

**Demir Cevheri Peletlemede Kolemanitin Organik Bağlayıcı ile
Birlikte Kullanılması**

Proje No: 105M348

Prof. Dr. Ali İhsan AROL

HAZİRAN 2008
ANKARA

ÖNSÖZ

Günümüzde dünyada yılda yaklaşık 1,5 milyar ton demir cevheri üretilmektedir. Bunun bir bölümü doğrudan, bir bölümü sinterlenerek, 350–400 milyon tonu da peletlenerek demir üretiminde kullanılmaktadır. Demir cevheri peletlemede %0,5–1,5 oranında bentonit, bağlayıcı olarak ilave edilmektedir. Bentonit peletlemede gerekli olmakla birlikte içerdiği silika ve alümina nedeniyle aslında demir cevheri ve peletlerinde istenmeyen bir safsızlıktır. Bentonitin bu olumsuzluğunu gidermek için yapılan çalışmalar daha çok organik bağlayıcılar üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak, birçok yönden istenilen sonuçlar elde edilmesine karşın, ön ısıtılmış (900–1100 °C) pelet dayanımlarında sonuçlar yetersiz kalmıştır. Borun bu eksikliği giderebileceği noktasından hareketle, organik bağlayıcılar ile birlikte demir cevherlerinin peletlenmesinde kullanılabilirliğinin araştırılmasını kapsayan bu çalışma başlatılmıştır. Türkiye'nin sahip olduğu bor rezervleri ve borun söz konusu amaç doğrultusunda kullanılmasının sağlayacağı tüketim potansiyeli göz önüne alındığında araştırmanın önemi ortaya çıkmaktadır.

Araştırmada kapsam dar ve süre oldukça kısa tutulmuştur. Öncelikli amaç olarak bor kullanımının pelet basma dayanımı üzerindeki etkileri üzerinde durulmuş, nihai peletlerin indirgeme özelliklerinde birkaç ön deney yapılmıştır. Doğal olarak, peletlerin kullanım yerine (yüksek fırın, doğrudan indirgeme fırınları) bağlı olarak, peletlerde farklı özellikler aranmakta, bu özellikler daha çok pilot üretim gerektiren farklı ve karmaşık standartlarla belirlenmektedir.

Bu araştırmada organik bağlayıcı + kalsine kolemanit ve boraks pentahidrat kullanımının, peletlemede, özellikle ön ısıtılmış pelet basma dayanımı üzerindeki olumlu etkisi ortaya çıkarılmıştır. Ancak borun bu alanda kullanılabilmesini sağlamak için bor katkılı peletlerin yüksek fırın veya doğrudan indirgeme fırınlarındaki davranışlarının ve nihai çelik ürünleri üzerindeki etkilerinin ayrıntılı bir şekilde araştırılması gerekmektedir.

Bu araştırma Ulusal Bor Enstitüsü'nün (BOREN) kuruluşundan sonra gündeme gelmiş ve TÜBİTAK BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA PROJELERİNİ DESTEKLEME PROGRAMI (1001) 105M348 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Araştırma sırasında desteklerini esirgemeyen BOREN Başkanı Sayın Erk İnger, Prof. Dr. İshak Karakaya, Prof. Dr. Yavuz Topkaya'ya ve laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Araş. Gör. Osman Sivrikaya'ya teşekkürü bir borç biliriz.

Haziran 2008
Prof. Dr. Ali İhsan Arol
Proje Yürütücüsü

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|----|
| ÖZET | 6 |
| ABSTRACT | 6 |
| 1. GİRİŞ | 7 |
| Birinci rapor döneminde yapılan çalışmalar | 9 |
| İkinci rapor döneminde yapılan çalışmalar | 9 |
| Son rapor döneminde yapılan çalışmalar | 9 |
| 2. ARAŞTIRMANIN AMACI | 10 |
| 3. MALZEME VE YÖNTEM | 10 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 14 |
| 4.1. Manyetit ve Hematit Cevherlerinin Özgül Yüzey Alanları | 14 |
| 4.2. Manyetit Cevheri ile Yapılan Peletleme Çalışmaları | 15 |
| 4.2.1. Bağlayıcı Cinsinin ve Miktarının Yaş Pelet Nem İçeriği ve Düşme Sayısı Üzerine Etkisi | 15 |
| 4.2.2. Bentonitin Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi | 16 |
| 4.2.3. Pişirme Süresinin Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi | 17 |
| 4.2.4. Bağlayıcı Cinsinin Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi | 19 |
| 4.2.5. Bağlayıcı Miktarının Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi | 20 |
| 4.2.5.1. Kalsine Kolemanit İlavesi ile Yapılan Deneyler | 20 |
| 4.2.5.2. Boraks pentahidrat İlavesi ile Yapılan Deneyler | 21 |
| 4.2.5.3. Teknik CMC Organik Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler | 22 |
| 4.2.5.4. Ciba-DPEP06-0007 Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler | 23 |
| 4.2.5.5. Mısır Nişastası Organik Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler | 24 |
| 4.2.5.6. Cytec A-150LMW ve Cytec A-150HMW Bağlayıcıları ile Yapılan Deneyler | 25 |
| 4.2.5.7. Dekstrin Organik Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler | 25 |
| 4.2.6. Karışım Bağlayıcıların Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi | 26 |
| 4.2.6.1. Teknik CMC ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler | 27 |
| 4.2.6.2. Ciba-DPEP06-0007 ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler | 28 |
| 4.2.6.3. Mısır Nişastası ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler | 28 |
| 4.3. Hematit Cevheri ile Yapılan Peletleme Çalışmaları | 29 |
| 4.3.1. Bağlayıcı Cinsinin ve Miktarının Yaş Pelet Nem İçeriği ve Düşme Sayısı Üzerine Etkisi | 29 |
| 4.3.2. Bağlayıcı Cinsi ve Miktarının Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi | 30 |
| 4.3.2.1. Bentonit Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler | 30 |
| 4.3.2.2. Kalsine Kolemanit İlavesi ile Yapılan Deneyler | 31 |
| 4.3.2.3. Boraks pentahidrat, Mısır Nişastası ve Dekstrin İlavesi ile Yapılan Deneyler | 32 |
| 4.3.2.4. Teknik CMC Organik Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler | 33 |
| 4.3.2.5. Ciba-DPEP06-0007, Cytec A-150LMW ve Cytec A-150HMW Bağlayıcıları ile Yapılan Deneyler | 34 |
| 4.3.3. Karışım Bağlayıcıların Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi | 35 |
| 4.3.3.1. Teknik CMC ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler | 36 |
| 4.3.3.2. Ciba-DPEP06-0007 ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler | 36 |

| | |
|---|----|
| 4.3.3.3. Mısır Nişastası ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler..... | 37 |
| 4.4. İndirgeme Deneyleri..... | 38 |
| 4.4.1. Manyetit Peletleri ile Yapılan İndirgeme Deneyleri | 38 |
| 4.4.2. Hematit Peletleri ile Yapılan İndirgeme Deneyleri..... | 39 |
| 5. SONUÇ..... | 41 |
| 6. KAYNAKLAR..... | 44 |
| 7. EKLER..... | 45 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Çizelge 1. Sivas Divriği manyetit konsantresine ve hematit (Brezilya) cevherine ait kimyasal analiz sonuçları..... | 10 |
| Çizelge 2. Bentonit numunesine ait kimyasal analiz sonucu..... | 11 |
| Çizelge 3. Eti Maden Bigadiç kolemanit cevher konsantresine ait kimyasal analiz sonucu.... | 11 |
| Çizelge 4. Gakushin ve laboratuvar demir cevheri peleti indirgeme test parametreleri..... | 13 |
| Çizelge 5. Yaş manyetit peletleri nem içerikleri ve düşme sayıları..... | 15 |
| Çizelge 6. Yaş hematit peletleri nem içerikleri ve düşme sayıları..... | 30 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1. Manyetit ve hematitin bilyalı değirmende farklı sürelerde öğütülmesi ile elde edilen Blaine sayıları..... | 14 |
| Şekil 2. Bentonitin manyetit peleti basma dayanımı üzerine etkisi..... | 16 |
| Şekil 3. 1000 °C’de 10, 20 ve 30 dakika süre ile ısıtılmış manyetit peletlerinin basma dayanımları..... | 17 |
| Şekil 4. 1300 °C’de 10, 20 ve 30 dakika süre ile pişirilmiş manyetit peletlerinin basma dayanımları..... | 18 |
| Şekil 5. Bağlayıcı cinsinin manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 19 |
| Şekil 6. Kalsine kolemanitin manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 20 |
| Şekil 7. Boraks pentahidratın manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 21 |
| Şekil 8. Teknik CMC organik bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi.. | 22 |
| Şekil 9. Ciba-DPEP06-0007 bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi... | 23 |
| Şekil 10. Mısır nişastasası organik bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 24 |
| Şekil 11. Cytec A-150 LMW ve Cytec A-150 HMW bağlayıcılarının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 25 |
| Şekil 12. Dekstrin organik bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 26 |
| Şekil 13. Teknik CMC ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 27 |
| Şekil 14. Ciba-DPEP06-0007 ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 28 |
| Şekil 15. Mısır nişastasası ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 29 |
| Şekil 16. Bağlayıcısız ve bentonitin hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 31 |
| Şekil 17. Kalsine kolemanitin hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 32 |
| Şekil 18. Boraks pentahidrat, mısır nişastasası ve dekstrin bağlayıcılarının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 33 |
| Şekil 19. Teknik CMC organik bağlayıcısının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi.. | 34 |
| Şekil 20. Ciba, Cytec A-150 LMW ve Cytec A-150 HMW bağlayıcılarının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 35 |
| Şekil 21. Teknik CMC ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 36 |
| Şekil 22. Ciba ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 37 |
| Şekil 23. Mısır nişastasası ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi..... | 38 |
| Şekil 24. 1300 °C’de pişirilmiş manyetit peletleri indirgeme test sonuçları..... | 39 |
| Şekil 25. 1300 °C’de pişirilmiş hematit peletleri indirgeme test sonuçları..... | 40 |

ÖZET

Bentonit demir cevheri peletlemede kullanılan temel bağlayıcı olmasına rağmen içerdiği safsızlıklar nedeniyle demir-çelik üretimini olumsuz etkilemektedir. Bentonitin bu olumsuz etkisini ortadan kaldırmak için alternatif bağlayıcı kullanımı ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Bu araştırmalardan çoğu organik bağlayıcılar üzerine yoğunlaşmıştır. Fakat organik bağlayıcılar düşük sıcaklıklarda yanarak yok olmaları sonucu ön ısıtılmış ve pişirilmiş peletlere yeterli basma dayanımları kazandıramamaktadırlar. Bu çalışmada yeni nesil bağlayıcı olarak bor (kolemanit ve boraks pentahidrat) katkılı organik bağlayıcıların performansları incelenmiştir. Sonuçlar, organik bağlayıcılarla birlikte kolemanit ve boraks pentahidrat kullanılarak üretilen peletlerin basma dayanımlarının, bentonit ile elde edilen basma dayanımları ile karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Demir cevheri, peletleme, bağlayıcı, bentonit, organik bağlayıcı, kolemanit

ABSTRACT

Even though the use of bentonite in iron ore pelletizing is essential, it is also a problem due to its negative effects, caused by the impurities introduced with bentonite, on iron-steel economy. There have been numerous studies to eliminate the negative effects to replace bentonite with alternative binders. Many of these studies involve the use of organic binders which were found to fail to render the required compressive strength of pre-heated and fired pellets. In this work, a new generation binder for iron ore pelletizing consisting of an organic binder and colemanite additive was investigated. The results have shown that the use of colemanite and borax pentahydrate together with an organic binder yielded pellets with compressive strength comparable to those of pellets produced with bentonite.

Key words: Iron ore, pelletizing, binder, bentonite, organic binder, colemanite

1. GİRİŞ

Demir cevherlerinin çok küçük bir bölümü yeterince yüksek tenör ve düşük safsızlık içerir ve doğrudan yüksek fırına beslenebilir. Geriye kalan büyük bir bölümü düşük tenör ve yüksek safsızlık içeriğinden dolayı doğadan çıkarıldığı gibi demir üretiminde kullanılmaya uygun değildir. Kırma-öğütme-serbestleştirme, gravite, manyetik ve flotasyona dayalı bir zenginleştirme süreci ile cevher tenörünün %65-68 Fe yükseltilmesi gerekmektedir. Bu şekilde çok küçük tane boyutlarına indirilerek zenginleştirilen cevherin indirgeme fırınlarına (yüksek fırın veya doğrudan indirgeme fırını) doğrudan beslenmesi, yüksek fırın yük yatağının geçirgenliğini olumsuz etkilemesi ve baca gazları ile uçarak kayba neden olmasından dolayı uygun değildir. İnce taneli demir konsantrelerinin yüksek fırına beslenebilmesi için aglomerasyon (boyut büyütme) işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Demir cevherlerinde yaygın olarak kullanılan aglomerasyon işlemlerinden biri de peletlemedir.

Peletleme ile cevher konsantresi peletleme tamburları veya disklerinde önce % 8-10 nem ve bir bağlayıcı yardımıyla 9-16 mm çapında yaş topraklara (pelet) dönüştürülür. Yaş peletler, kurutma, ön ısıtma ve pişirmeden oluşan üç aşamalı ısıl işleme tabi tutularak sertleştirilir. Pişmiş peletler son olarak soğutularak ürün pelet elde edilir. Tesisten tesise geçişle birlikte, kurutma 250-400 °C, ön ısıtma 900-1100 °C ve pişirme 1200-1300 °C'de gerçekleştirilir.

Peletleme için cevher konsantresine katılan bağlayıcının iki ana görevi vardır. Bu görevlerden biri cevher konsantresi içindeki serbest suyu tutmak, diğeri de peletlerin curuf bağları oluşmadan önce, yani ön ısıtmadan önce, dağılmasını önlemektir (MEYER 1980, DE SOUZA ve diğ., 1984).

Peletlemede genellikle bağlayıcı olarak yüksek su emme kapasitesine sahip bir kil türü olan bentonit % 0,5-1,5 oranında kullanılmaktadır (MEYER, 1980). Bentonit, peletlerin topaklanması sırasında nem dengesini sağlama ve yaş, kuru ve ön ısıtılmış peletlerin dayanımını artırma işlevi ile peletlemenin önemli bir unsurudur. Ancak yapısında bulundurduğu, %55-60 SiO₂, %15-20 Al₂O₃, %2 CaO, %2 MgO, %2 Na₂O ve %1 K₂O ile aslında demir cevheri için bir safsızlıktır. %1'lik bentonit ilavesi %65 Fe'lik demir cevheri konsantresinin tenörünü yaklaşık olarak %0,6 oranında düşürmektedir. Ayrıca nihai pelet

ürünün SiO₂ içeriğindeki %1'lik artış çelik üretiminde 4-7 \$/ton maliyet artışına sebep olmaktadır (CHIZHIKOVA ve diğ., 2003). Peletleme için gerekli olan bu bağlayıcının kullanılması ilave nakliye giderlerine, yüksek fırınlarda verim düşüşüne, yüksek fırında kok ve kireçtaşı kullanımında artışa neden olmaktadır. Ayrıca, bentonit kalitesindeki dalgalanmalar peletleme işlemini olumsuz yönde etkilemekte, zaman zaman üretim kayıplarına yol açmaktadır.

Bentonitin bir önceki paragrafta bahsedilen olumsuz yönünü giderecek bir bağlayıcının bulunması için son yirmi yıldır çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, organik kökenli polimer bağlayıcılar üzerinde yoğunlaşmıştır (KATER ve STEEGS, 1984, DE SOUZA ve diğ., 1984, STONE, 1987, GOETZMAN ve diğ., 1988, AROL ve diğ., 1989). Bu alanda Akzo Nobel firmasına ait PERIDUR ve Ciba firmasına ait ALCOTAC FE polimerik bağlayıcıları öne çıkmaktadır. Yapılan laboratuvar ve tesis denemelerinde, bu polimerlerin yaş pelet ve kuru pelet özelliklerini iyileştirdikleri ancak ön ısıtma sonrasında yetersiz pelet dayanımı sağladıkları sonucuna varılmıştır (AROL ve diğ., 1989, AROL, 1997). Ön ısıtılmış peletlerin yeterli dayanıma sahip olmamaları bu peletlerin hareketli ızgara - döner fırında parçalanmasına neden olmaktadır ve oluşan tozlar, başta proses fanları olmak üzere tesis ekipmanlarına zarar vermektedir. Böylece, tesisteki duruş zamanı artmakta ve verimlilik düşmektedir. Bunun sonucu olarak, organik bağlayıcılar peletlemede tercih edilmemektedirler. Organik bağlayıcının ön ısıtılmış peletler üzerindeki olumsuz etkisi giderildiği takdirde bentonitle gelen safsızlıkların pelet bünyesinden bertaraf edilmesi mümkün olacaktır.

Bir kalsiyum borat tuzu olan kolemanit minerali (Ca₂B₆O₁₁.5H₂O), demir-çelik endüstrisinde kullanımı bilinen ve bu alanda üzerinde birçok çalışma yapılmış, Türkiye'de bol miktarda bulunan bir cevherdir. Ergime sıcaklığı 986 °C'dir (TEKTAŞ, 2003) ve düşük ergime sıcaklığına sahip borosilikatların oluşumunu sağlar. Bu özelliklerinden dolayı kolemanit, ön ısıtılmış pelet dayanımını artırma yeteneğine sahiptir. Yapılan ön incelemelerde, organik bağlayıcılarla birlikte peletlere %0,5 civarında kolemanit eklenmesinin gerçekten de ön ısıtılmış pelet basma dayanımını artırdığı gözlenmiştir (AROL, 1997). Kolemanit fazla miktarda silika ve alümina gibi safsızlıklar içermediği için, bu manada pelet kimyası üzerindeki olumsuz etkisi yok denecek kadar azdır. Dolayısıyla, bentonitin yerine kolemanit katkılı organik bağlayıcı kullanılması ile peletlemede bentonitin sağladığı bütün işlevler,

safsızlık ilave edilmeden, yerine getirilmiş olacaktır. Ayrıca bir sodyum bor tuzu olan tinkal cevheri ve diğer bor türevlerinden de benzer etkiler beklenebilir. Dünya pelet üretim kapasitesinin yılda 400 milyon ton olduğu göz önüne alınırsa, yıllık 2 milyon ton kolemanit tüketim potansiyeli ortaya çıkacaktır.

Bu proje kapsamında demir cevheri peletlemede kullanılan bentonit bağlayıcısı yerine bor kökenli bağlayıcıların yalnız veya bir organik bağlayıcı ile birlikte bağlayıcı olarak verimli olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucu, organik bağlayıcılara bor kökenli, asit özellik taşımayan anorganik bir katkı maddesi (kalsine kolemanit) eklendiğinde ön ısıtma sırasında karşılaşılan sorunların giderilebileceği görülmüştür.

Birinci rapor döneminde yapılan çalışmalar

Bu çalışmanın birinci gelişme raporuna kadar olan kısmında malzeme temini, malzeme karakterizasyonu yapılmış, demir cevheri olarak manyetit, bağlayıcısız ve bentonit, kalsine kolemanit, tinkal, teknik CMC, Ciba-DPEP06-0007 bağlayıcıları kullanılarak peletler üretilmiştir. Üretilen peletler üzerinde yaş pelet nem içeriği ve yaş pelet düşme sayısı tayini, ısıtma işlem görmüş peletlerde ısıtma süresinin ve bağlayıcı cinsinin pelet basma dayanımına etkisi araştırılmıştır.

İkinci rapor döneminde yapılan çalışmalar

İkinci gelişme raporu kapsamında, yine manyetit cevheri ile boraks pentahidrat, mısır nişastası, Cytec A-150LMW, Cytec A-150HMW, dekstrin bağlayıcıları, teknik CMC + kalsine kolemanit, Ciba-DPEP06-0007 + kalsine kolemanit, mısır nişastası + kalsine kolemanit karışım bağlayıcıları denenmiştir. Bu şekilde üretilen peletlere ait yaş pelet nem içeriği, yaş pelet düşme sayısı tayini ve ısıtma işlem görmüş peletlere ait basma dayanımları belirlenmiştir.

Son rapor döneminde yapılan çalışmalar

Son rapor döneminde hematit demir cevheri ile bağlayıcısız peletler üretilmiştir. Bunun yanında bentonit, kalsine kolemanit, boraks pentahidrat, teknik CMC, Ciba-DPEP06-0007, mısır nişastası, Cytec A-150 LMW, Cytec A-150 HMW, dekstrin bağlayıcıları, teknik CMC + kalsine kolemanit, Ciba-DPEP06-0007 + kalsine kolemanit, mısır nişastası + kalsine

kolemanit karışım bağlayıcıları kullanılmıştır. Elde edilen bu peletlere ait yaş pelet nem içeriği ve yaş pelet düşme sayısı tayini yapılmıştır. Isıl işlem görmüş peletlere ait basma dayanımları tespit edilmiştir. Manyetit ve hematit ile çeşitli bağlayıcılar kullanılarak yapılan uygun özellikteki peletler üzerinde indirgeme testleri gerçekleştirilmiştir.

2. ARAŞTIRMANIN AMACI

Bu araştırmanın temel amacı bentonit yerine kullanılabilen alternatif bir bağlayıcının bulunmasıdır. Daha önce yapılan çalışmalar ışığında, öncelikli olarak demir cevheri peletlemede yeni nesil bir bağlayıcı olma özelliği taşıyan bor kökenli katkı malzemesi ve organik bağlayıcılar birlikte kullanılarak demir peleti üretilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bor katkılı organik bağlayıcıların bağlama mekanizması ve elde edilen peletlerin fizikokimyasal ve metalürjik özellikleri, üretim koşullarının belirlenecektir. Demir cevheri olarak manyetit ve hematit; bağlayıcı olarak bentonit; bor kökenli katkı malzemesi olarak kalsine edilmiş kolemanit, tinkal, boraks pentahidrat; organik bağlayıcı olarak piyasadan kolayca temin edilebilen teknik CMC (carboxy methyl cellulose), mısır nişastası, dekstrin, ve bazı şirketlere ait Ciba DPEP06-0007, Cytec A-150LMW, A-150HMW kodlu ticari bağlayıcıların kullanılması amaçlanmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerde kullanılan malzemeler iki ana gruptan meydana gelmektedir. Birinci grubu demir cevherleri oluştururken, ikinci grubu bağlayıcı ve katkı maddeleri oluşturmaktadır. Demir cevheri numunesi olarak manyetit (Fe_3O_4) ve hematit (Fe_2O_3) temin edilmiştir. Manyetit, Erdemir Madencilik San. ve Tic. A.Ş.'e ait Sivas Divriği'de bulunan manyetit cevheri zenginleştirme tesisinden alınmıştır. Konsantre manyetit laboratuvarında tekrar yıkanarak temizlenmiştir. Manyetit numunesine ait kimyasal analiz sonucu Çizelge 1'de verilmiştir. Hematit cevheri ise İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. tarafından Brezilyadan ithal edilmiş yüksek tenörlü ham hematit cevherinden temin edilmiştir. Hematit numunesine ait kimyasal analiz sonucu Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge1. Sivas Divriği manyetit konsantresine ve hematit (Brezilya) cevherine ait kimyasal analiz sonuçları

| | Toplam Fe % | FeO % | SiO ₂ % | Al ₂ O ₃ % | CaO % | MgO % | Na ₂ O % | K ₂ O % | S % | P ₂ O ₅ % | TiO ₂ % |
|----------|-------------|-------|--------------------|----------------------------------|-------|-------|---------------------|--------------------|------|---------------------------------|--------------------|
| Manyetit | 69,25 | 24,30 | 0,95 | 1,01 | 0,53 | 0,90 | 0,05 | 0,14 | 0,48 | <0,10 | <0,01 |
| Hematit | 66,62 | - | 5,71 | 3,05 | 0,05 | 0,02 | 0,11 | 0,01 | 0,01 | 0,16 | 0,05 |

Manyetit ve hematit numunelerinin özgül ağırlıklarını belirlemek amacıyla su ve aseton ile piknometre deneyleri yapılmış ve özgül ağırlıkları sırasıyla 5,01 ve 4,90 bulunmuştur. Ayrıca demir cevheri peletlenmesinde demir cevheri konsantresinin tane iriliğinin bir ölçütü olan Blaine sayısı (özgül yüzey alanı) belirlenmiştir.

Deneylerde bağlayıcı olarak bentonit, organik bağlayıcılara bor kökenli katkı malzemesi olarak kalsine kolemanit, tinkal, boraks pentahidrat, organik bağlayıcı olarak teknik CMC, mısır nişastası, dekstrin ve Ciba DPEP06-0007 kodlu ticari bağlayıcı, Cytec A-150 LMW ve Cytec A-150 HMW kodlu flokulantlar kullanılmıştır.

Bentonit numunesi Karakaya A.Ş. tarafından üretilen peletleme bentoniti (sodyum) olup, Reşadiye, Tokat bölgesine aittir. Bentonite ait kimyasal analiz sonucu Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Bentonit numunesine ait kimyasal analiz sonucu

| SiO₂ % | Al₂O₃ % | Na₂O % | K₂O % | CaO % | FeO % | MgO % |
|-----------------------------|---|-----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 67,76 | 16,86 | 1,38 | 0,73 | 2,19 | 4,17 | 3,62 |

Deneylerde kullanılan kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) Eti Maden Bigadiç tesislerinden 25-125 mm boyutlarındaki kolemanit konsantresinden temin edilmiştir. Kolemanit cevheri laboratuvarında merdaneli kırıcıda 1 mm’nin altına kırıldıktan sonra 550 °C’de bir saat süre ile laboratuvar ölçekli 1400 °C’e kadar ısıtma kapasiteli fırında kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra kalsine kolemanit santrifüj değirmende öğütülerek 45 mikron altına geçmesi sağlanarak bağlayıcı olarak kullanılabilir hale getirilmiştir. Kalsine kolemanitin özgül ağırlığı aseton kullanılarak yapılan piknometre deneyi ile 1,95 olarak bulunmuştur. Kolemanitin kimyasal analizi Çizelge 3’de sunulmuştur.

Çizelge 3. Eti Maden Bigadiç kolemanit cevher konsantresine ait kimyasal analiz sonucu

| B₂O₃ % | SiO₂ % | CaO % | SO₃ % | As₂O₃ ppm |
|--|-----------------------------|-----------------|----------------------------|---|
| 41-43 | <6,50 | 26-28 | 0,50 | <50 |

Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) numunesi Eti Maden Kırka tesislerinden alınmış olup %33,30 B_2O_3 ve %2,43 CaO içermektedir. Tinkal numunesi 1 mm'nin altına kırıldıktan sonra santrifüj değirmende 45 mikron altına öğütülerek bağlayıcı olarak kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Eti Maden Kırka tesislerinden temin edilen boraks pentahidrat 1,815 özgül ağırlığa ve %47,76 B_2O_3 içeriğine sahiptir. Boraks pentahidrat havanda öğütülerek 45 mikron altına geçirilerek bağlayıcı olarak kullanılabilir boyuta getirilmiştir.

Teknik CMC, dekstrin ve mısır nişastası piyasadan temin edilmiştir. Teknik CMC ve dekstrin organik malzemeleri boyut bakımından bağlayıcı olarak kullanılmaya uygun olduklarından doğrudan kullanılmışlardır. Mısır nişastası ise uygun miktarda damıtılmış su içerisinde laboratuvarında otoklav cihazında 140 °C'de 30 dakika kaynatılıp çözelti olarak kullanılmıştır.

Ciba DPEP06-0007 kodlu ticari bağlayıcı Ciba Specialty Chemicals, Cytec A-150 LMW ve A-150 HMW kodlu flokulanlar Cytec Industries Inc. şirketinden temin edilmiştir. Bu bağlayıcılar uygun miktarda damıtılmış su içerisinde çözüldükten sonra bağlayıcı olarak kullanılmışlardır.

Peletleme deneylerinde, laboratuvar tipi 390 mm çapında, 100 mm derinliğinde ve 11 d/d dönme hızına sahip peletleme diski, pelet kurutma işleminde laboratuvar etüvü, pelet pişirme işlemlerinde maksimum 1400 °C ısıtma kapasiteli laboratuvar tip fırın kullanılmıştır.

Peletleme yapabilmek için numuneler ilk olarak numune hazırlama işlemlerinden geçirilmiş ve daha sonra bu numuneler üzerinde peletleme gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 500 g manyetit, belirlenmiş oranda bağlayıcı ilk olarak kuru olarak karıştırılmış daha sonra %10 oranında damıtılmış su ilave edilerek tekrar karıştırılmıştır. Karışım malzemedan bir miktar peletleme diskine beslenerek pelet çekirdekleri oluşması sağlanmış, kalan malzeme 1,4 mm elek yardımı ile pelet çekirdekleri üzerine beslenmeye devam edilerek yaş peletler oluşturulmuştur. Bu sırada bir su spreyi kullanılarak düzgün pelet oluşumu için ilave su ihtiyacı karşılanmıştır. Pelet standardizasyonu için elek yardımı ile çapı 11-12 mm ölçülen peletler peletleme diskinden alınmış kalan malzeme ile peletlemeye devam edilmiştir.

Tüm malzeme ile uygun boyutlu peletler elde edildikten sonra yaş peletler üzerinde nem içeriği tayini ve yaş pelet düşme sayısı tayini yapılmıştır. Nem içeriği tayini için yaş peletlerden 10 adet pelet etüvde 100 °C'de kurutulmuş ve nem içeriği tayini yapılmıştır. Yaş pelet düşme sayısı tayini için 10 adet yaş pelet tek tek 46 cm yükseklikten çelik bir plakaya ard arda ilk çatlak oluşana kadar düşürülerek düşme sayısı belirlenmiş, elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Daha sonra yaş peletler üç aşamalı ısıtma işleminden geçirilmiştir. İlk olarak yaş peletler 24 saat süre ile 100 °C etüvde kurutulmuştur. İkinci aşamada kurutulmuş peletler 400, 600, 800 ve 1000 °C'de ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Son aşamada ise ön ısıtılmış peletler 1300 °C'de pişirilmiştir. Isıl işlemler belirlenen sürelerle laboratuvar tip fırında gerçekleştirilmiş ve bu peletler üzerinde fiziksel basma dayanımı ve indirgeme testleri uygulanmıştır.

Ön ısıtılmış ve pişirilmiş peletlerin basma dayanımları, 5 ton basma kapasitesine ve 1 kg hassasiyete sahip laboratuvar tipi mekanik pres ile kırılarak tayin edilmiştir. Peletlerin basma dayanımları belirlenirken her bir peletleme deneyine ait peletlerden 10'ar adet pelet kırılarak basma dayanımlarının aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Basma dayanımları yeterli olarak belirlenen peletler üzerinde indirgeme testleri Gakushin demir cevheri peleti indirgeme standardına uygun olarak tek pelet üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4 Gakushin ve laboratuvar test parametrelerini göstermektedir. İndirgeme testleri maksimum 1200 °C ısıtma kapasiteli split dikey tip fırında, 1 mikrogram hassasiyete sahip hassas terazi kullanılarak karbon monoksit ve argon gazları karışım atmosferinde yapılmıştır.

Çizelge 4. Gakushin ve laboratuvar demir cevheri peleti indirgeme test parametreleri

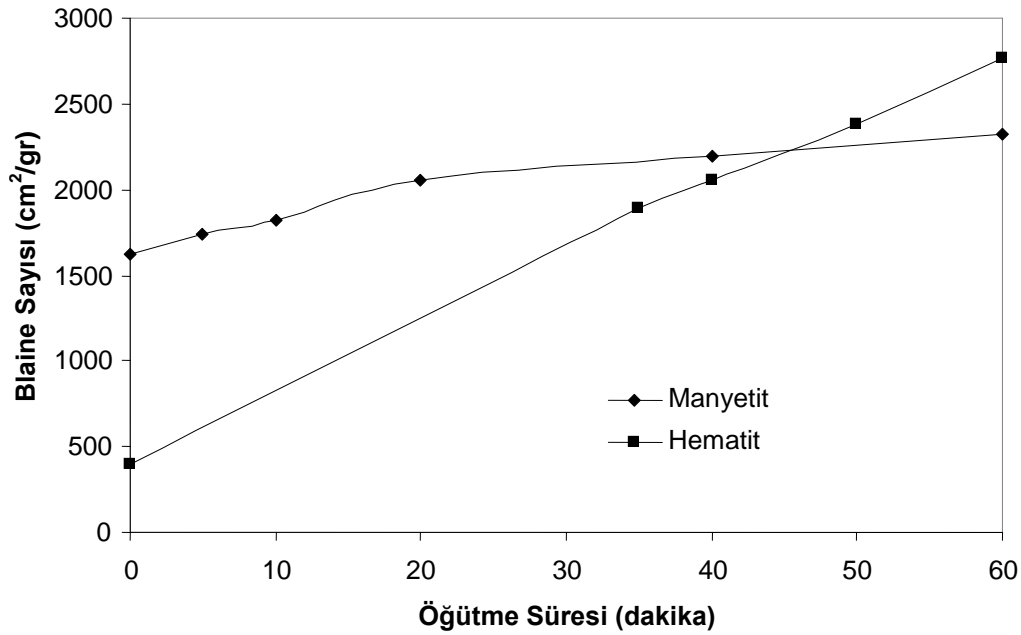
| Metod | Numune ağırlığı (gr) | Test gazı | | Test süresi (dk) | Gaz debisi (l/dk) | Test sıcaklığı (°C) | Test fırın boru çapı (mm) |
|-------------|----------------------|-----------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|
| | | CO (%) | N ₂ (%) | | | | |
| Gakushin | 500 | 30 | 70 | 180 | 15 | 900 | 60 |
| Laboratuvar | 3,25 ort | 30 | 70 (Ar) | 180 | 0,325 | 900 | 50 |

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Manyetit ve Hematit Cevherlerinin Özgül Yüzey Alanları

Peletleme deneylerinde kullanılan manyetit ve hematit cevherleri farklı sürelerde bilyalı değirmende öğütülerek, ulaştıkları Blaine sayıları (ölgül yüzey alanları) laboratuvarında hava geçirgenliği prensibiyle çalışan Blaine sayısı cihazı kullanılarak belirlenmiş ve Şekil 1’de verilmiştir. Manyetit ile yapılan peletleme çalışmalarında tesisten alınan orijinal boyutlu manyetit konsantresi kullanılmış olup bu numunenin Blaine ölgül yüzey alanı 1617,62 cm²/g olarak ölçülmüştür. Ayrıca bu ölgül yüzey alanına sahip manyetit konsantresi üzerinde yapılan 45 mikron elek analizinde 45 mikrondan küçük malzeme oranı %65,3 olarak bulunmuştur.

Hematit cevherine ait Blaine ölgül yüzey alanı laboratuvara geldiği haldeki boyutu ile 392,36 cm²/g iken, bu numune bilyalı değirmende 35 dakika öğütülerek 1891,75 cm²/g ölgül yüzey alanına ulaştırılmış ve hematit cevheri peletleme deneylerinde kullanılmıştır. Peletleme deneylerinde kullanılan hematitin 45 mikrondan küçük malzeme oranı %60 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1. Manyetit ve hematitin bilyalı değirmende farklı sürelerde öğütülmesi ile elde edilen Blaine sayıları

4.2. Manyetit Cevheri ile Yapılan Peletleme Çalışmaları

4.2.1. Bağlayıcı Cinsinin ve Miktarının Yaş Pelet Nem İçeriği ve Düşme Sayısı Üzerine Etkisi

Peletlerin yaş nem içeriği, düzgün topaklanma, yaş pelet düşme sayısı da yaş pelet dayanımı açısından önemlidir. Kullanılan bağlayıcı miktarının yaş pelet nem içeriği ve düşme sayısı (DS) üzerine etkisini belirlemek amacıyla Çizelge 5’de belirtilen bağlayıcı ve karışım bağlayıcılar kullanılarak peletler üretilmiştir. Yaş peletlere ait nem içeriği değerleri ve düşme sayıları Çizelge 5’de verilmiştir.

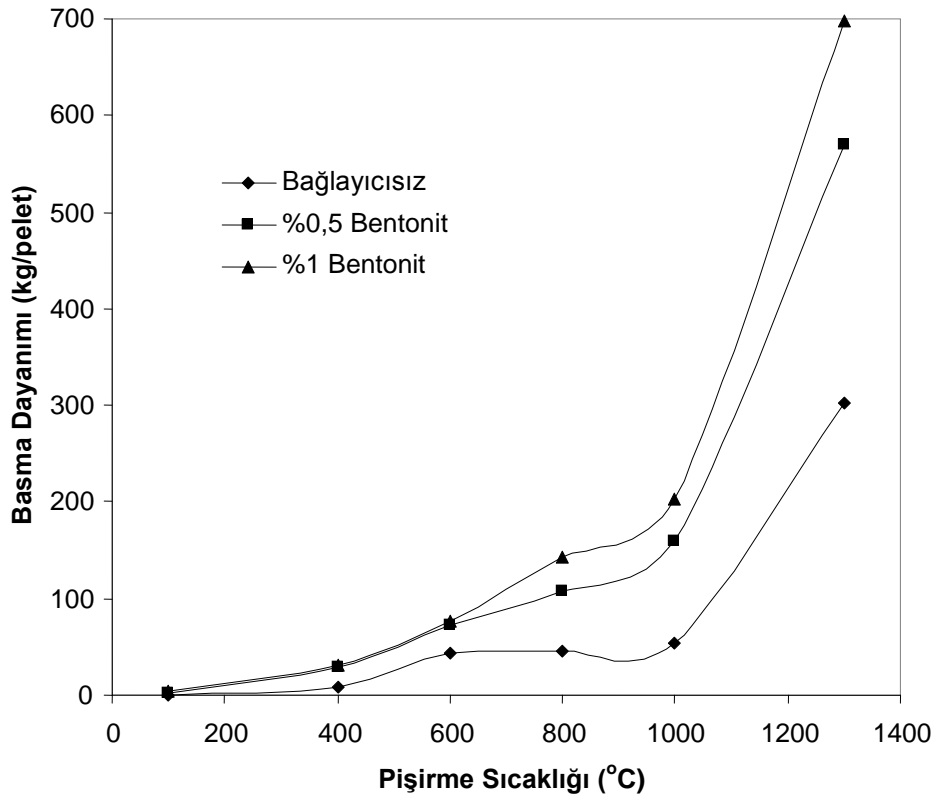
Çizelge 5. Yaş manyetit peletleri nem içeriği değerleri ve düşme sayıları

| Bağlayıcı Cinsi ve Miktarı | % Nem | DS |
|--|-------|-----|
| Bağlayıcısız | 8,3 | 1,9 |
| %0,5 Bentonit | 8,5 | 3,0 |
| %1 Bentonit | 9,0 | 4,5 |
| %0,25 Kalsine kolemanit | 7,4 | 2,1 |
| %0,5 Kalsine kolemanit | 7,5 | 2,1 |
| %0,75 Kalsine kolemanit | 7,5 | 2,2 |
| %1 Kalsine kolemanit | 7,7 | 2,3 |
| %0,5 Boraks pentahidrat | 8,2 | 2,0 |
| %1 Boraks pentahidrat | 8,0 | 2,0 |
| %0,05 Teknik CMC | 7,9 | 2,5 |
| %0,1 Teknik CMC | 8,1 | 2,9 |
| %0,15 Teknik CMC | 7,8 | 3,0 |
| %0,2 Teknik CMC | 8,1 | 4,1 |
| %0,05 Ciba DPEP06-0007 | 7,9 | 2,2 |
| %0,1 Ciba DPEP06-0007 | 8,3 | 2,7 |
| %0,15 Ciba DPEP06-0007 | 8,9 | 3,6 |
| %0,2 Ciba DPEP06-0007 | 7,8 | 5,3 |
| %0,1 Mısır nişastası | 8,5 | 2,2 |
| %0,2 Mısır nişastası | 8,2 | 2,4 |
| %0,3 Mısır nişastası | 8,0 | 2,6 |
| %0,4 Mısır nişastası | 7,8 | 3,3 |
| %0,05 Cytec A-150 LMW | 8,8 | 3,4 |
| %0,1 Cytec A-150 LMW | 8,7 | 5,0 |
| %0,005 Cytec A-150 HMW | 8,5 | 2,2 |
| %0,01 Cytec A-150 HMW | 8,0 | 2,0 |
| %0,5 Dekstrin | 7,8 | 2,0 |
| %1 Dekstrin | 7,7 | 2,0 |
| %0,1 Teknik CMC+%0,25 Kalsine kolemanit | 8,5 | 2,7 |
| %0,1 Teknik CMC+%0,5 Kalsine kolemanit | 8,6 | 2,9 |
| %0,1 Teknik CMC+%0,75 Kalsine kolemanit | 8,7 | 2,9 |
| %0,1 Teknik CMC+%1 Kalsine kolemanit | 8,9 | 3,0 |
| %0,05 Ciba DPEP06-0007+%0,25 Kalsine kolemanit | 9,0 | 3,1 |
| %0,05 Ciba DPEP06-0007+%0,5 Kalsine kolemanit | 9,0 | 3,3 |
| %0,05 Ciba DPEP06-0007+%0,75 Kalsine kolemanit | 9,2 | 2,5 |
| %0,05 Ciba DPEP06-0007+%1 Kalsine kolemanit | 9,2 | 2,6 |
| %0,1 Mısır nişastası +%0,25 Kalsine kolemanit | 8,4 | 2,3 |
| %0,1 Mısır nişastası +%0,5 Kalsine kolemanit | 8,5 | 2,4 |
| %0,1 Mısır nişastası +%0,75 Kalsine kolemanit | 8,6 | 2,5 |
| %0,1 Mısır nişastası +%1 Kalsine kolemanit | 8,6 | 2,8 |

Manyetit kullanılarak yapılan peletleme deneylerine, Blaine özgül yüzey alanı 1617,62 cm²/g olan manyetit ve bağlayıcı karışımına %10'luk damıtılmış su ilavesi ile başlanmış ve peletleme işlemi sonucunda bu değer tüm bağlayıcı çeşitleri için nem tayini sonrası ortalama %8 civarında tespit edilmiştir. Referans olarak kabul edilen %0,5 bentonit katkılı peletlerde düşme sayısı 3 olarak bulunmuştur. Kolemanit katkı malzemesi kullanılan peletlerde düşme sayıları ise ortalama 2,2 gibi bir değer kazanırken, organik bağlayıcı kullanılan peletlerde bu değer artan bağlayıcı oranı ile artarak 5 değerine kadar ulaşmıştır. Karışım bağlayıcılarda ise düşme sayısı 3 civarında bulunarak yeterli değere ulaşmıştır.

4.2.2. Bentonitin Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi

Alternatif bağlayıcı olarak kullanılacak bor katkılı organik bağlayıcıların performanslarının bentonit ile karşılaştırılabilmesi için peletleme deneylerine ilk olarak demir peletlemede temel bağlayıcı olarak kullanılan bentonit ile başlanmıştır. Bu amaçla bağlayıcısız, %0,5 ve %1 bentonit ilaveli peletler üretilmiş, 100, 400, 600, 800, 1000 ve 1300 °C'de 30 dakika ısıl işleme tabi tutularak sertleştirilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımları belirlenmiş sonuçları Şekil 2 ve Çizelge A1'de (EkA) verilmiştir.

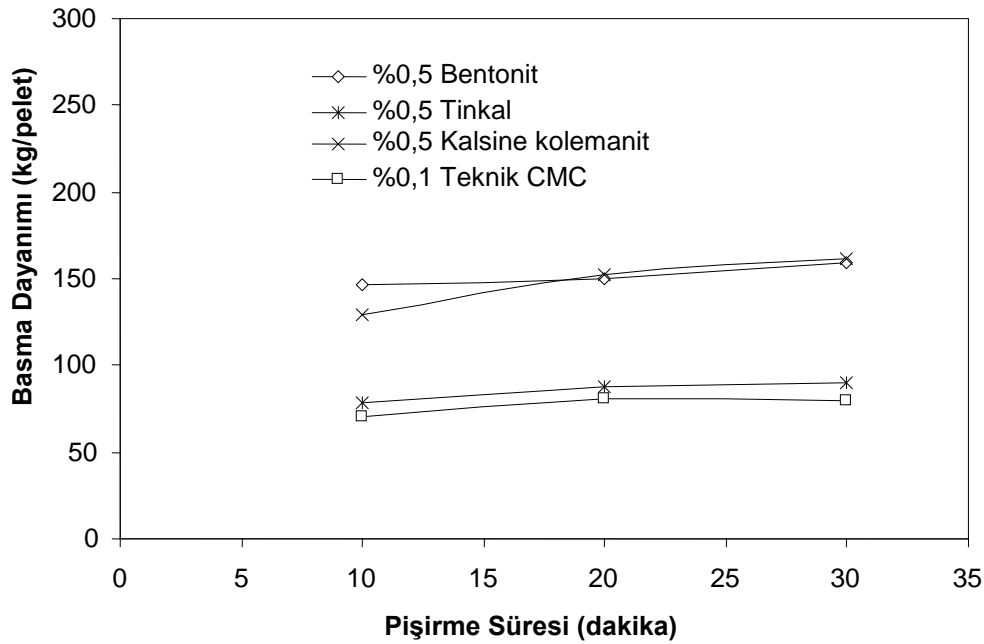


Şekil 2. Bentonitin manyetit peleti basma dayanımı üzerine etkisi

Bağlayıcı olarak kullanılan bentonit oranının artmasıyla tüm sıcaklıklarda ısıtılmış peletlerin basma dayanımlarında artış gözlenmiştir. Bağlayıcısız, %0,5 ve %1 bentonitin kullanıldığı deneyde, 1000 °C’de ısıl işleme tabi tutulmuş peletlerde elde edilen basma dayanımı sonuçları sırasıyla 54, 159 ve 203 kg/pelet olarak bulunmuştur. %0,5 bentonit ilavesi ile elde edilen değer endüstriyel olarak kabul edilir değerdir ve kullanılacak diğer alternatif bağlayıcılar ile elde edilen değerler bu değerle karşılaştırılmıştır. 1300 °C’de sertleştirilmiş peletlerde ise basma dayanımı değerleri yeterli dayanımı (>250 kg/pelet) kazanabilmişlerdir.

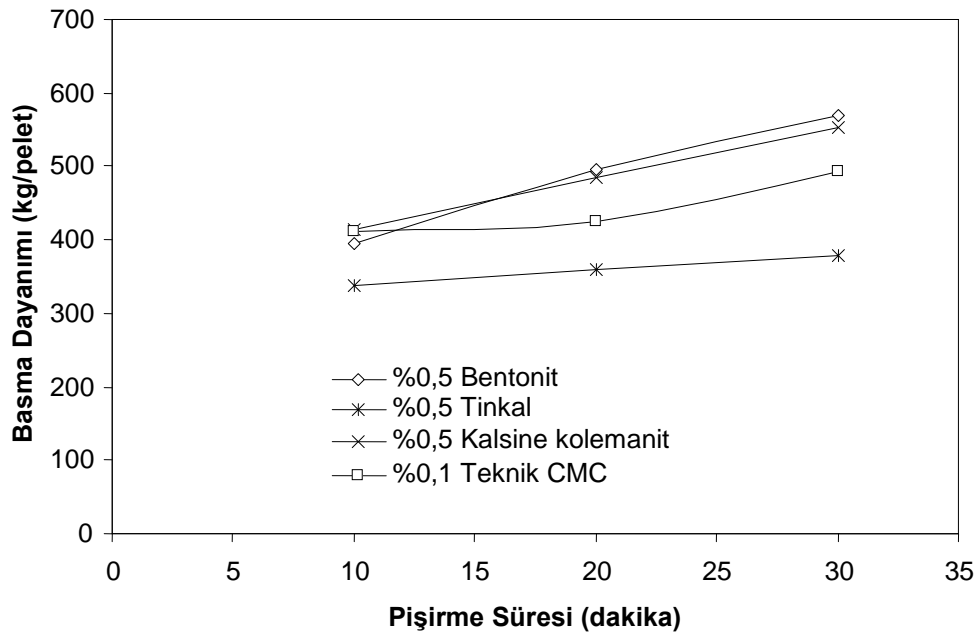
4.2.3. Pişirme Süresinin Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi

Peletlerin pişirme sürelerinin basma dayanımı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla peletler 10, 20 ve 30 dakika süre ile 1000 °C’de ön ısıtılarak ve 1300 °C’de pişirilmiştir. Bu deneylerde %0,5 bentonit, %0,5 kalsine kolemanit, %0,5 tinkal ve %0,5 teknik CMC bağlayıcı olarak kullanılmış. Elde edilen peletlerin basma dayanımları tespit edilmiş, sonuçlar Şekil 3, Şekil 4 ve Çizelge A2’de (EkA) sunulmuştur.



Şekil 3. 1000 °C’de 10, 20 ve 30 dakika süre ile ısıtılmış manyetit peletlerinin basma dayanımları

1000 °C’de ön ısıtılmış peletlere yeterli yüksek basma dayanımı sağlayan bağlayıcılar sırasıyla %0,5 kalsine kolemanit ve %0,5 bentonit olmuştur ve sırasıyla basma dayanımları 20 dakika ısıtılmış peletlerde 151,9 ve 150,1 kg/pelet bulunmuştur. Diğer bağlayıcılar ile elde edilen basma dayanımları öncekilerle kıyaslandığında düşük değerdedirler. Yeterli basma dayanımı sağlayan bağlayıcılara bakıldığında 20 dakikalık ısıl işlem süresinin yeterli olduğu görülmektedir. Bundan sonra yapılan deneylerde ısıl işlem süresi 20 dakika olarak belirlenmiştir.

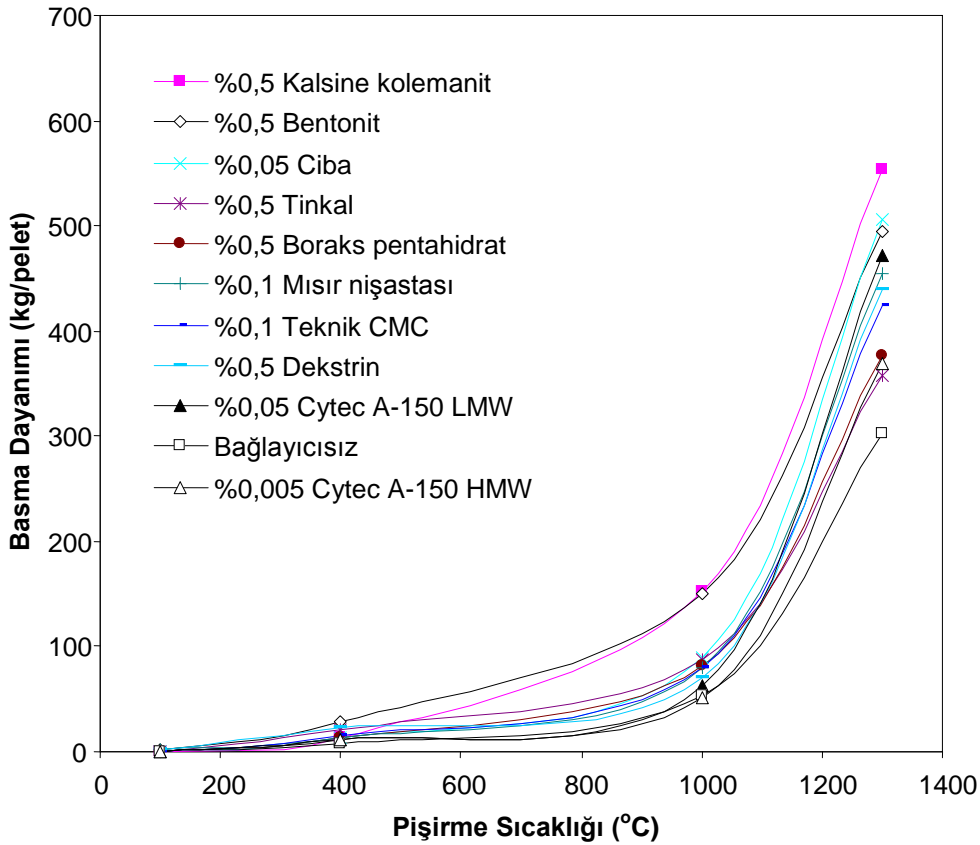


Şekil 4. 1300 °C’de 10, 20 ve 30 dakika süre ile pişirilmiş manyetit peletlerinin basma dayanımları

Piştirme sıcaklığı 1300 °C olan peletlerin basma dayanımları incelendiğinde, en yüksek basma dayanımı %0,5 bentonit ve %0,5 kalsine kolemanitin bağlayıcı olarak kullanıldığı peletler birbirine yakın basma dayanımı değerlerine sahip olmuşlardır. Diğer bağlayıcıların kullanıldığı peletlerin basma dayanımlarında da piştirme süresinin artmasıyla artış gözlenmiştir. Tüm bağlayıcılar ile denenen 10, 20 ve 30 dakika ısıl işlem sürelerinde de 250 kg/pelet’ten yüksek basma dayanımı değerleri elde edilmiştir.

4.2.4. Bağlayıcı Cinsinin Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi

Bağlayıcı cinsinin pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla bağlayıcısız ve %0,5 bentonit, %0,5 kalsine kolemanit, %0,5 tinkal, %0,1 teknik CMC, %0,05 Ciba DPEP06-0007, %0,1 mısır nişastası, %0,5 boraks pentahidrat, %0,5 dekstrin, %0,05 Cytec A-150 LMW ve %0,005 Cytec A-150 HMW ilaveli peletler üretilmiştir. Peletler 100, 400, 1000 ve 1300 °C'de 20 dakika ısıl işleme tabi tutularak sertleştirilmiş ve basma dayanımları belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 5 ve Çizelge A3'te (EkA) verilmiştir.



Şekil 5. Bağlayıcı cinsinin manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Şekilden görülebileceği gibi 1000 °C'de ön ısıtılmış peletlere en yüksek basma dayanımı kazandıran bağlayıcılar %0,5 kalsine kolemanit ve %0,5 bentonittir. %0,5 kalsine kolemanit katkı oranı ile aynı oranda kullanılan bentonite yakın basma dayanımı değerlerine sahip ön ısıtılmış ve pişirilmiş peletler üretilmiştir. Diğer bağlayıcıların 1000 °C'de ısıtılmış pelet dayanımına katkıları çok fazla olmamıştır. 1300 °C'de pişirilmiş peletlerde %0,5 bentonit ve %0,5 kolemanit bağlayıcıları ile birbirine yakın ve oldukça yüksek basma dayanımları elde

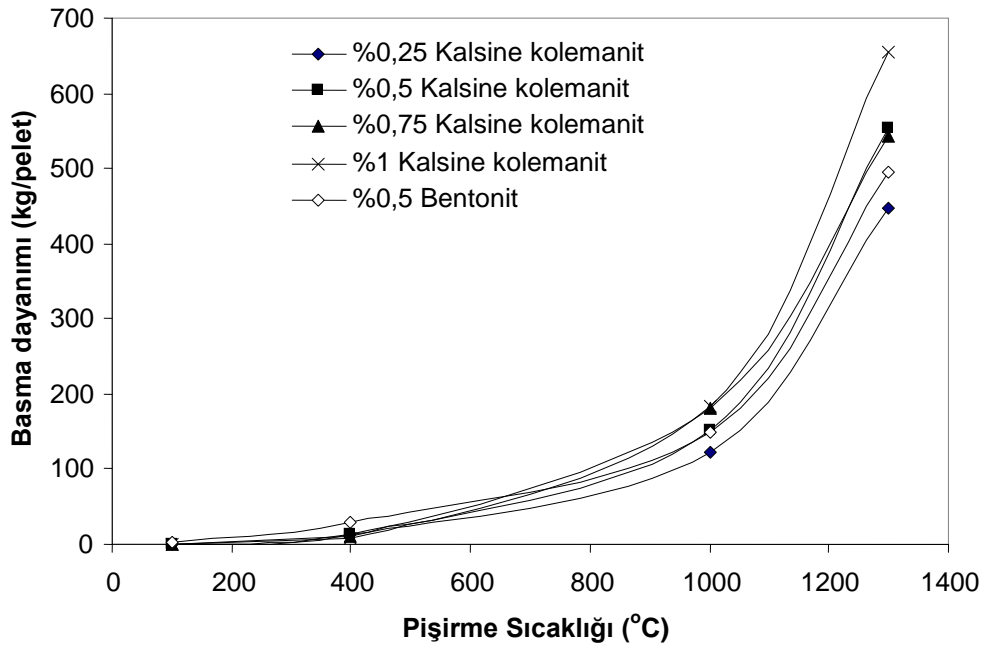
edilirken diğer bağlayıcılarda da kabul edilebilir yüksek değerlere ulaşılmıştır. 1300 °C’de pişirilmiş peletlerde en düşük basma dayanımı bağlayıcısız üretilen peletlerde olmuştur.

4.2.5. Bağlayıcı Miktarının Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi

Bağlayıcı miktarının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla kalsine kolemanit, boraks pentahidrat, teknik CMC, Ciba DPEP06-0007, mısır nişastası, Cytec A-150 LMW, Cytec A-150 HMW ve dekstrin kullanılarak peletler elde edilmiştir. Yaş peletler 100 °C’de kurutulup 400, 1000 ve 1300 °C’de 20 dakika süre ile ısıl işleme tabi tutularak sertleştirilmiş ve peletlere ait basma dayanımları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sırası ile sunulmuştur.

4.2.5.1. Kalsine Kolemanit İlavesi ile Yapılan Deneyler

Kalsine kolemanitin pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 oranlarında kalsine kolemanit ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 6 ve Çizelge A4’de (EkA) sunulmuştur.

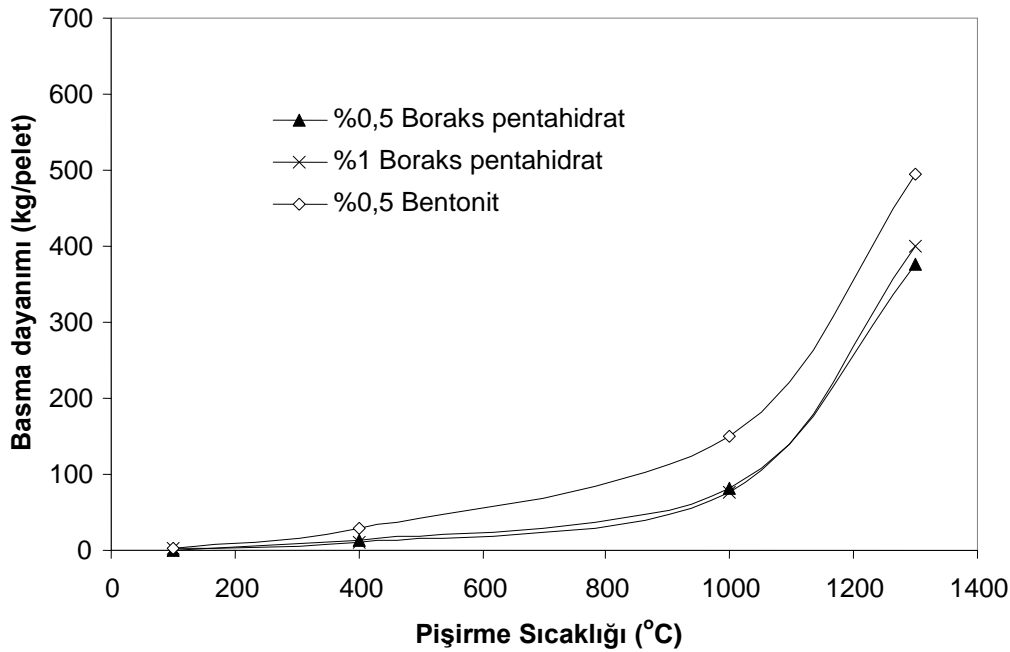


Şekil 6. Kalsine kolemanitin manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Şekil 6'da görülebileceği gibi ilave edilen kolemanitin miktarı arttırıldıkça peletlerin kazandıkları basma dayanımları da orantılı olarak artmaktadır. Kalsine kolemanit katkılı 400 °C'de kurutulmuş peletlerin basma dayanımları %0,5 bentonit katkılı peletlerden düşük çıkmıştır. 1000 °C'de ön ısıtılmış peletlerde %1 kolemanit ilavesi ile 183,6 kg/pelet basma dayanımı elde edilmiştir. 1000 °C de ısıtılmış %0,5 bentonit katkı oranı ile elde edilen 150,1 kg/pelet basma dayanımı, %0,5 kolemanit katkılı peletler ile 151,9 kg/pelet basma dayanımı ile aynı seviyelerde olmuştur. Bu sonuçta gösteriyor ki %0,5 kolemanit ilavesi ile aynı orandaki bentonitin peletlere sağladığı basma dayanımı değerleri elde edilebilmektedir. 1300 °C'de pişirilmiş peletlerde ise tüm bağlayıcı oranlarında endüstride sınır olarak kabul edilen 250 kg/pelet basma dayanımı değerinden daha yüksek değerler bulunmuştur.

4.2.5.2. Boraks pentahidrat İlavesi ile Yapılan Deneyler

Boraks pentahidratın pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,5 ve %1 boraks pentahidrat ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 7 ve Çizelge A5'de (EkA) sunulmuştur.

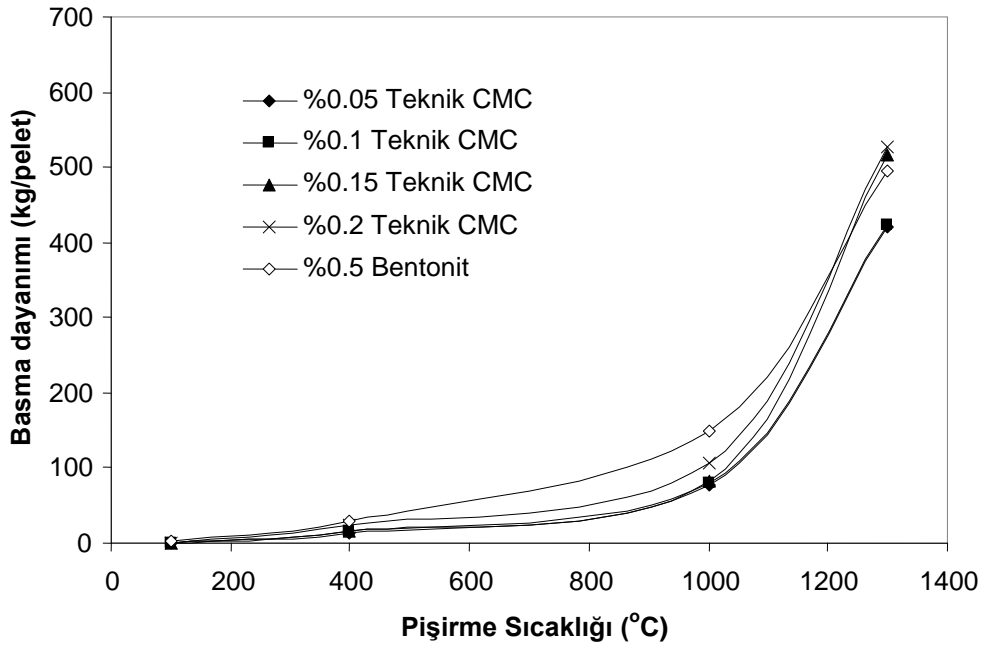


Şekil 7. Boraks pentahidratın manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Boraks pentahidratın kullanıldığı peletlerde basma dayanımı değerleri 1000 °C’de ön ısıtılmış peletlerde 81 ve 77 kg/pelet bulunmuş ve bu değerlerin %0,5 bentonit katkıli peletlere ait basma dayanımı değerinden düşük olduğu görülmektedir.

4.2.5.3. Teknik CMC Organik Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Teknik CMC organik bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,05, %0,1, %0,15 ve %0,2 teknik CMC ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 8 ve Çizelge A6’da (EkA) sunulmuştur.



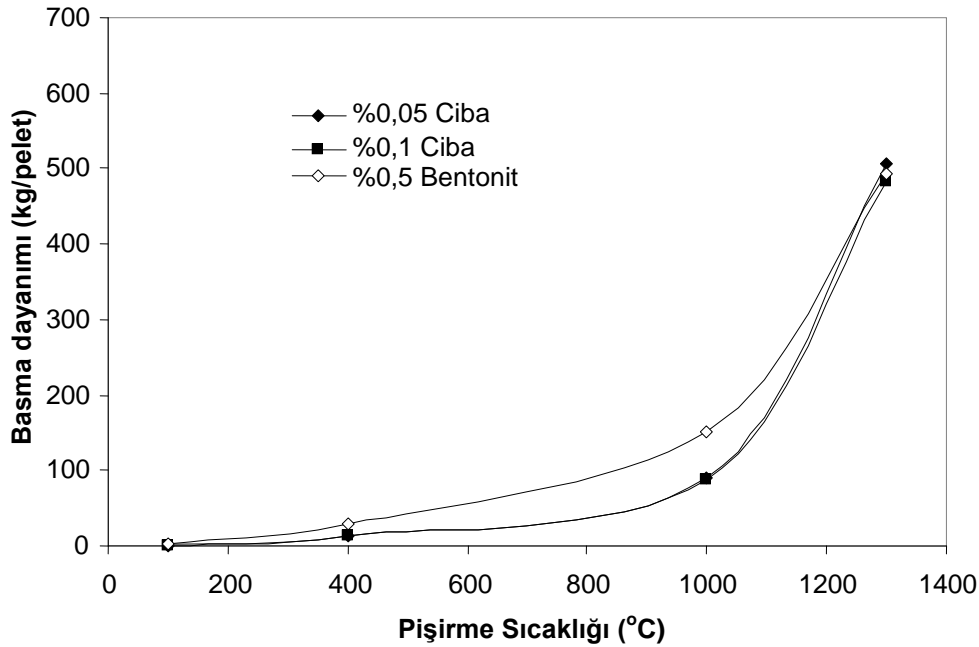
Şekil 8. Teknik CMC organik bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Şekil 8’de görüldüğü üzere teknik CMC organik bağlayıcısının miktarı arttıkça peletlerin basma dayanımları da artmaktadır. Ancak bu bağlayıcı ile 100, 400 ve 1000 °C sıcaklıklarda %0.5 bentonit katkıli peletlerin referans değerinden oldukça düşük değerler elde edilmiştir. 1000 °C’de ön ısıtılmış peletlerde basma dayanımı bentonit ve kolemanit ile elde edilen değerlerden düşük bulunmuş ve maksimum 105,8 kg/pelet değerine %0,2 teknik CMC bağlayıcı miktarı ile ulaşılabilmektedir. 400 °C’de ısıtılmış peletlerde ise %0,2 teknik CMC oranı ile basma dayanımı değeri 23,3 kg/pelet bulunarak %0,5 bentonitin sağladığı 28,1 kg/pelet

değerine yaklaşmıştır. 1300 °C’de pişirilmiş peletlerin basma dayanımları kabul edilebilir sınır (>250 kg/pelet) üzerinde bulunmuştur.

4.2.5.4. Ciba-DPEP06-0007 Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Ciba-DPEP06-0007 bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,05, %0,1, %0,15 ve %0,2 Ciba-DPEP06-0007 bağlayıcı ilavesiyle peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 9 ve Çizelge A7’de (EkA) sunulmuştur.



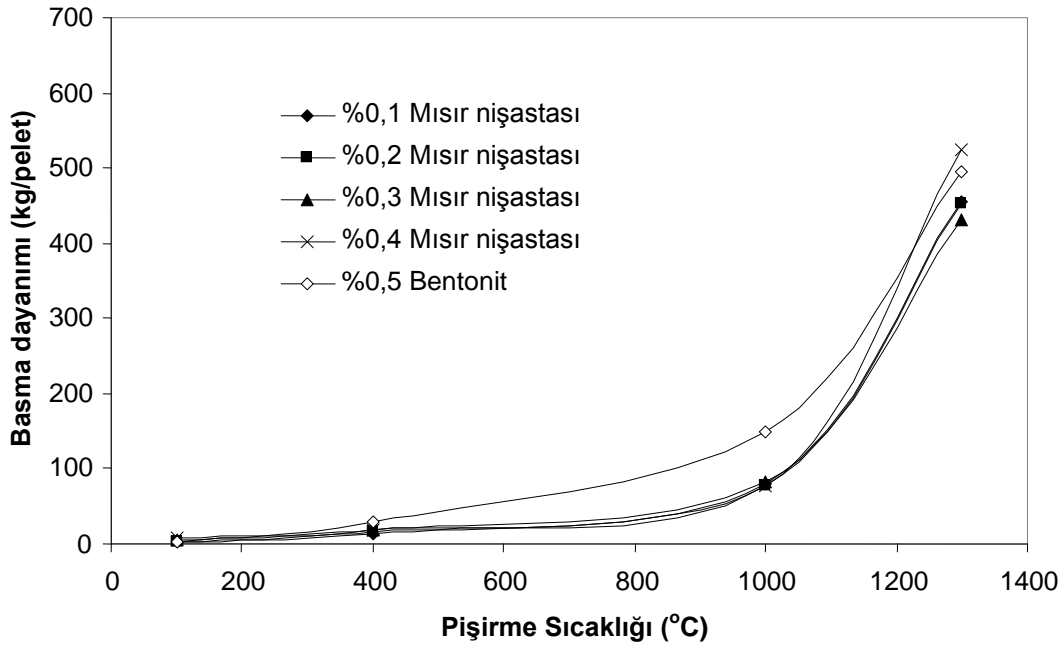
Şekil 9. Ciba-DPEP06-0007 bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Ciba-DPEP06-0007 bağlayıcısının kullanılması ile yapılan peletlemede en iyi topaklanma ve yaş pelet üretimi %0,05 oranı ile sağlanmıştır. %0,10 oranında ve daha yüksek oranlarda yapılan deneylerde peletleme diskinde topaklanma iyi gerçekleşmemiş ve düzgün yaş pelet elde etmek güçleşmiştir. 400 °C’de kurutulmuş peletlerin basma dayanımı değerleri bentonit ilaveli peletlerden düşük çıkmıştır. 1000 °C’de ön ısıtılmış peletler içinde basma dayanımı en yüksek peletler bağlayıcı oranı %0,05 Ciba-DPEP06-0007 ile 89,5 kg/pelet olarak ölçülmüştür. Daha yüksek oranlara ait basma dayanımları kötü topaklanma sonucu düzgün şekilli pelet elde edilemediğinden küçük bulunmuştur. Bu sonuçta gösteriyor ki Ciba-

DPEP06-0007 bağlayıcısı %0,05 oranından fazla kullanıldığında topaklanma açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

4.2.5.5. Mısır Nişastası Organik Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Mısır nişastası organik bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,1, %0,2, %0,3 ve %0,4 mısır nişastası ilavesiyle peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 10 ve Çizelge A8'de (EkA) sunulmuştur.

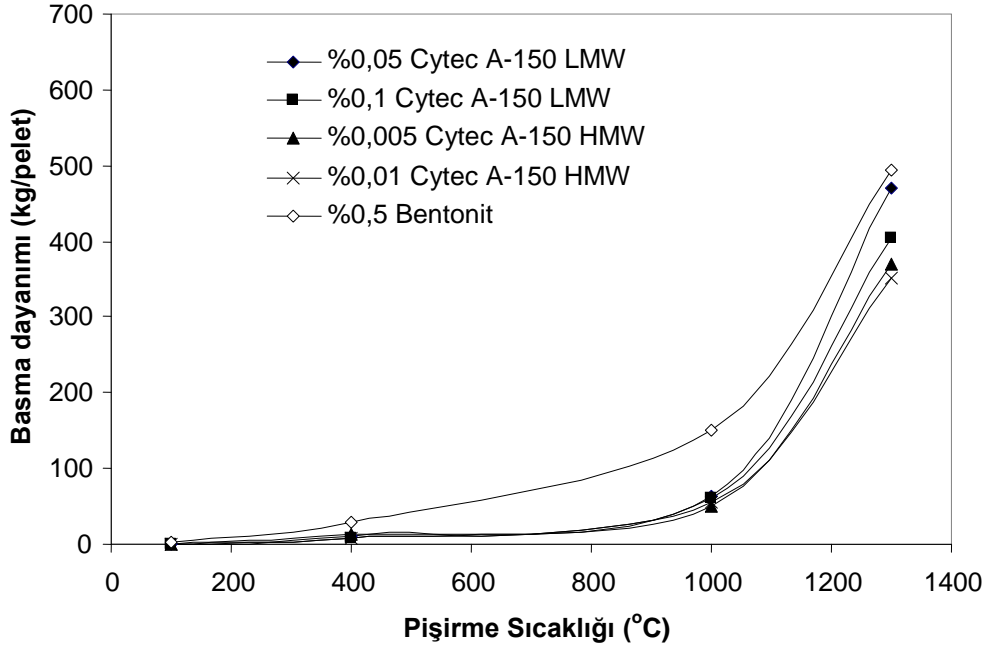


Şekil 10. Mısır nişastası organik bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Tüm nişasta ilave oranları ile 100 °C'de kurutulmuş peletlerde %0,5 bentonit katkısı ile 2,2 kg/pelet olan basma dayanımı değerine ulaşılmış bu değer artan nişasta oranı ile 8,20 kg/pelet değerine kadar artmıştır. 400 °C'de kurutulmuş nişasta katkılı peletlerde %0,5 bentonit ile elde edilen 28,1 kg/pelet değerinden küçük değerler elde edilmiştir. Mısır nişastası ilavesi ile elde edilen 1000 °C'de ön ısıtılmış peletlere ait basma dayanımı değerleri nişastanın bu sıcaklıkta kül bırakmadan tamamen yanarak yok olması sonucu %0,5 bentonit katkılı peletlere nazaran düşük çıkmıştır. 1300 °C'de pişirilmiş peletlerde ise yeterli basma dayanımı değerleri nişasta katkılı peletlerde de elde edilebilmiştir.

4.2.5.6. Cytec A-150 LMW ve Cytec A-150 HMW Bağlayıcıları ile Yapılan Deneyler

Cytec A-150 LMW ve Cytec A-150 HMW bağlayıcılarının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,05, %0,1 Cytec A-150 LMW ve %0,005, %0,01 Cytec A-150 HMW ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 11 ve Çizelge A9'da (EkA) sunulmuştur.

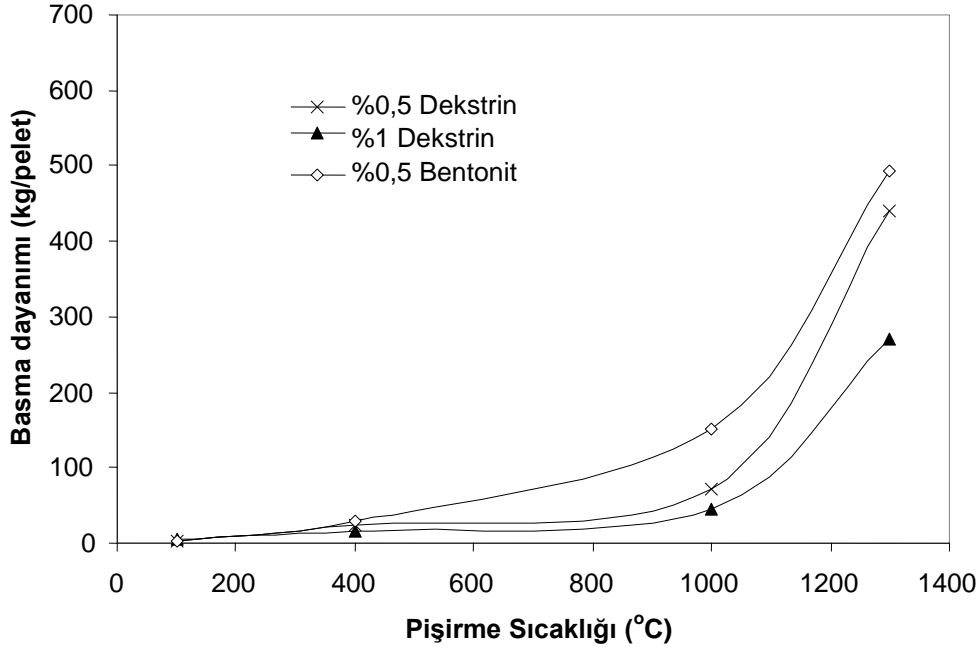


Şekil 11. Cytec A-150 LMW ve Cytec A-150 HMW bağlayıcılarının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Cytec A-150 LMW ve Cytec A-150 HMW bağlayıcıları ile tüm sıcaklıklarda %0,5 bentonit katkılı peletler ile elde edilen değerlerden oldukça düşük basma dayanımı değerleri elde edilmiştir.

4.2.5.7. Dekstrin Organik Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Dekstrin organik bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,5 ve %1 dekstrin ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 12 ve Çizelge A10'da (EkA) sunulmuştur.



Şekil 12. Dekstrin organik bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

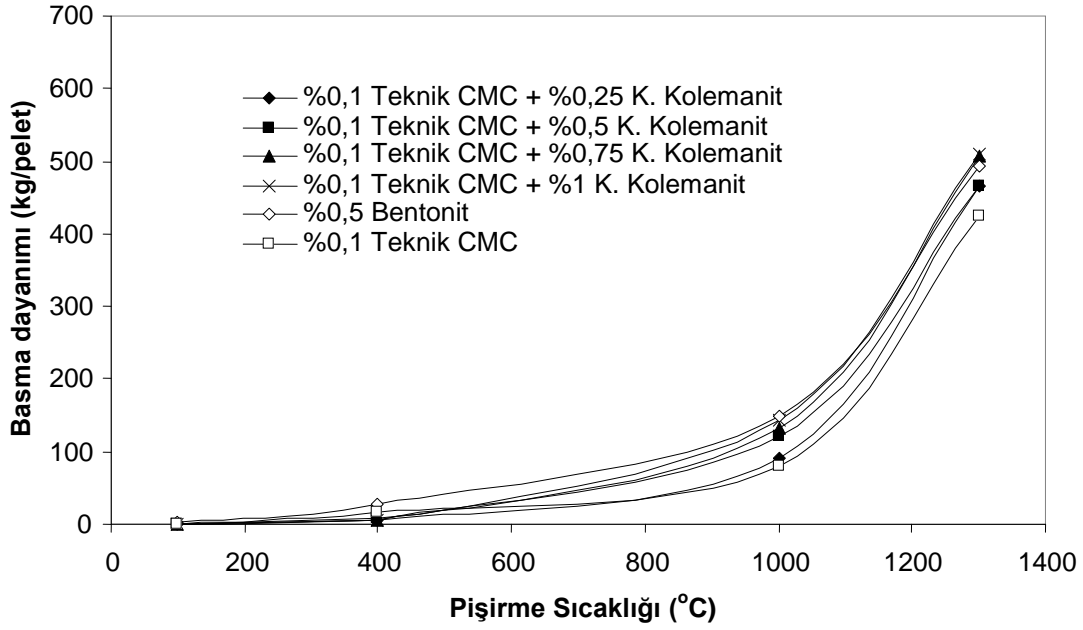
Dekstrin organik bağlayıcısının kullanıldığı 100 °C’de kurutulmuş peletlerde 2,3 kg/pelet basma dayanımı ve 400 °C’de kurutulmuş peletlerde 23,4 kg/pelet basma dayanımı değerleri elde edilmiştir. Bu değerler %0,5 bentonit katkılı peletler ile elde edilen değerlere yakın değerlerdir. Organik bir madde olan dekstrinin 1000 °C’de yanması sonucu bu sıcaklıktaki basma dayanımı değerleri düşük çıkmıştır. 1300 °C’de pişirilmiş peletlerde bulunan basma dayanımı değerleri yeterli dayanım olan 250 kg/pelet değerinden yüksek olarak tespit edilmiştir.

4.2.6. Karışım Bağlayıcıların Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi

Yukarıda manyetit kullanılarak yapılan peletleme deneylerinde tek başına kalsine kolemanit ilavesiyle 1000 ve 1300 °C’de ısıl işleme tabi tutulmuş peletler aynı oranda kullanılan bentonite yakın yeterli basma dayanımı değeri kazanmışlardır. Ancak kalsine kolemanit yaş peletlere yeterli düşme sayısı değeri ve yaş pelet dayanımı sağlayamamaktadır. Yaş peletlere daha yüksek düşme sayısı dolayısıyla yaş pelet dayanımı kazandırabilecek bir organik bağlayıcı ilavesinin etkisini belirlemek amacıyla organik bağlayıcı ve kalsine kolemanit karışımı bağlayıcılar ile peletleme deneyleri yapılmıştır.

4.2.6.1. Teknik CMC ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Teknik CMC ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,1 teknik CMC organik bağlayıcısına sırasıyla %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 kalsine kolemanit ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 13 ve Çizelge A11’de (EkA) sunulmuştur.

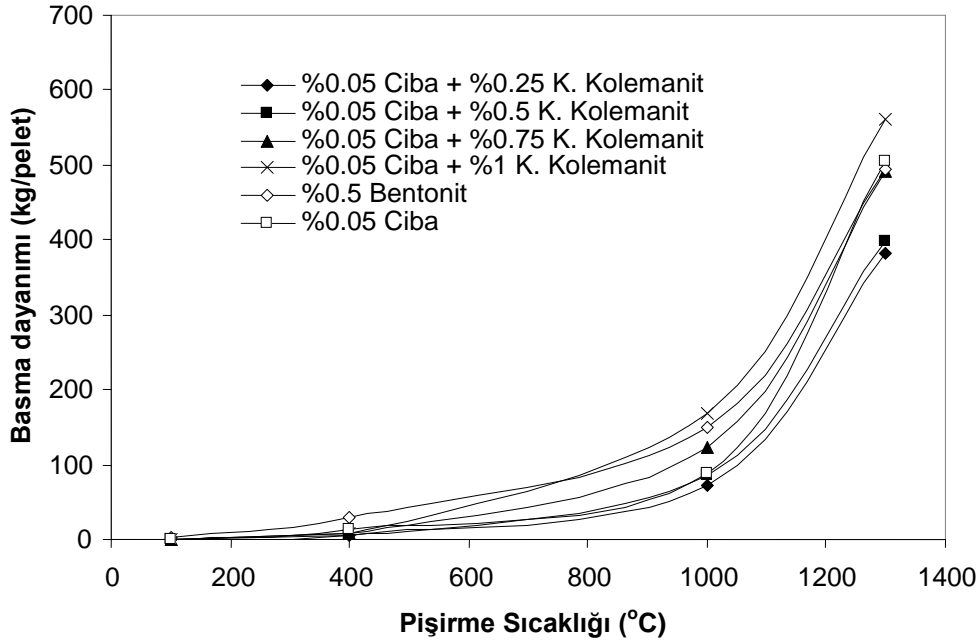


Şekil 13. Teknik CMC ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Şekil 13’den de görüldüğü üzere 1000 °C’de tek başına %0,1 teknik CMC ilavesi ile elde edilen basma dayanımları, teknik CMC ile birlikte kalsine kolemanit kullanıldığında elde edilen değerlerden küçük bulunmuştur. 1000 °C’de ön ısıtılmış peletlerin basma dayanımı sadece teknik CMC ile 80 kg/pelet iken bu orana %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 kolemanit ilavesi ile bu değer sırasıyla 91,7, 121,5, 132,9 ve 144,5 kg/pelet’e yükselmiştir.

4.2.6.2. Ciba-DPEP06-0007 ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Ciba-DPEP06-0007 ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,05 Ciba organik bağlayıcısına sırasıyla %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 kalsine kolemanit ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 14 ve Çizelge A12’de (EkA) sunulmuştur.

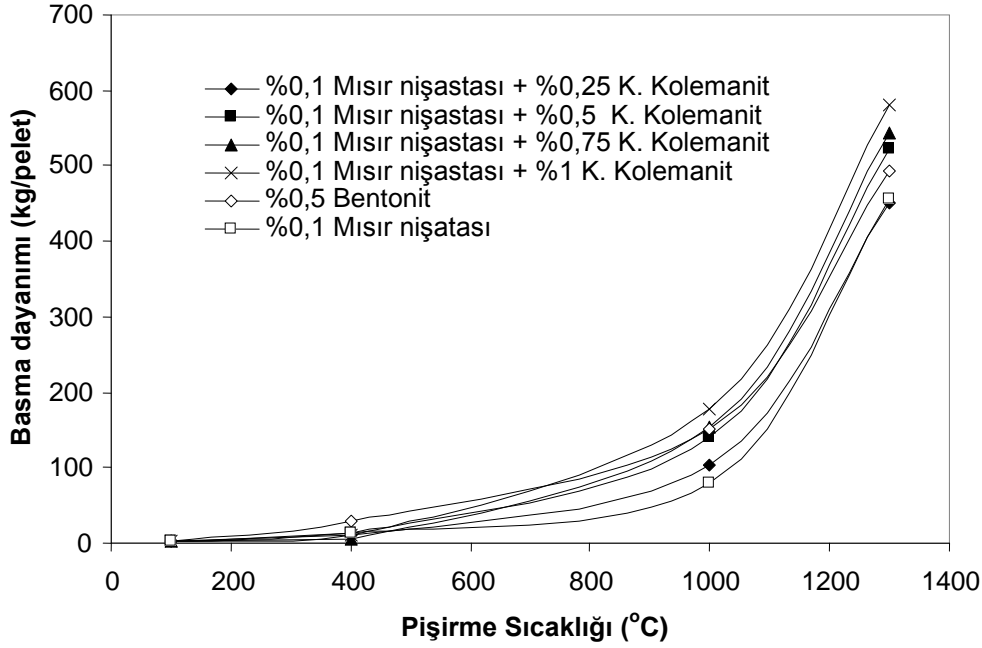


Şekil 14. Ciba-DPEP06-0007 ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

1000 °C’de ısıtılmış %0,05 Ciba organik bağlayıcısına %0,75 ve %1 kalsine kolemanit katkısı ile 122,6 ve 168,8 kg/pelet basma dayanımlı peletler elde edilmiştir. Ancak diğer oranlarla daha düşük basma dayanımına sahip pelet üretilmiştir.

4.2.6.3. Mısır Nişastası ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Mısır nişastası ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,1 mısır nişastası organik bağlayıcısına %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 kalsine kolemanit ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 15 ve Çizelge A13’te (EkA) sunulmuştur.



Şekil 15. Mısır nişastası ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının manyetit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Mısır nişastasına kalsine kolemanit ilavesi ile daha dayanıklı ısı işleme tabi tutulmuş peletler elde edilmiştir (Şekil 15). Bentonit katkı oranı %0,5 olan 100 °C’de kurutulmuş peletlerde basma dayanımı 2,2 kg/pelet bulunurken, %0,1 mısır nişastası ve %0,5 kalsine kolemanit ilaveli peletlerde bu değer 2,1 kg/pelet bulunmuştur. 1000 °C’de ön ısıtılmış peletlerde sadece %0,1 mısır nişastası ilavesi ile 80,8 kg/pelet olan basma dayanımı %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 kalsine kolemanit ilavesi ile 104,2, 141,7, 154,4 ve 178,6 kg/pelet değerine ulaşmıştır. 1300 °C’de pişirilmiş peletlerin tümünde yeterli dayanım elde edilmiştir.

4.3. Hematit Cevheri ile Yapılan Peletleme Çalışmaları

4.3.1. Bağlayıcı Cinsinin ve Miktarının Yaş Pelet Nem İçeriği ve Düşme Sayısı Üzerine Etkisi

Kullanılan bağlayıcı miktarının yaş pelet nem içeriği ve düşme sayısı (DS) üzerine etkisini belirlemek amacıyla Çizelge 6’da belirtilen bağlayıcı ve karışım bağlayıcılar kullanılarak

peletler üretilmiştir. Yaş peletlere ait nem içeriği değerleri ve düşme sayıları Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Yaş hematit peletleri nem içeriği değerleri ve düşme sayıları

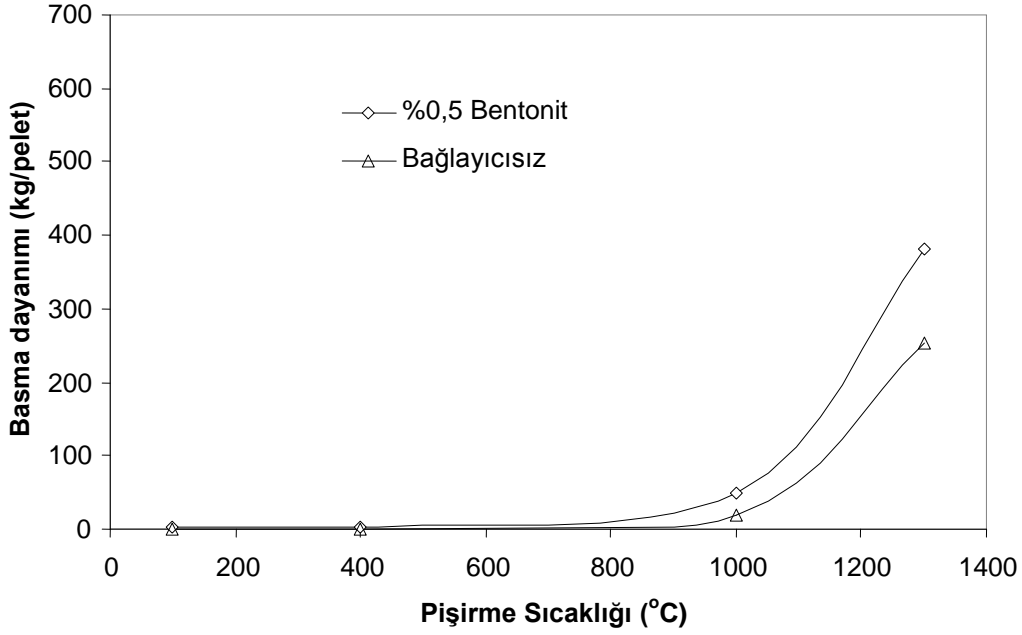
| Bağlayıcı Cinsi ve Miktarı | % Nem | DS |
|---|-------|------|
| Bağlayıcısız | 6,9 | 2,2 |
| %0,5 Bentonit | 7,5 | 3,4 |
| %0,25 Kalsine kolemanit | 7,2 | 2,3 |
| %0,5 Kalsine kolemanit | 7,3 | 2,5 |
| %0,75 Kalsine kolemanit | 7,3 | 2,5 |
| %1 Kalsine kolemanit | 7,7 | 2,5 |
| %0,5 Boraks pentahidrat | 7,2 | 2,5 |
| %0,2 Mısır nişastası | 8,0 | 4,0 |
| %0,5 Dekstrin | 7,3 | 2,0 |
| %0,1 Teknik CMC | 8,4 | 4,7 |
| %0,2 Teknik CMC | 8,7 | 9,0 |
| %0,1 Ciba DPEP06-0007 | 9,6 | 10,0 |
| %0,05 Cytec A-150L MW | 9,4 | 3,0 |
| %0,005 Cytec A-150 HMW | 7,4 | 2,0 |
| %0,10 Teknik CMC+%0,50 Kalsine kolemanit | 8,5 | 4,0 |
| %0,10 Teknik CMC+%1 Kalsine kolemanit | 8,6 | 4,0 |
| %0,1 Ciba DPEP06-0007+%0,50 Kalsine kolemanit | 8,9 | 8,5 |
| %0,1 Ciba DPEP06-0007+%1 Kalsine kolemanit | 9,5 | 9,0 |
| %0,1 Mısır nişastası +%0,50 Kalsine kolemanit | 8,6 | 3,2 |
| %0,1 Mısır nişastası +%1 Kalsine kolemanit | 8,2 | 4,0 |

Hematit cevheri ile peletleme deneylerine 1891,75 cm²/g özgül yüzey alanı olan hematit ve bağlayıcı karışımına %10’luk damıtılmış su ilavesi ile başlanmış ve peletleme işlemi sonucunda nem değeri tüm bağlayıcı çeşitleri için nem tayini sonrası ortalama %8 civarında tespit edilmiştir. Referans bağlayıcı olan bentonitin %0,5 oranında kullanılarak yapılan peletleme deneyinde düşme sayısı 3,4 olarak bulunmuştur. Kolemanit katkı malzemesi kullanılan peletlerde düşme sayıları ise ortalama 2,5 olarak belirlenirken, organik bağlayıcı kullanılan peletlerde bu değer artarak 10 değerine kadar ulaşmıştır. Karışım bağlayıcılar kullanılması ile yeterli düşme sayısı dolayısıyla yeterli yaş pelet dayanımı elde edilebilmiştir.

4.3.2. Bağlayıcı Cinsi ve Miktarının Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi

4.3.2.1. Bentonit Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Hematit cevheri ile üretilen peletlerin basma dayanımlarına kullanılan alternatif bağlayıcıların etkisini belirlemek ve geleneksel ve referans bentonit bağlayıcısı ile karşılaştırabilmek için bağlayıcı ilavesiz ve %0,5 bentonit ilaveli peletler üretilmiş ve ısıtma işlemi tabii tutulmuş peletlere ait basma dayanımları belirlenmiş, Şekil 16 ve Çizelge A14’te (EkA) verilmiştir.

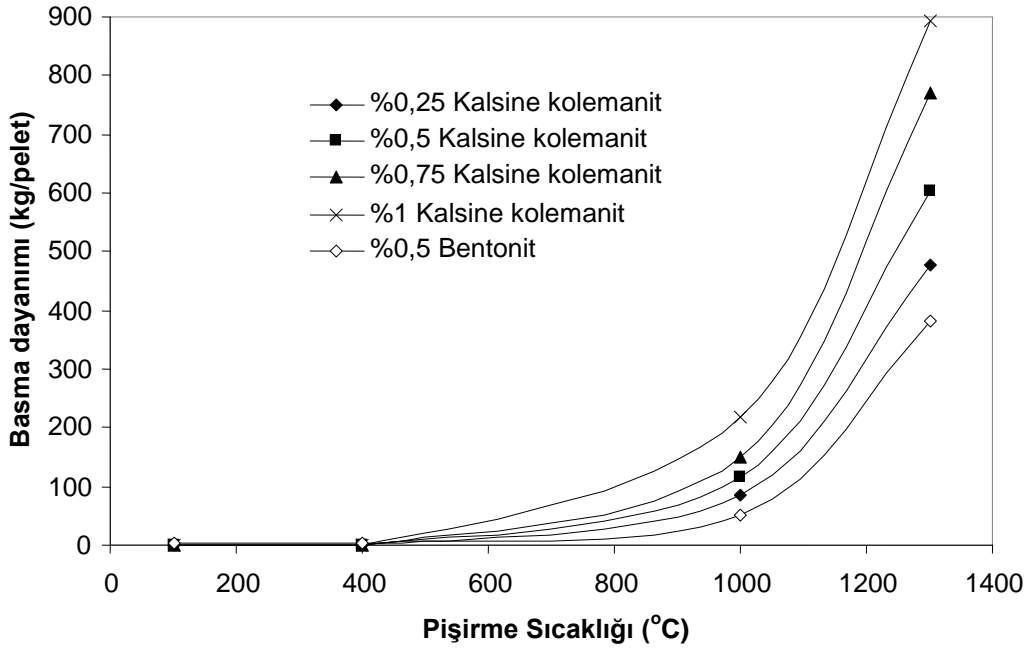


Şekil 16. Bağlayıcısız ve bentonitin hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Hematit cevheri ile bağlayıcı olarak %0,5 bentonitin kullanıldığı peletlemede 1000 ve 1300 °C’de pişirilmiş peletlerin basma dayanımları 49,6 ve 381,1 kg/pelet bulunurken bu değerler bağlayıcı ilave edilmeksizin yapılan deneyde 19 ve 253,5 kg/pelet olarak bulunmuştur.

4.3.2.2. Kalsine Kolemanit İlavesi ile Yapılan Deneyler

Kalsine kolemanitin pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 oranlarında kalsine kolemanit ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 17 ve Çizelge A15’te (EkA) sunulmuştur.

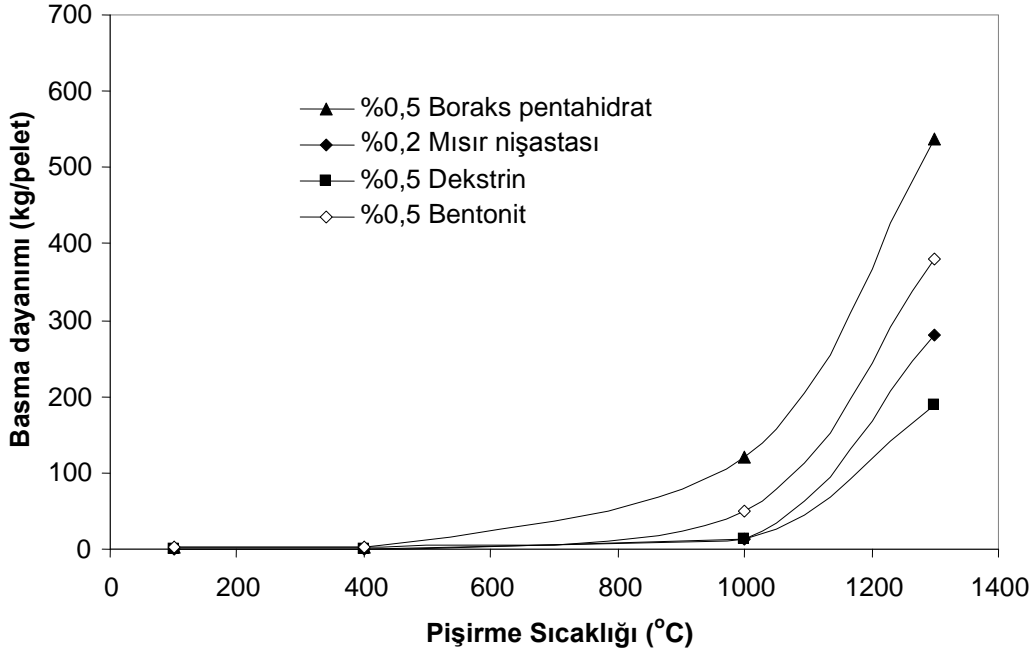


Şekil 17. Kalsine kolemanitin hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

%0,25, %0,5, %0,75 ve %1 kalsine kolemanit ilave edilerek üretilen peletlerde basma dayanımları 1000 °C’de ön ısıtılmış peletlerde sırasıyla 83,9, 116,1 151,4 ve 219,3 kg/pelet olarak belirlenmiştir. Bu değerler %0,5 bentonit ilavesinin sağladığı 49,6 kg/pelet basma dayanım değerinden daha yüksektir ve kalsine kolemanitin hematit ile üretilen peletlerin ön ısıtılmış pelet basma dayanımlarına olan katkısını göstermektedir.

4.3.2.3. Boraks pentahidrat, Mısır Nişastası ve Dekstrin İlavesi ile Yapılan Deneyler

Boraks pentahidrat, mısır nişastası ve dekstrin ilavesinin pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,5 boraks pentahidrat ve %0,5 oranlarında dekstrin, %0,2 oranında mısır nişastası ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 18 ve Çizelge A16’da (EkA) sunulmuştur.

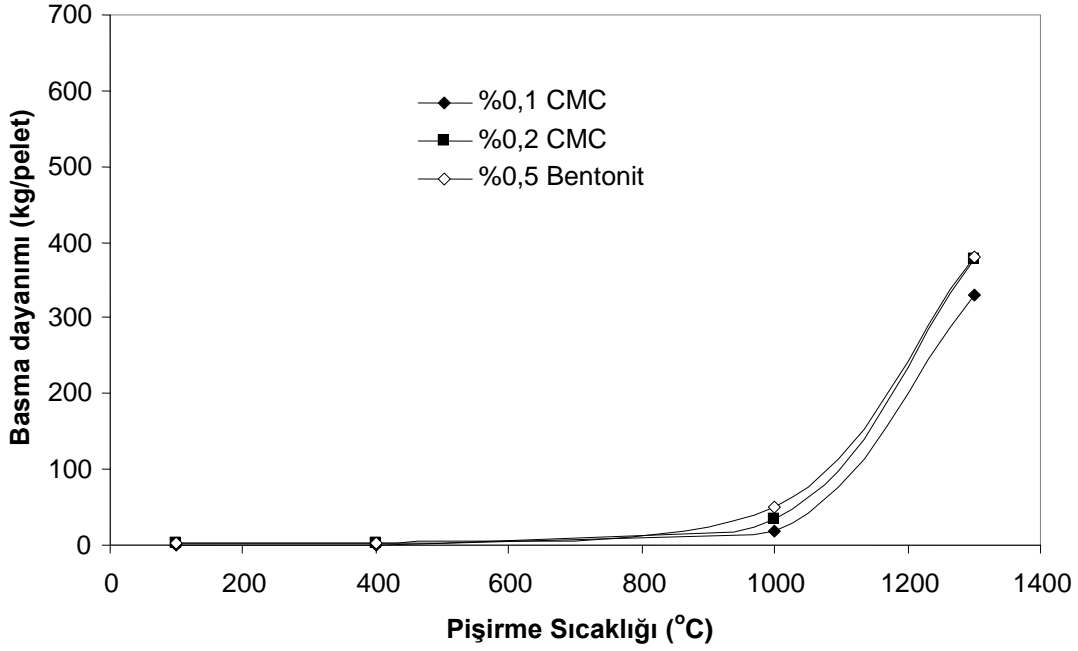


Şekil 18. Boraks pentahidrat, Mısır nişastası ve Dekstrin bağlayıcılarının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Şekil 18'den de görüleceği gibi aynı oranda boraks pentahidrat ilavesi ön ısıtılmış ve pişirilmiş peletlere %0,5 bentonit katkılı referans bağlayıcıdan daha yüksek basma dayanımları kazandırmıştır. %0,5 bentonit katkılı peletlere ait basma dayanımı 49,6 kg/pelet olurken aynı oranda kullanılan boraks pentahidrat ile be değer 119,4 kg/pelet'e yükselmiştir. Mısır nişastası ve dekstrin organik bağlayıcıları ise 1000 °C'de ön ısıtılmış peletlere yeterli dayanım kazandıramamışlardır.

4.3.2.4. Teknik CMC Organik Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Teknik CMC organik bağlayıcısı ilavesinin pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,1 ve %0,2 oranında teknik CMC ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 19 ve Çizelge A17'de (EkA) sunulmuştur.

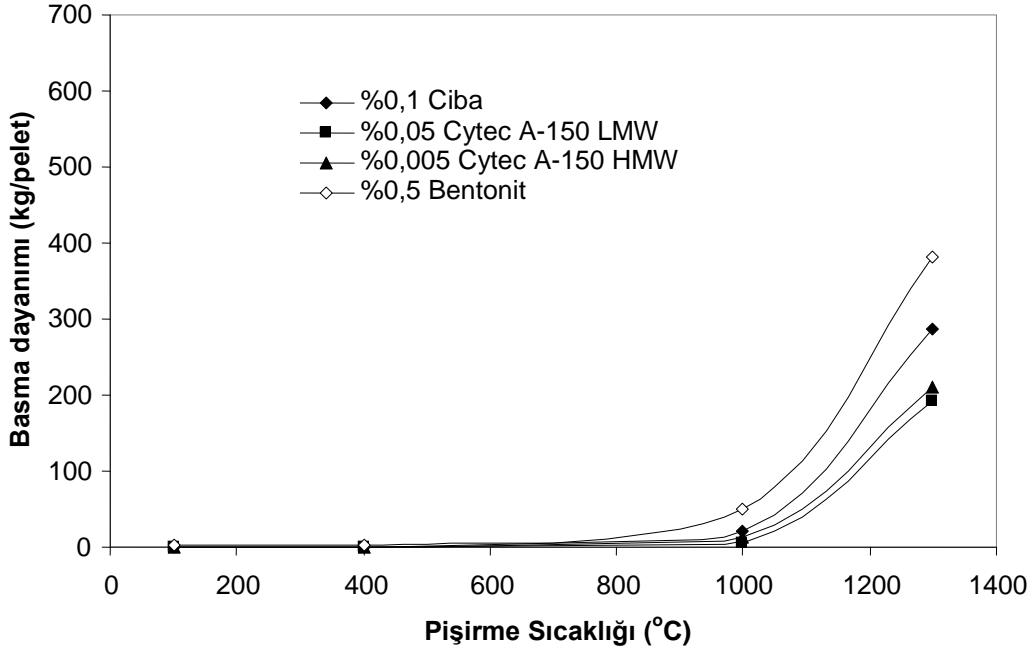


Şekil 19. Teknik CMC organik bağlayıcısının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

%0,1 ve %0,2 teknik CMC katkılı 1000 °C’de ön ısıtılmış peletlere ait basma dayanımları sırasıyla 19,8 ve 35 kg/pelet olarak oldukça düşük gerçekleşmiştir.

4.3.2.5. Ciba-DPEP06-0007, Cytec A-150 LMW ve Cytec A-150 HMW Bağlayıcıları ile Yapılan Deneyler

Ciba, Cytec A-150 LMW ve Cytec A-150 HMW bağlayıcıları ilavesinin pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,1 Ciba, %0,05 Cytec A-150 LMW ve %0,005 Cytec A-150 HMW ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 20 ve Çizelge A18’de (EkA) sunulmuştur.



Şekil 20. Ciba, Cytec -150 LMW ve Cytec A-150 HMW bağlayıcılarının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

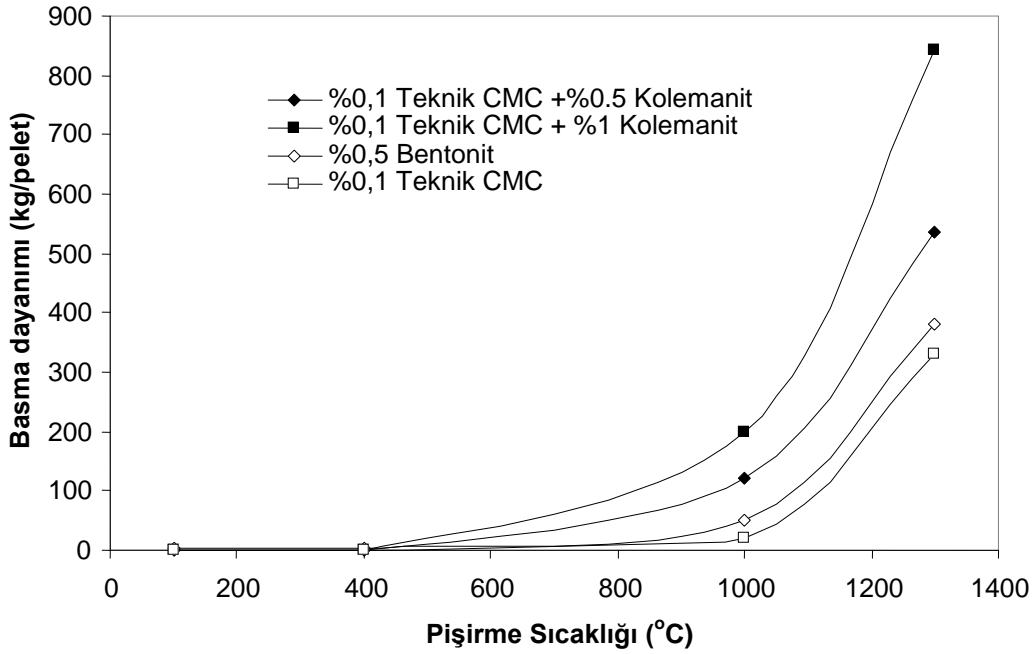
Şekil 20'den de görüldüğü gibi Ciba, Cytec A-150 LMW ve Cytec A-150 HMW bağlayıcılarının ön ısıtılmış peletlere kazandırdıkları basma dayanımı değerleri ancak 20,5, 5,9 ve 13,3 kg/pelet olarak gerçekleşmiş düşük değerlerdir. Bu bağlayıcılar ile yeterli dayanımda ön ısıtılmış pelet elde etmenin mümkün olmadığı anlaşılmaktadır.

4.3.3. Karışım Bağlayıcıların Pelet Basma Dayanımı Üzerine Etkisi

Yukarıda hematit kullanılarak yapılan peletleme deneylerinde tek başına kullanılan organik bağlayıcılar 1000 °C'de ısıtılma tabi tutulmuş peletlere yeterli basma dayanımı değeri kazandıramamışlardır. Diğer taraftan sadece kalsine kolemanit ilavesiyle üretilen peletlerde yaş pelet düşme sayıları yetersiz olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden hem yaş pelet hem ön ısıtılmış peletlerin dayanımları sağlayabilmek için aşağıda belirtilen karışım bağlayıcıları kullanılarak peletleme deneyleri yapılmıştır.

4.3.3.1. Teknik CMC ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Teknik CMC ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,1 teknik CMC organik bağlayıcısına sırasıyla %0,5 ve %1 kalsine kolemanit ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları Şekil 21 ve Çizelge A19'da (EkA) sunulmuştur.



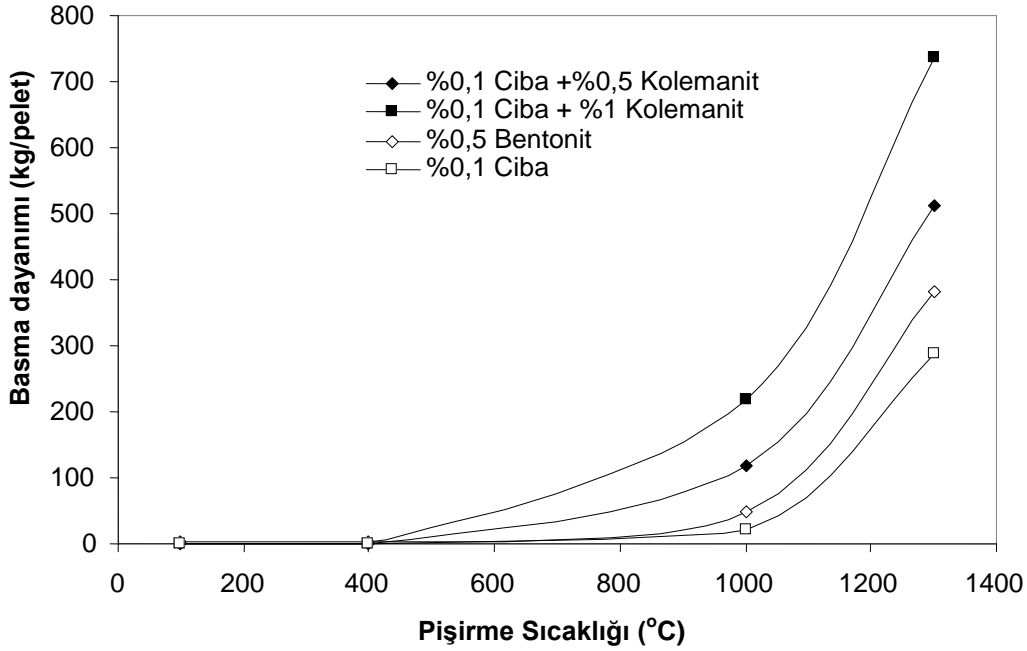
Şekil 21. Teknik CMC ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Hematit cevheri ile yapılan peletlemede %0,1 teknik CMC organik bağlayıcısına ilave edilen %0,5 ve %1 kalsine kolemanitin pelet basma dayanımına olan katkısı açıkça görülebilmektedir (Şekil 21). Yalnız %0,1 teknik CMC ilavesi ile 19,8 kg/pelet olan basma dayanımı bu organik bağlayıcıya ilave edilen %0,5 ve %1 kalsine kolemanit ile 121 ve 199,8 kg/pelet değerine ulaşarak yeterli dayanım sağlamışlardır.

4.3.3.2. Ciba-DPEP06-0007 ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Ciba ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,1 Ciba bağlayıcısına sırasıyla %0,5 ve %1 kalsine kolemanit ilavesi

ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları aşağıda Şekil 22 ve Çizelge A20’de (EkA) sunulmuştur.

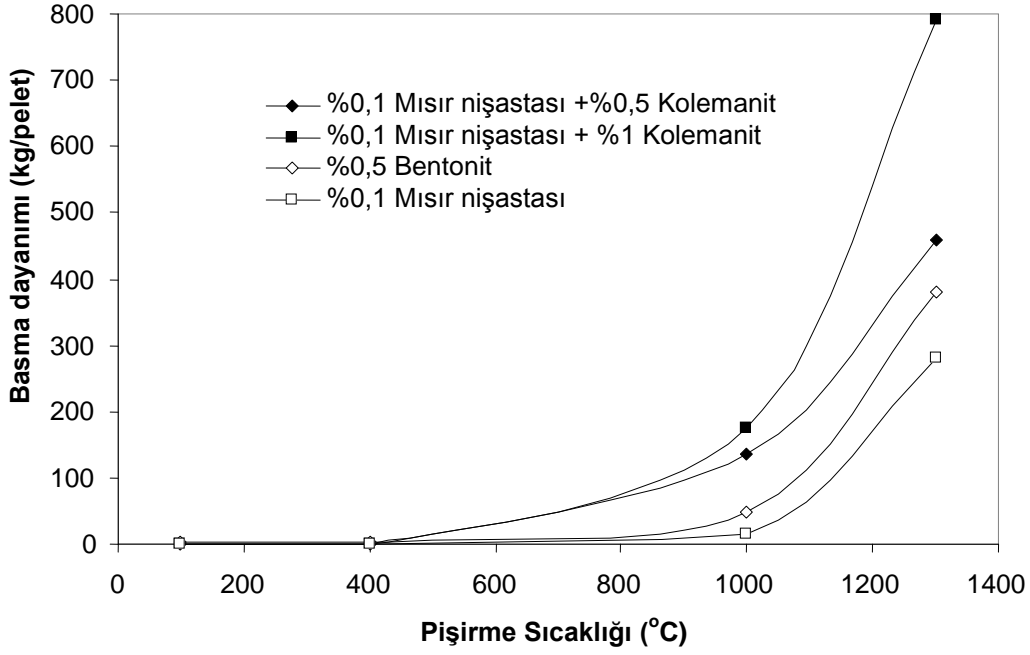


Şekil 22. Ciba ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

%0,1 Ciba bağlayıcısına ilave edilen %0,5 ve %1 oranında kalsine kolemanit 1000 °C’de ön ısıtılmış pelet basma dayanımlarını 20,5 kg/pelet’den 118,2 ve 217,8 kg/pelet’e yükseltmiştir. Burada da kalsine kolemanit ilavesinin ön ısıtılmış hematit peleti dayanımına olan katkısı görülebilmektedir.

4.3.3.3. Mısır Nişastası ve Kalsine Kolemanit Karışım Bağlayıcısı ile Yapılan Deneyler

Mısır nişastası ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0,1 mısır nişastası organik bağlayıcısına sırasıyla %0,5 ve %1 kalsine kolemanit ilavesi ile peletler üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş peletlerin basma dayanımı sonuçları aşağıda Şekil 23 ve Çizelge A21’de (EkA) sunulmuştur.



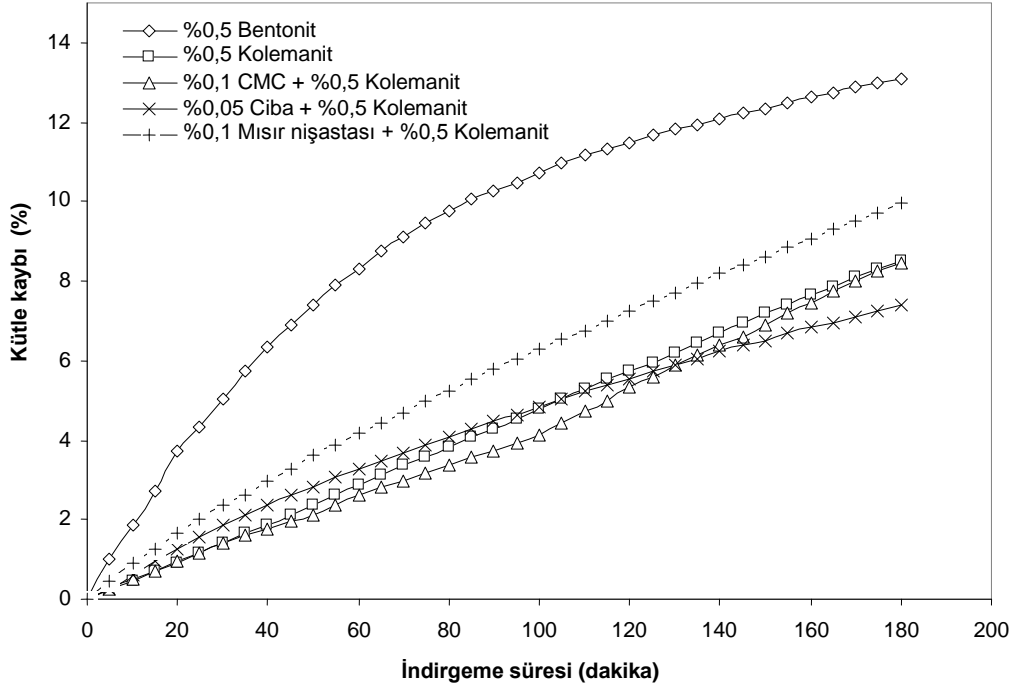
Şekil 23. Mısır nişastası ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının hematit pelet basma dayanımı üzerine etkisi

Sadece %0,1 mısır nişastası ilavesi ile üretilen ve 1000 °C’de ön ısıtılmış peletlerin basma dayanımı değeri 14 kg/pelet’den %0,5 ve %1 kalsine kolemanit ilavesi ile sırasıyla 136,4 ve 173,8 kg/pelet’e yükselmiştir.

4.4. İndirgeme Deneyleri

4.4.1. Manyetit Peletleri ile Yapılan İndirgeme Deneyleri

Manyetit cevheri ile üretilmiş 1300 °C’de pişirilmiş yeterli dayanıma sahip peletler üzerinde indirgeme testleri yapılmıştır. İndirgeme testlerinde %0,5 bentonit, %0,5 kalsine kolemanit, %0,1 teknik CMC + %0,5 kalsine kolemanit, %0,05 Ciba + %0,5 kalsine kolemanit ve %0,1 mısır nişastası + %0,5 kalsine kolemanit ilaveli peletler kullanılmıştır. İndirgemeye tabi tutulmuş peletlerin indirgeme oranları bu çalışmada zamana bağlı kütle kaybı olarak Şekil 24’de verilmiştir.

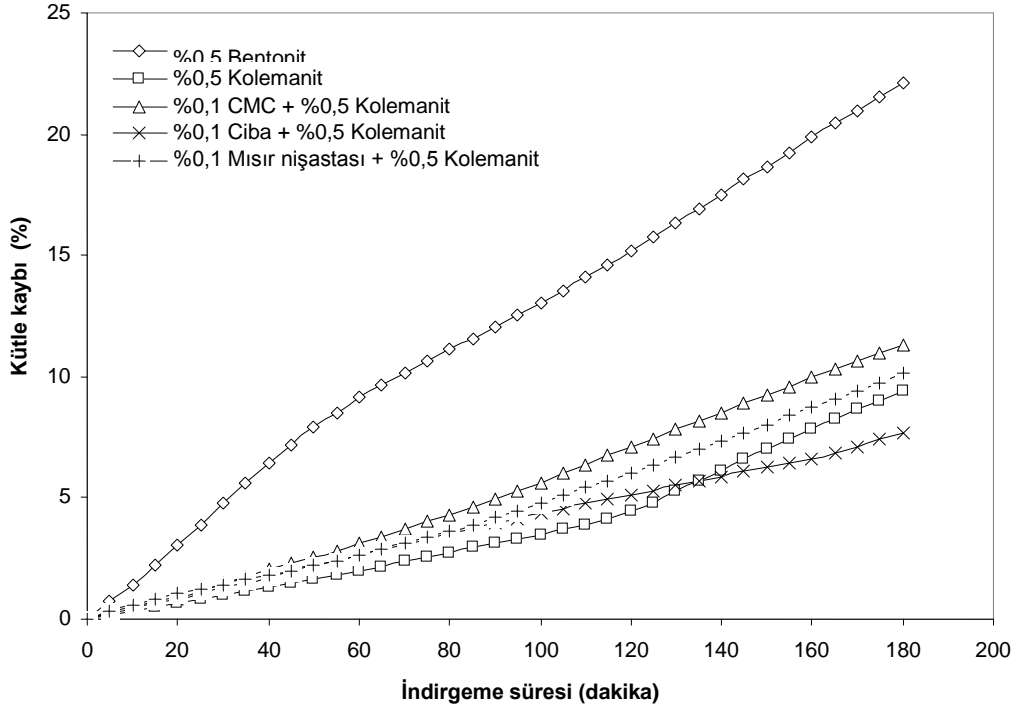


Şekil 24. 1300 °C’de pişirilmiş manyetit peletleri indirgeme test sonuçları

Kütle kaybı %13,1 ile en fazla olan dolayısıyla en fazla indirgenen pelet %0,5 bentonit katkılı pelet olurken, %0,5 kalsine kolemanit katkılı peletin kütle kaybı %8,49 olmuştur. %0,5 kalsine kolemanite sırasıyla %0,1 CMC, %0,05 Ciba ve %0,1 mısır nişastası ilavesiyle kütle kaybı değerleri %8,47, %7,4 ve %9,94 olarak gerçekleşmiştir. Burada kolemanit katkılı peletler üzerinde kütle kaybının dolayısıyla indirgemenin, bentonit katkılı pelete göre az gerçekleşmesinin ayrıntılı olarak incelenmesi ve pilot çaplı indirgeme deneylerinin yapılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

4.4.2. Hematit Peletleri ile Yapılan İndirgeme Deneyleri

Hematit cevheri ile üretilmiş 1300 °C’de pişirilmiş yeterli dayanıma sahip peletler üzerinde indirgeme deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde %0,5 bentonit, %0,5 kalsine kolemanit, %0,1 teknik CMC + %0,5 kalsine kolemanit, %0,1 Ciba + %0,5 kalsine kolemanit ve %0,1 mısır nişastası + %0,5 kalsine kolemanit ilavesi ile üretilen peletler kullanılmıştır. İndirgemeye tabi tutulmuş peletlerin zamana bağlı kütle kaybı değerleri Şekil 25’te verilmiştir.



Şekil 25. 1300 °C’de pişirilmiş hematit peletleri indirgeme test sonuçları

Hematit cevheri kullanılarak üretilen peletlerde yapılan indirgeme testlerinde de en fazla kütle kaybı %22,12 ile %0,5 bentonit katkılı pelet olmuştur. %0,5 kalsine kolemanit katkılı peletin kütle kaybı %9,38 olurken, %0,5 kalsine kolemanite sırasıyla %0,1 CMC, %0,1 Ciba ve %0,1 mısır nişastası ilavesiyle elde edilen peletlerde kütle kaybı değerleri %11,27, %7,68 ve %10,11 olarak gerçekleşmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada manyetit ve hematit cevherleri ile bentonit ve alternatif bağlayıcılar (kalsine kolemanit, tinkal, boraks pentahidrat, teknik CMC, mısır nişastası, Ciba, dekstrin, Cytec A-150HMW, Cytec A-150HMW ve kalsine kolemanit + organik bağlayıcılar) kullanılarak üretilen peletler aşağıdaki özellikleri açısından incelenmişlerdir.

- Yaş pelet düşme sayısı,
- 1000 °C'de ön ısıtılmış pelet basma dayanımı,
- 1300 °C'de pişirilmiş pelet basma dayanımı,
- 1300 °C'de pişirilmiş pelet indirgeme oranı.

Alternatif bağlayıcıların performansları geleneksel bağlayıcı olan bentonit kullanılarak yapılan peletlerin sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Manyetit peletlerinde;

- Bağlayıcısız üretilen peletlerde yetersiz yaş pelet dayanımı ve ön ısıtılmış pelet basma dayanımı, yeterli pişirilmiş pelet basma dayanımları,
- Bentonit ilavesi ile hem yeterli yaş pelet dayanımı hem de ön ısıtılmış ve pişirilmiş pelet basma dayanımı
- Kalsine kolemanit ilavesi ile yetersiz yaş pelet dayanımı, yeterli ön ısıtılmış ve pişirilmiş pelet basma dayanımları
- Tinkal, boraks pentahidrat, dekstrin ve Cytec A-150HMW ilavesi ile yetersiz yaş pelet dayanımı, ön ısıtılmış pelet basma dayanımı ve yeterli pişirilmiş pelet basma dayanımları
- Teknik CMC, mısır nişastası, Ciba, Cytec A-150LMW ilavesi ile yeterli yaş pelet dayanımı, yetersiz ön ısıtılmış pelet basma dayanımları, yeterli pişirilmiş pelet basma dayanımları
- Kalsine kolemanit + teknik CMC, kalsine kolemanit + ciba ve kalsine kolemanit + mısır nişastası ilavesi hem yeterli yaş pelet dayanımı hem de ön ısıtılmış ve pişirilmiş pelet basma dayanımları elde edilmiştir.

Hematit peletlerinde;

- Bağlayıcısız üretilen peletlerde yetersiz yaş pelet dayanımı ve ön ısıtılmış pelet basma dayanımı, yeterli pişirilmiş pelet basma dayanımları
- Bentonit ilavesi ile yeterli yaş pelet dayanımı, yetersiz ön ısıtılmış pelet basma dayanımı, yeterli pişirilmiş pelet basma dayanımı
- Kalsine kolemanit ve boraks pentahidrat ilavesi ile yetersiz yaş pelet dayanımı, yeterli ön ısıtılmış ve pişirilmiş pelet basma dayanımları
- Dekstrin, Cytec A-150LMW ve Cytec A-150HMW ilavesi ile yetersiz yaş pelet dayanımı, ön ısıtılmış ve pişirilmiş pelet basma dayanımları
- Mısır nişastası, teknik CMC ve Ciba ilavesi ile yeterli yaş pelet dayanımı, yetersiz ön ısıtılmış pelet dayanımı, yeterli pişirilmiş pelet basma dayanımları
- Kalsine kolemanit + teknik CMC, kalsine kolemanit + ciba ve kalsine kolemanit + mısır nişastası ilavesi hem yeterli yaş pelet dayanımı hem de ön ısıtılmış ve pişirilmiş pelet basma dayanımları elde edilmiştir.

Manyetit peletlerinin sertleştirme (ısıl işlem) sırasında hematite okside olarak yeni kristallenmeler göstermesi ile yüksek basma dayanımları kazandığı bilinmektedir. Hematitin manyetit gibi ısıl işlem sırasında okside olmaması ve pişme sırasında buna bağlı dayanım kazanamamasından dolayı kullanılan kalsine kolemanit ve boraks pentahidrat ilavesinin pelet basma dayanımına katkısı açıkça ortaya çıkmaktadır. Bağlayıcısız hematit peletinin 1000 °C'de ön ısıtılmış basma dayanımı 19, %0,5 bentonit ilavesi ile 49,6 kg/pelet iken %0,5 kalsine kolemanit ilavesi ile 116,11, %0,5 boraks pentahidrat ilavesi ile 119,4 kg/pelet olmuştur. Ayrıca kalsine kolemanit ilavesi 1300 °C'de pişirilmiş hematit peletlerine oldukça yüksek basma dayanımı kazandırmıştır. Bundan dolayı hematit pelet pişirme işleminin daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirmenin yeterli olacağı ve yakıt açısından enerji tasarrufu sağlayacağı sonucunu ortaya koymaktadır.

Pelet indirgeme özellikleri açısından, manyetit ve hematit peletlerinde Gakushin demir cevheri indirgeme metoduna uygun fakat tek pelet üzerinde yapılan indirgeme test sonuçlarına göre, en fazla indirgenen peletler bentonit katkılı peletler olmuştur. Kalsine kolemanit ve organik bağlayıcılı kalsine kolemanit ilaveli peletler daha az indirgenebilmiştir. İndirgeme sonuçları kütle kaybı cinsinden verilmiştir. Uygun bağlayıcılar ile üretilen peletler üzerinde

daha kapsamlı indirgeme testleri yapılması ve farklı bağlayıcıların kullanıldığı durumlarda elde edilen farklı indirgeme hızları mekanizmalarının ortaya çıkarılması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

AROL A. İ., Özbayoğlu G., Hiçyılmaz C., Akdemir Ü. ve Mamurekli M., Demir cevheri peletlemede bentonite alternatif bir bağlayıcının belirlenmesi, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi Bildiriler Kitabı*, 393-405, (1989).

AROL A. İ., Organik bağlayıcın endüstriyel ölçekte denenmesi, *Yayımlanmamış Çalışma*, (1997).

BALL, D. F., Dartnell J., Davison J., Grieve A. and Wild R., *Agglomeration of Iron Ores*, American Elsevier Publishing company. Inc., New York, (1973).

CHIZHIKOVA V. M., Vainshtein R. M., Zorin S. N., Zainetdinov T. I., Zinyagin G. A. and Shevchenko A. A., Production of Iron Ore-Pellets with an Organic Binder, *Metallurgist*, 47, Nos.3-4, (2003).

DE SOUZA R. P., de Mendonca C. F. and Kater T., Reduction of acid iron ore pellet for direct reduction using organic binder, *Mining Engineering Magazine*, March, 1437-1441, (1984).

EISELE T. C. and Kawatra S. K., A Review of Binders in Iron Ore Pelletization, *Mineral Processing & Extractive Metall.*, Rev. 24:1-90, (2003).

GOETZMAN H. F., Bleifuss R. L. and Engesser., J., An evaluation of organic binders as substitutes for bentonite in taconite pelletizing, *49th Annual University of Minnesota Mining Symposium*, Duluth, Minnesota, (1988).

KATER T. and Steegs R. G., Organic binders for iron ore pelletization, *45th Annual University of Minnesota Mining Symposium*, Duluth, Minnesota, (1984).

KAWATRA S. K. and Ripke. S. J., Effects of bentonite fiber formation in iron ore pelletization, *International Journal of Mineral Processing*, 65, 141-149, (2002).

MEYER K., *Pelletizing of Iron Ores*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, (1980).

STONE J. K., USA Update: USS strikes marginally helpful to struggling competitors, *Steel Times Int*, March, 27-30, (1987).

TEKTAŞ E., Bigadiç ground colemanite health and safety data sheet, *Eti Holding A.Ş. Research & Development Department*, (2003).

<http://www.etimaden.gov.tr>

7. EKLER

EK A

Çizelge A1. Bentonitin pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| | Bağlayıcı | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | | | |
|----------------------|-----------------|---------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----|----|---------------|
| | Bentonit | Bağlayıcısız | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| 400 | | | 11 | 9 | 3 | 10 | 7 | 6 | 7 | 6 | 9 | 7 | | | | 7,50 |
| 600 | | | 48 | 42 | 38 | 36 | 39 | 41 | 46 | 49 | 54 | 50 | | | | 44,30 |
| 800 | | | 46 | 51 | 39 | 45 | 49 | 39 | 46 | 48 | 42 | 55 | | | | 46,00 |
| 1000 | | | 64 | 51 | 55 | 63 | 45 | 65 | 45 | 48 | 52 | 48 | | | | 53,60 |
| 1300 | | | 259 | 362 | 336 | 326 | 283 | 251 | 320 | 304 | 332 | 257 | | | | 303,00 |
| %0,5 Bentonit | | 100 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | | | | 2,20 |
| | | 400 | 23 | 35 | 26 | 20 | 31 | 32 | 26 | 33 | 33 | 22 | | | | 28,10 |
| | | 600 | 62 | 72 | 51 | 80 | 71 | 89 | 73 | 65 | 70 | 83 | | | | 71,60 |
| | | 800 | 123 | 118 | 115 | 135 | 90 | 82 | 94 | 116 | 109 | 98 | | | | 108,00 |
| | | 1000 | 161 | 125 | 157 | 168 | 166 | 182 | 153 | 142 | 175 | 135 | | | | 158,78 |
| | | 1300 | 545 | 695 | 670 | 565 | 544 | 516 | 565 | 560 | 526 | 509 | | | | 569,50 |
| %1 Bentonit | | 100 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | | | | 4,30 |
| | | 400 | 34 | 34 | 33 | 38 | 31 | 27 | 26 | 31 | 32 | 30 | | | | 31,60 |
| | | 600 | 74 | 67 | 89 | 79 | 88 | 65 | 90 | 68 | 71 | 76 | | | | 76,70 |
| | | 800 | 131 | 153 | 121 | 130 | 148 | 152 | 178 | 125 | 155 | 143 | | | | 143,60 |
| | | 1000 | 219 | 192 | 199 | 184 | 195 | 152 | 225 | 228 | 214 | 201 | | | | 200,90 |
| | | 1300 | 736 | 682 | 645 | 681 | 712 | 697 | 619 | 666 | 763 | 771 | | | | 697,20 |

Çizelge A2. 1000 ve 1300 °C’de 10, 20 ve 30 dakika süre ile ısıtılmış peletlerin basma dayanımları

| | Bağlayıcı | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|--------|
| | | | 10 | 164 | 156 | 153 | 125 | 138 | 128 | 177 | 137 | 172 | | 118 |
| Pişirme süresinin etkisi | %0,5 Bentonit | 1000 | 10 | 164 | 156 | 153 | 125 | 138 | 128 | 177 | 137 | 172 | 118 | 146,80 |
| | | | 20 | 149 | 151 | 170 | 155 | 147 | 168 | 137 | 140 | 145 | 139 | 150,10 |
| | | | 30 | 147 | 153 | 167 | 173 | 158 | 150 | 153 | 163 | 149 | 174 | 158,70 |
| | | 1300 | 10 | 439 | 354 | 392 | 485 | 336 | 368 | 461 | 396 | 387 | 345 | 396,30 |
| | | | 20 | 445 | 503 | 511 | 496 | 347 | 535 | 438 | 507 | 572 | 590 | 494,40 |
| | | | 30 | 544 | 608 | 621 | 446 | 638 | 600 | 532 | 529 | 586 | 591 | 569,50 |
| | %1 Bentonit | 1000 | 10 | 238 | 187 | 187 | 168 | 227 | 159 | 204 | 197 | 192 | 176 | 193,50 |
| | | | 20 | 204 | 182 | 180 | 191 | 225 | 191 | 179 | 198 | 191 | 223 | 196,40 |
| | | | 30 | 184 | 214 | 216 | 207 | 189 | 199 | 207 | 205 | 187 | 221 | 202,90 |
| | | 1300 | 10 | 518 | 518 | 538 | 609 | 521 | 558 | 645 | 661 | 628 | 612 | 580,80 |
| | | | 20 | 665 | 578 | 663 | 523 | 696 | 643 | 563 | 651 | 536 | 524 | 604,20 |
| | | | 30 | 736 | 682 | 645 | 681 | 712 | 697 | 619 | 666 | 763 | 771 | 697,20 |
| %0,5 Kalsine kolemanit | 1000 | 10 | 149 | 119 | 140 | 113 | 131 | 122 | 113 | 163 | 131 | 117 | 129,80 | |
| | | 20 | 167 | 156 | 126 | 142 | 126 | 173 | 166 | 175 | 132 | 156 | 151,90 | |
| | | 30 | 176 | 142 | 186 | 143 | 182 | 153 | 145 | 179 | 161 | 150 | 161,70 | |
| | 1300 | 10 | 479 | 426 | 362 | 326 | 407 | 480 | 419 | 373 | 483 | 383 | 413,80 | |
| | | 20 | 410 | 499 | 366 | 599 | 502 | 472 | 497 | 546 | 495 | 454 | 484,00 | |
| | | 30 | 554 | 699 | 513 | 460 | 530 | 400 | 539 | 606 | 602 | 639 | 554,20 | |
| %0,5 Tinkal | 1000 | 10 | 64 | 70 | 75 | 85 | 97 | 68 | 96 | 66 | 88 | 70 | 77,90 | |
| | | 20 | 82 | 86 | 92 | 94 | 94 | 90 | 80 | 84 | 84 | 96 | 88,20 | |
| | | 30 | 75 | 99 | 91 | 94 | 78 | 86 | 96 | 95 | 87 | 104 | 90,50 | |
| | 1300 | 10 | 280 | 325 | 294 | 361 | 300 | 350 | 480 | 294 | 328 | 367 | 337,90 | |
| | | 20 | 348 | 379 | 378 | 276 | 301 | 351 | 397 | 385 | 380 | 388 | 358,30 | |
| | | 30 | 306 | 493 | 408 | 365 | 286 | 326 | 433 | 375 | 381 | 405 | 377,80 | |
| %0,1 Teknik CMC | 1000 | 10 | 78 | 71 | 74 | 64 | 73 | 75 | 74 | 58 | 71 | 64 | 70,20 | |
| | | 20 | 96 | 70 | 78 | 76 | 80 | 80 | 70 | 81 | 91 | 81 | 80,30 | |
| | | 30 | 85 | 97 | 90 | 75 | 82 | 78 | 82 | 81 | 65 | 64 | 79,90 | |
| | 1300 | 10 | 429 | 493 | 352 | 413 | 448 | 414 | 425 | 349 | 376 | 409 | 410,80 | |
| | | 20 | 404 | 412 | 411 | 374 | 375 | 496 | 401 | 465 | 465 | 440 | 424,30 | |
| | | 30 | 359 | 414 | 543 | 456 | 528 | 471 | 470 | 586 | 563 | 537 | 492,70 | |

Çizelge A3. Bağlayıcı cinsinin pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| Bağlayıcı | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | |
|------------------------------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----|
| | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | | |
| %0,5 Kolemanit | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | 14 | 12 | 10 | 13 | 13 | 14 | 12 | 13 | 12 | 11 | 12,40 | |
| | 1000 | 167 | 156 | 126 | 142 | 126 | 173 | 166 | 175 | 132 | 156 | 151,90 | |
| | 1300 | 554 | 699 | 513 | 460 | 530 | 400 | 539 | 606 | 602 | 639 | 554,20 | |
| %0,5 Bentonit | 100 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2,20 | |
| | 400 | 23 | 35 | 26 | 20 | 31 | 32 | 26 | 33 | 33 | 22 | 28,10 | |
| | 1000 | 149 | 151 | 170 | 155 | 147 | 168 | 137 | 140 | 145 | 139 | 150,10 | |
| | 1300 | 445 | 503 | 511 | 496 | 347 | 535 | 438 | 507 | 572 | 590 | 494,40 | |
| %0,05 Ciba | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | 400 | 16 | 14 | 16 | 10 | 17 | 16 | 10 | 14 | 9 | 12 | 13,40 | |
| | 1000 | 75 | 111 | 95 | 89 | 85 | 88 | 77 | 104 | 89 | 81 | 89,40 | |
| | 1300 | 483 | 522 | 544 | 573 | 465 | 526 | 488 | 436 | 465 | 560 | 506,20 | |
| %0,5 Tinkal | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | 400 | 24 | 27 | 17 | 18 | 20 | 18 | 23 | 26 | 18 | 21 | 21,20 | |
| | 1000 | 82 | 86 | 92 | 94 | 94 | 90 | 80 | 84 | 84 | 96 | 88,20 | |
| | 1300 | 348 | 379 | 378 | 276 | 301 | 351 | 397 | 385 | 380 | 388 | 358,30 | |
| %0,5 Borax pentahidrat | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | 400 | 19 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 13 | 11 | 12,60 | |
| | 1000 | 95 | 69 | 77 | 82 | 110 | 70 | 76 | 68 | 97 | 70 | 81,40 | |
| | 1300 | 515 | 422 | 379 | 405 | 279 | 352 | 337 | 366 | 348 | 356 | 375,90 | |
| %0,1 Mısır nişastası | 100 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1,70 | |
| | 400 | 15 | 13 | 10 | 11 | 14 | 11 | 21 | 13 | 16 | 15 | 13,90 | |
| | 1000 | 89 | 74 | 72 | 86 | 70 | 80 | 90 | 77 | 80 | 90 | 80,80 | |
| | 1300 | 507 | 477 | 407 | 436 | 520 | 381 | 362 | 493 | 496 | 471 | 455,00 | |
| %0,1 Teknik CMC | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | 400 | 11 | 17 | 18 | 11 | 12 | 20 | 18 | 16 | 19 | 18 | 16,00 | |
| | 1000 | 96 | 70 | 78 | 76 | 80 | 80 | 70 | 81 | 91 | 81 | 80,30 | |
| | 1300 | 404 | 412 | 411 | 374 | 375 | 496 | 401 | 465 | 465 | 440 | 424,30 | |
| %0,5 Dextrin | 100 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2,30 | |
| | 400 | 24 | 20 | 24 | 26 | 23 | 25 | 21 | 21 | 21 | 29 | 23,40 | |
| | 1000 | 63 | 59 | 79 | 66 | 73 | 68 | 70 | 75 | 78 | 74 | 70,50 | |
| | 1300 | 351 | 454 | 400 | 628 | 390 | 352 | 366 | 440 | 576 | 440 | 439,70 | |
| %0,05 Cytec A-150 LMW | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | 400 | 12 | 10 | 13 | 13 | 11 | 14 | 11 | 11 | 9 | 9 | 11,30 | |
| | 1000 | 62 | 64 | 70 | 54 | 57 | 56 | 58 | 60 | 87 | 56 | 62,40 | |
| | 1300 | 440 | 546 | 518 | 459 | 490 | 491 | 430 | 376 | 437 | 525 | 471,20 | |
| Bağlayıcısız | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | 400 | 11 | 9 | 3 | 10 | 7 | 6 | 7 | 6 | 9 | 7 | 7,50 | |
| | 1000 | 64 | 51 | 55 | 63 | 45 | 65 | 45 | 48 | 52 | 48 | 53,60 | |
| | 1300 | 259 | 362 | 336 | 326 | 283 | 251 | 320 | 304 | 332 | 257 | 303,00 | |
| %0,005 Cytec A-150 HMW | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | 400 | 11 | 8 | 15 | 9 | 12 | 10 | 16 | 13 | 13 | 12 | 11,90 | |
| | 1000 | 73 | 37 | 40 | 58 | 58 | 52 | 49 | 50 | 51 | 40 | 50,80 | |
| | 1300 | 350 | 373 | 354 | 343 | 371 | 316 | 387 | 393 | 397 | 414 | 369,80 | |

Çizelge A4. Kalsine kolemanitin pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | | | |
|-------------------|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----|----|--------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kalsine kolemanit | 0,25 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 17 | 12 | 9 | 13 | 16 | 14 | 12 | 15 | 9 | 14 | | | | 13,10 |
| | | 1000 | 129 | 126 | 107 | 113 | 150 | 128 | 102 | 115 | 112 | 154 | | | | 123,60 |
| | | 1300 | 406 | 459 | 424 | 478 | 445 | 473 | 405 | 440 | 541 | 395 | | | | 446,60 |
| | 0,5 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 14 | 12 | 10 | 13 | 13 | 14 | 12 | 13 | 12 | 11 | | | | 12,40 |
| | | 1000 | 167 | 156 | 126 | 142 | 126 | 173 | 166 | 175 | 132 | 156 | | | | 151,90 |
| | | 1300 | 554 | 699 | 513 | 460 | 530 | 400 | 539 | 606 | 602 | 639 | | | | 554,20 |
| | 0,75 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 7 | 8 | 11 | 13 | 12 | 9 | 8 | 10 | 12 | 8 | | | | 9,80 |
| | | 1000 | 190 | 156 | 183 | 208 | 119 | 198 | 146 | 212 | 191 | 207 | | | | 181,00 |
| | | 1300 | 634 | 618 | 419 | 565 | 685 | 507 | 492 | 454 | 575 | 479 | | | | 542,80 |
| | 1 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 6 | 8 | 12 | 8 | 9 | 10 | 8 | 14 | 7 | 10 | | | | 9,20 |
| | | 1000 | 186 | 201 | 219 | 222 | 146 | 187 | 192 | 160 | 163 | 160 | | | | 183,60 |
| | | 1300 | 613 | 652 | 677 | 690 | 648 | 671 | 643 | 615 | 634 | 695 | | | | 653,80 |

Çizelge A5. Boraks pentahidratın pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | | | |
|--------------------|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----|----|--------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Boraks pentahidrat | 0,5 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 19 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 13 | 11 | | | | 12,60 |
| | | 1000 | 95 | 69 | 77 | 82 | 110 | 70 | 76 | 68 | 97 | 70 | | | | 81,40 |
| | | 1300 | 515 | 422 | 379 | 405 | 279 | 352 | 337 | 366 | 348 | 356 | | | | 375,90 |
| | 1 | 100 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | | | | 2,70 |
| | | 400 | 8 | 8 | 14 | 6 | 12 | 9 | 8 | 13 | 16 | 10 | | | | 10,40 |
| | | 1000 | 59 | 72 | 96 | 69 | 74 | 71 | 80 | 93 | 78 | 75 | | | | 76,70 |
| | | 1300 | 385 | 437 | 396 | 368 | 380 | 341 | 450 | 479 | 425 | 341 | | | | 400,20 |

Çizelge A6. Teknik CMC organik bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| Teknik CMC | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | | |
|------------|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----------|----|--------|
| | 0,05 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| 400 | | 12 | 15 | 11 | 13 | 13 | 13 | 15 | 9 | 10 | 12 | | | | 12,30 |
| 1000 | | 81 | 80 | 85 | 81 | 88 | 81 | 75 | 70 | 76 | 60 | | | | 77,70 |
| 1300 | | 357 | 432 | 467 | 396 | 444 | 465 | 478 | 382 | 386 | 389 | | | | 419,60 |
| 0,1 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | 11 | 17 | 18 | 11 | 12 | 20 | 18 | 16 | 19 | 18 | | | | 16,00 |
| | 1000 | 96 | 70 | 78 | 76 | 80 | 80 | 70 | 81 | 91 | 81 | | | | 80,30 |
| | 1300 | 404 | 412 | 411 | 374 | 375 | 496 | 401 | 465 | 465 | 440 | | | | 424,30 |
| 0,15 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | 11 | 14 | 13 | 21 | 15 | 21 | 21 | 13 | 17 | 19 | | | | 16,50 |
| | 1000 | 85 | 92 | 70 | 86 | 80 | 104 | 73 | 77 | 79 | 85 | | | | 83,10 |
| | 1300 | 571 | 550 | 415 | 516 | 521 | 400 | 593 | 598 | 457 | 550 | | | | 517,10 |
| 0,2 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | 27 | 26 | 23 | 25 | 19 | 22 | 21 | 20 | 24 | 26 | | | | 23,30 |
| | 1000 | 106 | 109 | 121 | 95 | 107 | 105 | 109 | 97 | 105 | 104 | | | | 105,80 |
| | 1300 | 502 | 582 | 495 | 490 | 583 | 557 | 496 | 549 | 496 | 531 | | | | 528,10 |

Çizelge A7. Ciba DPEP06-0007 organik bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| Ciba DPEP06-0007 | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | | |
|------------------|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----------|----|--------|
| | 0,05 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| 400 | | 16 | 14 | 16 | 10 | 17 | 16 | 10 | 14 | 9 | 12 | | | | 13,40 |
| 1000 | | 75 | 111 | 95 | 89 | 85 | 88 | 77 | 104 | 89 | 81 | | | | 89,40 |
| 1300 | | 483 | 522 | 544 | 573 | 465 | 526 | 488 | 436 | 465 | 560 | | | | 506,20 |
| 0,1 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | 13 | 11 | 14 | 14 | 18 | 16 | 13 | 13 | 20 | 10 | | | | 14,20 |
| | 1000 | 98 | 96 | 93 | 74 | 82 | 91 | 76 | 96 | 85 | 93 | | | | 88,40 |
| | 1300 | 468 | 517 | 532 | 454 | 402 | 518 | 405 | 487 | 486 | 564 | | | | 483,30 |
| 0,15 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | 4 | 9 | 4 | 5 | 10 | 6 | 10 | 4 | 4 | 6 | | | | 6,20 |
| | 1000 | 49 | 43 | 51 | 52 | 47 | 61 | 56 | 50 | 71 | 22 | | | | 50,20 |
| | 1300 | 266 | 342 | 286 | 238 | 275 | 235 | 301 | 230 | 260 | 326 | | | | 275,90 |
| 0,2 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | 12 | 19 | 17 | 18 | 13 | 15 | 10 | 17 | 12 | 17 | | | | 15,00 |
| | 1000 | 82 | 82 | 70 | 79 | 69 | 86 | 86 | 73 | 87 | 75 | | | | 78,90 |
| | 1300 | 407 | 440 | 476 | 373 | 486 | 413 | 435 | 355 | 381 | 398 | | | | 416,40 |

Çizelge A8. Mısır nişastası organik bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama |
|-----------------|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| Mısır nişastası | 0,1 | 100 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1,70 |
| | | 400 | 15 | 13 | 10 | 11 | 14 | 11 | 21 | 13 | 16 | 15 | 13,90 |
| | | 1000 | 89 | 74 | 72 | 86 | 70 | 80 | 90 | 77 | 80 | 90 | 80,80 |
| | | 1300 | 507 | 477 | 407 | 436 | 520 | 381 | 362 | 493 | 496 | 471 | 455,00 |
| | 0,2 | 100 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 | 2 | 4 | 3,30 |
| | | 400 | 14 | 19 | 13 | 21 | 12 | 17 | 18 | 21 | 18 | 14 | 16,70 |
| | | 1000 | 73 | 85 | 73 | 87 | 80 | 69 | 91 | 71 | 73 | 82 | 78,40 |
| | | 1300 | 427 | 492 | 478 | 460 | 362 | 470 | 373 | 485 | 458 | 508 | 451,30 |
| | 0,3 | 100 | 8 | 6 | 6 | 6 | 5 | 9 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6,60 |
| | | 400 | 20 | 24 | 12 | 22 | 10 | 17 | 17 | 17 | 24 | 16 | 17,90 |
| | | 1000 | 94 | 80 | 87 | 81 | 70 | 80 | 88 | 82 | 81 | 74 | 81,70 |
| | | 1300 | 511 | 378 | 362 | 383 | 437 | 411 | 356 | 659 | 382 | 422 | 430,10 |
| | 0,4 | 100 | 9 | 7 | 9 | 8 | 8 | 10 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8,20 |
| | | 400 | 21 | 14 | 15 | 20 | 20 | 19 | 25 | 17 | 21 | 25 | 19,70 |
| | | 1000 | 79 | 86 | 65 | 76 | 80 | 87 | 82 | 73 | 73 | 71 | 77,20 |
| | | 1300 | 574 | 535 | 482 | 526 | 499 | 502 | 514 | 535 | 503 | 575 | 524,50 |

Çizelge A9. Cytec A-150 LMW ve Cytec A-150 HMW organik bağlayıcılarının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama |
|-----------------|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| Cytec A-150 LMW | 0,05 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 12 | 10 | 13 | 13 | 11 | 14 | 11 | 11 | 9 | 9 | 11,30 |
| | | 1000 | 62 | 64 | 70 | 54 | 57 | 56 | 58 | 60 | 87 | 56 | 62,40 |
| | | 1300 | 440 | 546 | 518 | 459 | 490 | 491 | 430 | 376 | 437 | 525 | 471,20 |
| | 0,1 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 8 | 11 | 9 | 11 | 8 | 9 | 8 | 6 | 8 | 12 | 9,00 |
| | | 1000 | 59 | 56 | 67 | 57 | 69 | 59 | 56 | 69 | 57 | 62 | 61,10 |
| | | 1300 | 366 | 435 | 362 | 425 | 404 | 470 | 358 | 472 | 370 | 391 | 405,30 |
| Cytec A-150 HMW | 0,005 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 11 | 8 | 15 | 9 | 12 | 10 | 16 | 13 | 13 | 12 | 11,90 |
| | | 1000 | 73 | 37 | 40 | 58 | 58 | 52 | 49 | 50 | 51 | 40 | 50,80 |
| | | 1300 | 350 | 373 | 354 | 343 | 371 | 316 | 387 | 393 | 397 | 414 | 369,80 |
| | 0,01 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 5 | 9 | 8 | 7 | 8 | 9 | 6 | 6 | 5 | 11 | 7,40 |
| | | 1000 | 55 | 60 | 55 | 51 | 56 | 60 | 50 | 59 | 61 | 56 | 56,30 |
| | | 1300 | 411 | 332 | 290 | 386 | 322 | 429 | 288 | 299 | 407 | 360 | 352,40 |

Çizelge A10. Dekstrin organik bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| Dekstrin | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama |
|----------|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| | 0,5 | 100 | | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| 400 | | | 24 | 20 | 24 | 26 | 23 | 25 | 21 | 21 | 21 | 29 | 23,40 |
| 1000 | | | 63 | 59 | 79 | 66 | 73 | 68 | 70 | 75 | 78 | 74 | 70,50 |
| 1300 | | | 351 | 454 | 400 | 628 | 390 | 352 | 366 | 440 | 576 | 440 | 439,70 |
| 1 | 100 | | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 6 | 4 | 4,00 |
| | 400 | | 11 | 20 | 18 | 20 | 21 | 14 | 15 | 16 | 14 | 10 | 15,90 |
| | 1000 | | 39 | 46 | 58 | 40 | 46 | 55 | 45 | 40 | 40 | 55 | 46,40 |
| | 1300 | | 270 | 251 | 232 | 220 | 259 | 243 | 251 | 370 | 257 | 350 | 270,30 |

Çizelge A11. Teknik CMC ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| %0,1 Teknik CMC ve Kalsine kolemanit | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama |
|--------------------------------------|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| | 0,25 | 100 | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| 400 | | | 6 | 5 | 8 | 6 | 8 | 7 | 5 | 8 | 6 | 8 | 6,70 |
| 1000 | | | 80 | 99 | 101 | 81 | 100 | 95 | 86 | 95 | 83 | 97 | 91,70 |
| 1300 | | | 513 | 485 | 434 | 420 | 458 | 414 | 523 | 416 | 521 | 460 | 464,40 |
| 0,5 | 100 | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | | 12 | 8 | 9 | 8 | 7 | 9 | 9 | 8 | 11 | 10 | 9,10 |
| | 1000 | | 111 | 121 | 121 | 130 | 135 | 102 | 141 | 131 | 105 | 118 | 121,50 |
| | 1300 | | 516 | 398 | 402 | 479 | 408 | 485 | 467 | 565 | 432 | 498 | 465,00 |
| 0,75 | 100 | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | | 8 | 4 | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5,90 |
| | 1000 | | 135 | 113 | 149 | 127 | 136 | 146 | 103 | 143 | 131 | 146 | 132,90 |
| | 1300 | | 561 | 483 | 579 | 505 | 485 | 483 | 467 | 539 | 491 | 480 | 507,30 |
| 1 | 100 | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | | 6 | 4 | 8 | 5 | 5 | 7 | 6 | 5 | 8 | 7 | 6,10 |
| | 1000 | | 154 | 163 | 113 | 147 | 160 | 127 | 159 | 163 | 138 | 121 | 144,50 |
| | 1300 | | 531 | 560 | 394 | 478 | 553 | 606 | 578 | 403 | 521 | 480 | 510,40 |

Çizelge A12. Ciba-DPEP06-0007 ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | | | |
|---------------------------------|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----|----|--------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| %0,05 Ciba ve Kalsine kolemanit | 0,25 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 5 | 7 | 5 | 6 | 4 | 4 | 6 | 4 | 5 | 6 | | | | 5,20 |
| | | 1000 | 62 | 77 | 81 | 70 | 77 | 64 | 71 | 70 | 64 | 73 | | | | 70,90 |
| | | 1300 | 352 | 315 | 433 | 330 | 425 | 415 | 427 | 389 | 375 | 357 | | | | 381,80 |
| | 0,50 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 4 | 6 | 4 | 6 | 7 | 5 | 6 | 4 | 5 | 5 | | | | 5,20 |
| | | 1000 | 92 | 79 | 85 | 87 | 83 | 101 | 70 | 80 | 84 | 91 | | | | 85,20 |
| | | 1300 | 439 | 372 | 421 | 348 | 410 | 390 | 408 | 370 | 358 | 471 | | | | 398,70 |
| | 0,75 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 6 | 8 | 5 | 10 | 10 | 9 | 7 | 6 | 6 | 7 | | | | 7,40 |
| | | 1000 | 117 | 133 | 118 | 105 | 127 | 106 | 159 | 111 | 124 | 126 | | | | 122,60 |
| | | 1300 | 493 | 572 | 582 | 481 | 572 | 529 | 494 | 346 | 353 | 503 | | | | 492,50 |
| | 1 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | 10 | 8 | 8 | 8 | 7 | 10 | 7 | 8 | 9 | 10 | | | | 8,50 |
| | | 1000 | 200 | 146 | 184 | 186 | 179 | 146 | 176 | 166 | 150 | 155 | | | | 168,80 |
| | | 1300 | 543 | 549 | 620 | 568 | 527 | 710 | 627 | 411 | 559 | 508 | | | | 562,20 |

Çizelge A13. Mısır nişastası ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | | | |
|---|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|---|---|--------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| %0,1 Mısır nişastası ve Kalsine kolemanit | 0,25 | 100 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,10 |
| | | 400 | 9 | 12 | 10 | 11 | 13 | 14 | 11 | 14 | 12 | 10 | | | | 11,60 |
| | | 1000 | 110 | 116 | 93 | 122 | 123 | 94 | 100 | 90 | 100 | 94 | | | | 104,20 |
| | | 1300 | 489 | 417 | 382 | 538 | 430 | 480 | 495 | 379 | 408 | 487 | | | | 450,50 |
| | 0,5 | 100 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | | | | 2,10 |
| | | 400 | 14 | 9 | 11 | 13 | 12 | 14 | 13 | 10 | 13 | 16 | | | | 12,50 |
| | | 1000 | 138 | 122 | 168 | 121 | 142 | 166 | 170 | 116 | 131 | 143 | | | | 141,70 |
| | | 1300 | 508 | 481 | 480 | 606 | 484 | 537 | 595 | 509 | 415 | 603 | | | | 521,80 |
| | 0,75 | 100 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | 2,00 |
| | | 400 | 9 | 4 | 5 | 6 | 7 | 4 | 7 | 5 | 6 | 6 | | | | 5,90 |
| | | 1000 | 154 | 145 | 186 | 163 | 135 | 148 | 149 | 132 | 144 | 188 | | | | 154,40 |
| | | 1300 | 616 | 575 | 458 | 602 | 552 | 489 | 546 | 498 | 611 | 493 | | | | 544,00 |
| | 1 | 100 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | 2,00 |
| | | 400 | 10 | 9 | 7 | 11 | 9 | 10 | 9 | 11 | 7 | 10 | | | | 9,30 |
| | | 1000 | 160 | 164 | 165 | 173 | 216 | 158 | 150 | 187 | 186 | 227 | | | | 178,60 |
| | | 1300 | 591 | 540 | 533 | 666 | 594 | 484 | 620 | 522 | 624 | 642 | | | | 581,60 |

Çizelge A14. Bağlayıcısız ve bentonitin pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| Bentonit | Bağlayıcı | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | |
|---------------|-----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----|
| | Bentonit | Bağlayıcısız | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| 400 | | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| 1000 | | | 21 | 18 | 15 | 22 | 18 | 20 | 20 | 19 | 20 | 17 | 19,00 | |
| 1300 | | | 222 | 235 | 196 | 279 | 324 | 280 | 171 | 253 | 265 | 310 | 253,50 | |
| %0,5 Bentonit | | 100 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2,80 | |
| | | 400 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2,70 | |
| | | 1000 | 60 | 42 | 59 | 42 | 41 | 50 | 43 | 56 | 40 | 63 | 49,60 | |
| | | 1300 | 328 | 278 | 288 | 387 | 473 | 349 | 391 | 443 | 440 | 434 | 381,10 | |

Çizelge A15. Kalsine kolemanitin pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| Kalsine kolemanit | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama |
|-------------------|-------------------|---------------|---------------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|----------|
| | Kalsine kolemanit | 0,25 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| 400 | | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| 1000 | | | 69 | 71 | 103 | 82 | 72 | 80 | 103 | 83 | 88 | 88 | 83,90 |
| 1300 | | | 520 | 482 | 545 | 551 | 313 | 512 | 510 | 418 | 501 | 437 | 478,90 |
| 0,50 | | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 1000 | 100 | 120 | 122 | 116 | 118 | 107 | 114 | 116 | 132 | 105 | 116,11 |
| | | 1300 | 639 | 584 | 473 | 565 | 566 | 609 | 658 | 483 | 680 | 763 | 602,00 |
| 0,75 | | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 1000 | 137 | 149 | 117 | 181 | 116 | 117 | 175 | 167 | 126 | 229 | 151,40 |
| | | 1300 | 625 | 830 | 844 | 607 | 940 | 744 | 545 | 1044 | 746 | 795 | 772,00 |
| 1 | | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | | 1000 | 195 | 200 | 265 | 231 | 214 | 181 | 258 | 245 | 213 | 191 | 219,30 |
| | | 1300 | 914 | 704 | 705 | 1127 | 920 | 869 | 897 | 982 | 876 | 942 | 893,60 |

Çizelge A16. Boraks pentahidrat, Mısır nişastası ve Dekstrin bağlayıcılarının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| Bağlayıcı | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | |
|--------------------------------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|---|
| % 0,5 Boraks pentahidrat | 100 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 400 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 1000 | 99 | 144 | 162 | 106 | 130 | 115 | 110 | 102 | 98 | 128 | 119,4 | |
| | 1300 | 650 | 542 | 465 | 468 | 594 | 486 | 411 | 478 | 694 | 577 | 536,5 | |
| % 0,2 Mısır nişastası | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | 1000 | 13 | 14 | 13 | 17 | 13 | 15 | 15 | 13 | 13 | 14 | 14 | |
| | 1300 | 222 | 241 | 362 | 263 | 328 | 249 | 288 | 287 | 250 | 311 | 280,1 | |
| % 0,5 Dekstrin | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | 1000 | 9 | 9 | 14 | 11 | 11 | 14 | 12 | 13 | 12 | 14 | 11,9 | |
| | 1300 | 108 | 185 | 208 | 245 | 191 | 143 | 173 | 226 | 175 | 239 | 189,3 | |

Çizelge A17. Teknik CMC organik bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| Teknik CMC | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama |
|------------|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|----------|
| | 0,1 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| 400 | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| 1000 | | 24 | 17 | 24 | 23 | 15 | 22 | 16 | 18 | 22 | 17 | 19,8 | |
| 1300 | | 364 | 340 | 342 | 373 | 341 | 300 | 379 | 313 | 278 | 279 | 330,9 | |
| 0,2 | 100 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3,2 | |
| | 400 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | 1000 | 40 | 37 | 36 | 36 | 28 | 32 | 41 | 32 | 32 | 36 | 35 | |
| | 1300 | 359 | 369 | 371 | 459 | 407 | 445 | 355 | 341 | 378 | 301 | 378,5 | |

Çizelge A18. Şekil 20. Ciba, Cytec A150-LMW ve Cytec A150-HMW bağlayıcılarının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| Bağlayıcı | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama |
|--------------------------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| % 0,1 Ciba | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 1000 | 22 | 24 | 22 | 25 | 18 | 15 | 16 | 24 | 22 | 17 | 20,5 |
| | 1300 | 241 | 217 | 341 | 324 | 332 | 281 | 275 | 282 | 350 | 232 | 287,5 |
| %0,05 CytecA-150 LMW | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 1000 | 8 | 6 | 6 | 4 | 6 | 7 | 6 | 5 | 5 | 6 | 5,9 |
| | 1300 | 229 | 173 | 179 | 209 | 184 | 161 | 172 | 152 | 229 | 225 | 191,3 |
| %0,005 CytecA-150 HMW | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| | 1000 | 12 | 11 | 13 | 18 | 10 | 15 | 12 | 15 | 13 | 14 | 13,3 |
| | 1300 | 207 | 219 | 275 | 186 | 161 | 164 | 234 | 178 | 193 | 288 | 210,5 |

Çizelge A19. Şekil 21. Teknik CMC ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | | | |
|--------------------------------------|----------|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----|----|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| %0,1 Teknik CMC ve Kalsine kolemanit | 0,5 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 1000 | 116 | 150 | 117 | 113 | 109 | 116 | 152 | 104 | 109 | 124 | | | | 121 |
| | | 1300 | 474 | 676 | 486 | 506 | 499 | 422 | 491 | 583 | 608 | 606 | | | | 535,1 |
| | 1 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 1000 | 197 | 201 | 244 | 204 | 180 | 206 | 135 | 161 | 236 | 234 | | | | 199,8 |
| | | 1300 | 866 | 861 | 711 | 922 | 733 | 982 | 684 | 696 | 974 | 982 | | | | 841,1 |

Çizelge A20. Şekil 22. Ciba ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | | | |
|--------------------------------|----------|---------------|---------------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----|----|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| %0,1 Ciba ve Kalsine kolemanit | 0,5 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 1000 | 123 | 109 | 133 | 105 | 108 | 117 | 125 | 124 | 124 | 114 | | | | 118,2 |
| | | 1300 | 509 | 400 | 420 | 413 | 466 | 629 | 460 | 735 | 605 | 485 | | | | 512,2 |
| | 1 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 1000 | 189 | 211 | 243 | 198 | 247 | 253 | 203 | 219 | 240 | 175 | | | | 217,8 |
| | | 1300 | 714 | 667 | 1002 | 688 | 515 | 863 | 747 | 579 | 804 | 790 | | | | 736,9 |

Çizelge A21. Şekil 23. Mısır nişastası ve kalsine kolemanit karışım bağlayıcısının pelet basma dayanımı üzerine etkisi

| | Oran (%) | Sıcaklık (°C) | Basma dayanımı (kg/pelet) | | | | | | | | | | Ortalama | | | |
|---|----------|---------------|---------------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----|----|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| %0,1 Mısır nişastası ve Kalsine kolemanit | 0,5 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 1000 | 98 | 127 | 147 | 122 | 131 | 147 | 138 | 125 | 93 | 147 | | | | 127,5 |
| | | 1300 | 505 | 441 | 388 | 486 | 370 | 403 | 481 | 416 | 660 | 427 | | | | 457,7 |
| | 1 | 100 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 400 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| | | 1000 | 176 | 187 | 151 | 143 | 192 | 156 | 158 | 193 | 166 | 216 | | | | 173,8 |
| | | 1300 | 833 | 830 | 1032 | 557 | 748 | 775 | 804 | 867 | 874 | 577 | | | | 789,7 |

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

| |
|--|
| Proje No: 105M348 |
| Proje Başlığı: Demir Cevheri Peletlemede Kolemanitin Organik Bağlayıcı ile Birlikte Kullanılması |
| Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof Dr. Ali İhsan AROL |
| Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531 Ankara/Türkiye |
| Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TÜBİTAK |
| Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01/08/2006 01/07/2008 |
| Öz: Demir cevheri peletlemede bağlayıcı olarak bentonit kullanılmaktadır. Bentonitin peletlemede sağladığı su emme, yağ ve ön ısıtılmış pelet dayanımları gibi vazgeçilmez özellikleri olmakla birlikte asit ve alümina bileşiminden dolayı bentonit kullanımı demir-çelik endüstrisinde ekonomik açıdan dezavantajlıdır. Bentonitin işlevini yerine getirebilecek bir alternatif bağlayıcı kullanımı önemlidir. Bu yönde son yıllarda önemli araştırmalar yapılmıştır. Organik bağlayıcılar en çok üzerinde durulan bağlayıcılardır. Fakat organik bağlayıcılar kullanıldığında yeterli ön ısıtılmış pelet dayanımı sağlayamamaktadırlar. Organik bağlayıcılara bor kökenli, asit özellik taşımayan anorganik bir katkı maddesi (kalsine kolemanit ve boraks pentahidrat) eklendiğinde ön ısıtma sırasında karşılaşılan sorunların giderilebileceği görülmüştür. |
| Anahtar Kelimeler: Demir cevheri, peletleme, bağlayıcı, bentonit, organik bağlayıcı, kolemanit |
| Projeden Yapılan Yayınlar: Use of Colemanite as an Additive in Iron Ore Pelletizing (Kabul edilmiş yayınlanacak bildiri- 11 th International Mineral Processing Symposium 2008) |