



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İlaç san. kull. tablet kap.
madd. neminin uzakl.

Yüksek Lisans Tezi

İbrahim Doymaz

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

361
93

80

İLAÇ SANAYİNDE KULLANILAN TABLET KAPLAMA
MADDELERİNİN NEMİNİN UZAKLAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA MÜH. İBRAHİM DOYMAZ

İSTANBUL - 1989

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI
R 361

Kot :93.....
Alındığı Yer :Fen Bilimleri Enst.....
Tarih :12/12/1990.....
Fatura :
Fiatı :20.000 TL.....
Ayniyat No :1/28.....
Kayıt No :47416.....
UDC :54 378.242.....
Ek :



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İLAÇ SANAYİNDE KULLANILAN TABLET KAPLAMA
MADDELERİNİN NEMİNİN UZAKLAŞTIRILMASI

93

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

KİM.MÜH. İbrahim DOYMAZ

İSTANBUL - 1989

İLACI SANAYİNDE KULLANILAN TABLET KAPLAMA
MADDELERİNİN NEMİNİN UZAKLAŞTIRILMASI

TEŞEKKÜR

Tez çalışması olarak bu konuyu bana veren ve çalışmamda bana yardımcı olan bölge dekanı Prof. Dr. Salih DİNÇER ve tez jürisini üzerinde olarak benim için büyük katkıda bulunanlar için teşekkür ederim.

TEZ YÖNETİCİSİ : Prof. Dr. Edip BÜYÜKKOCA

TEZ TESLİM TARİHİ : 17.1.1989

JÜRİ ÜYELERİ : Prof. Dr. Edip BÜYÜKKOCA

Prof. Dr. Salih DİNÇER

Prof. Dr. Ali BEBA

Özellikle öğretim görevlisi olarak bu tez çalışmamda bana büyük katkıda bulunanlar için teşekkür ederim.

SAVUNMA TARİHİ : 27.1.1989

ÖZET

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, ilaç sansyinde kullanılan tablet kaplama maddesi Arş. Gör. Melike CEMALOĞLU tarafından hazırlanmıştır. Tez çalışması olarak bu konuyu bana veren ve çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan bölüm başkanımız Prof.Dr.Salih DİNÇER ve tez yönetimini üzerine alarak bitirten Prof.Dr.Edip BÜYÜKKOCA'ya teşekkür ederim. Çalışmalarımı uzun süre yöneten Yrd.Doç.Dr.Mehmet FİLİZ'e teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında yardımlarına gördüğüm Arş.Gör.Melike CEMALOĞLU, Arş.Gör.Esen BOLAT'a ve yardımlarını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tüm öğrenim yaşamımda olduğu gibi tez çalışmalarım sırasında da her tür yardım ve desteği sağlayan aileme de teşekkür ederim.

ABSTRACT

ÖZET

Bu çalışmada, ilaç sanayinde kullanılan tablet kaplama madde örneklerinin hava akımında kurutulmaları deneysel olarak incelenmiştir. Bu çeşit kurutma süreçlerinde kütle, ısı ve momentum aktarımı aynı anda olur. Deneysel çalışmalar değişik kuruma yüzeyi, kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nemlere göre yapıldı.

Kuru ve yaş termometre sıcaklıkları sırasıyla daha önceden kurutucuya yerleştirilen kuru ve yaş termometreler yardımıyla ölçülmüşlerdir. Kurutulacak maddenin kurutma odasına yerleştirildikten sonra her 15 dakikada bir tartım alınarak, bu işleme sabit tartım elde edilinceye kadar devam edildi. Bunlara ek olarak, partikül halindeki yaş ve kuru maddenin elek analizleri yapılmış olup ortalama partikül çapı bulundu.

Elde edilen deneysel verilerden ısı ve kütle aktarım katsayıları saptanmasına temel teşkil edecek diğer değerler hesaplanmıştır. Bu deneysel verilerden ve hesaplanan değerlerden rutubet-zaman ve elek analizi grafikleri çizilmiştir.

Bu grafiklerden de görüleceği gibi, küre halindeki maddelerin kuruma zamanı, kürenin çapına paralel olarak artmaktadır. Fakat bu şekilde kurutulan maddelerin kuruma yüzeylerinde bir kabuk teşekkülü, kuruma zamanını daha da artırmaktadır. Partikül halindeki maddenin kurutulması daha kısa zamanda olmaktadır ve büzülme etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Kurutma işlemi sırasında partiküllerin hareketli bir ortamda karıştırılması daha iyi sonuç verir.

ABSTRACT

In this work, drying of tablet coating materials used in pharmaceutical industry was experimentally studied. During this type of drying mass, heat and momentum transfer occurs simultaneously. Experimental work was done according to various drying surfaces, dry thermometer temperature and relative humidity values.

The dry and wet thermometer temperatures were obtained from dry and wet thermometers previously arranged in the drier. The material to be dried was put in the drying room and it was weighed at every 15 minutes and drying was continued until constant weight was attained. Additionally, the average particle diameter was obtained for wet and dry raw materials by sieve analysis.

The experimentally obtained data were used in calculation of other values of basic importance for determination of heat and mass transfer coefficients. Material wetness vs time and sieve analysis graphs were obtained from experimental and calculated values.

As could be seen from these graphs, the drying period of spherical raw materials increases in parallel with sphere diameter. But on the drying surfaces a crust is forming and this crust causes an increase in drying period. The drying of materials in particle form lasts shorter and the shrink effect is negligible. The mixing of particles in a moving medium during drying operation gives better results.

İÇİNDEKİLER

| | | |
|--|------------------------------|----|
| | 2.1.7.3. Kritik Nem | 26 |
| | 2.1.7.4. Sabit Debi Periyodu | 28 |
| | Kuruma Zamanı Hesabı | 29 |
| TEŞEKKÜR | I | |
| ÖZET | II | |
| ABSTRACT | III | |
| İÇİNDEKİLER | IV | |
| ÇİZELGE LİSTESİ | VII | |
| ŞEKİL LİSTESİ | IX | |
| SEMBOOLLER VE BİRİMLER | XIII | |
| 1. GİRİŞ | 1 | |
| 2. KAYNAK TARAMASI | 2 | |
| 2.1. KURUTMA | 3 | |
| 2.1.1. Konuya Giriş | 3 | |
| 2.1.2. Kurutma Çeşitleri | 4 | |
| 2.1.3. Kurutmanın Termodinamiği | 5 | |
| 2.1.4. Rutubet | 7 | |
| 2.1.4.1. Denge Rutubet Miktarı | 9 | |
| 2.1.4.2. Bağlı ve Bağımsız Rutubet | 13 | |
| 2.1.4.3. Serbest Rutubet | 14 | |
| 2.1.5. Kurutma Operasyonları | 14 | |
| 2.1.6. Kurutma Testleri | 15 | |
| 2.1.7. Kuruma Debisi Eğrileri | 16 | |
| 2.1.7.1. Sabit Debi Periyodu | 21 | |
| 2.1.7.2. Sabit Kuruma Debisine Etki Eden Faktörler | 23 | |

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| 2.1.7.3. Kritik Nem | 26 |
| 2.1.7.4. Azalan Debi Periyodu | 28 |
| 2.1.8. Kuruma Zamanı Hesabı | 29 |
| 2.2. İZOLE EDİLMİŞ BİR ORTAMDA BİR SIVI KÜTLESİNİN BUHARLAŞTIRILMASI | 34 |
| 2.2.1. Yüzeyle Turbülans Akımla Kütle Aktarımı | 35 |
| 2.2.2. Yaş ve Kuru Termometre Sıcaklıkları | 39 |
| 2.2.3. Psikrometrik Diyagram | 41 |
| 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 44 |
| 3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN MATERYALLER | 45 |
| 3.1.1. İlaç Sanayinde Kullanılan Tablet Kaplama Maddelerinin Hazırlanması | 45 |
| 3.1.2. Kurutma İşlemlerinin Yapıldığı Düzenek ve Çalışma Prensipleri | 46 |
| 3.2. DENEL KISIM | |
| 3.2.1. Kuruma Yüzeyinin Değiştirilmesi | 49 |
| 3.2.2. Sıcaklığın Değiştirilmesi | 49 |
| 3.2.3. Elek Analizi | 49 |
| 3.3. ANALİTİK YÖNTEM | 50 |
| 3.3.1. Kuruma Debisinin Hesaplanması | 50 |
| 3.3.2. Tüm Rutubet Miktarının Hesabı | 51 |
| 3.3.3. Mutlak Rutubet Miktarı | 51 |
| 3.3.4. Standart Sapma, Dağılım Katsayısı ve Tane Büyüklüğü Dağılımı Hesabı | 51 |

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| 3.4. GRAFİKLER | 52 |
| 3.4.1. Rutubet-Zaman Eğrileri | 52 |
| 3.4.2. Elek Analizi Grafikleri | 52 |
| 4. DENEYSEL SONUÇLARIN İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ | 89 |
| 4.1. RUTUBET-ZAMAN EĞRİLERİ | 90 |
| 4.2. ELEK ANALİZİ GRAFİKLERİ | 91 |
| 5. SONUÇ ve ÖNERİLER | 93 |
| KAYNAKLAR | 95 |
| ÖZGEÇMİŞ | 97 |
| 3.2.1.1. Kürenin çapı 4,0 cm olduğu koşullarda | 57 |
| 3.2.1.2. Kürenin çapı 3,0 cm olduğu koşullarda | 58 |
| 3.2.1.3. Kürenin çapı 2,50 cm olduğu koşullarda | 59 |
| 3.2.1.4. Kürenin çapı 2,0 cm olduğu koşullarda | 60 |
| 3.2.1.5. Kürenin çapı 1,50 cm olduğu koşullarda | 61 |
| 3.2.2.1. Huru termometre sıcaklığı 302 K olması | 62 |
| 3.2.2.2. Huru termometre sıcaklığı 312 K olması | 65 |
| 3.2.2.3. Huru termometre sıcaklığı 320 K olması | 67 |
| 3.2.2.4. Huru termometre sıcaklığı 323 K olması | 69 |
| 3.2.2.5. Huru termometre sıcaklığı 329 K olması | 71 |
| 3.2.3.1. Partikül halindeki yaş maddenin elek | 73 |
| 3.2.3.2. Partikül halindeki yaş maddenin elek | 73 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | | <u>Sayfa No</u> |
|------------------|---|-----------------|
| Çizelge 3.2.1.1. | Kürenin çapı 4,0 cm olduğu koşullarda kurutma sonuçları | 53 |
| Çizelge 3.2.1.2. | Kürenin çapı 3,0 cm olduğu koşullarda kurutma sonuçları | 55 |
| Çizelge 3.2.1.3. | Kürenin çapı 2,50 cm olduğu koşullarda kurutma sonuçları | 57 |
| Çizelge 3.2.1.4. | Kürenin çapı 2,0 cm olduğu koşullarda kurutma sonuçları | 59 |
| Çizelge 3.2.1.5. | Kürenin çapı 1,50 cm olduğu koşullarda kurutma sonuçları | 61 |
| Çizelge 3.2.2.1. | Kuru termometre sıcaklığı 302 K olması durumundaki kurutma sonuçları | 63 |
| Çizelge 3.2.2.2. | Kuru termometre sıcaklığı 312 K olması durumundaki kurutma sonuçları | 65 |
| Çizelge 3.2.2.3. | Kuru termometre sıcaklığı 320 K olması durumundaki kurutma sonuçları | 67 |
| Çizelge 3.2.2.4. | Kuru termometre sıcaklığı 323 K olması durumundaki kurutma sonuçları | 69 |
| Çizelge 3.2.2.5. | Kuru termometre sıcaklığı 327 K olması durumundaki kurutma sonuçları | 71 |
| Çizelge 3.2.3.1. | Partikül halindeki yağ maddenin elek analiz sonuçları (Elek açıklığı: 4000, 2360, 1000, 800, 560 ve 200 μ) | 73 |

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Çizelge 3.2.3.2. Partikül halindeki yaş maddenin elek. analiz sonuçları (Elek açıklığı:4000, 2360,800 ve 200 μ) | 77 |
| Çizelge 3.2.3.3. Partikül halindeki kuru maddenin elek. analiz sonuçları (Elek açıklığı:4000, 2360,1000,560,200,140 ve 71 μ) | 81 |
| Çizelge 3.2.3.4. Partikül halindeki kuru maddenin elek. analiz sonuçları (Elek açıklığı:4000, 2360,800 ve 200 μ) | 85 |
| | 20 |
| | 21 |
| | 27 |
| | 31 |
| | 35 |
| | 40 |
| | 41 |
| | 43 |
| | 48 |
| | 54 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | | <u>Sayfa No</u> |
|--------------|---|-----------------|
| Şekil 2.1. | Nem çeşitleri | 9 |
| Şekil 2.2. | Bir sülfid hamurunun denge rutubet miktarı | 10 |
| Şekil 2.3. | 25°C'de bazı katıların denge rutubet miktarı | 12 |
| Şekil 2.4. | Kesikli kurutmada, rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi. | 19 |
| Şekil 2.5. | Kuruma debisi ile rutubet arasındaki kuruma eğrisi | 19 |
| Şekil 2.6. | Kuruma debisi ile zaman arasındaki kuruma eğrisi. | 20 |
| Şekil 2.7. | Sabit debi periyoduyla kuruma | 21 |
| Şekil 2.8. | Kritik rutubet miktarına kurutulmuş madde (kumun aşırı ısıtılmış su buharı ile kurutulması) kalınlığının tesiri | 27 |
| Şekil 2.9. | Lineer azalan hız | 31 |
| Şekil 2.10. | İzole edilmiş bir sistemde sıvı kütlesinin buharlaşması sırasında oluşan aktarım işlemleri | 35 |
| Şekil 2.11. | Yaş termometre sıcaklığının ölçme prensibi | 40 |
| Şekil 2.12. | Rutubet diyagramını (Psikrometrik) kullanışını gösteren açıklama | 41 |
| Şekil 2.13. | Kurutma işlemlerinde hava rutubetinin ve sıcaklığının değişimi | 43 |
| Şekil 3.1. | Deney cihazı | 48 |
| Şekil 3.2.1. | Kürenin çapı 4,0 cm olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi | 54 |

| | | <u>Sayfa</u> |
|---------------|---|--------------|
| Şekil 3.2.2. | Kürenin çapı 3,0 cm olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi. | 56 |
| Şekil 3.2.3. | Kürenin çapı 2,50 cm olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi. | 58 |
| Şekil 3.2.4. | Kürenin çapı 2,0 cm olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi. | 60 |
| Şekil 3.2.5. | Kürenin çapı 1,50 cm olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi. | 62 |
| Şekil 3.2.6. | Kuru termometre sıcaklığı 302 K olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi. | 64 |
| Şekil 3.2.7. | Kuru termometre sıcaklığı 312 K olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi. | 66 |
| Şekil 3.2.8. | Kuru termometre sıcaklığı 320 K olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi. | 68 |
| Şekil 3.2.9. | Kuru termometre sıcaklığı 323 K olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi. | 70 |
| Şekil 3.2.10. | Kuru termometre sıcaklığı 327 K olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi. | 72 |
| Şekil 3.2.11. | Elek analiz sonuçları frekans poligonunun aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. | 74 |
| Şekil 3.2.12. | Elek analiz sonuçlarının aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. | 75 |
| Şekil 3.2.13. | Elek analiz sonuçlarının logaritmik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. | 76 |
| Şekil 3.2.14. | Elek analiz sonuçları frekans poligonunun aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. | 78 |

- Şekil 3.2.15. Elek analiz sonuçlarının aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. 79
- Şekil 3.2.16. Elek analiz sonuçlarının logaritmik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. 80
- Şekil 3.2.17. Elek analiz sonuçları frekans poligonunun aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. 82
- Şekil 3.2.18. Elek analiz sonuçlarının aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. 83
- Şekil 3.2.19. Elek analiz sonuçlarının logaritmik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. 84
- Şekil 3.2.20. Elek analiz sonuçları frekans poligonunun aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. 86
- Şekil 3.2.21. Elek analiz sonuçlarının aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. 87
- Şekil 3.2.22. Elek analiz sonuçlarının logaritmik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi. 88

SEMBOLLER VE BİRİMLER

| | |
|-------------------|---|
| A | : Maddenin kuruma yüzeyi, m ² |
| A _m | : Ortalama yüzey, m ² |
| b | : Sabit |
| C _p | : Sabit basınç altındaki gazın ısı sığası, kcal/(kg.°C) |
| D | : Difüzyon katsayısı, m ² /saat |
| G | : Nemli gazın kütlelesel hızı, kg/(m ² .saat) |
| G _s | : Kuru gazın kütlelesel hızı, kg/(m ² .saat) |
| h _c | : Konveksiyonel ısı aktarım katsayısı, kcal/m ² .saat.K) |
| h _R | : Radyasyonla ısı aktarımına ait katsayısı, kcal/(m ² .saat.K) |
| ΔH _v | : Buharlaşma gizli ısısı, kcal/kg |
| H | : Entalpi, kcal/kg |
| J _D | : Kütle aktarımı için J faktörü |
| J _H | : Isı aktarımı için J faktörü |
| k _{c,av} | : Değişim birimleri ile ifade edilen, gaz faza ait ortalama kütle aktarım katsayısı, kg/(m ² .saat.(kmol/m ³)) |
| k _G | : Kısmi basınç birimleri ile ifade edilen, gaz faza ait kütle aktarım katsayısı, kg/(m ² .saat.atm) |
| k _y | : İtici güç değişim esas alınarak kütle aktarım katsayısı, kmol/(m ² .saat.(kg/kg)) |
| k | : Isıl iletkenlik katsayısı, kcal/(m.K.saat) |
| Le | : Lewis sayısı |
| L _s | : Kuru katı miktarı, gr |
| m | : Bir sabit |
| M | : Molekül ağırlığı, kg/kmol |

| | |
|---------------|--|
| m° | : Kütlesel debi, gr/saat |
| N | : Kuruma debisi, kg/(m ² .saat) |
| N_C | : Sabit kuruma debisi, kg/(m ² .saat) |
| P_A° | : Saf suyun buhar basıncı, atm |
| P_{A_i} | : Saf sıvı kütlesinin kısmi basıncı, atm |
| P_{A_G} | : Gaz ortamdaki sıvı bileşenin kısmi basıncı, atm |
| P_{as} | : Adyabatik doygunluk basıncı, atm |
| Pr | : Prandtl sayısı |
| q | : Toplam ısı akısı, kcal/(m ² .saat) |
| q_C | : Konveksiyonla aktarılan ısı akış hızı, kcal/(m ² .saat) |
| q_K | : Kondüksiyonla aktarılan ısı akış hızı, kcal/(m ² .saat) |
| q_R | : Radyasyonla aktarılan ısı akış hızı, kcal/(m ² .saat) |
| R | : Gaz sabiti, (atm.m ³) / (kmol.K) |
| S | : Nemli havanın ısı sığası, kcal/(kg.°C) |
| Sc | : Schmidt sayısı |
| T | : Kuru termometre sıcaklığı, K |
| T_{as} | : Adyabatik doygunluk sıcaklığı, K |
| T_G | : Ortam sıcaklığı, K |
| T_i | : İ bileşenin sıcaklığı, K |
| T_R | : Radyasyon yayan yüzeyin sıcaklığı, K |
| T_s | : Yüzey sıcaklığı, K |
| T_w | : Yaş termometre sıcaklığı, K |
| t | : Kuruma zamanı, saat |
| u | : Ortalama hızı, m/saat |
| V_H | : Nemli hacim, m ³ /kg |

- w : Katı madde + rutubet miktarı, gr
- w_t : (Kuru madde + rutubet) ağırlığı t anında, gr
- $w_{t+\Delta t}$: (Kuru madde + rutubet) ağırlığı $t + \Delta t$ anında, gr
- Y : Havanın mutlak nemi, gr nem/gr kuru hava
- Y_s : T_s sıcaklığındaki havanın mutlak nemi, gr nem/gr kuru hava
- X : Birim katı maddedeki nem miktarı, gr nem/gr kuru katı
- X_{av} : Birim kuru katıdaki ortalama nem miktarı, gr nem/gr kuru katı
- X^* : Katı maddenin denge nemi, gr nem/gr kuru katı
- X_c : Katı maddenin kritik nem miktarı, gr nem/gr kuru katı
- Z_M : Raf kalınlığı, m
- Z_S : Kuru katının kalınlığı, m
- ρ : Yoğunluk, kg/m^3
- ϵ : Denge halindeki bir cismin geçirgenlik katsayısı
- μ : Viskozite, $kg/(m.saatt)$
- ϕ : Relatif nem.

GİRİŞ

Kurutma terimi daha çok, katı veya katı hale yakın durumdaki maddelerden az miktardaki rutubetin uzaklaştırılması şeklinde ifade edilir. Bir ürünü bekletme ve sevkte korumak için, imalat sürecinde diğer ekipmanın kapasitesini artırmak ve kolaylaştırmak için, artıkların veya yan ürünlerinin değerini ve yararını iyileştirmek için, zararlı artıklar ve benzerinin elden çıkarılması gerekliliğini yok etmek için sözkonusu ürünün rutubetinin giderilmesi gerekmektedir.

Herhangi bir kurutma probleminde, katının fiziksel hali genellikle probleme en uygun kurutucu tipini tayin eder. Çoğu kez kurutulacak maddenin fiziksel bünyesi, belirli koşulları karşılayacak yeni bir kurutucu tipinin tasarımını gerektirir. Bu nedenle kurutma cihazları nadiren standardize edilebilirler ve endüstriyel alanlarda birçok farklı tipte kurutucu ile karşılaşılır.

Birçok durumda kurutmanın amacı, bir katı maddeden bir çözücüyü (bir sonraki aşamada çözücünün bulunması istenmiyorsa) uzaklaştırmak ya da başka bir operasyonda işlenmesini kolaylaştırmaktır. Bir diğer neden son ürün kullanılmadan önce tamamen kuru olmasını gerektirir. Diğer durumlarda kurutma, aşırı taşınım maliyetini düşürmek için yapılır. Yiyecekler, yükün ağırlığını azaltmak ve yer gereksinimleri ve de bekletme süresini uzun olmak için kurutulurlar.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. KURUTMA

2.1.1. Konuya Giriş

Kurutma terimi, genellikle bir maddeden rutubetinin uzaklaştırılması şeklinde ifade edilir. Kurutmayı buharlaştırma operasyonundan kesin bir sınırla ayıran, bir tanımın yapılması son derece güçtür. Kurutma terimi daha çok, katı veya katı hale yakın durumdaki maddelerden az miktardaki suyun uzaklaştırılması için kullanılır. Kurutma operasyonunda önemli bileşen katı maddedir. Endüstride karşılaşılan pek çok hallerde kurutma operasyonu, suyun kaynama sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta uzaklaştırılması anlamını taşır. İki proses arasındaki bir diğer fark şudur : Buharlandırmada uzaklaştırılan su, hemen hemen saf su buharıdır; oysa kurutmada suyun uzaklaştırılması, kurutulması istenilen maddenin üzerinden geçirilen hava veya başka bir gaz karışımı ile yapıldığı için su buharı, hava veya bu gaz karışımı ile birlikte bulunur.

Kurutmada uygulanan bazı kurallar burada verilmiş maddelere göre değişir. Örneğin; odun, kumaş veya kağıt gibi nemli katılar, ya nemli katıyı bir gaz akımı içerisine batırmakla ya da buhar taşıyıcı gazın kullanılmadığı durgun ortam içerisine batırmakla kurutulurlar. Fakat nemli maddeleri tamamen kurutulmalarını sağlayamadıkları için santrifüjle veya preslemeyle nemin mekanik olarak uzaklaştırılır.

Bir çözeltinin kurutulması istenirse, bu çözeltiyi ufak damlalar haline getirilip sıcak bir gaz akımı içerisine püskürtülür ve bunun

sonucu sıvı buharlaşır. Fakat nem taşıyıcı gaz kullanılmadan, kaynamayla çözeltilinin buharlaştırılması kurutma operasyonu olarak düşünülmez. Küçük miktarlarda su içeren gazlar ve sıvılar, adsorbsiyon operasyonu ile kurutulabilirler (2,12).

2.1.2. Kurutma Çeşitleri

Kurutma işlemi genellikle iki çeşidi vardır :

- Doğal Kurutma,
- Yapay Kurutma,

Doğal kurutmada, kurutulacak madde ince bir tabaka halinde kendi kendine kurumaya bırakılır. Ancak bu çok uzun bir zamana ihtiyaç gösterdiği için endüstride pek az kullanılır. Endüstride daha çok yapay kurutma denilen kurutma işlemi kullanılır. Burada kurutma amacıyla sıcak hava, baca gazları, istim gibi kurutucu maddeler, kurutulacak maddenin üzerinden geçirilir. Bu şekilde kurutulması istenilen maddenin içinde bulunan su veya çözücünün, kurutma vasıtası olarak kullanılan sıcak hava, baca gazı gibi hava veya gaz ortamına geçmesi sağlanır.

Endüstride kurutma işlemi kesikli ya da sürekli olarak yapılır. Kesikli kurutmada, kurutulacak nemli madde işlemiden önce kurutucuya yerleştirilir. Belli bir süre içinde kurutucuda bırakılarak kuruması sağlanır. Bu zamanda cihaza sıcak hava veya baca gazları sevk edilmez. Baca gazlarının cihaz içindeki yönünü zaman zaman değiştirmek ve kurutulacak maddeyi karıştırmak kurutma işleminin çabuklaşmasına neden olur. Sürekli kurutucularda nemli madde kurutma cihazına sürekli

olarak gönderilir. Cihaz içinde sıcak hava veya sıcak baca gazları ile temasa geçirilerek kurutma işlemi gerçekleştirilir (12).

2.1.3. Kurutmanın Termodinamiği

1- Normal Atmosfer Havası :

Normal atmosfer havası su buharı ile kuru hava karışımından oluşur. Bu karışım sıcak hava veya nemli hava olabilir. Normal hava içinde belirli bir hava basıncında az veya çok miktarda su buharı bulunur. 1 m³ hava içinde bulunan buhar miktarı sıcaklık tarafından sınırlar. Hava içinde bulunan en yüksek buhar miktarında su buharının basıncı doyma basıncına eşittir. Maksimum su buharını içeren havaya doymuş, daha az su buharı bulunan havaya da doymamış hava denir. Doyma değerinden daha fazla su buharı gönderilirse, fazla gelen buhar sis halinde yağış şekline dönüşür (14).

2- Nemli Hava :

a) İzafi bağıl nem (Relatif nem) :

Havada bulunan su buharının kısmi basıncının, aynı koşullardaki saf suyun doymuş buhar basıncına oranı izafi bağıl nem ile adlandırılır.

$$\phi = \frac{P_{A,G}}{P_A^0} \quad (2.1)$$

b) Mutlak Nem :

1 m³ nemli havanın içerdiği su buharı kütesine mutlak nem denir ve nemli hava içerisindeki su buharının yoğunluğuna eşittir.

c) Üzgül Nem :

Nemli havanın içerdiği toplam nem kütesinin, kuru havanın kütesine oranına Üzgül nem denir. Bu şekilde tanımlanan rutubet ya da üzgül nem, hava içindeki su buharının kısmi basıncına ve toplam basınca bağlıdır (10).

$$Y = \frac{m_{su}}{m_h} = \frac{18 P_{A_G}}{29(1-P_{A_G})} = 0,622 \frac{P_{A_G}}{P_G} \quad (2.2)$$

3- Nemli Havanın Isı Sığası

1 kg kuru hava ve bu hava tarafından taşınan suyun, kcal/kg kuru hava. °C şeklindeki ısı sığası

$$S = C_{P_G} + C_{P_A} \cdot Y \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. 0-80°C arasındaki kuru havanın ortalama ısı sığası, $C_{P_G} = 0,24$ kcal/kg°C ve su buharının ortalama ısı sığası $C_{P_A} = 0,466$ kcal/kg°C olduğundan; nemli havanın ısı sığası, (kcal/kg kuru hava.°C) olarak :

$$S = 0,240 + 0,466 Y \quad (2.4)$$

eşitliği ile verilir.

4- Nemli Havanın Entalpisi :

1 kg kuru hava ve bu hava tarafından taşınan su buharının entalpisi, (kcal/kg kuru hava) olarak ;

$$H = 0,240 T + Y (595 + 0,45 T) \quad (2.5)$$

eşitliği ile verilir. Su buharı ve kuru hava için 0°C ve 1 atm. şartları referans olarak kabul edildi.

5- Nemli Havanın Hacmi :

1 kg kuru hava ile bu hava tarafından taşınan su buharının hacimleri toplamı (m^3/kg kuru hava) olarak;

$$V_H = \frac{22,41}{273} T \left(\frac{1}{28,97} + \frac{1}{18,02} Y \right) \quad (2.6)$$

$$V_H = (2,83 \cdot 10^{-3} + 4,56 \cdot 10^{-3} Y) T \quad (2.7)$$

ifade edilir (2,14).

2.1.4. Rutubet

Belirli şartlarda 1 kg kuru hava tarafından taşınan su buharının kütlesi (kg) olarak tanımlanır. Bu miktara aynı zamanda "Rutubet Oranı" adı da verilir. Bu şekilde tanımlanan rutubet, sadece hava içerisindeki su buharının kısmi basıncına ve toplam basıncına (1 atm.) bağlıdır. Hava

içerisindeki su buharının kısmi basıncı P_{A_G} atm ise, su buharının mol sayısının kuru hava mol sayısına oranı, P_{A_G} 'nin $1-P_{A_G}$ 'ye oranı gibidir. Su ve havanın molekül ağırlıkları sırası ile 18 ve 29 olduğuna göre, su buharı ağırlığının kuru hava ağırlığına oranı $18 P_{A_G} / 29(1-P_{A_G})$ 'ye eşittir. Rutubet, kuru havanın 1 kg'ı tarafından taşınan su buharının kütlesi olması sebebiyle, bunu şu eşitlikle göstermek mümkündür :

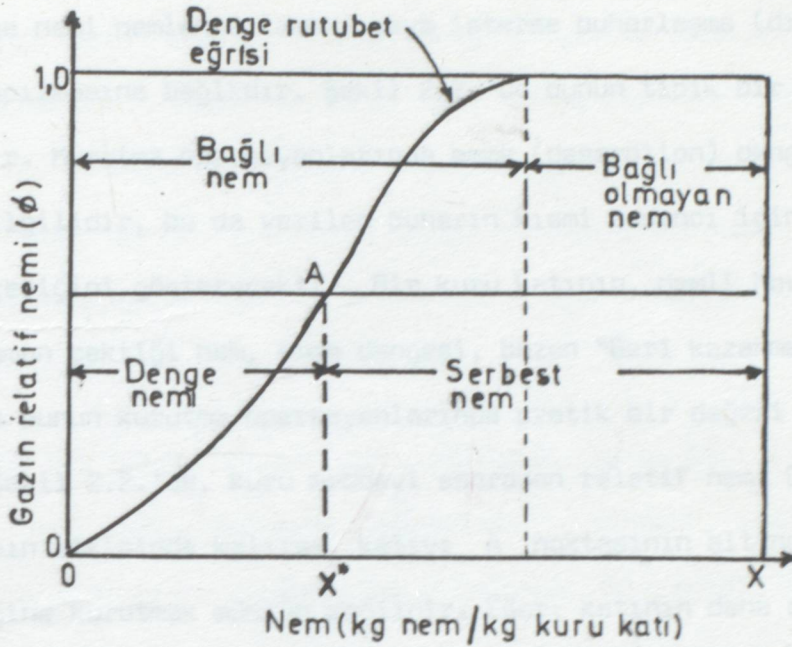
$$Y = \frac{18 P_{A_G}}{29(1-P_{A_G})} \quad (2.8)$$

Su buharı ile doymuş havada, verilen sıcaklık ve basınç şartları altında su buharı, sıvı su ile dengeye erişmiştir. Bu şekildeki bir hava-su buharı karışımında suyun kısmi basıncı, suyun o sıcaklığındaki buhar basıncı kadardır.

Yüzde rutubet, herhangi bir sıcaklık ve basınçta bir kg kuru hava tarafından taşınan su buharının kütlesine oranından ibarettir ve sonuç yüzde ile belirtilir.

Rutubet değeri yaş madde esas alınarak, örneğin kg nem/(kg katı madde + kg nem) veya kuru madde esas alınarak kg nem/kg kuru madde şeklinde belirtilir.

Nem içeriği X olan bir katı maddenin relatif nemi ϕ olan bir gaz ile temas ettirilmiş durumu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Bu şekilde nemli katı bir maddede bulunan rutubet miktarları gösterilmiştir (1,2).



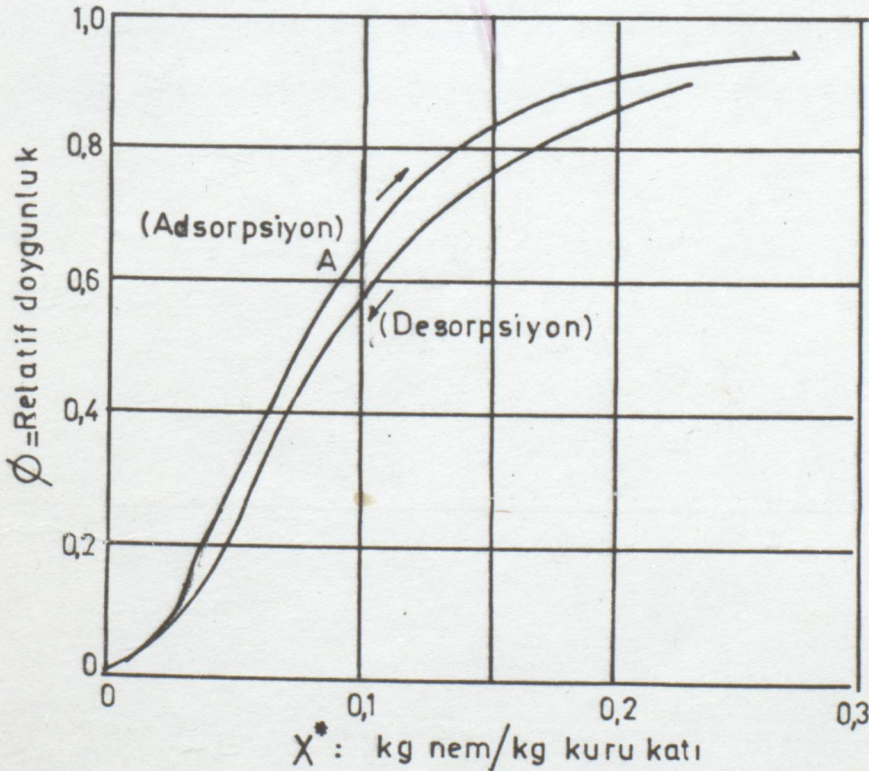
Şekil 2.1. Nem çeşitleri

2.1.4.1. Denge Rutubet Miktarı

Rutubetli bir katı maddenin, sabit sıcaklık ve nemdeki, bir hava akımı ile temasa geldiği farzedelim. Havanın sabit sıcaklık ve nemde olması nedeni ile, hava akımının özellikleri sabit kalır ve sistemin dengeye erişmesi için yeterli temas zamanı, oldukça uzun olur. Böyle bir durumda katı madde belirli bir rutubet değerine erişir ve bu hava ile daha fazla temasta kalması durumu değiştirmez. Buna, belirlenen şartlar altında maddenin denge rutubet miktarı denir.

Bu nem buharlaştırılmaz. Denge nemine tane büyüklüğü, gözeneklilik etki eder. Bir madde ne kadar az gözenekli ise, denge nemü o kadar azdır.

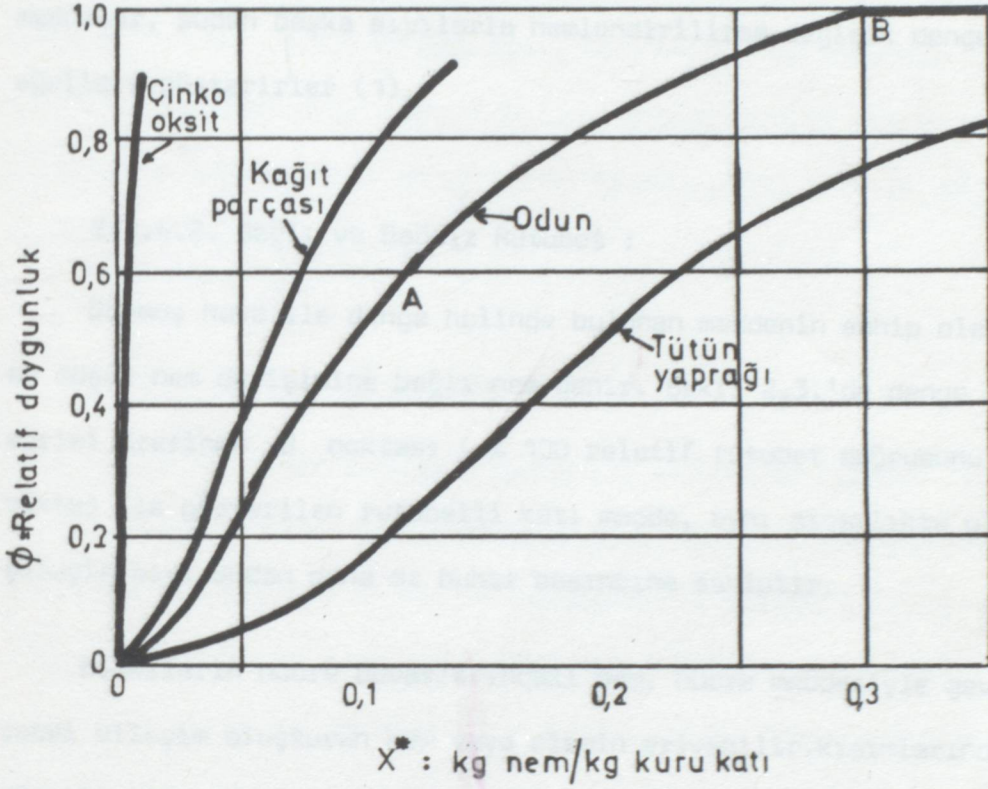
Birçok katı değişik denge rutubet özellikleri gösterirler, bu da ister denge nemi nemlenme (emme) veya isterse buharlaşma (dışa çıkarma) yoluyla yapılmasına bağlıdır. Şekil 2.2.'de bunun tipik bir örneği gösterilmiştir. Kurutma operasyonlarında emme (desorption) dengesi partiküllerle ilgilidir, bu da verilen buharın kısmi basıncı için denge rutubet içeriğini gösterecektir. Bir kuru katının, nemli havaya maruz kaldığı zaman çektiği nem, emme dengesi, bazen "Geri kazanma" diye bilinir ve bunun kurutma operasyonlarında pratik bir değeri vardır. Örneğin, Şekil 2.2.'de, kuru maddeyi sonradan relatif nemi 0,60 olan bir havanın etkisinde kalırsa, katıyı A noktasının altındaki bir nem içeriğine kurutmak mümkün değildir. Eğer, katının daha düşük bir nem oranında tutmak gerekiyorsa o zaman katıyı paketlemek gerekiyor ve havayla temasını keserek, neme karşı olan bir kutuda derhal depolanması gerekiyor.



Şekil 2.2. Bir sülfite hamurunun denge rutubet miktarı.

Madde denge miktarından fazla rutubete sahipse, rutubeti desorpsiyon eğrisi tarafından gösterilen denge miktarına erişinceye dek, kurumaya devam eder. Diğer taraftan madde denge değerinden daha kuru olup, belirli sıcaklık ve rutubete sahip hava ile temasa getirilmekte ise, adsorbsiyon eğrisi üzerindeki denge noktasına erişinceye kadar su absorblanmaya devam eder. Rutubeti sıfır olan hava için, bütün maddelerin denge rutubet miktarı sıfırdır.

Belirli bir yüzde rutubet için, maddenin tipine tâbi olarak denge rutubet miktarı önemli derecede değişmektedir. Örneğin, güzenekli bir yapıya sahip olmayan ve çözünürlüğü bulunmayan katı maddeler için (herhangi bir rutubet ve sıcaklığında maddenin tümü gözönüne alındığı takdirde), denge rutubetinin miktarı hemen hemen sıfırdır. Diğer taraftan yün, kağıt, tekstil, sabun ve deri gibi, lifli veya kolloidal yapıya sahip bir kısım organik maddeler, temasa geldikleri havanın sıcaklığı ve rutubetine bağlı olarak, geniş sınırlar içerisinde gayet muntazam değişen denge rutubet miktarı gösterirler (1,2).



Şekil 2.3. 25°C'de bazı katıların denge rutubet miktarları.

Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi, eğer başlangıçta odun çok yüksek bir rutubet oranı ihtiva ederse, diyelim ki 0,35 (kg nem/kg kuru katı) ve sürekli 0,60 bağıl nemli bir havaya maruz kalırsa odun buharlaşmayla, kendi denge derişimi eğrideki A noktasına gelinceye dek nem kaybeder. Odun bu havaya daha fazla maruz bırakılırsa, odundan daha fazla nem kayboluşuna sebep olmayacaktır.

Şekil 2.3.'de gösterildiği gibi, değişik cisimlerin denge rutubet eğrileri bulunur. Genelde sıvıda erimeyen ve özel emici özellikler göstermeyen inorganik katılar, şekildeki çinko oksit gibi, nispeten

düşük denge nemi içerirler. Fakat süngerimsi, hücremsi maddeler, özellikle bitki kökenli olanlar, Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi tütün eğrisi, genellikle büyük denge rutubet miktarlarına sahiptirler. Aynı katı maddeler, sudan başka sıvılarla nemlendirilirse değişik denge rutubet eğrileri gösterirler (1).

2.1.4.2. Bağlı ve Bağısız Rutubet :

Doymuş hava ile denge halinde bulunan maddenin sahip olabileceği en düşük nem derişimine bağlı nem denir. Şekil 2.3.'de denge rutubet eğrisi üzerinde B noktası (% 100 relatif rutubet doğrusunu kestiği nokta) ile gösterilen rutubetli katı madde, aynı sıcaklıkta olmak koşuluyla sıvı sudan daha az buhar basıncına sahiptir.

Bitkilerin hücre duvarlarındaki nem, hücre maddesiyle gevşek kimyasal bileşim oluşturan nem veya cismin eriyebilir kısımlarındaki sıvı çözeltilisinde bulunan nem ya da yüzeyde emilmiş nem bağlı nem olarak bilinir. Bağlı nem ihtiva eden maddelere, higroskopik maddeler adı verilir.

Bağlı olmayan nem veya bağısız nem aynı sıcaklıkta olmak koşuluyla sıvı suyun buhar basıncına sahiptir. Şekil 2.3.'de odun, doymuş havaya maruz kalırsa, B noktasından daha yüksek bir nem içeriğine sahip olabilir ve B'den daha çok olan nem, o sıcaklık derecesinde saf suyun buhar basıncını verir (1,2).

2.1.4.3. Serbest Rutubet :

Serbest rutubet miktarı, denge rutubet miktarından fazla olan rutubettir. Denge rutubet miktarı, belirli şartlar altında maddenin kurutulabileceği bir sınır değeri olduğu için, kurutma ile bu değerden fazla olan rutubet maddeden uzaklaştırılabilir. Sadece serbest nem buharlaştırılabilir ve bir katının serbest nem miktarı gazın relatif doygunluğuna bağlıdır (2).

2.1.5. Kurutma Operasyonları :

Kurutma operasyonlarının geniş bir sınıflandırılması yapılması kesikli veya sürekli olmalarına bağlıdır. Bu terimler spesifik olarak kurutulan maddelerin açısından uygulanır. Buna göre kesikli kurutma olarak bilinen operasyonda, aslında yarı kesikli bir metottur ki kurutulması istenilen maddenin bir miktarı içine nemin buharlaştığı ve devamlı akan bir hava ortamı etkisinde bırakılır. Sürekli operasyonlarda, kurutulacak olan madde ile gaz kurutucudan devamlı olarak geçerler.

Kullanılan cihaz (yani kurutucu) aşağıda gösterilen herhangi kategorilerden birine göre sınıflandırılabilir :

1- Operasyon Metodu, Kesikli ve Sürekli :

Katı maddelerin içindeki su veya herhangi bir solvent çözücünden kurtarılması operasyonuna kurutma denir. Bu kesikli veya sürekli yapılır. Elbetteki küçük miktarların kurutulması söz konusu ise kesikli kurutma sisteminden yararlanılır. Kurutulması gerekli miktarlar büyükse sürekli çalışan kurutma sistemlerinden yararlanmak gereklidir. Kesikli

kurutmada kurutulmak istenen ıslak madde kurutma operasyondan önce kurutucu içine yerleştirilir ve belli bir zaman cihaz içinde bırakılarak maddenin kuruması beklenir. Kurutucu içinde madde sabit kalabilirdiği gibi hafifçe çalkanabilir.

Büyük miktarda maddenin kurutulması gerekmekte ve madde genel özellikleri ve rutubet derecesi yönlerinden homojenlik göstermekte ise, sürekli kurutma sisteminin kullanılması daha uygun olur (1,12).

2- Nemin Buharlaşması İçin Gerekli Isıyı Temin Eden Metot :

Direkt kurutucularda, ısının tamamı maddelerin sıcak gazla doğrudan temasıyla temin edilmektedir. İndirekt kurutucularda ısı, buharlaşmış nemi taşıyan gazdan temin edilmektedir. Örneğin ısıyı, madde ile temas halinde olan bir metal duvardan geçirilerek aktarılır (1).

3- Kurutulacak Maddenin Yapısı :

Madde odun veya lif levhası gibi sert bir katı, kağıt veya kumaş gibi bükülebilir bir madde, kristal kütle gibi tanecikli bir katı, bir eriyik veya kalın bir macun olabilir. Eğer katı ise ince veya kuvvetli olabilir. Kullanılacak kurutma aletlerinde en çok etkili olabilecek hususlar belkide maddenin fiziksel formu ve değişik kullanım metotlarıdır (1).

2.1.6. Kurutma Testleri.

Bir maddenin bir örneğinin kurutma hızı, onun bir hava akımında kabine veya bir kanalda asarak bir kütle dengesinden elde edilebilir.

Kuruyan örneğin ağırlığı daha sonra zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülebilir. Eğer veriler maksimum faydada olabilirse, bazı tedbirler gözlenebilmelidir. Örnek çok küçük olmamalıdır. Bundan başka aşağıdaki koşullar tasarlanan büyük değer operasyonunda geçerli olması için mümkün olabildiği kadar istenilen koşullara benzemelidir :

1. Örnek, bir tepsiye veya çerçeveye benzer olacak şekilde yerleştirilmelidir.
2. Kurumayan yüzeylerde aynı kuruma hızlarına sahip olmalıdır.
3. Aynı koşullardaki radyant ısı aktarımı belirtilmelidir.
4. Hava aynı sıcaklığa, neme ve hıza sahip olmalıdır.

Eğer mümkünse, farklı kalınlıktaki örnekler üzerine birçok deneyler yapılabilir. Alınan örneğin kuru ağırlığı hesaplanmalıdır. Örneğin sabit sıcaklık, nem ve hızdaki havanın etkisine bırakılması, sabit kurutma koşulları altında kurutmaya teşkil eder (1).

2.1.7. Kuruma Debisi Eğrileri

Böyle bir testten elde edilen verilerden, zamanın bir fonksiyonu olarak rutubet miktarının eğrisi Şekil 2.4.'de gösterilmiştir. Bu aynı kurutma şartları altında, kurutulması gereken daha büyük miktarlara gerekli zamanı tespit etmede direkt bir şekilde yardımcı olabilir. Veriler, N (kütle/alan x zaman)'a uygun kuruma debisine dönüştürülürse ve de nem miktarına göre grafiği çizilirse, Şekil 2.5.'de olduğu gibi, çok bilgi elde edilebilir. Bu grafik, Şekil 2.4.'de rutubet miktarına

karşı çizilen teğetlerin eğimlerinin ölçülmesiyle veya Δt zamanı ile ΔX rutubet miktarında küçük değişiklikler yapılmasıyla çizilebilir ve kuruma debisi eşitliği şöyle yazılır :

$$N = - \frac{L_s \Delta X}{A \Delta t} \quad (2.9)$$

Burada L_s kuru katının ağırlığı ve A , üzerinde gazın aktığı ve buharlaşmanın olduğu nemli alandır.

Normalde Şekil 2.5.'te eğrinin iki kısmı vardır ve şekilde olduğu gibi bir müddet sabit kuruma periyodu ve birde azalan kuruma periyodudur. Çoğunlukla değişik katılar için değişik kurutma durumları azalan kuruma periyodu esnasında çok değişik şekilli eğriler yol açmalarına rağmen gösterilen eğri çok olur.

Katı, başlangıçta çok nemli ise onun yüzeyi ince bir sıvı tabakasıyla kaplanır, buna da bağlı olmayan nem (bağısız nem) adı verilebilir ve nispeten kuru hava ile temasa getirilirse buharlaşma yüzeyden olacaktır. Rutubet miktarı, gazın kütle aktarım katsayısı k_y ile o gazın sıvı yüzeyindeki Y_s nemi ile esas nem Y arasındaki farkın çarpılmasıyla tarif edilir ve şöyle formüle edilir.

$$N_c = k_y M(Y_s - Y) \quad (2.10)$$

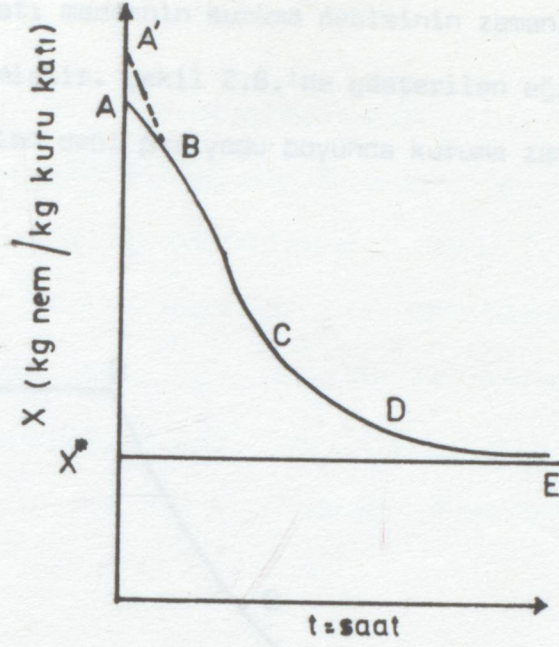
k_y katsayısı debi boyunca sabit kalması ve yüzeyden geçen gaz akışı yönünde değişmesi istenir. Y_s rutubeti, sıvı yüzey sıcaklığı T_s 'deki rutubet olup bu sıcaklığa bağlıdır. Neticede Y_s aynı kalır.

Buna ek olarak Y'de sabit kurutma şartları altında değişmeden kaldığına göre, Şekil 2.4. ve 2.5.'te gösterildiği gibi, buharlaşma debisi B ve C noktaları arasında N_c değerinde sabit kalması gerekir. Başlangıçta, katı ve sıvı yüzeyleri normalde son yüzey sıcaklık derecesi T_s 'ten daha soğuktur ve yüzey sıcaklığı bu eğrilerde AB periyodu sırasında son sıcaklık derecesine yükselirken, buharlaşma debisi artacaktır.

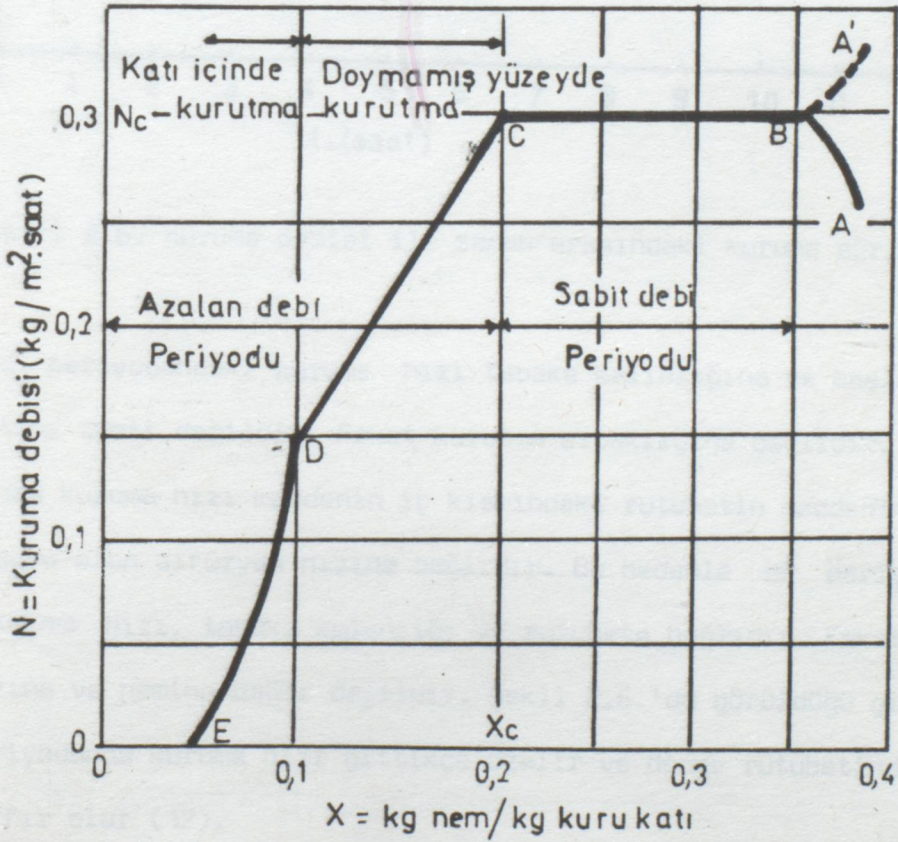
Katının ortalama nem miktarı X_c değerine ulaştınca kritik nemin (Şekil 2.5.'te olduğu gibi) yüzey filmi buharlaşmayla o kadar azalmıştır ki daha fazla kurutma yapılması yüzeyde kuru lekelerin oluşmasına sebep olacaktır. Bunlar, kurutma işlemleri ilerledikçe açık yüzeyde daha büyük hacimler işgal etmeye başlarlar.

BC noktaları arasındaki periyoda sabit kuruma debi periyodu denir. Bu periyotta zaman kısadır. Ancak nemin çoğu bu bölgede buharlaşır. Sabit hız periyodu yüzey buharlaştırmaya karşılık gelir. Sabit hız periyodu sonundaki neme (C noktasındaki nem) kritik nem denir. Kritik nemden sonra hız gittikçe azalır. C noktasından sonra yüzeyi kaplayan su, bazı noktalardan buharlaşmaya başlar ve en sonunda yüzey kurur. Bu sırada D noktasına gelinmiştir. Artık maddenin içinden gelen nem buharlaştırılır ve en sonunda E noktasına gelinir. E noktasındaki neme denge nemi denir. Şekil 2.5.'te görüldüğü gibi CE noktaları arasındaki periyoda azalan debi periyodu denir (1,2).

NOT :- Yapılan çalışmada geçen kuruma debisi, aslında kuruma akıdır. Kuruma debisinin birimi kg/saat olmasına karşın, kuruma akısının birimi $kg/(m^2 \times saat)$ 'dir. Yararlanılan kaynaklarda (2), kuruma akısının yerine kuruma debisi yazıldığından dolayı, sözkonusu ~~söz~~ kullanılmıştır.

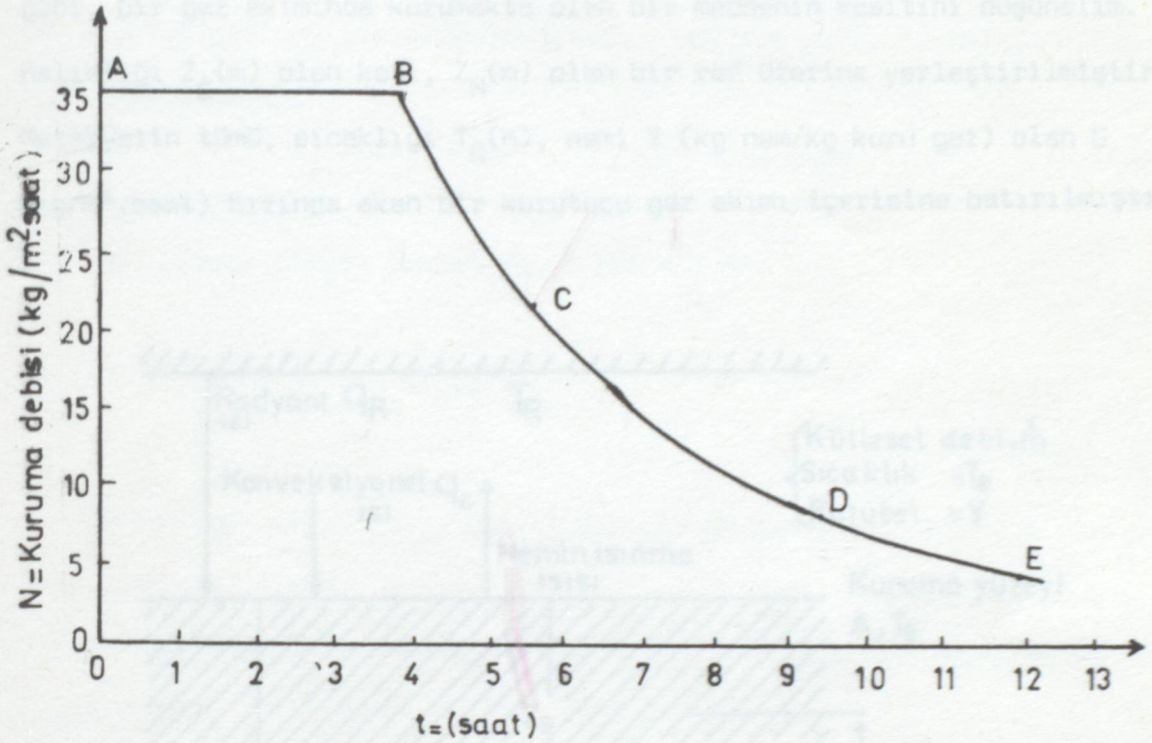


Şekil 2.4. Kesikli kurutmada, rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi.



Şekil 2.5. Kuruma debisi ile rutubet arasındaki kuruma eğrisi.

Nemli bir katı maddenin kuruma debisinin zamanla değişimini Şekil 2.6.'da gösterilmiştir. Şekil 2.6.'da gösterilen eğriden sabit debi periyodu ile azalan debi periyodu boyunca kuruma zamanı hakkında bir bilgi verir.

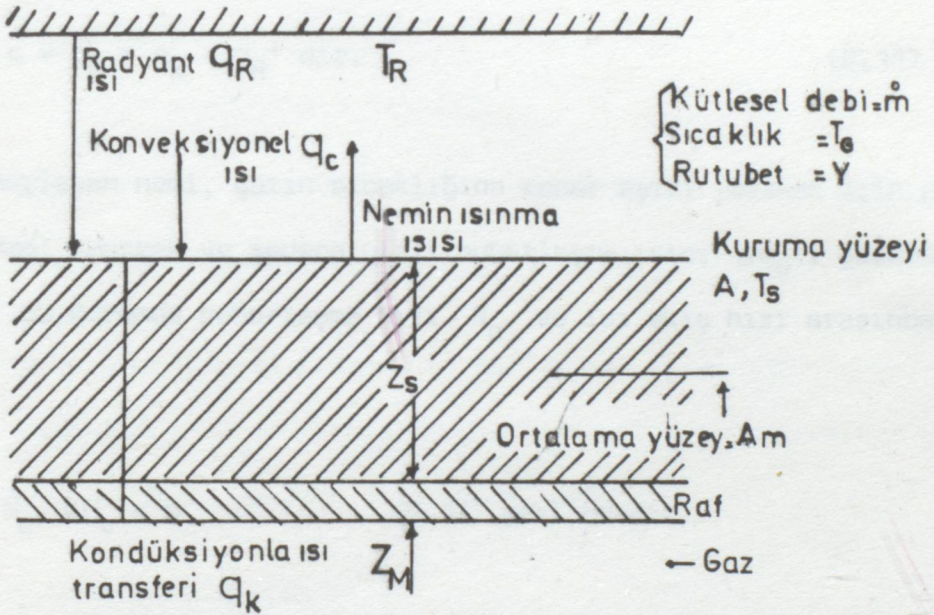


Şekil 2.6. Kuruma debisi ile zaman arasındaki kuruma eğrisi.

AB periyodundaki kuruma hızı tabaka kalınlığına ve başlangıç rutubetine tabii değildir. Fakat kurutma sıcaklığına bağlıdır. BE periyodunda kuruma hızı maddenin iç kısmındaki rutubetin maddenin yüzeyine doğru olan difüzyon hızına bağlıdır. Bu nedenle BE periyodundaki kuruma hızı, tabaka kalınlığı ve rutubete bağlıdır. Fakat havanın hızına ve nemine bağlı değildir. Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi, BE periyodunda kuruma hızı gittikçe azalır ve denge rutubetinde kuruma hızı sıfır olur (12).

2.1.7.1. Sabit Debi Periyodu :

Bağlı olmayan nemin yüzey buharlaşması olduğu bu periyotta kuruma hızının buharlaşma için ısı gereksinim dengesi ve ısının yüzeye ulaşma hızı tarafından sağlandığı gösterilmiştir. Şekil 2.7.'de gösterildiği gibi, bir gaz akımında kurumakta olan bir maddenin kesitini düşünelim. Kalınlığı Z_S (m) olan katı, Z_M (m) olan bir raf üzerine yerleştirilmiştir. Materyalin tümü, sıcaklığı T_G (K), nemi Y (kg nem/kg kuru gaz) olan G ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{saat}$) hızında akan bir kurutucu gaz akımı içerisine batırılmıştır.



Şekil 2.7. Sabit debi periyoduyla kuruma.

Nemin buharlaşması T_S (K) sıcaklıktaki A üst yüzeyden olmaktadır. Kuruyan yüzeye birkaç kaynaktan ısı aktarımı olmaktadır. Bunlar :

- 1) Gaz akımından konveksiyonla ısı aktarımı (q_c)
- 2) Katı içinden kondüksiyonla ısı aktarımı (q_k)

3) $T_R(K)$ sıcaklığındaki yüzeyden direkt radyasyonla ısı aktarımı(q_R).

Tümü, bir ısı akışıyla (enerji/(ısı aktarımı için katının alanı) x (zaman)) olarak ifade edilir.

Yukarıdaki tartışılan mekanizmaya göre bu yollarla yüzeye ulaşan ısı, buharlaşan nem ile giderilmektedir. Böylece yüzey sıcaklığı T_s 'de sabit kalmaktadır.

Buharlaşma hızı ve yüzey sıcaklığı ısı dengesi ile elde edilebilir. Eğer q yüzeye ulaşan toplam ısıyı gösterirse,

$$q = q_c + q_k + q_R \text{ dir.} \quad (2.11)$$

Buharlaşan nemi, gazın sıcaklığına kadar aşırı ısıtmak için gerekli ısıyı ihmal edersek ve sadece gizli buharlaşma ısı ΔH_V 'i gözönüne alırsak, bu durumda buharlaşma hızı N_c ve ısı akış hızı arasındaki ilişki,

$$N_c \cdot \Delta H_V = q \quad (2.12) \text{ şeklindedir.}$$

Yüzeyden konveksiyonla alınan ısı, uygun konveksiyon ısı aktarım katsayısı h_c 'ye bağlıdır.

$$q_c = h_c (T_G - T_s) \quad (2.13)$$

Radyasyon ile alınan ısı, bilinen yollarla hesaplanabilir ve ayrıca bir ısı aktarım katsayısı h_R olarak ifade edilebilir.

$$q_R = \epsilon(5,729 \times 10^{-8})(T_R^4 - T_S^4) = h_R(T_R - T_S) \quad (2.14)$$

$$h_R = \frac{\epsilon(5,729 \times 10^{-8})(T_R^4 - T_S^4)}{T_R - T_S} \quad (2.15)$$

Burada ϵ , kuruyan yüzeyin geçirgenlik katsayısı, T_R ve T_S radyasyon yayan ve kuruyan yüzeylerin mutlak sıcaklıklarını belirtmektedir.

(2.10) ve (2.12) eşitliklerini birleştirirsek kurutma hızı hesaplanır (1).

$$N_c = \frac{q}{\Delta H_v} = k_y M(Y_s - Y) \quad (2.16)$$

2.1.7.2. Sabit Kuruma Debisine Etki Eden Faktörler :

Sabit kuruma debisine taşıyıcı gaz olarak kullanılan havanın nemi, hızı ve sıcaklığı etki eder. Ayrıca katının kalınlığı ve katının yapısına bağlı olarak maddenin büzülme tesiri etki eder.

a) Hava hızının etkisi :

Sabit kuruma debisi periyodunda kuruma hızına hava hızındaki değişmelerin tesiri, h_c ve k_y katsayıları üzerinde kendisini gösterir. Deneysel bilgiler için ısı ve kütle aktarım katsayıları, aşağıda verilen bağıntı esas alınarak hesaplanabilir.

$$J_D = \frac{k_y}{G_s} \left(\frac{\mu}{\rho D} \right)^{2/3} = J_H = \left(\frac{h_c}{C_p G} \right) \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{2/3} = 0,036 \left(\frac{LG}{\mu} \right)^{-0,2} \quad (2.17)$$

ρ, μ, D, C_p ve k terimleri sabittir. O halde h_c ve k_y parametre-
ler G ve G_s 'ye göre değişmektedir. Bunlara bağlı olarak N_c değişir.

Eğer, gaz karışımı yüzeye yatay olarak akıyorsa,

$$h_c = 0,01 G^{0,8} \quad (2.18)$$

Eğer gaz yüzeye dik olarak akıyorsa,

$$h_c = 0,37 G^{0,37} \quad (2.19)$$

ile orantılıdır (2).

b) Hava sıcaklığının etkisi :

Hava sıcaklığının artması $T_G - T_S$ sıcaklık farkını artırır. Dola-
yısıyla N_c 'yi artırır.

c) Hava neminin etkisi :

Sabit kuruma debisi $Y_s - Y$ ile doğrudan değişir. Dolayısıyla nemin
artması kuruma hızını düşürür. Genellikle Y ve T_G 'deki değişmeler Y_s
ve T_S 'deki eş zamanlı değişmeleri kapsar ve etkileri en iyi şekilde
(2.10) eşitliği kullanılmasıyla bulunur (1).

d) Hava akış yönünün etkisi :

Buharlaştırma safhasında hava akımı madde üzerinden dikey olarak ge-
çerse, kuruma hızı paralel bir akıma nazaran daha yüksek bir oran arzeder.
Çünkü sabit hız periyodunda sınır filminin kalınlığı, azalan hız periyoduna

nazaran, hava geemesinden daha çok etkiler. Difüzyon safhasında , hava akımının yönü netice üzerinde önemli bir rol oynamaz (7).

e) Kurutulacak katının kalınlığının etkisi :

Eğer katıdan ısı iletimi meydana gelirse, artan katı kalınlığı ile birlikte düşen N_c değerini gösterir. Bununla birlikte rafların yan yüzlerinden ısı iletimi, eğer kenar yüzeylerin büyük olması durumunda kuruma hızını artırmada önemli bir ısı kaynağı olabilir. Eğer kurumayan yüzeyler ısıya karşı izole edilmiş ise veya kuruma, katının bütün yüzeylerinde olursa N_c kalınlığa bağılı değildir. Bu durumda sabit debi periyodu ile belirli nem içeriği arasındaki kuruma zamanı kalınlığa doğrudan bağımlıdır (1).

f) Büzülmenin etkisi :

Kurutma debisini kontrol eden önemli bir faktör, rutubet miktarının azalması ile birlikte katının büzülmesidir. Bu özellik yönünden maddeler önemli derecede farklılık gösterir. Sert, gözenekli veya gözeneksiz katılar, kuruma esnasında önemli derecede büzülme göstermezler. Buna karşılık kolloidal ve lifli maddeler, rutubet uzaklaştıkça önemli derecede büzülürler. Büzülme üç farklı tesire sahiptir. Bunlardan birincisi, maddenin birim ağırlığının yüzeyini değiştirmesidir ki, pek çok durumlarda henüz bilinmemektedir. Bu husus sebze ve besin maddeleri gibi maddeler için özellikle doğrudur. Çünkü büzülme, hava ile temasa gelen madde yüzeyinin alanını önemli derecede değiştirir.

İkinci ve daha önemli olan tesir yüzeyde, rutubetin buhar veya sıvı olarak geçişini engelleyen, sert bir kabuk tabakasının teşekkül

etmesidir. Bu, katının iç kısımlarından buharlaşmanın meydana geldiği yüzeye veya sınır bölgesine rutubetin kolaylıkla geçemeyeceği demektir. Kabuk teşekkülü, kurumayı büyük ölçüde yavaşlatır. Kabuk özellikle, kil ve sabun gibi maddelerin kurutulmaları esnasında meydana gelir.

Büzülmenin üçüncü tesiri maddenin çarpılmasına veya yarılmasına veya bunlar olmadığı taktirde, tüm madde yapısının değişmesine sebep olur. Bu çoğunlukla odunun kurutulması esnasında meydana gelir.

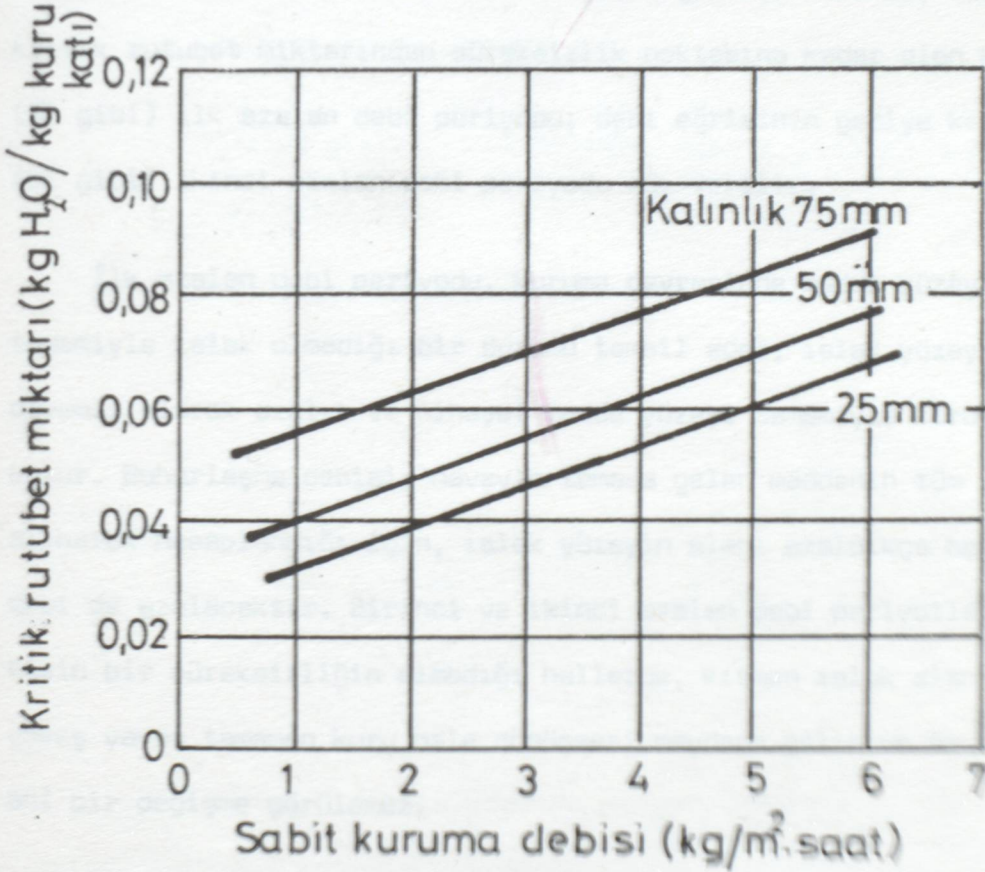
Çarpılma, yarılma veya sert bir yüzey tabakası meydana getirmeye elverişli olan maddeler, rutubetli hava ile kurutulurlar. Bu durumda hava ile katı maddenin yüzeyi arasındaki rutubet farkı, kurumayı yavaşlatmak maksadı ile, azaltılmış olur. Bu, içten dışa doğru olan rutubet farkının daha az olmasını mümkün kılarak, büzülmenin tesirini azaltır(2).

2.1.7.3. Kritik Nem :

Azalan hız periyodundaki kuruma süresinin ve de toplam kuruma süresini tayin etmek için, kritik nem değerleri bilmek gerekir. Bu tür değerlerin bilfiil kurutma testleri yapılmaksızın elde edilmesi güçtür. Bu tür testlerin kendileri için gerekli kuruma zamanını verir.

Sabit hız periyodu, yüzeydeki nem oranı bazı spesifik değerlere ulaştığı zaman sona erer. Eğer kuruma hızı büyükse katıdaki nem gradientleri aşırı olacak ve ortalama nem oranı yüzeydekinden oldukça fazla olacaktır. Bu nedenle kritik nem içeriği kuruma hızının ve kurumakta olan tabakanın kalınlığının artışı ile artar.

Kritik rutubet miktarı, kabul edilen aktarım mekanizmasına bağlı olmaksızın, kurutulacak katı madde kalınlığının, bu madde özelliklerinin, havanın sahip olduğu şartların ve kullanılan kurutucu tipinin bir fonksiyonu olabilir. Örneğin, Şekil 2.8.'de kumun tepsili bir kurutucuda aşırı ısıtılmış su buharı ile kurutulması esnasında, madde kalınlığının kritik rutubet miktarı üzerindeki etkisini, sabit kuruma debisinin bir fonksiyonu olarak göstermektedir (2,11).



Şekil 2.8. Kritik rutubet miktarına kurutulan madde (kumun aşırı ısıtılmış su buharı ile kurutulması) kalınlığının tesiri.

2.1.7.4. Azalan Debi Periyodu :

Azalan debi periyodu, kurutulacak katının hem yüzeyinde ve hem de içerisinde sıcaklık yükselmesi ile karakterize eder. Bundan başka hava hızındaki değişmeler, sabit debi periyodundakinden daha az tesirlidir.

Azalan debi periyodunda debi eğrisi, Şekil 2.5.'teki D noktası gibi, çoğunlukla bir süreksizlik gösterir. Süreksizlik noktası her zaman meydana gelmez; fakat kurutulacak maddeye ve kurutma şartlarına bağlıdır. Süreksizlik noktasının meydana gelmesi halinde, debi eğrisinin kritik rutubet miktarından süreksizlik noktasına kadar olan kısmına (CD gibi) ilk azalan debi periyodu; debi eğrisinin geriye kalan kısmına (DE gibi) ikinci azalan debi periyodu adı verilir.

İlk azalan debi periyodu, kuruma devresinde madde yüzeyinin artık tamamiyle ıslak olmadığı bir durumu temsil eder; ıslak yüzey alanı, devamlı olarak azalır ve nihayet madde yüzeyi tamamiyle kuruyunca son bulur. Buharlaşma debisi, havayla temasa gelen maddenin tüm yüzeyi esas alınarak hesaplandığı için, ıslak yüzeyin alanı azaldıkça hesaplanan debi de azalacaktır. Birinci ve ikinci azalan debi periyotları arasında kesin bir süreksizliğin olmadığı hallerde, kısmen ıslak olan yüzeyin yavaş yavaş tamamen kuru hale dönüşmesi meydana gelir ve bu nedenle ani bir değişme görülemez.

Yüzey tamamiyle kuru bir hal alınca ikinci azalan debi periyodu başlar. Kuruma ilerledikçe buharlaşma yüzeyden çekilerek maddenin iç kısımlarına doğru ilerler. Buharlaşma için gerekli ısı, havadan katı maddenin yüzeyine ve buradan da, katı maddeye geçerek buharlaşma bölgesine aktarılır. Su, katı madde içerisinde buharlaşır, buharlar

katı maddeyi geçerek yüzeye gelir ve hava akımına karışır.

Azalan debi periyodunda uzaklaştırılan rutubetin miktarı (kg rutubet/kg kuru katı) az olmakla beraber, bu periyot için gerekli zaman çoğunlukla oldukça uzundur. Bununla bir sonucu olarak azalan debi periyodu, kuruma zamanı üzerinde önemli bir tesire sahiptir. Bu nedenle, zaman gözönüne alınarak çizilen kuruma debisi eğrileri daha faydalıdır. Çünkü her periyodun süresini gösterir (2).

2.1.8. Kuruma Zamanı Hesabı :

Şekil 2.5.'de gösterilen grafikten kuruma zamanını tespiti için şu denklem kullanılır :

$$N = - \frac{L_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (2.9)$$

$$\int_0^t dt = - \frac{L_s}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{N} \quad (X_1 > X_2) \quad (2.20)$$

1. Sabit Debi Periyodu Boyunca Kuruma Zamanı :

Eğer kuruma işlemi, sabit debi periyodu içinde olursa $X_1, X_2 > X_c$

ve $N = N_c$ olur.

$$t_1 = \frac{L_s}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{N} \quad \text{idi.}$$

$$t_1 = \frac{L_s}{AN_c} \int_{X_2}^{X_1} dX = \frac{L_s}{AN_c} (X_1 - X_2) \quad (2.21)$$

2. Azalan Debi Periyodu Boyunca Kuruma Zamanı :

Eğer X_1 ve X_2 her ikisi de X_c 'den daha küçük ise, böylece kuruma debisinin değişik koşullar altında olur ve aşağıdaki koşullar gözönünde tutulur :

a) Genel Durum :

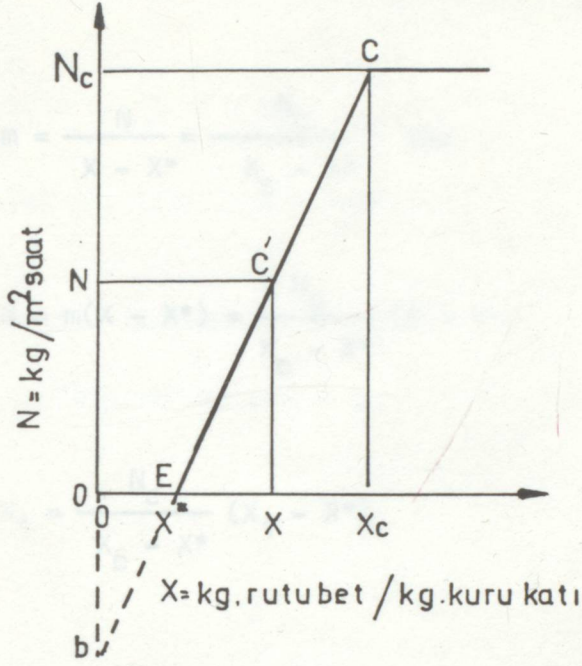
Azalan debi periyodu eğrisinin herhangi bir şekli için eşitlik (2.20)'de kuruma debisi eğrilerinden elde edilen sonuçlardan yararlanılır. Ordinata $1/N$, absise X değerleri konulur ve elde edilen eğrinin altında kalan alanın bulunmasıyla kuruma zamanını hesaplamış oluruz.

b) Özel Durum :

Şekil 2.9.'da görüldüğü gibi CE doğrusu lineerdir. Bu durumda N ve X 'de lineerdir. Bu durumda

$$N = mX + b$$

eşitliği ile gösterilir. Burada m eğrinin lineer kısmının eğimi, b ise sabittir.



Şekil 2.9. Lineer azalan hız.

(2.20) eşitliğinden,

$$t_2 = \frac{L_s}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{N} = \frac{L_s}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{mX + b}$$

$$t_2 = \frac{L_s}{m A} \ln \frac{mX_1 + b}{mX_2 + b} \quad (2.22)$$

(2.22) eşitliğinde $N_1 = mX_1 + b$ ve $N_2 = mX_2 + b$ olduğunda,

$$t_2 = \frac{L_s}{m A} \ln \frac{N_1}{N_2} \quad (2.23)$$

olur.

Şekil 2.9.'da görüldüğü gibi, genellikle tüm azalan debi eğrisi C ve E noktaları arası bir doğru olur. Bu durumda;

$$m = \frac{N}{X - X^*} = \frac{N_C}{X_C - X^*} \quad \text{ise,}$$

$$N = m(X - X^*) = \frac{N_C}{X_C - X^*} (X - X^*)$$

$$N_1 = \frac{N_C}{X_C - X^*} (X_1 - X^*) \quad (2.24)$$

$$N_2 = \frac{N_C}{X_C - X^*} (X_2 - X^*) \quad (2.25)$$

(2.24) ve (2.25) eşitlikleri birbirlerine oranlarsak,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{X_1 - X^*}{X_2 - X^*}$$

O halde (2.23) eşitliği şöyle yazmak mümkündür :

$$t_2 = \frac{L_s}{\frac{N_C A}{X_C - X^*}} \cdot \ln\left(\frac{X_1 - X^*}{X_2 - X^*}\right)$$

$$t_2 = \frac{L_s(X_c - X^*)}{N_c \cdot A} \ln \left(\frac{X_1 - X^*}{X_2 - X^*} \right) \quad (2.26)$$

olur. Burada $X_2 > X^*$ 'dir.

(2.26) eşitliği azalan debi boyunca kuruma zamanını verir.

3. Toplam Kuruma Zamanı :

Toplam kuruma zamanı = Sabit debi boyunca kuruma zamanı + Azalan debi periyodu boyunca kuruma zamanı.

$$t = t_1 + t_2 \quad (2.27)$$

olur (1,10).

2.2. İZOLE EDİLMİŞ BİR ORTAMDA BİR SIVI KÜTLESİNİN BUHARLAŞTIRILMASI.

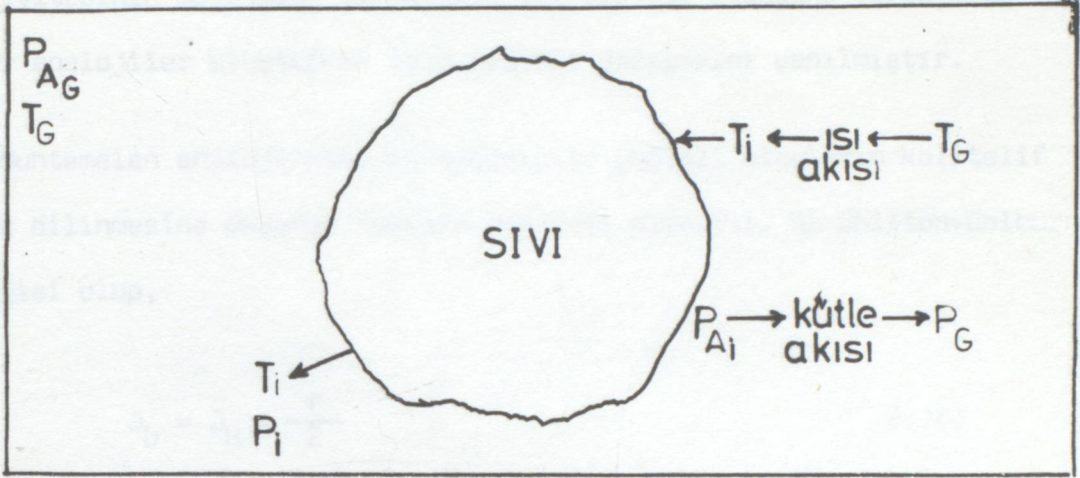
İzole edilmiş bir ortam içinde bulunan saf bir sıvı kütlesinin çevresinde meydana gelen ısı ve kütle aktarım işlemleri Şekil 2.10.'da gösterilmiştir. Buharlaşan sıvıdan kütle aktarımı sıvının yüzeyinden dışarıya doğru olacaktır. Burada P_{A_1} , P_{A_G} 'den daha büyük olmalıdır. Yüzeyden sıvının buharlaşması, ortamdan sıvı kütlesine görünmeyen fakat varlığı hissedilen ısı aktarımı ile olur. Çevre sıcaklığı T_G 'nin sıvı kütlesi cidarının sıcaklığı T_1 'den büyük olmalıdır. Eğer kararlı hale ulaşıldığında verilen ısı, buharlaşmaya yok olan ısıya eşit olmalıdır.

$$h_c A(T_G - T_1) = \Delta H_V k_G A(P_{A_1} - P_{A_G}) \quad (2.28)$$

Bundan başka, eğer sıvı kütlesi diğer ısı veren ya da ısı alan kaynaklardan yalıtılır ise, tüm sıvı kütlesinin sıcaklığı T_1 'ye eşit olacaktır.

Eğer buharlaşma akısı yeteri kadar düşük ise bazı standart korelasyonlardan oluşan bir ısı aktarım katsayısı h ve düşük akıdaki bir sistemde kütle aktarım katsayısı k_G olarak kullanılır. Yüksek buharlaşma akıları için, yüksek akımın ısı ve kütle aktarım katsayıları üzerindeki etkisi hesaplanmalıdır.

Sıradan buharlaşma hızlarından dolayı P_{A_1} , T_1 sıcaklığındaki sıvının denge buhar basıncı olacaktır. T_1 , T_G 'den küçük olduğu zaman P_{A_1} , T_1 ve T_G birbirine eşit olduğu durumdaki P_{A_1} 'den daha düşük olacaktır. Bu buharlaşma miktarını azaltır. Buharlaşma hızının kestirimi için ısı ve kütle aktarımları gözönünde tutulması gereklidir.



Şekil-2.10. İzole edilmiş bir sistemde sıvı kütlesinin buharlaşması sırasında oluşan aktarım işlemleri.

Yaş termometre sıcaklığı T_i , T_G 'nin altına düştüğünde P_{AG} 'yi ölçmek için kullanılan bir cihazdır veya başka bir tanımla çevreleyen gazın relatif nemini ölçmek mümkündür (3).

$$\phi = \frac{P_{AG}}{P_A^0} \quad (2.29)$$

2.2.1. Yüzeyle Turbulans Akımla Kütle Aktarımı :

Eğer basınç düşüşü yüzey sürtünmesinden ötürü ise basınç düşüş değerleri prensip olarak Newton, Fourier ve Fick kanunlarına dayanan uygun analogiler ile ısı ve kütle aktarım katsayılarına dönüştürülür. Turbulanslı sistemler için özellikle dairesel tüpler içinde ve düz bir yüzey üzerindeki olan akışlar, turbulanslı taşınım için eddy

difüzivitesinin moleküler difüzivite ile toplamı olduğunu varsayarak bu tür analogiler oluşturmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Muhtemelen analogilerin en başarılısı çeşitli olguların kalitalif olarak bilinmesine dayanan tamamen deneysel olanıdır. Bu Chilton-Colburn analogisi olup,

$$J_D = J_H = \frac{f}{2} \quad (2.30)$$

Burada,

$$J_D = \frac{k_{c,av}}{u} \left(\frac{M}{\rho D} \right)^{2/3} \quad (2.31)$$

$$J_H = \frac{h_c}{C_p \rho u} \left(\frac{C_p M}{k} \right)^{2/3} \quad (2.32)$$

şeklindedir ve f fanning sürtünme faktörü olduğunu ifade eder.

Eğer Chilton-Colburn analogisinin bir kullanımı olarak, duvarlar arasındaki kütle aktarımı ve düzgün bir tüpten türbülanslı akış için k_c değeri sürtünme katsayılarından hesaplanabilir. Bir başka şekilde ısı aktarımı için Colburn denkleğini kütle aktarımı şekline dönüştürmek için analoginin $J_H = J_D$ kısmı kullanılabilir.

$$k_c = k_G RT \quad \text{ise,}$$

$$\frac{k_G}{h_c} = \frac{1}{RT C_p \rho} \left(\frac{DC_p \rho}{k} \right)^{2/3}$$

(2.28) eşitliğini tekrar yazalım.

$$h_c A(T_G - T_i) = \Delta H_V k_G A(P_{A_i} - P_{A_G}) \quad (2.28)$$

$$\frac{k_G}{h_c} = \frac{A(T_G - T_i)}{\Delta H_V A(P_{A_i} - P_{A_G})} = \frac{(T_G - T_i)}{\Delta H_V (P_{A_i} - P_{A_G})}$$

$$\frac{T_G - T_i}{P_{A_i} - P_{A_G}} = \frac{\Delta H_V}{RT C_p \varrho} \left(\frac{D C_p \varrho}{k} \right)^{2/3} \quad (2.33)$$

$\varrho = P/RT$ olduğundan,

$$\frac{T_G - T_i}{P_{A_i} - P_{A_G}} = \frac{\Delta H_V}{P C_p} \left(\frac{D C_p \varrho}{k} \right)^{2/3} \quad (2.34)$$

(2.34) eşitliğindeki boyutsuz grup $(D C_p \varrho / k)^{-1}$ Lewis sayısı olarak bilinen Schmidt sayısının, Prandtl sayısına oranıdır. Ayrıca Lewis sayısı ısı difüzyonunun kütle difüzyonuna oranıdır.

$$S_L = \frac{\mu}{\varrho D} \quad (2.35)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (2.36)$$

$$Le = \frac{\text{Schmidt sayısı}}{\text{Prandtl sayısı}} = \frac{k}{D C_p \rho} \quad (2.37)$$

Gazların kinetik teorisine göre bir gaz karışımının Lewis sayısı 1 mertebesinde olmalıdır. Su-buhar-hava sisteminin Lewis sayısı 1'e çok yakındır (6,9).

(2.34) eşitliğindeki $Le^{2/3} = 1$ olduğunu düşünerek eşitlik, bir hava-su sisteminin adyabatik doymuluk sıcaklığı T_{as} 'ı belirlemek için kullanılan eşitliğe benzer. Eğer Lewis sayısı terimi ihmal edilirse, (2.34) eşitliğindeki P_{A_i} ve T_i yerine T_{as} ve P_{as} gelecektir. Adyabatik doymuluk sıcaklığı şöyle tanımlanır :

Doymamış bir gaz, gazın doymuluk sıcaklığındaki bir sıvı ile temas ettirilirse, eşanlı bir ısı ve kütle aktarımı oluşur. Gazın sıcaklığı düşer ve nemi artar. Sıvının sıcaklığı sürekli bir değişim gösterir. Bu değişim, gazın o andaki koşullarına göre belirlenen bir yaş termometre sıcaklığına ulaşma yönündedir. Sudan farklı bir sıvı için adyabatik doymuluk sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığından düşüktür ve dolayısıyla başlangıçta sıvının sıcaklığı yükselir. Buna karşılık, gazın nemi arttıkça, gazın yaş termometre sıcaklığı ve buna bağlı olarak sıvının ulaşmaya yöneldiği sıcaklık, buharlaşma nedeniyle düşer. Bir süre sonra sıvı, temasta olduğu gazın yaş termometre sıcaklığına erişir. Ancak gaz tam anlamıyla doymuluğa ulaşmadığından sıvı bu sıcaklıkta kalmaz; nem artışı sürer ve yaş termometre sıcaklığında buna bağlı olarak azalma gözlenir. Dolayısıyla sıvının sıcaklığı düşmeye başlar ve bu düşüş, gaz tümüyle doymun duruma gelinceye dek sürer. Sonuçta sıvı ve gaz adyabatik doymunluk sıcaklığına ulaşırlar.

Adyabatik doygunluk sıcaklığı bir hava kütlesi içerisinde su püskürtüldüğünde, adyabatik olarak su ve hava karışımı termodinamikçe doygun hale gelene dek suyun buharlaştırıldığı varsayılan sıcaklık olarak da tarif edilebilir.

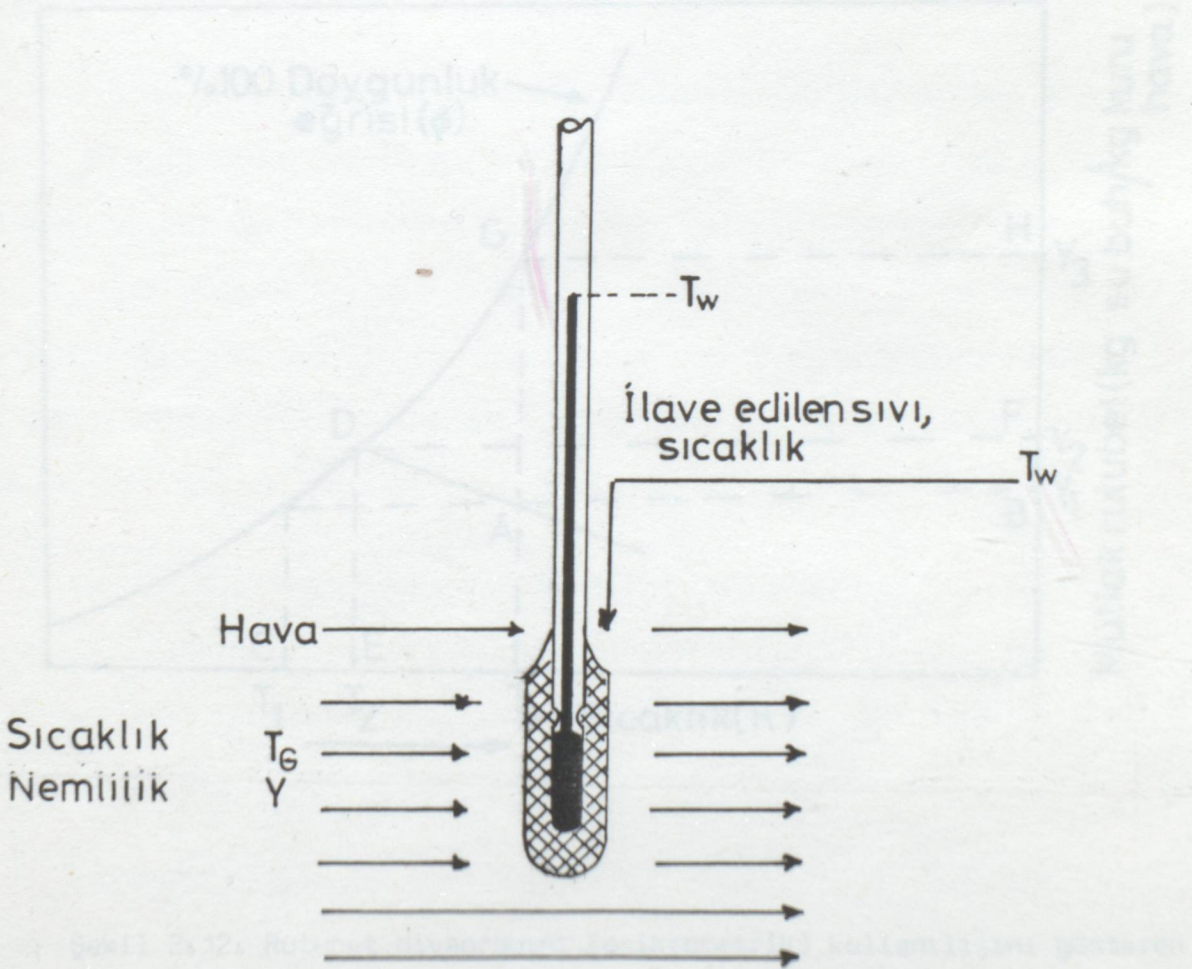
Eğer adyabatik doygunluk sıcaklığı ve yaş termometre sıcaklığı eşit olarak alınırse bilinen psikrometrik diyagram, (2.34) eşitliği ve su buharı basıncı ilişkisinin eşzamanlı çözümünü yapmak için kullanılabilir. Bazen psikrometrik cetvellerde adyabatik doygunluk sıcaklığı ve yaş termometre sıcaklığını belirlemek için ayrı eğriler bulunmaktadır (3).

2.2.2. Yaş ve Kuru Termometre Sıcaklıkları :

Bir sıvı başlangıçta kendisi ile aynı sıcaklıkta bulunan büyük bir hacim doymamış gaz içerisinde buharlaştırılacak ve dışardan bu sisteme hiçbir şekilde ısı aktarımı olmazsa, sıvının buharlaşması için gerekli olan ısının (buharlaşma gizli ısısı), bizzat sıvının kendisinden alınması sebebi ile, sıvı kendiliğinden soğur. Eğer sıvının yüzeyi kütlesine oranla çok büyükse sıcaklık hızlı bir denge değerine düşer. Bir müddet sonra, sıvıdan daha yüksek sıcaklığa sahip olan gazdan sıvıya aktarılan ısının değeri ile, sıvı buharının sıvı fazdan gaz fazına geçiş değeri, daha doğrusu bir miktar buharın teşekkülü için gerekli buharlaşma ısısı arasında dinamik bir denge kurulur. Denge anındaki sıvının sıcaklığına yaş termometre sıcaklığı denir ve bunun değeri, içerisinde buharlaştığı gazın sıcaklığından (kuru termometre sıcaklığı) daima daha düşüktür.

2.2.3. Psikrometrik Diyagram

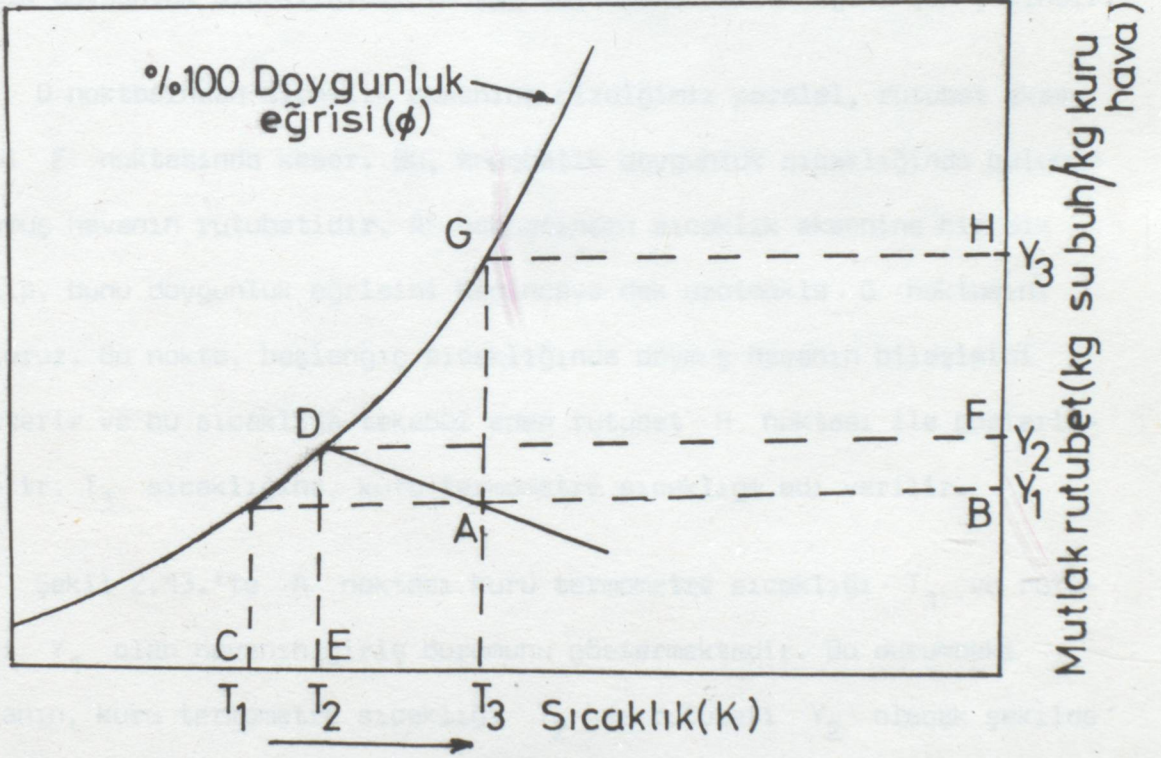
Eğer gaz fazı başlangıçta doyumluk haline kadar sıvı buharı ile doyurulmuş ise, ne bir buharlaşma ve ne de yağ termometre sıcaklığında bir düşme olur. Yağ termometre sıcaklığında meydana gelen düşmenin miktarından, buhar-gaz karışımının doyumluk derecesini ölçmek mümkündür. Yağ ve kuru termometre sıcaklıklarının ölçülmesi ile, gaz fazı tarafından taşınan buhar miktarının hesaplanması prensibi her buhar-gaz:karışımı için kullanılabilir. Pratikte bu metot daha ziyade hava-subuharı karışımı için uygulama alanı bulmuştur. Yağ ve kuru termometre sıcaklıklarının ölçülmesi ile hava rutubetinin hesaplanması işlemine psikrometri adı verilir (4,8).



Şekil 2.11. Yağ termometre sıcaklığının ölçme prensibi.

2.2.3. Psikrometrik Diyagram :

Normal şartlar altında hava-su buharı karışımlarına ait özelliklerin pek çoğunu psikrometrik diyagram yardımıyla bulmak mümkündür (Şekil 2.12). Bu diyagramda rutubet değerleri (kg nem/kg kuru hava) ordinat ekseninde ve sıcaklıklar ise (K olarak) absiste yer almıştır. Üstüne % 100 yazılı eğri, çeşitli sıcaklıklarda su buharının karışımını göstermektedir. Bu eğrinin altında yer alan eğriler de çeşitli yüzde rutubete sahip hava-su buharı karışımlarını göstermektedir.



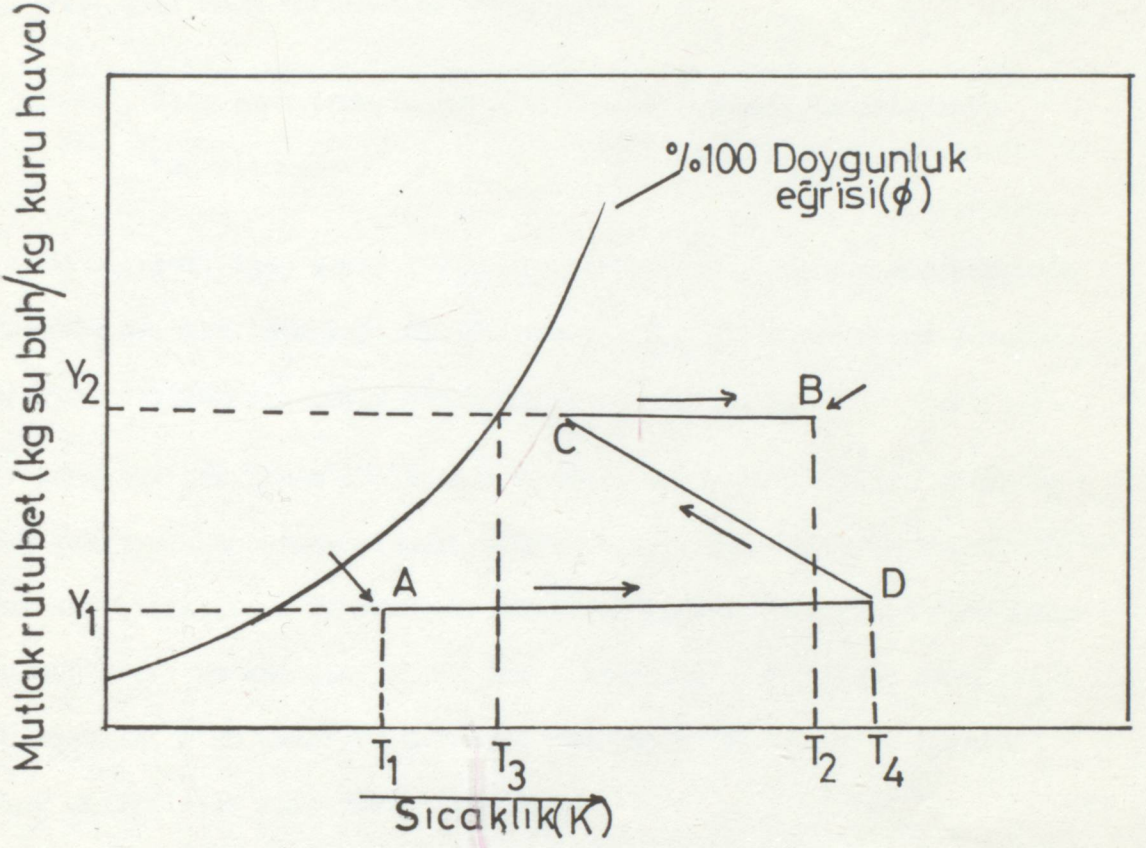
Şekil 2.12. Rutubet diyagramını (psikrometrik) kullanılmasını gösteren açıklama.

Şekil 2.12.'de görüldüğü gibi, bileşim ve sıcaklığı A noktası ile gösterilen hava-su buharı karışımını gözönüne alalım. Bu noktadan absis eksenine bir paralel çizilerek B noktası bulunur ve bu, karışımın rutubetini gösterir. Rutubet koordinatını takip ederek A noktasından sola doğru gidilecek olursa doymuşluk eğrisine ulaşılır ve T_1 sıcaklığı bulunur. Bu sıcaklık, havanın doymuş hale gelebilmesi için soğutulması gereken sıcaklıktır. Bu sıcaklığa şebnem sıcaklığı ve şebnem noktası adı verilir. Adyabatik çizgiyi takip ederek doymuşluk eğrisine kadar gidilecek olursa, D noktası ve buradan da aşağı doğru inildiğinde, sıcaklık ekseninde E noktasına varılır. Bu T_2 sıcaklığı, adyabatik doymuşluk sıcaklığıdır ve yaş termometre sıcaklığına çok yakındır.

D noktasından sıcaklık eksenine çizdiğimiz paralel, rutubet eksenini F noktasında keser. Bu, adyabatik doymuşluk sıcaklığında bulunan doymuş havanın rutubetidir. A noktasından sıcaklık eksenine bir dik çizip, bunu doymuşluk eğrisini kesinceye dek uzatmakla G noktasını buluruz. Bu nokta, başlangıç sıcaklığında doymuş havanın bileşimini gösterir ve bu sıcaklığa tekabül eden rutubet H noktası ile gösterilmiştir. T_3 sıcaklığına, kuru termometre sıcaklığı adı verilir.

Şekil 2.13.'te A noktası kuru termometre sıcaklığı T_1 ve rutubeti Y_1 olan havanın giriş durumunu göstermektedir. Bu durumdaki havanın, kuru termometre sıcaklığı T_2 ve rutubeti Y_2 olacak şekilde (B noktası) bir değişmeye uğratılması istenilmiş olsun.

A noktasında bulunan hava önce bir ön ısıtıcıda T_4 sıcaklığına kadar ısıtılır, sonra adyabatik soğutma doğrusunu takiben, istenilen rutubet elde oluncaya kadar soğutulur. Daha evvel yapıldığı gibi tekrar ısıtılır. Bütün bu işlemler Şekil 2.13.'te ADCB yolu ile gösterilmektedir (2,5).



Şekil 2.13. Kurutma operasyonlarında hava rutubetinin ve sıcaklığının değişimi.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN MATERYALLER

3.1.1. İlaç Sıvayında Kullandığımız Tıbbi Reçine Maddelerinin Hazırlanması :

Bu çalışma, ilaç sıvayında kullanılan tıbbi reçine maddelerinin kurutma ve muhafaza etme yöntemleri üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmada tıbbi reçine maddelerinin hazırlanması için kullanılan :

Deneysel çalışmada kullanılan reçinelerden 100 gr. reçine, şeker ve suyun karışımından oluşmaktadır. Reçine maddelerinin reçine reçine ve şeker karışımına ve suya eklenmesiyle reçine reçine ve suyun karışımına eklenmektedir. Bu karışımın oluşturduğu reçine reçine ve suyun karışımına eklenmektedir. Bu karışımın oluşturduğu reçine reçine ve suyun karışımına eklenmektedir. Bu karışımın oluşturduğu reçine reçine ve suyun karışımına eklenmektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmada kullanılan reçinelerden 100 gr. reçine, şeker ve suyun karışımından oluşmaktadır. Reçine maddelerinin reçine reçine ve şeker karışımına ve suya eklenmesiyle reçine reçine ve suyun karışımına eklenmektedir. Bu karışımın oluşturduğu reçine reçine ve suyun karışımına eklenmektedir. Bu karışımın oluşturduğu reçine reçine ve suyun karışımına eklenmektedir. Bu karışımın oluşturduğu reçine reçine ve suyun karışımına eklenmektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN MATERYALLER

3.1.1. İlaç Sanayinde Kullanılan Tablet Kaplama Maddelerinin Hazırlanması :

Bu çalışma, ilaç sanayinde kullanılan tablet kaplama maddelerinin kurutulmaları üzerinde yapıldı. Bu maddelerden ikisi üzerinde duruldu. Bunların hazırlanması şöyle yapılmıştır :

Deneysel çalışmada kullanılan maddelerden ilki nişasta, şeker ve suyun karışımından oluşmaktadır. Belli miktarlarda tartılan nişasta ve şeker karıştırılır ve sonra sıcak su ilave edilir. Karışımın homojenasyonu sağlanır. Bu karışımı oluşturan bileşenlerin ağırlıkça oranları : % 50 Nişasta, % 25 Şeker ve % 25 Su. Daha sonra bu karışım, küreler haline getirilerek kurutulması sağlandı.

Deneysel çalışmada kullanılan maddelerden ikincisi nişasta, sitrik asit ve suyun karışımından oluşmaktadır. İlk önce nişasta ve sitrik asit iyi bir şekilde karıştırılır. Sonra sıcak su ilave edilir ve karıştırmaya devam edilir. Oluşan karışım, tanecik bir yapıya sahiptir. Tanecik (partikül) halindeki bu karışımı oluşturan bileşenlerin ağırlıkça oranları : % 55,55 Nişasta, % 25,4 sitrik asit ve % 19 Su.

3.1.2. Kurutma İşlemlerinin Yapıldığı Düzenek ve Çalışma Prensipleri :

Deney cihazının ana bölümü 2,5 m uzunluğunda 0,50 x 0,50 m² kesitinde galvanize saçtan yapılmış bir tünel kurutucudur. Bu kurutucunun ön kısmında 0,54 x 0,50 m² kesitinde bulunan bir kapak vasıtasıyla test bölümüne erişmek mümkün olmaktadır. Test cihazının ön kısmında açılıp kapatılarak hava girişini ayarlayan bir panjur vardır. Panjurun hemen arkasında bir hava filtresi vasıtasıyla havanın temizlenmesi sağlanmıştır. Hava filtresi 0,1 x 0,5 x 0,5 m³ boyutlarında bir adet çerçeveden yapılmıştır. Filtreden sonra bir ısıtma ünitesi gelir. Bu ünite, istenildiği zaman devreye sokulabilen ve herbiri 700 watt gücünde olan 7 adet kanatlı ısıtıcılardan oluşmaktadır. Bu ısıtıcılardan bir veya birkaçı devreye sokulmak suretiyle çalışılmak istenilen sıcaklığa getirmek mümkündür.

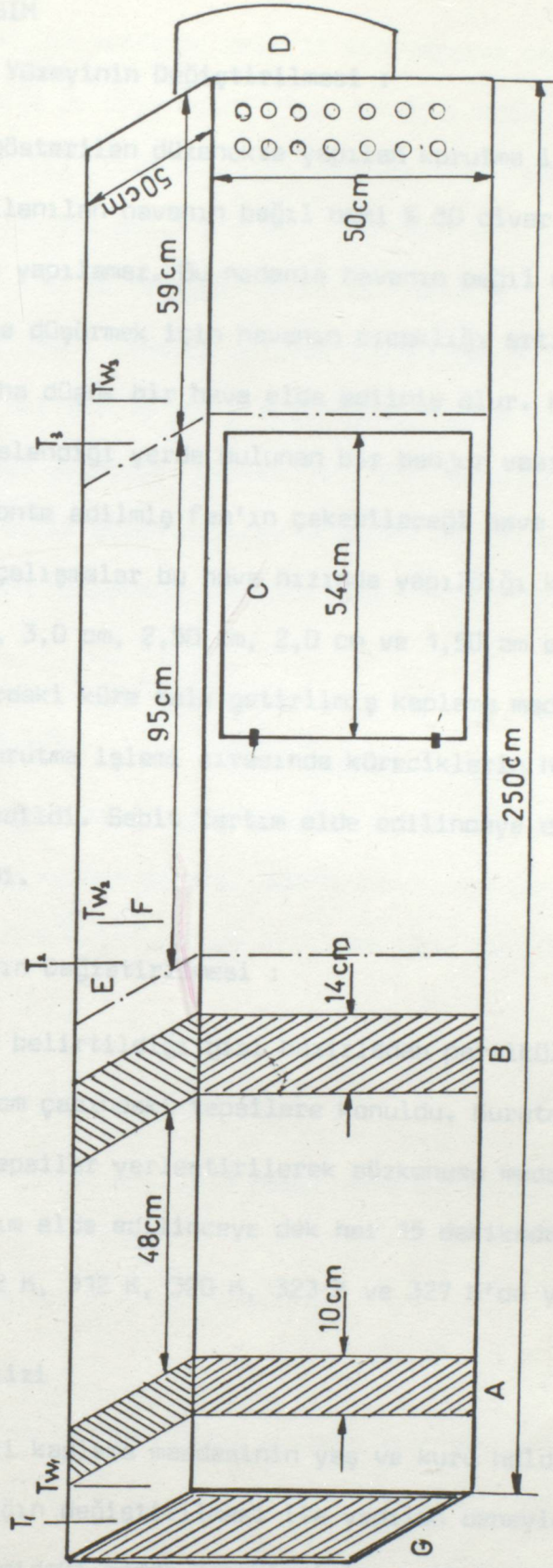
Deney cihazında ısıtıcı ile fan arasında kurutma işleminin gerçekleştirildiği kurutma odası bulunmaktadır. Bir kapak vasıtasıyla açılıp, kapanan bu ünitenin içerisine kurutulacak madde yerleştirilir.

Hava tüneline hava emişini sağlayan 1 adet fan konulmuştur. Fan, 3000 ($\frac{d}{dak}$) ile çalışır ve kurutucunun arka tarafına monte edilmiştir. Fan, taze havayı cihazın ön kısmındaki panjurun bulunduğu yerden emer. Bu hava fanın bulunduğu yerden çıkar. Ayrıca kurutma odası ile fan arasında deney cihazının her iki tarafına 10 mm çapında hava delikleri bulunmaktadır. Bunlar, kurutulacak maddenin aşırı hava akımına maruz kalmasına engel olur. Fan vasıtasıyla kurutucu içerisine emilen havanın bir kısmı bu deliklerden alınarak kurutma odasına aşırı hava girişi önlenmiş olur.

Kurutma cihazında üç adet kuru termometre yerleştirilmiştir. Bunlardan birincisi hava giriş sıcaklığını, ikincisi kurutma odasındaki sıcaklığı, üçüncüsü kurutma odasından çıkan havanın sıcaklığını ölçmek

için konulmuşlardır. Ayrıca bu cihazda kuru termometre ölçümleri alınan yerlere paralel olarak yerleştirilen üç adet yaş termometre bulunmaktadır. Bu termometreler, kuru termometrelerin uçlarına ıslak pamuk sarılmasıyla hazırlanırlar ve havanın yaş termometre sıcaklıklarını ölçmek için kullanılır.

Kurutucu olarak kullanılan hava, deney cihazına fan vasıtasıyla emilir. Hava hızı, kurutucunun ön kısmında bulunan panjur vasıtasıyla ayarlanır. Sonra filtre ünitesinden geçerek, ısıtıcılarda ısınır. Daha sonra belli bir hıza sahip olan hava, kurutma odasına gönderilir. Kurutucu odasında tablet kaplama maddelerinin kurutulması sağlanır ve hava, tünel kurutucusunu fanın bulunduğu yerden terk eder. İlaç sanayinde kullanılan tablet kaplama maddelerinin sabit kuruma miktarlarına erişilinceye dek deneysel çalışmaya devam edilir.



Şekil 3.1. DENEY CİHAZI. A- Hava Filtresi, B-Isıtıcı, C-Kapak, D-Fan, E-Kuru Termometre, F-Yağ Termometre, G-Hava Panjuru.

3.2. DENEL KISIM

3.2.1. Kuruma Yüzeyinin Değiştirilmesi :

Şekil 3.1'de gösterilen düzende yapılan kurutma işlemlerinde kurutucu olarak kullanılan havanın bağıl nemi % 80 civarında ise, bu bağıl nemde kurutma yapılamaz. Bu nedenle havanın bağıl nemini % 40 ve daha düşük değerlere düşürmek için havanın sıcaklığı artırılır. Bu durumda bağıl nemi daha düşük bir hava elde edilmiş olur. Havanın hızı, tünel kurutucuda beslendiği yerde bulunan bir panjur vasıtasıyla ayarlandı. Kurutucuya monte edilmiş fan'ın çekebileceği hava hızı 4 m/s olduğundan, deneysel çalışmalar bu hava hızında yapıldığı kabul edildi. Bu çalışmada 4,0 cm, 3,0 cm, 2,50 cm, 2,0 cm ve 1,50 cm olmak üzere giderek küçülen çaplardaki küre hale getirilmiş kaplama maddeleri kurutulması sağlandı. Bu kurutma işlemi sırasında küreciklerin her 15 dakikada bir tartımları kaydedildi. Sabit tartım elde edilinceye dek kurutma işlemine devam edildi.

3.2.2. Sıcaklığın Değiştirilmesi :

Bölüm 3.1.1.'de belirtildiği gibi hazırlanan partikül halindeki kaplama maddeleri 8,50 cm çapındaki tepsilere konuldu. Kurutma düzeneğindeki kurutma odasına bu tepsiler yerleştirilerek sözkonusu maddenin kuruması sağlandı. Sabit tartım elde edilinceye dek her 15 dakikada bir tartım alındı. Denemeler 302 K, 312 K, 320 K, 323 K ve 327 K'de yapıldı.

3.2.3. Elek Analizi :

Tanecik halindeki kaplama maddesinin yaş ve kuru haldeki elek analizleri yapıldı. Sıcaklığın değiştirilmesi ile yapılan deneylerin sonucunda kullanılan tanecik yapıdaki madde örneklerinin az olması nedeniyle, her deneyde kullanılan örneklerin elek analizi yapılamadı. Elek analizinin amacı, tanecik halindeki maddenin tane büyüklüğüne göre ayırmak ve

ortalama tane büyüklüğü hakkında belirli bir yargıya varmaktır. Bu işlem, delik açıklığı en büyük olan eleği en üste koyup, bunun altına daha küçük elek açıklığı olan elekleri yerleştirildikten sonra ürünü üst eleğe dökerek sistemi belli bir süre sarsmak veya sallamak suretiyle yapılır. Deneyler 40 gr örnek alınarak yapıldı. Sarsma ve sallama sonucu belirli çaplı taneler belirli delik açıklıklı elekler üzerinde toplandı. Üst eleğin delik açıklığından daha küçük partiküller bir sonraki eleğe geçerler. Belirli bir süre sonunda partiküller kendi çaplarına karşılık gelen elekler üzerinde birikmiş olur ve partiküller tartılır. Bu çalışmalar FRITSCH elektromagnetik elek çalkalayıcısında yapıldı.

3.3. ANALİTİK YÖNTEM

Bölüm 3.2.'de açıklandığı gibi yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar kullanılarak kuruma debisi, tüm rutubet, ortalama rutubet, standart sapma, dağılım katsayısı ve ortalama tane büyüklük değerleri hesaplandı.

3.3.1. Kuruma Debisinin Hesaplanması :

Kuruma debisini şu eşitlikle hesaplamak mümkündür :

$$\text{Kuruma debisi} = \frac{w_t - w_{t+\Delta t}}{A \cdot \Delta t} \quad (3.1)$$

(3.1) eşitliğinden her bir zaman aralığı için kuruma debisi hesaplandı (2).

3.3.2. Tüm Rutubet Miktarının Hesabı :

Tüm rutubet miktarı, kurutucuda kurutulan maddenin her 15 dakikada bir alınan tartımlarından (w_A), kuru madde miktarının (w_K) çıkarılması sonucu elde edilir.

$$\text{Tüm rutubet} = w_A - w_K \quad (3.2)$$

3.3.3. Mutlak Rutubet Miktarı :

$$\text{Mutlak rutubet miktarı} = \frac{\text{Tüm rutubet miktarı}}{\text{Kuru madde miktarı}} \quad (3.3)$$

3.3.4. Standart Sapma, Dağılım Katsayısı ve Tane Büyüklüğü Dağılımı :

$$\text{Standart sapma} = \frac{L_{84} - L_{16}}{2} \quad (3.4)$$

$$\text{Dağılım katsayısı} = \frac{100(L_{84} - L_{16})}{2 \bar{L}} \quad (3.5)$$

$$\text{Tane büyüklüğü dağılımı} = \frac{\bar{L}}{C.V} \quad (3.6)$$

Burada,

\bar{L} : Ortalama tane büyüklüğü

C.V : Dağılım katsayısı

olduğunu simgeler (13).

3.4. GRAFİKLER

3.4.1. Rutubet-Zaman Eğrileri :

Bu eğriler, birim kuru katı içerisindeki birim rutubet miktarının zamanla nasıl değiştiğini incelemek amacıyla çizildi. Katı içindeki rutubet miktarı sıfır oluncaya dek deneysel çalışmaya devam edilerek, geçen süre tespit edildi.

3.4.2. Elek Analiz Grafikleri :

- 1- Elek analiz sonuçları frekans poligonunun aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.
- 2- Elek analiz sonuçlarının aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.
- 3- Elek analiz sonuçlarının logaritmik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.

Bu grafikler bize, tanecik yapıdaki maddenin tane büyüklüğü ve ortalama tane büyüklüğü hakkında fikir verir.

Çizelge-3.2.1.1. Kürenin çapı 4,0 cm olduğu koşullarda kurutma sonuçları.

Kurutma Şartları : T_G : 315 K

\emptyset : 0,22

T_w : 296 K

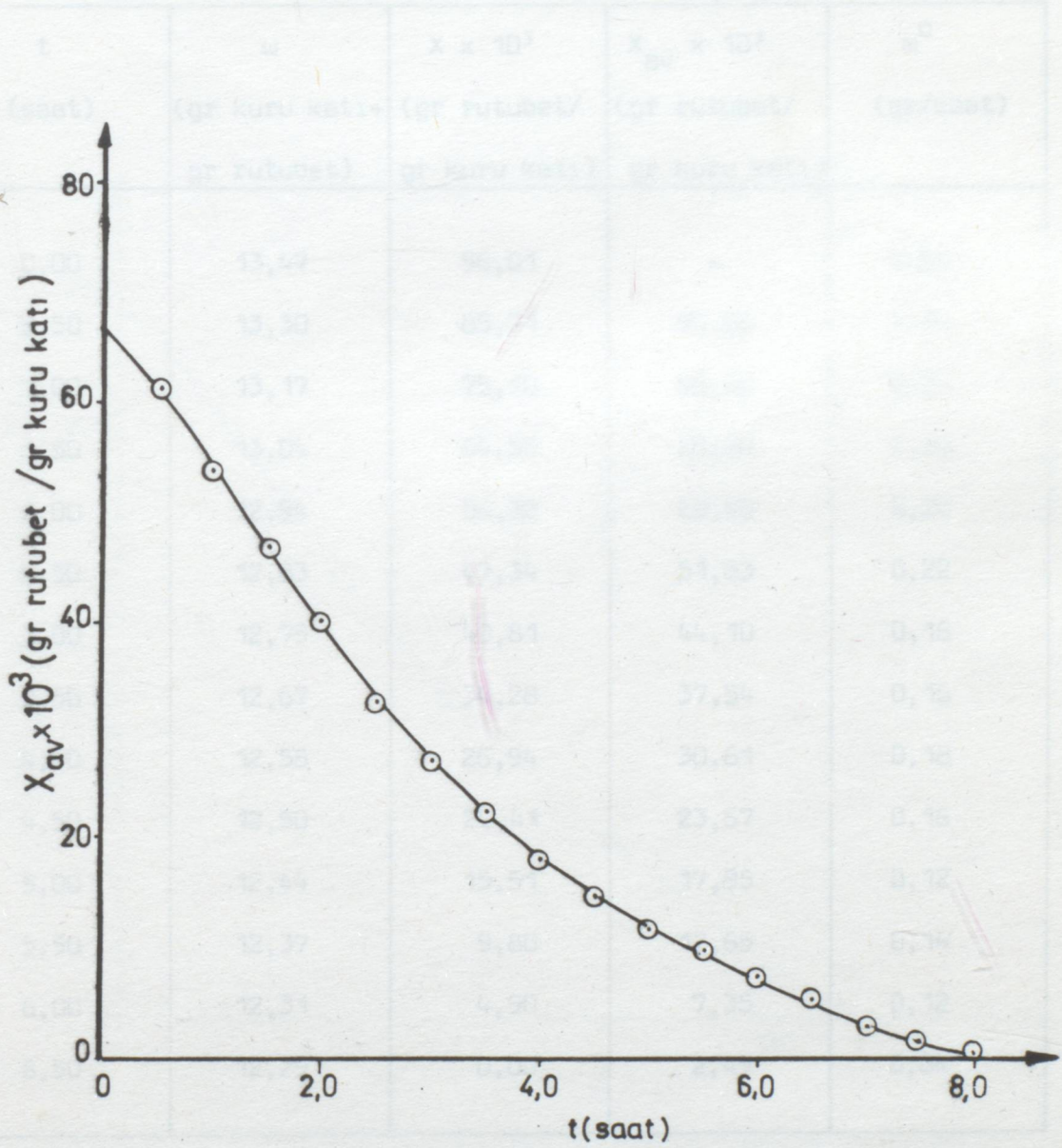
| t (saat) | w (gr kuru katı + gr kuru katı) | X x 10 ³ (gr rutubet/ gr kuru katı) | X _{av} x 10 ³ (gr rutubet/ gr kuru katı) | m ⁰ (gr/saat) |
|-------------|---------------------------------------|--|--|-----------------------------|
| 0,00 | 29,37 | 66,44 | - | 0,00 |
| 0,50 | 29,13 | 57,73 | 62,08 | 0,48 |
| 1,00 | 28,92 | 50,10 | 53,91 | 0,42 |
| 1,50 | 28,72 | 42,85 | 46,47 | 0,40 |
| 2,00 | 28,53 | 35,95 | 39,40 | 0,38 |
| 2,50 | 28,36 | 26,77 | 32,86 | 0,34 |
| 3,00 | 28,24 | 25,41 | 27,60 | 0,24 |
| 3,50 | 38,10 | 20,33 | 22,87 | 0,28 |
| 4,00 | 28,00 | 16,70 | 18,51 | 0,20 |
| 4,50 | 27,92 | 13,80 | 15,25 | 0,16 |
| 5,00 | 27,86 | 11,62 | 12,71 | 0,12 |
| 5,50 | 27,78 | 8,71 | 10,16 | 0,16 |
| 6,00 | 27,73 | 6,90 | 7,80 | 0,10 |
| 6,50 | 27,65 | 3,95 | 5,42 | 0,16 |
| 7,00 | 27,59 | 1,81 | 2,88 | 0,12 |
| 7,50 | 27,56 | 0,72 | 1,27 | 0,06 |
| 8,00 | 27,54 | 0,00 | 0,36 | 0,04 |

Çizelge-3.2.1.2: Kürenin çapı 4,0 cm olduğu koşullarda kurutma sonuçları.

Kurutma Şartları : T_D : 315 K

Z : 0,25

T_u : 297 K



Şekil 3.2.1. Kürenin çapı 4,0 cm olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi.

Çizelge-3.2.1.2. Kürenin çapı 3,0 cm olduğu koşullarda kurutma sonuçları.

Kurutma Şartları : T_G : 315 K

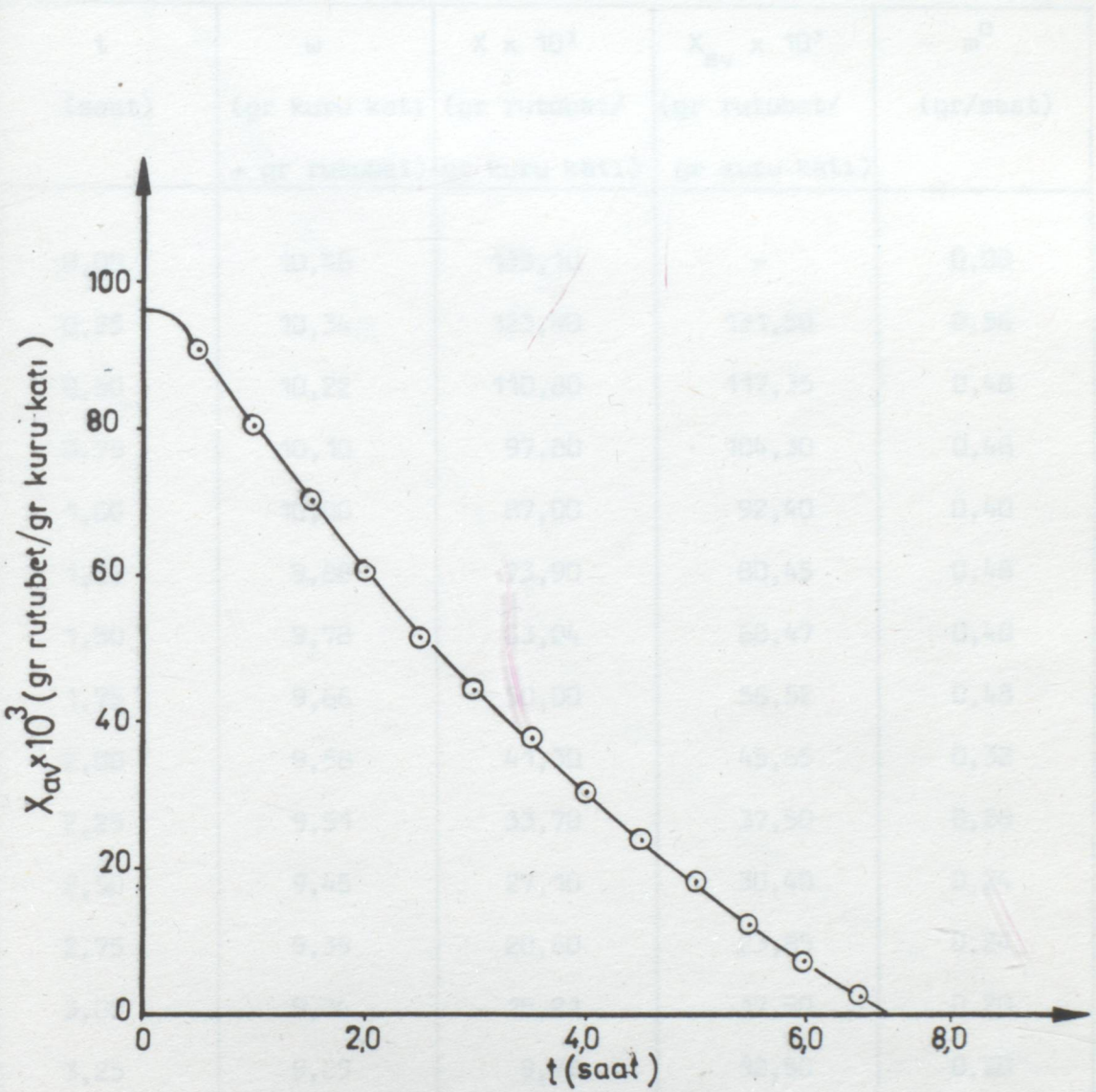
\emptyset : 0,25

T_w : 297 K

| t (saat) | w (gr kuru katı+ gr rutubet) | X x 10 ³ (gr rutubet/ gr kuru katı) | X _{av} x 10 ³ (gr rutubet/ gr kuru katı) | m ⁰ (gr/saat) |
|-------------|------------------------------------|--|--|-----------------------------|
| 0,00 | 13,47 | 96,01 | - | 0,00 |
| 0,50 | 13,30 | 85,71 | 90,86 | 0,34 |
| 1,00 | 13,17 | 75,10 | 80,40 | 0,26 |
| 1,50 | 13,04 | 64,50 | 69,80 | 0,26 |
| 2,00 | 12,94 | 56,32 | 60,40 | 0,20 |
| 2,50 | 12,83 | 47,34 | 51,83 | 0,22 |
| 3,00 | 12,75 | 40,81 | 44,10 | 0,16 |
| 3,50 | 12,67 | 34,28 | 37,54 | 0,16 |
| 4,00 | 12,58 | 26,94 | 30,61 | 0,18 |
| 4,50 | 12,50 | 20,41 | 23,67 | 0,16 |
| 5,00 | 12,44 | 15,51 | 17,95 | 0,12 |
| 5,50 | 12,37 | 9,80 | 12,65 | 0,14 |
| 6,00 | 12,31 | 4,90 | 7,35 | 0,12 |
| 6,50 | 12,29 | 0,00 | 2,45 | 0,04 |

Özellikler: Kürenin çapı 2,50 cm olduğu koşullarda rutubet zaman arasındaki ilişki.

Kurulum şartları : $T_a = 374 \text{ K}$ $H = 0,21$
 $T_b = 295 \text{ K}$



Şekil 3.2.2. Kürenin çapı 3,0 cm olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi.

Çizelge-3.2.1.3. Kürenin çapı 2,50 cm olduğu koşullarda kurutma sonuçları.

Kurutma şartları : T_G : 314 K

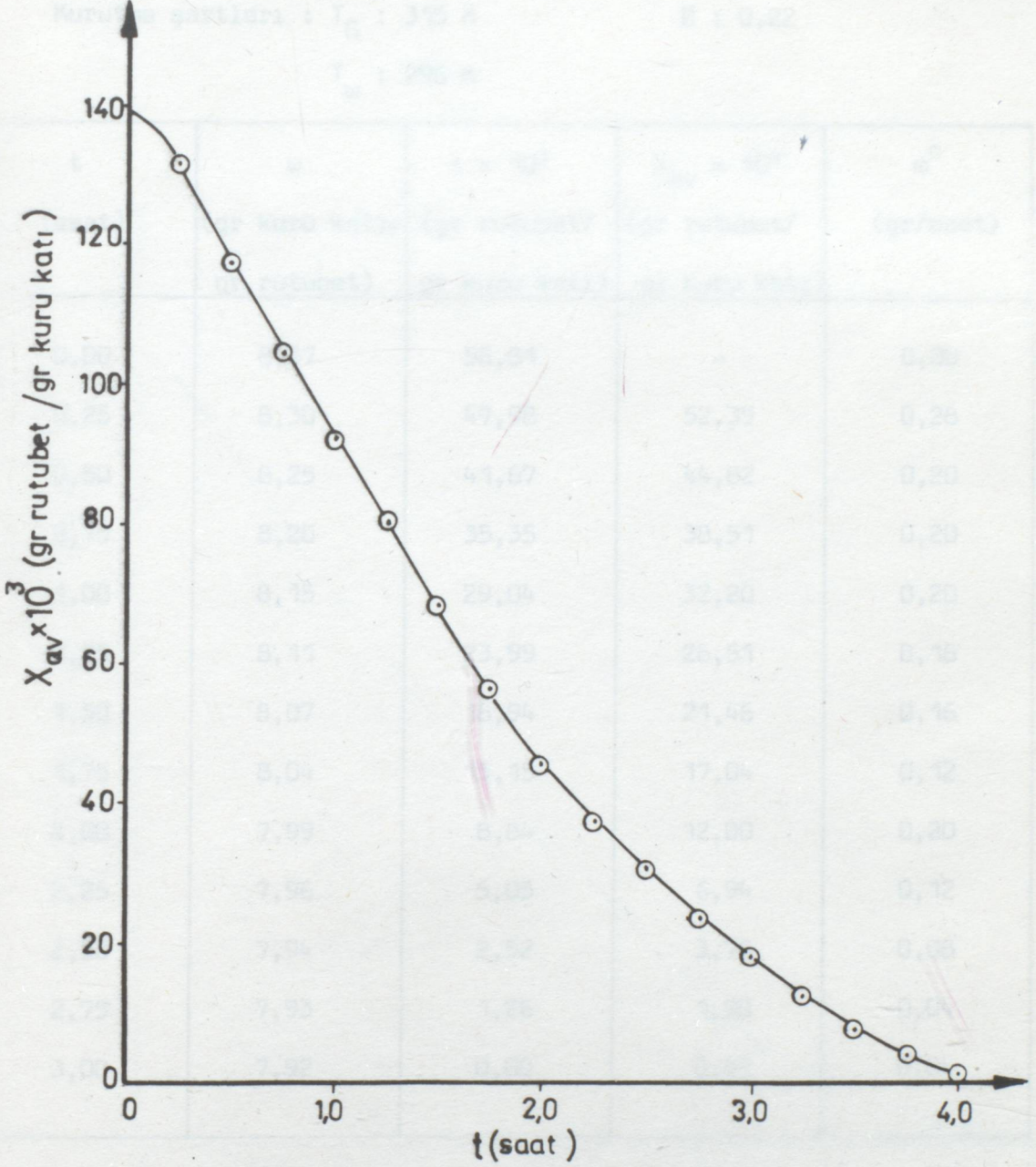
\emptyset : 0,21

T_w : 295 K

| t (saat) | w (gr kuru katı + gr rutubet) | X x 10 ³ (gr rutubet/ gr kuru katı) | X _{av} x 10 ³ (gr rutubet/ gr kuru katı) | m ⁰ (gr/saat) |
|-------------|-------------------------------------|--|--|-----------------------------|
| 0,00 | 10,48 | 139,10 | - | 0,00 |
| 0,25 | 10,34 | 123,90 | 131,50 | 0,56 |
| 0,50 | 10,22 | 110,80 | 117,35 | 0,48 |
| 0,75 | 10,10 | 97,80 | 104,30 | 0,48 |
| 1,00 | 10,00 | 87,00 | 92,40 | 0,40 |
| 1,25 | 9,88 | 73,90 | 80,45 | 0,48 |
| 1,50 | 9,78 | 63,04 | 68,47 | 0,40 |
| 1,75 | 9,66 | 50,00 | 56,52 | 0,48 |
| 2,00 | 9,58 | 41,30 | 45,65 | 0,32 |
| 2,25 | 9,51 | 33,70 | 37,50 | 0,28 |
| 2,50 | 9,45 | 27,10 | 30,40 | 0,24 |
| 2,75 | 9,39 | 20,60 | 23,85 | 0,24 |
| 3,00 | 9,34 | 15,21 | 17,90 | 0,20 |
| 3,25 | 9,29 | 9,78 | 12,50 | 0,20 |
| 3,50 | 9,25 | 5,43 | 7,60 | 0,16 |
| 3,75 | 9,22 | 2,17 | 3,80 | 0,12 |
| 4,00 | 9,20 | 0,00 | 1,08 | 0,08 |

Şizelge-3.2.1.4. Kürenin çapı 2,5 cm olduğu koşullarda kuruma eğrisi.

Kuruma şartları : $T_0 : 35^\circ C$ $H : 0,22$
 $T_1 : 20^\circ C$



Şekil 3.2.3. Kürenin çapı 2,50 cm olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi.

Çizelge-3.2.1.4. Kürenin çapı 2,0 cm olduğu koşullarda kurutma sonuçları.

Kurutma şartları : T_G : 315 K

\emptyset : 0,22

T_w : 296 K

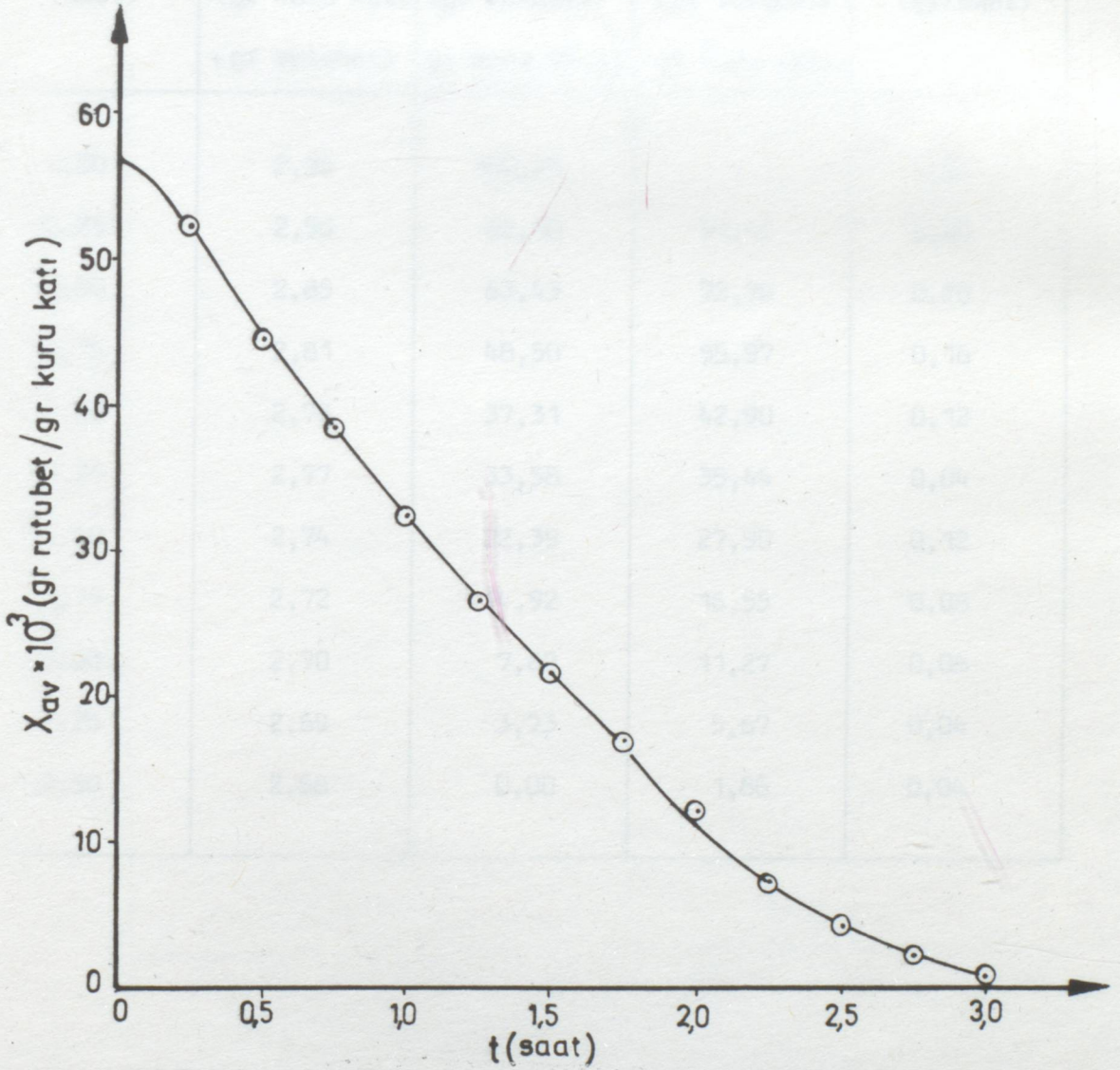
| t (saat) | w (gr kuru katı/ gr rutubet) | X x 10 ³ (gr rutubet/ gr kuru katı) | X _{av} x 10 ³ (gr rutubet/ gr kuru katı) | m ⁰ (gr/saat) |
|-------------|------------------------------------|--|--|-----------------------------|
| 0,00 | 8,37 | 56,81 | - | 0,00 |
| 0,25 | 8,30 | 47,98 | 52,39 | 0,28 |
| 0,50 | 8,25 | 41,67 | 44,82 | 0,20 |
| 0,75 | 8,20 | 35,35 | 38,51 | 0,20 |
| 1,00 | 8,15 | 29,04 | 32,20 | 0,20 |
| 1,25 | 8,11 | 23,99 | 26,51 | 0,16 |
| 1,50 | 8,07 | 18,94 | 21,46 | 0,16 |
| 1,75 | 8,04 | 15,15 | 17,04 | 0,12 |
| 2,00 | 7,99 | 8,84 | 12,00 | 0,20 |
| 2,25 | 7,96 | 5,05 | 6,94 | 0,12 |
| 2,50 | 7,94 | 2,52 | 3,78 | 0,08 |
| 2,75 | 7,93 | 1,26 | 1,90 | 0,04 |
| 3,00 | 7,92 | 0,00 | 0,63 | 0,04 |

Şekil 3.2.1. Kürenin çapı 1,50 cm olduğu koşullarda kuruma sonuçları.

Kurutma Sıcaklığı : $T_G = 313$ K

$F = 0,16$

$T_{\infty} = 294$ K



Şekil 3.2.4. Kürenin çapı 2,0 cm olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi.

Çizelge-3.2.1.5. Kürenin çapı 1,50 cm olduğu koşullarda kurutma sonuçları.

Kurutma Sonuçları : T_G : 313 K

\emptyset : 0,18

T_w : 294 K

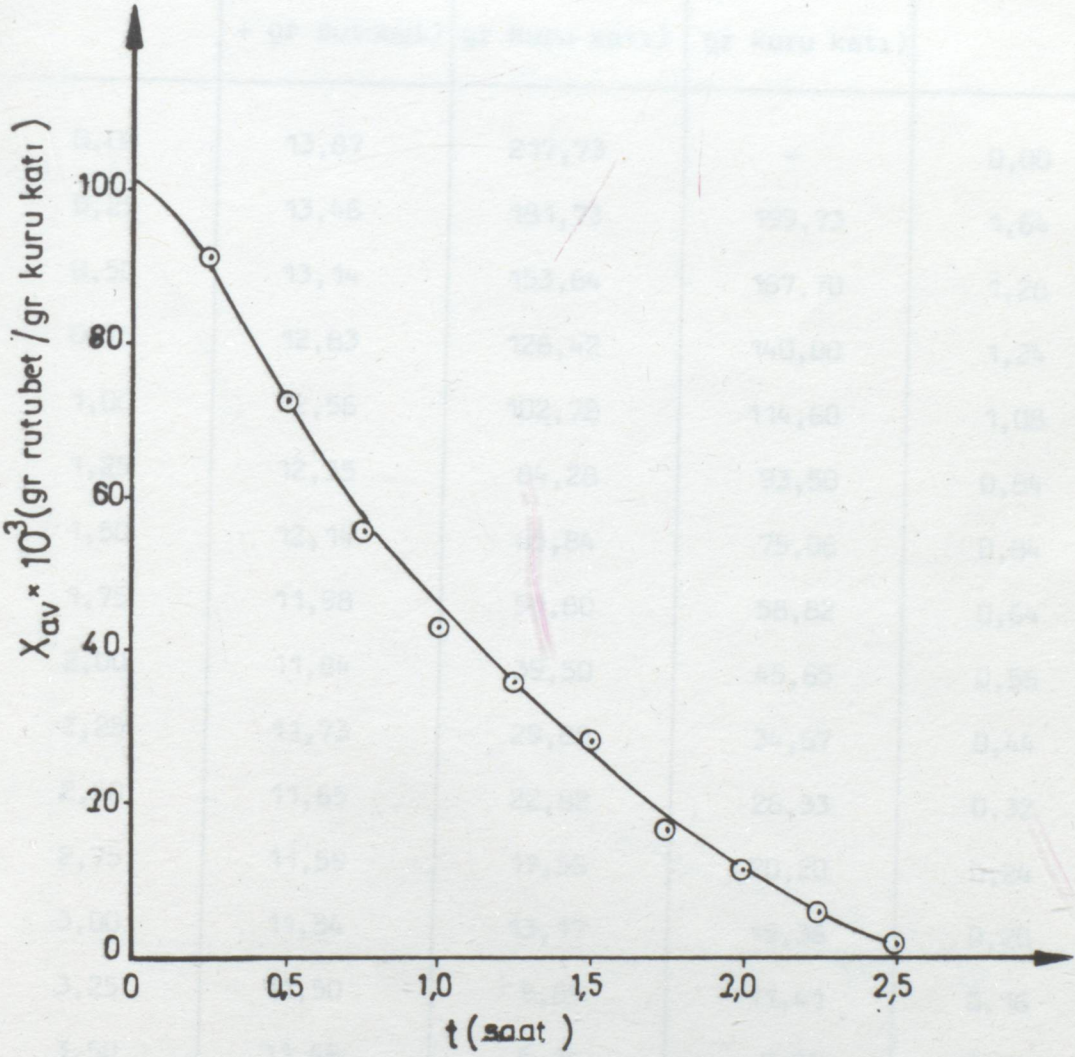
| t (saat) | w (gr kuru katı + gr rutubet) | $X \times 10^3$ (gr rutubet/ gr kuru katı) | $X_{av} \times 10^3$ (gr rutubet/ gr kuru katı) | m^0 (gr/saat) |
|-------------|-------------------------------------|--|---|--------------------|
| 0,00 | 2,95 | 100,75 | - | 0,00 |
| 0,25 | 2,90 | 82,10 | 91,42 | 0,20 |
| 0,50 | 2,85 | 63,43 | 72,76 | 0,20 |
| 0,75 | 2,81 | 48,50 | 55,97 | 0,16 |
| 1,00 | 2,78 | 37,31 | 42,90 | 0,12 |
| 1,25 | 2,77 | 33,58 | 35,44 | 0,04 |
| 1,50 | 2,74 | 22,39 | 27,90 | 0,12 |
| 1,75 | 2,72 | 14,92 | 16,55 | 0,08 |
| 2,00 | 2,70 | 7,62 | 11,27 | 0,08 |
| 2,25 | 2,69 | 3,73 | 5,67 | 0,04 |
| 2,50 | 2,68 | 0,00 | 1,86 | 0,04 |

Çizelge-3.2.2.1. Kuru termalites maddesi için H cinsinde kuruma eğrileri.

Kuruma Şartları : $T_0 = 332 \text{ K}$

$\lambda = 0,35$

$T_{\infty} = 293 \text{ K}$



Şekil 3.2.5. Kürenin çapı 1,50 cm olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi.

Çizelge-3.2.2.1. Kuru termometre sıcaklığı 302 K olması durumunda-
daki kurutma sonuçları.

Kurutma Şartları : T_G : 302 K

\emptyset : 0,35

T_w : 292 K

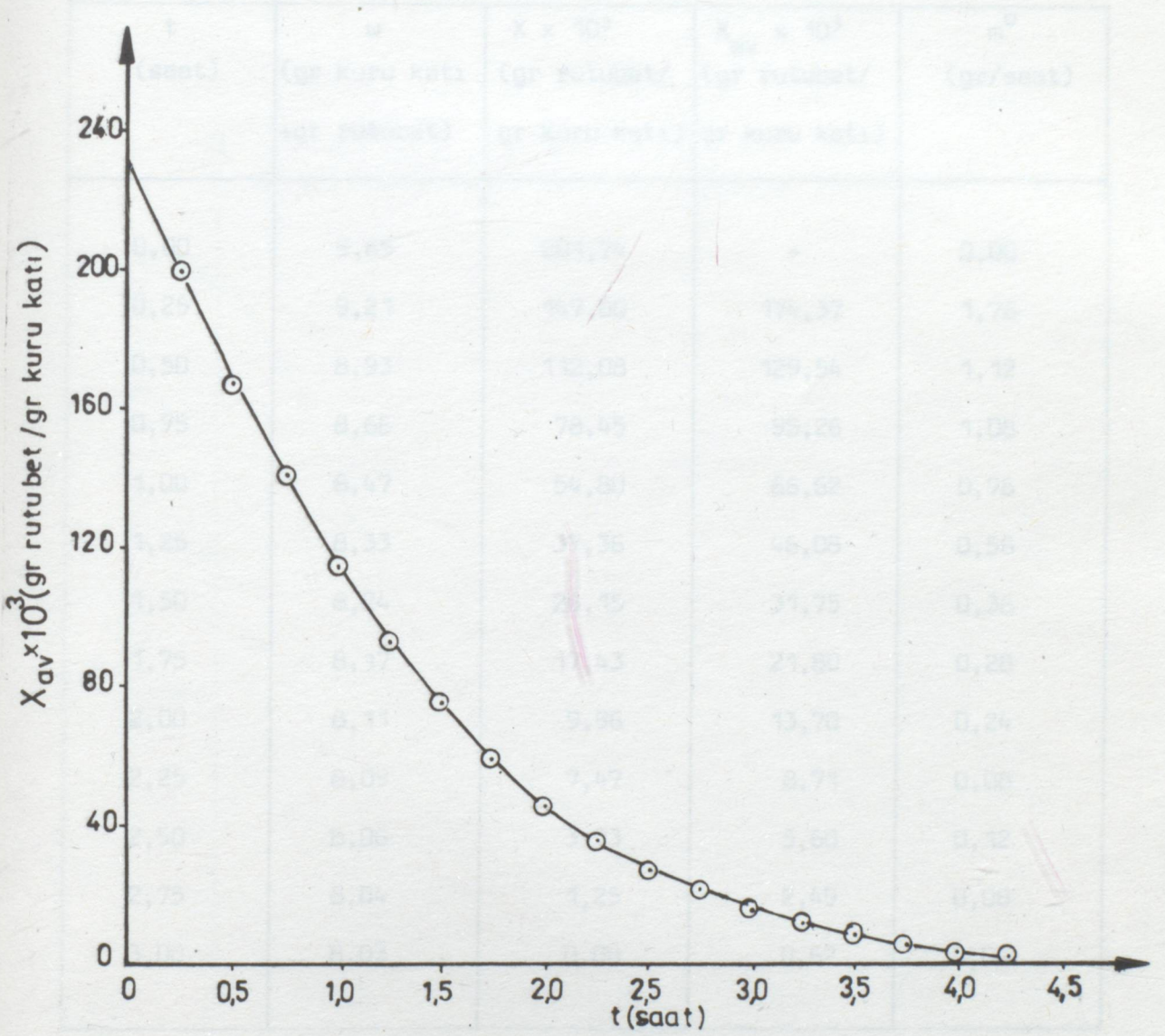
| t (saat) | w (gr kuru katı + gr rutubet) | $X \times 10^3$ (gr rutubet/ gr kuru katı) | $X_{av} \times 10^3$ (gr rutubet/ gr kuru katı) | m^0 (gr/saat) |
|-------------|-------------------------------------|--|---|--------------------|
| 0,00 | 13,87 | 217,73 | - | 0,00 |
| 0,25 | 13,46 | 181,73 | 199,73 | 1,64 |
| 0,50 | 13,14 | 153,64 | 167,70 | 1,28 |
| 0,75 | 12,83 | 126,42 | 140,00 | 1,24 |
| 1,00 | 12,56 | 102,72 | 114,60 | 1,08 |
| 1,25 | 12,35 | 84,28 | 93,50 | 0,84 |
| 1,50 | 12,14 | 65,84 | 75,06 | 0,84 |
| 1,75 | 11,98 | 51,80 | 58,82 | 0,64 |
| 2,00 | 11,84 | 39,50 | 45,65 | 0,56 |
| 2,25 | 11,73 | 29,85 | 34,67 | 0,44 |
| 2,50 | 11,65 | 22,82 | 26,33 | 0,32 |
| 2,75 | 11,59 | 17,56 | 20,20 | 0,24 |
| 3,00 | 11,54 | 13,17 | 15,36 | 0,20 |
| 3,25 | 11,50 | 9,65 | 11,41 | 0,16 |
| 3,50 | 11,46 | 6,14 | 7,89 | 0,16 |
| 3,75 | 11,44 | 4,39 | 5,26 | 0,08 |
| 4,00 | 11,41 | 2,63 | 3,51 | 0,12 |
| 4,25 | 11,39 | 0,00 | 1,31 | 0,08 |

Çizelge-3.2.2.İ. Kuru termometre sıcaklığı 312 K olduğu kuruma ortamındaki kuruma sonuçları.

Kurutma Şartları : T_0 : 312 K

β : 0,23

T_{∞} : 295 K



Şekil 3.2.6. Kuru termometre sıcaklığı 302 K olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi.

Çizelge-3.2.2.2. Kuru termometre sıcaklığı 312 K olması durumunda-
daki kurutma sonuçları.

Kurutma Şartları : T_G : 312 K

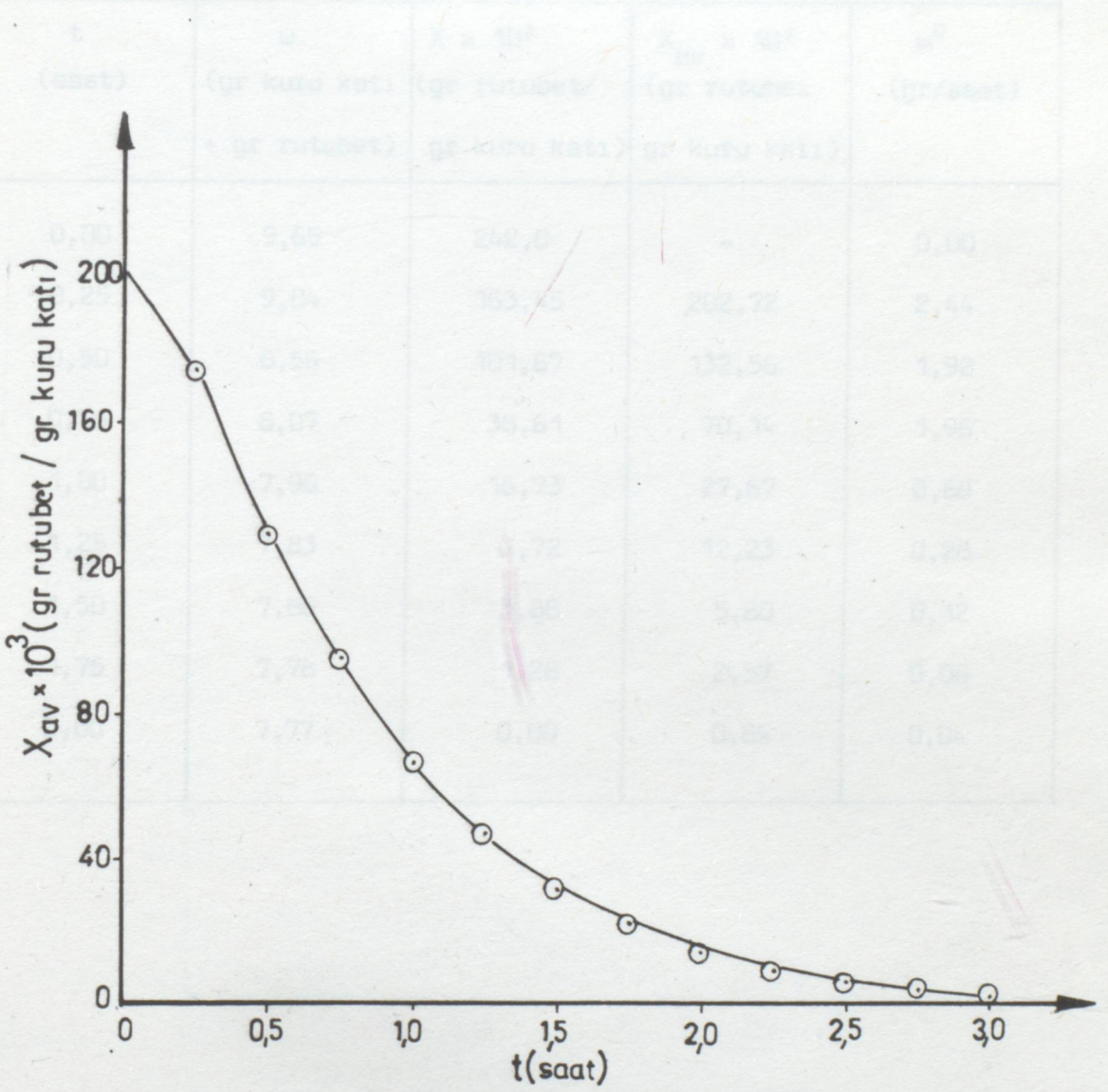
\emptyset : 0,23

T_w : 295 K

| t (saat) | w (gr kuru katı +gr rutubet) | $X \times 10^3$ (gr rutubet/ gr kuru katı) | $X_{av} \times 10^3$ (gr rutubet/ gr kuru katı) | m^0 (gr/saat) |
|-------------|------------------------------------|--|---|--------------------|
| 0,00 | 9,65 | 201,74 | - | 0,00 |
| 0,25 | 9,21 | 147,00 | 174,37 | 1,76 |
| 0,50 | 8,93 | 112,08 | 129,54 | 1,12 |
| 0,75 | 8,66 | 78,45 | 95,26 | 1,08 |
| 1,00 | 8,47 | 54,80 | 66,62 | 0,76 |
| 1,25 | 8,33 | 37,36 | 46,08 | 0,56 |
| 1,50 | 8,24 | 26,15 | 31,75 | 0,36 |
| 1,75 | 8,17 | 17,43 | 21,80 | 0,28 |
| 2,00 | 8,11 | 9,96 | 13,70 | 0,24 |
| 2,25 | 8,09 | 7,47 | 8,71 | 0,08 |
| 2,50 | 8,06 | 3,73 | 5,60 | 0,12 |
| 2,75 | 8,04 | 1,25 | 2,49 | 0,08 |
| 3,00 | 8,03 | 0,00 | 0,62 | 0,04 |

Özellikler: 3.2.2.3. Kuru termometre sıcaklığı: 312 K nispeten durulan-
madaki rutubet oranları.

Kurutma Şartları : T_g : 312 K θ : 0,15
 T_a : 297 K



Şekil 3.2.7. Kuru termometre sıcaklığı 312 K olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi.

Çizelge-3.2.2.3. Kuru termometre sıcaklığı 320 K olması durumunda-
daki kurutma sonuçları.

Kurutma Şartları : T_G : 320 K

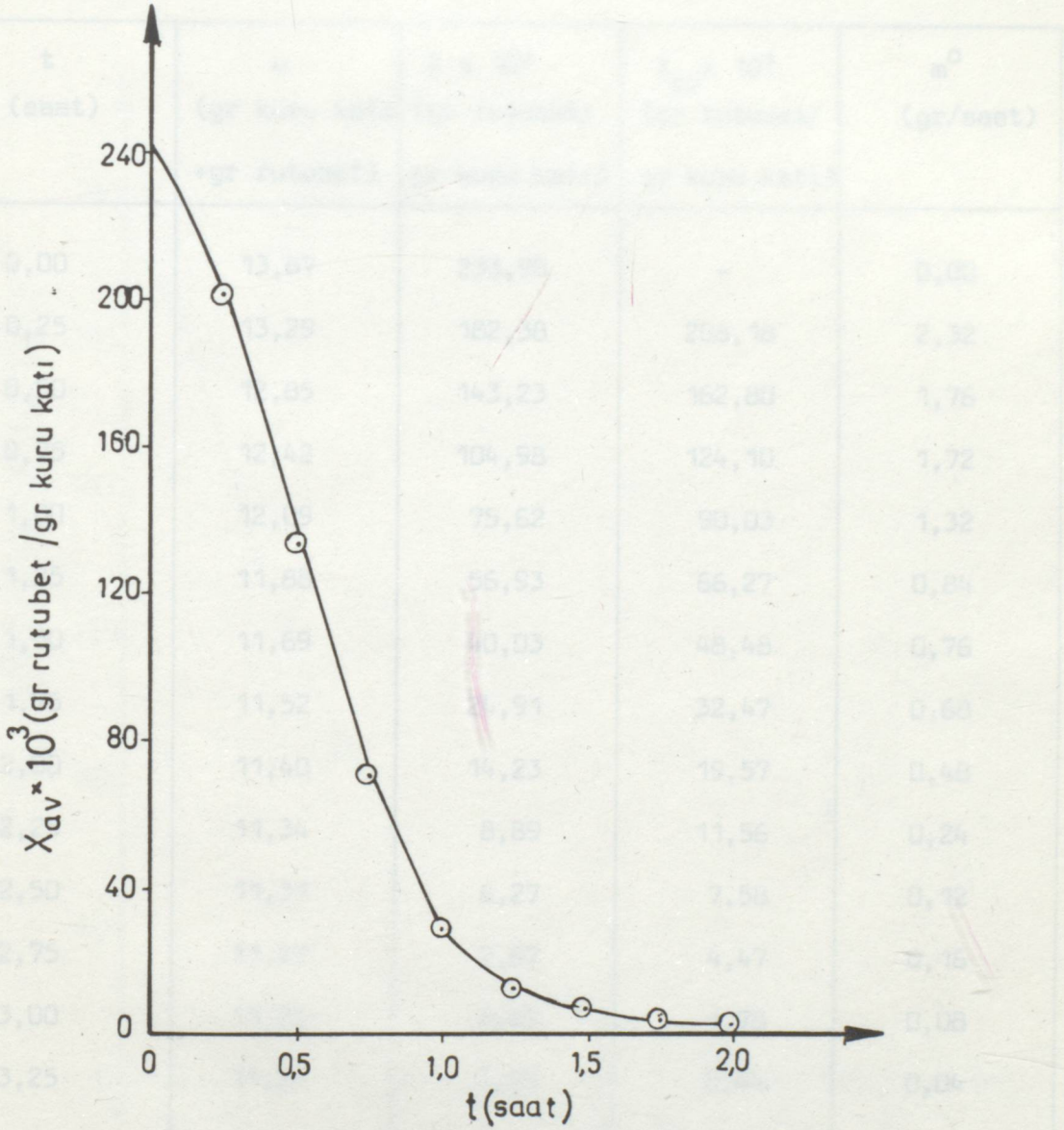
\emptyset : 0,15

T_w : 297 K

| t (saat) | w (gr kuru katı + gr rutubet) | $X \times 10^3$ (gr rutubet/ gr kuru katı) | $X_{av} \times 10^3$ (gr rutubet gr kuru katı) | m^0 (gr/saat) |
|-------------|-------------------------------------|--|--|--------------------|
| 0,00 | 9,65 | 242,0 | - | 0,00 |
| 0,25 | 9,04 | 163,45 | 202,72 | 2,44 |
| 0,50 | 8,56 | 101,67 | 132,56 | 1,92 |
| 0,75 | 8,07 | 38,61 | 70,14 | 1,96 |
| 1,00 | 7,90 | 16,73 | 27,67 | 0,68 |
| 1,25 | 7,83 | 7,72 | 12,23 | 0,28 |
| 1,50 | 7,80 | 3,86 | 5,80 | 0,12 |
| 1,75 | 7,78 | 1,28 | 2,57 | 0,08 |
| 2,00 | 7,77 | 0,00 | 0,64 | 0,04 |

Çizelge-3.2.8. Kuru termometre sıcaklığı 323 K olduğu durumda kuruma eğrisi.

Kurutma şartları: $T = 323$ K $H = 0,11$



Şekil 3.2.8. Kuru termometre sıcaklığı 320 K olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi.

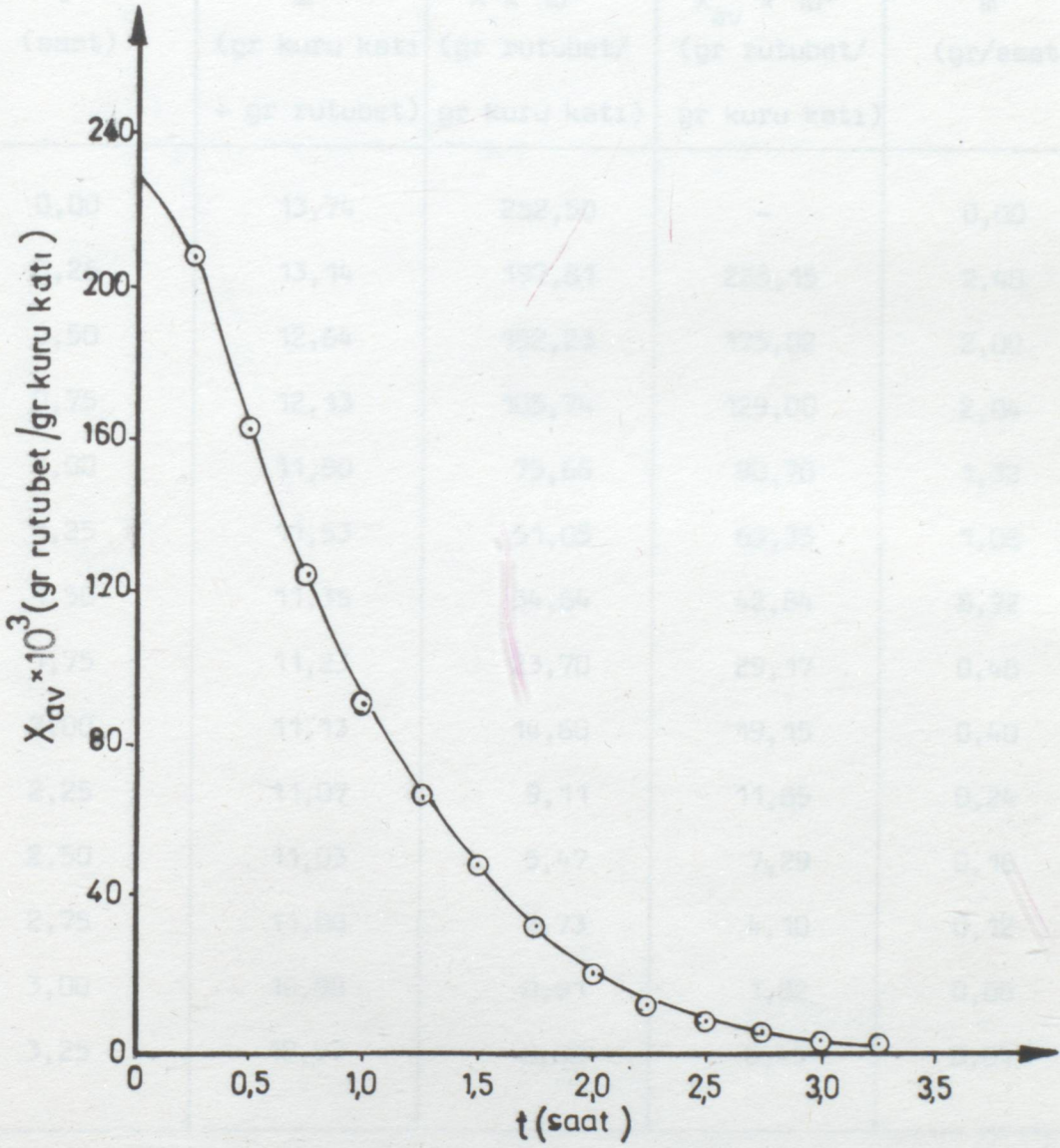
Çizelge-3.2.2.4. Kuru termometre sıcaklığı 323 K olması durumunda-
daki kurutma sonuçları.

Kurutma Şartları : T_G : 323 K

\emptyset : 0,11

T_w : 298 K

| t (saat) | w (gr kuru katı +gr rutubet) | $X \times 10^3$ (gr rutubet/ gr kuru katı) | $X_{av} \times 10^3$ (gr rutubet/ gr kuru katı) | m^0 (gr/saat) |
|-------------|------------------------------------|--|---|--------------------|
| 0,00 | 13,87 | 233,98 | - | 0,00 |
| 0,25 | 13,29 | 182,38 | 208,18 | 2,32 |
| 0,50 | 12,85 | 143,23 | 162,80 | 1,76 |
| 0,75 | 12,42 | 104,98 | 124,10 | 1,72 |
| 1,00 | 12,09 | 75,62 | 90,03 | 1,32 |
| 1,25 | 11,88 | 56,93 | 66,27 | 0,84 |
| 1,50 | 11,69 | 40,03 | 48,48 | 0,76 |
| 1,75 | 11,52 | 24,91 | 32,47 | 0,68 |
| 2,00 | 11,40 | 14,23 | 19,57 | 0,48 |
| 2,25 | 11,34 | 8,89 | 11,56 | 0,24 |
| 2,50 | 11,31 | 6,27 | 7,58 | 0,12 |
| 2,75 | 11,27 | 2,67 | 4,47 | 0,16 |
| 3,00 | 11,25 | 0,89 | 1,78 | 0,08 |
| 3,25 | 11,24 | 0,00 | 0,44 | 0,04 |



Şekil 3.2.9. Kuru termometre sıcaklığı 323 K olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi.

Çizelge-3.2.2.5. Kuru termometre sıcaklığı 327 K olması durumundaki kurutma sonuçları.

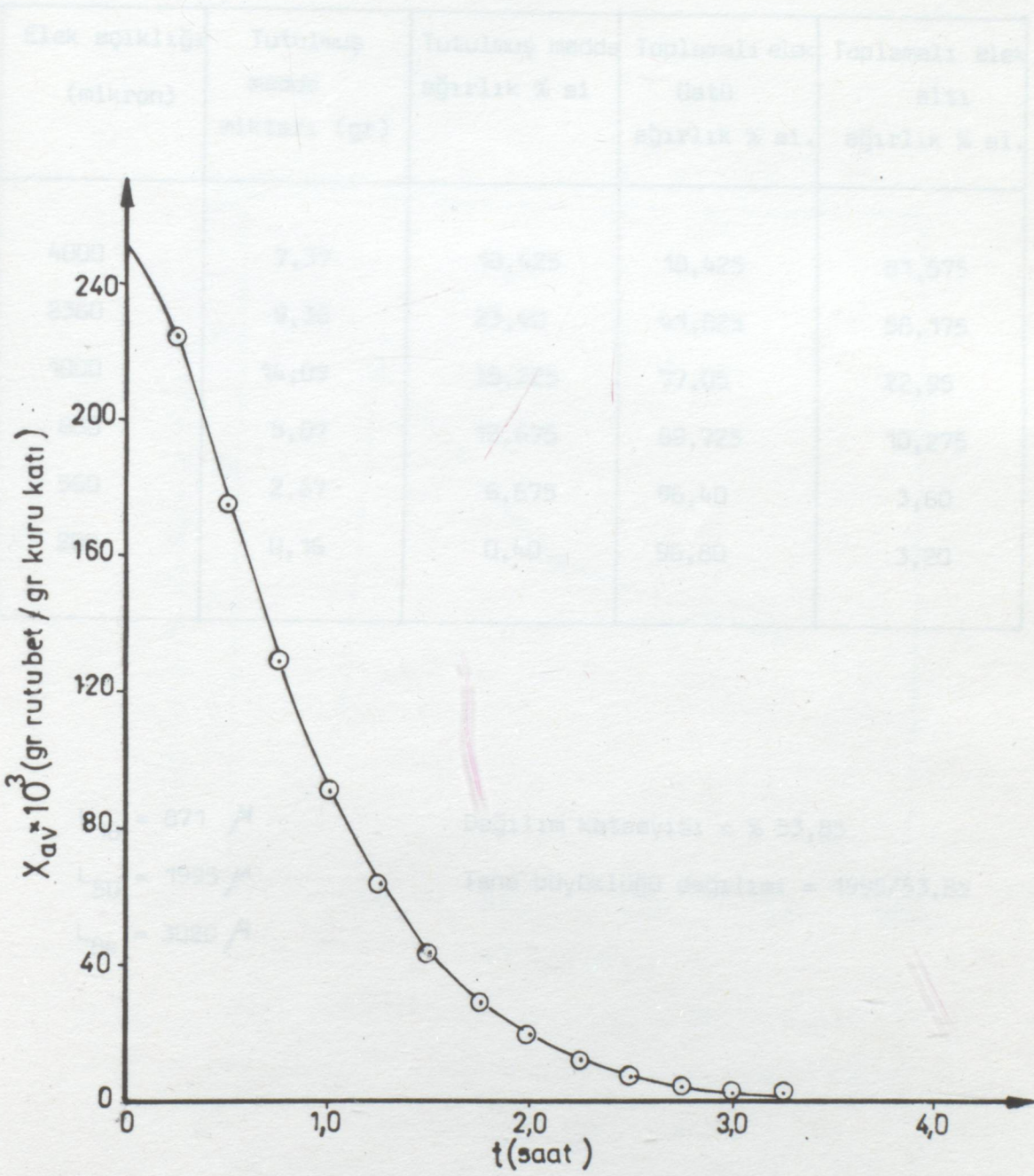
Kurutma Şartları : T_G : 327 K

\emptyset : 0,10

T_w : 300 K

| t (saat) | w (gr kuru katı + gr rutubet) | $X \times 10^3$ (gr rutubet/ gr kuru katı) | $X_{av} \times 10^3$ (gr rutubet/ gr kuru katı) | m^0 (gr/saat) |
|-------------|-------------------------------------|--|---|--------------------|
| 0,00 | 13,74 | 252,50 | - | 0,00 |
| 0,25 | 13,14 | 197,81 | 225,15 | 2,40 |
| 0,50 | 12,64 | 152,23 | 175,02 | 2,00 |
| 0,75 | 12,13 | 105,74 | 129,00 | 2,04 |
| 1,00 | 11,80 | 75,66 | 90,70 | 1,32 |
| 1,25 | 11,53 | 51,05 | 63,35 | 1,08 |
| 1,50 | 11,35 | 34,64 | 42,84 | 0,72 |
| 1,75 | 11,23 | 23,70 | 29,17 | 0,48 |
| 2,00 | 11,13 | 14,60 | 19,15 | 0,40 |
| 2,25 | 11,07 | 9,11 | 11,85 | 0,24 |
| 2,50 | 11,03 | 5,47 | 7,29 | 0,16 |
| 2,75 | 11,00 | 2,73 | 4,10 | 0,12 |
| 3,00 | 10,98 | 0,91 | 1,82 | 0,08 |
| 3,25 | 10,97 | 0,00 | 0,45 | 0,04 |

Şekil-3.2.3.1. Partikül büyüklüğüne göre yağ madde miktarının elek sınıfına göre dağılımı (Elek sıklığı: 4000, 2360, 1000, 500 ve 250 µ)



Şekil 3.2.10. Kuru termometre sıcaklığı 327 K olduğu koşullarda rutubet-zaman arasındaki kuruma eğrisi.

Çizelge-3.2.3.1. Partikül halindeki yaş maddenin elek analiz sonuçları (Elek açıklığı: 4000,2360,1000,800,560 ve 200 μ)

| Elek açıklığı (mikron) | Tutulmuş madde miktarı (gr) | Tutulmuş madde ağırlık % si | Toplamalı elek üstü ağırlık % si. | Toplamalı elek altı ağırlık % si. |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---|---|
| 4000 | 7,37 | 18,425 | 18,425 | 81,575 |
| 2360 | 9,36 | 23,40 | 41,825 | 58,175 |
| 1000 | 14,09 | 35,225 | 77,05 | 22,95 |
| 800 | 5,07 | 12,675 | 89,725 | 10,275 |
| 560 | 2,67 | 6,675 | 96,40 | 3,60 |
| 200 | 0,16 | 0,40 | 96,80 | 3,20 |

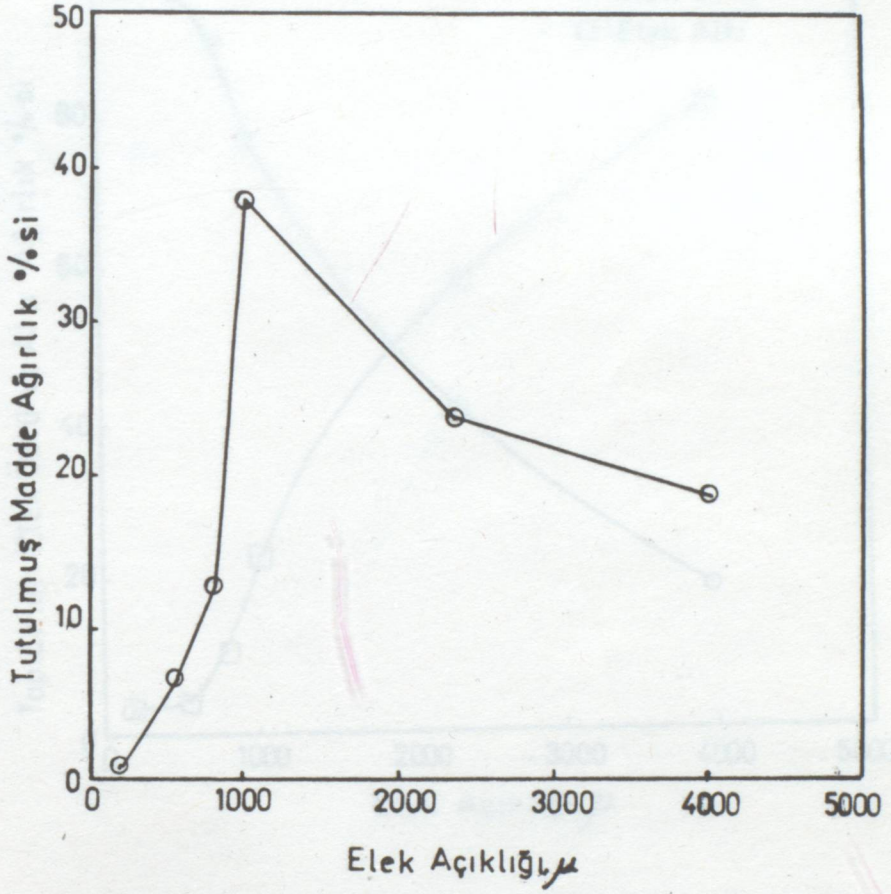
$$L_{16} = 871 \mu$$

$$L_{50} = 1995 \mu$$

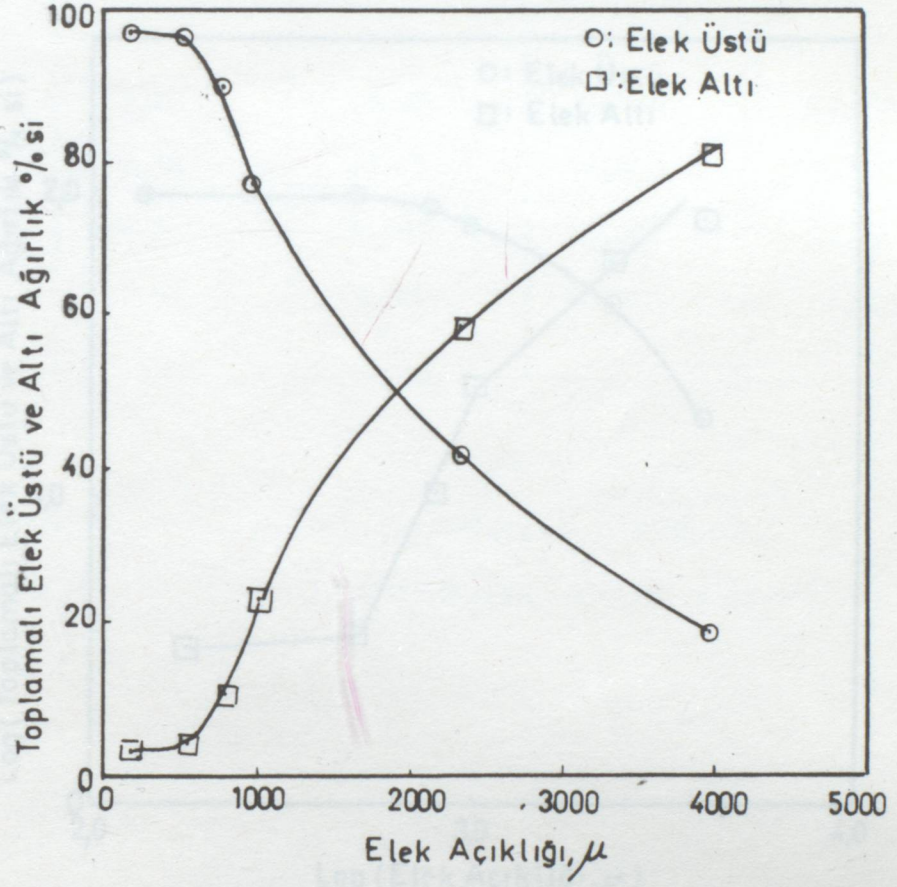
$$L_{84} = 3020 \mu$$

$$\text{Dağılım katsayısı} = \% 53,85$$

$$\text{Tane büyüklüğü dağılımı} = 1995/53,85$$



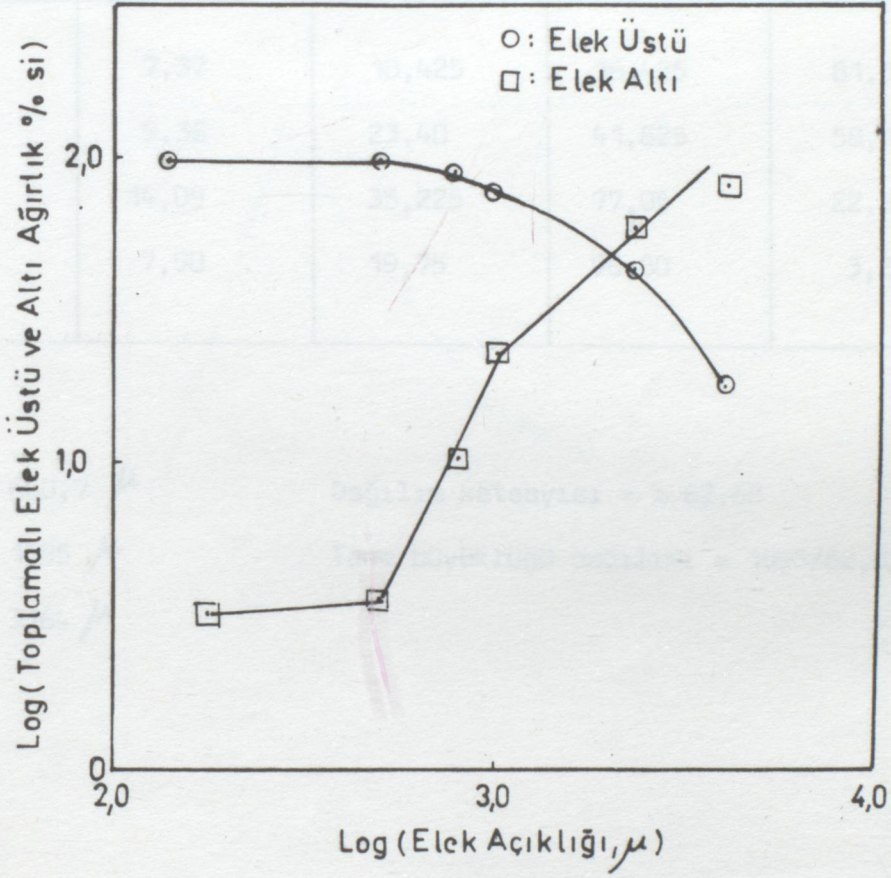
Şekil 3.2.11. Elek analiz sonuçları frekans poligonunun aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.



Şekil 3.2.12. Elek analiz sonuçlarının aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.

Çizelge-3.2.13.2. Farklı kalınlıktaki yığının elek analiz

sonuçları (Elek açıklığı: 4000, 2360, 800 ve 200 μ)



Şekil 3.2.13. Elek analiz sonuçlarının logaritmik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.

Çizelge-3.2.3.2. Partikül halindeki yaş maddenin elek analiz

sonuçları (Elek açıklığı: 4000,2360,800 ve 200 μ)

| Elek açıklığı (mikron) | Tutulmuş madde miktarı (gr) | Tutulmuş madde ağırlık % si. | Toplamalı elek üstü ağırlık % si. | Toplamalı elek altı ağırlık % si. |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|---|
| 4000 | 7,37 | 18,425 | 18,425 | 81,575 |
| 2360 | 9,36 | 23,40 | 41,825 | 58,175 |
| 800 | 14,09 | 35,225 | 77,05 | 22,95 |
| 200 | 7,90 | 19,75 | 96,80 | 3,20 |

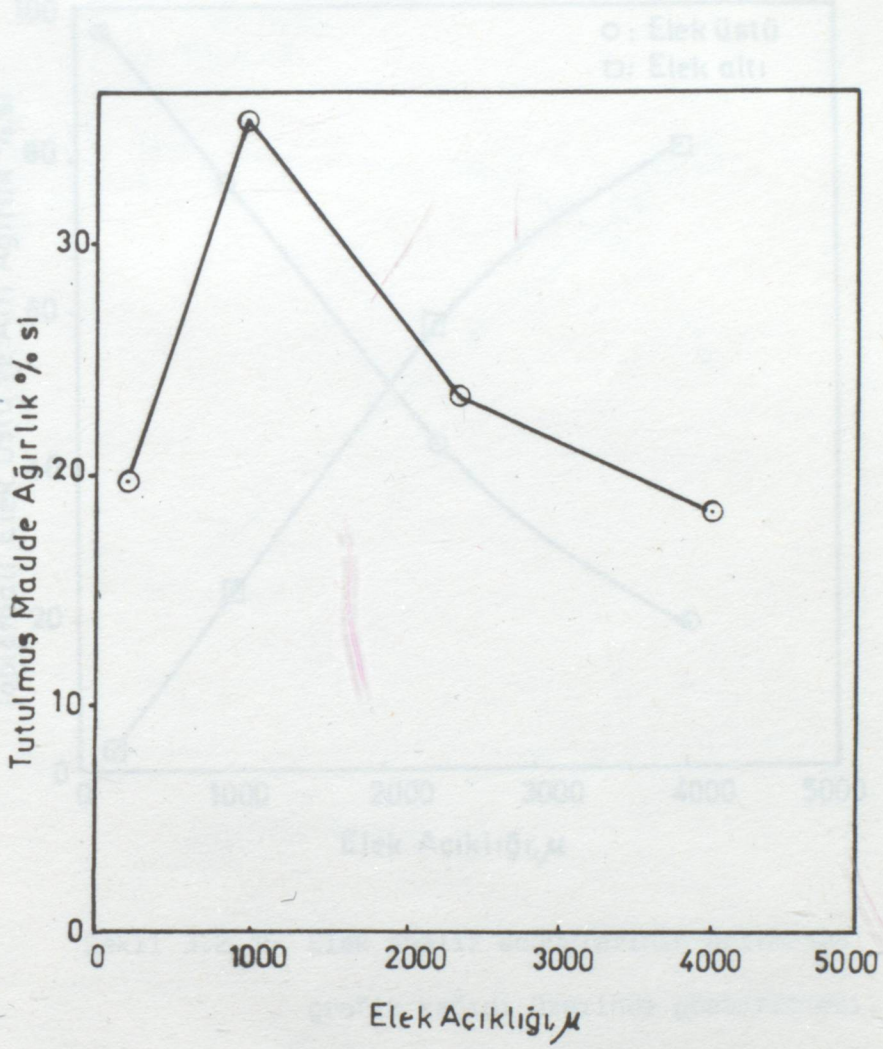
$L_{16} = 660,7 \mu$

$L_{50} = 1995 \mu$

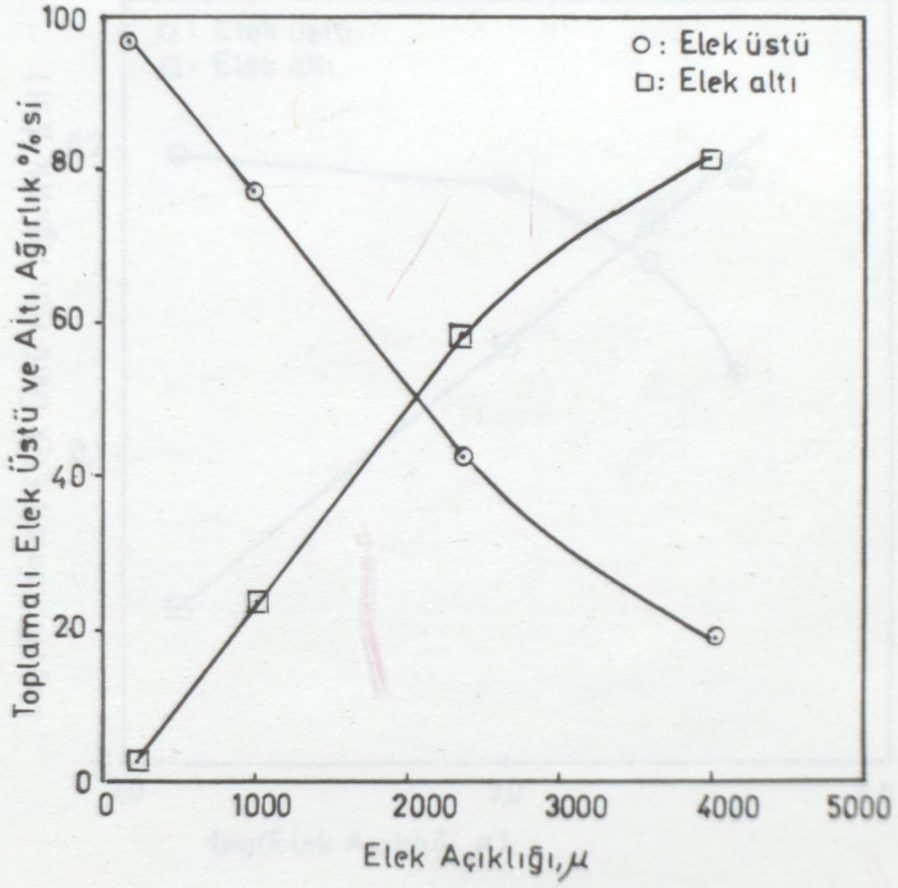
$L_{84} = 3164 \mu$

Dağılım katsayısı = % 62,68

Tane büyüklüğü dağılımı = 1995/62,08

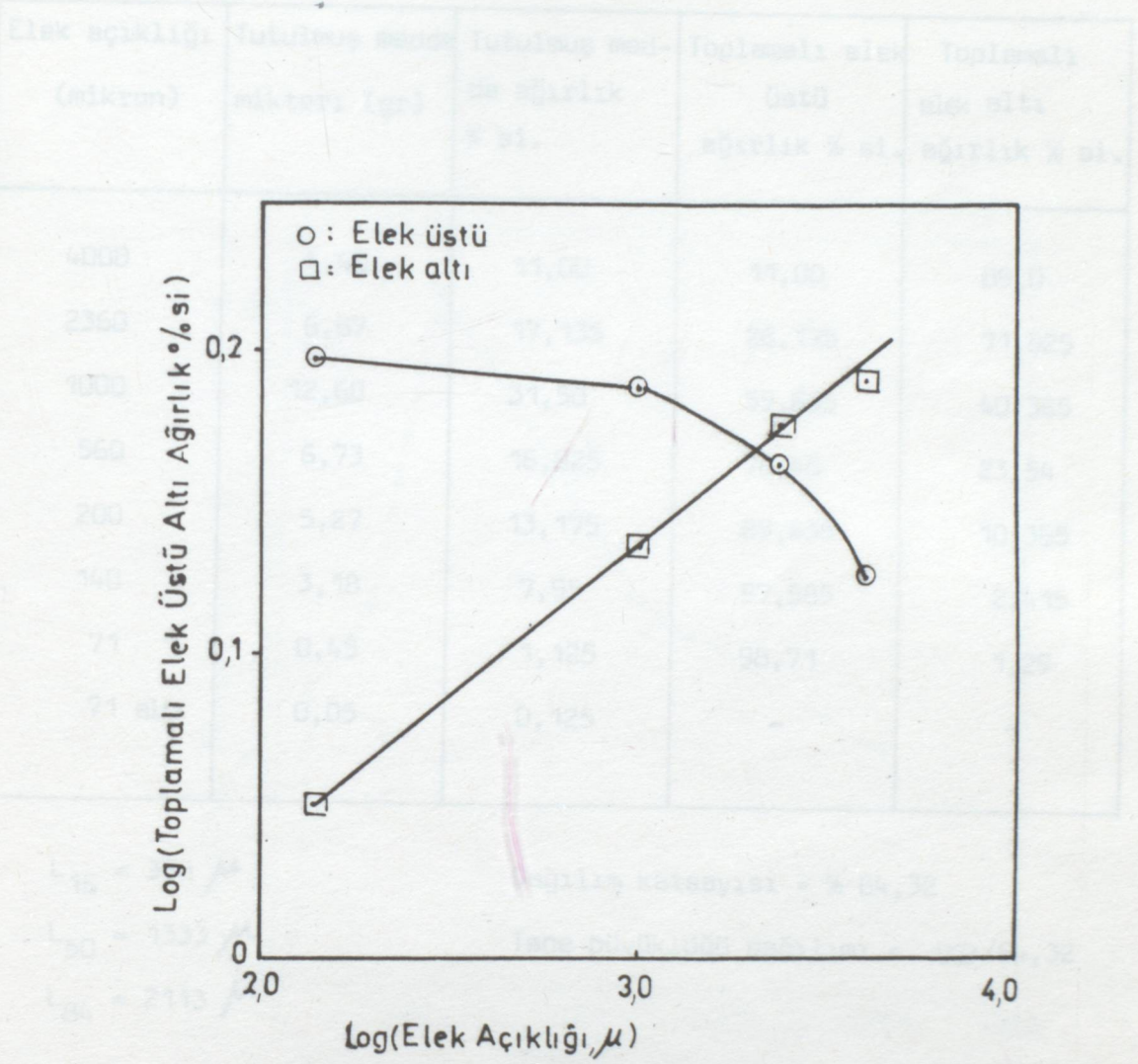


Şekil 3.2.14. Elek analiz sonuçları frekans poligonunun aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.



Şekil 3.2.15. Elek analiz sonuçlarının aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.

Çizelge-3.2.3.3. Partikül halindeki kuru maddenin elek analiz sonuçları (Elek açıklığı: 4000, 2366, 1000, 560, 200, 140 ve 71 μ)



Şekil 3.2.16. Elek analiz sonuçlarının logaritmik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.

Çizelge-3.2.3.3. Partikül halindeki kuru maddenin elek analiz sonuçları (Elek açıklığı:4000,2360,1000,560,200,140 ve 71 μ)

| Elek açıklığı (mikron) | Tutulmuş madde miktarı (gr) | Tutulmuş madde ağırlık % si. | Toplamalı elek üstü ağırlık % si. | Toplamalı elek altı ağırlık % si. |
|------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 4000 | 4,40 | 11,00 | 11,00 | 89,0 |
| 2360 | 6,87 | 17,135 | 28,175 | 71,825 |
| 1000 | 12,60 | 31,50 | 59,635 | 40,365 |
| 560 | 6,73 | 16,825 | 76,46 | 23,54 |
| 200 | 5,27 | 13,175 | 89,635 | 10,365 |
| 140 | 3,18 | 7,95 | 97,585 | 2,415 |
| 71 | 0,45 | 1,125 | 98,71 | 1,29 |
| 71 altı | 0,05 | 0,125 | - | - |

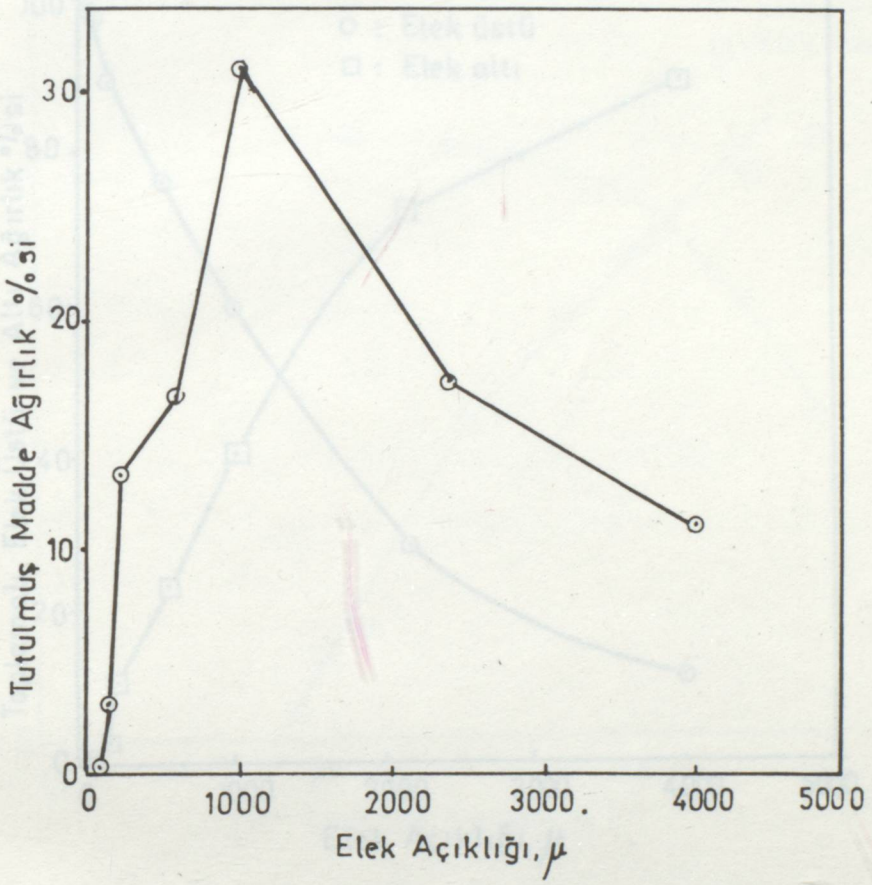
$$L_{16} = 398 \mu$$

$$L_{50} = 1333 \mu$$

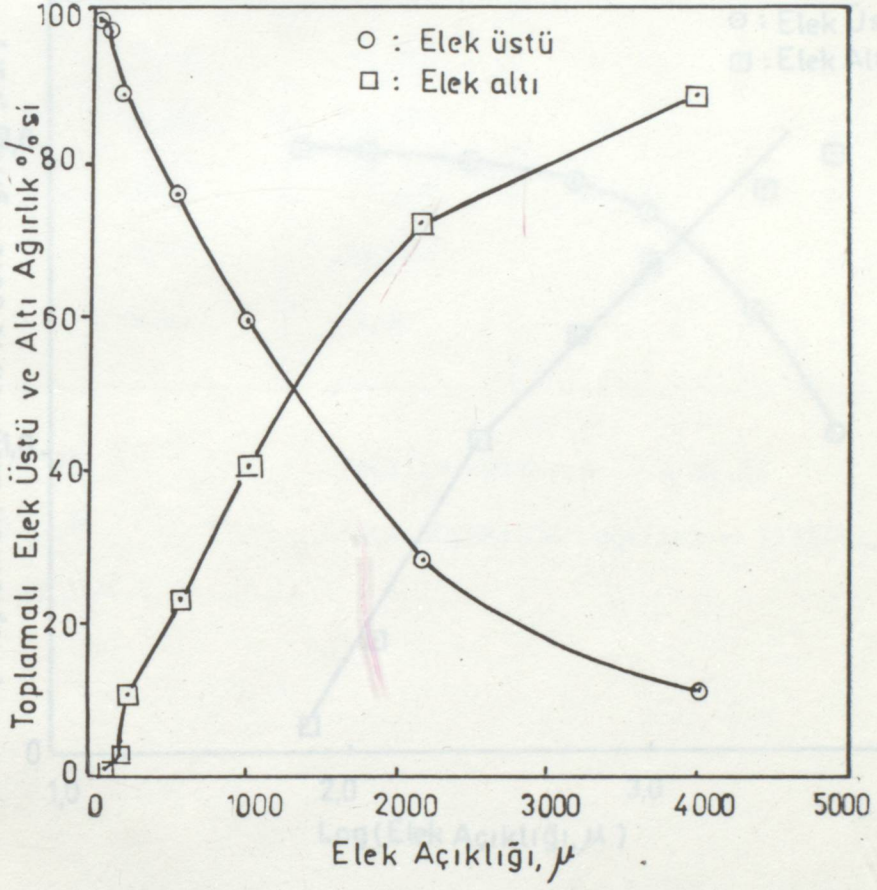
$$L_{84} = 2113 \mu$$

$$\text{Dağılım katsayısı} = \% 64,32$$

$$\text{Tane büyüklüğü dağılımı} = 1333/64,32$$

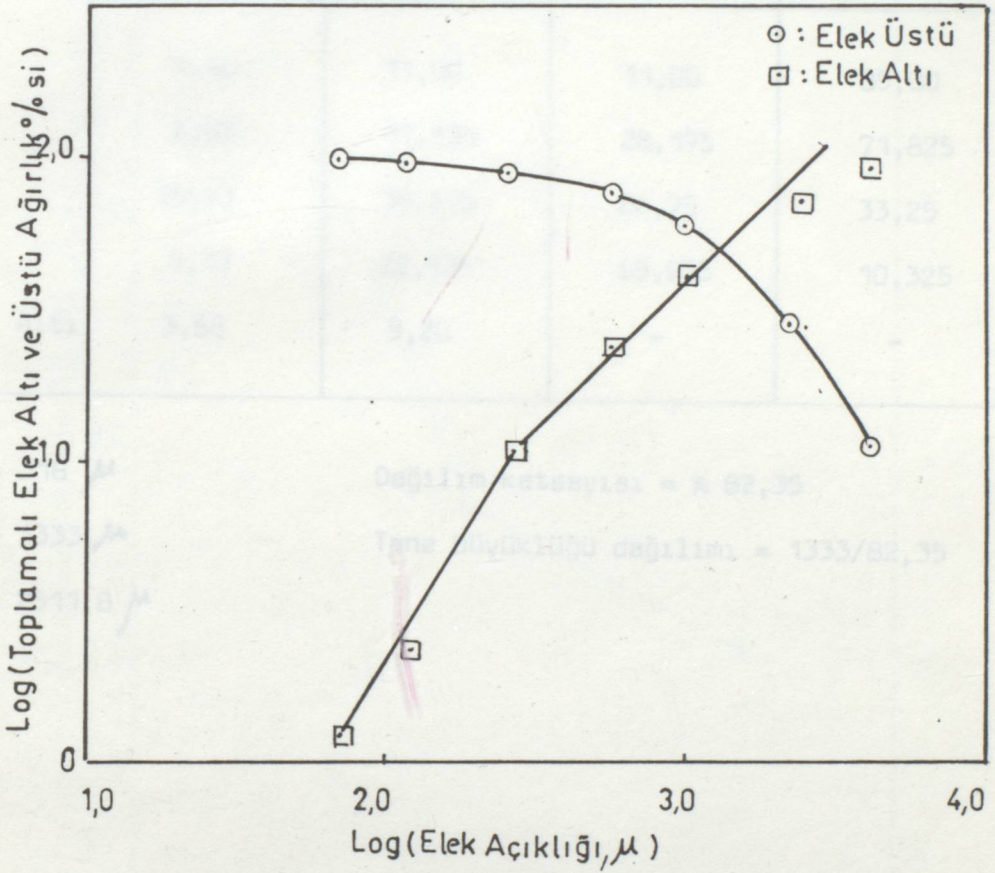


Şekil 3.2.17. Elek analiz sonuçları frekans poligonunun aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.



Şekil 3.2.18. Elek analiz sonuçlarının aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.

Şekil 3.2.19. Partikül halindeki kuru maddelerin elek analizi sonuçları (Elek açıklığı: 4000, 2360, 800, 200, 200)



Şekil 3.2.19. Elek analiz sonuçlarının logaritmik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.

Çizelge-3.2.3.4. Partikül halindeki kuru maddenin elek analiz

sonuçları (Elek açıklığı:4000,2360,800 ve 200 μ)

| Elek açıklığı (mikron) | Tutulmuş madde miktarı (gr) | Tutulmuş madde ağırlık % si. | Toplamalı elek üstü ağırlık % si. | Toplamalı elek altı ağırlık % si. |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|---|
| 4000 | 4,40 | 11,00 | 11,00 | 89,00 |
| 2360 | 6,87 | 17,135 | 28,175 | 71,825 |
| 800 | 15,43 | 38,575 | 66,75 | 33,25 |
| 200 | 9,17 | 22,925 | 89,675 | 10,325 |
| 200 Altı | 3,68 | 9,20 | - | - |

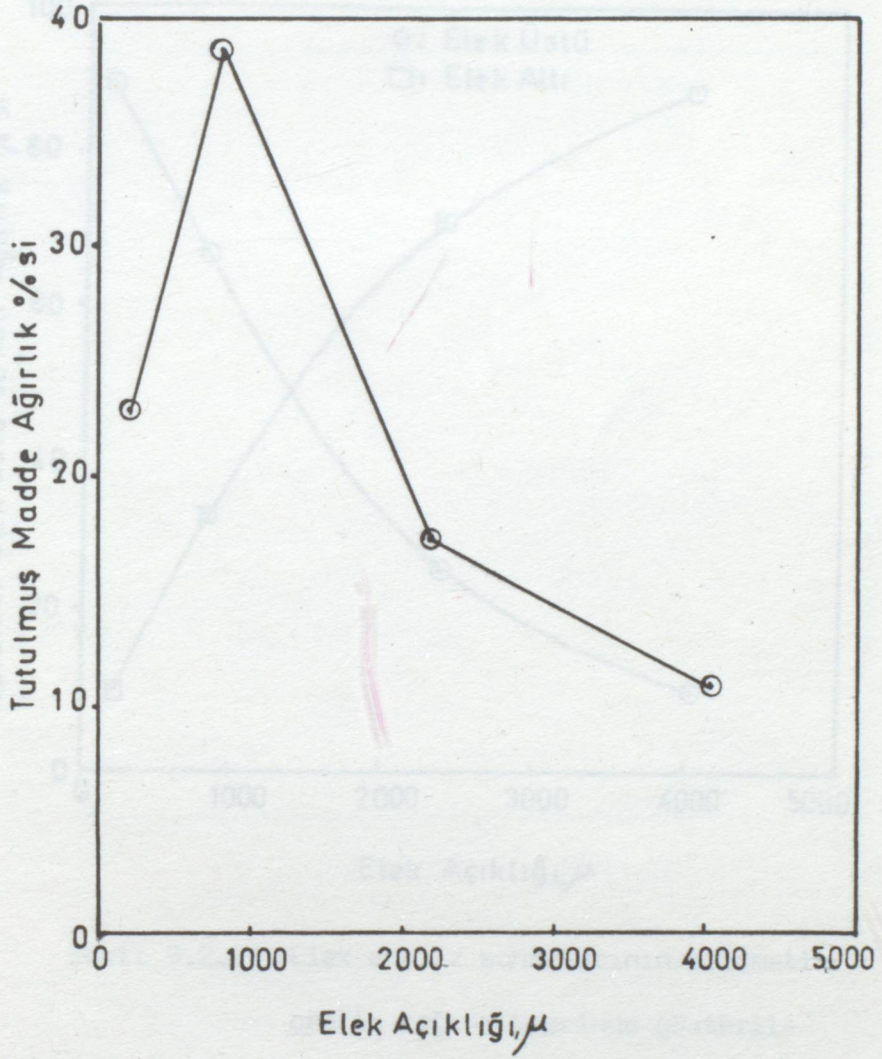
$$L_{16} = 316 \mu$$

$$L_{50} = 1333 \mu$$

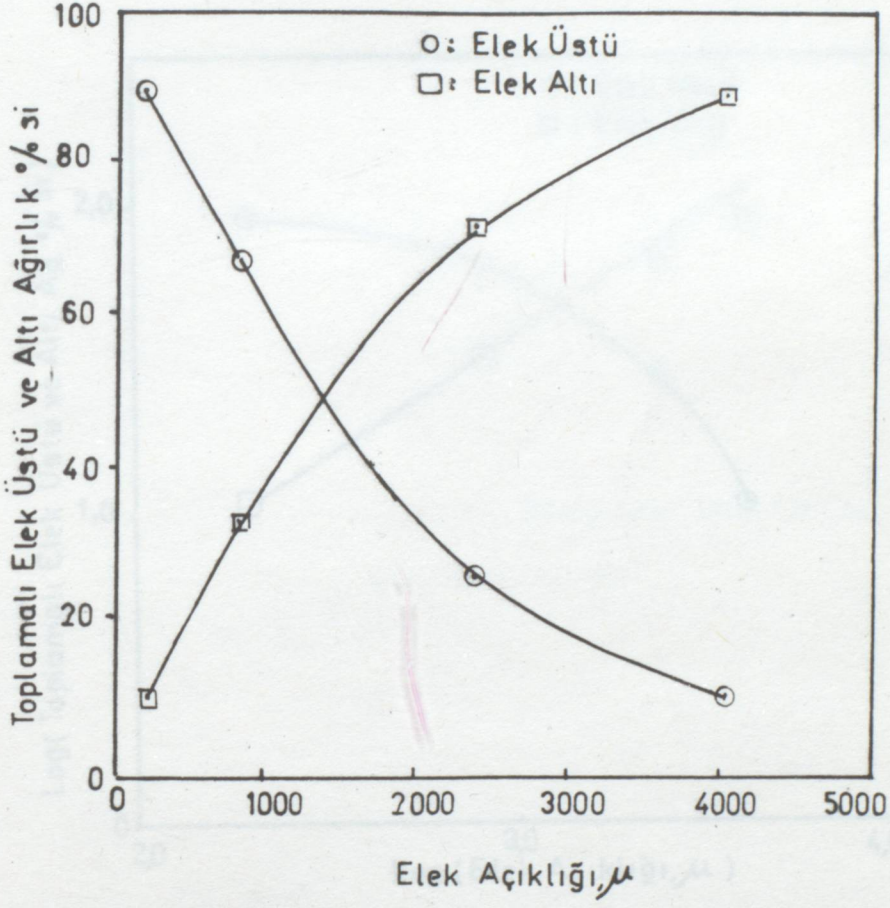
$$L_{84} = 2511,8 \mu$$

$$\text{Dağılım katsayısı} = \% 82,35$$

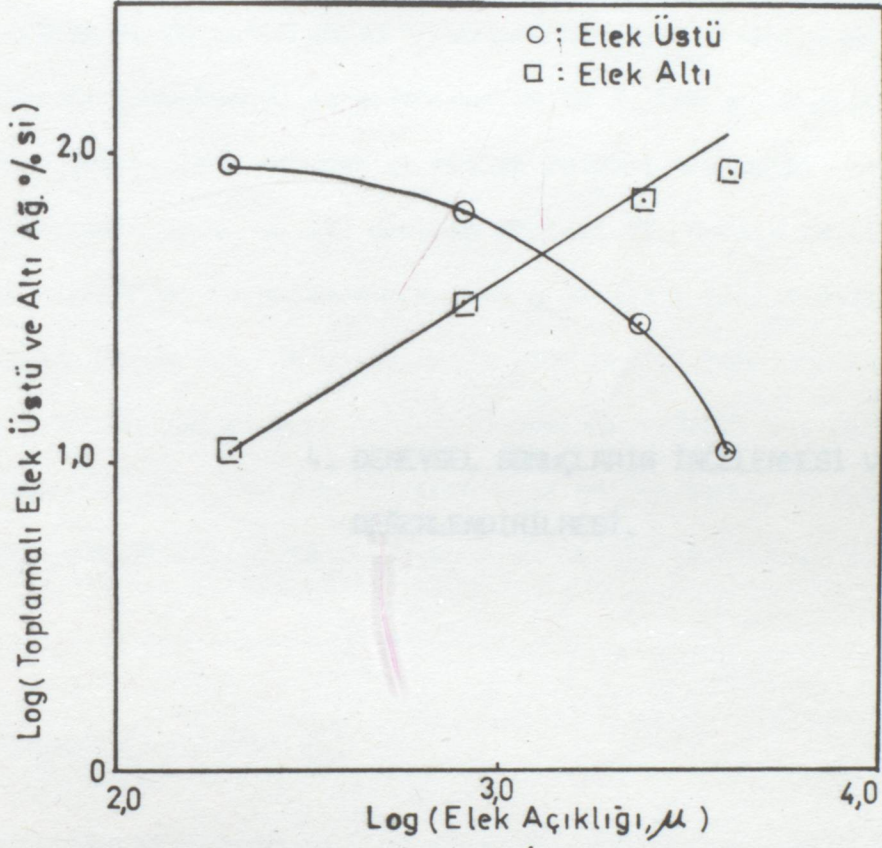
$$\text{Tane büyüklüğü dağılımı} = 1333/82,35$$



Şekil 3.2.20. Elek analiz sonuçları frekans poligonunun aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.



Şekil 3.2.21. Elek analiz sonuçlarının aritmetik grafik kağıdı üzerinde gösterilmesi.



Şekil 3.2.22. | Elek analiz sonuçlarının logarit-
mik grafik kağıdı üzerinde gös-
terilmesi.

4. DENEYSEL SONUÇLARIN İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bölüm 3.2'de anlatıldığı gibi hava akımında kurutulan ilaç tableti yapımında kullanılan kaplama maddelerinin her 15 dakikada bir tartımı alınarak, bu işleme maddelerin sabit tartımı alınıncaya dek devam edildi. Alınan bu tartımlarından faydalanarak çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlardan yararlanarak Bölüm 3.3'de anlatıldığı gibi Kuruma debisi, tüm rutubet ve mutlak rutubet miktarları hesaplanarak çizelgelerde toplu bir şekilde gösterildi. Ayrıca bu çizelgelerdeki verilerden faydalanarak kuruma grafikleri çizilmiştir.

Bunun yanında Bölüm 3.1.'de anlatıldığı gibi hazırlanan tanecik yapıya sahip maddenin yaş ve kuru haldeki durumları itibari ile elek analizleri yapılmış olup, bu analizlerden elde edilen sonuçlar çizelgeler halinde gösterildi. Buna ilaveten elek analiz grafikleri çizilmiştir.

4.1. RUTUBET-ZAMAN EĞRİLERİ

Rutubet-zaman eğrilerinden ilaç sanayinde kullanılan tablet kaplama maddelerinin belli bir denge rutubet miktarına kadar kuruduğu anlaşılmaktadır. Denge rutubet değeri, maddenin tipine göre önemli derecede değişmektedir. Örneğin, gözenekli bir yapıya sahip olmayan ve çözünürlüğü bulunmayan katı maddeler denge rutubet miktarı hemen hemen sıfırdır. Yün, kağıt, tekstil, sabun ve deri gibi, lifli veya kolloidal yapıya sahip bir kısım organik maddeler, temasa geldikleri havanın sıcaklık ve rutubetine bağlıdır ve denge rutubet miktarı gösterirler. Hava sıcaklığının yükseltilmesi, katı maddeye ait denge rutubet miktarını azaltır.

Rutubet-zaman eğrilerinden de görüleceği gibi, rutubetin önemli bir miktarı sabit debi periyodu ile uzaklaştırıldığı gözlenebilmektedir. Bu periyot süresince zaman kısadır. Azalan debi periyodunda uzaklaştırılan rutubetin miktarı (gr rutubet/gr kuru katı) az olmakla beraber, bu periyot için gerekli zaman çoğunlukla oldukça uzundur. Bunun bir sonucu olarak azalan debi periyodu, kuruma zamanı üzerinde önemli bir tesire sahiptir.

Küre halindeki maddelerin kurutulması sırasında küre çaplarının artışı ile birlikte kuruma zamanının artması doğaldır. Fakat bu şekilde kurutulan maddelerinin, kuruma yüzeylerinde bir kabuk teşekkülü, kuruma zamanını daha da artırmaktadır. Bu nedenle böyle maddelerin kurutulmaları, ikinci çalışmada yapıldığı gibi partikül haline getirerek yapılması daha iyi sonuçlar verir. Bunun yanında kuru termometre sıcaklığının artışı ile rutubetin uzaklaşma hızı artmaktadır. Fakat sıcaklığın fazla yükseltilmesi, küre haline getirilmiş maddelerin kuruma zamanının artmasına neden olmaktadır. Tanecik hale getirilmiş maddelerinin kurutulmalarında ise sıcaklığın artışı ile kuruma zamanı daha da düşer.

4.2. ELEK ANALİZİ GRAFİKLERİ

Partikül halindeki maddenin yaş ve kuru halindeki elek analizleri yapıldı. Partikül halindeki bir maddenin elek analizi, örneği en büyük delik açıklığı bulunan elek üzerine koymak üzere başlatılır. Bu eleğin altında, elek numarası gittikçe küçülen, serinin diğer elekleri yer alır. Elek topluluğu elle veya mekanik olarak, belirli bir şekilde ve

belirli bir süre sarsılır. Her elek üzerinde toplanan madde topluluğu alınıp tartılır.

Elek analizi sonucunda ele geçen veriler yardımıyla 3.2.3.1,3.2.3.2., 3.2.3.3. ve 3.2.3.4. çizelgeleri hazırlandı. Bu çizelgelerdeki verilerden faydalanarak elek analizi grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler bize partikül halindeki maddenin partikül büyüklüğü ve ortalama partikül büyüklüğü hakkında fikir verir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

1- Kurumun faaliyetleri çok aktif olarak devam etmektedir. Kurumun faaliyetlerinde başarılı olarak kurumun amaçlarına ulaşmış olduğu görülmüştür. Bu, kurumun faaliyetleri hakkında değerlendirilmiştir.

2- Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür. Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür. Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür. Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür. Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür.

3- Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür. Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür. Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür.

4- Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür. Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür. Kurumun faaliyetleri, diğer kurumlarla işbirliği yaparak yürütülmüştür.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

1- Kuruma debisinin çok hızlı olması halinde kurutulan maddenin yüzeylerinde kabarcıklar oluşarak kuruma yüzeyinin bozulmasına neden oldu. Bu, küre haline getirilmiş maddenin kurutulması esnasında görüldü.

2- Sıcaklığın yükseltilmesi, küre haldeki maddenin kurumasında olumsuz yönde etki eder. Sebebi, rutubet miktarının azalması ile birlikte katının büzülmesidir. Rutubetin buhar veya sıvı olarak geçişini engelleyen, sert bir kabuk tabakasının teşekkülü, katının iç kısımlarından buharlaşmanın meydana geldiği yüzeye veya sınır bölgesine rutubetin kolaylıkla geçemeyeceği demektir. Kabuk teşekkülü, kurumayı büyük ölçüde yavaşlatır. Dolayısıyla kuruma zamanını artırır. Bu nedenle böyle maddelerin kurutulmalarında sıcaklığı düşük tutmakta fayda var. Ayrıca bu maddeler rutubetli hava ile kurutulurlar.

Sıcaklığın yükseltilmesi, partikül halindeki maddenin kuruma zamanını kısaltır.

3- Kürenin çapı, büyüdükçe kuruma zamanı büyür. Küre halindeki maddelerin kuruma zamanı ile partikül halindeki maddelerin kuruma zamanı karşılaştırıldığında, aynı ağırlığa sahip maddelerin kurutulmalarında, partikül halindeki maddelerin kuruma zamanı diğerine göre daha kısadır.

4- Elek analiz grafiklerden elde edilen sonuç, yağ maddenin ortalama partikül çapı 2000 μ olmasına karşın, kuru maddenin ortalama partikül çapı 1350 μ dolayındadır. Bu da partiküllerdeki rutubetin giderilmesi ile birlikte partikül çapının küçüldüğünü gösterir.

12. Filiz, M., "Ayırma Prosesleri Ders Notları", Y.Ü., Müh.Fak., Kim. Müh.Ööl., İstanbul, 1987-1988, Ders Yılı.
13. Mullin, J.W., "Crystallisation", Hazell, Watson and Viney Ltd., London, 1972.
14. Gülensoy, H., "Kimya Mühendisliği Stokiyometrisi", İ.Ü. Yayınları, İstanbul, 1982.

ÖZGEÇMİŞ

1963'de İskenderun'da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini İskenderun'da tamamladı. 1982 yılında Yıldız Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünde Lisans öğrenimine başlayarak, 1986 yılında tamamladı. Aynı yıl Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliğinde Yüksek Lisans'a başladı. 1988 yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen bu göreve devam etmektedir.

