (210): 1331-1338.

Akyüz, A., Çatalgil-Giz, H., Giz, A. 2008. Investigation of termination during ultrasonic depolymerization. *Macromol. Sy.*, (275): 112-116.

Akyüz, A., Kamer, O., Giz, A. 2008. Online Viscometric monitoring of ultrasonic sodium poly (styrene sulfonate) scission. *J. Macromol. Sci. A*, (50): 535-540.

Brunchi, CE., Morariu, S., Bercea, M. 2014. Intrinsic viscosity and conformational parameters of xanthan in aqueous solutions: Salt addition effect. *Colloids Surf. B*, (122): 512-519.

Casale, A., Porter, R. S., 1979. Polymer Stress Reactions. (pp 40). Academic Press, NY.

Chemat, F., Khan, M. K., Huma, ZH. 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrason. Sonochem.*, (18): 813-835.

Chun, MS., Park, OO. 1994. On the intrinsic viscosity of anionic and nonionic rodlike polysaccharide solutions. *Macromol. Chem. Phys.*, (195): 701-711.

Demirdöven, A., Baysal, T. 2008. The use of ultrasound and combined technologies in food preservation, *Food Rev. Int.*, (25):1-11.

García-Ochoa, F., Santos, VE., Casas, JA., Gómez, E. 2000. Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnol. Adv.*, (18): 549-579.

Kennedy, JF., Bradshaw, IJ. 1984. Production, properties and applications of xanthan, *Prog. Ind. Microbiol.*, (19): 319-390.

Li, P., Zeng, Y., Xie, Y., Li, X., Kang, Y., Wang, Y., Xie, T., Zhang, Y. 2016. Effect of pretreatment on the enzymatic hydrolysis of kitchen waste for xanthan production. *Bioresour. Technol.*, (223): 84-90.

Li, R., Feke, DL. 2015. Rheological and kinetic study of the ultrasonic degradation of xanthan gum in aqueous solutions. *Food Chem.*, (172): 808-813.

Milas, M., Rinaudo, M., Tinland, B. 1986. Comparative depolymerization of xanthan gum by ultrasonic and enzymic treatments. Rheological and structural properties. *Carbohydr. Polym.*, (6): 95-107.

Ogotu, FO., Mu, TH., Elahi, R., Zhang, M, Sun, HN. 2015. Ultrasonic modification of selected polysaccharides-Review. *J. Food Process. Technol.*, (6): 1-8.

Vega, ED., Vasquez, E., Diaz, JRA., Masuelli, MA. 2015. Influence of the ionic strength in the intrinsic viscosity of xanthan gum. An experimental review. *JPBPC*, (3): 12-18.

Vijayalakshmi, SP., Madras, G. 2006. Effects of the pH, concentration, and solvents on the ultrasonic degradation of poly(vinyl alcohol). *J. Appl. Polym. Sci.*, (100): 4888-4892.