ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Faruk ŞAHİN

ÇİMENTO HAMMADDE VE ÜRETİM SÜRECİNDE ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN KULLANIMI

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2009

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİMENTO HAMMADDE VE ÜRETİM SÜRECİNDE ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN KULLANIMI

Faruk ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 15.05.2009 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

İmza:.....
Doç.Dr.Ahmet DAĞ
DANIŞMAN

İmza:.....
Doç.Dr.Alaettin KILIÇ
ÜYE

İmza:.....
Doç.Dr.Suphi URAL
ÜYE

İmza:.....
Doç.Dr.Ahmet Mahmut KILIÇ
ÜYE

İmza:.....
Doç.Dr.Bülent TÜTMEZ
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof.Dr.Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: MMF2008YL19

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇİMENTO HAMMADDE VE ÜRETİM SÜRECİNDE ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN KULLANIMI

Faruk ŞAHİN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç.Dr. Ahmet DAĞ
Yıl: 2009, **Sayfa**: 52
Jüri: Doç.Dr. Alaettin KILIÇ
Doç.Dr. Suphi URAL
Doç.Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Doç.Dr. Bülent TÜTMEZ
Doç.Dr. Ahmet DAĞ

Çimento üretiminde hammadde kompozisyonu ve homojenliği üretim işleminin ekonomisini ve çimentonun kullanım aşamasında kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Öte yandan yaygın kullanımı olan Portland çimentosunun 28 günlük basma dayanımının belirlenmesi de çimento kalitesi açısından önem taşır.

Son yıllarda özellikle mühendislik çalışmalarında önem kazanan esnek hesaplama tekniklerinin çimento sektöründe kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Adana Çimento hammadde sahası için kireç doygunluk faktörü dağılımı ve üretilen çimentonun 28 günlük basınç dayanımının tahmini bulanık sinir ağları yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, hammadde sahası ve fabrika ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmalar başarılı tahminlerin yapıldığını göstermiştir. Çimento Endüstrisinde esnek hesaplama teknikleri güçlü ve esnek model yapılarının sağlanmasında uygun araçlar olarak değerlendirilebilir.

Anahtar kelimeler: Esnek Hesaplama, ANFIS, Kireç Doygunluk Faktörü, 28-Gün Basınç Dayanımı

ABSTRACT
MSc. Thesis

USING OF SOFT COMPUTING TECHNIQUES IN RAW MATERIAL AND CEMENT PRODUCTION PROCESS

Faruk ŞAHİN

DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor: Assoc. Prof.Dr. Ahmet DAĞ
Year: 2009, **Page**: 52
Jury: Assoc. Prof.Dr. Alaettin KILIÇ
Assoc. Prof.Dr. Suphi URAL
Assoc. Prof.Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Assoc. Prof.Dr. Bülent TÜTMEZ
Assoc. Prof.Dr. Ahmet DAĞ

The chemical composition and the uniformity of raw materials play an important role in the process economics and on finished cement quality, in cement manufacturing. On the other hand, it is important to determine 28-day cement strength of the Portland cement which is the most common type of cement for cement quality.

In recent years, it is investigated that usage of soft computing techniques which have been popular particularly in engineering works. For this purpose, the prediction of lime saturation factor distributions of Adana Cement raw material site and 28-day compressive strength of cement product taken from Adana Cement Factory by means of fuzzy-neural network techniques has been conducted.

As a consequence, the studies showed that the predictions are successful for both the raw materials site and the factory. It could be accepted that soft computing techniques are convenient tools for obtaining robust and flexible model structures.

Key words: Soft Computing, ANFIS, Lime Saturation Factor, 28-Day Compressive Strength.

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yapılan Yüksek Lisans çalışmasına önemli katkılarından dolayı danışman hocam Doç.Dr. Ahmet Dağ'a ve Maden Mühendisliği Bölüm Öğretim Üyelerine,

Esnek hesaplama teknikleri ile ilgili araştırmalarımda tecrübelerini benimle paylaşan İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç.Dr. Bülent Tütmez'e,

Ayrıca, her türlü veriyi sağlamada desteklerini esirgemeyen Adana Çimento Sanayii T.A.Ş. Genel Müdürlüğü'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında her türlü desteğini esirgemeyen sevgili kardeşlerime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ VI
ŞEKİLLER DİZİNİ VII
EKLER DİZİNİ VIII
1. GİRİŞ 1
2. ÇİMENTO ÜRETİMİNDE ÖNEMLİ OLAN PARAMETRELER 3
2.1. Hammadde Hazırlamada Etkili Parametreler 3
2.1.1. Kireç Doygunluk Faktörü (KST). 3
2.1.2. Silika Modülü (SİM) 3
2.1.3. Alüminyum Modülü (ALM) 4
2.1.4. Magnezyum Oksit (MgO) 4
2.1.5. Alkali (Na_2O ve K_2O) Kükürt ve Klorürler 5
2.1.6. Serbest Silis 6
2.1.7. Sıvı Faz 6
2.1.8. Kızdırma Kaybı 7
2.1.9. Pişebilirlik İndeksi (PI) 8
2.1.10. Pişebilirlik Faktörü (PF) 8
2.2. Çimento Üretiminde Kalite Kontrol Parametreleri 8
3. ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ 10
3.1. Yapay Sinir Ağları (YSA) 10
3.2. Bulanık Mantık 11
3.2.1. Klasik Küme Yaklaşımı 11
3.2.2. Bulanık Kümeler 12
3.2.3. Üyelik Fonksiyonu 13
3.2.4. Bulanık Modelleme ve Aşamaları 16
3.2.5. Bulanıklaştırma 17

3.2.6. Bilgi Tabanı 18
3.2.7. Durulaştırma 19
4. MATERYAL ve METOD 20
4.1. Materyal 20
4.2. Metod 22
4.2.1. Sinirsel Bulanık Mantık Çıkarım 22
4.2.2. Uyarlamalı Ağ Esaslı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) 23
4.2.2.1. ANFIS Mimarisi 24
4.2.2.2. ANFIS İçin Geri Yayılımlı Öğrenme Algoritması 27
5. ARAŞTIRMA BULGULARI 28
5.1 Verilerin Değerlendirilmesi 28
5.1.1. Hammadde Verilerinin Değerlendirilmesi 28
5.1.2. Çimento Verilerinin Değerlendirilmesi 30
5.2. Hammadde Sahasının Modellenmesi 33
5.3. Çimento Dayanımlarının Modellenmesi 37
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 41
KAYNAKLAR 42
ÖZGEÇMİŞ 46
EKLER 47

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 2.1. Kimyasal ve Fiziksel Parametreler 9
Çizelge 3.1. Yaygın kullanımı olan mantıksal operatörler 19
Çizelge 5.1. Hammadde sahası KST parametresi istatistiksel bilgileri 29
Çizelge 5.2. Dayanım parametrelerinin istatistiksel bilgileri..... 32

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 3.1. İleri sürümlü bir sinir ağı modeli 11
Şekil 3.2. Tenor değişkeni için klasik küme gösterimi 12
Şekil 3.3. Tenor için bulanık küme gösterimi 13
Şekil 3.4. Üyelik fonksiyonunun bileşenleri 14
Şekil 3.5. Çeşitli tipte üyelik fonksiyonları 15
Şekil 3.6. Tipik bir bulanık modelin aşamaları 17
Şekil 4.1. Hammadde sahası sondaj lokasyonları 20
Şekil 4.2. Çalışma alanı yer bulduru haritası 21
Şekil 4.3. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım 24
Şekil 4.4. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarıma eşdeğer ANFIS mimarisi 25
Şekil 5.1. Hammadde sahası KST dağılım grafiği 28
Şekil 5.2. KST parametresinin Doğu doğrultusundaki değişimi 29
Şekil 5.3. KST parametresinin Kuzey doğrultusundaki değişimi 30
Şekil 5.4. Çimento 1-günlük dayanım parametresi dağılım grafiği 30
Şekil 5.5. Çimento 3-günlük dayanım parametresi dağılım grafiği 31
Şekil 5.6. Çimento 28-günlük dayanım parametresi dağılım grafiği 31
Şekil 5.7. 1-günlük ile 28 günlük dayanımlar arasındaki ilişki 32
Şekil 5.8. 3-günlük ile 28 günlük dayanımlar arasındaki ilişki 33
Şekil 5.9. Doğu parametresi için başlangıç girdi üyelik fonksiyonları 34
Şekil 5.10. Kuzey parametresi için başlangıç girdi üyelik fonksiyonları 34
Şekil 5.11. Doğu parametresi için uyarlanmış üyelik fonksiyonları 35
Şekil 5.12. Kuzey parametresi için uyarlanmış üyelik fonksiyonları 35
Şekil 5.13. KST performansı için çapraz doğrulama grafiği 36
Şekil 5.14. Hammadde sahası KST dağılım haritası 37
Şekil 5.15. 1-günlük basınç dayanımı girdi başlangıç üyelik fonksiyonları 38
Şekil 5.16. 3-günlük basınç dayanımı girdi başlangıç üyelik fonksiyonları 38
Şekil 5.17. 1-günlük basınç dayanımı uyarlanmış üyelik fonksiyonları 39
Şekil 5.18. 3-günlük basınç dayanımı uyarlanmış üyelik fonksiyonları 39
Şekil 5.19. 28 günlük dayanım performansı için çapraz doğrulama grafiği 40

EKLER DİZİNİ **SAYFA**

EK 1. Hammadde sahası sondaj bilgileri 47
EK 2. Portland çimentosu kalite kontrol parametreleri 52

1. GİRİŞ

Günümüzde çimento endüstrisi gerek üretim kapasitesi, gerek ürün kalitesi açısından önemli gelişmeler göstermektedir. Ürün kalitesi belirleme sürecinde kalite kontrol, standartlaşma ve hammadde hazırlama sektörün üretim faaliyetlerinin önemli bir parçası haline gelmiştir.

Hammadde hazırlamanın ana amacı uygun kimyasal öğelere sahip homojen bir ham karışım üretmektir. Eğer hammadde ocağının kalite oranlarının ortalama değerleri önemli farklılıklar göstermiyorsa malzemenin homojen olduğu söylenebilir. Hammadde hazırlama ve homojenleştirme sistemlerinde temel birim aşamalarının çoğunun dinamikleri tamamıyla anlaşılamadığı için yüksek kaliteli çimento üretimi için tasarım ve denetim parametrelerinin tamamıyla ortaya çıkarılması mümkün değildir. İstenilen ürün kalitesi hammaddenin ocaktan çıkarılmasından, ürünün paketlenmesi aşamasına kadar bütünsel bir denetim planının hazırlanmasıyla başarılabilir.

Çimento hammadde sahasının kalite dağılımının bilinmesi de hammadde homojenliğinin sağlanması açısından önemlidir. Hammadde sahasındaki formasyonlara ait kalite değerlerinin kestirimi hem optimum üretim planlaması ile harmanlama hem de yatırımların planlanmasında büyük olanaklar sağlayacaktır.

Portland çimento en yaygın çimento tipidir. Portland çimentos kalsiyum, alüminyum, silikon, demir ve küçük miktarda diğer malzemelerin sıkı kontrollü kimyasal karışımıdır. Portland çimentosunun üretimi, birçok işlem faktörlerinin 28-günlük basınç dayanımının proses kontrol parametresine etkisini içeren karmaşık bir prosedürdür. 28-günlük basınç dayanımına etkiyen tüm bu faktörler literatürde birçok farklı çalışmanın esas sebebi olmuştur (Zhang ve Napier-Munn, 1995; Osbaeck ve Johansen, 1989).

Standart 28-gün basınç dayanımı testi çimento özelliklerinin tanımlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Pratikte çimento endüstrisinde deneysel sonuçları elde etmek amacıyla çimento basınç dayanımı (CCS) için 28 gün beklemesi uzun bir süredir. Bundan dolayı çimento harcının kimyasal ve fiziksel parametrelerinden 28-günlük çimento dayanımını saptamak için ve dolayısıyla üretim prosesini kontrol etmek için birçok araştırma yapılmıştır (Tsivilis ve Parissakis, 1995; De Siquera

Tango, 1998; Kheder ve diğ., 2003). Bu çalışmaların bir kısmı analitik bir kısmıda istatistiksel (regresyon) araçlarla yapılmıştır.

Son yıllarda, esnek hesaplama (soft computing) araçlarını kullanarak CCS'yi saptamak için birçok çalışma yapılmıştır (Fa-Liang, 1997; Akkurt ve diğ., 2004; Baykasoglu ve diğ., 2004; Tutmez ve Dag, 2009). CCS'nin saptanmasında Yapay Sinir Ağları (ANN) ve bulanık mantık gibi matematiksel yöntemlerin kullanımının esas nedeni, uygulamanın esnekliği ve kolay oluşudur. CCS modellemesi için bulanık yöntemi öneren bir çalışma Fa-Liang (1997) tarafından yürütülmüştür. Çimento dayanımında bulanık modelleme kullanımının ana nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilen bazı faktörlere dayanmaktadır:

-Örneklemedeki belirsizlik,

-Test verisi ve laboratuar çalışmalarındaki bulanık özellikler,

-Geleneksel modellemenin dezavantajları (kayıp bilgi gibi),

-Esnek modellemenin avantajları: esneklik ve şeffaflık (Setnes ve diğ., 1998).

Son yıllarda esnek hesaplama ve yapay zeka tekniklerinde ki hızlı gelişmeler çeşitli hesaplama tekniklerinin (bulanık mantık, sinir ağları gibi) madencilikte de kestirim amaçlı uygulama alanı bulmasını sağlamıştır (Pham, 1997; Bardossy ve Fodor, 2004; Tütmez ve Tercan, 2006; Tütmez ve Dağ, 2007).

Bu çalışmada, Adana Çimento hammadde sahasına ait sondaj bilgilerinden önemli bir hammadde parametresi olan Kireç Doygunluk Faktörü (KST) ve aynı fabrikada üretilen çimentonun önemli bir parametresi olan 28-günlük Basınç Dayanımının (CCS) esnek hesaplama yöntemlerinden bulanık sinir ağları modelleme algoritması ile kestirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. ÇİMENTO ÜRETİMİNDE ÖNEMLİ PARAMETRELER

2.1. Hammadde Hazırlamada Etkili Parametreler

2.1.1 Kireç Doygunluk Faktörü (KST)

Genelde amaç, mümkün olduğu kadar yüksek C_3S içerikli bir klinker üretmektir. Bu, mevcut malzemenin toplam kompozisyonuna ve işletme koşullarına bağlı olan bir husustur. Bu potansiyel kireç doygunluk faktörü cinsinden ifade edilir.

$$KST = \frac{100CaO}{2.8SiO_2 + 1.18Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3} \quad (1)$$

Hammadde karışımının en önemli bileşeni olan CaO miktarının çok dikkatle hesaplanması önem arz etmektedir. Kireç doygunluk faktörü yüksek hammadde karışımlarında, pişmenin sağlanabilmesi için yüksek yakıt miktarı gerekir, malzeme zor pişer, serbest kireç fazla olur ve ilk günlerdeki dayanımlar yüksektir ancak fazla serbest kireç hacim genleşmelerini artırır.

Düşük kireç doygunluk faktörü olan ham karışımlarda ise pişme kolaydır, ancak C_3S fazının az, C_2S fazının çok fazla oluşmasından dolayı dayanımlar da düşük olur. Genellikle Portland çimentosu üretiminde iyi kalitede bir klinker elde etmek için kireç doygunluk faktörü (KST) 90-95 arasında tutulur (Yalnız, 2006).

2.1.2 Silika Modülü (SİM)

Bu modül, çimentodaki SiO_2 miktarının, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 toplamına oranı olup şöyle ifade edilir.

$$SIM = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (2)$$

Silika modülü, hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılıp öğütülmesinden elde edilen yarımamül ürün olan farin'in fırın içindeki durumunu ve klinker kalitesini etkilemesi açısından en önemli parametrelerden biridir. Al_2O_3 ve Fe_2O_3 aleyhine SiO_2 miktarının artması pişme güçlüğüne, daha fazla yakıt kullanımına, sinterleşmenin güç olması nedeniyle daha yüksek ısılarda pişirme gereğine neden

olur. Yüksek silika modülü, aynı zamanda fırın astarının aşınmasına da yol açtığı gibi donma başlangıcını geciktirmesi ve çimentonun dayanım kazanmasını yavaşlatması gibi istenmeyen bir takım sorunlara neden olur.

Silika modülü için ideal bir değer vermek olanaksızdır. Fakat genellikle, bu modülün 2.2-2.6 arasında bulunması uygun görülür. Gerek farinin minerolojik bileşimi, gerekse öteki kimyasal parametreler bu değerlerin her fabrikaya göre değişik olmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı en uygun silika modülünü her fabrika hammadde karakteristiklerine göre, optimum pişme koşullarına ve klinker özelliklerine göre saptamalıdır (Duda,1985).

2.1.3. Alüminyum Modülü (ALM)

Bu modül, çimentodaki aluminyum oksitin demir okside oranı olup şöyle ifade edilir.

$$\mathrm{ALM} = \frac{\mathrm{Al_2O_3}}{\mathrm{Fe_2O_3}} \tag{3}$$

Bu modülün yüksek olması halinde pişme güçleşir ve yakıt sarfiyatı fazla olur. Yüksek alüminyum içeren bir farin, çimentonun çabuk donmasına ve ilk dayanımların yüksek olmasına yol açar.

Genellikle iyi kalitede bir klinker elde etmek ve en ekonomik sinterleşmeyi sağlamak için, Alüminyum Modülünün 1.5-2.5 arasında olması istenir. Yapılan çalışmalar ve gözlemler en iyi klinkerleşmenin, en düşük ısıda en çok sıvı faz oluşumunun sağlandığı alüminyum modülünün 1.38 değerinde meydana geldiğini göstermiştir (Duda,1985).

2.1.4. Magnezyum Oksit (MgO)

MgO, sinterleşme ısısını düşürerek pişmeyi kolaylaştıran bir maddedir. MgO miktarı yüksek olan hammadde karışımları, pişme bölgesinde topaklanarak fırının çalışmasını etkilediği gibi, soğutuculardaki klinkeri çok iyi soğutma imkanı yoksa, MgO'in genleşme özelliğinden dolayı üretilen çimentonun düşük dayanımlı olmasına yol açar, MgO belli bir oranda CaO gibi davranır ve böylece çimentonun Kireç

Doygunluk faktörünü etkin bir şekilde arttırır ve kompozisyonu büyük ölçüde etkiler. Bu bileşiğin C_3S'in yapısına katı çözelti olarak Aluminyum Oksidin bir kısmı ile birlikte reaksiyona girdiği bilinmektedir. Magnezyum ve alüminyum oksit ikisi birlikte, mevcut Alite'in %5'ini oluşturabilir. Pişirme ısısında sıvı faz C_3A ve C_4AF'den oluşur, bu faza biraz silis ve kireç fazlası ile %5'e kadar MgO girebilmektedir. Klinker soğuduğu zaman MgO, C_3A ve C_4F'nin yapısına girer ve bir ölçüye kadar da C_2S'de CaO'ya ikame edebilir. %2'ye kadar MgO'nun bu şekilde bünyede kalabildiğine ve çimento ana bileşikleri arasına girebildiğine inanılmaktadır (Brown and Bye,1989).

Hidratasyon sonucu MgO iki şekilde görülür (Öney, 1999).

1- Camsı halde; klinkerin ani soğutulması sonucu oluşur.

2- Kristal halde (periklas); hidrate olarak $Mg(OH)_2$ verir ve serbest kireçte olduğu gibi şişme yaptığından dolayı bu şekli tehlikelidir.

Bu serbest MgO, hidratasyona uğramış çimento harçları ve betonun hasarına yol açar. Çünkü hidratasyonun yavaş olması nedeniyle zaten sertleşmiş olan materyalde tahrip edici genleşme kuvvetleri doğacaktır. Bu nedenle çimentoda MgO için maksimum %5 sınırı getirilmiştir (Brown and Bye, 1989).

2.1.5. Alkali (Na_2O ve K_2O) Kükürt ve Klorürler

Fırına verilen farinin ve kullanılan yakıtın gaz fazındaki reaksiyonları nedeni ile ayrışma ve buharlaşma sonucu oluşan alkali, kükürt ve klorür bileşiklerinin fırın proses sistemi ve klinker kalitesine olan etkileri çok önemlidir. Bu bileşikler fırına beslenen farinle reaksiyona girdiği veya fırının soğuk bölgelerinde, ön ısıtma sistemlerinde yoğunlaştıkları zaman bir iç sirkülasyon meydana getirirler.

Alkali ve kükürt, klinker ve baca tozlarında genellikle alkali sülfat olarak bulunurlar. Stokiometrik bir alkali fazlası bulunması durumunda baca gazlarındaki SO_2 miktarı düşük olmaktadır. Ortamda fazla miktarda kükürt varsa, atmosfere SO_2 çıkışı artacağı gibi, fırın sisteminde sülfat spurrit kemeri oluşumu da hızlanmaktadır ($2CaOSi_2CaSO_4$). Bu durumda alkalice zengin hammadde kullanılmakla klinkerde kükürt absorplaması artar ve üretim olumlu yönde etkilenir.

Az uçucu alkali sülfatların aksine, alkali klorürler daha kolay buharlaşmakta ve pek az kısmı klinkere bağlanmaktadır. Farinde klorür miktarı %0.015'i aşar ve K_2O 20 g/kg klinkeri aşarsa fırında bypass yapılması gereklidir (Öney,1999).

Çimentolarda az miktarda alkali ve alkali sülfatların bulunması 28 günlük dayanımların artmasına neden olur. Eğer toplam alkali miktarı ağırlıkça %1'den fazla ise 28 günlük dayanımlarda azalma olmaktadır.

2.1.6. Serbest Silis

Hammadde ve dolayısı ile farinde serbest silis miktarı (kuvars) yüksekse ya da farinde silis kaynağı olarak kum kullanılıyorsa, kırıcıdan başlayarak fırın sistemine kadar pek çok sorunla karşılaşılır. Bunlar (Yalnız, 2006):

a) Kırıcı aksamı çok çabuk aşınır,

b) Farin değirmeni öğütme ortamı çok çabuk aşınır ve yıpranır,

c) Farinin ince öğütülmesi gerektiğinden, değirmen sistemi buna uygun olarak dizayn edilmemişse enerji tüketimi yüksek olur,

d) Yeterince flax (genellikle demir) kullanılmadığı takdirde fırında anzast oluşmaz ve tuğlalar çabuk dökülür, çünkü serbest silisin fırın astarını aşındırıcı etkisi tuğla ömrünün azalmasına yol açmakta olup, radyasyonla fırın cidarından ısı kaybını da artırmaktadır,

e) Pişme zorluğundan dolayı yakıt tüketiminin artması, gerek fırın ağzının gerek fırın gazlarının ısılarının artmasına neden olmaktadır.

Bütün bu yukarıda sayılan faktörler, üretim maliyetini artırır. Uygun oranda demir oksidin hammaddeye katılması ile yüksek silisli hammaddenin daha kolay erimesi sağlanarak yakıt tüketimini önemli ölçüde azaltmak mümkündür.

2.1.7. Sıvı Faz

Alumina, demir, magnezya ve alkaliler gibi düşük ısıda ergiyen elementler genellikle klinkerde oluşan sıvı fazın miktarını belirlerler. Ortamda bol miktarda bu oksitler bulunuyorsa klinker bileşenlerinin oluşum reaksiyonu çok daha kolay etki eder.

Silikat ve alüminyum modülü düşük olan hammadde karışımlarında:

a) Fazla miktarlarda flax ve sıvı faz oluşur.

b) Kolay anzast tutturulur (eğer ortamdaki serbest silis miktarı çok fazla değilse)

c) Sinterleşme kolay olur.

d) Oldukça yüksek yoğunluk gösteren bir klinker meydana gelir.

Ama, eğer bu oranlar çok fazla düşük ise o kadar fazla flax meydana gelir ki klinker, klinkerleşme ısısında adeta viskoz bir görünümde olup yapışma ve topaklaşmalara yol açar (Öney, 1999).

Sıvı fazın optimum miktarında olduğu bir farinde yüzey gerilimi yüksek olduğundan malzeme kolay akar, sinterleşme ve tanecikler arası reaksiyonlar hızlanır. Böyle bir farinden elde edilen klinker eğer randımanlı bir soğutucuda süratle soğutulmuş ise çok iyi bir mikro yapıya sahip olur.

Silikat ve alüminyum oranları yüksek olan hammadde karışımlarında:

a) Sıvı faz ve flax miktarları düşüktür,

b) Kolay anzast tutmadığından fırın cidarından radyasyonla fazla miktarda ısı kaybı olur,

c) Güç sinterleşir,

d) Elde edilen klinker oldukça poroz yapıda olup öğütmesi kolaydır.

Genellikle, fırında iyi anzast tutturma, yakıttan azami tasarruf sağlama ve elde edilen klinkeri en az enerji sarfı ile öğütebilme açısından ideal bir hammadde karışımından %25 dolaylarında sıvı faz elde edilir (Öney, 1999).

2.1.8. Kızdırma Kaybı

Bu faktör, su ve CO_2'den oluşur. En basit şekliyle, su kısmen ilave edilen alçıtaşından gelen $CaSO_4$'e bağlı bulunur, kısmen de serbest kirecin bir kısmına $Ca(OH)_2$ olarak bağlanmıştır. CO_2 miktarı az olabilir, bu da serbest veya bağlı kirecin öğütme sırasında kısmi bir karbonasyonundan meydana gelir, ya da %1'e kadar bir kısım, genel ilave edilen alçıtaşında mevcut olabilecek $CaCO_3$'ten ileri gelebilir (Brown and Bye, 1989).

2.1.9. Pişebilirlik İndeksi (PI)

Klinker için pişme kolaylığını gösterir. Bu index sayısının yükselmesi klinkerin daha zor pişeceğini gösterir (Peray, 1979).

$$PI = \frac{C_3S}{C_4AF + C_3A} \quad (4)$$

2.1.10 Pişebilirlik Faktörü (PF)

Pişebilirlik faktörü fırın işletmecisi için klinkerin zor veya kolay piştiğini göstermek için kılavuz olarak kullanılır. Daha yüksek pişebilirlik faktörü güç pişen bir klinker verir (Peray, 1979).

$$PF = KST + 10\ SIM - 3\ (MgO + Alkaliler) \quad (5)$$

2.2. Çimento Üretiminde Kalite Kontrol Parametreleri

Portland çimento üretimi birçok işlem parametresi ile sıkı kontrol gerektiren karmaşık bir süreçtir. Bu parametreler Portland çimento veya ara ürünün kimyasal ve fiziksel özellikleri ile ilişkilidir. Kimyasal parametreler; trikalsiyum silikat (C_3S), dikalsiyum silikat (C_2S), trikalsiyum alüminat (C_3A), tetrakalsiyum alümina Ferit (C_4AF) fazlarınn yüzdeleri, silisyum oksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3), demir oksit (Fe_2O_3), kalsiyum karbonat (CaO), sülfat (SO_3), magnezyum oksit (MgO), alkaliler (K_2O ve Na_2O), serbest kireç yüzdesi ve kızdırma kaybı yüzdesidir. Portland çimentosunun kalitesi üzerine büyük etkileri olan kimyasal parametrelerine ilave olarak önemli fiziksel parametreler de vardır. Bunlar, özgül yüzey (Blaine), donma süresi ve basınç dayanımıdır (CCS). Kimyasal ve fiziksel parametreler Çizelge 2.1'de topluca gösterilmektedir (Can, 2004).

Çizelge 2.1. Kimyasal ve Fiziksel Parametreler

Kimyasal Parametreler		**Fiziksel Parametreler**
C_3S (%)	C_2S (%)	Özgül Yüzey (Blaine) (cm^2/g)
C_3A (%)	C_4AF (%)	İncelik (%) (32 ve 90 µm)
Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Basınç Dayanımı (MPa)
SO_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	Donma başlangıç ve bitiş süresi (dk)
CaO (%)	MgO (%)	
K_2O ve Na_2O (%)	Al_2O_3/ Fe_2O_3 (%)	
Serbest Kireç (%)	Kızdırma Kaybı (%)	
SiO_2/(Al_2O_3+ Fe_2O_3) (%)		

3. ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Son on yılı aşkın bir zamanda birçok metodolojinin birleşimi olan Esnek Hesaplama önemli bir araştırma alanı olmuştur. Esnek hesaplama kavramı akıllı sistemlerin temelini oluşturmaktadır. Gerçek dünya problemlerinin değişik alanlarında kullanılan bütün yapay zeka sistemleri, şimdiye kadar bilgisayarlarla geleneksel hesaplama teknikleri kullanılarak geliştirilmiştir. Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağları, ve Genetik Algoritmalar gibi akıllı yöntemlerin birleşimi "Esnek Hesaplama" olarak adlandırılmaktadır. Yeni bir yaklaşım olan esnek hesaplama, insan bilgi ve tecrübesi ile mantık işleyişini etkin olarak birleştirerek matematiksel modellenmesi zor olan sistemlerde daha iyi bir performans için değişen ortam koşullarına uyum göstermeyi hedefler. Geleneksel hesaplamadan farklı olarak esnek hesaplama ile insanın muhakeme, sezgi ve düşüncelerinin gerçekleştirilebilme üstünlüğü kullanılmaya çalışılmaktadır. Bunun için esnek hesaplamanın amacı; insanın karar verme modelini kullanarak başarılı, basit, gerçekleştirilebilir ve düşük maliyetli çözümlerle belirsizlikleri ortadan kaldırmaktır (Karay ve De Silva, 2004).

3.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

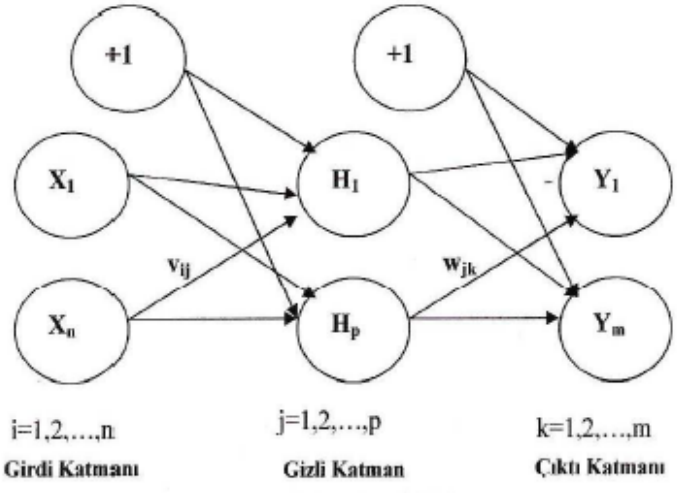
Yapay Sinir Ağı kavramı, beynin çalışma ilkelerinin sayısal bilgisayarlar üzerinde taklit edilmesi fikri ile ortaya atılmış ve ilk çalışmalar beyni oluşturan biyolojik hücrelerin ya da literatürdeki ismiyle nöronların matematiksel olarak modellenmesi üzerinde yaygınlaşmıştır. Yapay sinir ağları (YSA), veriler arasındaki bilinmeyen ve fark edilmesi güç ilişkileri ortaya çıkarabilmektedir. YSA, doğrusal olmadıkları için doğrusal modellerin uygulanamayacağı doğrusal olmayan durumlarda daha avantajlı olabilmektedir (Zang, 1998).

Yapay sinir ağları; girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymadan, herhangi bir varsayımda bulunmadan, doğrusal olmayan modellemeyi sağlayabilmektedir (Kaastra, 1996). Ağa, girdi bilgileri ve bu girdilere karşılık gelen çıktı bilgileri verilmekte ve ağın girdi-çıktı arasındaki ilişkiyi öğrenmesi sağlanmakta, böylece ağın eğitimi gerçekleştirilmektedir. Öğreticili öğrenme denilen bu yöntem genelde tercih edilen bir yöntemdir (Haykin, 1999).

Şekil 3.1'de tek gizli katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı modeli görülmektedir. Girdi katmanında n, gizli katmanda p ve çıktı katmanında m adet nöron bulunmaktadır. Her bir katmandaki nöronlar arasındaki bağlantıların ağırlıklarının düzenlenmesi ile ağın eğitimi gerçekleştirilir. Ağırlıkların düzenlenmesi işlemi aşağıda verilen hata fonksiyonunun minimize edilmesi ile sağlanmaktadır.

$$E = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{m}(y_k - t_k)^2 \tag{6}$$

Burada, y_k ağın ürettiği çıktıyı, t_k, ölçülmüş (observed) çıktı değerini göstermektedir.1/2 sabit bir katsayıdır ve fonksiyon türevini kolaylaştırmak için eklenmektedir. Geri yayılım algoritması ismini, çıktı katmanında oluşan hatayı minimize etmek için geriye doğru ağırlıkların düzenlenmesi işleminden almaktadır (Haykin, 1999: Ezel, 2006'den).



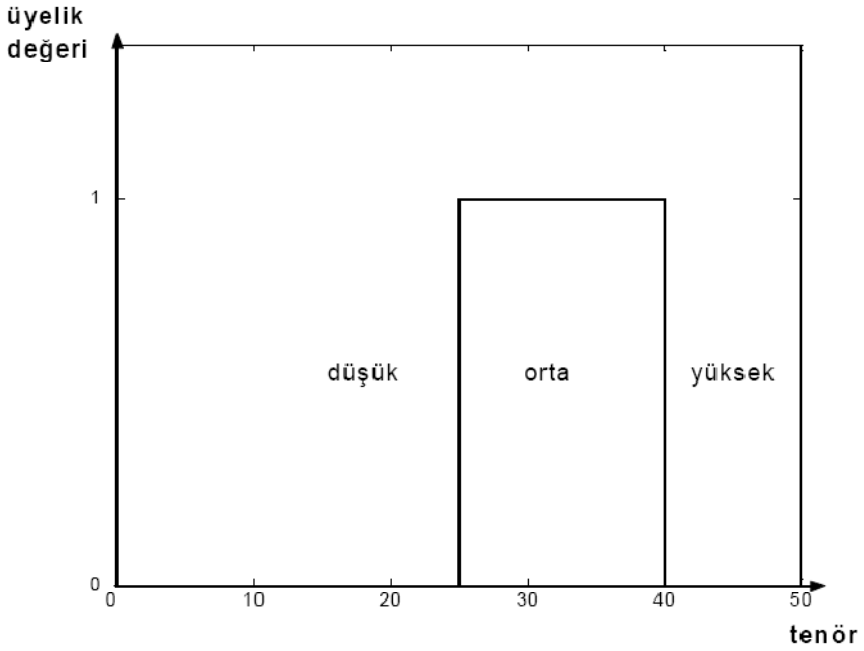
Şekil 3.1. İleri sürümlü bir sinir ağı modeli (Haykin, 1999: Ezel, 2006'den)

3.2. Bulanık Mantık

3.2.1. Klasik Küme Yaklaşımı

Klasik küme kuramı ait olma prensibi ile açıklanır. Bir eleman o kümenin ya elemanıdır veya değildir. Üyelik kesin (crisp) sınırlarla ayrılmıştır ve kısmi üyelikten söz edilemez. Klasik kümelerde esneklik yoktur. Örneğin, yüzde olarak tenör değişkeni ele alınsın ve %25'in altındaki değerler "düşük (low) tenör", %25 ile %40

arasındaki tenörler "orta (medium) düzey" ve %40'dan büyük tenörler ise "yüksek (high) tenör" sınıfında değerlendirilsin. Bu kesin sınıflamaya göre %24.9 "düşük" sınıfına dahil olurken %25 "orta düzeye" karşılık gelir. Pratikte bu kesin ayrım, önemli kayıplara neden olabilmektedir. Şekil 3.2.'de tenör değişkeni için bir klasik küme gösterimi verilmiştir. "Orta" aralığına düşen tenör, düşük ve yüksek tenörden kesin sınırlarla ayrılmaktadır.



Şekil 3.2. Tenör değişkeni için klasik küme gösterimi (Tütmez, 2005)

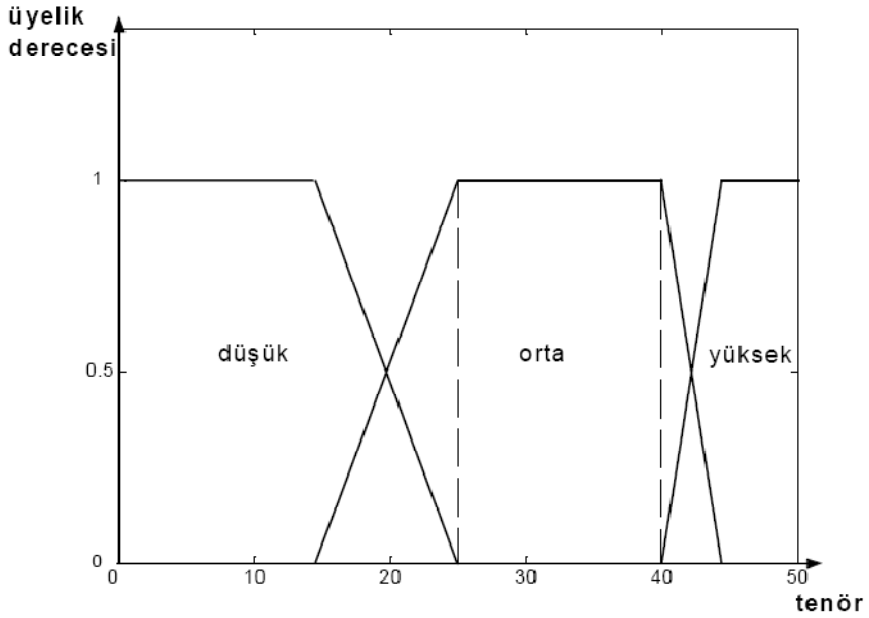
3.2.2. Bulanık Kümeler

Bulanık küme, klasik kümelerde görülen ait olma-olmama ikileminden faklı olarak belirli derecede ait olmayı esas alarak işlem yapmayı sağlar. Klasik küme kuramında kümeye ait olma durumunda 1, ait olmama durumunda ise 0 üyelik değeri atanır. Oysa bulanık kümelerde eleman, bir bölümüyle (örneğin: 0.4) kümeye ait iken bir bölümüyle (örneğin: 0.6) de kümenin dışındadır. Bulanık kümelerde, klasik kümelerdeki üyeliği tanımlayan karakteristik fonksiyon; $\mu_A:E\rightarrow\{0,1\}$, yerini üyelik fonksiyonuna; $\mu_A:E \rightarrow [0,1]$ bırakır. Şekil 3.3.'te tenör için örnek bulanık küme gösterimi verilmektedir. Orta-düşük ve orta-yüksek geçişlerinde paylaşım bölgesi söz konusu olup kesin (crisp) bir ayrım geçerli değildir.

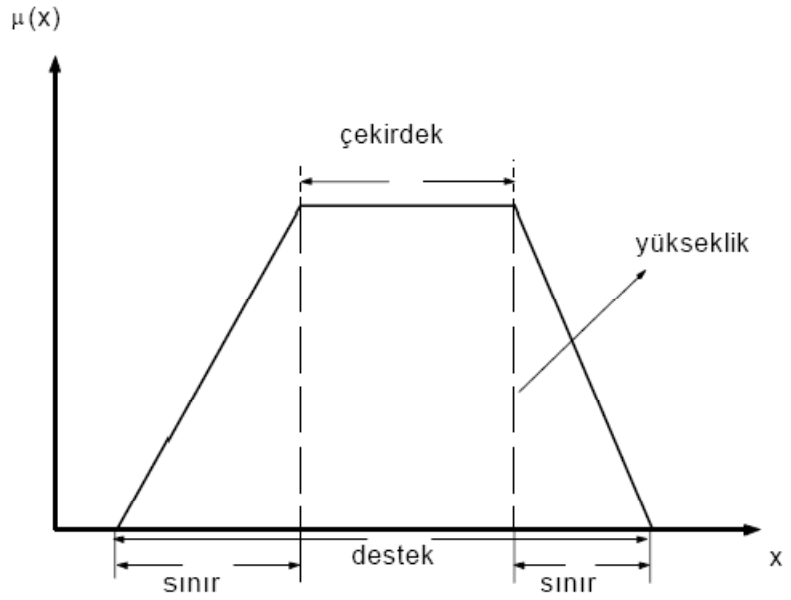
Günlük yaşamda ve mühendislik uygulamalarında; "ılık" hava, "güçlü" adam, "sert" kaya, "büyük" proje gibi dilsel ifadeler yaygın olarak kullanılır. Bu tür kavramlar, belirsizlik içeren tanımlamalardır. Bulanık kümeler kuramının özünde; belirsizlik ifade eden tanımlanması güç veya anlamı zor kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik getirmek vardır. Tenör değişkenini tanımlarken verilen örnekte (Şekil 3.3) kullanılan "düşük", "orta" ve "yüksek" gibi tanımlamalar da birer dilsel ifadedir.

3.2.3. Üyelik Fonksiyonu

Üyelik fonksiyonu, verilerin kümeye aitlik derecesini tanımlayan bir eğridir. Fonksiyonun genel yapısında; yatay eksen veri değerlerini gösterirken, düşey eksende üyelikler yer alır. Ele alınan x verisinin üyelik değeri $\mu_A(x) \in [0,1]$, olup $A=\{(\mu_A(x),x)\}$ biçiminde gösterilir. Şekil 3.4'te verilen çekirdek (core), destek (support), yükseklik (height) ve sınır (boundary) bir üyelik fonksiyonunda yer alan tipik elemanlardır.

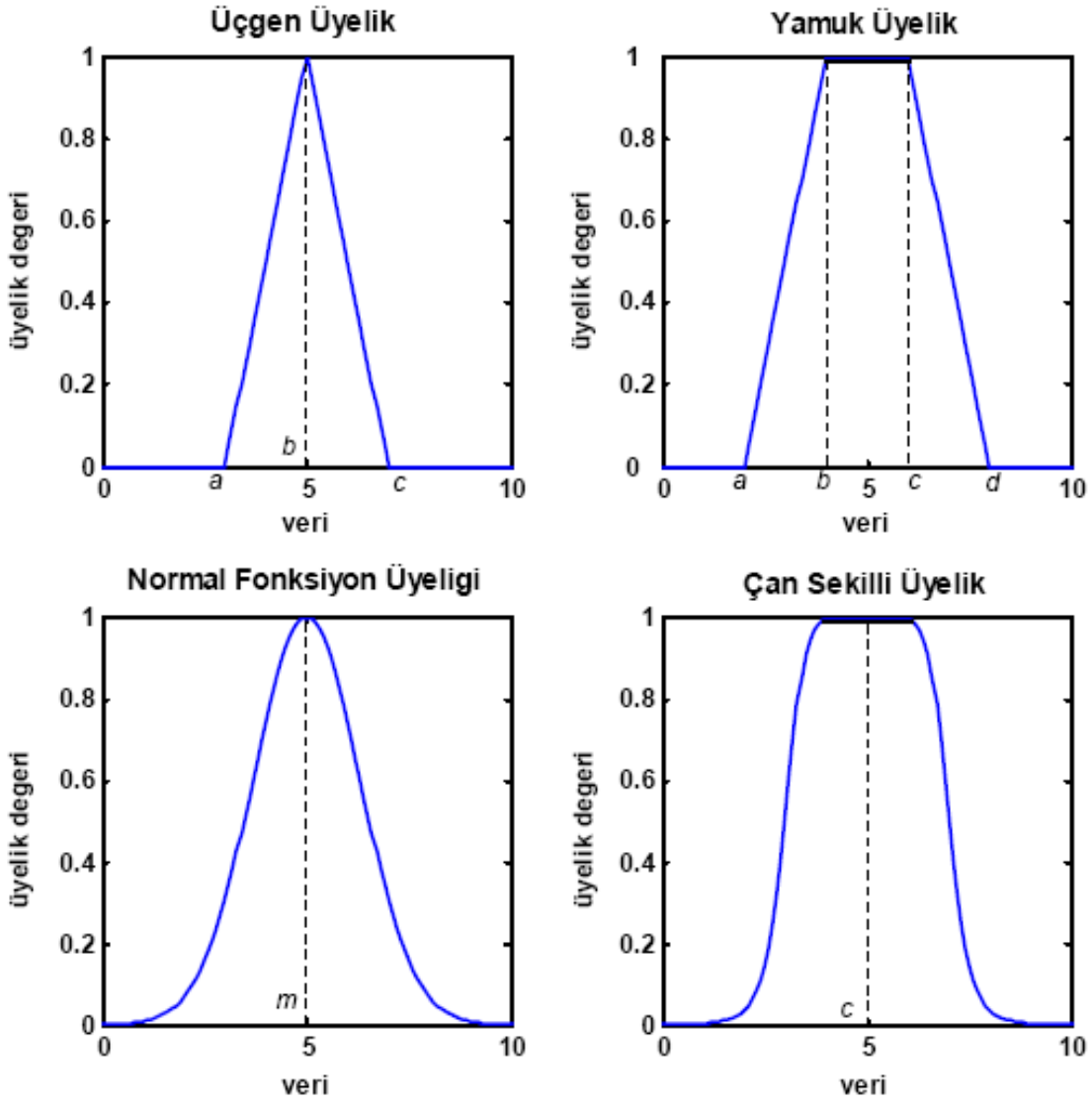


Şekil 3.3. Tenör için bulanık küme gösterimi (Tutmez, 2005).



Şekil 3.4. Üyelik fonksiyonunun bileşenleri

Literatürde birçok üyelik fonksiyonu bulunmasına rağmen uygulamada yaygın olarak 4 tip fonksiyondan yararlanılmaktadır. Bunlar; üçgen (triangular), yamuk (trapezoid), normal dağılım (Gaussian) ve çan şekilli (bell-shaped) fonksiyonlarıdır (Şekil 3.5). Ayrıca, sigmoidal ve S-tipi üyelik fonksiyonları da kullanım amacına bağlı olarak sınırlı oranda kullanılabilmektedir.



Şekil 3.5. Çeşitli tipte üyelik fonksiyonları (Tutmez, 2005)

Üçgen üyelik fonksiyonları, sadece bir maksimumu olan problem yapılarında basitliği nedeniyle tercih edilmektedir. Tipik bir üçgensel üyelik; a, b, c olarak gösterilen üç parametre ile tanımlanır. (7) eşitliği fonksiyonun aldığı değerleri göstermektedir.

$$\mu_A(x;a,b,c)=\begin{cases}(x-a)(b-a), & a\le x\le b\\ (c-x)/(c-b), & b\le x\le c\\ 0, & x\prec a\ yada\quad x\succ c\end{cases} \tag{7}$$

Üçgen üyelik fonksiyonlarının özel bir biçimi olarak tanımlanabilecek olan yamuk üyelik fonksiyonlarında, maksimum üyelik belirli bir nokta yerine bir aralıkla tanımlanır. Bu fonksiyonların matematiksel gösterimi aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\mu_A(x;a,b,c,d)=\begin{cases}(x-a)/(b-a), & a\le x\le b\\ 1 & b\le x\le c\\ (d-x)/(d-c), & c\le x\le d\\ 0 & x\prec a\ yada\quad x\succ d\end{cases} \tag{8}$$

Normal dağılım tipindeki üyelik fonksiyonlarının belirli etki genişliğinde, eğrisel olarak değişim gösteren ifadelerde kullanılabilmektedir (Yager ve Filev, 1994). Bu fonksiyonlarda kullanılan iki temel parametre m (fonksiyonun merkezi) ve σ (fonksiyonun genişliği)'dır. σ değiştirilerek fonksiyonun biçimi ayarlanabilmektedir.

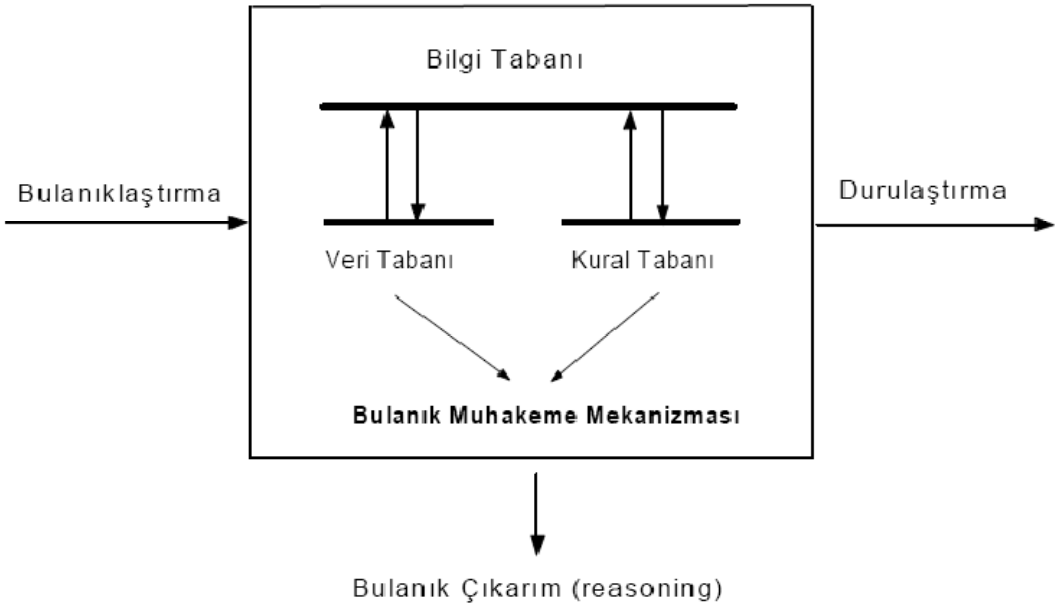
3.2.4. Bulanık Modelleme ve Aşamaları

Formüller ve denklemler sistemleri tanımlamada, yaygın olarak kullanılan araçlardır. Sistemlerin matematiksel formüller yardımıyla ifadesi matematik modellemeyi gerekli kılar. Ancak bazı sistemlerin yapısı matematik modellemeye elverişli değildir. Karmaşık yapı, doğrusal olmama ve belirsizlik gibi özellikler yaklaşık sonuç almayı gerekli kılmaktadır. Üyelik fonksiyonları ve kural sistemi kullanılarak karmaşık sistemlerin yaklaşık olarak tanımlanmasında "bulanık sistem modelleme" en etkin araçlardan biridir (Babuska, 1998).

Değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemede kurallar önemli araçlardır. Bulanık modellerin kapalı kutu modellerden (örneğin sinir ağları, genetik algoritmalar) en önemli farkı; sistem tanımlamayı basitleştirmesi ve saydam analizler yapılmasına olanak tanımasıdır (Setnes ve diğ., 1998a). Geleneksel bulanık modellemede uzman görüşü kullanılarak, dilsel ifadeler yardımıyla çözüm aranırken, son yıllarda veriye bağlı modellerde artış gözlenmektedir. En genel bulanık modelleme teknikleri şunlardır (Piegat, 2001):

- Mamdani (linguistik) model (Zadeh,1973; Mamdani,1977)
- Takagi-Sugeno Model (Takagi ve Sugeno, 1985)

Genel bir bulanık model; bulanıklaştırma aşaması, kural temelli sonuç çıkarım mekanizması (reasoning mechanism) ve durulaştırma aşamalarından oluşmaktadır. Babuska (1998), tarafından ifade edilen sistem akış süreci Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6. Tipik bir bulanık modelin aşamaları

3.2.5. Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, sayısal verilerin ve dilsel ifadelerin bulanık üyelik fonksiyonları olarak ifade edilmesidir. Bulanıklaştırma, tanımlanacak sisteme uygun seçilecek üyelik fonksiyonları yardımıyla yapılabileceği gibi, kümeleme yardımıyla da yapılabilir. Bulanıklaştırma aşamasından sonra, sonuç çıkarma aşamasına geçilir. Bu aşamada, oluşturulan kurallar, bulanık operatörler yardımıyla değerlendirilerek sistem çıktıları elde edilir. Sistem çıktılarının yeniden sayısallaştırılması gerektiğinde, bu işlem için durulaştırma gerçekleştirilir ve model sonuçlandırılır (Tütmez, 2005).

Bulanıklaştırma için kullanılan yöntemlerden bir diğeri olan bulanık kümeleme ise, veriye bağımlı analizlerde kullanılmaktadır (Sugeno ve Yasukawa,

1993). Kümelemede kullanılan üyelik matrisi, her verinin kümelere ait olma derecelerini birer üyelik değeriyle ifade etmeye yarar. Üyelik matrisi, verileri sınıflandırmaya ek olarak bulanıklaştırma işlemini doğrudan yapan bir araçtır (Bezdek, 1981).

Bu yöntemlere ek olarak, sinir ağları ve genetik yordamlar yardımıyla da fonksiyon seçimi yapılmakta ve bulanıklaştırma gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler temel olarak, girdi ve çıktılar arasındaki ilişkilerin optimizasyonuna dayanır.

3.2.6. Bilgi Tabanı

Bilgi tabanı, karar verme biriminin kural tabanının da kullandığı bilgileri aldığı veri tabanı(data base) ve denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kurallarının bulunduğu kural tabanı (rule base) olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Genel olarak da uygulama döneminde ki bilgilerden ve denetim amaçlarından oluşur. Dilsel denetim kurallarının tanımlanmasında ve bulanık mantık denetimdeki bulanık bilgi işleme süresince yararlanılır. Kurallar kümesi denetim amaçlarını ve denetim stratejisini belirler.

Denetimi yapılan sistemle ilgili, bulanıklaştırma, bulanık çıkarım, durulama işlemleri sırasında gerek duyulan üyelik işlevi ve kural tablosu bilgileri veri tabanından kullanıma sunulmaktadır.

Girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır. A ve B girişler C ise çıkış değişkeni olan bir sistem için,

EĞER $A=x$ ve $B=y$ ise O HALDE $C=z$,

şeklindeki bir kural A ve B'nin aldığı değerlere göre C çıkışının bulanık değerini belirlemektedir. Uzman sistemlerde kullanılan eğer-ise (if-then) mantıksal ilişkisi bulanık kuralların omurgasını oluşturur. Kurallar, girdi-çıktı ilişkisini mantıksal olarak kurarak sistemi kontrol etmeyi sağlarlar. Kural sistemi; öncül (antecedent) ve sonuç (consequent) kısımlarından oluşur. Çok sayıda girdinin ($x_1,x_2,...,x_n$) ve tek çıktının (y) olduğu (multiple input, single output: MISO) bir sistemde kural mekanizması (9)'daki gibidir.

$$
\begin{array}{llllll}
\text{"Eğer} & (x_1 = X_{11}) & ve.....ve & (x_n = X_{1n}) & İse & (y = Y_1)\text{"} \\
\text{"Eğer} & (x_1 = X_{21}) & ve.....ve & (x_n = X_{2n}) & İse & (y = Y_2)\text{"} \\
..... & ..... & ..... & ..... & ..... & ..... \\
\text{"Eğer} & (x_1 = X_{N1}) & ve.....ve & (x_n = X_{Nn}) & İse & (y = Y_N)\text{"}
\end{array}
\tag{9}
$$

Bu sistemde; *x, X* uzayında $\mu_x(x)$ üyeliğine sahiptir. Bir başka ifade ile *X, x* değişkeninin dilsel değeridir. Kural sayısı arttıkça, incelenen verinin etkin olduğu kurallarda değerlendirip nihai üyelik derecesinin elde edilmesi gerekir. Bu işlem için mantıksal operatörler kullanılır (Çizelge 3.1.). Operatörler, kuralların birleştirilerek değerlendirilmesinde ve sonuç üzerinde etkili olan araçlardır (Yager ve Filev, 1994).

Çizelge 3.1. Yaygın kullanımı olan mantıksal operatörler

VE (AND)	$: A \wedge B = min(\mu_A, \mu_B)$
VEYA (OR)	$: A \vee B = max(\mu_A, \mu_B)$
ÇARPIM (PRODUCT)	$: A*B = (\mu_A * \mu_B)$

3.2.7. Durulaştırma

Durulaştırma, bulanıklaştırılmış verinin yeniden sayısallaştırılmasıdır. Durulaştırma işlemi bir çeşit enterpolasyon yöntemi olduğundan, yaklaşık çözümü ve büyük miktarda düzgünleştirmeyi (smoothing) gerekli kılar. En az 7 adet durulaştırma yöntemi mevcut olup en genel 4 yöntem şunlardır (Hellendoorn ve Thomas, 1993):

-Maksimum üyelik yöntemi,

-Ağırlı merkezi yöntemi,

-Ağırlık ortalaması yöntemi,

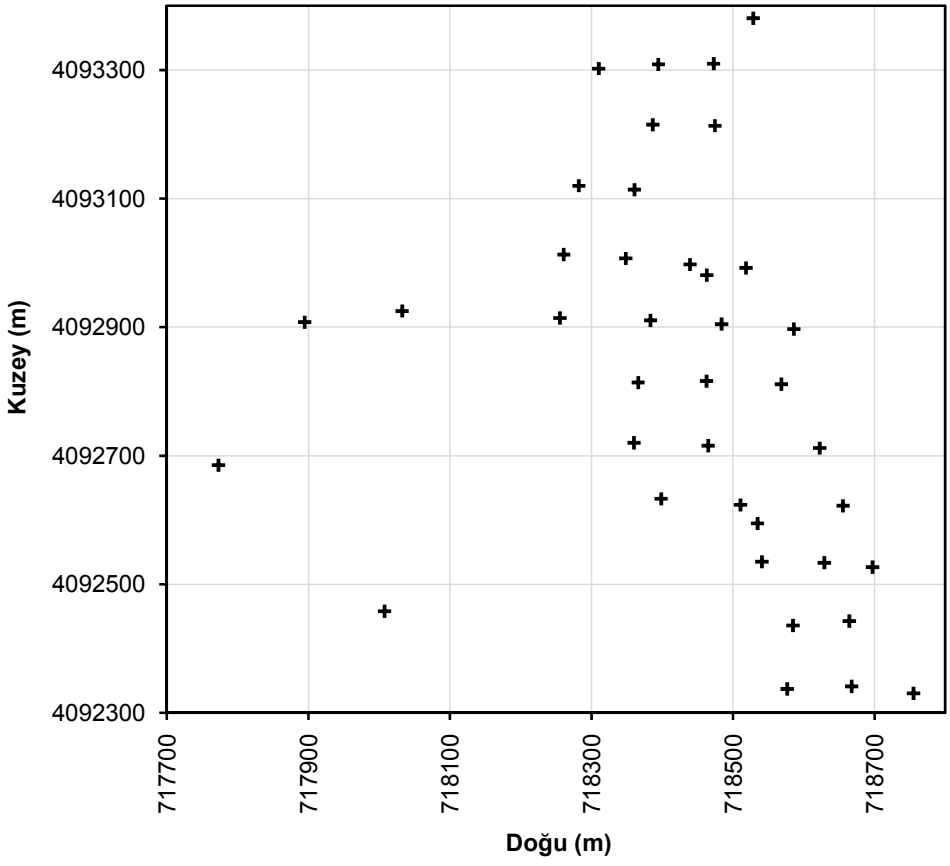
-Ortalama-Maksimum üyelik yöntemi.

4. MATERYAL ve METOD

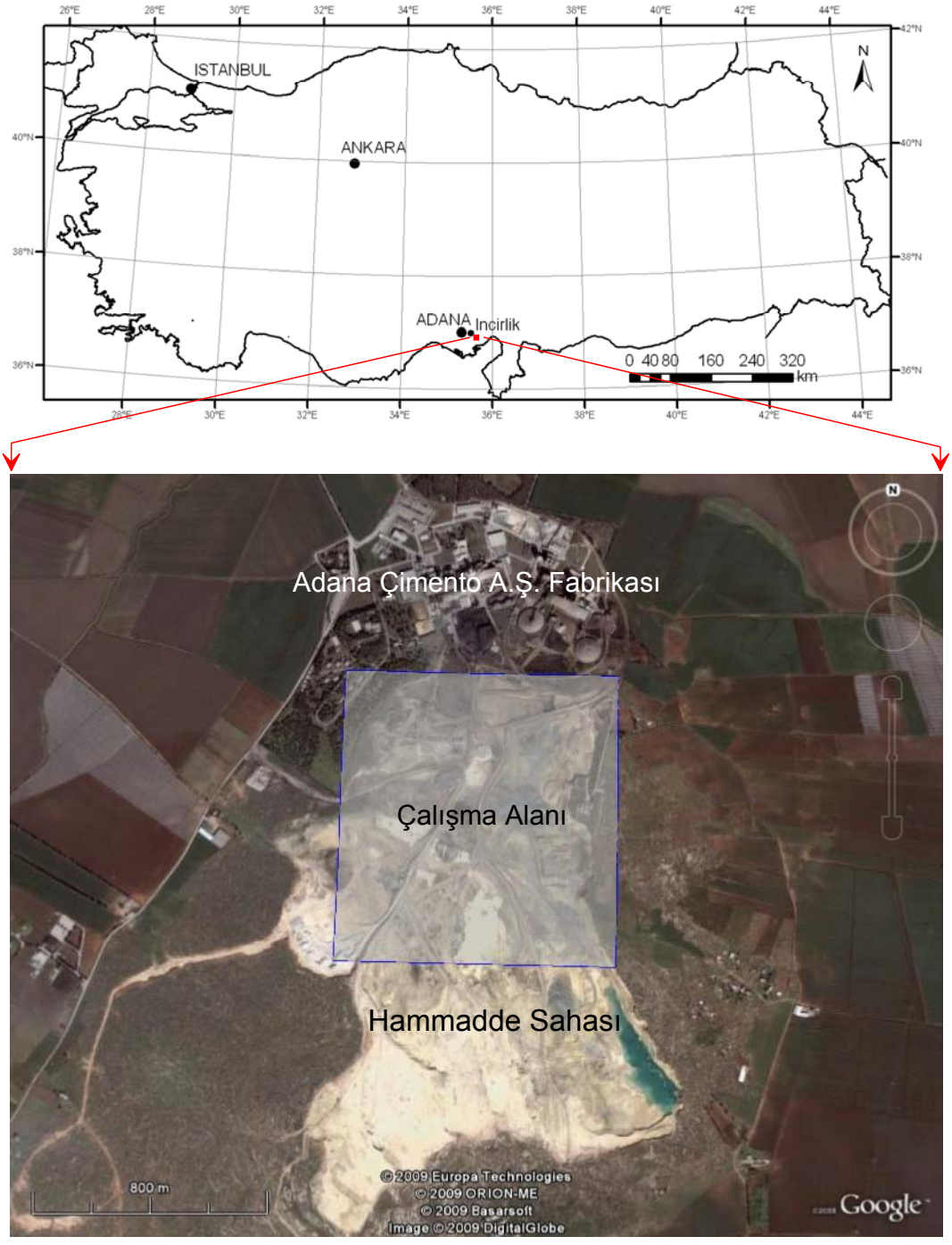
4.1. Materyal

Çimento hammadde sahası kalite dağılımının belirlenmesi için Adana Çimento Sanayii T.A.Ş' ye ait hammadde sahasının sondaj bilgileri kullanılmıştır (Gürgen, 2004) (Şekil 4.1, EK 1). Çimentonun 28-günlük basınç dayanımının kestirimi için yine aynı çimento fabrikasında kalite kontrol birimi tarafından yapılan çimento kalite kontrol parametreleri kullanılmıştır (EK 2).

Adana Çimento Sanayii T.A.Ş'ye ait fabrika ve hammadde ocak sahası Adana-Ceyhan Karayolu 12. km İncirlik mevkiinde olup, klinker üretim ünitesiyle aynı saha içerisinde yer almaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Hammadde sahası sondaj lokasyonları



Şekil 4.2. Çalışma alanı yer bulduru haritası

4.2. Metod

Bulanık Sinir Ağları yaklaşımı, yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneği, en uygunu bulma ve bağlantı yapılar gibi, özellikleriyle bulanık mantığın insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama kolaylığı gibi üstünlüklerinin birleştirilmesi temeline dayanmaktadır. Bu yolla, bulanık denetim sistemlerine, sinir ağlarının öğrenme ve hesaplama gücü verilebilirken, sinir ağlarına da bulanık denetimin insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama yeteneği kazandırılmaktadır.

Bulanık Sinir Ağlarının asıl amacı, sinirsel bulanık denetim sistemlerinin yapısını, değişkenlerini ayarlamak için sinir ağları öğrenme tekniklerini uygulamaktır. Bulanık mantık denetleyicilerde yapısal ve değişken ayarlama olmak üzere iki önemli ayarlama gerekir (Elmas, 2003).

Modern sinirsel bulanık sistemler genellikle ileri beslemeli çok katmanlıdırlar. Son yıllarda bir çok araştırmacı tarafından yoğun olarak ANFIS, FALCON, RuleNet, GARIC, NEFCLASS, NEFCON, NEFPROX, diye adlandırılan sinirsel bulanık sistemler kullanılmaktadır

Hammadde sahası Kireç Doygunluk Faktörü dağılımının ve 28-günlük çimento basma dayanımının modellenmesinde son yıllarda yoğun olarak kullanılan ve güçlü bir sistem olan ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) sinirsel bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır.

4.2.1. Sinirsel Bulanık Mantık Çıkarım

Sinirsel bulanık denetleyiciler kullanılan bulanık çıkarım yöntemlerine göre üçe ayrılabilir:

1. Tip: Bu tip en çok bilinen R_1 EĞER $x=A1$ ve $y=B1$ ise O HALDE $z=C1$ yapısındaki kurallar kullanılır. Üyelik işlevleri çan eğrisi, testere dişli veya üçgen şeklinde olabilir. Her bir kuralın tepkisi tetikleme kuvveti ile çıkış üyelik işlevinin etkisidir ve yaklaşık çıkışın üretilmesi için tepkilerin merkezi hesaplanır.

2. Tip: Bu tipte S-tip işlev gibi monoton yükselen üyelik işlevleri kullanılır. Her bir kuralın tepkisi tetikleme kuvvetinin çıkış üyelik işlevine ayarlanması olarak tanımlanabilir.

3. Tip: Bu tip TSK (Takagi-Sugeno-Kant) bulanık kuralları olarak bilinen R_1:EĞER $x=A_1$ ve $y=B_1$ ise O HALDE $z=f_i(x,...,y)$ yapısındaki kurallar kullanılır. Tepkiler, sonuç çıkışı hesaplamak için ağırlıkları ve toplamları alınarak tetikleme kuvvetlerine ayarlanır.

4.2.2. Uyarlamalı Ağ Esaslı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

Bulanık çıkarım sistemleri ve çok katmanlı yöntemler uyarlamalı ağların genel hesaplama çalışmalarının örnekleridir. Her iki örnekte uyarlamalı ağın geriye yayılma öğrenme yeteneğini almıştır. ANFIS uyarlamalı ağların, işlevsel olarak bulanık çıkarım sistemine eşdeğer olan bir sınıfıdır. Açık olarak bulanık çıkarım sistemi anlamına gelen ANFIS ismi Adaptive Network based Fuzzy Inference System olan özgün adının baş harflerinden oluşmuştur. Bazı kaynaklarda ise ANFIS, TSK bulanık kuralları ile sinirsel bulanık denetleyici olarak geçmektedir. TSK ise Sugeno bulanık modeli veya Takagi, Sugeno, Kang bulanık mantık modeli anlamında kullanılmaktadır. Aynı şekilde karma sinir ağları olarak da bilinmektedir.

Aslında bulanık çıkarım sistemi çok katmanlı yöntemlere göre daha kuvvetlidir. Örnek olarak ANFIS denetleyicilerin bazı önemli özellikleri tanımlanabilir.

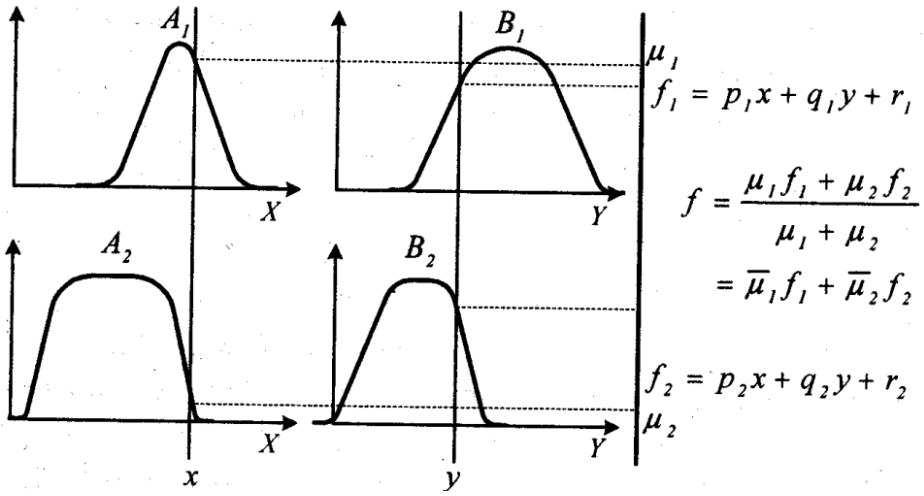
1. Öğrenme yeteneği,
2. Paralel işlem,
3. Yapılandırımış bilgi temsili,
4. Diğer denetim tasarım yöntemleri ile bütünleşme

Çok katmanlı yöntemler 1. ve 2. özelliklere sahiptir ama 3. ve 4. özelliklere sahip değildir.

ANFIS'in yapısındaki bulanık çıkarım sisteminin mimarisinin kolaylıkla anlaşılabilmesi için x ve y olmak üzere iki girişi ve f gibi bir çıkışı olduğu kabul edilirse, Birinci Derece Sugeno bulanık modeli için iki bulanık 'EĞER-O HALDE' kuralı (10) eşitliğindeki gibi olur.

Kural 1: EĞER $x=A_1$ ve $y=B_1$ ise O HALDE $f_1=p_1x+q_1y+r_1$
Kural 2: EĞER $x=A_2$ ve $y=B_2$ ise O HALDE $f_2=p_2x+q_2y+r_2$ (10)

Eşitlikleri i=1,2 için, x ve y giriş değişikliklerini, f_j çıkış değişkenini, A_i ve B_i bulanık kümleri $p_i,q_i,r_i \in R_i$ olmak üzere sonuç değişkenleridir. Şekil 4.3'te iki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım yöntemi verilmiştir.



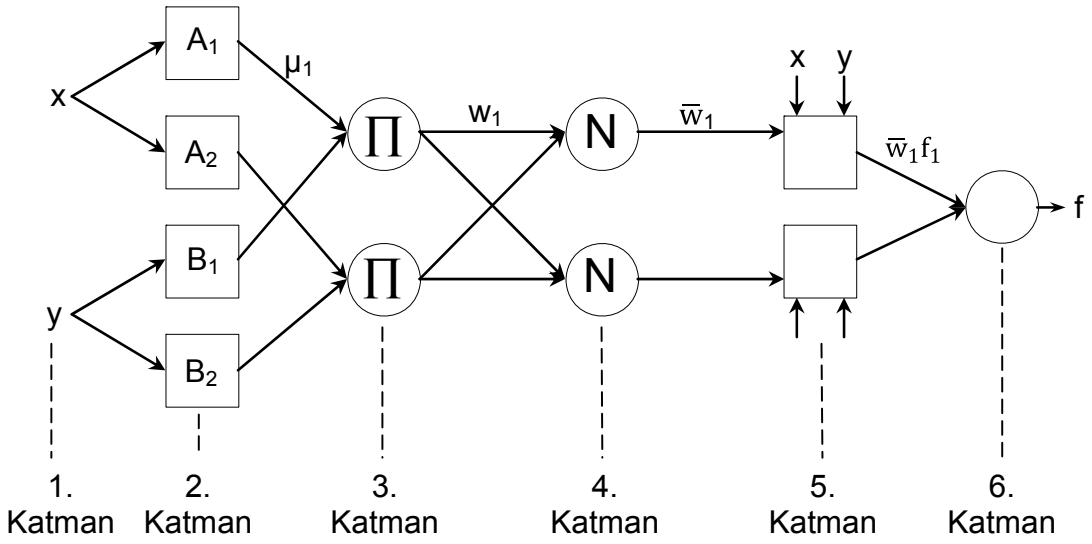
Şekil 4.3. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım (Takagi and Sugeno, 1985)

4.2.2.1. ANFIS Mimarisi

Şekil 4.4'de iki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım yöntemine eşdeğer olan ANFIS mimarisi görülmektedir. ANFIS mimarisi içerisindeki, her katmana ait bağlantı işlevleri ve katmanların işlevleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

1. Katman: bu kademedeki her bağlantı giriş sinyallerinin diğer katmanlara aktarıldığı giriş bağlantılarıdır. Bu bağlantıda herhangi bir toplam ya da etkinlik işlevi kullanılmamaktadır.

2. Katman: bu katmandaki her bir bağlantı A_i ve B_i gibi bir bulanık kümeyi ifade eder. Bu katmandaki bağlantıların çıkışı giriş örneklerine ve kullanılan üyelik işlevine bağlı olan üyelik dereceleridir. Bu bağlantılardan elde edilen üyelik dereceleri veya bağlantı çıkışları (11) eşitliğindeki gibidir.



Şekil 4.4. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarıma eşdeğer ANFIS mimarisi (Tutmez, ve diğerleri, 2006)

$$o_i^2 = \mu_A(x)$$
$$i=1,2\ldots\ldots n \qquad (11)$$
$$o_{i+2}^2 = \mu_B(y)$$

(12) eşitliğinde görüldüğü gibi iki farklı bağlantı çıkışı yazılmıştır. Bunun nedeni ağın x ve y gibi iki faklı girişe sahip olmasıdır. Bu katmanda her iki giriş için toplam 4 bağlantı vardır. Her bağlantıda üyelik işlevi olarak en çoğu 1 ve en azı 0 olan çan eğrisi üyelik işlevleri kullanılır ve sonuç işlevi (13) eşitliğinde verilmiştir.

$$\mu_{Ai}(x) = \frac{1}{1+\left|\frac{x-m_i}{\sigma_i}\right|^2} \qquad (12)$$

$$\mu_{Ai}(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-m_i}{\sigma_i}\right)^2\right] \qquad (13)$$

Burada m_i ve σ_i çan eğrisi şekilli üyelik işlevinin sırasıyla orta noktasını ve standart sapmasını gösterir. Bu değişkenler ağ eğitilirken ayarlanır.

3. Katman: Bu katmandaki her bağlantı, Π ile etiketlenmiştir ve giren tüm işaretlerin çarpımını gösterir. Bağlantı çıkışı (14) eşitliğindeki gibi ifade edilebilir.

$$o_i^3 = \mu_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y) \qquad i = 1,2,.....n \tag{14}$$

Her bir bağlantının çıkışı bir kuralın tetikleme seviyesini temsil eder genelleştirilmiş bulanık VE'yi yerine getiren t-norm operatörlerden herhangi biri, bu katmandaki bağlantılar için bağlantı işlevi olarak kullanılabilir.

4. Katman: Bu katmandaki her bağlantı N ile etiketlenmiştir ve bir kuralın normalleştirilmiş tetikleme seviyesi hesaplanır. Bu (15) eşitliğinde görüldüğü gibi *i*. bağlantı için, *i*. kurala ait tetikleme kuvvetinin tüm kuralların tetikleme kuvvetlerinin toplamına oranını bulur. Yani i. kurala ait tetikleme kuvveti normalize edilir.

$$o_i^4 = \overline{\mu_i} = \frac{\mu_i}{\mu_{1+}\mu_2}, \qquad i = 1,2.....n \tag{15}$$

5. Katman: Bu katmandaki her *i* bağlantı, bağlantı işlevi ile uyarlamalı bir bağlantıdır. Her *i* bağlantı sonuç ağırlıkları değerlerini hesaplar. Bağlantı çıkış işlevi (16) eşitliğindeki gibi yazılabilir.

$$o_i^5 = \overline{\mu}_i f_i = \overline{\mu}_i (p_i x + q_i y + r_i) \tag{16}$$

Burada μ_i 4. Katmanın çıkışıdır ve normalleştirilmiş tetikleme seviyesidir ve (p_i, q_i, r_i) ayarlanabilmesi için gerekli olan, ayar değişken kümesidir. Bu katmandaki değişkenler sonuç değişkenlere karşılık gelir.

6. Katman: Bu katmanda sadece bir bağlantı vardır ve Σ ile etiketlenmiştir. Burada, 5. Katman çıkışından alınan sinyaller toplanır ve elde edilen sonuç sistemin gerçek çıkışı *f* değerini verir. Ağın gerçek çıkışı (17) eşitliğinde verilmiştir.

$$o^6 = f = \sum_i \overline{\mu_i} f_i = \frac{\sum_i \mu_i f_i}{\sum_i \mu_i} \tag{17}$$

Böylece Sugeno bulanık çıkarım modeline işlevsel olarak eşdeğer olan, örnek ANFIS yapısı tanımlanmıştır. Ağın yapısı tamamen sabit değildir. Ağın oluşturulması ve bağlantı işlevlerinin görevlerine göre ayrılması, her katmandaki her bir bağlantının sağladıklarına ve modüler işlevselliğine göre keyfi olark seçilebilir.

Bütün sonuç değişkenler bir vektör olarak $(p_1,q_1,r_1,p_2,q_2,r_2)^T$ şeklinde düzenlenir ve (18) eşitliğindeki eşitlik ile gösterilebilir.

$$f = \left[\bar{\mu}_1 \quad \bar{\mu}_1 x \quad \bar{\mu}_1 y \quad \bar{\mu}_2 \quad \bar{\mu}_2 x \quad \bar{\mu}_2 y\right] \begin{bmatrix} r_1 \\ p_1 \\ q_1 \\ r_2 \\ p_2 \\ q_2 \end{bmatrix} \tag{18}$$

Sonuç ve üyelik işlevlerine ait değişkenlerin ayarlanmasında geri yayılımlı öğrenme algoritması kullanılabilir. Şekil 4.4'te verilen ANFIS için gerekli eğitim algoritması aşağıda verilmiştir.

4.2.2.2. ANFIS İçin Geri Yayılımlı Öğrenme Algoritması

Uyarlanmış parametrelerin optimizasyonu sistemin performansı için çok önemlidir. Özellikle, 1. katmandaki öncül parametrelerinin ve 4. Katmandaki nihai parametrelerinin belirlenmesi gerekir. 1. Katman parametreleri öncül üyelik fonksiyonunun yayılımını ve merkezini tanımlar. $\{p_i,q_i,r_i\}$ seti ile tanımlanmış 4. katman parametreleri ise (19) eşitliğindeki nihai katsayılarını tanımlar.

Jang (1993) bir ANFIS sisteminin parametrelerini belirlemek için geri yayılımlı bir öğrenme algoritması önermiştir. Ağ parametrelerinin optimizasyonu için geri yayılımlı öğrenme algoritması eğim düşüm (gradient descent) ve en küçük kareler (least square) tekniklerini kullanır. Önerilen bu yaklaşımda, sistemin çıktıları (*f*) aşağıda yazıldığı gibidir.

$$\begin{aligned} f &= \frac{\mu_1}{\mu_1+\mu_2} f_1 + \frac{\mu_2}{\mu_1+\mu_2} f_2 = \bar{\mu}_1 f_1 + \bar{\mu}_2 f_2 \\ &= (\bar{\mu}_1 x)p_1 + (\bar{\mu}_2 y)q_1 + (\bar{\mu}_1)r_1 + (\bar{\mu}_2 x)p_2 + (\bar{\mu}_2 y)q_2 + (\bar{\mu}_2)r_2 \end{aligned} \tag{19}$$

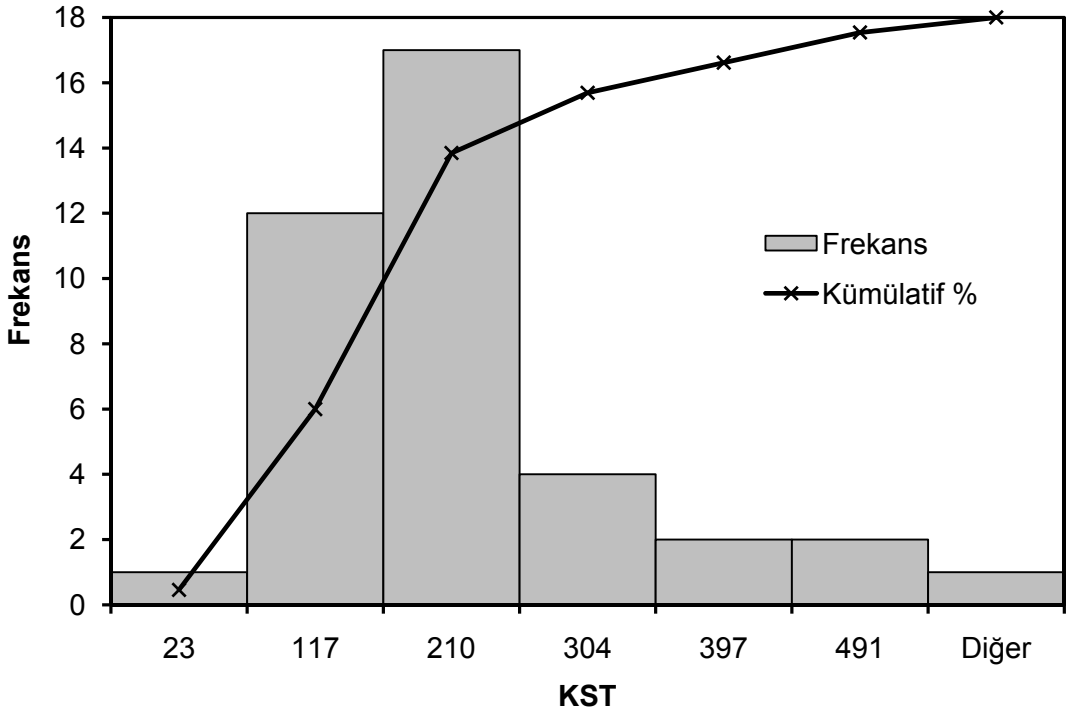
5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Verilerin Değerlendirilmesi

5.1.1. Hammadde Verilerinin Değerlendirilmesi

Hammadde sahasının dağılımının modellenmesi için gerekli olan Kireç Doygunluk Faktörü (KST) verileri, daha önce sahada yapılmış olan EK 1'de verilen 39 adet sondaja ait bilgilerinden elde edilmiştir. Sondajların kestiği formasyonlara ait kimyasal analizlerden her bir sondaj lokasyonuna ait KST değerleri ağırlıklı ortalamaları alınarak belirlenmiştir. Bu şekilde elde edilen hammadde sahasına ait KST kalite parametresi dağılımları Şekil 5.1'de, tanımlayıcı istatistiki bilgileri ise Çizelge 5.1'de belirtilmiştir.

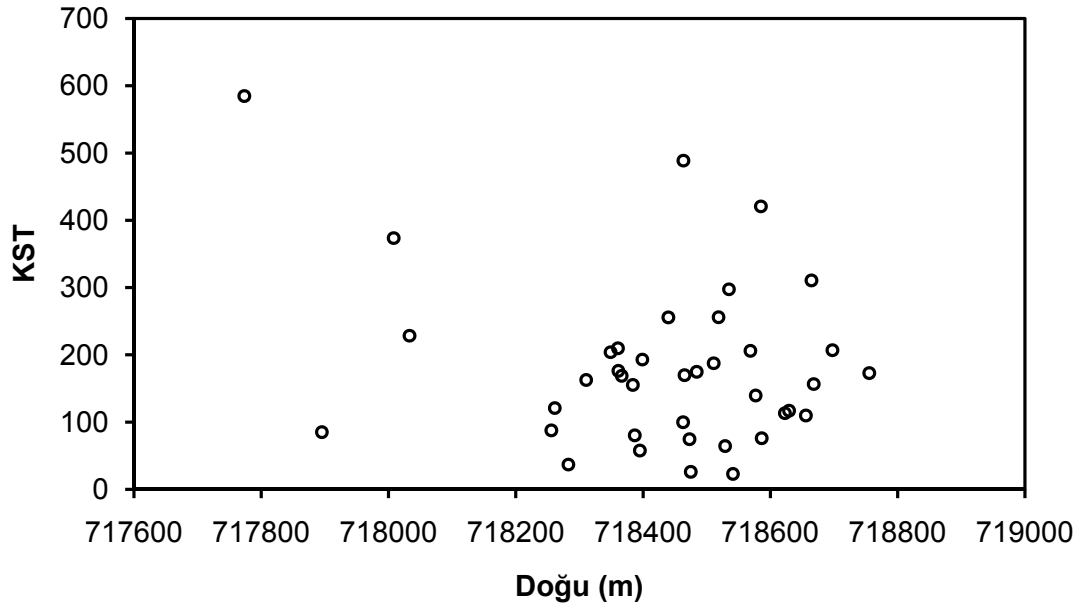
KST parametresinin arazide Doğu ve Kuzey yönlerinde nasıl bir değişim gösterdiğini görmek için her bir doğrultudaki dağılımlara ve ilişkilere bakılmıştır (Şekil 5.2-3). Bu ilişkilerden de görüldüğü gibi iki yönde de anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir.



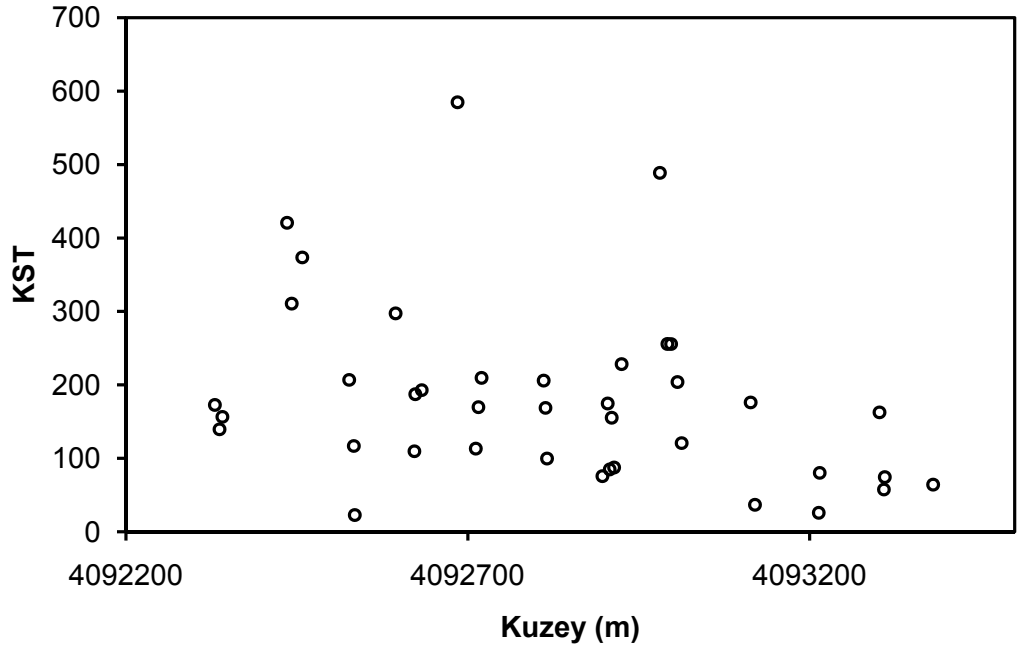
Şekil 5.1. Hammadde sahası KST dağılım grafiği

Çizelge 5.1. Hammadde sahası KST parametresi istatistiksel bilgileri

Parametre	Değer
Ortalama	181.27
Standart Hata	19.71
Ortanca	168.76
Kip	#YOK
Standart Sapma	123.09
Örnek Varyans	15150.45
Basıklık	2.57
Çarpıklık	1.47
Aralık	561.92
En Küçük	22.85
En Büyük	584.77
Toplam	7069.72
Veri Sayısı	39.00
Değişim Katsayısı	0.68



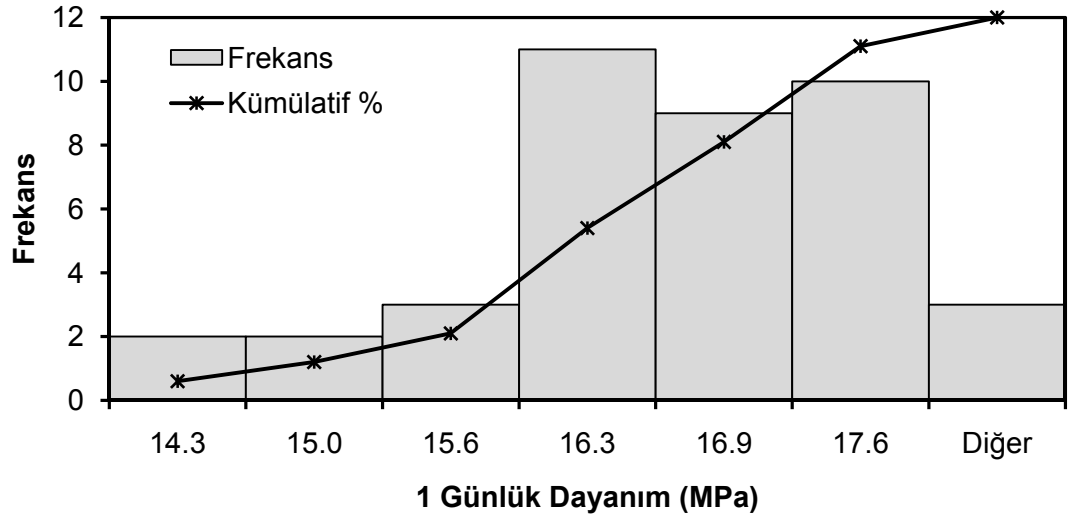
Şekil 5.2. KST parametresinin Doğu doğrultusundaki değişimi



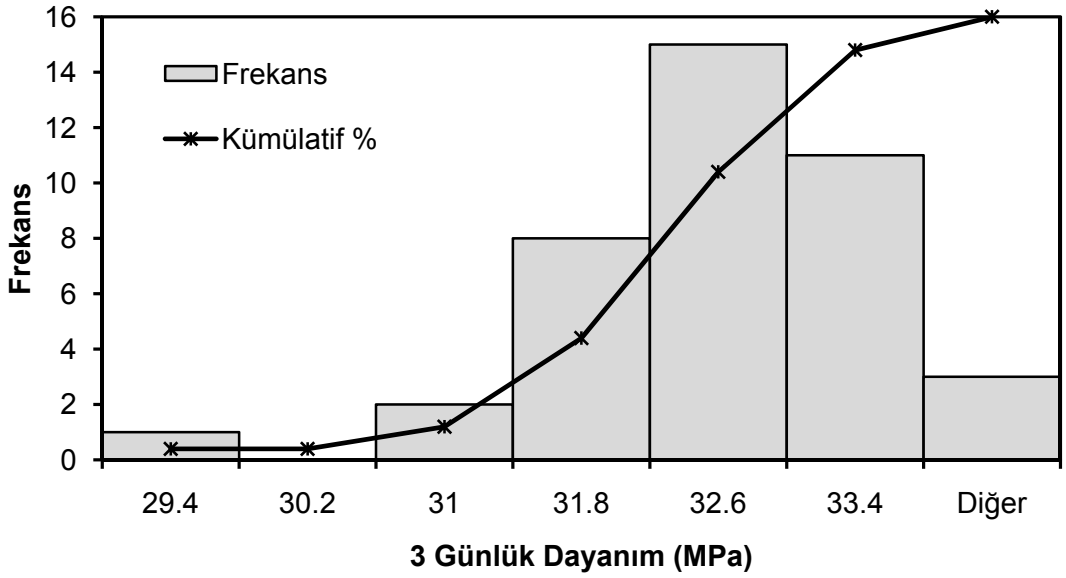
Şekil 5.3. KST parametresinin Kuzey doğrultusundaki değişimi

5.1.2. Çimento Verilerinin Değerlendirilmesi

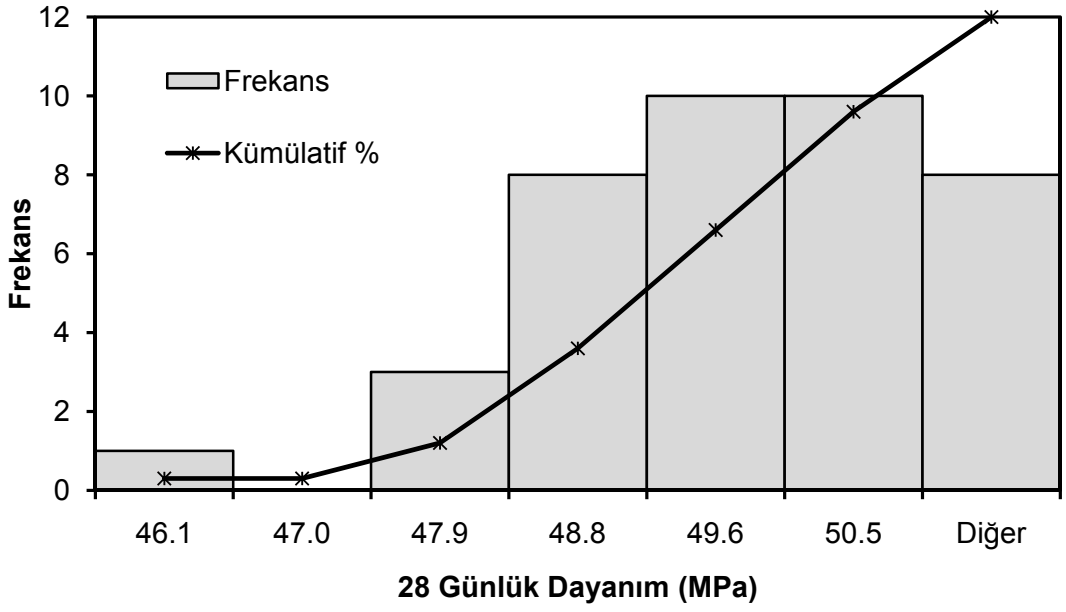
Üretilen Portland çimentosunun (PC 42.5) 28-günlük basınç dayanımların daha erken bir süreçte kestirimi için geliştirilen sistemde kullanılan ve aynı fabrikanın kalite kontrol biriminden elde edilen 1, 3 ve 28-günlük basma dayanım parametrelerine ait verilerin dağılımları Şekil 5.4-6'da, tanımlayıcı istatistiki bilgileri ise Çizelge 5.2'de topluca verilmiştir.



Şekil 5.4. Çimento 1-günlük dayanım parametresi dağılım grafiği



Şekil 5.5. Çimento 3-günlük dayanım parametresi dağılım grafiği

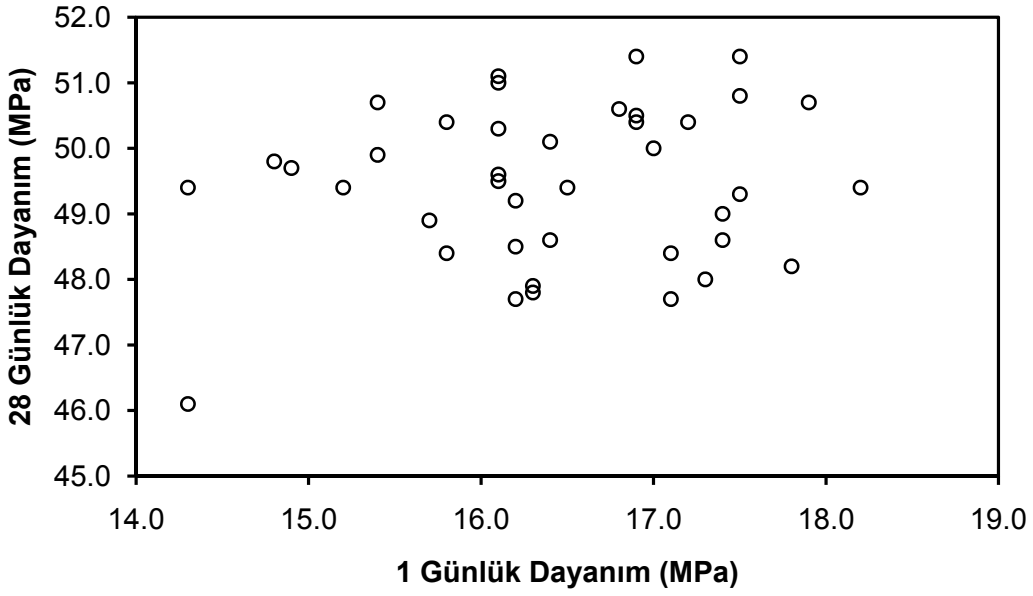


Şekil 5.6. Çimento 28-günlük dayanım parametresi dağılım grafiği

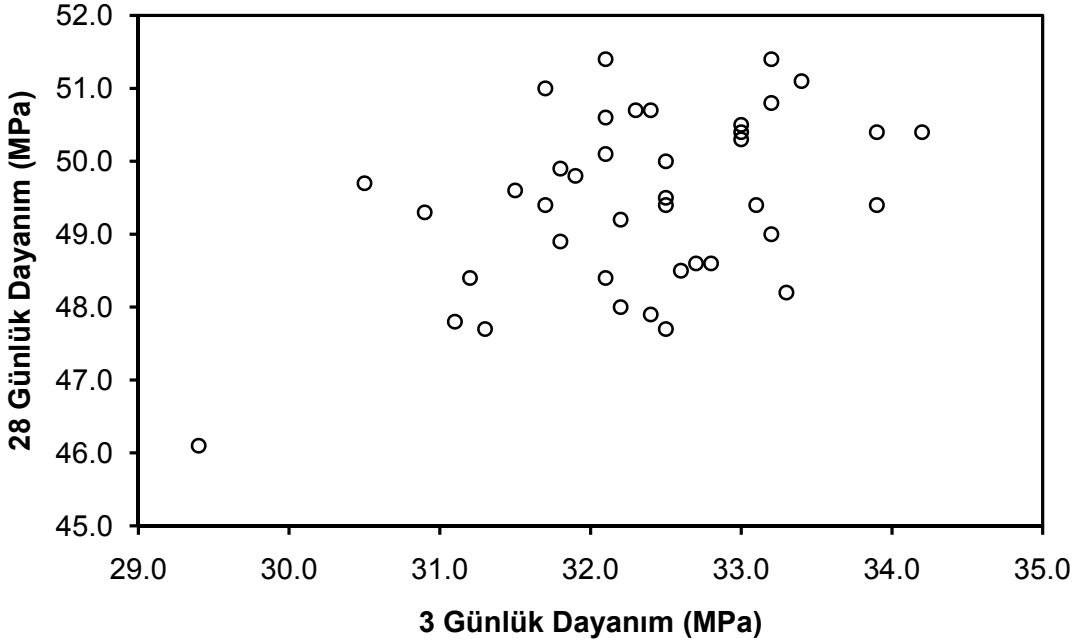
Çizelge 5.2. Dayanım parametrelerinin istatistiksel bilgileri

Parametre	Dayanım Değerleri		
	1 Gün	3 Gün	28 Gün
Ortalama	16.43	32.33	49.46
Standart Hata	0.15	0.15	0.19
Ortanca	16.35	32.40	49.45
Kip	16.10	32.10	49.40
Standart Sapma	0.96	0.96	1.20
Örnek Varyans	0.91	0.91	1.43
Basıklık	-0.24	1.23	0.04
Çarpıklık	-0.40	-0.62	-0.49
Aralık	3.90	4.80	5.30
En Küçük	14.30	29.40	46.10
En Büyük	18.20	34.20	51.40
Toplam	657.00	1293.20	1978.20
Veri Sayısı	40.00	40.00	40.00
Değişim Katsayısı	0.06	0.03	0.02

Kestirilecek olan 28 günlük dayanım ile 1 ve 3 günlük dayanımlar arasındaki ilişkilere bakılmış ve anlamlı bir ilişki görülmemiştir (Şekil 5.7-8).



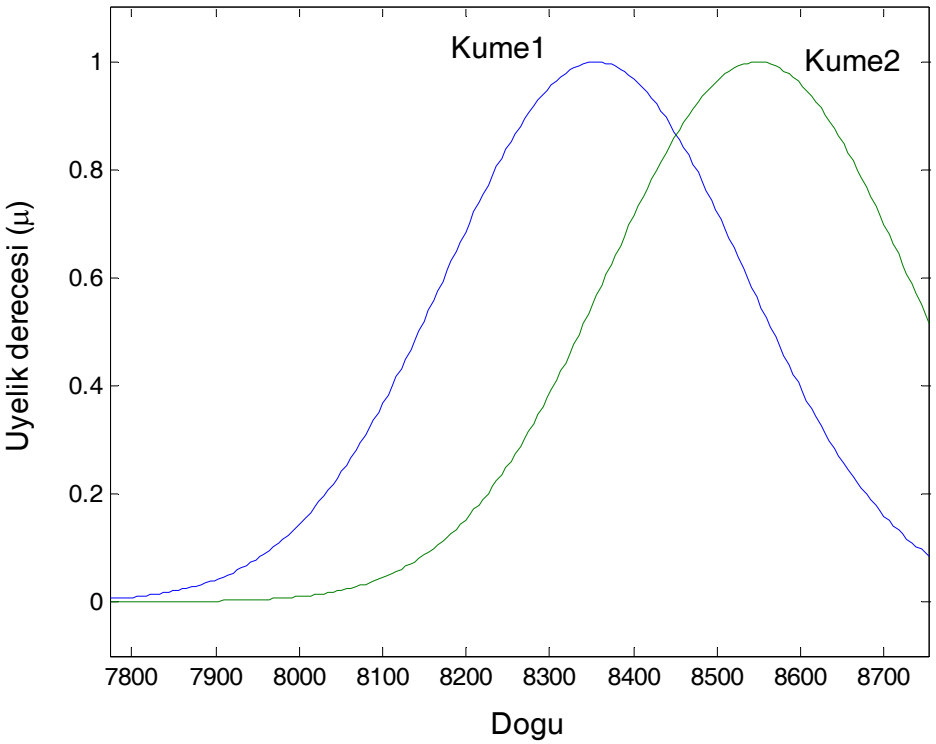
Şekil 5.7. 1-günlük ile 28 günlük dayanımlar arasındaki ilişki



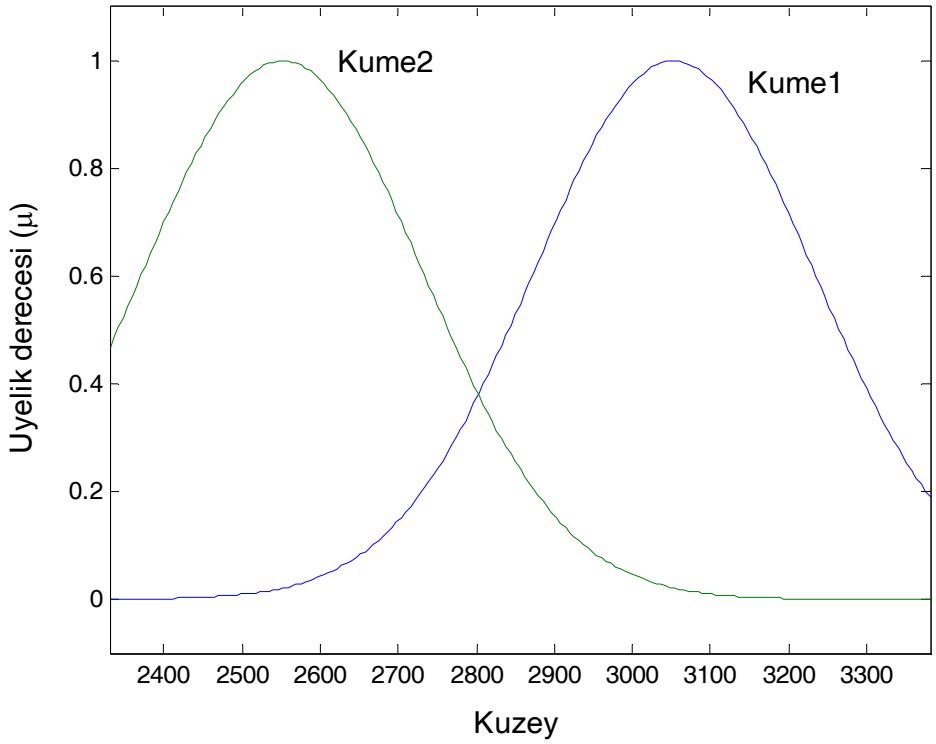
Şekil 5.8. 3-günlük ile 28 günlük dayanımlar arasındaki ilişki

5.2. Hammadde Sahasının Modellenmesi

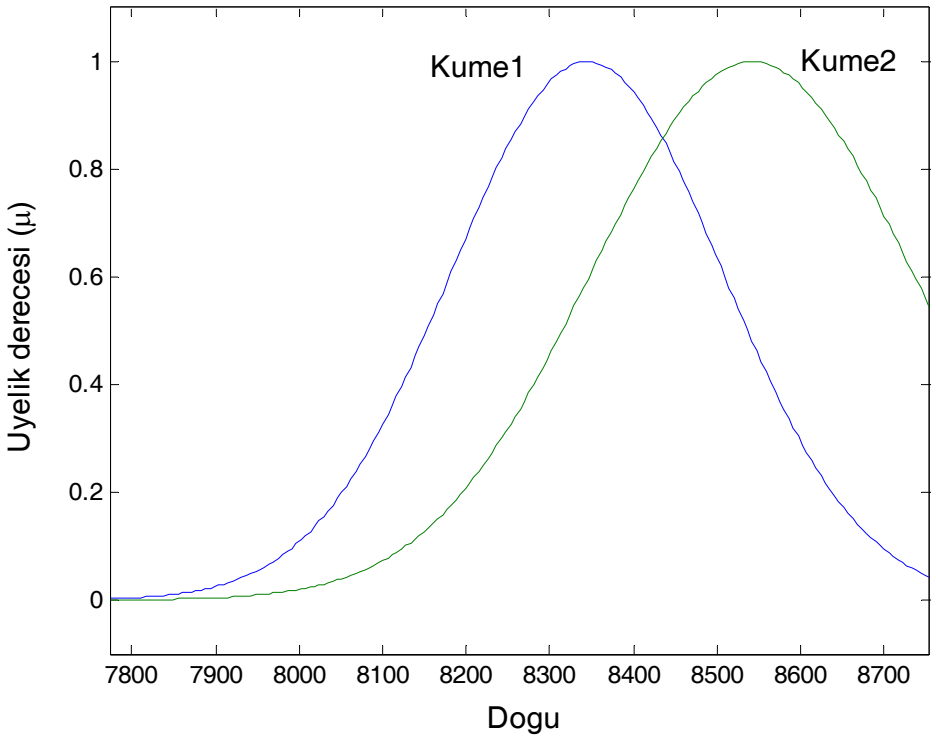
Hammadde hazırlama öncesi sahadaki dağılımın bilinmesinde önem taşıyan önemli parametrelerden biri olan Kireç Doygunluk Faktörünün (KST) kestirimi için iki girişli (Doğu, Kuzey) bir sistem kullanılmıştır. Sistem yatağın yapısına bağlı olarak belirlenen 2 kümeye eşdeğer sayıda iki kural kullanmaktadır. Dilsel değişkenler için Çan eğrisi (bell shaped) üyelik fonksiyonun uygun olduğu değerlendirilmiştir. Modelde kullanılan başlangıç ve uyarlanmış üyelik fonksiyonları Şekil 5.9-12'de gösterilmektedir.



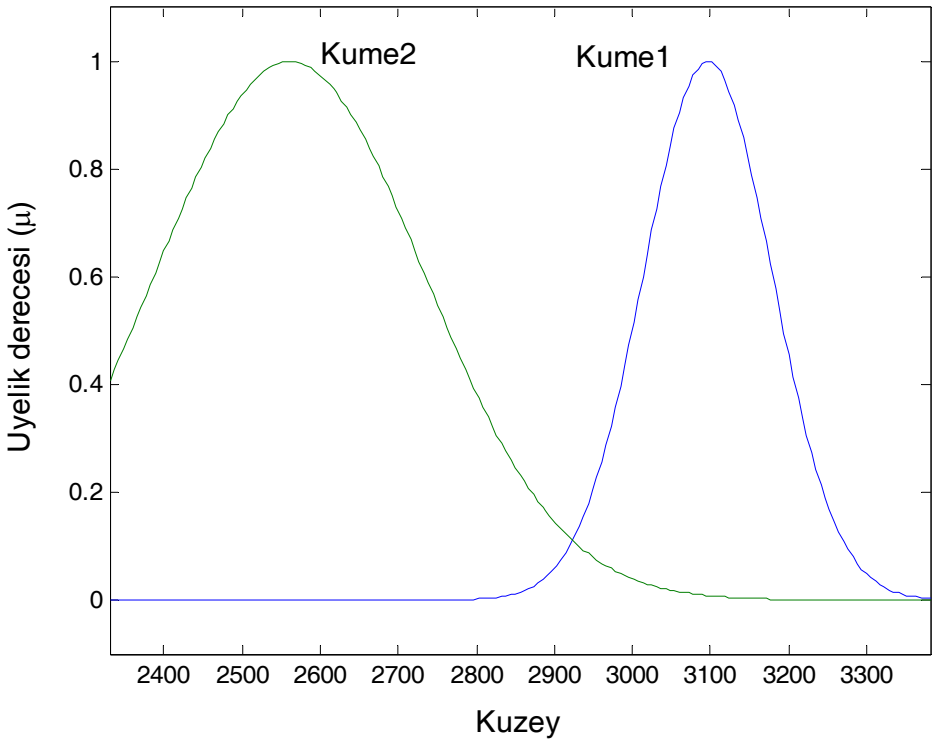
Şekil 5.9. Doğu parametresi için başlangıç girdi üyelik fonksiyonları



Şekil 5.10. Kuzey parametresi için başlangıç girdi üyelik fonksiyonları

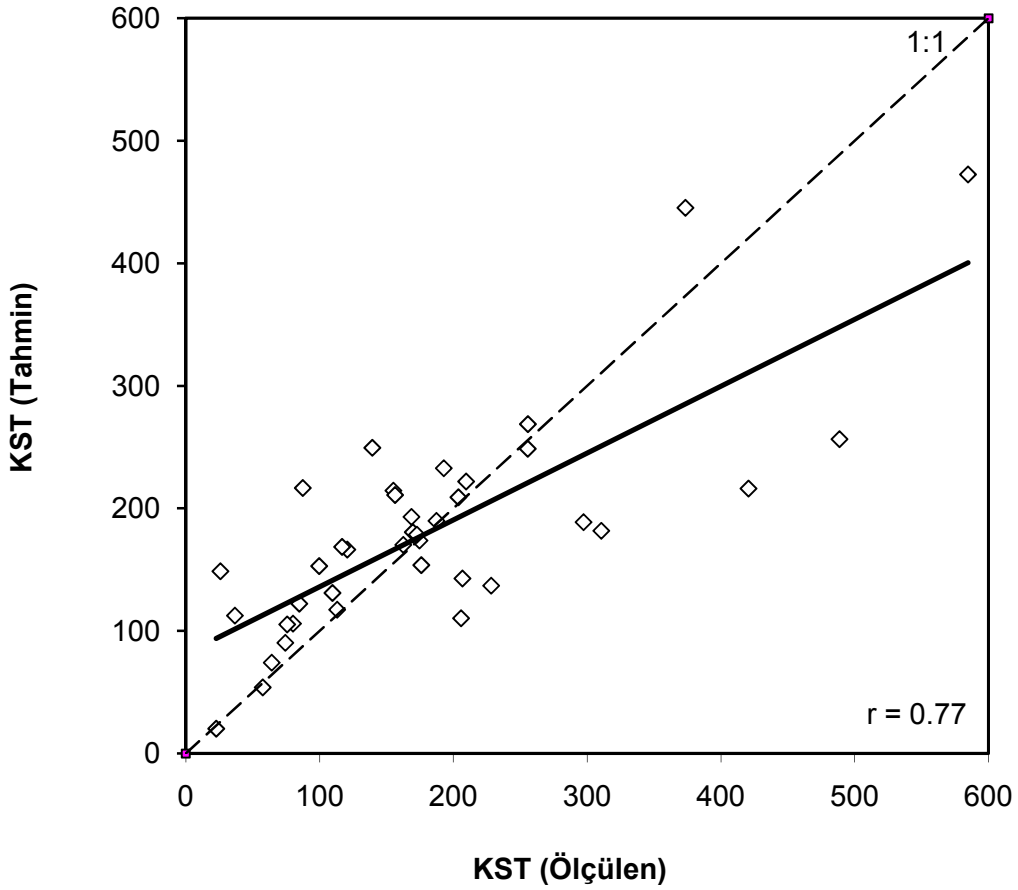


Şekil 5.11. Doğu parametresi için uyarlanmış üyelik fonksiyonları



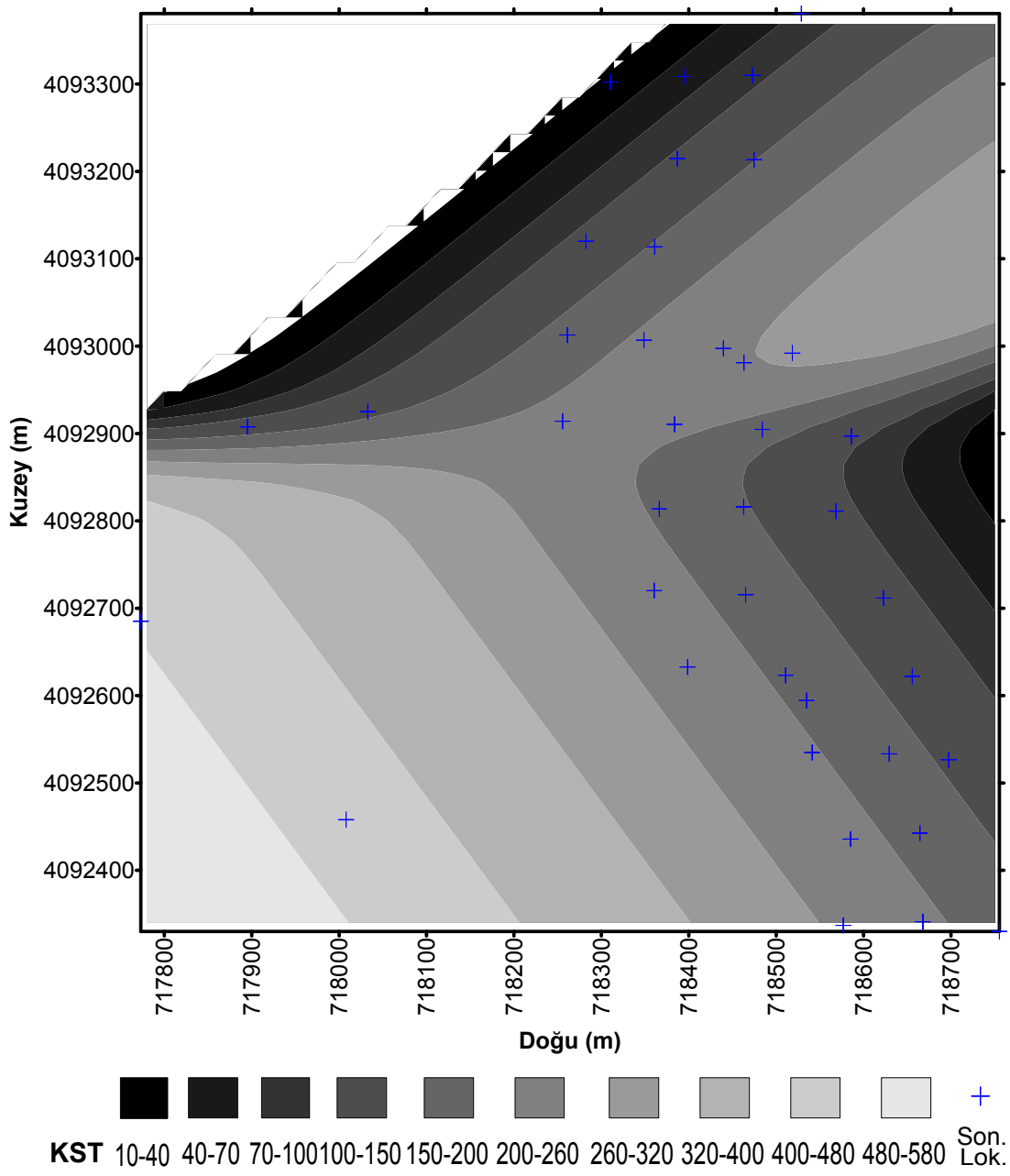
Şekil 5.12. Kuzey parametresi için uyarlanmış üyelik fonksiyonları

Kullanılan sinirsel bulanık çıkarım sisteminin performansının değerlendirilmesi için ölçülen model verileri girdi olarak kullanılıp KST değerleri kestirilmiştir. Ölçülen ve kestirilen değerler çapraz doğrulama ile incelendiğinde korelasyon katsayısının (r), 0.77 olduğu görülmüştür (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. KST performansı için çapraz doğrulama grafiği

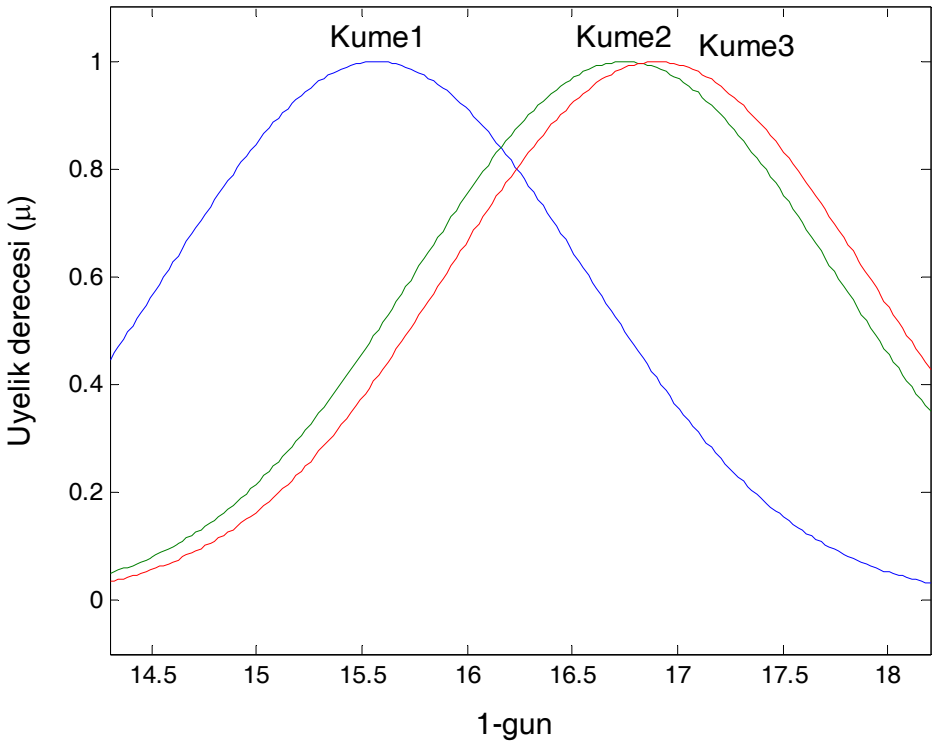
Hammadde sahasında kullanılan sondajları da içerisine alan Doğu (717770; 718760) ve Kuzey (4092330; 4093380) koordinatları ile tanımlanmış bir sektördeki KST dağerleri kestirilmiş ve elde edilen veriler ile sahanın KST dağılım haritası Surfer bilgisayar programı ile elde edilmiştir (Şekil 5.14).



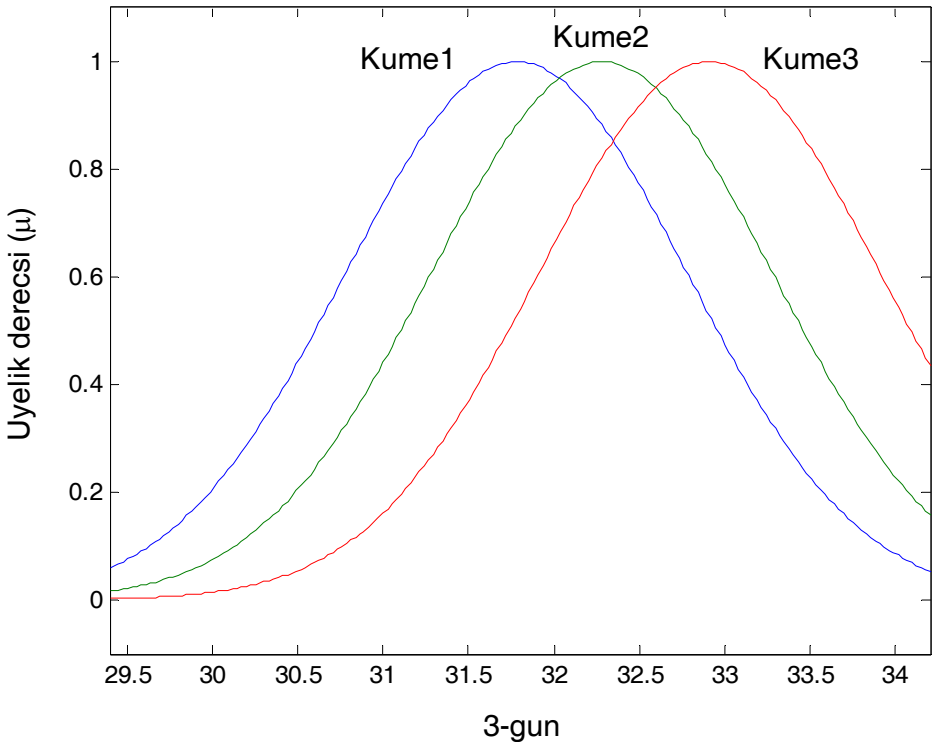
Şekil 5.14. Hammadde sahası KST dağılım haritası

5.3. Çimento Dayanımlarının Modellenmesi

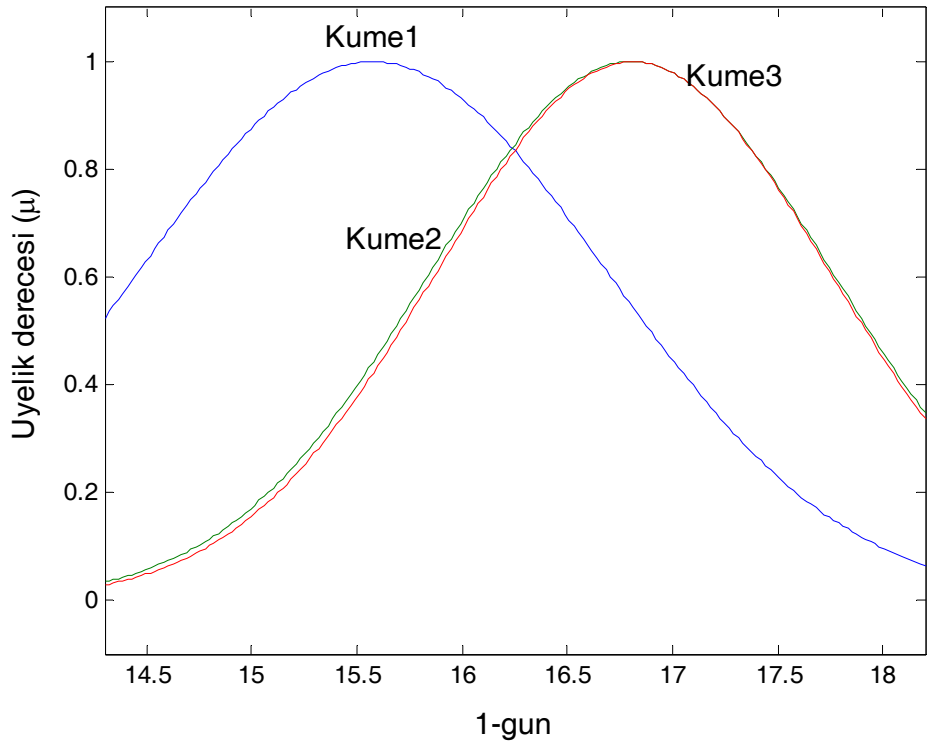
Portland çimentosunun 1-günlük ve 3-günlük dayanımlarından 28-günlük basınç dayanımı daha erken bir süreçte tahmin edebilmek amacıyla iki girişli (1 günlük değerler, 3 günlük değerler) ve iki kurallı sinirsel bulanık çıkarım sistemi oluşturulmuştur. Bu uygulamada sistemi tanımlayan en uygun küme sayısı 3 olduğundan, her bir girdi 3 adet dilsel değişken içermektedir (Şekil 5.15-18).



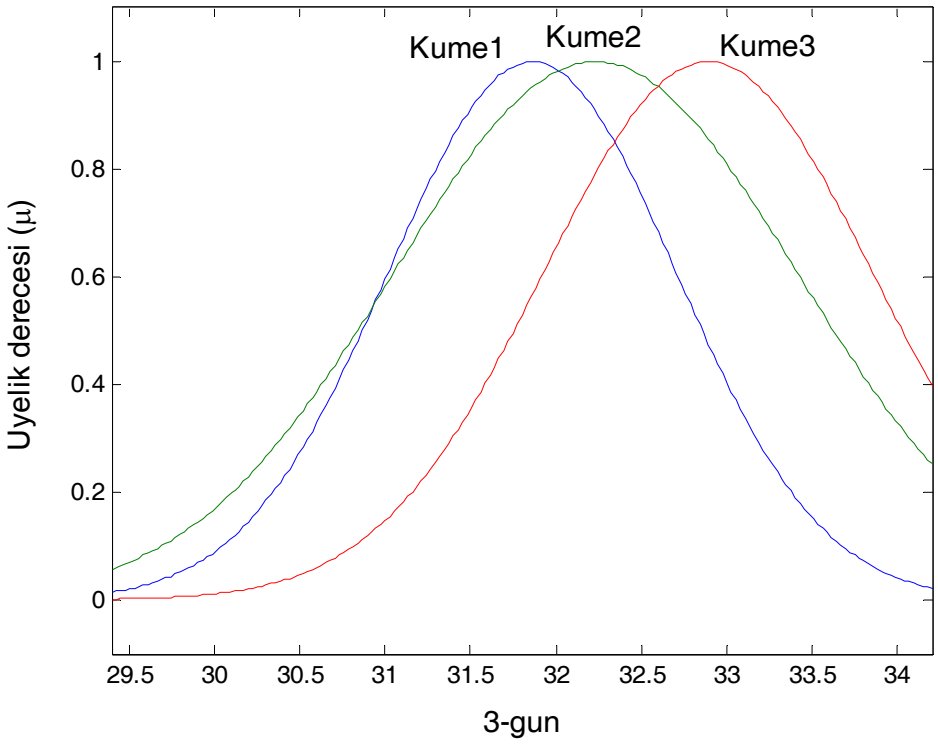
Şekil 5.15. 1-günlük basınç dayanımı girdi başlangıç üyelik fonksiyonları



Şekil 5.16. 3-günlük basınç dayanımı girdi başlangıç üyelik fonksiyonları

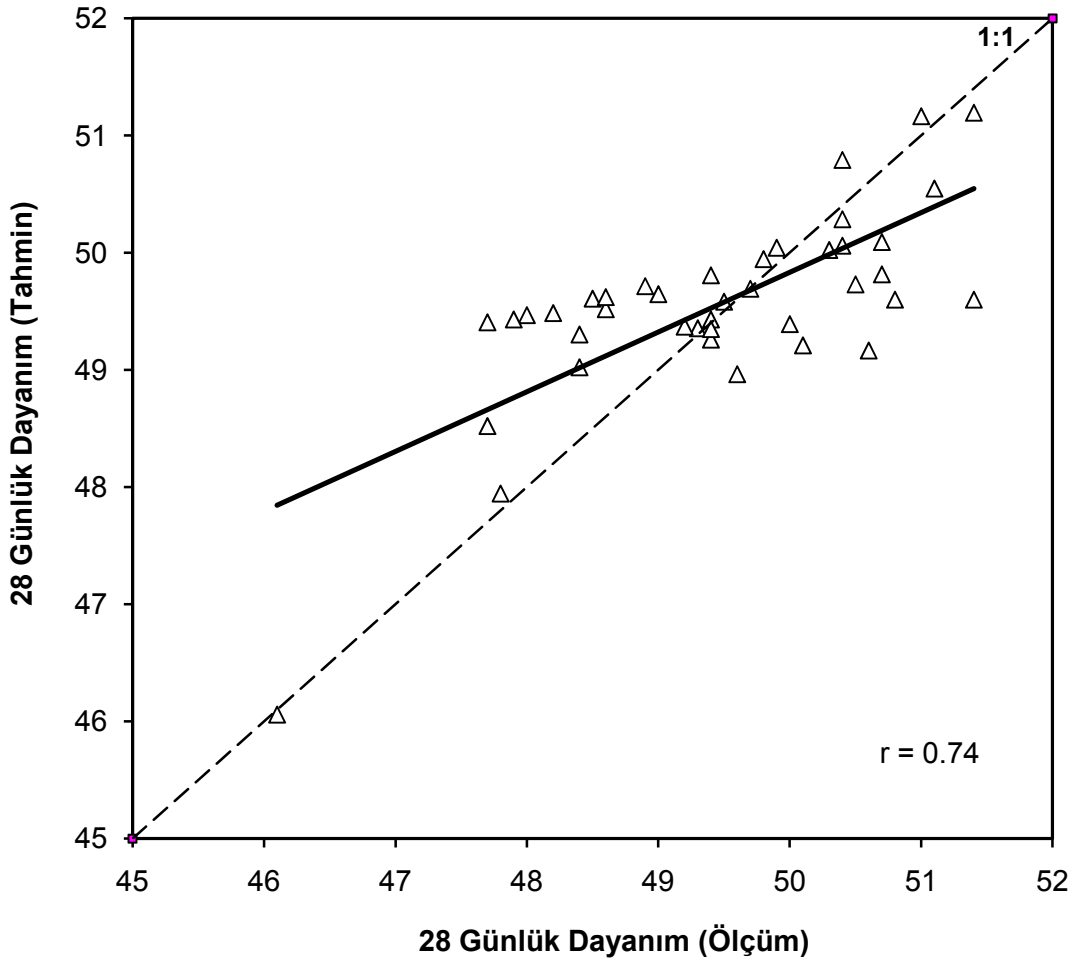


Şekil 5.17. 1-günlük basınç dayanımı uyarlanmış üyelik fonksiyonları



Şekil 5.18. 3-günlük basınç dayanımı uyarlanmış üyelik fonksiyonları

28-günlük basınç dayanımların kestirimi için geliştirilen sinirsel bulanık çıkarım sisteminin performansının değerlendirilmesi için yapılan çapraz doğrulama Şekil 5.19'da verilmektedir.



Şekil 5.19. 28 günlük dayanım performansı için çapraz doğrulama grafiği

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma ile son yıllarda yerbilimlerinde yaygın kullanım özelliği kazanan esnek hesaplama yaklaşımlarından biri olan bulanık sinir ağları esaslı model yapısıyla çalışmalar yapılmıştır. Model yapısı doğrudan veri sürümlü (data driven) karaktere sahip olup uyarlamalı yapısıyla sistem optimizasyonunu başarıyla yapmaktadır.

Bir örnek çimento hammadde sahasından elde edilen Kireç Doygunluk Faktörü (KST) ve üretilen Portland çimentosunun 28-günlük basınç dayanımının kestiriminden ele edilen sonuçlar başarı model yapılarına işaret etmektedir (r_{KST}=0.77, $r_{28\text{-gün}}$=0.74) .

Karmaşık matematiksel modeller oluşturmadan, doğrusal ilişki göstermeyen veri yapılarında esnek hesaplama etkin olarak kullanabilmektedir. Çimento sektörü için saha ve fabrika ölçeğinde yapılan uygulamalardan elde edilen bulgular esnek hesaplama tekniklerinin yerbilimi esaslı sistemlerin modellenmesinde de yaygın olarak kullanılması gereğini ortaya koymaktadır.

Özellikle sistemin karmaşık olduğu ve analizinin klasik yöntemlerle (düzenli bloklar, poligon yöntemi, üçgen yöntemi, eş kalınlık eğrileri yöntemi ve kesit yöntemi gibi) yapılamadığı ve bilgilerin niteliklerinin belirsiz veya kesin olmadığı durumlarda esnek yaklaşımın uygun bir yöntem olabileceği söylenebilir.

Bu tezde kullanılan bulanık sinir ağlarıyla modelleme uygulanabilir bir yöntem olarak belirlenmesine karşın modelleme aşamalarında (özellikle küme ve kuralların oluşturulmasında) daha dikkatli olunması ve model yapısının uzmanlarca oluşturulması gerekmektedir.

Bu çalışmada kullanılan kestirim tekniği diğer hammadde parametrelerin (SIM, ALM gibi) ve çimento parametrelerinin (Alkali, Blane gibi) değerlendirilmesinde de kullanılabilecektir. Özellikle çimento kalite kontrol aşamalarında esnek modelinin kullanılmasının yararlı sonuçlar verebileceği öngörülebilir.

KAYNAKLAR

ALKAN, B., 2007. Jeoistatistik ve bulanık yaklaşımlar ile Adana Çimento hammadde sahasının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 75 s. Adana.

AKKURT, S., TAYFUR, G., ve CAN, S., 2004. Fuzzy logic model for the prediction of cement compressive strength. 34: 1429-1433.

AYDIN, İ., 2005. Asenkron Motorlarda Hata Teşhisi için Yeni Bir Yumuşak Hesaplama Yaklaşımı. TOK'05 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 375-380pp.

BABUSKA, R., 1998. Fuzzy Modeling for Control. Kluvver Academic. 260p.

BARDOSSY, G., FODOR, J., 2004. Evaluation of Uncertainties and Risks in Geology. Springer, 221p.

BAYKASOGLU, A., DERELI, T., TANIS, S., 2004. Prediction of cement strength using soft computing techniques. 34: 2083-2090.

BEZDEK, J.C., 1981. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. Plenum Press, 256p.

BROWN, A.W., BYE, G.C., 1989. Portland çimentosunun yapısı ve kimyası. Çimento Teknolojisi.1, (3-4). Ankara; Çimento ve Yan Mamulleri Sanayii Holding A. Ş.

CAN, S., 2004. Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic Applications in Modeling the Compressive Strength of Portland Cement. İzmir Institute of Technology, MSc, İzmir, Turkey, 64p.

DE SIQUERA TANGO, CE., 1998. An extrapolation method for compressive strength prediction of hydraulic cement products. 28: 969-983.

DUDA, W.H., 1985. Cement Data Book (3 rd ed.). Berlin, Bauverlay.

ELMAS, Ç., 2003. Bulanık Mantık Denetleyiciler. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 225s.

FA-LIANG, G., 1997. A new way of predicting cement strength-fuzzy logic. 27: 883-888.

GÜRGEN, 2004. Adana İli Yüreğir İlçesi, İncirlik Beldesi, Çaldağı Mevki Adana Çimento Sanayi T.A.Ş. Hammadde Ocağının Üretim Planlamasına Yönelik Jeolojik ve İşletme Etüd Raporu, 251s (yayınlanmamış).

HAYKİN, S., 1999. EZEL, G., 2006. Regresyon Analizinde 'Soft Computing' Teknikleri. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 173s.

HELLENDOORN, H., THOMAS, C, 1993. Defuzzification in fuzzy controllers. J.Intell. Fuzzy Systems 1, 109-123.

JANG, J., 1993. ANFIS: Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics 23 3), 665–685

JANG, J.-S.R., SUN, C.T., MIZUTANI, E., 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence.Prentice-Hall International (UK) Limited, London 614pp.

KAASTRA,I., 1996. "Designing a Neural Network for Forecasting Financial and Economic Time Series", Neurocomputing. Cilt 10, 215-236.

KARAY, F.O., DE SİLVA, C., 2004. Soft Computing and Intelligent Systems Design: Theory, Tools and Applications. Pearson Addison Wesley. England.

KHEDER, GF., AL GABBAN, AM., ABID, SM., 2003. Mathematical model for the prediction of cement compressive strength at the ages of 7 and 28 days within 24 hours. Materials and Structures. 36 (264): 693-701p.

KRUSE, R., GEBHARDT, J., KLAWONN, F., 1994. Foundations of Fuzzy Systems. John Wiley&Sons, 265p.

MAMDANI, E.H., 1977. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. IEEE Trans. on Computers, 26(12), 1182-1191p.

OSBAECK, B., JOHANSEN, V., 1989. Particle size distribution and rate of strength development of Portland cement. J Am. Ceram. Soc. 72 (2): 197-201

ÖNEY, N., 1999. Çimento İşletmeciliği El Kitabı. Kemal Matbaacılık, Bolu, 143s.

PAHM, T.D., 1997. Grade Estimation Using Fuzzy-Set Algorithrns. Mathematical Geology, 29, 291-304p.

PERAY, E.K., 1979. Cement manufacturer's handbook.

PIEGAT, A., 2001. Fuzzy Modeling and Control. Physica-Verlag, 728p.

ROSS, TJ., 2004. Fuzzy logic with engineering applications. Wiley.

SETNES, M., BABUSKA, R., and VERBRUGGEN, H.B., 1998. Transparent fuzzy modelling. Int. J. Human-Computer Studies. 49: 159-179.

SUGENO, M., YASUKAWA, T., 1993. A fuzzy logic-based approach to qualitive modeling. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1(1), 7-31.

TAKAGI, T., SUGENO, M., 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modelling and control. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 15,116-132.

TURKSEN, I.B., 1991. Measurement of membership functions and their acquisition, Fuzzy Sets and Systems. 40, 5-38.

TÜTMEZ, B., 2005. Bulanık Küme Yaklaşımıyla Rezerv Kestirimi. Hacettepe Universitesi, Ankara.

TÜTMEZ, B., DAG, A., 2007. Use of fuzzy logic in lignite inventory estimation. Energy Sources Part B, 2, 93-103.

TUTMEZ, B., DAG, A., 2009. A linguistic model for evaluating cement strength. Materials and Structures, 42, 1, 103-111.

TUTMEZ, B., HATİPOĞLU, Z., KAYMAK, U., 2006. Modeling Electrical Conductivity of groundwater Using an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. Computer&Geosciences 32 (4), 421–433.

TÜTMEZ, B., TERCAN, A.E., 2006. Bulanık Modelleme Yaklaşımının Tenor Kestiriminde Kullanılması. Madencilik, 45,2, 39-47.

TSIVILIS, S., ve PARISSAKIS, G., 1995. A mathematical-model for the prediction of cement strength. 25: 9-14.

YAGER, R., and FILEV, D.P., 1994. Essentials of Fuzzy Modeling and Control. John Wiley&Sons, New York, 388p.

YALNIZ, H., 2006. Çimento Sanayii Hammadde Ocağı Üretim Planlaması. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniv. Fenbilimleri Enstitüsü, İzmir, 182s.

ZADEH, L.A., 1973. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC-3, 28-44.

ZHANG, YM 1998, “Forecasting With Artificial Neural Networks. The State of The Art ”, Inter.Journal of Forecasting, Cilt 14, 35-62.

ZHANG, YM., ve NAPIER-MUNN, TJ., 1995. Effects of particle size distribution, surface area and chemical composition on Portland cement strength. Powder Techonology 83 (3): 245-252.

ÖZGEÇMİŞ

01.01.1982 yılında Midyat'ta doğdu. İlköğretim ve liseyi Mersin'de tamamladı. 2000 yılında girmiş olduğu, Çukurova Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünden 2005 yılında mezun oldu. Aynı yılda Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisansına başladı. 2006-2007 öğretim yılında Erasmus öğrenci değişimi kapsamında TU Bergbau Freiberg Üniversitesinde (Almanya'da) bulundu.

EK 1. Hammadde sahası sondaj bilgileri

S.No.	Derinlik (m)	D.Tav.	D.Tab.	Doğu	Kuzey	CaO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	Na2O	K2O	K.K.	KST	SİM	ALM
SA-1	0.0 -5.5 m	0.00	5.50	718310.50	4093302.29	21.41	31.92	8.95	5.21	4.43	0.21	1.70	22.21	20.72	2.25	1.72
SA-1	5.5 -25.5 m	5.50	25.50	718310.50	4093302.29	44.29	6.57	1.79	1.06	1.93	0.06	0.50	39.08	208.94	2.31	1.69
SA-1	25.5 -28.5 m	25.50	28.50	718310.50	4093302.29	39.68	10.92	2.59	1.69	2.80	0.22	0.73	35.98	114.25	2.55	1.53
SA-2	0.0-1.0 m	0.00	1.00	718394.90	4093308.64	22.97	33.80	8.37	4.30	4.17	0.19	1.59	23.67	21.40	2.67	1.95
SA-2	1.0 - 2.5m	1.00	2.50	718394.90	4093308.64	20.61	36.78	9.33	5.04	4.20	0.19	1.69	24.88	17.57	2.56	1.85
SA-2	2.5-6.0 m	2.50	6.00	718394.90	4093308.64	37.12	16.62	3.46	2.47	2.58	0.09	0.94	33.45	71.08	2.80	1.40
SA-2	6.0-15.5 m	6.00	15.50	718394.90	4093308.64	39.92	11.29	2.63	1.82	2.44	0.08	0.73	36.66	111.20	2.54	1.45
SA-2	15.5 -23.5 m	15.50	23.50	718394.90	4093308.64	21.98	32.28	8.02	4.79	4.67	0.32	1.38	21.87	21.35	2.52	1.67
SA-2	23.5-28.0 m	23.50	28.00	718394.90	4093308.64	20.09	31.40	9.02	4.50	4.50	0.52	1.88	21.67	19.80	2.32	2.00
SA-3	0.0 -3.0 m	0.00	3.00	718472.90	4093309.92	20.73	33.77	9.23	5.06	4.76	0.38	1.43	22.59	19.06	2.36	1.82
SA-3	3.0-16.6 m	3.00	16.60	718472.90	4093309.92	25.76	26.15	7.23	3.99	4.76	0.28	1.49	21.47	30.54	2.33	1.81
SA-3	16.6 - 19.5 m	16.60	19.50	718472.90	4093309.92	37.88	12.82	3.17	2.61	2.71	0.15	0.86	35.00	91.65	2.22	1.21
SA-3	19.5 -21.0 m	19.50	21.00	718472.90	4093309.92	40.06	10.49	2.60	1.60	2.44	0.25	0.69	36.13	119.65	2.50	1.63
SA-3	21.0 – 24.0 m	21.00	24.00	718472.90	4093309.92	46.89	2.71	0.89	0.53	2.56	0.08	0.19	41.54	522.00	1.91	1.68
SA-3	24.0 -38.0 m	24.00	38.00	718472.90	4093309.92	23.38	29.22	8.06	4.70	5.10	0.55	1.64	23.26	24.77	2.29	1.71
SB-1	0.0 - 7.5 m	0.00	7.50	718386.88	4093214.81	42.94	7.87	1.80	1.06	2.15	0.07	0.50	38.26	172.80	2.75	1.70
SB-1	7.5 -22 m	7.50	22.00	718386.88	4093214.81	26.27	25.05	7.07	4.02	4.60	0.27	1.44	25.92	32.39	2.26	1.76
SB-2	0.0 -24.5 m	0.00	24.50	718474.83	4093213.40	23.83	28.59	7.49	4.36	5.23	0.39	1.47	24.13	25.98	2.41	1.72
SC-1	0 .0- 15.0 m	0.00	15.00	718282.53	4093120.02	22.01	30.69	8.25	4.52	5.30	0.26	1.59	22.32	22.32	2.40	1.83
SC-1	15.0 - 17.2 m	15.00	17.20	718282.53	4093120.02	41.86	9.07	2.26	1.47	2.41	0.10	0.64	37.52	144.25	2.43	1.54
SC-1	17.2 -18.5 m	17.20	18.50	718282.53	4093120.02	32.42	18.45	5.49	2.76	3.15	0.21	1.26	30.37	54.09	2.24	1.99
SC-1	18.5 -23.0 m	18.50	23.00	718282.53	4093120.02	29.95	29.76	3.12	1.58	2.73	0.41	0.90	27.07	34.02	6.33	1.97
SC-1	23.0 -25.0 m	23.00	25.00	718282.53	4093120.02	22.24	30.28	9.13	4.78	4.42	0.22	1.83	22.41	22.54	2.18	1.91
SC-2	0.0-10.4 m	0.00	10.40	718360.99	4093113.74	28.64	21.31	6.03	3.48	4.55	0.27	1.33	27.92	41.48	2.24	1.73
SC-2	10.4 -13.0 m	10.40	13.00	718360.99	4093113.74	50.31	1.27	0.51	0.43	0.99	0.03	0.05	42.13	1133.80	1.35	1.19
SC-2	13.0 -18.0 m	13.00	18.00	718360.99	4093113.74	29.45	26.71	4.55	2.27	3.55	0.29	1.04	27.05	36.08	3.92	2.00
SC-2	18.0 -20.5 m	18.00	20.50	718360.99	4093113.74	20.94	31.32	9.27	5.01	5.06	0.24	1.85	21.20	20.55	2.19	1.85
SD-1	0.0- 2.0 m	0.00	2.00	718261.15	4093012.80	25.32	27.52	7.90	4.22	4.03	0.21	1.53	25.33	28.41	2.27	1.87
SD-1	2.0 -4.6 m	2.00	4.60	718261.15	4093012.80	45.37	4.61	1.49	1.08	1.72	0.05	0.40	39.83	295.22	1.79	1.38
SD-1	4.6 -5.5 m	4.60	5.50	718261.15	4093012.80	35.40	16.04	4.64	2.49	2.57	0.13	1.09	32.35	68.07	2.25	1.86
SD-1	5.5 -6.0 m	5.50	6.00	718261.15	4093012.80	27.88	23.25	6.99	3.54	3.82	0.22	1.43	27.58	36.85	2.21	1.97
SD-1	6.0 – 8.0 m	6.00	8.00	718261.15	4093012.80	44.95	6.44	1.43	1.02	1.40	0.09	0.38	39.13	220.53	2.63	1.40
SD-1	8.0 – 9.0 m	8.00	9.00	718261.15	4093012.80	24.62	37.97	4.84	2.01	2.98	0.47	1.13	22.84	21.72	5.54	2.41
SD-1	9.0 -11.5 m	9.00	11.50	718261.15	4093012.80	22.87	30.25	9.12	4.53	4.18	0.19	1.77	23.01	23.24	2.22	2.01
SD-1	11.5 -16.5m	11.50	16.50	718261.15	4093012.80	39.59	11.55	2.78	2.17	2.20	0.09	0.80	35.70	106.91	2.33	1.28
SD-1	16.5 -19.5 m	16.50	19.50	718261.15	4093012.80	36.77	13.96	3.40	2.19	2.96	0.16	0.95	33.74	82.59	2.50	1.55
SD-1	19.5 -22.0 m	19.50	22.00	718261.15	4093012.80	45.48	5.63	1.39	0.94	1.78	0.04	0.36	39.55	252.45	2.42	1.48
SD-1	22.0-24.0 m	22.00	24.00	718261.15	4093012.80	27.81	29.73	5.06	2.30	3.34	0.36	1.12	26.11	30.66	4.04	2.20
SD-2	0.0 – 6.0 m	0.00	6.00	718348.80	4093006.78	44.88	6.43	1.75	1.03	1.94	0.03	0.34	39.97	216.41	2.31	1.70

EK 1. Hammadde sahası sondaj bilgileri (devam)

SD-2	6.0 - 7.5 m	6.00	7.50	718348.80	4093006.78	22.71	35.15	5.32	4.02	3.03	0.39	1.20	22.17	21.16	3.76	1.32
SD-2	7.5 -11.7 m	7.50	11.70	718348.80	4093006.78	21.43	31.05	9.31	4.66	4.48	0.21	1.86	22.75	21.23	2.22	2.00
SD-2	11.7 -18.7 m	11.70	18.70	718348.80	4093006.78	45.77	3.93	1.31	0.92	1.93	0.09	0.34	40.37	348.12	1.76	1.42
SD-2	18.7 -19.0 m	18.70	19.00	718348.80	4093006.78	32.66	17.37	5.28	2.81	3.53	0.19	1.25	30.24	57.61	2.15	1.88
SD-3	0.0 – 4.0 m	0.00	4.00	718439.60	4092997.33	26.95	27.09	7.20	4.11	4.51	0.26	1.52	26.18	30.97	2.40	1.75
SD-3	4.0 -5.0 m	4.00	5.00	718439.60	4092997.33	28.54	26.13	6.73	3.63	4.36	0.23	1.36	28.25	34.19	2.52	1.85
SD-3	5.0 -8.0 m	5.00	8.00	718439.60	4092997.33	50.57	1.23	0.46	0.31	0.97	0.00	0.05	42.30	1207.41	1.60	1.48
SD-3	8.0-11.0 m	8.00	11.00	718439.60	4092997.33	42.73	8.08	1.83	1.58	2.44	0.06	0.50	37.80	165.55	2.37	1.16
SD-3	11.0 -17.0 m	11.00	17.00	718439.60	4092997.33	22.32	30.19	8.86	4.76	4.70	0.22	1.78	22.09	22.76	2.22	1.86
SD-3	17.0 – 18.0 m	17.00	18.00	718439.60	4092997.33	43.01	7.00	1.82	1.58	1.73	0.17	0.54	37.51	188.85	2.06	1.15
SD-4	0..0-7.0 m	0.00	7.00	718518.50	4092991.98	22.81	31.59	8.75	4.86	4.95	0.22	1.71	22.51	22.38	2.32	1.80
SD-4	7.0 -13.5 m	7.00	13.50	718518.50	4092991.98	45.36	4.14	1.23	1.04	1.53	0.25	0.33	40.83	330.63	1.82	1.18
SD-4	13.5 -17.5m	13.50	17.50	718518.50	4092991.98	49.67	2.18	0.68	0.42	1.21	0.03	0.13	41.85	691.84	1.98	1.62
SD-4	17.5 -20.0 m	17.50	20.00	718518.50	4092991.98	22.98	45.03	4.70	1.83	3.04	0.74	1.17	20.52	17.30	6.90	2.57
SE-1	0.0-1.5 m	0.00	1.50	718255.71	4092914.04	32.93	19.04	5.61	3.07	2.90	0.13	1.20	30.97	53.18	2.19	1.83
SE-1	1.5-3.5 m	1.50	3.50	718255.71	4092914.04	40.69	13.12	1.95	1.13	1.57	0.07	0.50	35.88	102.31	4.26	1.73
SE-1	3.5-6.0 m	3.50	6.00	718255.71	4092914.04	23.33	29.94	8.90	4.31	3.90	0.16	1.73	23.01	24.02	2.27	2.06
SE-1	6.0-17.0 m	6.00	17.00	718255.71	4092914.04	41.63	9.37	1.97	1.14	1.70	0.06	0.53	36.99	142.07	3.01	1.73
SE-1	17.0-23.0 m	17.00	23.00	718255.71	4092914.04	22.23	41.89	5.31	2.53	3.47	0.61	1.20	20.21	17.76	5.34	2.10
SE-2	0.0 -1.0 m	0.00	1.00	718383.78	4092910.48	46.93	4.52	1.09	0.58	1.24	0.03	0.18	39.90	327.74	2.71	1.88
SE-2	1.0 -2.0 m	1.00	2.00	718383.78	4092910.48	23.91	38.69	4.96	2.26	2.98	0.48	1.16	22.00	20.67	5.36	2.19
SE-2	2.0 – 6.0 m	2.00	6.00	718383.78	4092910.48	21.90	30.91	9.19	5.04	4.27	0.19	1.81	22.71	21.75	2.17	1.82
SE-2	6.0 -7.0 m	6.00	7.00	718383.78	4092910.48	35.32	14.44	3.44	5.01	2.19	0.12	0.99	32.63	73.97	1.71	0.69
SE-2	7.0 -14.0 m	7.00	14.00	718383.78	4092910.48	44.74	4.83	1.53	0.92	2.02	0.03	0.38	40.06	280.90	1.97	1.66
SE-2	14.0 – 16.5 m	14.00	16.50	718383.78	4092910.48	39.14	11.80	2.78	1.82	2.69	0.10	0.78	36.13	104.36	2.57	1.53
SE-2	16.5 -18.0 m	16.50	18.00	718383.78	4092910.48	30.06	25.15	4.55	2.22	3.02	0.38	1.09	27.42	38.92	3.71	2.05
SE-3	0.0 – 4.0 m	0.00	4.00	718484.10	4092904.73	48.22	3.01	0.86	0.55	1.37	0.01	0.13	41.46	492.03	2.13	1.56
SE-3	4.0 -6.0 m	4.00	6.00	718484.10	4092904.73	35.23	18.85	2.85	1.58	2.77	0.15	0.91	32.05	61.62	4.26	1.80
SE-3	6.0 – 7.0 m	6.00	7.00	718484.10	4092904.73	24.07	34.82	3.23	1.98	2.72	0.45	1.08	22.22	23.46	6.68	1.63
SE-3	7.0 – 11.0 m	7.00	11.00	718484.10	4092904.73	24.25	28.48	8.33	4.22	4.09	0.22	1.75	23.13	26.27	2.27	1.97
SE-3	11.0 – 13.0 m	11.00	13.00	718484.10	4092904.73	46.00	4.18	1.29	1.08	1.50	0.09	0.32	40.16	330.27	1.76	1.19
SE-3	13.0 – 17.0 m	13.00	17.00	718484.10	4092904.73	21.07	28.68	7.85	4.76	4.44	0.24	1.69	21.84	22.74	2.27	1.65
SE-4	0.0 -1.8 m	0.00	1.80	718586.24	4092897.01	24.25	25.37	6.95	4.55	4.20	0.13	1.55	24.51	29.50	2.21	1.53
SE-4	1.8 -3.0 m	1.80	3.00	718586.24	4092897.01	43.03	6.90	1.79	1.45	1.69	0.01	0.53	38.18	192.32	2.13	1.23
SE-4	3.0 -7.5 m	3.00	7.50	718586.24	4092897.01	25.25	23.96	6.82	4.38	3.92	0.14	1.59	25.60	32.38	2.14	1.56
SE-4	7.5 -12.0 m	7.50	12.00	718586.24	4092897.01	42.35	8.20	1.89	1.35	1.84	0.04	0.56	37.99	162.46	2.53	1.40
SE-4	12.0 -14.0 m	12.00	14.00	718586.24	4092897.01	25.11	31.15	3.45	2.20	2.78	0.38	1.11	22.52	27.08	5.51	1.57
SE-4	14.0 -17.0 m	14.00	17.00	718586.24	4092897.01	23.47	28.82	8.31	4.56	4.59	0.23	1.68	23.15	25.11	2.24	1.82
SF-1	0.0-6.0 m	0.00	6.00	718366.27	4092813.72	48.74	3.01	0.92	0.54	1.20	0.02	1.17	40.72	494.09	2.06	1.70
SF-1	6.0-12.5 m	6.00	12.50	718366.27	4092813.72	28.82	22.43	6.19	3.23	4.26	0.23	1.34	27.49	39.91	2.38	1.92

EK 1. Hammadde sahası sondaj bilgileri (devam)

SF-1	12.5-15.0 m	12.50	15.00	718366.27	4092813.72	20.73	40.59	5.85	2.86	4.54	0.57	1.21	19.09	16.93	4.66	2.05
SF-1	15.0-20.0 m	15.00	20.00	718366.27	4092813.72	22.10	31.61	8.31	4.82	4.88	0.27	1.60	22.42	21.78	2.41	1.72
SF-2	0.0 - 4.8 m	0.00	4.80	718462.82	4092816.02	22.53	30.63	9.05	4.68	4.53	0.19	1.77	23.14	22.65	2.23	1.93
SF-2	4.8 -10.6 m	4.80	10.60	718462.82	4092816.02	45.22	5.69	1.33	0.94	2.13	0.07	0.33	39.85	249.66	2.51	1.41
SF-2	10.6 – 17.0 m	10.60	17.00	718462.82	4092816.02	22.09	31.40	8.64	4.77	4.97	0.24	1.67	22.62	21.82	2.34	1.81
SF-3	0.0-6.0 m	0.00	6.00	718568.57	4092811.12	46.60	3.80	1.29	0.89	1.50	0.02	0.34	39.95	365.76	1.74	1.45
SF-3	6.0-8.5 m	6.00	8.50	718568.57	4092811.12	24.49	38.72	3.54	1.74	2.76	0.59	1.08	22.65	21.53	7.33	2.03
SF-3	8.5-12.5 m	8.50	12.50	718568.57	4092811.12	20.80	32.25	9.42	4.86	0.87	0.21	1.84	21.26	19.89	2.26	1.94
SF-3	12.5-16.0 m	12.50	16.00	718568.57	4092811.12	44.44	4.81	1.59	1.17	2.09	0.11	0.41	38.94	275.94	1.74	1.36
SG-1	0.0-3.0 m	0.00	3.00	718465.09	4092715.62	44.88	8.39	1.27	0.72	1.47	0.03	0.31	37.76	176.29	4.22	1.76
SG-1	3.0-7.0 m	3.00	7.00	718465.09	4092715.62	22.01	30.57	9.09	4.64	4.32	0.18	1.76	22.21	22.16	2.23	1.96
SG-1	7.0-17.5 m	7.00	17.50	718465.09	4092715.62	45.81	4.75	1.50	0.98	1.89	0.03	0.40	39.11	291.65	1.92	1.53
SG-1	17.5-19.0 m	17.50	19.00	718465.09	4092715.62	27.21	23.22	6.88	3.64	4.50	0.30	1.46	26.70	36.04	2.21	1.89
SG-1	19.0-22.5 m	19.00	22.50	718465.09	4092715.62	25.76	34.93	4.93	2.26	3.34	0.42	1.14	23.46	24.51	4.86	2.18
SG-3	0.0-1.5 m	0.00	1.50	718622.81	4092711.73	45.58	6.58	1.56	1.05	1.74	0.03	0.35	39.69	217.59	2.52	1.49
SG-3	1.5-3.0 m	1.50	3.00	718622.81	4092711.73	30.31	21.99	6.32	3.24	3.64	0.24	1.34	28.77	42.61	2.30	1.95
SG-3	3.0-6.5 m	3.00	6.50	718622.81	4092711.73	36.86	17.53	2.64	1.51	2.57	0.26	0.69	33.04	69.31	4.22	1.75
SG-3	6.5-9.5 m	6.50	9.50	718622.81	4092711.73	23.07	29.85	8.57	4.85	4.83	0.24	1.72	22.00	23.82	2.22	1.77
SG-3	9.5-13.0 m	9.50	13.00	718622.81	4092711.73	44.38	6.12	1.71	1.15	2.34	0.12	0.44	39.14	223.00	2.14	1.49
SG-3	13.0-14.0 m	13.00	14.00	718622.81	4092711.73	38.28	11.86	3.12	1.88	2.56	0.26	0.85	35.13	100.44	2.37	1.66
SG-4	0.0-2.0 m	0.00	2.00	718360.45	4092720.15	21.56	32.08	9.67	4.91	4.30	0.17	1.84	21.25	20.65	2.20	1.97
SG-4	2.0-13.5 m	2.00	13.50	718360.45	4092720.15	47.18	3.82	1.26	0.73	1.36	0.02	0.28	40.04	372.75	1.92	1.73
SG-4	13.5-21.5 m	13.50	21.50	718360.45	4092720.15	22.52	31.22	8.47	4.67	4.94	0.24	1.58	22.30	22.42	2.38	1.81
SH-1	0.0-0.5 m	0.00	0.50	718510.78	4092623.33	25.78	33.22	5.11	2.61	2.98	0.25	1.17	24.42	25.59	4.30	1.96
SH-1	0.5-3.0 m	0.50	3.00	718510.78	4092623.33	21.49	31.42	9.38	4.88	4.33	0.18	1.80	21.84	21.02	2.20	1.92
SH-1	3.0-15.5 m	3.00	15.50	718510.78	4092623.33	44.61	4.40	1.39	0.87	1.69	0.07	0.38	37.80	307.11	1.95	1.60
SH-1	15.5-20.5 m	15.50	20.50	718510.78	4092623.33	23.31	37.22	5.15	2.48	4.41	0.32	1.32	21.61	20.83	4.88	2.08
SH-1	20.5-21.5 m	20.50	21.50	718510.78	4092623.33	21.63	31.24	8.86	5.02	4.92	0.23	1.67	22.19	21.38	2.25	1.76
SH-3	0.0-3.0 m	0.00	3.00	718655.77	4092621.97	38.74	13.22	3.07	2.12	1.78	0.05	0.85	34.40	92.20	2.55	1.45
SH-3	3.0-4.5 m	3.00	4.50	718655.77	4092621.97	32.34	19.38	5.70	3.20	2.26	0.08	1.28	29.98	51.28	2.18	1.78
SH-3	4.5-7.5 m	4.50	7.50	718655.77	4092621.97	46.39	4.75	1.17	0.66	1.13	0.02	0.28	39.12	307.02	2.60	1.77
SH-3	7.5-12.5 m	7.50	12.50	718655.77	4092621.97	20.47	32.52	9.53	5.15	4.54	0.21	1.85	21.27	19.38	2.22	1.85
SH-4	0.0-12.0 m	0.00	12.00	718398.72	4092632.77	46.84	4.23	1.37	0.89	1.51	0.02	0.34	39.76	333.64	1.87	1.54
SH-4	12.0-14.0 m	12.00	14.00	718398.72	4092632.77	25.56	33.46	5.54	2.66	3.35	0.32	1.22	23.96	25.07	4.08	2.08
SH-4	14.0-22.0 m	14.00	22.00	718398.72	4092632.77	23.18	30.36	7.86	4.37	4.86	0.23	1.55	22.33	23.87	2.48	1.80
SI-1	0.0-12.0 m	0.00	12.00	718541.16	4092534.87	45.28	0.45	1.44	0.79	5.23	0.02	0.36	38.96	1303.88	0.20	1.82
SI-1	12.0-13.5 m	12.00	13.50	718541.16	4092534.87	26.85	28.06	5.98	3.09	3.89	0.28	1.24	25.33	30.64	3.09	1.94
SI-1	13.5-15.0 m	13.50	15.00	718541.16	4092534.87	23.24	37.04	5.05	2.46	4.39	0.53	1.06	21.91	20.89	4.93	2.05
SI-1	15.0-16.5 m	15.00	16.50	718541.16	4092534.87	21.65	32.96	8.06	4.35	5.22	0.24	1.45	21.18	20.69	2.66	1.85
SI-1	16.5-18.0 m	16.50	18.00	718541.16	4092534.87	21.74	37.89	6.90	3.61	5.30	0.39	1.28	20.98	18.65	3.61	1.91

EK 1. Hammadde sahası sondaj bilgileri (devam)

SI-1	18.0-19.0 m	18.00	19.00	718541.16	4092534.87	23.05	30.37	8.02	4.51	4.83	0.23	1.54	23.03	23.66	2.42	1.78
SI-2	0.0-1.5 m	0.00	1.50	718629.36	4092533.44	31.83	21.07	5.88	3.03	2.22	0.08	1.23	29.74	46.88	2.36	1.94
SI-2	1.5-8.0 m	1.50	8.00	718629.36	4092533.44	43.34	10.58	1.59	1.04	1.34	0.04	0.41	36.29	134.70	4.02	1.53
SI-2	8.0-11.0 m	8.00	11.00	718629.36	4092533.44	23.72	29.34	8.69	4.42	3.87	0.15	1.70	23.23	24.90	2.24	1.97
SI-2	11.0-16.0 m	11.00	16.00	718629.36	4092533.44	43.16	8.14	1.61	1.06	1.75	0.04	0.42	37.80	170.05	3.05	1.52
SI-3	0.0-4.5 m	0.00	4.50	718697.49	4092526.55	44.58	7.68	1.90	1.20	1.29	0.02	0.50	38.57	181.77	2.48	1.58
SI-3	4.5-5.0 m	4.50	5.00	718697.49	4092526.55	25.33	36.61	4.62	2.10	2.58	0.40	1.10	23.40	23.17	5.45	2.20
SI-3	5.0-8.0 m	5.00	8.00	718697.49	4092526.55	22.16	32.49	8.89	4.71	3.69	0.19	1.72	22.18	21.20	2.39	1.89
SI-3	8.0-12.0 m	8.00	12.00	718697.49	4092526.55	48.11	3.68	1.11	0.76	1.05	0.01	0.24	40.22	397.35	1.97	1.46
SJ-1	0.0-2.0 m	0.00	2.00	718585.08	4092435.79	20.75	34.26	10.19	5.11	3.18	0.16	1.87	20.11	18.65	2.24	1.99
SJ-1	2.0-13.5 m	2.00	13.50	718585.08	4092435.79	49.59	2.35	0.79	0.55	0.87	0.00	0.14	41.18	630.14	1.75	1.44
SJ-1	13.5-16.0 m	13.50	16.00	718585.08	4092435.79	20.44	34.38	9.84	4.94	4.25	0.16	1.75	20.95	18.40	2.33	1.99
SJ-1	16.0-17.5 m	16.00	17.50	718585.08	4092435.79	21.81	31.48	9.13	4.74	4.38	0.19	1.77	21.95	21.38	2.27	1.93
SJ-2	0.0-4.0 m	0.00	4.00	718664.51	4092442.57	45.96	6.87	1.46	0.99	1.01	0.01	0.36	38.32	212.76	2.80	1.47
SJ-2	4.0-6.5 m	4.00	6.50	718664.51	4092442.57	21.35	33.33	9.94	5.03	3.68	0.16	1.81	21.51	19.71	2.23	1.98
SJ-2	6.5-14.0 m	6.50	14.00	718664.51	4092442.57	49.06	2.67	0.88	0.49	0.75	0.00	0.17	40.83	555.42	1.95	1.80
SJ-2	14.0-16.5 m	14.00	16.50	718664.51	4092442.57	23.42	30.48	8.41	4.27	4.39	0.15	1.59	23.05	23.89	2.40	1.97
SK-1	0.0-6.5 m	0.00	6.50	718576.84	4092336.95	47.12	3.93	1.27	0.88	0.92	0.00	0.24	39.69	360.39	1.83	1.44
SK-1	6.5-15.5 m	6.50	15.50	718576.84	4092336.95	25.50	27.47	7.23	3.87	4.49	0.20	1.42	26.36	28.99	2.47	1.87
SK-1	15.5-17.0 m	15.50	17.00	718576.84	4092336.95	30.24	26.50	3.32	2.07	2.81	0.26	0.91	27.38	38.06	4.92	1.60
SK-1	17.0-19.5 m	17.00	19.50	718576.84	4092336.95	24.13	31.77	7.31	3.85	3.89	0.22	1.42	22.72	24.11	2.85	1.90
SKE-2	0.0-14.0 m	0.00	14.00	718667.98	4092341.15	43.21	8.19	2.01	1.12	1.24	0.03	0.54	38.12	165.99	2.62	1.79
SKE-2	14.0-15.0 m	14.00	15.00	718667.98	4092341.15	25.16	34.21	5.53	2.77	3.25	0.35	1.20	24.11	24.17	4.12	2.00
SK-3	0.0-8.0 m	0.00	8.00	718755.36	4092330.14	47.73	3.83	1.12	0.56	1.57	0.06	0.15	41.11	384.62	2.28	2.00
SK-3	8.0-10.5 m	8.00	10.50	718755.36	4092330.14	28.07	28.13	5.32	3.21	3.59	0.22	1.01	25.49	32.22	3.30	1.66
SK-3	10.5-17.5 m	10.50	17.50	718755.36	4092330.14	42.37	9.78	2.12	1.30	2.05	0.06	0.49	37.66	137.88	2.86	1.63
SK-3	17.5-25.0 m	17.50	25.00	718755.36	4092330.14	24.87	29.50	7.60	4.15	4.47	0.25	1.53	23.51	26.38	2.51	1.83
SKE-4	0.0-7.5 m	0.00	7.50	718534.84	4092594.44	49.73	2.31	0.76	0.43	0.89	0.01	0.09	41.17	650.55	1.94	1.77
SKE-4	7.5-9.0 m	7.50	9.00	718534.84	4092594.44	9.41	61.81	9.42	6.20	3.14	0.62	1.54	7.07	5.00	3.96	1.52
SKE-4	9.0-16.5 m	9.00	16.50	718534.84	4092594.44	27.92	29.70	6.02	3.52	3.05	0.19	1.06	25.34	30.17	3.11	1.71
SKE-4	16.5-17.5 m	16.50	17.50	718534.84	4092594.44	39.26	13.62	2.98	1.82	1.84	0.06	0.80	34.70	91.65	2.84	1.64
SKE-5	0.0-9.5 m	0.00	9.50	718463.21	4092980.95	49.97	1.78	0.61	0.35	0.79	0.00	0.02	41.93	842.48	1.85	1.74
SKE-5	9.5-11.5 m	9.50	11.50	718463.21	4092980.95	26.70	30.63	5.28	3.05	3.79	0.32	0.99	24.31	28.41	3.68	1.73
SKE-5	11.5-15.5 m	11.50	15.50	718463.21	4092980.95	22.84	32.77	6.94	4.04	4.88	0.24	1.22	23.28	22.27	2.98	1.72
SKE-5	15.5-18.0 m	15.50	18.00	718463.21	4092980.95	46.03	5.52	1.46	0.92	1.71	0.04	0.31	3.68	258.93	2.32	1.59
SL-1	0.0 -2.5 m	0.00	2.50	718528.79	4093380.69	19.67	34.49	9.93	6.21	4.18	0.30	1.38	21.80	17.51	2.14	1.60
SL-1	2.5 -14.7 m	2.50	14.70	718528.79	4093380.69	23.32	29.65	8.11	4.45	4.65	0.30	1.58	23.56	24.42	2.36	1.82
SL-1	14.7 -18.0 m	14.70	18.00	718528.79	4093380.69	43.38	6.86	1.77	1.14	2.27	0.17	0.48	39.23	196.85	2.36	1.55
SL-1	18.0-19.5 m	18.00	19.50	718528.79	4093380.69	34.59	15.85	3.60	2.27	3.38	0.31	0.98	33.04	69.04	2.70	1.59
SL-1	19.5 -22.5 m	19.50	22.50	718528.79	4093380.69	42.78	6.77	1.66	1.21	3.51	0.08	0.43	39.11	197.13	2.36	1.37

EK 1. Hammadde sahası sondaj bilgileri (devam)

SL-1	22.5-28.0 m	22.50	28.00	718528.79	4093380.69	21.51	32.04	8.51	5.03	4.76	0.45	1.68	21.89	20.88	2.37	1.69
SM-2	0.0-9.5 m	0.00	9.50	717773.25	4092685.13	48.49	3.29	1.09	0.60	0.48	0.01	0.16	39.99	445.34	1.95	1.82
SM-2	9.5-10.5 m	9.50	10.50	717773.25	4092685.13	34.87	17.78	5.18	2.62	1.39	0.11	0.94	35.79	60.54	2.28	1.98
SM-2	10.5-24.0 m	10.50	24.00	717773.25	4092685.13	50.92	2.11	0.73	0.44	0.37	0.00	0.05	40.58	721.72	1.80	1.66
SM-3	0.0-17.0 m	0.00	17.00	717618.94	4092915.56	50.90	1.58	0.63	0.32	0.42	0.00	0.01	41.84	946.91	1.66	1.97
SM-3	17.0-21.5 m	17.00	21.50	717618.94	4092915.56	49.83	1.98	0.74	0.48	0.39	0.00	0.06	41.40	740.50	1.62	1.54
SM-4	0.0-1.5 m	0.00	1.50	717895.20	4092907.60	42.37	11.77	1.80	1.20	0.91	0.06	0.48	31.14	118.15	3.92	1.50
SM-4	1.5-3.5 m	1.50	3.50	717895.20	4092907.60	23.77	31.54	8.95	3.96	2.54	0.18	1.69	22.94	23.43	2.44	2.26
SM-4	3.5-9.0 m	3.50	9.00	717895.20	4092907.60	46.14	5.94	1.55	1.04	1.02	0.01	0.38	39.20	241.10	2.29	1.49
SM-4	9.0-12.5 m	9.00	12.50	717895.20	4092907.60	35.03	23.30	2.60	1.46	1.27	0.18	0.67	29.87	50.58	5.74	1.78
SM-4	12.5-21.5 m	12.50	21.50	717895.20	4092907.60	23.16	34.81	7.50	4.11	3.15	0.24	1.38	22.03	21.25	3.00	1.82
SM-4	21.5-23.0 m	21.50	23.00	717895.20	4092907.60	22.86	30.19	9.11	4.18	3.88	0.19	1.69	22.26	23.33	2.27	2.18
SM-5	0.0-3.0 m	0.00	3.00	718032.84	4092925.07	28.83	25.19	6.46	3.71	3.04	0.10	1.21	27.49	35.78	2.48	1.74
SM-5	3.0-4.5 m	3.00	4.50	718032.84	4092925.07	24.85	30.05	7.73	4.34	3.50	0.13	1.39	24.01	25.86	2.49	1.78
SM-5	4.5-6.5 m	4.50	6.50	718032.84	4092925.07	50.24	2.18	0.66	0.36	0.52	0.00	0.05	41.43	705.94	2.14	1.83
SM-5	6.5-10.5 m	6.50	10.50	718032.84	4092925.07	22.69	34.55	8.39	4.77	3.41	0.16	1.77	21.29	20.68	2.63	1.76
SM-5	10.5-18.0 m	10.50	18.00	718032.84	4092925.07	48.24	3.32	1.00	0.74	0.87	0.01	0.24	40.15	440.27	1.91	1.35
SM-5	18.0-22.0 m	18.00	22.00	718032.84	4092925.07	21.94	33.43	9.74	4.87	3.66	0.21	1.53	21.26	20.27	2.29	2.00
SN-1	0.0-19.5 m	0.00	19.50	718008.00	4092458.00	48.16	3.54	1.14	0.65	0.89	0.00	0.26	39.88	412.34	1.98	1.75
SN-1	19.5-21.0 m	19.50	21.00	718008.00	4092458.00	24.43	29.56	8.08	4.10	3.90	0.17	1.52	23.51	25.72	2.43	1.97
SN-1	21.0-22.0 m	21.00	22.00	718008.00	4092458.00	42.04	9.46	2.29	1.61	1.68	0.10	0.58	36.83	139.04	2.43	1.42

EK 2. Portland çimentosu kalite kontrol parametreleri

CaO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Na2O	K2O	ÇK	SO3	KK	SCaO	C3S	45 µm elek bakiye. (%)	90 µm elek bakiye. (%)	Öz. yüzey (cm2/gr)	Öz. Ağr. (gr/cm3)	Litre Ağr. (gr/lt)	Su miktarı (ml)	Donma			Basınç Dayanımı																
																				1 Gün			2 Gün			3 Gün			7 Gün			28 Gün				
																	Başla.	Bitiş	Şatölye	1/1	2/1	Ort.	1/1	2/1	Ort.	1/1	2/1	Ort.	1/1	2/1	Ort.	1/1	2/1	1/2	2/2	Ort.
62.7	20.05	5.24	4.16	0.30	0.92	0.2	2.75	1.7	0.71	55.95	4.4	0.2	3340	3.15	980	148	162	223	2	15.8	16.6	16.2	26.5	27.7	27.1	31.5	33.7	32.6	38.5	40.1	39.3	48.9	47.9	47.2	49.9	48.5
62.82	20.18	5.25	4.12	0.29	0.94	0.2	2.72	1.3	0.69	55.48	4.0	0.2	3350	3.15	980	148	170	237	1	17.6	17.3	17.5	27.9	25.8	26.9	30.0	31.7	30.9	38.7	40.6	39.7	49.4	47.6	50.2	50.1	49.3
63.05	20.04	5.23	4.07	0.29	0.90	0.2	2.61	1.2	0.71	57.60	4.1	0.3	3210	3.14	990	148	170	235	3	14.0	14.6	14.3	26.0	25.4	25.7	30.6	32.7	31.7	40.0	38.7	39.4	48.4	50.3	48.5	50.2	49.4
63.00	20.08	5.23	4.08	0.29	0.89	0.3	2.7	1.2	0.71	57.08	3.6	0.2	3170	3.18	975	148	175	248	3	15.7	16.4	16.1	27.6	28.0	27.8	31.0	32.3	31.7	40.8	41.3	41.1	50.5	51.6	52.3	49.5	51.0
62.96	20.41	5.30	4.16	0.28	0.93	0.3	2.57	0.9	0.49	54.72	3.4	0.3	3200	3.14	985	148	168	248	1	14.3	14.3	14.3	25.3	25.7	25.5	29.2	29.5	29.4	38.5	36.9	37.7	46.3	45.8	46.8	45.5	46.1
62.57	20.33	5.24	4.21	0.29	0.93	0.3	2.75	1.00	0.43	54.32	3.0	0.2	3260	3.16	1000	148	176	246	1	16.0	17.8	16.9	28.0	27.0	27.5	31.2	33.0	32.1	40.6	41.0	40.8	52.7	51.8	51.0	50.1	51.4
62.67	20.34	5.16	4.25	0.29	0.96	0.3	2.81	1.1	0.5	54.85	3.2	0.2	3360	3.14	990	148	149	205	2	16.3	16.4	16.4	28.1	26.6	27.4	32.2	32.0	32.1	41.6	40.8	41.2	49.4	50.2	49.2	51.5	50.1
62.64	19.61	5.18	4.28	0.29	0.92	0.2	2.93	1.4	0.44	60.34	3.2	0.2	3430	3.14	1000	148	170	232	1	15.7	16.5	16.1	28.9	27.7	28.3	33.8	33.0	33.4	41.1	40.1	40.6	51.0	52.3	50.5	50.5	51.1
62.79	20.87	5.29	4.03	0.30	0.90	0.4	2.68	1.4	0.58	50.42	3.2	0.1	3290	3.15	980	148	176	238	1	17.8	16.6	17.2	27.9	29.3	28.6	34.1	33.6	33.9	44.2	44.0	44.1	49.6	50.7	50.2	51.2	50.4
62.87	20.44	5.25	3.98	0.29	0.85	0.3	2.83	1.2	0.49	54.72	3.8	0.2	3320	3.14	1000	148	175	243	2	15.2	16.1	15.7	27.2	26.5	26.9	31.1	32.5	31.8	41.4	38.7	40.1	50.7	48.9	48.2	47.7	48.9
63.01	20.30	5.20	3.91	0.28	0.94	0.2	2.8	1.7	0.65	56.14	3.7	0.3	3270	3.14	1000	148	177	251	2	18.0	16.9	17.5	28.0	27.5	27.8	33.9	32.4	33.2	40.8	42.3	41.6	51.7	51.2	51.1	49.1	50.8
62.49	19.83	5.36	4.15	0.28	0.95	0.8	2.81	1.2	0.68	56.06	3.0	0.3	3320	3.14	980	148	167	231	3	16.1	16.8	16.5	27.0	28.0	27.5	33.8	31.1	32.5	40.5	42.6	41.6	48.6	50.4	48.5	49.9	49.4
62.45	20.28	5.44	4.15	0.29	0.97	0.3	2.78	0.9	0.65	52.06	3.5	0.2	3300	3.14	985	148	176	246	3	15.0	15.4	15.2	27.9	25.6	26.8	32.8	33.4	33.1	40.5	38.4	39.5	50.8	49.1	49.7	47.9	49.4
62.80	19.82	5.32	4.28	0.30	0.96	0.2	2.69	0.9	1.27	55.07	3.0	0.3	3300	3.13	995	148	168	229	3	18.5	17.2	17.9	27.1	28.9	28.0	31.4	33.2	32.3	38.9	40.6	39.8	51.9	49.4	51.9	49.5	50.7
62.92	19.80	5.21	4.15	0.30	0.90	0.3	2.58	1.6	0.94	57.98	3.1	0.2	3310	3.12	1000	148	180	244	2	17.8	17.0	17.4	26.4	27.5	27.0	32.5	33.0	32.8	38.9	40.2	39.6	47.5	50.6	47.4	48.7	48.6
62.94	19.92	5.31	4.26	0.31	0.90	0.3	2.66	1.5	1.27	54.98	2.9	0.2	3280	3.15	980	148	176	230	2	16.9	15.8	16.4	27.4	26.4	26.9	32.2	33.1	32.7	37.9	40.6	39.3	48.3	48.9	48.4	48.7	48.6
62.76	20.01	5.34	4.27	0.30	0.92	0.2	2.68	0.8	0.91	54.81	3.2	0.2	3280	3.14	980	148	172	219	2	16.5	17.3	16.9	27.4	28.5	28.0	34.4	31.6	33.0	41.3	39.5	40.4	48.9	51.3	49.8	51.9	50.5
62.76	20.52	5.33	4.16	0.30	0.91	0.3	2.59	1.3	0.87	51.32	3.1	0.2	3270	3.15	990	148	171	236	1	15.0	15.7	15.4	26.8	26.4	26.6	32.9	30.6	31.8	38.9	40.6	39.8	51.6	48.6	50.5	48.8	49.9
62.82	20.08	5.23	4.12	0.30	0.88	0.5	2.58	1.6	0.97	55.23	4.2	0.4	3390	3.13	980	148	170	230	2	15.9	16.4	16.2	27.9	27.8	27.9	32.2	32.2	32.2	41.2	39.2	40.2	50.2	49.1	48.6	48.8	49.2
62.91	20.39	5.32	4.20	0.30	0.87	0.3	2.46	1.2	0.56	54.19	3.6	0.2	3240	3.14	1010	148	176	229	2	14.7	14.9	14.8	25.6	26.2	25.9	32.2	31.6	31.9	38.2	38.9	38.6	50.5	51.4	48.3	48.8	49.8
62.43	19.99	5.29	4.10	0.31	0.87	0.3	2.77	2	0.69	55.10	3.6	0.2	3400	3.13	975	148	173	234	2	14.9	14.9	14.9	26.2	27.3	26.8	30.0	31.0	30.5	42.2	39.6	40.9	50.0	50.8	49.2	48.9	49.7
62.64	19.87	5.35	4.15	0.29	0.90	0.3	2.67	1.4	0.92	55.45	3.3	0.3	3410	3.16	980	148	167	228	1	14.8	16.0	15.4	26.7	26.3	26.5	32.4	32.4	32.4	41.2	40.0	40.6	50.1	50.2	50.6	51.9	50.7
62.73	19.66	5.26	4.16	0.29	0.90	0.3	2.70	1.2	0.74	58.74	3.4	0.3	3300	3.15	995	148	171	234	2	16.5	15.1	15.8	26.6	27.7	27.2	32.4	33.5	33.0	43.2	40.8	42.0	49.8	51.4	50.9	49.4	50.4
62.70	19.62	5.34	4.16	0.30	0.93	0.3	2.68	1.6	0.80	58.14	3.6	0.2	3230	3.14	990	148	174	250	1	15.3	16.8	16.1	27.1	28.4	27.8	32.0	34.0	33.0	38.7	40.6	39.7	51.7	50.3	50.3	48.7	50.3
62.68	19.88	5.30	4.31	0.30	0.92	0.4	2.71	1.2	0.74	56.38	3.3	0.2	3270	3.14	970	148	168	256	2	15.7	16.5	16.1	28.5	27.7	28.1	33.1	31.8	32.5	41.0	40.7	40.9	48.4	49.2	50.0	50.2	49.5
62.77	19.48	5.17	4.07	0.30	0.92	0.2	2.78	1.6	0.81	60.72	3.2	0.2	3420	3.15	950	148	175	226	2	17.2	16.6	16.9	27.9	29.2	28.6	34.5	33.8	34.2	41.7	40.0	40.9	50.7	49.3	51.9	49.6	50.4
62.80	19.57	5.19	4.17	0.30	0.90	0.3	2.76	1.8	0.89	59.55	3.2	0.2	3380	3.11	960	148	166	206	3	17.6	16.5	17.1	28.6	29.2	28.9	32.9	31.2	32.1	38.9	37.7	38.3	50.0	47.3	48.6	47.8	48.4
62.63	19.28	5.21	4.10	0.31	0.96	0.4	2.82	1.2	0.78	61.48	3.1	0.2	3400	3.16	975	148	172	225	2	15.5	16.7	16.1	27.0	25.7	26.4	30.8	32.2	31.5	39.1	38.2	38.7	49.8	50.8	48.3	49.4	49.6
62.37	19.28	5.29	4.18	0.33	0.98	0.4	2.84	1.3	0.43	61.19	3.6	0.4	3240	3.14	960	148	170	230	2	17.7	16.2	17.0	26.8	28.4	27.6	31.6	33.3	32.5	40.7	39.9	40.3	49.4	49.2	52.1	49.1	50.0
62.62	19.55	5.33	4.33	0.32	0.94	0.2	2.79	1.3	0.91	57.72	3.6	0.2	3210	3.13	990	148	150	216	1	17.7	16.9	17.3	29.2	27.9	28.6	33.4	31.0	32.2	40.4	38.0	39.2	46.0	48.3	48.8	48.9	48.0
62.79	19.43	5.24	4.25	0.33	0.91	0.4	2.80	1.7	0.61	61.26	3.3	0.2	3280	3.16	980	148	167	230	1	17.8	17.1	17.5	27.1	29.4	28.3	32.8	33.5	33.2	43.3	41.2	42.3	52.1	50.3	53.8	49.2	51.4
63.01	19.38	5.22	4.18	0.31	0.89	0.4	2.69	2.2	0.69	62.45	3.6	0.3	3380	3.11	970	148	171	226	3	17.0	16.5	16.8	27.2	28.0	27.6	32.7	31.5	32.1	39.9	41.4	40.7	49.9	51.3	49.3	51.7	50.6
62.66	20.11	5.24	4.12	0.31	0.92	0.2	2.68	1.60	0.73	55.26	3.7	0.3	3280	3.17	960	148	171	221	2	16.3	15.2	15.8	26.8	26.1	26.5	31.7	30.6	31.2	38.4	38.5	38.5	50.2	48.7	47.3	47.2	48.4
62.67	19.81	5.25	4.14	0.32	0.92	0.2	2.60	1.8	0.65	57.82	3.8	0.3	3330	3.13	965	148	169	220	1	16.1	16.5	16.3	27.9	26.7	27.3	32.5	32.2	32.4	38.5	37.0	37.8	48.1	47.7	48.7	46.9	47.9
62.59	19.57	5.27	4.15	0.32	0.94	0.2	2.74	1.70	0.59	59.41	3.6	0.4	3170	3.13	970	148	165	220	3	17.3	16.8	17.1	27.2	28.0	27.6	33.4	31.5	32.5	40.5	37.5	39.0	48.1	47.7	46.8	48.1	47.7
62.28	20.36	5.49	4.15	0.33	0.96	0.3	2.74	1.2	0.89	49.44	3.1	0.1	3460	3.14	970	148	173	216	1	17.1	17.7	17.4	27.1	28.8	28.0	32.7	33.6	33.2	40.9	39.9	40.4	49.5	50.1	47.5	48.9	49.0
62.62	19.61	5.40	4.13	0.32	0.95	0.4	2.74	1.3	0.71	57.89	3.2	0.2	3320	3.12	970	148	153	202	2	18.6	17.0	17.8	27.4	28.7	28.1	34.1	32.4	33.3	39.7	39.0	39.4	48.4	49.1	47.0	48.1	48.2
62.44	19.16	5.39	4.23	0.33	0.95	0.2	2.77	1.4	0.66	60.71	3.6	0.3	3390	3.16	995	148	153	231	1	17.5	18.8	18.2	26.9	28.2	27.6	33.7	34.1	33.9	38.5	40.1	39.3	49.6	47.4	51.1	49.6	49.4
62.30	19.46	5.32	4.18	0.33	0.96	0.2	2.93	1.3	0.82	57.75	3.6	0.3	3370	3.14	970	148	183	236	2	16.4	15.9	16.2	27.7	26.1	26.9	31.0	31.6	31.3	40.6	38.7	39.7	48.3	47.8	47.4	47.2	47.7
62.46	19.60	5.39	4.22	0.33	0.98	0.2	2.64	1.5	0.57	57.83	3.6	0.3	3160	3.11	1010	148	168	231	1	17.0	15.6	16.3	27.5	26.3	26.9	31.8	30.4	31.1	38.2	36.1	37.2	46.8	48.9	47.5	47.8	47.8