

**Makale  
(Article)**

## **Soğuk Bağlı Kompozit Demir Peletlerde Farklı Bağlayıcıların Basma Dayanımı Üzerine Etkilerinin Araştırılması**

**Yunus Emre BENKLİ<sup>\*</sup>, Mustafa BOYRAZLI<sup>\*\*</sup>, Recep ARTIR<sup>\*\*\*</sup>, Zeki ÇİZMECİOĞLU<sup>\*\*\*\*</sup>**

<sup>\*</sup>Atatürk Üniversitesi Müh. Fak. Met. ve Malz. Müh. Böl., 23119 Erzurum/TÜRKİYE

<sup>\*\*</sup>Fırat Üniversitesi Müh. Fak. Met. ve Malz. Müh. Böl., Elazığ/TÜRKİYE

<sup>\*\*\*</sup>Marmara Üniversitesi Müh. Fak. Met. ve Malz. Müh. Böl., İstanbul/TÜRKİYE

<sup>\*\*\*\*</sup>İstanbul Ticaret Üniversitesi Müh. Fak. Mucavherat Müh. Böl., İstanbul/TÜRKİYE

[recep.artir@marmara.edu.tr](mailto:recep.artir@marmara.edu.tr)

### **Özet**

Bu çalışmada, yerli cevher ve kömür kaynaklarımız kullanılarak demir tanesi üretiminin ilk aşaması olan soğukta sertleşebilen kompozit peletlerin üretilmesi amaçlanmış ve bu kapsamda farklı bağlayıcılar kullanılarak elde edilen kompozit peletlerin basma dayanımları üzerine bağlayıcı türünün etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda Divriği A kafa manyetit konsantresi ile bağlayıcı olarak nişasta, toz novalak reçine ve melas kullanılarak peletler üretilmiştir. %2.5, %5 ve %10 oranında pirinç nişastası ilaveli peletler, etüvde 100°C, 150°C ve 200°C sıcaklıklarında 30, 60, 90 ve 120 dakika; toz novalak reçine ilaveli peletler 100°C, 150°C ve 200°C sıcaklıklarda 60, 180 ve 240 dakika ve melas çözeltisi ilave edilerek yapılan peletler ise 150°C, 200°C ve 250°C sıcaklıklarda 1, 2 ve 3 saat kurutulmuştur. Soğukta sertleşen kompozit peletler için literatürde tavsiye edilen basma dayanımı değeri 250-300 N/pelet olup, elde edilen sonuçlar bu değerlere göre karşılaştırılmıştır. Nişasta ile yapılan deneylerde en iyi sonuç %10 bağlayıcı ilaveli peletlerin 200°C'de 2 saat kurutma süresinde 205 N/pelet olarak bulunmuştur. Toz novalak reçine ile yapılan deneylerde %5 bağlayıcı ilaveli peletlerin 100°C'de 3 saat kurutma süresinde 392,28 N/pelet olarak ve %2 bağlayıcı ilaveli peletlerin 200°C'de 1 saat kurutma süresinde 421,7 N/pelet değerleri elde edilmiştir. Melas ile yapılan deneylerde ise en iyi sonuç %60 bağlayıcı ilaveli peletlerin 150°C'de 3 saat kurutma süresinde 360 N/pelet olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Demir Tanesi, Kompozit Pelet, Manyetit, Soğuk Bağlı Demir Pelet

## **Investigation into effect of various binders on the compressive strength of cold bonded composite iron ore pellets**

### **Abstract**

In this study, domestic iron ore and coal were used to accomplish one of the first phase of iron production which was intended for the production of cold-bonded composite pellets and composite pellets obtained in this context. Finally, the effect of different binders on the binding type of compressive strength were also investigated. In experimental work, raw materials used included pellets were produced using Divriği A Hill magnetite concentrate, using rice starch, powder novalak resin and molasses as binders. 2.5%, 5% and 10% weight basis rice starch added pellets were heat treated in an oven at 100°C, 150°C and 200°C for 30, 60, 90 and 120 minutes; powder novalak resin pellets heat treated at 100°C and 150°C and 200°C temperatures for 60, 180 and 240 minutes, molasses solution was added to pellets and the pellets heat treated at 150°C, 200°C and 250°C for 1, 2 and 3 hours.

*Bu makaleye atf yapmak için*

Benkli Y.E., Boyrazlı M., Artır R., Çizmecioğlu Z., "Soğuk Bağlı Kompozit Demir Peletlerde Farklı Bağlayıcıların Basma Dayanımı Üzerine Etkilerinin Araştırılması" *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2012,(9)15-26

*How to cite this article*

Benkli Y.E., Boyrazlı M., Artır R., Çizmecioğlu Z., "Investigation Into Effect Of Various Binders On The Compressive Strength Of Cold Bonded Composite Iron Ore Pellets" *Electronic Journal of Machine Technologies*, 2012,(9)15-26

In the literature suggested compressive strength value for the cold-bonded composite pellets is 250-300 N/pelet, the results obtained in this work were interpreted according to these values. The best results for starch binder added pellets obtained with 10 % of addition, for 2 hours at 200°C as 205 N / pellets. Pellets with 5% powder binder novalak resin added pellets revealed 392.28 3 N / pellet after heat treatment at 100°C for 3 hours and 2% at 200°C for 1 hour pellets resulted in compressive strength value of 421.7 N / pellet. The best results of the pellets with mosalles addition was obtained with 60% binder at 150°C for 3 hours curing time revealed as 360 N/pellets.

**Keywords :** Iron nuggets, composite pellet, magnetite, cold bonded iron ore pellet

## 1. GİRİŐ

Günümüzde birçok ülkenin sahip olduğu hammadde ve enerji kaynaklarının demir çelik sektörünün isteklerini karşılayamayacak durumda olması sebebi ile mevcut hammadde ve enerji kaynaklarının demir-çelik üretiminde daha olumlu kullanılması ve üretimin daha ekonomik olması amacı ile alternatif yeni teknolojiler üzerinde çeşitli çalışmalar sürdürölmektedir [1]. Bu çalışmalardan bir tanesi ise toz cevherlerin çeşitli bağlayıcılar redükleyiciler, curuf yapıcılar ve su yardımıyla kompozit pelet halinde getirilip, düşük sıcaklıklarda sadece kurutma işlemleri yapılarak mukavemet kazandırılması ve düşük sıcaklıklarda indirgenmesi ile demir tanesi üretimi yöntemidir.

Demir tanesi üretimi geleneksel yüksek fırın pik demiri üretimine alternatif olarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Soğuk bağlı kompozit peletlerin özelliği hammaddelerin soğukta sertleşen bir bağlayıcı ve kömürle karıştırılarak peletlenmesidir. Kompozit peletler, çeşitli bağlayıcı ve flaks kombinasyonları ile kok tozu ve demir cevheri konsantresi kullanılarak üretilmekte ve klasik peletlerde bağlayıcı olarak kullanılan bentonitin aksine pişirme kademesine gerek kalmadan düşük sıcaklıklarda bağlayıcının fizikokimyasal değişikliğe uğraması ile de sertleştirilebilmektedirler. Kok tozları ise peletin redüklenmesini sağlamaktadır. Böylece pelet üretim maliyeti düşmekte ve işlem süresi kısalmaktadır.

Soğukta sertleşen pelet üretiminin yöntemi de aynen pişirilerek sertleştirilen pelet üretimi şeklindedir. Buradaki tek fark bağlayıcı seçimidir, çünkü pelet pişirilmeden yalnızca kurutulmuş olarak kullanılacağından bağlayıcı, bentonit, illit gibi bağlayıcı etkisini sıcaklıkla yitirmeyen türden ve bağlayıcılık özelliği kuvvetli olan tiplerden seçilmelidir. Soğukta sertleşen pelet üretiminde kullanılan bağlayıcı türlerine örnek olarak nişasta çeşitleri, reçineler, melas gibi türler gösterilebilir

Kurutma işlemleri ile pelet bünyesindeki su buharlaştırma etkisiyle bünyeden uzaklaştırılır. Suyun oluşturduğu kapiler kuvvetin etkisi yitirildiğinden taneleri bir arada tutan yegane kuvvet bağlayıcının oluşturduğu kuvvettir.

Demir cevherlerinin peletlenmesinde yaygın olarak kullanılan bağlayıcı türü olan bentonitin içerdiği empüriteler, konsantrenin gang içeriğinin artmasına dolayısıyla da demir içeriğinin azalmasına sebep olur. Cevherden demir üretimi sırasında toz cevherlerin peletlenmesi ve bunu takiben peletlerin yüksek sıcaklıklarda pişirilerek dayanım değerlerinin artırılması enerji kullanımının ve dolayısıyla da maliyetin artmasına sebep olmaktadır [1]. Bentonitin bağlayıcı olarak kullanılması halinde, direkt redüksiyon için hazırlanan peletlerde peletlerin redüksiyon şartlarının gerçekleştirilmesi için oksidasyon kavurmasına ya da ön ısıtmaya tabi tutulmaları gerekmektedir [2,3].

Demir cevherlerinin peletlenmesinde yaygın olarak kullanılan bağlayıcı türü bentonit olsa da bununla rekabet edebilecek hem organik hem de inorganik birçok bağlayıcı türü bulunmaktadır. Demir cevheri peletleme işlemlerinde kullanılan malzemelerde dikkate alınan husus yüksek kalitede ve düşük maliyette pelet üretilebilmesi olup, aynı zamanda minimum kirletici özelliği olan ve minimum proses güçlüğü ile çalışılabilen bağlayıcılardır. Orijinal bentonitlerin adsorbsiyon kapasiteleri, aktif karbon gibi yapay adsorplayıcılarla karşılaştırıldığında daha düşüktür. Direkt redüksiyon için hazırlanan peletlerde bentonitin bağlayıcı olarak kullanılması durumunda, peletlerin direkt redüksiyon şartlarının gerçekleştirilmesi için ya oksidasyon kavurmasına ya da ön ısıtma işlemine tabi tutulmaları gerekmektedir [3,4].

Organik bağlayıcıların avantajı, peletlerde silika içermemesidir. Ayrıca organik bağlayıcılar yüksek sıcaklıklara çıkıldığında peletin bünyesinde kalmamakta yanıp uzaklaşmaktadırlar [4]. Organik kökenli bağlayıcılar bentonite nazaran hem ürünü kirletmezler hem de bentonitin, yüksek sıcaklıklarda yapılan işlemler neticesinde, pelete kazandırdığı özellikleri düşük sıcaklıklarda kazandırabilirler. Soğuk bağlı peletleme proseslerinde çimentolaşma reaksiyonu oda sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda ilerlediğinden en çok bağlayıcı türü çimentolu bağlayıcılardır. Bu da hem gang mineral içeriğinin artmasına hem de  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  gibi asidik oksitlerin ortama katılmasına sebep olur [5].

Kompozit pelet terimi genellikle ince demir oksit ve karbonlu madde (kömür, kok, odun kömürü) içeren peletler için kullanılır. Bunlar, taşınması için yeterli mukavemete oda sıcaklığı veya civarında kazandırılmış peletlerdir. Aynı zamanda bu peletler yüksek sıcaklıkta ve redüksiyon sırasında oluşacak gerilimlere karşı dayanabilecek mukavemete de sahip olmalıdır. Soğuk bağlı kompozit pelet üretiminin ana prensibi hammaddelerin soğukta sertleşen bir bağlayıcıyla karıştırılarak peletlenmesidir [6].

ITmk3 prosesinin konvansiyonel üretim teknolojilerine göre avantajları şu şekilde sıralanabilir [7,8,9].

- Demir oksitin indirgenmesi esnasında enerji kaybı minimum seviyeye düşer,
- Redüksiyon ve cüruf ayırımı bir kademede oluşur,
- Düşük sıcaklıklarda bile ergimiş metal ve cüruf fazları oluştuğu için demir tanesi ve gang ayırımı gerçekleştirilebilmektedir, cüruf metalden temiz bir şekilde ayrılır, bu sebep ile ürün gang içermez,
- Çok yüksek sıcaklıklara ihtiyaç olmaz, daha az redükleme süresine ihtiyaç duyulur,
- Düşük yatırım ve düşük üretim maliyeti gerektirir,
- Sinter ve kok tesislerine bu prosesde gerek duyulmadığı için düşük işletme maliyeti gerektirir,
- Çevreci bir prosestir,
- Refraktere FeO saldırısı yoktur,
- İnce cevher ve düşük kaliteli cevherler kullanılabilir,
- Ürünün nakliyesi ve depolanmasında düşük maliyetler söz konusudur,
- Mevcut çelik tesislerine kolayca entegre edilebilir.

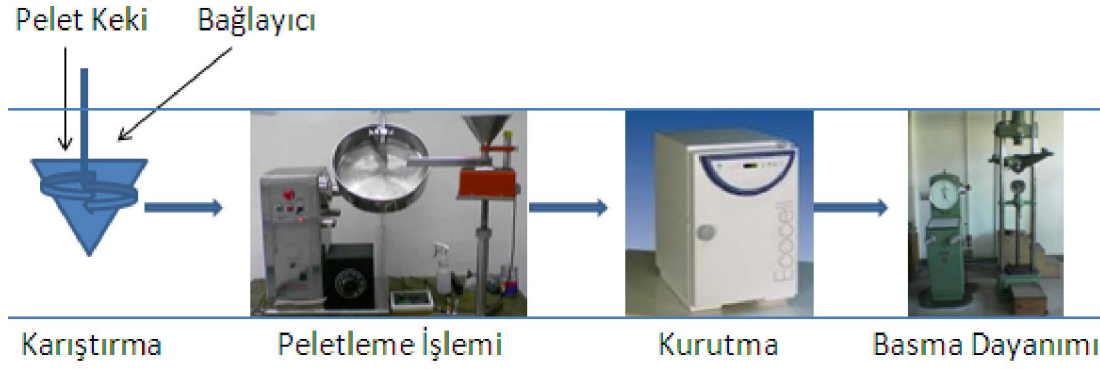
Gerek hurda ve gerekse cevhere göre daha ucuz, temiz, bileşimi belli ve gang içermeyen ITmk3 ürününün iç pazarın ithal yoluyla karşılanan cevher ve hurda ihtiyacını karşılayabileceği düşünülmektedir. Dış pazardaki durum ise üretim girdilerinin en önemlisi olan ucuz ve kaliteli bir ürün olan direk ham demir, geleneksel cevher ve hurdanın alternatifi olacak ve dış pazarlar için daha kaliteli ve daha ucuza çelik üretmeye imkan verdiği için rekabet şansımız artacaktır. İthalat büyük oranda azalıp ihracat yapılacağından genelde ülkemiz ve yerli üreticiler daha karlı olacaklardır.

Üretilen peletlerin sinterlenmesi basamağı, demir cevherinin peletleme aşamasının en fazla enerji gerektiren ve en pahalı aşamasıdır. Bu yüzden çok daha düşük sıcaklıklarda sertleştirme işlemlerinin yapıldığı prosesler geliştirilerek peletleme maliyetinin düşürülmesine çalışılmaktadır.

Direkt redüksiyon için hazırlanan peletlerde bentonitin bağlayıcı olarak kullanılması durumunda, peletlerin direkt redüksiyon şartlarının gerçekleştirilmesi için oksidasyon kavurmasına ya da ön ısıtmaya tabi tutulmaları gerekmektedir. Pelet pişirme maliyetinin çok yüksek olması soğukta sertleşen pelet üretiminin geliştirilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır [2,3,10,11].

Bu çalışmada, yerli cevher kaynaklarımız kullanılarak demir tanesi üretiminin ilk aşaması olan soğukta sertleşebilen kompozit peletlerin üretilmesi amaçlanmış ve bu kapsamda farklı bağlayıcılar kullanılarak elde edilen kompozit peletlerin basma dayanımları üzerine bağlayıcı türünün etkileri araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar ile ilgili genel akış şeması Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Yapılan deneysel çalışmanın genel akış şeması

## 2. MALZEME VE METOT

Deneysel çalışmada Erdemir Maden Ticaret A.Ş. Divriği tesislerinden temin edilen Divriği A kafa manyetit cevheri konsantresi (Pelet keki) kullanılmıştır. bağlayıcı madde olarak, nişasta, toz novalak reçine ve melas kullanılmıştır.

Nişasta biyokimyasal (CAS kayıt numarası: 9005-25-8) olarak nişasta, amiloz ve amilopektin isimli iki polimerik karbonhidratın (polisakkaritin) birleşimidir. Yapısal olarak nişasta, birbirine bağlı, lineer polimer sütunlardan oluşur.

Melas, şeker üretiminde teknik ve ekonomik şartlar altında şuruplardan kristal seker alındıktan sonra geriye kalan kısımdır. Melasın %47-52'sini toplam şeker oluşturmaktadır. Şeker dışı maddeler organik ve inorganik maddeleri ihtiva eder. Melasın %23'ünü azotlu pektin ile hemiselülozun oluşturduğu azotsuz organik maddeler, %12'sini potasyum, sodyum, demir gibi mineral maddelerin bileşimi organik maddeler, %15'ini de su oluşturur. pH değeri 5,5 ile 10 arasındadır [12].

Deneysel çalışmada kullanılan numunelerden pelet keki 75 mikrondan elenip kurutulmuştur. Kullanılan manyetit konsantresinin kimyasal analizleri Erdemir Ereğli Demir Çelik T.A.Ş.'de yapılmıştır. Manyetit Konsantresinin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Deneysel çalışmada Kullanılan Manyetit Konsantresinin Kimyasal Analizi.

Element/Bileşim	%	Element/Bileşim	%	Element/Bileşim	%
Fe	68,50	TiO <sub>2</sub>	-	As	-
SiO <sub>2</sub>	2,20	P	-	Cu	0,02
CaO	0,60	S	0,4	Zn	0,01
MgO	0,58	Na <sub>2</sub> O	0,04	Ni	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,75	K <sub>2</sub> O	0,07	Co	-
Mn	0,10	Pb	0,01		

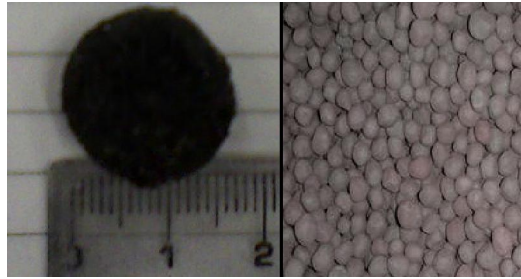
Soğukta sertleşen pelet üretmek amacı ile sıvı ve katı özellikteki bağlayıcılar kullanılmıştır. Toz haldeki katı bağlayıcılar ve pelet keki, Waring marka karıştırıcı içerisinde 10 dakika karıştırılmış ve Şekil 2'de gösterilen Apex vibratory feeder laborette 24 marka bir titreşimli besleyici yardımıyla laboratuvar ölçekli 45 derecelik yatay açığa sahip Multiplex Marka 40 cm çaplı küresel pelet tamburuna beslenerek, 35

devir/dakika hız ile dönen bu pelet tamburu içerisinde 20 dakika boyunca küresel formda peletler elde edilmiştir.



**Şekil 2.** Multipex marka küresel pelet makinesi ve Apex Vibratory Feeder marka vibratör cihazı

Sıvı bağlayıcılar ise suda çözdürüldükten sonra püskürtme yöntemi ile pelet oluşum aşamasında ilave edilmiştir. Elde edilen peletlerin görünümü ve boyutları yaklaşık olarak Şekil 3’de gösterilmektedir. Oluşan çekirdekler su ile hafifçe nemlendirilerek daha büyük çapta yaş peletlerin oluşumu sağlanmıştır. Pelet üretimi aşamasında ilave edilen suyun pelet içindeki taneciklerin bağlanma mekanizmalarına etkisi büyüktür. Pelet özellikleri, peletlenen partiküllerin fiziksel karakteristiklerine, sıvı fazın yüzey gerilimine ve vizkositesine ve bağlayıcının bağ kuvvetine bağlıdır [13,14].



**Şekil 3.** Peletleme makinesinden elde edilen küresel formlu peletlerin görünümü ve boyutu

Pelet test standartlarında üretilen yaş peletlerin tüm testleri en az 20 pelet üzerinde yapılması verilerin doğruluğu açısından çok önemli olduğu vurgulanmaktadır [2].

Üretilen yaş peletlerin dayanımları 50 cm. den çelik bir yüzey üzerine serbest düşme ile kırıldığı ana kadar tekrarlanmıştır. Bu deneyler her defasında 20 pelet numunesi üzerinde yapılmıştır. Bu aşamayı geçen peletler üzerinde sertleştirme işlemleri uygulanmıştır.

Peletlere mukavemet kazandırmak için yapılan ısı işlemlerde, bir kısım bağlayıcı ilaveli peletler Ecocell marka etüvde 100, 150, 200 ve 250°C sıcaklıklarda 1 saat, 2 saat, 3 saat ve 4 saat kütleme/polimerizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Dayanım kazandırılan peletler üzerinde Şekil 4’de gösterilen Mohr Bfederhoff AG marka universal tip Hidrolik çekme makinesinde kuru dayanım testleri yapılmıştır.

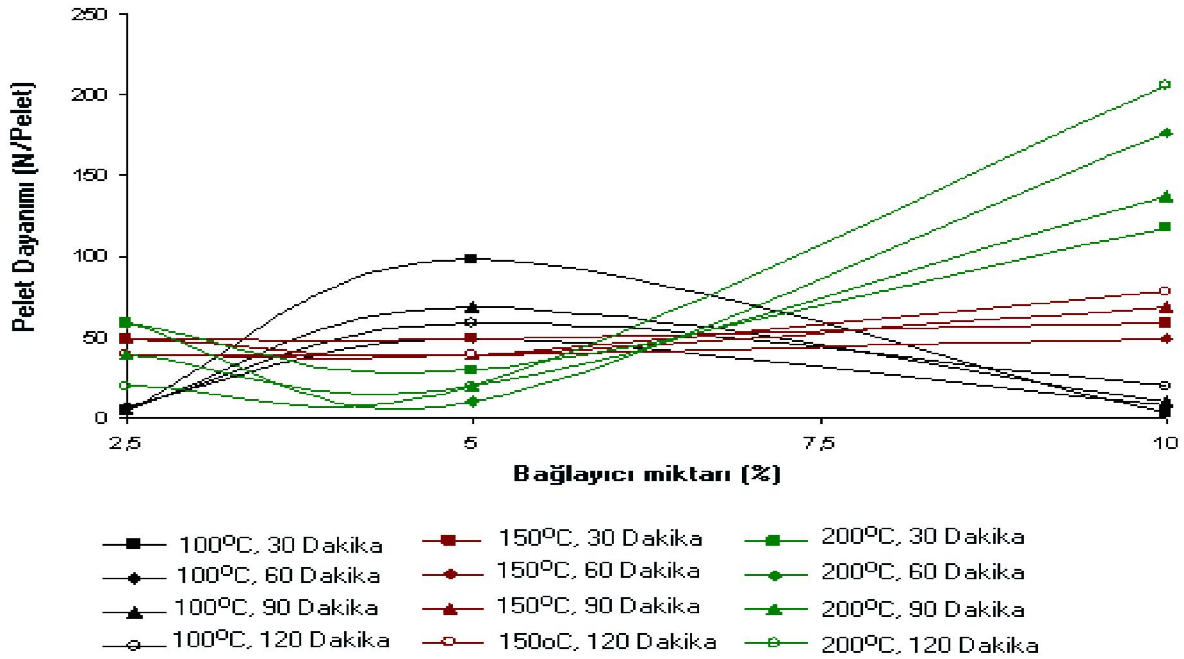


Şekil 4. Pelet mukavemet değeri ölçen Mohr Bfederhoff AG marka üniversal tip hidrolik çekme makinesi

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Nişasta ile Yapılan Deneyler

Nişastanın soğukta sertleşen pelet üretiminde etkisinin araştırılması amacı ile yapılan deneylerde pirinç nişastası denenmiş olup, deneylerde, %2.5, %5, ve %10 oranında pirinç nişastası ilaveli peletler, etüvde 100°C, 150°C ve 200°C sıcaklıklarında 30, 60, 90 ve 120 dakika boyunca kurutulmuştur. Peletlerin dayanımları Şekil 5’de gösterilmiştir.

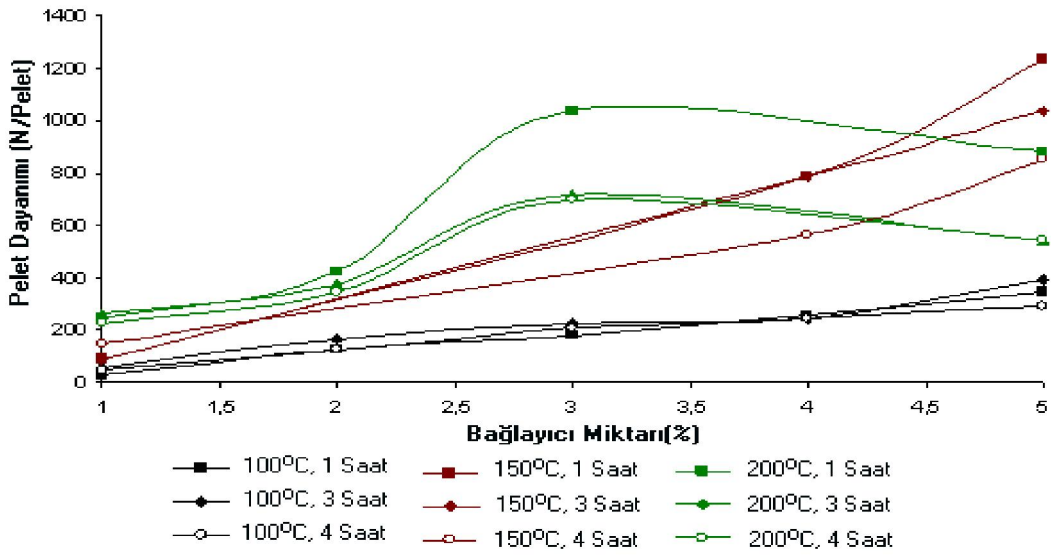


Şekil 5. Farklı miktarlarda pirinç nişastası ilaveli peletlerin 100°C, 150°C ve 200°C sıcaklıklarda 30, 60,90 ve 120 dakika kurutma sürelerindeki dayanımı.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen verilerde, 100°C ve 150°C sıcaklıklarda istenilen oranlarda mukavemet değeri elde edilemezken, %10 pirinç nişastası ilaveli peletlerin, 200°C sıcaklıkta 120 dakika kurutulması ile 200 newton değerlerine ulaşılmıştır. Ama bu değer ITmk3 prosesi için uygun olan 300 N/pelet değeri için yeterli görülmemiştir.

### 3.2 Fenolik Reçine ile Yapılan Deneyler

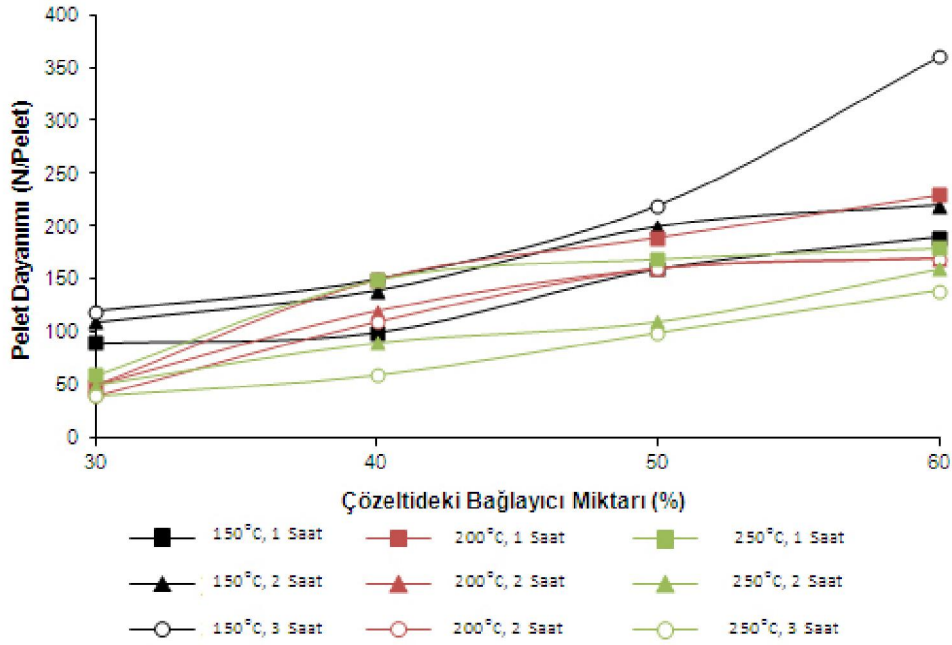
Organik esaslı reçinelerden olan fenolik reçineler grubundan toz novalak reçinenin bağlayıcı olarak kullanıldığı deneylerde reçine toz olmasından dolayı kolay karıştırılmış olup istenilen pelet dayanım değerleri elde edilmiştir. Şekil 6'da gösterildiği gibi 100°C ve 150°C sıcaklıklarda sıcaklık artışı ile birlikte dayanımda artış gözlemlenmektedir. 100°C sıcaklıkta %5'lik reçine ilavesi, 150°C sıcaklıkta %2,5 ve üstündeki miktarlardaki reçine ilavesi ve 200°C sıcaklıkta %1 ve üstündeki miktarlardaki reçine ilavesinde soğukta sertleşen peletler için yeterli sayılabilecek pelet dayanım değeri olan 300 newtonluk pelet dayanım değerlerinin üstünde değerlere ulaşılmıştır. Kurutma süresi arttıkça genel olarak dayanımın düşme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. 150°C'de 1 saat kurutma süresinde %5'lik reçine ilaveli pelette 1235 N/pelet dayanımına ulaşılırken, 200°C'de 1 saat kurutma süresinde % 3'lük reçine ilaveli pelette 1040 N/pelet dayanımına ulaşılmıştır. Elde edilen mukavemet değerleri yüksek sıcakta pişirilerek sertleşen pelet dayanım değerlerine yaklaşırken, soğukta sertleşen pelet dayanımları için beklenenin üzerindedir.



Şekil 6. Farklı miktarlarda toz novalak reçine ilaveli peletlerin 100°C, 150°C ve 200°C sıcaklıklarda 60, 180, ve 240 dakika kurutma sürelerindeki dayanımı

### 3.3 Melas ile Yapılan Deneyler

Şeker fabrikaları atığı olan melasın soğukta sertleşen pelet üretiminde etkisinin araştırılması amacı ile yapılan deneylerde melas, %30, %40, %50 ve %60'lık oranlarda su içerisinde çözündürülerek bu çözeltilerin %10'u peletleme esnasında pelet keki karışımının üzerine sıvı halde püskürtülerek beslenmiştir. Elde edilen küresel peletlerin yaş düşme ve basma mukavemeti testleri yapılarak 100°C, 150°C, 200°C ve 250°C sıcaklıkta etüvde 1, 2, 3 ve 4 saat bekleme sürelerinde kurutulmuştur. Kurutulmuş peletlerin mukavemet sonuçları Şekil 7'de gösterilmiştir.



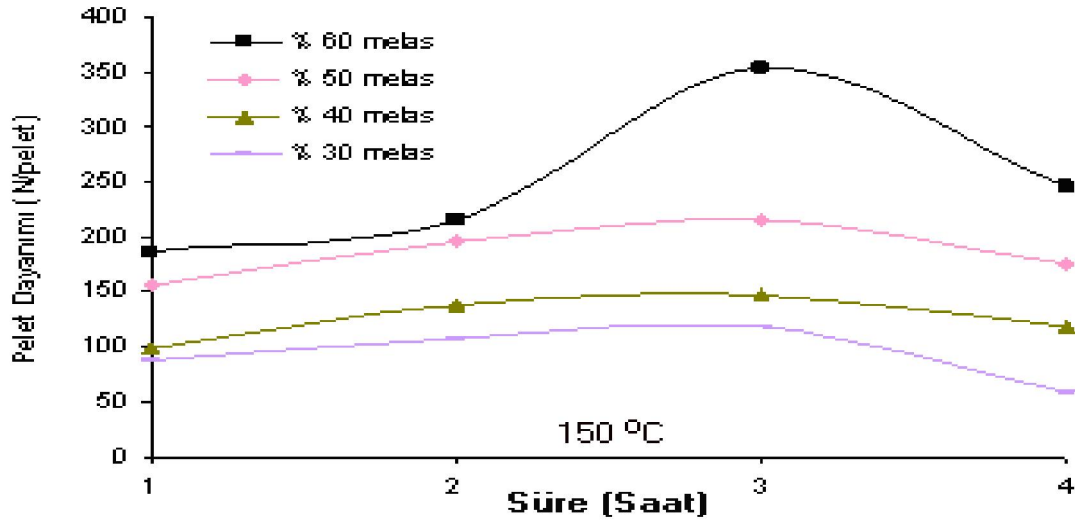
**Şekil 7.** Farklı miktarlarda melas çözeltisi ilave edilerek yapılan peletlerin, 150°C, 200°C ve 250°C sıcaklıklarda 1, 2 ve 3 saat kurutma sürelerindeki dayanımı.

Her bir bağlayıcı miktarı için 150°C sıcaklıkta kurutma süresinin artışı pelet dayanımını da artırmaktadır. Örnek olarak %60 melas çözeltisi katkılı peletin etüvde 1 saatlik kurutma süresi sonunda dayanımı 190 N/pelet iken 3 saat kurutma süresi sonunda 360 N/pelet değerine çıkmıştır.

%50 ve %60 melas çözeltisi ilaveli peletlerin dayanımları 150°C'de 3 saat kurutma süresinde en iyi seviyeye ulaşmakta sıcaklıktaki daha fazla artış ise dayanımı düşürmektedir. 150°C'de 1 saat kurutma süresi sonunda pelet dayanımı %60 melas çözeltisi için 190 N/pelet değeri ile düşük seviyede kalırken, 200°C'de 1 saat kurutma süresi sonunda dayanım 230 N/pelet ile kabul edilebilir değerlere ulaşmaktadır. %30 ve %40 melas çözeltileri için de aynı karakteristik özellik gözükmemekte ancak pelet dayanımı açısından yeterli değerler elde edilememektedir.

Farklı dozajlardaki melas çözeltisi ilaveli peletler için değişik sıcaklıklarda kurutma süresindeki artışın pelet dayanımında azalmaya sebep oluşu ve bağlayıcı miktarındaki artışın pelet dayanımını artırması aşağıdaki grafiklerden daha iyi görülebilmektedir.

150°C'de kurutma süresinin etkisini gözlemleyebilmek amacı ile yapılan deneylere bakıldığı zaman, 3 saat kurutma süresine kadar pelet dayanımının arttığı 3 saatten daha uzun kurutma sürelerinde ise düşüş olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 8).



**Şekil 8.** Farklı kurutma sürelerinde 150°C sıcaklıkta, %30, %40, %50 ve %60 melas çözeltisi ilavelerinde pelet dayanımları.

Grafikten de anlaşıldığı üzere melas çözelti ilavesi ile yapılan peletlerin bağ mukavemetlerinin artırılarak sertleşebilmeleri için yapılan kurutma işlemleri sonunda en iyi dayanım %60 melas çözeltisi ilaveli peletlerin 150°C'de 3 saat kurutulması ile 360 N/pelet olarak elde edilmiştir. Ancak bu sıcaklıkta kurutma sürenin uzun olmasından dolayı peletlerin 200°C'de 1 saat kurutulması ile de Itmk3 prosesi için yeterli sayılabilecek 230 N/pelet'lik bir dayanım elde edilebilmektedir.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Soğukta sertleşen pelet üretebilmek için nişasta, toz novalak reçine ve melas bağlayıcı olarak kullanılmış olup bu maddeler gerek atmosferik şartlarda gerekse farklı ısı işlem sürelerinde kurutma veya kütleme işlemine tabi tutularak kuru ve yaş pelet mukavemetleri, kuru ve yaş düşme dayanımları, gözeneklilik gibi bazı pelet özellikleri test edilmiştir. Yapılan bu testlerden sonra hangi maddenin hangi şartlarda bağlayıcı olarak kullanılması gerektiği veya bağlayıcı etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Toz halde pirinç nişastasının kullanılmasında yüksek sıcaklıklarda uzun süre kurutma işlemi sonucunda elde edilen dayanımlar ITmk3 prosesi için uygun olan 300 N/pelet [15,16] değerine ulaşamamıştır. %10 pirinç nişastası ilaveli peletler 200°C'de 2 saat kurutuldukları zaman 205 N/pelet dayanımına ulaşmaktadırlar (Şekil 5). Bu da nişastanın toz halde iken, yüksek bağlayıcılık özelliği kazandığı jel oluşumunu sağlayamamasından kaynaklanmaktadır. Nişastanın suda çözündürülerek jelleşmenin sağlanması ile daha iyi sonuçlar alınabileceği Graham (1983) tarafından belirtilmektedir. [17]

Oda sıcaklığında nişasta polimerlerin birbirine sıkıca kenetlendiği granüllü kısımlardan oluşur. Suyun normalde içine giremediği granüllerdeki zincirler, yüksek sıcaklıkta birbirlerinden uzaklaşır ve suyla etkileşebilir hale gelirler. Su ve sıcaklığın etkisiyle, nişastadaki polimerler birbirleriyle hidrojen bağları kurmak yerine suya bağlanırlar. Su nişastanın içine nüfuz ettikçe genel polimer yapısının düzeni bozulmaya başlar, granüllü bölgeler küçülür ve amorflaşır. Suyla etkileşen amiloz, nişasta tanesinden dışarı sızar. Böylece su emip şişen nişastaya jelleşmiş denir. Sıcaklık azalınca jelleşmiş nişastadaki polimer zincirleri tekrar birbirleriyle etkileşmeye başlarlar ve bağlandıkları su moleküllerini salarlar. Bu da istenmeyen bir durumdur. Nişastanın suyunu salmamasını sağlamak için nişastanın modifiye edilerek zincir boyunun kısaltılması gerekir. Zincirlerin kısaltılması nişastanın su emme kapasitesini azaltır, Nişasta moleküllerinin zincir uzunluğu kısaltılması, peletlerin soğuk mukavemetlerinin artmasına sebep olur. Tatmin edici peletleme için yeterli miktarda su kullanılır. Pratikte bu oran demir cevherinin ağırlığının

%10'u kadardır [17].

Organik esaslı reçinelerden olan fenolik reçineler grubundan toz novalak reçinenin bağlayıcı olarak kullanıldığı deneylerde 100°C ve 150°C sıcaklıklarda sıcaklık artışı ile birlikte dayanımda artış gözlemlenmektedir. %5'lik reçine ilaveli pelet 100°C'de 3 saat kurutulduğu zaman 392,28 N/pelet dayanımına ulaşmaktadır. 200°C sıcaklıkta %1 ve üstündeki miktarlardaki reçine ilavesinde ise soğukta sertleşen peletler için yeterli sayılabilecek pelet dayanım değeri olan 300 N/pelet dayanım değerlerinin üstünde değerlere ulaşılmıştır (Şekil 6). Kurutma işlemi ile pelet bünyesindeki su buharlaştırma etkisiyle bünyeden uzaklaştırıldığı zaman suyun oluşturduğu kapiler kuvvet etkisini yitirecek ve taneleri bir arada tutan yegâne kuvvet bağlayıcının oluşturduğu kuvvet olacaktır. Yüksek ısıl işlem sıcaklıklarında (200°C) kütleme süresi arttıkça genel olarak dayanımın düşme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Bu da sıcaklıktaki aşırı artışın reçinedeki bağlayıcılık özelliğini azalttığını göstermektedir. Toz novalak reçine ile pelet üretimi esnasında reçine oranı arttıkça reçinenin aşırı bağlayıcılık özelliğinden dolayı pelet oluşumunda güçlükler yaşanmış olup küresel pelet oluşumunda zorluklarla karşılaşmıştır. Toz novalak reçinenin sentetik olarak üretilmesinden dolayı fiyatı ekonomiktir.

Şeker fabrikaları atığı olan melasın soğukta sertleşen pelet üretiminde etkisinin araştırılması amacı ile yapılan deneylerde yaş peletlerin dayanımları bağlayıcı miktarı arttıkça artma eğilimindeyken melas çözeltisinin %60'dan fazla miktarlarda kullanımı melasın aşırı vizkozitesinden dolayı teknik olarak mümkün olmamıştır.

Farklı sıcaklıklarda melas ilaveli peletlerde kurutma süresinin pelet dayanımı ile ilişkisi incelendiği zaman 150°C'de 3 saate kadar dayanım artmakta 3 saatten sonra düşüş görülmektedir. 200 ve 250°C'de ise 1 saat kurutma süresinden sonra pelet dayanımı azalmaktadır. Bu durum 200-250°C arasında organik yapının bozulmasından ve bağ yapısının değişmesinden kaynaklandığı düşüncesini akla getirmektedir.

Kurutma işlemleri sonunda en iyi dayanım %60 melas çözeltisi ilaveli peletlerin 150°C'de 3saat kurutulması ile 360 N/pelet olarak elde edilmiştir. Ancak bu sıcaklıkta kurutma süresinin uzun olmasından dolayı peletlerin 200°C'de 1 saat kurutulması ile de ITmk3 prosesi için yeterli sayılabilecek 230 N/pelet'lik bir dayanım elde edilebilmektedir.

Melas yüksek vizkoziteye sahip olduğu için bağlayıcı olarak suda çözündürülerek kullanılmak zorundadır. Düşük konsantrasyonlarda (%30-%40) melas kullanımı sonucu 150 N/pelet gibi çok düşük dayanımlar elde edilmiştir (Şekil 8). Yüksek konsantrasyonlarda ise (%60) 360 N/pelet değerlerine varan dayanımlar elde edilmesine rağmen (Şekil 8) pelet üretim şartlarındaki güçlükler dolayısı ile kullanımında zorluklar yaşanmaktadır. Yüksek vizkoziteden dolayı püskürtme esnasında sürekli tıkanmalar olmakla birlikte yüksek konsantrasyonlarda peletlerde şekil bozuklukları oluşmaktadır.

Reçine ve melas, peletlerde yüksek basma dayanımları sağlamasına rağmen üretim şartlarında zorluklarla karşılaşmaktadır. Yüksek miktarlarda kullanıldıkları zaman oluşan peletlerde şekil bozuklukları meydana gelmektedir. Ayrıca melas püskürtülerek ilave edildiği için sürekli olarak tıkanmalara sebep olmaktadır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Soğukta sertleşen kompozit peletin farklı bağlayıcı türlerinin ilavesi ve değişen ısıl işlem şartlarında basma dayanımına etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, nişasta, toz novalak reçine ve melas, bağlayıcılarının soğukta sertleşebilir pelet üretim şartları incelenmiş ve şu sonuçlar elde edilmiştir.

- Nişasta ile yapılan deneylerde en iyi sonuç %10 bağlayıcı ilaveli peletlerin 200°C'de 2 saat kurutma süresinde 205 N/pelet olarak bulunmuştur.
- Toz novalak reçine ile yapılan deneylerde %5 bağlayıcı ilaveli peletlerin 100°C'de 3 saat kurutma süresinde 392,28 N/pelet olarak ve %2 bağlayıcı ilaveli peletlerin 200°C'de 1 saat kurutma süresinde 421,7 N/pelet değerleri elde edilmiştir.

- Melas ile yapılan deneylerde en iyi sonuç %60 bağlayıcı ilaveli peletlerin 150°C'de 3 saat kurutma süresinde 360 N/pelet olarak bulunmuştur.

Genel sonuç olarak, hem ekonomiklik açısından hem de elde edilen dayanım açısından demir cevherlerinin soğukta sertleşen kompozit pelet üretiminde bağlayıcı olarak melas ilavesi önerilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Qiu, G., Jiang, T., 2003, "Characterization of Preparing Cold Bonded Pellets for Direct Reduction Using an Organic Binder", Iron and Steel Institute of Japan international, vol. 43-1
2. Eisele, T., C., Kawatra, S., K., 2003, "A Review of Binders in Iron Ore Pelletization", Mineral Processing & Extractive Metall. Rev., 24: 1-90
3. Kawatra, S., K., Eisele, T., C., Ripke, S., J., 1999, "High-Carbon Fly-Ash as a Binder for Iron Ore Pellets", U.S. Department of Energy Federal Energy Technology Center Contractor Reports Receipt Coordinator, M/S F07 3610 Collins Ferry Road P.O. Box 880 Morgantown, WV 26507-0880
4. Kafkas, S., S., 2003, "Anilin ve 2,4,6-Triklorfenolün Degisik Adsorblayıcılara Adsorpsiyonunun incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
5. Shigematsu, T., Ichidate M., Shiotani, C., Tozawa, Y., 1989, "Process For Producing Cold-Bond Iron for Use in a Blast Furnace" United States Patent, Patent Number : 4 846 884
6. Mourao, M., B., Takano, C., 2003, "Self-Reducing Pellets for Ironmaking: Reaction Rate and Processing", Mineral Processing & Extractive Metall. Rev., 24: 183-202
7. Mazurak, R., E., 2003, "Ironmaking Industry Trends and Directions", Mining Engineering, Vol. 55, N0 4, 12-17
8. Steffen, R., and Lungen, H., B., 2004, "State of the Art Technology of Direct and Smelting Reduction of Iron Ores", La Revue de Metallurgie, 171-182
9. Anameric, B., and Kawatra, S., K., 2004, "A Laboratory Study Relating to the Production and Properties of Pig Iron Nuggets", Annual SME Meeting, Metallurgical Process Fundamentals: Pyrometallurgical Processing Session (Preprint number 04-98).
10. Jayson, S., R., Kawatra, S., K., 2002, "A Novel Application of High-Carbon Fly- Ash as an Industrial Binder", Conference on Unburned Carbon in Utility Fly ash, Pittsburgh, PA
11. Dutta, K., D., Bordoloi, D., Borthakur, P., C., 1997, " Investigation on Reduction of Cement Binder in Cold Bonded Pelletization of Iron Ores Fines", International Journal of Mineral Processing, 49, 97-105
12. Pekin, B., 1983, "Biyokimya Mühendisliği (Biyoteknoloji), 2. Kitap. Ege Üniversitesi Kimya Fakültesi Yayınları, 409 s., İzmir.
13. Boyrazlı, M., 2008, "Demir Cevheri İçerisindeki Safsızlıkların Olumsuz Etkilerinin Giderilme Yollarının Arastırılması", Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

14. Benkli, Y., E., 2008, “Sogukta Sertlesen Kompozit Peletlerin Yarı Ergitme \_artlarında Indirgenmesinin Araştırılması”, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Istanbul
15. Mourao, M., Takano, C., 2003, “Self-Reducing Pellets for Ironmaking Mechanical Behavior”, *Mineral Processing & Extractive Metall. Rev.*, 24: 233-252.
16. Agrawal, B., B., Prasad, K., K., Sarkar, S., B., Ray, H., S., 2000, “Cold Bonded Ore–Coal Composite Pellets For Sponge Ironmaking Part 1 Laboratory Scale Development” *Ironmaking and Steelmaking*, Volume 27, Number 6, pp. 421-425(5).
17. Graham, R., K., 1983, “Cold Bonding Mineral Pelletization”, US4402736 Patent