

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR KATI ÜZERİNDE BULUNAN SU DAMLASININ DEĞME
AÇISININ, BAĞIL NEMİ KONTROL EDİLEN ORTAMLARDA
BUHARLAŞMASI İLE DEĞİŞMESİ VE SU BUHARI DİFÜZYON
SABİTİNİN AYNI ORTAMLARDA İNCE BORU YÖNTEMİYLE
TAYİNİNİN MODELLENMESİ**

135928

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimyager AYŞEGÜL EROĞLU

**Anabilim Dalı : Kimya
Danışman : Prof. Dr. H. YILDIRIM ERBİL**

**İC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

135928

Haziran 2003

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR KATI ÜZERİNDE BULUNAN SU DAMLASININ DEĞME
AÇISININ, BAĞIL NEMİ KONTROL EDİLEN ORTAMLARDA
BUHARLAŞMASI İLE DEĞİŞMESİ VE SU BUHARI DİFÜZYON
SABİTİNİN AYNI ORTAMLARDA İNCE BORU YÖNTEMİYLE
TAYİNİNİN MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

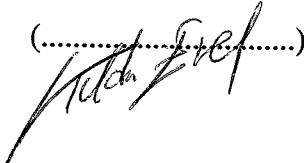
Kimyager AYŞEGÜL EROĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Haziran 2003

Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Temmuz 2003

Tez Danışmanı

Prof.Dr. H.Yıldırım ERBİL

(.....)


Üye

Prof.Dr. Oğuz OKAY

(.....)


Üye

Yrd.Doç.Dr. Ufuk YILDIZ

(.....)


K.C. YÜKSEK ÖĞRETİM ENSTİTÜSÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAZİRAN 2003

Bir Katı Üzerinde Bulunan Su Damlasının Değme Açısının, Bağlı Nemi Kontrol Edilen Ortamlarda Buharlaşması İle Değişmesi ve Su Buharı Difüzyon Sabitinin Aynı Ortamlarda İnce Boru Yöntemiyle Tayininin Modellenmesi

Ayşegül EROĞLU

Anahtar Kelimeler: Difüzyon, difüzyon katsayısı, su buharı difüzyonu, temas açısı, bağlı nem, katı yüzey gerilimi.

Özet : Bu çalışmada polimetil metakrilat (PMMA) ve polietilen tereftalat (PET) üzerinde oluşturulan su damlasının buharlaşma hızı, bağlı nemi doymun tuz çözeltileriyle sabitlenmiş hücreler içinde, farklı sıcaklıklarda, büyütme fotoğraf çekimi ile takip edilmiştir. Ayrıca, aynı hücre içinde difüzyon sabiti tayini için ince tüpler içindeki suyun seviyesindeki azalma gözlenmiş ve difüzyon sabiti hesapla bulunmuştur. Ancak bu denemeden bulunan su buharı difüzyon katsayıları beklenen hassasiyetle tayin edilemediğinden su damlasının buharlaşması denemesinde veri olarak kullanılamamıştır. Sıvı damlası altındaki katı yüzeyden dolağı sadece yukarı doğru buharlaşabilir. Bu yüzden buna ait $f(\theta)$ faktörü etkisi hesaplanmış ve ilk kez su damlası buharlaşması için kullanılmıştır. Bu değer kullanıldığı zaman hesapla bulunan difüzyon sabiti sonuçları literatürle birbirini desteklemektedir.

TC MÜHÜRÜ
MÜHÜRÜ
MÜHÜRÜ

**The evaporation of a water drop on a solid substrate in a constant humidity cell:
The change of contact angle and its relation with water vapor diffusion
coefficient.**

Ayşegül EROĞLU

Keyword: Contact angle, diffusion coefficient, water vapor diffusion, relative humidity, solid surface tension.

Abstract: In this work, the evaporation of water drop is monitored on polymethyl methacrylate polymer (PMMA) and polyethylene terephthalate (PET) substrates, in a cell which has fixed relative humidities by using hygrometers (saturated salt solutions). Magnification photography was applied to monitor the drop size decrease at different relative humidities and temperatures. In addition, the decrease of water level in thin glass tubes has been followed for the determination of the diffusion coefficient of water vapor in the same cell. However the diffusion coefficient of water vapor which was calculated from thin tube experiments showed low values compared to the existing literature values and only the values taken from the literature were used to evaluate the drop evaporation experiments. The liquid water drop can vaporize only upwards because of the presence of the solid surface. The $f(\theta)$ factor quantifies the prevention of diffusion to downwards direction and when this $f(\theta)$ factor is used in the calculations, very reasonable diffusion coefficients can be found from the drop evaporation rate experiments.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez konumun seçilmesinde, hazırlanmasında, engin bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen ve bana her zaman yol gösteren değerli hocam Sayın Prof. Dr. H. Yıldırım Erbil'e , tezim sırasında her zaman yanımda olan beni her konuda destekleyen Arş.Grv. Erhan Mendi'ye dostluğunu benden esirgemeyen Arş.Grv. Zehra Bulut'a teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren maddi ve manevi desteği ile daima bana güç veren sevgili aileme en içten sevgilerimle teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. TEORİK KISIM.....	2
2.1. Yüzey Gerilimi	2
2.1.1. Sıvıların yüzey gerilimi.....	2
2.1.2. Yüzey gerilim ölçüm metotları.....	3
2.1.2.1. Statik metotlar	3
2.1.2.2. Dinamik metotlar.....	4
2.1.3. Katıların yüzey gerilimi.....	4
2.1.3.1. Sıvılar ve katılar arasındaki adezyon kuvveti: Temas Açısı....	5
2.1.4. Temas açısının ölçümü.....	7
2.1.4.1. Temas açılarını etkileyen faktörler	10
2.1.5. Sıvı damlasının buharlaşma hızının değme açısı üzerine etkileri	
.....	11
2.1.6. Islatma ve yayılma.....	11
2.2. Nemli Havanın Özellikleri	12
2.2.1. Su buharı buhar basıncı	12
2.2.2. Bağıl nem	13
2.2.3. Mutlak nem.....	13
2.2.4. Şebnem noktası (Çiğlenme sıcaklığı).....	15
2.2.5. Hava neminin ölçülmesi.....	15
2.2.5.1. Kuru- yağ termometre metodu (Psikrometre).....	15
2.2.5.2. Çiğ noktası higrometresi	16

2.2.5.3. Saçlı higrometre	17
2.2.6. Bağlı nemin sabitlenmesi	17
2.3. Difüzyon	19
2.3.1. Difüzyon tipleri	20
2.3.1.1. Sıvılarda difüzyon	20
2.3.1.2. Gazlarda difüzyon	21
2.3.2. Difüzyonun modellenmesi	24
2.3.2.1. İki model arasındaki seçim.....	25
2.3.3. Adolf Fick.....	25
2.3.3.1. Fick'in 1. kanunu.....	25
2.3.3.2. Fick'in 2. kanunu.....	26
2.3.3.3. Difüzyon steady state	26
2.3.4. Sıvı damlası buharlaşması denemelerinden difüzyon sabitinin bulunması.....	27
2.3.5. İnce tüpten sıvı buharlaşması denemelerinden difüzyon sabitinin bulunması.....	31
BÖLÜM 3. DENEYSEL KISIM.....	34
3.1. Difüzyon Denemeleri	34
3.2. Bağlı Nemin Kontrol Edilmesi.....	35
3.3. İnce Tüpten Sıvı Buharlaşması Denemelerinden Difüzyon Sabitinin Bulunması.....	36
3.4. Sıvı Damlası Buharlaşması Denemelerinden Difüzyon Sabitinin Bulunması.....	36
BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1. Fiziksel Sabitler	41
4.2. İnce Tüpteki Suyun Buharlaşmasının Zamanla Takibi	43
4.3. Sıvı Damlası Buharlaşması Denemelerinden Difüzyon Sabitinin Belirlenmesi.....	57
BÖLÜM 5. SONUÇLAR.....	91
KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ.....	94

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Su molekülleri arasındaki etkileşim kuvvetleri.....	2
Şekil 2.2. Yatay bir düzlem üzerinde duran katı ile bu katının üzerindeki damlanın verdiği açı	5
Şekil 2.3. Katı ile sıvı arasındaki temas açısı	6
Şekil 2.4. Farklı değme açıları ölçebilmek için kullanılan deney düzeneği.....	8
Şekil 2.5. Cam-su, su-hidroforik arayüzeyleri	10
Şekil 2.6. Difüzyonun şematik gösterimi	20
Şekil 2.7. Birbiri ardından gelen çarpışmalar sonucu gaz molekülünün ilerlemesi ...	22
Şekil 2.8. Gazların gözenekli çeperlerden difüzyonu.....	23
Şekil 2.9. Basit bir ikili gaz difüzyon denemesi.....	24
Şekil 3.1. Deneme düzeneği fotoğrafı.....	34
Şekil 3.2. Denemede kullanılan fotoğraf makinesinin şekli.....	37
Şekil 3.3. Fotoğraf düzeneği.....	38
Şekil 3.4. Örnek damla fotoğrafı.....	38
Şekil 3.5. Örnek damla fotoğrafı	39
Şekil 3.6. Örnek damla fotoğrafı.....	39
Şekil 4.1. Suyun buhar basıncının sıcaklıkla değişimi.....	41
Şekil 4.2. 20°C' de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	48
Şekil 4.3. 20°C' de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	48
Şekil 4.4. 20°C' de %52 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	49
Şekil 4.5. 20°C' de %66 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	49
Şekil 4.6. 25°C' de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	50
Şekil 4.7. 25°C' de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	50

Şekil 4.8. 25°C' de %51 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	51
Şekil 4.9. 25°C' de %65 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	51
Şekil 4.10. 30°C' de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	52
Şekil 4.11. 30°C' de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	52
Şekil 4.12. 30°C' de %49 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	53
Şekil 4.13. 30°C' de %62 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi	53
Şekil 4.14. Suyun hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesinde hesapla bulunan D difüzyon sabitinin sıcaklıkla değişim grafiği	55
Şekil 4.15. Suyun hücre içindeki suyun difüzyon sabiti denemesinde hesapla bulunan D difüzyon sabitinin Ln değerinin sıcaklığın Ln değeri ile değişim grafiği	55
Şekil 4.16. 17°C' de %0 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	70
Şekil 4.17. 17°C' de %0 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısının zamanla azalması	70
Şekil 4.18. 17°C' de %0 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması	71
Şekil 4.19. 17°C' de %33 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	71
Şekil 4.20. 17°C' de %33 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısının zamanla azalması	72
Şekil 4.21. 17°C' de %33 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması	72
Şekil 4.22. 17°C' de %54 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	73

Şekil 4.23. 17°C' de %54 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının temas açısının zamanla azalması	73
Şekil 4.24. 17°C' de %54 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının hacminin zamanla azalması	74
Şekil 4.25. 17°C' de %66 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	74
Şekil 4.26. 17°C' de %66 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının temas açısının zamanla azalması	75
Şekil 4.27. 17°C' de %66 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının hacminin zamanla azalması	75
Şekil 4.28. 20°C' de %0 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	76
Şekil 4.29. 20°C' de %0 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının temas açısının zamanla azalması	76
Şekil 4.30. 20°C' de %0 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının hacminin zamanla azalması	77
Şekil 4.31. 20°C' de %33 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	77
Şekil 4.32. 20°C' de %33 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının temas açısının zamanla azalması	78
Şekil 4.33. 20°C' de %33 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının hacminin zamanla azalması	78
Şekil 4.34. 20°C' de %52 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	79
Şekil 4.35. 20°C' de %52 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının temas açısının zamanla azalması	79
Şekil 4.36. 20°C' de %52 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının hacminin zamanla azalması	80
Şekil 4.37. 20°C' de %66 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	80
Şekil 4.38. 20°C' de %66 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaştan su damlasının temas açısının zamanla azalması	81

Şekil 4.39. 20°C' de %66 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması	81
Şekil 4.40. 25°C' de %0 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	82
Şekil 4.41. 25°C' de %0 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısının zamanla azalması	82
Şekil 4.42. 25°C' de %0 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması	83
Şekil 4.43. 25°C' de %33 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	83
Şekil 4.44. 25°C' de %33 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısının zamanla azalması	84
Şekil 4.45. 25°C' de %33 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması	84
Şekil 4.46. 25°C' de %51 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	85
Şekil 4.47. 25°C' de %51 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısının zamanla azalması	85
Şekil 4.48. 25°C' de %51 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması	86
Şekil 4.49. 25°C' de %65 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması	86
Şekil 4.50. 25°C' de %65 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısının zamanla azalması	87
Şekil 4.51. 25°C' de %65 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması	87

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. 25°C’de sülfürik asidin konsantrasyonu ile bağıl nem arasındaki ilişkisi	17
Tablo 2.2. Bazı doymuş tuz çözeltilerinin 20°C'deki buhar basınçları ve bağıl nemleri.....	19
Tablo.3.1. Denemelerde kullandığımız doymuş tuz çözeltilerinin çalışılan sıcaklıklardaki bağıl nem değerleri.....	35
Tablo 4.1. Suyun hücre içindeki difüzyon sabiti tayini denemesinde 17°C, 20°C ve 30°C için fiziksel sabitler	42
Tablo 4.2. 20°C’de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	44
Tablo 4.3. 20°C’de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	44
Tablo 4.4. 20°C’de %52 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	44
Tablo 4.5. 20°C’de %66 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	45
Tablo 4.6. 25°C’de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	45
Tablo 4.7. 25°C’de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	45
Tablo 4.8. 25°C’de %51 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	46
Tablo 4.9. 25°C’de %65 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	46
Tablo 4.10. 30°C’de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	46
Tablo 4.11. 30°C’de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	47

Tablo 4.12. 30°C'de %49 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	47
Tablo 4.13. 30°C'de %62 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler	47
Tablo 4.14. İnce tüpten sıvı buharlaşması denemesinden ve Stefan düzeltme faktörü kullanılarak bulunan difüzyon sabitleri	54
Tablo 4.15. 17°C'de %0 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,128449 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	58
Tablo 4.16. 17°C'de %0 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,11656 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	58
Tablo 4.17. 17°C'de %33 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,130673 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	59
Tablo 4.18. 17°C'de %33 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,115984 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	59
Tablo 4.19. 17°C'de %54 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,117967 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	60
Tablo 4.20. 17°C'de %54 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,139174 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	60
Tablo 4.21. 17°C'de %66 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,125632 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	61
Tablo 4.22. 17°C'de %66 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,131291 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	61
Tablo 4.23. 20°C'de %0 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,12980 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	62
Tablo 4.24. 20°C'de %0 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,129838 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	62
Tablo 4.25. 20°C'de %33 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,123248 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	63
Tablo 4.26. 20°C'de %33 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,124948 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	63
Tablo 4.27. 20°C'de %52 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,1364 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	64

Tablo 4.28. 20°C’de %52 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,129655 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	64
Tablo 4.29. 20°C’de %66 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,131328 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	65
Tablo 4.30. 20°C’de %66 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,127043 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	65
Tablo 4.31. 25°C’de %0 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,129405 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	66
Tablo 4.32. 25°C’de %0 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,122326 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	66
Tablo 4.33. 25°C’de %33 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,116705 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	67
Tablo 4.34. 25°C’de %33 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,104380 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	67
Tablo 4.35. 25°C’de %52 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,130489 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	68
Tablo 4.36. 25°C’de %52 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,115648 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	68
Tablo 4.37. 25°C’de %66 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,107476 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	69
Tablo 4.38. 25°C’de %66 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,123982 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri	69
Tablo 4.39. Sıvı damlası buharlaşması denemesinde PET katı yüzeyi üzerindeki su damlasının çalışılan tüm sıcaklık ve bağıl nemlerdeki grafiklerinin eğimleri, temas yarıçapı ve difüzyon sabiti değerleri.....	88
Tablo 4.40. Sıvı damlası buharlaşması denemesinde PMMA katı yüzeyi üzerindeki su damlasının çalışılan tüm sıcaklık ve bağıl nemlerdeki grafiklerinin eğimleri, temas yarıçapı ve difüzyon sabiti değerleri.....	89
Tablo 4.41. Sıvı damlasının buharlaşması denemelerinde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde çalışılan tüm sıcaklık ve bağıl nem değerleri için ΔT değerleri.....	90

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Nanoteknolojide ve bilgisayarlarda kullanılan entegre devrelerin üretiminde ortamdaki nem oranının ürün ve proses üzerindeki etkileri son zamanlarda önem kazanan araştırma konuları arasındadır. Diğer taraftan, katıların yüzey geriliminin tayini, üzerlerine konulan sıvı damlalarının değme açıları ölçülerek dolaylı olarak yapılabilir. Ancak bu yöntem kullanılırken, sıvı damlasının buharlaşma hızının değme açısı üzerine etkisinin bilinmesi önemlidir. Aksi takdirde ölçülen hangi açının bu amaçla kullanılabileceği kestirilemez (Erbil ve Doğan 2000). Damlanın açık havada veya iç şartların denetlendiği bir ortam içinde bulunmasına bağlı olarak, buharlaşma hızı değiştiğinden ölçülen değme açısı ilk saniyelerde bile çok farklı sonuç verebilir (Meriç ve Erbil 1998). Öte yandan, literatürde yayınlanan su buharı difüzyon sabitlerinin sıcaklıkla değişim sonuçlarının da çok güvenilir olmaması yüzünden, hem sıvı damlasının hem de difüzyon sabitinin aynı hücre içinde aynı şartlarda tayin edilmesine gerek vardır. Diğer taraftan katı yüzeyin mevcudiyeti yüzünden damla sadece yukarıya doğru buharlaşabildiğinden bu $f(\theta)$ faktörünün de hesaba alınması gereklidir.

Bu çalışmada, polimeti metakrilat (PMMA) ve polietilen tereftalat (PET) üzerinde oluşturulan su damlasının buharlaşma hızı, bağıl nemi doymun tuz çözeltileriyle sabitlenmiş hücreler içinde, farklı sıcaklıklarda, büyütmeli fotoğraf çekimi ile takip edilmiş, denel bulgular, geliştirilen teorik modellerle açıklanmıştır.

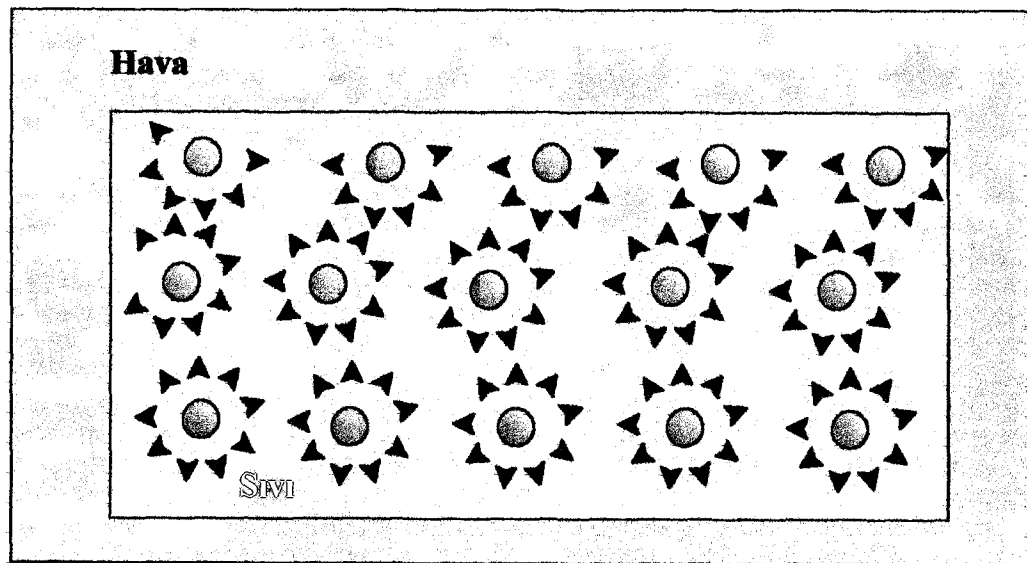
BÖLÜM 2. TEORİK KISIM

2.1. Yüzey Gerilimi

Bir sıvının yüzey gerilimi; yüzey üzerinde, sıvının yüzey genişlemesine zıt olan, birim uzunluk başına kuvvettir. Serbest yüzey enerjisi, birim yüzey alanını sabit sıcaklıkta genişletmek için yapılması gereken iş miktarıdır. Serbest yüzey enerjisi ile yüzey geriliminin nümerik değeri aynıdır.

2.1.1. Sıvıların yüzey gerilimi

Sıvı içindeki bir molekül, etrafındaki komşu moleküllerle çekim etkileşimleri içinde olduğundan ve onu çevreleyen moleküllerde genelde simetrik olduklarından, bu moleküle etkileyen moleküler kuvvetlerin bileşkesi, sıfır kabul edilir. Halbuki, sıvının yüzeyindeki bir molekül üzerinde, hiçbir başka molekül olmadığından , bu molekül altındaki komşu moleküllerin etkisiyle içeri doğru çekilir. Aynı şekilde, yüzeydeki bütün moleküller üzerinde de, onları içeri çeken kuvvetler etkili olduğundan, sıvı yüzeyi sanki gözle görülmeyen bir zarla kaplı imiş gibi davranır. Sıvı yüzeylerinin, bu davranışlarına sıvının yüzey gerilimi denilir.



Şekil 2.1. Su molekülleri arasındaki etkileşim kuvvetleri

Yüzey gerilim moleküller arasındaki kuvvet ilişkisinden de hesaplanabilir. Sıvı yüzeyindeki denkleşmemiş kuvvet alanları bu yüzeyin sahip olduğu serbest enerjiye eşit olarak düşünülebilir. Serbest yüzey enerjisi yüzeyin daralma eğilimi ile kendini gösterir (Erbil 1997, Baykut ve Biran 1986). Yüzey gerilimi sıvı ile kendi buharı arasındadır. Termodinamik açıdan yüzey geriliminin sebebi, sıvının kendi yüzeyinin potansiyel enerjisini minimuma indirmeye çalışması yani, dolayısıyla sıvının yüzey alanını minimuma indirmeye çalışmasıdır. İşte bu yüzden bir küre, verilen bir hacim için en küçük yüzey alanına sahip olan geometrik şekil olduğundan, sıvı damlaları yüzey gerilimi etkisiyle küreseldir.

Yüzey gerilimi yalnız sıvılar için söz konusu değildir. Hem katıların yüzeyinde hem de çeşitli fazlar arasındaki bütün ara yüzelerde yüzey gerilimi vardır. Yani “yüzeyler-arası gerilim” veya “yüzeyler arası serbest enerji söz konusudur.

İki akışkan örneğin bir likit ve bir gaz temasta olduğunda , ara yüzey ya da yüzeyler arası denilen, özelliği iki fazınkinden de farklı olan ince bir tabaka ile ayrılır. Sıvılar arasındaki ara yüzey pozitif serbest enerjiye sahiptir. Birbirine hiç benzemeyen sıvıların yüzeyler arası gerilimi büyüktür. Moleküller birbiri içine karıştıkça ara yüzeyde yüzey gerilimi düşer. Yüzeyler arası gerilim sıfır iken iki sıvının molekülleri her oranda birbiri içine girer (Erbil 1997).

2.1.2. Yüzey gerilim ölçüm metotları

Sıvıların yüzey gerilimi doğrudan ölçülebilmektedir. Bu ölçüm metotları statik ve dinamik metotlar olarak ikiye ayrılmıştır (Erbil 1997).

2.1.2.1. Statik metotlar

Belirli bir zaman aralığında değişmeden kalan yüzeylerin yüzey gerilimini ölçme metodudur. Yüzey gerilimine sahip eğimsel yüzeyin iki tarafında meydana gelen basınç farkına bağlıdır. Maksimum baloncuk basıncı, damla ağırlığı ve kapiler yükselme yöntemleri hidrostatik basınç farkı ölçümüne dayanan statik yöntemlere örnektir. Tel halka yönteminde de yüzey dengededir. Fakat burada hidrostatik basınç ölçülmemekte, sıvı filminin kopma kuvveti ölçülmektedir.

2.1.2.2. Dinamik metotlar

Genişlemekte ya da daralmakta olan henüz dengeye gelmemiş yüzeylerin gerilimini ölçme yöntemidir. Bir sıvı ya da sıvı –sıvı ara yüzeyi ilk oluştuğunda yüzey fazında dengenin kurulması için belirli bir süre gereklidir. Bu süre içinde yüzey geriliminin değeri zamana bağlı olarak değişir. Değişen ve hareket eden sıvının yüzeyinin incelenmesi çok zordur. Çünkü dinamik yüzeyler yüzeyin dengeye ulaşma ve dengede kalma hızına bağlı olarak sıvının iç kısmıyla dengede olabilir ya da olmayabilir. Dinamik metotlar yüzeyin genişleme ve büzülmelerindeki periyodik hareketlerin damlanın uygun bir uçtan düşerken titreşim ve dalgalanma hareketinin dalga boyu uzunluğunun ölçümüne dayanır.

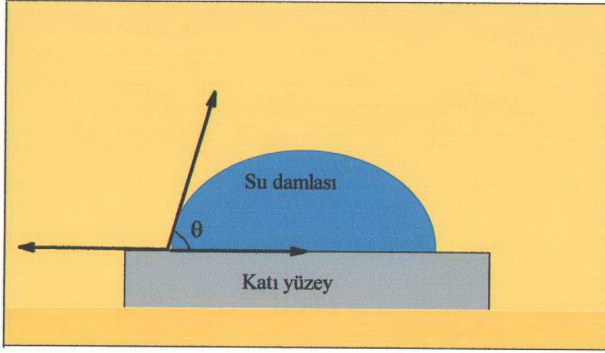
2.1.3. Katıların yüzey gerilimi

Katı yüzeylerde de aynı sıvılardaki gibi, moleküllerdeki denkleşmemiş kuvvetlerin etkilerinden dolayı serbest bir enerji meydana gelir. Katı yüzeyindeki bu serbest yüzey enerjisi her noktada aynı değildir. Sıvılarda yüzeyle sıvının içi arasında dinamik bir denge olduğundan, her noktada serbest yüzey enerjisi aynı değildir.

Sıvı molekülleri sıvı yüzeyinde sürekli hareket halindeyken katı yüzeyinde böyle bir hareket söz konusu değildir ve çoğu zaman kir, yabancı madde adsorpsiyonu ya da dış aşınma gibi nedenlerle gerçek temiz bir yüzeyin özellikleri kapatılmıştır.

Katıların yüzey gerilimi ölçümünde sıvılardaki gibi direk ölçüm metotları yoktur. Bu yüzden katıların yüzey gerilimi temas açısı ölçümüyle dolaylı olarak ölçülür.

Temas açısı, düz ve yatay bir düzlem üzerinde duran bir katı üzerine bir sıvı damlası oluşturmakla ölçülür.



Şekil 2.2. Yatay bir düzlem üzerinde duran katı ile bu katının üzerindeki damlanın verdiği açı.

Eğer sıvı katı cismi ıslatıyorsa katı ile sıvı arasındaki çekim kuvveti fazladır. Bu durumda katı ile sıvı arasındaki temas açısı dar açıdır. Buna örnek olarak teflon üzerinde toluen damlacığı verilebilir. Toluene sıvısı, teflon polimerini ıslatabilme yeteneğine sahiptir. Eğer sıvı katıyı ıslatmıyorsa sıvı ile katı arasındaki temas açısı 90° den büyük bir geniş açı olur. Buna örnek olarak teflon katısı üzerindeki su damlacığı verilebilir. Su damlası teflon katısını ıslatamamaktadır.

2.1.3.1. Sıvılar ve katılar arasındaki adhezyon kuvveti: temas açısı

Katıların yüzey gerilimi henüz bağımsız olarak ölçülememiş olmasına rağmen katı sıvı adhezyon kuvveti W_{SL} , benzeri olan sıvı-sıvı adhezyon kuvveti W_{AB} , gibi kolaylıkla ölçülebilir.

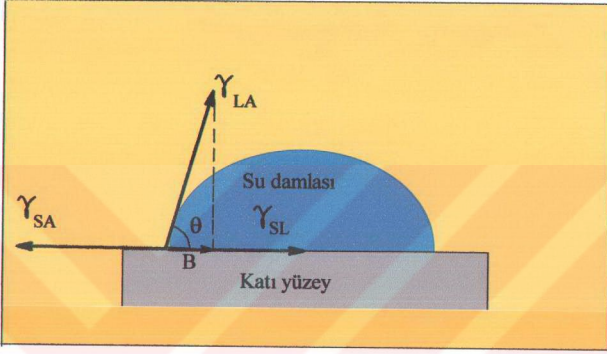
$$W_{SL} = \gamma_{SA} + \gamma_{LA} - \gamma_{SL} \quad (\text{Dupre eşitliği}) \quad (2.1)$$

γ_{LA} sıvı- hava arasındaki yüzey gerilimi; γ_{SA} ve γ_{SL} katının havaya ve sıvıya karşı yüzey gerilimidir.

Sıvı genelde üstte kalan kısımdır. Yüzey gerilimi ve değme açısı arasında ilişki Şekil 2.3 ile açıklanabilir. Sıvı ile katının yüzeye paralel bir çizgi ile ayrıldığını düşünürsek; matematiksel yüzey gerilimi, fiziksel serbest enerjisi gibi düşünülebilir.

Bu durumda;

$$\gamma_{SA} = \gamma_{SL} + \gamma_{LA} \cos\theta \quad (2.2)$$



Şekil 2.3 Kati ile sıvı arasındaki temas açısı

$$\cos\theta = \frac{B}{\gamma_{LA}} \quad (2.3)$$

$$B = \cos\theta \gamma_{LA} \quad (2.4)$$

$$\gamma_{SA} = B + \gamma_{SL} \quad (2.5)$$

(2.4) eşitliği (2.5) eşitliğinde yerine yazılarak;

$$\gamma_{SA} = \gamma_{SL} + \cos\theta \gamma_{LA} \text{ elde edilir.} \quad (2.6)$$

bu eşitlikte (2.1) eşitliğinde yerine konularak Young eşitliği elde edilir.

$$W_{SL} = \gamma_{LA} (1 + \cos\theta) \quad (\text{Young eşitliği}) \quad (2.7)$$

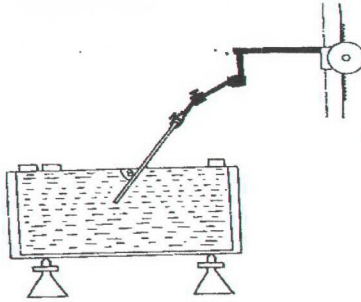
Eşitlik (2.7), değme açısının sıvı ve katı arasındaki adhezyon kuvvetine bağlı olduğunu gösterir. Eğer değme açısı sıfır ise; $W = 2\gamma_{LA}$ olur. Bu yüzden sıvı katı çekimi sıvı-sıvı çekiminden daha fazla olur. Durum böyle olduğunda açı da sıfır olur. Değme açısı 90° olduğunda; sıvının katı üzerindeki etkisinin sıvı-sıvı etkisinin yarısı olduğunu; 180° olduğunda ise; sıvı katı arasında hiçbir etkileşme kuvvetinin mevcut olmadığını gösterir.

$(\gamma_{LA} \cos\theta)$ terimi Freundlich tarafından adhezyon gerilimi olarak tanımlanmıştır. Bu değer katı-hava ve katı-sıvı yüzey gerilimi arasındaki farka eşit olduğunu belirtmiştir. $(\gamma_{LA} \cos\theta) = (\gamma_{SA} - \gamma_{SL})$ (Adam, 1941).

2.1.4. Temas açısının ölçümü

Temas açısının ölçümü; sıvı-sıvı-katı; katı-sıvı-gaz sisteminde oldukça önemlidir. Temas açısını doğru ölçmek oldukça güçtür. Fakat geniş ve düzgün bir katı yüzeyi varsa temas açısını ölçülmesi kolaylaşır.

Bilinen en basit değme açısı ölçümü; 'plate' denen levha şeklinde yassı bir yüzeyde yapılan ölçümdür. Katı, çeşitli açılarla ayarlanabilir bir açıyla taşıyıcıya tutturulur ve bu taşıyıcı su yüzeyinde yavaşça daldırılıp çıkarılarak açı ölçümü yapılır. Şekil 1.4, Adam ve Jessop tarafından kullanılan cihazı göstermektedir. İlerleme açısı için, plate daha az aşağı daldırılır gerileme hareketi içinse yukarı kaldırılır ve iki davranışta açının oluşumu aynı sürede olur.



Şekil 2.4. Farklı değme açıları ölçebilmek için kullanılan deney düzeneği

Aynı temellere dayanan daha gelişmiş metot silindir metodudur. Katı, silindir üzerine yapılandırılır, yatay konumda ve bu ekseninde dönebilecek şekilde sıvıya daldırılır. Sıvı seviyesi, sıvı yüzeyi ile katının sıvıya değme çizgisi paralel olana dek ayarlanır. Değme açısı su seviyesi yüksekliği ile hesaplanır.

Silika, cam ya da bunun gibi şeffaf tüplerde değme açısı mikroskobik ölçümle bulunabilir. Tüpün duvarlarının eğriliğinden dolayı meydana gelen optikçe bükülme, tüp sıvıya yatırılarak elimine edilebilir.

Değme açısı sıvının kapiler borudaki yüksekliği ölçülerek de belirlenebilir. Bunun için kapiler borudaki sıvının yüzey geriliminin bilinmesi gerekmektedir: Yükselme;

$$\frac{2\gamma \cos\theta}{gdr} \quad (2.8)$$

ile verilir. r , tüpün yarıçapı; d , sıvının yoğunluğudur. Bu metot, cıvanın çeliğe karşı değme açısını X ışınları metodu ile 154° bulan araştırmacılar tarafından da kullanılmıştır. Haller, bu metodu modifiye etmiştir. Şöyle ki; dikey tüpteki sıvı yükselmesine göre değil, yatay tüpteki sıvının ileri ya da geri gitmesi için gerekli basıncı ölçerek bulmuştur. (Haller, 1931)

Bir başka metot; yatay düzlem üzerinde oluşturulan damlaların ya da düzlemin altında kalan kabarcığın yüksekliğinin ölçülmesidir. Eğer damla ya da kabarcık çok büyük ise; tepedeki eğrilik ihmal edilir ve yüzeyin bir kısmı, düzlemsel davranır. Bu durumda değme açısının eşitliği

$$1 \pm \cos\theta = \frac{gdh^2}{2\gamma} \quad (2.9)$$

d, yoğunluk; h, damla ya da kabarcığın toplam yüksekliğidir. Bu metot da açının ilerleme yada gerilemeden dolayı oluştuğunu garanti etmek zor olduğundan; ikisinin bir ortalama değeri alınır. İlerleme yönündeki açı damlacık için, gerileme yönündeki açı ise kabarcık içindir. (2.9) eşitliği, pozitif ise; uygulama kabarcığa, negatif ise; uygulama damlacığıdır.

Temas açısının ölçülmesi çalışmalarında bir çok güçlükle karşılaşılır. Bir sıvı yüzeyinin kirlenmesi temas açısını azaltır, Young denkleminde göre, likidin kirlenmesiyle γ_{LA} değeri azalacağı ve W_{SL} de sabit kalacağından θ açısı küçülür. Örneğin; bir cıvanın cama yapışması, temas açısının 90° nin oldukça altına düştüğünü gösterir.

Katı yüzeyleri, sıvı yüzeylerinden farklıdır. İyi temizlenip parlatılsalar bile, sıvı yüzeyinden çok daha fazla heterojenlik gösterirler. En iyi parlatılmış bir katı yüzeyi, durgun bir sıvı yüzeyiyle karşılaştırıldığında çıkıntılı ve çukurludur. Her katı yüzeyi her zaman çok ince bir tabaka halinde yabancı maddeyle kaplanmış durumdadır. Herhangi bir katı yüzeyindeki kirlilik hava yüzeyindeki yağlı malzemelerden ve insan elindeki yağdan gelmektedir. Kirlilerden tamamen arındırılmış bir katı yüzeyi elde etmek genelde zordur. Bir kristalin bıçakla kesilmesiyle temiz bir yüzey kısa bir süre için elde edilebilir. Temas açısı, θ , kuru bir yüzeyde mi ilerlediği yoksa ıslak bir yüzeyden mi çekildiğine bağlı olarak değişir. Damlanın ilerlerken ve geri çekilirkenki değme açısı arasındaki bu fark hysteresis olarak adlandırılır. İlerleyen açı (advancing) pratikçe bütün hallerde gerileyen (receding) açıdan büyüktür. (Adam, 1941). Çünkü adhezyon işi kuru yüzey için önceden ıslatılmış olandan daha azdır. Katı sıvıyla ilk temas ettiğinde bir miktar sıvıyı adsorblar. Bu yüzden solid yüzeyinin

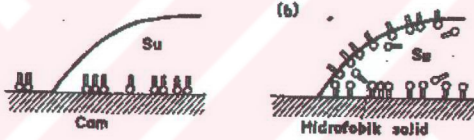
karakteristiği değişmiş olur. Katı yūzeyi ne kadar temiz ve ideale yakın olursa, ilerleme ve gerileme aılları arasındaki fark o kadar az olur.

$$H \equiv \theta_a - \theta_r \quad (\text{İdeal halden sapmayı gōsteriyor}) \quad (2.10)$$

2.1.4.1 Temas aıllarını etkileyen faktōrler

Cam ile su arasındaki temas açısı yađ asidi gibi yağlı bir maddenin adsorplanmış tabakası tarafından arttırılır. Cam-su ara yūzeyinin yerini hidrokarbon-su ara yūzeyi aldığından, (şekil 2.5 a) W_{SL} azalır; bōylece θ artar.

Suyun hidrofobik bir katı yūzeyine yayılmasına yūzey aktif maddelerin katılması oldukça yardım eder. W_{SL} artması ve γ_{LA} azalması (řekil 2.5 b) sonucunda Young eřitliđinde θ azalır.



řekil 2.5. Cam-su, su-hidrofobik katı arayūzeyleri

Yūzeyin pūrzlölölüđü, temas açısını değiştirir, θ' nın düz yūzeylerde 90° den az olduğu hallerde, sıvı katıdaki gōzeneklerin, çukurların çoğunu doldurur ve içine işler, bōylece kısmen sıvının ve kısmen de katının gerçek bir parçası olan düzgün bir yūzey oluşur; sıvının, aynı sıvıyla temas açısı sıfır olduğundan, θ azalır. Diđer yandan, θ , düz yūzeylerde 90° den büyükse, sıvı katıdaki gōzenek ve çukurların içine işleme gōstermez. Sıvı ile gōzeneklerde tutulmuş hava arasında pratik olarak hiç adhezyon olmadığından θ artar ve bōylece likidin katı-hava düzgün yūzeyde yayıldığı kabul edilir (Baykut, Biran, 1986).

Katı yüzeyini hazırlama yöntemi temas açısını etkileyebilir; örneğin su içinde kristallendirilen maddelerin su çekici gruplarının dışarı doğru yönelmesi sonucunda temas açıları çoğunlukla havada kristallendirilenlerden azdır (Baykut, Biran, 1986).

2.1.5. Sıvı damlasının buharlaşma hızının değme açısı üzerine etkileri

Katı üzerine damlatılan sıvı damlasının modellenmesi için yapılan çalışmalar bu sıvı damlasının küresel olduğu varsayımına dayanılarak yapılmıştır. Küresellikten sapan damlalar için çeşitli düzeltme faktörleri hesaba katılarak modellemeler yapılmıştır (Picknett ve Bexon 1977, Rowan ve diğerleri 1955, Erbil ve Meric 1997, Meric ve Erbil 1998, Erbil ve diğerleri 2001). Yatay bir katı üzerine damlatılan damla yeterince küçük ve küresel ise bu damla üzerine etkili olacak ve onu küresellikten saptıracak yerçekimi kuvveti damlanın yeterince küçük olmasından dolayı ihmal edilebilir. Bu damla dört parametre ile şekillendirilebilir. Bunlar; damlanın yüksekliği (h), temas yarıçapı (r_b), küresel damlanın yarıçapı (R) ve damlanın katı ile yaptığı temas açısıdır (θ) (Erbil ve Meric 1997).

Zamanla katı üzerindeki sıvının buharlaşması sonucu damla küçülür. Sıvı damlasının buharlaşması iki tiptir: Birinci tipte, değme yarıçapı sabitken, değme açısı ve damla yüksekliği zamanla azalır. İkinci tipte ise, damlanın değme açısı sabitken, damlanın yüksekliği ve değme yarıçapı zamanla azalır. Birinci tip buharlaşma, su damlası ve birçok diğer sıvı damlasının polimerler üzerindeki buharlaşmalarında (değme açısı 90° altında iken) gözlenirken; ikinci tip buharlaşma yüzey gerilimi düşük, ideal kabul edilebilen (mesela Teflon gibi) yüzeylerde ve sadece bazı sıvılar için gözlenmektedir.

2.1.6. Islatma ve yayılma

Bir sıvı damlası, bununla karışmayan diğer bir sıvının veya çözünmeyen bir katının yüzeyinde bulunuyorsa; ya ince bir film olarak yayılabilir ya da yayılmadan leke olarak kalabilir. Temas eden iki fazın serbest enerjileri yani fazların ayrı ayrı yüzey ve ara yüzey gerilimleri neler olabileceğini saptar. Yayılma temas açısı sıfırken olabilir. Yayılma, yüzeyde çok ince monomoleküler bir tek tabaka olana kadar devam eder (Adam, 1941).

2.2. Nemli Havanın Özellikleri

Kuru hava, bir takım gazların karışımından meydana gelir. Ortalama molekül ağırlığı 28,966g/mol olan kuru havanın içinde bulunan başlıca gazlar, karışım içindeki mol oranına göre sırasıyla, Azot (0,7809), Oksijen (0,2095), Argon (0,0093) ve Karbondioksit (0,0003) olarak sayılabilir.

Nemli havanın içinde yukarıda belirtilen kuru havayı oluşturan gazlara ek olarak, değişen miktarda su buharı bulunur. içinde su buharı bulunan hava teknik açıdan “nemli hava” olarak tanımlanır.

Nemli havanın özelliklerinin incelenmesi “psikrometri” adı verilen termodinamiğin özel bir dalının konusu olmaktadır.

2.2.1 Su buharı buhar basıncı

Su buharı buhar basıncı nemli havanın içinde bulunan su buharı moleküllerinin kısmı basıncıdır.(P_v) Hava, içinde bulundurabileceği su buharının tamamını içerdğinde, sahip olduğu buhar basıncı, doymuş buhar basıncı, (P_{vs}) olarak tanımlanır. Doymuş durumdaki havanın su buharı basıncı (P_{vs}), 0 ≤ T < 260 °K sıcaklık şartları için aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$\ln \frac{P_{vs}}{R} = \frac{A + BTm + CTm^2 + DTm^3 + ETm^4}{FTm - GTm^2} \quad (2.11)$$

Eşitlikte yer alan P_{vs}, doymuş buhar basıncını(Pa); Tm hava sıcaklığını (°K); A,B,C,D,E,F,G ve R katsayıları belirtmektedir. Bu katsayıların değerleri aşağıda sıralanmıştır.

$$\begin{array}{llll} A = -27405,526 & C = -0,146244 & E = -0,48502 \times 10^{-7} & G = 0,39381 \times 10^{-2} \\ B = 97,5413 & D = 0,12558 \times 10^{-3} & F = 4,34903 & R = 22105649,25 \end{array}$$

Çeşitli sıcaklıklardaki nemli havanın su buharına doyma durumunda sahip olduğu (P_{vs}) değerleri tablolardan bulunabilir.

2.2.2 Bağlı nem

Bağlı nem, herhangi bir sıcaklık derecesi ve basınçtaki kuru hava içinde bulunan su buharı miktarının, aynı sıcaklık ve basınç şartlarında, havanın su buharıyla doymuş hale gelmesi durumunda içerebileceği su buharı miktarına oranıdır. Başka bir deyişle bağlı nem havanın neme doyma oranıdır.

Bağlı nem (RH), termodinamikte havada bulunan su buharının kısmi basıncının (P_v), doymuş durumdaki havanın kısmi buhar basıncına (P_{vs}) oranı şeklinde tanımlanır.

$$RH = \frac{P_v}{P_{vs}} \cdot 100 \quad (2.12)$$

doymamış nemli havada $P_v < P_{vs}$ olduğundan ($\%0 < RH < \%100$) doymuş nemli havada $P_v = P_{vs}$ olduğundan $RH = \%100$, tam kuru hava için $P_v = 0$ olduğundan $RH = \%0$ değerleri elde edilir.

yukarıda yapılan tanımlara dayanarak, incelenen havanın bağlı neminin, örneğin $\%60$ olması durumunda, havanın içinde bulunan su buharının, aynı koşullar altında bulunabilecek su buharı basıncının $\%60$ olduğu anlaşılmıştır.

Sıcaklık arttıkça bağlı nem azalır. Bunun nedeni ısınan havanın hacmi genişler ve alabileceği nem artar. Sıcaklık azaldıkça, havanın hacmi daralır ve alabileceği nem azalır.

2.2.3. Mutlak nem

Herhangi bir durumda, incelenen nemli hava içinde 1kg kuru havaya karşılık bulunan kg veya g olarak su buharı miktarına “Mutlak Nem” (w) adı verilir. ($w = \text{kg su buharı/kg kuru hava}$)

Özgül Nem olarak da adlandırılan mutlak nem, nemli havayı oluşturan kuru hava ve su buharının kısmi basınçları cinsinden yazılabilir. Nemli havadaki su buharı ağırlığının, karışımdaki kuru havanın ağırlığına oranı, havadaki su buharı kısmi basıncı ile suyun molekül ağırlığı çarpımının, kuru havanın kısmi basıncı ile havanın molekül ağırlığı çarpımı arasındaki orana eşittir.

Bu durumda

$$w = \frac{P_v 18,02}{P_h 28,97} = 0,6219 \frac{P_v}{P_h} \quad (2.13)$$

yazılabilir. (P_h), kuru havanın kısmi basıncını belirtmektedir.

Bir gaz karışımının basıncı, karışımı oluşturan gazların kısmi basınçları toplamına eşit olduğundan, nemli havanın basıncı (P), su buharı ile kuru havanın kısmi basınçları toplamına eşit olacaktır.

$$P = P_h + P_v \quad (2.14)$$

Bu eşitlikten yararlanılarak elde edilen ($P_h = P - P_v$) değeri (2.13) numaralı eşitlikte yerine konularak

$$w = 0,6219 \frac{P_v}{P - P_v} \quad (2.15)$$

yazılabilir. Mutlak nem, bağıl nem değerini içerecek şekilde yazılabilir. Daha önce belirtildiği gibi nem ($RH = P_v/P_{vs}$) şeklinde ifade edilip bu eşitlikten (P_v) bulunur ve (2.15) numaralı eşitlikte yerine konulursa

$$w = 0,6219 \frac{RH (P_{vs})}{P - RH (P_{vs})} \quad \text{elde edilir.} \quad (2.16)$$

2.2.4 Şebnem noktası (Çiğlenme sıcaklığı)

Hava doygun halde bulunmadığı takdirde soğutulması halinde belli bir sıcaklığa ulaşıncaya kadar yoğunlaşma meydana gelmez. Ancak su buharı kısmı basıncı, bu sıcaklıkta doygun haldeki su buharı basıncına eşit olduğu anda yoğunlaşma başlar. Yoğunlaşmanın başladığı andaki hava sıcaklığı, çiğlenme sıcaklığı (Tç) olarak adlandırılır. Tablolardaki değerlerden yararlanarak çiğlenme noktası sıcaklığını hesaplamak mümkündür.

2.2.5 Hava neminin ölçülmesi

Havanın bağıl neminin belirlenmesinde kullanılan yöntemler aşağıda verilmektedir.

2.2.5.1. Kuru- yaş termometre metodu (Psikrometre)

Hava nemi psikrometri ile ölçülür. Psikrometri iki adet termometreden ibaret olup bunlardan birisi normal, diğeri ise haznesinin üzeri damıtık suyla sürekli olarak ıslatılan bir fitille kaplı termometredir. Buna göre normal olan kuru termometre ile nemli havanın sıcaklığı ölçülürken yaş termometre ile doyma anındaki sıcaklık ölçülmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus normal termometrenin ön tarafa yerleştirilmesi gerektiğidir.

Doymamış bir hava akımı su ile karşılaştığında, suyun sıcaklığı havanın sıcaklığından büyük ise bir taraftan sudan havaya ısı iletimi olurken diğeri taraftan buharlaşma meydana geleceğinden su soğur.

Hava ve suyun sıcaklıkları eşit olduğu anda ısı iletimi sona erer fakat hava su buharı ile doygun hale ulaşmamış ise buharlaşma devam eder. Böylece suyun sıcaklığı havanın sıcaklığının altına düşer. Bu halde havadan suya ısı iletimi başlar. Havadan nemli fitile ısı geçişi aralarında bir sıcaklık dengesi kuruluncaya kadar devam eder. Bu anda konveksiyonla iletilen ısı, fitilden suyun buharlaşması için gerekli gizli ısıya eşittir.

Denge durumunun olduğu andaki sıcaklık atmosferik şartlara ve fitilin üstünden geçen gaz akış hızına bağlıdır. Bu sırada ölçülen denge sıcaklığı Psikrometrik Yaş Termometre Sıcaklığı (t_s) olarak adlandırılır. Üzerinden hava cereyanı geçirmek suretiyle su en fazla bu sıcaklığa kadar soğutulabilir. Hava su buharına doymuş halde ise ıslak tampondan su buharlaşmaz. Bu durumda $t_k = t_s$ dir. Buna göre doymamış nemli hava için her durumda yaş termometre sıcaklığı, kuru termometre sıcaklığından daha düşük olup buharlaşma hızı havanın kurluğuna bağlıdır.

Yaş ve kuru termometre sıcaklıklarına göre havanın bağıl nemi;

$$RH = \frac{P_{vs}(t_s) - \frac{1}{2}\Delta t}{P_{vs}(t_k)} \quad (2.17)$$

$$\Delta t = t_k - t_s \quad (2.18)$$

eşitliğinden hesaplanabilir.

Kuru ve yaş termometre sıcaklıklarından yararlanılarak bağıl nemin belirlenmesi işleminin kolaylaştırılabilmesi için bazı özel çizelgeler hazırlanmıştır. Bu çizelgeler yardımıyla, kuru termometre sıcaklığı ile kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasındaki farktan yararlanılarak bağıl nem bulunabilir (Yağcıoğlu 1999).

2.2.5.2 Çiğ noktası higrometresi

En doğru bağıl nem tayin etme metodu çiğ noktası sıcaklığını ölçmektir. Bağıl nem havada bulunan su buharının kısmi basıncının (P_v), doymuş durumdaki havanın kısmi buhar basıncına (P_{vs}), oranıdır. P_{vs} basıncı değişik sıcaklıklar için doymuş su buharının denge basıncını veren tablolardan kolayca bulunmaktadır. Havada bulunan su buharı kısmi basıncının (P_v) bulunması ise daha zordur. Çiğ noktası higrometresi ile P_v değeri bulunmakta buradan da bağıl neme geçilmektedir (Drigo ve Alocco 1955)

$$RH = \frac{P_v}{P_{vs}} \quad (2.19)$$

Higrometrenin çalışma prensibi parlatılmış ve açık renk bir yüzeyi, etraftaki havada mevcut su buharının bu yüzey üzerinde yoğunlaşmasını sağlayacak sıcaklığa kadar soğutmaktan ibarettir. Bu sıcaklığa inilince nem parlatılmış yüzey üzerine çöker ve kendini ince bir buğu tabakası şeklinde gösterir. Yoğunlaşan nemlerde yüzey matlaşınca yüzeyin sıcaklığı ölçülür. Bu ölçülen sıcaklığa karşılık gelen buhar basıncı tablolardan bulunur, buradan da bağıl neme geçilir.

2.2.5.3. Saçlı higrometre

Yağı alınmış birkaç saç teli iki destek arasında gerilmiştir. Saç tellerinin boyu havadaki nem miktarı ile orantılı olarak artar. Bu değişimler bir göstereyi hareket ettirir. Göstergenin ucu kalibre edilmiş bölmeler karşısında durur ve buradan bağıl nem okunur (Coulson ve Richardson, 1996).

2.2.6. Bağıl nemin sabitlenmesi

Ortamin bağıl neminin sabitlenmesinde doymuş tuz çözeltileri ve belli konsantrasyonlardaki sülfürik asit çözeltileri kullanılabilir. Aşağıdaki tabloda sülfirik asidin konsantrasyonu ile bağıl nem arasındaki ilişkisi verilmektedir (Weast, 1981-1982).

Tablo 2.1 25°C' de Sülfürik asidin konsantrasyonu ile bağıl nem arasındaki ilişki.

% H ₂ SO ₄	aw H ₂ SO ₄	% Bağıl Nem
78	1,7	3,2
70	1,6	8,5
61	1,5	18,8
51	1,4	37,1
46	1,35	47,2
40	1,3	58,3

Ortamın bağıl neminin ayarlanmasında diğer bir yöntem ise, kuru ve nemli havanın belli oranlarda karıştırılması veya belli bir doygunluk değeri gösteren gaz akımıyla sağlanmasıdır.

Çözeltilerde su moleküllerinin sıvı fazdan buhar fazına geçmesi güçleşir. Başka bir tanımlama ile buhar basıncı düşer. Buhar basıncının düşmesi sonucu donma noktası sıcaklığında azalma ve kaynama noktası sıcaklığında artma görülür. İdeal çözeltilerdeki konsantrasyonla buhar basıncı arasındaki ilişki Raoult yasası ile tanımlanır. Bu yasaya göre ideal çözeltilerde çözücünün buhar basıncının bağıl olarak azalması katı maddenin mol fraksiyonuna eşdeğerdir. (P) çözeltilinin, (P₀) da çözücünün buhar basıncı ve (n₁) katı maddenin ve (n₂) çözücünün mol sayısı kabul edilirse genel olarak Raoult yasası aşağıdaki gibi şekilde tanımlanır.

$$\frac{P}{P_0} = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad (2.20)$$

Doygun bir tuz çözeltisi havayla temas halinde bırakıldığında havanın nemi katının yüzeyinde yoğunlaşır. Bu yoğunlaşma ortamın buhar basıncı doygun tuz çözeltisinin buhar basıncının altına düşene kadar devam eder. Doygun tuz çözeltisinin buhar basıncı saf suyun buhar basıncından daha düşüktür. Ve bu durumda doygun tuz çözeltisinin yüzeyinde toplanan su ancak ortamın sıcaklığında doygun çözeltinin buhar basıncına uygun düşen bağıl nem değerinde buharlaşır (Adams, 1929).

Doygun tuz çözeltisinin havadan suyu adsorplama eğilimi sabit sıcaklıkta dengede doygun çözeltinin buhar basıncıyla, suyun buhar basıncının oranına eşittir. Bu oran su aktivitesi olarak da tanımlanır. Diğer bir değişle maddenin sabit sıcaklıkta dengeye erişmesinden sonra, madde tarafından tutulan su miktarıdır. Bu oranın yüzle çarpılması bize bağıl nemi verir. Doygun tuz çözeltilerinin buhar basınçlarının bulunmasıyla bağıl neme direk olarak geçilebilir. Bazı doygun tuz çözeltilerinin buhar basınçları ve bağıl nemleri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 2.2. Bazı doymun tuz çözeltilerinin 20°C' deki buhar basınçları ve bağıl nemleri (Adams, 1929).

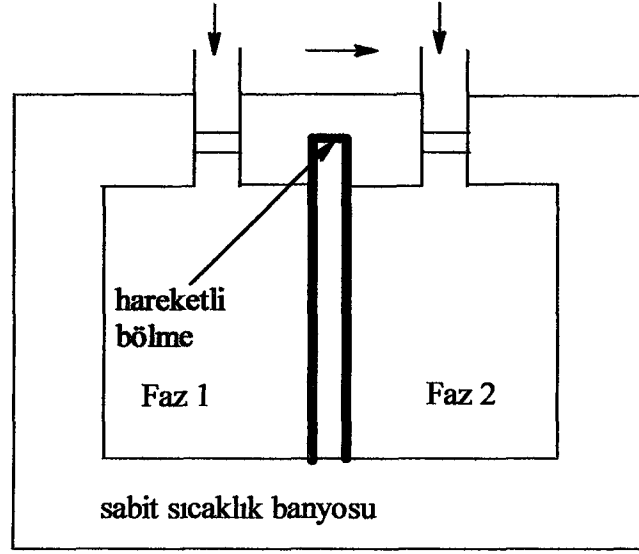
Doymun Tuz Çözeltileri	Buhar Basınçları (mmHg)	Ortamın % Bağıl Nemleri
NH ₄ NO ₂	11,74	66,9
NaCl	13,63	77,6
NH ₄ Cl	13,53	77,1
KNO ₃	16,21	92,3
KCl	15,04	85,7

2.3. DİFÜZYON

Difüzyon, dışardan bir etki olmadan konsantrasyon farklılığı, sıcaklık ve basınç gibi sadece ortam koşullarına bağılı olarak; gaz, sıvı veya katı bir maddenin bir başka gaz, sıvı veya katı madde içinde dağınık moleküller hareket ile nüfuzudur.

Şekil 2.9' da iki fazın madde geçirmez bir bölmeyle ayrıldığı gösterilmiştir. Sistem sabit sıcaklık ve basınç altındadır. Her bir fazdaki maddeler farklı başlangıç molar konsantrasyona sahiptirler. Bölme kaldırıldığı zaman iki faz temas haline geçecek, konsantrasyon farkından dolayı fazlar arası madde transferi olacak ve en sonunda iki faz arasındaki konsantrasyon farkı kaybolacaktır. Bu şekilde kendiliğinden meydana gelen kütle transferiyle ve zamanın geçmesi ile iki bölüm arasındaki konsantrasyon farkını ortadan kaldıran bu olay difüzyon olarak tanımlanır. (Levine 1995).

Kısaca tanımlanırsa, difüzyon konsantrasyon gradientine (bir ortamda uzaklığa göre konsantrasyonun düzgün değişimi) ve zamana bağılı olarak dışardan hiçbir etki olmadan kendiliğinden meydana gelen kütle transferi olayıdır.



Şekil 2.6. Difüzyonun şematik gösterimi (Bölme kaldırıldığında difüzyon başlar)

Örneğin; parfüm şişesinin kapağını açalım. Şişe içindeki parfüm buharı difüzyonla odaya çok kısa bir sürede yayılır. Bir diğer örnekte, renkli bir tableti su dolu bir bardağa attığımızda, rengin difüzyonla su içinde dağılması ve her yerin aynı renge boyanması birkaç dakika alabilir (Hooper ve Gwyne 1980).

Difüzyon, duruma bağlı olarak çok yavaş gerçekleşen bir olay olabilir. Gazlar için ortalama difüzyon hızı saniyede 0,16 cm/sn, sıvılarda ise 8×10^{-4} cm/saniye, katılarda ise; $1,6 \times 10^{-7}$ cm/saniyedir. Bu değerler sabit değildir, sıcaklık ve moleküllerin cinsiyle değişen değerlerdir.

2.3.1 Difüzyon tipleri

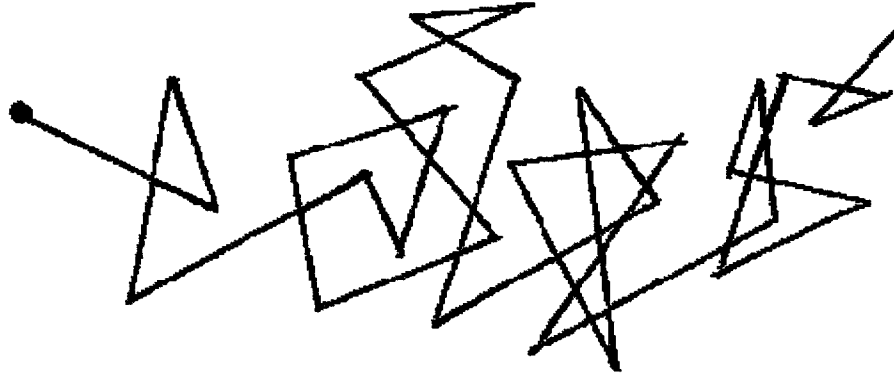
2.3.1.1 Sıvılarda difüzyon

Bakır sülfat gibi bir renkli kristal ince uzun bir tüpün dibine yerleştirilir ve daha sonra tüp saf su ile doldurulursa, mavi renk yavaşça tüpün içinde yukarı doğru yayılmaya başlar. Başlangıçta, mavi renk tüpün dibinde yoğundur, fakat bir gün sonra birkaç santim yukarı doğru nüfuz eder, birkaç gün sonrada solüsyon tek renkte tam homojen bir çözelti olur. Renklendirilmiş maddenin sıvı içindeki hareketinden sorumlu olan olay difüzyondur. Difüzyon karmaşık moleküler hareket ile olur.

Gazlarda ve sıvılarda moleküller hareketin hızı, ortamın sallanması veya çalkalanmasıyla arttırılabilir. Örneğin uzun borudaki bakır sülfat çözeltisi birkaç dakika çalkalanarak tamamen karıştırılabilir. Ancak bu hızlanma sadece difüzyondan değil, hem difüzyon hem karıştırmadan dolayı olur. Difüzyon o maddenin moleküllerinin içinde bulunduğu ortam içindeki kendi hareketine bağlıdır, bu hareketin sebebi o maddenin o ortamdaki konsantrasyonunun her yerde sabit değil, birbirinden farklı olmasıdır ki biz bunu ‘konsantrasyon gradienti’ diye adlandırıyoruz. Difüzyon aslında bir doğal kütle transferi olayıdır. Halbuki, karıştırma ya da çalkalanma ile moleküllerin kendiliğinden ilerlemesi, difüzyon değildir, fakat akışkanın daha fazla ilerlemesini sağlayan makroskopik bir kütle transferi olayıdır (Hooper ve Gwyne, 1980).

2.3.1.2 Gazlarda difüzyon

Gazların karakteristik özelliklerinden biri de moleküllerin her yöne olan dağılımlarıdır. Termodinamik olarak, gazlar kapladıkları hacim içinde homojen bir dağılım göstermiyorlarsa, bu farkı giderecek ve kendi konsantrasyonunu kabın her tarafına eşit yapacak şekilde hareket ederler. Bu olaya “gazların difüzyonu” denir. Gaz difüzyonu, gaz moleküllerinin bir başka gaz molekülleri içinde karmaşık hareket ile ilerlerken her iki gazın özelliklerine göre ve belli bir düzene göre adım adım karışımıdır. Moleküller hız çok büyük olmasına rağmen gaz difüzyonunun tamamlanması bu hıza nazaran uzun zaman alır. Örneğin; laboratuvar masasının bir ucundaki amonyak kokusu, bu masanın biraz uzağında duran bir kişinin alması zaman gerektirir. Kokunun oda içinde yavaşça yayılmasının sebebi şekil 2’ de gösterildiği gibi çeşitli moleküller arası çarpışmadan kaynaklanır ki, karmaşık moleküller hareket dediğimiz olay bu olaydır. Difüze olan maddenin hem kendi molekülleri ile, hem de eğer sistem içinde başka maddeler varsa bu maddelerin buhar halindeki molekülleri ile çarpışıp zig-zaglı yol izlenmesi, difüzyon olayının yavaşlamasına neden olur. Moleküllerin ilerlemesi sonucu aldığı ortalama mesafeye “ortalama serbest yol” denir.



Şekil2.7 Birbiri ardından gelen çarpışmalar sonucu gaz molekülünün ilerlemesi

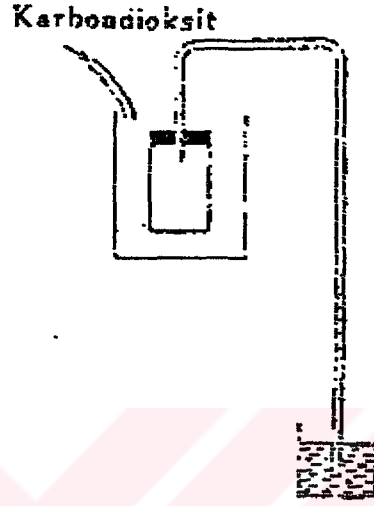
Hafif gazların difüzyon hızı ağır gazlardan daha fazladır. Thomas Graham, aynı basınç ve sıcaklık altında gazların difüzyon hızlarının, molar kütlelerinin karekökü ile ters orantılı olduğunu bulmuştur. Bu Graham' ın difüzyon kanunu olarak bilinir ve matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_{w2}}{M_{w1}}} \quad (2.21)$$

v_1 ve v_2 , 1. ve 2. gazların difüzyon hızı; M_{w1} ve M_{w2} ise bunların molar kütleleridir. Difüzyon hızı, difüzlenen molekülünün hareketinin hızı, dolayısıyla da molar kütlesi ile orantılıdır. Gazlarda difüzyon olayları özellikle gaz geçiren ayırma çeperleri (örneğin gözenekli toprak silindirler) kullanılarak basit olarak gözlenebilir.

Gazlara karşı yarı geçirgen bir toprak kap, içinden uzun bir cam boru geçen bir tıpa ile kapatılır. Cam borunun alt ucu su ile dolu cam kap içine batırılır. Gözenekli toprak kap üzerine bir beher asılır. Bundan sonra yukarıdaki beher içine hidrojen gazı gönderilirse; cam borunun alt ucundan daz habbeleri çıkar ve hidrojenin toprak kabın içine difüzlendiği anlaşılır. Bundan sonra yukarıdaki beher çekilirse, toprak kap dışardan hava ile çevrilmiş olur ve içinde de hidrojen gazı kalır. Bu defa hidrojen gazı yine gözenekli çeperden dışarıdaki havaya difüzlenir ve alt kap içinde bulunan sonra boru içinde oldukça büyük bir yüksekliğe çıkar.

Karbondioksit havadan daha yavaş difüzenir. Bu yüzden toprak kap şekil 2.8' teki düzenekte gösterildiği gibi karbondioksit ile doldurulmuş bir kap içine sokulursa, borudaki su yükselir. Beher tekrar uzaklaştırılırsa, havanın toprak kap içine hızla difüzenmesi sonucu su içinde şiddetle gaz kabarcıkları yükselir.

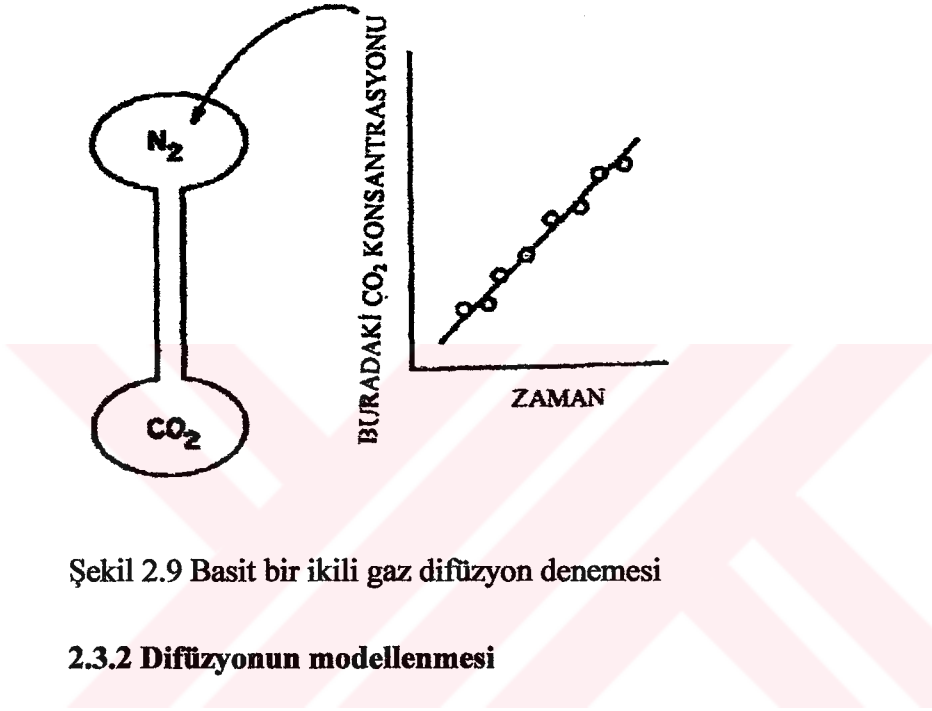


Şekil 2.8. Gazların gözenekli çeperlerden (toprak kaptan) difüzyon

Bahsedilen deneyler, hafif gazların aynı sıcaklıkta daha hızlı uçuşan moleküllerinin toprak kabın ince gözenekli kısmından ağır gazın daha yavaş moleküllerinden daha çabuk yol aldıklarını göstermektedir. Moleküllerin büyüklükleri birbirine eşit olduğu için 1 saniyede kenar üzerine ne kadar çok molekül çarparsa o kadar fazla molekül gözenek içine girer. Buna göre difüzyon hızının molekül kütesinin karekökü ile ters orantılı olması beklenmelidir. Bu gerçekten ince gözenek içinde böyledir. Gözenek yoksa hiçbir basınç farkı meydana gelmez çünkü bu durumda hafif hidrojen molekülleri daha ağır hava moleküllerine çarpar, hafif hidrojen molekülleri, yavaş ve ağır hava molekülleri tarafından daha fazla alı konmuş olur (Grimsehl ve Tomaschek 1945).

Difüzyon' un matematiksel tanımları ve temelleri Fick' in difüzyon kanunları üzerine kurulmuştur. Bir denemeye açıklanırsa: Şekil 2.9' deki iki ampul başlangıçta farklı gazlar içermektedir. Bu ampuller bir kapiler cam boruyla birbirlerine bağlanmıştır. Ampuller, sabit sıcaklık ve basınçta ve eşit hacimdedirler, fakat bir ampul

karbondioksit ve diğeri de nitrojen gazıyla doldurulmuştur. İki gazın birbiri içinde nasıl bir hızla karıştığını bulmak için CO₂ gazının konsantrasyonu ampulde başlangıç olarak sadece azot gazı varken CO₂ ölçülür ki bu konsantrasyon yani CO₂' nin başlangıç konsantrasyonu sıfır iken daha sonra çeşitli zamanlardaki CO₂ gazının konsantrasyonu ölçülür ve bu gazın konsantrasyonunun zamanla lineer değişimi bulunur (Cussler 1997)



Şekil 2.9 Basit bir ikili gaz difüzyon denemesi

2.3.2 Difüzyonun modellenmesi

Difüzyon için tanımlanan iki temel model vardır.

1. MODEL: Bu model mühendislik alanında kullanılan kütle transferi ile tanımlanan modeldir. Transfer olan madde miktarı sadece denel olarak değil, matematiksel olarak da bulunabilir. Bunun için özellikle gaz debisi (flux)' belirlenmelidir.

Gaz Debisi: Birim zamanda birim kesit alandan geçen gazın kütlesidir.

$$\text{CO}_2 \text{ Gaz Debisi} = \frac{\text{Gaz kütlesi (g)}}{\text{Zaman (s) Kapilerin kesit alanı (m}^2\text{)}} \quad (2.22)$$

Bu modelden de görüldüğü gibi gaz debisi yer değiştiren gaz miktarı ve kullanılan kapilerin kesit alanı ile bağlantılıdır. Yani;

$$\text{CO}_2 \text{ gaz Debisi} = k(\text{CO}_2 \text{ konsantrasyon farkı}) \quad (2.23)$$

k; kütle transfer sabiti olarak adlandırılır.

2. MODEL: bu model ise difüzyon sabitinin bir parametre olarak kullanıldığı modeldir, bu model daha çok fizikçilerin ve kimyacıların kullanıldığı modeldir. Bu modeli açıklamak için gaz debisi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\text{CO}_2 \text{ Debisi} = D \left(\frac{\text{CO}_2 \text{ konsantrasyon farkı}}{\text{kapilerin uzunluğu}} \right) \quad (2.24)$$

Burada, D; difüzyon sabitidir. Bu, model genelde Fick'in 1. kanunu olarak adlandırılır.

2.3.2.1 İki model arasında seçim

2. model daha temel eşitlik olduğundan ve daha net sonuç verdiği için bu model daha sık kullanılır. Fakat bazı durumlarda deneysel ölçümler yaklaşık sonuç almaya yöneliktir. Bu gibi durumlarda ise kütle transfer sabiti kullanılır.

2.3.3. Adolf Fick

Fick'in difüzyon kanununda difüze olan maddenin akış hızı ile bu akıştan sorumlu konsantrasyon gradientine (ortamda uzaklığa göre konsantrasyonun düzgün değişimi) birleştirilmiştir.

Fick'in difüzyonla ilgili iki temel kanunu vardır.

2.3.3.1. Fick'in 1. kanunu

$$J = -DA \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (2.25)$$

J = Toplam gaz debisi (kg/s)

A = difüzlenen maddenin geçtiği kesit alanı (m²)

x = mesafe (m)

c = difüze olan maddenin konsantrasyonu (kg/m³)

D = difüzyon sabiti (m²/s)

Birim zamanda, birim kesit alandan difüzlener madde miktarı;

$$J = \text{Debi} = \frac{W}{A t} = \frac{J}{A} = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (2.26)$$

Fick'in ilk kanununda gaz debisinin konsantrasyon gradienti ve alan ile bağlantılı olduğu görülür. D ile verilen difüzyon sabiti, maddenin cinsine bağlıdır ve aynı sıcaklık ve basınç için sabittir.

Fick kanununda ifade edilen $\left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)$, sabit değildir. Zaten sabit konsantrasyon koşulları altında difüzyonu belirlemek mümkün değildir.

2.3.3.2. Fick'in 2. Kanunu

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (2.27)$$

Fick'in ikinci kanununda formülden de görüldüğü gibi konsantrasyonun zamanla ve yerle değişimi verilmektedir. Birinci kanunda bu gösterim yoktur, konsantrasyonun sadece x mesafesi boyunca değişimi vardır, yani; $j = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)$ idi.

Buna göre tüpteki buharın konsantrasyonunun buharın bulunduğu yere göre x doğrultusu boyunca değişimi $\left(\frac{\partial c}{\partial t} \right)$ ile gösterilir. Kararlı denge halinin olmadığı durumlarda tüpteki buharın konsantrasyonunun zamanla değişimini bulmak için c-t grafiği çizilir ve hangi zamanda hangi konsantrasyonda olduğu bulunur.

2.3.3.3. Difüzyon steady state (dinamik denge hali)

Bu hal, difüzyonun durduğu kararlı halin olduğu durumdur. Bu durumda maddenin buharlaşma ve yoğunlaşma hızı birbirine eşittir. Kararlı denge halinde zamanla konsantrasyon değişimi yoktur, yani;

$$\left(\frac{\partial c}{\partial t} \right) = 0 \quad (2.28)$$

silindirik tüp için kesit alanı (A) sabit olacağından $\partial A = 0$ olur. Fick'in 2. teorisi;

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial c}{\partial x} \right) \text{ ve } \partial A = 0 \text{ olduğundan;}$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right) \quad (2.29)$$

kararlı halde konsantrasyon değişimi zamanla sıfır olduğundan; $\frac{\partial c}{\partial t} = 0$ olur ve,

$$0 = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right) \quad (2.30)$$

yazılır. Ancak bir sabit sayının türevi sıfır olacağından; $\left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) = 0$ sabit olmalıdır.

Kararlı halin diğer koşulu da budur (Cussler 1997).

2.3.4. Sıvı damlası buharlaşması denemelerinden difüzyon sabitinin belirlenmesi

Katı üzerine damlatılan sıvı damlası dört parametre ile şekillendirilebilir. Bunlar; damlanın yüksekliği (h), temas yarıçapı (rb), küresel damlanın yarıçapı (R) ve damlanın katı yüzeyi ile yaptığı temas açısıdır (θ).

Su damlası katı yüzeyi üzerinde zamanla buharlaşırken değme yarıçapı sabit kalırken, değme açısı ve damla yüksekliği zamanla azalır.

Damla kütlelerinin zamanla azalması Fick Kanununa göre,

$$-\frac{\partial m}{\partial t} = 4\pi R^2 D \frac{\partial c}{\partial R} \text{ şeklinde ifade edilir.} \quad (2.31)$$

$$\text{burada } \left(\frac{\partial c}{\partial R} \right) = \left(\frac{c_o - c_v}{R} \right) \text{ olduğundan;} \quad (2.32)$$

(2.31) numaralı eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$-\frac{\partial m}{\partial t} = -\left(\frac{\partial V}{\partial t}\right)\rho_L = 4RD\pi(c_o - c_v) \quad (2.33)$$

$$-\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{4\pi RD(c_o - c_v)}{\rho_L} \quad \text{yazılır,} \quad (2.34)$$

Bu ifade de yer alan c_o damlanın hemen üzerindeki buhar konsantrasyonudur. Damlanın yüzey sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı kullanılarak bulunur. İdeal gaz kanununda;

$$PV = nRT \quad \text{ve} \quad c_o = \frac{W}{V}, \quad n = \frac{W}{M_w} \quad \text{alınarak} \quad (2.35)$$

$$c_o = \frac{P_{vs} M_w}{RT} \quad \text{eşitliğinden bulunur.} \quad (2.36)$$

c_v ise ortamın buhar konsantrasyonudur. Çalışılan sıvı su olduğu zaman ortamın bağıl neminin bilinmesi önemlidir.

$$RH = \frac{P_v}{P_{vs}} \quad \text{eşittir.} \quad (2.37)$$

$$c_v = \frac{P_v M_w}{RT} \quad \text{dır.} \quad (2.38)$$

$$P_v = RH \times P_{vs} \quad \text{eşitliğinden bulunur ve yerine konulur.} \quad (2.39)$$

Basit küresel geometriden;
$$V_3 = \frac{\pi r_b}{3} \frac{(1 - \cos\theta^2)(2 + \cos\theta^2)}{\sin^3\theta} \quad (2.40)$$

ve

$$R = \frac{r_b}{\sin\theta} \quad \text{ve} \quad (2.41)$$

$$\beta = (1 - \cos\theta)^2 (2 + \cos\theta) \quad \text{alınarak} \quad (2.42)$$

$$R = \left(\frac{3 V_3}{\pi \beta} \right)^{1/3} \quad \text{yazılır ve,} \quad (2.43)$$

$$\frac{\partial V_3}{\partial t} = \frac{4\pi D}{\rho_L} \left(\frac{3 V_3}{\pi \beta} \right)^{1/3} (c_o - c_v) = K_1 V_3^{1/3} \quad (2.44)$$

burada,
$$K_1 = \frac{4\pi^{2/3} 3^{1/3} D (c_o - c_v)}{\rho_L \beta^{1/3}} \quad \text{dır,} \quad (2.45)$$

Ancak, katının varlığı nedeniyle damla sadece yukarıya doğru buharlaşabildiğinden $f(\theta)$ faktörünün de hesaba katılması gerekmektedir. Bu durumda;

$$\frac{\partial V_3}{\partial t} = K_1 V_3^{1/3} f(\theta) \quad (2.46)$$

şeklinde yazılır. Bu ifadenin integrali alınırsa,

$$V_3^{2/3} = V_{3i}^{2/3} - \frac{2}{3} K_1 f(\theta) t \quad (2.47)$$

şeklini alır. $V_3^{2/3}$ -t grafiğindeki eğim $= -\frac{2}{3} K_1 f(\theta)$ eşit olur.

V_3 değeri (Meric ve Erbil 1998);

$$V_3 = \frac{\pi r_b^2 h (2 + \cos\theta)}{3 (1 + \cos\theta)} \quad \text{olarak ifade edilir.} \quad (2.48)$$

Picknett ve Bexon tarafından;

$$f(\theta) = \frac{1}{2} \left[\frac{C}{R_S} \right] \quad (\text{Picknet ve Bexon 1997}) \quad (2.49)$$

olarak verilir. 10 °C- 180 °C arasındaki sıcaklıklar için;

$$\frac{C}{R_S} = 0,00008957 + 0,63330_{\text{rad}} + 0,11600_{\text{rad}}^2 - 0,088780_{\text{rad}}^3 + 0,010330_{\text{rad}}^4 \quad (2.50)$$

olarak ifade edilir.

Suyun difüzyon sabiti aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$D = \frac{K \rho_L \beta^{1/3}}{4 \pi^{2/3} 3^{1/3} D (c_o - c_v)} \quad (2.51)$$

2.3.5 İnce tüpten sıvı buharlaşması denemelerinden difüzyon sabitinin belirlenmesi

Bir ucu açık tüpün dibini sıvı ile doldurulur. Sıvı dolu silindirik şeklindeki tüpteki buharlaşma, buharlaşma hızını etkileyecek hiçbir hava akımı olmayan kapalı bir hücrede takip edilir. Buharlaşma sabit sıcaklık, bağıl nem ve basınçlarda gözlemlenir. Tüpün tepesinden 3 cm boşluk bırakılarak sıvı doldurulur ve zamanla sıvının buharlaşmasıyla silindirik tüpün üst seviyesindeki hava boşluğunun yüksekliği ölçülür.

Sıvı buharlaşma hızı, hava direncinden dolayı hava tabakasının yüksekliği ile ters orantılıdır.

Tanım gereği, buharın kesit alanı debisi için;

$$J = \frac{\partial m}{A \partial t} \quad (2.52)$$

(2.26) ve (2.52) numaralı denklemlerden

$$\frac{\partial m}{A \partial t} = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (2.53)$$

olur. (2.53) numaralı eşitliğin her iki tarafını A'la çarparsak

$$\frac{\partial m}{\partial t} = -AD \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (2.54)$$

elde edilir.

Silindirik tüp için geometriden;

$$m = \rho_L V \Rightarrow m = \rho_L A h \quad (2.55)$$

bu ifadede değişken olan yükseklik olduğundan;

$$\partial m = \rho_L A \partial h \quad (2.56)$$

∂m (2.54) numaralı denklemde yerine yazılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{D}{\rho_L} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (2.57)$$

tanım gereği, tüpteki konsantrasyon gradienti;

$$\left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) = - \left(\frac{c_o - c_v}{h} \right) \quad (2.58)$$

olduğundan, bu ifade (2.57) numaralı denklemde yerine yazılırsa;

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{D}{\rho_L} \left(\frac{c_o - c_v}{h} \right) \quad \text{elde edilir.} \quad (2.59)$$

c_o, c_v ifadeleri sırası ile (2.36)-(2.39) eşitliklerinden bulunur.

$$K = \frac{D(c_o - c_v)}{\rho_L} \quad \text{alınarak;}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{K}{h} \quad (2.60)$$

olur. Bu ifadenin integrali alınır;

$$\int_{h_1}^{h_2} h \, dh = K \int_0^t dt \quad (2.61)$$

$$\frac{h_2^2 - h_1^2}{2} = Kt \quad \text{ve} \quad h_2^2 = h_1^2 + 2Kt \quad (2.62)$$

olur. Buradan;

h^2-t grafiği çizilirse bu grafiğin eğimi bize $2K$ 'yı verir. Çalışan sıcaklıktaki yoğunluk, buhar basıncı, çalışılan maddenin moleköl ağırlığı ve R gaz sabiti kullanılarak aşağdaki denklemden D difüzyon sabiti bulunabilir.

$$D = \frac{K \rho_L}{(c_o - c_v)} \quad (2.63)$$

elde edilir.

3. DENEYSEL KISIM

3.1. Difüzyon Denemeleri

Suyun buharlaşma hızından su buharının hava içindeki difüzyon sabitinin belirlenmesi için yapılan bütün denemelerde üç kere destillenmiş saf su kullanıldı. Denemelerde şekil (3.1)' de gösterilen 16*18*18 cm' lik boyutlarda camdan yapılmış üstten cam kapaklı 2 adet hücre kullanıldı. Cam hücrenin kenarları, dışarıdan içeri girebilecek her türlü hava akımını engellemek üzere silikon ile izole edildi. İzolasyonun tam yapılıp yapılmadığı iki gün boyunca hücrenin içi su doldurularak test edildi. İki gün süresince su sızıntısı olmadığından deneme sırasında hava akımının oluşmayacağı sonucuna varıldı.



Şekil 3.1. Deneme düzeneği fotoğrafı

Hücrenin cam kapağı, hücrenin sıcaklığını ve bağıl nemini kontrol etmek amacıyla birkaç yerinden delindi. Buralara yerleştirilen kauçuk tıpa ve septumlar ile yalıtım

sağlanarak higrometre ve termometre düzeneğe eklendi. Bağlı nemin ve sıcaklığın kontrolü için Hanna HI 8564 marka higrometre kullanıldı. Sıcaklık çalışma aralığı 0-60 °C , bağlı nem çalışma aralığı ise 0% -95% arasındadır. Kullandığımız higrometrenin probu 16 cm uzunluğunda 2,6 cm çapında ve kablo ile seyyar haldedir.

3.2. Bağlı Nemin Kontrol Edilmesi

Difüzyon sabitinin belirlenmesi denemelerinde buharlaşması takip edilen sıvımızın su olması nedeniyle o esnada hava içinde su buharı halinde bulunan nem miktarının bilinmesi önemlidir. Bu nedenle denemelere geçmeden önce hücrelerin içindeki havanın bağlı neminin sabitlenmesi gerekmektedir. Bağlı nemi sabitlemek için denemelerde doymuş tuz çözeltilerini kullandık. İlk denemede bağlı nemi %0'a sabitleyebilmek için hücrelerin içine etüvde 110°C de on iki saat bekletilmiş kurutulmuş silikajel yerleştirildi. Diğer sabit bağlı nemleri elde etmek için kullandığımız doymuş tuz çözeltilerinin çalışılan sıcaklıklar için kullandığımız higrometre ile ölçülen bağlı nemleri tablo (3.1) 'de verilmektedir. Doymuş tuz çözeltileri hücrelerin içerisine yerleştirildikten sonra sabit bağlı nem değerine gelmeleri için yirmi dört saat boyunca beklenildi.

Tablo 3.1. Denemelerde kullandığımız doymuş tuz çözeltilerinin çalışılan sıcaklıklardaki bağlı nem değerleri

Doymuş Tuz Çözeltisi	ÖLÇÜLEN % NEM			
	17°C	20°C	25°C	30°C
MgCl ₂ 6H ₂ O	33	33	33	33
NH ₄ NO ₃	66	66	65	62
KNO ₂	54	52	51	49

3.3. İnce Tüpten Sıvı Buharlaşması Denemelerinden Difüzyon Sabitinin Belirlenmesi

Denemelere geçmeden önce hücrelerin bağıl nemleri doymuş tuz çözeltileriyle sabitlendi. Hücreler içinde sırasıyla 20°C' de %0, %33, %52, %66; 25°C' de %0, %33, %51, %64 ve 30°C' de %0, %32, %49, %62 bağıl nemlerde çalışıldı.

Suyun buharlaşmasını takip etmek için bağıl nemi sabitlenmiş hücrelerin içine yaklaşık 0,57 cm iç çapında ve 12 cm boyunda cam difüzyon tüpleri yerleştirildi. Kullanılan tüplerin kesit alanları sırası ile; 0,252cm² ve 0,249 cm² olarak belirlendi. Bu tüplerin içine 3 cm boşluk bırakılarak su konuldu. Bu şekilde hazırlanmış hücreler sabit sıcaklıktaki etüvün içine yerleştirildi. Bütün ölçümler etüv içindeki hücrelerde yapıldı. Ölçümler kısa sürede yapıldığı için hücrenin sıcaklığında düşme görülmedi.

Her bir sıcaklık ve bağıl nemde çalışırken suyun sıvı halden buharlaşp, su buharının tüpün ucundan hava içine difüzyonlanması su seviyesindeki azalmanın gözlenmesi ile takip edildi. Su hava içine difüzyonlanırken, difüzyon tüpünün üst kısmındaki hava boşluğunun yüksekliği belirli aralıklarla hassasiyet derecesi virgülden sonra üç basamak olan kumpas ile ölçüldü. Bu hava boşluklarının yüksekliği, deney tüpünün yarısı olana kadar ölçümlere devam edildi.

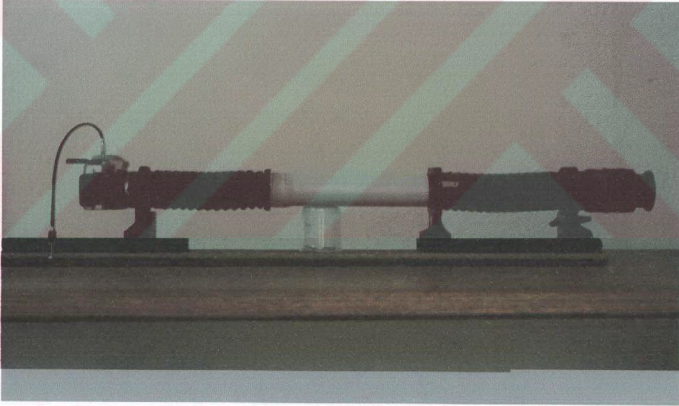
3.4. Sıvı Damlası Buharlaşması Denemelerinden Difüzyon Sabitinin Belirlenmesi

Denemeler doymuş tuz çözeltileriyle sabitlenmiş hücreler içinde farklı sıcaklıklarda yapıldı. Sırasıyla 17°C' de %0, %33, %54, %66; 20°C' de %0, %33, %52, %66 ve 25°C' de %0, %33, %51, %65 bağıl nemlerde çalışıldı.

Bu çalışmada su damlasının polimetil metakrilat (PMMA) ve polietilen tereftalat (PET) yüzeyleri üzerinde bir şırınga ve iğne yardımıyla oluşturulmasından sonra damlanın buharlaşma hızından difüzyon sabiti belirlendi. Katı yüzey olarak

kullanılan PMMA ve PET denemeye geçilmeden önce sabunlu su daha sonra aseton, sonra etilalkol ve ardından da saf su ile yıkanarak iyice temizlendi. Temizlenen katı yüzeyler 50 °C' ye ısıtılmış etüvde kurutuldu ve ardından soğutuldu. Tüm çalışmalar henüz yıkanıp kurutulmuş katı yüzeyler ile yapıldı. Aksi takdirde yıkanıp bekletilmiş katı yüzey üzerinde başta havadan nem ve yağ partikülleri olmak üzere çeşitli maddelerin buharı adsorblanabileceğinden suyla vermesi gereken açıdan sapan bir açı verecektir.

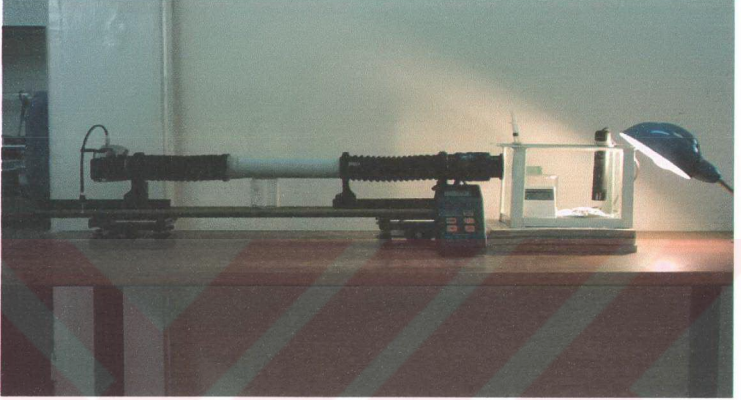
Bütün bu işlemlerden sonra katı üzerine damlatılan sıvının buharlaşması çeşitli zaman aralıklarında fotoğraflanarak izlendi. Bunun için 43 cm uzunluğunda dışı bir raya oturmuş iki körüğü bulunan FM 10 model Nikon marka fotoğraf makinesi, AF Micro Nikkor 60 mm 1.2.8 D model objektif ve AR 3 model Nikon marka kablo deklanşör kullanıldı. Çalışmada kullanılan büyütme fotoğraf makinesi Şekil (3. 2) de verilmektedir.



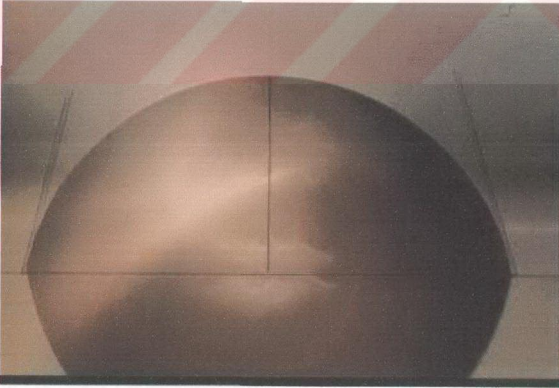
Şekil 3.2 Denemede kullanılan fotoğraf makinesinin şekli

Fotoğraflar Şekil (3.3)'de gösterildiği gibi fotoğraf makinesi hücrenin önüne yaklaştırılarak ve hücrenin arka kısmından ışık gönderilerek çekildi. Işık sadece çekim yapılırken açık tutularak lamba tarafından hücre sıcaklığının değişmesi önlenildi. Katı yüzey üzerinde şırınga yardımıyla su damlası oluşturulduktan sonra

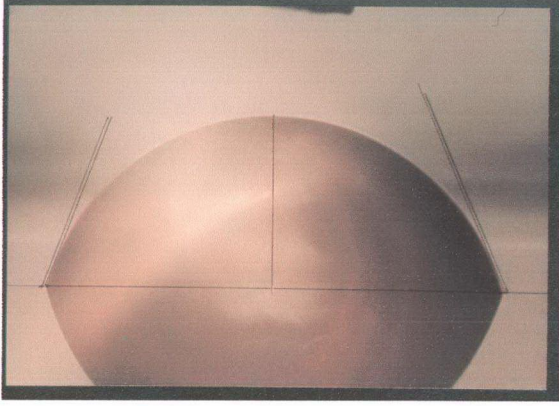
damlanın netliği fotoğraf makinesinin üzerine konduğu raylı düzeneğinin ileri geri hareketi ve objektif üzerindeki ayarlar kullanarak yapıldı. Titremenin önüne geçmek için fotoğraf çekerken deklanşör kullanıldı. Çekilen örnek damla fotoğrafları şekil (3.4), (3.5), (3.6) ' da verilmektedir.



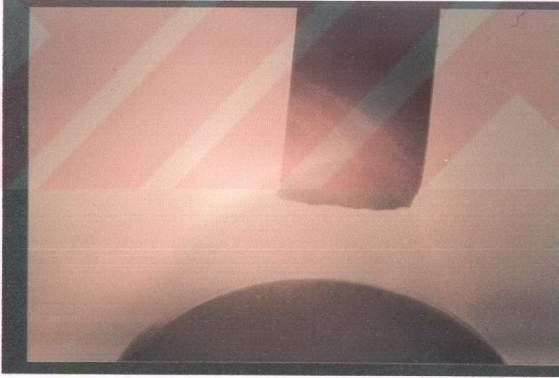
Şekil 3.3. Fotoğraf düzeneği



Şekil 3.4. Örnek damla fotoğrafı ($T=17^{\circ}\text{C}$ ' de %0 bağıllı nemde $t = 0$ (sn) anında çekilen damla fotoğrafı



Şekil 3.5. Örnek damla fotoğrafı ($T=17^{\circ}\text{C}$ ' de %0 bağıl nemde $t = 270$ (sn) anında çekilen damla fotoğrafı



Şekil 3.5. Kalibrasyon için kullanılan atacın ve damlanın fotoğrafı

Yukarıdaki fotoğraf düzeneği kullanılarak çekilen su damlasının fotoğraflarından damlanın katı üzerinde yaptığı açı, damlanın yüksekliği ve temas yarıçapı bulundu. Fotoğraflardan temas açısının bulunması için açı ölçer kullanıldı. Damlanın temas yarıçapının ve yüksekliğin bulunması içinde virgülden sonra üç basamağa kadar duyarlı kumpas aleti kullanıldı.

Fotoğraf üzerinden alınan verilerden damlanın gerçek boyutlarına geçebilmek için damla ile aynı karede kalibre edilmiş bir metal ataçın fotoğrafı çekildi. Kalibre edilmiş ataçın gerçek boyutu bilindiğinden resimdeki boyutu ile orantı kurularak damlanın gerçek boyutları resimdeki boyutlarından hesaplandı. Ortamın bağıl nemine bağılı olarak damlanın buharlaşma hızı göz önünde bulundurularak 30, 45 ve 60 saniyelik aralıklarla fotoğraflar çekildi. Düşük bağıl nemde buharlaşma hızı daha fazla olacağından düşük, yüksek bağıl nemde ise buharlaşma hızı yavaş olacağından geniş zaman aralıklarında fotoğraf çekilmesi tercih edildi.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

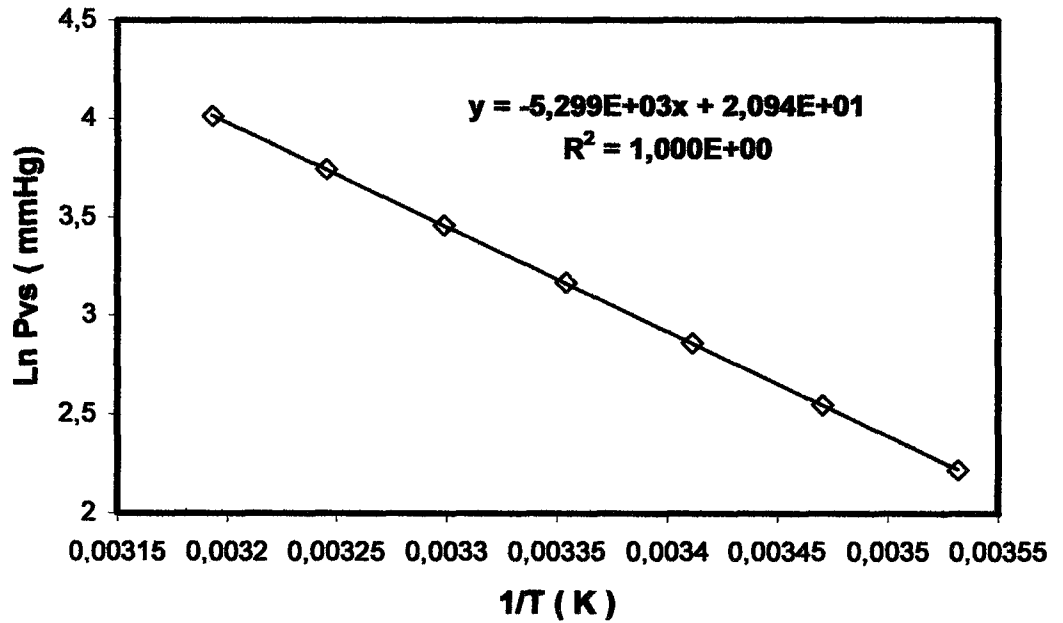
4.1. Fiziksel Sabitler

Suyun doymuş buhar basıncının sıcaklıkla değişimi, literatürden alınarak şekil 4.1'de $\ln P_{vs} - 1/T$ (°K) grafiği olarak verilmiş ve bu değişim için ;

$$\ln P_{vs} = -\frac{5299,5}{T} + 20,9396 \quad (4.1)$$

bulunmuştur ve tüm sıcaklıklardaki su buharı basıncı hesabı için bu denklem kullanılmıştır.

Suyun hücre içindeki difüzyon sabiti tayini denemesinde kullanılan fiziksel sabitler (4.1) nolu tabloda verilmektedir. Bu tabloda yer alan ΔC_v ; C_o ve C_v arasındaki farka eşittir. Bu değerlerde sırası ile (2.36) ve (2.39) numaralı eşitliklerden bulunmuştur.



Şekil 4.1. Suyun buhar basıncının sıcaklıkla değişim grafiği

Tablo 4.1. Suyun hücre içindeki difüzyon sabiti tayini denemesinde 17°C, 20 °C, 25°C ve 30° C için fiziksel sabitler.

T (°C)	ρ_L (g/cm ³)	P _{vs} (mmHg)	% RH	$\Delta C_v \cdot 10^{-6}$ (g/cm ³)
17	0,99877	14,530	0	14,4664
			33	9,6925
			54	6,6546
			66	4,9186
20	0,99821	17,535	0	17,2797
			33	11,5774
			52	8,2942
			66	5,8751
25	0,99705	23,756	0	23,0175
			33	15,4217
			51	11,2786
			65	8,0561
30	0,99565	31,824	0	30,3261
			33	20,3185
			49	15,4663
			62	11,5239

4.2. İnce tüpteki suyun buharlaşmasının zamanla takibi

Hücre içindeki tüpten suyun buharlaşmasıyla oluşan hava boşluğunun çalışılan tüm sıcaklık ve bağıl nem değerlerinde zamanla azalması (4.2-4.13) tabloları arasında verilmektedir. Bu tablolardan çizilen h^2-t grafikleri şekil (4.2)-(4.13) arasında verilmektedir. Tablolarda yer alan h değerleri için tüpün en tepesinden ölçülen değerler kullanılmıştır. Tüplerin içine 3 cm boşluk bırakılarak su konulmuştur.

Bu grafiklerin eğimlerinden D difüzyon sabitinin hesaplanması için (2.63) numaralı denklem kullanılmaktadır. Grafiklerin eğimlerinden hesaplanan ve Stefan düzeltme faktörü kullanarak bulunan difüzyon sabiti değerleri tablo (4.14)'de verilmektedir.

Deneysel olarak bulunan D difüzyon sabiti değerlerinin sıcaklıkla değişimi şekil (4.14)'de $\ln D - \ln T$ (°K) grafiği şekil (4.15)'de verilmektedir. Literatürden

alınan $D=0,217\left(\frac{T}{273}\right)^{1,89}$ (Mache, 1910) denkleminde bulunan difüzyon sabiti

değerlerinin sıcaklıkla değişimleri de bu grafiklerde verilmektedir.

Tablo 4.2. 20°C' de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler.

t (sn)	0	86400	172800	511200	597600
h (cm)	3	3,11	3,17	3,64	3,66
t (sn)	856800	943200	1029600	1202400	1634400
h (cm)	3,87	3,94	3,96	4,1	4,38
t (sn)	1807200	2066400	2152800	2325600	2412000
h (cm)	4,49	4,76	4,84	4,97	5,03

Tablo 4.3. 20°C' de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel verileri

t (sn)	0	500400	586800	846000	932400	1018800	1191600
h₁ (cm)	3	3,35	3,37	3,52	3,6	3,62	3,7
h₂ (cm)	3	3,36	3,39	3,53	3,61	3,63	3,71
t (sn)	1623600	1796400	2055600	2142000	2314800	2401200	
h₁ (cm)	3,94	4,03	4,23	4,31	4,36	4,41	
h₂ (cm)	3,95	4,04	4,25	4,33	4,37	4,42	

Tablo 4.4. 20°C' de %52 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler.

t (sn)	0	342000	680400	936000	1137600	1303200
h₁ (cm)	3	3,21	3,4	3,495	3,59	3,69
h₂ (cm)	3	3,21	3,4	3,5	3,6	3,7
t(sn)	1645200	1839600	2800800	1645200	1839600	2800800
h₁ (cm)	3,83	3,915	4,28	3,83	3,915	4,28
h₂ (cm)	3,84	3,925	4,29	3,84	3,925	4,29
t(sn)	3744000	4006800	4176000	4280400	4780800	
h₁ (cm)	4,705	4,785	4,835	4,915	4,985	
h₂ (cm)	4,175	4,795	4,845	4,92	4,99	

Tablo 4.5. 20°C’ de %66 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler.

t (sn)	0	255600	352800	691200	946800	1148400
h₁ (cm)	3	3,145	3,185	3,255	3,355	3,435
h₂ (cm)	3	3,125	3,16	3,22	3,33	3,41
t (sn)	1314000	1648800	1807200	2768400	2955600	3128400
h₁ (cm)	3,51	3,55	3,65	3,89	3,94	3,99
h₂ (cm)	3,48	3,54	3,63	3,88	3,93	3,98
t (sn)	3535200	3711600	3974400	4143600	4248000	4748400
h₁ (cm)	4,16	4,22	4,25	4,31	4,35	4,46
h₂ (cm)	4,14	4,2	4,24	4,29	4,33	4,44

Tablo 4.6. 25°C’ de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler.

t (sn)	0	165600	255600	342000	604800	691200
h₁ (cm)	3	3,24	3,38	3,46	3,76	3,87
t (sn)	770400	957600	1202400	1461600	1544400	
h₁ (cm)	3,96	4,27	4,51	4,69	4,76	

Tablo 4.7. 25°C’ de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler.

t (sn)	0	345600	424800	489600	928800	1094400	1278000
h₁ (cm)	3	3,275	3,345	3,41	3,785	3,895	3,995
h₂ (cm)	3	3,285	3,37	3,425	3,801	3,901	4,02
t (sn)	1544400	1724400	1890000	1965600	2149200	2300400	2732400
h₁ (cm)	4,21	4,31	4,365	4,41	4,545	4,64	4,86
h₂ (cm)	4,22	4,33	4,39	4,44	4,585	4,685	4,89
t (sn)	3006000	3103200	3340800	3438000	3600000	3600000	
h₁ (cm)	4,995	5,05	5,185	5,21	5,31	5,31	
h₂ (cm)	5,085	5,095	5,22	5,24	5,34	5,34	

Tablo 4.8. 25°C’ de %51 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler.

t (sn)	0	342000	428400	495000	934200	1096200	1283400
h₁ (cm)	3	3,255	3,34	3,415	3,72	3,825	3,93
h₂ (cm)	3	3,245	3,325	3,385	3,69	3,775	3,895
t (sn)	1549800	1729800	1890000	1965600	2151000	2302200	2734200
h₁ (cm)	4,09	4,215	4,275	4,32	4,43	4,53	4,68
h₂ (cm)	4,04	4,145	4,235	4,285	4,385	4,485	4,61
t (sn)	3007800	3090600	3342600	3439800	3601800		
h₁ (cm)	4,825	4,88	5,01	5,05	5,17		
h₂ (cm)	4,76	4,83	4,93	4,97	5,085		

Tablo 4.9. 25°C’ de %65 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler.

t (sn)	0	325800	426600	509400	592200	678600
h₁ (cm)	3	3,22	3,29	3,34	3,37	3,47
h₂ (cm)	3	3,21	3,275	3,325	3,36	3,47
t (sn)	765000	846000	941400	1206000	1287000	1382400
h₁ (cm)	3,55	3,61	3,66	3,77	3,84	3,925
h₂ (cm)	3,54	3,61	3,66	3,77	3,84	3,925
t (sn)	1891800	1974600	2323800	2493000	2676600	2928600
h₁ (cm)	4,11	4,14	4,24	4,32	4,405	4,505
h₂ (cm)	4,11	4,14	4,24	4,32	4,405	4,505
t (sn)	3097800	3283200	3535200	3780000	4143600	4221000
h₁ (cm)	4,61	4,67	4,755	4,87	4,95	5,025
h₂ (cm)	4,61	4,67	4,755	4,87	4,95	5,025

Tablo 4.10. 30°C’ de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler

t (sn)	0	241200	327600	428400	511200	608400
h₁ (cm)	3	3,37	3,49	3,68	3,81	3,98
t (sn)	853200	943200	1033200	1119600	1386000	1468800
h₁ (cm)	4,27	4,44	4,51	4,72	4,91	5,13

Tablo 4.11. 30°C’ de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler.

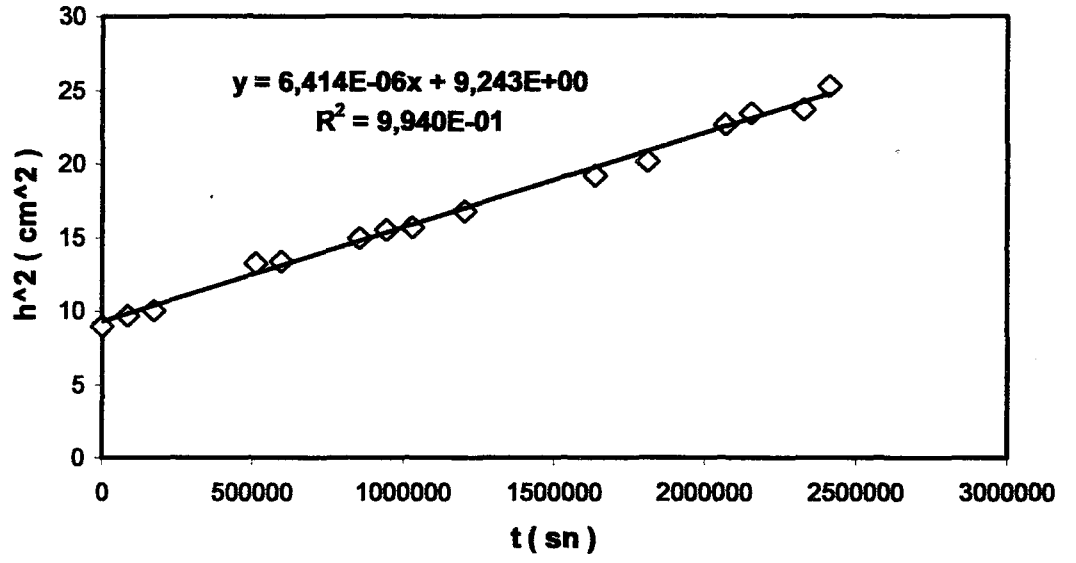
t (sn)	0	241200	327600	428400	511200	608400
h₁ (cm)	3	3,22	3,31	3,45	3,51	3,67
h₂ (cm)	3	3,24	3,33	3,46	3,53	3,68
t (sn)	853200	943200	1033200	1119600	1386000	1461600
h₁ (cm)	3,85	4,03	4,08	4,21	4,4	4,53
h₂ (cm)	3,9	4,05	4,09	4,22	4,41	4,55

Tablo 4.12. 30°C’ de %49 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler.

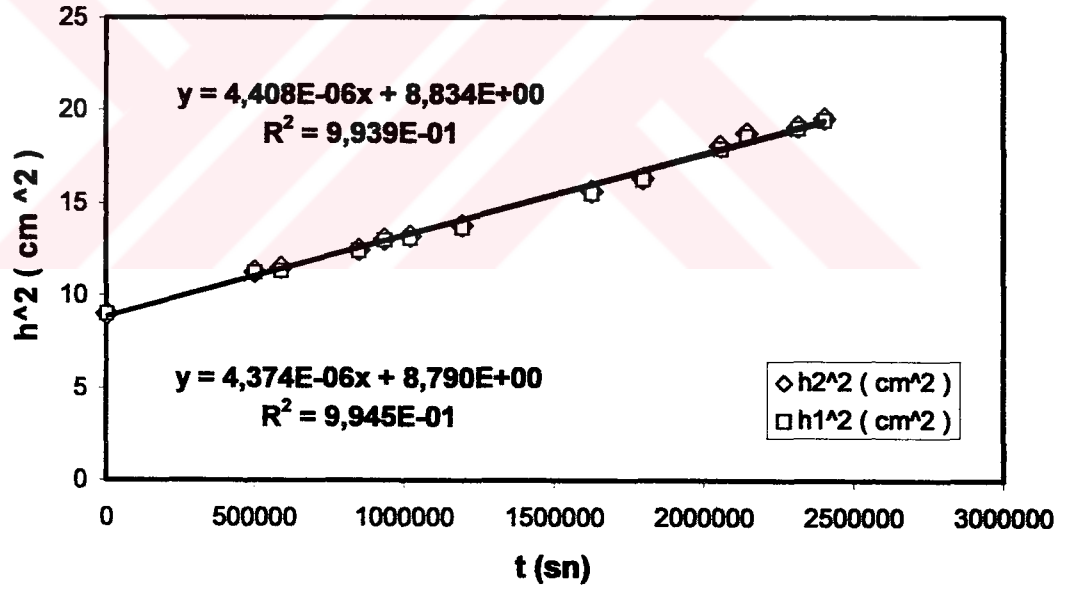
t (sn)	0	255600	342000	442000	522000	601200	691200
h₁ (cm)	3	3,28	3,35	3,43	3,49	3,54	3,77
h₂ (cm)	3	3,29	3,36	3,44	3,51	3,56	3,78
t (sn)	784800	864000	1123200	1382400	1566000	1638000	1738800
h₁ (cm)	3,83	3,85	3,98	4,18	4,32	4,34	4,39
h₂ (cm)	3,84	3,86	4,02	4,24	4,35	4,38	4,44
t (sn)	1814400	1900800	1994400	2073600	2408400	2584800	2671200
h₁ (cm)	4,56	4,66	4,68	4,725	4,92	4,97	5,07
h₂ (cm)	4,59	4,705	4,725	4,775	4,95	5,02	5,15

Tablo 4.13. 30°C’ de %62 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki deneysel veriler

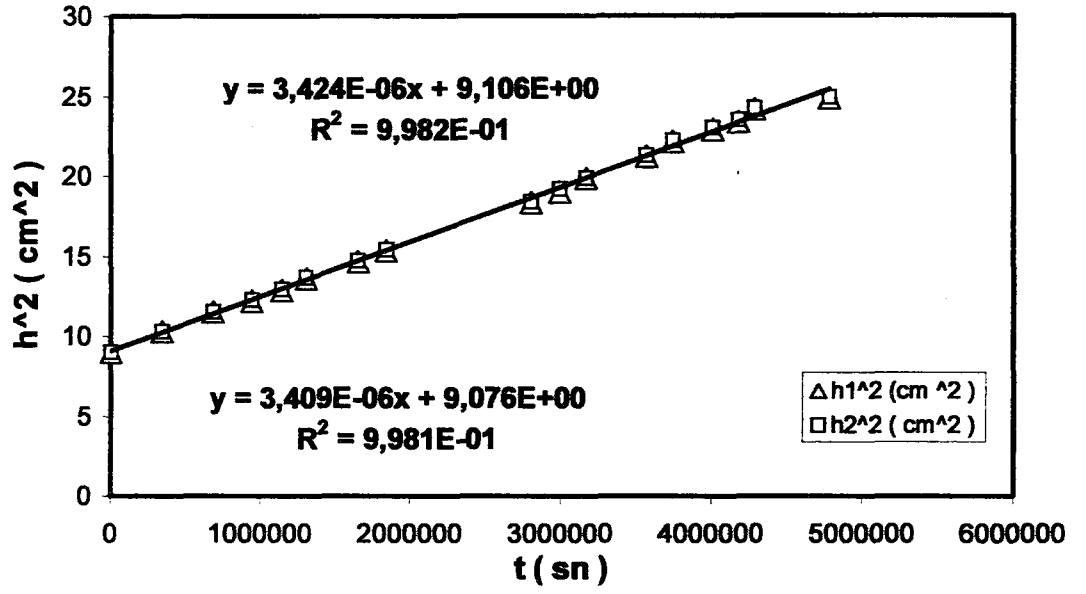
t (sn)	0	261000	349200	532800	864000	954000	1126800
h₁ (cm)	3	3,27	3,335	3,44	3,67	3,73	3,855
h₂ (cm)	3	3,27	3,365	3,475	3,71	3,74	3,885
t (sn)	1224000	1467000	1555200	1823400	2086200	2158200	2262600
h₁ (cm)	3,93	4,065	4,11	4,26	4,43	4,47	4,495
h₂ (cm)	3,975	4,155	4,17	4,32	4,475	4,52	4,585
t (sn)	2435400	2680200	2766600	2957400	3025800	3299400	
h₁ (cm)	4,64	4,74	4,77	4,845	4,925	5,03	
h₂ (cm)	4,71	4,81	4,825	4,925	4,96	5,13	



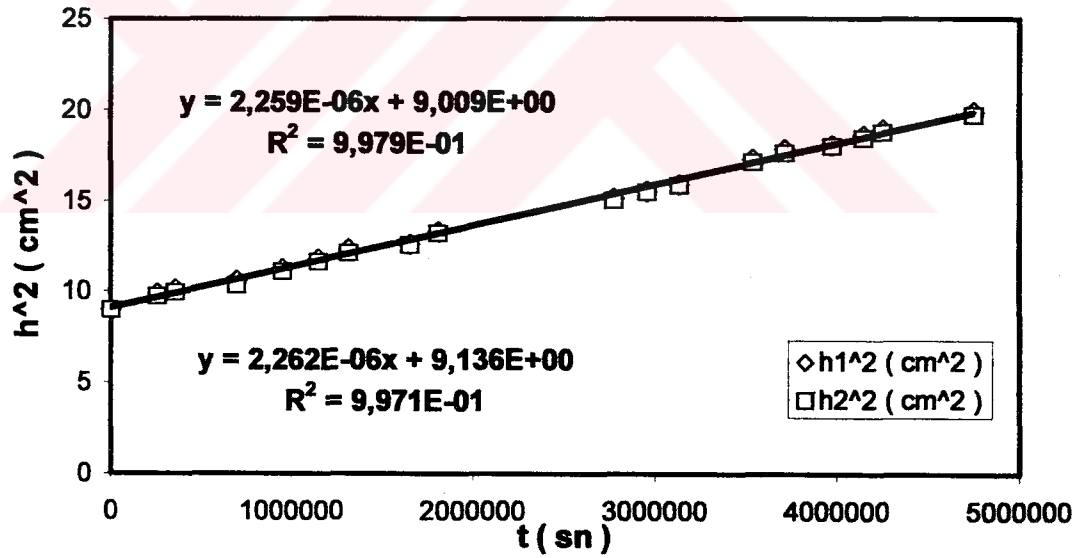
Şekil 4.2. 20°C' de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi



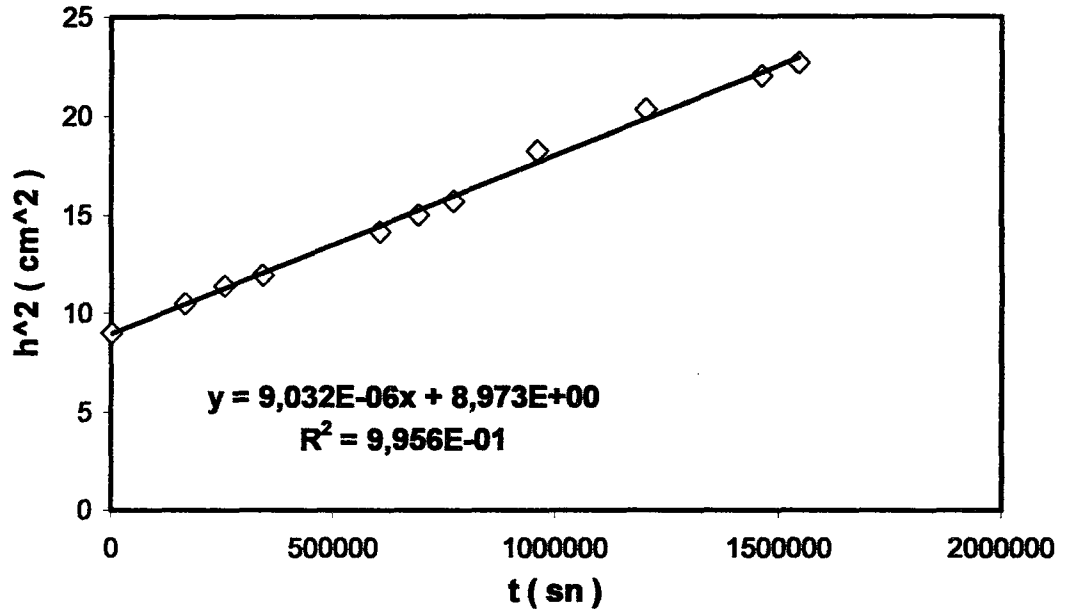
Şekil 4.3. 20°C' de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi



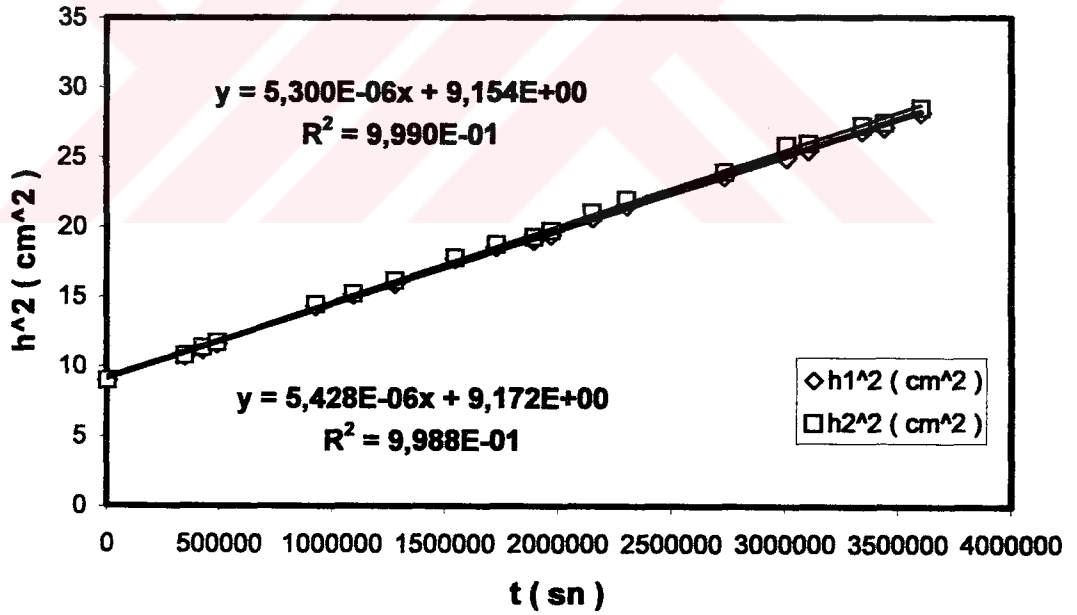
Şekil 4.4. 20°C'de %52 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi



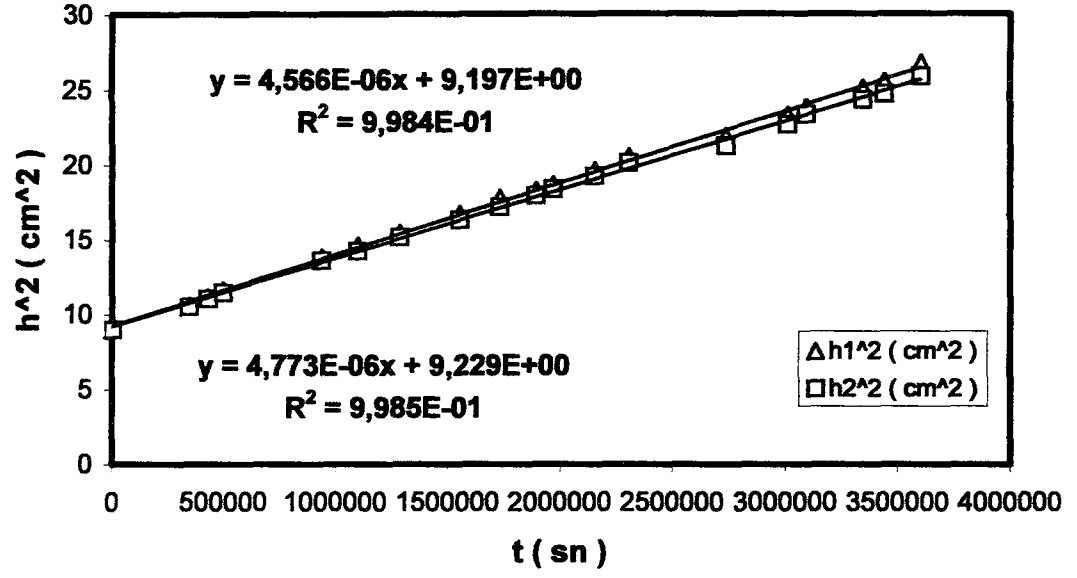
Şekil 4.5. 20°C' de %66 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi



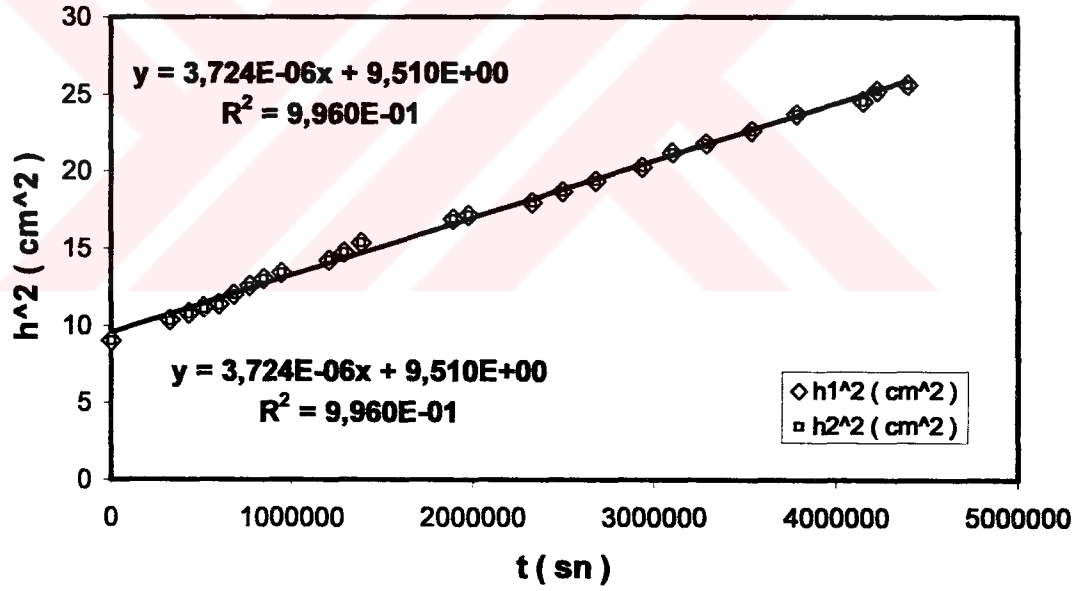
Şekil 4.6. 25°C' de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi



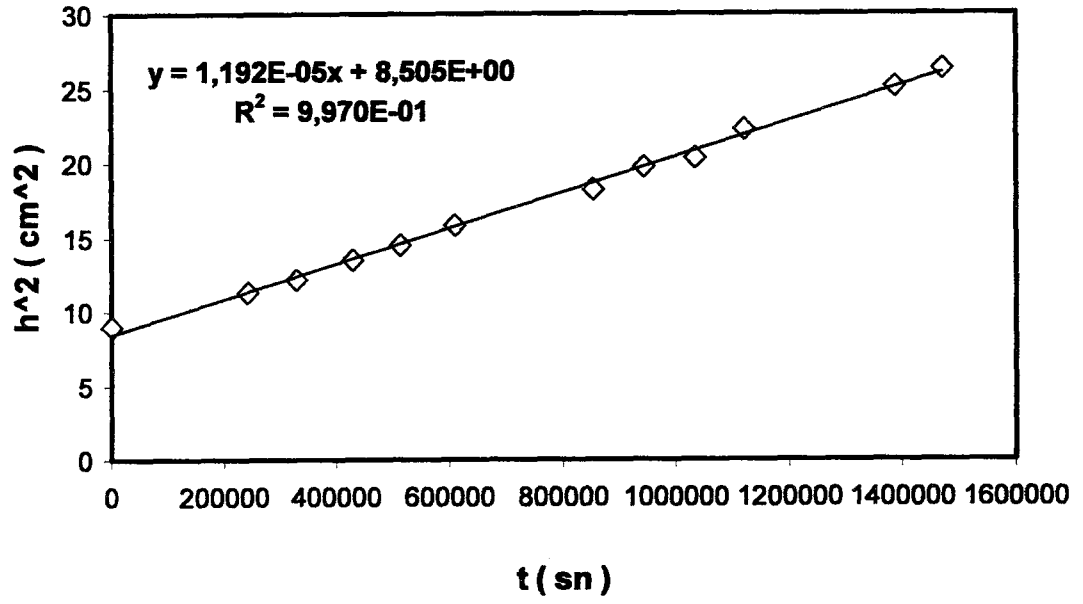
Şekil 4.7. 25°C' de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi



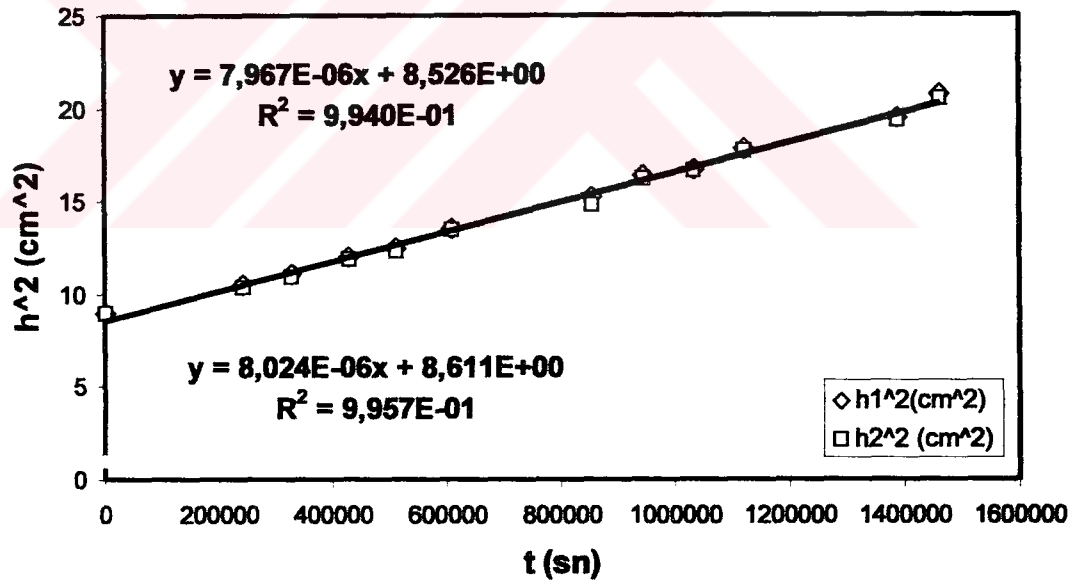
Şekil 4.8. 25°C' de %51 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi



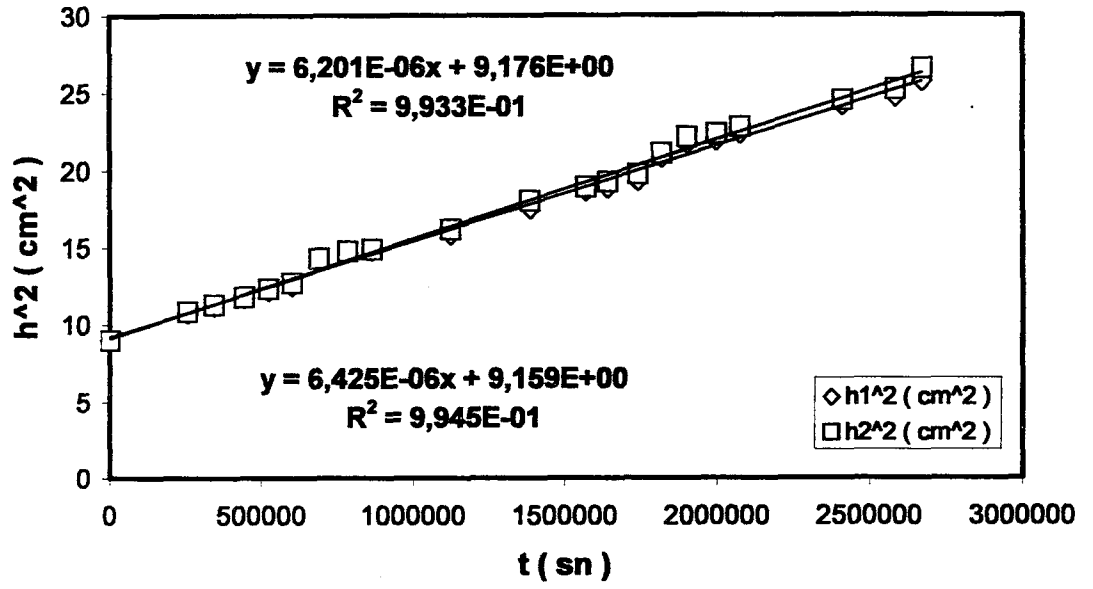
Şekil 4.9. 25°C' de %65 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi.



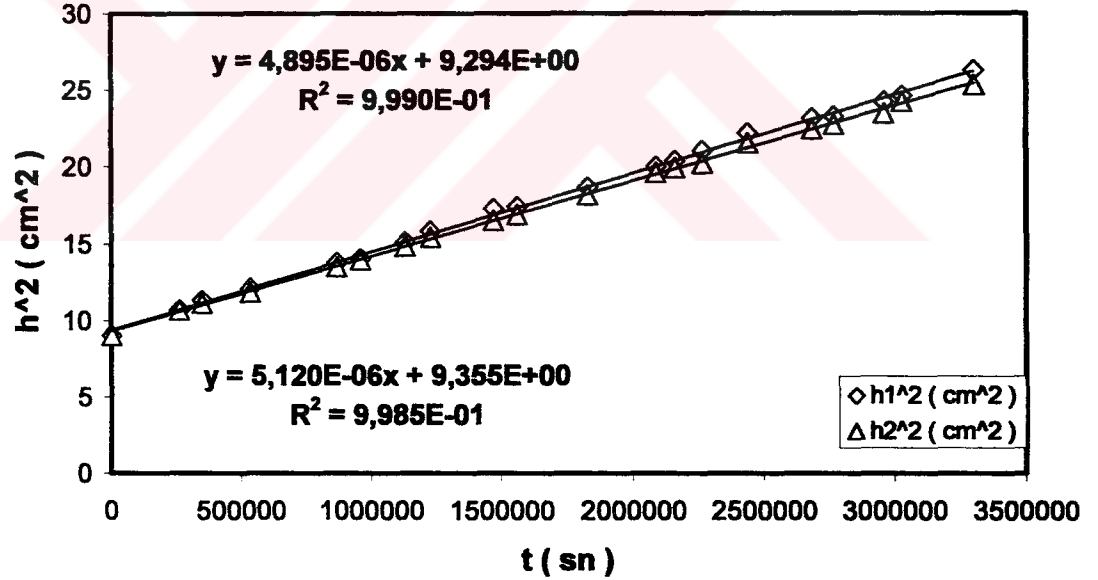
Şekil 4.10. 30°C' de %0 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi.



Şekil 4.11. 30°C'de %33 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi.



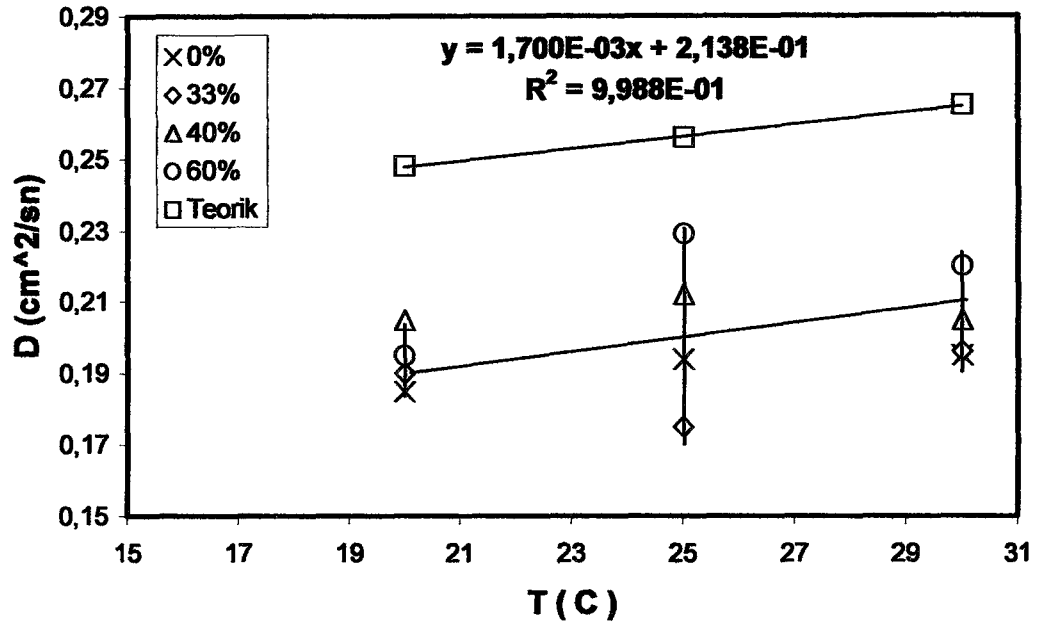
Şekil 4.12. 30°C' de %49 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi.



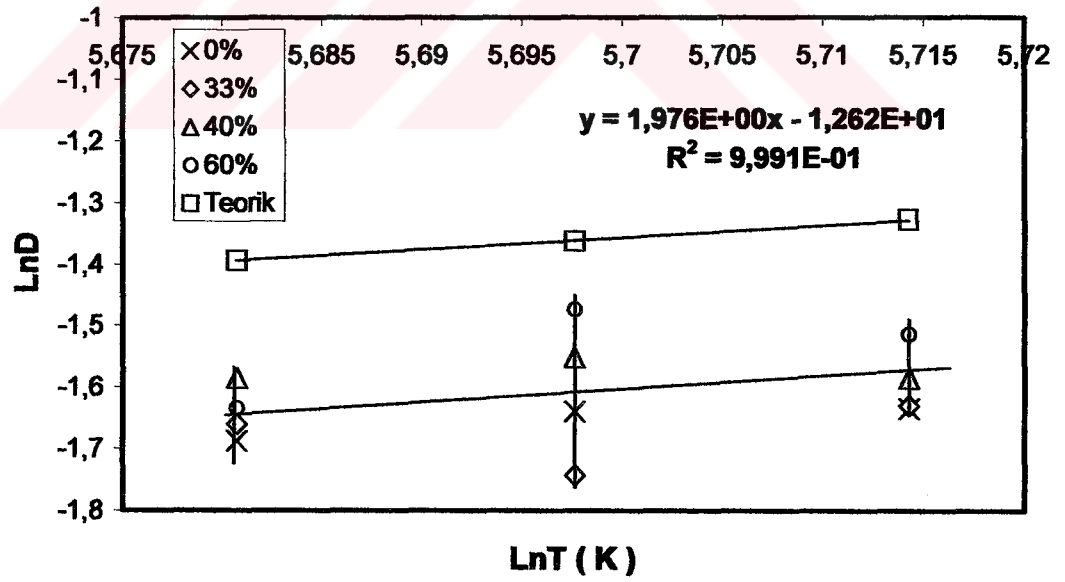
Şekil 4.13. 30°C' de %62 bağıl neme sahip hücre içindeki suyun difüzyon sabiti tayini denemesindeki tüpün hava boşluğu yüksekliğinin zamanla değişimi.

Tablo 4.14. İnce tüpten sıvı buharlaşması denemesinden ve Stefan düzeltme faktörü kullanılarak bulunan difüzyon sabitleri.

T (°C)	% RH	D(cm ² /sn)	D _s (cm ² /sn)
20	0	0,185	0,187
	33	0,19	0,192
	54	0,205	0,207
	66	0,195	0,197
25	0	0,194	0,197
	33	0,175	0,177
	51	0,212	0,216
	65	0,229	0,232
30	0	0,195	0,199
	33	0,196	0,200
	49	0,205	0,209
	62	0,22	0,225



Şekil 4.14. Suyun hücre içindeki difüzyon sabiti denemesinde hesapla bulunan D difüzyon sabitinin sıcaklıkla değişimi.



Şekil 4.15. Suyun hücre içindeki difüzyon sabiti denemesinde hesapla bulunan D difüzyon sabitinin \ln değerinin sıcaklığın \ln değeri ile değişim grafiği.

Çizilen 4.14 ve 4.15 no' lu grafiklerde farklı bağıl neme sahip hücreler içinde yapılan ince tüpten sıvı buharlaşması denemelerinden bulunan difüzyon sabitlerinin, literatürden bulunan difüzyon sabitlerinden daha az olduğu görüldü. Bunun sonucunda kapalı hücre difüzyon denemelerinde bir deneysel hata yapıldığı sonucuna varıldı. Bu hatanın tüpün içindeki sıvının buharlaşması sırasında tüpün ağız kısmından sıvı buharının konsantrasyonunu sıfır yapmak için düşük debili hava akımının geçirilmemesinden kaynaklandığı kanısına varıldı. Çünkü tüpten sıvı buharlaşmalarında sıvı seviyesi ile tüpün ağız kısmı arasında kalan bölümde bir sıvı buharı gradienti söz konusudur ve bu gradientin tüpün ağız kısmındaki sıvı buhar konsantrasyonu sıfırdır. Bizim denemelerimizde tüpten sıvı buharlaşmalarının beklenenden daha yavaş gerçekleşmesi nedeni ile tüpün ağız kısmında sıvı buhar konsantrasyonunun sıfırdan büyük olduğu sonucu çıkarıldı.



4.3. Sıvı damlası buharlaşması denemelerinden difüzyon sabitinin belirlenmesi

Sıvı damlası buharlaşması denemelerinde çalışılan tüm sıcaklık ve bağıl nem değerleri için PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlalarının fotoğraflarından çıkarılan deneysel veriler (4.15)- (4.38) numaralı tablolarda verilmektedir.

Bu tablolardan çizilen (h-t), (θ -t) ve ($V_3^{2/3}$ -t) grafikleri; (4.16)-(4.51) numaralı şekillerde gösterilmektedir.

PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerindeki su damlasının çalışılan tüm sıcaklık ve bağıl nemlerde ki grafiklerinin eğimleri, temas yarıçapı, difüzyon sabiti değerleri, $f(\theta)$ faktörü hesaba katılmadan bulunan difüzyon sabiti değerleri ve Stefan düzeltme faktörü kullanılarak bulunan difüzyon sabiti değerleri Tablo (4.39)-(4.40)'de verilmektedir.

Difüzyon sabiti hesabı için (2.51) numaralı denklem $f(\theta)$ 'ta hesabı içinde (2.49) numaralı denklem kullanıldı.

Literatürden alınan $D=0,217\left(\frac{T}{273}\right)^{1,89}$ (Mache, 1910) denklemi kullanılarak

difüzyon sabiti değerlerinin sıcaklıkla değişimleri bulundu. Bu bulunan değerler (2.51) numaralı denklemde yerine konularak ΔC değerleri bulundu, buradan ΔP değerine geçildi. $\Delta P = P_{vs} (1 - RH)$ eşit olduğundan buradan P_{vs} değeri bulundu.

P_{vs} 'ye karşılık gelen sıcaklıklar (4.1) denkleminde bulunarak damlanın yüzey sıcaklığına geçildi. Bulunan bu sıcaklıklardan ΔT değerleri hesaplandı. Bulunan bu değerler Tablo (4.41)'de verilmektedir.

Tablo 4.15. 17°C' de %0 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,128449 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	$V_3 (cm^3)$	f(θ)
0	0,103447	75	0,003207	0,429521
30	0,101998	73	0,003126	0,419439
60	0,100005	72	0,003048	0,414341
90	0,099009	71	0,003001	0,409207
120	0,096835	70	0,00292	0,404036
150	0,095476	69	0,002864	0,39883
180	0,09303	68	0,002777	0,393589
210	0,092124	67	0,002736	0,388314
240	0,090766	66	0,002683	0,383005
270	0,088954	66	0,002629	0,383005
300	0,08687	65	0,002556	0,377662
330	0,085059	62	0,002470	0,361444
360	0,083338	63	0,002430	0,366881
390	0,081345	61	0,002352	0,355976

Tablo 4.16. 17°C' de %0 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,11656 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	$V_3 (cm^3)$	f(θ)
0	0,102917	79	0,002694	0,449219
45	0,100479	78	0,002613	0,444354
90	0,097945	75	0,0025	0,429521
135	0,094729	74	0,002404	0,424499
180	0,09278	72	0,002328	0,414341
225	0,089564	71	0,002236	0,409207

Tablo 4.17. 17°C’ de %33 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,130673 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,108911	78	0,0356	0,44354
45	0,105983	77	0,003442	0,439449
90	0,104617	76	0,003377	0,434504
135	0,103055	74	0,003287	0,424499
180	0,102079	73	0,003174	0,419439
225	0,100323	72	0,003114	0,414341
270	0,099737	71	0,003054	0,409207

Tablo 4.18. 17°C’ de %33 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,115984 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(Q)
0	0,095870	75	0,002423	0,429521
40	0,095434	72	0,002371	0,414341
80	0,092474	71	0,002285	0,409207
120	0,090732	70	0,002231	0,404036
160	0,089861	69	0,002198	0,398830
200	0,087249	68	0,002123	0,393589
240	0,086117	66	0,002075	0,383005
280	0,083679	65	0,002007	0,377662
320	0,081851	64	0,001955	0,372288
360	0,080632	63	0,001917	0,366881
400	0,078890	62	0,001868	0,361444

Tablo 4.19. 17°C' de %54 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,117967 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,099681	80	0,002690	0,454043
60	0,097524	77	0,002581	0,439449
120	0,096305	76	0,002533	0,434504
180	0,09443	75	0,002469	0,429521
240	0,092742	74	0,002411	0,424499
300	0,091898	73	0,002375	0,419439
360	0,090168	71	0,002305	0,409207

Tablo 4.20. 17°C' de %54 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,139174 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h (cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,107886	74	0,003904	0,424458
60	0,106264	73	0,003823	0,419398
120	0,104738	72	0,003747	0,414303
180	0,103689	71	0,00369	0,409166
240	0,102544	70	0,00363	0,403996
300	0,100064	69	0,003524	0,39879
360	0,09911	68	0,003473	0,393549
420	0,097965	67	0,003416	0,388273
480	0,096248	66	0,00334	0,382964
540	0,095104	65	0,003285	0,377662
600	0,093387	64	0,003211	0,372247

Tablo 4.21. 17°C' de %66 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,125632 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	$V_3 (cm^3)$	f(θ)
0	0,107009	76	0,003487	0,434305
60	0,10627	74	0,003422	0,424305
120	0,104885	73	0,003358	0,419247
180	0,104147	72	0,003316	0,414153
240	0,103408	71	0,003275	0,409021
300	0,1023	70	0,003223	0,403853
360	0,10109	70	0,003184	0,403853

Tablo 4.22. 17°C' de %66 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,131291 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	$V_3 (cm^3)$	f(θ)
0	0,098872	74	0,002915	0,424499
60	0,097088	73	0,002846	0,419439
120	0,096961	72	0,002827	0,414341
180	0,095117	71	0,002758	0,409207
240	0,093989	71	0,002725	0,409207
300	0,092769	70	0,002676	0,404036
360	0,091742	69	0,00263	0,39883
420	0,090703	68	0,00259	0,393589
480	0,089793	67	0,00253	0,0388314

Tablo 4.23. 20°C’ de %0 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,129804 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h (cm)	θ	$V_3 (\text{cm}^3)$	f(θ)
0	0,109913	77	0,003523	0,439449
45	0,106708	76	0,003399	0,434504
90	0,103314	73	0,003233	0,419439
135	0,10058	72	0,003130	0,414341
180	0,098412	71	0,003046	0,409221
225	0,094736	68	0,002888	0,393589
270	0,091908	66	0,002774	0,383005
315	0,088609	64	0,002650	0,372288
360	0,08531	62	0,002530	0,361444

Tablo 4.24. 20°C’ de %0 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,129838 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h (cm)	θ	$V_3 (\text{cm}^3)$	f(θ)
0	0,106357	75	0,003369	0,42948
45	0,104581	73	0,003275	0,419398
90	0,100832	70	0,003106	0,403996
135	0,098267	69	0,003012	0,39879
180	0,095307	68	0,002907	0,393549
225	0,093136	66	0,002813	0,382964

Tablo 4.25. 20°C' de %33 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,123248 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	$V_3 (cm^3)$	f(θ)
0	0,102558	80	0,003021	0,454043
60	0,100338	78	0,002917	0,444354
120	0,097675	75	0,002788	0,429521
180	0,094744	74	0,002689	0,424499
240	0,093146	71	0,002599	0,409207
300	0,090393	70	0,002509	0,404036
360	0,087286	67	0,002387	0,388314

Tablo 4.26. 20°C' de %33 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,124948 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	$V_3 (cm^3)$	f(θ)
0	0,106486	80	0,003224	0,454043
60	0,103686	78	0,003099	0,444354
120	0,101236	74	0,002953	0,424499
180	0,0986111	73	0,00286	0,419439
240	0,095986	71	0,002753	0,409207
300	0,092486	69	0,002625	0,39883
360	0,090036	66	0,002518	0,383005
420	0,088811	66	0,002484	0,383005

Tablo 4.27. 20°C' de %52 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,1364 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	$V_3 (cm^3)$	f(θ)
0	0,110924	76	0,003901	0,434504
90	0,10916	74	0,003794	0,424499
180	0,10573	72	0,003634	0,414341
270	0,102791	71	0,003514	0,409207
360	0,099067	70	0,003368	0,404036
450	0,095735	69	0,003238	0,39883

Tablo 4.28. 20°C' de %52 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,129655 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	$V_3 (cm^3)$	f(θ)
0	0,105176	80	0,003429	0,454043
45	0,104242	77	0,003333	0,439449
90	0,103200	76	0,003270	0,432017
135	0,102228	74	0,003210	0,424499
180	0,101165	73	0,003159	0,419439
225	0,099543	72	0,003091	0,414334

Tablo 4.29. 20°C’ de %66 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,131328 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,10531	76	0,003434	0,434504
60	0,102736	75	0,00333	0,429521
120	0,101937	74	0,003284	0,424499
180	0,100161	74	0,003227	0,424499
240	0,098829	73	0,003166	0,419439
300	0,098651	72	0,003143	0,414341
360	0,096431	72	0,003072	0,414341
420	0,094922	71	0,003008	0,409207
480	0,09359	70	0,00295	0,404036
540	0,091903	69	0,002882	0,39883
600	0,090127	68	0,002812	0,393589
660	0,088617	67	0,002751	0,3888314
720	0,087197	66	0,002694	0,383005
780	0,085687	65	0,002635	0,377662
840	0,083823	63	0,002555	0,366881

Tablo 4.30. 20°C’ de %66 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,127043 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,097684	72	0,002912	0,414341
60	0,096576	71	0,002864	0,409207
120	0,095191	70	0,002808	0,404036
180	0,09279	68	0,002709	0,393589
240	0,091867	67	0,002669	0,388314
300	0,089928	66	0,0026	0,383005
360	0,089189	66	0,002579	0,383005
420	0,087066	65	0,002506	0,377662
480	0,086689	64	0,002484	0,372288
540	0,0844111	64	0,002408	0,366881
600	0,082634	61	0,002337	0,355976

Tablo 4.31. 25°C' de %0 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,129405 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,101198	73	0,003148	0,419439
30	0,099550	71	0,003063	0,409207
60	0,096739	69	0,002945	0,398830
90	0,094800	68	0,002872	0,393589
120	0,091795	66	0,002754	0,383004
150	0,088984	64	0,002645	0,372287
180	0,086561	63	0,002562	0,366881
210	0,083556	61	0,002452	0,355976

Tablo 4.32. 25°C' de %0 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,122326 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,106966	81	0,003126	0,458826
30	0,104023	78	0,002980	0,444354
60	0,101070	76	0,002859	0,434504
90	0,098597	75	0,002772	0,429521
120	0,095561	74	0,002671	0,424499
150	0,093262	71	0,002564	0,409207
180	0,090595	70	0,002477	0,404036
210	0,088939	69	0,002420	0,398830
240	0,085352	67	0,002299	0,388314
270	0,082685	66	0,002217	0,383005

Tablo 4.33. 25°C' de %33 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,116705 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,101662	78	0,002741	0,444344
60	0,097426	77	0,002611	0,439449
120	0,09319	73	0,002439	0,419439
180	0,089386	71	0,002313	0,409207
240	0,086101	69	0,002205	0,398830
300	0,081865	66	0,002066	0,383005
360	0,078148	63	0,001946	0,366881
420	0,073912	60	0,001840	0,340479
480	0,070022	57	0,001702	0,333816
540	0,066218	53	0,001357	0,305521

Tablo 4.34. 25°C' de %33 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,104380 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,09094	79	0,001946	0,449219
45	0,08982	78	0,001909	0,444344
90	0,08515	76	0,00188	0,434504
134	0,08195	69	0,001655	0,393589
180	0,07927	68	0,001592	0,372288
225	0,07599	64	0,001598	0,372288
270	0,07218	63	0,001417	0,366881
315	0,06976	62	0,001363	0,361444

Tablo 4.35. 25°C' de %51 bağıl nemde PET katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,130489 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

t(sn)	h	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,113355	81	0,003769	0,458826
45	0,111516	80	0,003683	0,454043
90	0,109774	79	0,003601	0,449219
135	0,108709	78	0,003543	0,444354
180	0,106482	76	0,003427	0,434504
225	0,104062	75	0,003329	0,429521
270	0,102126	74	0,003248	0,424499
315	0,100965	72	0,003176	0,414341
360	0,098448	71	0,003080	0,409207
405	0,096028	70	0,002988	0,404036

Tablo 4.36. 25°C' de %51 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,115648 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

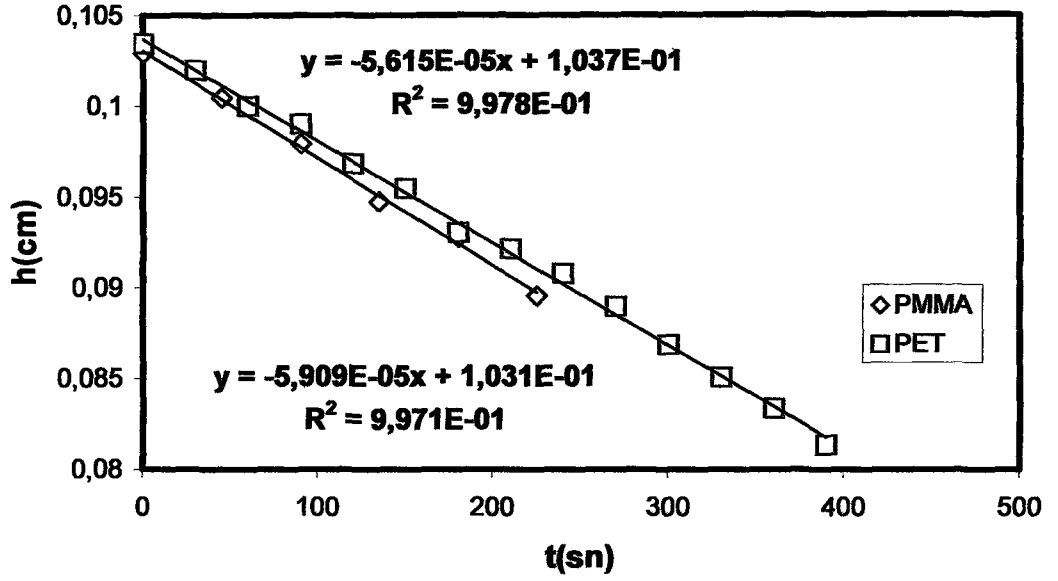
t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,103707	82	0,002727	0,463568
45	0,101686	81	0,002656	0,458826
90	0,099665	79	0,002568	0,449219
135	0,097277	78	0,00249	0,444354
180	0,095439	76	0,002413	0,434504
225	0,093327	75	0,002345	0,429521
270	0,091765	74	0,002293	0,424499

Tablo 4.37. 25°C' de %65 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,107476 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

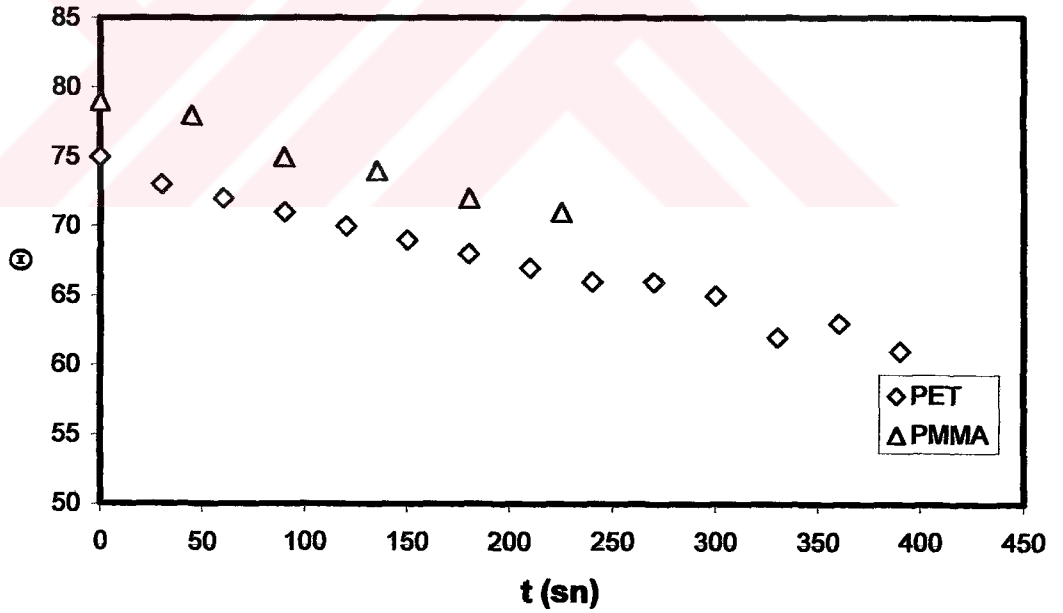
t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,078837	64	0,001617	0,372288
75	0,075298	61	0,001524	0,345976
150	0,072171	60	0,001455	0,340479
225	0,068879	60	0,001389	0,340479
300	0,065341	58	0,001307	0,339398
375	0,061226	54	0,001207	0,316913

Tablo 4.38. 25°C' de %65 bağıl nemde PMMA katı yüzeyi üzerinde buharlaşan 0,123982 yarıçaplı su damlası fotoğrafının deneysel verileri

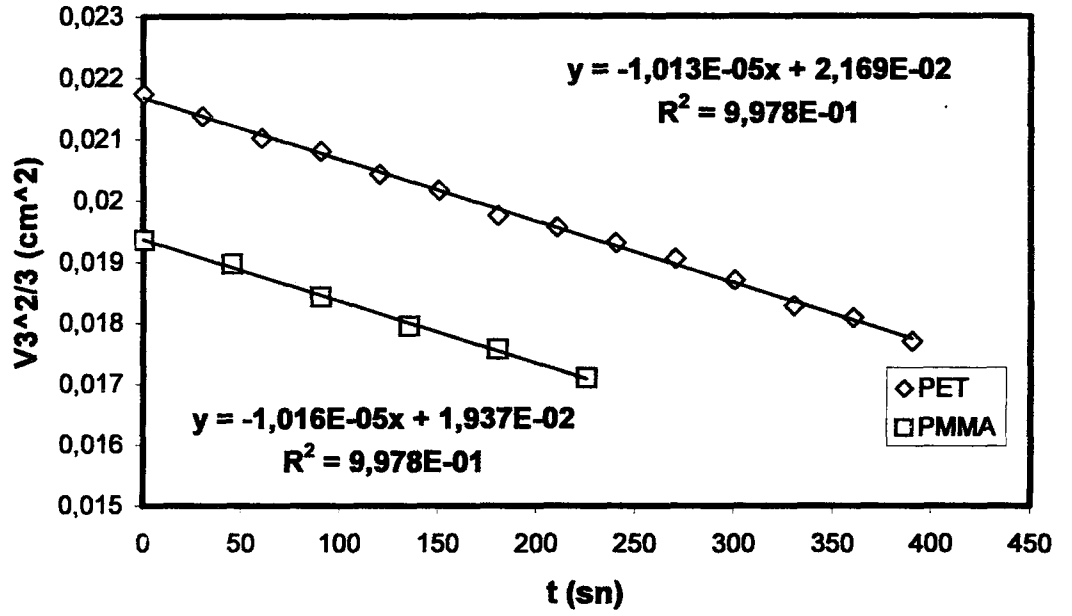
t(sn)	h(cm)	θ	V_3 (cm ³)	f(θ)
0	0,101632	78	0,002990	0,444354
45	0,099716	76	0,002897	0,434504
90	0,098597	75	0,002848	0,429521
135	0,097275	74	0,002793	0,424499
180	0,095561	73	0,002728	0,419439
225	0,094366	72	0,002679	0,414341
270	0,092802	71	0,002621	0,409207
315	0,091147	70	0,00256	0,404036
360	0,089399	70	0,002511	0,404036
415	0,086824	69	0,002426	0,398830



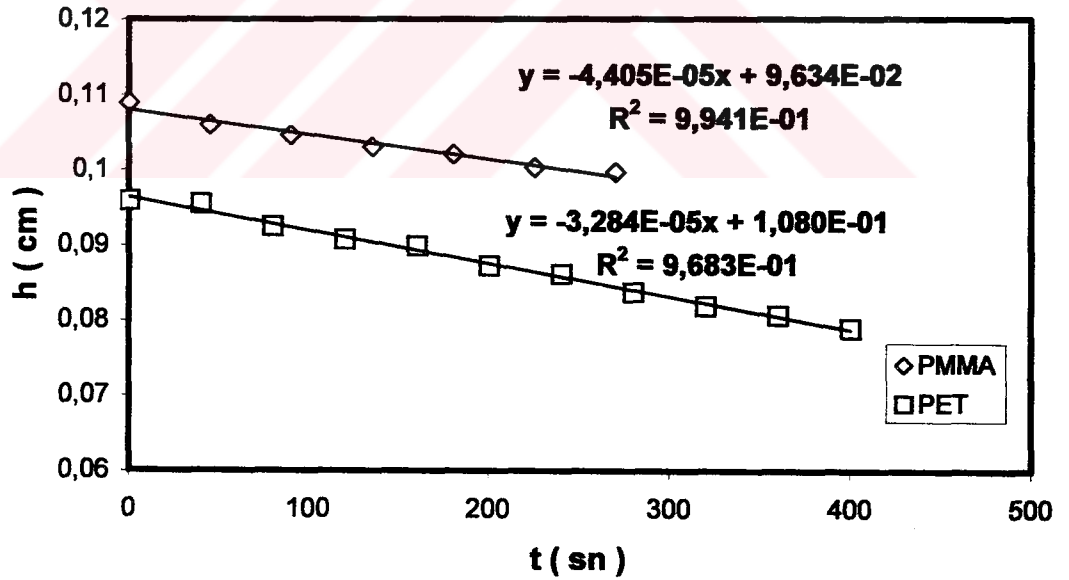
Şekil 4.16. 17°C' de %0 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



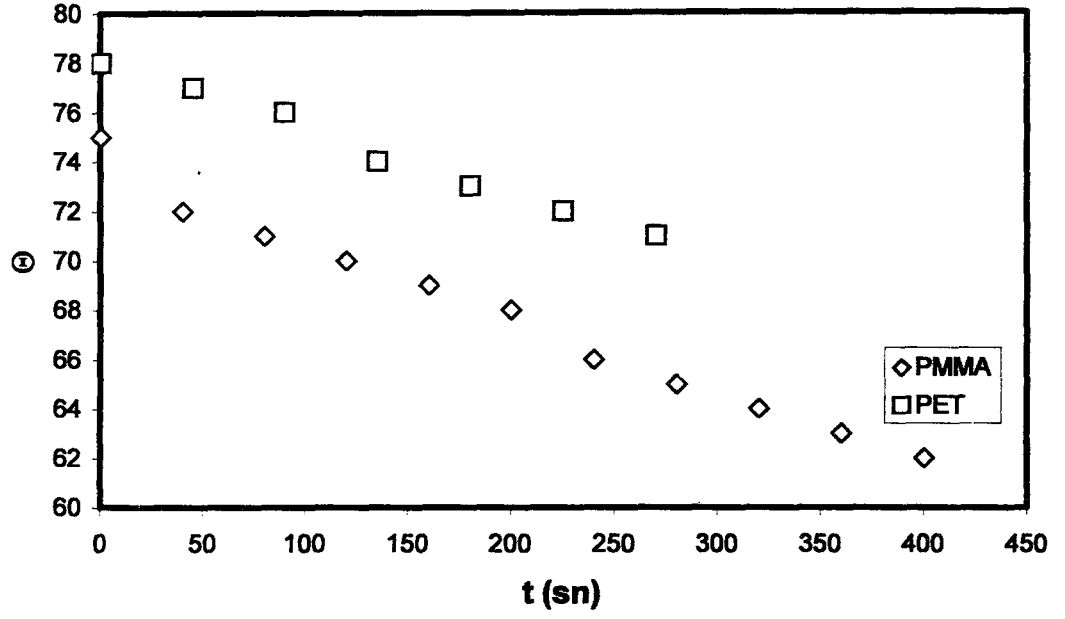
Şekil 4.17. 17°C' de %0 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısının zamanla azalması



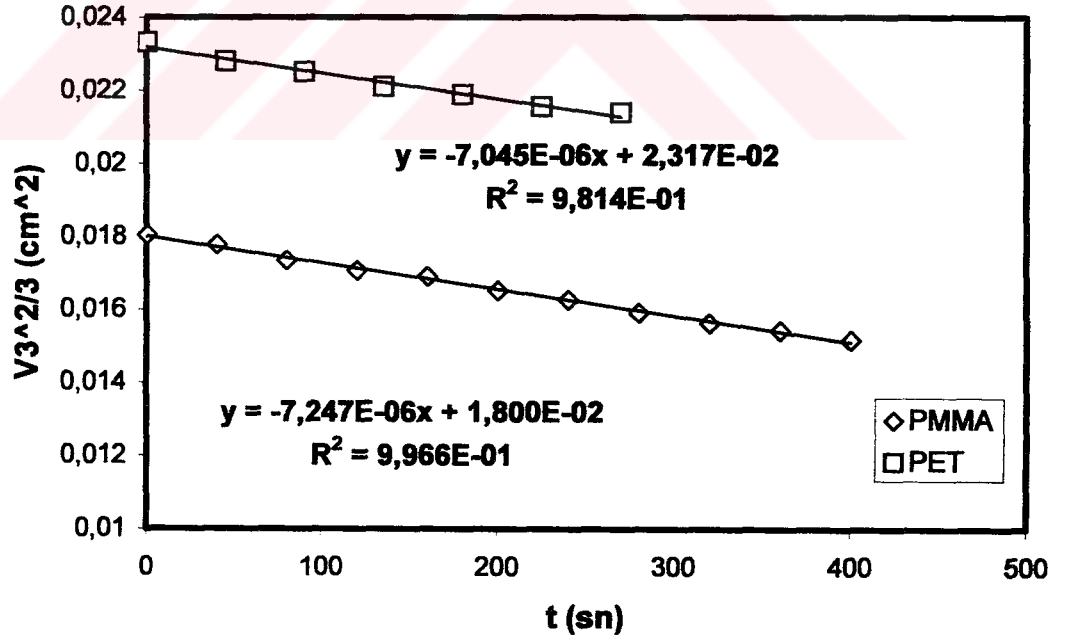
Şekil 4.18. 17°C' de %0 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması



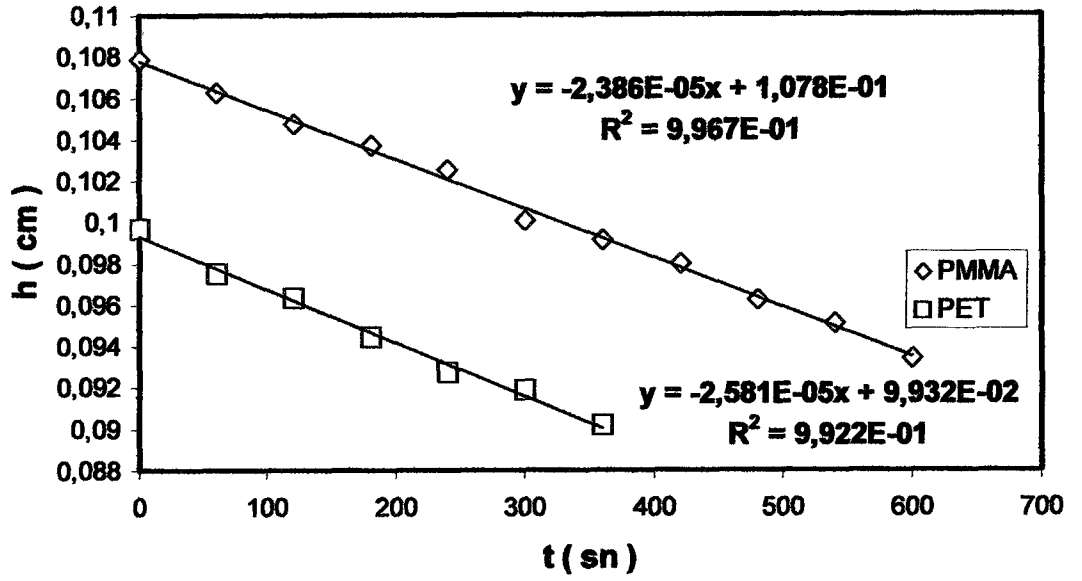
Şekil 4.19. 17°C' de %33 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



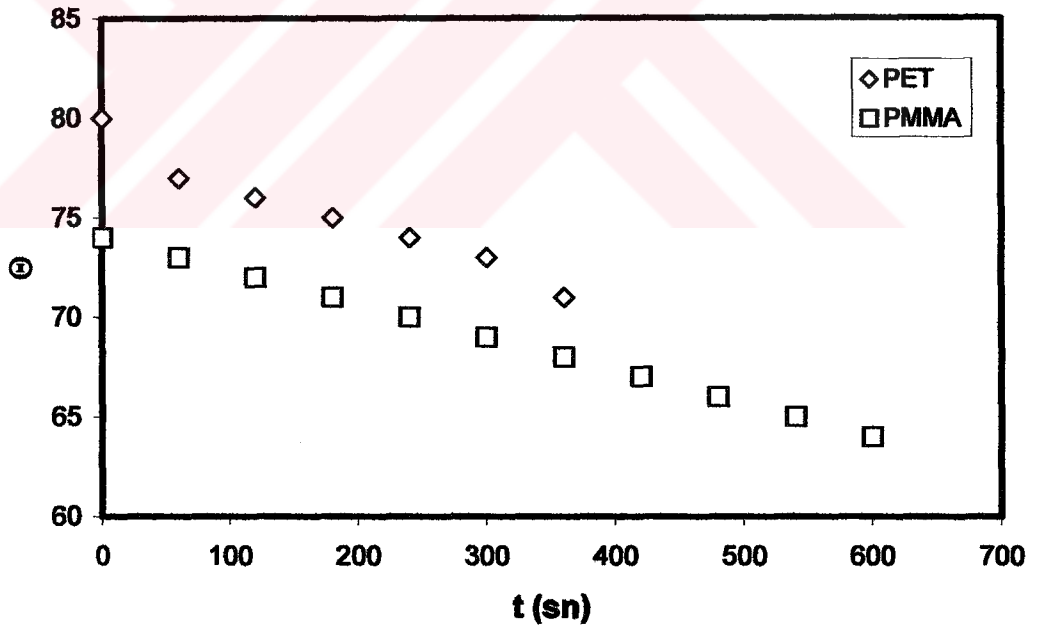
Şekil 4.20. 17°C’ de %33 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısının zamanla azalması



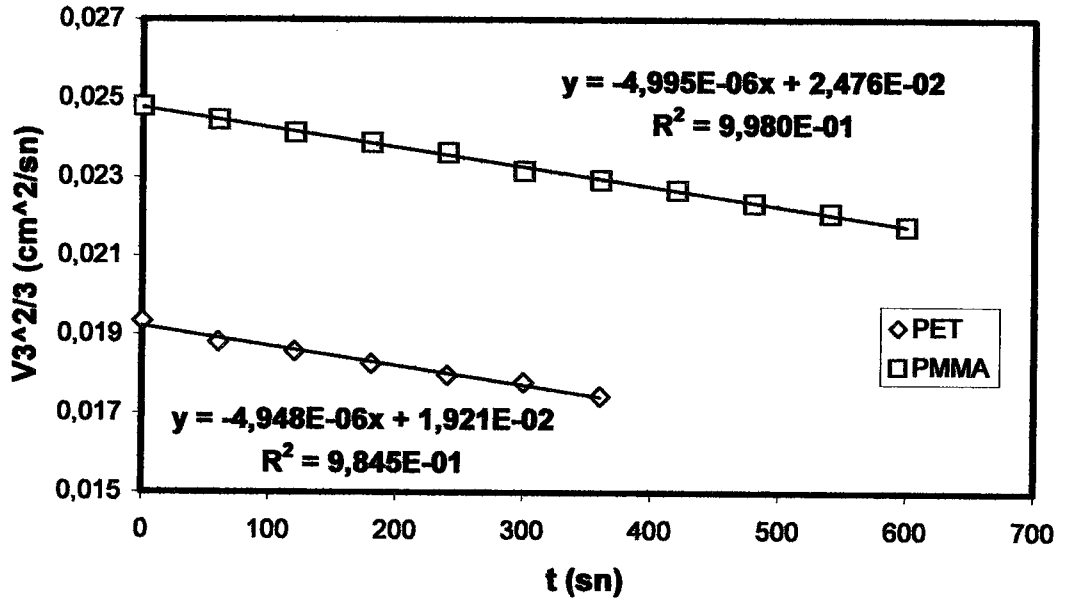
Şekil 4.21. 17°C’ de %33 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması



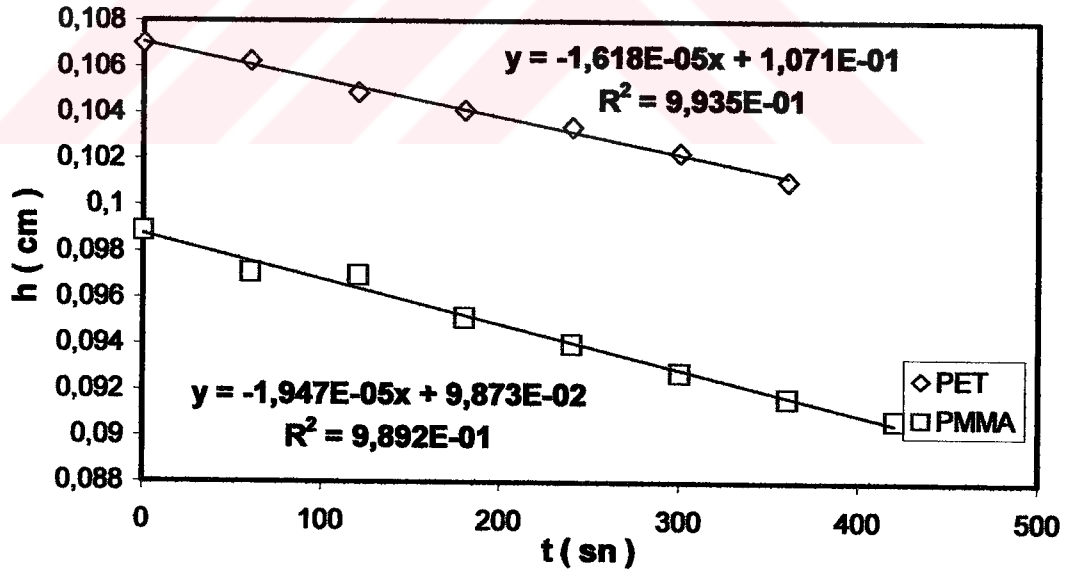
Şekil 4.22. 17°C’ de %54 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



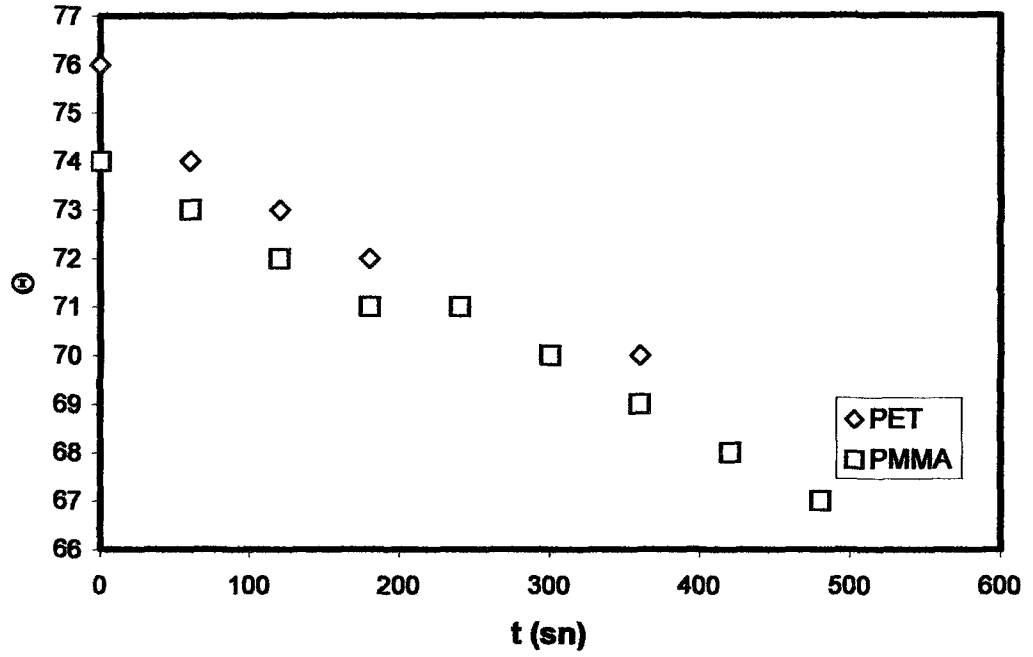
Şekil 4.23. 17°C’ de %54 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısının zamanla azalması



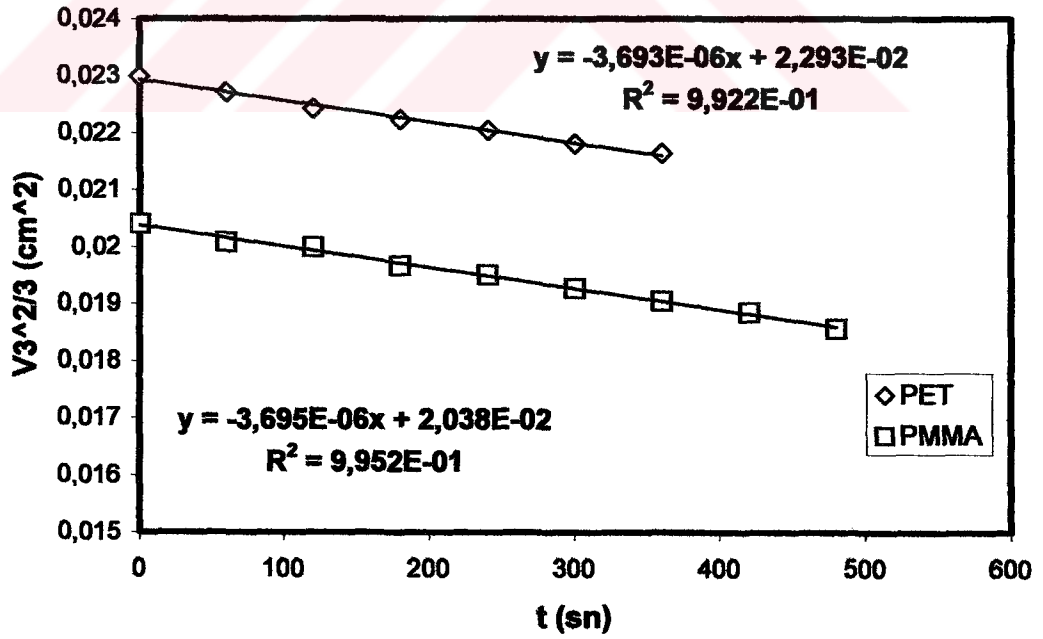
Şekil 4.24. 17°C' de %54 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması



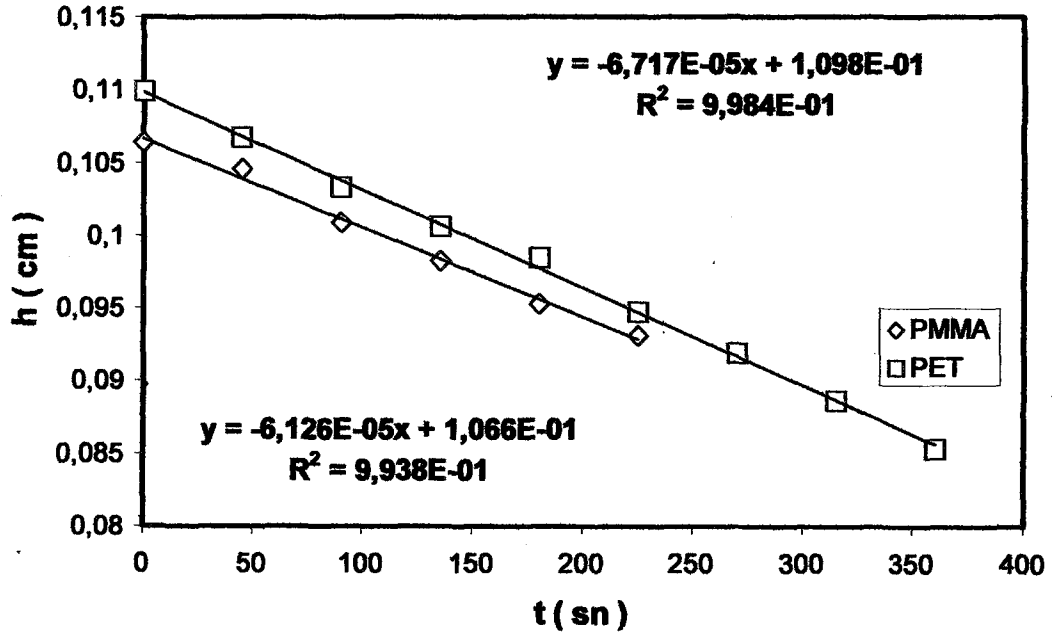
Şekil 4.25. 17°C' de %66 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



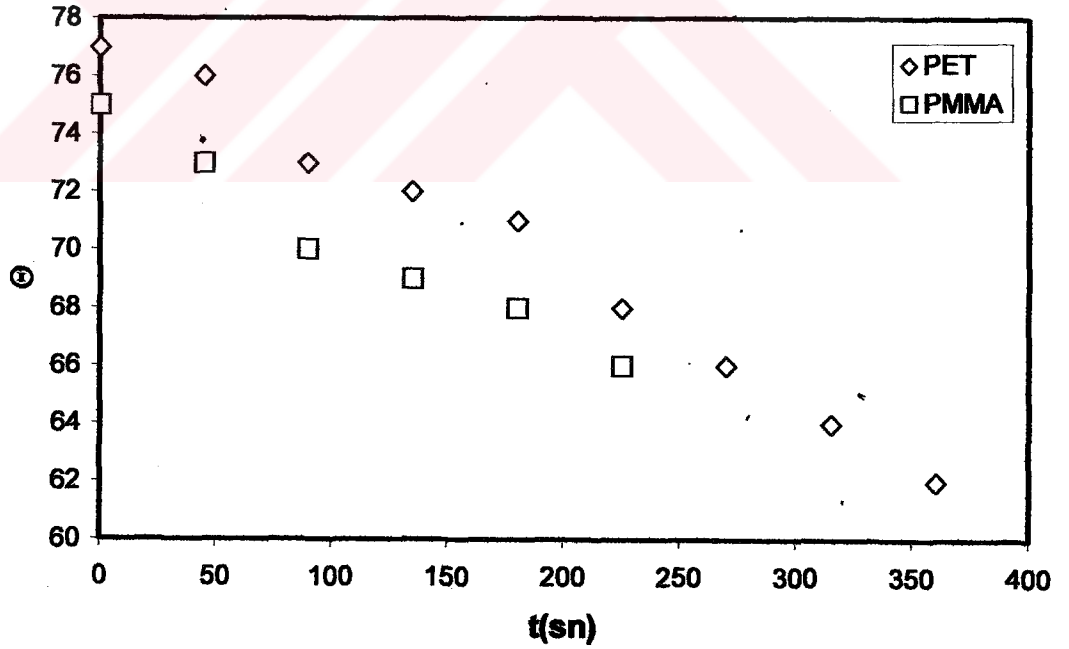
Şekil 4.26. 17°C’ de %66 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısının zamanla azalması



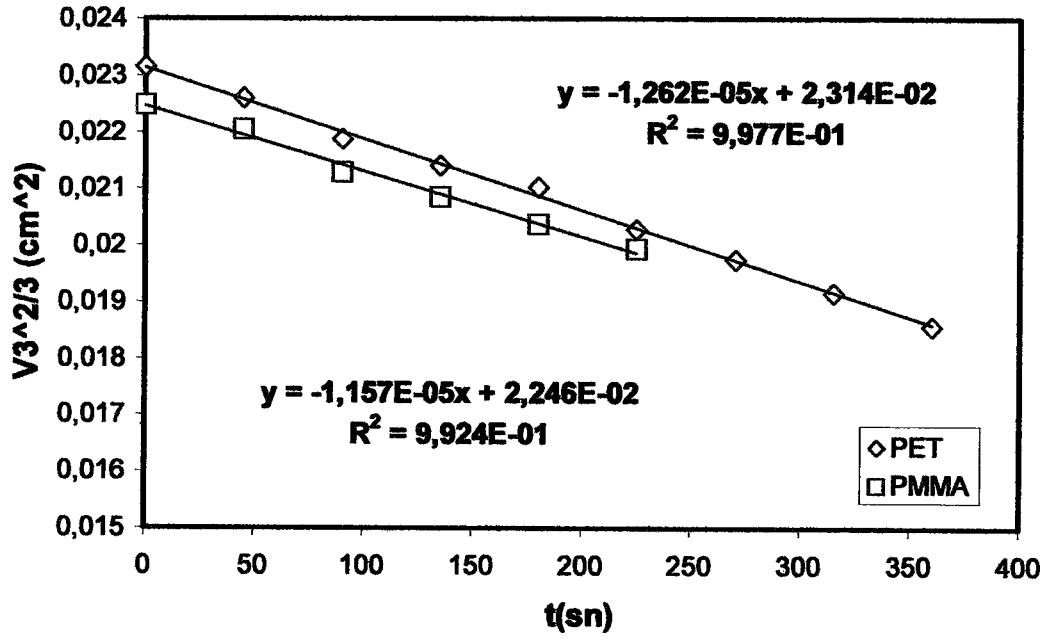
Şekil 4.27. 17°C’ de %66 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması



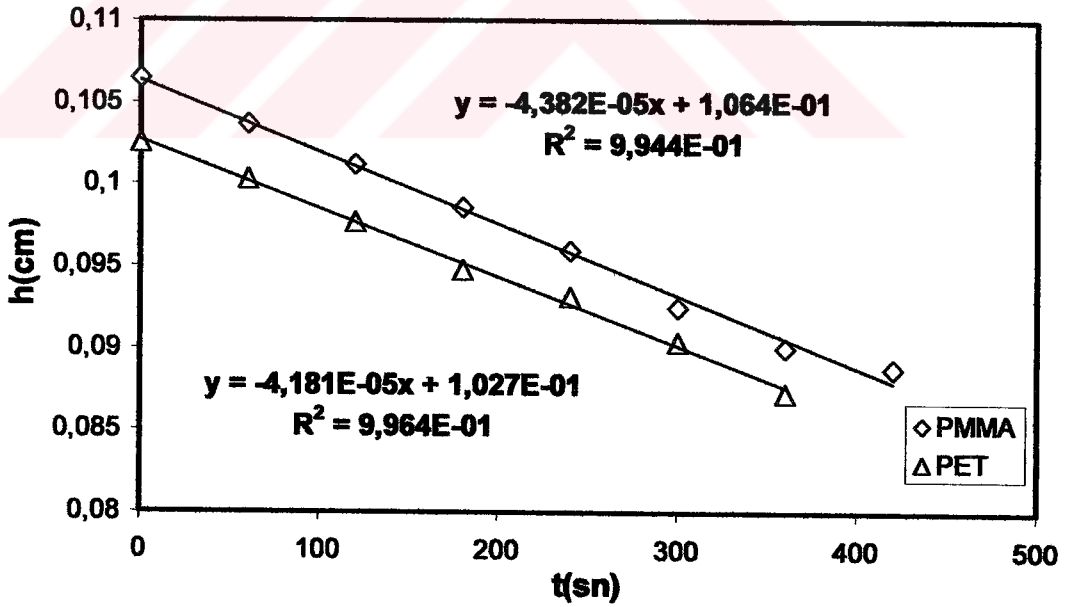
Şekil 4.28. 20°C’ de %0 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



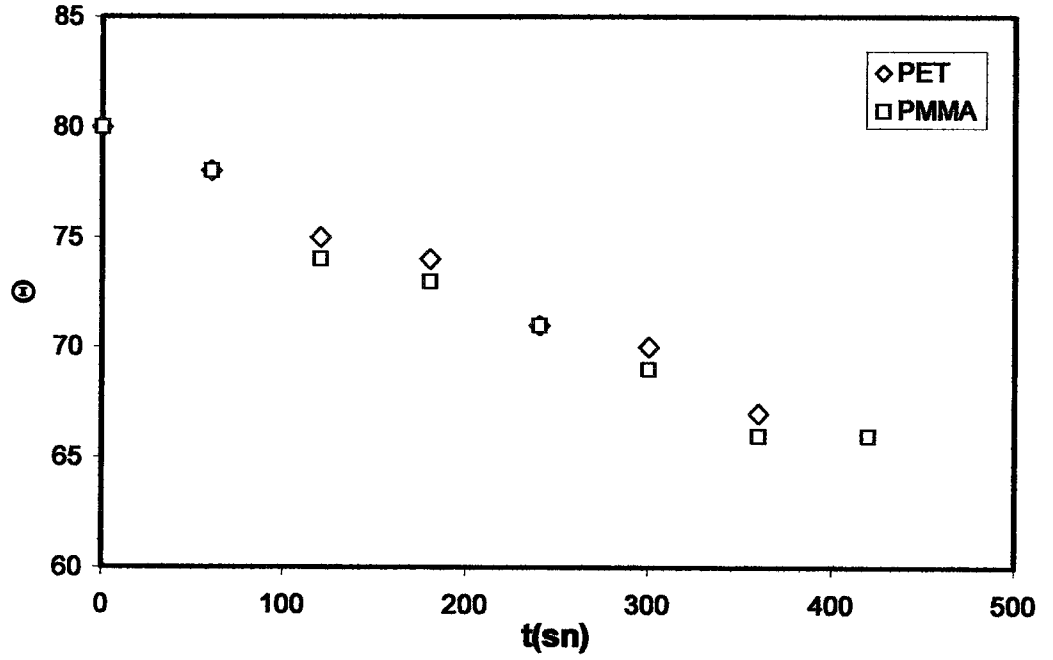
Şekil 4.29. 20°C’ de %0 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının değme açısının zamanla azalması



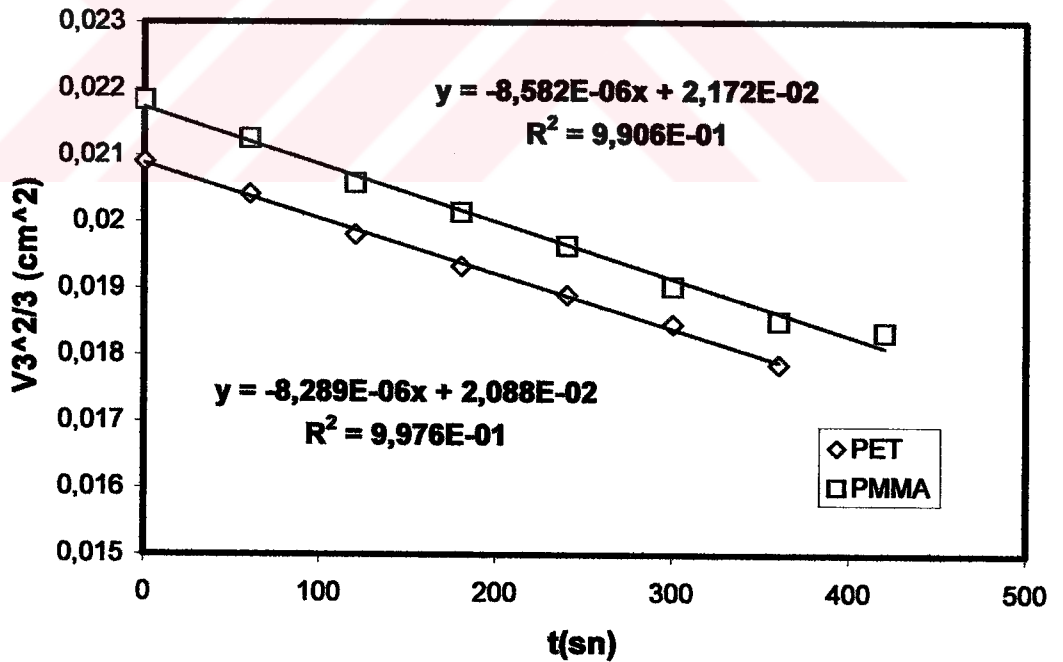
Şekil 4.30. 20°C’ de %0 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması



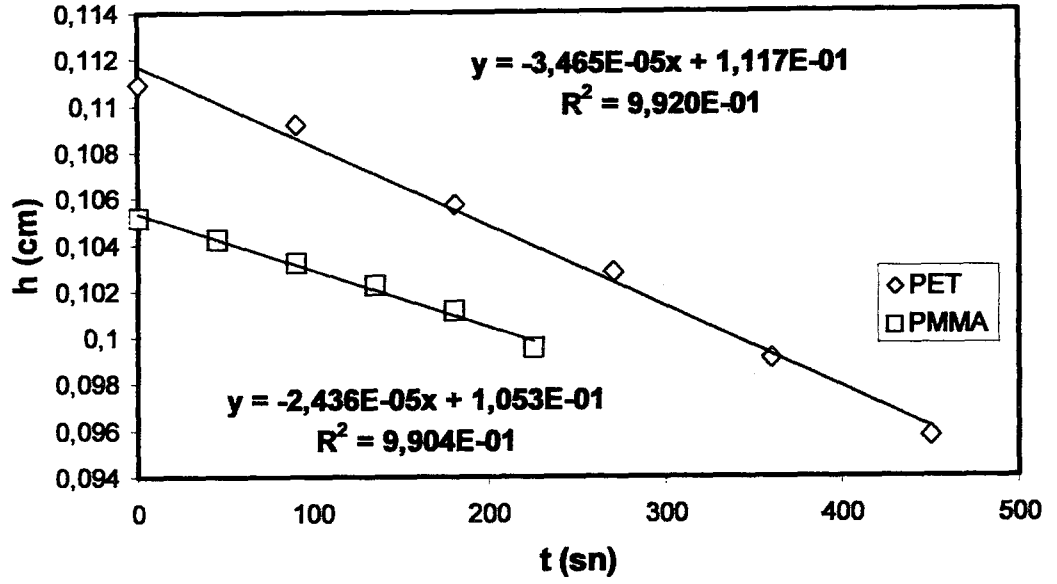
Şekil 4.31. 20°C’ de %33 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



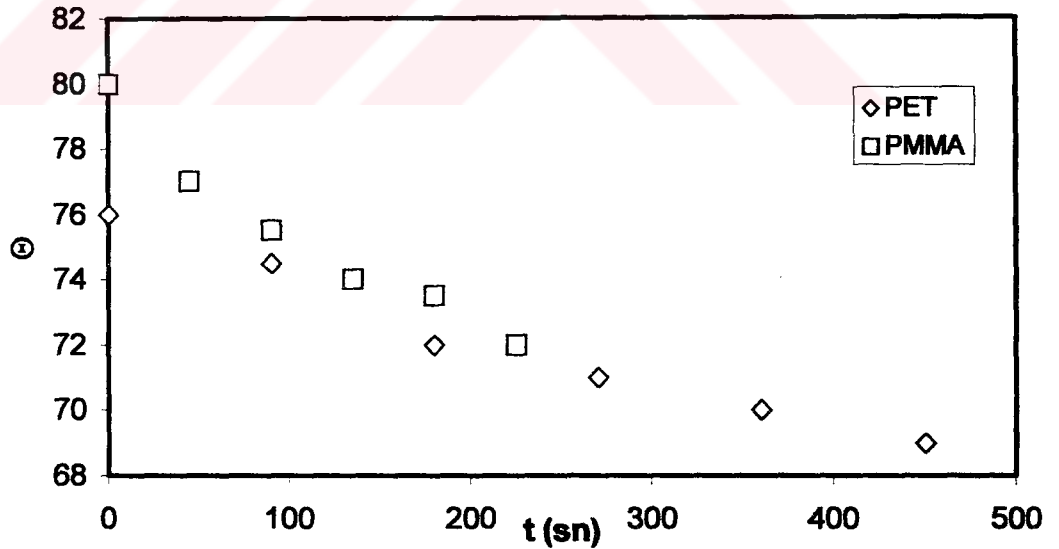
Şekil 4.32. 20°C’ de %33 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının değme açısının zamanla azalması



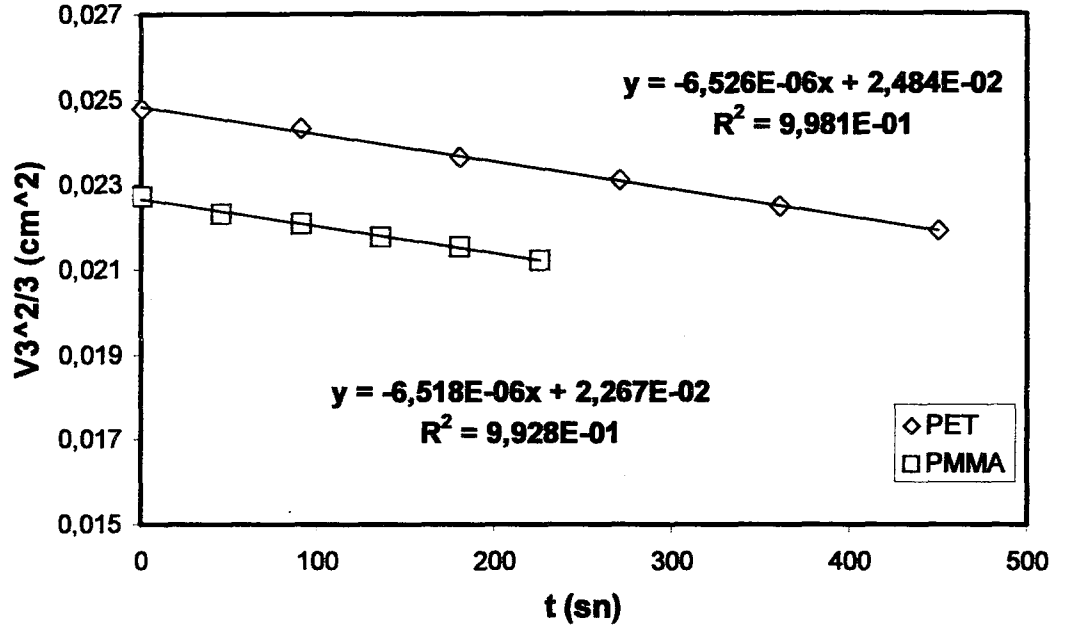
Şekil 4.33. 20°C’ de %33 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması.



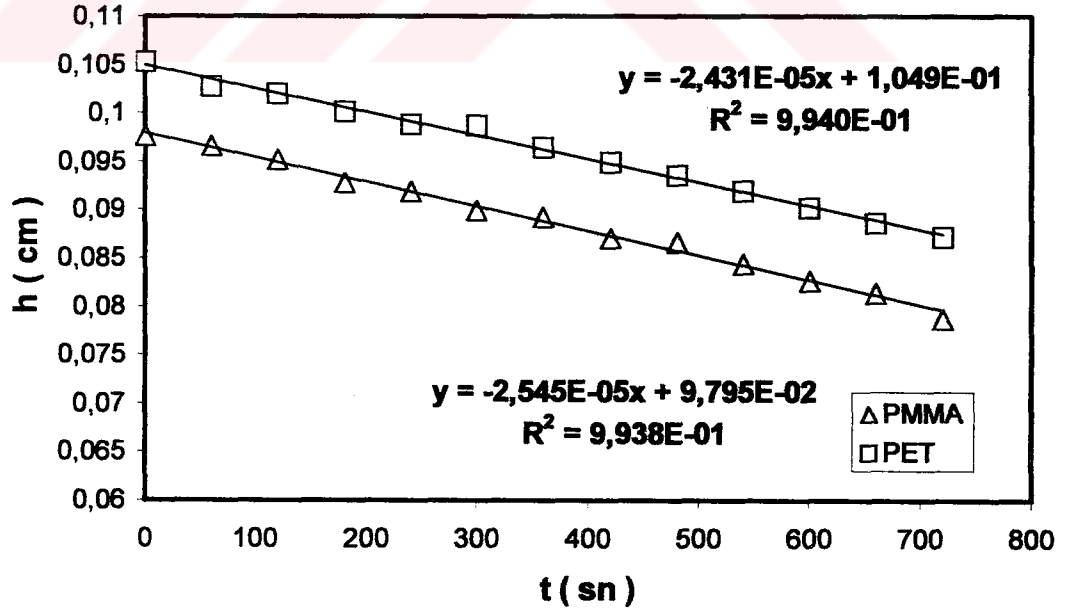
Şekil 4.34. 20°C’ de %52 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



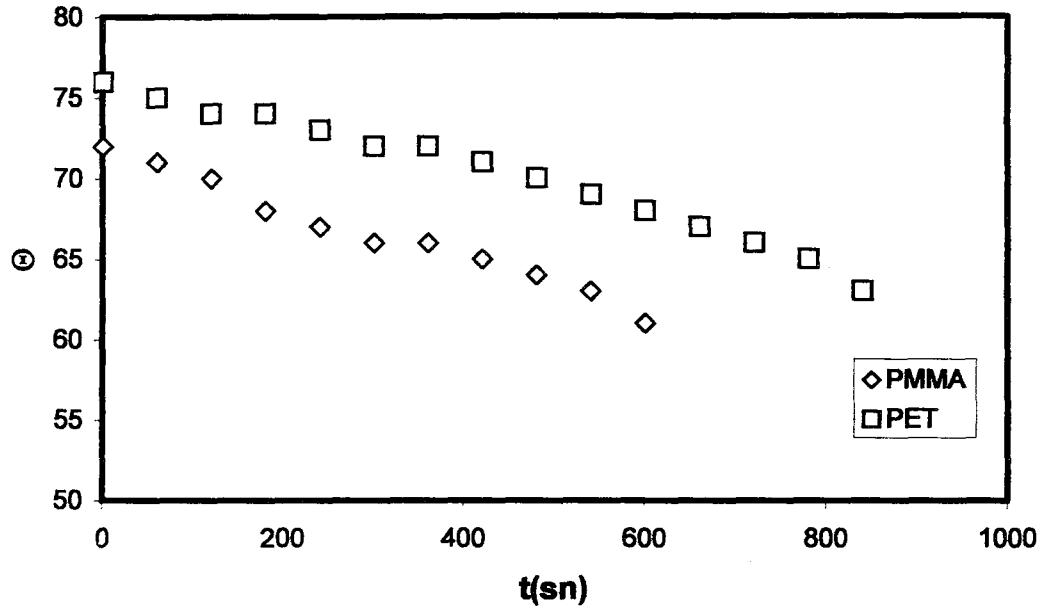
Şekil 4.35. 20°C’ de %52 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının değme açısının zamanla azalması



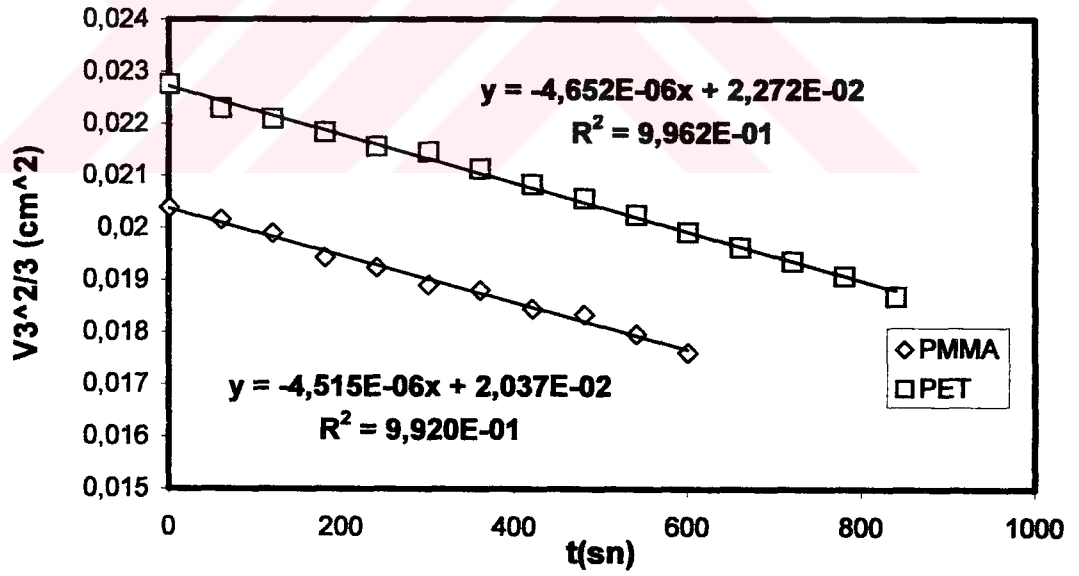
Şekil 4.36. 20°C' de %52 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması



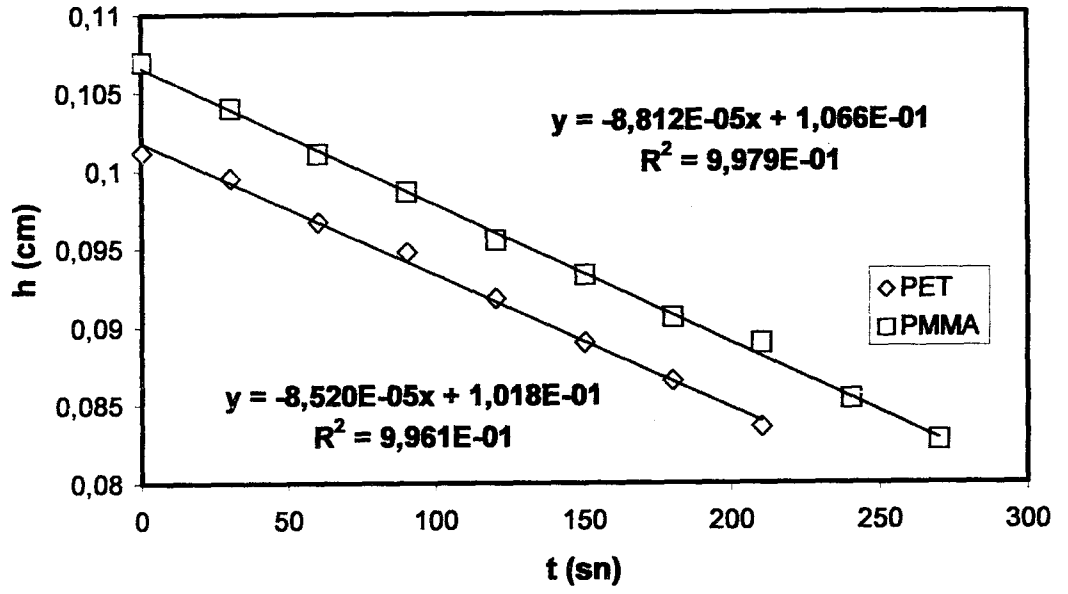
Şekil 4.37. 20°C' de %66 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



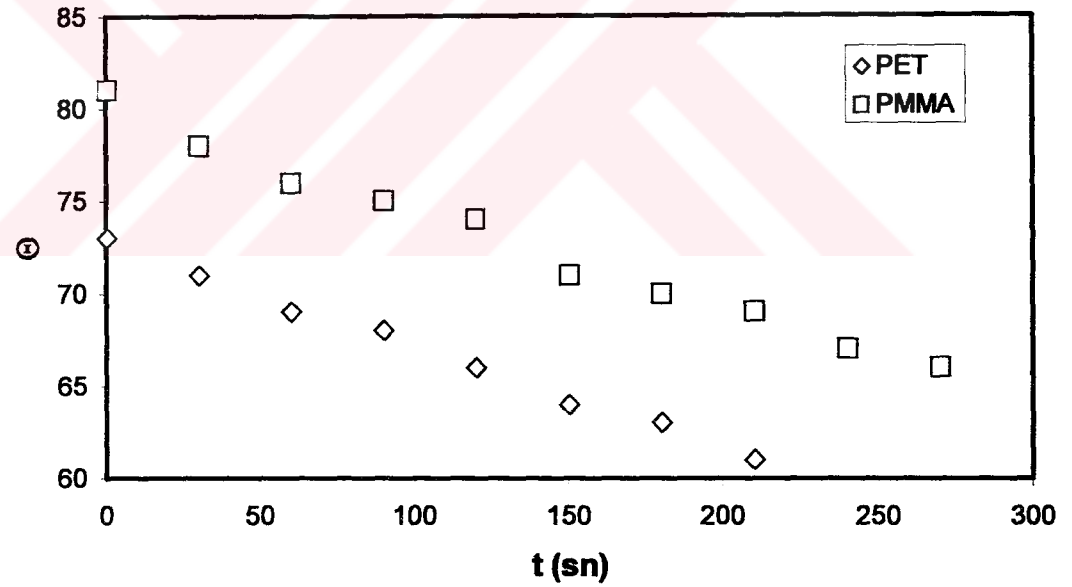
Şekil 4.38. 20°C’ de %66 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının değme açısının zamanla azalması



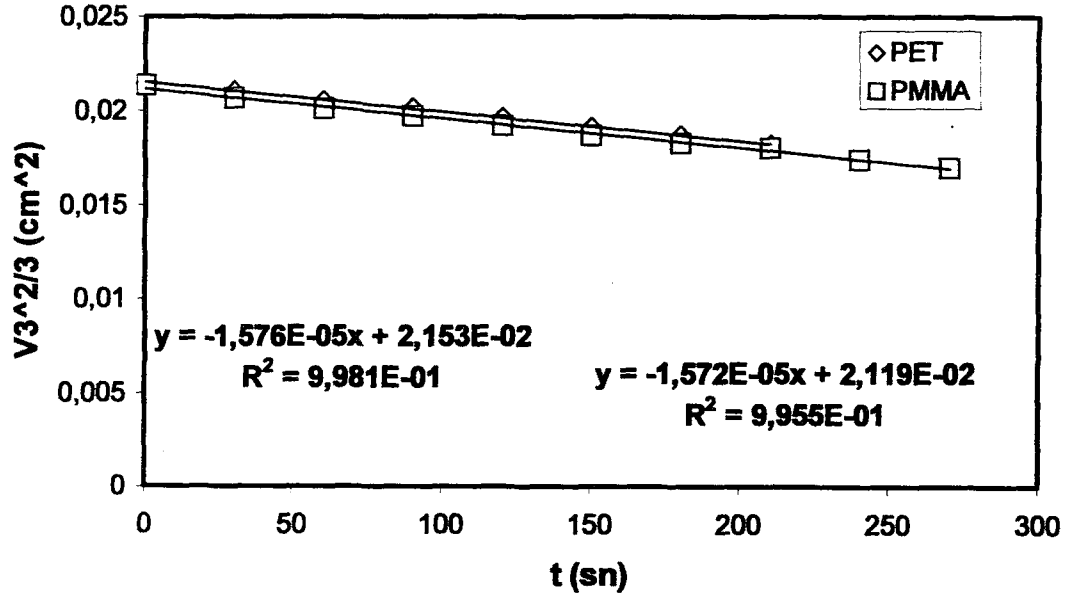
Şekil 4.39. 20°C’ de %66 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması



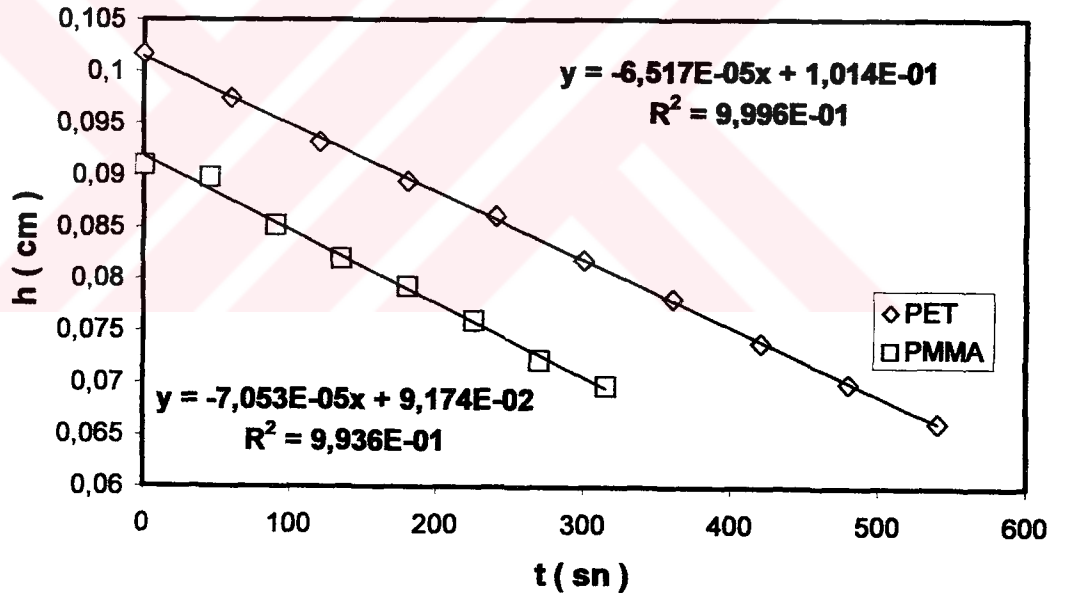
Şekil 4.40. 25°C' de %0 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



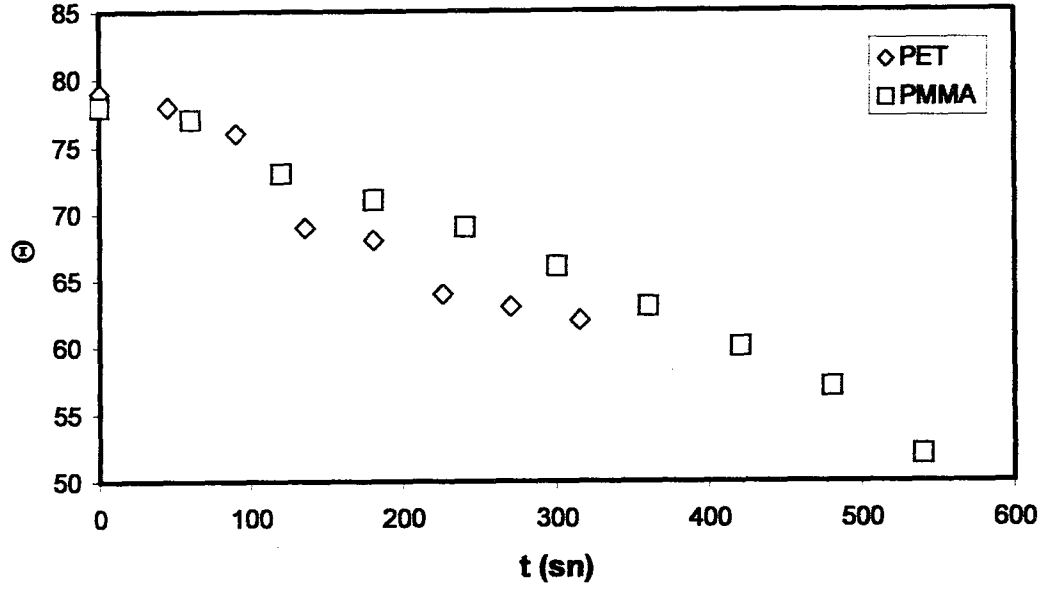
Şekil 4.41. 25°C' de %0 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının değme açısının zamanla azalması



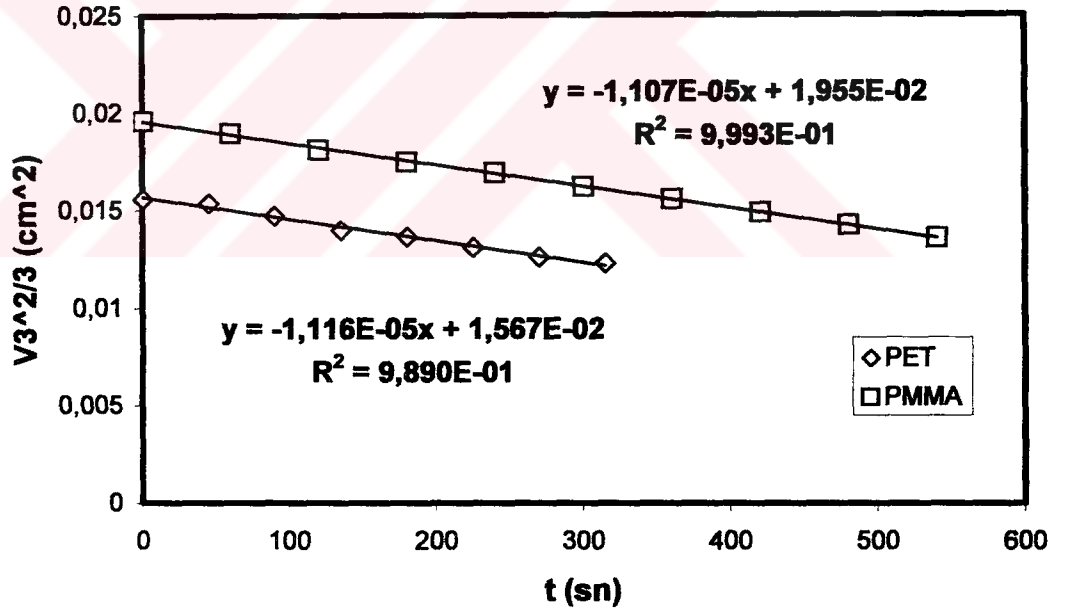
Şekil 4.42. 25°C' de %0 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması



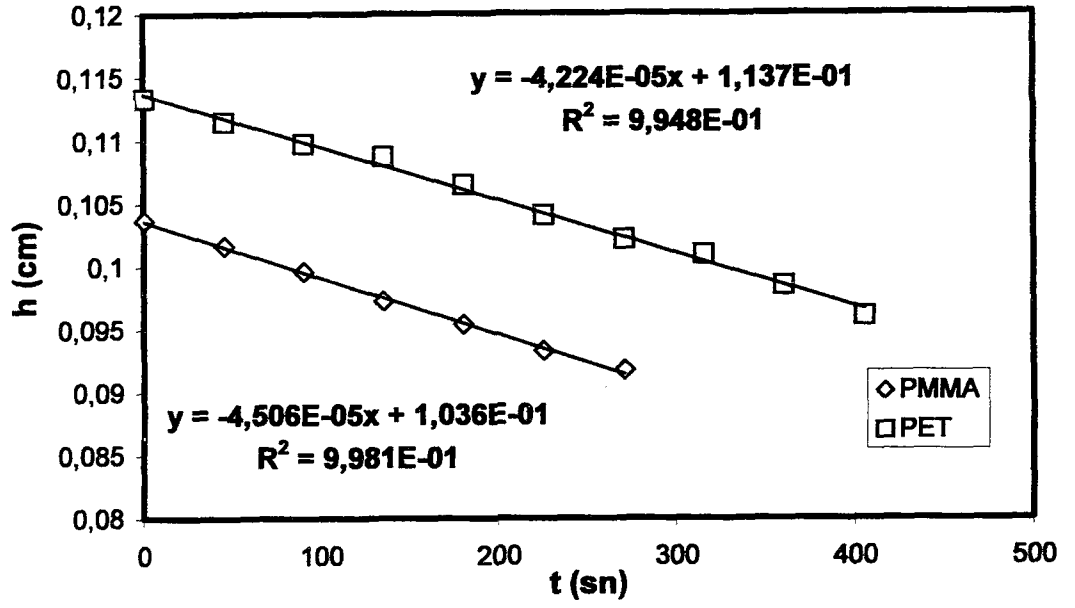
Şekil 4.43. 25°C' de %33 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



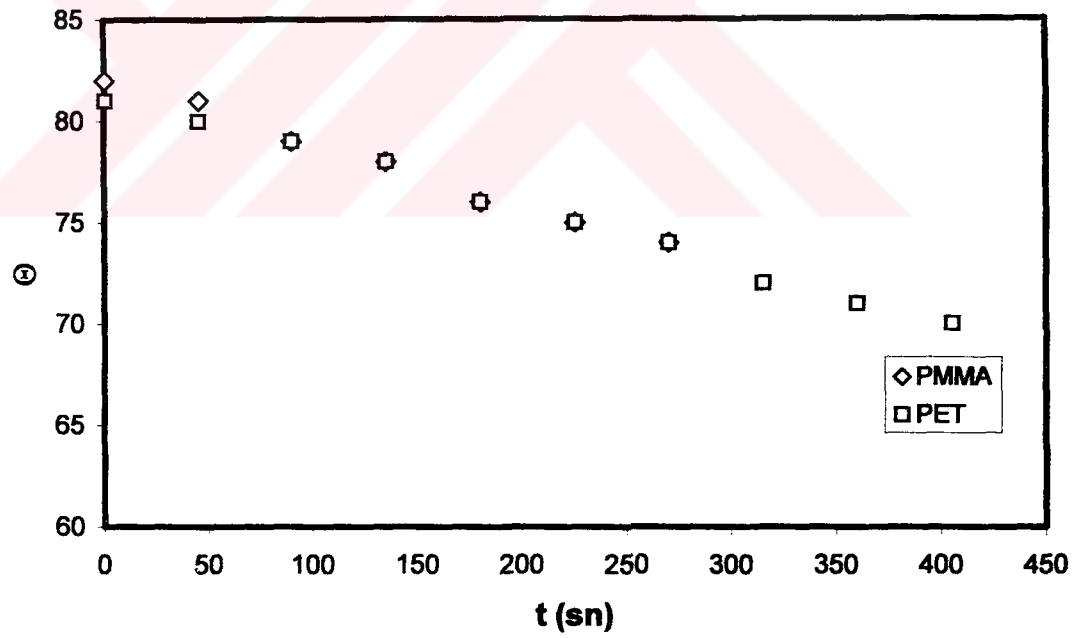
Şekil 4.44. 25°C' de %33 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısını zamanla azalması



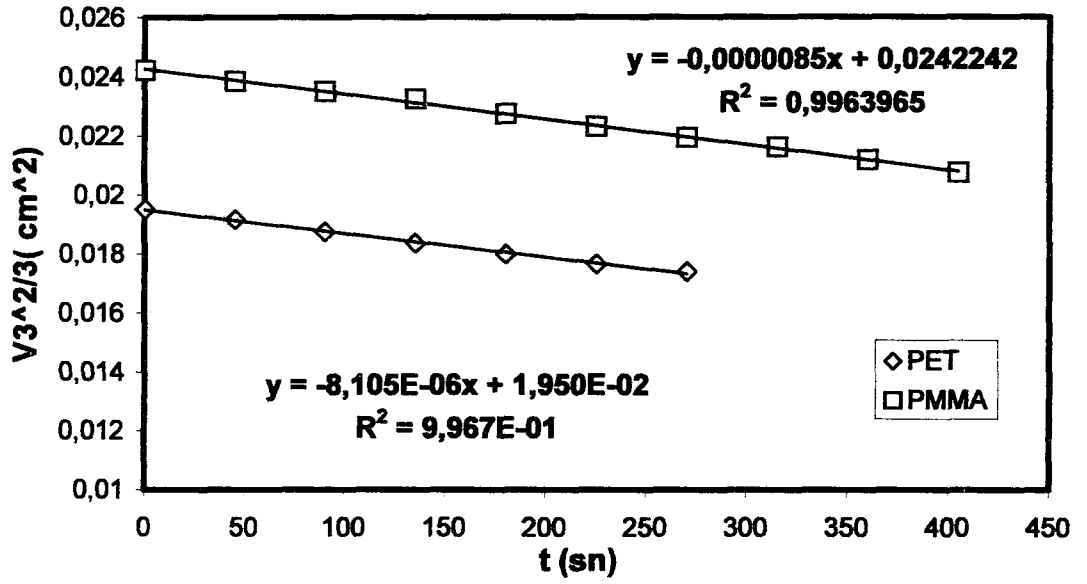
Şekil 4.45. 25°C' de %33 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması



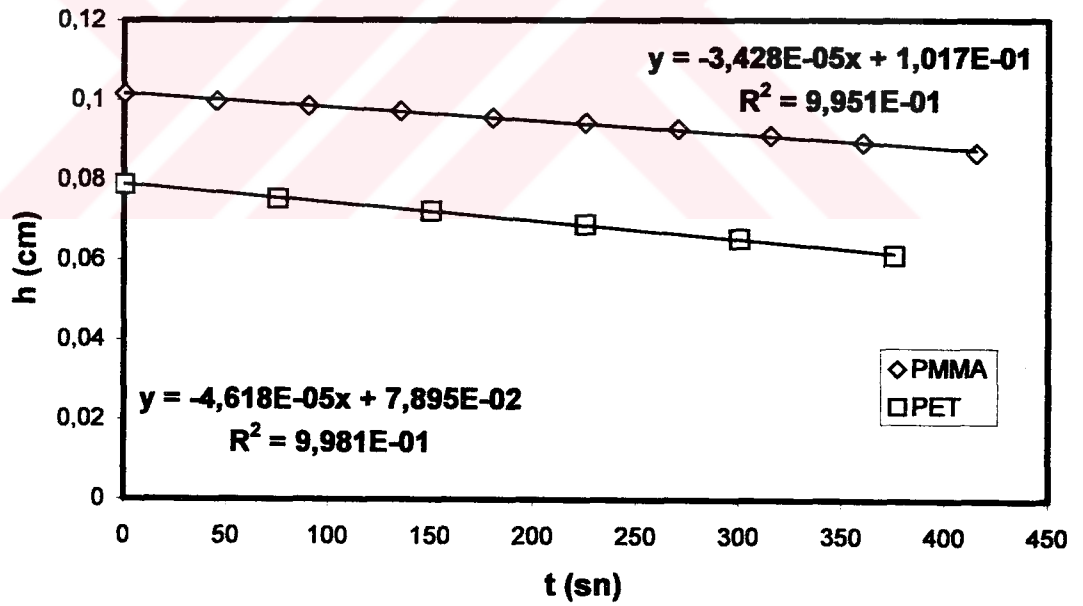
Şekil 4.46. 25°C’ de %51 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



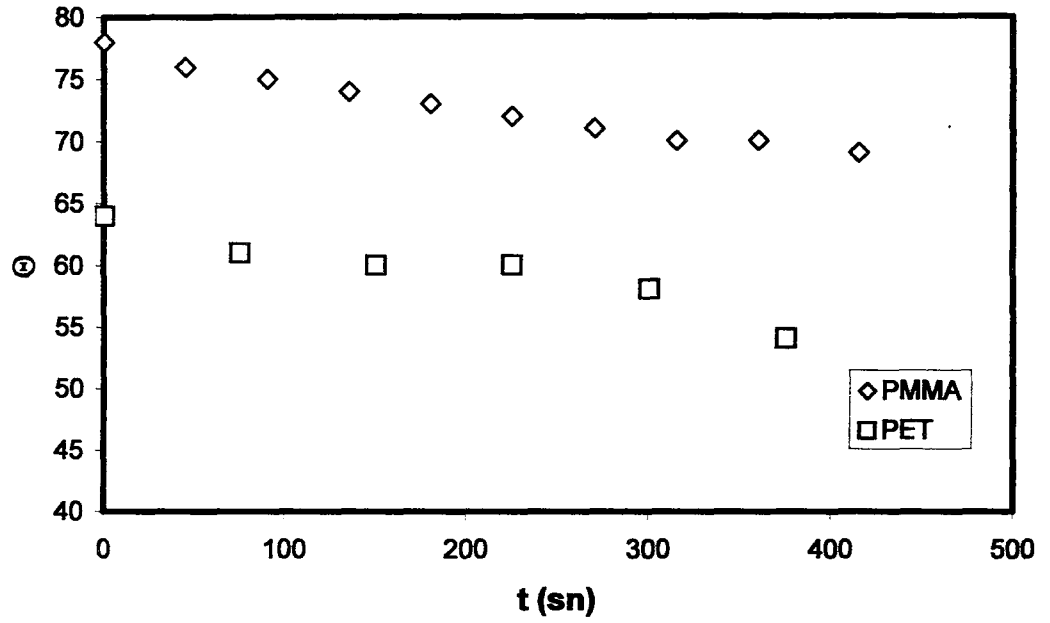
Şekil 4.47. 25°C’ de %51 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının temas açısının zamanla azalması



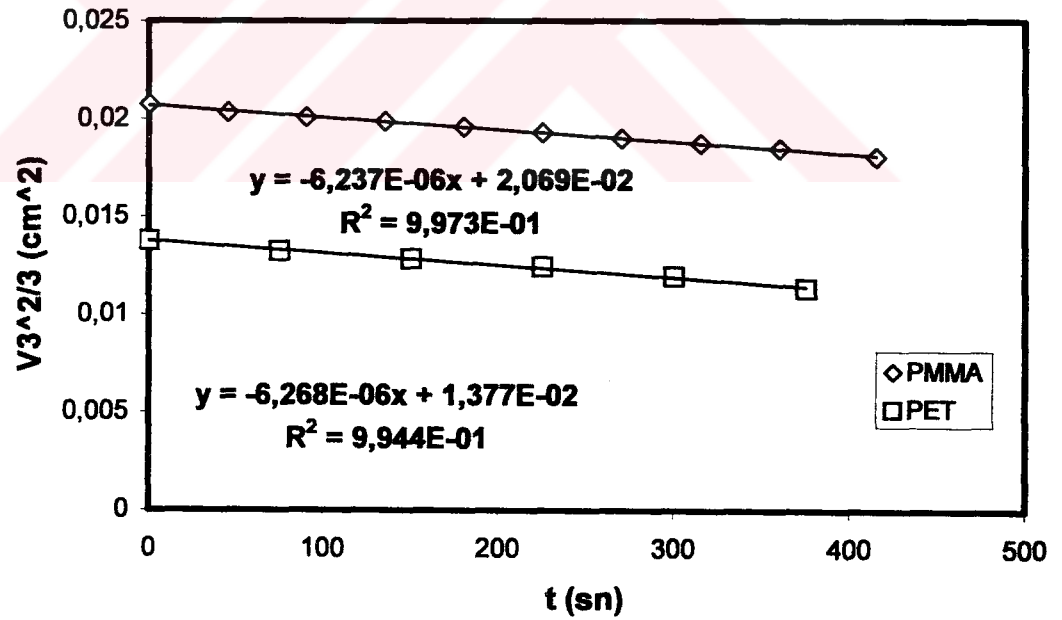
Şekil 4.48. 25°C' de %51 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması



Şekil 4.49. 25°C' de %65 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



Şekil 4.50. 25°C’ de %65 bağıl nemde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının yüksekliğinin zamanla azalması



Şekil 4.51. 25°C’ de %65 bağıl nemde PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının hacminin zamanla azalması

Tablo 4.39. Sıvı damlası buharlaşması denemesinde PET katı yüzeyi üzerindeki su damlasının çalışılan tüm sıcaklık ve bağıl nemlerdeki grafiklerinin eğimleri, temas yarıçapı ve difüzyon sabiti değerleri. (D_s : Stefan düzeltme faktörü kullanılarak hesaplanan difüzyon sabiti).

T (°C)	% RH	r_b (cm)	$dV_3^{2/3}/dt$	$D * f(\theta)$	D (cm^2/sn)	D_s (cm^2/sn)
17	0	0,11656	0,0000102	0,091477	0,213	0,215
	33	0,130673	0,0000070	0,093232	0,219	0,221
	54	0,139174	0,0000049	0,088212	0,221	0,223
	66	0,125632	0,0000037	0,094417	0,227	0,229
20	0	0,129804	0,0000126	0,08821	0,219	0,222
	33	0,129804	0,0000083	0,091395	0,217	0,220
	52	0,1364	0,0000065	0,097915	0,236	0,239
	66	0,131328	0,0000047	0,097611	0,241	0,244
25	0	0,129405	0,0000158	0,079492	0,205	0,208
	33	0,10538	0,0000112	0,087766	0,218	0,222
	51	0,115648	0,0000081	0,096535	0,218	0,222
	65	0,125336	0,0000062	0,097073	0,232	0,235

Tablo 4.40. Sıvı damlası buharlaşması denemesinde PMMA katı yüzeyi üzerindeki su damlasının çalışılan tüm sıcaklık ve bağıl nemlerdeki grafiklerinin eğimleri, temas yarıçapı ve difüzyon sabiti değerleri. (D_s : Stefan düzeltme faktörü kullanılarak hesaplanan difüzyon sabiti).

T (°C)	% RH	r_b (cm)	$dV_3^{2/3}/dt$	$D * f(\theta)$	D (cm^2/sn)	D_s (cm^2/sn)
17	0	0,1284	0,0000101	0,082023	0,209	0,211
	33	0,116	0,0000072	0,087295	0,223	0,225
	54	0,118	0,0000049	0,095935	0,223	0,225
	66	0,1313	0,0000037	0,092769	0,227	0,229
20	0	0,129838	0,0000117	0,082448	0,204	0,206
	33	0,124948	0,0000086	0,092854	0,224	0,227
	52	0,120503	0,0000065	0,10227	0,237	0,240
	66	0,127043	0,0000045	0,088501	0,229	0,231
25	0	0,122326	0,0000157	0,0855836	0,206	0,209
	33	0,118693	0,0000111	0,082734	0,214	0,217
	51	0,130489	0,0000085	0,098521	0,228	0,232
	65	0,107476	0,0000063	0,0800318	0,23	0,233

Tablo 4.41. Sıvı damlasının buharlaşması denemelerinde PMMA ve PET katı yüzeyleri üzerinde çalışılan tüm sıcaklık ve bağıl nem değerleri için ΔT ($^{\circ}\text{C}$) değerleri.

T ($^{\circ}\text{C}$)	% RH	(ΔT) _{PET} ($^{\circ}\text{C}$)	(ΔT) _{PMMA} ($^{\circ}\text{C}$)
17	0	1,24	1,54
	33	0,86	0,57
	54	0,54	0,66
	66	0,28	0,25
20	0	1,96	3,12
	33	1,63	2,15
	52	0,74	0,68
	66	1,24	0,45
25	0	3,6	3,59
	33	2,64	2,89
	51	1,89	2,65
	65	1,59	1,73

Tablo 4.41.'de görüldüğü gibi ΔT ($^{\circ}\text{C}$) değerleri sabit bağıl nemde sıcaklık artışı ile artmaktadır. Çünkü sıcaklık artışı ile buharlaşma hızı artmakta su damlasının yüzeyinin sıcaklığı düşmektedir. Sabit sıcaklıkta ise bağıl nem değerinin artışı ile ΔT ($^{\circ}\text{C}$) değerleri azalmaktadır. Bağıl nemin artışı ile buharlaşma hızı yavaşladığından su damlasının yüzeyindeki sıcaklık düşüşü daha az olmaktadır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

İnce tüpten su buharlaşması denemesiyle bulunan su buharı difüzyon katsayıları beklenen hassasiyetle tayin edilemediğinden, yine aynı sıcaklık ve bağıl neme sahip hücre içinde oluşturulan sıvı damlasının buharlaşması denemesinde veri olarak kullanılamamıştır. Bunun yerine, literatürden alınan $D=0,217\left(\frac{T}{273}\right)^{1,89}$ (Mache, 1910) denkleminde bulunan difüzyon sabitleri, sıvı damlasının buharlaşması denemesinde, yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farkı tespit etmek (ΔT), ve $f(\theta)$ etkisini kontrol etmek için kullanıldı.

Su damlasının PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde sabit temas yarıçapı vererek buharlaşması ideal bir yüzey üzerinde buharlaşma yapmadığını göstermektedir. Hesapla bulunan ($V_3^{2/3}-t$) grafiklerinin doğrusal çıkması ise denemedeki damlanın hacminin $V= f(\theta, r_b, h)$ küresel geometriye uyduğunu ve yapılan denemelerin hassasiyetinin yüksekliğini göstermiştir.

PET ve PMMA katı yüzeyleri üzerinde buharlaşan su damlasının, buharlaşma hızından hesapla bulunan difüzyon sabitleri, ancak $f(\theta)$ dikkate alındığında literatür ile uyumlu sonuç vermektedir ki, bu da damla buharlaşmalarında, alttaki katı yüzeyin varlığının, difüzyonu engellemesini gösteren $f(\theta)$ faktörünün bu hesaplarda mutlaka kullanılması gerektiğinin, su damlası buharlaşması için ilk kez ispat edilmesi bakımından önemlidir.

Damlanın yüzey sıcaklığından bulunan ΔT (°C) değerlerinin sabit bağıl nemde sıcaklık artışı ile arttığı, sabit sıcaklıkta ise bağıl nem değerinin artışı ile azaldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- 1) ADAM, N. K., (1941), The Physics and Chemistry of Surfaces, 3rd Ed., Oxford University Press., Sayfa (363-389, 168-198).
- 2) ADAMS, J., MERZ, R. A., (1929), Industrial and Engineering Chemistry, 21, 305.
- 3) AVCI, YONCA., (2001), Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 4) BAYKUT, S., BİRAN, M., (1986), Yüzey Aktif Maddeler ve Fizikokimyası, İstanbul Üniversitesi Yayınları, Sayı 3385, No 68, Sayfa (92-93, 109-112), İstanbul.
- 5) CHANG, R., (1994), Chemistry 5th Ed., McGraw-Hill Inc., Sayfa (190), U.S.A.
- 6) COULSON & RICHARDSON'S (1996), Chemical Engineering, Vol. 1, 5th Ed. Butterworth-Heinemann, London,
- 7) CUSSLER, E.L., (1997), Diffusion, Mass Transfer in Fluid Systems, 2nd Ed., Cambridge University Press, Cambridge, Sayfa (1-15).
- 8) DRIGO, A., ALOCCO, G., Pratik Fizik: Türkçe'ye çeviren, Kürkçüoğlu Nusret., İstanbul Teknik Üniversitesi, (1955), Sayfa (633-639).
- 9) ERBİL, H.Y., (1997), Surface Tension of Polymers, In: Handbook of Surface and Colloid Chemistry, Ed: Birdi, K. S., CRC Press Inc., Sayfa (259-306)
- 10) ERBİL, H.Y., (1998), J.Phys. Chem. B, 102, 9234.
- 11) ERBİL, H.Y., MERİÇ, R.A., (1997), J. Phys.Chem. B.,101, 35, 6867
- 12) ERBİL, H.Y., DOĞAN M., (2000), Langmuir,16, 9267.
- 13) GRİMSEHL-TOMASCHEK, (1945) Fizik: Mekanik, Türkçe'ye çeviren, Tunakan S., M:E:B. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Sayfa (86-87). İstanbul.
- 14) HEINZELMANN, J. F., WASAN, T. D., WILKE, R. C., (1965), Industrial and Engineering Chemistry, 21, 305, 1929.
- 15) HOOPER, H., GWYNNE, P., (1980), Physics and The Physical Perspective 2nd Ed. Harper & Row Publishers New York, Sayfa (211).
- 16) JOST, W., (1960), Diffusion 3th Ed. Academic Press New York, Sayfa (406-413)

- 17) LEE, C.Y., WILKE, C.R., (1954), Industrial and Engineering Chemistry, 46, 2381.
- 18) LEVINE, N., (1995), Physical Chemistry 4th Ed. International Editions, Sayfa (465-466).
- 19) MANNIER, C. B., SHANAHAN, M.E.R., (1995), Langmuir, 11.
- 20) McHALE,G., ERBİL, H.Y., NEWTON, M. I., NATTERER, S., (2001), Langmuir, 17,6995-6998.
- 21) PICKNETT, R.G., BEXON R.J., (1997), Colloid Interface Sci., 61, 2, 336.
- 22) ROWAN, S. M., NEWTON, M. I., McHALE, G., (1995), Phys. Chem., 99, 13268.
- 23) YAĞCIOĞLU, A.Ç., (1999), Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, Sayfa (37-49).
- 24) WEAST., (1981-1982), Handbook of Chemistry and Physics 62nd Ed, CRC Pres, Boca Raton, FL.
- 25) WILLIAMS, G.C., SCHMITT, R.O., (1946), Industrial and Engineering Chemistry, 38, 967.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Konya' da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmit' de tamamladı. 1996 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden 2000 yılında bölüm dördüncülüğü ile mezun oldu. 2001 yılından beri Kocaeli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde Araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

