

637.147.2:664.8.047
Ç 139 k

1996-1987

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU
MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU
PROJE NO. : MAG - 546

KAZEİNİN KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİ VE MODELLEMESİ

Proje Yürütücüsü
Prof. Dr. Temel ÇAKALOZ

Yardımcı Araştırmacılar
Dr. Suzan KINCAL
Rengin USMEN

Ege Üniversitesi Gıda Fakültesi
İZMİR, 1982

TÜRKİYE
BİLİMSEL VE TEKNİK
ARAŞTIRMA KURUMU
KÜTÜPHANESİ

637.147.2 : 664.8.047
Ç 139 k

TÜRKİYE BİLİMSEL ve TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU
MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GURUBU
MAG 546

KAZEİNİN KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİ ve MODELLEMESİ

Prof. Dr. TEMEL ÇAKALOZ
Dr. SUZAN KINCAL
RENGİN USMEN

EGE ÜNİVERSİTESİ GIDA FAKÜLTESİ BORNOVA 1982

14733

TÜRKİYE
BİLİMSEL VE TEKNİK
ARAŞTIRMA KURUMU
KÜTÜPHANESİ

ÖNSÖZ

Araştırmacılar, bu çalışmayı destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu ve deneylerin yürütülmesinde imkânların sağlandığı E.Ü. Gıda ve Ziraat Fakülteleri ile ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü Yöneticilerine teşekkürü borç sayarlar.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
Şekiller ve Çizelgeler	1-1, i-2
Abstrakt	ii
Abstract	iii
1. Giriş	1
2. İlgili Çalışmalar	2
3. Materyal ve Metod	5
3.1. Kazeinat sıvısının hazırlanması	5
3.2. Kazeinat sıvısının kurutulması	6
3.3. Sıvıda ve üründe nem tayini	9
3.4. Kazeinat sıvısının kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi	10
4. Matematiksel Model	10
5. Bulgular	13
5.1. Kazeinat sıvısının özellikleri	13
5.1.1. Sıvının nem içeriği	13
5.1.2. Sıvının kuruma karakteristikleri	14
5.2. Püskürtmeli kurutucuda kurutma işleminin deneysel sonuçları	19
5.2.1. Kurutma işleminde deneysel koşullar	19
5.2.2. Toz kazeinatın nem içeriği	20
5.2.3. Toz kazeinatın tanecek boyutu dağılımı	20
5.3. Püskürtmeli kurutucuda kurutma işleminin teorik model hesaplamaları ve sonuçları	24
5.3.1. Kritik nem içeriğine ulaşma süreleri	24
5.3.2. Diffüzyon mekanizmasına göre kuruma	39
6. Tartışma ve Sonuç	40
7. Özet	43
Semboller	44
Kaynaklar	47

ŞEKİLLER

- Şekil 1. Püskürtmeli kurutucunun çizimi
- Şekil 2. Püskürtmeli kurutucunun fotoğrafı
- Şekil 3. Otomatik terazi + kurutma fırını sistemi
- Şekil 4. Dencysel kuruma eğrisi
- Şekil 5. Kazcinat sıvısının kuruma hızı diyagramı
- Şekil 6. Diffüzyon modeline göre dencysel ağırlık değerlerine karşı gelen $(D_c e/l^2)$ $1/2$ değerlerinin zamanın kareköküyle değişimi
- Şekil 7. Diferansiyel ağırlık kesri cinsinden kazcinat elek analizi
- Şekil 8. Kümülatif tanecek sayısı kesri cinsinden elek analizi ve tanecek grupları ortalama çapları.
- Şekil 9. Partiküllerin mikroskoptaki görüntüsü(X 50)
- Şekil 10. Kurutma modeline göre damlacıkların kurutucu boyunca, nem içeriklerindeki değişimler.

ÇİZELGELER

- Çizelge 1. Kurutucuya girişte çap ve kütle değerleri
Çizelge 2. Dilim 1 (Z=0-0,2 m) koşul ve sonuçları
Çizelge 3. Dilim 2 (Z=0,2-0,4 m) koşul ve sonuçları
Çizelge 4. Dilim 3 (Z=0,4-0,6 m) koşul ve sonuçları
Çizelge 5. Dilim 4 (Z=0,6-0,8 m) koşul ve sonuçları
Çizelge 6. Dilim 5 (Z=0,8-1,0 m) koşul ve sonuçları
Çizelge 7. Dilim 6 (Z=1,0-1,2 m) koşul ve sonuçları
Çizelge 8. Dilim 7 (Z=1,2-1,4 m) koşul ve sonuçları
Çizelge 9. Dilim 8 (Z=1,4-1,6 m) koşul ve sonuçları
Çizelge 10. Dilim 9 (Z=1,6-1,85 m) koşul ve sonuçları
Çizelge 11. Dilim 10 (Z=1,85-2,15 m) koşul ve sonuçları
Çizelge 12. Damlacıkların kritik nem içeriğine ulaşma süreleri
Çizelge 13. Taneciklerin diffüzyon mekenizması uyarınca nem kayıpları

ABSTRAKT

Bu çalışmada, süttten elde edilen asit kazein çökeltisi pH 6.2 de homojenlendirilmiş ve spray (püskürtmeli) kurutucu pilot tesisinde 200°C da sıcak hava ile doğru akımda temasa getirilerek % 2.4 nem içeren kazeinat tozu elde edilmiştir. Kuruma işleminin modellenenebilmesi için, eş şartlarda yürütülen damlacık kuruma deneylerinden elde edilen bilgilerden yararlanılmıştır. Spray kurutucuda elde edilen deneyso- nuqlar ile geliştirilen kuruma modelinde öngörülen nem miktarları karşılaştırılmış ve kazeinatların kurutulmasında kullanılacak spray kurutucuların dizaynı hakkında bazı bilgiler elde edilmiştir.

ABSTRAKT

In this study the casein curd obtained by acidulation of milk was homogenised at pH 6.2 and dried in a pilot size spray dryer using a cocurrent air stream of 200° C inlet temperature. The caseinate powder containing 2.2 percent moisture was produced at the bottom of the dryer. To modelling of drying the mechanism was simulated using single droplet drying experiments of caseinate solution. The drying results obtained in spray dryer were compared with the calculated ones via mathematical model and some predictions in connection with the design of spray dryers drying caseinates were forwarded.

1. G İ R İ Ş

Sütten üretilen kazein, halen tutkal, tekstil ve boya sanayiinde yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak protein değerinin yüksek olması nedeniyle son yıllarda bazı gıda maddelerinin besleyicilik değerini geliştirmek amacıyla da kullanılmaya başlanmıştır. Kazein ve kazeinatlar, sosis, salam ve dondurmaya katılmakta, çoğu zaman kremanın yerini alarak pasta yapımında kullanılmaktadır. Gıda maddesi olarak kullanılacak kazein veya kazeinatların kimyasal yönden homojen olması ve mikrobiyolojik bulaşmadan arı olması gerekmektedir.¹ Bu nedendir ki özellikle kazeinatların kurutulması kontrollü bir ortamda en uygun şekilde spray kurutucularda yürütülmektedir. Kurutucuya verilen kazeinat çözeltisinin katı madde oranı yükseldikçe, viskozitesinin yükselmesi nedeniyle çözeltinin atomizörde danlacıklara bölünmesi zorlaşmakta, bu da işlemin ekonomisini zorlamaktadır.² Ancak, kurutma işleminin spray kurutucuda yürütülmesi halinde ürünün kimyasal yapı yönünden homojen ve bozunmaya uğramanış olması ayrıca öğütme ve temperleme işlemine gerek kalmadığı³ dikkate alınmalıdır. Kazeinatların spray kurutucuda kurutulma işleminin yaygınlaşmasına karşılık, literatürde kazeinatların kuruma karakteristikleri ve spray kurutucuda kuruma modeline ilişkin bir çalışmaya rastlanmıştır. Bu nedendir ki, kazeinatların kurutulmasında kullanılacak spray kurutucuların boyutlandırılmasına ışık tutacak bilgilerin elde edilmesi için böyle bir çalışmaya gidilerek ilk kez deterjanların kurutulmasında denenmiş olan bir modelleme tekniğinden⁴ yararlanılmıştır.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1. KAZEİN ÜRETİM METODLARI

Başlıca iki yolla yapılmaktadır, klâsik yöntem ve püskürtmeli kurutma yöntemi.

2.1.1. KLASİK YÖNTEM:

Süt, sülfürik asit veya hidroklorik asit ilâvesi ile pH 4.7 de çöktürülür. Çökelti çöktürme havuzlarında veya vat sisteminde su ile ters akım prensibine göre yıkanır. Yıkama sırasında pastörizasyon uygulanır. Çökelti (kazein bulamacı) preslenmek suretiyle fazla suyundan ayrılır^{1,5}, ve kurutma işlemine tabi tutulur. İşlem için değişik tipte kurutucular kullanılmaktadır. En yaygın kullanılanı "Bates" adı verilir. Kazein, titreşimli raflarda düşey yönde hareket eden ters yönde sıcak hava ile temasa getirilir. Başka bir kurutucu "Pnematik Ring" tipinde olmalıdır. Kazein partikülleri hava içinde dispers edilip bir ring sisteminde sirküle ettirilir ve bir siklondan geçirilir. Kuruyan partiküller siklonu hava ile terkederler, kurumayanlarsiklonda tutulur ve ringe geri döndürülürler. Kurutma işleminin sonunda bir temperleme ve öğütme işlemi yapılır.

2.1.2. PÜSKÜRTMELİ KURUTMA YÖNTEMİ:

Kazeinin çöktürülmesi ve yıkanması klâsik yöntemle göre yürütülür. Kazein bulamacına pH 6.7 oluncaya kadar NaOH çözeltisi ilâve edilerek homogenlendirilir. Bu basamakta pH değeri izo-elektrik noktanın üstüne çıktığından sodyum kazeinatın hakim olduğu bir sıvı elde edilir. Sıvı doğrudan spray kurutucuya beslenir,⁶ ve sonuç ürün toz olarak alınır. Böylece, klâsik yöntemde elde edilen üründe homogen nem dağılımı için gerekli temperleme ve öğütme işlemine gerek kalmaz.

Spray kurutucu yönteminde ekonomi besleme sıvısının viskozitesine bağlı olmaktadır. Besleme sıvısındaki katı madde oranının

yükselmesi ile viskozitede ani artışlar atomizörün tıkanması-na yol açmaktadır. Bu nedenle, pH değerini mümkün mertebe düşürmek ve sıvının sıcaklığını arttırmak gerekmektedir. Aksi halde besleme sıvısındaki fazla suyun buharlaştırılması ek enerjii gerektirmektedir.

Ayrıca, kazeinin çöktürülmesinde ve yıkamasında bazı hususlar işlemin ekonomisi ve sonuç ürünün kalitesini etkilenmektedir.

Kazeinin asitle çöktürülmesi sırasında pH 4.7 de tutulduğunda (izoelektrik nokta) kazein en yüksek verimle çökmekte, ortam sıcaklığı 34-37°C arasında tutulduğunda kazein tanecikleri irileşmekte ve sedimentasyon hızı artmaktadır⁵. Ayrılan kazeinin yıkaması ise mümkün olduğu kadar çabuk yürütülmekte ve sulu fazdaki laktozun ve anorganik tuzların resorpsiyonu önlenmektedir.

2.2 KURUTMA MODELİ

Bu guruptaki çalışmalar bir besleme sıvısından meydana gelen damlacıkların kuruma diyagramlarından yararlanarak spray kurutucularda damlacıkların belirli bir nem oranına gelmesi için gerekli zamanın ve düşüş yüksekliğinin bir modelle uygun hesaplama tekniğini içermektedir. Bu teknik ilk kez detaylı olarak bulamaçları için uygulanmıştır^{4,7}. Kurutucu, serbest düşme bölgesi ve alt karışma bölgesi olmak üzere iki ana kuruma bölgesine ayrılmıştır. Serbest düşme bölgesinde partikülün terminal hızı, serbest düşme zamanı, gaz film kütle transfer katsayısı ve kuruma diyagramlarından yararlanılarak yüzey rutubet miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerlerden partikülden ayrılan su miktarı bulunmuştur. Alt karışma bölgesinde partiküldeki nem, kritik nemin altında olduğundan, partiküldeki nem değişimi katı içinde difüzyon mekanizması tarafından kontrol edildiği kabul edilmiş, katı içinde

suyun difüzyon katsayısı damlacık kurutma diyagramlarından hesap edilerek Newman denklemi uygulanmış ve sonuç partikül nem miktarı bulunmuştur.

Parti ve Falancz⁸ spray kurutucularda bir kuruma modeli ortaya atmışlardır. Modeldeki varsayımlar şöyle sıralanabilir: Parçacıklar aynı çapta olup serbest düşme yapmaktadır. Nem kaybı yalnızca sabit akı bölgesinde yürütmektedir. Damlacıkların yüzeyindeki nem ıslak termometre sıcaklığındadır. Bu varsayımlarla doğru akımlı ve ters akımlı spray kurutucular için, parçacıkların hareket ettiği yol boyunca gazın sıcaklığı ve rutubeti, parçacıkların nem, hacim, çap, gözeneklilik ve yoğunluk hesaplanmıştır. Eldc edilen sonuçların bazı elektrolitlerin sulu çözeltilerinin kurutulmasında başarı ile kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Bu modeldeki varsayımlar, kurutulduklarında kristal tuzlar verebilen çözeltiler için tutarlı görünmekte ise de, kuruma diyagramlarında düşen akı bölgesi veren sıvılar için varsayımlar geçerliliğini kaybetmektedir. Modelde sıvıların cinsine göre değişik kuruma diyagramları verebilen maddeler için düzeltme bulunmamaktadır.

Audu ve Jeffreys⁹ tarafından ortaya atılan model çalışmasında damlacığın serbest düşme zamanı içinde, sabit kuruma akısı bölgesinde gaz fazla denge hali kabul edilmiş, düşen akı bölgesinde ise sıvının damlacığın iç bölgesine çekilerek poröz yapıda bir yüzey tabakası bıraktığı ve kütle transfer mekanizmasının sıvının yüzeyi ile poröz tabakanın dış yüzeyi arasında yürüdüğü düşünülmüştür. Poröz tabakada geçerli olmak üzere kütle transfer katsayısının hesaplanabilmesi için bir formül teklif edilmiştir. Formülde nümerik olarak değerlendirilmesi son derece zor olan bazı katsayıların bulunması nedeni ile modelin uygulanması yapılamamıştır.

3. MATERYAL VE METOD

Kazeinat sıvısı, yağı alınmış süte sülfürik asit ilâvesiyle elde edilen kazein bulanacının yıkaması ve sonra pH 6.2 ye kadar sodyum hidroksit ilâvesiyle elde edilmiştir. Bu kazeinat sıvısı homojenize edilerek ve küçük sanayi tipi bir püskürtmeli kurutucuda kurutulularak toz kazeinat elde edilmiştir. Kazeinat sıvısının kuruma davranışı, kurutma şartlarında sıvı filminin zamana karşı ağırlık değişiminin ölçülmesi yoluyla belirlenmiştir.

3.1. KAZEİNAT SIVISININ HAZIRLANMASI

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Menemen Uygulama Çiftliği'nden sağlanan süt, sağıldığı gün yağdan ayrılmış, bu iş için yüksek devirli bir diskli santrifüj olan "Sweden Disbolo TypeCrean Seperator Type SD 506" krema seperatörü kullanılmıştır. Yağın iyi ayrılmasını sağlamak üzere süt 35°C'ye ısıtıldıktan sonra krema seperatöründen iki defa geçirilmiştir. Karıştırılmalı bir kapta içine bir pH metre elektrodu daldırılmış bulunan yağı alınmış süte oda sıcaklığındaki 1 N H₂SO₄ çözeltisi ilâvesiyle pH 4.7 ye düşürülerek kazein pıhtısı çöktürülmüştür. Bu işlem için yağı alınmış sütün litresi başına 50 ml. kadar N H₂SO₄ çözeltisi gerekmektedir. Elde edilen pıhtının dibe çökmesi için 10 dakikalık sürenin yeterli olduğu gözlenmiştir. Çöktürme işleminin tamamlanıp karıştırmanın durdurulmasından 15 dakika sonra serum, sifon yapılarak üstten alınmıştır.

Yıkama için alınan serum kadar su ilâve edilip karıştırıldıktan sonra çökme için 15 dakika bırakılmış ve yıkama suyu yine sifon yapılarak üstten alınmıştır.

Yukarıda tanımlanan yıkama işlemi iki defa daha uygulandıktan sonra cklenen son yıkama suyu içindeki pıhtı, bir gece boyunca buzdolabında bırakılmıştır.

Son yıkama suyunun da sifon yapılarak alınmasından sonra elde edilen bulamacın doğrudan doğruya püskürtmeli kurutucuya beslenerek kurutulmasının mümkün olmadığı, ön denemeler sırasında septenmiştir. Bulamacın heterojen yapısını giderebilmek için yüksek devirli bir blenderden geçirme de yeterli olmamış, buna ek olarak ortam pH'nın 6.2 ye yükseltilecek kazeinin önemli ölçüde sodyum kazeinata dönüştürülmesi ve bu yolla homojene yakın bir suspansiyon elde edilmesinin gerekli olduğu yapılan ön çalışmalarda ortaya çıkmıştır.

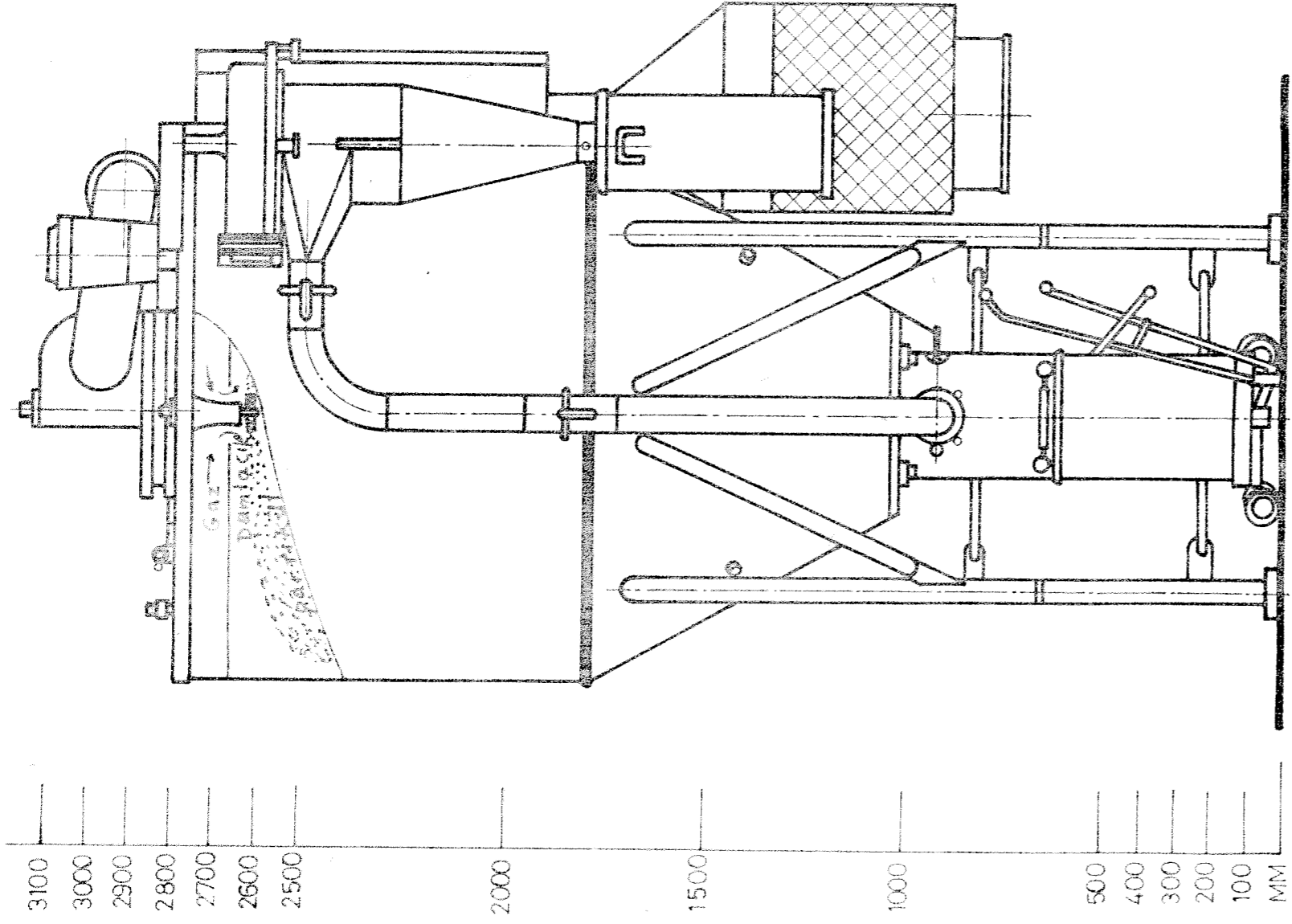
Homojenizasyon için son yıkama suyunun sifonla ayrılmasından sonra elde edilen bulamaç, yüksek devirli bir blenderde koyularak karıştırma sırasında bulamacın litresine 60 ml oranında 0.5 N NaOH çözeltisi eklenir ve karıştırma iki dakika daha sürdürülür. Bulamacın pH'ı ölçülür, 6.2 den farklıysa yine yüksek devirli karıştırma sırasında H_2SO_4 ya da NaOH oklenerek pH 6.2 ye ayarlanır.

3.2. KAZEİNAT SIVISİNİN KURUTULMASI

Kurutma işleminde Niro Atomizer - Production Minor tipi püskürtmeli kurutucu kullanılmıştır. Aygıtın 1/30 oranında kültürlmüş şematik çizimini Şekil:1'de, fotoğrafı Şekil:2'de verilmiştir.

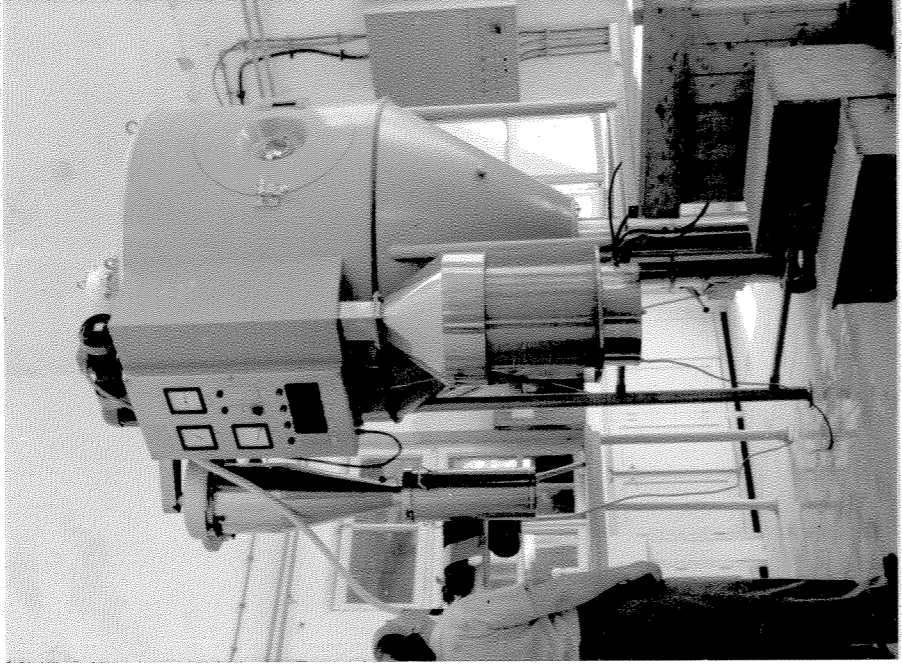
Bu aygıtta debisi bir plug-cock türü vanayla ayarlanabilen bulamaç, besleme tankından bir planjör pompa ile çekilerek basınçlı hava yardımıyla santrifüjlü disk türü atomizörden kurutucu içine püskürtülür.

Kurutma havası 0.111 kg/s kapasitede bir fanla çekilirken çeşitli güç kademelerinde çalıştırılabilen bir elektrikli ısıtıcıdan geçerek ısınar ve atomizörün üst kısmından kurutucuya verilir. Böylece kuruma, damlacıklarla paralel akın-



Şekil 1. Püskürtmeli Kurutucunun Çizimi

2



ŞEKİL 2. Püskürtmeli (Spray) kurutucu Pilot tesis.

daki sıcak hava tarafından sağlanmış olur. Hava giriş sıcaklığı, işletme sırasında $\pm 20^{\circ}\text{C}$ dayarlıkla kontrol edilebilmektedir.

Kurutulmuş ürün, esas itibariyle kurutucunun dibinde toplanır ve gerektiğinde alttaki kapak açılıp kapatılarak işletme sırasında ürün kovasına alınabilir. Kurutucuyu terkeden havayla sürüklenebilecek tanecikler ise siklonun altından alınır.

Bu kurutucu ile yapılan ön denemelerde kazeinat sıvısının beyaz renkli ve aygıt duvarlarına yapışmayacak biçimde bir toz kazein verecek şekilde kurutulabilmesi için kazeinat sıvısının bölüm 5.1' de açıklanan biçimde homojenize edilmesi nin ve kurutma havası giriş sıcaklığının 200°C dolayında tutulmasının gerekli olduğu tespit edilmiştir.

3.3. SIVIDA VE ÜRÜNDE NEM TAYİNİ

Hazırlanan kazeinat sıvısı ve elde edilen toz kazeinatta nem içeriklerini, vakum etüvünde kurutma yöntemiyle tayin edilmiştir.

Sıvı ya da toz kazeinat örneği, daha önce sabit tartıya getirilerek darası alınmış bir petri kabına koyularak tartıldıktan sonra 55°C 'ta ve 2 mm cıva basıncında çalıştırılan bir vakum etüvünde sabit tartıya gelinceye kadar tutulmuş ve yaş ve kuru ağırlık değerlerinden nem içeriği hesaplanmıştır.

3.4.

KAZEİNAT SIVISININ KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Kazeinat sıvısının kuruma davranışının incelenmesinde bir cam telin ucundaki cam küre sıvı içine daldırılarak üzerinde ince bir sıvı filmi oluşturulmuş, cam tel zamana karşı ağırlığı kaydedebilen bir otomatik teraziye asılmış ve istenen sıcaklığa ayarlanmış bir cam fırın içine yerleştirilerek ağırlığın zamana karşı değişimini kaydedilmiştir. Deney düzeneği, şekil:3 te şematik olarak gösterilmiştir.

Kullanılan cam telin boyu 150 mm, çapı yaklaşık 1,1 mm dir. Telin ucundaki cam küre ise 2.2 mm çapındadır.

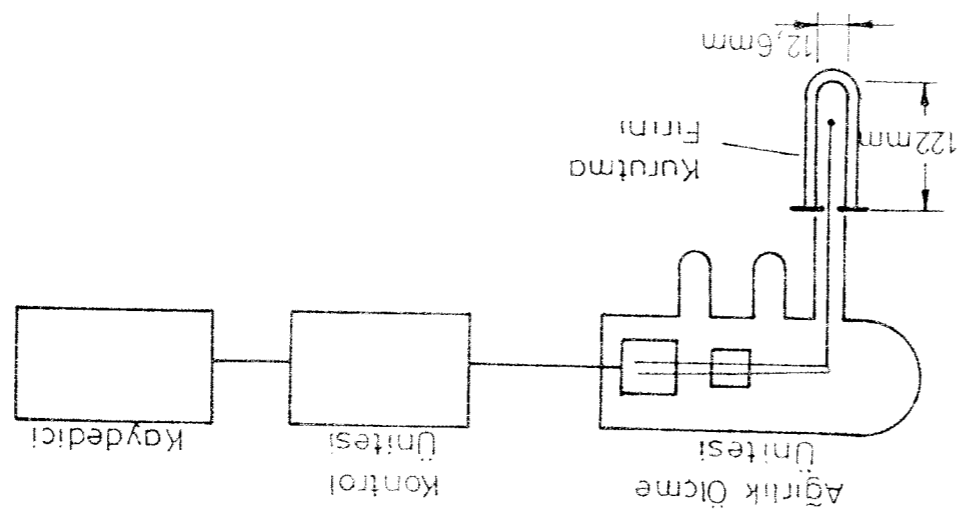
Ağırlığı zamana karşı ölçmede "Cahn RG Electrobalance" kullanılmıştır. Bu aygıtta ağırlığın asıldığı kol, bir miktarının kutupları arasındaki askıyla tutturulmuş bir elektrik sarğı devresine bağlıdır. Denge noktasından sapma olduğunda bir foto-tüpe sapmayla orantılı değerde bir voltaj oluşur. Ağırlığın ölçüsü olan bu voltaj bir yandan kaydediciye gönderilirken diğer yandan ağırlığın yarattığı sapmayı giderecek değerde bir manyetik kuvvet oluşturarak denge noktasına dönüşü sağlar.

Kurutma ortamını sağlamada kullanılan cam fırın içiçe iki cam silindirden oluşmaktadır. 122 mm yüksekliğinde ve 12.6 mm çapında olan içteki cam silindirin etrafına sarılmış olan direnç telleri ile ısıtma temin edilmekte, dıştaki cam silindir ise ısı ve elektrik yalıtkanlığı işlevi görmektedir.

4.

MATEMATİKSEL MODEL

Püskürtmeli kurutucuda kazeinat sıvısının kurutulması işleminin matematiksel olarak modellenmesinde kurutucu yüksekliği 200 mm'lik dilimlerin şeklinde bölünmüş, sondan bir önceki dilim hava çıkışına kadar uzatılmış (250 mm), hava çıkışının altında kalan 300 mm'lik bölüm ise tek son dilim olarak düşünülmüştür.



Şekil 3. Otomatik Terazî-Kurutma Fırını Sistemi

Modellemede yapılan varsayımlar şu şekilde sıralanabilir:

- Her dilim boyunca işletme koşulları ve fiziksel özellikler, diline girişteki değerlere eşittir.
- Kurutucuda damlacıklarla paralel yönde akan sıcak hava tipe akımı (plug flow) rejiminde yürümektedir.
- Tavanın sıcaklığı kurutucu boyunca doğrusal olarak düşmektedir
- Damlacıklar ve partiküller küresel yapıdadır.(bir grup damlacık için küresellik değerinin 0.8 olması hali için de hesaplamalar yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.)
- Damlacıkların atomizörden çıkmaları ile terminal hızda düşmeye başlamaları arasındaki süre ihmal edilebilecek kadar kısadır.
- Tanecik boyutu dağılımı, tanecik sayısı cinsinden beş eşit bölüne ayrılmış ve her bölümün eşdeğer tanecik çapı, o bölüme de bu çaptaki bir tanecikten daha büyük ve daha küçük tanecik sayısı eşit olacak şekilde seçilmiştir.
- Böylece belirlenen beş tanecikbüyüklüğü için hesaplamalar yapılmıştır.
- Su ve kazematın hacimleri toplanabilir niteliktedir.
- Damlacıkların hacmi sabit akıllı kuruma bölgesi içinde kaybedilen su ölçüsünde azalır,kritik nem noktasından sonra tanecik çapı sabit kalır.
- Damlacıklardan sıcak havaya su buharı geçişi için kütle transfer katsayısının hesaplanmasındaRanz-Marshall¹⁰ denklemi geçerlidir.
- Damlacıkların davranışlarına diğer damlacıklar etkin değildir.
- Kesikli yöntemde çalışıldığı için işlem başında püskürtülen damlacıkların işlem süresince, işlemin bitiminden hemen önce püskürtülenlerin ise çok kısa bir süre kurutucuda kaldıkları düşünüldüğü modellenmede herhangi bir taneciğin kurutucuda işlem süresinin yarısı kadar zaman harcadığı varsayılmıştır.
- Sabit akıllı kurumu bölgesinde damlacık yüzeyinde su buharı mol kesri, kurutma havasının ıslak termometre sıcaklık değeri rindedir.(Bu varsayımın geçerliliği deneyle ispatlanmıştır.)
- Azalan akıllı kuruma bölgesinde su transferi,katı içinde nem difüzyonu mekanizması tarafından kontrol edilmektedir.

Bu varsayımlar çerçevesinde beş bölüm tanecik için clek analizinden belirlenen eşdeğer kurutulmuş çaplara karşılık gelen, atomizörden çıkış damlacık çapları, partiküllerin sen nemi kritik nemi, ve damlacıkların giriş nemi ve yoğunlukları üzerinden hesaplanmıştır. Yine clek analizinden birim miktar ürün için toplam tanecik sayısı hesaplanmıştır. Böylelikle kurutucunun ilk dilimine girişte gerçekli veriler belirlenmiş olmaktadır. Her eşdeğer çap için terminal hızla havanın doğrusal hızı eklenecek damlacığın veya partikülün sabit koordinatlarına göre hızı bulunmuştur! Bu değer ve dilim kalınlığından dilimde geçen süre hesaplanmıştır.

Kütle transfer katsayısı, Ranz - Marshall denkleminden hesaplanmıştır:

$$\frac{k_c D_p}{D} = 2.0 + 0.6 \left(\frac{u}{D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{1/4}$$

Molar kütle ekvansı, tek yönlü transfer için, ¹²

$$N = k_c \rho_m \left(n \frac{1 - y_b}{1 - y_s} \right)$$

ifadesinden hesaplanır.

Dilim boyunca kaybedilen su miktarı, kütle akısı, damlacık yüzey alanı ve dilimde harcanan süre yardımıyla hesaplanır. Damlacığın dilim çıkışındaki kütlesi ve çapı bulunur. Yukarıdaki hesaplamalar bütün bölümler için yapıldıktan sonra toplam tanecik sayısını da hesaba katarak o dilimde buharlaşan toplam su miktarı hesaplanır ve kazeinat sıvısı ve hava debileri oranı da dikkate alınarak dilim çıkışında havanın rutubetinin değeri hesaplanır. Böylelikle izleyen dilim için giriş değerleri de belirlenmiş olur.

Benzer şekilde izleyen dilimler için hesaplamalar sürdürülür. Sabit akalı kuruma bölgesini tamamlayan damlacıklar hesaplamaya başlamadan çıkarılır. Kritik nenden sonraki bölgede diffüzyon

TÜRKİYE

BİLİMSEL VE TEKNİK
ARASTIRMA KURUMU
KÜTÜPHANESİ

mekanizmasına göre su kaybı çok yavaş olduğundan bu demlacıklar-
lardan buharlaşacak suyun havanın rutubetine katkıısı ihmal
edilebilmektedir.

Bu suretle demlacıkların kurutucu boyunca düşmeleri sırasın-
daki nem içeriklerindeki değişme belirlenmiş olur. Düşmelerini
tamamladıkları halde kritik nem içeriğine ulaşmayan demlacık-
ların kritik nem içeriğine gelmeleri için gerekli ek süre he-
saplanır.

Her tanecik için kurutucuda ortalama kalış süresinin kritik
nem içeriğine ulaşmak için geçen bölümünden geri kalanı
diffüzyon modeli çerçevesinde kuruma ile geçmektedir. Bu sü-
rede kaybedilen nem miktarı, geçici rejim diffüzyon denklemi-
nin yüzeyden buharlaşma sınır koşulu için grafiksel olarak ve-
rilen çözümden yararlanılarak hesaplanmıştır.¹⁴

5. B U L G U L A R

5.1. KAZEİNAT SIVISİNİN ÖZELLİKLERİ

Hazırlanan kazeinat bulamacı, içerdiği su ve kuru madde ağırlı-
sından incelenmiş, buna ek olarak 100°C'teki bir fırında kurur-
ma karakteristikleri belirlenmiştir. Sabit ağırlı kuruma böl-
gesinde sıvı yüzeyindeki su buharı mol kesri saptanmış, aza-
lan ağırlı kuruma bölgesinin bir etkin diffüzyon katsayısıyla
katı içindeki diffüzyon mekanizmasına uygunluk derecesi incelen-
miştir.

5.1.1. SIVİNİN NEM İÇERİĞİ :

Vakum etüvünde kurutma yöntemiyle sıvının %6.9 kuru madde
içerdiği saptanmıştır. Bu değer serbest nem oranı olarak
13.5 kg su/kg kazeinata karşı gelmektedir.

5.1.1.2. SIVININ KURUMA KARAKTERİSTİKLERİ :

Kazeinat sıvısının kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi için aşağıda verilen koşullarda yapılan zamana karşı ağırlık kaybı ölçümünde elde edilen deneysel kuruma eğrisi Şekil:4'te verilmiştir.

Deney koşulları:

Oda sıcaklığı: 17°C

Relatif rutubet: %68

Atmosferik basınç: 0.982 bar

Fırın sıcaklığı: 100°C

Şekilden de görüldüğü gibi deneysel kuruma eğrisi, toplam ağırlığın kurumuş ağırlığın iki katı olduğu noktaya kadar doğrusaldır. Bir başka deyişle serbest nem oranının 1 olduğu noktaya kadar kuruma akısı sabittir. Doğrusal kısmın eğimi ve eğrinin daha sonraki noktalarından yapılan okumalar ve cam kürenin elemanı dikkate alınarak hesaplanan çeşitli serbest su oranı değerindeki kuruma akısı değerleri Şekil:5'te serbest nem oranına karşı grafiklenmiştir.

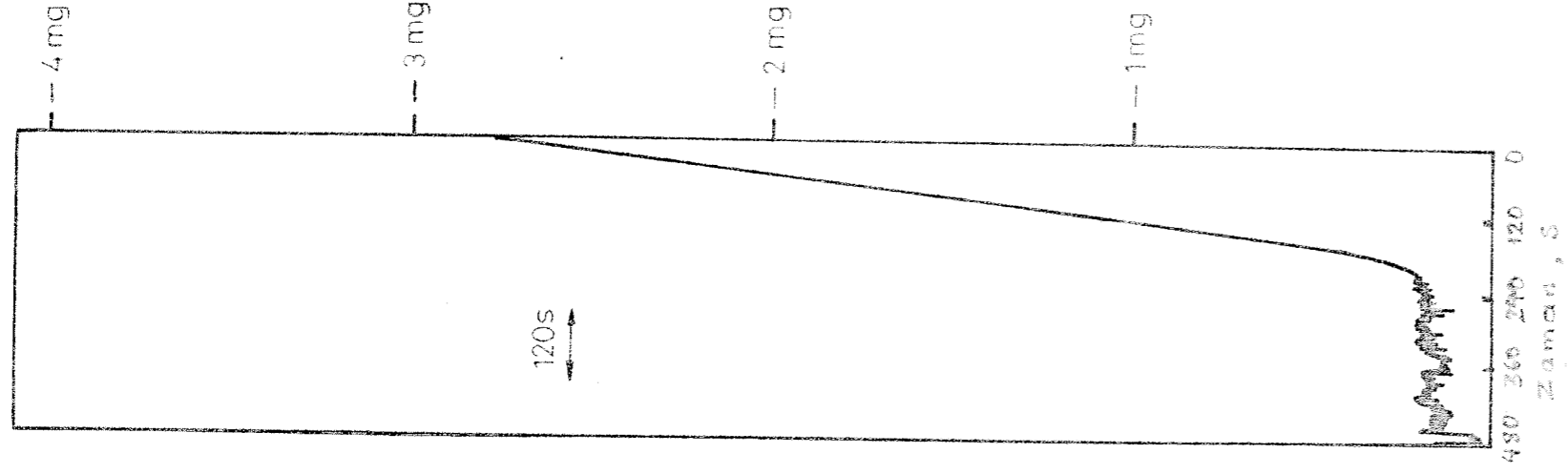
Sabit akalı kuruma bölgesinde kuruma akısı 0.88 g/s.m² olarak bulunmuştur. Kurutma fırınında havanın hareketli olduğu varsayılırsa Sh = 2.0 olacağından kütle transfer katsayısı hesaplanabilir. Tek yönlü transfer için kütle akısı denklemi bilinen değerler yerlerine koyularak sıvı yüzeyindeki su buharı mol kesri hesaplanabilir. Şöyle ki:

$$Sh = \frac{k_c d}{D} = 2.0$$

$$298 \text{ K'de } D = 0.256 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \quad 11$$

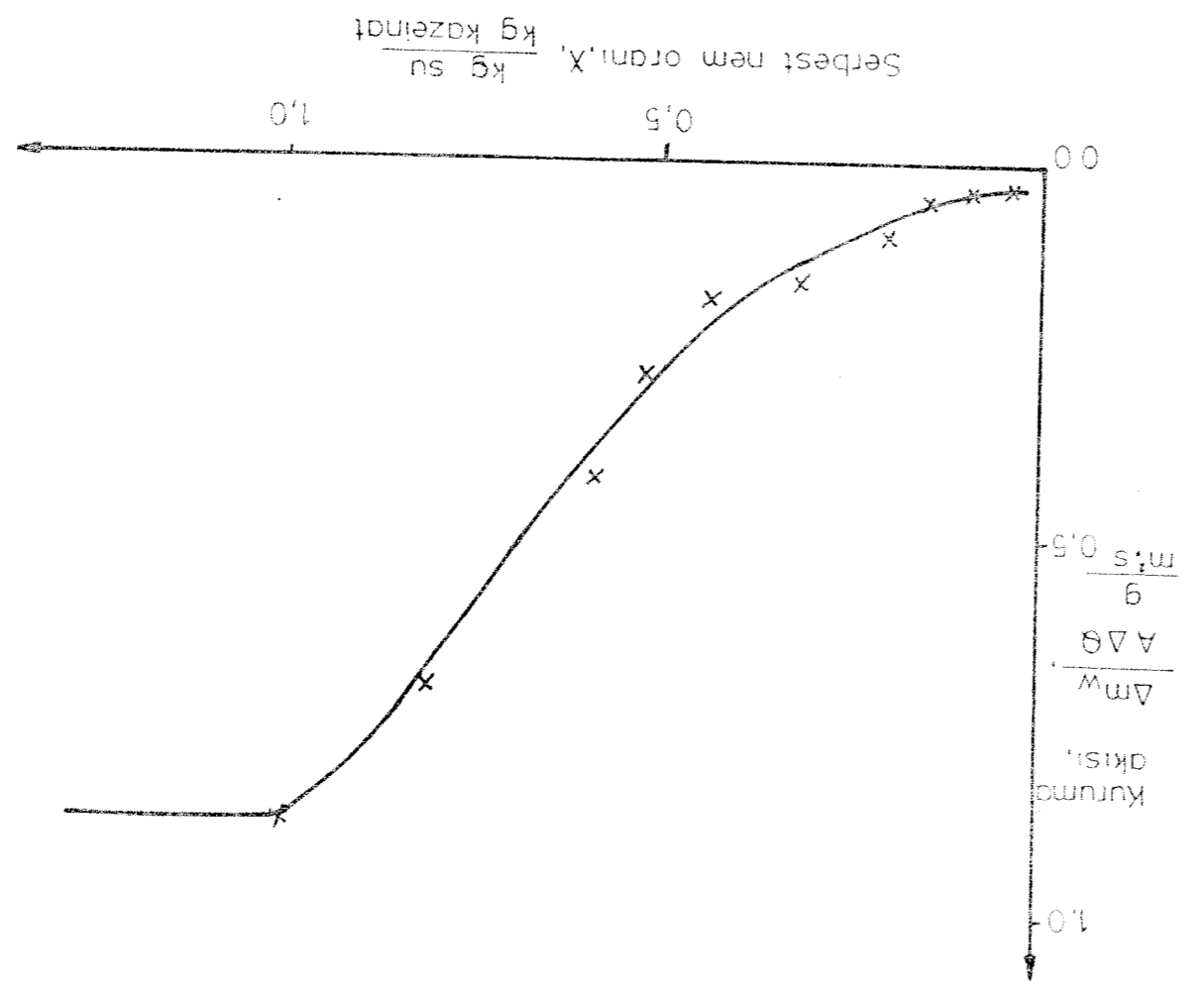
D, mutlak sıcaklığın 3/2 nci kuvvetiyle doğru orantılı olduğundan ¹²

$$100^\circ\text{C'de } D = 0.256 \times 10^{-4} \left(\frac{373}{298} \right)^{3/2} = 3.58 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$



Şekil 4. Deneysel kuruma eğrisi

Sekil 5. Kazeinat sivi sisteminin kuruma hızı diyagramı



$$k_c = \frac{2.0 \times 3.58 \times 10^{-5}}{2.2 \times 10^{-3}} = 3.26 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$k_y = k_c \cdot P_m = 3.26 \times 10^{-2} \times \frac{0.982 \times 10^5}{8314 \times 373} = 1.03 \times 10^{-3} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$290 \text{ K'de } P_w^0 = 0.0194 \text{ bar}^{13}$$

$$y_b = \frac{0.0194 \times 0.68}{0.982} = 0.013$$

$$N = k_y \ln \frac{1 - y_b}{1 - y_s}$$

$$y_s = 1 - 0.978 \exp \left(- \frac{0.88 \times 10^{-3}}{18 \times 1.03 \times 10^{-3}} \right) = 0.056$$

Kurutma fırını koşullarında havanın ıslak termometre sıcaklığına karşı gelen su buharı mol kesri ise 1 atm basınç için verilen psikrometrik diyagramdan yaklaşık olarak bulunabilir:

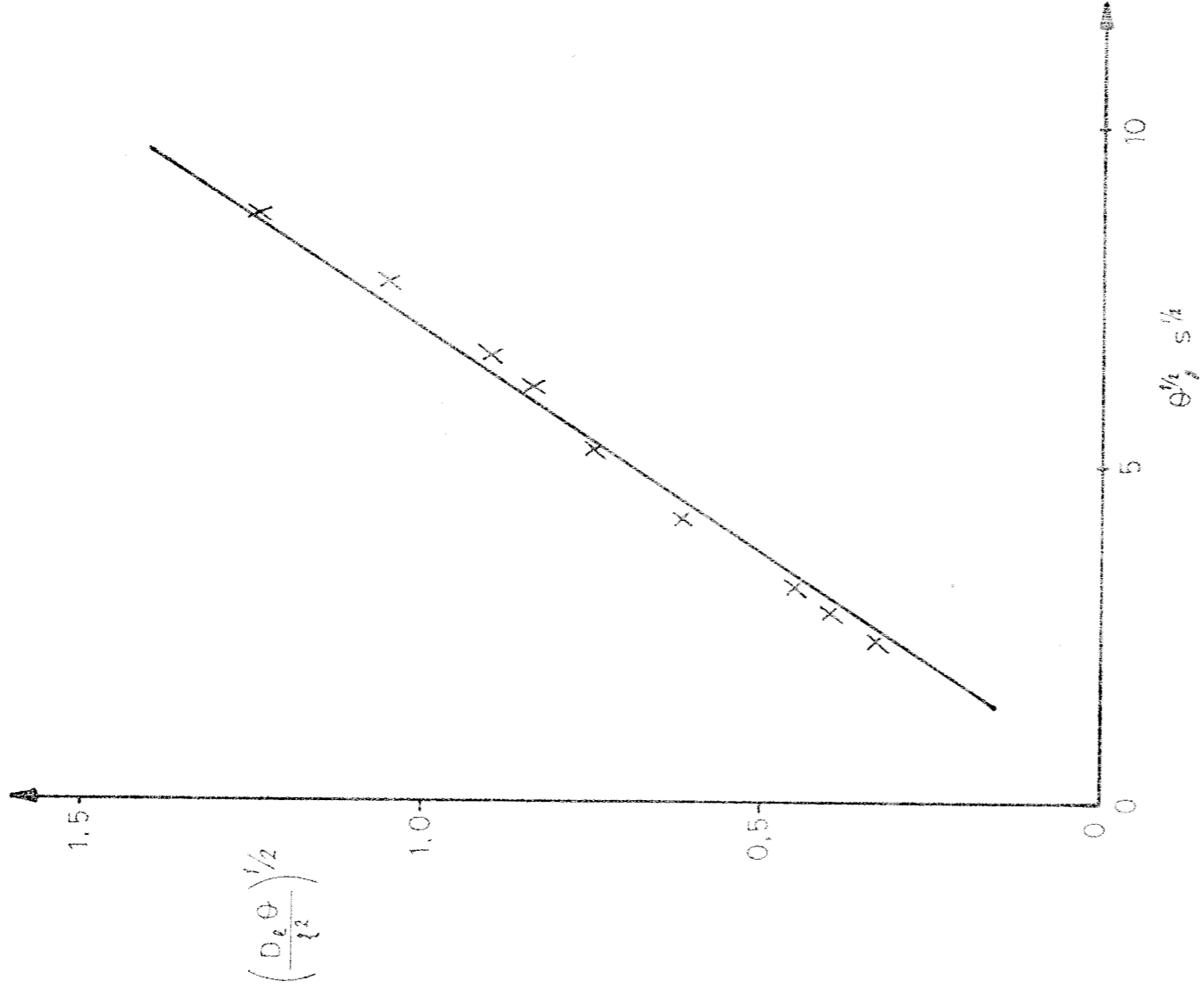
$$H = \frac{0.013 \times 18}{0.983 \times 29} = 0.0082$$

$$T_{db} = 373 \text{ K ve } H = 0.0082 \text{ için}$$

$$T_{wb} = 34.5^\circ \text{C, } P_w^0 = 0.0548 \text{ bar}$$

$$y_s^0 = \frac{0.0548}{0.982} = 0.056$$

y_s ve y_s^0 değerleri kıyaslandığında kazeinat sıvısındaki gözünmüş maddenin kaynama noktasını etkilemediği görülmektedir. Bu durumda sabit hızda kuruma bölgesinde damlacık yüzeyinden buharlaşmanın serbest su yüzeyinden buharlaşma olayına eşdeğer sayılması geçerli bir varsayım olmaktadır. Azalan kuruma akısı bölgesinde kuruma olayının nem içeriğiyle



Şekil 6. Difüzyon modeline göre deneysel ağırlık değerlerine karşı gelen $(D_e \theta / l^2)^{1/2}$ değerlerinin zamanın kareköküyle değişimi

değişmeyen bir etkin difüzyon katsayısı kullanılarak ifade edilebilirliği irdelenmiştir.

Geçici rejim difüzyon denkleminin yüzeyden buharlaşma sınırı koşulu için grafiksel çözümü, şu şekilde verilmiştir.¹⁴

θ zamanına kadar buharlaşmış miktarın $\theta = \sqrt{t}$ 'da buharlaşmış olacak toplam miktara oranının boyutsuz zaman diyebileceğimizin $(D_c \theta / l^2)^{1/2}$ değerine karşı grafiği şeklinde olup dilim ve küre geometri için ayrı ayrı mevcuttur. Söz konusu grafikler, katı madde içi ve dışı dirençlerin oranı olan $k_c l / D_c$ parametresinin çeşitli değerleri için verilmiştir.

Kurutma fırınında elde edilen sonuçların değerlendirilmesine geçilmeden önce cam küre üzerinde kritik nem içeriği anındaki film kalınlığı hesaplanmıştır.

$$\rho_{kazeinat} \approx \rho_{kazein} = 1350 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{sc} = \frac{1 + 1}{\frac{1}{1350} + \frac{1}{1000}} = 1149 \text{ kg/m}^3$$

$$l = \frac{0.32 \times 10^{-6}}{\left[3.14 \times (2.2 \times 10^{-3})^2 - 3.14 \times (0.5 \times 10^{-3})^2 \right] \times 1149} = 1.9 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Film kalınlığı küre çapının 100'de birinden daha küçük olduğundan yüzey eğriligi ihmal edilmiş, kuruma 1.9×10^{-5} m kalınlığında, bir yüzeyinden kuruyan bir dilim olarak düşünülmüştür.

Deneysel kuruma eğrisinden azalan hızda kuruma bölgesinde çeşitli θ değerlerine karşı gelen toplam ağırlık değerleri okunmuş, birbirini izleyen noktalar arasındaki ağırlık farkları, azalan kuruma akısı bölgesinde buharlaşan toplam su miktarına bölünerek yukarıda sözü edilen ağırlık oranı değerleri hesaplanmıştır. Parametrek $k_c l / D_c$ 'nin sonsuz değeri için bu ağırlık

oranlarına karşı çölen ($D_e \theta / l^2$)^{1/2} değerleri grafiksel göz-
zümünden okunarak ortaleme zaman değerinin kareköküne karşı
grafiklenmiştir.

Şekil:6'da verilen bu grafik incelendiğinde sabit bir etkin
difüzyon katsayısı varsayımının geçerliliği görülmektedir.
Zamanın yani nem içeriğinin çözümlü değerlerindeki noktalar
aynı doğru üzerine düşmektedir.

Bu doğrunun eğiminin film kalınlığıyla çarpımının karesi, et-
kin difüzyon katsayısına eşittir. Böylece bulunan D_e değeri

$$D_e = 8.4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s} \text{ dir.}$$

Etkin difüzyon katsayısının bulunmasından sonra parametre
 $k_c l / D_e$ 'nin değeri bulunur:

$$\frac{k_c l}{D_e} = \frac{3.26 \times 10^{-2} \times 1.9 \times 10^{-5}}{8.4 \times 10^{-12}} = 0.74 \times 10^5$$

Böylece gaz filmi direncinin ihmal edilmesi varsayımının ge-
çerli olduğu görülmektedir.

5.2. PÜSKÜRTMELİ KURUTUCUDA KURUTMA İŞLEMİNİN DENEYSEL SONUÇLARI

Püskürtmeli kurutucuda kurutma çalışmalarının ilk bölümünde
ön deneyler yapılarak Bölüm:22.de bildirilen uygun işlen-
koşulları belirlenmiştir. Matematiksel olarak modellenen ku-
rutma deneyinin detaylı koşul ve sonuçları ise bu bölümde ve-
rilmektedir.

5.2.1. KURUTMA İŞLEMİNDE DENEYSEL KOŞULLAR :

Matematiksel olarak modellenen kurutma işlemindeki koşullar
aşağıda verilmiştir:

Oda sıcaklığı : 28°C
 Relatif rutubet : %62
 Atmosferik basınç : 1 bar
 Kurutma havası :
 Debi : 0.111 kg/s
 Giriş sıcaklığı : 200°C
 Çıkış sıcaklığı : 100°C
 Kazeinat sıvısı :
 Debi : 0.00208 kg/s
 Serbest nem oranı : 13.5 kg su/kg kazeinat
 İşlem süresi : 1200 s

5.2.2. TOZ KAZEİNATIN NEM İÇERİĞİ :

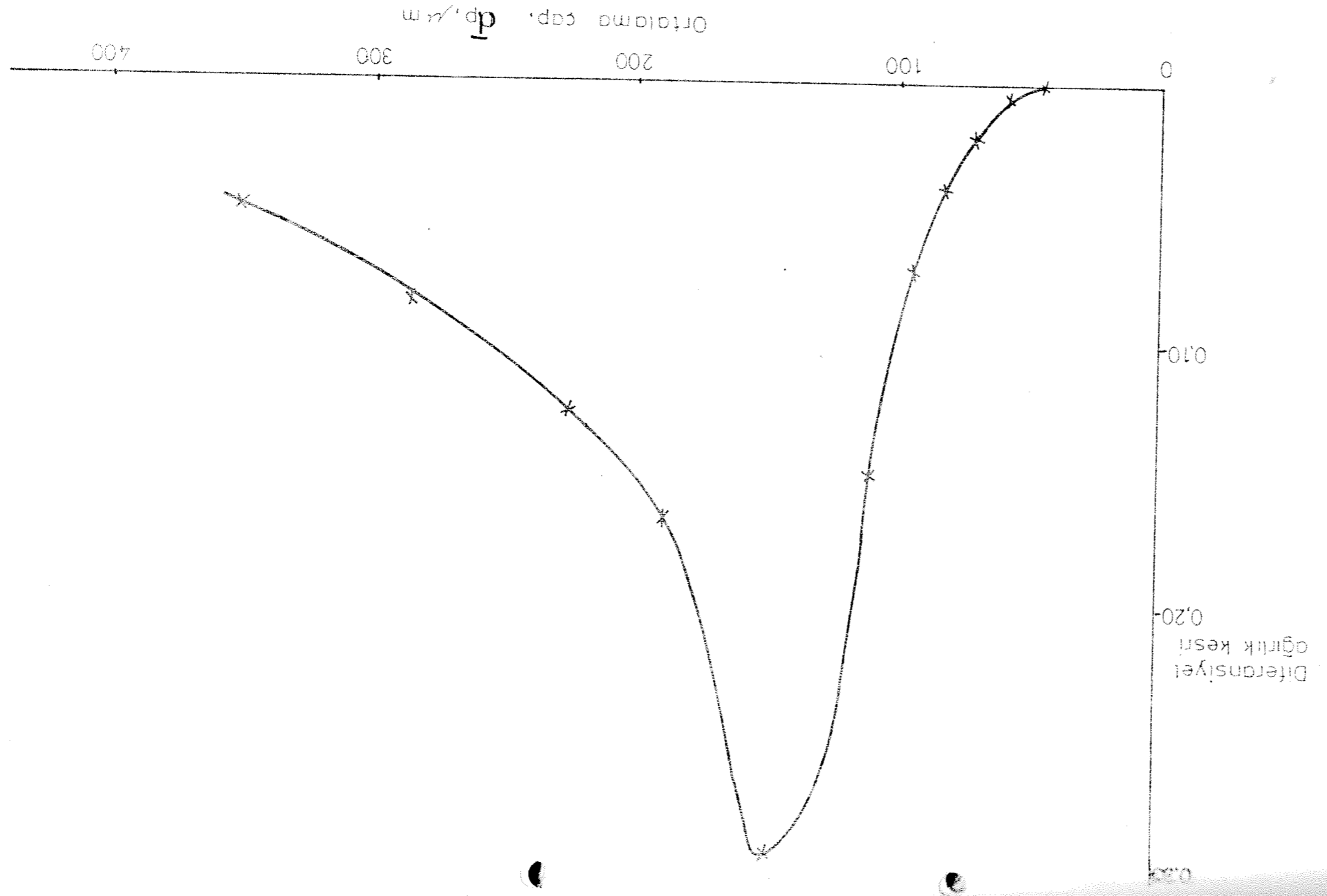
Yukarıda verilen koşullarda elde edilen toz kazeinatın vakum etüvünde kurutulmak suretiyle %97.7 kuru madde içerdiği saptanmıştır. Bu değer, serbest nem oranı cinsinden 0.024 kg su/kg kazeinata karşı gelmektedir.

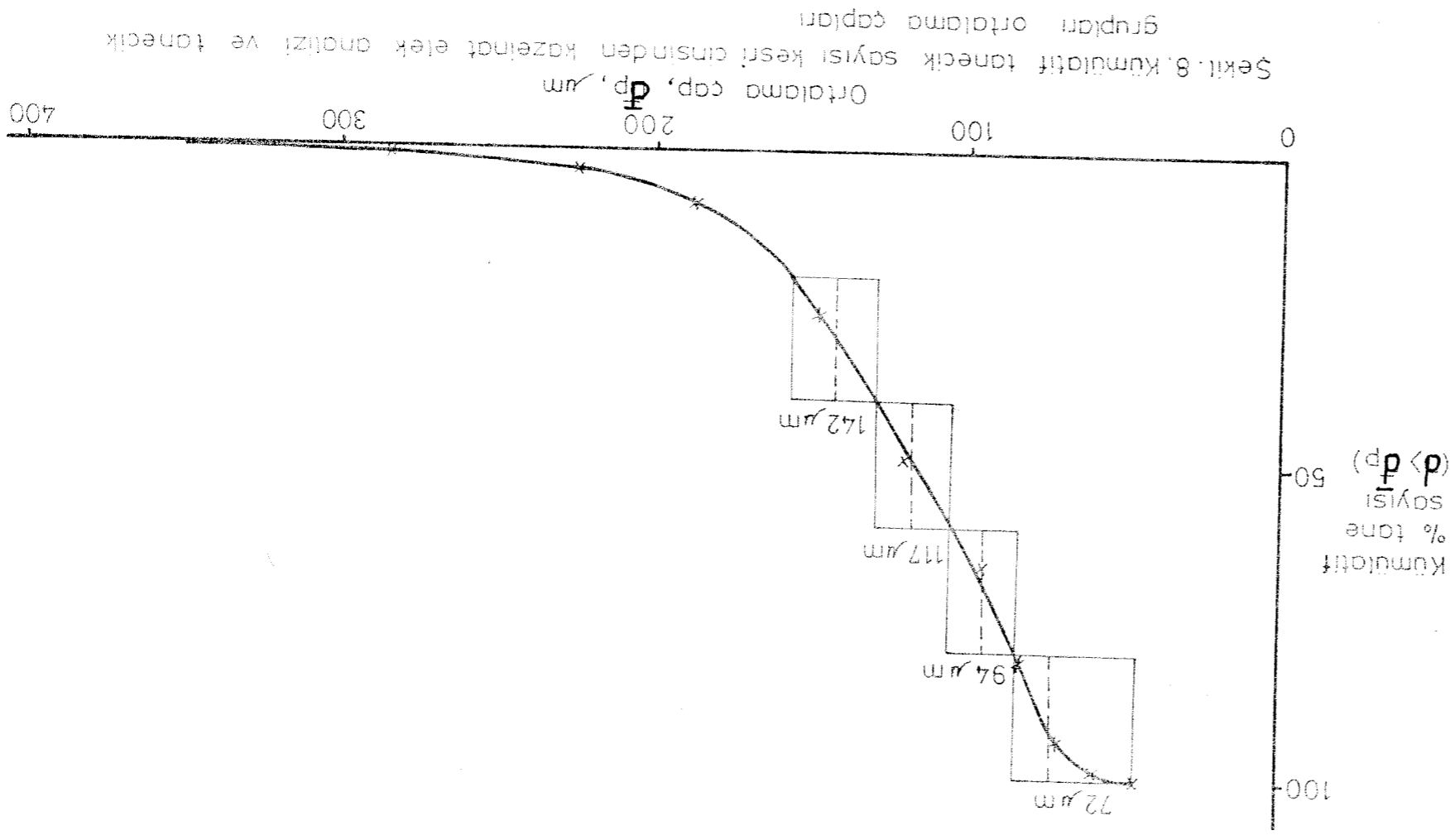
5.2.3. TOZ KAZEİNATIN TANECİK BOYUTU DAĞILIMI :

Toz kazeinatın tanecik boyutu dağılımının belirlenmesi için açıklıkları 40 ile 320 μm arasında değişen 11 elcik kullanılarak elcik analizi yapılmıştır. Differansiyel ağırlık kesrinin ortalama elcik açıklığıyla değişimi Şekil:7'de verilmiştir. Görüldüğü gibi toplam kütlelerin büyük bir bölümü 100 - 200 μm arasında bulunmaktadır.

Tanecik sayısı cinsinden boyuta göre dağılım ise kümülatif olarak Şekil:8'de verilmiştir. Kütlelden hacına geçiş için elcik açıklığı cinsinden tanecik sayısını ifade edebilmek için yoğunluğu belirlemede tanecik kritik nem içeriğindeki hacmini koruduğu ve azalan kuruma akısı sırasında buharlaşan suya karşı çelen ölçüde gözeneklilik kazandığı varsayılmıştır.

Sekil 7. Diferansiyel ağırlık kesri cinsinden kazınat elek analizi

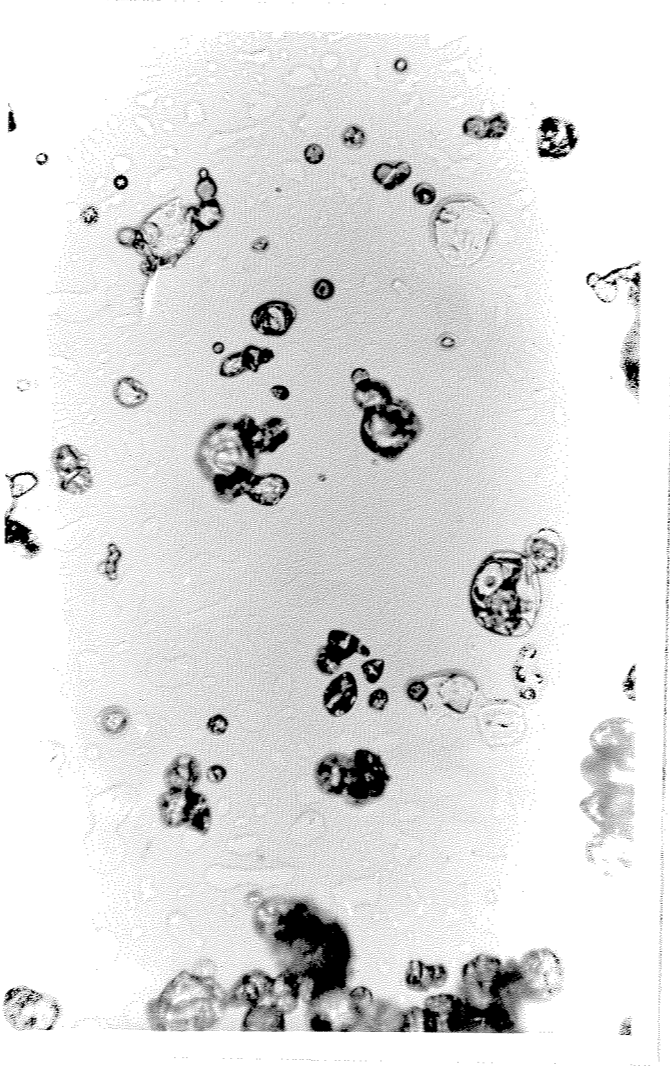




Sekil. 8. Kümülatif tane sayısı kesri cinsinden kazeinat elek analizi ve tane çapları grupları ortalamaları

Her fraksiyondaki tanecik sayısı hesaplandıktan sonra toplam tanecik sayısına bölünerek tanecik sayısı kesirleri elde edilmiştir.

Tanecik boyutu dağılımını beş çap cinsinden ifade etmede 30-100 µm'de açıklanan yöntemle belirlenen ortalama çap değerleri de Şekil:8'de kümülatif dağılım üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen kazcinat tanecikleri, mikroskopla da incelenmiştir. Stereo mikroskopta yapılan incelemede taneciklerin çoğunun saydam ve küreye yakın biçimde olduğu görülmüş, ancak olanak yetersizliği nedeniyle bu görüntünün fotoğrafı alınamamıştır. Binoküler mikroskoptaki iki boyutlu görüntünün fotoğrafı Şekil:9'da verilmiştir.



Şekil :9 - Partiküllerin mikroskoptaki görünüşü (X 50)

5.3.

FÜSKÜRTMELİ KURUTUCUDA KURUTMA İŞLEMİNİN TEORİK MODEL HESAP-
LAMALARI VE SONUÇLARI

Danlacıkların kurutucu boyunca nem içeriklerinde sabit hızda kuruma bölgesindeki azalma ve kritik nem içeriğine ulaşma süreleri Bölüm 5.3.1.'de verilmiştir. Küresellik değerinin etkisini göstermek amacıyla bölümlerden birinde küreselliğin 0.8 olması halinde oluşacak nem profili de ayrıca hesaplanmıştır. Diffüzyon mekanizmasına göre kurumaya ilişkin hesaplamalar ise Bölüm 5.3.2.de verilmiştir.

5.3.1. KRİTİK NEM İÇERİĞİNE ULAŞMA SÜRELERİ :

Burada öncelikle genel noktalar üzerinde durulduktan sonra ilk dilim için hesaplamalar örnek olarak verilmiş, diğer dilimlerin sonuçları tablolar halinde sunulmuştur.

Üründe tanecik bölümlerinin eşdeğer çapları ve karşılardan atomizörden çıkış danlacık çapları :

Herbiri aynı sayıda tanecikten oluşan bölümler için kenarlarından büyük ve küçük tanecik sayıları eşit olacak şekilde belirlenen eşdeğer çap değeri, Şekil:8 üzerinde gösterilmiştir.

BÖLÜM	I	II	III	IV	V
$d_f, \mu m$	72	94	117	142	-

En büyük taneciklerden oluşan Bölüm V için ortalama tanecik boyutunun tanecik boyut dağılımı grafiğinden sağlıklı biçimde belirlenmesi mümkün olmadığından üründeki toplam kazeinat kütlelerinin diğer dört bölümden eşdeğer çaplar cinsinden hesaplanandan geri kalanının bu bölümde bulunduğu düşünülerek bu kütleye karşılık gelen tanecik çapı hesaplanmak suretiyle Bölüm V için eşdeğer çap belirlenmiştir.

Elek analizinin değerlendirilmesi sonucu bulunan kg ürün başına tanecik sayısı 1.60×10^9 dur. Bölüm başına düşen tanecik sayısı bunun beşte biri olacaktır.

Kazeinat sıvısı debisi 0.00208 kg/s olduğuna göre:

$$\text{Urün debisi} = \frac{0.00208 \times 0.069}{0.977} = 1.47 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$\text{Tanecik debisi} = 1.47 \times 10^{-4} \times 1.60 \times 10^9 = 2.36 \times 10^5 \text{ tane/s}$$

$$\text{Kuru kazeinat debisi} = 0.00208 \times 0.069 = 1.44 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

Toplam kazeinat debisinden ilk dört bölümdaki kazeinat debileri toplama çıkarılırsa Bölüm V'teki kazeinat debisi bulunur. Taneciklerin hacimlerinin sabit akılı kuruma bölgesi boyunca su kaybı nedeniyle küçüldüğü, kritik nem içeriğine erişilmesinden sonra ise sabit kaldığı varsayıldığına ve kazeinat kütlesi kuruma sırasında değişmediğine göre, atomizörden çıkışta:

$$\frac{\pi d_1^3}{6} = \frac{m_k (1 + X_1)}{\rho_{s1}}$$

Kritik nem içeriğinde:

$$\frac{\pi d_s^3}{6} = \frac{m_k (1 + X_c)}{\rho_{sc}}$$

O halde:

$$d_1 = d_s \left[\frac{\rho_{sc} (1 + X_1)}{\rho_{s1} (1 + X_c)} \right]^{1/3}$$

$$X_1 = 13.5, \quad X_c = 1 \text{ olduğundan}$$

$$\rho_{s1} = \frac{13.5 + 1}{\frac{13.5}{1000} + \frac{1}{1350}} = 1021 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{sc} = \frac{1 + 1}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{1350}} = 1149 \text{ kg/m}^3$$

$$d_1 = 2.013 \text{ df}$$

d_f çapında bir tanecik olarak kuruyan bir damlacığın başlan-
gıç kütlesi :

$$m_1 = \frac{\pi d_1^3}{6} \rho_{s1} = 535 d_1^3$$

Bu tanecikteki kazeinat ve su kütleleri ise

$$m_k = \frac{m_1}{14.5} ; \quad m_{w1} = 13.5 m_k$$

Bölüm V'teki kazeinat debisini bulabilmek için :

$$\frac{2.30 \times 10^5}{5} (m_{kI} + m_{kII} + m_{kIII} + m_{kIV} + m_{kV}) = 1.44 \times 10^{-4}$$

m_{kV} buradan bulunduktan sonra yukarıdaki formüllerden geri
gidilerek d_{pv} ve d_{fv} bulunur.

Böylece belirlenen değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir:

Çizelge: I. Kurutucuya girişte çap ve kütle değerleri

BÖLÜM	I	II	III	IV	V
$d_f, \mu m$	72	94	117	142	165
$d_1, \mu m$	145	189	236	286	332
$m_k \times 10^{10}, kg$	1.1	2.5	4.8	8.6	13.5
$m_w \times 10^{10}, kg$	15.2	33.6	65.5	116.5	182.3

Kurutma havasının kurutucuya giriş ve kurutucudan çıkışta
rutubeti

Kurutucuya girişte $T = 28^\circ C$, $P_T = 1$ bar ve relatif rutubet
%62 olduğundan

$$H_1 = 0.015, \quad v_{b1} = 0.024$$

Kurutucudan çıkış rutubeti kütle denkliğinden bulunur :

$$H_f = H_1 + 0.00208 \frac{13.5 - 0.02}{1 + 13.5} \times \frac{1}{0.111} = 0.033$$

$$y_{bf} = 0.050$$

Bölüm 4'te de değinildiği gibi dilim girişlerindeki rutubet değerleri, giriş rutubetine daha önceki dilimlerde buharlaşan su miktarının eklenmesiyle bulunacaktır. Hava çıkışının altın- da kalan son dilim için ise yukarıda bulunan çıkış rutubet değeri kullanılacaktır.

Islak termometre sıcaklığının bulunması

Islak termometre sıcaklığının bulunmasında ısı ve kütle transferi açısından yazılan kütle akısı ifadeleri eşitlenmiştir :

$$\frac{(T_{db} - T_{wb})}{\Delta h_{fg}} = k_y (y_s - y_b)$$

Kütle ve ısı transfer katsayıları oranının bulunmasında Ranz - Marshall denklemi¹⁰ kullanılmıştır :

$$Sh = 2 + 0.6 Re^{0.5} Sc^{0.33}$$

$$Nu = 2 + 0.6 Re^{0.5} Pr^{0.33}$$

İşlen koşullarında Sc ve Pr sayılarının nümerik değerleri birbirine çok yakın olduğundan yaklaşık olarak

$$Sh = Nu$$

ya da

$$\frac{k_y}{\alpha} = \frac{D \rho_m}{\lambda}$$

Fiziksel özellikler 298 K'deki değerleri ve sıcaklığa bağımlılık biçimleri¹² cinsinden yazılırsa

$$\frac{k_y}{X} = \frac{0.256 \times 10^{-4} \left(\frac{T}{298} \right)^{1.5} \times \frac{1 \times 10^5}{8314 \times 298} \left(\frac{298}{T} \right)}{0.0255 \left(\frac{T}{298} \right)^{0.5}} =$$

$$= 0.405 \times 10^{-4} \text{ kmol} \cdot \text{K} / \text{J}$$

T_{db} ve y_b değerleri de bilindiğine göre T_{wb} değeri, deneme-
sınama yöntemiyle bulunur.

Örnek hesaplama - Birinci dilin, I. dairelik bölümü

- Islak termometre sıcaklığı :

$$T_{db} = 200^\circ\text{C} , y_b = 0.024$$

$$\text{Deneme : } T_{wb} = 48^\circ\text{C}$$

$$A_{h_{fg}} = 2387 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}^{1/3} , y_s = 0.112^{1/3}$$

$$\frac{(200 - 48)}{2387 \times 10^3 \times 18} \stackrel{?}{=} 0.405 \times 10^{-4} (0.112 - 0.024)$$

$$152 = 152$$

$$0 \text{ halde } T_{wb} = 48^\circ\text{C} , y_s = 0.112$$

- Havanın fiziksel özellikleri

$$M_{or} = (1 - 0.024) \times 29 + 0.024 \times 18 = 28.7 \text{ kg/kmol}$$

$$T = 200^\circ\text{C'de}$$

$$P = \frac{P_{M_{or}}}{RT} = \frac{1 \times 10^5 \times 28.7}{8314 \times 473} = 0.731 \text{ kg/n}^3$$

$$\mu = 25.7 \times 10^{-6} \text{ kg/m}\cdot\text{s}^{16}$$

$$Sc = \frac{25.7 \times 10^{-6}}{0.731 \times 0.256 \times 10^{-4}} \left(\frac{298}{473} \right)^{1.5} = 0.693$$

- Terminal hız¹¹

$$C_D' = \frac{48 dp^3 \rho (\rho_s - \rho)}{3 \mu^2}$$

$$C_D' = \frac{4 \times 9.81 \times 0.731 \times \left(\frac{X + 1}{0.001X + 0.00074} - 0.731 \right)}{3 \times (25.7 \times 10^{-6})^2} d_p^3$$

İlk dilime girişte bütün damlacıklar için X değeri aynı (X = 13.5) olduğundan C_D' ifadesinde tek parametre olarak dp kalır :

$$C_D' = 1.478 \times 10^{13} dp^3$$

I. damlacık bölümü için

$$C_D' = 1.478 \times 10^{13} \times (145 \times 10^{-6})^3 = 45$$

C_D' nin Re'ya karşı logaritmik grafiğinden¹¹

$$Re = 1.5$$

$$u_t = \frac{Re \mu}{\rho dp}$$

$$u_t = \frac{1.5 \times 25.7 \times 10^{-6}}{0.731 \times 145 \times 10^{-6}} = 0.36 \text{ m/s}$$

- Sabit koordinatlara göre hız

$$u = u_t + u_H$$

İlk dilimde hava kütleli debisi, giriş değerine eşittir.

Diğer dilimlerde kuru hava debisine dilim girişindeki rutubete karşılık gelen değer eklenecek hava kütleli debisi bulunur.

Kurutucunun silindirik bölümünde kesit alan 1.43 m^2 olduğundan

$$u_H = \frac{0.111}{0.731 \times 1.43} = 0.10 \text{ m/s}$$

$$u = 0.36 + 0.10 = 0.46 \text{ m/s}$$

- Kütle transfer katsayısı

$$Sh = 2 + 0.6 \text{ Re}^{0.5} \text{ Sc}^{0.33}$$

$$Sh = 2 + 0.6 \times (1.5)^{0.5} \times (0.693)^{0.33} = 2.65$$

$$k_y = \frac{Sh D_p}{d_p} = \frac{2.65}{146 \times 10^{-6}} \times 0.256 \times 10^{-4} \left(\frac{472}{298} \right)^{1.5} \times \frac{1 \times 10^5}{8314 \times 473}$$

$$k_y = 0.0236 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}$$

- Nem kaybı

$$A_{m_w} = \pi d_p^2 \times \frac{L}{u} \times 18 \times k_y \times \ln \left(\frac{1 - y_b}{1 - y_s} \right)$$

$$A_{m_w} = 3.14 \times (145 \times 10^{-6})^2 \times \frac{0.20}{0.46} \times 18 \times 0.0236 \times \ln \frac{1 - 0.024}{1 - 0.112}$$

$$A_{m_w} = 11.6 \times 10^{-10} \text{ kg}$$

- Dilim çıkışı damla nem içeriği ve çapı

$$m_w = 15.2 \times 10^{-10} - 11.6 \times 10^{-10} = 3.6 \times 10^{-10} \text{ kg}$$

$$\frac{\pi d_p^3}{6} = \frac{3.6 \times 10^{-10}}{1000} + \frac{1.1 \times 10^{-10}}{1350}$$

$$d_p = 94 \times 10^{-6} \text{ m}$$

- Dilim çıkışı hava rutubeti

Benzer şekilde diğer damlacıklar için de m_w değerleri hesaplandıktan sonra tüm boyut dağılımını ifade eden boş damlacık için toplam nem kaybı bulunur :

$$m_T = 11.5 \times 10^{-10} - 12.3 \times 10^{-10} - 12.6 \times 10^{-10} - 13.0 \times 10^{-10}$$

$$- 13.8 \times 10^{-10}$$

$$m_T = 63.2 \times 10^{-10} \text{ kg}$$

$$\text{Kuru hava debisi} = \frac{0.111}{1.015} = 0.109 \text{ kg/s}$$

$$H = \frac{2.36 \cdot 10^5}{5} \times 63.2 \times 10^{-10} \times \frac{1}{0.109} = 0.0028$$

$$H = 0.015 \cdot 0.0028 \times 0.0178$$

$$y_b = 0.028$$

Birinci ve izleyen dilimler için hesaplama sonuçları çizelgeler şeklinde aşağıda verilmiş (Çizelge 2 - 11) damlacık nem içeriklerinde model uyarınca kurutucu kurutucu boyunca değişme şekil: 10'da gösterilmiştir.

III. Damlacık bölümü için küresellik değerinin etkisini göstermek amacıyla hesaplamalar tamamlandıktan sonra bir de küresellik için 0.8 olması hali için nem kayıpları hesaplanarak aynı çizelgelerde bir ek kolon halinde ve şekil: 10'da kesikli çizgi şeklinde sonuçlar sunulmuştur.

Çizelge 2. Dilim 1 (Z=0-0,2 m) koşul ve sonuçları

		$H_1=0,015$		$T_1=473$ K			
		$Y_{S1}=0,024$		$Y_{S1}=0,112$			
EGİLİM		I	II	III	III ($\psi=0,8$)	IV	V
C_{D1}		47	100	194	194	346	541
u_1	$m s^{-1}$	1,5	2,3	4,9	2,9	7,9	11,0
Sh_1		0,16	0,62	0,33	0,53	1,07	1,26
$h_1 \times 10^2, k_{uo1} m^{-2} s^{-1}$		2,65	2,09	3,13	2,90	3,49	3,76
$\Delta p_{D1} \times 10^{10}, kg$		11,6	12,3	12,6	10,1	13,0	13,0
$\frac{1}{W_2} \times 10^{10}, kg$		3,6	21,3	52,3	47,4	103,5	163,5
X_2		3,3	3,5	11,0	9,9	12,0	12,5
$p_2, \mu m$		94	166	221	215	276	324

Çizelge 3. Dilim 2 (Z=0,2-0,4 m) koşul ve sonuçları

		$u_2=0,0178$		$T_2=462$ K			
		$Y_{S2}=0,020$		$Y_{S2}=0,110$			
EGİLİM		I	II	III	III ($\psi=0,8$)	IV	V
C_{D2}		13	72	163	155	327	520
Re_{D2}		0,5	2,3	4,3	2,1	7,2	10,4
u_2	$m s^{-1}$	0,28	0,57	0,76	0,43	0,98	1,11
Sh_2		2,37	2,80	3,10	2,77	3,42	3,71
$h_2 \times 10^2, k_{uo2} m^{-2} s^{-1}$		3,24	2,17	1,80	1,66	1,59	1,47
$\Delta p_{D2} \times 10^{10}, kg$		10,2*	10,4	11,5	17,3	12,3	13,0
$\frac{1}{W_3} \times 10^{10}, kg$		-	10,9	41,4	29,6	91,2	155,5
X_3		-	4,4	8,6	6,6	10,6	11,5
$p_3, \mu m$		-	135	205	185	265	316

* Bu mekanizma uyarınca damlacıklar kritik nem içeriğine kuruyacaktır.

$$\Delta p_{V1} = (3,6-1,1) \times 10^{-10} = 2,5 \times 10^{-10} \text{ kg}$$

$$2,5 \times 10^{-10} \times 0,28$$

$$\Delta L_1 = \frac{18 \times 3,14 \times (9,4 \times 10^{-6})^2 \times 3,24 \times 10^{-2} \times \ln \frac{1-0,028}{1-0,110}}{0,05 \text{ m}}$$

Çizelge 4. Dilin 3 ($Z=0,4-0,6$ m) koşul ve sonuçları

	$H_3=0,0199$	$T_3=451$ K			
	$\gamma_{b3}=0,031$	$\gamma_{s3}=0,167$			
BÖLÜM	II	III	III($\psi=0,8$)	IV	V
C_{D3}	41	145	107	311	526
Re_3	1,7	3,8	1,7	7,0	10,3
$u_{3,m}$ s^{-1}	0,44	0,70	0,40	0,96	1,16
Sh_3	2,62	0,03	2,69	3,40	3,70
$k_3 \times 10^2$, $kmol m^{-2} s^{-1}$	2,43	1,88	1,85	1,63	1,49
$\Delta C_{A3} \times 10^{10}$, kg	9,5 ^x	10,4	14,6	11,0	11,3
$m_{w4} \times 10^{10}$, kg	-	31,0	15,0	80,2	143,7
\bar{x}_4	-	6,5	3,1	9,3	10,6
d_{p4} , μm	-	188	152	255	308

$$\Delta m_{w,II} = 3,4 \times 10^{-10} \text{ kg} ; \quad \Delta L_{II} = 0,13 \text{ m}$$

Çizelge 5. Dilin 4 ($Z=0,6-0,8$ m) koşul ve sonuçları

	$\bar{u}_4=0,0217$	$T_4=440$ K			
	$\gamma_{b4}=0,034$	$\gamma_{s4}=0,105$			
BÖLÜM	III	III($\psi=0,8$)	IV	V	
C_{D4}	119	65	295	519	
Re_4	3,0	1,2	6,8	10,1	
$u_{4,m}$ s^{-1}	0,59	0,34	0,93	1,12	
Sh_4	2,91	2,58	3,30	3,68	
$k_4 \times 10^2$, $kmol m^{-2} s^{-1}$	1,95	2,13	1,66	1,50	
$\Delta m_{w4} \times 10^{10}$, kg	10,1	12,5 ^x	10,0	11,0	
$\Delta V_5 \times 10^{10}$, kg	20,9	-	70,2	132,7	
\bar{x}_5	4,4	-	8,2	9,8	
d_{p5} , μm	167	-	244	301	

$$\Delta m_{w,III}(\psi=0,8) = 10,2 \times 10^{-10} \text{ kg} ; \quad \Delta L_{III}(\psi=0,8) = 0,16 \text{ m}$$

Çizelme 6. Dilin 5 (Z=0,3-1,0 m) koşul ve sonuçları

		$H_5=0,0230$		$T_5=429$ K	
		$\gamma_{b5}=0,036$		$\gamma_{s5}=0,099$	
BÖLÜM		III	IV	V	
C_{D5}		09	273	510	
Re_5		2,5	6,6	10,0	
$u_{5,m}$ s ⁻¹		0,55	0,91	1,09	
Sh_5		2,83	3,35	3,67	
$k_{y5} \times 10^2$, kcal m ⁻² s ⁻¹		2,11	1,71	1,51	
$\Delta_{m,w5} \times 10^{10}$, kE		8,2	8,6	9,6	
$m_{w6} \times 10^{10}$, kg		12,7	61,6	123,1	
X_6		2,6	7,2	9,1	
d_{p6} , μ m		146	235	294	

Çizelme 7. Dilin 6 (Z=1,0-1,2 m) koşul ve sonuçları

		$H_6=0,0241$		$T_6=413$ K	
		$\gamma_{b6}=0,038$		$\gamma_{s6}=0,097$	
BÖLÜM		III	IV	V	
C_{D6}		65	260	507	
R_{c6}		2,7	6,3	1,7	
$u_{6,m}$ s ⁻¹		0,49	0,87	1,07	
Sh_6		2,74	3,32	3,66	
$k_{y6} \times 10^2$, kcal m ⁻² s ⁻¹		2,31	1,74	1,53	
$\Delta_{m,w6} \times 10^{10}$, kE		7,1	7,8	8,8	
$m_{w7} \times 10^{10}$, kg		5,6	53,8	114,3	
X_7		1,2	6,2	8,5	
d_{p7} , μ m		121	226	287	

Çizelce 8. Dilim 7 (Z=1,2-1,4 m) koşul ve sonuçları

$H_7=0,0251$ $T=407$ K
 $\gamma_{b7}=0,039$ $\gamma_{s7}=0,091$

BÖLÜM	III	IV	V
C_{D7}	42	248	503
R_{c7}	1,4	6,0	9,9
$u_7, m s^{-1}$	0,46	0,86	1,07
S_{h7}	2,62	3,28	3,65
$k_{y7} \times 10^2, kmol m^{-2} s^{-1}$	2,63	1,77	1,55
$\Delta n_{w7} \times 10^{10}, kg$	5,3*	6,6	7,5
$n_{w3} \times 10^{10}, kg$	-	47,2	106,8
X_0	-	5,5	7,9
$d_{p9}, \mu m$	-	217	281

* $\Delta n_{wVIII} = 0,0,10^{-10} kg$, $\Delta n_{wIII} = 0,03 m$

Çizelce 9. Dilim 8 (Z=1,4-1,6 m) koşul ve sonuçları

$H_8=0,0257$ $T=396$ K
 $\gamma_{b8}=0,040$ $\gamma_{s8}=0,006$

BÖLÜM	IV	V
C_{D8}	235	535
R_{c8}	5,0	9,9
$u_8, m s^{-1}$	0,91	1,13
S_{h8}	3,25	3,64
$k_{y8} \times 10^2, kmol m^{-2} s^{-1}$	1,80	1,56
$\Delta n_{w8} \times 10^{10}, kg$	5,2	6,1
$n_{w9} \times 10^{10}, kg$	42,0	103,7
X_9	4,9	7,4
$d_{p9}, \mu m$	210	276

Örnek 10. Diline 9 (Z=1,6-1,35 m) koşul ve sonuçları

$u_0 = 1262$ $T_0 = 315$ K

$y_{s0} = 0,041$ $y_{s9} = 0,001$

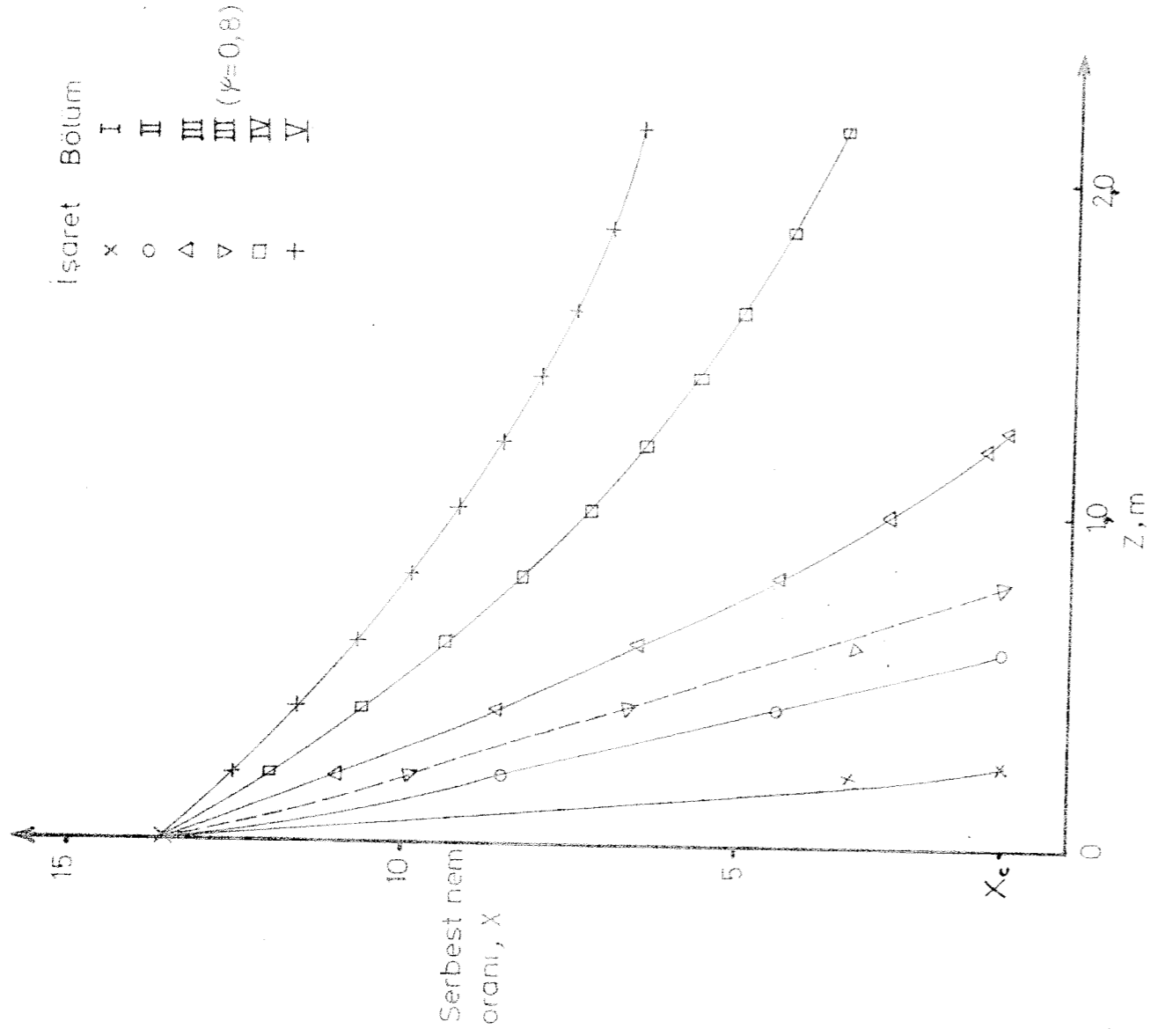
BÖLÜM	IV	V
C_{D0}	230	514
K_{s0}	5,6	11,0
u_{10} , m s ⁻¹	1,05	1,29
S_{h0}	3,22	3,63
$K_{y0} \times 10^2$, kmol m ⁻² s ⁻¹	1,12	1,56
$\Delta W_{10} \times 10^{10}$, kg	4,6	5,6
$W_{10} \times 10^{10}$, kg	37,4	95,1
X_{10}	4,3	7,0
d_{pf0} , μ m	243	272

Örnek 11. Diline 10 (Z=1,05-2,15 m) koşul ve sonuçları

$H_{10} = 0,033$ $T_{10} = 373$ K

$y_{b10} = 0,050$ $y_{s10} = 0,003$

BÖLÜM	IV	V
C_{D10}	206	487
R_{c10}	4,0	9,7
u_{10} , m s ⁻¹	0,56	0,74
S_{h10}	3,14	3,63
$K_{y10} \times 10^2$, kmol m ⁻² s ⁻¹	1,79	1,54
$\Delta W_{10} \times 10^{10}$, kg	7,9	0,1
$W_{10} \times 10^{10}$, kg	29,5	06,0
X_{10}	3,4	6,4
d_{pf} , μ m	190	264



Şekil.10 Kurutma modeline göre damlacıkların kurutucu boyunca nem içeriklerindeki değişme

Handwritten notes and equations at the bottom of the page, including mathematical expressions for moisture ratio and drying curves.

Çizelge 11'de görüldüğü gibi IV. ve V. bölün damlacıklar, süpürmelerini tamamladıkları halde kritik nem içeriğine ulaşmamış görünmektedirler. Bu bölümler için hareketsiz halde ve son dilim koşullarında kritik nem içeriğine ulaşma için gerekli süreler aşağıda hesaplanmıştır :

Bölüm IV

$$\Delta m_w = (29.5 - 8.6) \times 10^{-10} = 20.9 \times 10^{-10} \text{ kg}$$

$$k_y = \frac{1 \times 10^5}{8314 \times 373} \times \frac{2}{190 \times 10^{-6}} \times 0.256 \times 10^{-4} \left(\frac{273}{298} \right)^{1.5} =$$

$$= 0.0118 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\theta_{IV} = \frac{20.9 \times 10^{-10}}{0.0118 \times 18 \times 3.14 \times (190 \times 10^{-6})^2 \times \ln \frac{1 - 0.050}{1 - 0.085}} = 2.4 \text{ s}$$

Bölüm V

Benzer şekilde , $\theta_V = 5,9 \text{ s}$

Bu rakamlarında ışığı altında her bölüm için kritik nem içeriğine ulaşma süresi hesaplanarak aşağıdaki çizelgede verilmiştir :

Çizelge 12. Damlacıkların kritik nem içeriğine ulaşma süreleri

BÖLÜM	I	II	III	III($\psi = 0.8$)	IV	V
θ_c, s	0.6	1.1	2.0	1.8	4.9	7.9

5.3.2. DİFFÜZYON MEKANİZMASINA GÖRE KURUMA :

Damlacıklar kritik nem içeriğine ulaştıktan sonra diffüzyon mekanizması uyarınca kurunaktadırlar. Bölüm 5.3.1. de hesaplanan kritik nem içeriğine ulaşma süreleri, Çizelge 12'den de görüldüğü gibi birkaç saniye mertebesinde dir.

Kurutucuda ortalama kalış süresi 10 dakika olduğuna göre kritik nem içeriğine ulaşma süreleri, bu sürenin yanında ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır.

Diffüzyon mekanizmasına göre taneciklerin nem kaybının hesaplanmasında geçici rejim diffüzyon denkleminin yüzeyden buharlaşma sınır koşulu ve küresel geometri için grafiksel çözümü¹⁴ kullanılmıştır.

Grafiksel çözümden $(D_c \theta / df^2) 0.5 = 0.99$ ve

parametre $(k_c df / D_c) = \infty$ için

$$\frac{A_{mwd}}{m_{wc}} = 1$$

değeri karş gelmektedir. Benzer şekilde diğer bölümler için de yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 13'te verilmiştir.

Çizelge 13. Taneciklerin diffüzyon mekanizması uyarınca nem kayıpları

BÖLÜM	I	II	III	IV	V
$m_{wc} \times 10^{10}, kg$	1.1	2.5	4.8	8.6	13.5
$df, \mu m$	72	94	117	142	165
$(D_c \theta / df^2)^{1/2}$	0.99	0.76	0.61	0.50	0.43
$\Delta m_{wd} / m_{wc}$	1	1	0.99	0.94	0.90
$m_{wf} \times 10^{10}, kg$	0	0	0.05	0.52	1.35

Tüm dağılımı ifade eden beş ayrı boy tanecek için

$$\text{Toplam su miktarı} = (0.05 \downarrow 0.52 \downarrow 1.35) \times 10^{-10} = 1.92 \times 10^{-10} \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam kazeinat miktarı} &= (1.1 \downarrow 2.5 \downarrow 4.8 \downarrow 8.6 \downarrow 13.5) \times 10^{-10} \\ &= 30.5 \times 10^{-10} \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Ortalama nem oranı} = \frac{1.92 \times 10^{-10}}{30.5 \times 10^{-10}} = 0.063 \text{ kg su / kg kazeinat}$$

$$\text{Kuru madde içeriği} = \frac{30.5 \times 10^{-10}}{(30.5 - 1.92) \times 10^{-10}} \times 100 = \%94$$

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışma plânlandığı zaman, izoelektrik noktada çöktürülmüş ve yıkılmış kazeinin püskürtmeli kurutucuda kuruma medeli kurulması amaçlanmıştı. Ancak pratik çalışmalar kazein bulamacının pH 4.7 civarında yeterli homojenizasyona sahip olmadığı ve bu nedenle kurutucunun diskini terkeden bulamacın yeterli derecede kurumadan kurutucunun cidarına yapıştığı görülmüştür. Kurmanın bu pH değerinde mekaniksel yolla Homojenizasyonu stabil bir yapıya ulaşmadığı anlaşıldıktan sonra pH değerini yükselterek homojenizasyon sağlanabilmiştir. Bu durumda sodyum kazeinatların oluştuğu ve pH 6.2 değerinde sistemin homojen yapıya ulaştığı tespit edildikten sonra kurutma denemelerine başlanmıştır. Literatürde sodyum kazeinatın pH 6.7 de meydana gelmediği belirtilmesine göre, kullandığımız sıvıda sodyum kazeinatın hakim olduğu (kazeinat sıvısı) kabul edilebilir.

Püskürtmeli kurutucuda %6.9 kuru madde içeren kazeinat sıvısı ile çalışılmıştır. İşlemin ekonomisi açısından bu oranın mümkün olduğu kadar yükseltilmesi gerekir. Optimum konsantrasyonunun bulunması ayrı bir çalışmayı gerektirecektir. Ancak

pilot tesislerdeki çalışmalarımız göstermiştir ki, kurutma gazları ile damlacıkların doğru akım prensibine göre temas ettirilmemesinde gaz sıcaklığı 200°C'ya kadar çıkabilmekte ve %2.4 nem içeren kazeinat tozunun bezunmadan üretilebilmesi mümkün olmaktadır. Elde edilen ürünlerdeki nem değerinin düşük olması, bakterial bezunma olasılığını minimuma indireceğinden, gıda maddesi olarak saklanması kolaylaştırmaktadır. Ürünün inceliği ise, kazeinat sıvısının konsantrasyonuna doğrudan bağlı olması nedeniyle kolaylıkla ayarlanabilecektir. Püskürtmeli kurutucuda elde edilen bu ürünün, sindirilebilen protein açısından değerini en yüksek düzeyde tutabilmek için kazeinat damlacıklarının, kurutucuda partiküllere dönüştürüldüğünü notadan itibaren (kritik nem) mümkün olduğu kadar kısa bir sürede sıcak gazlarla temasının kesilmesi ve denatürasyonun önlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, damlacık kuruma karakteristiği denenmiş ve bulgular matematiksel modele beslenerek partiküllerin atomizörü terkettikten itibaren kurutucunun yüksekliği boyunca nem değişikliği hesaplamaları takip edilmiştir (Şekil 10). Şekilden görüldüğü gibi ince partiküller (ilk üç guruptakiler) kritik nem değerine kurutucunun yarı yüksekliği içinde erişmekte, büyükler ise (son iki guruptakiler) düşme yolu boyunca kritik neme ulaşmamaktadır.

Bundan anlaşılacağı gibi, partiküllerin boyutlarındaki farklılıklar, partiküllerin nem içeriklerinin fazlalığında birinci derecede rol oynamaktadır.

Bu çalışmanın öngördüğü şartlarda hazırlanacak kazeinat sıvısı ile beslenen (Konsantrasyona bağımsız) bir püskürtmeli kurutucunun yüksekliğinin hesaplanmasında, matematiksel modelin verileri (Çizelgeler ve Şekil 10) ışık tutabilir. Yeter ki, kullanılacak atomizörün üreteceği damlacık boyutları ve ağırlık kesirleri bilinsin. Şüphesiz ki uygulanan modelin sıhhatliliği tartışmaya açıktır. Modelden hesaplanan kazeinat ürünü ortalama nem oranı, $X = 0.063$; deneyden bulunan ise $X = 0.024$ dür.

Modelin öngördüğü değerlerin yüksekliği yapılan bazı varsayımlara atfedilebilir. Şöyle ki; damlacıkların atomizörden çıkmalarının- dan itibaren terminal hızla düşmelerine kadar geçen süre ihmal edilmiştir. Oysa bu bölgede damlacıklar hızla hareket ettiklerinden gaz filmi transfer katsayısı yüksektir ve damlacıklar bu bölgede en yüksek sıcaklıktaki ve en düşük rutubetteki hava ile temastadır. Bu nedenle süre kısa olsa da damlacıktan önemli miktarda buharlaşma olması beklenir. Ayrıca diffüzyon mekanizmasının hakim olduğu kuruma bölgesindeki partiküllerin küresel şekilde olduğu kabul edilmiştir. Oysa küresellikten sapma durumunda partiküllerin nem kaybı daha çok olacaktır. Hatta küresellikten sapmaların partiküllerin serbest düşme periyotlarını arttıracaktır, bu nedenle daha çok nem kaybı olacaktır bilinen bir husustur. Nitekim Şekil 10 da (bir fikir vermek üzere) III. bölüm tanecikler için kabul edilecek $V = 0.80$ değerinin nem kaybına etkisi görülmektedir. Bu nedenlerle, deney sonucu bulunan ortalama nem değerinin modelin öngördüğü değerden yüksek olduğu söylenebilir.

7. Ö Z E T

Bu çalışmada sütün sülfürik asit asidülasyonu ile pH 4.7 ile elde edilen kazcin pıhtısı, su ile yıkandıktan sonra soğuk hidreksitin normal çözeltisi ile pH 6.2 değerinde homojenleştirilmiş ve 200°C'taki sıcak gazlarla doğru akımla çalısın bir spray (püskürtmeli) kurutucuya beslenmiştir. Elde edilen sıfıyım kazeinat tozunun %2.4 nem içeriği bulunmuştur. Ayrıca, kazeinat sıvısının kurutucunun atomizöründen çıkışından itibaren, damlacıklar halinde serbest düşmesini, kritik neme ulaşma esnasında partiküllere dönüşmesini, katı içinde diffüzyon mekanizmasını içeren bir matematiksel model geliştirilerek nem kayıpları kurutucu yüksekliğine göre hesaplanmıştır. Bu hesaplamalardan, partiküllerin boyutlarına göre nem içerikleri ve kurutucu matrisi içindeki mevkileri tespit edilerek kurutucu yüksekliğinin seçimine ışık tutacak bilgiler verilmiştir. Uygulanan modelin gerçeğiği tartışılmıştır.

SEMBOLLER

- C_p : Sabit basınçta özgül ısı, $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
 C_D : Sürüklenme katsayısı
 C_D' : $49 d_p^{3P} (P_s - P) / 3\mu^2$
 d : Çap, m (veya μm)
 d_f : Serbest nem oranının kritik ve daha düşük değerleri için, tanecikte.
 d_k : Kuruma karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılan cam kürede.
 d_p : Damlacık ya da tanecikte.
 d_{pi} : d_p , dilim i'de.
 D : Su buharının hava içinde difüzyon hızı, $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
 D_e : Azalan hızda kuruma bölgesinde kazeinat içinde nem difüzyonunu ifade eden etkin difüzyon katsayısı, $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
 C : Yerçekimi ivmesi, 9.81 ms^{-2}
 Δh_{fg} : Suyun ıslak termometre sıcaklığındaki buharlaşma entalpisi, kJ kg^{-1}
 H : Mutlak rutubet, $\text{kg su (kg kuru hava)}^{-1}$
 ΔH : Bir dilim boyunca H'daki artış
 k_c : Konsantrasyon farkı cinsinden kütle transfer katsayısı, ms^{-1}
 k_y : Mol kesri farkı cinsinden kütle transfer katsayısı, $\text{kmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 L : Dilim yüksekliği, m
 l : Kazeinat tabakası kalınlığı, m
 m : Damlacık veya tanecikte kütle, kg
 m_k : m, kazeinat
 m_w : m, su
 m_{wc} : m_w , kritik nem içeriğinde
 m_{wf} : m_w , işlem sonunda
 m_{wi} : m_w , dilim i'de

- m_T : m 'deki azalma, toplam
 m_{wi} : m_w 'deki azalma, dilim i'de
 m_{wd} : m_w 'daki azalma, difüzyon mekanizmasına göre
 N : *mole kütlesi akışı* $\frac{kmol}{m^2 \cdot s}$
 M_{or} : Rutubetli havanın ortalama molekül ağırlığı, $kg \cdot kmol^{-1}$
 Nu : Nusselet sayısı, $\frac{\lambda dp}{\lambda}$
 P : Basınç, bar (veya Nm^{-2})
 F_w^0 : Suyun buhar basıncı, bar
 Pr : Pradtl sayısı, $\frac{C_p \mu}{\lambda}$
 R : Universal gaz sabiti, $8314 \text{ J kmol}^{-1} K^{-1}$
 Re : Reynolds sayısı, $\frac{\rho u r}{\mu}$
 Sc : Schmidt sayısı, $\frac{\mu}{\rho D}$
 Sh : Sherwood sayısı, $\frac{k_c d_p}{D}$
 T : Sıcaklık, K (veya $^{\circ}C$)
 T_{db} : T , kuru termometre
 T_{wb} : T , ıslak termometre
 u : Doğrusal hız, ms^{-1}
 u_t : u , damlacık, havaya relatif terminal
 u_H : u , hava
 X : Serbest nem oranı, $kg \text{ su} / kg \text{ kazeinat}$
 X_c : X , kritik nem içeriğinde
 X_1 : X , dilim i'de
 Y : Gaz fazda su buharı mol kesri
 Y_b : Y , kitlesel
 Y_s : Y , kazeinat yüzeyinde
 Y_s^0 : Y_s , havanın ıslak termometre sıcaklığında
 Z : Kurutucu girişinden itibaren aşağı doğru düşey mesafe, m

- α : Isı transfer katsayısı, $W m^{-2} K^{-1}$
 λ : Isı iletkenlik katsayısı, $W m^{-1} K^{-1}$
 μ : Havanın viskozitesi, $kg m^{-1} s^{-1}$
 ρ : Hava yoğunluğu, $kg m^{-3}$
 ρ_m : Hava molar yoğunluğu, $kmol m^{-3}$
 ρ_s : Katı yoğunluğu, $kg m^{-3}$
 $P_{sc} : P_g$, kritik nom içerisinde
 $P_{si} : P_s$, dilim i'de
 θ : Süre, s
 φ : Küresellik, (tanecikle aynı hacimdeki kürenin yüzey alanı)/
 (tanecik yüzey alanı)

KAYNAKLAR

1. Muller L.L.
Manufacture and Uses of Casein and Co-precipitate
Dairy Sci. Abstr. 33 (9), 662, (1971)
2. Hayes J.F., Southbb P.M., Muller L.L.
Factors affecting the viscosity of caseinates in dispersions of
high concentrations
J. Dairy Res. 35 , 31 (1968)
3. Trexler P.C.
Method of Producing Casein
U.S. Patent 2, 618, 629. (1952)
4. Çakaloç T.
Droplet Drying in a Spray Dryer
Drying 80. 1, 343. (1980)
Hemisphere Publishing Corporation
5. Muller L.L.
Investigation in casein manufacture and quality
Australian J. Dairy. Technol. 14, 81 (1959)
6. Webb B.H. , Whitter E.O.
Byproducts from Milk, 2nd Edn, 1970.
AVI Publishing Co.
7. Çakaloç T., Mc Kinlay Clark I.
Prediction of Spray Drying of Detergents from Lab. Experiments
and Mathematical Models
Unilever Research P RS 76, 1179 (1976)
8. Parti M., Palancz B.
Chem. Eng. Sci. 29, 355 (1974)

9. Audu T.O.K., Jeffreys G.V.
Trans. Inst. Chem. Eng. 53, 165, (1975)
10. Ranz W.E., Marshall Jr., W.R.
Evaporation from drops - Part II
Chem. Eng. Progr., 48 (4), 173 (1952)
11. Faust A.S., Wenzel L.A., Clump C.W., Maus L., Andersen L.B.
Principles of Unit Operations, 1960
John Wiley and Sons, Inc., New York
12. Bird R.B., Steward W.E., Lightfoot E.N.
Transport Phenomena, 1960
John Wiley and Sons, Inc., New York
13. Hamblin F.D.
Abridged Thermodynamic and Thermochemical Tables - S.I. Units. 1971
Pergamon Press, London
14. Crank J.
Mathematics of Diffusion, 1956
Oxford University Press, London
15. Yöney Z.
Süt Kimyası. 1974
Ankara Univ. Ziraat Fak. Yay. No.530, Ankara
16. Heldman D.R., Singh R.F.
Food Process Engineering. 2nd Ed., 1981
AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut

EK I

KAZEİNİN SU DA ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ VE PH KARAKTERİSTİKLERİ

Klasik yöntemle (TIP I) ve püskürtmeli kurutucu ile kurutulmuş üretilen (TIP II) kazein örneklerinde yapılan suda çözünürlük ve pH denemeleri aşağıda verilmiştir.

Örneklerden 1 g alınarak 25°C da 100 g su ile 3 saat karıştırılarak elde edilen süspansiyonların pH değerleri :

TIP I - 5,5 ; TIP II - 6,2

TIP I den elde edilen süspansiyon 2 N NaOH çözeltisi ilave edilerek pH değeri 6,2 ye getirildikten sonra süzülür ve katı madde, vakumda (25 mm Hg) kurutuldu. TIP II den elde edilen süspansiyon süzülerek aynı şartlarda kurutuldu. Çözünme-yen katı madde miktarı :

TIP I - 0.518 g (% 51.8) TIP II - 0.067 (% 6.7)

Tip I de jelleşme gözlenmesine karşın Tip II de jelleşmeye rastlanmadı.

Tip I ve Tip II örneklerinde çözünürlük farkının başlıca nedeni kurutma işlem-lerindeki farklılıktan ortaya çıkmaktadır.

Püskürtmeli kurutucuda kurutulma sırasında kazein proteinleri minimum denatürasyona uğramaktadırlar.