



TÜBİTAK

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

VII. BİLİM KONGRESİ  
MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU  
TEBLİĞLERİ  
(KİMYA SEKSIYONU)

29 - Eylül 3 - Ekim 1980  
Kuşadası - AYDIN

MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

**NEMLİ BORAKSIN TİTREŞİMLİ AKIŞKAN YATAKLI  
KURUTUCUDA KURUTULMASI**

Nilsen DİZDAR (1)<sup>x</sup>, İtir SA YIN (2), İ. Ersan KALAFATOĞLU (2)  
(1) Boğaziçi Üniversitesi, Bebek - İSTANBUL  
(2) TÜBİTAK - MAE Kimya Bölümü - GEBZE

**ÖZET**

Bu çalışmada Etibank Bandırma Boraks Fabrikasının santrifüj çıkışından alınan nemli boraksın sürekli çalışan bir titreşimli akışkan yataklı pilot kurutucuda kurutulması için gerekli koşullar incelenmiş ve süreç değişkenlerinin, yağ madde nem miktarı : % 4-15, ortalama tanecik büyüklüğü: 0.19 - 0.28 mm., hava giriş sıcaklığı : 80 - 100°C, hava akış miktarı : 600-1100kg/saat, yağ madde akış hızı : 80 - 175 kg/saat, maddenin yatakta alınma süresi : 3 - 8 dakika arasında olduğu koşullar içinde, boraksın bozulmadan kurutulabildiği değerler saptanmıştır. Yapılan deneyler sonunda, en uygun şartlarda kuru boraks içindeki nem miktarı % 0.5'in altına indirilmiştir. Ayrıca konu ile ilgili ön çalışmalar yapılarak, hava akımlı ve vakumlu fırınlarda boraksın kurutulması ve dehidratasyonu, DTA, TGA analizleri incelenmiş, kesikli çalışan bir akışkan yatakta değişik yatak yükseklikleri için kuru boraksın minimum akışkanlaşma hızları ve yatak gözenekliliği belirlenmiştir.

**1. GİRİŞ**

Boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) endüstride çok geniş ve çeşitli uygulama alanları olan önemli bir tuzdur. Başlıca cam, porselen, emaye, gübre, sabun, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde, yapıştırıcı, ateşe dayanıklı, antifriz ve izolasyon maddeleri yapımında kullanılmaktadır. Bu endüstrilerin çoğunda boraksın kurutulması oldukça önemli görülmektedir.

Boraks ticari yönden bor tuzlarının en önemlilerinden biridir. Türkiye başta kolemanit, tinkal (boraks) ve tükelsit olmak üzere dünyanın en büyük bor rezervlerine sahiptir. Bugün Etibank Bandırma Boraks Fabrikasında kolemanit ve tinkalden sırasıyla borik asit ve boraks ve sodyum perborat üretimi yapılmaktadır. Burada tinkal, ekstraksiyon, kristalizasyon ve santrifüjleme işlemlerinden geçtikten sonra döner tepsielerde kurutulmaktadır. Son yıllarda akışkan yatak üzerinde yapılan çalışmalar akışkan yataklı kurutucuların diğer kurutuculara nazaran daha avantajlı olan yönlerini

x) Şimdiki Adresi : TÜBİTAK - MAE Kimya Bölümü, Gebze

açığa çıkarmıştır. Bu gün pek çok maddenin kurutulmasında akışkan yatakların kullanılması oldukça verimli olmakta ve sürekli kurutma işlemlerinde diğer yöntemlerin yerini almaktadır. Bu nedenle nemli boraksın akışkan yatakta kurutulmasıyla ilgili bir çalışma yapmak yararlı görülmüştür. (1)

## II. AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCULAR

Akışkan yataklı kurutucularda yatağa giren soğuk ve nemli madde yüksek hızla içeriye verilen sıcak gaz yolu ile akışkan katı durumuna gelmekte ve nemli katı madde ile gazın karışma hızı çok yüksek olmaktadır. Katı maddelerin ısı kapasiteleri gazlara oranla çok yüksek olduğundan oldukça yüksek sıcaklıktaki gaz akışkan yatağın altından verilmekte ve bu sıcaklık yatağın her tarafına eşit olarak dağılmaktadır.

Bu kurutucularda hacimsel ısı iletim katsayısı ve oldukça yüksek gaz giriş sıcaklıklarından ötürü sıcaklık itici kuvveti çok yüksek olduğundan ısı iletim hızı, bunun yanı sıra akışkanlığı sağlıyan gazın, katı parçacıklara oranla hızının çok fazla olmasından kütle iletim hızı yüksek olmakta ve katı maddelerdeki yüzey neminin uzaklaştırılması çok kısa bir sürede olabilmektedir. (2) (3).

Akışkan yataklı kurutucuların bazı sakıncaları vardır. Yataktaki çok fazla karışmadan ötürü her katı parçacığın yatakta kalma süresi aynı değildir. Kurutulmuş madde ortalama nem miktarlarının üstünde nemli olan parçacıklar olabileceği gibi, ortalamadan daha az nemli olan parçacıklar da olabilir. Kuru üründe çok düşük nem miktarları aranmadığı sürece bu özellikte pek sakıncalı değildir. Yaş madde besteme hızı düşürülerek, yatak üstünde olan madde miktarı fazlalastırılarak parçacıkların kurutulmada kalma süresi arttırılabilir ve bu sakınca önlenebilir. (2, 3)

Akışkan yataklı kurutucularda, içeri verilen yaş maddenin nemi çok yüksek olduğunda, dışarı alınan kuru üründe çok düşük nem miktarlarına inmenin olanaksız olduğu sanılabilir. Oysa iyi bir karıştırma işlemi sağlandığında ürünün nemliliği istenilen değere düşürülebilmektedir.

Akışkan yatağın aşındırma özelliği de beklenildiğinden çok daha düşüktür. Aktif yatak içindeki çok kuvvetli hareketten ötürü tanelerin bozunup, parçalanması ve cihazın aşınması beklenir. Fakat her tanecik bir dereceye kadar hava örtüsü ile çevrili olduğundan, taneciklerin birbiri ile teması azdır ve taneciklerin çarpışma (impact) enerjisi oldukça küçük olduğundan aşınma ve ufalanmalar yok denecek kadar az görülmektedir. (4, 5).

## III. BORAKSIN KRİSTAL SUYUNU KAYBETMESİ

### III. 1. Dehidratasyon işlemleri ve $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ Sistemi.

a) Boraksın ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) kristal suyunu kaybetmesi yapılan ön muameleye göre iki ayrı yolla olmaktadır. Şöyle ki eğer tuz kapalı hacim kapları içinde aşağı yukarı  $50^\circ\text{C}$  ye ısıtırsa (beş kristal sulu yapıya dönüşüm noktası olan  $60^\circ\text{C}$  altında kalmıya dikkat edilerek) ve kapak hacim kapları hemen açılıp sıcaklık düşürülürse bu önceden ısıtılmış tuz  $19.8^\circ\text{C}$  de 10 mm su buharı basıncı verir. (6). Bu tuz, su buharı basıncının

10 mm. de (isobar) ve sıcaklığın 19.8 °C (isoterm)de, sabit tutulduğu hallerde 5 sulu kademeye düşürülebilmektedir. Buna önceden ısıtılmayla kristal suyunu kaybetme denilmektedir ve bu yöntem tersinirdir. (7).

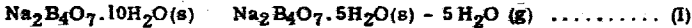
b) Diğer taraftan saf, yeni rekristalize olmuş ve ısıtılmamış olan tuz 20°C de yaklaşık 1.6 mm. gibi yukarıdaki değere oranla çok daha düşük olan bir su buharı basıncı oluşturur. Her iki değer arasındaki bu farklılık tahminen ; ön ısıtmanın bir çeşit yüzeysel çekirdeklenmeye (surface nucleation) neden olması ve bunun da amorf bir yapının meydana gelmesini önlemesinden ileri gelmektedir. 10 mol kristal suyu olan bu tuz bu sıcaklıkta P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> üzerinden geçirilirse tersinir olmayan bir işlemle (12 ay sonra) yaklaşık 2.4 mol kristal suyu olan bir amorf yapı (halen çok az 10 sulu yapıyı taşıyan) oluşturur. Bu işlem vakuumda P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ile yapılır. 1.8 mol kristal suyu olan bir amorf yapı oluşturur. Bu yöntemi ise önceden ısıtmaksızın kristal suyunu kaybetme olarak tanımlıyoruz. Bu önceden ısıtılmamış tuz daha az kristal suyu içeren yapılara dönüşürken, ara geçiş basamaklarında daima 10 mol kristal sulu yapının röntgen çizgilerini geçiş ara ürünü olarak gösterir. Bu önceden ısıtılmış borakstan farklı bir su kaybı yoludur. Buna "stabil olmayan" bozunma denilir (7, 8) Stabil olmayan bozunmanın 5 mol ve 3 mol durumlarında görülürken 10 hidrat çizgileri daha değişikliğe uğramamış başlangıç maddesinden ötürüdür. Amorf kısmı ise daha az suya sahiptir. Bu "stabil olmayan" bozunma tersinir değildir.

c) Sonuç olarak 10 kristal sulu boraks oda sıcaklığında, ısıtılmadan, 5 kristal sulu yapıya geçemez, doğrudan doğruya "stabil" olmayan bozulma yolunu tercih eder (8). Diğer taraftan bu tür boraks dekahidrat normal olarak havaya buhar vererek pehtahidrata dönüşmez, çünkü 100°C de bile bağl nemin % 20 nin altına düşmesi gerekir ki bu da genel olarak olanaksızdır. 10 kristal sulu ve 5 kristal sulu yapıların stabiliteleri üzerinde yapılan çalışmalar göstermiştir ki 10 kristal sulu tuz havayla temas halinde bırakıldığında çok düşük bağl nemlere düşüldüğü sürece (yaklaşık % 10 ve daha az) tersinir olmayan bozunma olmuyor ve bağl nemin % 50 - 60 üzerinde kaldığı değerlerde (sıcaklığa bağl olarak) tersinir bozunma olmuyor. Ancak bağl nemin % 10 - 50 arasında olduğu değerlerde tersinir bozunma (yeteri derecede uzun süre havada bırakıldığı takdirde) olur, ve 5 kristal sulu yapı oluşur. (7)

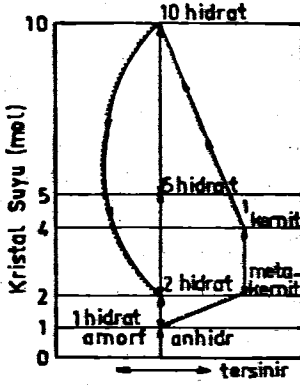
d) Isıtılmış boraks ara geçiş hallerinde 5 kristal sulu yapının röntgenini gösterir. Kristalin 5 sulu yapının yolunu takip eden bu su kaybına "stabil" bozunma denilir. Bu bozunma tersinirdir. Yukarıda söz edilen sodyum 1:2 borat hidratlarının hidratasyon özellikleri Şekil 1 de gösterilmektedir (9).

### III. 2. BORAKSIN (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O) BOZUNMA SICAKLIĞININ SAPTANMASI

Kısım III. 1 a da açıklandığı gibi, önceden 50°C ye kadar ısıtılmış olan boraks "tersinir" olarak 5 kristal sulu bir yapı ve su buharı vermek üzere bozunabilir.



Bu reaksiyon için değişik sıcaklıklardaki denge buhar basınçları aşağıda verilmiştir. (6, 8, 9)



Şekil.1:  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 - \text{H}_2\text{O}$  sisteminde dehidrasyon işlemleri

TABLO (I) : (I) dengesinin buhar basınçlarının sıcaklıkla değişimi :

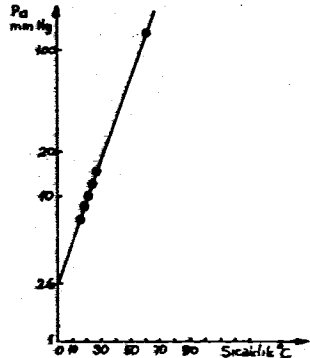
Sıcaklık (°C)	Su buharı basıncı, P (mm Hg)
15	7.0
17.5	8.5
19.8	10.0
22.5	12.0
25.0	14.0
59.0	133.0

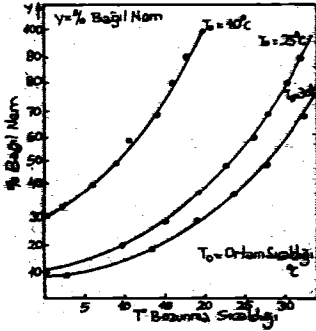
(I) numaralı denklemle gösterilen dengenin sıcaklığa bağlı olarak değişen denge basıncının, yukarıdaki tabloda gösterilen değerlerden faydalanılarak,

$$\log P = (0,028678) T - \log (2,6) \dots\dots\dots (II) \text{ (Şekil 2)}$$

bağıntısına uyduğu bulunmuştur. (Tablo-(I)'de görüldüğü gibi  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (s) nın ısıyla 5 kristal sulu yapıya geçmesi ortamdaki su buharı basıncına ve dolayısıyla havadaki bağlı nem oranına bağlıdır. Bundan dolayı nemli boraks kurutulurken yatak sıcaklığının (I) bağıntısındaki "P" yerine ortamdaki su buharı basıncı yerleştirdiğinde elde edilen sıcaklığın üstüne çıkmaması gerekmektedir.

Şekil - 2 Değişik Sıcaklıklarda Boraksın Denge Buhar Basıncı.





Şekil - 3. Ortamın Değişik Nem Şartlarında Boraksın Bozunma Sıcaklığı.

Yapılacak deneyler sırasında boraksın bozunmadan kuruyacağı yatak sıcaklığını saptamak için, deneylerin yapıldığı ortam havasındaki bağıl nem oranlarına göre bozunma sıcaklıkları (I) bağıntısına göre bulunmuş ve Tablo (II) de verilmiştir. Bu hesaplar ortam hava sıcaklığının 25°C, 30°C ve 10°C olduğu değerler için yapılmıştır.

Tablo (II) :  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  nun belli sıcaklıklarda, havanın değişik bağıl nem oranlarında bozunma sıcaklıkları :

Bağıl nem oranı (%)	Ortam Hava Sıcaklığı					
	10 °C		25 °C		30 °C	
	P (mmHg)	T (°C)	P (mmHg)	T (°C)	P (mmHg)	T (°C)
100	9.21	19.15	23.76	33.51	31.81	37.92
90	8.29	17.56	21.38	31.91	28.63	36.33
80	7.37	15.77	19.01	30.13	25.45	34.55
70	6.45	13.75	16.63	28.10	22.27	32.53
60	5.53	11.42	14.26	25.77	19.09	30.19
50	4.61	8.66	11.88	23.01	15.91	27.43
40	3.68	5.28	9.50	19.52	12.72	24.04
30	2.76	0.92	7.13	15.28	9.54	19.69
20	1.84	-5.22	4.75	9.13	6.36	13.55
10	0.92	-15.72	2.38	1.34	3.18	3.05

P = ortamdaki su buharı basıncı.

T = boraksın ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) bozunma sıcaklığı.

Neticeler aynı zamanda Şekil (3) de gösterilmektedir. Yatay eksen de yatak sıcaklıkları dikey eksen de ise havanın bağıl nemleri verilmektedir. Ortam havasının çeşitli sıcaklık değerleri için (10°C, 25°C, 30°C) havanın belli bağıl nem oranlarından gerekli yatak sıcaklıkları bu eğriler kullanılarak da saptanabilir.

Ortam hava sıcaklığı (kullanılacak hava) 25°C alındığında havanın bağıl nem oranı yaklaşık % 60-70 civarında olduğuna göre ortamdaki buhar basıncı 14.26 - 16.63 mmHg olacaktır. Bu duruma uyan şekildeki dönüşüm sıcaklığı ise 26-28°C olur. Böylece kurutma işlemlerinde bu sıcaklığın üzerine çıkılmaması ve 10°C alındığında havanın bağıl nem oranı

yaklaşık % 80-90 civarında olduğuna göre 16-17°C nin üzerine çıkılmaması (ortamdaki su buharı basıncı 8.29 - 7.37 mm olacaktır ki buna tekabül eden dönüşüm sıcaklığı 16-17°C dir) gereği ortaya çıkmaktadır. Yatak sıcaklığının daha yüksek tutulabilmesi için diğer bir yol da yüksek bağıl nemi olan havanın tekrar sisteme verilmesi olabilir. Bu takdirde yataktaki havanın bağıl nemi artacağından ortamdaki subuharı basıncı artacak ve daha yüksek yatak sıcaklıklarında çalışma imkanı olabilecektir.

Kuşkusuz bu sınırlar, serbest su içermeyen boraksın (kuru boraks dekahidratın) kristal suyunun uçurulmaması içindir. Diğer bir deyimle kurutucudan çıkan ürünün sıcaklığının da ne olması gerektiğini saptamak için yapılmıştır. Ürün dönüşüm sıcaklığının üzerinde kurutucuyu terke-decek olursa açıkta bırakılmadan hemen depolanmalı veya paketlenmelidir. Aksi halde dönüşüm sıcaklığının altına ininceye dek, bir miktar kristal suyunu kaybederek (pentahidrata dönüşerek) berrak kristal görünümünden yoksun kalabilecektir. Çalışma sıcaklığının üst sınırı ise ergime sıcaklığı ile (60°C) sınırlanmıştır. Verilen sıcak havanın nemli boraksı geçtikten sonra kuru boraks ile teması sırasında sıcaklığın tekabül eden buhar basıncı Şekil (2) de verilen değerlerin üzerinde kaldığı sürece bir sakınca olmayacaktır. Örneğin çıkan havanın sıcaklığı 40°C ise 40 mmHg nin, 30°C ise 20 mm Hg nin üstünde kalması gereklidir.

Yukarıda belirtilen bilgiler neticesinde, santrifüjden alınan nemli boraksın kurutulmasında (co-current) paralel akım sisteminin uygun olduğu anlaşılmaktadır. Akışkan yatakta kurutmada ise belirli çalışma şartlarında, yukarıda açıklanan koşullarda kurutma gerçekleştirilebilir.

#### IV. ÖN HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

##### IV. 1. Minimum Akışkanlaşma Hızının Belirlenmesi.

Küçük çapta bir laboratuvar düzeneği geliştirilerek akışkan yatakta değişik yatak yükseklikleri için kuru boraksın minimum akışkanlaşma hızları ve yatak gözenekliliği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo (III) de verilmiştir.

Tablo (III) : Minimum Akışkanlaşma Koşullarındaki Değişkenlerin Değerleri.

Yatak Yüksekliği h (cm)	Minimum Akışkanlaşma hızı $V_{mf}$ (cm/see)	Reynolds Sayısı $Re_{mf}$	Yatak Gözenek- liliği $\epsilon_{mf}$
5	5.10	0.63	0.47
6	6.20	0.77	0.487
7	6.60	0.81	0.493
8	8.40	1.03	0.519

##### IV. 2. Hava Akımlı Ve Vakumlu Fırınlarda Boraksın Kurutulması ve Dehidratasyonu

Boraks dekahidratın hava akımlı ve vakumlu fırınlarda kurutulmasıyla ilgili değerler Tablo (IV) de verilmektedir. Bu kurutma deneylerinde, de-

ğışık sıcaklıklarda, maddenin içerde alkonma süreleri değiştirilerek boraksın kuruması gözlenmiştir. Tablo'dan grldği gibi vakumlu fırınlar-  
da kurutma işlemi daha kısa zamanda olmaktadır.

Tablo (IV) : Fırında Kurutma İşleminden Sonra Boraksta Kalan Kristal Suyun Miktarı (mol)

Isıtma Süresi (Saat)	Fırın Sıcaklığı (°C)							
	55	55 *	60 *	65	65 *	75	100	150
	10.19	10.33		10.19		10.19	10.36	10.33
1/4	-	-	-	-	7.92	6.77	-	-
1/2	10.10	-	6.81	7.1	-	4.08	-	-
1	8.80	8.67	5.47	4.53	-	4.05	-	-
2	-	-	-	4.32	-	3.98	-	-
3.5	-	-	-	-	-	-	3.84	1.91
4	-	-	-	-	-	-	3.79	-
6	-	-	-	-	-	-	3.66	-
8	-	-	-	-	-	-	3.59	-
24	-	-	-	-	-	-	3.14	-

\* Vakumlu fırındaki değerlere tekabül etmektedir.

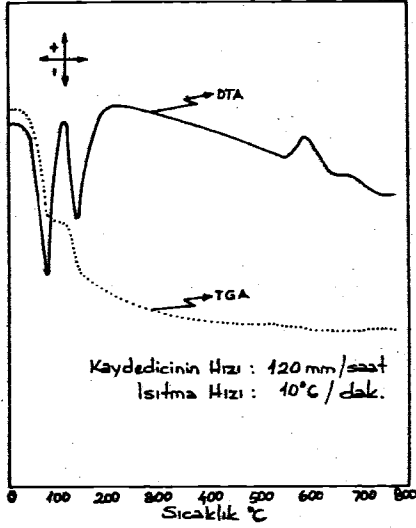
#### IV. 3- D.T.A. ve T.G.A. Analizleri.

Boraksın üç değişik ısıtma hızları için (5°C/dak, 10°C/dak, 20°C/dak) simültane DTA/TGA analizleri yapılmıştır. Şekil (5) de grldği gibi yaklaşık 80°C ve 150°C de geniş endotermik pikler bulunmaktadır. Diğer ge-  
çiş noktaları 120°C ve 180°C lerde, açık olarak tanımlanamayan diğer bir pik ise 600°C civarında görülmektedir. T.G.A. analizinin neticeleri Tablo (V) de verilmiştir.

Tablo (V): Boraks Dekahidratın Termik Dehidrolanması

Sıcaklık (°C)	Toplam Dehidrolanmış Su Miktarı (mol)
50-80	5.12
80-130	5.24
140-170	7.31
170-300	9.13
300-500	9.74
500-600	9.98





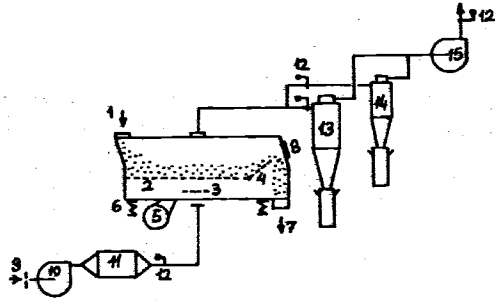
Şekil-5 Boraxın Simultane DTA ve TGA Eğrileri.

## V. KURUTMA DENEYLERİ

### V.1. Akışkan Yataklı Kurutucu

Kurutma deneylerinin yapıldığı sürekli titreşimli akışkan yataklı pilot kurutucusunun akım şeması Şekil (6) da gösterilmiştir.

Şekil (6) : Sürekli Titreşimli Akışkan Yataklı Kurutucusunun Akım Şeması.



1. Nemli madde girişi
2. Delikli plaka
3. Havayı dağıtıcı plaka
4. Yatak yüksekliğini ayarlayan plaka
5. Ayarlanabilen Titreştirici
6. Yayılar
7. Kuru ürün çıkışı

8. Gözetleme Penceresi
9. Orifis
10. Hava Üfleyci Vantilatör
11. Elektrikli Isıtıcı
12. Vanalar
13. Büyük Siklon
14. Küçük Siklon
15. Emici Vantölatör

Pilot cihazlar hava hızının ayarlanması akışkan yatak girişinden önceki vanayla yapılmakta ve kurutucudan geçen hava 200 kg/saat ile 1200 kg/saat arasında değişebilmektedir. Girişteki hava miktarının ölçülmesinde 110 mm çapında orifis plâka kullanılmıştır. Kurutma gazı olarak kullanılan hava toplam 54 kW olan elektrikli ısıtıcı yoluyla ısıtılmaktadır. Isıtıcıdan önceki vantilatör 2.2 kW gücündedir ve yaklaşık olarak 2800 devir/dak. ile dönmektedir. Siklonlardan sonraki vantilatör ise 4 kW gücündedir ve yaklaşık olarak 2800 devir/dak. ile dönmektedir. Kurutucuda ulaşılabilecek en yüksek hava sıcaklığı 300°C ve nem alabilecek en fazla su miktarı saatte 40 kg'dır. Akışkan yatak tabanındaki 0.3 m<sup>2</sup> (toplam) alanlı plâka delikleri 1 mm çapındadır. Deneyler sırasında yatak üzerindeki basınç atmosferik basınca oranla çok az negatif değerde tutulmaya çalışılmış (-5 mm su sütunu) ve bunun içinde siklonların üzerindeki vanalar ayarlanmıştır.

#### IV.2. Deney Yöntemi

Nemli olan boraks dekahidrat, hızı ayarlanabilen bir titreşimli besleyiciden titreşimli akışkan yatağın üzerine verilmekte ve aşağıdan üflenmiş sıcak hava ile akışkan duruma getirilip belirli bir süre sonunda çıkış ağzından kuru olarak alınmaktadır. Hava ile sürüklenen çok küçük tanecikler de çapları 300 ve 394 µm olan iki siklonda tutularak, nemli hava çekici vantilatörden dışarı atılmaktadır.

#### V. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEMESİ

Bu çalışmada, süreç değişkenlerinin değerleri pratikte uygulanabilecek sınırlar içinde tutularak, dokuz deney yapılmıştır. Bu deneylerde; değişik nem miktarları içeren, farklı sıcaklık ve tane büyüklüğündeki boraks dekahidratın en iyi şekilde akışkan yatakta kurutulabilmesi için, kurutma gazının giriş sıcaklığı ve hızı, besleme hızı ve yatak yüksekliği değiştirilerek optimum şartlar belirlenmeye çalışılmıştır.

Deney neticeleri Tablo (VI) da özetlenmiştir. (Tablo (VI) ya bakıldığında istenilene en yakın kurutma değerlerine, I, III, V ve IX numaralı deneylerde ulaşıldığı görülmektedir. I ve III numaralı deneylerde yaş madde nem oranı istenilen değere oldukça yaklaşmış olmasına karşın bu deneyler sırasında siklonlarda toplanan madde miktarının % 50 gibi yüksek bir değere ulaşması, hava hızının çok fazla olmasından ileri gelen çok fazla madde kaybını göstermektedir. Oysa V ve IX numaralı deneylerde bu değer makul sınırlar içinde kalmıştır. Ayrıca gene Tablo (VI) dan izlenebileceği gibi bütün deneylerde, yatak sıcaklığı Tablo (II) de verilen değerlerin üzerindedir. Bu durumda boraks dekahidrata bozunma olmaması; taneciklerden buharlaşan suyun, havanın dengedeki bağıl nem oranını ve buna bağlı olarak da maddenin bozunma sıcaklığını yükseltilmesiyle açıklanmaktadır. Şüphesiz düşük yatak sıcaklıklarında çalışmak tercih edilmektedir. V ve IX numaralı deneyler mukayese edildiğinde V numaralı deneydeki yatak sıcaklığının daha düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle V numaralı deneyin (35,5°C yatak sıcaklığı, % 3,5 civarında siklonlarda toplanan madde miktarı ile) diğerlerine nazaran (optimuma en yakın) en iyi şekilde kurutma şartlarını gösterdiği anlaşılmaktadır.

Tablo (VI) Deneyler için Kullanılan Süreç Değişkenleri ve Alınan Sonuçlar.

DENEY NO:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Ürünün Akış Hızı (kuru bez) (kg/sa)	159.5	124.86	157.7	103.06	109.15	100.89	142.50	77.5	79.5
Ürünün akış hızı (yaş bez) (kg/sa)	175.64	135.98	169.33	111.14	118.70	114.62	149.52	85.75	84.62
Yağ madde nem miktarı (%)	11.86 10.60	4.17 4.00	7.11 6.64	10.98 9.89	7.59 7.40	16.99 14.50	6.34 5.96	17.51 14.90	5.91 5.58
Kuru madde nem miktarı (%)	0.73 0.72	104.36 104.18	0.231 100.23	2.69 2.62	100.70 100.65	2.59 2.52	1.52 1.50	5.58 5.28	0.472 100.47
Madde nin deneyşel kurütma süresi (dak)	3.7'	4.20'	4.12'	6.75'	7.95'	7.43'	4.414'	7.79'	7.59'
Yatak yüksekliği (cm)	6.0	6.0	8.0'	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Ortam Hava Sıcaklığı (°C)	23.5	21.0	21.0	20.0	25.0	22.0	21.5	21.0	21.0
Ortam Havaının Bağıl Nemi (%)	40.0	20.0	42.0	40.0	51.6	60.0	57.0	53.4	53.4
Giriş Havaının Sıcaklığı (°C)	80.0	80.0	80.0	100.0	100.0	100.0	85.0	90.0	90.0
Çıkış Havaının Sıcaklığı (°C)	27.5	25.0	26.0	20.0	35.0	35.0	34.0	35.5	37.0

(Tablo VI, devam)

DENEY NO:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Yaş Madde Giriş Sıcaklığı (°C)	19.5	8.87	15.0	17.0	20.7	9.26	17.6	16.91	16.91
Kuru Madde Çıkış Sıcaklığı (°C)	30.0	48.0	33.4	40.21	35.5	49.33	33.0	32.0	49.27
Hava Akış Hızı (kg/sa)	1060.0	1067.0	1091.0	608.6	651.0	955.5	1109.0	1045.0	1050.0
Nemlin Buharlaşma Hızı (kg/sa)	16.14	11.12	11.69	8.08	9.55	13.73	6.682	8.25	5.12
Siklonlarda toplanan toz yüzdesi (besleme hızı baz alınarak) (%)	22.0	46.24	52.0	20.0	3.5	5.75	6.35	17.5	13.10
Yataktaki basınç düşüşü (mm H <sub>2</sub> O)	162.0	160.0	169.0	73.0	65.0	140.0	165.0	150.0	150.0
Hava Hızı (m/saniye)	0.98	0.985	1.0	0.55	0.6	0.95	1.1	0.97	0.97
Yaş madde ortalama tanecik çapı (mm)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.28	0.28	0.28
Isı Kaybı (kcal/kg yağ mad.)	18.26	40.81	36.20	54.11	32.76	44.28	62.06	54.94	110.08
Isı Kaybı (%)	24.0	39.4	43.35	51.47	38.29	34.06	68.36	60.79	69.74
-Isı Kaybı (kcal/kg-hr) yağ madde	105.86	188.11	160.43	203.97	94.61	78.82	133.70	193.28	516.81

Kurutma deneyleri için önemli bir faktör de maddenin içerde alıkonma süresidir. Bu durum VIII ve IX numaralı deneyler mukayese edildiğinde daha iyi anlaşılmalıdır. Her iki deneyde maddenin başlangıç nemi hariç bütün şartlar ve içerde kalma süresi hemen hemen (7.79 ve 7.59 dakika) aynı kalmaktadır. Ancak bu durumda VIII numaralı deneyde maddenin başlangıç nem miktarı fazla olduğundan, madde yaş kalmakta oysa IX. deney sonunda istenilen kurutma şartlarına ulaşılabilir. Buradan da anlaşılacağı gibi eğer diğer bütün şartlar aynı bırakılacaksa, maddenin başlangıç nem miktarının fazla olduğu durumlarda, içerde kalma süresinin daha uzun tutulması gerekmektedir. Sonuç olarak optimum kurutma şartlarına ulaşabilmek için maddenin içerde kalma süresini doğru olarak saptamak gereklidir.

Diğer bir gözlem de yaş maddenin tanecik büyüklüğünün fazla olduğu hallerde hava akış hızının artırılması gereğidir. Diğer taraftan yaş madde nem miktarının fazla olduğu hallerde giriş hava akış hızını arttırmak daha iyi kurutma imkânının doğması açısından faydalı gözükmektedir. Yüksek giriş hava akış hızı kullanmanın tek zararlı yönü siklonlarda toplanan madde miktarının artmasına sebebiyet vermesidir. Ancak giriş havasının sıcaklığının artırılması, yatak sıcaklığında artış yapacağından tercih edilmemektedir. Giriş havasının akış hızı ve sıcaklığının artmasıyla ilgili bir optimum denge kurulabilmenin en doğru yolu çeşitli deneyler yaparak saptamaktır.

### TEŞEKKÜR

Deneyler, TÜBİTAK - MAE, Gebze'de yapılmıştır. Bu çalışma süresince kıymetli fikir ve önerilerinden yararlandığımız Profesör Dr. Raşit Tolun ve Doç. Dr. Öner Hortaçsu'ya teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR

- 1) Dizdar, N. "An Experimental and Mathematical Analysis of the Drying of Borax in a Vibro-Fluidised Bed, Dryer" Kimya Mühendisliği Lisans Üstü Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, 1979.
- 2) Gardner, A.W., Industrial Drying, Leonad Hill Books, London, 172-197(1971)
- 3) Clark, E.W. "Fluid Bed Drying", Chem. Eng., March 13, Consolidated Coal Corp., 177 (1967).
- 4) Coulson and Richardson, Chemical Engineering, 2 nd Ed., 2, Pergamon Press, New York 1968.
- 5) Quinn, Martin. F., Industrial Engineering Chemistry, 55, No.7 18-24(1963)
- 6) Menzel V.H., Schulz, H., Sieg, L., Voigt, M., Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie, Band 224, Heft 1, September 3, 1935.
- 7) Kempf, P.H., The Chemistry of Borax, Part 1, Borax Cons. Ltd. London, 1956.
- 8) Gmelins Hndb. der Anorg. Chem. Na, Eb.3, 1277 (1966)
- 9) İbid Na., 21 671 (1928).