

	Sayfa
1.GİRİŞ	1
1.1 Çimentonun Tarihi	1
1.2 Çimento Fırınlarındaki Gelişmeler	6
1.3 Türkiye’de Çimento	14
1.4 Çimento Üretimi	16
1.5 Klinker Üretim Yöntemleri	18
1.5.1 Yaş Yöntemle Klinker Üretimi	18
1.5.2 Yarı Kuru Lepol Yatay Izgara-Fırın Klinker Üretim Süreci	19
1.5.3 Yarı Yaş Yöntemle Klinker Üretim Süreci	19
1.5.4 Ön Isıtmalı Klinker Üretim Süreci	20
1.5.5 Ön Isıtma Sürecinde Kalsinasyon	21
1.5.6 Kalsinatör Sistemli Klinker Üretim Süreci	21
1.5.7 İki Kalsinatör Hatlı Klinker Üretim Süreci	22
2. KLİNKER HAMMADDELERİ	25
2.1 Klinker Hammaddeleri	26
2.2 Hammaddeler	27
2.2.1 Kalker	27
2.2.2 Kalker Çeşitleri	30
2.3 Marn	30
2.4 Kil	31
2.5 Tebeşir	32
2.6 Demir Cevheri	32
2.7 Boksit	33
2.8 Diğer Hammaddeler	33
3. HAMMADDEİN KIRILMASI	35
3.1 Çimento Hammaddesinin Kırılmasında Kullanılan Kırıcılar	35
3.1.1 Döner Kırıcılar	35
3.1.2 Çeneli Kırıcılar	36
3.1.3 Darbeli Kırıcılar	39
3.1.4 Çekiçli Kırıcılar	40
3.1.5 Otojen Kırıcılar	41
3.1.6 Konik Kırıcılar	41
3.2 Çeneli Ve Döner Kırıcıların Karşılaştırılması	43
3.3 Kırılacak Malzemenin Özellikleri	44
3.4 Kırıcı Seçimi	45
3.5 Los Angeles Aşınma İndeksi Testi	48
3.6 Toz Toplama Sistemleri	51
3.6.1 Toz Siklonları	51
3.6.2 Kuru Toz Tutucular	52
3.6.3 Yaş Toz Tutucular	52
3.6.4 Toz Filtreleri	54
3.6.5 Elektrostatik Toz Tutucular	55
3.6.6 Ultrasonik Toz Tutucular	56
4. HAMMADDE STOKLAMA VE HARMANLAMA	57
4.1 Çimento Üretim Tesislerinde Stoklama	57
4.2 Harmanlama Yöntemleri	58
4.2.1 Windrow Yöntemi	58
4.2.2 Chevron Yöntemi	58
4.2.3 Dairesel Yöntem	60
4.2.4 Diğer Stoklama Yöntemleri	61
4.3 Besleme Yöntemleri	63

5.HAMMADDE HAZIRLAMA	65
5.1 Malzeme Dengesi	65
5.2 Kimyasal Modüller	67
5.2.1 Hidrolik Modül	67
5.2.2 Silika Modülü	68
5.2.3 Alümina Modülü	68
5.2.4 Kireç Doyma Faktörü	69
5.2.5 Yakılabilme İndeksi	69
5.3 Klinker Hammaddeleri	70
5.4 Klinker Hammadde Harmanının Hazırlanması	71
5.4.1 İki Hammaddeli Harmanlar	72
5.4.1.1 CaCO ₃ Oranı İle Klinkerdeki C ₃ S Oranının Ayarlanması	72
5.4.1.2 Oranlama İle İki Bileşenli Hammadde Karışımının Hesaplanması	73
5.4.1.3 Michealis Formülü Kullanarak İki Bileşenli Harmanın Hazırlanması	73
5.4.1.4 CaO Oranına Göre İki Bileşenli Harman Hazırlanması	75
5.4.1.5 Kühl Eşitliği Kullanarak İki Bileşenli Harman Hazırlanması	75
5.4.1.6 İki Hammaddeden Oluşan Harman Hazırlanması	76
5.4.1.7 Sabit C ₃ S/C ₂ S Oranına Bağlı Harman Oluşturulması	77
5.4.1.8 Harmanın Kalker İlavesi İle Ayarlanması	77
5.4.1.9 Harmanın Kil İlavesi İle Ayarlanması	78
5.4.1.10 Grafik İle İki Bileşenli Hammadde Karışım Oranının Belirlenmesi	78
5.4.2 Üç Hammaddeli Harmanlar	81
5.4.2.1 Üç Hammaddeli Harman Hazırlanması	81
5.4.2.2 Harmandan İstenilen LSF Ve SA ₀ Değerlerinin Sağlanması	83
5.4.2.3 Harmandan İstenilen SM Ve HM Değerlerinin Sağlanması	85
5.4.2.4 Harmandan İstenilen C ₃ S Ve C ₃ A Değerlerinin Sağlanması	85
5.4.2.5 Grafik İle Üç Bileşenli Hammadde Karışım Oranının Belirlenmesi	87
5.4.3 Dört Hammaddeli Harman Hazırlanması	89
5.5 Harmanın Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi	91
5.6 Kömür Külünün Etkisi	92
5.7 Bölüm Sonucu	92
6.HAMMADDE ÖĞÜTME	93
6.1 Değirmen Tipleri	94
6.1.1 Otojen Değirmenler	95
6.1.2 Yarı Otojen Değirmenler	95
6.1.3 Bilyalı Değirmenler	96
6.1.3.1 Bölmeli Değirmenler	96
6.1.3.2 Bilyalı Değirmenlerin Çektiği Güç	100
6.1.3.3 Kritik Hız	100
6.1.3.4 Kritik Hızın Öğütmeye Etkisi	102
6.1.3.5 Devreden Yük	103
6.1.3.6 Öğütücü Ortamlar	104
6.1.3.7 Bilya Çapının Hesaplanması	106
6.1.3.8 Bilya Yapısı	107
6.1.3.9 Bilya Tüketimi	108
6.1.3.10 Öğütücü Ortamın Hacmi	109
6.1.3.11 Değirmen Astarları	111
6.1.3.11.1 Martenitik Cr-Mo'lu Beyaz Döküm	111
6.1.3.11.3 Ostenitik 6 Mn - 1 Mo Çelik Döküm	111
6.1.3.11.4 Perlitit Yüksek C'lu Cr-Mo'lu Çelik Döküm	112
6.1.3.12 Astar Aşınması	112
6.1.3.13 Değirmen Tasarımı	113
6.1.4 Yüksek Basıncılı Öğütme Ruloları	113
6.1.5 Diğer Değirmenler	115
6.2 Kuru Öğütme Devreleri	115
6.3 Yaş Öğütme Devreleri	119
6.4 Hammaddelerin İş İndekslerinin Belirlenmesi	121
6.5 Öğütülmüş Hammaddenin Homojenleştirilmesi	123

7. YAKITLAR	127
7.1 Yakıtların Kalorifik Değerleri	127
7.2 Yakma Sistemleri	129
7.3 Kömür	133
7.4 Kömürün Öğütülebilirlik Testi: Hardgrove Yöntemi	135
7.5 Petrokok	136
7.6 Kömürün Öğütülmesi	137
7.7 Kömür Patlamaları	143
7.8 Kömür Kızışması	143
7.9 Yanma Havası	144
8. ISIL İŞLEM	145
8.1 Çimento Üretimi Akışı	145
8.2 Klinker Üretim Süreci	146
8.3 Klinker Üretiminde Isıl İşlem Bölgeleri	148
8.3.1 Kurutma Bölgesi (~ 450°C)	149
8.3.2 Kalsinasyon Bölgesi(450°C-900°C)	149
8.3.3 Geçiş Bölgesi (900°-1300°C)	150
8.3.4 Sinter Bölgesi(1.300°C-1.550°C)	151
8.3.5 Soğutma Bölgesi	152
8.4 Isıl İşlem Sürecinde Kuvars	154
8.5 SiO ₂ -CaO İkili Diyagramı	155
8.6 CaO-Al ₂ O ₃ İkili Diyagram	156
8.7 Isıl İşlem Sürecinde Magnezyum	157
8.8 Uçucular	158
8.8.1 Isıl İşlem Sürecinde Alkali Çevirimi	159
8.8.2 Klorür Çevirimi	160
8.8.3 Kükürt Çevirimi	161
8.8.4 Yan Geçiş Sistemi	162
8.9 Isıl İşlem Sürecindeki Gelişmeler	163
8.9.1 Yaş Hammaddenin Isıl İşlemi	163
8.9.2 Ön Isıtma Siklonları	166
8.9.3 Kalsinasyon Sistemleri	170
8.9.4 Fırın Çıkış Gazıyla Kalsinasyon Sistemi	175
8.10 Hammaddenin Kimyasal Değişimi	176
8.11 Bölüm Sonucu	176
9.DÖNER FIRIN	177
9.1 Döner Fırınların Özellikleri	177
9.2 Fırının Ana Bileşenleri	178
9.2.1 Taşıma Rulo ve Ringleri	179
9.2.2 Ovalleşme	184
9.2.3 Taşıma Ring Bağlantıları	185
9.2.4 Destek Ruloları	189
9.2.5 Fırın Hareket Sistemleri	190
9.2.6 Pinyon Ve Ana Dişli Ayarları	193
9.2.7 Fırın Giriş Ve Çıkış Ağızları	195
9.3 Fırının İşletmeciliği	196
9.3.1 Fırında Kabuk Oluşumu	198
9.3.2 Fırın Taşıyıcı Rulo Yataklarının Isınması	200
9.3.3 Fırın Gövdesinin Kızarması	201
9.3.4 Fırının Isıtılması	203
9.3.5 Fırının Durdurulması	204
9.4 Fırın Tuğlaları	205
9.4.1 Bazık Tuğlalar	207
9.4.2 Yüksek Alüminalı Tuğlalar	207
9.4.3 Ateş Kili Tuğlaları	207
9.4.4 Özel Tuğlalar	208
9.5 Tuğla Örülmesi	209
9.5.1 Tuğla Sayısı	211
9.6 Malzemenin Fırında Kalış Süresi	212

10. KLİNKER SOĞUTMA	213
10.1 Klinkerin Soğutulması	213
10.2 Klinker Soğutucuları	215
10.2.1 Dikey Soğutucular	216
10.2.2 Hareketli Izgara Soğutma Sistemi	217
10.2.3 Döner Soğutucular	217
10.2.4 Dairesel Soğutucular	218
10.2.5 Izgaralı Soğutucu Sonrası Dikey Soğutucular	219
10.2.6 Planet Soğutucular	220
10.2.7 Izgaralı Soğutucular	221
10.2.8 Izgara-Bar Soğutucular	224
10.2.9 Pendulum Soğutucular	226
10.3 Soğutucu Giriş ve Çıkışı	226
10.4 Soğutucu Etkinliği	228
11. KLİNKER BİLEŞENLERİ	231
11.1 Klinkerin Özellikleri	232
11.2 Klinkerin Bileşenleri	234
11.2.1 Trikalsiyum Silikat (C_3S)	234
11.2.2 Dikalsiyum Silikat (C_2S)	234
11.2.3 Trikalsiyum Alüminat (C_3A)	234
11.2.4 Tetrakalsiyum Aluminoferrit (C_4AF)	235
11.3 Çimentonun Yapısı	235
11.4 Bogue Formülleri.....	236
11.5 Bogue Formülünün Uygulanması	237
12.KLİNKER KATKILARI	239
12.1 Puzolanik Maddeler	239
12.1.1 Doğal Puzolanik Mineraller	241
12.1.2 Kalsine Edilmiş Doğal Puzolanlar	243
12.1.3 Pomza ve Perlit	243
12.2 Yüksek Fırın Cürufu	243
12.3 Uçucu Küller	244
12.4 Alçıtaşı ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)	246
12.5 Silis Dumanı	247
12.6 Pişmiş Şist	248
13.KLİNKER ÖĞÜTME	249
13.1 Klinker Bileşenleri	249
13.2 Çimento Öğütme Boyutları	251
13.3 Çimento Öğütme Değirmenleri	251
13.3.1 Sarkaç Rulolu Değirmeler	252
13.3.2 Loesche Değirmenler	253
13.3.3 Atox Değirmenler.....	254
13.3.4 Dikey Rulolu Değirmenler	255
13.3.5 Bilyalı Dik Değirmenler	256
13.3.6 Konik Yataklı Rulolu Değirmeler	257
13.3.7 Yatay Valsli Değirmenler	257
13.3.8 Bilyalı Değirmenlerle Çimento Öğütme	259
13.4 Öğütmede Kullanılan Katkı Maddeleri	261
13.5 Öğütmede Açığa Çıkan Isının Hesaplanması	262
13.6 Bilyalı Değirmenlerde Çimento Öğütme Süresi	265
13.7 Öğütücü Bilya Ve Silpepsler	265
13.8 Bilyalı Değirmenlerle Hareket Sistemleri	267
13.9 Değirmen Kapasiteleri	268
13.10 Klinker Öğütme Devreleri	269
13.11 Öğütme Devrelerinde Devreden Yük	271
13.12 Bilyalı Değirmen Boyutlandırılması İçin Sayısal Örnekler	272
13.12.1 Kuru Öğütme Faktörü, EF_1	274
13.12.2 Açık Devre Öğütme Faktörü, EF_2	274
13.12.3 Değirmen Çap Faktörü, EF_3	275

13.12.4 İri Boyut Faktörü, EF ₄	275
13.12.5 İnce Boyut Faktörü, EF ₅	276
13.12.6 Çubuklu Değirmen Küçültme Faktörü, EF ₆	276
13.12.7 Bilyalı değirmen Küçültme Faktörü, EF ₇	276
13.12.8 Çubuklu Değirmen Faktörü, EF ₈	277
13.12.9 Değirmenlerin Boyutlandırılması	277
13.12.10 Değirmenler İçin Gereken Öğütücü Miktarının Hesaplanması	279
13.12.11 Bilya Çapının Hesaplanması	280
13.12.12 Bilya Dağılımının Belirlenmesi	280
13.12.13 Bölmeli Bilyalı Değirmen Boyutlandırılması	282
14.SINIFLANDIRICILAR	285
14.1 Sınıflandırıcı Çeşitleri	285
14.2 Öğütme-Sınıflandırma Devreleri	298
14.3 Sınıflandırıcı Etkinliği	299
14.4 Devreden Yük	307
15. STOKLAMA VE PAKETLEME	309
15.1 Stoklama	309
15.2 Paketleme	311
15.3 Malzemenin Taşınması	312
15.3.1 Havayla Taşıma Sistemleri	312
15.3.2 Bantlı Taşıyıcılar	313
15.3.3 Basınçlı Havayla Taşıma	314
15.3.4 Dikey Taşıyıcılar	315
15.3.5 Vidalı Taşıyıcılar	318
15.4 Dozlama sistemleri	318
16. ÜRETİM SÜRECİ KONTROLÜ	319
16.1 Üretim Süreci Kontrolünün Gerekliliği	319
16.2 Üretim Süreci Kontrol Sistemleri	319
16.3 Üretim Süreci Kontrol Döngüleri	320
16.4 Çimento Üretim Tesislerinde Üretim Süreci Kontrolü	324
16.5 Kitleme Sistemleri	328
17.ENERJİ TÜKETİMİ	329
17.1 Hammadde Tüketimi	330
17.2 Enerji Tüketimi	332
18.EKLER	339
Ek 18.1 TS EN 197-1 Standardına Göre Çimento Sınıflandırması	339
Ek 18.2 Çimentoları Basma Dayanımı	340
Ek 18.3 Grafik kağıtları	340
Ek 18.4 Elek Serileri	341
Ek 18.5 Klinker Üretim Tesislerinde Örnek Ekipman Listesi	342
Ek 18.6 Ölçü Çevirim Çizelgeleri	343
Ek 18.7 Çimento Sektöründe Kullanılması Önerilen Bazı Sözcük Ve İfadeler	344
19. KAYNAKLAR	345
20. DİZİN	353