UÇAKLARIN YERDEYKEN KAR VE BUZ KAPLANMALARINI ENGELLEYİCİ ÇÖZELTİLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE ÜRETİMİ

Proje No: 106M219

Prof Dr. Niyazi Bıçak
Doç. Dr. Yusuf Uludağ
Doç. Dr. Göknur Bayram
Doç. Dr. Serkan Özgen
Durmuş Sinan Körpe
Barış Erdoğan

EKİM 2008
ANKARA

ÖNSÖZ

TÜBİTAK tarafından 106M219 numaralı proje ile desteklenen bu çalışmada, buzlanma giderici ve önleyici sıvıların geliştirilmesi ve geliştirilen bu sıvıların bilgisayar benzetimi kullanılarak Aerodinamik kabul testinden geçip geçmeyeceği hakkında ön bilgiye sahip olunması amaçlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1
İÇİNDEKİLER.....2
ŞEKİLLER.....6
TABLOLAR.....9
ÖZET.....10
ABSTRACT.....11
1 GİRİŞ.....12
2 GENEL BİLGİLER.....18
2.1 Sıvıların temel fiziksel özellikleri.....18
2.1.1 Yüzey gerilimi.....18
2.1.2 Viskozite.....18
2.1.3 Donma noktası.....18
2.1.4 Asgari kullanım sıcaklığı.....18
2.1.5 Malzeme uyumu.....19
2.1.6 pH değeri.....19
2.1.7 Parlama noktası.....19
2.2 Sıvının uygulanması sırasında dikkat edilecek hususlar.....20
2.2.1 Aktif don (active frost).....20
2.2.2 Dondurucu sis (freezing fog).....21
2.2.3 Kar (snow).....21
2.2.4 Dondurucu çisenti (freezing drizzle).....21

2.2.5 Dondurucu hafif yağmur (Light freezing drizzle) 21
2.2.6 Nem ya da yağmurdan dolayı soğuk ıslanma (Cold soaking due to humidity or rain) 21
2.3 Sıvıların temel performans testleri 22
2.3.1 Su püskürtmeli dayanıklılık testi (water spray endurance test) 23
2.3.2 Yüksek nem dayanıklılık testi (high humidity endurance test) 23
2.3.3 Aerodinamik kabul testi 24
2.4 Kullanım testleri 26
2.4.1 Kayma gerilimi testi 26
2.4.2 Soğuk havaya maruz kalarak kuruma testi 26
2.4.3 Kuru havaya maruz kalma testi 26
2.4.4 Isıdan dolayı tabaka oluşum testi 27
2.4.5 Kuruma testi 27
2.4.6 Termal kararlılık (yaşlandırma) testi 27
2.4.7 Sert su dayanıklılık testi 28
2.5 Çevreyle uyumluluk testleri 28
2.6 Yaygın olarak kullanılan sıvıların özellikleri 29
2.7 Patentler 31
3 GEREÇLER VE YÖNTEMLER 37
3.1 Buzlanmayı engelleyici ve önleyici sıvıların hazırlanması 37
3.2 Polimer sentez deneyleri 39
3.2.1 Poli(akrilik asit-ko-maleik asit) sentezi 39
3.2.2 Poli(DADMAC-ko-akrilamit) sentezi 40
3.2.3 Poli(DADMAC-co-vinilpirolidon) sentezi 40
3.2.4 Poliakrilamit sentezi 41

3.2.5 Poli(akrilik asit-ko-maleimit) sentezi 41
3.3 Karakterizasyon 43
3.3.1 Reometre 43
3.3.2 Yüzey gerilimi ölçer 43
3.3.3 pH metre 43
3.3.4 Derin dondurucu 43
3.3.5 Korozyon testleri 43
3.3.6 Sentezlenen polimerlerin karekterizasyonu 44
3.4 Buzlanma giderici ve önleyici sıvıların doğrusal kararlılık analizi için matematiksel yaklaşım ve çözüm metodu 44
3.4.1 Giriş 44
3.4.2 Orr-Sommerfeld denklemlerinin elde edilmesi 46
3.4.3 İki katmanlı akış sistemlerinde sınır koşulları 49
3.4.4 Çözüm metodu 52
4 BULGULAR VE TARTIŞMA 54
4.1 Buzlanmayı giderici (Tip 1) sıvıların hazırlanması 54
4.2 Buzlanmayı önleyici (Tip 2) sıvılar 60
4.2.1 Sentezlenen polimerler ve reolojik davranışları 61
4.2.2 Ticari polimerler ve reolojik davranışları 63
4.3 Testler 87
4.3.1 Donma noktası testleri 87
4.3.2 Korozyon testleri 88
4.3.3 Stabilite testi 89
4.4 Polimerin sentez yoluyla elde edilme çalışmaları 90
4.5 Buzlama giderici ve önleyici sıvıların dalga karakteristik özellikleri 91

SONUÇLAR 96

REFERANSLAR 98

EK-1 ARA TABAKA KOŞULLARININ ELDE EDİLMESİ 101

EK-2 YÜZEY GERİLİMİ VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ 104

EK-3 BUZLANMA GİDERİCİ VE ÖNLEYİCİ SIVILARIN TS KARARSIZLIK MODLARI 109

ŞEKİLLER

Şekil 2.1 Buzlanma önleyici sıvıların uygulandığı yüzeyler.....22
Şekil 2.2 Kalkış sırasındaki hız profili ile deplasman kalınlığı.....25
Şekil 2.3 Carregeenan içeren sıvılar ile eski tip kullanılan sıvılar arasında karşılaştırma grafikleri 32
Şekil 2.4Polimerik kalınlaştırıcının kimyasal formülü 34
Şekil 3.1 Poli(akrilik asit-ko-maleik asit) sentezi 40
Şekil 3.2 Poli(DADMAC-ko-akrilamit) sentezi.....40
Şekil 3.3 Poli(DADMAC-co-vinilpirolidon) sentezi 41
Şekil 3.4 Poliakrilamit sentezi.....41
Şekil 3.5 Doğrusal kararsızlık modları[sinan].....45
Şekil 3.6 TS kararsızlık modu üzerinde kritik dalga sayısı ve Reynolds değerinin gösterilmesi ..46
Şekil 3.7 İki katmanlı akış sisteminin geometrisi 50
Şekil 4.1 Fonksiyonel kimyasalların farklı glikol oranlarında karışımın viskozite değerlerine etkisi 56
Şekil 4.2 Fonksiyonel kimyasalların farklı glikol oranlarında karışımın yüzey gerilimi değerlerine etkisi 57
Şekil 4.3Hidrofobik grupların dolanma noktalarında oluşturduğu kuvvetler ve psödoplastik mekanizmaya etkisi (Kırmızı noktalar hidrofobik grupları ifade eder) 64
Şekil 4.4 Konsantrasyona bağlı olarak değişen hidrofobik etkileşim bölgeleri [38]. (c_L: düşük konsantrasyon, c_U: yüksek konstrasyonu).....66
Şekil 4.5 %1'lik hazırlanan HMPA sulu çözeltilerinin reolojik davranışı.....67
Şekil 4.6 % 2'lik hazırlanan HMPA sulu çözeltilerinin reolojik davranışı.....68
Şekil 4.7 % 4'lük hazırlanan HMPA sulu çözeltilerinin reolojik davranışı.....69
Şekil 4.8 İyonizasyon derecesine göre zincirlerin davranışı (Kırmızı noktalar hidrofobik grupları ifade eder).....70

Şekil 4.9 % 0.05 HMPA çözeltisinin (50 % su and 50 % glikol) artan NaOH konsantrasyonu ile düşük kayma hızlarındaki viskozitesinin değişimi....71
Şekil 4.10 % 0.075 HMPA çözeltisinin (50 % su and 50 % glikol) artan NaOH konsantrasyonu ile düşük kayma hızlarındaki viskozitesinin değişimi....72
Şekil 4.11 % 0.075 HMPA çözeltisinin (50 % su and 50 % glikol) artan pH ile düşük kayma hızlarındaki viskozitesinin değişimi....73
Şekil 4.12 % 0.075'lik HMPA çözeltisinin (50 % su-50 % glikol) pH=6'da reolojik davranışı...74
Şekil 4.13 % 0.064'lik HMPA çözeltilerinin değişen glikol konsantrasyonlarında reolojik davranışları (S1: 50 % su-50 % glikol, S2:40 % su-60% glikol, S3: 30 % su-70 % glikol)....75
Şekil 4.14 Yüzey aktif maddelerin çözelti içerisindeki davranışları (Kırmızı noktalar hidrofobik grupları, mavi noktalar yüzey aktif maddeleri ifade eder) (C*: Kritik misel konsantrasyonu) 76
Şekil 4.15 Hidrofobik olarak geliştirilmiş polimer zincirleri ile yüzey aktif maddeler arasında 3 farklı konsantrasyon bölgesinde oluşan etkileşimler (Hidrofobik gruplar siyah nokta ile gösterilmiştir) [40]....77
Şekil 4.16 % 0.07'lik HMPA çözeltisinde (50 % su and 50 % glikol) artan SDS konsantrasyonu ile viskozite değişimi....78
Şekil 4.17 HMPA çözeltilerinin artan SDS konsantrasyonu ile farklı glikol-su oranlarında yüzey geriliminin değişimi (S1: %50 glikol-%50 su, S2: %60 glikol-%40 su, S3: %70 glikol-%30 su) 79
Şekil 4.18 % 0.067'lik HMPA çözeltisinde (50 % su and 50 % glikol) artan AOT konsantrasyonu ile viskozite değişimi....80
Şekil 4.19 HMPA çözeltilerinin artan SDS konsantrasyonu ile farklı glikol-su oranlarında yüzey geriliminin değişimi (S1: %50 glikol-%50 su, S2: %60 glikol-%40 su, S3: %70 glikol-%30 su) 81
Şekil 4.20 % 0.067'lik HMPA çözeltisinde (50 % su and 50 % glikol) artan Sodyum oleat konsantrasyonu ile viskozite değişimi....82
Şekil 4.21 HMPA çözeltilerinin artan sodyum oleat konsantrasyonu ile farklı glikol-su oranlarında yüzey geriliminin değişimi (S1: %50 glikol-%50 su, S2: %60 glikol-%40 su, S3: %70 glikol-%30 su)....82
Şekil 4.22 Katyonik yüzey aktif maddelerin polimer çözeltilerinin (% 0.064 HMPA ve % 50 glikol) yüzey gerilimine etkisi....84
Şekil 4.23 Triton X-100'ün polimer çözeltisinin (% 0.064 HMPA ve % 50 glikol) yüzey gerilimine etkisi....85

Şekil 4.24 Benzotriazol'un HMPA çözeltisinin viskozitesine etkisi 86
Şekil 4.25 HMPA çözeltilerinin (%0.067, 50 % su- 50 % glikol) artan sıcaklıkla reolojik değişimi 87
Şekil 4.26 Stabilite testi sonucunda 106 gün yaşlandırılmış çözeltinin ilk ve son hali.....89
Şekil 4.27 Maleimit 90
Şekil EK-2.1 T2 sıvısının yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi.....105
Şekil EK-2.2 T2 ve G2 sıvılarının yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi 105
Şekil EK-2.3 G1 sıvısının yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi 106
Şekil EK-2.4 T1 sıvısının yüzey geriliminin sıcaklıkla değişimi.....106
Şekil EK-2.5 107
Şekil EK-2.6 G1 sıvısının yüzey geriliminin sıcaklıkla değişimi 107
Şekil EK-2.7 G2 sıvısının yüzey geriliminin sıcaklıkla değişimi 108
Şekil EK-3.1 Sıvıların 20 ℃′de 2.4 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları.....109
Şekil EK-3.2 Sıvıların 20 ℃′de 1.8 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları.....110
Şekil EK-3.3 Sıvıların 20 ℃′de 1.2 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları.....110
Şekil EK-3.4 Sıvıların 0 ℃′de 2.4 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları.....111
Şekil EK-3.5 Sıvıların 0 ℃′de 1.8 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları.....111
Şekil EK-3.6 Sıvıların 0 ℃′de 1.2 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları.....112
Şekil EK-3.7 Sıvıların −10 ℃′de 2.4 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları.....112
Şekil EK-3.8 Sıvıların −10 ℃′de 1.8 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları.....113
Şekil EK-3.9 Sıvıların −10 ℃′de 1.2 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları.....113

TABLOLAR

Tablo 2.1 Tip 2 sıvıları için örnek bekleme zamanları 20
Tablo 2.2 Çeşitli sıvıların SPD testine dayanıklılık süreleri 23
Tablo 2.3 Çeşitli sıvıların YND testine dayanıklılık süreleri.....24
Tablo 2.4 Termal kararlılık testi değer tablosu 27
Tablo 2.5 Sert su dayanıklılık testi değer tablosu 28
Tablo 2.6 Kullanılmakta olan sıvıların özellikleri 30
Tablo 3.1 Buzlanma giderici sıvılarda kullanılan kimyasallar.....37
Tablo 3.2 Polimer sentezinde kullanılan kimyasallar 42
Tablo 4.1 Tip 1 sıvısı içerisinde kullanılan fonksiyonel kimyasallar ve kompozisyon aralıkları..54
Tablo 4.2 Tip 1 sıvısı içerisindeki fonksiyonel kimyasalların fiziksel özelliklere etkisi 55
Tablo 4.3 Fonksiyonel kimyasalların karışımda ikisi birden ya da üçü birden kullanıldıklarında ölçülen viskozite ve yüzey gerilimi değerleri 58
Tablo 4.4 Glikol su karışımının kompozisyona bağlı yüzey gerilimi ve viskozite değerleri.....59
Tablo 4.5 Su ve glikolde yüzey geriliminin kullanılan farklı kimyasallar ile değişimi 59
Tablo 4.6 Sentezlenen polimerler ile hazırlanan çözeltiler ve eklenen fonksiyonel kimyasallar ile reolojik davranışları.....63
Tablo 4.7 Farklı glikol-su konsantrasyonlarında hazırlanan polimer çözeltilerinin donma noktaları 87
Tablo 4.8 Korozyon testi sonuçları 88
Tablo 4.9 Buzlanma giderici sıvıların farklı sıcaklıklardaki fiziksel özellikleri.....91
Tablo 4.10 Buzlanma giderici sıvıların farklı sıcaklıklardaki fiziksel özellikleri.....92
Tablo 4.11 Farklı sıcaklıklardaki havanın fiziksel özellikleri.....92
Tablo 4.12 T1 sıvısının dalga karakterleri 93
Tablo 4.13 G1 sıvısının dalga karakterleri 93
Tablo 4.14 T2 sıvısının dalga karakterleri 94
Tablo 4.15 G2 sıvısının dalga karakterleri 95

ÖZET

Bu çalışmada, buzlanma giderici ve önleyici çözeltilerin geliştirilmesi süreci ve akışlarının kararsızlık özellikleri incelenmiştir.

Başlangıçta, çözeltiler içindeki kimyasal katkıların ve bunların çözeltilerin en önemli fiziksel özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. İlk olarak kimyasal katkılar, farklı ağırlık oranlarında glikol ve su karışımlarına birer birer eklenmiş ve başlı başına etkileri incelenmiştir. Daha sonra, fiziksel özelliklerdeki değişimler kimyasallar çözeltiye hep birlikte eklendiğinde incelenmiştir. Bundan sonra, çalışma sıvının psödoplastik olmasını sağlayan polimer üzerine yoğunlaşmıştır. Viskozitenin polimer, glikol, yüzey aktif madde konsantrasyonu, pH, sıcaklık ve kayma hızı ile değişimi gözlenmiş, detaylı olarak rapor edilmiştir. Kullanılan kimyasallar arasında çok az çapraz bağlanmış ve hidrofobik olarak geliştirilmiş poliakrilik asit koyulaştırıcı polimer olarak ve tributilamin ile sodyum oleat yüzey aktif madde olarak istenen fiziksel özelliklere yakın sonuçlar vermişlerdir.

İki katmanlı akışlar için doğrusal kararlılık teorisi, çözeltilerin akışının kararsızlık özellikleri incelemek için temel bir araçtır. Ticari olarak temin edilebilen geliştirilmiş buzlama giderici ve önleyici sıvıların, kararsız dalga özellikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, geliştirilmiş olan buzlanma giderici sıvıdaki dalga oluşumu temin edilebilir sıvıya göre daha düşük hava hızlarında görülmektedir. Üstelik kritik dalga hızının daha yüksek olması nedeniyle, kanat yüzeyinden daha hızlı ayrılmaktadır. Geliştirilmiş buzlanma önleyici sıvı ise temin edilebilir buzlanma önleyici sıvıyla, dikkat çeker bir seviyede daha az olan kritik dalga hızı hariç, benzer dalga özellikleri göstermektedir. Ancak, geliştirilmiş sıvının düşük kayma hızlarındaki viskozitesini azaltarak, bu sorunun üstesinden kolaylıkla gelinilebilir.

Anahtar sözcükler: Buzlanmayı engelleyici ve önleyici çözeltiler, uçak performansı, psödoplastik reoloji, poliakrilik asit, yüzey aktif madde, iki katmanlı akış, doğrusal kararlılık teorisi, Orr-Sommerfeld denklemleri.

ABSTRACT

In this study, development process of de-icing and anti-icing solutions and their flow instability characteristics are presented.

In the beginning, the chemical additives in the solutions and their effects on the most critical physical properties of the solutions were investigated. Firstly, chemical additives were added to glycol and water mixtures at different weight ratios one by one in order to see their individual effects. Then, the changes in physical properties were observed when the chemicals were added to water-glycol mixture together. After that, study was focused on effect of polymer which makes the solution pseudoplastic. The effects of polymer, glycol and surfactant concentration, pH, temperature, shear rate on viscosity variation were observed and reported in detail. Among the chemicals that were used, slightly cross-linked and hydrophobically modified polyacrylic acid as a thickening polymer, tributilamin and sodium oleat as a surfactant, were effective on obtaining desired physical properties.

For the investigation of flow instability characteristics of the solutions, linear stability analysis for two-layer flows is a basic tool. The commercially available and developed de-icing and anti-icing solutions were compared according to the characteristics of unstable waves. According to the results, unstable waves on developed de-icing fluids are observed at lower critical wind speeds compared to the commercially available de-icing solution. Moreover, it flows off the wing faster due to a higher value of critical wave speed. Developed anti-icing solution has similar wave characteristics compared to commercially available anti-icing solution, except the critical wave speed, which is significantly lower. However, this problem can be overcome by decreasing the viscosity of developed anti-icing solution at very low shear rates.

Key words: de-icing and anti-icing solutions, aircraft performance, pseudoplastic rheology, polyacrylic acid, surfactants, two-layer flows, linear stability theory, Orr-Sommerfeld equation.

1 GİRİŞ

Uçaklar kış aylarında güvenlik tedbirleri gereğince kanatları üzerinde kar ve buz birikintileri ile birlikte kalkış yapamazlar. Uçağın kalkışı sırasında, ilgili yüzeylerinin buzdan ve kar parçacıklarından tamamen temizlenmiş olduğunu tanımlayan "Temiz Uçak" deyimi için gereken işlemlerin belirtilip uygulanması konusunda Federal Havacılık Yönetmelikleri'nin 91.209 ve 121.629 numaralı kuralları geçerlidir **[**1**]**. Bu kuralların konulmasının temel sebebi, uçak yüzeyindeki buzlanmanın, uçağın performansına olumsuz etkileridir. Buzlanmanın en temel etkileri kaldırma kuvveti ve sürtünme kuvveti üzerinde görülebilir **[**1, 2**]**. Buzlanmadan dolayı, uçağın toplam ağırlığı artacağından, gereken kaldırma kuvveti artar **[**2**]**. Aynı zamanda yüzeydeki pürüzlenmeden ötürü uçağın üzerindeki akış şekli düzensizleşeceğinden kaldırma kuvveti katsayısı azalır. Bu sebepten dolayı uçağın, kalkış rulesi sırasında ulaşması gereken hız artar **[**2**]**. Son etki ise hücum açısı ile ilgilidir. Buzlanmadan dolayı, özellikle kalkış sırasında ihtiyaç duyulan en yüksek kaldırma kuvveti için gereken hücum açısında meydana gelecek olan azalma, bu durumlar için uçakta bulunan uyarı mekanizmaları tarafından algılanamaz **[**1**]**. Buzlanma, aynı zamanda sürtünme kuvvetinin artmasına da sebep olmaktadır. Buzlanmadan dolayı, uçak havada iken gereken kaldırma kuvveti için, daha fazla hücum açısına ihtiyaç duyulur. Bu durumda elde edilen kaldırma kuvveti, kanat yüzeyi temizken elde edilen aynı kaldırma kuvvetinden çok daha fazla sürtünmeye yol açar. Aynı zamanda buzlanmanın yaratacağı pürüzlenme, akışın kanat yüzeyinden daha erken ayrılmasına sebep olur ve bu da sürtünme kuvvetini artırır **[**3**]**. Ayrıca, sürtünme kuvvetindeki artış, bu kuvveti dengelemek için gereken ve motor tarafından üretilen kuvvetin de artmasına sebep olur. Temel etkilerinin yanı sıra, buzlanma, kontrol yüzeylerinin hareket kabiliyetlerini de etkiler ve uçağın manevra kabiliyetinin önemli oranda azalmasına sebep olur **[**2**]**. Bu sebeplerden ötürü uçakların üzerlerinde buz ya da kar kalıntısı varken uçuşa başlamalarına izin verilmemektedir **[**4**]**.

Uçakların yerdeyken buzlanmalarını gidermek veya önlemek, havalimanlarında uçakların bekletilmesinden dolayı ortaya çıkan zaman ve para kaybından dolayı, havayolları işletmeciliği açısından kış aylarında ortaya çıkan bir sorundur. **[**5**]**. 1930'lu yıllardan beri Kuzey Amerika ve Kuzey Avrupa'da buzlanmayı gidermek ve önlemek için kullanılan sıvılar, etilen glikol, di-etilen

glikol ve propilen glikol gibi glikol türlerini içerir. Glikol kullanılmasının temel sebepleri, donma noktasını düşürmede çok etkili olması, uçak parçalarıyla uyumluluğu (aşınma ve korozyon yaratmaması) ve kolay kullanımıdır. Propilen glikol, glikol çeşitleri arasında çevreye en az zararlı olanıdır. Mono-etilen glikol ise soğuk havalarda daha düşük viskozite gösterir **[**5, 6**]**.

Literatür araştırması sırasında buzlanma giderici ve önleyici sıvı olarak kullanılan dört çeşit sıvı bulunmuştur. Bunlar Tip-1,-2,-3 ve -4 sıvılarıdır **[**2**]**. Tip-1 olarak adlandırılan sıvılar, daha çok buzlanmayı giderici sıvı olarak kullanılırlar. İçeriklerinde en az %80 oranında glikol vardır. Aynı zamanda, yüzey gerilimini azaltıcı aktif maddeler ve korozyon önleyici maddeler de içermektedirler. Bu tip sıvıların viskoziteleri Newtonumsudur. Viskozite sadece sıcaklıkla değişir (sıcaklık arttıkça viskozite düşer) **[**5**]**. Bu tip sıvıların buzlanmaya karşı yüzey korumada etkileri azdır. Tip-2 olarak adlandırılan sıvılar, en az %50 oranında glikol içerirler. İçlerinde viskoziteyi artırmak için kalınlaştırıcı madde, yüzey gerilimini azaltıcı aktif maddeler ve korozyon önleyici maddeler vardır. Bu tip sıvıların viskoziteleri Newtonumsu değildir. Viskozite, sıcaklığın yanı sıra kayma hızıyla da değişir. Bu tip sıvılar buzlanmayı gidermede ve buzlanmaya karşı yüzey korumada etkilidir. Tip-2 sıvıların muhafazası ve depolanması konusunda dikkatli olmak gerekir **[**6**]**. Tip-3 sıvıları, düşük hızda kalkış yapan uçaklar için daha önce kullanılan Tip-1 sıvılarının yüzey korumadaki yetersizliği sebebiyle üretilmişlerdir. Newtonumsu özellikte olmayan bu sıvı tipi günümüzde üretilmemektedir **[**7**]**. Tip-4 sıvıları ise genel olarak Tip-2 sıvılarıyla aynı özellikleri göstermesine rağmen viskoz özelliği Tip-2 sıvılarından çok daha fazladır. Tip-4 sıvıları kış şartlarının daha çetin geçtiği bölgelerde kullanılmaktadır **[**8**]**.

Newtonumsu özellikte olmayan sıvıların içerisinde bulunan kalınlaştırıcı madde, bekleme (holdover) süresine olumlu katkı yapar. Bekleme süresi, üzerine buzlanma giderici ya da buzlanma önleyici sıvı uygulanmış uçak yüzeyinin tekrar buzlanmaya karşı korunma ya da direnç gösterme süresi olarak tanımlanır **[**6**]**. Bekleme süresi, buzlanma şartlarının şiddetine (nem oranı, hava sıcaklığı, yüzey sıcaklığı, vb.) ve uygulanan sıvının karışım oranına bağlıdır. Eklenen bu madde sayesinde, sıvının kalkış rulesi sırasında viskozitesi oldukça azalır ve sıvı uçak yüzeyinden daha kolay akar.

Newtonumsu olmayan sıvıların genel fiziği Herschel-Bulkely'e **[**6**]** göre;

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^B \qquad (1.1)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada τ kayma gerilimi, τ_0 akma gerilmesi, K plastik viskozite katsayısı, B kesme oranı üst imi ve $\dot{\gamma}$ da kayma hızı oranıdır. Kayma geriliminin, kayma hızı oranına bölümü o kayma gerilimindeki viskoziteyi verir. Bekleme süresinin uzunluğu, akma gerilmesinin büyüklüğüne bağlıdır. K ve B değerlerinin küçük olması, sıvının uçak yüzeyinden ayrılmasını kolaylaştırır.

Ayrıca buzlanmayı önleyici sıvılar visko-elastik yapıda düşünülürse, visko-elastik maddeler için, karmaşık modülü aşağıdaki şekilde tanımlanır **[**6**]**:

$$G^* = G' + G''. \qquad (1.2)$$

Burada, G'faz içi modülü, G'' faz dışı modülüdür.
Sıvıda elastik bölgenin mi yoksa viskoz bölgenin mi baskın olduğunu belirlemek için;

$$\tan\delta = \frac{G''}{G'} \qquad (1.3)$$

formülü kullanılır. Buzlanma giderici ya da önleyici sıvıların istenilen özelliklere sahip olabilmesi için, $\tan\delta$ oranın yüksek olması gerekmektedir **[**6**]**.

Daha öncede belirtildiği gibi 1930'lu yıllardan beri soğuk iklim bölgelerinde kullanılan bu sıvılar için standartların ve testlerin belirlenmesi, buzlanma giderici ya da önleyici sıvı kullanıldığı halde 1982'de Washington'da buzlanma yüzünden meydana gelen uçak kazasından sonra ele alınmıştır. Bu kaza uluslararası havacılık endüstrisini harekete geçirmiş ve bu sebepten oluşan kazaları önlemek için bir takım önlemler alınmıştır. Buna göre;

a) Uçuş ve yer mürettebatına, uçuş güvenlik ve kontrol şeflerine uçağın buzlanmış kanatla kalkışının tehlikesinin anlatılması,
b) Gelişmiş buzlanma giderici ve önleyici sıvılarının üretilmesi, bu sıvıların fiziksel, kimyasal ve performans özelliklerinin düzgün bir şekilde tanımlanması ve belli standartlara sokulması,

c) “Temiz uçak” olarak tanımlanan ve uçağın kalkış sırasında, belirtilen yüzeylerinin tamamen buzdan temizlendiğini belirten duruma uyması için gereken işlemlerin belirtilip uygulanması konusunda,

fikir birliğine varılmıştır **[**9**]**.

Yukarıda bahsedilen kaza olduğunda Avrupa’daki havaalanlarında uzun bir süredir Newtonumsu özellikte olmayan ve daha uzun süre koruma süresine sahip buzlanma giderici bir sıvı kullanılmaktaydı. Aynı yıl içerisinde, Boeing firmasının yaptığı testlerde, Avrupa’da kullanılan sıvılar da dahil piyasadaki tüm sıvıların, kalkış esnasında kanat ve kontrol yüzeylerinden ayrılmadığı ve bu esnada uçak üzerinde akış şeklini bozacak şekilde dalgalandığı tespit edilmiştir **[**9**]**. Bu yüzeylerde, sıvıdan dolayı ikinci bir sınır tabakası oluşmaktadır. Oluşan bu ikinci tabaka kanat üzerinde oluşan hava sınır tabakasının kararlılığını azaltır ve kanadın verimliliğini düşürür. Sıvının yüzeyden ayrılması için hava sınır tabakasından, sıvı sınır tabakasına enerji akışı oluşur ve oluşan pürüzlü tabaka hava sınır tabakasının enerjisini azaltır. Düşük enerjili kalın sınır tabakası, kanadın aerodinamik özelliklerini olumsuz yönde değiştirir **[**5**]**.

Hem sayısal hem de deneysel olarak elde edilen sonuçlara göre, Newtonumsu sıvı üzerinde oluşan dalgalanma hem daha düşük hızlarda olmaktadır, hem de daha düzenli olmaktadır. Newtonumsu özellikte olmayan sıvılarda ise bu durum tam tersidir. Bu durumun temel sebebi, Newtonumsu özellikte olmayan sıvıların yüksek viskoziteye sahip olmalarıdır **[**10**]**. Buzlanma giderici ve önleyici sıvıların hava ile etkileşimi incelenmesiyle elde edilen sonuçlarda iki adet kararsızlık modu oluştuğu görülür. Birincisi genel olarak bilinen Tollmien-Schlichting modu, ikincisi ise yumuşak mod (soft mode) olarak adlandırılan durumdur. İkincisinin büyüme oranı ve yayılma hızı birincisinden bir mertebe daha küçüktür. Yapılan testlere ve sayısal analizlere göre, sıvı ile hava arasındaki viskozite oranı arttıkça, ikinci modun etkisi azalır ve yüksek oranlarda fark edilemez bir hal alır. Normal bir buzlanma gidericinin ya da önleyici sıvının uygulanması esnasında bu oran yaklaşık 500,000 civarındadır **[**11**]**.

Buzlanma giderici ve önleyici sıvılarda aerodinamik kabul kriteri oluşturmak ve sıvı üreticilerinin bu doğrultuda daha etkili sıvı üretmesini sağlamak amaçlı teknoloji geliştirmeye yönlendirmek için, 1988-1990 yılları arasında iki aşamalı bir test süreci gerçekleştirilmiştir. Birinci kısım testler, 1988 yılında Finlandiya’da yapılmış uçuş testleridir. Bu testler sayesinde, o dönemde

kullanılmakta olan sıvıların kaldırma kuvvetine etkileri hesaplanmıştır **[**5**]**. İkinci kısım testler ise NASA Buzlanma Araştırmaları Rüzgar Tüneli'nde 1988-1990 yılları arasında gerçekleştirilen testlerdir **[**5, 11**]**.

Bu testlerde, birincisi Boeing 737-200ADV tipi uçağın 0.091 oranında küçültülmüş 3 boyutlu hali, ikincisi gene aynı modelin 0.18 oranında küçültülmüş modelinden alınan kanatçık olmak üzere iki model kullanılmıştır. Kalkışın tam benzetimini yapmak için rüzgar tünelindeki hava 30 saniye içinde 69 m/s hıza ulaşabilecek şekilde hızlandırılmış, simülasyonun 25. saniyesinde kalkış manevrasını benzetmek için kullanılan model 3 derece/saniyelik bir oranda döndürülmeye başlanmış ve kalkış hücum açısına getirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan anlaşılmıştır ki, uçağın 3 boyutlu modelinden rüzgar tüneli vasıtasıyla elde edilen kaldırma kuvveti sonuçları uçuş testlerinden elde edilen sonuçlarla $\pm$%1.5 oranında bir hata payıyla örtüşmektedir. Benzer sonuçlar, sürtünme katsayısı sonuçları içinde geçerlidir **[**5,11**]**. Sıvılar bazında sonuçlara bakılacak olursa; Tip-1 sıvıları su ile karıştırıldığında viskozitelerinin azalmasından dolayı daha az kaldırma kuvveti katsayısı kaybı sağlanmaktadır. Fakat Tip-2 sıvıları için aynı durum geçerli değildir, örnek olarak, Tip-2 sıvıları, %25'i su olacak şekilde bir karışımın içine konulduklarında elde edilen viskozite değerleri saf haldeki viskozite değerlerinden daha büyük olmasına rağmen yarattığı kaldırma kuvveti katsayısı kaybı daha azdır. Viskozitenin artışından dolayı kaldırma kuvvetinde oluşacak azalma, karışımdan dolayı sıvının değişen elastik özelliğince önlenir **[**5**]**.

Kanatçık üzerinden rüzgar tüneli vasıtasıyla elde edilen kaldırma kuvveti sonuçları incelendiğinde, bu sonuçların uçuş testlerinde elde edilen sonuçlarla uyuşmadığı görülür. Buradan 3 boyutlu modelle test yapmanın önemi anlaşılmıştır. Fakat tahmin edileceği gibi 3 boyutlu modelde test yapmak hem daha pahalı hem de daha uğraş verici olduğundan, elde edilen sonuçlar vasıtasıyla, kanatçık üzerinde oluşan sınır tabakası ile 3 boyutlu modeldeki kaldırma kuvveti katsayısı arasında bir bağıntı kurulmaya çalışılmıştır. Buradan bir basamak daha ileriye gidilerek, test uçuşlarında elde edilen kaldırma kuvveti katsayılarıyla düz plaka üzerindeki sınır tabakası arasında bağıntı elde edilmek istenmiştir. Burada kullanılan ilişkilendirmelerden birincisi, kanatçık üzerinde oluşan sınır tabakası ile düz bir plaka üzerinde oluşan sınır tabakası arasındadır. İkinci ise, yukarıda da bahsedilen, rüzgar tünelinde 3 boyutlu model üzerinde elde edilen kaldırma kuvveti katsayılarıyla uçuş testinde elde edilen kaldırma kuvveti katsayıları

arasındadır. Yapılan analizlere ve hesaplamalara göre, üzerine buzlanma giderici sıvı püskürtülmüş uçak, kalkış esnasında yüzeyi tamamen temizken sahip olacağı kaldırma kuvveti katsayısından en fazla %5.24 oranında daha az kaldırma kuvvetine sahip olabilir. Bu sonuca göre düz plaka üzerinde oluşması gereken kritik deplasman kalınlığı -20 ^{0}C'de 9.15 mm.dir. Test sonuçlarına göre kritik deplasman kalınlığı sıcaklık arttıkça azalır **[**5,11**]**.

Buzlanmayı önleyici ve engelleyici çözeltilerin viskozite yüzey gerilimi gibi fiziksel özellikleri bilinse de kompozisyonları gizli kalmıştır. Bu çalışmanın temel amacı buzlanmayı önleyici ve engelleyici çözeltilerin içerisindeki temel kimyasallar arasındaki etkileşimleri araştırmak ve bu etkileşimlerin sıvıların viskozite, yüzey gerilimi, donma noktası ve korozyon etkisi gibi fiziksel özellikleri üzerinde yarattığı değişimleri araştırmaktır. Bu etkileşimlerin aydınlanması ile sıvılar için uygun kompozisyonların bulunması olanaklı olacaktır.

Bu çalışmanın bir diğer amacı, doğrusal kararlılık teorisiyle buzlanma giderici ve önleyici sıvıların dalga karakteristiklerini bularak, bu sıvıların kanat üzerindeki davranışını tahmin etmektir. Bu sayede geliştirilmiş olan sıvıların, Aerodinamik kabul testinden geçip geçemeyecekleri öngörülebilir.

2 GENEL BİLGİLER

2.1 Sıvıların temel fiziksel özellikleri

Sıvının temel fiziksel özellikleri, standartlarda belirtilen ve belli değerler arasında olması gerektiği söylenen özellikleridir. Bu değerler, American Society for Testing and Material (ASTM) standartlarına göre yapılması gereken testlerle belirlenmektedir. Sıvıların temel fiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir;

2.1.1 Yüzey gerilimi

Buzlanma giderici ve önleyici sıvılar eşit oranda ve hızlı bir şekilde uçak yüzeyine yayılabilecekleri şekilde üretilmişlerdir. Yüzey gerilimi arttıkça yayılma oranı ve hızı düşeceğinden bu tür sıvılar yüzey gerilim azaltıcı maddeler içerirler. Yüzey gerilimini belirlemek için ASTM D 971(971) standardına göre ölçüm yapılmaktadır **[**12**]**.

2.1.2 Viskozite

Bir akışkanın (sıvı veya gaz) viskozitesi, akışkan üzerine uygulanan kaydırma kuvvetinin karşılaştığı sürtünme direncinin bir ölçüsüdür. Viskozite sıvının kullanılma amacına göre değişik davranışlar sergiler. Petrol ürünlerinin viskozite ölçümünü yapmak üzere kullanılan ASTM D 445 (445) standardı bu tür sıvılar için de kullanılır **[**12**]**.

2.1.3 Donma noktası

Donma noktasını ölçmek için kullanılan ASTM D 1177(1177) numaralı standarda göre, çözeltiler için donma noktası belli bir basınç altında sıvının içinde kristalleşmenin görünmeye başladığı sıcaklıktır. Buzlanma giderici ve önleyici sıvıların içinde yer alan glikol ve diğer buzlanma önleyici kimyasallar, çözücü durumunda bulunan suyun donma noktasını düşürürler. Sıvının donma noktası ortam sıcaklığının altında ise, sıvı uçak yüzeyinde oluşacak buz parçacıklarını yok edebilir. Eğer donma noktası ortam sıcaklığının üstünde ise buzlanma giderici ya da önleyici sıvının kullanılmasının hiçbir yararı yoktur **[**15**]**.

2.1.4 Asgari kullanım sıcaklığı

En düşük kullanım sıcaklığı standartlara göre;

a) Sıvının aerodinamik kabul testini geçebildiği en düşük sıcaklık, ya da
b) Donma noktasının 7 ^{0}C üstü

olarak tanımlanır.

Talimatlara göre ortam ya da uçağın yüzey sıcaklığı en düşük kullanım sıcaklığının altında ise sıvı kullanılmamalıdır **[**15**]**.

2.1.5 Malzeme uyumu

Sıvının uçak yüzeyine, depolanması ya da aktarımı sırasında kullanılan tanklara ve borulara zarar vermemesi ve aşınma yaratmaması gerekmektedir. ASTM F 483, F485, F502, F945, F1110, F1111 numaraları metotlarla genel olarak yukarıda bahsedilen kısımların boyalı ve boyasız bölgelerinde yaratacağı etki test edilmektedir. **[**2**]**

2.1.6 pH değeri

pH bir çözeltinin asitlik veya alkalilik derecesini tarif eden ölçü birimidir. Bir maddenin pH değeri hidrojen iyonu **[**H^+**]** ile hidroksil iyonunun **[**OH^-**]** derişimlerinin oranına direkt olarak bağlıdır. Eğer H^+ derişimi OH^- derişiminden fazla ise madde asidik; yani pH değeri 7'den düşüktür. Eğer OH^- derişimi H^+ derişiminden fazla ise madde bazik; yani pH değeri 7'den büyüktür. Eğer OH^- ve H^+ iyonlarından eşit miktarlarda mevcut ise, madde 7 pH değerine sahip olmak üzere, madde nötrdür. Buzlanma giderici ya da önleyici sıvıların saf hallerinin pH değeri 8.0 ile 9.0 arasında, su ile karıştırılmış hallerinin de 7.5 ile 8.5 arasında olması gerekmektedir. İlgili testler ASTM D 1193 standardına gore yapılmaktadır **[**12, 15**]**.

2.1.7 Parlama noktası

Parlama noktası, sıvının bulunduğu ortamda bir ateşleyici olması durumunda sıvının çıkardığı buharın alev aldığı sıcaklıktır. ASTM D 93 ve ASTM D 3278 metotlarıyla ölçülen bu değer güvenlik açısından önemlidir. Parlama noktası 100°C'nin altına düşmediği sürece önemsenmez **[**15**]**.

2.2 Sıvının uygulanması sırasında dikkat edilecek hususlar

Yukarıda da bahsedildiği gibi kullanım sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi “bekleme” (holdover) süresi olarak tabir edilen ve üzerine buzlanma giderici ya da buzlanma önleyici sıvı uygulanmış uçak yüzeyinin tekrar buzlanmaya karşı korunma ya da direnç gösterme süresidir. Tablo 2.1’de Tip-2 sıvıları için örnek bekleme zamanları verilmektedir [2**]**.

Tablo 2.1 Tip 2 sıvıları için örnek bekleme zamanları

Outside Air Temperature		Type II Fluid Concentration Fluid/Water (Volume %/Volume %)	Approximate Holdover Times Under Various Weather Conditions (hours: minutes)						
Degrees Celsius	Degrees Fahrenheit		Active Frost	Freezing Fog	Snow/ Snow Grains	Freezing Drizzle*	Light Freezing Rain	Rain on Cold Soaked Wing**	Other‡
-3 and above	27 and above	100/0	8:00	0:35-1:30	0:20-0:45	0:30-0:55	0:15-0:30	0:05-0:40	
		75/25	5:00	0:25-1:00	0:15-0:30	0:20-0:45	0:10-0:25	0:05-0:25	
		50/50	3:00	0:15-0:30	0:05-0:15	0:05-0:15	0:05-0:10	CAUTION: No holdover time guidelines exist	
below -3 to -14	below 27 to 7	100/0	8:00	0:20-1:05	0:15-0:35	***0:15-0:45	***0:10-0:25		
		75/25	5:00	0:20-0:55	0:15-0:25	***0:15-0:30	***0:10-0:20		
below -14 to -25	below 7 to -13	100/0	8:00	0:15-0:20	0:15-0:30				
below -25	below -13	100/0	**SAE Type II** fluid may be used below -25 °C (-13 °F) provided the freezing point of the fluid is at least 7 °C (13 °F) below the OAT and the aerodynamic acceptance criteria are met. Consider use of **SAE Type I** when **SAE Type II** fluid cannot be used.						

Tablo 2.1’de belirtilen hava şartlarında ve hava sıcaklığında, uygulanacak sıvının (saf ya da su ile karıştırılmış oranı belirtilerek) ne kadar sürelik bir koruma sağlayacağı gösterilir. Buradaki hava durumlarını inceleyecek olursak **[**2**]**;

2.2.1 Aktif don (active frost)

Donmanın oluşmaya başladığı durumdur. Aktif don uçak yüzeyi sıcaklığının, 0°C veya altında olduğunda ya da çiğ noktasının (havadaki serbest nemin cisimler üzerinde yoğunlaşmaya başlayacak kadar düştüğü sıcaklık derecesine verilen ad) altında olduğunda görülür.

2.2.2 Dondurucu sis (freezing fog)

Havada süspansiyon halinde bulunan su damlacıklarının bir yüzeye çarpmaları durumunda görülen donma şeklidir.

2.2.3 Kar (snow)

Buz parçacıklarının farklı şekillerde yağması olarak adlandırılır. Çok hafif, hafif ve orta kuvvet olmak üzere üç şekilde tanımlanır.

2.2.4 Dondurucu çisenti (freezing drizzle)

0.5 mm'den küçük damlacıkların düzensiz bir şekilde yüzeye yağıp, oluşturduğu donma şeklidir.

2.2.5 Dondurucu hafif yağmur (Light freezing drizzle)

0.5 mm.'den büyük damlacıkların düzenli bir şekilde yüzeye yağıp, oluşturduğu donma şeklidir.

2.2.6 Nem ya da yağmurdan dolayı soğuk ıslanma (Cold soaking due to humidity or rain)

Yüksek nem ya da yağmurdan ötürü yeni iniş yapmış ya da aşırı soğuk yakıt takviyesi yapılmış olan uçağın yüzey sıcaklığından dolayı üzerinde oluşacak buzlanma durumudur.

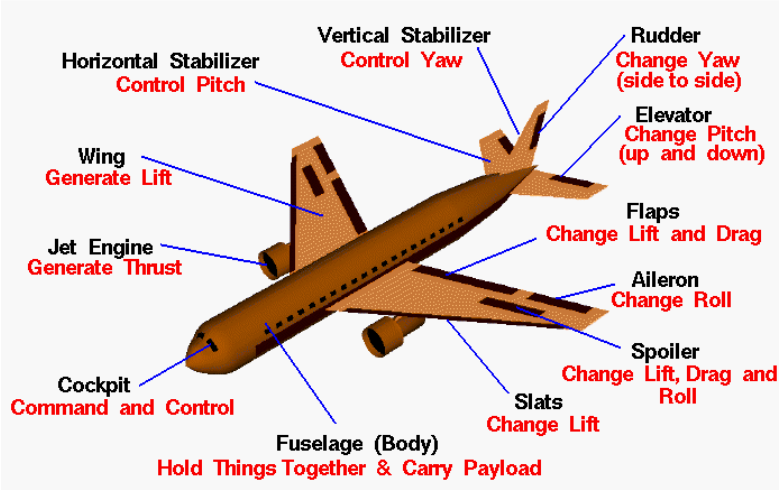
Yukarıda anlatılanlar doğrultusunda asgari bekleme süreleri, Tip-1 sıvıları için AMS (Aerospace Material Specs)-1424 ile diğer tip sıvılar için AMS (Aerospace Material Specs)-1428 numaralı standartlarda belirtilmektedir **[**17**]**.

Buzlanmayı gidermek ve önlemek için sıvı kullanımı tek basamaklı ve iki basamaklı olmak üzere ikiye ayrılır. Tek basamaklı uygulama yağış olmadığında yapılır. Kuzey Amerika'da buzlanma giderici Tip-1 sıvıları kullanılırken, Avrupa'da buzlanma önleyici sıvılar belli oranda su ile karıştırılarak Tip-1 sıvısı yerine kullanılır. İki basamaklı uygulama da ise birinci basamak olarak Tip-1 sıvısı, ikinci basamak olarak Newtonumsu özelikte olmayan sıvılar kullanılır. Burada önemli olan noktalardan birisi Tip-1 sıvısı uygulandıktan sonra 3 dakika içinde diğer sıvının uygulanması gerektiğidir. Eğer uygulanamazsa, daha önceden uygulanan Tip-1 sıvısının donmuş olabileceği ihtimali göz önüne alınıp, Tip-1 sıvısı tekrar uygulanır **[**18**]**. Buzlanmanın

uygulanması gereken yüzeyler incelendiğinde, bu yüzeylerin kaldırma kuvveti ve kontrol kuvvetini sağlayan yüzeyler olduğu görülmektedir. Sıvının uygulandığı yüzeyler:

- Kanatların üst kısımları ve hücum kenarları (Wing upper surface and leading edge)
- Yatay stabilizatör (Horizontal Stabilizer)
- İrtifa dümeni (Elevator)
- Dikey stabilizatör (Vertical stabilizer)
- İstikamet dümeni (Rudder)

olarak belirtilir **[**2**]**. Belirtilen yüzeyler, aşağıdaki şekilde görülebilir.



Şekil 2.1 Buzlanma önleyici sıvıların uygulandığı yüzeyler

Sıvının kesinlikle uygulanmaması gerek bölgeler ise, motorun giriş ve çıkışları, fren bölgeleri, hız ve basınç ölçümünü yapan bölgeler ve üretici firma tarafından belirtilen diğer bölgelerdir **[**18**]**.

2.3 Sıvıların temel performans testleri

Buzlanma giderici ve buzlanmayı önleyici sıvılar, Amerika'da SAE (Society of Automotive Engineers) tarafından belirlenen standartlara göre geliştirilmekte ve üretilmektedir. AEA (Association of European Airlines) ve ISO (International Standards Organization) tarafından da benzer standartlar belirlenmektedir. SAE AMS (Aerospace Material Specifications) 1424 ve 1428, buzlanma giderici ve buzlanmayı önleyici sıvıların performans ihtiyaçlarını içermektedir.

SAE AMS 1424, Tip-1 sıvıları, SAE AMS 1428 ise diğer tip sıvılar için kullanılmaktadır. Bu standartlarda bahsedilen testler aşağıdaki gibidir.

2.3.1 Su püskürtmeli dayanıklılık testi (water spray endurance test)

Bu test hava sıcaklığının 0^oC'nin altında olduğunda uçağın dondurucu sis adı verilen hava olayına maruz kalmasının benzetimini yapmak için kullanılır. -5^oC'de belirli ebatlardaki üzerine sıvı dökülmüş bir plaka, gene aynı sıcaklıktaki test odasının içine yatayla 10 derece açı yapacak şekilde yerleştirilir. Soğutulmuş su damlacıkları 5.0 ± 0.2 g/dm²/h şiddetiyle plakanın üzerine damlatılır. Oluşmaya başlayan buzun belli bir alanı tamamen kaplaması için geçen zaman dilimi, sıvının performansını belirler. Aşağıdaki tabloda, çeşitli sıvıların su püskürtmeli dayanıklılık (SPD) testine göre elde edilen dayanıklılık süreleri verilmiştir [17].

Tablo 2.2 Çeşitli sıvıların SPD testine dayanıklılık süreleri

Standart	Sıvı	Sıvı/Su Oranı	Direnç Süresi
AMS 1424*	Tip-1	Bütün Oranlar	3 Dak.
AMS 1428*	Tip-2	100/0	30 Dak.
	Tip-2	75/25	20 Dak.
	Tip-2	50/50	5 Dak.
AMS 1428	Tip-3	Bütün Oranlar	20 Dak.
AMS 1428	Tip-4	100/0	80 Dak.
	Tip-4	75/25	20 Dak.
	Tip-4	50/50	5 Dak.

2.3.2 Yüksek nem dayanıklılık testi (high humidity endurance test)

Bu test, buzlanma önleyici ya da giderici sıvının 0^oC sıcaklıkta gece boyunca yüksek neme maruz kalmasının benzetimini yapmak için tasarlanmıştır. -5^oC'deki belirli ebatlardaki levha üzerine sıvı döküldükten sonra %96 nem oranına sahip 0^oC sıcaklılıktaki test odasının içine yatayla 10 derece açı yapacak şekilde yerleştirilir. Kurulan bir mekanizma ile plaka üzerinden 1 m/s hızla geçecek şekilde hava üflenir. Oluşmaya başlayan buzun belli bir alanı tamamen kaplaması için

geçen zaman dilimi, sıvının performansını belirler. Aşağıdaki tabloda çeşitli sıvıların yüksek neme dayanıklılık (YND) testinde gösterdikleri dayanıklılık verilmiştir **[**17**]**.

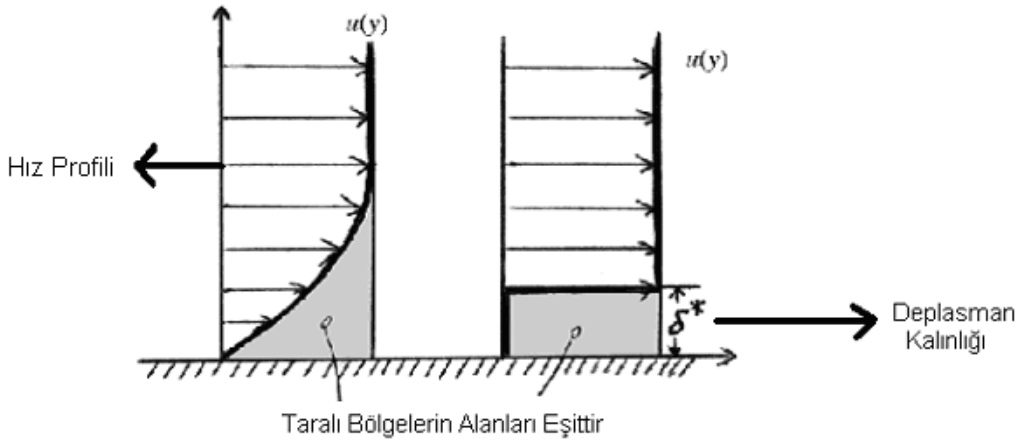
Tablo 2.3 Çeşitli sıvıların YND testine dayanıklılık süreleri

Amerikan Otomotiv Şartnamesi	Sıvı	Sıvı/Su Oranı	Dayanıklılık
AMS 1424*	Tip-1	Bütün Oranlar	20 Dak.
AMS 1428*	Tip-2	100/0	4 Saat
	Tip-2	75/25	2 Saat
	Tip-2	50/50	½ Saat
AMS 1428	Tip-3	Bütün Oranlar	2 Saat
AMS 1428	Tip-4	100/0	8 Saat
	Tip-4	75/25	2 Saat
	Tip-4	50/50	½ Saat

Yukarda kısa anlatılan testler genel performans testleridir. Ayrıca özel olarak bekleme zaman tablosunda belirtilen hava durumlarında da benzer metotlarla testler yapılabilir **[**17**]**.

2.3.3 Aerodinamik kabul testi

Buzlanma giderici ve önleyici sıvıların aerodinamik performans etkileri de belirli testlere göre onaylanmalıdır. Uçak yüzeyine püskürtülen sıvı kalkış esnasında tamamen yüzeyden ayrılmalı ya da üzerinde çok ince bir tabaka bırakmalıdır. Fakat 1980'li yıllara kadar bu sıvıların aerodinamik performansa etkileri, her durumda kanat üzerindeki buz ve kar artıkların yapacağı negatif etkiden az olacağı düşünüldüğünden dolayı, önemsenmemiştir. Yukarıda da belirtilen tarihsel gelişim içinde, uçakta buzlanmadan dolayı oluşacak kaldırma kuvveti kaybı düz plaka üzerinde oluşacak deplasman kalınlığı ile ilişkilendirilmiştir. Aşağıdaki şekilde kalkış sırasında oluşacak hız profili ile deplasman kalınlığı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kalkış sırasındaki hız profili ile deplasman kalınlığı

Aerodinamik kabul için yapılan testler farklı uçakların farklı kalkış hızlarından dolayı düşük hızlı rampa aerodinamik kabul testi ve yüksek hızlı rampa aerodinamik kabul testidir. -40°C'ye kadar sıcaklığı düşürülebilen rüzgar tünellerinde gerçekleştirilen bu testlerin birincisinde 2.1 m/s^2 ivme ile 35 m/s hıza ulaşılır. Bu sayede turboprop motorlu uçaklar gibi düşük kalkış hızına sahip uçakların kalkışı incelenir **[**17**]**. Güvenlik payına göre kabul edilebilir deplasman kalınlığı aşağıda belirtilmiştir **[**19**]**:

$$\delta_0^* = \delta_{20}^* = 1.12 \cdot \delta_{ms}^* - 0.19 \cdot \left(\delta_{ms}^* - \delta_{dry}^*\right)_{-20}. \qquad (2.1)$$

Sıcaklık -20°C'nin altında ise -20°C'deki deplasman kalınlığı kriter olarak kabul edilir. Burada "ms" alt imi ile belirtilen referans askeri sıvının deplasman kalınlığı "dry" alt imi ile belirtilen normal şartlarda plaka üzerinde oluşan havanın deplasman kalınlığıdır.

İkinci testte ise 2.6 m/s^2 ivme ile 65 m/s hıza ulaşılır. Bu sayede jet motorlu uçaklar gibi yüksek kalkış hızına sahip uçakların kalkışı incelenir. Güvenlik payına göre kabul edilebilir deplasman kalınlığı aşağıda belirtilmiştir **[**11**]**:

$$\delta_0^* = \delta_{ms}^* - 0.18 \cdot \left(\delta_{ms}^* - \delta_{dry}^*\right). \qquad (2.2)$$

$$\delta_0^* = \delta_{ms}^* + 0.71 \cdot \left(\delta_{ms}^* - \delta_{dry}^*\right). \qquad (2.3)$$

Sıcaklık -20 ^{0}C'nin altında ise -20 ^{0}C'deki deplasman kalınlığı kriter olarak kabul edilir. -20 ^{0}C ile +20 ^{0}C'leri arasında doğrusal ara değer hesaplanır. Burada "ms" alt imi ile belirtilen referans askeri sıvının deplasman kalınlığı "dry" alt imi ile belirtilen normal şartlarda plaka üzerinde oluşan havanın deplasman kalınlığıdır.

2.4 Kullanım testleri

Bu testler sıvının kullanımı ya da depolanması süresince karşılaşacağı durumlarda, özelliklerindeki değişikleri belirlemek için yapılan testlerdir. Bu testlerin tanımları için AMIL'ın internet sitesinden yararlanılmıştır **[**19**]**.

2.4.1 Kayma gerilimi testi

Buzlanma giderici ve önleyici sıvılar yüksek kayma gerilmesi altında önceden belirlenen viskozite değerlerine sahip olmalıdır. Kayma gerilmesi sadece kalkış esnasında değil, bekletildikleri depodan püskürtme işlemi için kullanılan araçlara nakledilirken de oluşur. Sıvının uçak üzerinde kullanılması için bu geçişlerdeki viskozite değişimleri de düzenli olarak ölçülmelidir.

2.4.2 Soğuk havaya maruz kalarak kuruma testi

Bu testte üzerine buzlanma giderici ya da önleyici sıvı uygulanmış olan uçağın gece boyunca havalimanında bekletildiğinde üzerindeki sıvının kuruyup jel formunu alarak kontrol yüzeylerinin hareketlerini etkileyip etkilemediği incelenir.

2.4.3 Kuru havaya maruz kalma testi

Bu testte de buzlanma giderici ya da önleyici sıvı uygulanmış olan uçağın gece boyunca havalimanında bekletildiğinde, belli bir zaman sonra uçağın yüzeyinde ne kadar sıvı kalacağı ve viskozitesindeki değişim kontrol edilir.

2.4.4 Isıdan dolayı tabaka oluşum testi

Bu test hücum kenarının ısıtılması durumunda üzerinde bulunan sıvının kuruyup kurumayacağını inceler.

2.4.5 Kuruma testi

Bu test buzlanma giderici ya da önleyici sıvının kuruma oranını inceler.

2.4.6 Termal kararlılık (yaşlandırma) testi

Bu test, kullanılmadan önce uzun süre depoda bekletilen sıvıların bu dönem sonunda belli başlı özelliklerindeki değişimini inceler. Bu deneyin hızını artırmak (yaşlanmayı hızlandırmak) için deneyin yapılacağı ortam ısıtılarak belli bir derece sıcaklığa ulaştırılır. Deneyde, sıvılar 30 gün bu ortamda bekletilir. Bu teste ait detaylar aşağıda Tablo 2.4'de verilmektedir.

Tablo 2.4 Termal kararlılık testi değer tablosu

	AMS 1424	AMS 1428
Ortam Sıcaklığı	80	70
Deneyin Başarı şartları		
pH değeri	1 birimden küçük	1 birimden küçük
Viskozite	İlk değerinden %20 küçük ya da %10 büyük bir değer olmamalı	

2.4.7 Sert su dayanıklılık testi

Bu test, sert suyla karıştırılan sıvıların kullanılmadan önce uzun süre depoda bekletildikten sonra belli başlı özelliklerindeki değişimi inceler. İçine sertleşmesi için kalsiyum ve magnezyum tuzları atılan saf su hacimce eşit oranda sıvı ile karıştırılır. Bu deneyin hızını artırmak (yaşlanmayı hızlandırmak) için deneyin yapılacağı ortam ısıtılarak belli bir derece sıcaklığa ulaştırılır. Deneyde, sıvılar 30 gün bu ortamda bekletilir. Bu teste ait detaylar aşağıda Tablo 2.5'te mevcuttur.

Tablo 2.5 Sert su dayanıklılık testi değer tablosu

	AMS 1424	AMS 1428
Ortam Sıcaklığı	95	95
Deneyin Başarı şartları		
Ph değeri	0.5 birimden küçük	1 birimden küçük

2.5 Çevreyle uyumluluk testleri

Bilindiği üzere bu sıvıların içinde bulunan kimyasalların çevreye yaptığı etki önemlidir. Sıvıların temel kimyasal maddesi olan glikol yer altı suyuna karıştığında ayrışabilmektedir **[**2**]**. Fakat ayrışım sırasında yaklaşık 1 gram glikolun suda bulunan oksijenin yaklaşık 1.3 -1.8 gramını tükettiği düşünülürse, bu tip sıvıların yüksek miktarda kullanımının, su altı kaynaklarına, havalimanına yakın su kaynağında ya da su birikintisinde yaşayan balıklara ve vahşi yaşama büyük olumsuz etkileri vardır **[**18**]**. Sıvının çevreye olan zararlarını önlemek için Denver, Münih ve Oslo havalimanları gibi, kış şartlarının çetin geçtiği çok sayıda havalimanında glikol arıtma tesisleri kurulmuştur **[**2**]**. Sıvıların çevreye etkisi konusunda yönetimler de önlem almış durumdadırlar. Kanada'daki uygulamaya göre, havalimanından ekosisteme karışan suyun litresinde en fazla 3 mg. etilen glikol, 31 mg. dietilen glikol ve 74 mg. propilen bulunabilir **[**18**]**.

Literatür araştırmasında da belirtildiği gibi üretilecek olan sıvıların çevreye uyumluluğu konusunda da bazı standartları sağlaması gerekmektedir. Sıvının ayrışabilmesini belirleyen kriter (BOD/ThOD)*100 oranı ile bulunur. Burada BOD biyokimyasal oksijen ihtiyacı (Biochemical

Oxygen Demand), ThOD ise teorik oksijen ihtiyacı (Theoretical Oxygen Demand) olarak tanımlanır. Buradan elde edilen sonuç sıvının kaç gün içinde ne kadar ayrışabildiğini belirler **[**12**]**. Ortam sıcaklığı düşük ise ayrışma oranı önemli miktarda düşer. İkinci kısım testler ise sıvının su hayatına yapacağı etkilerle alakalıdır. Bu testlerde belli zaman dilimi içinde ortamda bulunan balık türünün %50'sinin ölmesi için ne kadar sıvının gerektiği hesaplanmıştır **[**15**]**.

2.6 Yaygın olarak kullanılan sıvıların özellikleri

Piyasada yaygın olarak kullanılan belli başlı sıvıların temel özellikleri bulunmuş **[**12, 13, 14, 15**],** incelenmiş ve aşağıdaki Tablo 2.6'da verilmiştir. Bu sıvılar gereken bütün standartları sağlamıştır. Bulunan çalışmamızda bize yol göstermesi açısından önemlidirler.

Tablo 2.6 Kullanılmakta olan sıvıların özellikleri

	UCAR ULTRA+ TİP-4	KILLFROST ABC-S TİP-4	UCAR CONCANTRATE 55/45 TİP-1	UCAR FLIGHT GUARD AD480 TİP-4	ARCTICA DG TİP-1
Su Püskürtmeli Dayanıklılık Testi (dakika)	90-120	60-100	----------	90-100	5,5
Yüksek Nem Dayanıklılık Testi (saat)	10	----------	----------	12	0,5
Donma Noktası (°C)	-59	-37	-36	-36	-30
En Düşük Kullanım Sıcaklığı (°C)	-24	-28	-25	-29	-20
Raf Ömrü (yıl)	1	2	----------	1	----------
Renk	Yeşil	Yeşil	Yeşil	Yeşil	----------
Madde Uyumluluğu	1,2,3 sağlanır	1sağlanır	1,2,3 sağlanır	1sağlanır	1 sağlanır
Viskozite mPa*s	48940 0°C.3rpm	12000 -25 °C 0.3 rpm	----------	16000 0 °C 0.3r	----------
Viskozite mPa*s	48690 0°C 3500 rpm	27500 20°C 0.3 rpm	----------	670 0°C 30 rpm	----------
Viskozite mPa*s		----------	----------	----------	----------
Viskozite mPa*s		----------	----------	----------	----------
Yüzey Gerilimi (mN/m)	35,7	33	38	33,4	37,9
pH	8,5-9,5	6,5-7,5	7,5-8,5	6,7-7,7	9,8
Alev alma sıcaklığı	yok	>100°C	yok	>100°C	>100°C
Yoğunluk	1,0875	1,038	1,045	1,03	1,1
(BOD/ThOD)*100	20 günde%99	5 günde %90	28 günde %77	----------	----------
Alabalık için toksik etkisi 96-saat, mg/L	380	1414	20900	200	----------
Golyan Balığı için toksik etkisi 96-saat, mg/L	370	----------	7143	375	----------
Defne Balığı için toksik etkisi 48-hours, mg/L	630	1131	19200	250	9750

SAE AMS 1424D (1)

Boeing D6-17487 (2)

Douglas CSD #1 Tip II (3)

2.7 Patentler

Sıvılar hakkında bir diğer önemli bölüm ise, şu ana kadar üretilmiş sıvıların içerdiği kimyasalları bulmak ve sıvı içinde temel görevlerini belirlemekle ilgilidir. Bunun için patentler incelenmiş ve şu ana kadar üretilen sıvılar içerisinde yer alan kimyasallar bulunmuştur.

17 Mayıs 1988 tarihli "De-icing and Anti-icing agent for aircraft" **[**20**]** adlı patentte buzlanma giderici ve önleyici sıvılar düşük sıcaklık ve kayma oranı altında çok yüksek viskoziteye sahip olması gibi istenmeyen özellikler yok edilerek üretilmiştir. Patentte belirtilen oranlara göre sıvının içerisinde;

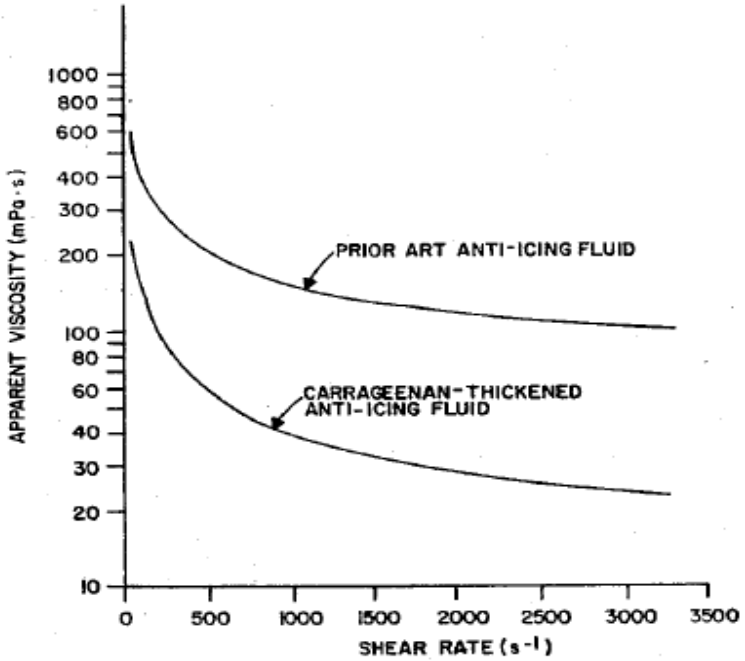
a) Donma noktasını düşürmek için, ağırlıkça %50 ile % 60 oranları arasında 2 ya da 3 karbonlu alkalin glikol veya 4 ya da 6 karbonlu oksi-alkalin grubuna ait glikol,
b) Yüzey gerilimini azaltmak için ağırlıkça %0.2 ile %0.7 oranları arasında, çapraz bağlı akrilik polimerler,
c) Yüzey gerilimini azaltmak için ağırlıkça %0.1 ile %0.7 oranları arasında, alkali metal alkali sulfanatlar,
d) Korozyonu önlemek için ağırlıkça %0.03 ile %0.5 oranları arasında, triazole ya da benzotriazol,
e) Aşağıda 1'den 3'e kadar belirtilen maddeler pH düzenlemek için kullanılmıştır,
   1) Ağırlıkça %0.05 ile %0.5, amonyak, monoetanolmin, dietanolmin yada trietanolami ya da karışımları,
   2) Ağırlıkça %0.07 ile %0.4, KOH,
   3) Ağırlıkça %0.03 ile %0.15, ilave alkali metal hidroksit, tercihen sodyum hidroksit

Kalan miktar olarak su ile tamamlanmaktadır.

Malzemelerin tanımlanmasından sonra sıvının hazırlanması, kullanılan malzemelerin ağırlık oranları ve eklenme sırası belirtilerek anlatılmıştır. Farklı ağırlık oranlarında 6 çeşit sıvı hazırlanmış ve bunların pH, viskozite ve "bekleme zamanı" değerleri ölçülmüştür.

17 Ekim 1988 tarihli "Aircraft anti-icing fluid containing carrageenan" **[**21**]** adlı bir diğer patentte buzlanmayı önleyici sıvılarda genel olarak kullanılan ilave kalınlaştırıcı maddelerin yerine

“carrageenan“ denen beyaz kuru bir toz kullanılabileceği vurgulanmaktadır. Bu madde sayesinde sıvının performansının artacağı iddia edilmiştir. Bu konuda hali hazırda kullanılmakta olan sıvılarla “carrageenan“ içeren sıvılar arasındaki karşılaştırma aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Carregeenan içeren sıvılar ile eski tip kullanılan sıvılar arasında karşılaştırma grafikleri

Bu grafiklerin ilkinde düşük şiddette kayma geriliminde viskozitenin değişimi ikinci grafikte ise orta şiddette kayma geriliminde viskozitenin değişimi gösterilmektedir. Patentte kullanılabilecek en uygun carrageenan olarak “iota“ ve “kappa“ örnek verilmektedir. Sıvının örnek kompozisyonu ise ağırlıkça %49.875 etilen glikol, %49.875 su ve %0.25 iota carrageenan olarak verilmiştir.

25 Temmuz 1995 tarihli ve “De-icer and Anti-icer Composition for Aircraft“ **[**22**]** adlı patentte kullanılan sıvının özellikle çevreyle ve uçak üzerindeki parçalarla uyumlu olduğu belirtilir. Sıvıların kimyasal içeriği aşağıdaki gibidir:

a) Donma noktasını düşürmek için, ağırlıkça %50 ile % 60 oranları arasında alkali metal asetat, tercihen potasyum asetat ve sodyum asetat,

b) Yüzey gerilimini azaltmak için ağırlıkça %0.05 ile % 0.15 oranları arasında, (1 ppm = 0,0001 %) alkali fosfat esteri, örnek olarak octylphenoxy ya da nonylphenoxy polyethoxy phosphate ethyl ester,
c) Ağırlıkça %0.00005 ile %0.075 oranları arasında, çevre ile uyumlu boya,
d) Aşındırmayı önlemek için, ağırlıkça %0.08 ile %0.1 oranları arasında fosforik asit
e) Aşındırmayı önlemek için, ağırlıkça %0.015 ile %0.025 oranları arasında sodyum silikattır.

Bu açıklamalardan sonra, çalışmada belirtilen malzemeler kapsamında farklı ağırlık oranlarında 3 adet örnek sıvı hazırlanmıştır. Sıvıların buzlanma giderme, önleme ve aerodinamik performansları ölçülmüş ve gereken standartları karşıladığı belirtilmiştir.

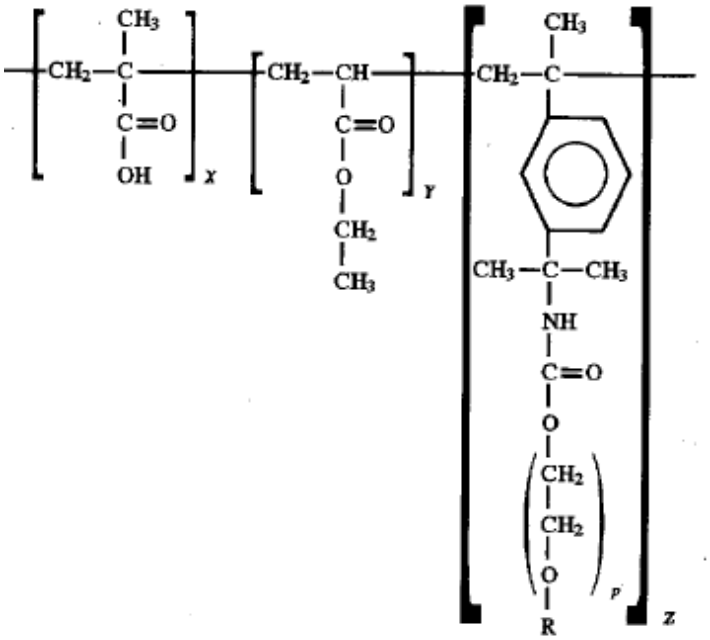
24 Ekim 1995 tarihli "Aircraft anti-icing fluid" **[**23**]** adlı bir diğer patentte buzlanmayı önleyici sıvılara kalınlaştırıcı olarak makromoleküler yapıda polimerler eklenmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu polimerler sayesinde uçağın kalkıncaya kadar korunacağını, uçak kalkarken de sıvıların kanattan sıyrılarak kalkışa bir mani oluşturmayacağı vurgulanmaktadır.

Patentte bahsi geçen makromoleküler polimerler;
a) Beta-monoetilen doymamış karboksilik asitler, örnek olarak metakrilik asit
b) Monoetilen doymamış monomerler, örnek olarak etil-akrilat
c) Monoetilen doymamış makro monomerler,
d) Polietilenik doymamış monomerler, örnek olarak trimetilol propan triakrilat
olarak verilmektedir.

Ayrıca patentte polimerizasyon reaksiyonlarının nasıl gerçekleştirileceğine dair bilgiler sunulmuştur. Polimerin %5 oranına kadar katıldığı belirtilmiştir. Polimerin sentezlenmesi ile ilgili detaylı oranlar ve prosedürler mevcut olmasına rağmen bir buzlanmayı önleyici sıvının içerdiği tüm maddelere ilişkin bir kompozisyon önerisi bulunmamaktadır.

28 Ekim 1997 tarihli "Aircraft anti-icing fluids thickened by associative polymers" **[**24**]** adlı patent bir önceki patentin yazarları tarafından yazılmıştır, dolayısıyla bu iki patent arasında birçok benzerlik bulunmaktadır ve bu patentler birbirlerinin devamı niteliğindedirler. Patentte

vurgulanan nokta bazı belirli makro monomerlerin hidrofobik özellikleriyle sıvıyı kalınlaştırdıkları ve bu kalınlaştırıcılarla hazırlanan sıvıların istenen reolojik özelliklere daha yakın sonuçlar verdiği şeklindedir. Polimerik kalınlaştırıcının kimyasal formülü Şekil 2.4'teki gibidir:



Şekil 2.4 Polimerik kalınlaştırıcının kimyasal formülü

Bu malzemede, % 10-40 asit monomeri (X), % 10-50 kopolimerize edilebilir monomer (Y) ve % 5-30 birleştirici monomer (Z), (p, 20-80 mol etoksilasyonu ya da propoksilasyonu ifade ediyor), hidrofobik olan R olarak nonfenol yada dinonfenol gibi alkali maddeler kullanılmıştır. Patentte verilen örnek kompozisyon ise etilen, propilen glikol ve suyun yanı sıra %5 polimerik kalınlaştırıcı ve %0.01-1.0 arasında, geri kalan aşınmayı önleyiciler, yüzey aktif maddeler, antioksidanlar gibi ilave maddeleri içermektedir. Ayrıca patentte, polimerik kalınlaştırıcıların çeşitli reaksiyonlarıyla ilgili birçok örnek de bulunmaktadır.

2 Ocak 1998 tarihli "Aircraft de-icing and anti-icing compositions" adlı [25] bir diğer patentte temel olarak birkaç kompozisyon önerisi yapılmıştır. Bu önerilerle üretilen sıvıların

karakterizasyon sonuçları verilmiştir. Patentte bulunan kompozisyon önerisi ağırlıkça aşağıdaki şekildedir:

- 80-92 % 2-3 karbonlu alkalin glikol ya da 4-6 karbonlu oxyalkalin glikol,
- 0.05-1.0 % en az bir iyonik olmayan yüzey aktif maddesi,
- 0.1-0.8 % polimerik karboksilik asit (molekül ağırlığı 1000-10000),
- 0-1.5 % amonyak,
- 0-1.5 % ilave yüzey aktif maddesi,
- 0,01-0.8 % aşınmayı önleyici madde.

13 Ocak 1998 tarihli "Aircraft deicing/anti-icing fluids thickened by associative polymers" **[**26**]** adlı patent diğer patentlerden farklı olarak buzlanmayı önleyici sıvıyı konsantre olarak üretip daha sonra amaca göre istenen miktarlarda su ile seyrelterek kullanmayı önermiştir. Patentte yapılan kompozisyon önerisi ağırlıkça şöyledir:

- % 40 glikol,gliserin yada karışımları,
- Minimum % 0.05 kalınlaştırıcı,
- pH değerini 7 civarında tutmak için eser miktarda hidroksit,
- Kalınlaştırıcı özelliği artırmak için bir yüzey aktif madde,
- Aşınmayı önleyici madde,
- Boya,
- Kalan miktar su.

6 Ekim 1998 tarihli, "De-icing and anti-icing composition for aircraft" **[**27**]** adlı incelenen son patentte genel olarak buzlanmayı önleyici sıvılarda kullanılan kalınlaştırıcı maddeler yerine HLB (Hydrophilic lipophilic balance) ayarlayıcı yüzey aktif maddelerin kullanılabileceği anlatılmıştır. Bu sayede suyun difüzonunu kontrol edebilen (dolayısıyla tekrar donmayı kontrol edebilen) daha gelişmiş bir sıvı üretilebileceği iddia edilmiştir. Patentte sıvı karışımlarının hazırlanmasında uygulanan sıra anlatılmıştır. Ayrıca detaylı bir şekilde verilmiş bir kompozisyon tablosu mevcuttur. Genel olarak patentte önerilen ağırlıkça sıvı kompozisyonu şöyledir;

- % 45-65 glikol,
- % 35-65 su,

- % 1ppm 0.5 HLB değeri 4 ile 18 arasında olan uygun yüzey aktif madde,
- % 1ppm-0.5 emülsiyonlaştırıcı,
- 1ppm-1.0 pH kontrolörü,
- % 1ppm-1.0 korozyon önleyici maddeler,
- % 1ppm-0.5 köpük önleyici madde,
- % 1ppm-1.0 tutuşmayı önleyici madde,
- % 1ppm-1.0 su sertliği kontrolörü,
- % 10 ppb-1.0 boya.

5,935,488 nolu ve “Deicing and anti-icing concentrated composition for aircraft” adlı patentte benzer konu ele alınmış ve aynı sıvının daha konsantresi üretilmiştir.

3 GEREÇLER VE YÖNTEMLER

Bu çalışmanın deneysel kısmı buzlanmayı engelleyici ve önleyici sıvıların hazırlanması, polimer sentezi deneyleri ve karakterizasyon bölümü olarak üç ana başlıkta incelenebilir.

3.1 Buzlanmayı engelleyici ve önleyici sıvıların hazırlanması

Buzlanmayı engelleyici ve önleyici sıvıların hazırlanmasında kullanılan çeşitli kimyasallar Tablo 1'de gösterilmiştir. Hazırlanan çözeltilerin tümünde su ve glikol ana bileşen olarak bulunurken, koyulaştırıcılar (kalınlaştırıcılar), yüzey aktif maddeler ve korozyon önleyici maddeler ilave olarak katılarak istenen fiziksel özellikler elde edilmeye çalışılmıştır. Karışımlar 2 saat boyunca magnetik karıştırıcı ile karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Çözeltilere katılan fonksiyonel kimyasalların ilavesinde belli bir sıra takip edilmemiştir.

Tablo 3.1 Buzlanma giderici sıvılarda kullanılan kimyasallar

Kimyasal	Moleküler Formül	Saflık	Kaynak
Su	H_2O	Deionize edilmiş	Iyon değiştirici reçine
Etilen glikol	$C_2H_4(OH)_2$	99+ %	Aldrich
Poliakrilik asit	$(CH_2CH\ COOH)n$	MA: 450000	Aldrich
Poli(akrilik asit-ko-maleik asit)	$(CH_2CHCOOH)x(CHCOOHCHCOOH)y$	50 % sulu çözeltisi	Aldrich
Poli(akrilik asit-ko-akrilamit) potasyum tuzu çapraz bağlı	$(CH_2CH\ COOK)x(CH_2CHCONH_2)y$		Aldrich
Poli(akrilik asit) kısmi sodyum tuzu ile graft	$(CH_2CH\ COONa)x\ [CH_2CHCOO(CH_2CH_2O)nH]y$		Aldrich

polietilen oksit çapraz bağlı			
Benzotriazol	$C_6H_6N_3H$	99 %	Aldrich
Karboksimetilseluloz sodyum tuzu	$C_8H_{16}O_8Na$		Sigma
Oleik asit	$CH_3(CH_2)_7CHCH(CH_2)_7COOH$	~99 % (GC)	Sigma
Sodyum dodesil sülfat (SDS)	$CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$	99 %	Sigma-Aldrich
Sodyum hidroksit	NaOH	98 %	Sigma-Aldrich
2-etil hekzil sulfosukkinat(AOT)	$C_{20}H_{37}O_7NaS$	70 % Sulu çözeltisi	GEMSPEC RW
2-Etoksifenol	$C_2H_5OC_6H_4OH$	98 %	Aldrich
Hekzadesiltirimetilamonyum bromit	$CH_3(CH_2)_{15}N(Br)(CH_3)_3$	80 %	Aldrich
Trietilamin	$(C_2H_5)_3N$	99 %	Sigma-Aldrich
Potasyum hidrojen fosfat trihidrit	$K_2HPO_4.3H_2O$	99+ %	Aldrich
Tiributilamin	$[CH_3(CH_2)_3]_3N$	>99.5 %	Fluka
Hafifçe çapraz bağlı ve hidrofobik olarak geliştirilmiş poliakrilik asit (HMPA)	$(CH_2CH\ COOH)x(CH_3)y$	99 %	Carbopol Ultrez 10
Poliakrilik asit kısmi sodyum tuzu ile, hafifçe çapraz bağlı	$(CH_2CH\ COONa)n$		Aldrich

Poliokzaetilen (40) isooktilifenili eter (Triton X-405)	$(C_9H_{10}O)_nOH$	70 % sulu çözeltisi	Sigma-Aldrich

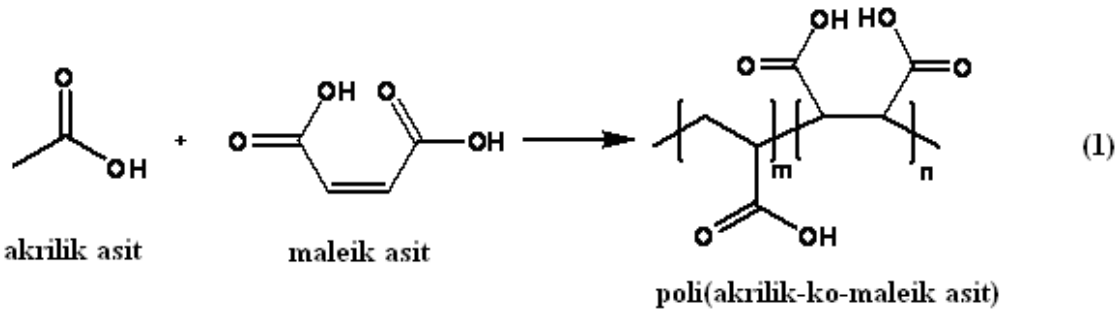
3.2 Polimer sentez deneyleri

Buzlanmayı önleyici çözeltiler için en iyi reolojik davranışı elde etmek amacıyla çeşitli polimerler hazır olarak alınıp denenmiş, bazıları da laboratuarda sentezlenmiştir. Sentezlenen polimerler poli(akrilik asit-ko-maleik asit), poli(DADMAC-ko-akrilamit), poli(DADMAC-ko-vinilpirolidon), poliakrilamit ve poli(akrilik asit-ko-maleimit) olarak sıralanabilir. Aşağıda sıralandığı gibi her bir polimerin sentezinde değişik prosedürler izlenmiştir.

3.2.1 Poli(akrilik asit-ko-maleik asit) sentezi

Isı yoluyla parçalanan başlatıcı için, üç başlı reaksiyon kabına bir damlatma hunisi takılır. Damlatma hunisi içerisine 18 gr maleik anhidrit, 8,176 gr akrilik asit ve 0.164 gr açık ismi (AIBN)konur ve karışım 90 ml 1,4 dioxan (çözücü) içerisinde çözülür. Üç başlı reaksiyon kabına 30 ml çözücü konur. Daha sonra 80 ^oC ye ayarlanan ısıtıcı yardımıyla sıcaklık artmaya başlar. Reaksiyon kabına damlatılan bir kaç damla monomer sonrası ekzotermik reaksiyon gerçekleşeceğinden ısının artması beklenir ve kaynama başladığına karar verilip monomer karışımı damla damla kaba verilmeye başlanır. Geri akış altında yeterli süre beklenildiğinde reaksiyon gerçekleşir ve oluşan polimer suda çözülerek ve toluende çöktürülerek alınır.

Redüksiyon reaksiyonuyla parçalanan başlatıcı için, 0.5 mol akrilik asit (36 gr) ve 0.1 mol maleik anhidrit (9.8 gr) karıştırılır ve 30 ml su eklenir ardından karışım bir erlende buz banyosuna konulur. Ardından 0.7 mol sodyum hidroksit (28 gr) 40 ml suda çözülüp damlatma hunisi ile monomer karışımın içine yavaş yavaş dökülür. Reaksiyon son derece egzotermik olduğundan dolayı bu iş buz banyosunun içinde yapılır. Bundan sonra monomer karışımının içine 50 ml kadar su konulur, ardından 0.01 mol (2.28 gr) amonyum persulfat katılır ve 2.2 gr triethanolamin katılır. Reaksiyon 5 dakika içerisinde gerçekleşir. Polimer suda çözünüp alınır. Reaksiyon şeması Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

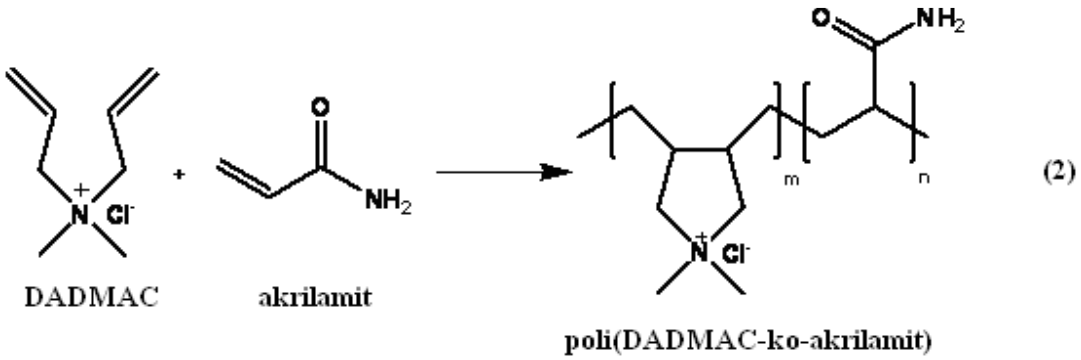


Şekil 3.1 Poli(akrilik asit-ko-maleik asit) sentezi

3.2.2 Poli(DADMAC-ko-akrilamit) sentezi

Isı yoluyla parçalanan başlatıcı için, üç başlı reaksiyon kabına 0.05 mol (3.054 gr) akrilamit eklenir sonra 7 ml suda çözülür, 0.05 mol (12,436 gr) DADMAC kaba ilave edilir. Başlatıcı olarak 0.27 gr 2,2' Azo-bis- dihidroklorid katılır. Sıcaklık 65 ^{o}C'e ayarlanır ve geri akış altında uygun süre beklenildikten sonra reaksiyon gerçekleşir. Oluşan polimer suda çözülerek alınır.

Redüksiyon reaksiyonuyla parçalanan başlatıcı için, erlene 0.1 mol (6.108 gr) akrilamit eklenir sonra 14 ml de suda çözülür, kaba 0.1 mol (24.872 gr) DADMAC ilave edilir. Kaba başlatıcı olarak 0.1 gr potasyumpersulfat katılır. Normal oda şartlarında redoksla 0.5 ml trietanol amin yardımıyla 5 dakika içerisinde reaksiyon gerçekleşir. Reaksiyon şeması Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

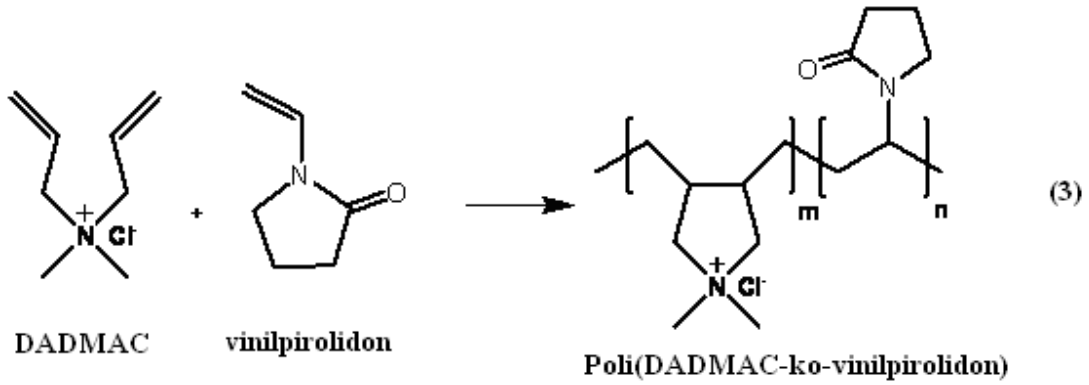


Şekil 3.2 Poli(DADMAC-ko-akrilamit) sentezi

3.2.3 Poli(DADMAC-co-vinilpirolidon) sentezi

0.1 mol DADMAC ve 0.1 mol 1-vinil-2-pirolidon monomeleri üç boyunlu reaksiyon balonuna konur. Daha sonra üstlerine 0.001 mol başlatıcı (2,2' Azo-bis- dihidroklorit) konur. Reaksiyon 70

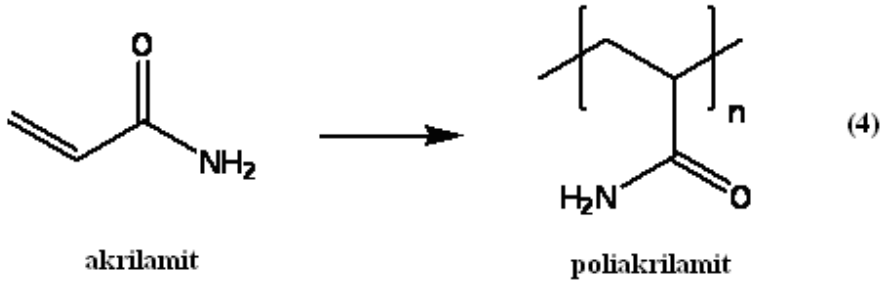
^{o}C de yağ banyosunda geri akış altında gerçekleşir. Oluşan polymer suda çözülerek ve daha sonra asetonda çöktürülerek alınır. Reaksiyon şeması Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Poli(DADMAC-co-vinilpirolidon) sentezi

3.2.4 Poliakrilamit sentezi

Akrilamit monomerinden 15 gr tartılır ve bir erlen içerisinde 35 ml suda çözülür. Ardından ortama başlatıcı olarak potasyum persulfat ($K_2S_2O_8$) katılır. Akrilamit potasyum persülfatın parçalanma sıcaklığında bozulduğu için (70-80 ^{o}C) ortama potasyum persulfatın redoks ile bozunması için trietilamin katılır. Böylece yüksek sıcaklıklara çıkmaya gerek kalmadan potasyum persülfat parçalanarak reaksiyonu başlatır ve polymer kısa süre içerisinde sentezlenir. Reaksiyon şeması Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Poliakrilamit sentezi

3.2.5 Poli(akrilik asit-ko-maleimit) sentezi

Eşit mol oranlarında alınan maleik anhidrit ve alkili amine, dimetoksietanda çözülerek 80-90°C'de, karışım berraklaşana kadar karıştırılır. Daha sonra soğutucuya bağlanan sisteme molce stokiyometrik orandan biraz daha fazla olacak şekilde asetik anhidrit eklenir. Daha sonra 120

^{o}C'de 3 saat kadar reaksiyonun gerçekleşmesi beklenir. Ardından suda çöktürülen maleimit, süzülerek reaksiyona girmemiş reaktantları uzaklaştırmak için petrol eterinde yıkanır. Daha sonra etüvde 40-50°C'de kurumaya bırakılır.

Oluşan maleimit, akrilik asitle uygun bir alkol kullanılarak ve 1/100 AIBN oranıyla 65°C'de reaksiyona sokulur. Reaksiyon ortamına 1/1000 oranında katılan çapraz bağlayıcı ile polimerin çok az çapraz bağlanması sağlanır. Reaksiyon tamamen gerçekleştikten sonra (yaklaşık 1 gün) eterde çöktürülen polimer etüvde 40-50°C'de bekletilerek kurutulur.

Polimer sentezinde kullanılan kimyasallar Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Polimer sentezinde kullanılan kimyasallar

Kimyasal	Moleküler formülü	Saflık	Kaynak
Akrilamit	CH_2=$CHCONH_2$	> 98 %	Fluka
Maleik anhidrit	$C_4H_2O_3$	> 99 %	Merck
Tiriethanol amin	$N(CH_2CH_2OH)_3$	99 %	Merck
Akrilik asit	CH_2=CHCOOH	99 %	Aldrich
Vinilpirolidon	C_6H_9NO	99 %	Aldrich
Aseton	CH_3COCH_3	99.8 %	Merck
Etanol	CH_3CH_2OH	95 %	Aldrich
Metanol	CH_3OH	99 %	Sigma
Petrol eteri (benzen)	Hidrokarbon karışımı	Analitik	Sigma Aldrich
N,N-diali N,N-dimetilamonyum klorit (DADMAC)	$(CH_2=CHCH_2)_2N(Cl)(CH_3)_2$	65 % sulu çözeltisi	Aldrich
Asetik anhidrit	$(CH_3CO)_2O$	99.5 %	Sigma-Aldrich
Tetraalipiperazinyum diklorit (TAP)	$(CH_2=CHCH_2)_4N(Cl)_2$		Labaratuvarda sentezlenmiştir
Azobisizobutilnitril (AIBN)	$(CH_3)_2C(CN)N=NC(CH_3)_2CN$		Labaratuvarda sentezlenmiştir
2, 2'- azo bis-(2-metil	$(C_4N_3H_9)_2$2HCI	97 %	Aldrich

propionamit) dihidroklorit			
Dietil eter	$(CH_3CH_2)_2O$	99.7 %	Aldrich

3.3 Karakterizasyon

Çalışma boyunca karakterizasyon deneyleri reometre, yüzey gerilimi ölçer, pH metre ve derin dondurucu kullanarak gerçekleştirilmiştir.

3.3.1 Reometre

Polimer solusyonlarının reolojik davranışları Brookfield Reometre Model LVDV-III U ile ölçülmüştür. Çalışma boyunca ölçümler SC4-34 mili ile küçük numune adaptörü kullanılarak yapılmıştır. Cihaz ile 0.01-250 rpm aralığında ölçümler yapılabilmektedir. Hazırlanan çözeltilerin viskoziteleri 20 ^{o}C'de test edilmiş ve sonuçlar Brookfield Rheocalc bilgisayar programıyla işlenmiştir.

3.3.2 Yüzey gerilimi ölçer

Solusyonların yüzey gerilimi Cole Parmer Yüzey gerilimi ölçer 21 kullanılarak paltinyum-iridyum halkası (çevre: 5.965 cm) ile 25 ^{o}C'de ölçülmüştür. Solüsyonların yüzey gerilimi 30-70 Dynes/cm aralığında bulunmuştur.

3.3.3 pH metre

Solüsyonların pH'ı Inolab wtw serisi pH 72e ile ölçülmüştür.

3.3.4 Derin dondurucu

Solüsyonların donma noktası Revco Ult350-5V-32 derin dondurucusu ile ölçülmüştür. Bu cihaz ile - 40°C sıcaklığa inilebilmektedir ve cihazın kapasitesi 90 L'dir. Ölçümlerde ilk once solüsyon dondurulup daha sonra çözülmesine izin verilerek sıvılaşma sıcaklığı kayıt edilmiştir

3.3.5 Korozyon testleri

Korozyon testinde uçak yapımında kullanılan alüminyum plakalar kullanılmıştır. Plakalar 88°C'de sabit hava akımının altında (~2 ml/s) 15 gün boyunca çözelti içerisinde bekletilip ağırlık kaybı hesaplanmıştır.

3.3.6 Sentezlenen polimerlerin karekterizasyonu

Sentezlenen polimerler Nükleer Magnetik Rezonans (NMR) spektra ve Jel Filtrasyon kromatografi (GPC) ile karekterize edilmiştir. Polimerlerin NMR spektrumları D2O içerisinde Bruker Ac (250 MHz) spektrometre ile gerçekleştirilmiştir. GPC ölçümleri ise su içerisinde 0.5 mL/dk akış ile Hewlett Packard 1050 A serisi cihaz kullanılarak yapılmıştır. Sulu polietilen glikol çözeltileri standart olarak kullanılmıştır.

3.4 Buzlanma giderici ve önleyici sıvıların doğrusal kararlılık analizi için matematiksel yaklaşım ve çözüm metodu

Bu çalışmanın bir diğer amacı geliştirilmiş olan buzlanma giderici ve önleyici sıvıların kanat üzerindeki akışını ticari olarak kullanılmakta olan sıvılarla, belirli doğrusal kararlılık analizi parametrelerini bularak, karşılaştırmaktır. Bu sayede, geliştirilmiş olan sıvıların aerodinamik kabul testinden geçip geçemeyecekleri öngörülebilir.

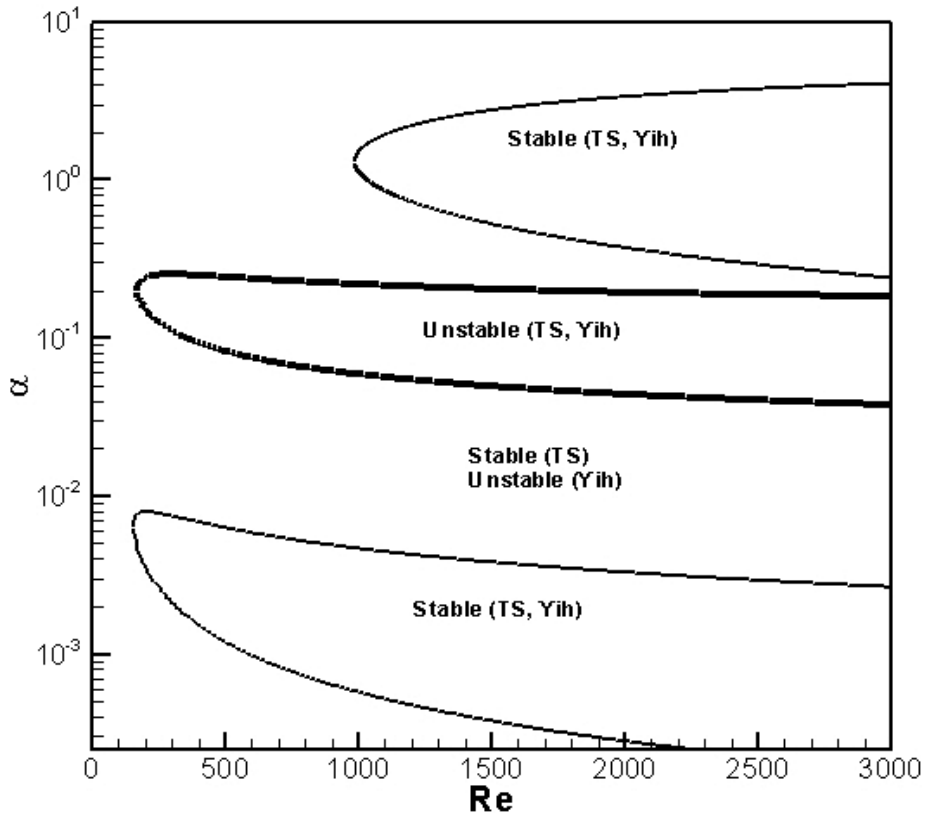
Deneysel çalışmalar pahalı olduğundan, sıvıların davranışları bilgisayar destekli benzetimle elde edilmiştir. Bu benzetim için kullanılan Fortran kodu, Serkan Özgen'in doktora çalışmaları sırasında yazılmıştır [41]. Bu çalışmada, kod üzerinde küçük değişiklikler yapılmıştır. Bu bölümde sadece buzlanma giderici ve önleyici sıvıların analiz değil, aynı zamanda polimer ve kaplama işlemlerinde, okyanus biliminde ve soğutma sistemlerinde kullanılan iki katmanlı akış sistemlerinin çözümü için kullanılan matematiksel yaklaşım ve çözüm metodu anlatılmaktadır.

3.4.1 Giriş

Doğada akış daha çok türbülanslı bir şekilde görülmektedir. Eğer akıştaki bozulmalar küçültülebilirse, laminar akış elde etmek mümkündür. Bu küçük kararsızlıklara sahip akışın incelenmesi hidrodinamik kararlılığın konularından biridir. Reynolds'un deneysel çalışmalarıyla [42] başlayan hidrodinamik kararlılık analizleri, Orr [43] ve Sommerfeld'in [44] küçük karasızlıklar için elde ettiği doğrusal denklemler ile bu konudaki çalışmalar hızlanmıştır. Bu denklemlerin doğru çözümü ise Heisenberg and Tollmien tarafından tahmin edilen Tollmien-Schlichting dalgalarının kararsızlık modlarının (TS modu) elde edilmesini sağlamaktadır.

Endüstride oldukça sık rastlanan iki katmanlı akış sistemlerinin incelenmesi de, hidrodinamik kararlılık teorisinde meydana gelen gelişmelerden dolayı bu konudaki ilgi alanlarından biri olmuştur.

Bu konuda yapılan önemli çalışmaları incelediğimizde; yapılan teorik ve sayısal çalışmaların daha çok yapay akışkanlar üzerinden yoğunlaştığı görülmektedir. Yih **[**45**]** bir çalışmasında iki sıvı arasında viskozite farkı olduğunda ve yüzey gerilimi etkisi önemsenmediğinde TS modu haricinde kararsızlık modları oluşmaktadır. Bu modlar sadece viskozite farkı oluştuğunda gözlendiği ve ilk olarak Yih tarafından bulunduğu için bu modlara Yih kararsızlık modu adı verilmektedir. Bu modlar Şekil 3.5'te görülebilir.

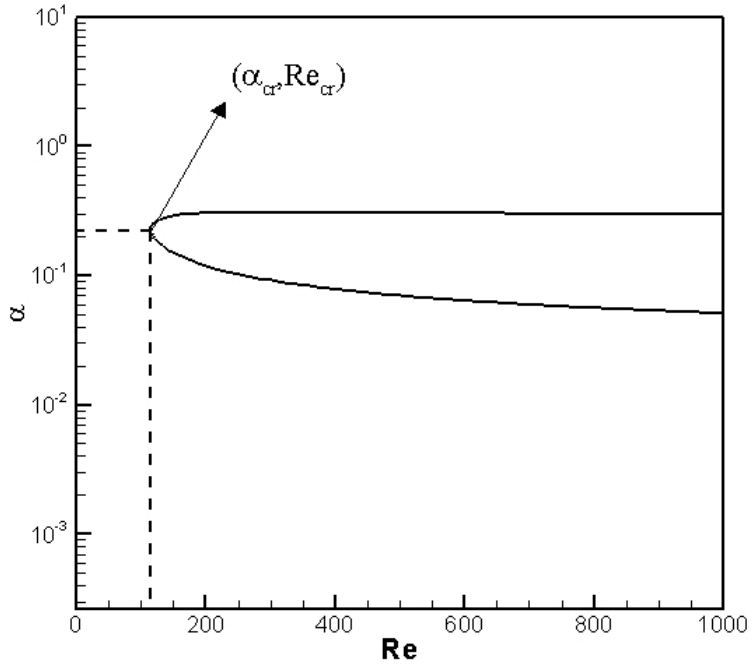


Şekil 3.5 Doğrusal kararsızlık modları [46]

Şekil 3.5'te görülen kararsızlık modlarından kalın çizgili olanı TS kararsızlık modudur. Bu modu belirleyen çizginin içinde kalan alandaki dalga boyu (α) ve Reynolds sayısı (Re) değerlerinde

akış kararsız yapıdadır. Alanın dışındaki değerlerde akış kararlıdır. İnce çizgili olan kararsızlık modları ise Yih kararsızlık modlarıdır. Yih modlarında ise çizgi içinde kalan alan kararlı, kalan bölgeler ise kararsız yapıdadır.

Şekil 3.6'da TS modu üzerindeki kritik dalga sayısı ve Reynolds sayısı değeri gösterilmektedir.



Şekil 3.6 TS kararsızlık modu üzerinde kritik dalga sayısı ve Reynolds değerinin gösterilmesi

Şekil 3.6'da gösterilen değerlerinin doğrusal kararlılık teorisindeki önemi büyüktür. İncelenen kararsızlık moduna göre, kritik Reynolds değerininin altındaki bütün Reynolds değerlerinde akış tamamen kararlı ya da kararsız haldedir. Kritik Reynolds sayısı fiziksel olarak akıştaki karasızlığa sebep olan kuvvetlerin baskın olmaya başladığı değer olarak tanımlanabilir.

Özgen **[**46**]** bir çalışmasında, alt kısımdaki sıvıda görülen viskozite artışının belli bir değerden sonra Yih kararsızlık modlarının kaybolmasına sebep olduğunu belirtmiştir. Bu sebepten dolayı buzlanma giderici ve önleyici sıvıların doğrusal kararlılık analizinde, iki katman arasında oldukça fazla viskozite farkı olduğundan dolayı sadece TS kararsızlık modlarına bakmak yeterli olacaktır.

3.4.2 Orr-Sommerfeld denklemlerinin elde edilmesi

Akışın uyması gereken Navier-Stokes denklemleri ve süreklilik denklemi aşağıdaki gibidir:

x-momentum denklemi:

$$\frac{\partial u^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} = -\frac{1}{\rho^*}\frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{1}{\rho^*}\left[\frac{\partial \sigma_{xx}^*}{\partial x^*} + \frac{\partial \tau_{yx}^*}{\partial y^*}\right], \tag{3.1}$$

y-momentum denklemi:

$$\frac{\partial v^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = -\frac{1}{\rho^*}\frac{\partial p^*}{\partial y^*} + \frac{1}{\rho^*}\left[\frac{\partial \sigma_{yy}^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \tau_{xy}^*}{\partial x^*}\right] - g^*, \tag{3.2}$$

süreklilik denklemi :

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0. \tag{3.3}$$

Gerilim bileşenleri aşağıdaki gibidir:

$$\tau_{xy}^* = \tau_{yx}^* = k^* \left|2\left[\left(\frac{\partial u^*}{\partial x^*}\right)^2 + \left(\frac{\partial v^*}{\partial y^*}\right)^2\right] + \left(\frac{\partial u^*}{\partial y^*} + \frac{\partial v^*}{\partial x^*}\right)^2\right|^{\frac{n-1}{2}} \left[\frac{\partial u^*}{\partial y^*} + \frac{\partial v^*}{\partial x^*}\right], \tag{3.4}$$

$$\sigma_{xx}^* = k^* \left|2\left[\left(\frac{\partial u^*}{\partial x^*}\right)^2 + \left(\frac{\partial v^*}{\partial y^*}\right)^2\right] + \left(\frac{\partial u^*}{\partial y^*} + \frac{\partial v^*}{\partial x^*}\right)^2\right|^{\frac{n-1}{2}} \left[2\frac{\partial u^*}{\partial x^*}\right], \tag{3.5}$$

$$\sigma_{yy}^* = k^* \left|2\left[\left(\frac{\partial u^*}{\partial x^*}\right)^2 + \left(\frac{\partial v^*}{\partial y^*}\right)^2\right] + \left(\frac{\partial u^*}{\partial y^*} + \frac{\partial v^*}{\partial x^*}\right)^2\right|^{\frac{n-1}{2}} \left[2\frac{\partial v^*}{\partial y^*}\right]. \tag{3.6}$$

Yukarıdaki formüllerdeki terimlerin sağ üst tarafında bulunan yıldız imi, terimlerin boyutlu olduğunu gösterir. x^* ve y^* terimleri sırasıyla akışa paralel ve dik yöndeki koordinat eksenlerini, u^* ve v^* hızları sırasıyla yukarıda belirtilen koordinatlardaki hız bileşenlerini belirtmektedir. ρ^* ve g^* yoğunluk ve yer çekimi değerleridir. n ve k^*değerleri ise Newtonumsu özellikte olmayan sıvılar için üs modeli imi ve plastik viskozite katsayısını tanımlar.

Akış değişkenleri, asıl ve bozulma bileşenlerine aşağıdaki gibi ayrılır:

$$u^*(x^*, y^*, t^*) = U^*(x^*, y^*) + \hat{u}^*(x^*, y^*, t^*), \tag{3.7}$$

$$v^*(x^*, y^*, t^*) = V^*(x^*, y^*) + \hat{v}^*(x^*, y^*, t^*), \tag{3.8}$$

$$p^*(x^*, y^*, t^*) = P^*(x^*, y^*) + \hat{p}^*(x^*, y^*, t^*). \tag{3.9}$$

U* ve V* Kartezyen koordinatlarında zamana göre değişim göstermeyen, x ve y yönlerindeki asıl hızlar, P* ise asıl basınçtır. $\hat{u}$ (x ekseni), $\hat{v}$ (y ekseni) ve $\hat{p}$ terimleri ise zamanla değişen küçük bozulmalardır. Çoğu zaman küçük bozulmalar, asıl kısımlara göre oldukça küçük genliktedir **[**47**]**. Squire teoremine göre, iki boyutlu küçük bozulmalar akışta üç boyutlulardan daha önce kararsızlık yarattıklarından ötürü, küçük bozulmalar iki boyutlu olarak kabul edilebilir.

Paralel akış kabulüne göre, U* hızı sadece y'ye bağlı olarak değişirken akışa dik yöndeki hız bileşeni olan V sıfırdır. P ise x ve y'ye bağlıdır. Bu kabullenmelere göre (3.7-3.9) denklemleri (3.1-3.6) denklemlerinin içine yerleştirilir ve gerekli düzenlemeler yapılırsa, aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\frac{\partial \hat{u}^*}{\partial t^*} + U^* \frac{\partial \hat{u}^*}{\partial x^*} + \hat{v}^* \frac{\partial U^*}{\partial y^*} = -\frac{1}{\rho^*}\left(\frac{\partial P^*}{\partial x^*} + \frac{\partial \hat{p}^*}{\partial x^*}\right) + \frac{k^*}{\rho^*}\frac{\partial}{\partial x^*}\left[\left|\frac{\partial U^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{u}^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{v}^*}{\partial x^*}\right|^{n-1}\left(2\frac{\partial \hat{u}^*}{\partial x^*}\right)\right]$$
$$+\frac{k^*}{\rho^*}\frac{\partial}{\partial y^*}\left[\left|\frac{\partial U^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{u}^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{v}^*}{\partial x^*}\right|^{n}\right], \tag{3.10}$$

$$\frac{\partial \hat{v}^*}{\partial t^*} + U^* \frac{\partial \hat{v}^*}{\partial x^*} = -\frac{1}{\rho^*}\left(\frac{\partial P^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{p}^*}{\partial y^*}\right) + \frac{k^*}{\rho^*}\frac{\partial}{\partial y^*}\left[\left|\frac{\partial U^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{u}^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{v}^*}{\partial x^*}\right|^{n-1}\left(2\frac{\partial \hat{v}^*}{\partial y^*}\right)\right]$$
$$+\frac{k^*}{\rho^*}\frac{\partial}{\partial x^*}\left[\left|\frac{\partial U^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{u}^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{v}^*}{\partial x^*}\right|^{n}\right] - g^*, \tag{3.11}$$

$$\frac{\partial \hat{u}}{\partial x^*} + \frac{\partial \hat{v}}{\partial y^*} = 0. \tag{3.12}$$

Yukarıdaki denklemlerin içinde yer alan $\left[\frac{\partial U^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{u}^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{v}^*}{\partial x^*}\right]^n$ ve $\left[\frac{\partial U^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{u}^*}{\partial y^*} + \frac{\partial \hat{v}^*}{\partial x^*}\right]^{n-1}$ terimlerinin içinde yer alan $\partial U^*/\partial y^*$ terimi diğer iki terime göre daha büyük olduğundan, binom açılımına göre açılır ve ana kısım terimleri Navier-Stokes denklemlere uyduğu kabul edilirse, aşağıdaki denklemler elde edilir :

$$\frac{\partial \hat{u}}{\partial t} + U\frac{\partial \hat{u}}{\partial x} + \hat{v}\frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{\partial \hat{p}}{\partial x} + \frac{n(n-1)}{Re}\left[\left|\frac{\partial U}{\partial y}\right|^{n-2}\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\left(\frac{\partial \hat{u}}{\partial y} + \frac{\partial \hat{v}}{\partial x}\right)\right]$$
$$+\frac{1}{Re}\left|\frac{\partial U}{\partial y}\right|^{n-1}\left[2\frac{\partial^2 \hat{u}}{\partial x^2} + n\frac{\partial^2 \hat{u}}{\partial y^2} + n\frac{\partial^2 \hat{v}}{\partial x\,\partial y}\right], \tag{3.13}$$

$$\frac{\partial \hat{v}}{\partial t} + U\frac{\partial \hat{v}}{\partial x} = -\frac{\partial \hat{p}}{\partial y} + \frac{2(n-1)}{Re}\left[\left|\frac{\partial U}{\partial y}\right|^{n-2}\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\frac{\partial v}{\partial y}\right]$$

$$+\frac{1}{Re}\left|\frac{\partial U}{\partial y}\right|^{n-1}\left[n\frac{\partial^2 \hat{v}}{\partial x^2} + 2\frac{\partial^2 \hat{v}}{\partial y^2} + n\frac{\partial^2 \hat{u}}{\partial x\,\partial y}\right], \tag{3.14}$$

$$\frac{\partial \hat{u}}{\partial x} + \frac{\partial \hat{v}}{\partial y} = 0. \tag{3.15}$$

Laminar akışı etkileyen küçük bozulmalar, akım fonksiyonu ile aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\hat{u} = \frac{\partial \Phi}{\partial y} = \chi'(y)e^{i\alpha(x-ct)}, \tag{3.16}$$

$$\hat{v} = -\frac{\partial \Phi}{\partial x} = -i\alpha\chi(y)e^{i\alpha(x-ct)}, \tag{3.17}$$

$$\hat{p} = \lambda(y)e^{i\alpha(x-ct)}. \tag{3.18}$$

$\chi(y)$ ve $\lambda(y)$, hız ve basınç değerleri için tanımlanan genleşme fonksiyonlarıdır. Burada α (dalga sayısı) reel, c (dalga hızı) karmaşık bir sayıdır. Belirtilen c sayısının reel kısmı c_r faz hızı, sanal kısmı c_i ise zamana bağlı genleşme faktörüdür.

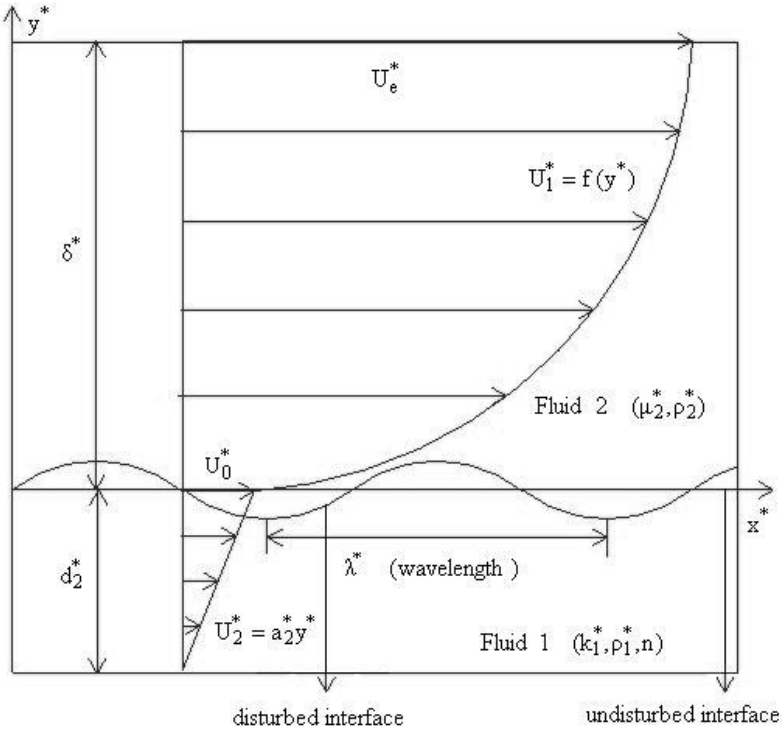
3.16-3.18 numaralı denklemler, 3.13-3.15 numaralı denklemlerin içine yerleştirilir ve basınç terimlerini yok etmek için gerekli düzenlemeler yapılırsa, aşağıdaki denklem elde edilir:

$$(U-c)(\chi'' - \alpha^2\chi) - U''\chi = \frac{|U'|^{n-3}}{i\alpha Re}\{(U')^2 n(\chi'''' - 2\alpha^2\chi'' + 2\alpha^4\chi) + (n-1)\{2nU'U''\chi'''$$
$$+[4\alpha^2(U')^2 + nU'U''' + n(n-2)((U'')^2)]\chi''$$
$$+2(n-2)\alpha^2 U'U''\chi' + n\alpha^2[U'U''' + (n-2)(U'')^2]\chi\}\}. \tag{3.19}$$

3.30 numaralı denklem Newtonumsu özellikte olmayan akışkanlar için Orr-Sommerfeld denklemidir. Yukarıdaki denklemlerde ($'$) imi y'ye göre türevi tanımlar

3.4.3 İki katmanlı akış sistemlerinde sınır koşulları

Şekil 3.7'de gösterilen iki katmanlı akışkan sisteminde üstteki akışkan hava alttaki akışkan ise buzlanma giderici veya önleyici sıvıdır. Aşağıdaki analizde 1 ve 2 sırasıyla alt ve üst tabakayı işaret etmektedir.



Şekil 3.7 İki katmanlı akış sisteminin geometrisi

Alttaki akışkan'ın hız profili doğrusal kabul edilmektedir, $U_2'' = U_2'''$=0. Bundan dolayı Orr-Sommerfeld denklemi aşağıdaki hali almaktadır:

$$(U_2 - c)(\chi'' - \alpha^2\chi) = \frac{ma_2^{n-1}}{i\alpha r Re}(n\chi'''' - 2(n-2)\alpha^2\chi'' + n\alpha^4\chi). \qquad (3.20)$$

Üstteki akışkan ise Newtonumsu özellikte olan havadır. Bu akışkan için Orr-Sommerfeld denklemi aşağıdaki gibidir:

$$(U_1 - c)(\varphi'' - \alpha^2\varphi) - U_1''\varphi = \frac{1}{i\alpha Re}(\varphi'''' - 2\alpha^2\varphi'' + \alpha^4\varphi). \qquad (3.21)$$

3.21 numaralı denklemde yer alan **φ** değeri üst akışkan hız değeri için genleşme fonksiyonudur. Üstteki akışkanın hız profili, iki kısımda tanımlanmıştır:

$$U_1^* = (u_*^2/\upsilon_1^*)y^* \quad \text{for} \quad 0 \le y^* \le s\nu_1^*/u_*. \qquad (3.22)$$

$$U_1^* = ay^{*c} + b/y^{*2} + d \quad \text{for} \quad y^* \geq s\upsilon_1^*/u_* \tag{3.23}$$

3.22 numaralı denklem laminar kısım için 3.23 numaralı denklem türbülanslı kısım için kullanılmaktadır. 3.22 numaralı denklemdeki u_* değeri, sürtünme hızıdır. Her iki denklemde de görünen s değeri, laminar kısmın kalınlığını belirtir.

Akış sisteminin sınır ve ara tabaka koşulları incelenirse, alt kısımdaki akışkan kaymazlık şartına göre zeminde sıfır hıza sahip olacaktır:

$$y = -l \qquad \Rightarrow \qquad \chi = \chi' = 0. \tag{3.24}$$

Üst kısımdaki akışkan için ise y'nin büyük değerlerinde bozuntular sıfıra yakınsayacaktır:

$$y \to \infty \qquad \Rightarrow \quad \varphi \to 0, \varphi' \to 0. \tag{3.25}$$

Bunlarla beraber, ara tabakadaki hız ve gerilim bileşenlerinin sürekliliği sağlanmalıdır. Bu denklemler aşağıdaki şekildedir:

$$\varphi(0) = \chi(0), \tag{3.26}$$

$$\varphi'(0) - \chi'(0) = \frac{\varphi(0)}{c - U_0}(a_2 - a_1)\,, \tag{3.27}$$

$$\alpha^2\varphi(0) + \varphi''(0) = mna_2\frac{\varphi(0)}{c - U_0}(\alpha^2\chi(0) + \chi''(0)), \tag{3.28}$$

$$\begin{aligned} &i\alpha R\big((c - U_0)\varphi'(0) + a_1\varphi(0)\big) - \big(\varphi'''(0) - 3\alpha^2\varphi'(0)\big) + i\alpha Rr\big((c - U_0)\chi'(0) + a_2\chi(0)\big) \\ &+ma_2^{n-1}[n\chi''(0) - (4 - n)\alpha^2\chi'(0)] = i\alpha R[(r - 1)F^2 + \alpha^2 S]\,\varphi/(c - U_0). \end{aligned} \tag{3.29}$$

3.24-3.26 numaralı denklemler sırasıyla akışa dik yöndeki hız eşitliğinden, akışa paralel yöndeki hız eşitliliğinden, kayma gerilmesi eşitliğinden ve normal gerilme eşitliğinden elde edilmiştir. Froude sayısı $F = U^*/(g^* d_1^*)^{\frac{1}{2}}$ ile yerçekimi etkisi, yüzey gerilme parametresi $S = T^*/\left(\rho_1^* U^{*2} d_1^*\right)$ ile ise yüzey geriliminin etkisi belirtilmektedir. Burada T^* yüzey gerilimi katsayısıdır. Bu denklemlerin elde edilmesinin ilgili detaylar EK-1'dedir.

3.4.4 Çözüm metodu

Çözüm metodu tersine entegrasyon metodu olarak tanımlanan shooting metodu ve ortonormalizasyon işlemleridir. Çözüm, ara tabakadan oldukça uzakta küçük bozulmaların var olmadığının kabul edildiği y_e uzaklığından başlar. Bu bölgede $U(y_e)$ ve $U''(y_e)$ sırasıyla 1 ve 0 değerlerine sahiptir. Belirtilen y_e uzaklığından başlanarak 3.21 numaralı denklem ara tabakaya kadar entegre edilir. Denklemin uygun bir şekilde çözülebilmesi için 3.21 numaralı denklemin başlangıç değerleri belirlenmelidir. Belirtilen y_e uzaklığında yukarıda belirtilen durumlar oluştuğundan, 3.21 aşağıdaki hale dönüşür:

$$\varphi'''' - (\alpha^2 + \beta^2)\varphi'' + \alpha^2\beta^2\phi = 0. \tag{3.30}$$

Burada $\beta^2 = \alpha^2 + i\alpha R(1 - c)$ olarak tanımlanır. Bu denklemin çözümü aşağıdaki gibidir:

$$\varphi = A_1 \exp(-\alpha y) + A_2 \exp(-\beta y) + A_3 \exp(\alpha y) + A_4 \exp(\beta y). \tag{3.31}$$

3.25 numaralı koşul uygulandığında, yukarıdaki denklemin 3. ve 4. terimleri kaybolur:

$$\varphi = A_1 \exp(-\alpha y) + A_2 \exp(-\beta y), \tag{3.32}$$

3.21 numaralı denklem 4. Dereceden bir denklem olduğundan dolayı, çözümlerin başlangıç vektörleri aşağıdaki gibi yazılır:

$$[\varphi_1, \varphi_1', \varphi_1'', \varphi_1'''] = [1, -\alpha, \alpha^2, -\alpha^3], [\varphi_2, \varphi_2', \varphi_2'', \varphi_2'''] = [1, -\beta, \beta^2, -\beta^3]. \tag{3.33}$$

φ_2 terimi içerdiği Reynolds sayısından dolayı, çözüm ilerledikçe φ_1 teriminden daha hızlı büyür. Bu sebepten ötürü iki çözümün doğrusal bağımsızlığı kaybolur. Doğrusal bağımsızlığı sürekli korumak için Gram-Schmidt orthonormalizasyon metodu kullanılır [46].

Çözüm sırasında ara tabakaya gelindiğinde 3.20 numaralı denklem kullanılmaya başlanır. İşlem bu sefer zeminden ara tabakaya doğru tekrarlanır. Bu denklemin genel çözümü aşağıdaki gibidir.

$$\chi = B_1\chi_1 + B_2\chi_2 + B_3\chi_3 + B_4\chi_4. \tag{3.34}$$

3.24 numaralı denkleme göre, yukarıdaki denklemin 3. ve 4. terimleri yok olur. 3.20 numaralı denklem zeminden başlanarak ara yüzeye kadar çözülür. Ara yüzeye gelindiği zaman (3.26-3.29) numaralı denklemler sağlanmalıdır. Bu duruma göre aşağıdaki sistem elde edilir:

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \tag{3.35}$$

Gerçek bir çözüm için yukarıdaki katsayı matrisinin determinantı yok olmalıdır. Bu da ancak Re, α, c_r ve c_i değerlerinin belirli kombinasyonlarında mümkün olmaktadır. Kararsızlık modlarını elde etmek için iki adet başlangıç noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktalar fonksiyon enküçültme yöntemi ile elde edilmektedir[46]. Bu iki nokta elde edildikten sonra, diğer noktalar Newton iterasyon metodu ile daha hızlı bir şekilde elde edilmektedir.

Bu çalışmada benzetim için kullanılan Fortran kodunun üzerinde yapılan değişikliklerinin en önemlisi fonksiyon enküçültme yöntemi için kullanılan alt programın değiştirilmesidir. Orijinal kod bu alt programı için internet aracılığıyla NAG Fortran kütüphanesinden alıyorken, yapılan değişiklik sayesinde tamamen bağımsız hale kavuşturulmuştur.

.

.

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Buzlanmayı giderici (Tip-1) sıvıların hazırlanması

Buzlanmayı giderici sıvıların içerdiği temel kimyasallar etilen glikol, yüzey aktif madde (YAM), pH düzenleyici (pH D), korozyon önleyici (KÖ) ve su olarak gösterilebilir **[**20-27**]**. Bu bileşenler içerisinde glikol ve su karışımının, çözeltinin ağırlıkça yaklaşık %95-99'unu içerdiği bilindiğinden karışımın çözeltinin ana bileşeni olduğu söylenebilir **[**20-27**]**. Bu ana bileşenin içerdiği glikol oranına baktığımızda ise bu oranın %70 ile %90 arasında değiştiği görülmektedir. Bu durumda, sıvının fiziksel özelliklerine etkisi farklı olabilecek fonksiyonel kimyasalların yüzey aktif madde, pH düzenleyici ve korozyon önleyici olabileceği görülmektedir. Çözeltinin istenen özelliklerini sağlayacak kompozisyonunu bulmak için her bir fonksiyonel kimyasalın tek başına, farklı glikol su oranlarında, karışımın viskozite ve yüzey gerilimini nasıl etkilediğinin test edilmesi gerekmektedir. Kullanılmakta olan sıvılardan elde edilen bilgilere göre yüzey geriliminin yaklaşık olarak 40 Dynes/cm den düşük olması, viskozitenin Newton yasasına uyması ve 20°C'de 50 cP'den düşük olması, donma noktasının ise karışımların ağırlıkça %50'lik sulu çözeltileri için –20°C'den düşük olması istenmektedir **[**4,5,28,29**]**. Karışımın içine katılan fonksiyonel kimyasallar belirlenirken literatürde en fazla kullanılan maddeler seçilmiştir **[**20-27**]**. Bu maddelerin oranları belirlenirken ise olabilecek en düşük ve en yüksek değerler seçilerek her birinin karışımın fiziksel özelliklerini nasıl etkilediği gözlenmiştir. Seçilen fonksiyonel kimyasallar ve karışımın içindeki oranlar Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Tip 1 sıvısı içerisinde kullanılan fonksiyonel kimyasallar ve kompozisyon aralıkları

Kimyasal Türü	Kimyasal adı	Konsantrasyon aralığı (ağ. %)
YAM	Etoksifenol	0 – 2
KÖ	Tributilamin	0 – 4
pH D	Potasyum hidrojen fosfat	0 – 0.5

(YAM: Yüzey aktif madde, KÖ: Korozyon önleyici, pH D: pH düzenleyicisi)

Bu kimyasallar ile verilen kompozisyon aralıklarında yüzey gerilimi, viskozite ve donma noktası ölçümleri için bir dizi deney yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Donma noktası deneylerinde çözeltiler ağırlıkları kadar su ile karıştırılıp ölçümler yapılmıştır.

Tablo 4.2 Tip 1 sıvısı içerisindeki fonksiyonel kimyasalların fiziksel özelliklere etkisi

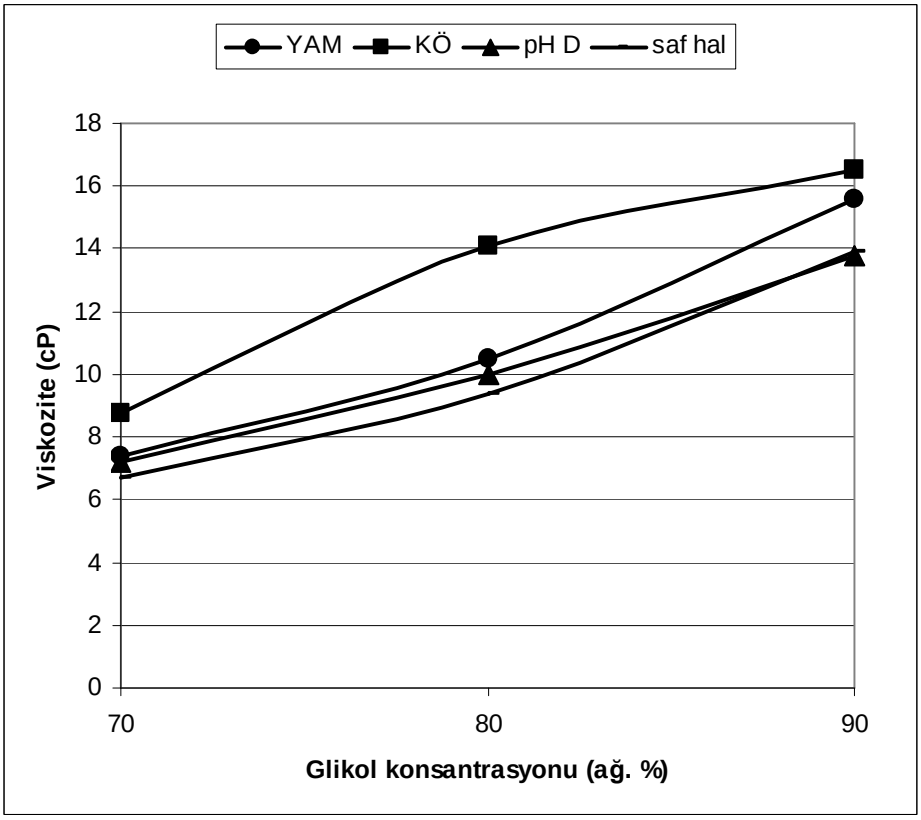
Numune no	Glikol (%)	Su (%)	YAM (%)	KÖ (%)	pH D (%)	Viskozite (cP) *	Yüzey Gerilimi (Dynes/cm) **	Donma noktası (^oC)
1	90	10	0	0	0	13.9	51.6	-30
2	90	9.5	0	0	0.5	13.8	51.8	-31
3	90	8	2	0	0	15.6	50.74	-30
4	90	6	0	4	0	16.5	40.1	-31
5	80	20	0	0	0	9.4	52.1	-25
6	80	19.5	0	0	0.5	10	53.5	-26
7	80	18	2	0	0	10.5	51.1	-25
8	80	16	0	4	0	14.1	40	-25
9	70	30	0	0	0	6.7	55.5	-20
10	70	29.5	0	0	0.5	7.2	54.8	-20
11	70	28	2	0	0	7.4	52	-21
12	70	26	0	4	0	8.75	39.9	-21

(* Tüm viskozite değerleri 20°C de ölçülmüştür ve karışımlar beklendiği üzere Newton yasasına uyduklarından tek bir viskozite değeri gösterilmiştir)

(** Yüzey gerilimi testleri 25°C'de yapılmıştır.)

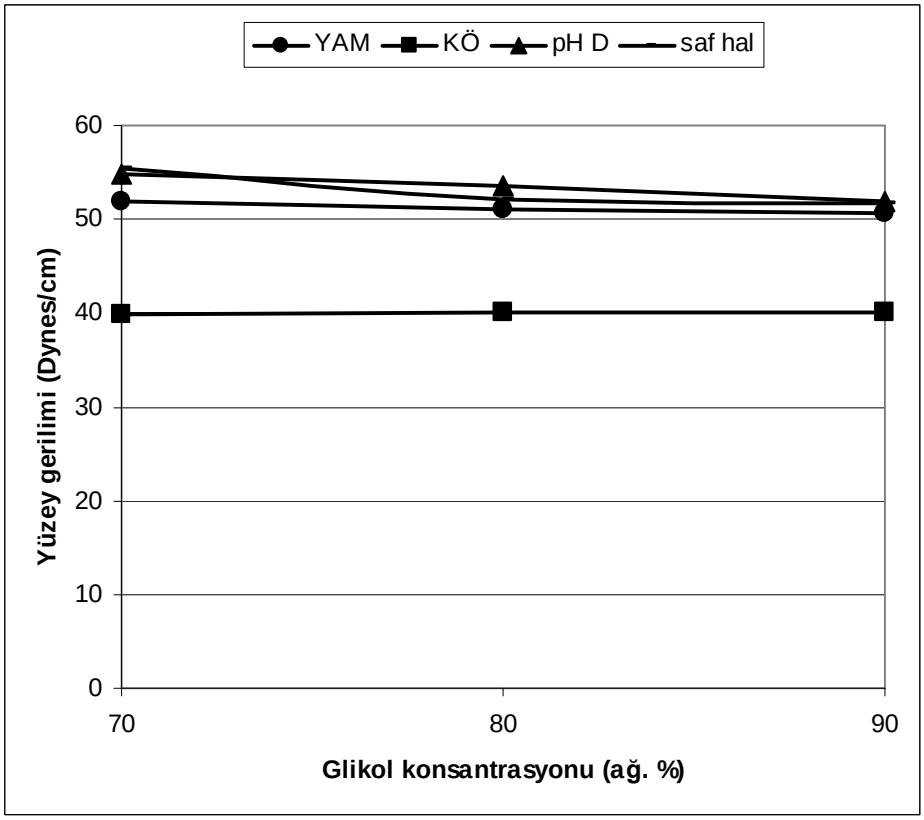
Tablo 4.2'den elde edilen veriler ile çizilen grafiklerde her bir kimyasalın, karışımın fiziksel özelliklerine etkisini gözlemlemek mümkün olmaktadır.

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere karışımın viskozite değeri katılan tüm fonksiyonel kimyasallar ile birlikte artış göstermiştir. Bu artış en fazla korozyon önleyici kimyasalın katıldığı durumda gerçekleşmiştir. Karışımların Newton yasasına uygun olduğu görülürken ölçülen tüm viskozite değerlerinin istenen aralıkta olduğu görülmüştür **[**4,5,28,29**]**.



Şekil 4.1 Fonksiyonel kimyasalların farklı glikol oranlarında karışımın viskozite değerlerine etkisi

Tablo 4.2'den yararlanarak çizilen Şekil 4.2 de ise katılan fonksiyonel kimyasalların karışımın yüzey gerilimi üzerine etkisini gözlemlemek mümkün olmaktadır. Her bir fonksiyonel kimyasalın etkisi ayrı ayrı değerlendirildiğinde, pH düzenleyici kimyasalın karışımın yüzey gerilimini az da olsa artırdığı gözlenmektedir, yüzey aktif maddenin yüzey gerilimi düşürmekte zayıf kaldığı, bunun yanı sıra korozyon önleyici maddenin beklenmeyen bir şekilde yüzey gerilimini azaltıp istenen değerlere getirdiği gözlenmektedir. Bu durumda korozyon önleyici maddenin korozyonu önlemenin haricinde yüzey gerilimi de etkilediği dolayısıyla çift fonksiyonlu bir kimyasal olduğu görülmüştür.



Şekil 4.2 Fonksiyonel kimyasalların farklı glikol oranlarında karışımın yüzey gerilimi değerlerine etkisi

Ulaşılan noktadan sonra fonksiyonel kimyasalların ikisi ve üçü birden karışımın içine katıldığı durumda yaptıkları etkiler gözlenmiştir (Bakınız Tablo 4.3).

1. YAM ve pH D etkisi

Bu iki kimyasal beraber kullanıldıkları zaman viskozite değerlerinin yine istenen değer aralığında kaldığı gözlenmiştir (8-15 cP). Yüzey gerilimin ise istenen değerlerden yüksekte oldukları görülmüştür (50 Dynes/cm).

2. YAM ve KÖ etkisi

Bu iki kimyasal beraber kullanıldığında viskozitenin istenen değer aralığında kaldığı gözlenirken (8-15 cP) yüzey gerilimi değerlerinin, kimyasallar tek başlarına kullanıldığı durumdan daha aşağılara çekildiği gözlenmiştir (36 Dynes/cm).

3. pH D ve KÖ etkisi

Bu iki kimyasalın beraber kullanıldığı durumlarda viskozite ve yüzey gerilimi değerlerinin her ikisinin de yalnızca korozyon önleyici madde katıldığı durumdaki değerlerle aynı kaldığı görülmüştür (8-15 cP, 40 Dynes/cm).

4. YAM, pH D ve KÖ etkisi

Her üç kimyasalında beraber kullanıldığı durumda, bulunan viskozite ve yüzey gerilimi değerlerinin korozyon önleyici madde ve yüzey aktif madde katıldığı durumdan farksız olduğu görülmüştür (8-15 cP, 37 Dynes/cm).

Tablo 4.3 Fonksiyonel kimyasalların karışımda ikisi birden ya da üçü birden kullanıldıklarında ölçülen viskozite ve yüzey gerilimi değerleri

Kimyasallar	Viskozite (cp) (20 ^{o}C)	Yüzey gerilimi (Dynes/cm)
YAM ve pH D	8-15	50
YAM ve KÖ	8-15	36
pH D ve KÖ	8-15	40
YAM,pH D ve KÖ	8-15	37

Deneylerde elde edilen sonuçlardan görüldüğü üzere, fonksiyonel kimyasalların karışımın viskozite değerlerini istenen aralık içerisinde tuttuğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, pH düzenleyici maddenin, karışımın viskozite ve yüzey gerilimi değerlerinin üzerinde etkisi olmadığı görülmektedir. Yüzey aktif maddenin asıl işlevini gerçekleştiremediği ve yüzey gerilimini aşağılara çekemediği görülmekte, fakat bununla beraber korozyon önleyici maddenin çift fonksiyonlu olduğu ve yüzey gerilimini değiştirmekte başarılı olduğu bulunmuştur. Bunların yanı sıra yüzey aktif maddenin korozyon önleyici madde ile beraber kullanıldığı durumlarda yüzey gerilimi değerinin daha düşük seviyelere getirilebildiği görülmüştür.

Glikol konsantrasyonun karışımın fiziksel özelliklerine etkisi değerlendirilir ise viskozitenin glikol konsantrasyonu arttıkça arttığı, yüzey geriliminin ise tam tersine düştüğü görülmektedir.

Su ve glikolun saf haldeki viskozite ile yüzey gerilimi değerlerine bakılarak kompozisyona bağlı değişimin, beklenildiği gibi gerçekleştiği görülmektedir (Bakınız Tablo 4.4).

Tablo 4.4 Glikol su karışımının kompozisyona bağlı yüzey gerilimi ve viskozite değerleri

Glikol (ağ %)	Su (ağ %)	Viskozite (cp) (20 ^{o}C)	Yüzey gerilimi (Dynes/cm) (25 ^{o}C)
100	0	16	49
90	10	13.9	51.6
80	20	9.4	52.1
70	30	6.7	55.5
0	100	1	72

Elde edilen sonuçlardan anlaşılacağı üzere, Tip-1 sıvısının yapımı aşamasında istenen viskozite değerlerinin ölçülmesi bir sorun olmamıştır ama yüzey gerilimini istenen değerlere çekmek ancak asıl fonksiyonu korozyon önlemek olan bir kimyasal ile mümkün olmuştur. Bu noktada karışımın yüzey gerilimini istenen değerlere getirmek için çeşitli yüzey aktif maddeler yüzde 80'lik glikol çözeltileri için denenmiştir ve sonuçları aşağıda Tablo 4.5' de gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Su ve glikolde yüzey geriliminin kullanılan farklı kimyasallar ile değişimi

Kimyasal adı	Yüzey gerilimi (Dynes/cm)			
	Suda		Glikolde	
	İlk değer	Son değer	İlk değer	Son değer
Ceetiltrimetilamonyumsodyum tuzu	78	41	55	40
Dihekzisulfosukkinat	78	28	55	33
Triton X-405	78	47	55	46

(Triton X-405: etoksilenmiş nonylfenol)

Tablo 4.5'ten anlaşılacağı üzere özellikle diheksisulfosukkinat ve ceetiltrimetilamonyum yüzey gerilimini düşürmede başarılı olmuşlardır.

Deneylerde elde edilen sonuçlara göre Tip-1 sıvılarının fiziksel özelliklerini etkileyen başlıca faktör su-glikol kompozisyonudur. Çözeltilerin istenen yüzey gerilimlerinde olması için ilave edilecek yüzey aktif maddeler ile kullanıma hazır Tip-1 sıvıları elde etmek mümkündür. Ancak, sıvıların büyük ölçekte üretimlerine başlamadan önce sertifikasyon aşamasından geçmesi gerektiği unutulmamalıdır. Tip-1 sıvılarına uygulanan korozyon testleri Tip-2 sıvıları ile beraber yapılmış ve sıvıların korozyona neden olmadığı görülmüştür. Korozyon testlerinin daha detaylı açıklaması ilerleyen bölümlerde bulunmaktadır.

4.2 Buzlanmayı önleyici (Tip-2) sıvılar

Tip-2 sıvıları, Tip-1 sıvılarından ayıran en önemli fark sıvıların reolojik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Tip-1 sıvısı Newton yasasına uyarak tüm kayma hızlarında sabit viskozite değeri verirken, Tip-2 sıvısı düşük kayma hızlarında yüksek viskozite, yüksek kayma hızlarında düşük viskozite gösterir **[**30**]**. Bu özelliğinden dolayı Tip-2 sıvılar uçakların buzlanmasını uzun bir süre önleyebilmekte ve kalkış anında uçağın performansını düşürmemektedirler. Bu iki sıvıyı reolojik olarak birbirinden ayıran fark Tip-2 sıvısına katılan koyulaştırıcı (kalınlaştırıcı) polimerden kaynaklanmaktadır. Bu polimerin fonksiyonu karışımda viskoziteyi artırmak ve ayrıca karışımı psödoplastik hale getirmektir. Literatürde adı geçen polimerlere bakıldığında en çok akrilik asit polimerleri ve kopolimerlerine rastlanmaktadır. Bu polimerlerin sentezlenmesi aşamasında daha önce de sözü edildiği gibi İstanbul Teknik Üniversitesi'ne gidilmiş ve Prof. Dr. Niyazi Bıçak'ın rehberliğinde 5 farklı polimer sentezi yapılmıştır. Bu polimerler; poli(akrilik asit-ko-maleik asit), poli(DADMAC-ko-akrilamit), poli(DADMAC-ko-vinil pirolidon), poliakrilamit ve poli(akrilik asit-ko-maelimit)'tir (DADMAC: dialidimetil amonyum klorit). Sentezlenen polimere ilave olarak bazı ticari polimerler ile deneyler yapılmıştır. Bu polimerler, poliakrilik asit, poli(akrilik asit-ko-maleik asit), hafifçe çapraz bağlanmış poliakrilik asit kısmi sodyum tuzu, çapraz bağlı poli(akrilik asit-ko-akrilamit) potasyum tuzu, çapraz bağlı poli(akrilik asit) kısmi sodyum tuzu graft polietilen oksit, karboksimetilseluloz sodyum tuzu ve hafifçe çapraz bağlanmış, hidrofobik olarak geliştirilmiş poliakrilik asit'tir.

Polimerlerin reolojik davranışları glikol-su karışımlarında test edilmiş ve ilave edilen fonksiyonel kimyasalların (korozyon önleyici, yüzey aktif madde, pH düzenleyicisi) çözeltilerin reolojisi

üzerine etkisi incelenmiştir. İstenen viskozite değerlerinin elde edilmesinin ardından çözeltilerin yüzey gerilimi, donma noktası ve korozyon etkisi incelenmiştir.

4.2.1 Sentezlenen polimerler ve reolojik davranışları

4.2.1.1 Akrilik asit-Maleik asit copolimeri (AMC)

Bu polimerin şu anda kullanılmakta olan Tip-2 sıvılarının içeriğinde bulunduğu ön görülmektedir [20-27]. Karşılaştırma yapmak ve elde bulunan bilgilerin doğruluklarını gözlemleyebilmek için sentezlenmesinde fayda bulunan bu polimerin birçok yerde koyulaştırıcı olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu polimerizasyon serbest radikal halka açma mekanizmasıyla gerçekleşmektedir ve sentez, solüsyon polimerizasyonu yöntemi ile yapılmıştır.

4.2.1.2 DADMAC-akrilamit kopolimeri (DA)

Normalde mineral çözeltilerinin sudan arındırılmasında kullanılan bu polimerler [31] koyulaştırıcı olarak ilk defa Tip-2 sıvıların içinde denenecektir. DADMAC monomeri kuaternal yapıya sahiptir ve bu yapıda pozitif artı yüklü amonyum atomları bulunur. Polimerleşme gerçekleştiğinde birbirini iten bu artı yüklerden dolayı polimer lineer ve uzatılmış bir hale gelir. Böylece oluşan polielektrolit çözeltilerinin viskozitesi daha yüksek olmaktadır. Bu polimerizasyonda serbest radikal açma mekanizmasıyla gerçekleşmektedir ve solüsyon polimerizasyonu yöntemi kullanılmıştır.

4.2.1.3 DADMAC- vinil pirolidon kopolimeri (DCVP)

DADMAC monomerinden sentezlenen bu üçünçü kopolimer literatürde yalnızca 1990 yılında Topchiev ve arkadaşları tarafından sentezlenmiştir [32]. İki monomerinde yüksek suda çözünürlükleri olduğundan suda çok iyi çözünen bu polimer aynı zamanda yapısındaki vinil pirolidon ile doğaya uyumludur. Kullanım alanı daha çok çamurun sudan ayrıştırılması ve membran yapımı [33,34] olan bu polimer daha önce koyulaştırıcı olarak kullanılmamıştır.

4.2.1.4 Poliakrilamit (PA)

Poliakrilamit, akrilik asit polimerleri gibi literatürde adı geçen ve koyulaştırıcı olarak kullanılan diğer bir polimerdir [35]. Akrilamit monomerinin ucuz olması ve polimerinin yardımcı koyulaştırıcı olarak da kullanılabilmesi nedeniyle poliakrilamit sentezi de yapılmıştır.

Yukarıda sıralanan 4 polimerin reolojik özellikleri artan kayma hızlarında ve ilave edilen fonksiyonel kimyasalların etkisi ile beraber gözlenmiş ve bulunan sonuçlar Tablo 4.6'da özetlenmiştir. Bu sonuçlara göre polimerler çözeltilerinin hiçbirinde güçlü bir psödoplastik özellik gözlenmediği söylenebilir. DA ve AMC hariç diğer polimerler ile hazırlanan sulu çözeltiler tümüyle Newtonumsu bir özellik göstermektedir. Solüsyonlar, DA çözeltisine Triton X–405 eklenmesi durumu hariç fonksiyonel kimyasallar ile psödoplastik özellik kazanmamışlardır. Eklenen potasyum hidrojen fosfat tüm polimer çözeltilerinde viskoziteyi düşürücü etkide bulunmuştur. Bu düşüşün nedeni tuz moleküllerinin yol açtığı perdeleme etkisiyle polimer zincirlerlerinin kendi üzerlerine kıvrılması ile açıklanabilir. Genel olarak deneylere bakıldığında en iyi sonuç % 5'lik DA ile % 50 su-%50 glikol karışımında elde edilmiştir. Bu durumda çözeltinin viskozitesi artan kayma hızlarıyla 198 cP'den 161 cP'e düşmektedir, fakat bu değerler kullanılan polimer miktarı yüksek olmasına rağmen istenen değerlerden oldukça düşüktür. Bu yüzden yeni polimerler ile denemelere devam edilmiş ve istenen reolojik özellikler elde edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 4.6 Sentezlenen polimerler ile hazırlanan çözeltiler ve eklenen fonksiyonel kimyasallar ile reolojik davranışları

Polimer (yüzdesi)	*Kayma hızı değişimi (rpm)*	*Sudaki viskozite (cP)*					*Su-glikol karışımlarında viskozite (cP) (50 % - 50 %)*				
		Ham (Fonk. Kim. Yok)	S_1 (1 mM)	S_2 (1 mM)	KÖ (1 mM)	pH D (1 mM)	Ham (Fonk. Kim. Yok)	S_1 (1 mM)	S_2 (1 mM)	KÖ (1 mM)	pH D (1 mM)
DA (5 % wt)	32-250	125	121-113	125	125	80	198-161	194-164	125	195-162	87-81
AMC (1 % wt)	10-95	11	37	47	15	10	15-11	35	37	15	10
DCVP (5 % wt)	4-37	71	70	71	70	60	72-77	70	70	70	61
PA (5 % wt)	32-250	161	161	160	160	174	160	160	160	160	170

(S_1: Triton X-405, S_2: AOT, KÖ: Tiributilamin, pH D: Potasyum hidrojenfosfat tiridrit)

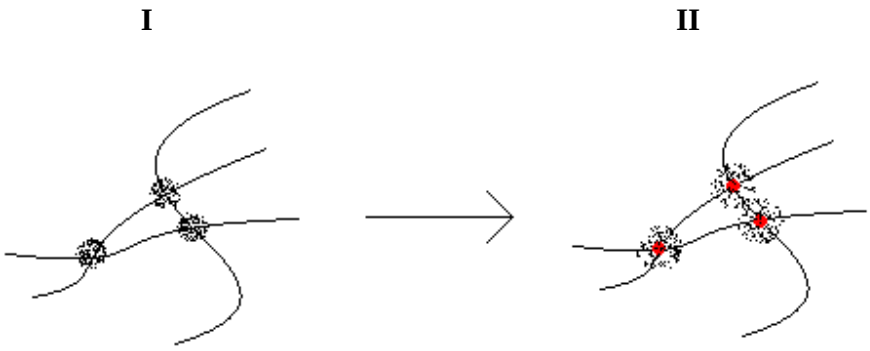
4.2.2 Ticari polimerler ve reolojik davranışları

4.2.2.1 Reolojik testler

Ticari polimerler ile yapılan deneyler sonucunda hafifçe çapraz bağlı ve hidrofobik olarak geliştirilmiş poliakrilik asit (HMPA) çözeltisinin istenen reolojik özellikleri sağladığı görülmüştür. Bu polimer ile yapılan testler devam ederken çözeltide psödoplastik reolojiye sebep olan moleküler ilişkiler incelenmiş ve her bir fonksiyonel kimyasalın ve ilave edilen polimerin çözelti içerisindeki işlevi aydınlatılmıştır. Polimer çözeltilerinin karakterizasyon sonuçları ve psödoplastik mekanizma devam eden bölümlerde anlatılmaktadır.

Psödoplastik mekanizma

Tip-2 sıvılarının barındırdığı psödoplastik davranış, düşük kayma hızlarında yüksek viskozite, yüksek kayma hızlarında ise düşük viskozite değerleri göstermesi olarak özetlenebilir. Bu davranışın nedeni, polimer zincirleri arasında meydana gelen dolaşıklıkların düşük kayma hızlarında kararlı kalması ve akışa izin vermemesi, fakat yüksek kayma hızlarında çözülüp akışa izin vermesi şeklinde açıklanabilir. Bir diğer deyişle, sıvı içerisinde çözünmüş polimer düşük kayma hızlarında akışa karşı bir direnç gösterirken kayma hızı arttıkça bu direnç kaybolmaktadır. Polimer zincirleri arasında bulunan dolaşıklıkların kayma hızı ile beraber çözülebilmesinin nedeni bu yapıların ikincil bağlar ile oluşmasıdır. İkincil bağlar, birincil bağlara göre oldukça düşük bir kuvvete sahiptirler ve bu kuvveti kayma hızı ile aşmak mümkündür. Dolaşıklık noktalarında bulunan ikincil bağlar, hidrojen bağları, van der waals bağları ve polar bağlar olarak gösterilebilir. Literatürdeki makaleler incelendiğinde, psödoplastik mekanizmayı sağlayan ikincil kuvvetlerin hidrofobik etkileşimler sayesinde de kurulabileceği görülmüştür [36, 37]. Hidrofobik etkileşimlerin polimer zincirleri arasında oluşturduğu kuvvetler ve oluşan psödoplastik mekanizma aşağıda Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3Hidrofobik grupların dolanma noktalarında oluşturduğu kuvvetler ve psödoplastik mekanizmaya etkisi (Kırmızı noktalar hidrofobik grupları ifade eder)

I: Bu durumda tamamen hidrofilik gruplardan oluşmuş zincirler birbirlerine dolanık halde bulunurlar fakat dolanıklık noktalarında oluşan ikinci bağlar çok zayıf ve düşük bir kuvvetle

yıkılabilmektedir, dolayısıyla çözelti psödoplastik bir davranış yerine direkt olarak newtonumsu bir davranış göstermektedir, yani çözeltinin viskozitesi tüm kayma hızlarında aynıdır.

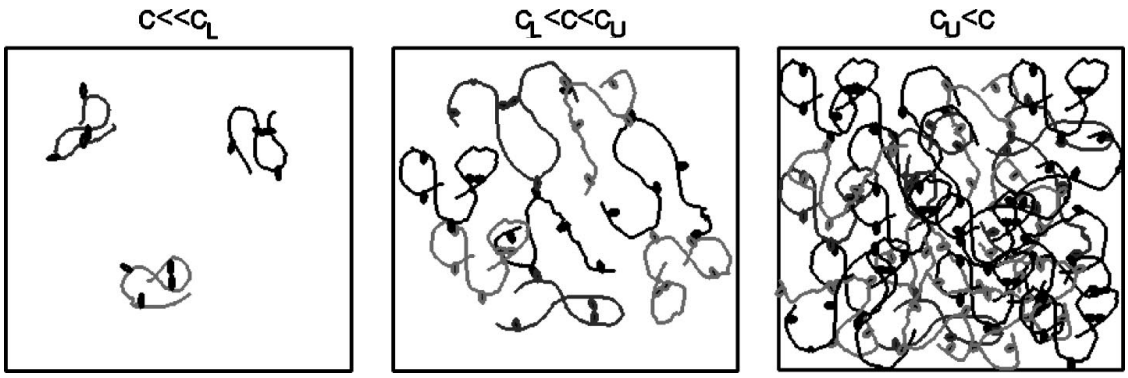
II: Bu durumda zincirlerin birbirlerine dolanık oldukları noktalar, eklenen hidrofobik gruplar ile güçlendirilmiş olarak görülmektedir. Bu şekilde oluşan ikincil bağların kuvveti artırılmış olmakta ve bu bağlar ancak kayma hızı artırıldığı zaman yıkılmaktadır. Bu bağlar kayma hızı azaldığında tekrar kurulmakta ve zincirler ilk hallerine geri dönmektedirler. Bu sayede polimer çözeltisi "yüksek derecede bir psödoplastik özellik" kazanmış olmaktadır.

Hidrofobik gruplar arasında oluşan etkileşimleri açıklamak gerekirse, hidrofobik gruplar basit olarak uzun alkili gruplardan oluşmaktadırlar. Bu halleriyle yüzey aktif maddelere (YAM) çok benzerler. Hidrofobik gruplar sulu çözeltilerde yer aldıklarında polimer zincirinden yanlara doğru açılırlar ve alkili gruplar karşı zincirlerdeki benzer alkili gruplarla etkileşime girmeyi tercih ederler ve bu etkileşimler sonucu dolanma noktaları ve ikincil bağlar oluştururlar. Bu oluşan bağlar kayma hızının şiddetiyle beraber yıkılırlar ve çözeltinin viskositesi gittikçe düşer.
Hidrofobik olarak geliştirilmiş polimerlerin çözelti içerisinde davranışları, polimer, yüzey aktif madde, korozyon önleyici konsantrasyonu, glikol-su oranı, pH ve sıcaklık ile değişim göstermektedir.

4.2.2.1.1 Konsantrasyon etkisi

Çözelti içerisindeki çözünmüş polimer konsantrasyonu arttıkça çözeltinin viskozitesinin de arttığı bilinen bir gerçektir, fakat HMPA polimeri hidrofobik olarak geliştirildiği için çözelti içerisindeki davranışı diğer suda çözünen polimerlerden farklıdır. Polimer zincirleri üzerindeki hidrofobik gruplar sulu ortamda birbirleriyle etkileşmeyi tercih ederler. Zincirin diğer kısmındaki karboksilik gruplar ise tamamen su molekülleriyle etkileşir ve polimer suda çözünür. Çözelti içerisindeki bu değişik durum lineer olmayan bir viskozite-polimer konsantrasyonu ilişkisine neden olur. Yapılan deneyler ardından çözeltilerde 3 farklı konsantrasyon bölgesi görülmüştür (Bakınız Şekil 4.4). Bu farklılık hidrofobik gruplar arasındaki etkileşmelerin konsantrasyon ile değişmesiyle açıklanabilir. Birinci bölgede ($c<<c_L$) polimer zincirlerinin her biri karışımda tek olarak bulunurlar ve hidrofobik gruplar sadece kendi aralarında etkileşirler, dolayısıyla zincir

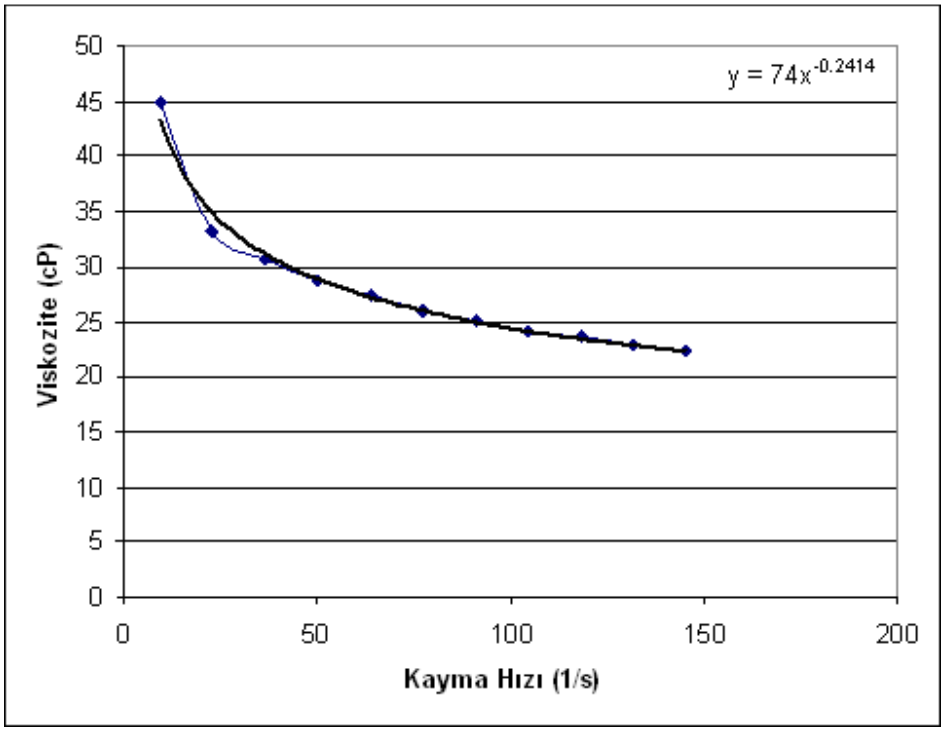
kıvrılır ve halka şekline gelir. Bu durumda polimer suda ayrı bir faz gibi davranır ve karıştırılmadan bekletilen çözeltide polimer fazı beyaz olarak dibe çöker. İkinci bölgede ($c_L < c < c_U$) konsantrasyonun artmasıyla polimer zincirleri iç içe geçmeye başlarlar ve hem zincir içinde hem de zincirler arasında hidrofobik etkileşmeler başlar. Bu yüzden bu bölgede viskozite çok fazla artar. Karışımda daha önceki bölgedeki gibi faz ayrımı gözlenmez ancak karışım homojen bir çözelti gibi değil polimer ve sudan oluşan süspansiyon halindedir. Üçüncü bölgede konsantrasyon artmasıyla polimer zincirleri arasındaki hidrofobik etkileşmeler artar ancak viskozite artışı konsantrasyon artışına göre düşük olur **[**38**]**.



Şekil 4.4 Konsantrasyona bağlı olarak değişen hidrofobik etkileşim bölgeleri [**38**]**. (c_L: düşük konsantrasyon, c_U: yüksek konstrasyonu)**

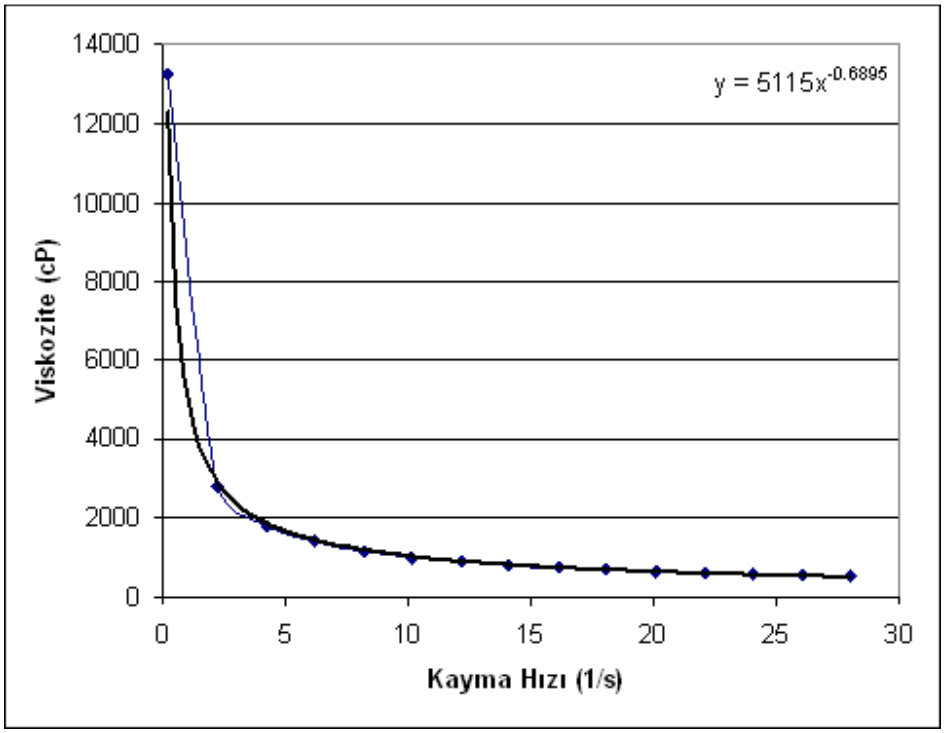
Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7'de HMPA çözeltilerinin artan konsantrasyon ile viskozite değişimi görülmektedir.

Ağırlıkça % 1'lik hazırlanan HMPA sulu çözeltilerinin reolojik davranışı Şekil 4.5'de görülmektedir. Çözelti düşük kayma hızlarında 45 cP, yüksek kayma hızlarında ise 20 cP viskoziteye sahiptir. Şeklin köşesinde bulunan denklem eğrinin üs denklemidir ve üs değeri sıvının psödolastikliği hakkında fikir verir. Bu denklem hakkında detaylı bilgi ilerleyen bölümlerde yer almaktadır.



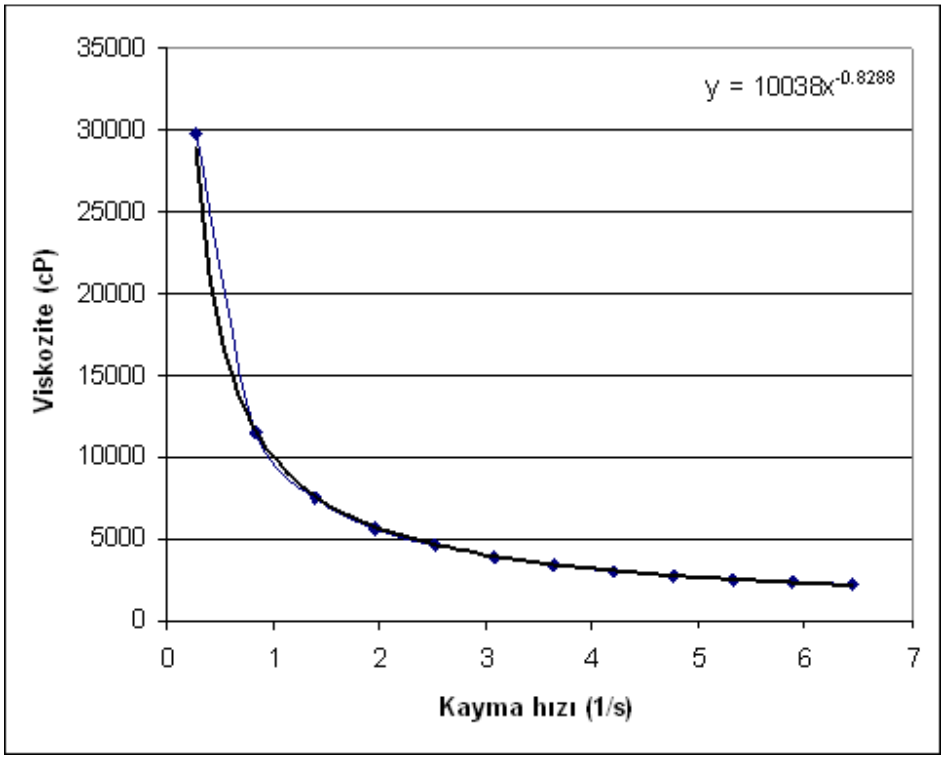
Şekil 4.5 %1'lik hazırlanan HMPA sulu çözeltilerinin reolojik davranışı

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi polimer konsantrasyonu iki katına çıkarıldığında çözeltinin viskozitesi çok yüksek değerlere çıkmaktadır. Bu duruma sebep olarak polimer zincirleri arasındaki hidrofobik etkileşimler ile oluşan ağsı yapı gösterilebilir. Çözeltideki viskozite artışının yanı sıra psödoplastik davranışta artmıştır.



Şekil 4.6 % 2'lik hazırlanan HMPA sulu çözeltilerinin reolojik davranışı

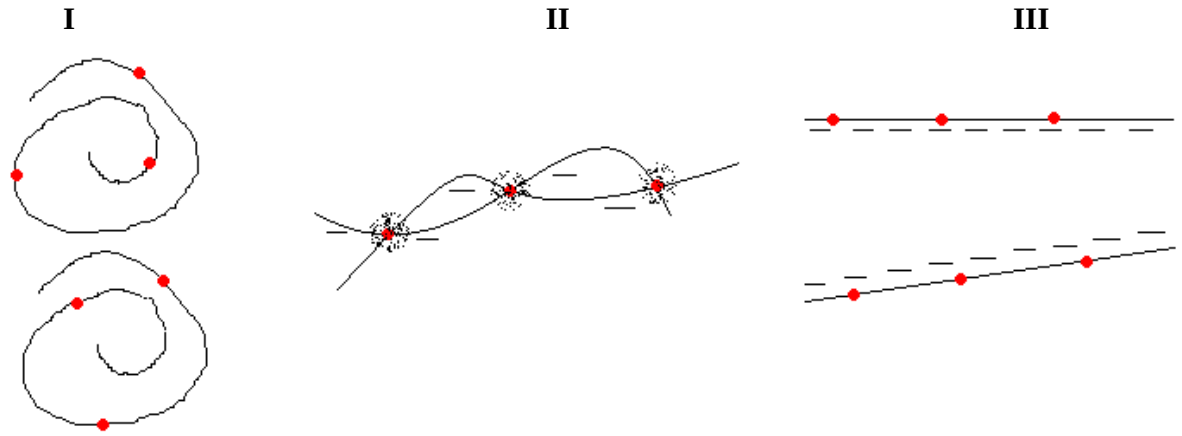
Şekil 4.7'den de görülebildiği gibi polimer konsantrasyonu daha fazla artırılırsa çözeltinin viskozite artışı önceki durumdan daha az olmaktadır. Bu sonuç polimer konsantrasyonu ile viskozite ilişkisini doğrulamaktadır.



Şekil 4.7 % 4'lük hazırlanan HMPA sulu çözeltilerinin reolojik davranışı

4.2.2.1.2 İyonizasyon etkisi

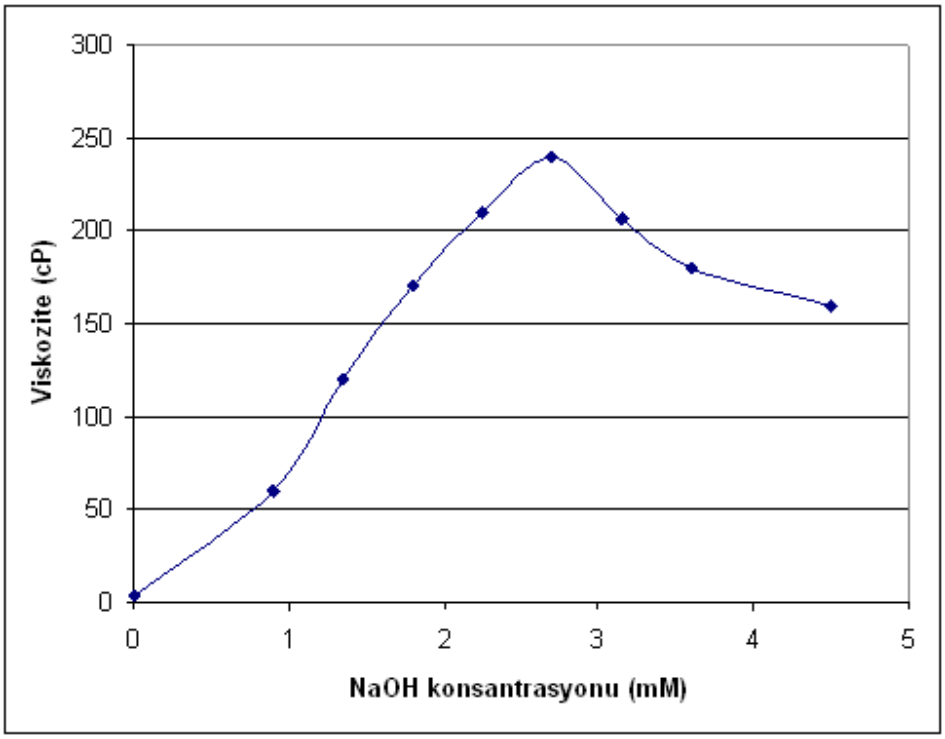
Hidrofobik olarak modifiye edilmiş polimer, suyun içerisine atıldığında hidrofobik gruplar kendi zincirlerindeki veya başka zincirlerdeki hidrofobik gruplarla etkileşime girmeye çalışırlar. Bu sayede kendilerini sulu ortamdan olabildiğince uzaklaştırmaya çalışırlar. Bu sırada hidrofilik monomerlerden oluşan grup ise suda çözünerek iyonize olur. Eğer tamamen iyonize olurlarsa elektriksel yükle yüklenen monomerler Coulomb Yasası gereği birbirlerini iterler ve bu durumda hidrofobik gruplar ne kendi zincirlerindeki ne de diğer zincirler içerisindeki hidrofobik gruplarla etkileşemezler (Şekil 4.8, III. Durum). Ancak bu iyonizasyon derecesi aşağılara çekildiğinde hidrofobik gruplar diğer zincirlerdeki hidrofobik gruplar ile etkileşebilmektedir (Şekil 4.8, II. Durum). Fakat iyonizasyon derecesi çok aşağılara çekildiğinde de zincirler kendi içerisine kıvrılırlar ve miseller oluştururlar, bu durumda hidrofobik etkileşimler her polimer zincirinin içinde ayrı ayrı oluşur ve karışıklıklardan oluşan ağsı yapı kaybolur (Şekil 4.8, I. Durum). Polimerin iyonizasyon derecesine göre zincirlerin davranışı aşağıda Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 İyonizasyon derecesine göre zincirlerin davranışı (Kırmızı noktalar hidrofobik grupları ifade eder)

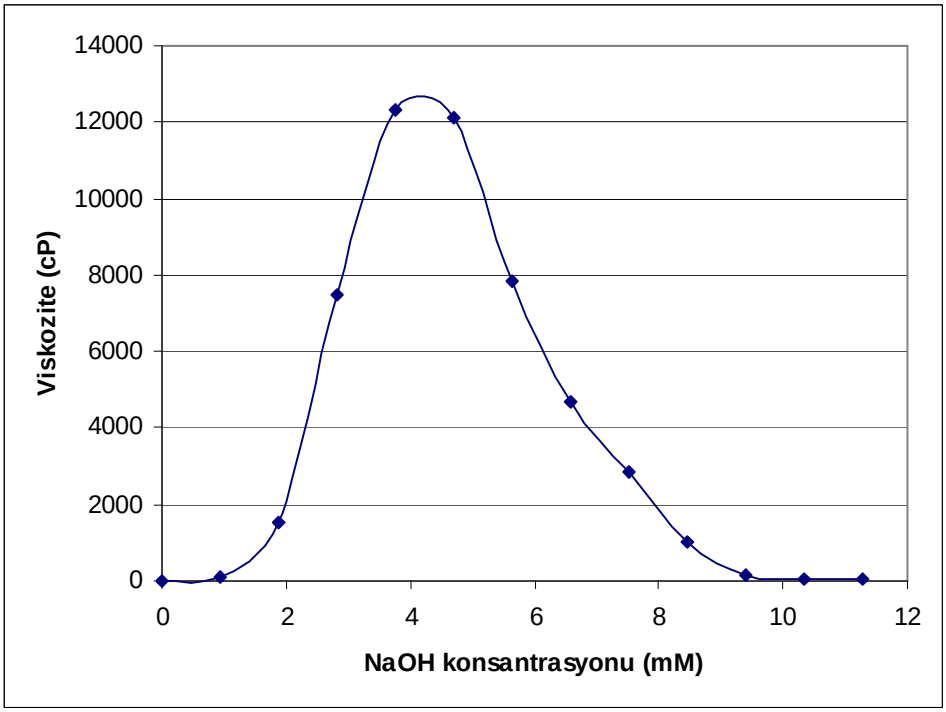
HMPA sulu çözeltilerinin viskozitesinin pH ile değişimi değişik polimer konsantrasyonlarında ölçülmüş ve aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar varsayılan etkileşimleri doğrulamıştır.

İlk olarak, % 0.05 HMPA çözeltilerinin düşük kayma hızlarındaki viskozitesinin pH ile değişimi Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere viskozite belli bir pH değerine kadar artmış daha sonra artan pH ile ilk değerine geri dönmüştür.



Şekil 4.9 % 0.05 HMPA çözeltisinin (50 % su and 50 % glikol) artan NaOH konsantrasyonu ile düşük kayma hızlarındaki viskozitesinin değişimi

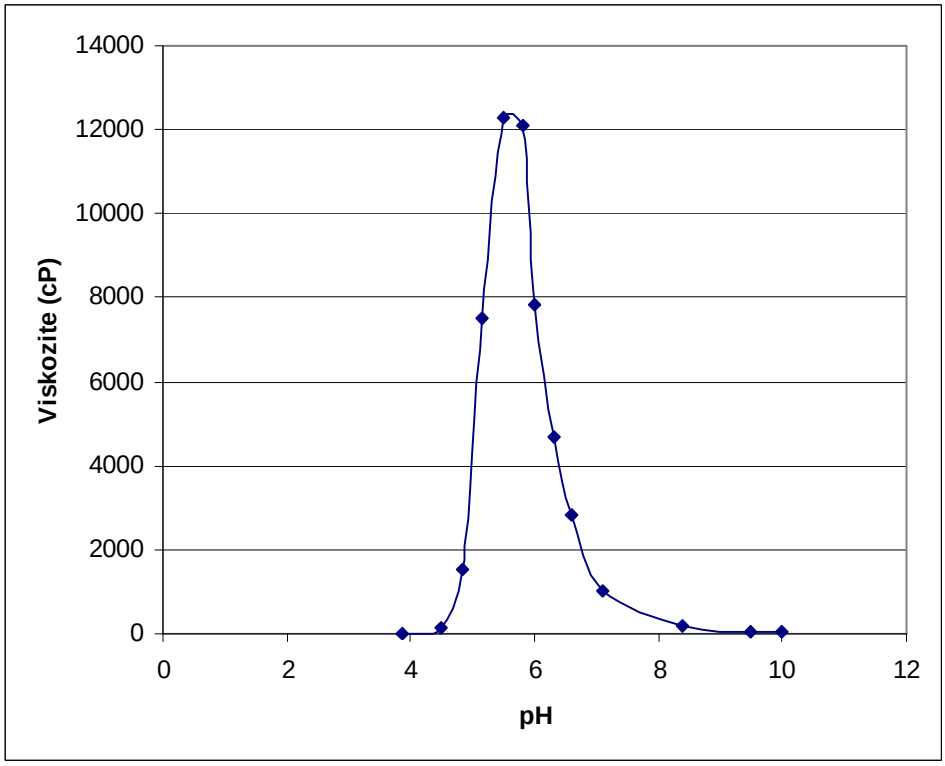
% 0.05'lik HMPA çözeltilerinde en yüksek viskozite 2.8 mM NaOH için 250 cP olarak elde edilmiştir. Bu NaOH konsantrasyonunda pH değeri 6 olarak ölçülmektedir. Polimerin çözeltideki konsantrasyonu polimeri akrilik asit homopolimeri olarak kabul ederek 7 mM olarak bulunmuştur. Bu durumda maksimum viskozite polimer konsantrasyonunun % 40'ı kadar NaOH konsantrasyonunda elde edilmiş olmaktadır. Polimer konsantrasyonu % 0.075'e çıkarıldığında viskozite artışının çok daha fazla olduğu görülmektedir (Bakınız Şekil 4.10). Bu artışın sebebi zincirler arasında hidrofobik grupların etkileşimleri ile açıklanabilir. Artışın daha dar bir alanda olmasının nedeni ise zincirlerin artan hidrodinamik hacimleri ile açıklanabilir.



Şekil 4.10 % 0.075 HMPA çözeltisinin (50 % su and 50 % glikol) artan NaOH konsantrasyonu ile düşük kayma hızlarındaki viskozitesinin değişimi

% 0.075'lik HMPA (10.42 mM) çözeltileri için maksimum viskozite 4.2 mM NaOH konsantrasyonunda elde edilmiştir. Bir önceki durumdaki gibi maksimum viskozitenin çözeltideki polimerin % 40'ı kadar NaOH eklenmesiyle elde edildiği görülmektedir. Bu durumda genel olarak çözeltideki polimer konsantrasyonunun % 40'ı kadar katılan NaOH ile maksimum viskozitenin elde edilebileceği söylenebilir.

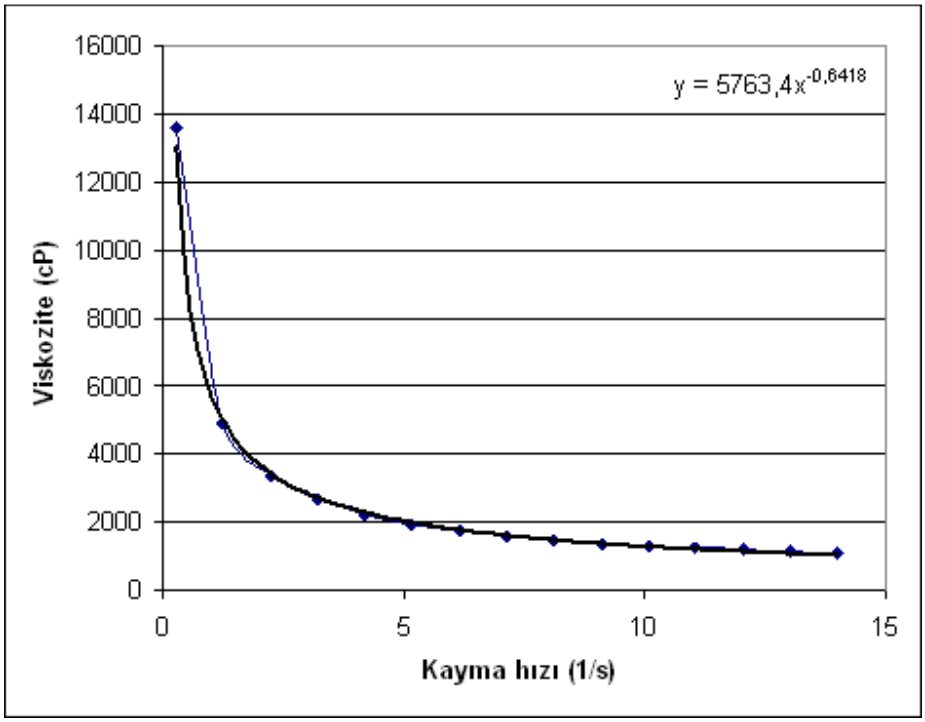
Polimer çözeltisinin pH ile viskozitesinin değişimi Şekil 4.11'de görülmektedir. Viskozite pH=4 civarında artmaya başlamakta ve pH=6'da maksimum değerine ulaştıktan sonra düşmeye başlamaktadır.



Şekil 4.11 % 0.075 HMPA çözeltisinin (50 % su and 50 % glikol) artan pH ile düşük kayma hızlarındaki viskozitesinin değişimi

NaOH'ın % 0.1'lik HMPA çözeltileri üzerindeki etkisini gözlemlemek için ayrıca deneyler yapılmıştır fakat viskozite değerleri kullanılan reometrenin ölçüm limitlerini aştığından sonuçlar burada gösterilmektedir. Viskozitedeki bu artışın sebebi olarak polimer zincirleri arasında oluşan hidrofobik etkileşimler gösterilebilir.

Şekil (4.10-4.12)'den görülebildiği üzere polimer konsantrasyonundaki ufak değişimler çözeltilerin viskozitesinde büyük değişimlere sebep olmaktadır. Bu değişimler düşük kayma hızlarındaki viskozitelerde oldukça yüksek olurken, yüksek kayma hızlarında viskozite değerleri birbirlerine yakın çıkmaktadır (Bakınız Şekil 4.13).



Şekil 4.12 % 0.075'lik HMPA çözeltisinin (50 % su-50 % glikol) pH=6'da reolojik davranışı

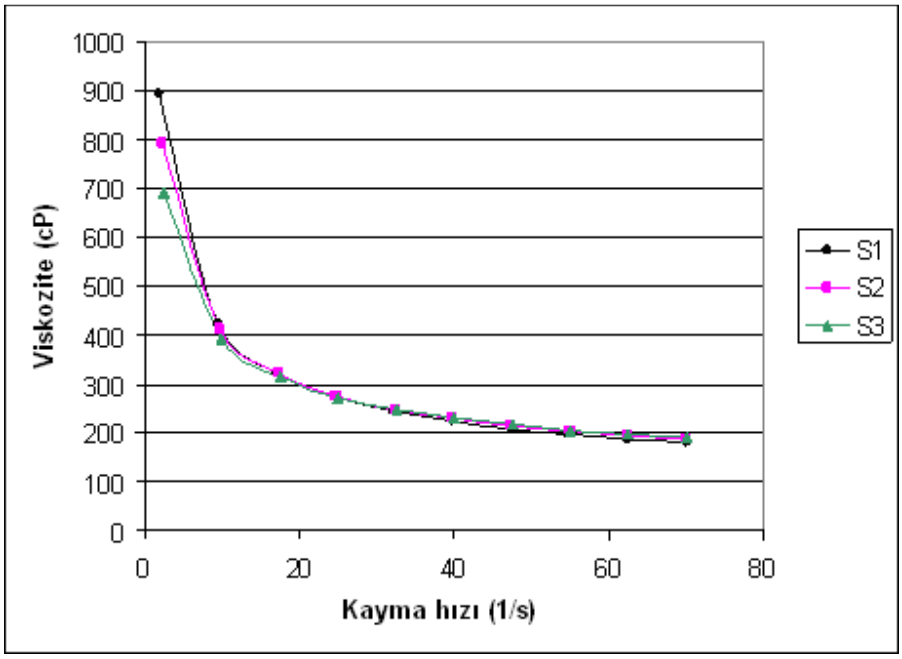
Şekil 4.12'de reolojik davranışı görülen sıvının üs denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\eta = 5763.4\,\gamma^{-0.6418} \qquad (4.1)$$

Bu denklemde, "γ" kayma hızını (x) göstermekte, "η" ise viskozite (y) değerini göstermektedir. -0.6418 ise çözeltinin üs değeridir ve çözeltinin psödoplastikliği hakkında fikir vermektedir. Bu değer büyüdükçe çözeltinin psödoplastikliği artmaktadır. Genel olarak uçakların yerden havalanması sırasında kanatlarda oluşan kayma hızı 140 1/s 'dir. 140 değeri denklemdeki kayma hızı yerine yazılırsa viskozite değeri 241.8 cP olarak bulunur. Bu durumda çözeltinin düşük kayma hızlarındaki viskozitesinin 13000 cP civarında ve yüksek kayma hızlarındaki viskozitesinin ise 240 cP civarında olduğu söylenebilir. Çözeltinin viskozite kaybı yaklaşık olarak % 99 oranındadır. Çözeltilerin sergiledikleri bu yüksek performans onları şu an kullanılmakta olan sıvıların yanında özel kılmakta ve belki de daha iyi hale getirmektedir. Çözeltilerin sergiledikleri viskozite değerleri polimer konsantrasyonu veya pH değeri değiştirilerek kolayca ayarlanabilir.

4.2.2.1.3 Glikol-su konsantrasyonu etkisi

Daha önce bahsedildiği gibi buzlanmayı engelleyici çözeltilerde çözücü olarak glikol ve su karışımları kullanılmaktadır. Bunun sebebi glikol-su karışımları ile çok düşük donma noktaları elde edilebilmesidir. Bu çalışmada literatürden elde edilen bilgiler ışığında daha çok % 50 su - % 50 glikol içeren çözeltiler kullanılmıştır ancak % 60 ve % 70 glikol içeren çözeltilerde test edilmiştir. Çözeltilerin glikol su oranı değiştikçe donma noktası ve viskoziteleri de değişmektedir. Şekil 4.13'de sabit HMPA konsantrasyonu ve pH değerlerine sahip çözeltilerde glikol konsantrasyonu değişimi ile değişen viskozite değerleri gösterilmektedir.

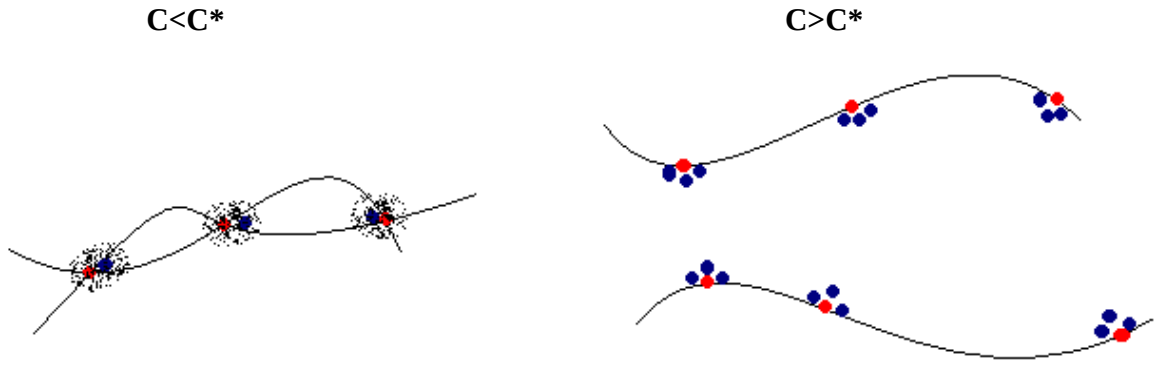


Şekil 4.13 % 0.064'lik HMPA çözeltilerinin değişen glikol konsantrasyonlarında reolojik davranışları (S1: 50 % su-50 % glikol, S2:40 % su-60% glikol, S3: 30 % su-70 % glikol)

Şekil 4.13'ten anlaşıldığı üzere çözeltideki glikol konsantrasyonu arttıkça düşük kayma hızlarındaki viskozite değerleri düşmektedir. Bu duruma sebep olarak su molekülleri ile polimer zincirleri arasında oluşan hidrojen bağları gösterilebilir. Bilindiği gibi su polar yapısından dolayı hidrojen bağı kurma yeteneği açısından glikolden daha üstündür **[39]**.

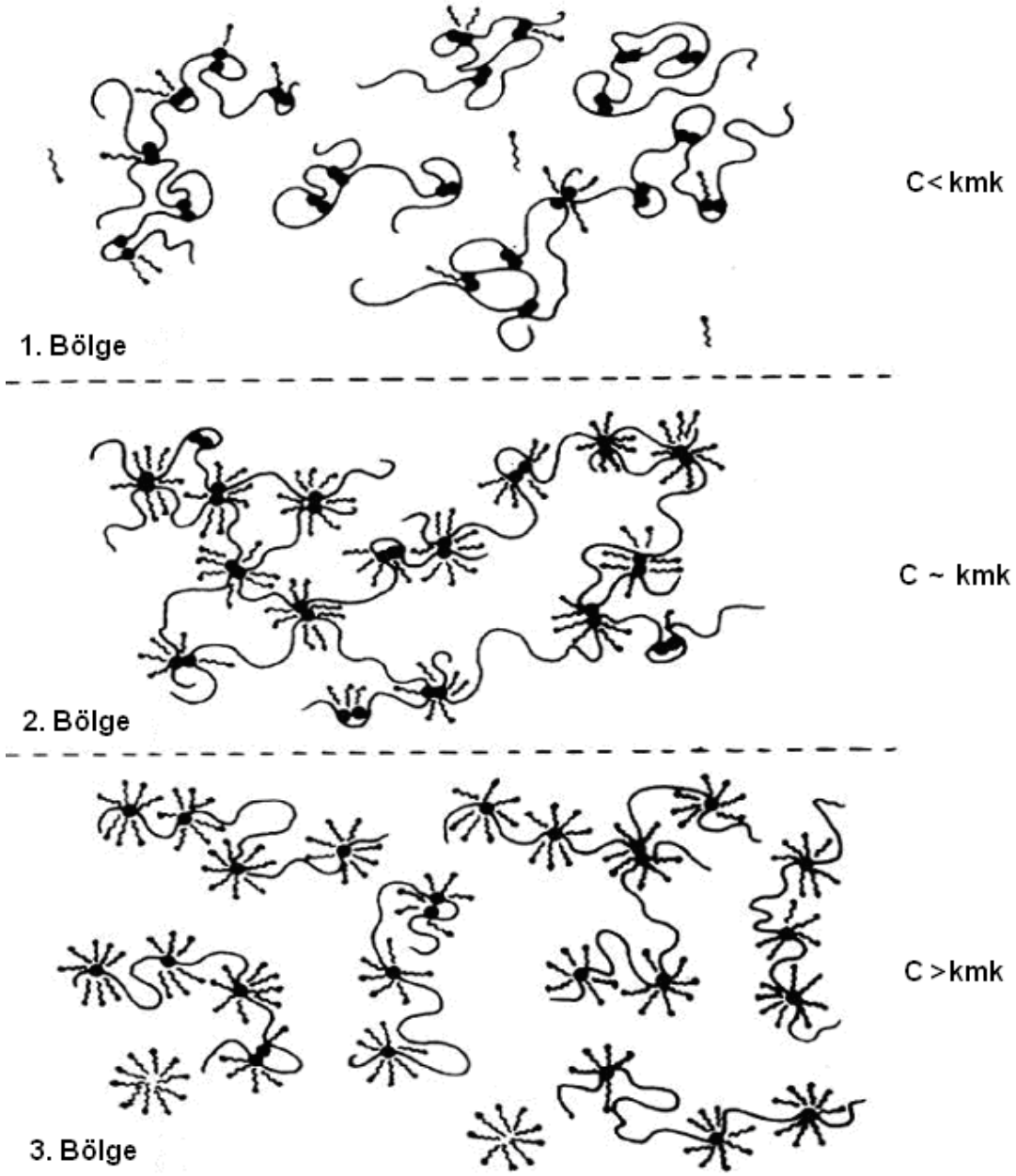
4.2.2.1.4 Yüzey aktif madde etkisi

Polimer zincirlerinde bulunan hidrofobik gruplar yüzey aktif maddelerle karşılaştıklarında bu maddelerle etkileşime girerler. Daha önce belirtildiği gibi hidrofobik gruplar ve yüzey aktif maddeler aynı şekilde uzun alkili gruplar içerirler ve bu gruplar birbirleriyle ikincil kuvvetlerle bağlanırlar, bu yeni bağlar zincirlerdeki hidrofobik gruplar arasında oluşan bağlara ek olarak oluşurlar ve böylece dolaşıklık noktalarını güçlendirirler. Bu sayede polimer zincirlerinde oluşan ağ daha dayanıklı olur ve akışa karşı olan direnç artar. Yalnızca hidrofobik gruplar arasında oluşan bağlardaki durum gibi yeni oluşan ağsı yapı da aynı şekilde kayma hızı arttıkça çözülür ve akışa izin verir. Kayma hızı düştüğünde ise tekrar eski haline gelen bağlar sayesinde çözelti daha yüksek bir psödoplastik özellik kazanmış olur. Yüzey aktif maddelerin çözelti içerisindeki davranışları konsantrasyona göre değişim göstermektedir. Kritik misel konsantrasyonuna (kmk) kadar yukarıda anlatılan durum gibi zincirler arasında oluşan hidrofobik bağlar güçlenirken (Şekil 4.14, C<C*), kmk'dan sonra yüzey aktif moleküller her bir hidrofobik grup ile ayrı ayrı etkileşir ve zincirler arasında oluşan ağ yapısı kaybolur (Şekil 4.14 C>C*). Bu da psödoplastik özelliğin yitirilmesine sebep olur. Yüzey aktif maddelerin çözelti içerisindeki davranışları aşağıda Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Yüzey aktif maddelerin çözelti içerisindeki davranışları (Kırmızı noktalar hidrofobik grupları, mavi noktalar yüzey aktif maddeleri ifade eder) (C*: Kritik misel konsantrasyonu)

Çözelti içerisindeki yüzey aktif maddeler ile polimer zincirleri arasında oluşan kuvvetler ve bunların çözelti içerisindeki ağsı yapıya etkisi aşağıda Şekil 4.15'da daha detaylı gösterilmektedir.



Şekil 4.15 Hidrofobik olarak geliştirilmiş polimer zincirleri ile yüzey aktif maddeler arasında 3 farklı konsantrasyon bölgesinde oluşan etkileşimler (Hidrofobik gruplar siyah nokta ile gösterilmiştir) [40].

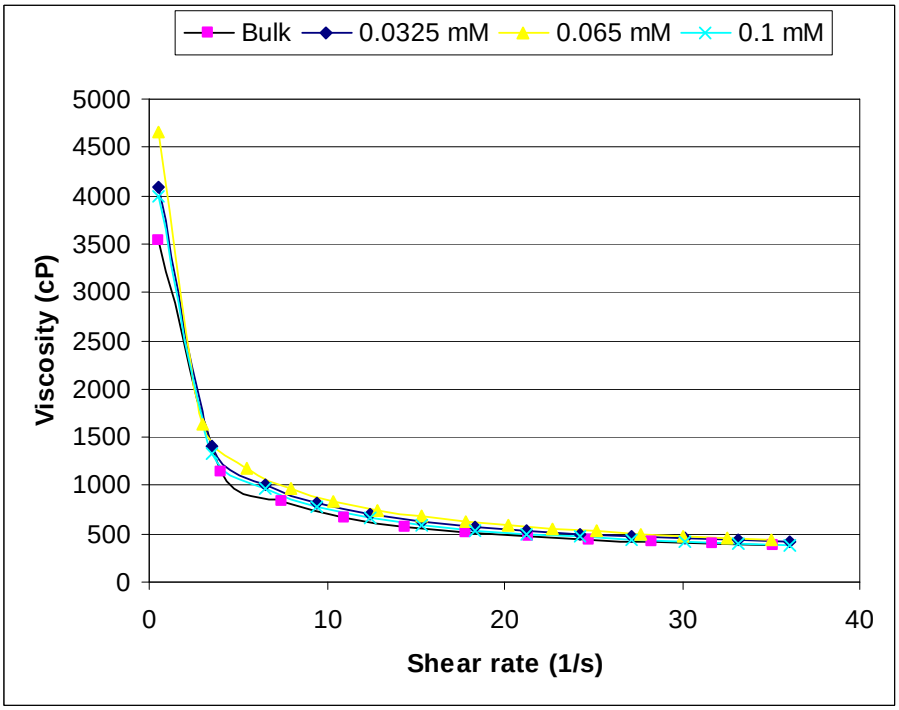
Yüzey aktif maddelerin çözeltilerin reolojisi ve yüzey gerilimini nasıl etkilediğini gözlemlemek için 3 farklı anyonik, 3 farklı katyonik ve 1 naniyoik YAM ile deneyler yapılmıştır. YAM'ler genel olarak yüzey gerilimini düşürürken çözeltilerin viskozitesini farklı şekillerde etkilemişlerdir.

4.2.2.1.4.1 Anyonik yüzey aktif maddeler:

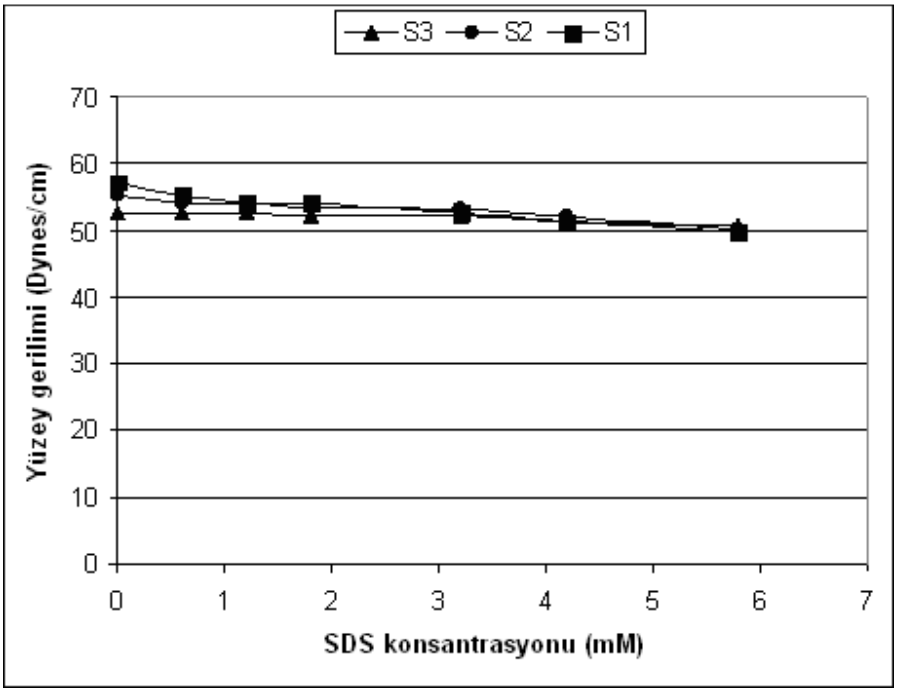
Sodyum dodesil sülfat (SDS) :

Kullanımı oldukça yaygın olan bu yüzey aktif madde'nin kimyasal formülü $CH_3(CH_2)_{11}SO_4^-Na^+$ şeklindedir. Çözeltiye atıldığında 12 karbonlu bir aniyonik alkili grup iyonlaşır, ve bu iyonlar hidrofobik gruplar arasında yeni bağlar oluşturarak ağsı yapıyı güçlendirirler. Daha önce de bahsedildiği gibi yüzey aktif maddeyi çözeltiye kmk'nın altında katmak gerekmektedir. Ancak yapılan deneyler göstermiştir ki, yüzey aktif madde'nin sulu çözeltileri için verilen kmk değerinin çok altında katılan miktarlarda dahi polimer çözeltisinin viskozite değeri yüksek oranda düşmektedir. Bu da polimer-YAM çözeltilerinde kmk değerinin değiştiğini göstermektedir.

SDS ile yapılan viskozite ve yüzey gerilimi deneylerinin sonuçları aşağıda Şekil 4.16 ve 4.17 'de gösterilmiştir.



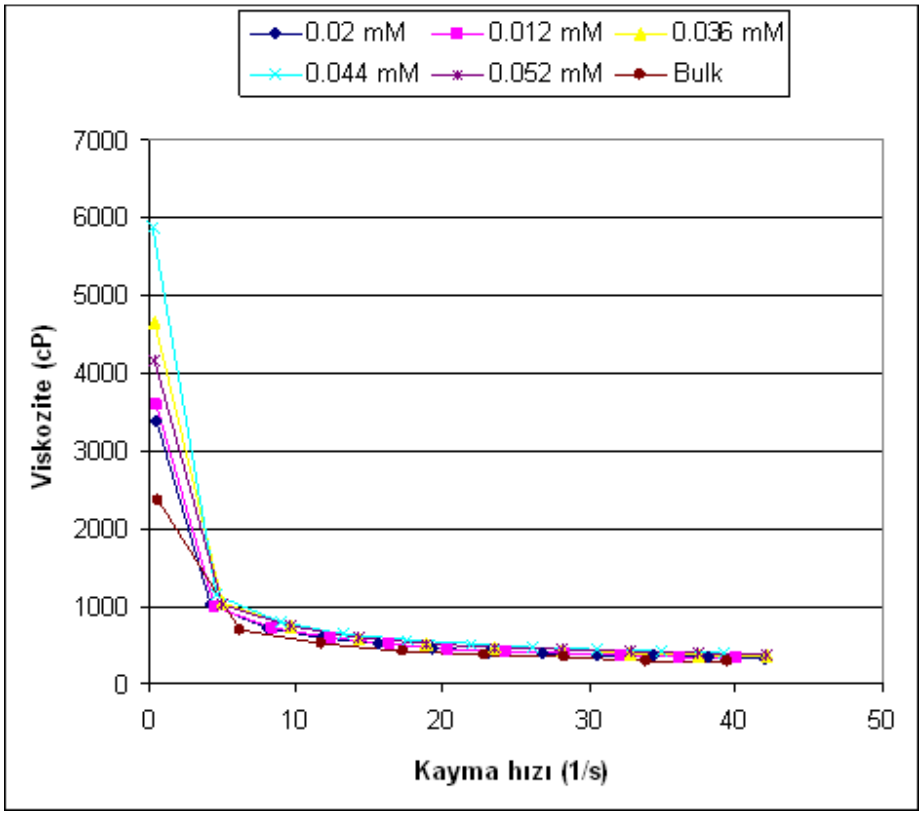
Şekil 4.16 % 0.07'lik HMPA çözeltisinde (50 % su and 50 % glikol) artan SDS konsantrasyonu ile viskozite değişimi



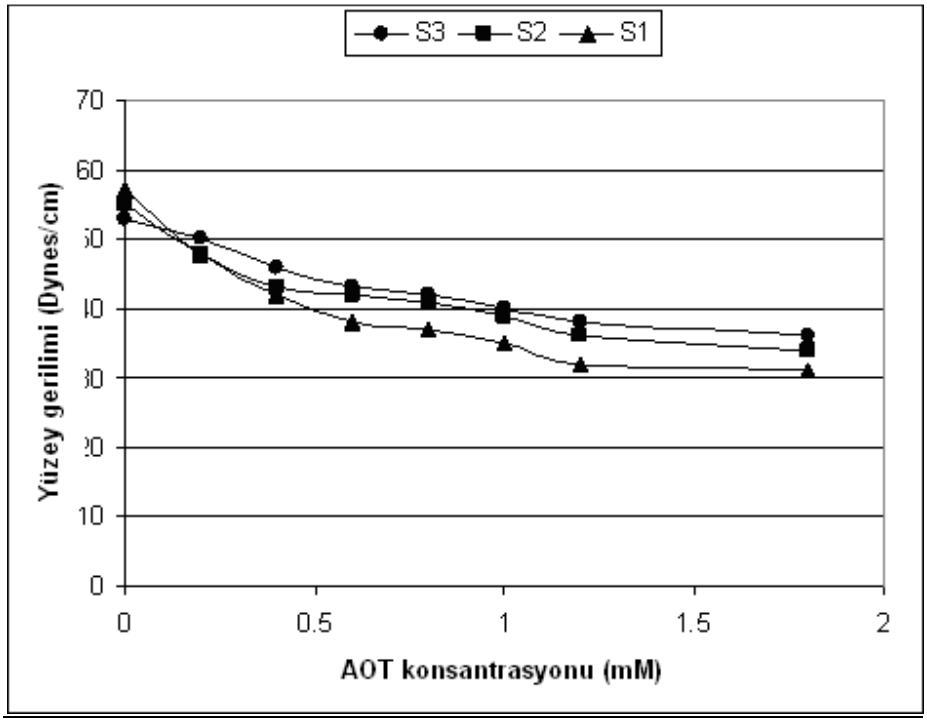
Şekil 4.17 HMPA çözeltilerinin artan SDS konsantrasyonu ile farklı glikol-su oranlarında yüzey geriliminin değişimi (S1: %50 glikol-%50 su, S2: %60 glikol-%40 su, S3: %70 glikol-%30 su)

Aerosol-T (AOT):

Aerosol-T, SDS gibi çok fazla kullanılmakta olan bir yüzey aktif maddedir ve kimyasal formülü $(CH_2COOC_8H_{17})(CHCOOC_8H_{17})SO_3^-Na^+$ şeklindedir. Görüldüğü gibi SDS'den daha fazla miktarda alkili grup içeren bu maddenin daha güçlü bir yüzey aktif madde olduğu düşülmektedir. AOT ile yapılan viskozite ve yüzey gerilimi deneylerinin sonuçları aşağıda Şekil 4.18 ve 4.19 'da gösterilmiştir.



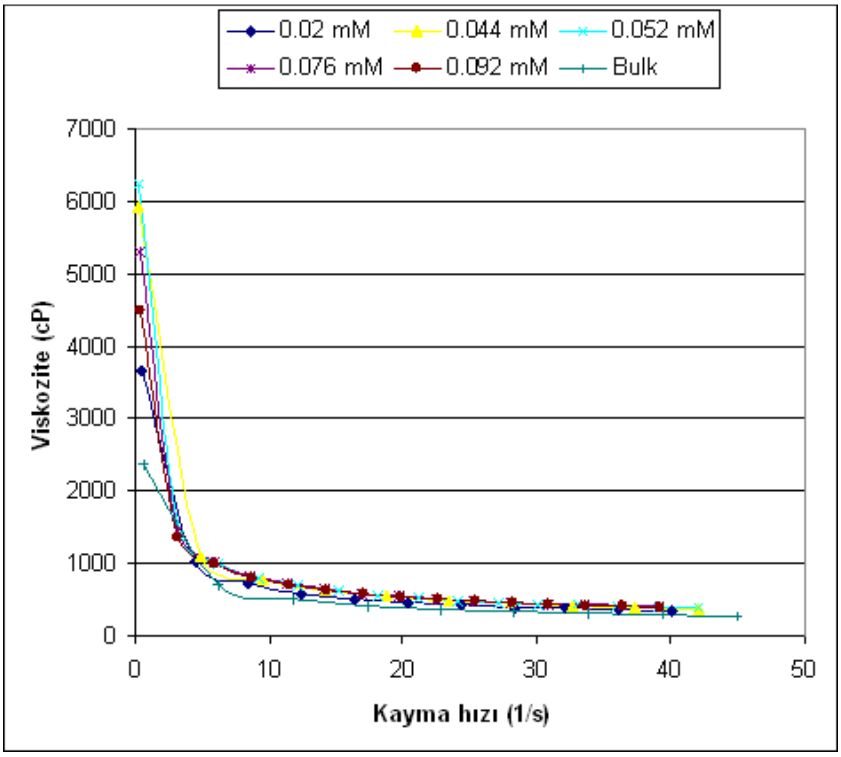
Şekil 4.18 % 0.067'lik HMPA çözeltisinde (50 % su and 50 % glikol) artan AOT konsantrasyonu ile viskozite değişimi



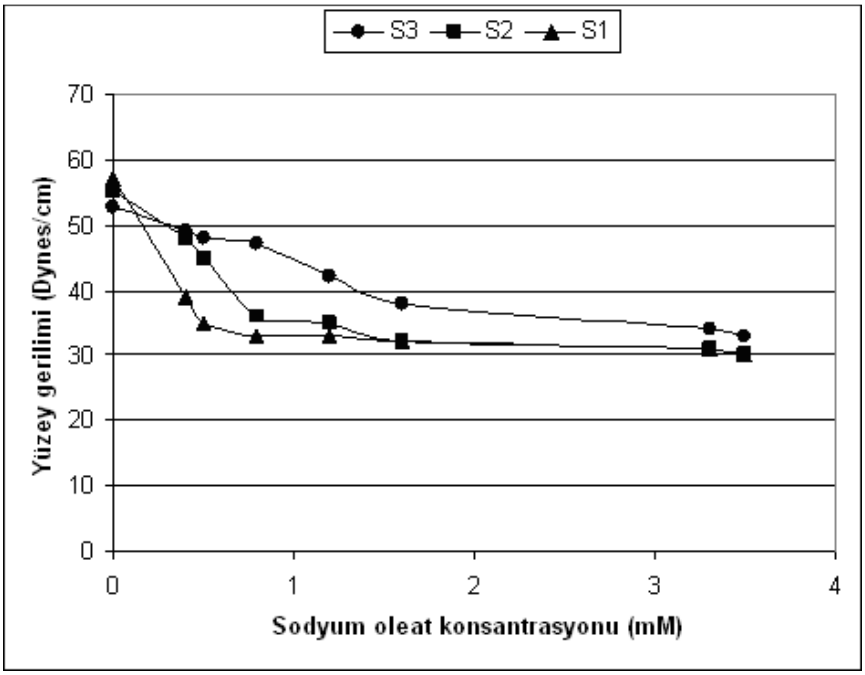
Şekil 4.19 HMPA çözeltilerinin artan SDS konsantrasyonu ile farklı glikol-su oranlarında yüzey geriliminin değişimi (S1: %50 glikol-%50 su, S2: %60 glikol-%40 su, S3: %70 glikol-%30 su)

Sodyum Oleat:

Oleik asidin sodyum hidroksit ile tepkimesinden elde edilen sodyum oleat sıkça kullanılmakta olan yüzey aktif maddelerden biridir. Kimyasal formülü, $CH_3(CH_2)_7(CH)_2(CH_2)_7COO^-Na^+$ şeklindedir. Polimer çözeltilerine etkisi önceki YAM'lerle benzer olmuştur ve yüzey gerilimi düşürmede diğerlerinden daha başarılı olduğu gözlenmiştir. Sodyum oleat ile yapılan viskozite ve yüzey gerilimi deneylerinin sonuçları aşağıda Şekil 4.20 ve 4.21 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 % 0.067'lik HMPA çözeltisinde (50 % su and 50 % glikol) artan Sodyum oleat konsantrasyonu ile viskozite değişimi

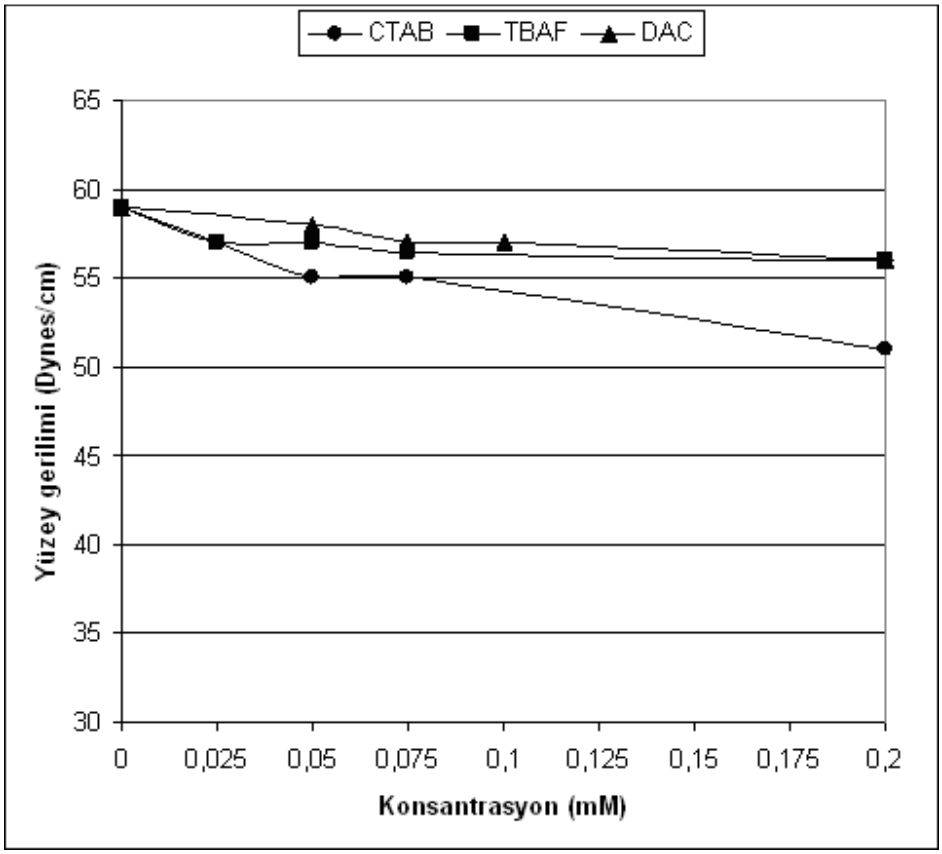


Şekil 4.21 HMPA çözeltilerinin artan sodyum oleat konsantrasyonu ile farklı glikol-su oranlarında yüzey geriliminin değişimi (S1: %50 glikol-%50 su, S2: %60 glikol-%40 su, S3: %70 glikol-%30 su)

Yapılan deneyler ardından kullanılan 3 anyonik yüzey aktif madde arasında en başarılısının sodyum oleat olduğu gözlenmiştir. Sodyum oleat 0.4 mM konsantrasyonda polimer çözeltilerinin yüzey gerilimini 40 Dynes/cm ‘e düşürebilmiştir. Aynı zamanda 0.052 mM konsantrasyona kadarda çözeltinin viskozitesini düşürmemektedir.

4.2.2.1.4.2 Katyonik yüzey aktif maddeler

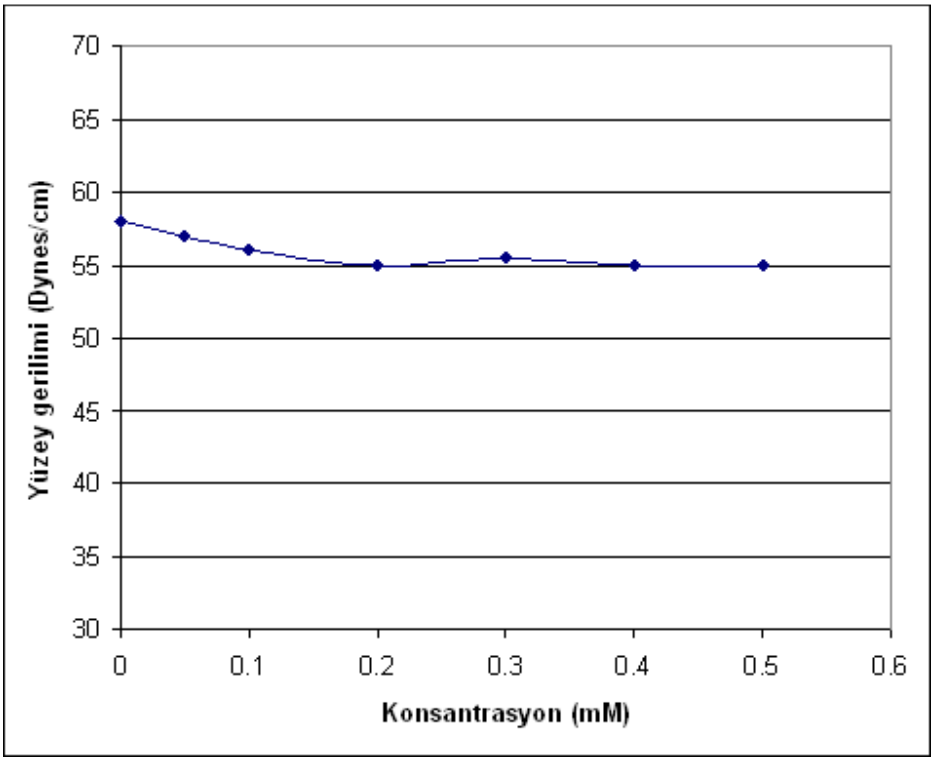
Katyonik YAM’ler genel olarak çözeltilerin viskozitesini artırmada anyonik YAM’lere gore daha başarılı olmuşlardır ancak, yüzey gerilimini düşürmede başarısız olmuşlardır. Bu duruma neden olarak YAM’ler arasındaki yük farkı verilebilir. Poliakrilik asit suda iyonlaşıp negative hale gelir ve katyonik YAM’lerde artı yüklü olduklarından polimer zincirleri ile etkileşirler ve YAM’ler daha çok ağsı yapı içerisinde kalırlar. Anyonik yüzey aktif maddeler ise polimer zincirleri tarafından itildiğinden yüzeyde toplanırlar ve yüzey gerilimini düşürürler. Bu çalışmada denenen 3 farklı katyonik YAM’nin; tetrabutilamonyum tetrafloroborat (TBAF), dimetildioktadesilamonyum klorit (DAC) ve hekzadesiltrimetilamonyum bromit (CTAB) yüzey gerilimini düşürmekte zayıf kaldıkları için buzlanmayı engelleyici ve önleyici çözeltilerde kullanılamayacağı sonucu çıkarılmıştır (Bakınız Şekil 4.22).



Şekil 4.22 Katyonik yüzey aktif maddelerin polimer çözeltilerinin (% 0.064 HMPA ve % 50 glikol) yüzey gerilimine etkisi

4.2.2.1.4.3 Naniyonik yüzey aktif madde (Triton X-100)

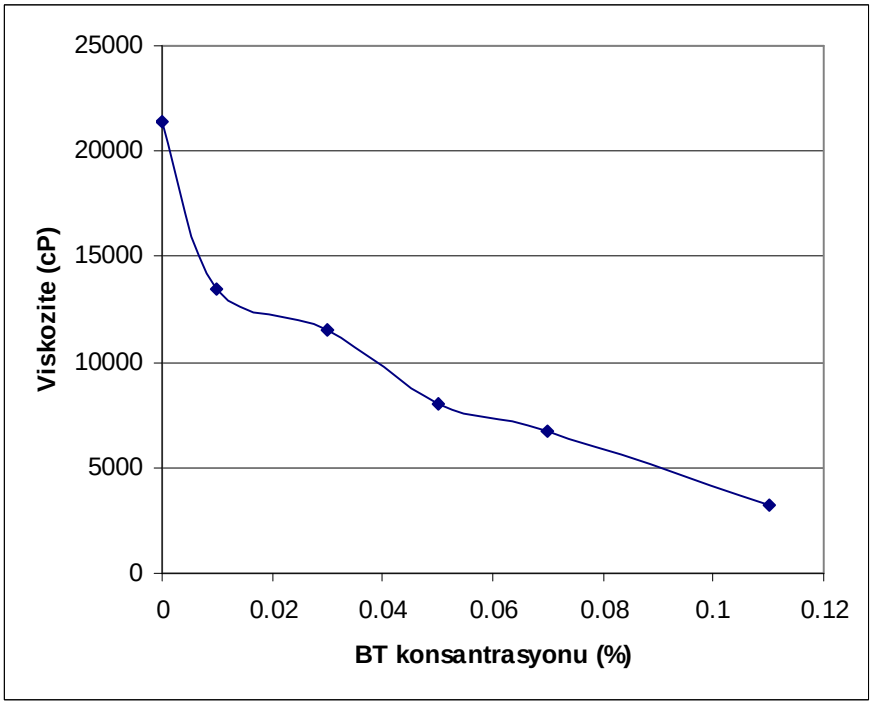
P-tert-oktilfenoksi polietilen eter (Triton X-100) endüstride özellikle ilaç endüstrisinde oldukça fazla kullanılan bir yüzey aktif maddedir. Yapılan testler sonucunda Şekil 4.23'de görüldüğü gibi Triton X-100'ün yüzey gerilimini düşürmede başarısız olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.23 Triton X-100'ün polimer çözeltisinin (% 0.064 HMPA ve % 50 glikol) yüzey gerilimine etkisi

4.2.2.1.5 Korozyon önleyici etkisi

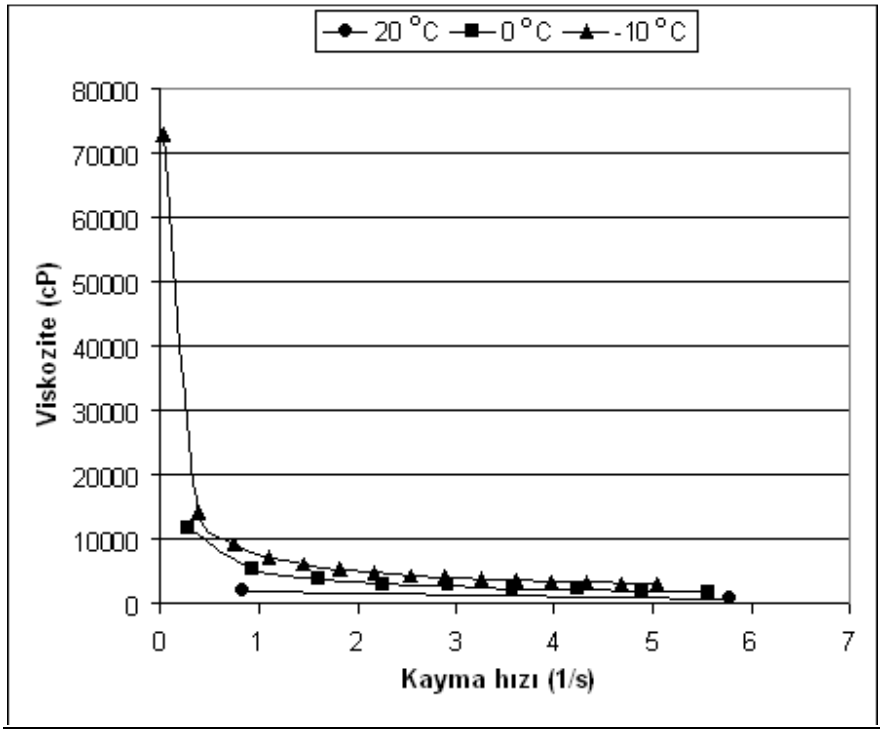
Korozyon önleyici olarak kullanılan benzotriazol (BT)'un aynı zamanda polimer çözeltilerinin viskozitesini de düşürdüğü bulunmuştur. Bu düşüşün sebebi olarak benzatriazolun polimer zincirleri arasında oluşan ağsı yapıyı bozması gösterilebilir. BT'nin viskoziteye etkisi Şekil 4.24'de görülmektedir.



Şekil 4.24 Benzotriazol'un HMPA çözeltisinin viskozitesine etkisi

4.2.2.1.6 Sıcaklık etkisi

HMPA çözeltilerinin viskozitesi beklendiği üzere artan sıcaklıkla azalmaktadır. Sıcaklık viskozite ilişkisinde ilginç olan nokta sıcaklık ile değişen pH değerlerinin çözeltinin reolojisi üzerine etkisidir. Sıcaklık düştükçe poliakrilik asit daha az iyonlaşmaya başlar ve bu durumda çözeltinin pH'ı artar. Eğer hazırlanan çözelti belli bir polimer konsantrasyonu için maksimum viskoziteyi verecek şekilde hazırlandıysa artan pH ile çözeltinin viskozitesi düşmeye başlayacaktır. Ancak, bu sırada düşen sıcaklıkla beraber polimer zincirlerinin hareketlerinin yavaşlamasıyla viskozite artma eğilimi gösterecektir. Bu iki karşı etkinin birleşimi ile çözeltinin son viskozitesi oluşacaktır. Çözeltilerin reolojik davranışı 3 farklı sıcaklık için Şekil 4.25'da gözlenebilir.



Şekil 4.25 HMPA çözeltilerinin (%0.067, 50 % su- 50 % glikol) artan sıcaklıkla reolojik değişimi

4.3 Testler

4.3.1 Donma noktası testleri

Donma noktası testleri -40 dereceye inebilen Revco marka derin dondurucu ile yapılmıştır. Yöntem olarak öncelikle içlerinde termometreyle dondurulan sıvılar daha sonra oda sıcaklığında çözülmeye bırakılmıştır. Daha önce reolojik testleri yapılan sıvılar ile aynı kompozisyonda hazırlanan çözeltiler için elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 Farklı glikol-su konsantrasyonlarında hazırlanan polimer çözeltilerinin donma noktaları

Karışım	Donma noktası (^{o}C)
%50 glikol-%50 su	- 37
%60 glikol-%40 su	< - 40
%70 glikol-%30 su	< - 40

Elde edilen sonuçlardan anlaşıldığı üzere çözeltinin içindeki glikol konsantrasyonun ayarlanmasıyla düşük donma noktaları elde etmek mümkündür. Ancak Şekil 4.14'te görüldüğü gibi çözeltideki glikol konsantrasyonunun artmasıyla viskozitede düşme gözlenmektedir, fakat bu düşüş çözeltideki polimer miktarı artırılarak tolere edilebilir miktarlarda tutulabilir.

4.3.2 Korozyon testleri

Hazırlanan karışımların uçak yüzeyinde herhangi bir aşınma meydana getirip getirmediğini gözlemlemek amacıyla alüminyum üzerinde korozyon testleri yapılmıştır. Buzlanmayı engelleyici sıvılarda korozyon önleyici olarak kullanılan benzatriazol'un farklı konsantrasyonlarında hazırlanan 4 çözelti içlerinden aynı miktarda hava geçecek şekilde iki hafta boyunca oda sıcaklığında alüminyum levhaları ile birlikte bekletilmişlerdir. İki hafta sonra alüminyum levhalarda fiziksel hiç bir değişiklik gözlenmezken, yapılan tartımlarda da ihmal edilebilir küçük ağırlık farklılıkları gözlenmiştir. Karışımların ağırlıkça benzatriazole konsantrasyonları ve içlerindeki alüminyum levhaların test öncesi ve sonrası ağırlıkları aşağıda Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Korozyon testi sonuçları

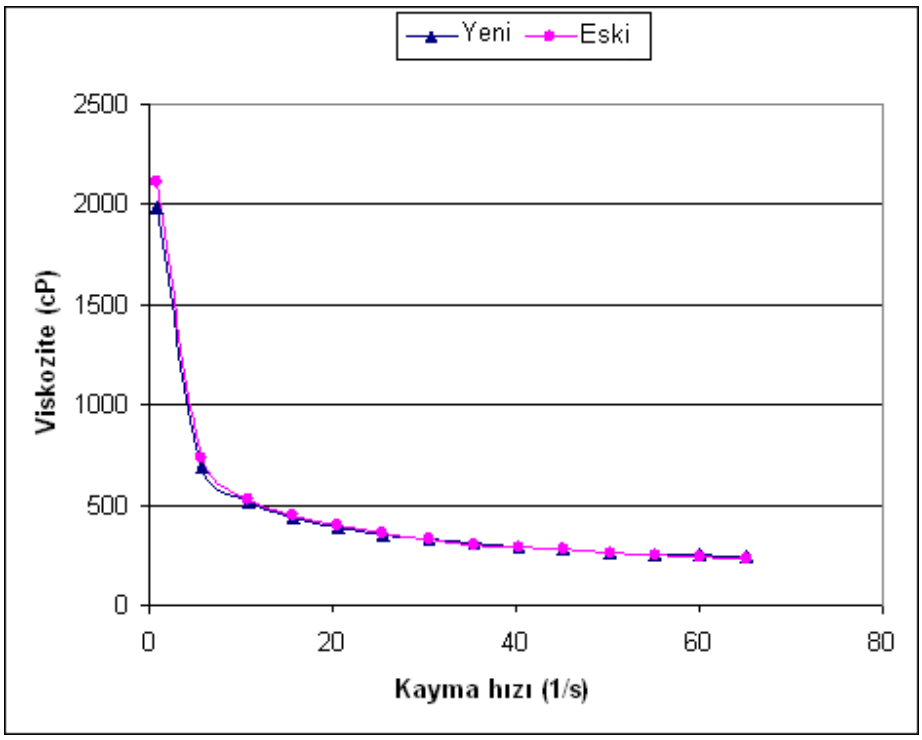
	1	**2**	**3**	**4**
Benzatriazol konsantrasyonu	-	% 0.01	% 0.05	% 0.1
Alüminyumun ilk ağırlığı (g)	6.5587	7.6435	6.0725	5.5487
Alüminyumun son ağırlığı (g)	6.5577	7.6425	6.0725	5.5487
Ağırlık kaybı (g/m^2)	0.48	0.27	0	0

Tablo 4.8'den de net görülebildiği gibi hiç korozyon önleyici katılmamış karışım bile düşük bir ağırlık kaybına uğramıştır (0.48 g/m^2). Bu konudaki standartlara bakıldığında maksimum korozyon limitinin 4 g/m^2 olduğu görülmektedir (AMS 1375). Sonuç olarak hazırlanan karışımların uçak yüzeyinde herhangi bir aşınmaya sebep olmayacağı öngörülmektedir.

Tip-2 çözeltilere uygulanan testlerden sonra aynı prosedürler % 0.01 BT içeren çözeltilere de uygulanmıştır. Bu durumda da 15 gün içerisinde 1m^2'lik yüzeyde 0.23 g ağırlık kaybı gözlenmiştir. Bu değerde standartlar içerisinde kabul edilmektedir.

4.3.3 Stabilite testi

Sıvılara yapılan stabilite testi basit olarak sıvıların raf ömrünü ölçmek için uygulanmıştır. Çalışmanın kısıtlı süresi nedeniyle çözeltiler yalnızca 106 gün yaşlandırılmışlardır. Yaşlandırma süresince hava almayan bir kapta, güneş ışığından korunarak saklanmışlardır. 106 gün sonunda çözeltinin viskozitesine ve yüzey gerilimine bakarak değişikler not alınmıştır. Yüzey gerilimi 106 gün öncesinde ve sonrasında 39 Dynes/cm olarak bulunmuştur. Viskozitedeki değişim ise Şekil 4.26'de görüldüğü gibi oldukça düşük bulunmuştur.

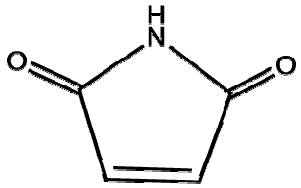


Şekil 4.26 Stabilite testi sonucunda 106 gün yaşlandırılmış çözeltinin ilk ve son hali

Şekil 4.26'den de görülebildiği çözeltinin reolojik davranışı 106 gün sonunda aynı kalmıştır. Bu durumda çözeltinin raf ömrünü yeterli olacağı öngörülebilir ancak kesin sonuç testin SAE AMS 1424-1428 standartlarına uygun bir biçimde 12 ay boyunca yapılmasıyla görülebilecektir.

4.4 Polimerin sentez yoluyla elde edilme çalışmaları

Yukarıda psödoplastik mekanizma içerisinde anlatılan mantığa dayanılarak hidrofobik olarak modifiye edilmiş polimerler İTÜ Kimya Bölümü'nde sentezlenmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda ilk olarak poliakrilik asitin hidrofobik modifiyesine çalışılmıştır. Bu modifiyenin en kolay yolunun polimerin sentez aşamasında olacağı düşünülmüştür. Akrilik asit ile beraber polimerleştirilecek hidrofobik monomer için maleimit en uygun aday olarak gözükmektedir. Bu kimyasalın moleküler şekli aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.27 Maleimit

Şekilde görülen azota bağlı hidrojen yerine, amin yardımı ile uzun alkili gruplar takmak mümkün olmaktadır. Detaylı prosedürü Ek 1'de anlatılan bu sentez sayesinde elde edilen molekül, maleimitin nitrojen ucuna uzun alkili bir grup takılmış hali olmaktadır. Kullanılan aminin içerdiği alkili grup uzunluğuna göre iki çeşit amin ile reaksiyon gerçekleştirilmiştir: dodesil amin, hekzadesil amin. Elde edilen monomerler daha sonra akrilik asit ile polimerleştirilerek nihai ürün elde edilmiştir. Ancak farklı hidrofobik monomer konsantrasyonları ile hazırlanan polimerlerin reolojik ölçümleri sonucunda olumlu herhangi bir sonuç elde edilememiştir. Bu konudaki çalışmalar detaylı hale geldiği için bir başka projenin konusu olabilecek niteliktedir, dolayısıyla bu projede çalışmalara devam edilmemiştir.

4.5 Buzlama giderici ve önleyici sıvıların dalga karakteristik özellikleri

Bu bölümdeki amaç, geliştirilmiş ve ticari olarak kullanılmakta olan buzlanma giderici ve önleyici sıvıların karakteristik dalga özelliklerini karşılaştırmak ve bu sayede geliştirilmiş olan sıvıların aerodinamik kabul testinden geçip geçemeyeceğini tahmin etmektir.

Bunun için ticari olarak kullanılmakta olan buzlanma giderici (T1) ve buzlanma önleyici sıvı (T2) kullanılmıştır. G1 ve G2 sıvıları ise sırasıyla geliştirilmiş olan buzlanma giderici ve önleyici sıvılardır. Sıvıların viskozite, yüzey gerilimi ve yoğunluk değerleri farklı sıcaklarda bulunmuştur. Yüzey gerilimi ve yoğunluk değerlerinin bulunması EK-2'de anlatılmıştır. Ayrıca havanın da yukarıdaki fiziksel özellikleri bilinmelidir. Tablo (4.9-4.11)'de değerler gösterilmiştir.

Tablo 4.9 Buzlanma giderici sıvıların farklı sıcaklıklardaki fiziksel özellikleri

Sıvı	Sıcaklık (°C)	μ^* (cP)	T^* (mN/m)	ρ^* (kg/m^3)
T1	20	24.5	40.17	1040.4
T1	0	68.8	42.09	1051.7
T1	-10	148	43.05	1056.7
G1	20	18.9	38.45	1070.2
G1	0	34.8	40.09	1083.1
G1	-10	57.1	40.86	1088.6

Tablo 4.9'da sırasıyla sıvıların isimleri, ölçüm sıcaklığı, viskozite, yüzey gerilimi ve yoğunluk değerleri verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, T1 sıvısının viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak daha fazla değişim göstermektedir. Sıvıların yüzey gerilimi ve yoğunluk değerleri birbirine oldukça yakındır.

Tablo 4.10 Buzlanma giderici sıvıların farklı sıcaklıklardaki fiziksel özellikleri

Sıvı	Sıcaklık (°C)	μ^* (cP)	T^* (mN/m)	ρ^* (kg/m^3)
T2	20	$1138.1*\gamma^{-0.374}$	36.21	1038.2
T2	0	$1230*\gamma^{-0.295}$	37.31	1056.1
T2	-10	$1093.2*\gamma^{-0.227}$	37.86	1061.8
G2	20	$1722*\gamma^{-0.484}$	38.15	1038.2
G2	0	$5499*\gamma^{-0.608}$	39.90	1056.1
G2	-10	$8018*\gamma^{-0.643}$	40.78	1061.8

Tablo 4.9'daki sıralama Tablo 4.10 için de geçerlidir. Viskozite içinde yer alan γ terimi kayma hızını göstermektedir. Sonuçlara göre G2 sıvısının plastik viskozite katsayısı sıcaklığa bağlı olarak daha fazla değişim gösterirken, T2 sıvısının plastik viskozite katsayısı sıcaklığa bağlı olarak çok değişmeyerek 1000 cP ile 1250 cP değerlerini almaktadır. Ayrıca, G2 sıvısının psödoplastik davranış özeliği T2 sıvısısın tersi bir şeklide sıcaklık azaldıkça artar. G2 sıvısının yüzey gerilimi daha fazladır ve T2 sıvısı ve G2 sıvısı aynı oranda glikol ve su konsantrasyonuna sahip olduğu kabul edildiğinden yoğunluk değerleri aynıdır. Tablo 4.11'de havanın farklı sıcaklıklardaki fiziksel özellikleri verilmiştir

Tablo 4.11 Farklı sıcaklıklardaki havanın fiziksel özellikleri

Akışkan	Sıcaklık (°C)	μ^* (cP)	ρ^* (kg/m^3)
Hava	20	0.0182	1.204
Hava	0	0.0171	1.292
Hava	-10	0.0167	1.304

Benzetim için kullanılan kod, iki katman arasındaki viskozite ve yoğunluk oranına, yüzey gerilim değerine ve alt katman kalınlığına ihtiyaç duymaktadır. Bütün sıvılar için TS kararsızlık modları belirtilen sıcaklıklarda elde edilmiş ve EK-3'te gösterilmiştir.

(4.12-4.15) numaralı Tablolar bu grafiklerden elde edilen sonuçlardır. Tablo 4.12 ve Tablo 4.13 sırasıyla T1 ve G1 sıvılarının dalga özelliklerini göstermektedir.

Tablo 4.12 T1 sıvısının dalga karakterleri

Sıcaklık (°C)	d_2^* (mm)	Re_{cr}	U_{cr}^* (m/s)	λ^* (mm)	c_r^* (mm/s)
20	2.4	1537.6	9.6845	21.94	98.35
20	1.8	1138.3	9.5594	26.73	51.72
20	1.2	854.6	10.7653	27.10	24.76
0	2.4	1917.7	10.5756	26.73	40.08
0	1.8	1266.2	9.3103	40.99	12.63
0	1.2	945.4	10.4272	30.18	7.70
-10	2.4	2022.2	10.4852	29.13	17.51
-10	1.8	1307.7	9.0406	36.49	6.53
-10	1.2	981.3	10.1762	30.59	3.48

Tablo 4.13 G1 sıvısının dalga karakterleri

Sıcaklık (°C)	d_2^* (mm)	Re_{cr}	U_{cr}^* (m/s)	λ^* (mm)	c_r^* (mm/s)
20	2.4	1447.2	9.1151	21.12	110.33
20	1.8	1113.1	9.3477	24.85	64.93
20	1.2	848.6	10.6897	24.91	34.63
0	2.4	1791.3	9.8785	23.02	77.53
0	1.8	1254.4	9.2235	35.24	28.23
0	1.2	942.1	10.3908	29.28	15.69
-10	2.4	1974.5	10.2379	25.41	48.94
-10	1.8	1310.3	9.0586	34.89	17.94
-10	1.2	986.7	10.2322	29.20	9.65

Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'teki sütunlar sırasıyla sıcaklık, sıvı kalınlığı, kritik Reynolds sayısı, bozulmaların görülmeye başladığı kritik rüzgar hızı, kritik dalga boyu ve kritik dalga hızı değerlerini betimlemektedir.

Sonuçlara göre, her iki sıvı içinde aynı sıvı kalınlığında, sıcaklık azaldıkça kritik Reynolds sayısı artmaktadır. Sıvıların kritik rüzgar hızları 9 m/s ve 11 m/s arasında sıvı kalınlığına ve sıcaklığa göre belirli bir değişim göstermeden değerler alır. Ara tabakadaki dalga boyu aynı sıvı kalınlığında sıcaklık azaldıkça artmaktadır. Kritik dalga hızı değerleri de sıcaklık ve sıvı kalınlığı azaldıkça azalır. G1 ve T1 sıvıları karşılaştırıldığında, G1 sıvısı üzerinde kararsız dalgaların oluşumu daha düşük Reynolds sayısı değerlerinde görülür. Fakat sıvı kalınlığı azaldıkça kritik Reynolds değerleri birbirine yakın değerlere sahip olurlar. Aynı zamanda bu durum sıcaklık değişiminden de bağımsızdır. G1 sıvısın kritik dalga hızları genelde T1 sıvısınınkilerden daha düşüktür. Dalga boyu değerleri genelde birbirine yakındır fakat T1 sıvısının değerleri genelde biraz daha fazladır. Sıvıların kanat yüzeyinden ayrılmasında önemli bir etken olan kritik dalga hızı sonuçlarına göre, G1 sıvısı T1 sıvısından kanat yüzeyinden daha hızlı bir şekilde ayrılmaktadır. Aynı zamanda sıcaklık azaldıkça, G1 sıvısının kanat yüzeyinden ayrılması T1 sıvısına göre kolaylaşmaktadır. Tablo 4.15 ve Tablo 4.16 sırasıyla T2 ve G2 sıvılarının dalga özelliklerini göstermektedir.

Tablo 4.14 T2 sıvısının dalga karakterleri

Sıcaklık (°C)	d_2^* (mm)	Re_{cr}	U_{cr}^* (m/s)	λ^* (mm)	c_r^* (mm/s)
20	2.4	1796.2	11.3133	32.41	1.00
20	1.8	1175.3	9.8701	35.43	0.39
20	1.2	864.3	10.8875	31.63	0.22
0	2.4	1945.37	10.7281	30.03	1.18
0	1.8	1265.4	9.3044	39.71	0.40
0	1.2	940.6	10.3743	30.56	0.25
-10	2.4	2012.9	10.4370	28.94	1.66
-10	1.8	1303.6	9.0123	34.17	0.63
-10	1.2	973.5	10.0953	30.35	0.34

Tablo 4.15 G2 sıvısının dalga karakterleri

Sıcaklık (°C)	d_2^* (mm)	Re_{cr}	U_{cr}^* (m/s)	λ^* (mm)	c_r^* (mm/s)
20	2.4	1804	11.3624	27.65	0.302581
20	1.8	1178.8	9.8995	38.31	0.096025
20	1.2	867.4	10.9266	32.08	0.063265
0	2.4	1953	10.7702	29.83	0.004377
0	1.8	1267.72	9.3215	39.04	0.001210
0	1.2	944	10.4118	30.55	0.001008
-10	2.4	2022.8	10.4883	29.13	0.000662
-10	1.8	1305.18	9.0232	39.13	0.000168
-10	1.2	978.2	10.1440	30.08	0.000156

Buzlan giderici ve önleyici sıvıların dalga özellikleri beraber incelendiğinde, ilk olarak sıvı kalınlığı azaldıkça Reynolds değerlerinin birbirlerine çok yaklaştığını görülmektedir. Ayrıca, kritik rüzgar hızı değerleri de birbirine yakındır. Psödoplastik yapıda olan sıvıların dalga boyları birbirine yakındır ve bu sıvıların dalga boyu Newtonumsu özelikteki buzlanma giderici sıvılardan fazladır. Sıvıların kritik dalga boyu sonuçlarını karşılaştırdığımızda, Buzlanma giderici sıvıların, buzlanma önleyici sıvılardan daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle, buzlanma giderici sıvılardan daha hızlı bir şekilde kanat yüzeyinden ayrılırlar. G2 ve T2 sıvılarını karşılaştırdığımızda ise, G2 sıvısının özelikle düşük sıcaklıklarda T2 sıvısından daha düşük kritik dalga hızı değerlerine sahip olduğu görülür. Sonuç olarak G2 sıvısı kanat yüzeyinden daha zor bir şekilde ayrılmaktadır.

Tablo 4.10'daki viskozite değerleri incelendiğinde, bu istenmeyen özelliğin sebebi bulunabilir. G2 sıvısının psödoplastik davranış özelliği T2 sıvısından daha fazla olmasına rağmen, bu sıvının viskozitesinin, düşük kayma hızı değerlerinde T2 sıvısına göre çok daha fazla olması sıvının kanat yüzeyinden ayrılmasını zorlaştırmaktadır. Eğer belirtilen viskozite değeri istenilen değerlere düşürülürse G2 sıvısı kanat yüzeyinden daha kolay bir şekilde ayrılabilir.

SONUÇLAR

Proje süresince gerçekleştirilen çalışmalar sonucu amaçlanan hedeflere ulaşılmıştır. Bu hedeflerden ilki uçaklar için buzlanmayı önleyici ve engelleyici çözeltilerin geliştirilmesi olup, bu çerçevede bir dizi deney yapılmış ve sıvıların içerisinde bulunan kimyasallar, aralarındaki etkileşimler ve bu etkileşimlerin sıvıların fiziksel özelliklerine etkisi açığa çıkarılmıştır. Bu bilgiler sayesinde istenen özellikte sıvılar üretmek mümkün olmaktadır. Sıvıların üretimi ile ilgili sonuçlar şöyle sıralanabilir:

Tip-1 sıvıları için;

- Yüzey gerilimi hariç, fiziksel özelliklerin çoğu çözeltilerin glikol-su konsantrasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Yüzey gerilimini düşürmek için etoksifenol, tributilamin ve sodyum oleat kullanılmıştır. Bu sayede yüzey gerilimini 40 Dynes/cm'e indirmek mümkün olmaktadır.
- Benzotriazol korozyon önleyici olarak kullanılmış ve alüminyum plakalar üzerinde yapılan testler sonucunda plakaların % 0.01 BT içeren çözeltilerde 15 gün sonunda, 0.23 g/m^2 ağırlık kaybına uğradıkları bulunmuştur.

Tip-2 sıvıları için;

- Düşük donma noktasından dolayı glikol su karışımı çözeltilerin ana bileşenini oluşturmaktadır. % 50 su, % 50 glikol içeren çözeltilerin donma noktası -37°C olarak ölçülmüştür. Ayrıca çözeltilerin içerisinde bulunan su oranı arttıkça viskozitede artma gözlenmiştir. Bu duruma neden olarak suyun glikole göre daha yüksek hidrojen bağı kurabilme özelliği gösterilebilir.
- Çözeltilerin reolojisini geliştirmek için çoğu akrilik ve akrilamit bazlı polimerler denenmiştir. Bunların bazıları, poli(DADMAC-ko-vinil pirolidon) gibi laboratuarda sentezlenmiş bazıları ise çapraz bağlı poliakrilik asitler gibi satın alınmıştır. Bu polimerler arasında hafifçe çapraz bağlanmış ve hidrofobik olarak geliştirilmiş poliakrilik asit (HMPA) çözeltiye kattığı üstün viskozite ve psödoplastik özellik sayesinde koyulaştırıcı olarak kullanılmıştır. HMPA çözeltilerinin fiziksel özellikleri,

polimer, yüzey aktif madde, korozyon önleyici konsantrasyonu, pH, glikol-su oranı ve sıcaklığa göre değişebilmektedir. Örnek olarak % 0.075'lik HMPA çözeltilerinin viskozitesi değişen pH değerlerinde 10 cP ile 12000 cP arasında oynayabilmektedir. Maksimum viskozite pH=6'da ve polimer miktarının % 40'ı kadar NaOH konsantrasyonunda elde edilmektedir.

- Sodyum oleat yüzey gerilimini düşürmede en etkili yüzey aktif madde olarak bulunmuştur. Yüzey aktif maddeler genel olarak viskoziteyi belli bir konsantrasyona kadar artırırken daha sonra düşürmeye başlamışlardır. Anyonik YAM'ler yüzey gerilimini düşürmede katyonik ve naniyoniklere göre daha başarılı bulunmuşlardır. Örnek olarak, % 50 su %50 glikol içeren çözeltilerin yüzey gerilimleri 0.4 mM sodyum oleat konsantrasyonunda 40 Dynes/cm' e düşmektedir.
- Benzatriazole viskoziteyi düşürücü etkisine karşın korozyon önleyici olarak kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Örnek olarak %0.01 BT içeren çözeltiler içerisine bırakılan plakalar 15 günde 0.27 g/m2 ağırlık kaybına uğramışlardır.

Bilgisayar benzetiminden elde edilen sonuçlara göre, geliştirilmiş olan buzlanma giderici sıvı Aerodinamik kabul testinden geçebilir. Fakat aynı şey geliştirilmiş olan buzlanma önleyici sıvı için söylenemez. Kritik dalga sonuçlarına göre bu sıvı kanat yüzeyinden ticari buzlanma önleyici sıvıya göre daha yavaş bir şekilde ayrılmaktadır. Fakat bu sorunu çözmek oldukça kolaydır. Sıvının ihtivasında yapılacak küçük değişiklikler, bu sorunu rahatlıkla ortadan kaldırır. Bu sayede, ticari sıvıya orana çok daha etkili bir sıvı geliştirilebilir.

Bu konuda yapılan sayısal çalışmaların deneysel sonuçlarla desteklenmesi, sanayide yaygın bir şekilde kullanılan iki katmanlı akışların davranışlarının daha etkili bir şekilde öğrenilmesini ve tahmin edilebilmesini sağlayacaktır.

REFERANSLAR

[1] R. Hornig, Development of an International Standard for Safe Winter Operation, Journal of Aircraft, Vol.30, No.1, 14-18, Jan.-Feb. 1993.

[2] Association of European Airlines, Training Recommendations and Background Information for De-Icing/Anti-Icing of Aircraft on Ground, 2nd Edition, September 2005.

[3] Aviation Occurrence Report, Number 85-H50902, 12 December 1985.

[4] J. van Hengst, Aerodynamic Effects of Ground De/Anti-Icing Fluids on Fokker 50 and Fokker 100, Journal of Aircraft, Vol.30, No.1, 35-40, Jan.-Feb. 1993.

[5] Eugene G. Hill, Thomas A. Zierten, Aerodynamic Effects of Aircraft Ground De/Anti-Icing Fluids, Journal of Aircraft, Vol.30, No.1, 24-34, Jan.-Feb. 1993.

[6] J. F. Ross, J.T. Connolly, Contrasting Requirements for Type-II De/Anti-Icing Fluids, Journal of Aircraft, Vol.30, No.1, 10-13, Jan.-Feb. 1993.

[7] Development of Holdover Time Guidelines for Type-III Fluids, TP 14379 E, Final Version 1.0,November 2004.

[8] A. Beisswenger, G. Fortin, J. L. Laforte, Investigations of Type-II and Type-IV Aircraft Ground Anti-Icing Fluid Aerodynamic Certification Performance, DO/AR-03/55, July 2003.

[9] John J. Reinmann, Aerodynamic Effects of Deicing and Anti-Icing Fluids, Journal of Aircraft, Vol.30, No.1, 8-9, Jan.-Feb. 1993.

[10] S. Özgen, M. Carbonaro, G. S. R. Sarma, Experimental Study of Wave Characteristics on a Thin Layer of De/Anti-Icing Fluid, Physics of Fluids, Vol.14, No.10, 3391-3402, October 2002.

[11] M. Carbonaro, S. Özgen, Appendix A: Aerodynamic Effects of De/Anti-Icing Fluids and a Description of a Facility and Test Techniques for Their Aerodynamic Acceptance, 1997.

[12] UCAR Ultra Type-IV Fluid, Form No. 183-00003-1004AMS, October 2004.

[13] Kilfrost ABC-S Material Safety Data Sheet, Revised: 4/2005.

[14] UCAR Concentrate “55/45” Type-I Fluid, Form No. 183-00024-0704AMS, July 2004.

[15] UCAR Flight Guard AD 480 Type-IV Fluid, Form No. 183-00043-0506AMS, May 2006.

[16] ARCTICA DG RTU Type-I Fluid, SMI/REF: 0603-468, May 2006.

[17] A. Beisswenger, J. L. Laforte, Endurance and Aerodynamic Performance Certification of Aircraft De/Anti-Icing Fluids, 2003-01-2155.

[18] Guidelines for Aircraft Ground Icing Operations, 2nd Edition, April 2005.

[19] Anti-icing Material International Laboratory (AMIL) internet sitesi: http://www.uqac.ca/amil/en/

[20] Patent number 4,744,913, Mayıs 17, 1988, De-icing and anti-icing agent for aircraft

[21] Patent no 4,698,172, Ekim 17, 1988, Aircraft anti-icing fluid containing carrageenan

[22] Patent no 5,435,930, Temmuz 25, 1995, Deicer/anti-icer composition for aircraft

[23] Patent no 5,461,100, Ekim 24, 1995, Aircraft anti-icing fluid

[24] Patent no 5,681,882, Ekim 28, 1997, Aircraft anti-icing fluids thickened by associative polymers

[25] Patent no 5,759,436, Ocak 2, 1998, Aircraft deicing or anti-icing compositions

[26] Patent no 5,708,068, Ocak 13, 1998, Aircraft deicing/anti-icing fluids thickened by associative polymers

[27] Patent no 5,817,252, Ekim 6, 1998, Deicing and anti-icing composition for aircraft

[28] Kilfrost ABC-3 Technical Data, March 2000

[29] Killfrost df plus certificate of Analysis, november 2004

[30] John J. Reinmann, Aerodynamic Effects of Deicing and Anti-Icing Fluids, Journal of Aircraft, Vol.30, No.1, 8-9, Jan.-Feb. 1993.

[31] Patent no: 4673511, Haziran 16, 1987, Acrylamide diallyl dimethyl ammonium chloride copolymers as improved dewatering acids for mineral processing

[32] D. A. Topchiev, A. I. Martynenko, E. Yu. Kabanova, V. D. Oppengeim, Yu. I~. Kirsh, and T. M. Karaputadze, Copolymerization of N-Vinylpyrrolidone with N,NDimethyl-N,N-Diallyammonium Chloride, 1991 Plenum Publishing Corporation

[33] W. Jaeger, Regular Polyelectrolytes with Pyrrolidinium Units,
Novel Precursors for Complexes of Charged Polymers, 0-14513 Teltow, Germany

[34] Duygu Avci1, Nuri Mol, Levent Dagasan, New cationic polyelectrolytes for flocculation processes of baker's yeast waste water, Polymer Bulletin 48, 353-359 (2002)

[35] Patent no: 20010023017, Eylül 20, 2001, Product sampler

[36] Yan Li and Jan C. T. Kwak, Rheology of Hydrophobically Modified Polyacrylamide-co-poly(acrylic acid) on Addition of Surfactant and Variation of Solution pH, Langmuir, 20, 4859-4866, 2004

[37] Shuhui Wu and RA Shanks, Synthesis and Characterisation of Hydrophobic Modified Polyacrylamide, Polym Int 53,1821–1830, 2004

[38] Ahmed A. Abdala, Wenjun Wu, Keith R. Olesen, and Richard D. Jenkins, Alan E. Tonelli, Saad A. Khan, Solution rheologhy of hydrophobically modified associative polymers: Effects of backbone composition and hydrophobe concentration, J of Rheologhy. 48(5) 979-994 September/October 2004

[39] R. Nagarajan1 AND Chien-Chung Wang Solution Behavior of Surfactants in Ethylene Glycol: robing the Existence of a CMC and of Micellar Aggregates, Journal of Colloid and Interface Science 178, 471–482, 1996

[40] Effing, J. J.; McLennan, I. J.; van Os, N. M.; Kwak, J. C. T. lH NMR Investigations of the Interactions between Anionic Surfactants and Hydrophobically Modified Poly(acry1amide)s J Phys. Chem., 98, 12397, 1994

[41] S. Özgen, Two-Layer Flow Stability in Newtonian and Non-Newtonian Fluids, Ph. D. Dissertation, Univeriste Libre de Bruxelles, Von Karman Institute for Fluid Dynamics, 1999.

[42]O. Reynolds, An Experimental Investigation of The Circumstances Which Determine Whether The Motion of Water Shall Be Direct or Sinuous, and of The Law of Resistance in Parallel Channels, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 174, pp. 935-982, 1883

[43] W. M.F. Orr, The Stability or Instability of The Steady Motions of A Perfect Liquid and of A Viscous Liquid, Proc. R. Ir. Acad. Sect. B, Bio. Geo. Chem., pp. 9-138, 1907.

[44] A. Sommerfeld, Ein Beitrag zur Erklarung der turbulenten Flussigkeitbewgumgen, Atti del 4.Congr. Internat.dei Mat. III, Roma, pp 116-124, 1908.

[45] C. S. Yih, Instability Due to Viscosity Stratification, J. Fluid Mech. 27, pp. 337–352, 1967.

[46]S. Özgen, G. Degrez and G. S. R. Sarma, Two-Fluid Boundary Layer Theory, Phys. Fluids, 10, pp. 2746-2757, November 1998.

[47] H. Schlichting, Boundary-Layer Theory, McGraw-Hill, New York, 1979.

EK-1

ARA TABAKA KOŞULLARININ ELDE EDİLMESİ

Dik Yöndeki Hızların Sürekliliği

Ara tabakadaki akış yönüne dik yöndeki küçük hızlar eşittir:

$$\hat{v}_1(0) = \hat{v}_2(0). \tag{A.1}$$

$$\varphi(0) = \chi(0). \tag{A.2}$$

Paralel Yöndeki Hızların Sürekliliği

Ara tabakadaki akış yönüne paralel yöndeki küçük hızlar eşittir fakat ara tabakada, alt ve üst tabakanın U' değerleri farklı olduğundan, bu durum rahatsız edilmiş ara tabakada incelenmelidir;

$$u_1(\xi) = u_2(\xi), \tag{A.3}$$

$$U_1(\xi) + \hat{u}_1(\xi) = U_2(\xi) + \hat{u}_2(\xi). \tag{A.4}$$

Hızlar, Taylor serisi olarak y=0'a göre açılırsa;

$$u_1(\xi) = U_1(0) + \hat{u}_1(0) + U_1'\xi + \cdots\cdots\cdots, \tag{A.5}$$

$$u_2(\xi) = U_2(0) + \hat{u}_2(0) + U_2'\xi + \cdots\cdots\cdots. \tag{A.6}$$

Akışa dik yöndeki hız ve ξ aşağıdaki gibi tanımlanırsa;

$$\hat{v} = \frac{\delta\xi}{\delta t} + U_0\frac{\delta\xi}{\delta x}, \tag{A.7}$$

$$\xi(x,t) = \xi_0 e^{i\alpha(x-ct)}, \tag{A.8}$$

A.7 numaralı denklem A.8 numaralı denklemin içine yerleştirilir:

$$-i\alpha\varphi(0)e^{i\alpha(x-ct)} = -i\alpha c\xi_0 e^{i\alpha(x-ct)} + U_0 i\alpha\xi_0 e^{i\alpha(x-ct)}. \tag{A.9}$$

Yukarıdaki denklem tekrar düzenlenir:

$$\xi(x,t) = \frac{\varphi(0)}{c - U_0} e^{i\alpha(x-ct)} = \frac{\chi(0)}{c - U_0} e^{i\alpha(x-ct)}. \qquad (A.10)$$

A.10 numaralı denklem A.5 ve A.6 numaralı denklemlere yerleştirilir ve tekrar düzenlenirse aşağıdaki denklem edilir:

$$\varphi'(0) - \chi'(0) = (a_2 - a_1) \frac{\varphi(0)}{c - U_0}. \qquad (A.11)$$

Kayma Geriliminin Sürekliliği

$$\tau^*_{xy,1} = -k^*_1 \left[2 \left[\left(\frac{\delta u^*_1}{\delta x^*} \right)^2 + \left(\frac{\delta v^*_1}{\delta y^*} \right)^2 \right] + \left[\frac{\delta u^*_1}{\delta y^*} + \frac{\delta v^*_1}{\delta x^*} \right]^2 \right]^{\frac{n_1 - 1}{2}} \left[\frac{\delta u^*_1}{\delta y^*} + \frac{\delta v^*_1}{\delta x^*} \right], \qquad (A.12)$$

$$\tau^*_{xy,2} = -k^*_2 \left[2 \left[\left(\frac{\delta u^*_2}{\delta x^*} \right)^2 + \left(\frac{\delta v^*_2}{\delta y^*} \right)^2 \right] + \left[\frac{\delta u^*_2}{\delta y^*} + \frac{\delta v^*_2}{\delta x^*} \right]^2 \right]^{\frac{n_2 - 1}{2}} \left[\frac{\delta u^*_2}{\delta y^*} + \frac{\delta v^*_2}{\delta x^*} \right], \qquad (A.13)$$

Hız terimleri A.14 ve A.15 numaralı denklemlere yerleştirilip, gerekli kabullenmeler yapıldıktan sonra;

$$\tau^*_{xy1} = k^*_1 \left[\frac{\delta U^*_1}{\delta y^*} + \frac{\delta \hat{u}^*_1}{\delta y^*} + \frac{\delta \hat{v}^*_1}{\delta x^*} \right]^{n_1}, \qquad (A.14)$$

$$\tau^*_{xy2} = k^*_2 \left[\frac{\delta U^*_2}{\delta y^*} + \frac{\delta \hat{u}^*_2}{\delta y^*} + \frac{\delta \hat{v}^*_2}{\delta x^*} \right]^{n_2}, \qquad (A.15)$$

elde edilir. Daha sonra 3.17 ve 3.18 numaralı denklemler A.14 ve A.515 numaralı denklemlere yerleştirilip elde edilen denklemler birbirlerine eşitlenirse, aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\alpha^2 \phi(0) + \phi''(0) = m \frac{\alpha_2^{n_2 - 1} n_2}{\alpha_1^{n_1 - 1} n_1} [\chi''(0) + \alpha^2 \chi(0)] \qquad (A.16)$$

Normal Gerilimin Sürekliliği

Normal gerilim denklemleri, Kayma gerilimi denklemlerine benzer biçimde aşağıdaki gibi sadeleştirilir:

$$\sigma^*_{yy1} = -2k^*_1 \left| \frac{dU^*_1}{dy^*} \right|^{n_1 - 1} \frac{\delta v^*_1}{\delta y^*}, \qquad (A.17)$$

$$\sigma^*_{yy2} = -2k^*_2 \left|\frac{dU^*_1}{dy^*}\right|^{n_2-1} \frac{\delta v^*_2}{\delta y^*}. \qquad (A.18)$$

Ara tabakada, iki sıvı arasındaki normal gerilimin farkı, yüzey geriliminin ara tabaka eğriliğiyle çarpımına eşittir. Burada eğrilik yüzeyin düz halinden ne kadar saptığını gösterir ve birçok mühendislik uygulamasında $\frac{\delta^2 y^*}{\delta x^{*2}}$ olarak alınır:

$$-P^*_1 - \hat{p}^*_1 + 2k^*_1 \left|\frac{dU^*_1}{dy^*}\right|^{n_1-1} \frac{\delta v^*_1}{\delta y^*} + P^*_2 - \hat{p}^*_2 - 2k^*_2 \left|\frac{dU^*_2}{dy^*}\right|^{n_2-1} \frac{\delta v^*_2}{\delta y^*} = -T\frac{\delta^2 y^*}{\delta x^{*2}}\,. \qquad (A.19)$$

Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra aşağıdaki denklem elde edilir:

$$i\alpha R\big((c-U_0)\varphi'(0) + a_1\varphi(0)\big) - (\varphi'''(0) - 3\alpha^2\varphi') + i\alpha Rr((c-U_0)\chi'(0) + a_2\chi(0))$$
$$+m\alpha_2^{n-1}[n\chi'''(0) - (4-n)\alpha^2\chi'(0)] = i\alpha R[(r-1)F^{-2} + \alpha^2 S]\,\varphi/(c-U_0). \qquad (A.20)$$

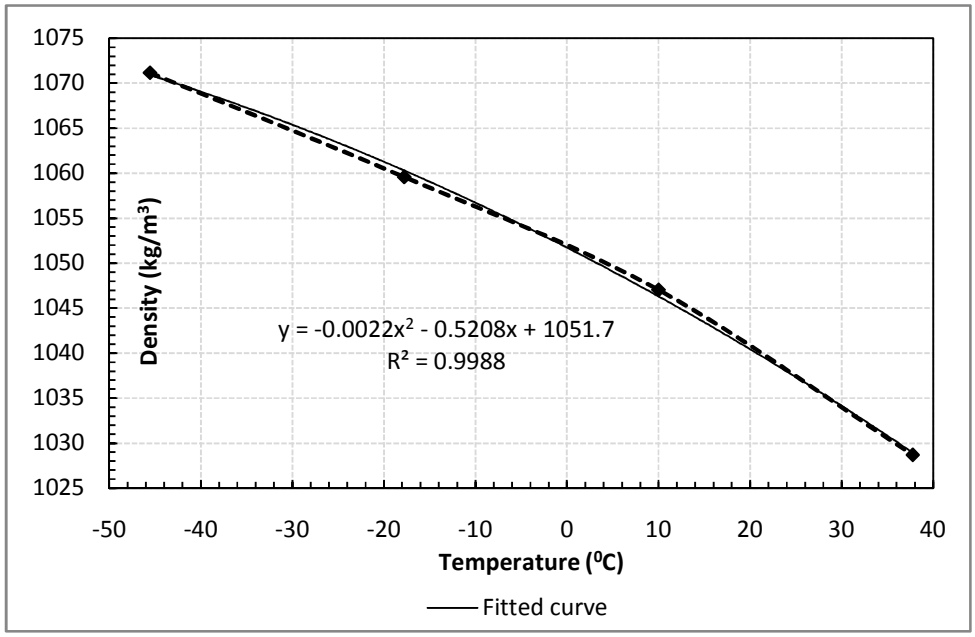
EK-2

YÜZEY GERİLİMİ VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ

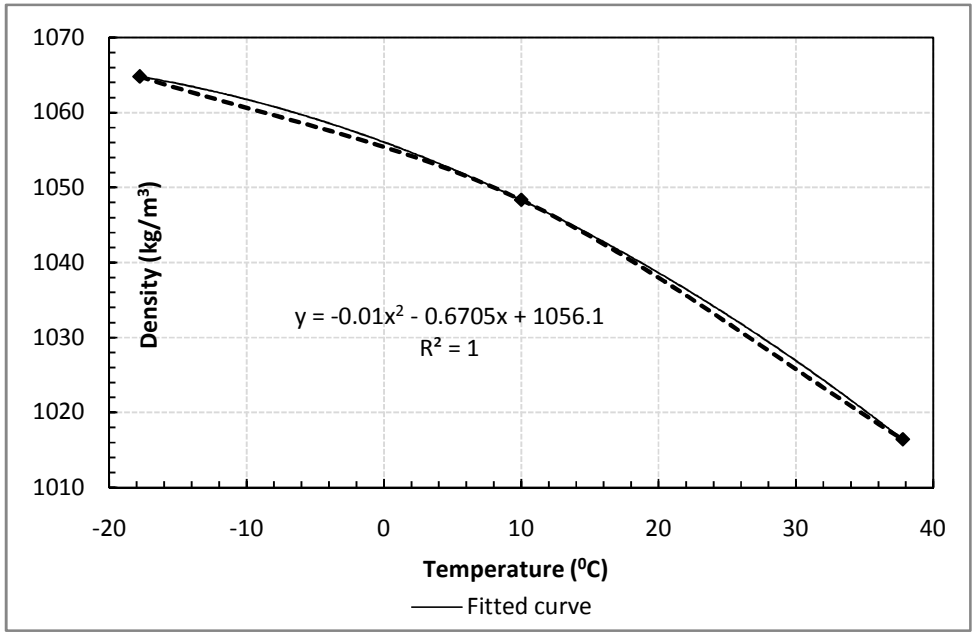
Doğrusal kararsızlık modlarının farklı sıcaklıklarda elde edilebilmesi için, bu sıcaklık derecelerindeki yüzey gerilim ve yoğunluk değerlerinin bilinebilmesi gerekmektedir. Yoğunluk değerlerini elde etmek için glikol ürün katalogu kullanılmıştır. Bu katalogda farklı karışım oranlarında glikol su karışımının yoğunluk ve donma noktası değerleri verilmiştir.

Ticari olarak elde edilebilinen T1 sıvısı için glikol/su oranı 67/33 olarak yoğunluk ise 20 ℃'de 1041 kg/m^3 olarak belirtilmiştir **[**29**]**. Glikol ürün katalogu kullanarak elde etilen sonuç ise 20 ℃'de 1040.4 kg/m^3'dir. Fakat, ticari olarak elde edilebilinen T2 sıvısı için tam glikol/su oranı belirtilmemiştir. Ancak donma noktası değerlerinden (saf sıvı ve ağırlıkça % 50 oranında suyla karıştırılmış hali), sıvının ağırlıkça eşit oranda glikol ve suyla hazırlandığı bulunmuştur. Ayrıca T2 sıvısının yoğunluk değeri ise 20 ℃'de 1038 kg/m^3 olarak belirtilmiştir **[**28**]**. Bu sıvı için glikol ürün katalogu kullanarak elde etilen sonuç ise 20 ℃'de 1038.23 kg/m^3'dir. G1 ve G2 sıvılarının ağırlıkça glikol/su oranları sırasıyla 90/10 ad 50/50. Yoğunluğun sıcaklıkla değişimi grafikleri (B.1-B.3) numaralı şekillerde gösterilmiştir.

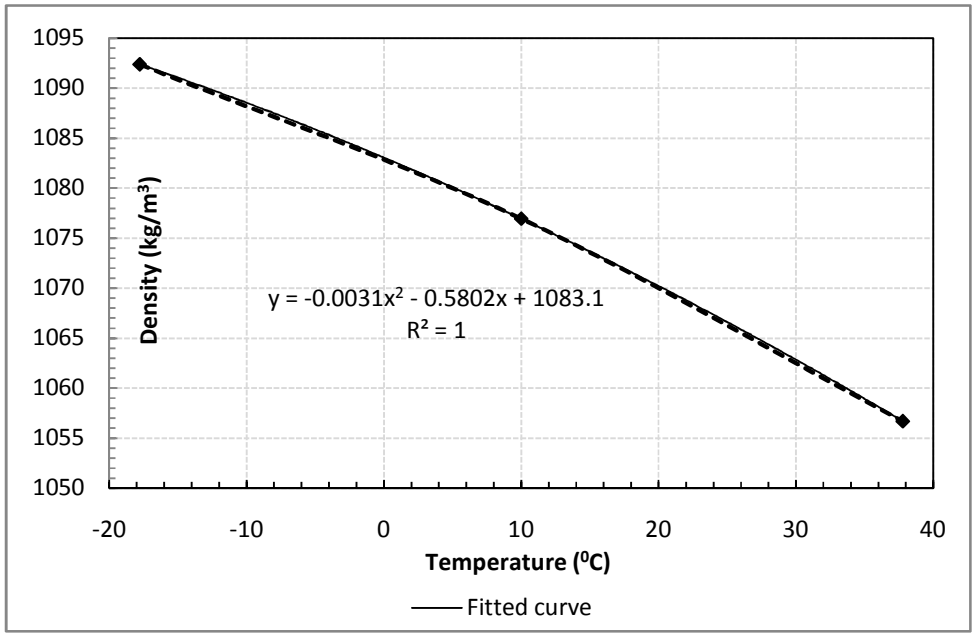
Yüzey gerilimi ölçümleri laboratuar imkanları kullanılarak farklı sıcaklıklarda yapılmıştır. Düşük sıcaklıklardaki yüzey gerilimini ölçmek için, derin dondurucudan çıkarılan örneklerin hemen ölçümü yapılmıştır. Sıvıların sıcaklıklarının ölçümleri deney bittikten hemen sonra yapılmıştır. Sonuçlara göre, T2 çözeltisinin yüzey gerilimi 20 ℃'de 36.21 mN/m olarak bulunmuştur. Literatürde bu değer 37 mN/m olarak belirtilmiştir []. Fakat T1 sıvısı için literatürde herhangi bir bilgi yoktur. Yüzey geriliminin sıcaklıkla değişimi (B.4-B.7) numaralı şekillerde gösterilmiştir.



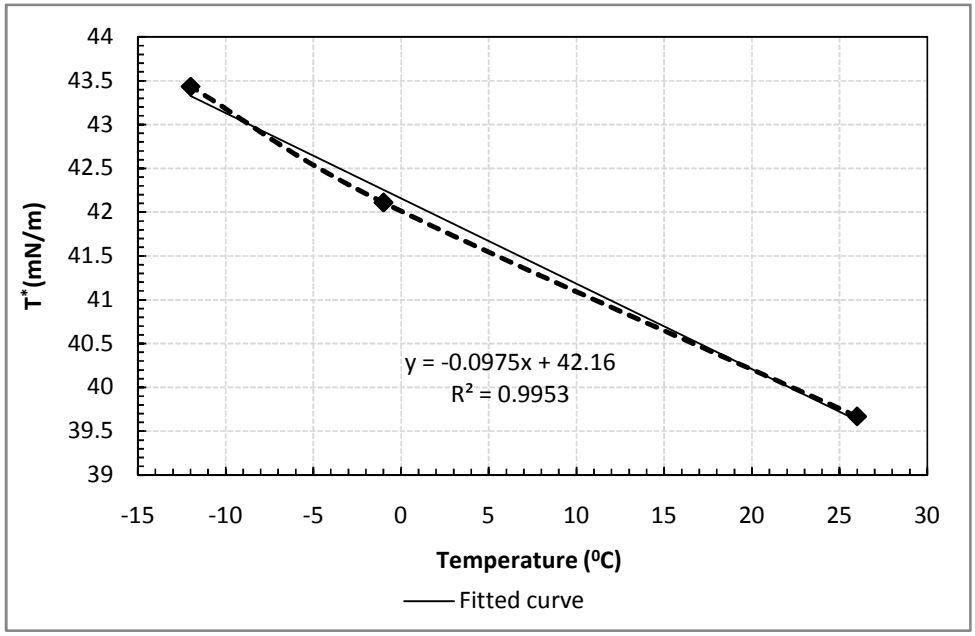
Şekil EK-2.1 T2 sıvısının yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi



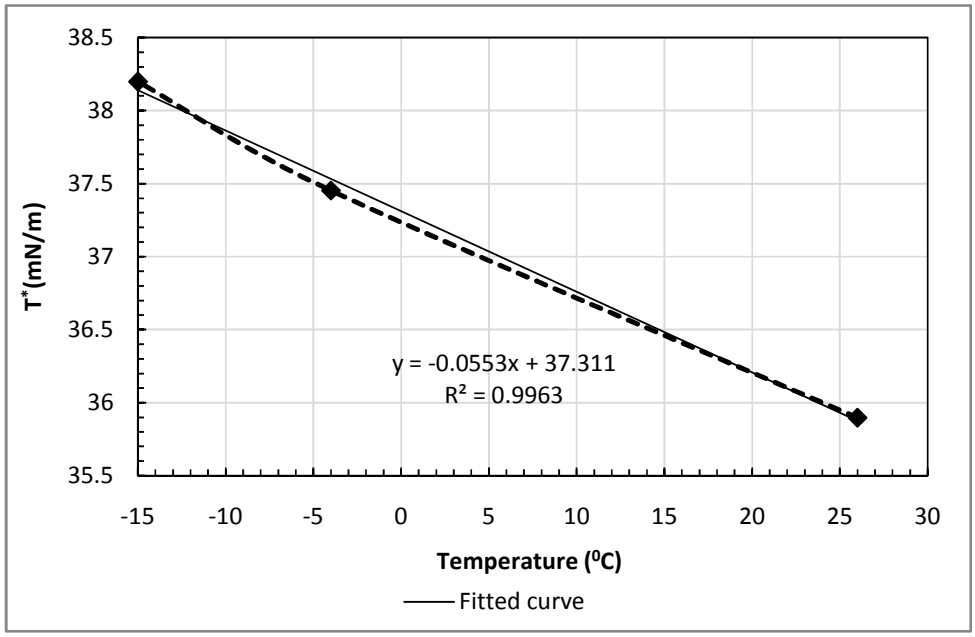
Şekil EK-2.2 T2 ve G2 sıvılarının yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi



Şekil EK-2.3 G1 sıvısının yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi

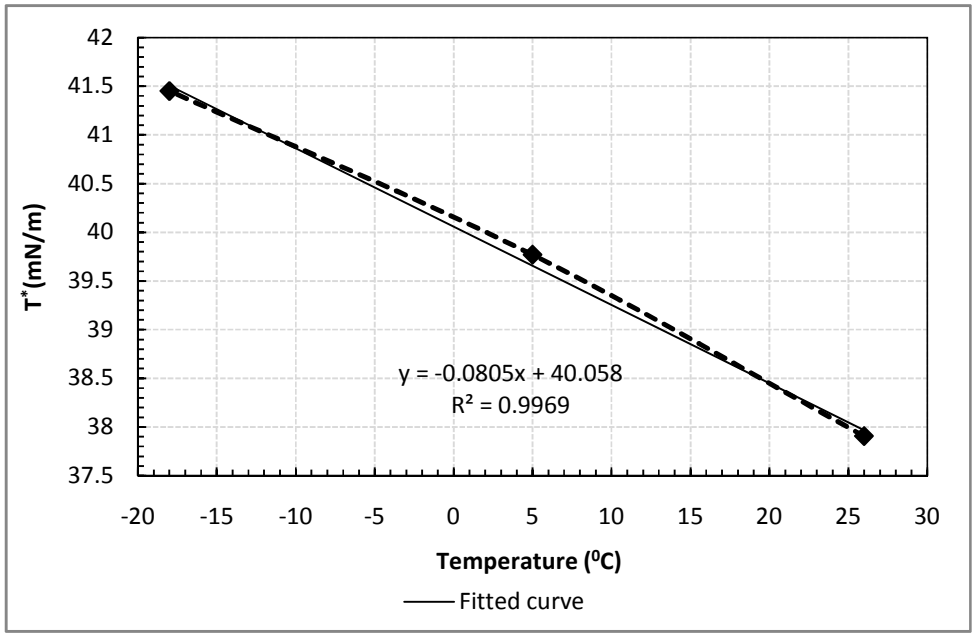


Şekil EK-2.4 T1 sıvısının yüzey geriliminin sıcaklıkla değişimi

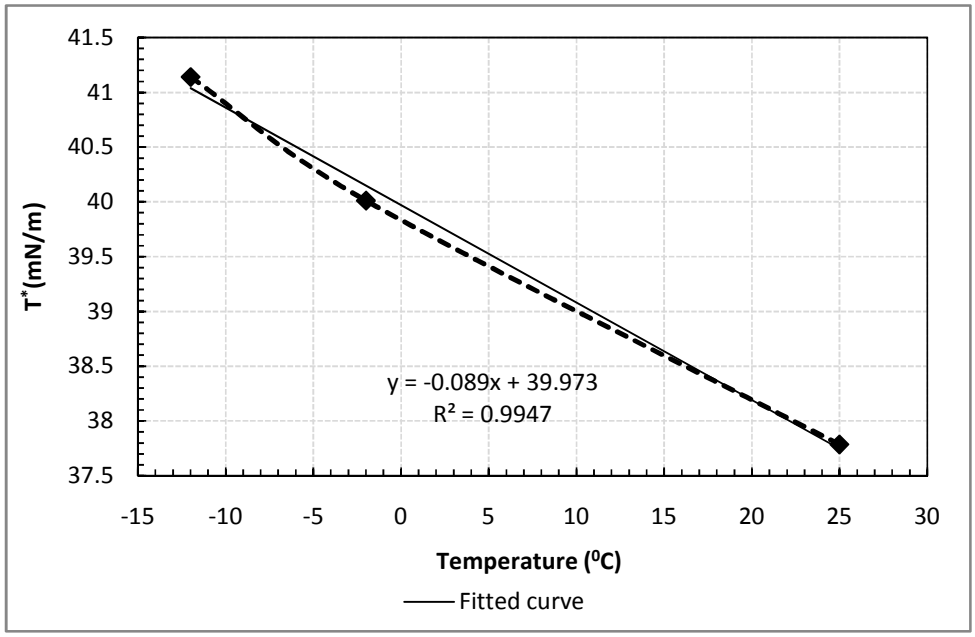


Şekil EK-2.5

Figure B.5 T2 sıvısının yüzey geriliminin sıcaklıkla değişimi



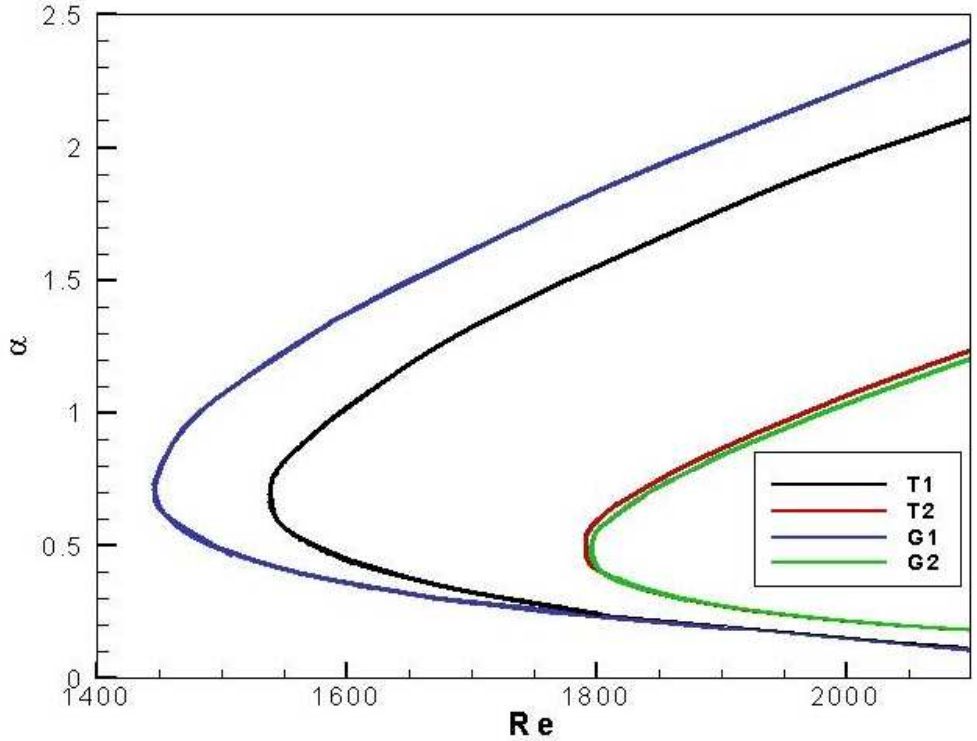
Şekil EK-2.6 G1 sıvısının yüzey geriliminin sıcaklıkla değişimi



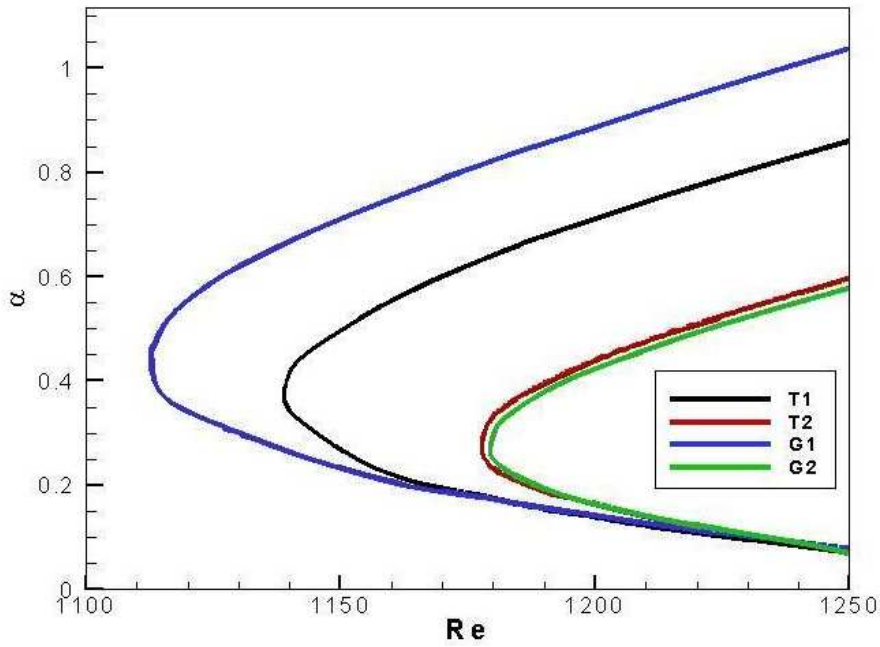
Şekil EK-2.7 G2 sıvısının yüzey geriliminin sıcaklıkla değişimi

EK-3

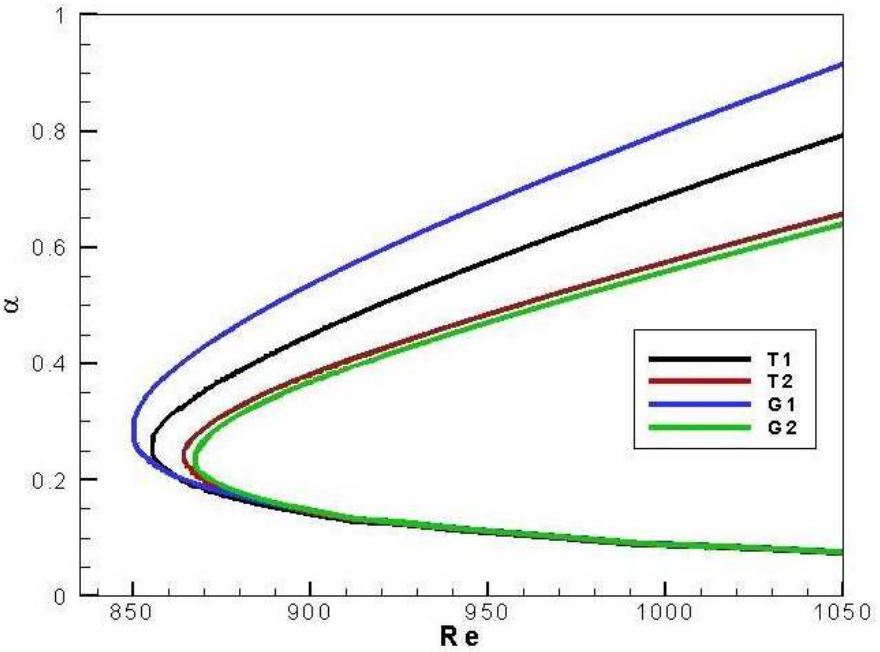
BUZLANMA GİDERİCİ VE ÖNLEYİCİ SIVILARIN TS KARARSIZLIK MODLARI



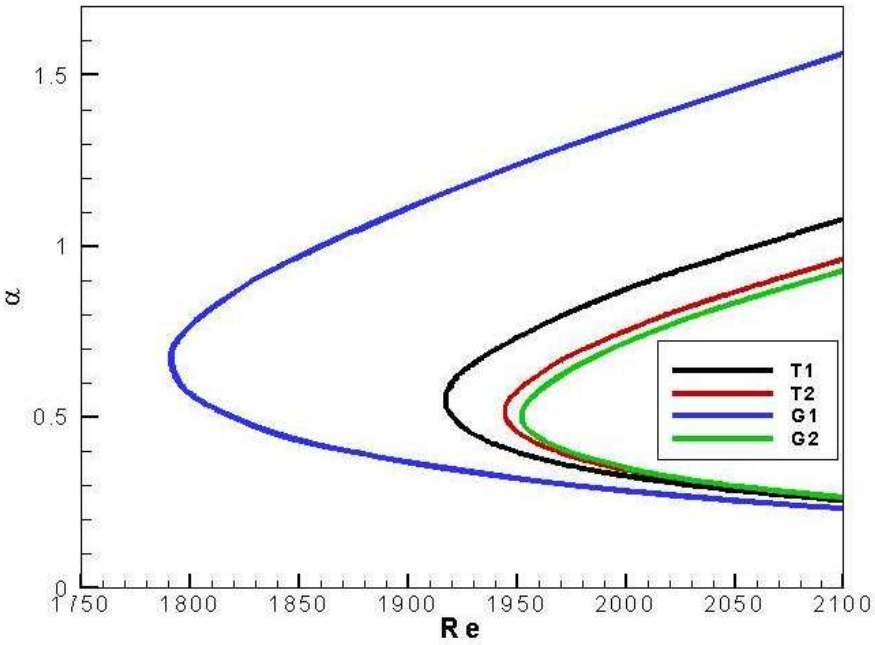
Şekil EK-3.1 Sıvıların 20 ℃'de 2.4 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları



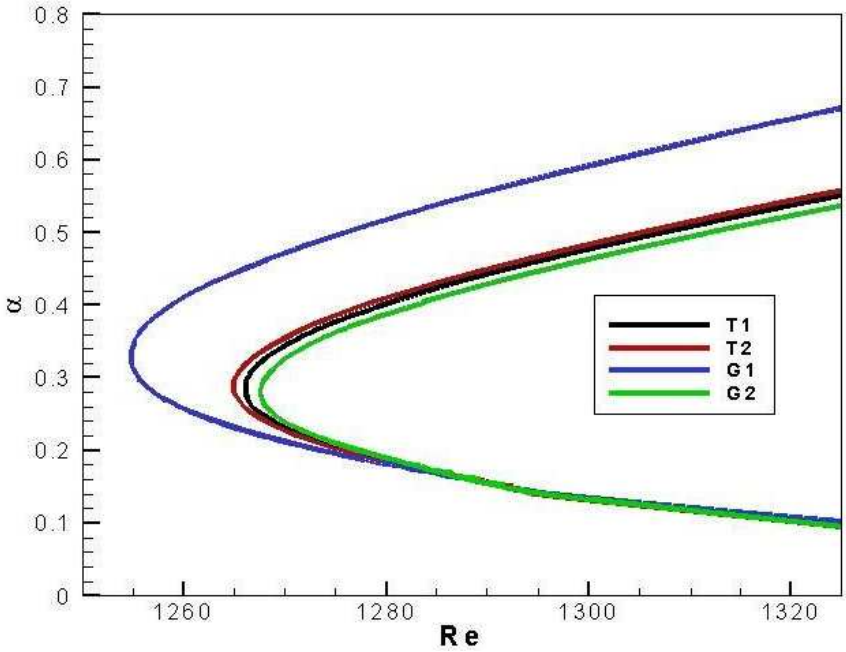
Şekil EK-3.2 Sıvıların 20 ℃′de 1.8 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları



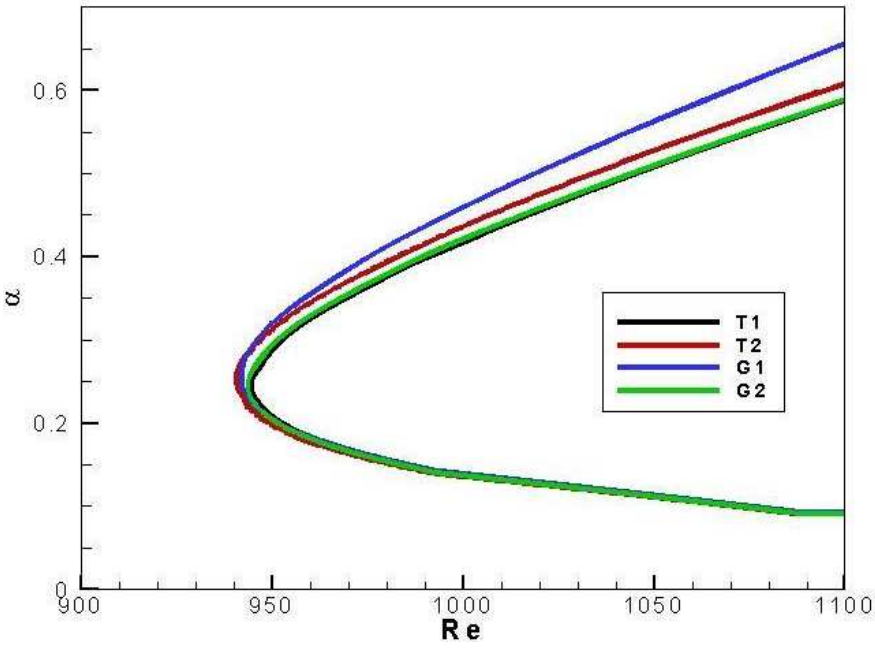
Şekil EK-3.3 Sıvıların 20 ℃′de 1.2 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları



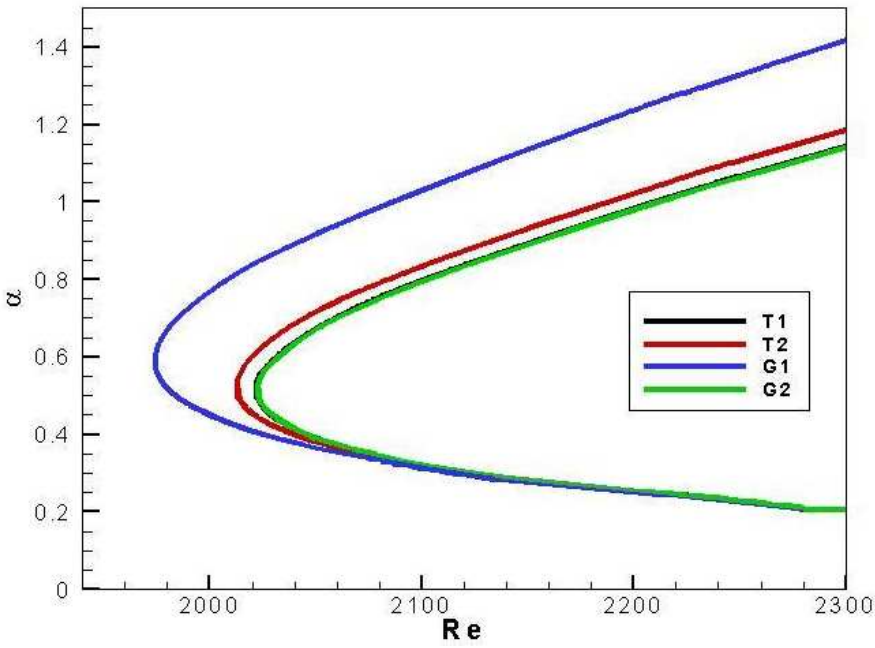
Şekil EK-3.4 Sıvıların 0 ℃'de 2.4 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları



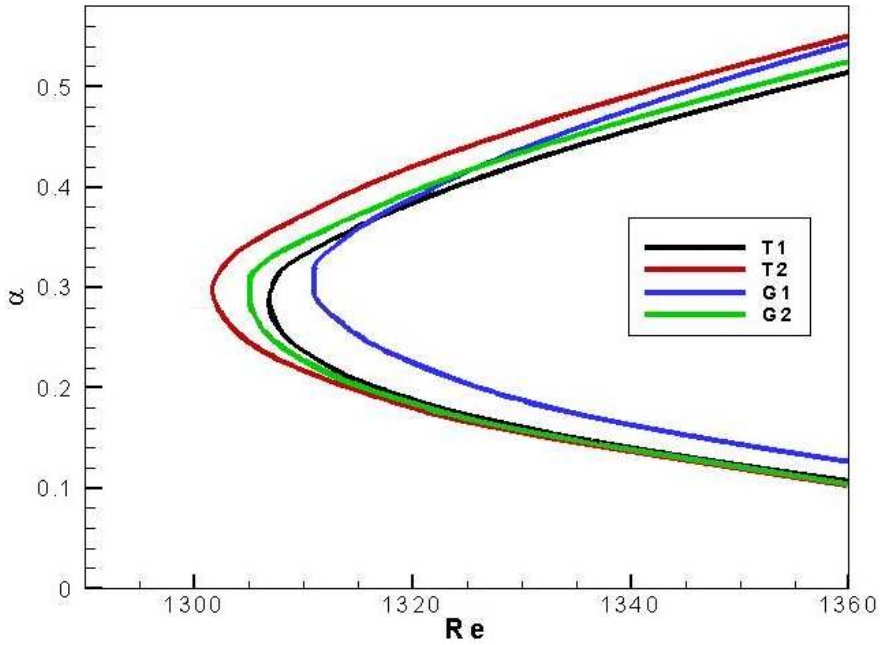
Şekil EK-3.5 Sıvıların 0 ℃'de 1.8 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları



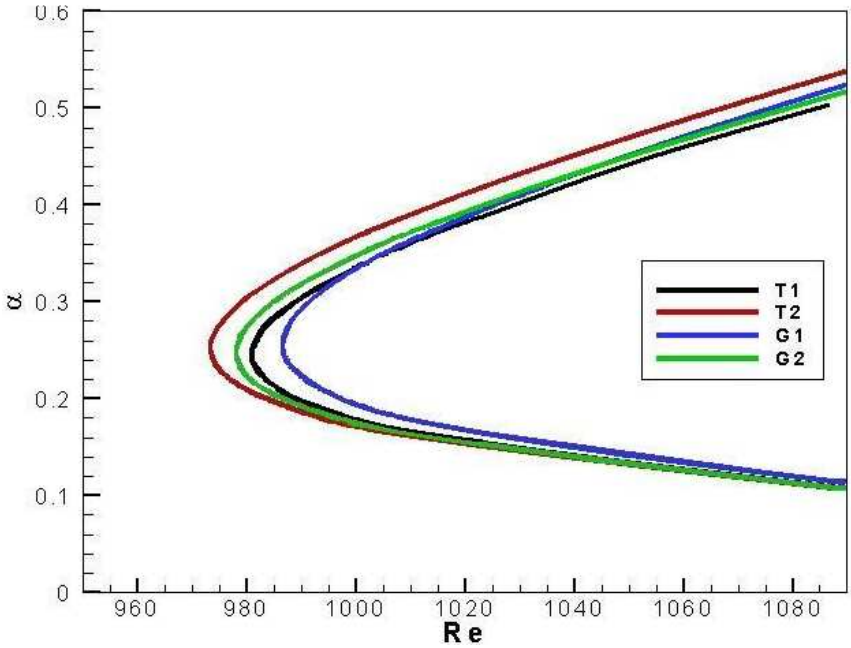
Şekil EK-3.6 Sıvıların 0 ℃′de 1.2 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları



Şekil EK-3.7 Sıvıların −10 ℃′de 2.4 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları



Şekil EK-3.8 Sıvıların −10 ℃′de 1.8 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları



Şekil EK-3.9 Sıvıların −10 ℃′de 1.2 mm sıvı kalınlığındaki kararsızlık modları

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 106M219
Proje Başlığı: UÇAKLAR İÇİN BUZLANMAYI ÖNLEYİCİ VE ENGELLEYİCİ ÇÖZELTİLERİN ÜRETİMİ VE GELİŞTİRİLMESİ
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Doç.Dr.Yusuf Uludağ, Doç.Dr.Serkan Özgen, Doç.Dr.Göknur Bayram, Prof.Dr.Niyazi Bıçak, Durmuş Sinan Körpe, Barış Erdoğan
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 06531 Ankara
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.09.2006 – 31.08.2008
Öz (en çok 70 kelime) **TÜBİTAK tarafından 106M219 numaralı proje ile desteklenen bu çalışmada, buzlanma giderici ve önleyici sıvılar geliştirilmiştir. Ayrıca geliştirilen bu sıvıların, bilgisayar benzetimi kullanılarak, Aerodinamik kabul testinden geçip geçmeyeceği hakkında ön bilgiye sahip olunmuştur.**
Anahtar Kelimeler: Buzlanmayı engelleyici ve önleyici çözeltiler, uçak performansı, psödoplastik reoloji, poliakrilik asit, yüzey aktif madde, iki katmanlı akış, doğrusal kararlılık teorisi, Orr-Sommerfeld denklemleri.
Projeden Yapılan Yayınlar: Proje çıktıları ile bir patent başvurusu yapılacaktır.