



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**MARMARA BÖLGESİNDEKİ
FARKLI KÖKENLİ DOĞAL KUMLARIN
BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Jeoloji Yüksek Müh. Selahattin HASDEMİR

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

2007

Danışman

Prof. Dr. Atiye TUĞRUL

İSTANBUL

Tez çalışması, İ.Ü. Araştırma fonu tarafından Yeni Fen Kod T-782/27122005 no'lu ve “Marmara Bölgesindeki Farklı Kökenli Doğal Kumların Beton özelliklerine Etkisi” başlıklı proje ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada Marmara Bölgesi'ndeki farklı kökenli doğal kumların beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Tez çalışmalarım süresince yaptığı değerli katkı ve yapıcı eleştirilerinden dolayı Tez Danışmanım Prof. Dr. Atiye TUĞRUL'a,

Mineralojik ve petrografik araştırmalarda yardımları olan İ.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Sinan ÖNGEN ve Yrd. Doç. Dr. Davut LAÇIN'e, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN'e,

Jeoloji haritalarının hazırlanmasında yapıcı eleştirilerde bulunan İ.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Yrd. Doç. Dr. Hasan EMRE ve Yrd. Doç. Dr. Yakup ÇELİK'e,

SEM incelemeleri için olanak sağlayan İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı Prof. Dr. İbrahim YUSUFOĞLU ile örnekleri hazırlayan ve fotoğraflarını çeken İ.Ü. Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden Araş. Gör. Mert ZORAĞA'ya,

XRD analizleri ile kimyasal analizleri yapan TÜBİTAK-MAM'dan Dr. Esin GÜNAY'a,

Hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde yardımcı olan İ.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Araş. Gör. Ömer ÜNDÜL'e,

Tüm çalışmalarda desteklerini esirgemeyen Jeo. Yük. Müh. Murat YILMAZ ve İnş. Müh. Gediz TANCAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmaların bir bölümünü oluşturan arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında SET Italcementi Group'un olanaklarından yararlanılmıştır. Bu bağlamda imkanları sağlayan yöneticilerine ve laboratuvar personeline teşekkürler ederim.

Ayrıca bu tezin hazırlanması sırasında bana her türlü manevi desteği sağlayan eşim Şükran HASDEMİR ile uzun zamandır birlikte geçireceğimiz zamanlarından fedakarlıkta bulunan oğlum Berke Can HASDEMİR ile kızım Ece HASDEMİR'e teşekkür ederim.

Ağustos, 2007

Jeoloji Yük. Müh. Selahattin HASDEMİR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET	xiii
SUMMARY.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. İNCELENEN ALANLARIN TANITIMI.....	1
1.1.2. Coğrafya	1
1.1.3. Akarsu Ağı.....	1
1.1.4. İklim.....	1
1.1.5. Bitki Örtüsü	2
1.1.6. Yerleşim ve Ulaşım	2
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	4
1.3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
1.3.1. Ocakların Bulunduğu Bölgelerin Jeolojisi İle İlgili Çalışmalar	4
1.3.2. Araştırma Konusu İle İlgili Çalışmalar	5
2. MALZEME VE YÖNTEM	8
2.1. BÜRO ÇALIŞMALARI	8
2.2. ARAZİ ÇALIŞMALARI	8
2.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI.....	8
3. BULGULAR.....	11
3.1. OCAK YERLERİNİN JEOLojİK ÖZELLİKLERİ	11
3.1.1. İstanbul Karadeniz Kıyısı - Akpınar Bölgesi	11
3.1.2. Trakya-Çorlu, Muratlı, Sinekli Bölgeleri	13
3.1.3. İstanbul-Ömerli Bölgesi	17
3.1.4. Bursa-Mustafakemalpaşa Bölgesi	18
3.2. PETROGRAfİK VE MİNERALojİK ARAŞTIRMALAR.....	20
3.3. KİMYASAL ANALİZLER.....	29
3.3.1. Doğal (ocaklardaki) örnekler üzerinde yapılan kimyasal analizler.....	29
3.3.2. Yıkama-eleme tesislerinden alınan örnekler üzerinde yapılan kimyasal analizler	34
3.3.3. Laboratuvarda yıkanmış örnekler üzerinde yapılan kimyasal analizler	39
3.3.4. Tesislerde ve laboratuvarda yıkanmış kumların kimyasal bileşimindeki değişimler	44
3.3.4.1. AS Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler	44
3.3.4.2. AP Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler.....	46
3.3.4.3. MK Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler.....	48
3.3.4.4. CV Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler.....	50
3.3.4.5. ST Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler	52
3.3.4.6. OE Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler	55
3.3.4.7. BC Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler.....	57
3.4. AGREGA DENEYLERİ.....	59
3.4.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı	60
3.4.2. Çok İnce Malzeme Muhtevası.....	64

3.4.3. Metilen Mavisi Değeri	65
3.4.4. Kum Eşdeğeri Değeri	67
3.3.5. Tane Yoğunluğu (özellik ağırlık)	69
3.4.6. Su Emme ve Porozite.....	71
3.4.7. Agregada Gevşek Yığın Yoğunluğu ve Boşluk Hacmi	74
3.4.8. Donmaya Karşı Dayanıklılık.....	75
3.4.9. Asitte Çözünabilen Sülfat , Suda Çözünabilen Klorür Tuzlarının ve Toplam Kükürt Muhtevası Tayini	78
3.4.10. Agregaların Kuruma Buzulmesi.....	79
3.4.11. Özellik Yüzey Alanı Hesabı.....	79
3.4.12. İncelik Modülü.....	81
3.5. KUMLARIN ALKALİ-SİLİS REAKSİYONU YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	82
3.5.1.Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyleri.....	84
3.6. BETON ARAŞTIRMALARI.....	94
3.6.1. Deneme Betonlarında Kullanılan Malzemeler	95
3.6.1.1. Çimento	95
3.6.1.2. Agregada	95
3.6.1.3. Kimyasal Katkı	95
3.6.1.4. Karma Suyu	96
3.6.2. Agregada Karışımının Granülometrisi.....	97
3.6.3. Beton Karışımları ve Üretimi.....	99
3.6.4. Taze Beton Deneyleri.....	100
3.6.4.1. Taze Betonda İşlenebilme ve Kıvam	101
3.6.4.2. Taze Beton Yoğunluk Deneyi.....	101
3.6.4.3. Taze Beton Hava İçeriği Deneyi.....	103
3.6.4.4. Taze Beton Sıcaklığı Deneyi.....	104
3.6.5. Sertleşmiş Betonlar Üzerinde Yapılan Araştırmalar	105
3.6.5.1. Petrografik İncelemeler	105
3.6.5.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	107
3.6.5.2.1. Sertleşmiş Betonda Basınç Dayanımı Tayini.....	107
3.7. HARÇ ARAŞTIRMALARI	110
3.7.1. Harç Karışımları ve üretimi.....	111
3.7.2. Sertleşmiş Harçlar üzerinde yapılan araştırmalar.....	113
3.7.2.1. Petrografik İncelemeler	113
3.7.2.2. Elektron Mikroskopu ile Yapılan İncelemeler.....	115
3.7.2.3. Harç üzerinde yapılan deneysel çalışmalar.....	119
4. DENEYSEL VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	123
5. SONUÇLAR.....	144
6. KAYNAKLAR	147
7. ÖZGEÇMİŞ	154

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1	: Araştırılan kum örneklerinin alındığı yerler, renkleri ve çökeltme ortamları	20
Tablo 3.2	: İncelenen doğal ve üretim (tesis) kum örneklerinin tane şekilleri, küresellik ve asitte köpürme özellikleri	21
Tablo 3.3	: Ocaktaki aynalardan (doğal), yıkama-eleme tesisinden (üretim) alınmış ve laboratuvarıda yıkanmış üretim örnekleri üzerinde yapılan binoküler mikroskop incelemeleri ile XRD analizi sonuçları.....	25
Tablo 3.4	: Ocaklardaki aynalardan alınan doğal örneklerinin ana element oksit içerikleri	30
Tablo 3.5	: Ocaklardaki aynalardan alınan doğal örneklerinin içerdiği elementler.....	31
Tablo 3.6	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan örneklerinin ana element oksit içerikleri.....	35
Tablo 3.7	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan örneklerinin içerdiği elementler.....	36
Tablo 3.8	: Laboratuvarıda yıkanmış kum örneklerinin ana element oksit içerikleri	40
Tablo 3.9	: Laboratuvarıda yıkanmış kum örneklerinin içerdiği elementler.....	41
Tablo 3.10	: Agregada deneyleri ve ilgili standartlar	60
Tablo 3.11	: İncelenen kumlar üzerinde yapılan elek analizi sonuçları.....	61
Tablo 3.12	: Kumların TS 706 EN 12620 (2003)'e göre 0.500 mm göz açıklıklı elekten geçen yüzdeye bağlı olarak irilik veya incelikleri.....	61
Tablo 3.13	: İncelenen kumların çok ince malzeme muhtevaları	65
Tablo 3.14	: İncelenen kumların metilen mavisi değerleri.....	66
Tablo 3.15	: İncelenen kumların kum eşdeğeri değerleri.....	67
Tablo 3.16	: Kum Eşdeğeri "ES" için önerilen değerler	68
Tablo 3.17	: İncelenen kumlara ait görünür tane yoğunluğu değerleri.....	69
Tablo 3.18	: İncelenen kumlara ait etüv kurusu tane yoğunluğu değerleri	70
Tablo 3.19	: İncelenen kumlara ait doymuş ve yüzeyi kurutulmuş tane yoğunluğu değerleri	71
Tablo 3.20	: İncelenen kumlar üzerinde yapılan su emme oranı deney sonuçları.....	72
Tablo 3.21	: İncelenen kumların poroziteleri	73
Tablo 3.22	: İncelenen kumlar üzerinde yapılan gevşek yığın yoğunluğu deney sonuçları	74
Tablo 3.23	: İncelenen kumlara ait boşluk yüzdesi değerleri	75
Tablo 3.24	: İncelenen kumlar üzerinde yapılan magnezyum sülfat deney sonuçları	77
Tablo 3.25	: Yıkama eleme tesislerinden alınan kumların asitle çözünebilen sülfat, suda çözünebilen klorür tuzu ve toplam kükürt muhtevası.....	78
Tablo 3.26	: İncelenen kumların kuruma büzülmesi yüzdeleri	79
Tablo 3.27	: İncelenen kumların özgül yüzey alanları.....	80
Tablo 3.28	: İncelenen kumların incelik modülleri.....	81
Tablo 3.29	: Kumların TS 706 EN 12620 (2003)'e göre İncelik modülüne bağlı olarak irilik veya incelikleri	82
Tablo 3.30	: Hızlandırılmış harç çubuğu deneyinde kullanılan çimentoğun özellikleri	84

Tablo 3.31	: Yıkama eleme tesislerinden alınan kum örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu 7 günlük boyca uzama yüzdeleri	85
Tablo 3.32	: Yıkama eleme tesislerinden alınan kum örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu 14 günlük boyca uzama yüzdeleri	85
Tablo 3.33	: Yıkama eleme tesislerinden alınan kum örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu 16 günlük boyca uzama yüzdeleri	86
Tablo 3.34	: Yıkama eleme tesislerinden alınan kum örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu 21 günlük boyca uzama yüzdeleri	86
Tablo 3.35	: Yıkama eleme tesislerinden alınan kum örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu 28 günlük boyca uzama yüzdeleri	86
Tablo 3.36	: Deneme betonlarında kullanılan kaba agregaların fiziksel özellikleri	96
Tablo 3.37	: Deneme betonlarında kullanılan kimyasal katkı özellikleri.....	96
Tablo 3.38	: Deneme betonlarında kullanılan şebeke suyu kimyasal analiz sonuçları	97
Tablo 3.39	: Agrega yüzdeleri ve karışımın incelik modülleri	98
Tablo 3.40	: Üretim (tesis) numuneleri ile üretilen ve eşit su/çimento oranına sahip beton karışım miktarları	99
Tablo 3.41	: Yıkama eleme tesislerinden alınan numuneler ile üretilen değişik su/çimento oranına sahip beton karışım miktarları	99
Tablo 3.42	: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler numuneler ile üretilen ve eşit su/çimento oranına sahip beton karışım miktarları	100
Tablo 3.43	: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler numuneler ile üretilen değişik su/çimento oranına sahip beton karışım miktarları	100
Tablo 3.44	: Taze beton deneyleri ile ilgili standartlar	100
Tablo 3.45	: TS EN 206-1 (2002)' e göre kıvam sınıfları	101
Tablo 3.46	: Üretilen taze betonların yoğunlukları	102
Tablo 3.47	: Taze beton hava içerikleri.....	104
Tablo 3.48	: Deneme betonları 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları	108
Tablo 3.49	: Yıkama eleme tesislerinden alınan kum numuneleri ile üretilen ve eşit su/çimento oranına sahip harçların karışım miktarları	111
Tablo 3.50	: Yıkama eleme tesislerinden alınan kum numuneleri ile üretilen ve farklı su/çimento oranına sahip harçların karışım miktarları	112
Tablo 3.51	: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile üretilen ve eşit su/çimento oranına sahip harçların karışım miktarları.....	112
Tablo 3.52	: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile üretilen ve değişik su/çimento oranına sahip harçların karışım miktarları	112
Tablo 3.53	: Laboratuvarıda yıkanmış 1 mm altı elek altı doğal kumlar ile üretilen ve farklı su/çimento oranına sahip harçların karışım miktarları	113
Tablo 3.54	: Harç numunelerinin 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları	120

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	: İncelenen kumların alındığı ocak yerlerini gösterir yer bulduru haritası	3
Şekil 3.1	: AP ve AS kodlu örneklerin alındığı bölgelerin jeoloji haritası	12
Şekil 3.2	: AP kodlu örneğin alındığı ocaktaki bol kavkılı kumlu düzeyler	12
Şekil 3.3	: Şekil 3.3: AS kodlu örneklerin alındığı kumlu seviyeler. Bu seviyelerin üzerinde bölgede daha önce işletilmekte olan kömür ocaklarına ait atıklar (dekapaj) bulunmaktadır	13
Şekil 3.4	: ST, MK ve CV kodlu örneklerin alındığı bölgelerin jeoloji haritası ...	14
Şekil 3.5	: ST kodlu örneklerin alındığı kumlu seviyeler	15
Şekil 3.6	: MK kodlu örneklerin alındığı kumlu seviyeler.....	16
Şekil 3.7	: CV kodlu örneklerin alındığı kumlu seviyeler	16
Şekil 3.8	: OE kodlu örneklerin alındığı bölgelerin jeoloji haritası.....	17
Şekil 3.9	: OE kodlu örneklerin alındığı kumlu seviyeler.....	18
Şekil 3.10	: BC kodlu örneklerin alındığı bölgelerin jeoloji haritası	19
Şekil 3.11	: BC kodlu örneklerin alındığı kumlu seviyeler	19
Şekil 3.12	: AS kodlu kum örneğinin binoküler mikroskoptaki görünümüleri.....	22
Şekil 3.13	: AP kodlu kum örneğinin binoküler mikroskoptaki görünümüleri.....	22
Şekil 3.14	: MK kodlu kum örneğinin binoküler mikroskoptaki görünümüleri	23
Şekil 3.15	: CV Kodlu kum örneğinin binoküler mikroskoptaki görünümüleri	23
Şekil 3.16	: ST Kodlu kum örneğinin binoküler mikroskoptaki görünümüleri	23
Şekil 3.17	: OE Kodlu kum örneğinin binoküler mikroskoptaki görünümüleri.....	24
Şekil 3.18	: BC Kodlu kum örneğinin binoküler mikroskoptaki görünümüleri.....	24
Şekil 3.19	: AS kodlu örneğin X ışını difraktogramları.....	26
Şekil 3.20	: AP kodlu örneğin X ışını difraktogramları.....	26
Şekil 3.21	: MK kodlu örneğin X ışını difraktogramları	27
Şekil 3.22	: CV kodlu örneğin X ışını difraktogramları	27
Şekil 3.23	: ST kodlu örneğin X ışını difraktogramları	28
Şekil 3.24	: OE kodlu örneğin X ışını difraktogramları	28
Şekil 3.25	: BC kodlu örneğin X ışını difraktogramları	29
Şekil 3.26	: Ocaklardaki aynalardan alınan doğal örneklerinin içerdiği ana element oksit yüzdeleri	32
Şekil 3.27	: Ocaklardaki yıkama-eleme tesislerinden alınan örneklerinin içerdiği ana element oksit yüzdeleri	37
Şekil 3.28	: Laboratuvarıda yıkanmış kum örneklerinin içerdiği ana element oksit yüzdeleri	42
Şekil 3.29	: Doğal, yıkama-eleme tesislerinden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış kum örneklerinin içerdiği SiO ₂ yüzdeleri	43
Şekil 3.30	: Yıkama sonrası AS kodlu numunenin Na ₂ O, MgO, SO ₃ ve K ₂ O oranındaki değişimler	44
Şekil 3.31	: Yıkama sonrası AS kodlu numunenin Al ₂ O ₃ ve Fe ₂ O ₃ oranındaki değişimler	45
Şekil 3.32	: Yıkama sonrası AS kodlu numunenin SiO ₂ ve CaO oranındaki değişimler.....	45
Şekil 3.33	: Yıkama sonrası AP kodlu numunenin Na ₂ O, MgO, SO ₃ ve K ₂ O oranındaki değişimler	46

Şekil 3.34	: Yıkama sonrası AP kodlu numunenin Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranındaki değişimler	47
Şekil 3.35	: Yıkama sonrası AP kodlu numunenin SiO_2 ve CaO oranındaki değişimler.....	47
Şekil 3.36	: Yıkama sonrası MK kodlu numunenin Na_2O , MgO , SO_3 ve K_2O oranındaki değişimler	49
Şekil 3.37	: Yıkama sonrası MK kodlu numunenin Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranındaki değişimler.....	49
Şekil 3.38	: Yıkama sonrası MK kodlu numunenin SiO_2 ve CaO oranındaki değişimler.....	50
Şekil 3.39	: Yıkama sonrası CV kodlu numunenin Na_2O , MgO , SO_3 ve K_2O oranındaki değişimler	50
Şekil 3.40	: Yıkama sonrası CV kodlu numunenin Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranındaki değişimler.....	51
Şekil 3.41	: Yıkama sonrası CV kodlu numunenin SiO_2 ve CaO oranındaki değişimler.....	52
Şekil 3.42	: Yıkama sonrası ST kodlu numunenin Na_2O , MgO , SO_3 ve K_2O oranındaki değişimler	52
Şekil 3.43	: Yıkama sonrası ST kodlu numunenin Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranındaki değişimler.....	54
Şekil 3.44	: Yıkama sonrası ST kodlu numunenin SiO_2 ve CaO oranındaki değişimler.....	54
Şekil 3.45	: Yıkama sonrası OE kodlu numunenin Na_2O , MgO , SO_3 ve K_2O oranındaki değişimler	55
Şekil 3.46	: Yıkama sonrası OE kodlu numunenin Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranındaki değişimler.....	56
Şekil 3.47	: Yıkama sonrası OE kodlu numunenin SiO_2 ve CaO oranındaki değişimler.....	56
Şekil 3.48	: Yıkama sonrası BC kodlu numunenin Na_2O , MgO , SO_3 ve K_2O oranındaki değişimler	57
Şekil 3.49	: Yıkama sonrası BC kodlu numunenin Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranındaki değişimler.....	58
Şekil 3.50	: Yıkama sonrası BC kodlu numunenin SiO_2 ve CaO oranındaki değişimler.....	59
Şekil 3.51	: Kum ocaklarındaki yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin granülometri eğrileri	62
Şekil 3.52	: Laboratuvarda yıkanmış numunelerin granülometri eğrileri.....	63
Şekil 3.53	: Laboratuvarda yıkanmış, 1 mm altı elenmiş numunelerin granülometri eğrileri.....	63
Şekil 3.54	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan, laboratuvarda yıkanmış ve 1 mm altı elenmiş numunelerin çok ince malzeme muhtevası deney sonuçlarının kıyaslanması.....	65
Şekil 3.55	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan, laboratuvarda yıkanmış ve 1 mm altı elenmiş numunelerin metilen mavisi deney sonuçlarının kıyaslanması.....	66
Şekil 3.56	: İncelenen kumların kum eşdeğeri değerlerinin karşılaştırılması	67
Şekil 3.57	: İncelenen kumlar üzerinde yapılan görünür tane yoğunluğu deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	70

Şekil 3.58	: İncelenen kumların etüv kurusu tane yoğunluğu deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	70
Şekil 3.59	: İncelenen kumların doymuş ve yüzeyi kurutulmuş tane yoğunluğu deney sonuçlarının karşılaştırılması	71
Şekil 3.60	: İncelenen kumlar üzerinde yapılan su emme oranı deney sonuçlarının karşılaştırılması	72
Şekil 3.61	: İncelenen kumların porozitelerinin karşılaştırılması.....	73
Şekil 3.62	: İncelenen kumların gevşek birim ağırlık deney sonuçlarının karşılaştırılması	75
Şekil 3.63	: İncelenen kumlara ait boşluk yüzdelerinin kıyaslanması.....	76
Şekil 3.64	: İncelenen kumlar üzerinde yapılan magnezyum sülfat deney sonuçlarının kıyaslanması.....	77
Şekil 3.65	: İncelenen kumların özgül yüzey alanlarının kıyaslanması.....	80
Şekil 3.66	: İncelenen kumların incelik modüllerinin kıyaslanması	81
Şekil 3.67	: AS kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri	87
Şekil 3.68	: AP kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri	87
Şekil 3.69	: MK kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri	88
Şekil 3.70	: CV kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri	88
Şekil 3.71	: ST kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri	89
Şekil 3.72	: OE kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri	89
Şekil 3.73	: BC kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri	90
Şekil 3.74	: Yıkama eleme tesislerinden alınan numuneler kullanılarak yapılan hızlandırılmış harç çubuğu deneyi sonrası harç çubuklarının boyca genleşme yüzdelerinin karşılaştırılması.....	90
Şekil 3.75	: (a) ve (b) AS kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda gelişen jelde görülen tipik genleşme çatlakları	92
Şekil 3.76	: AP kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda gelişen jelde görülen tipik genleşme çatlakları	92
Şekil 3.77	: MK kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda a)tane ile çimento kontağında genleşme nedeniyle gelişen ayrılma ve bu hacim değişiminin çimentoda oluşturduğu çatlaklar b)Tane yüzeyinde gelişen jelde görülen tipik genleşme çatlakları	92
Şekil 3.78	: (a) ve (b) CV kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda gelişen jelde görülen tipik genleşme çatlakları.....	93
Şekil 3.79	: a) ST kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda gelişen jelde oluşan genleşme çatlakları b) aynı çatlakların yakından görünümü c) çatlak açıklığının yakından görünümü	93
Şekil 3.80	: a) OE kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda gelişen jelde görülen tipik genleşme çatlakları b) aynı çatlakların yakından görünümü.....	94

Şekil 3.81	: a) BC kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda tane yüzeyinde gelişen jelde görülen tipik genleşme çatlakları b) alkali-silis jeli dışında tane yüzeyinde agrega çimento arasındaki reaksiyon nedeniyle gelişen diğer oluşuklar	94
Şekil 3.82	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler ile yapılan karışım dizayn granülomerileri	98
Şekil 3.83	: Laboratuvarda yıkanmış numuneler üzerinde yapılan karışım dizayn granülometreleri	98
Şekil 3.84	: Üretilen taze beton yoğunluklarının kıyaslanması.....	102
Şekil 3.85	: Taze beton hava içeriklerinin kıyaslanması.....	104
Şekil 3.86	: AP Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü	105
Şekil 3.87	: MK Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü	105
Şekil 3.88	: CV Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü	106
Şekil 3.89	: ST Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü	106
Şekil 3.90	: OE Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü	106
Şekil 3.91	: BC Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü	107
Şekil 3.92	: Deneme betonlarının 2 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	108
Şekil 3.93	: Deneme betonlarının 7 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	109
Şekil 3.94	: Deneme betonlarının 28 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	110
Şekil 3.95	: AS Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü	113
Şekil 3.96	: AP Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü	114
Şekil 3.97	: CV Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü	114
Şekil 3.98	: ST Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü	114
Şekil 3.99	: OE Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü	115
Şekil 3.100	: BC Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü	115
Şekil 3.101	: a) AS Kodlu harçtaki tane ve kavrıların çimento hamuru içindeki görünimleri b) aynı harç örneğinde çimento hamuru içindeki üzeri çimento ile kaplanmış kuvars tanesi	116
Şekil 3.102	: a) AP Kodlu harçtaki tane ve kavrıların çimento hamuru içindeki görünimleri b) Aynı harç örneğinde çimento hamuru içindeki feldspat tanesi c) Çimento hamurundaki boşluklar içinde çimentodaki karbonat ile agregadaki sülfatın oluşturduğu reaksiyon sonucu gelişen kristaller d) kristallerin yakından görünümü e) Tane-çimento arasında gelişen mikro çatlaklar.....	117

Şekil 3.103	: a) MK Kodlu harçtaki tane ve boşluklar b) çimento hamuru içindeki kuvars tanesinin yakından görünümü117
Şekil 3.104	: a) CV Kodlu harçtaki tane, boşluk ve kil toprakları b) kil toprağında gelişen genleşme çatlakları c) çimento hamuru içindeki kuvars tanesi d) çimento hamuru içindeki feldpat tanesi118
Şekil 3.105	: a) ST Kodlu harçtaki tane ve agrega içerisindeki montmorillonitin oluşturduğu kil topraklarının çimento hamuru içindeki görünimleri b) kil toprağının yakından görünümü c) kil toprağında gelişen genleşme çatlakları d) Çimento hidratasyon ürünleri118
Şekil 3.106	: a) OE Kodlu harç içindeki yuvarlak tane üzerinde gelişen çimento-agrega reaksiyon ürünleri b) benzer reaksiyon ürünlerinin yakından görünümü c) Çimentodaki karbonat ile agregadaki sülfatın oluşturduğu reaksiyon sonucu gelişen taneli kristaller d) aynı taneli kristallerin yakından görünümü119
Şekil 3.107	: a) BC Kodlu harçtaki çimento-agrega reaksiyon ürünleri ve çimento hamurundaki mikro çatlaklar b) Çimentodaki karbonat ile agregadaki sülfatın oluşturduğu reaksiyon sonucu gelişen kristaller119
Şekil 3.108	: Harç numunelerinin 2 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması120
Şekil 3.109	: Harç numunelerinin 7 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması121
Şekil 3.110	: Harç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması122
Şekil 4.1	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelere ait metilen mavisi değeri ile çok ince malzeme muhtevası ilişkisi124
Şekil 4.2	: Metilen mavisi – su emme oranı ilişkisi124
Şekil 4.3	: Laboratuvarda yıkanmış doğal kum numunelerinin su emme oranı ile Na_2O ilişkisi125
Şekil 4.4	: Yıkama-eleme tesislerinden alınmış numunelerin magnezyum sülfat yüzdesi, su emme oranı ve CaO yüzdesi125
Şekil 4.5	: Laboratuvarda yıkanmış numunelerin magnezyum sülfat yüzdesi, su emme oranı ve CaO yüzdesi126
Şekil 4.6	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kumların su emme oranı – kuruma büzülmesi ilişkisi127
Şekil 4.7	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin incelik modülü ve özgül yüzey alanı ilişkisi127
Şekil 4.8	: Laboratuvarda yıkanmış numunelere ait incelik modülü ve özgül yüzey alanı ilişkisi128
Şekil 4.9	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kumlar ile eşit su/çimento oranında hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımı ile metilen mavisi değeri ve karışımda kullanılan kimyasal katkı miktarı ilişkileri129
Şekil 4.10	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kumlar ile farklı su/çimento oranında hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımı ile metilen mavisi değeri ve karışımda kullanılan su miktarı ilişkileri130
Şekil 4.11	: Laboratuvarda yıkanmış numunelerin porozite ve magnezyum sülfat değerleri ile eşit su/çimento oranında hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımı ilişkisi130

Şekil 4.12	: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranında hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımları ile karışımda kullanılan kimyasal katkı miktarı ilişkileri	131
Şekil 4.13	: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile farklı su/çimento oranı ile hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımları ile karışımda kullanılan su miktarı ilişkileri	132
Şekil 4.14	: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranı ile hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımlarının, kumların Na_2O ve K_2O içerikleri ile ilişkisi	133
Şekil 4.15	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kumlar ile eşit su/çimento oranında hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımı ile incelik modülü – metilen mavisi değeri ve karışımda kullanılan kimyasal katkı miktarı ilişkileri	135
Şekil 4.16	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kumlar ile farklı su/çimento oranında hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımı ile incelik modülü - metilen mavisi değeri ve karışımda kullanılan su miktarı ilişkileri	136
Şekil 4.17	: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranında hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımı ile incelik modülü ve karışımda kullanılan kimyasal katkı miktarı ilişkileri	137
Şekil 4.18	: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile farklı su/çimento oranı ile hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımı - incelik modülü ve karışımda kullanılan su miktarı ilişkileri	138
Şekil 4.19	: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranında hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımlarının, kumların Na_2O ve K_2O içerikleri ile ilişkisi	139
Şekil 4.20	: Laboratuvarıda yıkanmış ve 1 mm elek altı elenmiş numuneler kullanılarak farklı su/çimento oranı ile hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımı ile incelik modülü ve karışımda kullanılan kimyasal katkı miktarı ilişkileri.....	140
Şekil 4.21	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranında üretilen beton ve harçlardaki kumların Al_2O_3 içerikleri ve metilen mavisi değeri azalması ile ilgili 28 günlük basınç dayanımlarındaki değişimlerin ilişkisi.....	141
Şekil 4.22	: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin Al_2O_3 / SiO_2 , Na_2O / SiO_2 oranları ile 28 günlük beton basınç dayanımı ilişkisi.....	142
Şekil 4.23	: Laboratuvarıda yıkanmış numunelerin $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ / SiO_2 , Na_2O / SiO_2 oranları ve poroziteleri ile 28 günlük beton basınç dayanımı ilişkisi.....	143

ÖZET

MARMARA BÖLGESİNDEKİ FARKLI KÖKENLİ DOĞAL KUMLARIN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Yapılaşmanın hızla geliştiği Marmara Bölgesi'nde kaliteli beton ihtiyacı artmaktadır. Beton üretiminde bu bölgedeki farklı kökenli doğal kumlar yaygınca kullanılmaktadır. Her ne kadar kumların beton özelliklerine etkisi oldukça önemli ise de bu kumların mineralojik ve kimyasal özelliklerinin beton özellikleri ile ilişkisi daha önce yeterince tartışılmamıştır. Bu amaçla, bölgede yaygınca üretilen kara, nehir ve deniz kumlarının beton özelliklerine etkisi araştırılmalıdır.

Doktora tez çalışması olarak gerçekleştirilen bu araştırmanın amacı; Marmara Bölgesi'nde farklı alanlarda işletilmekte olan farklı kökenli doğal kumların jeolojik, mineralojik ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, yapılacak standart agregada deneyleri ışığı altında, betonda ince agregada olarak kullanılabilirliklerinin nedenleriyle birlikte ortaya konulması ve karşılaştırılmasıdır.

Bu araştırma kapsamında öncelikle kumların üretildiği ocakların bulunduğu alanların jeoloji haritaları derlenmiştir. Daha sonra bu ocaklardaki üretim aynaları ile yıkama-eleme tesislerinden temsili örnekler alınmıştır. Gerek arazi çalışmaları, gerekse de binoküler mikroskop ile yapılan petrografik incelemeler, XRD analizleri ile yapılan mineralojik araştırmalar ve kimyasal analiz verileri ile kumların bileşimleri, tane boyu ve şekilleri ile kökenleri karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Daha sonra örneklerle ait metilen mavisi değeri, kum eşdeğeri, tane boyu dağılımı, çok ince malzeme muhtevası, birim ağırlık, tane yoğunluğu ve su emme, donmaya karşı dayanıklılık, kuruma çekmesi, asitte çözünebilen sülfat, suda çözünebilen klorür, kükürt muhtevası belirlenmiş ve ayrıca tane boyu dağılımı deney sonuçlarından yararlanarak yüzey alanı ve incelik modülü hesaplamaları yapılmıştır. Kumlar ayrıca, alkali-agrega reaksiyonu yönünden de hızlandırılmış harç çubuğu deneyleriyle incelenmiştir. Özellikleri belirlenen kumlardan, aynı özellikteki iri agregada kullanılarak, aynı karışım oranları ile beton ve harç hazırlanmış ve taze/sertleşmiş beton ve harç deneyleri (beton karışım hesapları, laboratuvar şartlarında karışım performansı deneyi, taze betonda kıvam tayini deneyi, taze beton yoğunluk deneyi, taze betonda hava muhtevası tayini, sertleşmiş beton üzerinde ise beton basınç mukavemeti) yapılmıştır. Aynı örneklerden ince kesitler hazırlanarak polarizan mikroskopta incelenmiştir. Ayrıca, hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde kullanılan harç çubukları ile beton örneklerinin SEM görüntüleri de incelenmiştir.

Doğal kumların bünyesinde bulunan aktif silis, feldispat, mika ve kil mineralleri doğal kumların fiziksel ve dayanıklılık özelliklerini, beton ve harçlarda ise işlenebilirlik ve dayanım özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle kumların içerdiği kil, mika, feldispat minerallerinin belirteci olan Al_2O_3 , Na_2O ve K_2O 'nun SiO_2 'e oranı kumların harç ve beton özelliklerine etkisini değerlendirme açısından önemli bir parametredir. Doğal kumların üretimi esnasında bünyelerinde bulunan kil minerallerinin uygun ve etkin yıkama sonrası uzaklaştırılması ile kumların fiziksel ve dayanıklılık özelliklerinin değiştirilebilmekte, buna paralel olarak beton ve harç dayanımları arttırılabilmektedir.

SUMMARY

THE EFFECT OF DIFFERENT NATURAL SANDS ON CONCRETE PROPERTIES IN THE MARMARA REGION

The need for concrete in good quality is increasing in the rapidly growing Marmara region. The different types of natural sand found in this region are widely used in the production of concrete. Eventhough the effects of sand on concrete is very important, the correlation between concrete properties and mineralogical and chemical composition of the sands have not been investigated before. For this reason, the effects of the locally produced land, river and sea sands on the properties of concrete should be investigated.

The purpose of this research is to investigate and compare the chemical, mineralogical and geological properties of the different types of natural sand used in the Marmara region; alongside their usability as fine aggregate according to standard aggregate tests.

The first stage of this investigation was to compile a geological map of the aggregate quarries. The second stage was to attain a quarry face from the sieving-washing production plant This dissertation compares fine aggregate's size and shape with their chemical and mineralogical composition gained through XRD analysis; alongside the petrographic results from binocular microscopes and from site observations. The next stage was to calculate the results of the methylene blue test, the sand equivalent test, the sieve analysis, the amount of very fine aggregate, the unit weight, the specific gravity and absorption capacity, the magnesium sulphate test, the drying shrinkage test, the level of corrosion of sulphate in acid, the level of corrosion of chlorine in water and the amount of sulphur tests; and also to calculate the specific surface and the fineness modulus of the aggregate based on the results obtained from the sieve analysis. The samples have also been analysed to look at the potential alkali reactivity of aggregate using the mortar bar method. Once the fine aggregate results were analysed, course aggregate with compatible properties were made into concrete and mortar with the same proportions and tested under fresh/hardened concrete and mortar analysis (mix design, performance control under laboratory conditions, fresh concrete workability, unit weight, air content test and concrete compressive strength tests on hardened concrete). A thin section from each sample is analysed with the help of a polarised microscope. Furthermore, the mortar bars used in the mortar bar method tests and the concrete samples were investigated with a scanning electron microscope.

The active silica, feldspar, mica and clay minerals found in natural sand effects their physical properties and durability characteristics. It also effects negatively the workability and strength characteristics of concrete and mortar. It has been shown that the ratio between the major element oxide as indicators of clay, mica and feldspar (Al_2O_3 , Na_2O and K_2O) with SiO_2 , changes the physical and durability specifications of natural sand; and also effects the strength specifications of concrete and mortar. The removal of clay minerals from natural sand during production, by using suitable and effective washing, changes the physical and durability specifications of the natural sand; this change increase the strength properties of concrete and mortar.

1. GİRİŞ

1.1. İNCELENEN ALANLARIN TANITIMI

Araştırmanın yapıldığı inceleme alanları, Marmara Bölgesinin dört farklı bölgesini kapsamaktadır. Karadeniz kıyısı-Akpınar Bölgesi, Trakya-Çorlu, Muratlı ve Sinekli Bölgeleri, İstanbul-Ömerli Bölgesi ve Bursa-Mustafakemalpaşa Bölgelerindeki kum ocaklarında doğal kumlar üretilip kullanılmaktadır (Şekil 1.1).

1.1.2. Coğrafya

Araştırma konusunu oluşturan kum ocaklarının bulunduğu alanların tümü Marmara Bölgesi'ndedir. Karadeniz-Akpınar Bölgesi Trakya'nın kuzeyinde, Trakya-Çorlu Bölgesi Trakya'nın kuzeybatısında, İstanbul-Ömerli Bölgesi Marmara Bölgesinin Anadolu yakasının kuzeyinde ve Bursa-Mustafakemalpaşa Bölgesi Marmara Bölgesinin güneyinde yer alır.

1.1.3. Akarsu Ağı

İnceleme alanı Karadeniz-Akpınar Bölgesinde Duru Göl ve ona bağlı küçük dere yatakları bulunmaktadır. İstanbul-Ömerli Bölgesinde Ömerli Gölü, Darlık Gölü ve bunlara bağlı küçük dere yatakları bulunmaktadır. Bursa-Mustafakemalpaşa Bölgesi Çapraz Deresi ve onun kolları düzlük alanlarda geniş yayılıma sahiptir ve Ulubat Gölüne bağlanmaktadır.

1.1.4. İklim

Karadeniz-Akpınar ve Trakya-Çorlu Bölgeleri Marmara Bölgesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Bundan dolayı Marmara ve Batı Karadeniz iklimi etkindir. Yazları sıcak ve az yağışlı, kışlar ise soğuk ve yağışlı geçen bölgede en soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 2.8 °C, en sıcak olan Temmuz ayında ise ortalama sıcaklık 23.5

°C'dir. Yıllık ortalama sıcaklık 13.2 °C'dir. Ortalama yıllık toplam yağış 559.7 mm'dir. Yıllık ortalama bağıl nem % 69.6'tır.

İstanbul-Ömerli Bölgesi Marmara Bölgesinin Anadolu tarafının kuzeybatısında yer almaktadır. Bölgede yazlar serin, kışlar ise Karadeniz kıyı kesimlerine yaklaştıkça ılımanlaşır. Bölgede en soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 4.2 °C, en sıcak olan Temmuz ayında ise ortalama sıcaklık 22.1 °C'dir. Yıllık ortalama sıcaklık ise 13.0 °C'dir. Ortalama yıllık toplam yağış 842.6 mm'dir. Yıllık ortalama bağıl nem % 71'tir.

Bursa-Mustafakemalpaşa Bölgesinde Marmara iklimi etkindir. Bölgede yaz ayları daha çok Akdeniz iklimine benzer, sıcak ve az yağışlıdır. Kış ayları ise soğuk ve bol yağışlıdır. Kar yağışları normal, don olayları fazladır. Bölgede en soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 4.9 °C, en sıcak olan Temmuz ayında ise ortalama sıcaklık 23.7 °C'dir. Yıllık ortalama sıcaklık 14.0 °C'dir. Ortalama yıllık toplam yağış 595.6 mm'dir. Yıllık ortalama bağıl nem % 73'tür.

1.1.5. Bitki Örtüsü

Karadeniz-Akpınar ve Trakya-Çorlu Bölgelerinin doğal bitki örtüsü kuru ormanlardan oluşur.

İstanbul-Ömerli Bölgesi doğal bitki örtüsünü, Karadeniz kıyı bölgesine yaklaştıkça geniş yapraklı nemli ormanlar ve yüksek kesimlerde ise soğuk ve nemli şartlarda yetişen iğne yapraklı ormanlar oluşturur.

Bursa-Mustafakemalpaşa Bölgesinin doğal bitki örtüsünü alçak kesimlerde Akdeniz kökenli bitkiler, yüksek kesimlerin kuzeye bakan bölgelerinde Karadeniz bitki topluluğu özelliğindeki nemli ormanlar oluşturmaktadır.

1.1.6. Yerleşim ve Ulaşım

Karadeniz-Akpınar bölgesindeki incelenen kum ocaklarına yakın yerleşim birimleri Akpınar Köyü, Çatalca, Sinekli ve Hadımköy'dür. Bölgedeki en önemli ulaşım ağı İstanbul-Edirne arasındaki otoyolun (TEM) bağlanan 020-06 kodlu beton- asfalt yollardır.

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Doktora tezi olarak gerçekleştirilen bu araştırmanın amacı; Marmara Bölgesi'nde farklı alanlarda işletilmekte olan, farklı kökenli doğal kumların beton üretiminde ince agrega olarak kullanılabilirliklerinin nedenleriyle birlikte ortaya konulması ve bu kumların karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla ocaklardaki aynalar ve tesislerdeki örneklemeler aynı zamanda yapıldığından, alınan örnekler tüm ocağı temsil etmemektedir.

1.3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

1.3.1 Ocakların Bulunduğu Bölgelerin Jeolojisi ile İlgili Çalışmalar

İncelenen örneklerin alındığı ocakların bulunduğu Çorlu, İstanbul ve Bursa bölgeleri pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Bu Bölgeler ile ilgili araştırmalar kronolojik sıralanım dahilinde aşağıda sunulmuştur.

Hochstetter (1870); Çalışmasında; Ergene Formasyonunu Trakya Bölgesinde Trakya Katı olarak isimlendirmiştir.

Penck (1919); Araştırmasında; Paleozoyik yaşlı birimleri haritalamış ve volkanik birimlerin yaşını Senozoyik olarak vermiştir.

Baykal (1943); Şile bölgesi ve civarında araştırmalar yapmış ve Birinci, İkinci ve Üçüncü zamana ait bütün serileri açıklamıştır. Ayrıca, bölgenin tektonik yapısını incelemiştir.

Okay (1948); Şile-Kartal-Riva arasının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamış ve bölgedeki birimlerin stratigrafik ilişkilerini ortaya koymuştur.

Baykal (1963); İstanbul Boğazının batısında yaptığı çalışmada Ergene Formasyonunun çakıllı kesimlerini Belgrad Çakılları olarak adlandırmıştır.

Ünal (1967); Trakya Bölgesinde yaptığı çalışmada Killi kireçtaşları ve şeyllerden oluşan İhsaniye Formasyonunun sığ şelften açık şelfe kadar olan ortamı temsil ettiğini ortaya koymuştur.

Keskin (1971); Pınarhisar Bölgesinde yapmış olduğu jeolojik çalışmada İslambeyli Formasyonu' nun yaşını Orta-Üst Eosen olarak belirlemiştir.

Umut ve diğ. (1983 ve1984); Trakya Bölgesi ve civarında yaptıkları çalışmalarda kumtaşı, şeyl ve marn ardalanmasından oluşan Danişment Formasyonunun yaşını Üst Oligosen-Alt Miyosen olarak tespit etmişlerdir.

Kasar ve Eren (1986); Kırklareli-Saray-Kıyıköy bölgesinde yaptıkları çalışmada kumtaşı, şeyl ve marn ardalanmasından oluşan Danişment Formasyonunun yaşını Üst Oligosen-Alt Miyosen olarak tespit etmişlerdir.

Yeniyol ve Ercan (1990); İstanbul Şile Bölgesinde çalışmalarında türbiditik ve volkanojenik kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan İshaklı Formasyonunun yaşını Üst Kretase olarak belirlemiştir.

Duman ve diğ. (2004); Hazırladıkları MTA raporunda Küçükçekmece-Silivri-Çatalca bölgesinde jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik özellikler, doğal afet kaynakları ve yer şekli fiziki yapısı hakkında ayrıntılı çalışmalar yapmışlardır.

Gedik ve diğ. (2005); Hazırladıkları MTA raporunda Kocaeli Yarımadası'nın jeolojisi incelenmiş ve 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır.

1.3.2. Araştırma Konusu ile İlgili Çalışmalar

İstanbul ve yakın dolayında birçok kum ocağı bulunmaktadır. Bu ocaklardan üretilen malzemeler yol ve beton agregası olarak kullanılmaktadır. İşletilen kum ocaklarındaki agregaların yanı sıra, gerek ülkemizde, gerekse dünyada benzer malzemeler üzerinde yapılan araştırmalara aşağıda kronolojik sırayla değinilmiştir.

Fookes (1980); Bağlayıcılar ve agregalar üzerinde araştırmalar yapmış ve çimento türlerini, betonda kullanılacak agregaların oranlarını ve betonu oluşturan malzemelerin özelliklerinin önemli olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca, agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin beton dayanımına ve dayanıklılığına olan etkilerini araştırmıştır.

Magni (1987); Alkali-silika reaksiyonu açısından agregada içinde %15 ten fazla reaktif kaya parçası bulunmaması gerektiğini ifade etmiştir.

Erdoğan (1993); İstanbul ve dolayının yapay agregada potansiyelini çalışmıştır. Bölge kayaçlarının agregada özelliklerini incelemiş ve farklı kırıcı tiplerinin agregada kalitesine olan etkilerine değinmiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda tane boyu küçülmesi sonucunda kusurlu tane oranlarının arttığını ortaya koymuştur.

Akpokodje ve Hudec (1994); Granit, gnays ve kumtaşları üzerinde yaptıkları araştırmalarda, bu kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri ile ayrışma ürünlerinin agregada özelliklerine etkisini incelemişlerdir.

Uribe-Afif (1994); Kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanım özelliklerini araştırmış ve beton agregası olarak kullanılacak malzemelerin %7'den fazla kil minerali içermemesi gerektiğini vurgulamıştır. Kil oranının yüksek olmasının betonda dayanım kaybına neden olduğunu ifade etmiştir.

Wakizaka vd. (1994); Smektit, lömontit, biyotit gibi bazı minerallerin betonda çimento ile oluşturabileceği zararlı reaksiyonlar ile ilgili araştırmalar yapmışlardır.

Tasang vd. (1998); Bazalt, kireçtaşı, silis kumu ve kuvarsit gibi değişik malzemelerin beton agregası olarak kullanımlarını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda; seçilen örneklerin çimento pastasıyla kimyasal etkileşimlerinin birbirinden farklı olduğunu saptamışlardır.

Rogers vd. (2000); Potansiyel reaktif kayaların (arjillit, silttaşı, grovak, kumtaşı/arkoz) %30 dan fazla iri agregada içinde olması durumunda yapıların 15 yıl içinde, bazen 4 yıl da genellikle alkali agregada reaksiyonlarından zarar gördüğünü belirtmiştir.

Wakizaka (2000); Japonya’da üretilen agregaların, alkali-silis reaksiyonunu belirlemek için çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, reaksiyon oluşturan agregalar arasında, andezit, riyolit, tüf, dasit, bazalt, şeyl, çört ve bazı kumtaşlarının olduğunu ifade etmiştir. Volkanik kayalardaki reaksiyonu, kristobalit, tridimit ve volkanik camı, sedimanter ve metamorfik kayalardaki reaksiyonu ise kristalizasyon ve kuvars içeriğinin kontrol ettiğini vurgulamıştır.

Smith ve Collis (2001); Agregalar üzerine hazırladıkları kitapta, özellikle İngiltere olmak üzere çeşitli Avrupa ülkelerinin agregaları hakkında özet bilgiler vermişlerdir. Kitaplarında ayrıca, agregalar kullanım alanlarına göre ayrılmış ve özelliklerine değinilmiştir.

Donza vd. (2002); Kırma kumların şekil ve dokusunun beton özelliklerine etkisini araştırmış ve granit, dolomit, kireçtaşı kırma kumu ile nehir kumunu karşılaştırmıştır. Araştırmacı, kırma kum tanelerinin şekil ve dokusunun, beton dayanımını artırması açısından, agrega ve çimento hamuru arasındaki kenetlenme üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, granit kırma kumunun bu amaçla avantajlı olduğunu söylemiştir.

Raisanen (2005); Farklı kökenli agregaların bir arada bulunması betonda istenmeyen zararlı reaksiyonlara yol açabildiğini ifade etmiştir. Örneğin; mafik lavlardaki karbonatlar, sülfite zengin mika şistlerden oluşan asidik akışkanlarla reaksiyona girerek sülfatları oluşturabilir veya diğer ayrışma ürünlerinin artışına neden olabilir. Bu durum da, su absorpsiyonunu artırır ve malzemenin donma-çözölmeye karşı direncini düşürür.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Araştırma kapsamında arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları yapılmıştır. Yapılan araştırmalarla ilgili detay bilgiler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

2.1. BÜRO ÇALIŞMALARI

2005 yılından itibaren kum ocaklarının bulunduğu bölgeler ve araştırma konusu ile ilgili literatür araştırmalarına başlanmıştır. Büro çalışmalarına daha sonra arazi, laboratuvar ve önceki çalışmalarından elde edilen verilerin ilgili standartlara ve sınıflamalara uygun olarak değerlendirilmesiyle devam edilmiştir. Yapılan tüm değerlendirmelere göre farklı kökenli kumların beton özelliklerine etkileri karşılaştırılmıştır.

2.2. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmalarına öncelikle ocak araştırmaları ile başlanmıştır. 2005 yılı Kasım ayından 2006 Mayıs ayına kadar Bursa (Mustafakemalpaşa) ile İstanbul (Ömerli, Muratlı, Sinekli, Çorlu ve Akpınar) illerindeki kum ocaklarında saha çalışmaları sürdürülmüştür. Öncelikle, her bir ocak için örnekleme yerlerini kapsayan jeolojik haritalar hazırlanmıştır. Bu çalışmalar sırasında; üretimin yapıldığı aynalardan ve yıkama-eleme tesislerinden olmak üzere başlıca iki grup örnekleme yapılmıştır. Her gruba ait yaklaşık alınan örnek miktarı 1000 kg'dır. Örnekleme TS EN 932-1 (1997) standardı esas alınarak yapılmıştır.

2.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları sırasında standartlara uygun olarak alınan temsili örnekler üzerinde yapılacak ayrıntılı agrega araştırmaları için laboratuvarda standartlara uygun numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra, petrografik, fiziksel, mekanik özellikler ve agregalarda bulunabilen zararlı bileşenlerin araştırılması yapılmıştır. Son olarak ince agregalar kullanılarak deneme betonları ve harç numuneleri hazırlanmış ve bunlar üzerinde taze/sertleşmiş beton ve harç deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, üretim esnasında alınan numuneler ve bu numunelerin 0.063 mm elekten yıkanarak eşdeğer

metilen mavisi değeri elde edilen numuneler testlere tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen verilere göre, kumların betonda ince agregası olarak kullanılabilirliği karşılaştırılmıştır. Laboratuvar çalışmaları kapsamında yapılan tüm çalışmalara aşağıda ayrıntılı olarak değinilmiştir.

Örnekler, öncelikle binoküler mikroskopta incelenmiştir. Böylece kumların, mineral bileşimi ile şekil ve boyutları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Petrografi laboratuvarında yapılmıştır.

Çalışmada ayrıca, kumların mineralojik bileşimlerinin belirlenmesi için, ocaktan alınan doğal haldeki, yıkama-eleme tesislerinden alınan ve laboratuvarında 0.063 mm elek üzerinde yıkanmış olan örnekler üzerinde XRD analizleri yapılmıştır. XRD analizleri için örnekler laboratuvarında öğütülmüştür. Bu analizler İ.Ü. İleri Analizler Laboratuvarı ile TÜBİTAK-MAM Araştırma Merkezinde yapılmıştır.

Araştırma konusunu oluşturan farklı kum örneklerinin kimyasal bileşim değişimlerini belirlemek için XRF yöntemiyle kimyasal analizler TÜBİTAK MAM araştırma merkezinde yapılmıştır. Kumların içermiş oldukları ana element oksit içerikleri ile elementler tablolar halinde sunulmuştur.

Doğal kum ocaklarından üretim esnasında alınan numuneler ve bu numunelerin 0.063 mm elekten yıkanarak eşdeğer metilen mavisi değeri elde edilen numuneler TS EN Standartlarına göre agregası deneylerine tabi tutulmuştur. Bu deneylerle doğal kumların metilen mavisi ve kum eşdeğeri değerleri, tane boyu dağılımları, çok ince malzeme muhtevaları, birim ağırlık, tane yoğunluğu ve su emme oranları, donmaya karşı dayanıklılıkları, kuruma büzölmeleri, asitte çözünebilen sülfat ve suda çözünebilen klorür içeriği, kükört muhtevası ve alkali silika reaktifliği (hızlandırılmış harç çubuğu deneyi) deneysel olarak belirlenmiş, tane boyu dağılım deney sonuçlarından ise incelik modöülü ve özgül yüzey alanları hesaplanmıştır. Ayrıca yıkanmış numuneler 1 mm elekten elenerek tane boyu dağılımı testi ve metilen mavisi deneyleri yapılmıştır. Doğal kumların 1 mm elekten elenme amacı; tane boyu dağılım deneyi ile hesaplanan incelik modöüllerinin birbirine yakın olmasını sağlayarak mümkün olduğu kadar eşit koşullarda değerlendirmek içindir. Deneyler, İ.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Malzeme

Laboratuvarı ile Set Beton Madencilik A.Ş. Ambarlı Merkez AR&GE Laboratuvarlarında yapılmıştır.

İncelenen kum ocaklarından üretim esnasında alınan numuneler ve bu numunelerin 0.063 mm elekten yıkanarak eşdeğer metilen mavisi değeri elde edilen numuneler ile taze beton karışım dizaynı hazırlanmış ve deneme betonları dökülerek, taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir. Taze beton özelliklerinden; kıvam, yoğunluk ve hava içeriği, sertleşmiş beton özelliklerinden; 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Bu araştırmaların yanısıra; ocaklardaki yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler kullanılarak hazırlanmış harç örnekleri ile hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde kullanılmış harç çubukları elektron mikroskopunda incelenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. OCAK YERLERİNİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

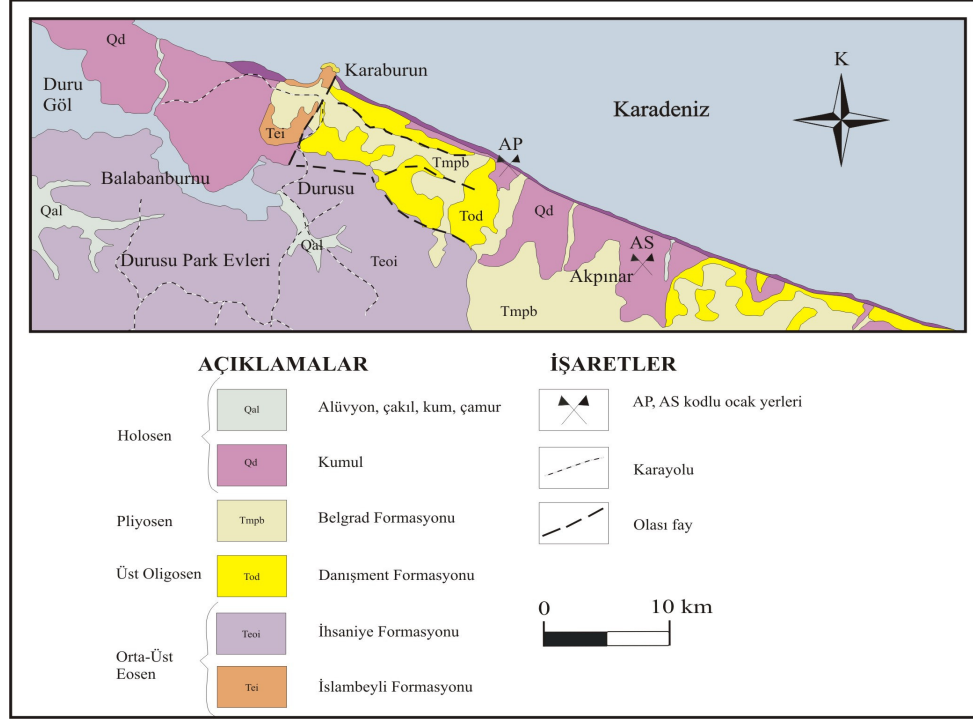
Bu çalışma Marmara Bölgesinin dört farklı yerinden derlenen örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Karadeniz-Akpınar Bölgesi, Trakya-Çorlu, Muratlı, Sinekli Bölgeleri, İstanbul-Ömerli Bölgesi ve Bursa-Mustafakemalpaşa Bölgesinden oluşan inceleme alanlarında bölgesel anlamda farklı jeolojik kökenlere sahip kayaçlar bulunmaktadır. Bundan dolayı, bu bölümde çalışma alanlarının jeolojilerine ayrı ayrı değinilecektir.

3.1.1. İstanbul Karadeniz Kıyısı - Akpınar Bölgesi

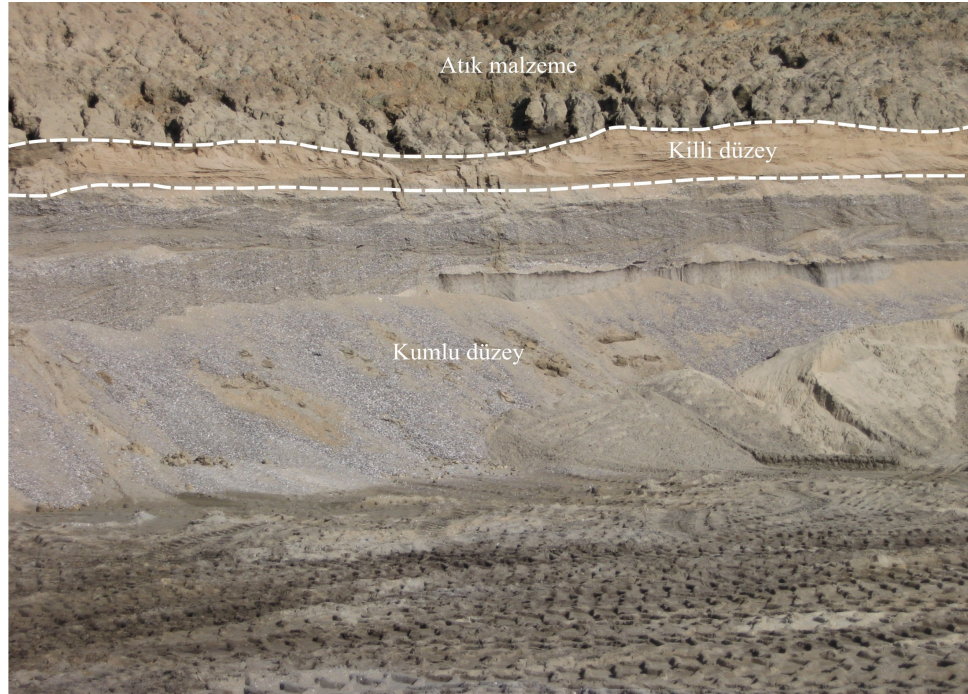
İstanbul Yarımadası'nın kuzeyinde, Karadeniz kıyısındaki Akpınar Bölgesinde yer alan çalışma alanında en yaşlı birim çakıtaşı, kumtaşı, kıltaşı ve marndan oluşan İslambeyli Formasyonudur. Birimin içerisinde bulunan çakıtaşları akarsu ortamını, kumtaşları sahil-sığ deniz ortamını, kıltaşı ve marnlar ise göl ortamını temsil ederler (Duman ve diğ., 2004). İslambeyli Formasyonu'nun yaşı içerdiği fosillere göre Orta-Üst Eosen olarak belirlenmiştir (Keskin, 1971). Killi kireçtaşları ve şeyllerden oluşan İhsaniye Formasyonu sığ şelften açık şelfe kadar olan ortamı temsil etmektedir (Ünal, 1967). İslambeyli Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen İhsaniye Formasyonunun yaşı içerdiği fosillere göre Üst Eosen-Alt Oligosen'dir (Keskin, 1974). İslambeyli ve İhsaniye Formasyonları üzerine kumtaşı, şeyl ve marn araldanmasından oluşan Danişment Formasyonu uyumlu bir şekilde çökelmiştir. Delta ortamında çökelen formasyonun yaşı içerdiği fosillere göre Üst Oligosen-Alt Miyosen olarak tespit edilmiştir (Umut ve diğ., 1984; Kasar ve Eren, 1986). Pliyosen yaşlı Belgrat Formasyonu çamurtaşı kum ve çakıl araldanmasından oluşur ve çalışma alanındaki daha yaşlı birimleri örtmektedir (Duman ve diğ., 2004). Holosen yaşlı denizel ve lagünel çökellerden oluşan kumullar ile çakıl, kum, kil ve siltten oluşan alüvyonlar çalışma alanının en genç çökelleridir ve stratigrafik olarak altındaki birimleri örtmektedir (Duman ve diğ., 2004) (Şekil 3.1).

Araştırmalarda Karadeniz Kıyısı-Akpınar Bölgesinden alınan kum örneklerinden AP kodlu örnekler deniz kumu olup, bol miktarda kavkı içermektedir (Şekil 3.2). AS kodlu

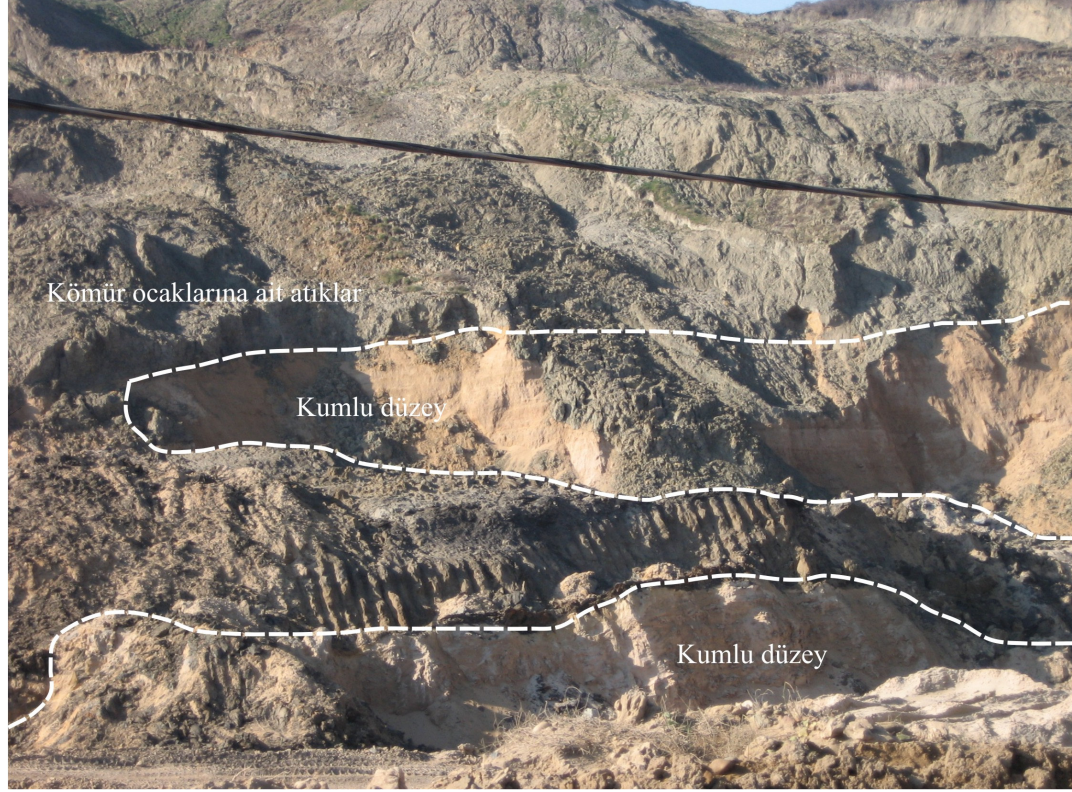
örnekler ise kıyı kumullarına aittir. Kıyı bölgesindeki az eğimli birikimsel düzlüklerde ve akarsuların ağız bölümlerindeki lagünlerde depolanan kumul çökelleri az tutturulmuş, bol kavkılı küçük çakıl, kum, silt ve kilden oluşur (Şekil 3.3).



Şekil 3.1: AP ve AS kodlu örneklerin alındığı bölgelerin jeoloji haritası (Duman ve diğ., 2004)



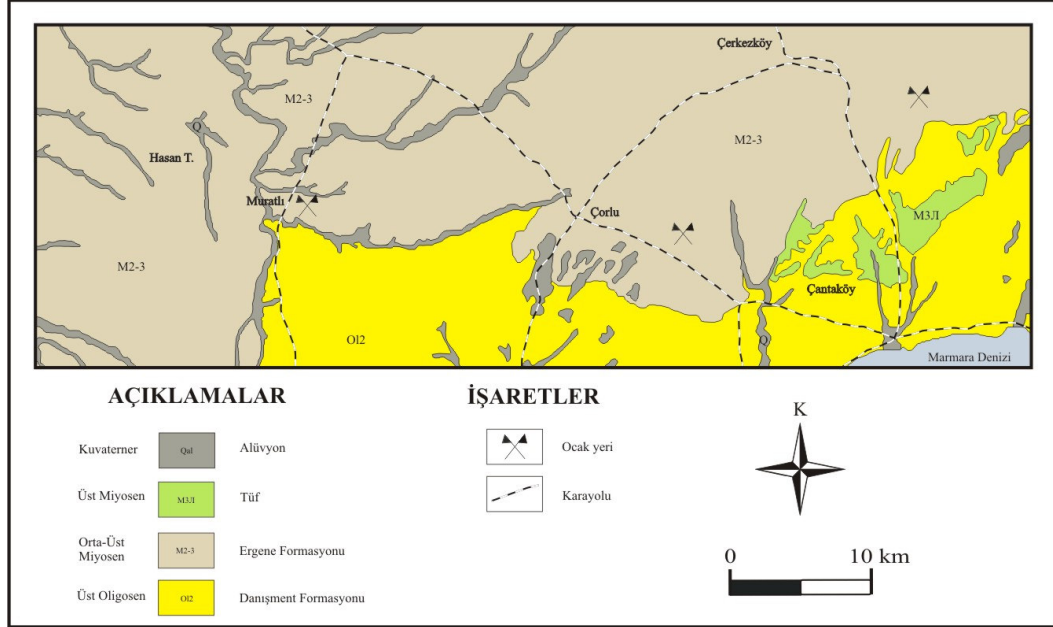
Şekil 3.2: AP kodlu örneğin alındığı ocaktaki bol kavkılı kumlu düzeyler



Şekil 3.3: AS kodlu örneklerin alındığı kumlu düzeyler. Bu seviyelerin üzerinde bölgede daha önce işletilmekte olan kömür ocaklarına ait atıklar (dekapaj) bulunmaktadır.

3.1.2. Trakya-Çorlu, Muratlı ve Sinekli Bölgeleri

Trakya Bölgesinde yer alan çalışma alanında en yaşlı birim kumtaşı, şeyl ve marn ardalanmasından oluşan Danişment Formasyonudur. Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı olan formasyonun kaya türleri ve sedimenter özellikleri delta ortamında çöktüğünü göstermektedir (Duman ve diğ., 2004). Danişment Formasyonu'nun üzerine Orta-Üst Miyosen yaşlı çok gevşek tutturulmuş kumtaşı, kilaşı ve silttaşından oluşan Ergene Formasyonu uyumsuz olarak çökelmiştir. Formasyonu oluşturan çakıltaşları örgülü akarsu ortamını, kumtaşları menderesli akarsu ortamını, silttaşları ise taşkın ovası çökellerinden oluşan ortamı karakterize eder (Duman ve diğ., 2004). Bölgede Üst Miyosen yaşlı tüfler ise yer yer Danişment ve Ergene Formasyonlarının üzerinde bulunmaktadır. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ise bütün birimleri örtmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: ST, MK ve CV kodlu örneklerin alındığı bölgelerin jeoloji haritası (Duman ve diğ., 2004)

Araştırmalarda Trakya Bölgesinden alınan kum örnekleri (MK, CV ve ST) Ergene formasyonuna aittir (Şekil 3.4). Formasyon adı Ergene nehrinden alınmıştır. Örgülü akarsu çökelleri Yarmatepe üyesi, menderesli akarsu çökelleri de Velimeşe üyesi adı altında incelenmiştir (Duman ve diğ., 2004). Ergene formasyonu; Trakya katı (Hochstetter, 1870; Lebküchner, 1974), Belgrat çakılları (Baykal, 1963), Belgrat formasyonu (Eroskay, 1978; Yurtsever, 1996) ve Ergene grubunun Velimeşe ve Yarmatepe formasyonları (Umut ve diğ., 1983) ile eşleştirilebilir. Duman ve diğ. (2004) tarafından, örgülü ve menderesli akarsu çökellerinin (Yarmatepe ve Velimeşe üyelerinin) büyük ölçüde alacalı kiltaşlarının ve tüfitlerin (Çantaköy formasyonunun) üzerinde uyumsuz olarak yer aldığı ifade edilmiştir. Ergene formasyonu, çoğunlukla çakıltaş ve kumtaşından oluşur. Az miktarda kiltaş, silttaş ve çamurtaş ara katkıları içerir. Çakıltaş ve kumtaşları bazı kesimlerde tek başlarına formasyon olabilecek kalınlık ve yayılıma sahiptir. Ancak, birçok bölgede iki birimin ayırtlanamayacak şekilde birbirleriyle iç içe olması ve bu kesimlerin de yaygın oluşu nedeniyle üye seviyesinde incelenmiştir (Duman ve diğ., 2004).

Trakya-Sinekli Bölgesi'nden alınan ST kodlu kum örnekleri Ergene Formasyonunun Yarmatepe Üyesine aittir (Şekil 3.5). Yarmatepe üyesi sarımsı kahverenkli, tekne biçimli çapraz tabakalı çakıltaş ile beyaz, sarımsı-kahverenkli, tekne şekilli çapraz

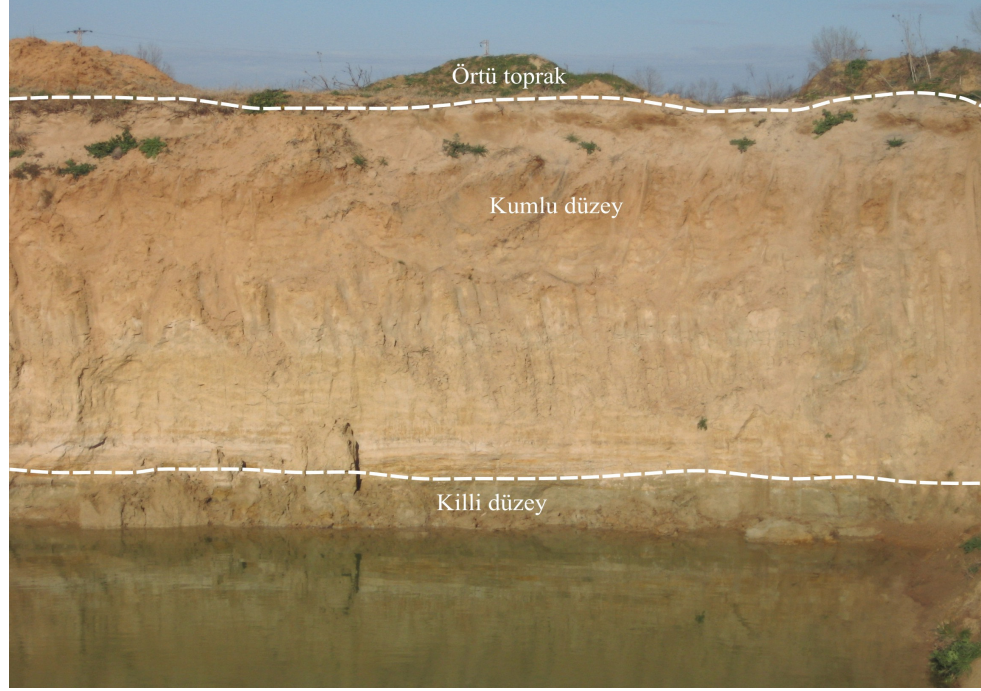
tabakalı kumtaşından oluşur. Birim ayrıca, beyaz tuf mercekleri içeren kırmızımsı kahverenkli ara seviyeli grimsi yeşil kalınca kıltaşı düzeylerini içerir. Taneler yuvarlak-yarı yuvarlak-köşeli şekilli olup, kuvars, muskovit, biyotit, granit, granat, kaolinleşmiş feldispattan oluşur. Yarmatepe üyesi içerisinde silisleşmiş ağaç parçalarının dışında herhangi bir fosile rastlanılamamıştır. Yanal eş değeri olan Velimeşe üyesinin yaşı omurgalı fosillere göre Orta-Üst Miyosen olarak saptanmıştır (Umut ve diğ., 1983). Yarmatepe Üyesinin, çökme koşulları açısından mansaba biraz daha yakın kesimlerde, güçsüz ve yavaş örgülü akarsu ortamında çöktüğü düşünülmektedir (Duman ve diğ., 2004).



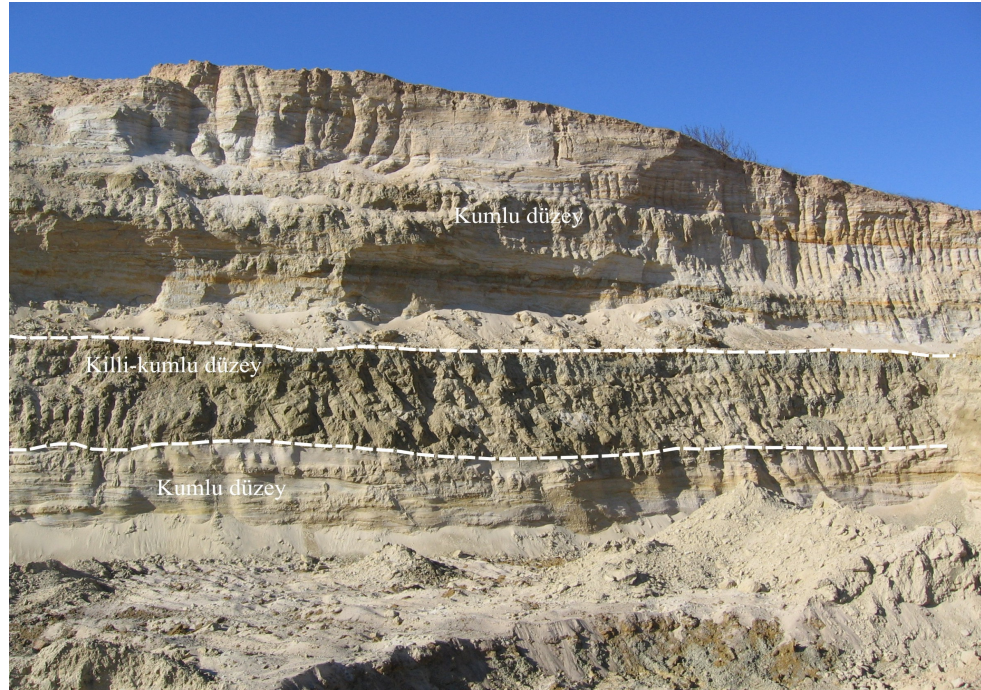
Şekil 3.5: ST kodlu örneklerin alındığı kumlu düzeyler.

Trakya-Muratlı Bölgesindeki bir ocaktan alınan MK kodlu örnekler ile Trakya-Çorlu Bölgesi'nden alınan CV kodlu örnekler Ergene Formasyonunun Velimeşe üyesine aittir (Şekil 3.6 ve 3.7). Velimeşe üyesi; sarımsı beyaz, tekneimsi ve düzlemsel çapraz tabakalı kumtaşı, çakıltaşı ve grimsi yeşil kıltaşı-silttaşından oluşur. Egemen kaya türü kumtaşıdır. Kumtaşı ve çakıltaşları kötü boylanmalı, genellikle gevşek tutturulmuş, dağınık ve bazı kesimleri yığılma şeklinde çakıl içerir. Çakıltaşları ve kıltaşları ara düzeyler halinde çoğunlukla mercekler halindedir. Umut ve diğ. (1983) tarafından

birimde; omurgalı fosillerden *Hispanotherium gramm* Heissig, *Hipparion* sp., *Byzanthinia* sp., *Bovidae* ve *Rhinocerotidae* türleri belirlenmiş olup, bu fosillere göre üyenin yaşı Orta-Üst Miyosen olarak saptanmıştır. Üye, menderesli akarsu çökelidir.



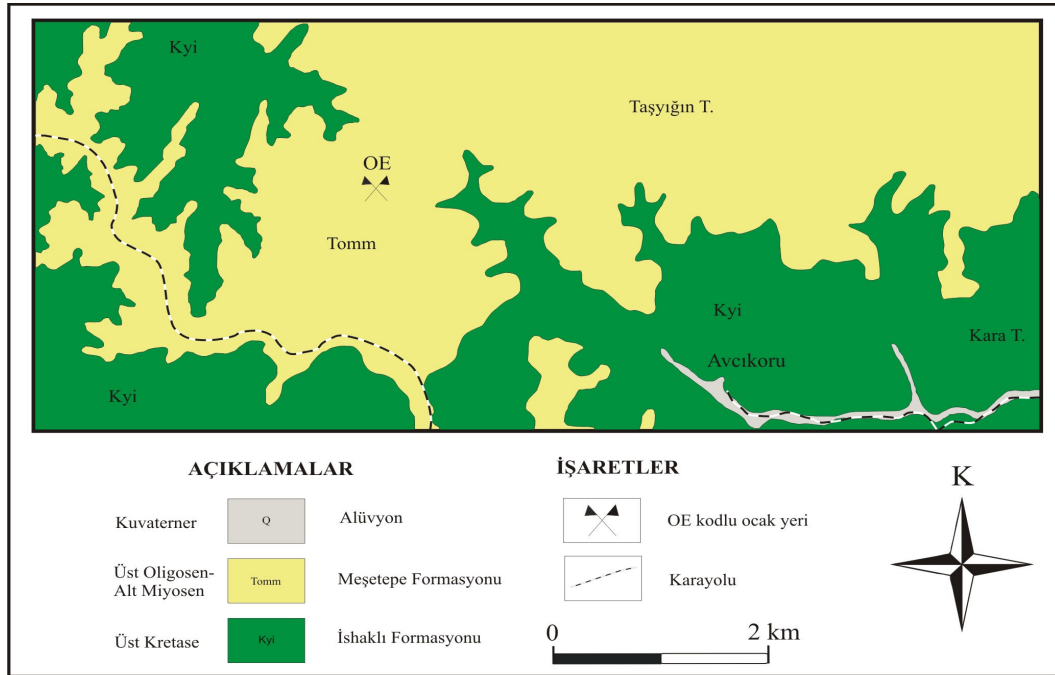
Şekil 3.6: MK kodlu örneklerin alındığı kumlu düzeyler



Şekil 3.7: CV kodlu örneklerin alındığı kumlu düzeyler

3.1.3. İstanbul-Ömerli Bölgesi

İstanbul Anadolu Yakası Ömerli Bölgesinde yer alan üçüncü çalışma alanında tespit edilen en yaşlı birim türbiditik ve volkanojenik kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan İshaklı Formasyonudur (Gedik ve diğ., 2005). Bu formasyon Üst Kretase yaşlı olup, kıta kabuğu üzerinde gelişmiş ada yayı volkanitlerini ve bu volkanitlerden türeyen fliş çökellerini karakterize eder (Yeniyol ve Ercan, 1990; Yurtsever, 1996). İshaklı Formasyonu üzerine çok gevşek tutturulmuş kömürlü kiltası, marn, silttaşı, çakıltası ve kumtaşından oluşan Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Meşetepe Formasyonu uyumsuz olarak çökelmiştir (Şekil 3.8). Alüvyonlar ise tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir.



Şekil 3.8: OE kodlu örneklerin alındığı bölgelerin jeoloji haritası (Duman ve diğ., 2004)

Araştırmalarda Ömerli Bölgesinden alınan OE kodlu kum örnekleri Meşetepe formasyonuna aittir (Şekil 3.9). Gedik ve diğ. (2005) tarafından adlandırılan Meşetepe formasyonu; genel olarak yeşil, yeşilimsi gri, gri ve kirli beyaz renkli, ince tabakalı, kömürlü, şeyl, marn, silttaşı ve kiltası ile mercekler halinde bulunan beyaz, kızılımsı kahverenkli ve yer yer kırmızı-pembe renkli, çapraz tabakalı, zayıf tutturulmuş kuvars kumtaşı ve çakıltasından oluşur. Egemen kaya türü şeyl, marn, silttaşı ve kiltasıdır.

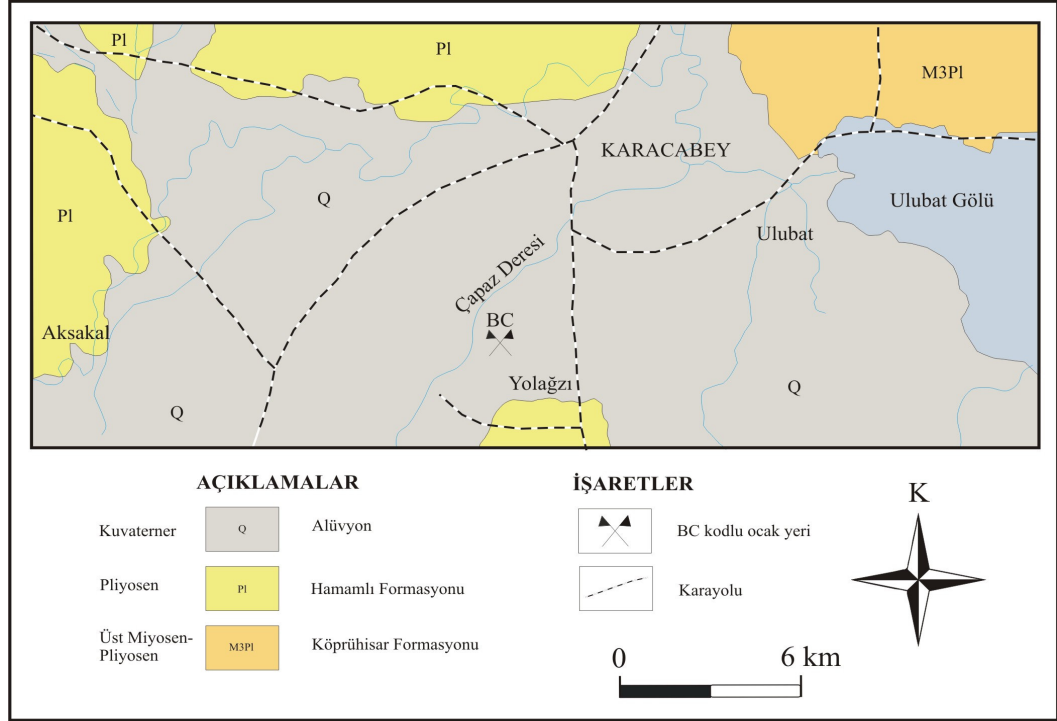
Birimde çakıllı kumtaşı ile şeyl-marn-kiltaşı arasında geçiş fasiyesleri gözlenir. Şeyller laminalı olup, mercekler halinde kömür tabakaları içerir. Birim içerisinde üste doğru kumtaşı egemen duruma geçer. Gevşek tutturulmuş olan kumtaşları yer yer çakıllı kumtaşı, çakıltaşları da kumlu çakıltaşı karakterindedir. Çakıllı kumtaşı ve çakıltaşları kötü boylanmalı olup, taneler yuvarlak-yarı yuvarlaktır. Göl, akarsu ve yelpaze çökelleri ile temsil edilen Meşetepe Formasyonun yaşı kömürlü seviyelerden elde edilen palinolojik değerler ve birim içerisinde tespit edilen fosillere göre Üst Oligosen-Alt Miyosendir (Gedik ve diğ., 2005).



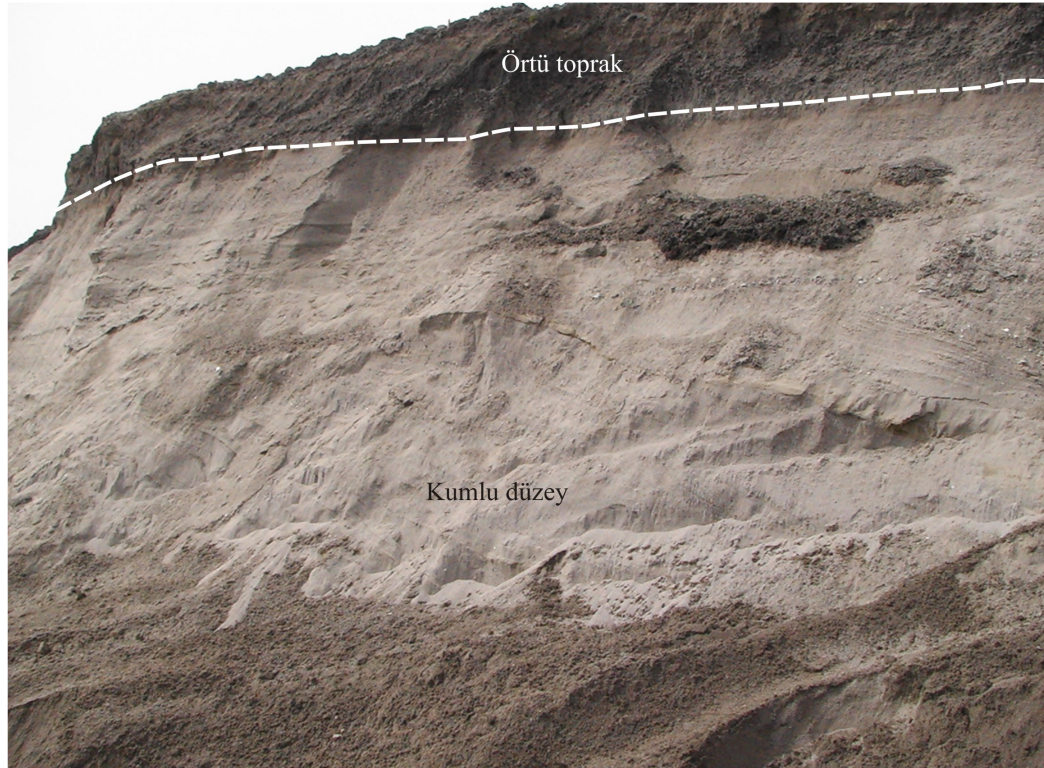
Şekil 3.9: OE kodlu örneklerin alındığı kumlu düzeyler

3.1.4. Bursa–Mustafakemalpaşa Bölgesi

Bursa-Mustafa Kemal Paşa Bölgesinde yer alan çalışma alanında tespit edilen en yaşlı birim Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşından oluşan karasal kökenli Köprühisar Formasyonu ve Hamamlı Formasyonudur. Bu çökellerin üzerine çakıl, kum, silt ve kilden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar gelmektedir. Araştırmalarda kullanılan, Bursa-Mustafakemalpaşa yöresi, Yolağzı Köyü yakınındaki ocaktan alınan BC kodlu kum örnekleri alüvyona aittir (Şekil 3.10 ve 3.11).



Şekil 3.10: BC kodlu örneklerin alındığı bölgelerin jeoloji haritası (Duman ve diğ., 2004)



Şekil 3.11: BC kodlu örneklerin alındığı kumlu düzeyler

İncelenen kum örneklerinin alındığı yerler, genel jeolojik özellikleri ve çökelme ortamları Tablo 3.1’de özetlenmiştir.

Tablo 3.1: Araştırılan kum örneklerinin alındığı yerler, renkleri ve çökelme ortamları

Numune Kodu	Alındığı yer	Renk	Çökelme Ortamı
AS	Karadeniz kıyısı	Grimsi beyaz, sarımsı	Kıyı kumu (kumul)
AP	Karadeniz kıyısı (denizden)	Grimsi beyaz, sarımsı	Denizel
MK	Trakya-Muratlı	Beyazımsı sarı	Karasal-akarsu (alüvyal-flüvyal)
CV	Trakya-Çorlu	Kahverengimsi sarı-beyaz	Karasal-akarsu (alüvyal-flüvyal)
ST	Trakya-Sinekli	Kahverengimsi sarı-beyaz	Karasal-akarsu (alüvyal-flüvyal)
OE	İstanbul-Ömerli	Beyazımsı sarı	Karasal (alüvyal)
BC	Bursa-Mustafakemalpaşa	Sarımsı beyaz Kahverengimsi gri	Karasal (alüvyal)

3.2. PETROGRAFİK VE MİNERALOJİK ARAŞTIRMALAR

İncelenen kumların petrografik ve mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvarında binoküler mikroskobu ile incelemeler ve TÜBİTAK-MAM Araştırma Merkezi ile İ.Ü. İleri Analizler laboratuvarında XRD analizleri yapılmıştır. Böylece örneklerin mineralojik bileşimleri ile tane özellikleri saptanmaya çalışılmıştır.

İncelenen kumlar öncelikle asitte köpürme testine tabi tutularak, içerdikleri karbonatın varlığı ile ilgili bilgi edinilmiştir. Tablo 3.2’de görüldüğü gibi; AS ve AP kodlu örneklerin asitte çok köpürmeleri içerdikleri kavrılarla ilgilidir. BC kodlu örneğin az oranda köpürmesi ise içerdiği kalsitten dolayıdır. Diğer örnekler ise karbonat içermemektedirler.

Tablo 3.2: İncelenen doğal ve yıkama eleme tesislerinden alınan kum örneklerinin tane şekilleri, küresellik ve asitte köpürme özellikleri (-: Köpürme yok, +: Çok az köpürme, ++: Az köpürme, +++: Çok köpürme, ++++: Çok fazla köpürme)

Numune Kodu	Tane şekli	Küresellik	Asitte köpürme Doğal	Asitte köpürme Üretim (tesis)
AS	Yuvarlak-yarı yuvarlak	Orta	+++	+++
AP	Yarı yuvarlak-köşeli	Zayıf	++++	++++
MK	Yarı yuvarlak-köşeli	Orta	-	-
CV	Yuvarlak-yarı yuvarlak	Orta	-	-
ST	Yuvarlak-yarı yuvarlak	Kötü-orta	-	-
OE	Yuvarlak-yarı yuvarlak-köşeli	Zayıf-orta	-	-
BC	Yuvarlak-yarı yuvarlak-köşeli	Orta	+	++

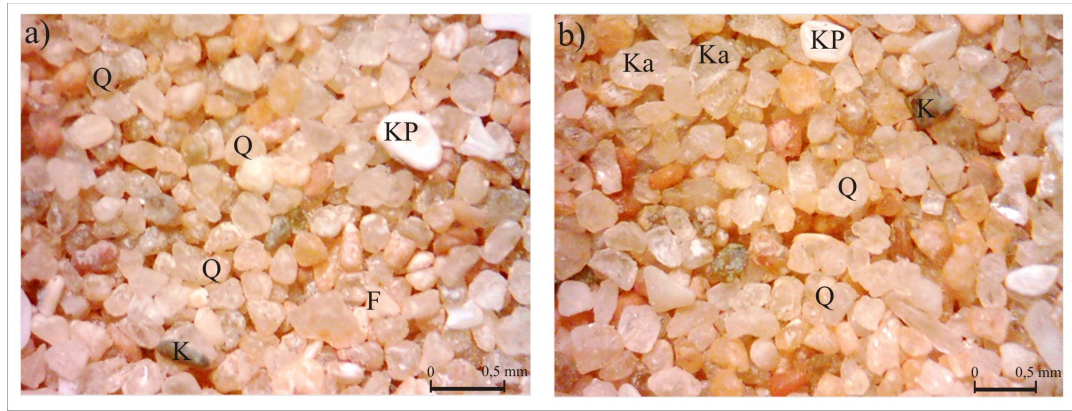
Örnekler üzerinde öncelikle binoküler mikroskop ile incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelere göre; örneklerin tane şekilleri ile içerdikleri mineral ve kayaç parçaları Şekil 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17 ve 3.18 ile Tablo 3.2 ve 3.3 de sunulmuştur.

Tablo 3.2’de görüldüğü gibi kum tanelerinin çoğu genellikle yarı-yuvarlak ve köşelidir. Bu durum tanelerin çimento ile aderansı yönünden olumlu bir özelliktir.

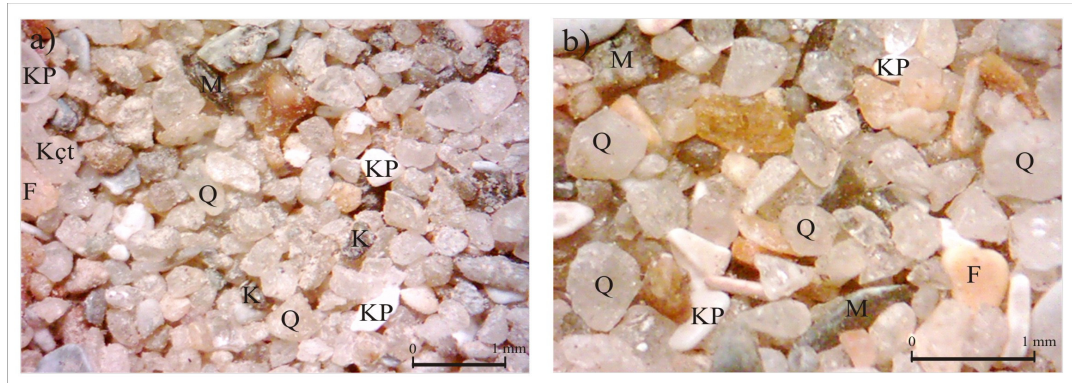
Binoküler mikroskop ile yıkanmamış doğal örnekler ile tesiste yıkama-eleme prosesinden geçmiş örnekler üzerinde yapılan petrografik incelemelere göre; Şekil 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17 ve 3.18 ile Tablo 3.3 görüldüğü gibi, AP kodlu örnek; başta yaklaşık %50-60 oranında kuvars olmak üzere, kalsit, feldispat, muskovit, ametist, klorit, çakmaktaşı, epidot ve kalsedon taneleri ile yaklaşık %30 kavrı parçası (mactra ve gastropod) içermektedir. AS kodlu örnek ise; % 95-97 oranında kuvars ve az oranda kalsit, çört/kalsedon (% 1-2) ve feldispat ile yaklaşık % 3-5 kavrı kırıntısı içermektedir. MK kodlu örnek; kuvars (yaklaşık % 95-98), muskovit, feldispat, kil, granit kökenli tanelerden; CV kodlu örnek; saydam ve süt beyaz kuvars (% 80-90), muskovit (% 5-6), klorit (% 2-3), kil (beyaz renkli, kaolinitik?), biyotit, kalsedon (en fazla % 3), epidot, fillat, zirkon ve granat kökenli tanelerden, ST kodlu örnek ise; MK kodlu örneğe benzemekte olup (kil oranı daha fazla), saydam ve süt kuvars, muskovit, biyotit (% 2-3), granat ve kilden oluşmaktadır (%10’dan az). OE kodlu örnek, diğer örneklerle oranla daha fazla oranda kil içermekte (yaklaşık % 20) olup, diğer taneler ise süt beyaz, sarı, gri kuvars (yaklaşık % 80) ve kaya parçasından oluşmaktadır. BC kodlu örnek ise; sarımsı, pembemsi, saydam ve süt kuvars, muskovit, kloritleşmiş biyotit, epidot,

çört/kalsedon, biyotit, mikaşist, granit, volkanik parçalar, arduvaz ve fillat kökenli taneleri içermektedir.

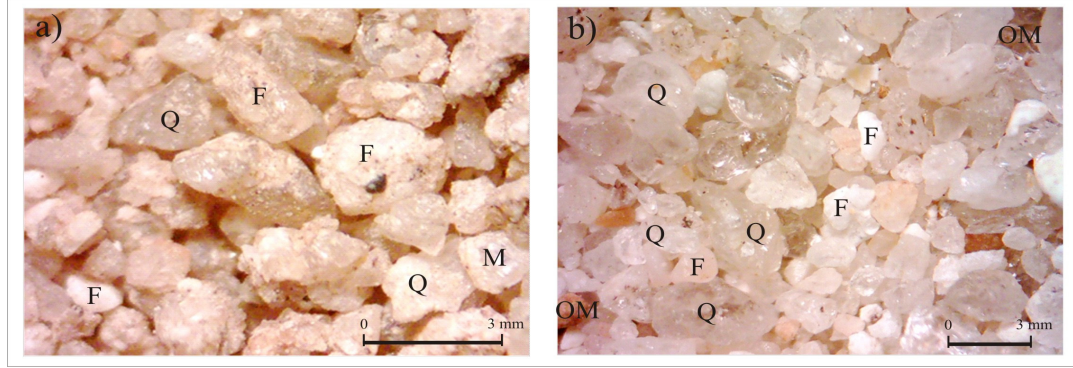
Mineral içeriklerine göre; MK, ST ve CV örneklerinin genel olarak açık renkli granit kökenli oldukları ve ağırlıklı olarak Trakya'da Istranca masifinden beslendikleri düşünülmektedir. ST ve CV örneklerinin ayrıca muskovit içermeleri kuzeylerinde bulunan mika şistlerden beslenmeleri nedeniyle.



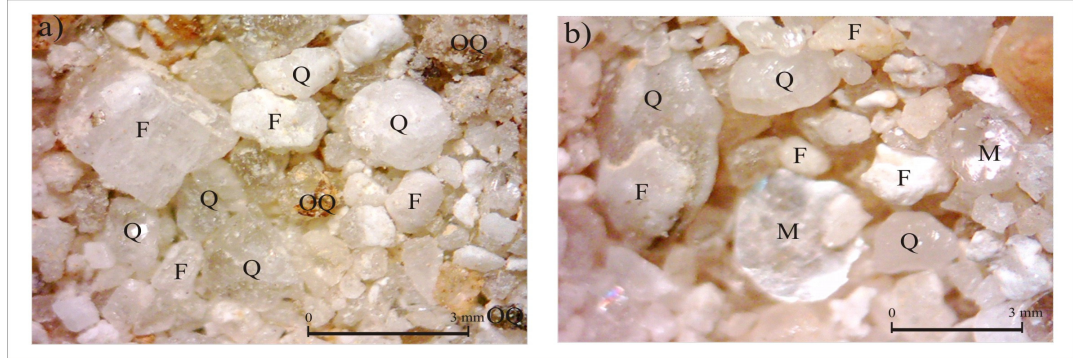
Şekil 3.12: AS Kodlu kum örneğinin içerdiği yuvarlak ve yarı yuvarlak mineral, kaya ve kavkı parçalarının binoküler mikroskoptaki görünümü (Q: Kuvars, Ka: Kalsit, F: Feldispat, K: Kil, KP: Kavkı parçası) a) Doğal b) Üretim (Yıkama-eleme tesisinden alınmış örnek)



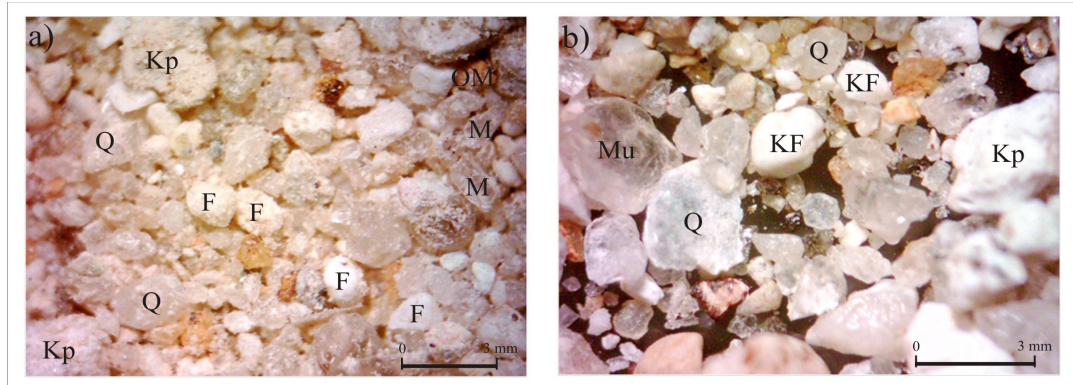
Şekil 3.13: AP kodlu kum örneğinin içerdiği yarı yuvarlak, köşeli mineral, kaya ve kavkı parçalarının binoküler mikroskoptaki görünümü (Q: Kuvars, F: Feldispat, K: Kil, Kp: Kavkı parçası, Kçt: Kireçtaşı parçaları, M: Mika) a) Doğal - tuz kristalleri numunenin mat görünümüne neden olmuştur. b) Üretim (Yıkama-eleme tesisinden alınmış örnek)



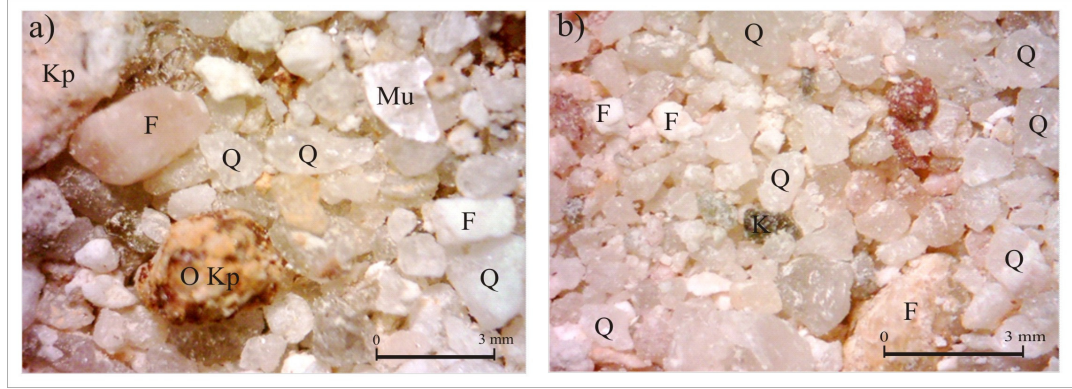
Şekil 3.14: MK Kodlu kum örneğinin içerdiği yarı yuvarlak, köşeli mineral ve kaya parçalarının binoküler mikroskoptaki görünüşleri (Q: Kuvars, F: Feldispat, M: Mika, OM: Oksitlenmiş Mineral) a) Doğal b) Üretim (Yıkama-eleme tesisinden alınmış örnek)



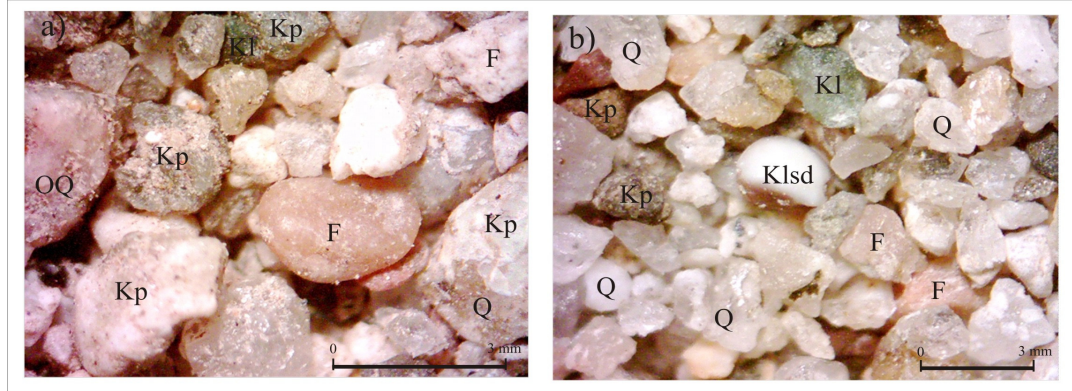
Şekil 3.15: CV Kodlu kum örneğinin içerdiği yuvarlak, yarı yuvarlak mineral ve kaya parçalarının binoküler mikroskoptaki görünüşleri (Q: Kuvars, F: Feldispat, M: Mika, OQ: Oksitlenmiş Kuvars) a) Doğal b) Üretim (Yıkama-eleme tesisinden alınmış örnek)



Şekil 3.16: ST Kodlu kum örneğinin içerdiği yuvarlak, yarı yuvarlak mineral ve kaya parçalarının binoküler mikroskoptaki görünüşleri (Q: Kuvars, F: Feldispat, Kp: Kayaç parçası, OM: Oksitli mineral, M: Mika, Mu: Muskovit, KF: Kaolinleşmiş Feldispat) a) Doğal b) Üretim (Yıkama-eleme tesisinden alınmış örnek)



Şekil 3.17: OE Kodlu kum örneğinin içerdiği yuvarlak, yarı yuvarlak mineral ve kaya parçalarının binoküler mikroskoptaki görünüşleri (Q: Kuvars, F: Feldispat, Kp: Kayaç parçası, OKp: Oksitlenmiş Kaya parçası, Mu: Muskovit) a) Doğal b) Üretim (Yıkama-eleme tesisinden alınmış örnek)

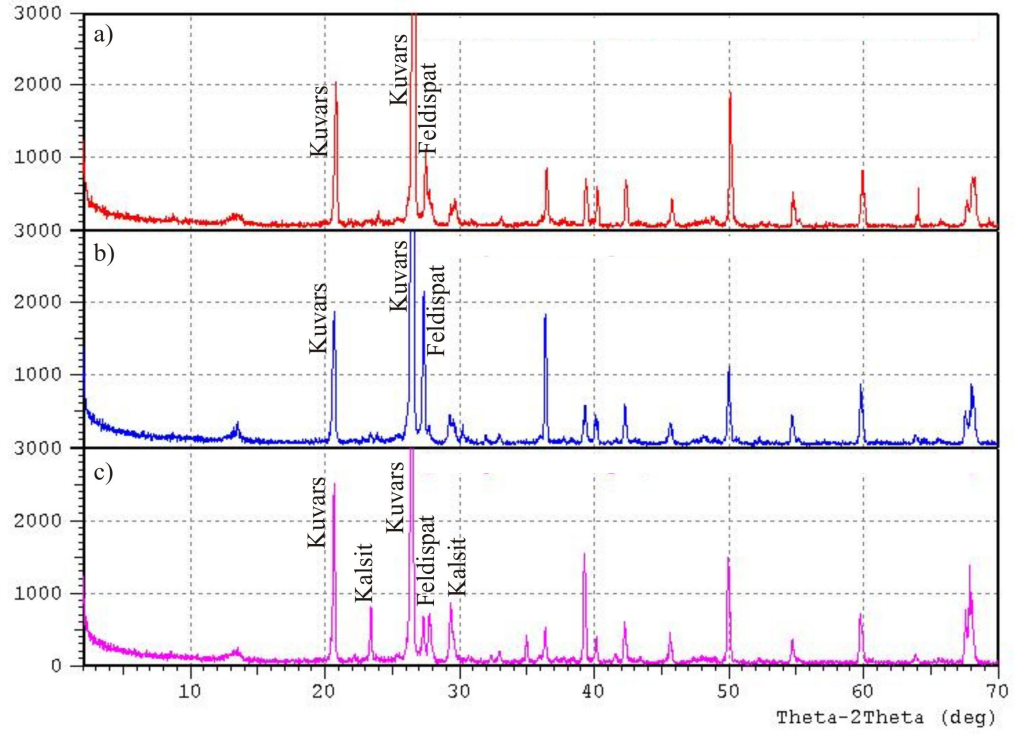


Şekil 3.18: BC Kodlu kum örneğinin içerdiği yuvarlak yarı yuvarlak mineral ve kaya parçalarının binoküler mikroskoptaki görünüşleri (Q: Kuvars, F: Feldispat, Kp: Kayaç parçası, OQ: Oksitlenmiş Kuvars, Kl: Klorit, Kl sd: Kalsedon) a) Doğal b) Üretim (Yıkama-eleme tesisinden alınmış örnek)

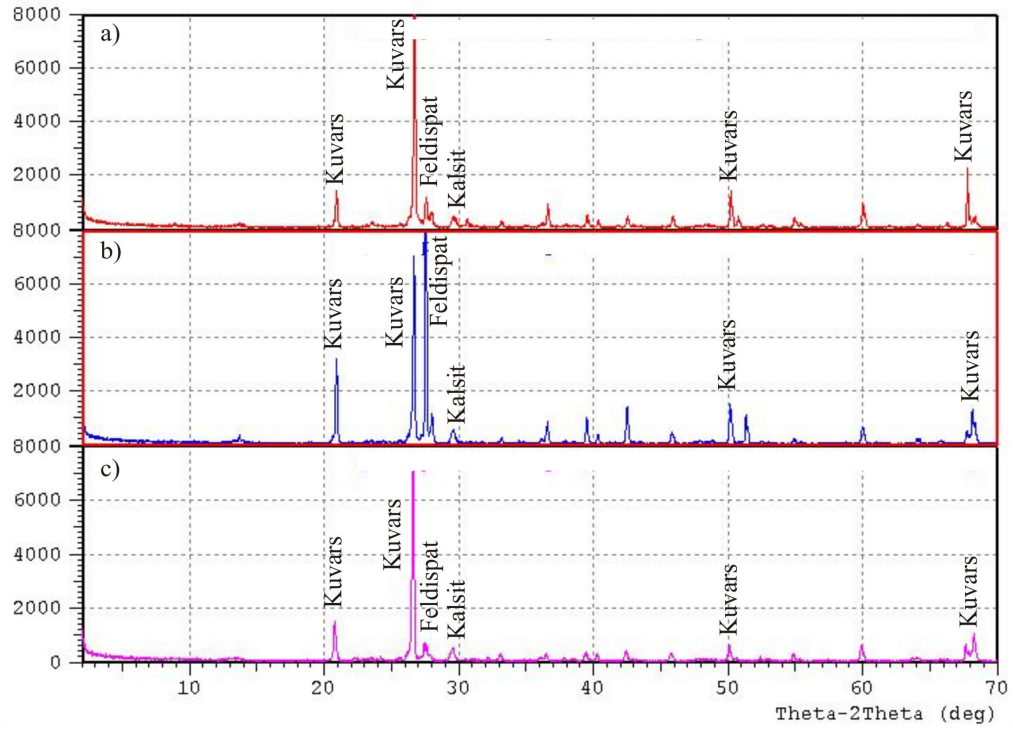
Binoküler mikroskop incelemeleri ile mineral içerikleri saptanan örneklerin ayrıca, SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile Cu X-Işını tüpü ($\lambda=1.5405$ Angstrom) kullanılarak X-Işını toz difraksiyon paternleri çekilmiştir. Bu paternler üzerinde yaklaşık pik şiddetlerine göre bulunan bileşikler tanımlanmıştır (Şekil 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24 ve 3.25). Tablo 3.3’de ocaklardaki aynalardan ve yıkama-eleme tesislerinden alınmış ve ayrıca laboratuvarında yıkanmış örnekler üzerinde yapılan XRD analizlerine göre kumların içerdiği mineraller bolluk sırasına göre sunulmuştur. Ancak; betonda alkali-silis reaksiyonları açısından oldukça önemli olan ve binoküler mikroskop çalışmaları ile saptanan çört ve kalsedonun varlığı amorf mineraller olduklarından XRD analiz sonuçlarına yansımamıştır.

Tablo 3.3: Ocaklardaki aynalardan (doğal) ve yıkama-eleme tesislerinden (üretim) alınmış örnekler ile laboratuvarında yıkanmış üretim örnekleri üzerinde yapılan binoküler mikroskop incelemeleri ile XRD analizi sonuçları K: K-Feldispat, Plj: Plajiolit

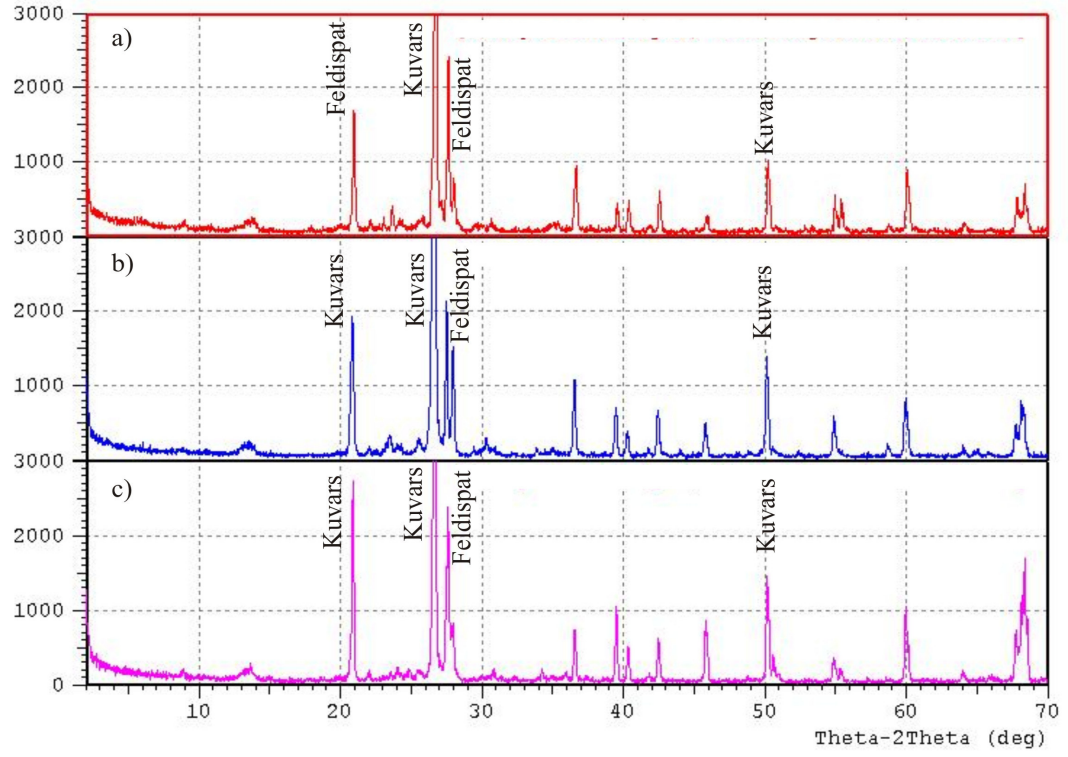
Numune kodu	Mineralojik Bileşim (Binoküler mikroskop tanımlaması)		Mineralojik Bileşim (XRD Analizi-bolluk sırasına göre)		
	Doğal	Üretim (tesis)	Doğal	Üretim (tesis)	Yıkanmış (lab.)
AS	Kuvars/kalsit Çört/Kalsedon Feldispat Muskovit	Kuvars/kalsit Feldispat Çört/Kalsedon Muskovit	Kuvars Feldispat (K,Plj) Kalsit Muskovit	Kuvars Feldispat (Plj,K) Kalsit	Kuvars Feldispat(Plj, K) Kalsit
AP	Kuvars/kalsit Feldispat Muskovit Ametist Çört/Kalsedon Klorit	Kuvars/kalsit Feldispat Muskovit Çört/Kalsedon Klorit	Kuvars Kalsit Feldispat (K,Plj) Muskovit	Kuvars Kalsit Feldispat (K,Plj)	Kuvars Kalsit Feldispat (K,Plj)
MK	Kuvars Muskovit Feldispat Granit parçaları Kil	Kuvars Muskovit Feldispat Granit parçaları	Kuvars Feldispat (K,Plj) Muskovit/illit Dolomit	Kuvars Feldispat (K,Plj) Muskovit Dolomit	Kuvars Feldispat (K,Plj) Muskovit Dolomit
CV	Kuvars Feldispat Muskovit Klorit Kil Kalsedon Kayaç parçası (Fillat, şist) Epidot, zirkon, granat	Kuvars Feldispat Klorit Muskovit Kalsedon Kayaç parçası (Fillat, şist) Epidot, zirkon, granat	Kuvars Feldispat (K,Plj) Muskovit Montmorillonit Dolomit	Kuvars Feldispat (K,Plj) Muskovit Montmorillonit Dolomit	Kuvars Feldispat (K,Plj) Muskovit Dolomit
ST	Kuvars Muskovit Biyotit Granit parçası Kalsedon Kaolinleşmiş felds. taneleri	Kuvars Granit parçası Muskovit Kalsedon Kaolinleşmiş felds. taneleri	Kuvars Feldispat (K,Plj) Muskovit Dolomit Montmorillonit	Kuvars Feldispat (K,Plj) Muskovit Dolomit Montmorillonit	Kuvars Feldispat (K,Plj) Muskovit Dolomit
OE	Kuvars Kayaç parçası Kil Çört/Kalsedon	Kuvars Kayaç parçası Çört/Kalsedon	Kuvars Feldispat (K,Na) İllit Kaolinit	Kuvars Feldispat (K,Na)	Kuvars Feldispat (K,Na)
BC	Kuvars Mika Granit parçaları Çört/Kalsedon Biyotit Kil Kayaç parçaları (Mikaşist, volkanik kaya, arduvaz, fillat)	Kuvars Mika Granit parçası Çört/Kalsedon Kil Kayaç parçaları (Mikaşist, volkanik kaya, arduvaz, fillat)	Kuvars Feldispat (K,Plj) Muskovit Kaolinit Kalsit Dolomit	Kuvars Feldispat (K,Plj) Kalsit Muskovit Kaolinit Dolomit	Kuvars Feldispat (K,Plj) Kalsit Muskovit Dolomit



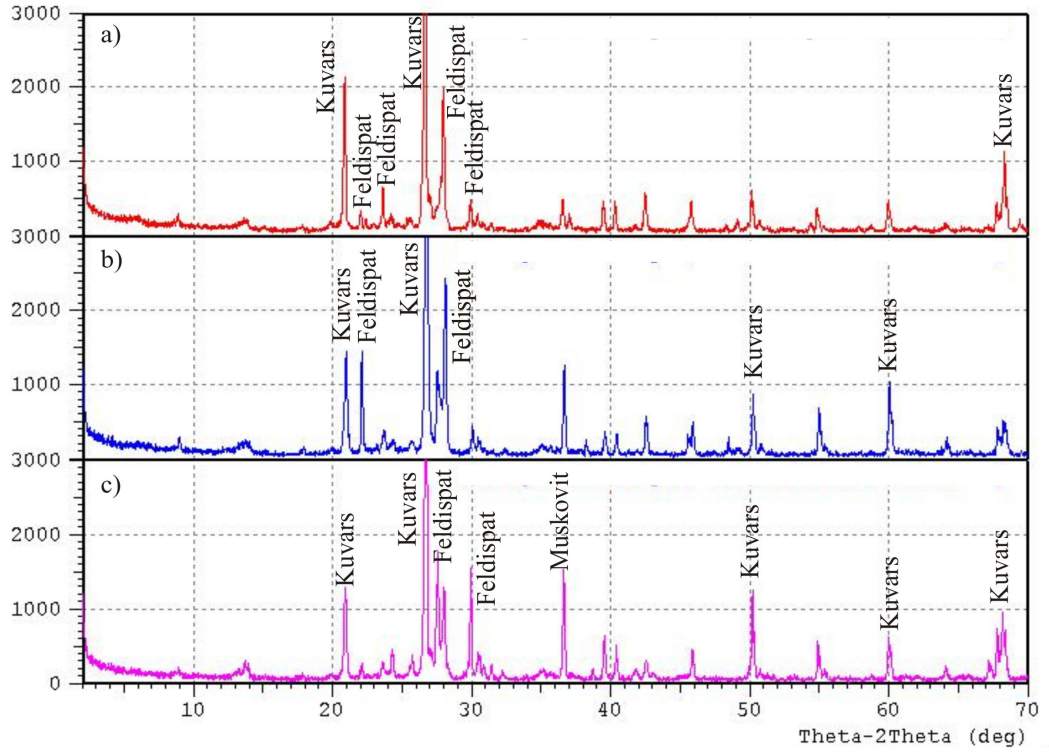
Şekil 3.19: AS kodlu örneğin X ışını difraktogramları a) Doğal örnek b) Yıkama-eleme tesisinden alınan örnek (üretim) c) Laboratuvarıda yıkanmış örnek



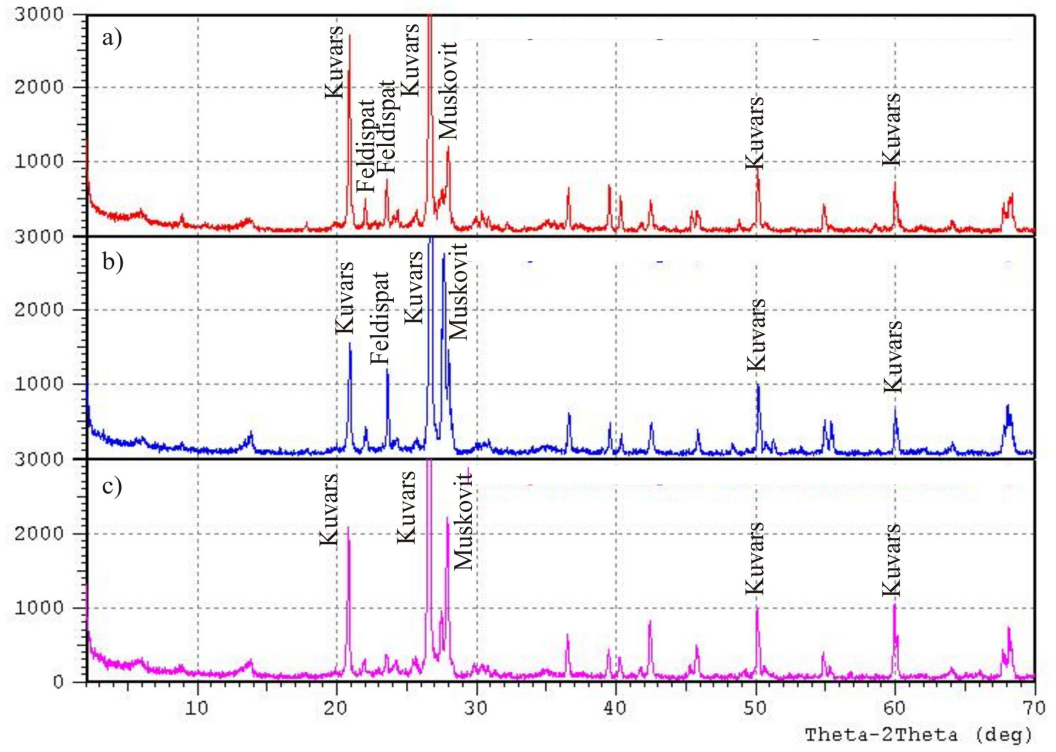
Şekil 3.20: AP kodlu örneğin X ışını difraktogramları a) Doğal örnek b) Yıkama-eleme tesisinden alınan örnek (üretim) c) Laboratuvarıda yıkanmış örnek



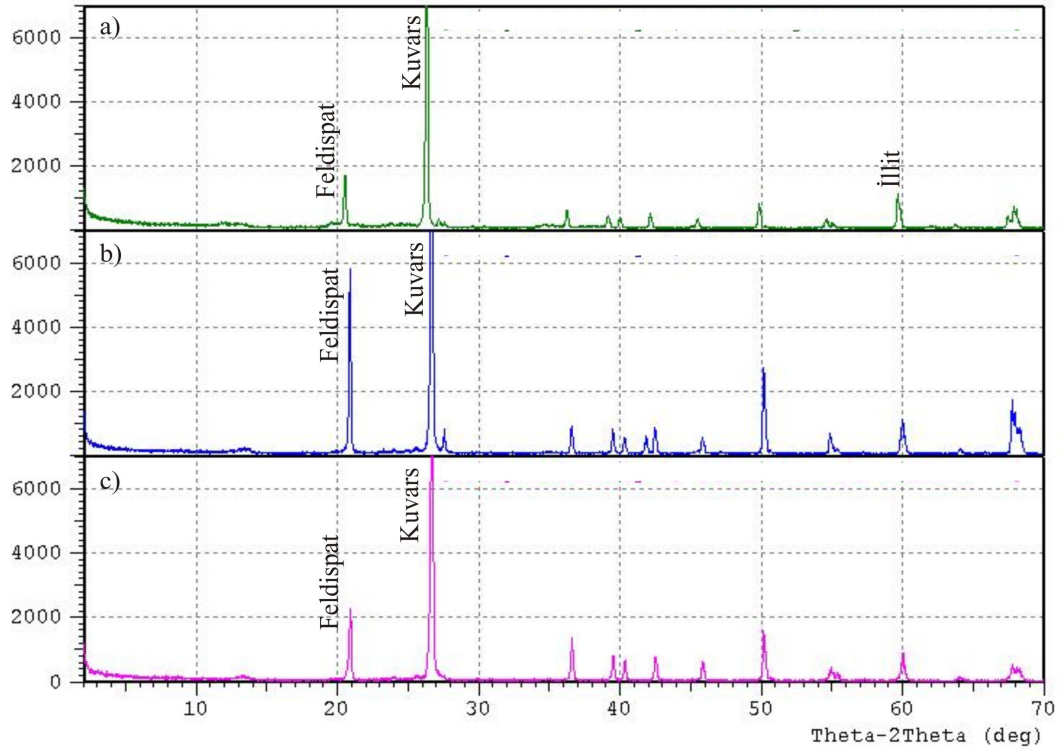
Şekil 3.21: MK kodlu örneğin X ışını difraktogramları a) Doğal örnek b) Yıkama-eleme tesisinden alınan örnek (üretim) c) Laboratuvarda yıkanmış örnek



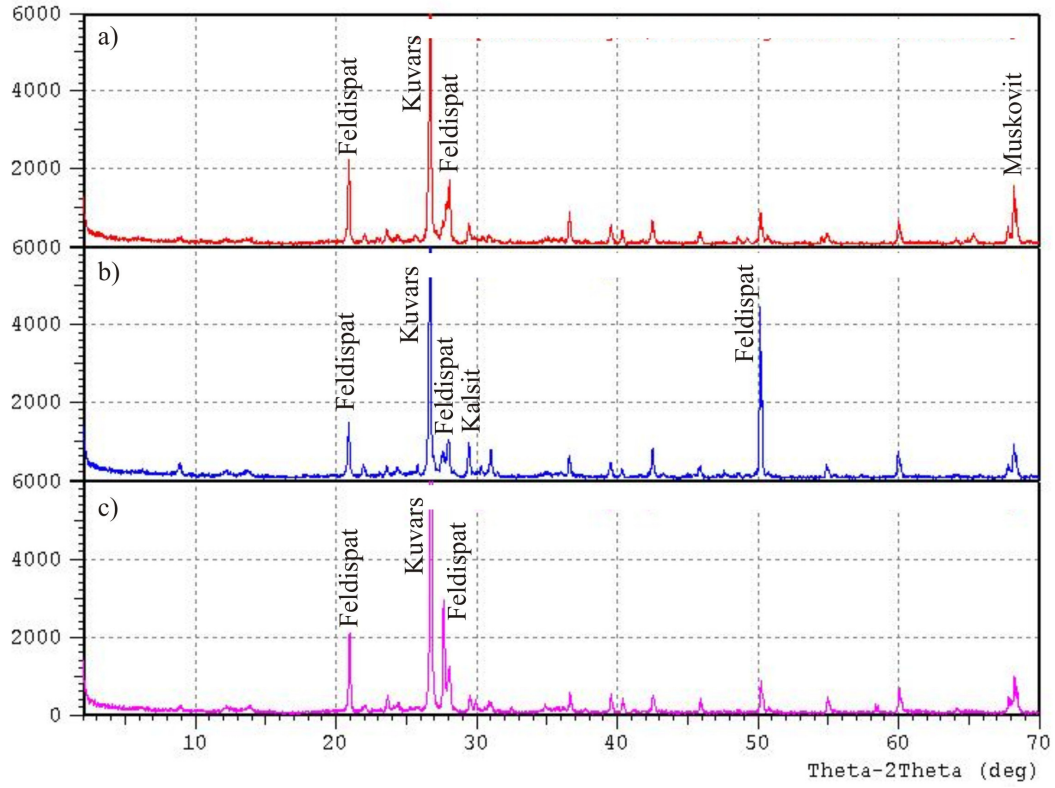
Şekil 3.22: CV kodlu örneğin X ışını difraktogramları a) Doğal örnek b) Yıkama-eleme tesisinden alınan örnek (üretim) c) Laboratuvarda yıkanmış örnek



Şekil 3.23: ST kodlu örneğin X ışını difraktogramları a) Doğal örnek b) Yıkama-eleme tesisinden alınan örnek (üretim) c) Laboratuvarıda yıkanmış örnek



Şekil 3.24: OE kodlu örneğin X ışını difraktogramları a) Doğal örnek b) Yıkama-eleme tesisinden alınan örnek (üretim) c) Laboratuvarıda yıkanmış örnek



Şekil 3.25: BC kodlu örneğin X ışını difraktogramları a) Doğal örnek b) Yıkama-eleme tesisinden alınan örnek (üretim) c) Laboratuvarıda yıkanmış örnek

3.3. KİMYASAL ANALİZLER

Doğal (ocaklardaki üretim aynalarından), yıkama-eleme tesislerinden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış örnekler üzerinde yapılan yarı kantitatif element analizi sonucunda içerdikleri element ve ana element oksit yüzdeleri saptanmıştır. TÜBİTAK-MAM Araştırma Merkezinde yapılan bu analizler sırasında, Philips PW-2404 model Dalga boyu dağılımlı X-Işını Floresan Spektrometre cihazı kullanılmıştır. Elde edilen veriler Tablo 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9’de sunulmuştur.

3.3.1. Doğal (ocaklardaki) örnekler üzerinde yapılan kimyasal analizler

Ocaklardaki aynalardan alınan doğal örneklerin içerdiği ana element oksit yüzdeleri Tablo 3.4’de, element içerikleri ise Tablo 3.5’de sunulmuştur. Tablo 3.4’de görüldüğü gibi örneklerin hepsinde SiO_2 oranı % 68’in üzerindedir. SiO_2 oranının yüksek oluşu örneklerin içerdiği kuvars nedeniyledir. MK ve OE kodlu örneklerde SiO_2 oranının % 80’nin üzerinde olması kuvars içeriklerinin diğer örneklere oranla daha yüksek

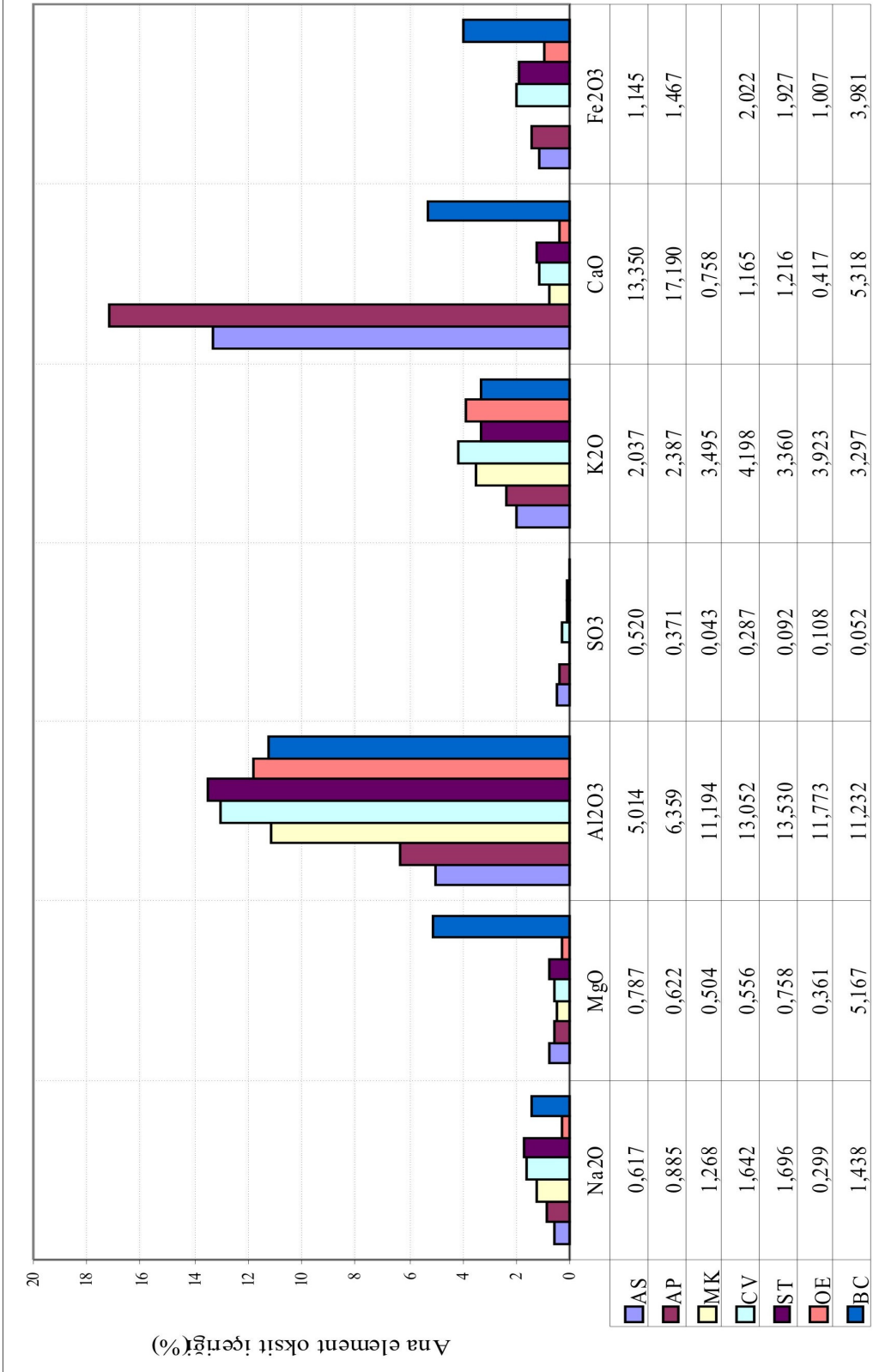
olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum Binoküler mikroskop çalışmaları ve XRD analizlerinde de saptanmıştır (Şekil 3.14, 3.17 ve Tablo 3.3). SiO₂ oranının yüksek olması örneklerin daha temiz ve kaliteli olmalarının belirteçidir. İncelenen örneklerle ait Na₂O, MgO, Al₂O₃, SO₃, K₂O, CaO ve FeO₃ yüzdelерinin karşılaştırılması ise Şekil 3.26’da sunulmuştur.

Tablo 3.4: Ocaklardaki aynalardan alınan doğal örneklerinin ana element oksit içerikleri

Ana Element Oksitleri (%)	NUMUNE KODLARI						
	AS	AP	MK	CV	ST	OE	BC
SiO ₂	76.437	68.153	80.819	76.451	76.138	83.926	68.5
Na ₂ O	0.617	0.885	1.268	1.642	1.696	0.299	1.438
K ₂ O	2.037	2.387	3.495	4.198	3.920	1.600	3.297
MgO	0.787	0.755	0.504	0.556	0.758	0.361	5.167
CaO	13.35	17.19	0.758	1.165	1.216	0.417	5.318
Al ₂ O ₃	5.083	6.359	11.194	13.052	13.530	11.773	11.232
Fe ₂ O ₃	1.145	1.497	1.28	2.022	1.927	1.007	3.981
SO ₃	0.142	0.371	0.043	0.287	0.092	0.108	0.052
P ₂ O ₅	0.087	0.072	0.052	0.078	0.105	0.049	0.156
TiO ₂	0.113	0.18	0.259	0.26	0.27	0.323	0.388
Cr ₂ O ₃	0.025	0.015	0.019	0.011	0.022	0.009	0.075
MnO ₂	0.038	0.062	0.09	0.024	0.05	0.024	0.096
NiO	-	0.035	0.004	0.006	0.001	0.002	0.007
CuO	-	-	0.003	-	0.003	-	0.005
ZnO	-	0.006	0.003	0.001	0.003	-	0.003
Rb	0.008	0.013	0.015	0.012	0.006	0.007	0.014
SrO	0.059	0.029	0.028	0.02	0.006	0.046	0.032
ZrO ₂	0.021	0.019	0.022	0.022	0.017	-	0.016
BaO	0.148	0.135	0.125	0.117	0.036	0.097	0.154
PbO	-	0.01	0.006	-	-	-	0.003
Toplam	100.097	98.173	99.987	99.924	99.796	100.048	99.934

Tablo 3.5: Ocaklardaki aynalardan alınan doğal örneklerinin içerdiği elementler

Element İçeriği (%)	NUMUNE KODLARI						
	AS	AP	MK	CV	ST	OE	BC
Al	2.654	3.366	5.925	6.908	7.161	6.231	5.945
Ba	0.087	0.133	0.105	0.112	0.138	0.032	0.121
Ca	9.542	12.286	0.542	0.832	0.869	0.298	3.801
Cl	0.052	0.056	0.036	0.04	0.034	0.032	0.048
Cr	0.017	0.01	0.013	0.007	0.015	0.006	0.051
Cu	-	-	-	0.002	0.004	0.003	-
Fe	0.801	1.047	0.895	1.414	1.348	0.704	2.785
K	1.691	1.982	2.902	3.485	3.254	1.328	2.737
Mg	0.475	0.375	0.304	0.335	0.457	0.218	3.116
Mn	0.024	0.039	0.057	0.015	0.032	0.015	0.061
Na	0.458	0.657	0.941	1.218	1.259	0.222	1.067
Ni	0.002	-	0.005	0.003	0.005	0.001	0.028
O	48.258	46.936	50.254	49.517	49.527	51.396	47.832
P	0.038	0.031	0.023	0.034	0.046	0.022	0.068
Rb	0.007	0.008	0.012	0.015	0.014	0.006	0.013
S	0.057	0.148	0.017	0.115	0.037	0.043	0.021
Si	35.729	32.751	37.778	35.736	35.59	39.23	32.019
Sr	0.039	0.049	0.017	0.023	0.027	0.005	0.025
Ti	0.068	0.108	0.155	0.156	0.162	0.193	0.233
Zn	-	-	0.001	0.003	0.003	0.002	0.005
Pb	-	-	-	0.005	0.002	-	0.009
Zr	-	0.015	0.016	0.016	0.012	0.013	0.014



Ana element oksit

Tablo 3.4 ve Şekil 3.26’da görüldüğü gibi; örneklerdeki Na_2O içeriği % 0.299 - 1.696 arasında değişmektedir. Bu numuneler arasında en düşük değer OE kodlu numuneye, en yüksek değer ise ST kodlu numuneye aittir. Na_2O miktarı % 1 değerinin üzerinde olan MK, CV ve ST kodlu numuneler Trakya Bölgesinde bulunan Ergene formasyonuna aittir. Bu formasyona ait kumlar kuzeylerinde yer alan granitler ile gnayslardan beslenmelerinden dolayı feldspat (K-feldspat ve plajioloklas) içermektedirler. plajioloklaslar çoğunlukla albittir. Na_2O , albitlerden (sodyumlu plajioloklas) kaynaklanmaktadır. Albitler ise çoğunlukla anortitlerin (kalsiyumlu plajioloklas) albitleşmesi sonucu gelişmişlerdir. BC kodlu numune ise Bursa Kemalpaşa Bölgesindeki Kuvaterner yaşlı alüvyonlara aittir. Bu örnek ise genellikle metamorfik ve magmatik birçok kaya parçası içermektedir. Dolayısıyla feldspat oranı yüksek çıkmıştır.

Ana element oksitlerden MgO miktarı incelenen numunelerde % 0.361–5.167 arasındadır (Tablo 3.4 ve Şekil 3.26). Bu numuneler arasında en düşük değer OE kodlu numunede, en yüksek değer ise BC kodlu numunede görülmektedir. MgO doğal kumlarda bulunan dolomit mineralinden kaynaklanmaktadır. MgO yüzdesi BC kodlu numunenin dışında %1’in altındadır. BC kodlu numunede MgO ’in % 5.167 olması içerdığı dolomit minerali nedeniyledir.

Kumlardaki Al_2O_3 miktarı % 5.014 - 13.052 arasında değişmektedir (Tablo 3.4 ve Şekil 3.26). Bu numuneler arasında en düşük değer AS kodlu numunede, en yüksek değer ise ST kodlu numunede görülmektedir. Al_2O_3 miktarı doğal kumlarda bulunan feldspat, muskovit ve kil minerallerinden kaynaklanmaktadır. AS ve AP kodlu numunelerde Al_2O_3 miktarı % 6.3 ün altında, MK, CV, ST, OE ve BC kodlu numunelerde ise % 11’in üzerindedir.

Numunelerdeki SO_3 miktarı % 0.043 - 0.371 arasında değişmektedir (Tablo 3.4 ve Şekil 3.26). Bu numuneler arasında en düşük değer MK kodlu numunede, en yüksek değer ise AP kodlu numunede görülmektedir. SO_3 miktarı doğal kumlarda bulunan tuzlardan kaynaklanmaktadır. AS ve AP kodlu numunelerdeki SO_3 miktarının % 0.371’nin üzerinde olması denizel kökenli olmalarından kaynaklanmaktadır.

K_2O miktarı % 1.6–4.198 arasında değişmektedir. Bu numuneler arasında en düşük değer OE kodlu numunede, en yüksek değer ise CV kodlu numunede görülmektedir

(Tablo 3.4 ve Şekil 3.26). K_2O miktarı doğal kumlarda bulunan muskovit, potasyum feldispat, illit ve tuzdan kaynaklanmaktadır.

Numunelerde CaO miktarı % 0.417 - 17.190 arasında değişmektedir (Tablo 3.4 ve Şekil 3.26). Bu numuneler arasında en düşük değer OE kodlu numunede, en yüksek değer ise AP kodlu numunede görülmektedir. CaO miktarı doğal kumlarda bulunan kavkı kırıntıları, kalsit ve feldispat minerallerinden kaynaklanmaktadır. CaO miktarının AS ve AP kodlu numunelerde %13.350'nin üzerinde olması denizel kökenli olmaları ve dolayısıyla bol miktarda kavkı kırıntısı içermeleri nedeniyledir. AP kodlu numune AS kodlu numuneye göre daha fazla kavkı içermektedir.

Numunelerde Fe_2O_3 miktarı % 1.007 – 3.981 arasında değişmektedir. Bu numuneler arasında en düşük değer OE kodlu numunede, en yüksek değer ise BC kodlu numunede görülmektedir (Tablo 3.4 ve Şekil 3.26). Fe_2O_3 miktarının bu numunede diğer kumlara oranla yüksek çıkması içerdiği kayaç parçalarındaki demir minerallerinden kaynaklanmaktadır. Diğer örneklerdeki özellikle CV ve ST kodlu örneklerdeki Fe_2O_3 miktarının yüksek oluşu minerallerin yüzey koşullarında ayrışması (oksidasyonu) nedeniyledir.

Tablo 3.5'de görüldüğü gibi AS ve AP kodlu örneklerin diğerlerine göre daha fazla klor içermeleri ise denizel kökenli olmalarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca; Tablo 3.4 ve 3.5'de görüldüğü gibi örneklerin ağır metal içerikleri de çok düşük orandadır. Bu durum beton yoğunluğu açısından olumlu bir özelliktir.

3.3.2. Yıkama-eleme tesislerinden alınan örnekler üzerinde yapılan kimyasal analizler

Ocaklardaki yıkama-eleme tesislerinden (üretim) alınan örneklerin içerdiği ana element oksit yüzdeleri Tablo 3.6'de, element içerikleri ise Tablo 3.7'de sunulmuştur. Tablo 3.6'da görüldüğü gibi; AP kodlu örneğin dışında tesislerde yıkanmış örneklerin içerdiği SiO_2 yüzdeleri ocaklardaki aynalardan alınan örneklerle oranla artmıştır. Bu durum yıkanan örneklerdeki ince maddelerin azalması ve dolayısıyla SiO_2 oranının göreceli olarak artmasından kaynaklanmaktadır. AP kodlu numunede artış göstermemesinin nedeni ise bu örneklerin denizden alınmaları ve tesislerde yıkanmamasıdır.

Tesislerde yıkanmış örneklerle ait Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SO_3 , K_2O , CaO ve FeO_3 yüzdelerinin karşılaştırılması ise Şekil 3.27’de sunulmuştur.

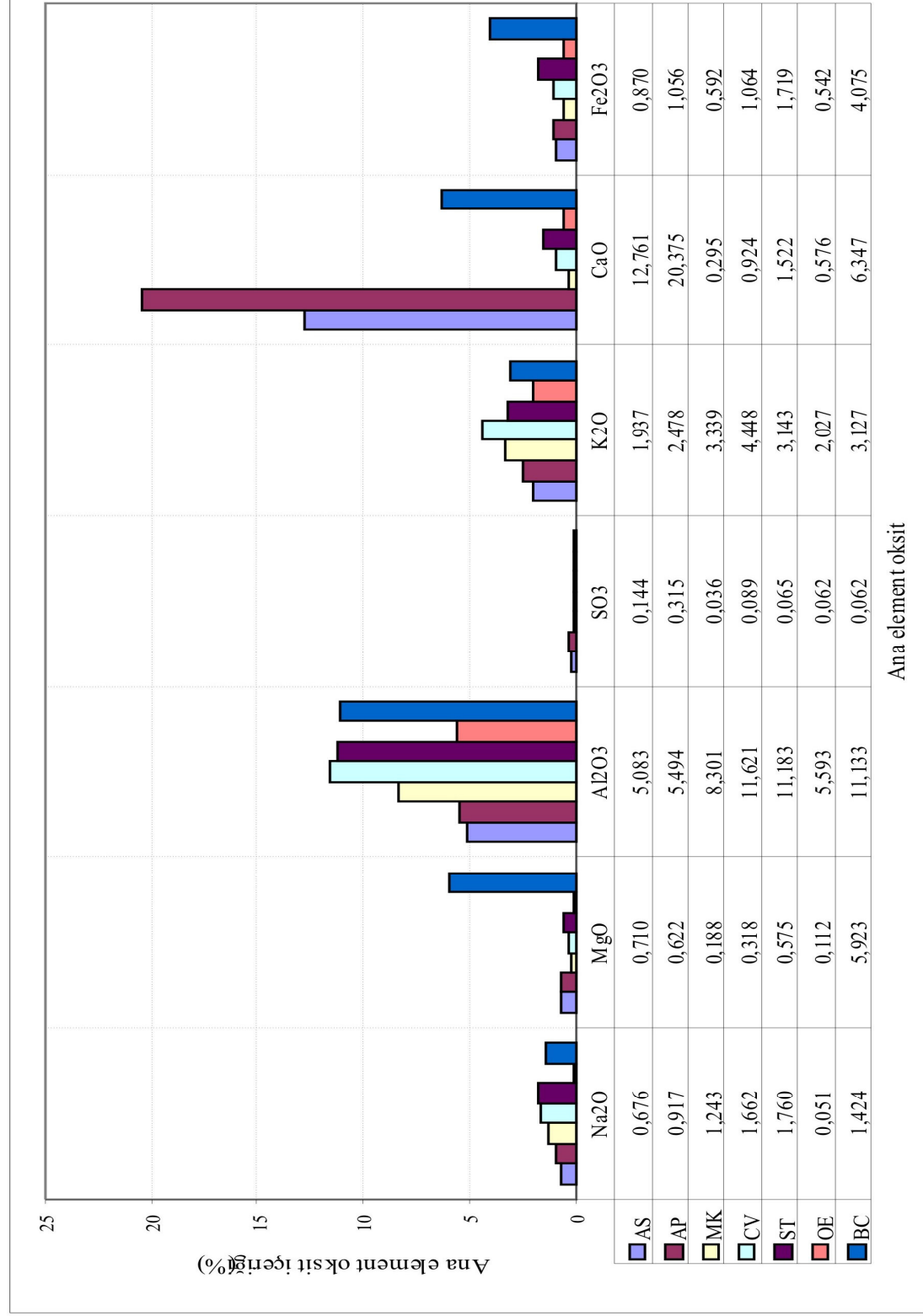
Tablo 3.6: Yıkama-eleme tesislerinden alınan örneklerinin ana element oksit içerikleri

Ana Element Oksitleri (%)	NUMUNE KODLARI						
	AS	AP	MK	CV	ST	OE	BC
SiO_2	77.318	70.065	85.671	79.412	79.587	90.669	68.744
Na_2O	0.676	0.917	1.243	1.662	1.76	0.051	1.424
K_2O	1.937	2.478	3.339	4.448	3.143	2.027	3.127
MgO	0.71	0.622	0.188	0.618	0.575	0.112	5.923
CaO	12.761	20.375	0.295	0.924	1.522	0.576	6.347
Al_2O_3	5.014	5.494	8.301	11.621	11.183	5.593	11.133
Fe_2O_3	0.87	1.056	0.592	1.064	1.719	0.542	4.075
SO_3	0.144	0.315	0.036	0.089	0.065	0.062	0.062
P_2O_5	0.065	0.07	0.043	0.052	0.085	0.043	0.146
TiO_2	0.137	0.115	0.049	0.128	0.27	0.179	0.427
Cr_2O_3	0.022	0.026	0.016	0.007	0.018	0.011	0.17
MnO_2	0.038	0.046	0.027	0.017	0.056	-	0.095
NiO	-	-	0.004	-	0.008	0.002	0.033
CuO	-	0.002	0.003	0.003	0.003	0.001	-
ZnO	0.004	0.004	-	0.003	0.004	-	0.007
Rb	0.007	0.009	0.009	0.016	0.011	0.005	0.012
SrO	0.044	0.058	0.016	0.027	0.027	0.002	0.031
ZrO_2	0.017	-	0.01	0.015	0.017	0.009	0.021
BaO	0.122	0.129	0.119	0.141	0.136	0.056	0.168
PbO	-	-	-	0.007	-	-	0.009
Toplam	99.886	101.781	99.961	100.254	100.189	99.940	101.954

Tablo 3.7: Yıkama-eleme tesislerinden alınan örneklerinin içerdği elementler

Element İçeriği (%)	NUMUNE KODLARI						
	AS	AP	MK	CV	ST	OE	BC
Al	2.69	2.908	4.93	6.151	5.794	2.96	5.892
Ba	0.109	0.0116	0.106	0.126	0.122	0.05	0.15
Ca	9.12	14.562	0.211	0.66	1.088	0.412	4.537
Cl	0.042	0.166	0.038	0.043	0.044	0.056	0.042
Cr	0.015	0.018	0.011	0.005	0.012	0.008	0.117
Cu	-	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	-
Fe	0.609	0.738	0.414	0.744	1.203	0.379	2.85
K	1.608	2.057	2.771	3.692	2.609	1.683	2.596
Mg	0.428	0.334	0.114	0.192	0.347	0.068	3.572
Mn	0.024	0.029	0.017	0.011	0.036	-	0.06
Na	0.501	0.681	0.922	1.233	1.306	0.038	1.056
Ni	-	-	0.003	-	0.006	0.002	0.026
O	48.482	4.23	50.857	49.825	49.954	51.796	47.489
P	0.029	0.031	0.019	0.023	0.037	0.019	0.064
Rb	0.007	0.009	0.009	0.016	0.011	0.005	0.012
S	0.058	0.126	0.014	0.036	0.026	0.025	0.025
Si	36.141	31.871	40.045	37.12	37.202	42.382	31.199
Sr	0.037	0.049	0.013	0.022	0.023	0.001	0.026
Ti	0.082	0.069	0.03	0.077	0.162	0.107	0.256
Zn	0.004	0.003	-	0.002	0.003	-	0.006
Pb	-	-	-	0.006	-	-	0.008
Zr	0.013	-	0.007	0.011	0.013	0.007	0.015

Şekil 3.27: Ocaklardaki yıkama-eleme tesislerinden alınan örneklerinin içerdiği ana element oksit



Tesislerden alınan numunelerdeki Na_2O % 0.051 - 1.760 arasında değişmektedir (Tablo 3.6 ve Şekil 3.27). Bu numuneler arasında en düşük değer OE kodlu numunede, en yüksek değer ise ST kodlu numunede görülmektedir. Tablo 3.4 ve 3.6 birlikte incelendiğinde; numunelerdeki feldspatlardan kaynaklanan Na_2O miktarında tesislerde yıkama işleminden sonra genelde artış olduğu dikkati çekmektedir.

Numunelerde MgO miktarı ise % 0.112 - 5.923 arasında değişmektedir. Bu numuneler arasında en düşük değer OE kodlu numunede, en yüksek değer ise BC kodlu numunede görülmektedir (Tablo 3.6 ve Şekil 3.27). MgO miktarı BC kodlu numune hariç %1'in altındadır. Bu numunede MgO 'ın % 5.923 olmasının nedeni dolomit mineralinden kaynaklanmaktadır. CV ve ST kodlu numunelerde de diğerlerine oranla daha yüksek oluşu yine içerdikleri dolomit nedeniyle. AS ve AP kodlu numunelerde ise MgO içeriğinin CV ve ST kodlu numunelere yakın çıkması bu örneklerin tuz içermelerinden kaynaklanabilir.

Numunelerde Al_2O_3 miktarı % 5.083 - %11.621 arasında değişmektedir. Bu numuneler arasında en düşük değer AS kodlu numunede, en yüksek değer ise CV kodlu numunede görülmektedir (Tablo 3.6 ve Şekil 3.27). Al_2O_3 miktarı doğal kumlarda bulunan feldispat, muskovit ve kil minerallerinden (montmorillonit, illit) kaynaklanmaktadır. AS, OE ve AP kodlu numunelerde Al_2O_3 miktarı % 5.6'in altında, MK, CV, ST ve BC kodlu numunelerde ise %8.3'ün üzerindedir. Yüksek değerler kil ve mika minerallerinden kaynaklanmaktadır. Bu durum tesislerde örnekler yıkansalar da kilin tamamen uzaklaştırılamadığının belirteçidir. Nitekim Tablo 3.3'deki veriler de bu yorumu desteklemektedir.

Numunelerde SO_3 miktarı % 0.036 - 0.315 arasında değişmektedir (Tablo 3.6 ve Şekil 3.27). Bu numuneler arasında en düşük değer MK kodlu numunede, en yüksek değer ise AP kodlu numunede görülmektedir. AP kodlu numunedeki yüksek değer bu kumların denizden alınmalarına rağmen tesislerde yıkanmalarından kaynaklanmaktadır.

Numunelerde K_2O miktarı % 1.937 - 4.448 arasında değişmektedir (Tablo 3.6 ve Şekil 3.27). Bu numuneler arasında en düşük değer AS kodlu numunede, en yüksek değer ise CV kodlu numunede görülmektedir. K_2O miktarı doğal kumlarda bulunan muskovit, potasyum feldispat, illit ve tuzlardan kaynaklanmaktadır. K_2O miktarı %2.478'nin

altında olan AS ve AP kodlu numuneler denizel kökenli diğer tüm numuneler karasal kökenlidir. MK, CV, ST ve BC kodlu numunelerin tesislerde yıkanmalarına rağmen K_2O yüzdelerinin çok az oranda azalması beton için zararlı olan muskovitin tesislerde uzaklaştırılmadığının kanıtıdır.

Tesislerde yıkanmış numunelerde CaO miktarı % 0.295 - 20.375 arasında değişmektedir. Bu numuneler arasında en düşük değer MK kodlu numunede, en yüksek değer ise AP kodlu numunede görülmektedir (Tablo 3.6 ve Şekil 3.27). CaO miktarı doğal kumlarda bulunan kavkı kırıntıları, kalsit ve feldispat (anortit) minerallerinden kaynaklanmaktadır. CaO miktarı %12.761 üzerinde olan AS ve AP kodlu numuneler denizel kökenli oldukları için numunelerin içerisinde bulunan kavkı kırıntılarından kaynaklanmaktadır. AP kodlu örnekte kavkı miktarı daha fazladır.

Yıkanmış numunelerde Fe_2O_3 miktarı % 0.542 - 4.075 arasında değişmektedir. Bu numuneler arasında en düşük değer OE kodlu numunede, en yüksek değer ise BC kodlu numunede görülmektedir (Tablo 3.6 ve Şekil 3.27). Örneklerin çoğunda yıkanma nedeniyle azalma, Fe_2O_3 'in ayrışma ürünü olmasından dolayı yıkama sonucunda ince maddelerin azalması ile ilgilidir. Bu azalma en çok OE kodlu örnekte görülmüştür.

Tablo 3.7'de görüldüğü gibi; AP kodlu numunenin diğerlerine göre daha fazla klor içermesi bu numunenin denizden alınmasından ve tesislerde yıkanmamasından kaynaklanmaktadır.

3.3.3. Laboratuvar da yıkanmış örnekler üzerinde yapılan kimyasal analizler

Yıkama-eleme tesislerinden alınan örneklerin (üretim) laboratuvar da yıkanmış numunelerin içerdiği ana element oksit yüzdeleri Tablo 3.8'de, element içerikleri ise Tablo 3.9'da sunulmuştur. Tablo 3.8'da görüldüğü gibi; laboratuvar da yıkanmış örneklerin içerdiği SiO_2 yüzdeleri ocaklardaki aynalardan alınan örneklere ve tesislerde yıkanmış örneklere oranla artmıştır. Bu durum bir önceki bölümde değinildiği gibi; yıkanan örneklerdeki ince maddelerin azalması ve dolayısıyla SiO_2 oranının göreceli olarak artması nedeniyledir.

Tablo 3.8 ve Şekil 3.28'de görüldüğü gibi; Laboratuvar da yıkanmış örneklere ait Na_2O % 0.053-1.916 arasında, MgO % 0.124 - 5.705 arasında, Al_2O_3 % 4.180 - 11.230 arasında,

SO₃ % 0.040 - 0.207 arasında, K₂O % 1.891 - 4.332 arasında, CaO % 0.266 - 17.919 arasında, Fe₂O₃ ise % 0.452 - 3.508 arasında değişmektedir. Genel değerlendirmede numuneler yıkandıkça içerdikleri SiO₂ oranında artış, Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃ ve Cl oranında da azalma görülmektedir.

Tablo 3.8: Laboratuvarıda yıkanmış kum örneklerinin ana element oksit içerikleri

Ana element oksitleri (%)	NUMUNE KODLARI						
	AS	AP	MK	CV	ST	OE	BC
SiO ₂	77.267	71.236	85.518	80.446	79.225	92.438	69.373
Na ₂ O	0.626	0.811	1.316	1.68	1.916	0.053	1.44
K ₂ O	2.012	2.374	3.382	4.332	3.173	1.891	3.14
MgO	0.511	0.555	0.124	0.162	0.655	0.264	5.705
CaO	13.048	17.919	0.272	0.882	1.473	0.266	5.205
Al ₂ O ₃	4.784	5.455	8.189	11.23	9,947	4.18	10.64
Fe ₂ O ₃	0.783	0.803	0.529	0.775	1.743	0.452	3.508
SO ₃	0.115	0.207	0.042	0.086	0.04	0.06	0.055
P ₂ O ₅	0.071	0.069	0.05	0.034	0.064	0.049	0.105
TiO ₂	0.103	0.07	0.047	0.12	0.256	0.144	0.352
Cr ₂ O ₃	0.015	0.015	0.012	0.011	0.01	0.019	0.146
MnO ₂	0.029	0.032	0.015	0.014	0.044	0.005	0.087
NiO	0.004	-	0.006	0.001	0.007	0.002	0.034
CuO	0.003	-	-	0.003	0.005	0.002	-
ZnO	0.004	0.004	0.014	0.01	0.004	0.015	0.008
Rb	0.005	0.007	0.009	0.014	0.011	0.004	0.011
SrO	0.046	0.055	0.017	0.025	0.025	0.003	0.028
ZrO ₂	-	-	-	0.014	0.016	0.009	0.019
BaO	0.098	0.109	0.12	0.121	0.114	0.096	0.092
PbO	-	-	0.004	0.005	-	-	0.007
AgO	0.43	0.013	-	-	-	-	-
Toplam	99.954	99.734	99.666	99.965	98.728	99.952	99.955

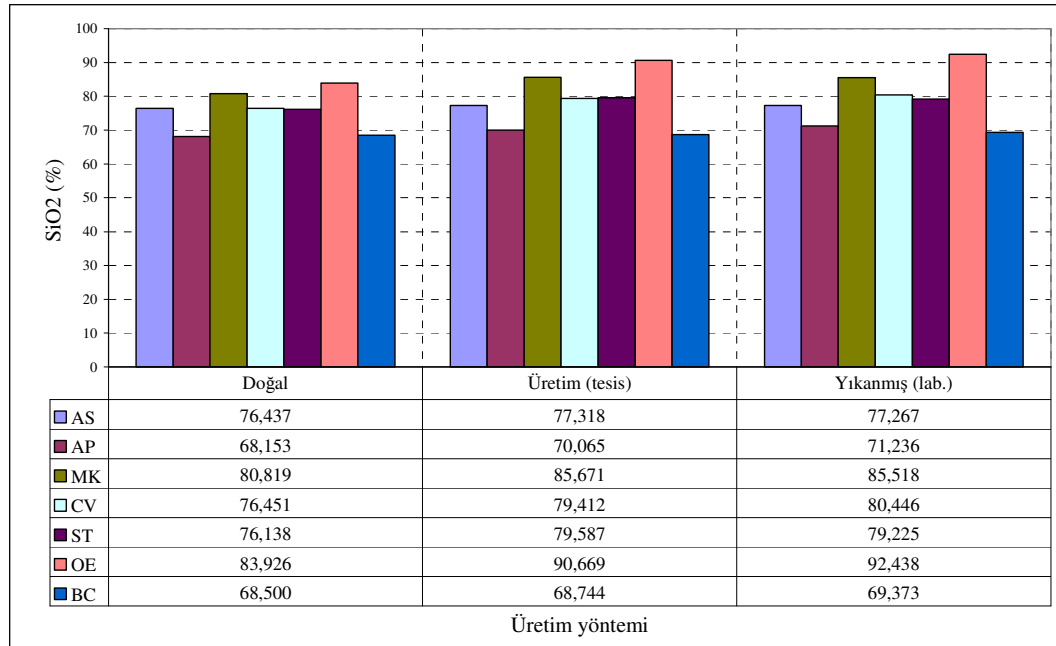
Tablo 3.9: Laboratuvarda yıkanmış kum örneklerinin içerdiği elementler

Element İçeriği (%)	NUMUNE KODLARI						
	AS	AP	MK	CV	ST	OE	BC
Ag	0.374	0.012	-	-	-	-	-
Al	2.532	2.887	4.334	5.943	5.919	2.212	5.631
Ba	0.088	0.098	0.107	0.108	0.102	0.086	0.082
Ca	9.325	12.806	0.194	0.63	1.053	0.19	3.72
Cl	0.043	0.067	0.033	0.032	0.033	0.045	0.042
Cr	0.01	0.01	0.008	0.008	0.007	0.013	0.1
Cu	0.003	-	-	0.003	0.004	0.002	-
Fe	0.547	0.562	0.37	0.542	1.219	0.316	2.454
K	1.67	1.971	3.057	3.596	2.634	1.57	2.606
Mg	0.308	0.455	0.075	0.097	0.395	0.159	3.44
Mn	0.018	0.02	0.009	0.009	0.028	0.003	0.055
Na	0.465	0.601	0.977	1.246	1.421	0.04	1.068
Ni	0.003	-	0.004	0.001	0.005	0.002	0.026
O	48.307	47.001	50.751	49.999	49.9	51.995	48.003
P	0.031	0.03	0.022	0.015	0.028	0.022	0.046
Rb	0.005	0.007	0.009	0.014	0.011	0.004	0.011
S	0.046	0.083	0.017	0.035	0.016	0.024	0.022
Si	36.118	33.298	39.974	37.603	37.033	43.209	32.427
Sr	0.039	0.046	0.014	0.021	0.021	0.002	0.024
Ti	0.062	0.042	0.028	0.072	0.153	0.087	0.211
Zn	0.003	0.003	0.011	0.008	0.003	0.012	0.006
Pb	-	-	0.004	0.004	-	-	0.007
Zr	-	-	-	0.01	0.012	0.007	0.014



Ana element oksit

Şekil 3.29’da ocak aynalarından, yıkama eleme tesislerinden ve laboratuvarıda yıkanan numunelerden alınan örneklerin SiO₂ ana elementi oksit yüzdeleri görülmektedir. Doğal kumlarda genel olarak SiO₂ yüzdesini kuvars, feldispat, muskovit ve kil mineralleri denetlemektedir. SiO₂ miktarı aynalardan alınan doğal numunelerde % 68 – % 83 arasında değişmektedir. En yüksek değer OE kodlu numunede, en düşük değer AP kodlu numuneye aittir. Yıkama eleme tesislerinden alınan numunelerde SiO₂ miktarı % 68 – % 91 arasında değişmektedir. En yüksek değer OE kodlu numunede, en düşük değer BC kodlu numuneye aittir. Laboratuvarıda yıkanmış numunelerde SiO₂ miktarı % 69 – % 92 arasında değişmektedir. En yüksek değer OE kodlu numunede, en düşük değer BC kodlu numuneye aittir. SiO₂ miktarı aynalardan alınan numunelerin tesis ve laboratuvarıda yıkanması sonucu genelde artmaktadır. Bunu da aynalardan alınan numunenin bulunan kil minerallerinin yıkama sonrası ortamdan ayrılmasındandır. Aynadan alınan doğal numunelere göre üretim tesisinde yıkanan numunelerde en yüksek SiO₂ artışı OE kodlu numunede (% 6.7), en düşük ise BC kodlu numunede (% 0.3) görülmektedir. Tesislerden alınan numunelerin tekrar laboratuvarıda yıkanması ile elde edilen numunelerde en yüksek SiO₂ artışı OE kodlu numunede (% 1.7), en düşük ise CV kodlu numunede (% 1.03) görülmektedir.

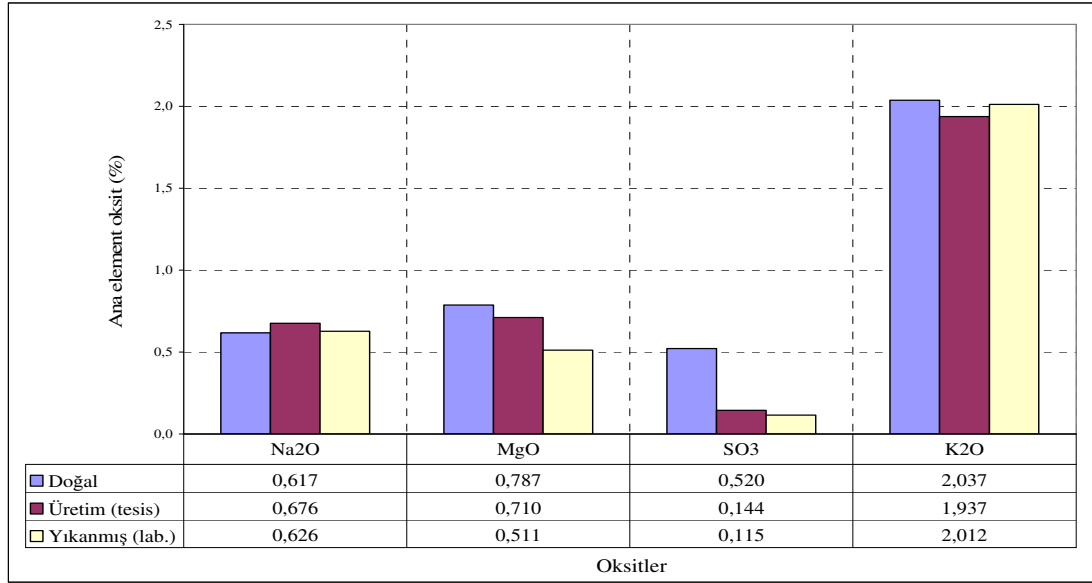


Şekil 3.29: Doğal, yıkama-eleme tesislerinden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış kum örneklerinin içerdiği SiO₂ yüzdeleri

3.3.4. Tesislerde ve laboratuvarıda yıkanmış kumların kimyasal bileşimlerindeki değişimler

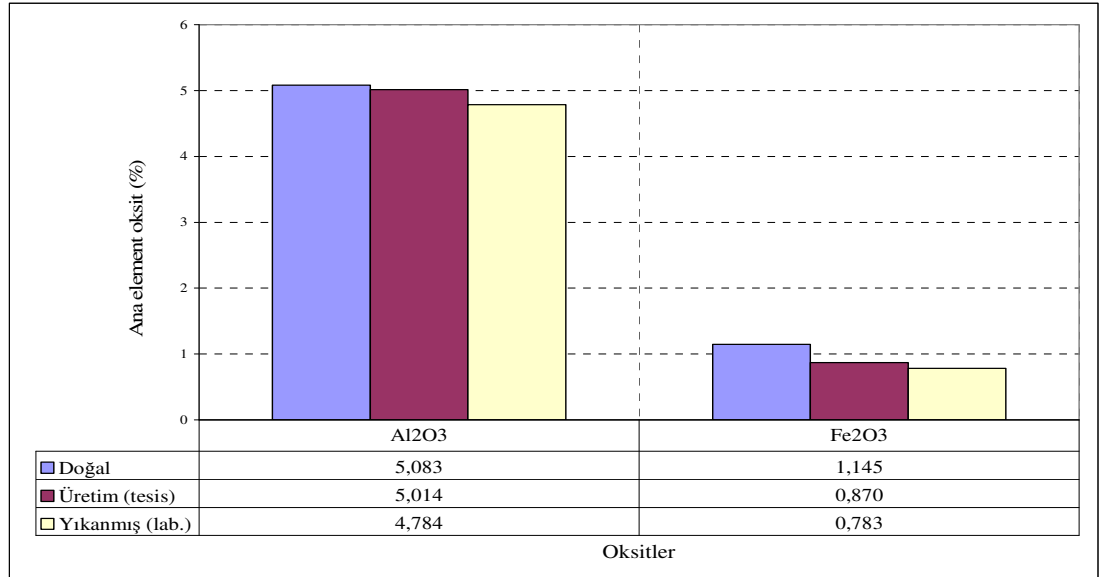
Ocaklardaki üretim aynaları ile yıkama-eleme tesislerinden alınan (üretim) ve bu örneklerin laboratuvarıda yıkanmış numunelerin kimyasal bileşimleri aşağıda karşılaştırılmıştır.

3.3.4.1. AS Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler



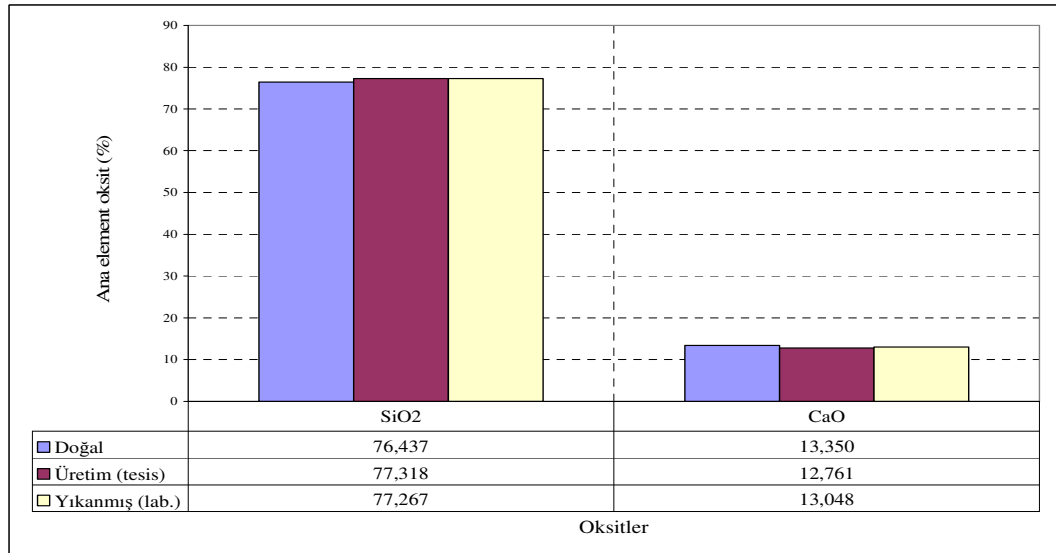
Şekil 3.30: Yıkama sonrası AS kodlu numunenin Na₂O, MgO, SO₃ ve K₂O oranındaki değişimler

AS kodlu numunede Na₂O feldispat mineralinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.30’da görüldüğü gibi; bu örneğin doğal, yıkama-eleme tesislerinden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numuneler arasında değişiklik görülmemektedir. Bu durum yıkama sonrası örneğin içerisindeki feldispat (albit) mineralinin uzaklaşmamasından kaynaklanmaktadır. AS kodlu örnek denizel kökenli olduğu için MgO ve SO₃ oksitleri tuzlardan kaynaklanmaktadır. Doğal numunelere göre tesislerden ve laboratuvarıda yıkama sonrası alınan numunelerde MgO miktarı % 0.08 - 0.28, SO₃ miktarı ise % 0.38 – 0.40 oranında azalmaktadır. K₂O muskovit ve potasyum feldispat minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.30’da görüldüğü gibi AS kodlu örneğin doğal, tesislerden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numuneler arasında değişiklik görülmemektedir. Bu durum yıkama sonrası örneğin içerisindeki muskovit mineralinin uzaklaştırılamamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.31: Yıkama sonrası AS kodlu numunenin Al₂O₃ ve Fe₂O₃ oranındaki değişimler

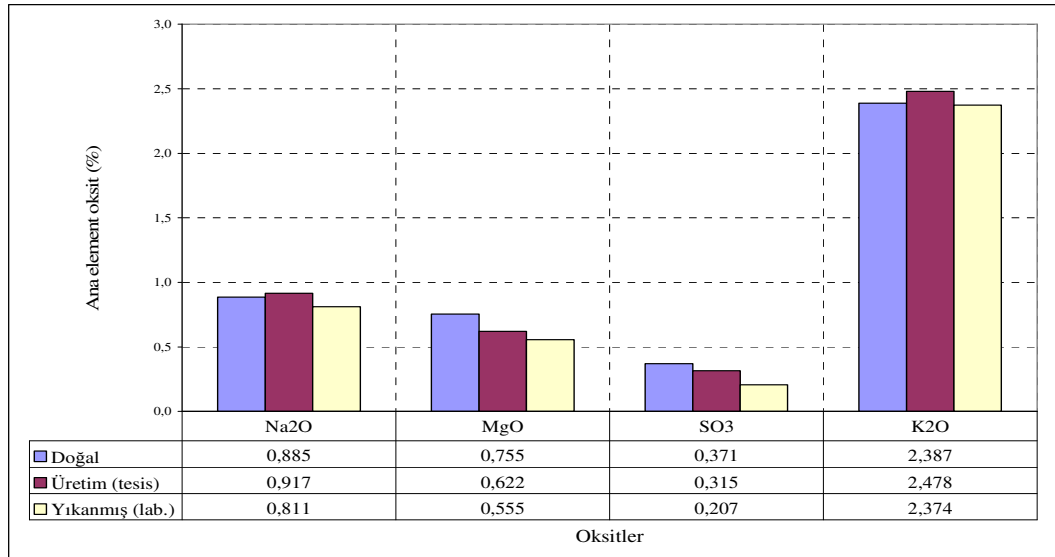
Al₂O₃, feldispat, muskovit ve kil minerallerinden kaynaklanmaktadır. Doğal numuneye göre tesislerden alınan ve laboratuvarında yıkanmış numunelerde Al₂O₃ miktarında % 0.07-0.30 oranında azalması kil minerallerinin tesislerde ve laboratuvarında yıkama sonrası azalmalarından kaynaklanmaktadır (Şekil 3.31). Fe₂O₃; genellikle arazide oksidasyon zonundaki ayrışma ürünü olduğundan tesiste ve laboratuvarında yıkama sonrası miktarında azalma gözlenmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.32: Yıkama sonrası AS kodlu numunenin SiO₂ ve CaO oranındaki değişimler

SiO₂; feldispat, muskovit ve kil minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.32’de görüldüğü gibi, doğal numuneye göre tesislerden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numunelerde SiO₂ miktarının % 0.8 - 0.9 oranında artması, kil minerallerinin yıkama sonrası ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. AS kodlu numune denizel kökenli olduğundan CaO kavkı kırıntılarından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.32’de görüldüğü gibi; doğal, tesislerden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numuneler arasında CaO miktarı değişmemektedir. Yıkama eleme tesislerinde ve laboratuvarıda yıkama sonrası kavkı kırıntıları ortamdan uzaklaşmamaktadır.

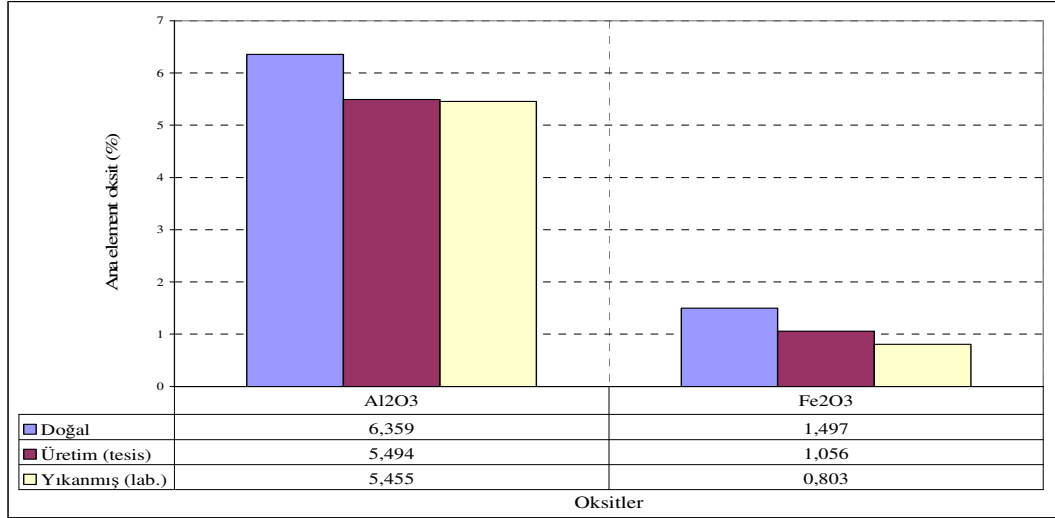
3.3.4.2. AP Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler



Şekil 3.33: Yıkama sonrası AP kodlu numunenin Na₂O, MgO, SO₃ ve K₂O oranındaki değişimler

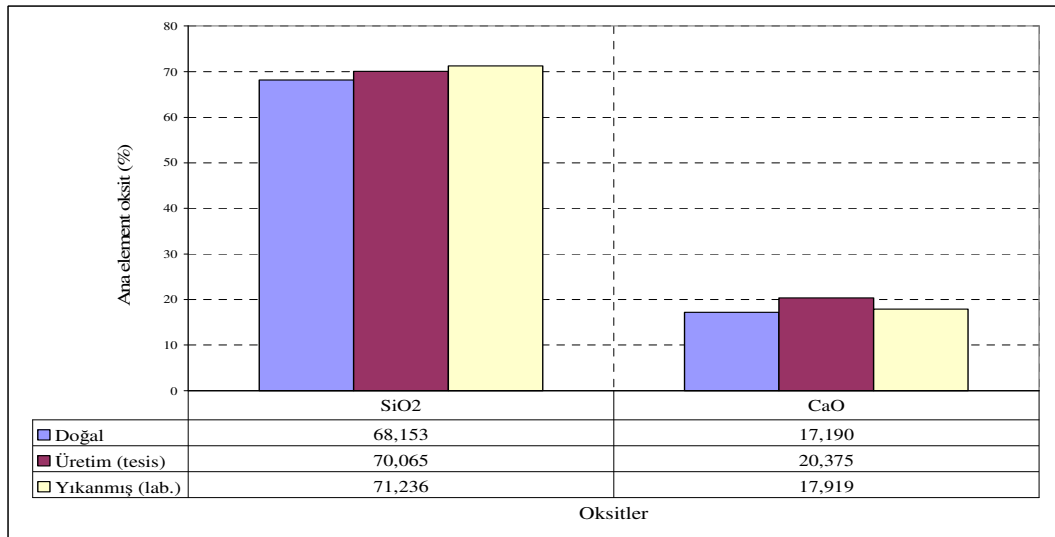
AP kodlu numunede Na₂O feldispat mineralinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.33’de görüldüğü gibi AP kodlu örneğin doğal, tesisten alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numuneler arasında değişiklik görülmemektedir. Bu durum yıkama sonrası örneğin içerisindeki feldispat mineralinin uzaklaştırılamamasından kaynaklanmaktadır. AP kodlu örnek denizel kökenli olduğu için MgO ve SO₃ tuzlardan kaynaklanmaktadır. Aynalardan alınan numunelere göre tesislerde ve laboratuvarıda yıkama sonrası MgO miktarı % 0.13 - 0.20, SO₃ miktarı ise % 0.05 – 0.16 oranında azalmaktadır. K₂O muskovit ve potasyum feldispat minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.33’de görüldüğü gibi AP kodlu örneğin doğal, tesislerden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış

numuneler arasında değişiklik görülmemektedir. Bu durum yıkama sonrası örneğin içerisindeki muskovit mineralinin uzaklaştıırılamamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.34: Yıkama sonrası AP kodlu numunenin Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranındaki değişimler

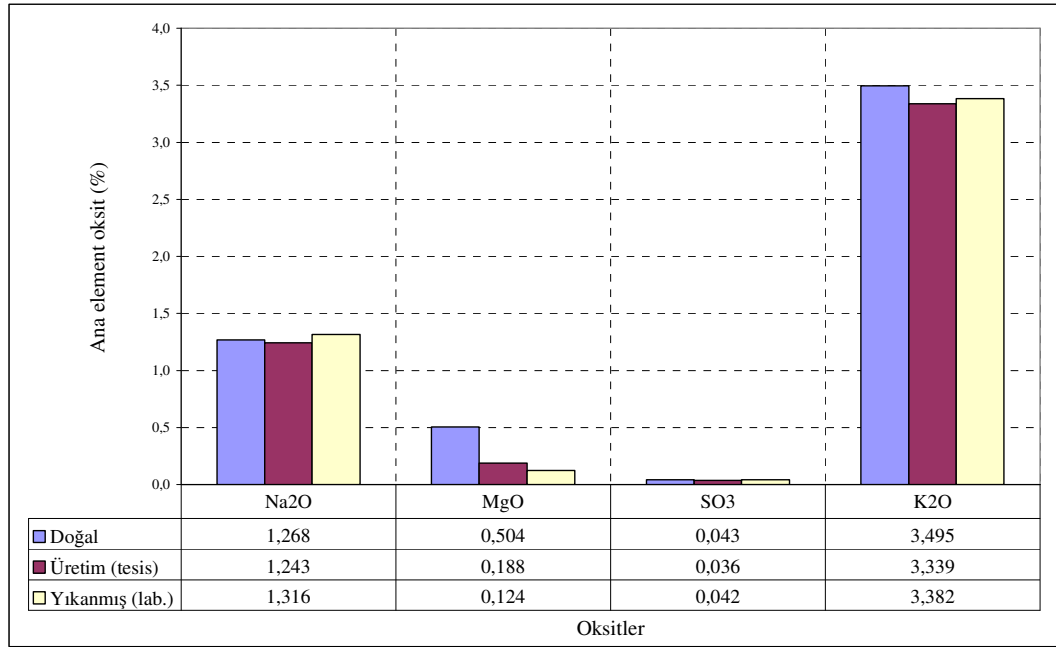
Al_2O_3 ; feldispat, muskovit ve kil minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.34’de görüldüğü gibi, doğal numuneye göre tesislerden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numunelerinde Al_2O_3 miktarında % 0,86 - 0,90 oranında azalma olması kil minerallerinin tesislerde ve laboratuvarıda yıkama sonrası ortamdıan uzaklaştıırılmasından kaynaklanmaktadır. Fe_2O_3 de Al_2O_3 gibi ayrışma ürünü olduğundan tesislerde ve laboratuvarıda yıkanma sonrası, miktarında azalma gözlenmiştir (Şekil 3.34).



Şekil 3.35: Yıkama sonrası AP kodlu numunenin SiO_2 ve CaO oranındaki değişimler

SiO₂ ana element oksiti; başlıca kuvars olmak üzere, feldispat, muskovit ve kil minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.35’de görüldüğü gibi, doğal numuneye göre tesislerden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numunelerde SiO₂ miktarının % 1,91 - 3,08 oranında artması, kil minerallerinin yıkama sonrası ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Böylece SiO₂ oranı göreceli olarak artmıştır. AP kodlu numune denizel kökenli olduğundan CaO kavkı kırıntılarından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.35’de görüldüğü gibi, doğal, tesislerden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numuneler arasında CaO miktarı değişmemektedir. tesislerde ve laboratuvarıda yıkama sonrası kavkı kırıntıları ortamdan uzaklaşmamaktadır.

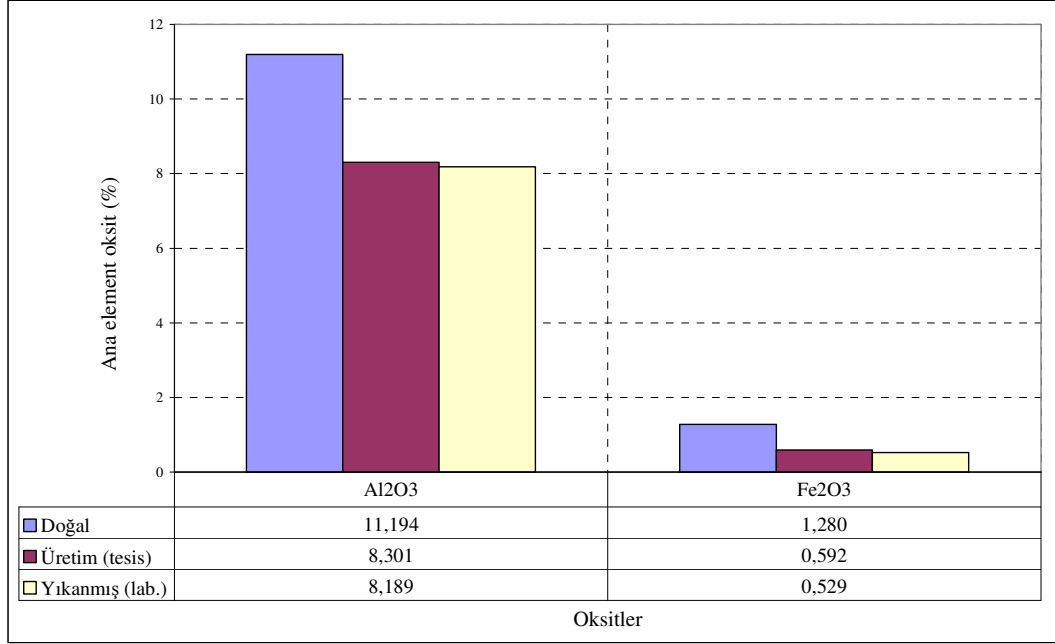
3.3.4.3. MK Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler



Şekil 3.36: Yıkama sonrası MK kodlu numunenin Na₂O, MgO, SO₃ ve K₂O oranındaki değişimler

MK kodlu numunede Na₂O feldispat mineralinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.36’da görüldüğü gibi MK kodlu örneğin doğal, tesislerden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numuneler arasında değişiklik görülmemektedir. Bu durum yıkama sonrası örneğin içerisindeki feldispat mineralinin uzaklaştırılamamasından kaynaklanmaktadır. MgO ise dolomit mineralinden kaynaklanmaktadır. Aynalardan alınan numunelere göre tesislerden alınmış ve laboratuvarıda yıkanmış örneklerdeki MgO miktarı % 0.31 – 0.38, oranında azalmaktadır. SO₃ oranında ise yine azalma görülmüştür. K₂O ise; muskovit ve potasyum feldispat minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.36’da görüldüğü gibi

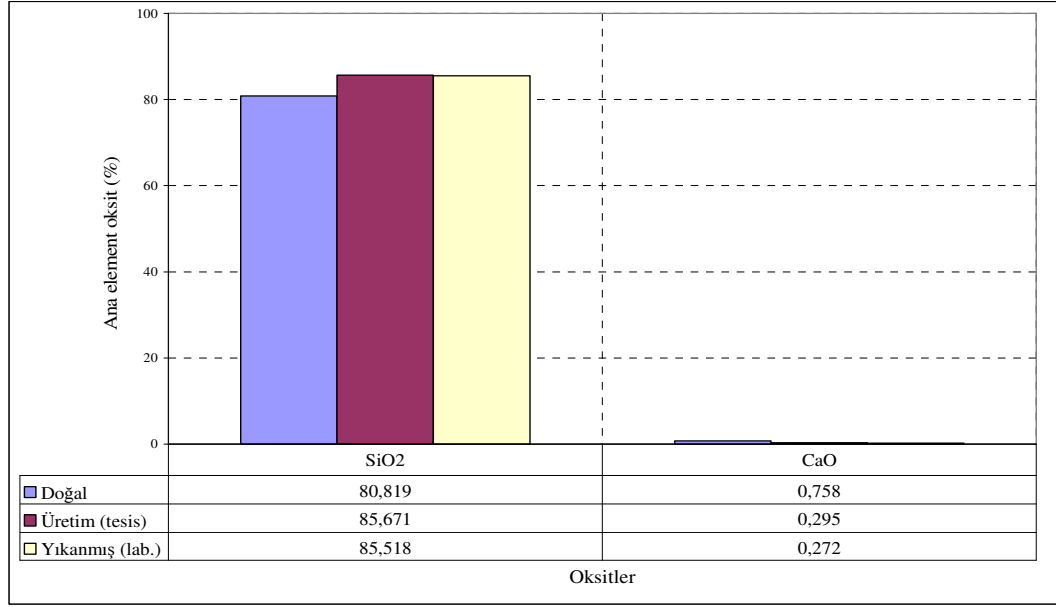
MK kodlu örneğin doğal numuneye tesislerden alınan ve laboratuvarı yıkanmış numunelerde K_2O miktarının % 0.16 – 0.11 oranında azalması muskovit mineralinin ayrışma ürünü olan illit mineralinin ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Ancak çok düşük azalma oranının yanında tesislerde ve laboratuvarı yıkama sonrası muskovit minerali ortamdan uzaklaşmamaktadır.



Şekil 3.37: Yıkama sonrası MK kodlu numunenin Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranındaki değişimler

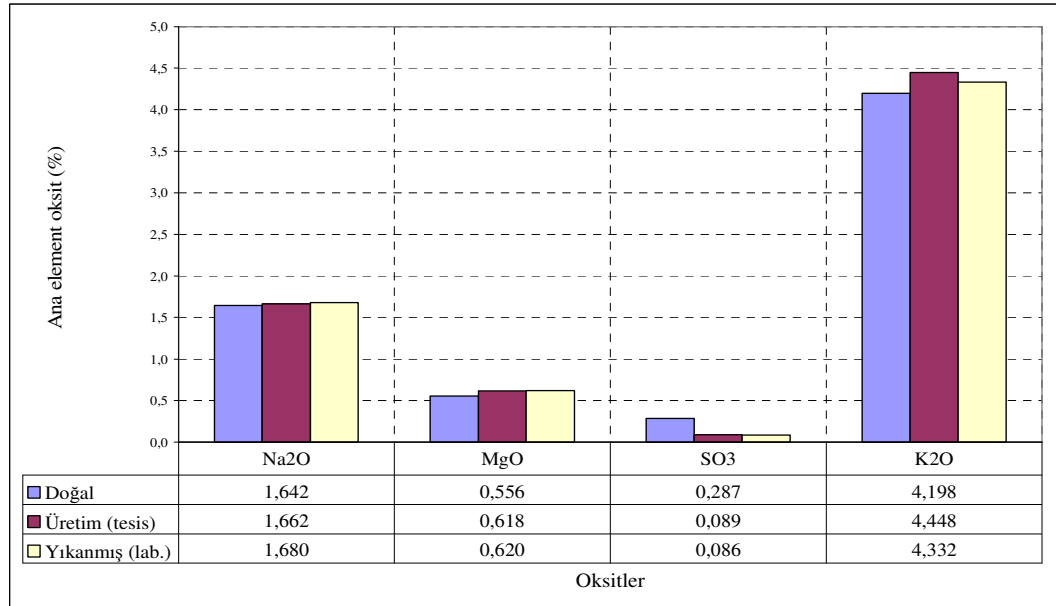
Al_2O_3 ; feldispat, muskovit ve muskovit mineralinin ayrışması sonucu oluşan illit minerallerinden kaynaklanabilir. Şekil 3.37’de görüldüğü gibi, doğal numuneye göre tesislerden alınan ve laboratuvarı yıkanmış numunelerde Al_2O_3 miktarında %2.90 - 3.00 oranında azalma illitin yıkama sonrası ortamdan uzaklaşması nedeniyledir. Diğer örneklerde olduğu gibi yıkama nedeniyle Fe_2O_3 oranında da azalma gözlenmiştir.

SiO_2 ; başlıca kuvars olmak üzere feldispat, muskovit ve kil minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.38’de görüldüğü gibi, MK kodlu doğal numuneye göre tesislerden alınmış ve laboratuvarı yıkanmış numunelerdeki SiO_2 miktarının % 4.6 - 4.7 oranında artması, kil minerallerinin yıkama sonrası ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.38: Yıkama sonrası MK kodlu numunenin SiO₂ ve CaO oranındaki değişimler

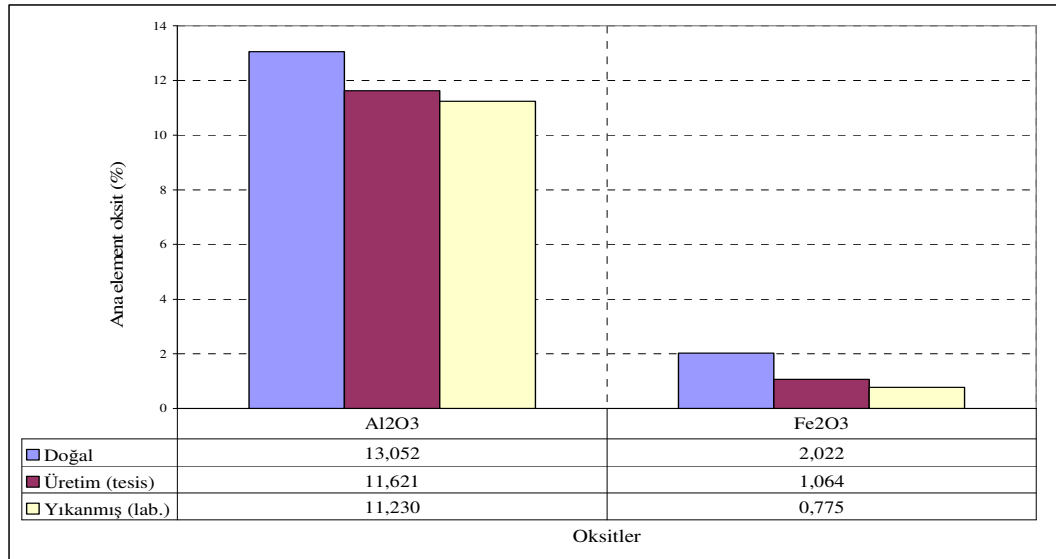
3.3.4.4. CV Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler



Şekil 3.39: Yıkama sonrası CV kodlu numunenin Na₂O, MgO, SO₃ ve K₂O oranındaki değişimler

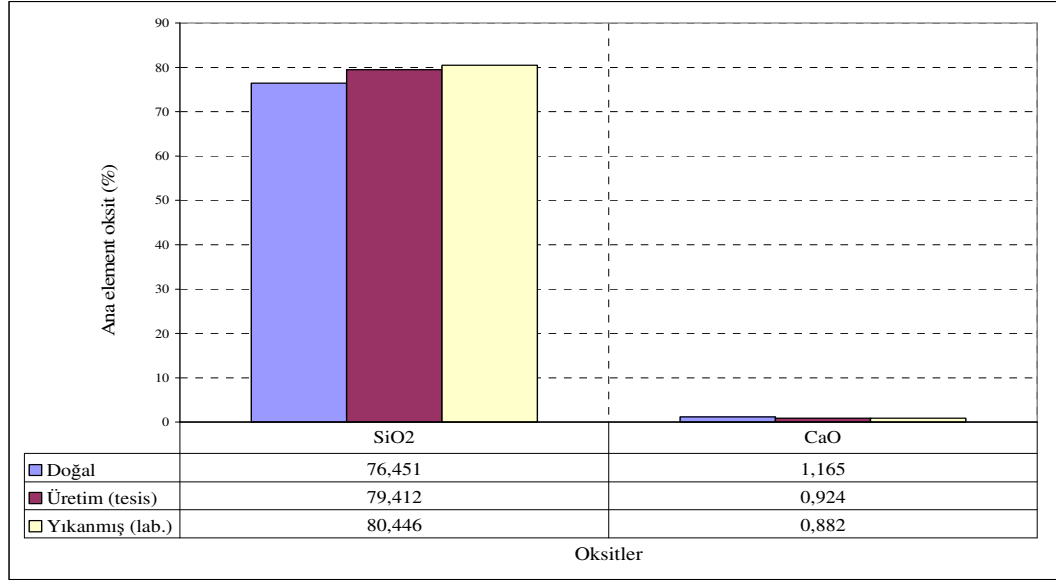
CV kodlu numunede Na₂O feldispat mineralinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.39’da görüldüğü gibi CV kodlu örneğin doğal, tesislerden alınan ve laboratuvarı yıkanmış numuneler arasında değişiklik görülmemektedir. Bu durum yıkama sonrası örneğin

içerisindeki feldispat mineralinin uzaklaştırılamamasından kaynaklanmaktadır. MgO ise dolomit mineralinden kaynaklanmaktadır. Doğal, tesislerden alınmış ve laboratuvarıda yıkanmış numuneler arasında değişiklik görülmemektedir. Nitekim XRD analiz sonuçları da bu bulguları desteklemektedir. SO₃ ayrışma sonucu yüzeyde gelişen tuzlardan kaynaklanabilir. Yıkama sonucu azalma olması doğaldır. K₂O; muskovit ve potasyum feldispat minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.39’da görüldüğü gibi CV kodlu örneğin doğal numuneye göre tesislerden alınmış ve laboratuvarıda yıkanmış numuneler arasında değişkenlik görülmemesi, yıkama sonrası muskovit mineralinin ortamdan uzaklaşmaması nedeniyledir.



Şekil 3.40: Yıkama sonrası CV kodlu numunenin Al₂O₃ ve Fe₂O₃ oranındaki değişimler

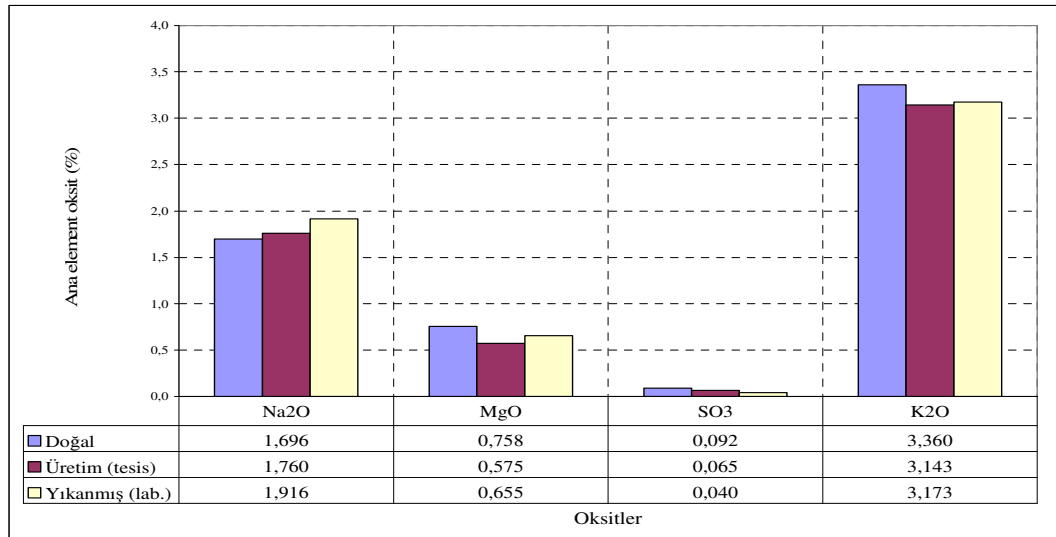
Al₂O₃; feldispat, muskovit ve montmorillonit minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.40’da görüldüğü gibi; ocaktan alınan numuneye göre tesislerden alınmış ve laboratuvarıda yıkanmış numunelerin Al₂O₃ miktarında % 1.53 - 1.82 oranındaki azalma, yıkama sonrası kil minerallerinin ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Fe₂O₃ ocak aynalarında bulunan okside zonlardan kaynaklanmaktadır. Doğal numuneye göre tesislerden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numunelerin Fe₂O₃ miktarının % 0.95 - 1.24 oranında azalması, yıkama sonrası okside olmuş Fe₂O₃’ün ortamdan uzaklaşması nedeniyledir.



Şekil 3.41: Yıkama sonrası CV kodlu numunenin SiO₂ ve CaO oranındaki değişimler

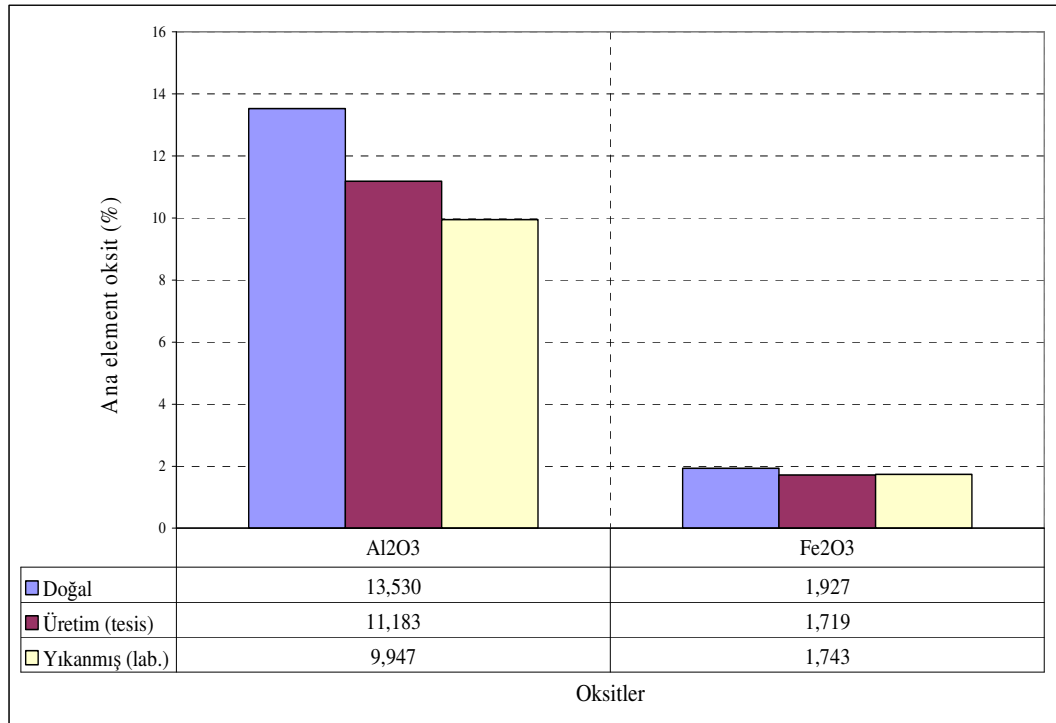
SiO₂; kuvars, feldispat, muskovit ve kil minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.41’de görüldüğü gibi, CV kodlu doğal numuneye göre tesislerden alınan ve laboratuvarı yıkamış numunelerin SiO₂ miktarının %2.96 - 3.99 oranında artması, montmorillonitin yıkama sonrası ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.41’de görüldüğü gibi, doğal, tesislerden alınan ve laboratuvarı yıkamış numuneler arasında CaO miktarı değişmemektedir.

3.3.4.5. ST Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler



Şekil 3.42: Yıkama sonrası ST kodlu numunenin Na₂O, MgO, SO₃ ve K₂O oranındaki değişimler

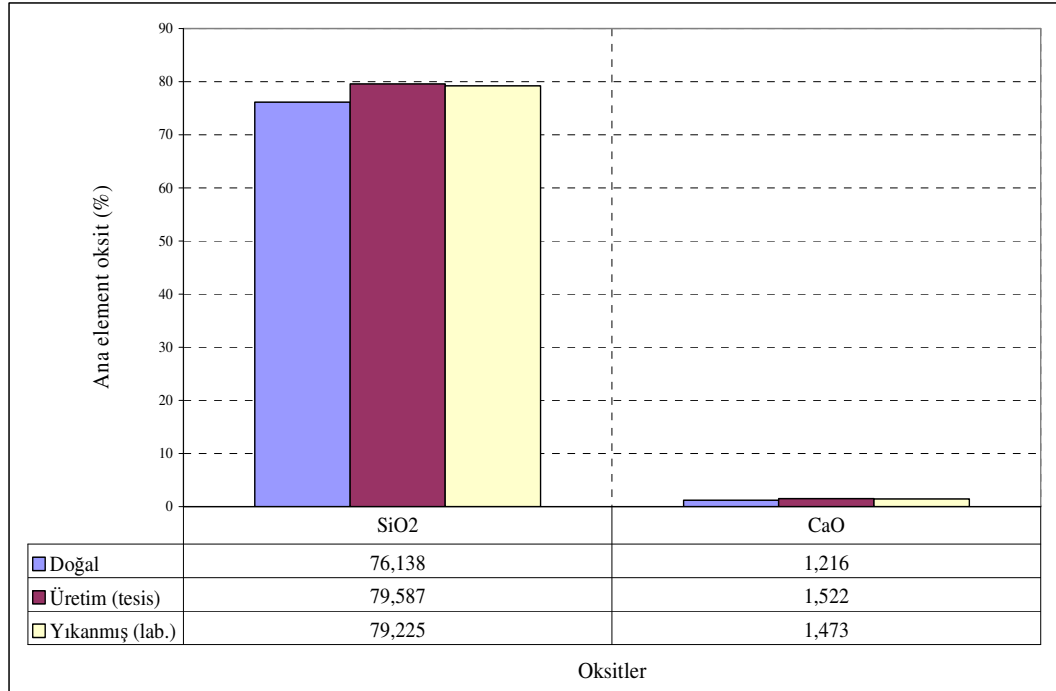
ST kodlu numunede Na_2O feldispat (albit) mineralinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.42’de görüldüğü gibi ST kodlu örneğin doğal, tesislerde ve laboratuvarıda yıkanmış numuneler arasında % 0.06 - 0.22 oranında artış görölmektedir. Bunun nedeni; tesislerde ve laboratuvarıda yıkama sonrası feldispat minerali ortamdan uzaklaşmaktadır. MgO ise dolomit mineralinden kaynaklanmaktadır. Doğal numuneye göre tesislerde ve laboratuvarıda yıkama sonrası MgO miktarı % 0.18 – 0.10, oranında azalmaktadır. SO_3 ’ün yüzeye yakın zonlarda bulunması doğaldır. Yıkama sonucu SO_3 miktarında azalma görölmektedir. K_2O ise muskovit ve potasyum feldispat minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.42’de görüldüğü gibi ST kodlu örneğin doğal numuneye göre tesislerden alınmış ve laboratuvarıda yıkanmış numunelerdeki K_2O miktarının % 0.19 – 0.21 oranında azalması muskovitin ayrışma ürünü olan illit mineralinin ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Ancak, çok düşük azalma oranından dolayı ayrışmayan muskovitin ortamdan uzaklaşmadığı düşünölebilir.



Şekil 3.43: Yıkama sonrası ST kodlu numunenin Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranındaki değışimler

Al_2O_3 ; feldispat, muskovit ve montmorillonit minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.43’de görüldüğü gibi, ST kodlu numuneye göre tesislerden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numunelerin Al_2O_3 miktarında %2.34 - 3.58 oranındaki azalma yıkama

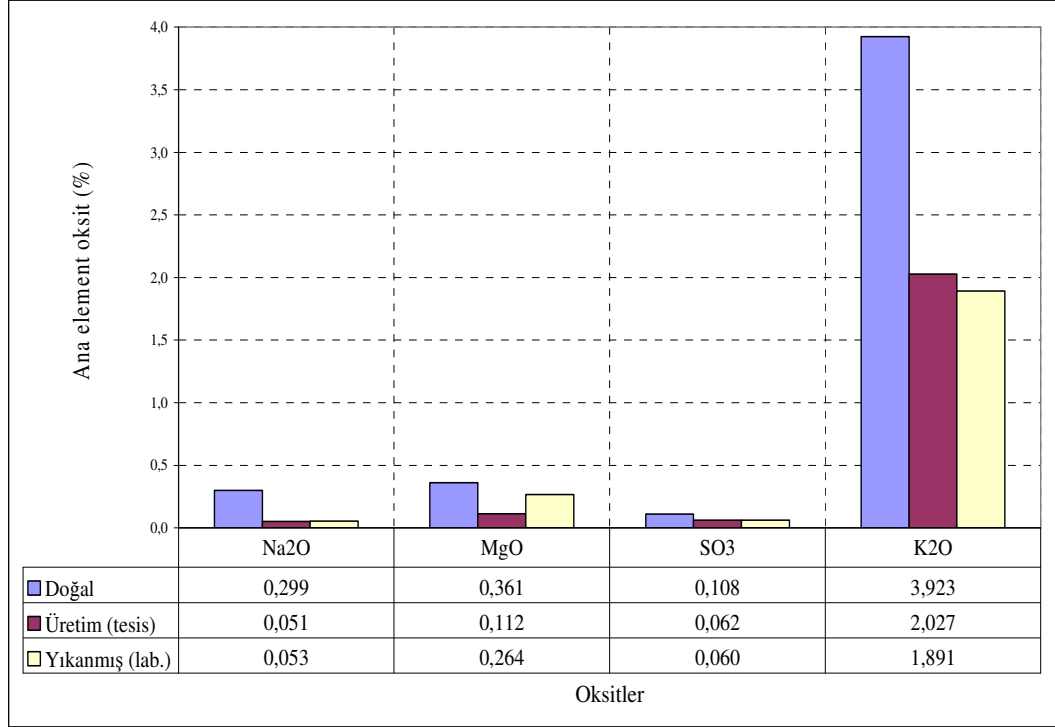
sonrası feldispat, muskovit minerallerinin ortamdan uzaklaşmayıp, sadece montmorillonitin ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Fe_2O_3 ; ocak aynalarında bulunan okside zonlardan kaynaklanmaktadır. Doğal numuneye göre tesislerde ve laboratuvarı yıklanmış numunelerin Fe_2O_3 miktarının % 0.21 - 0.18 oranında azalması, yıkama sonrası okside olmuş Fe_2O_3 'ün ortamdan uzaklaşması nedeniyledir.



Şekil 3.44: Yıkama sonrası ST kodlu numunenin SiO_2 ve CaO oranındaki değişimler

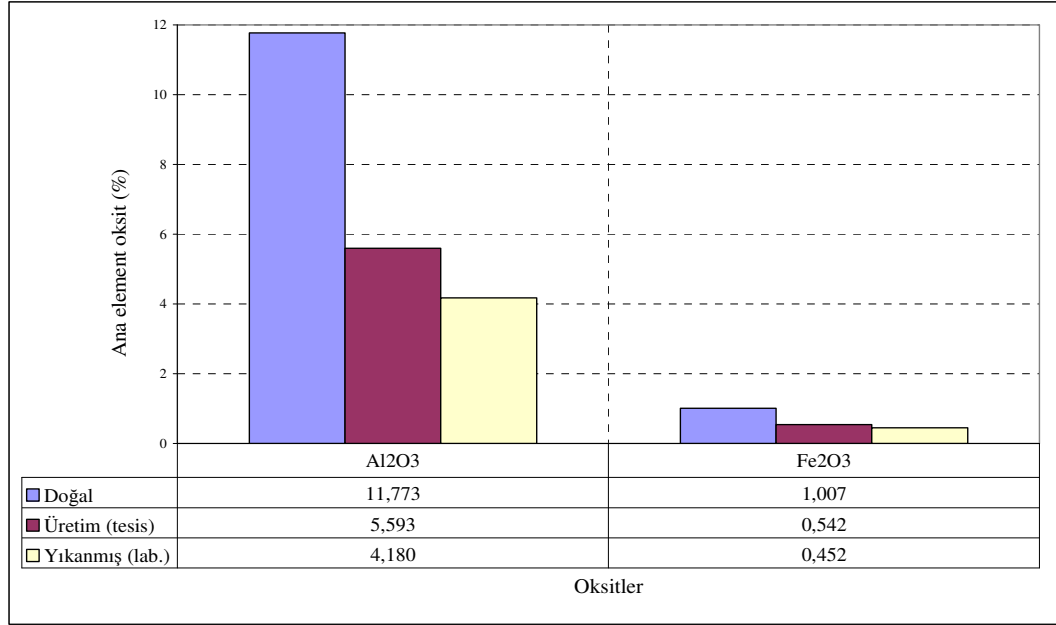
SiO_2 ; kuvars, feldispat, muskovit ve montmorillonitten kaynaklanmaktadır. Şekil 3.44'de görüldüğü gibi, ST kodlu doğal numuneye göre tesislerden alınan ve laboratuvarı yıklanmış numunelerdeki SiO_2 miktarının % 3.08 - 3.45 oranında artması, montmorillonitin yıkama sonrası Al_2O_3 miktarının azalmasından görüldüğü gibi ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yine aynı şekilde görüldüğü gibi; doğal, tesislerden alınan ve laboratuvarı yıklanmış numuneler arasında CaO miktarı değişmemektedir.

3.3.4.6. OE Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler



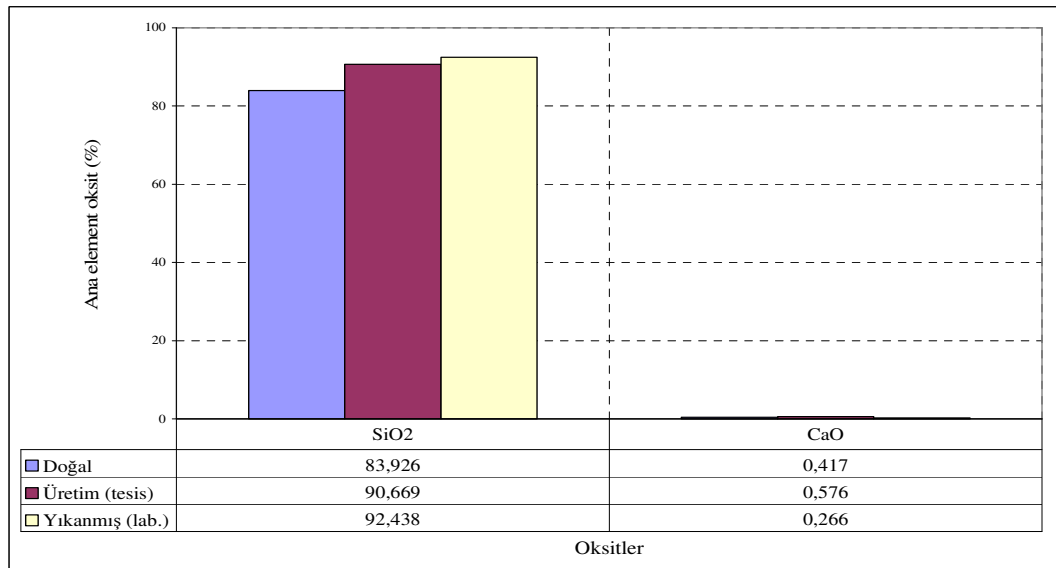
Şekil 3.45: Yıkama sonrası OE kodlu numunenin Na₂O, MgO, SO₃ ve K₂O oranındaki değişimler

OE kodlu numunede Na₂O feldispat mineralinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.45’de görüldüğü gibi OE kodlu örnekte yıkama ile Na₂O oranında azalma meydana gelmiştir. MgO ise dolomit mineralinden kaynaklanmaktadır. OE kodlu örnekteki MgO oranı % 0.5’in altında olduğundan XRD analiz sonuçlarına yansımamıştır. Yüzeye yakın kesimlerde gelişen sülfatta ise yıkama ile diğer örneklerde olduğu gibi azalma meydana gelmiştir. K₂O muskovit, potasyum feldispat ve muskovit mineralinin ayrışması sonucu gelişen illit mineralinden kaynaklanmaktadır. Diğer numunelere göre, OE numunesinin tesislerde ve laboratuvarında yıkama sonrası K₂O miktarının azalması %1.90 - 2.03 oranındadır. Bu durum yıkama sonrası kil minerallerinin ortamdaki uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.46: Yıkama sonrası OE kodlu numunenin Al₂O₃ ve Fe₂O₃ oranındaki değişimler

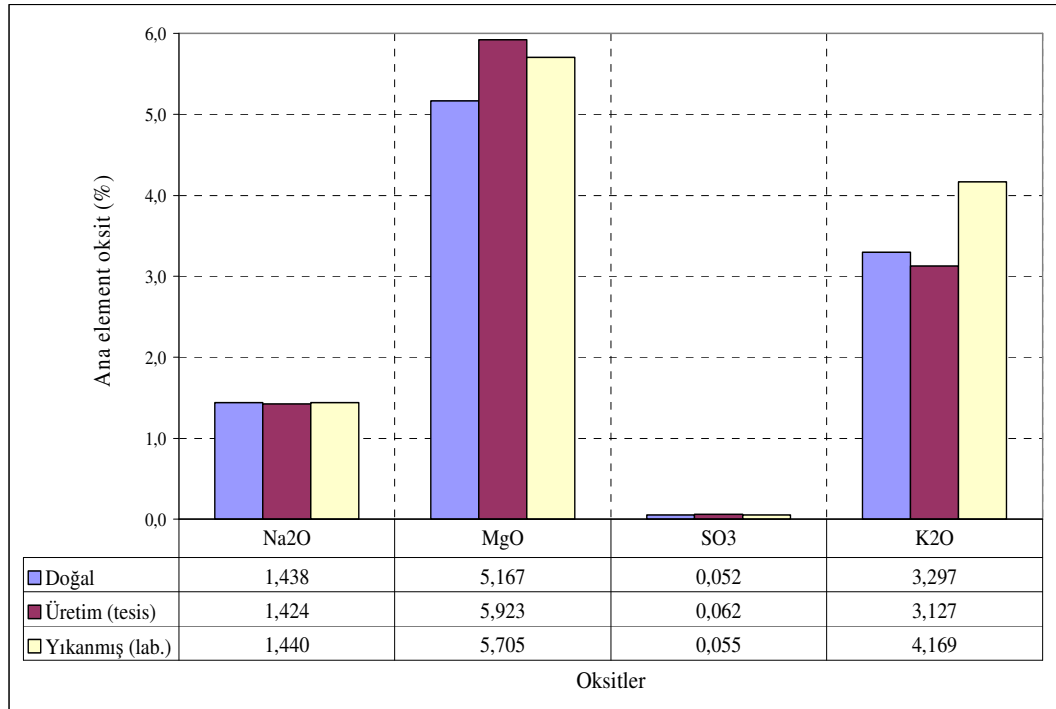
Al₂O₃; feldispat, muskovit, montmorillonit ve muskovit mineralinin ayrışması sonucunda oluşan illit minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.46’da görüldüğü gibi; OE kodlu doğal numuneye göre, tesislerden alınan numune ile laboratuvarı yıkanmış numunelerin Al₂O₃ miktarında % 6.18 - 7.59 oranındaki azalma, yıkama sonrası illitin azalması nedeniyledir. Yüzeye yakın kesimlerde yoğun olarak bulunan Fe₂O₃’ün yıkanma sonucu azalması doğaldır.



Şekil 3.47: Yıkama sonrası OE kodlu numunenin SiO₂ ve CaO oranındaki değişimler

SiO₂; kuvars, feldispat, muskovit ve illit minerallerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.47’de görüldüğü gibi; ocaktaki üretim aynasından alınan numuneye göre tesislerden alınan ve laboratuvarında yıkanmış numunelerdeki SiO₂ miktarının % 6.74 - 8.51 oranında artması, illitin yıkama sonrası ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. CaO oranı ise doğal, tesislerden alınmış ve laboratuvarında yıkanmış numunelerde % 0.57’nin altındadır (Şekil 3.47).

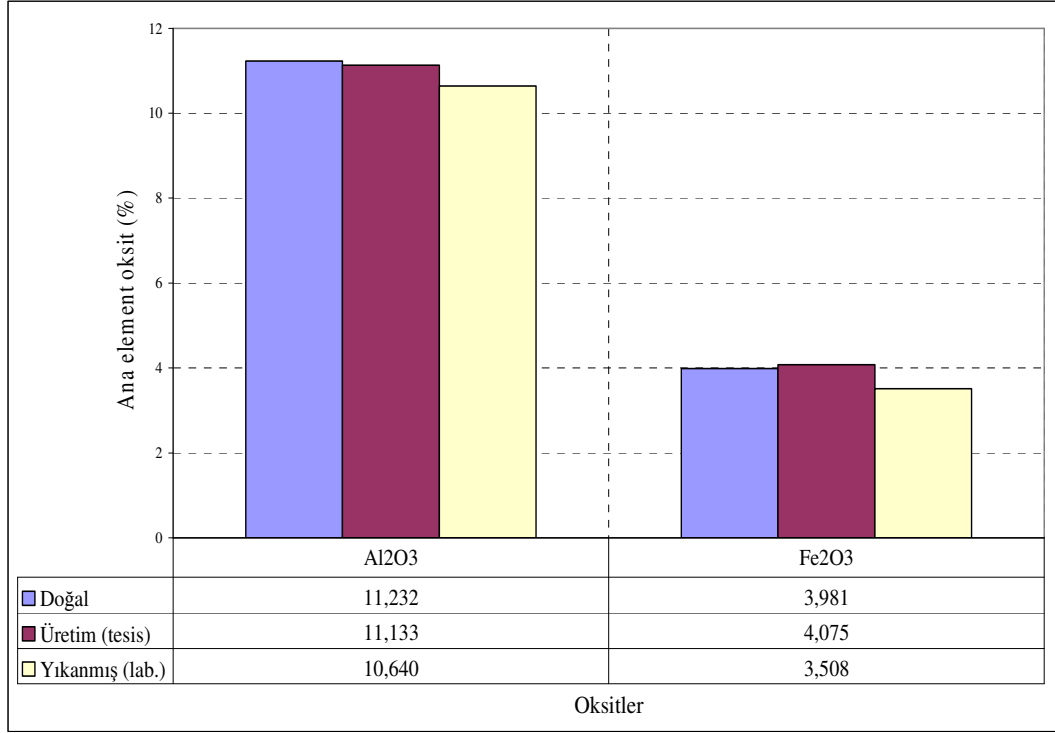
3.3.4.7. BC Kodlu numunenin kimyasal bileşimindeki değişimler



Şekil 3.48: Yıkama sonrası BC kodlu numunenin Na₂O, MgO, SO₃ ve K₂O oranındaki değişimler

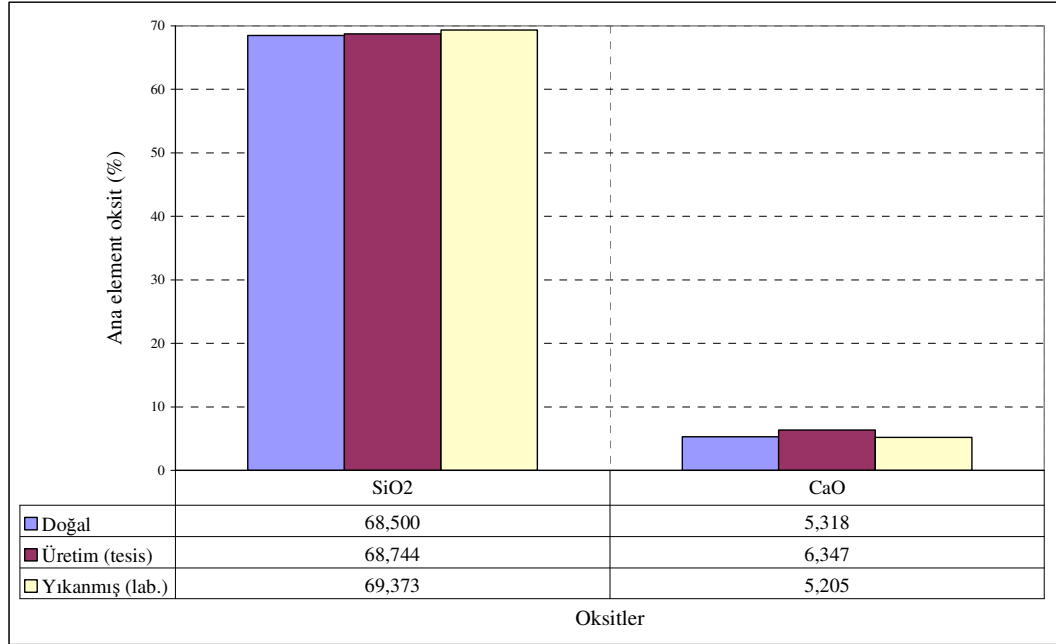
BC kodlu numunede Na₂O feldispat mineralinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.48’de görüldüğü gibi BC kodlu örneğin doğal, tesislerden alınan ve laboratuvarında yıkanmış numuneler arasında değişkenlik görülmemektedir. MgO ise dolomit mineralinden kaynaklanmaktadır. Doğal numuneye göre tesislerde ve laboratuvarında yıkama sonrası MgO miktarında % 0.54 - 0.74 oranında artış görülmektedir. Bu durum yıkama sonrası kil minerallerinin azalması ile MgO miktarının göreceli olarak artışından kaynaklanmaktadır. Bu numune nehir kökenli olduğundan sülfat içeriği diğerlerine oranla daha az olduğundan diğerleri gibi belirgin bir azalma gözlenmemiştir. Muskovit ve potasyum feldispat minerallerinden kaynaklanan K₂O ise, tesislerde ve laboratuvarında

yıkama sonrası, özellikle metamorfik kayaç parçalarında bulunan muskovitin uzaklaştırılmamasından dolayı azalmamıştır. Tersine, yıkama sonrası kil minerallerinin azalması ile birlikte oranında göreceli olarak artış gözlenmiştir.



Şekil 3.49: Yıkama sonrası BC kodlu numunenin Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranındaki değişimler

Al_2O_3 ; feldispat, muskovit ve kaolinitten kaynaklanmaktadır. Şekil 3.49’da görüldüğü gibi; BC kodlu doğal numuneye göre tesislerden alınmış ve laboratuvarı yıkamış numunelerde Al_2O_3 miktarında %0.01 - 0.59 arasında az oranda azalma görülmüştür. Bunun nedeni; yıkama sonrası feldispat, muskovit minerallerinin ortamdı uzaklaşmaması, sadece kaolinitin azalmasıdır. Fe_2O_3 kaya parçalarındaki ayrışma ürünleri ve demirli minerallerden kaynaklanmaktadır. Bu numune nehir kökenli olup, diğerlerine oranla daha temiz olduğundan tesislerde ve laboratuvarı yıkama sonrası sadece az orandaki kaolinit yıkanarak ayrılmış ve dolayısıyla çok az değişkenlik görülmüştür.



Şekil 3.50: Yıkama sonrası BC kodlu numunenin SiO₂ ve CaO oranındaki değişimler

SiO₂; kuvars, feldispat, muskovit ve kaolinitten kaynaklanmaktadır. Şekil 3.50’de görüldüğü gibi, BC kodlu doğal numuneye göre tesislerden alınmış ve laboratuvarda yıkanmış numunelerde SiO₂ miktarının %0.24 - 0.87 oranında artması, kaolinitin yıkama sonrası, Al₂O₃ miktarının azalmasında olduğu gibi, ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. CaO kalsit mineralinden kaynaklanmaktadır. Yıkama sonrası CaO oranında değişiklik gözlenmemiştir.

3.4. AGREGA DENEYLERİ

Doğal kum ocaklarındaki yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler (üretim) ile bu numunelerin 0.063 mm elekten yıkanarak eşdeğer metilen mavisi değeri elde edilen numuneler (yıkanmış) üzerinde gerçekleştirilen araştırmada, agrega deneyleri TS EN standardlarında tarif edilen deney metodlarına göre gerçekleştirilmiştir. Deneyler üç kez tekrarlanmış ve ortalama değerleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarı ile Set Beton Madencilik A.Ş. Ambarlı Merkez AR&GE Laboratuvarlarında yürütülmüştür.

Hazırlanan numuneler üzerinde, metilen mavisi, kum eşdeğeri, tane boyu dağılımı, çok ince malzeme muhtevası, birim ağırlık, tane yoğunluğu ve su emme, donmaya karşı dayanıklılık, kuruma büzülmesi, asitte çözünebilen sülfat, suda çözünebilen klorür, kükürt muhtevası ve alkali silika reaktifliği deneyleri yapılmış olup, bunun yanı sıra, tane boyu dağılımı deney sonuçlarından yararlanarak yüzey alanı ve incelik modülü hesaplamaları yapılmıştır. Doğal kum numuneleri üzerinde yapılan deney metotlarının tarif edildiği TS EN ve ASTM Standardları Tablo 3.10’da sunulmuştur.

Tablo 3.10: Agregada deneyleri ve ilgili standartlar

Deney Türü	Standard No
Agregaların tane büyüklüğü dağılımı tayini-eleme metodu	TS 3530 EN 933-1 (1999)
Agregaların kum eşdeğerliği deneyi	TS EN 933-8 (2001)
Agregaların metilen mavisi deneyi	TS EN 933-9 (2001)
Agregaların gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini	TS EN 1097-3 (1999)
Agregaların tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini	TS EN 1097-6 (2002)
Agregalarda magnezyum sülfat deneyi	TS EN 1367-2 (1999)
Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler-bölüm 1: kimyasal analiz (Asitle çözünebilen sülfat, suda çözünebilen klorür, kükürt muhtevası)	TS EN 1744-1 (2000)
Agregaların termal bozunma özellikleri için deneyler-bölüm 4: kuruma büzülmesi deneyi	TS EN 1367-4 (1999)
Standard method for potential alkali-silica reactivity of aggregates (mortar bar method)	ASTM C 1260 (1994)

3.4.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı

Agrega yığınının gradasyonunun saptanmasında tane büyüklüğü dağılımı deneyi kullanılmaktadır. Tane büyüklüğü dağılımı prensip olarak agreganın bir seri eleme işlemi yardımıyla azalan büyüklüğüne sahip farklı tane büyüklükleri halinde bölünmesi ve ayrılmasıyla bulunur (TS 3530 EN 933-1, 1999). İncelenen kumlar üzerinde tane büyüklüğü dağılımı deneyi (Eleme metodu) TS 3530 EN 933-1 (1999)’e göre yapılmıştır. Bu metod ile deneye tabi tutulan deney numunelerinin farklı elekler üzerinde kalan tanelerinin kütlesi, malzemenin ilk kütlesi ile ilişkilidir. Her bir elekten geçen kümülatif yüzdelere Tablo 3.11 ve Şekil 3.51, 3.52, 3.53’de sunulmuştur.

Tablo 3.11: İncelenen kumlar üzerinde yapılan elek analizi sonuçları

Tane büyüklüğü dağılımı (Kümülatif, %)													
Numune kodu	Elekler												
	Üretim (tesis)						Yıkanmış (lab.)						
	8	4	2	1	0.5	0.25	8	4	2	1	0.5	0.25	
AS	100	100	100	100	99	26	100	100	100	100	99	8	
AP	100	100	98	97	91	34	100	100	99	98	90	15	
MK	100	99	91	69	29	8	100	100	91	60	20	3	
CV	100	100	95	85	57	27	100	97	93	81	44	14	
ST	100	100	98	92	61	22	100	99	97	91	56	10	
OE	100	100	95	83	60	28	100	100	95	81	51	16	
BC	100	98	94	86	53	21	100	98	94	86	47	12	
Numune kodu	Elekler												
	Yıkanmış, 1 mm altı elenmiş						Doğal						
	8	4	2	1	0.5	0.25	16	8	4	2	1	0.5	0.25
AS	100	100	100	100	99	32	100	100	100	100	99	98	35
AP	100	100	100	100	93	39	100	91	89	87	84	75	20
MK	100	100	100	100	29	7	100	100	100	99	92	65	26
CV	100	100	100	100	59	26	100	100	98	92	85	56	27
ST	100	100	100	100	59	20	96	86	78	67	49	29	7
OE	100	100	100	100	66	32	100	100	100	97	86	73	54
BC	100	100	100	100	52	17	100	100	94	92	90	51	27

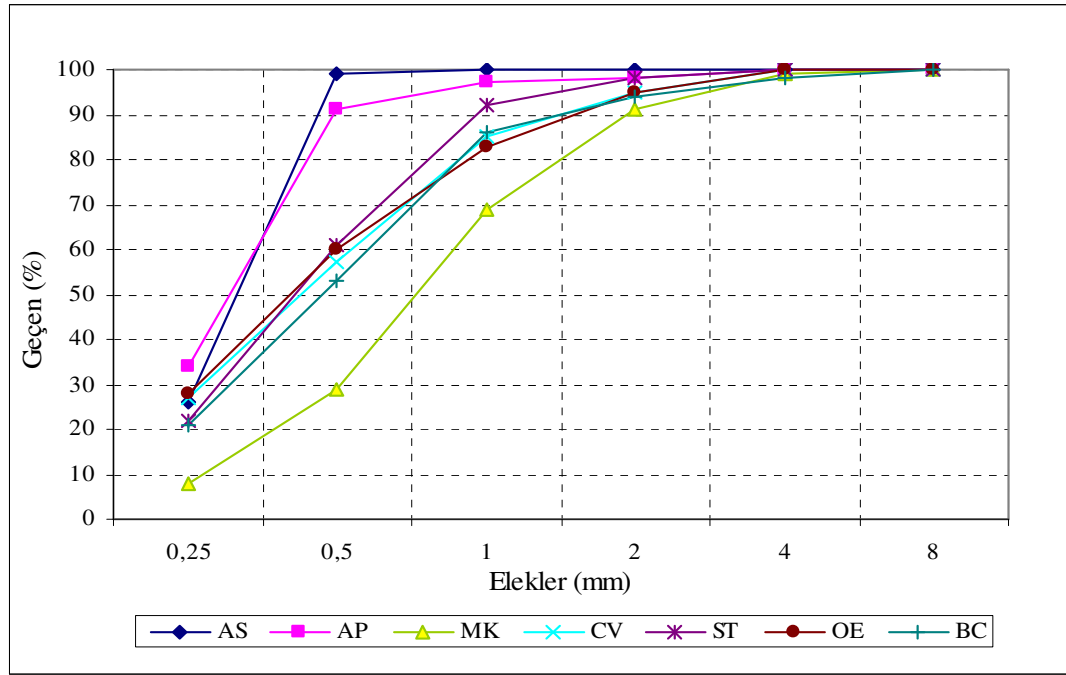
Tablo 3.12: Kumların TS 706 EN 12620 (2003)'e göre 0.500 mm göz açıklıklı elekten geçen yüzdeye bağlı olarak irilik veya incelikleri

Elekten geçen kütlece yüzde (%)		
CP (Kaba taneli)	MP (Orta taneli)	FP (İnce taneli)
5-45	30-70	55-100

Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin TS 706 EN 12620 (2003)'e göre (Tablo 3.12); 0.500 mm göz açıklıklı elekten geçen yüzdeye bağlı olarak irilik veya incelikleri incelendiğinde AS ve AP kodlu numuneler FP kategorisine, CV, ST ve OE kodlu numuneler FP ve MP kategorisine, BC kodlu numune MP kategorisine ve MK kodlu numune ise CP kategorisine girmektedir.

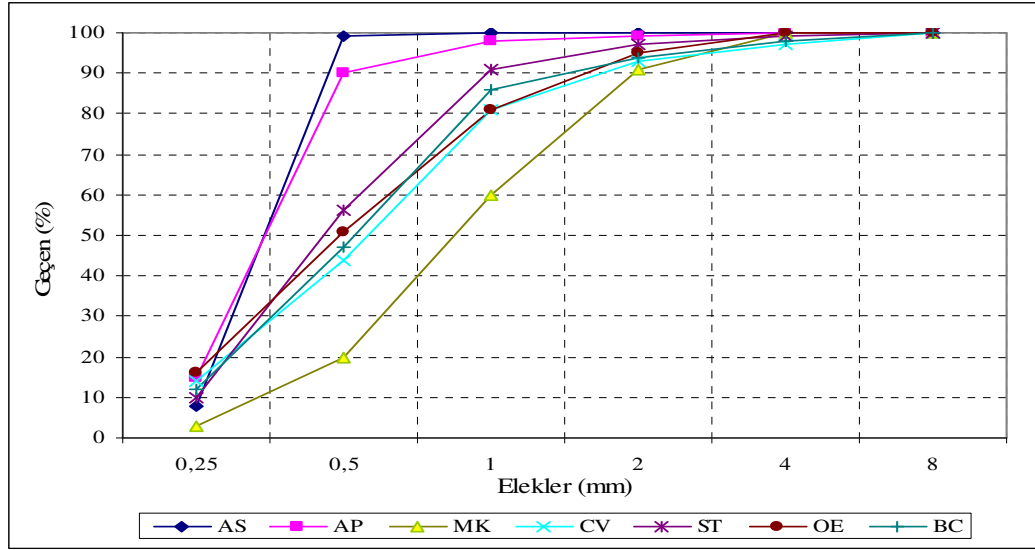
Eşdeğer metilen mavisi değeri elde etmek amacıyla 0.063 mm elek üzerinde yıkanan numuneler TS 706 EN 12620 (2003)'e göre 0.500; mm göz açıklıklı elekten geçen yüzdeye bağlı olarak irilik veya incelikleri incelendiğinde AS ve AP kodlu numuneler FP kategorisine, ST kodlu numune FP ve MP kategorisine, CV, OE ve BC kodlu numune MP kategorisine ve MK kodlu numune ise CP kategorisine girmektedir.

Laboratuvarıda yıkanmış ve 1 mm elekten elenmiş numunelerde ise AS ve AP kodlu numuneler FP kategorisine, CV, ST ve OE kodlu numuneler FP ve MP kategorisine, BC kodlu numune MP kategorisine ve MK kodlu numune CP kategorisine girmektedir.



Şekil 3.51: Kum ocaklarındaki yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin granülometri eğrileri

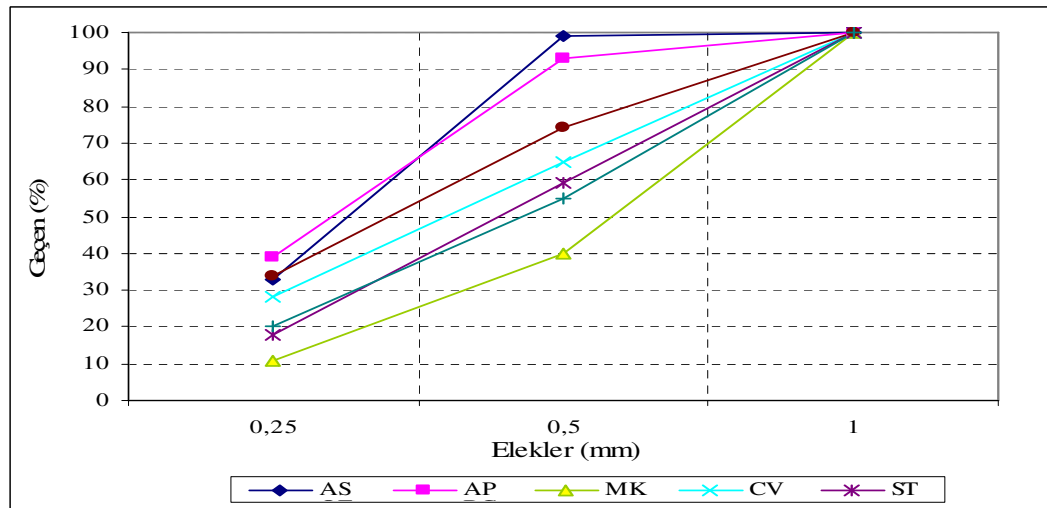
İncelenen kumların tane boyu dağılımları incelendiğinde; hepsi farklı maksimum tane boyu dağılımlarına sahiptir. AS kodlu doğal kum 0.5 mm, AP doğal kumu 1 mm ve diğer kumlar 3 mm maksimum tane boyuna sahiptir.



Şekil 3.52: Laboratuvarda yıkanmış numunelerin granülometri eğrileri

Yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler, eşdeğer metilen mavisi değeri elde etmek amacıyla 0.063 mm elek üzerinde yıkanmıştır. Şekil 3.52’de görüldüğü gibi yıkanan numunelerin granülometri eğrilerinde taneler, yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerine göre kabalaşmıştır.

Doğal kumların incelik modüllerinin eşdeğer olması için laboratuvarda yıkanmış doğal kumlar 1 mm elekten elenmiştir. Laboratuvarda yıkanmış, 1 mm elek altı doğal kumların 0.5 mm elekten geçen malzeme miktarı % 55-99, 0.25 mm elekten geçen malzeme miktarı % 18-39 arasında değişmektedir. Laboratuvarda yıkanmış ve 1 mm elek altı doğal kumların tane boyu dağılım grafiği ise Şekil 3.53’de verilmiştir.



Şekil 3.53: Laboratuvarda yıkanmış, 1 mm altı elenmiş numunelerin granülometri eğrileri

3.4.2. Çok İnce Malzeme Muhtevası

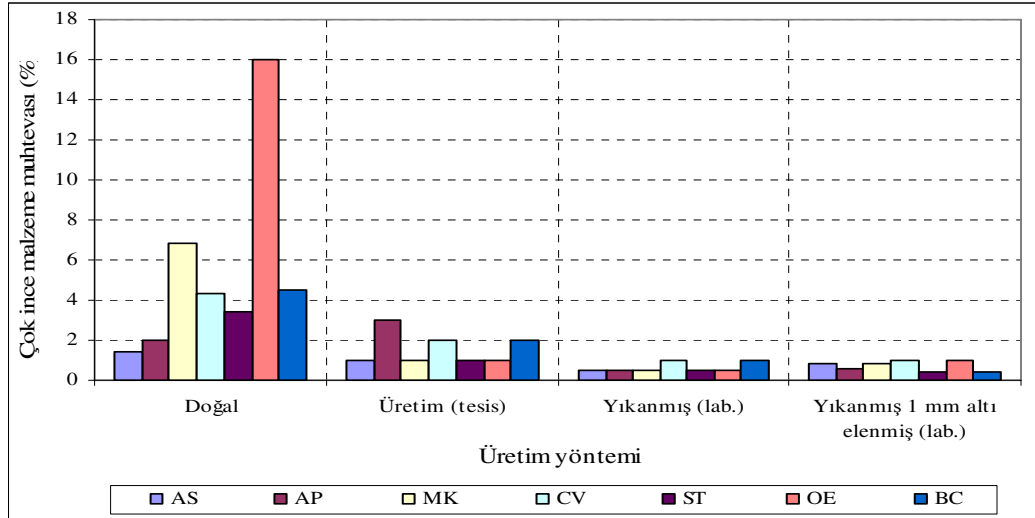
Çok ince malzeme miktarı; agregada içerisindeki TS 3530 EN 933-1 (1999) standardına göre 0.063 mm den geçen, ASTM C 33-01 (1981) standardına göre ise 0.075 mm'den geçen malzeme miktarı olarak tanımlanır. Beton imalatında kullanılan agregalarda çok ince malzemenin fazla olmasının, betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine olumsuz etkileri olabilmektedir. Bu malzemeler agregada tanelerinin etrafını sararak çimento hamuru ile arasındaki bağın zayıflamasına ve buna bağlı olarak aderansın azalmasına neden olmaktadır (Fookes, 1980). Betonun karışım dizaynının karma suyu ihtiyacını arttırarak betonun dayanım ve dayanıklılığına (durabilitesine) olumsuz etki eder. Ayrıca, betonda büzülmeyi arttırmaktadırlar (Erdoğan, 2003). Bu olumsuz etkilerin yanı sıra betonun işlenmesinde, yerleştirilmesinde ve özellikle yüzey betonlarında istenmeyen fiziksel bir etki olan betonun terlemesinde olumlu bir rol oynarlar (Neville, 1995).

İncelenen kumların çok ince malzeme muhtevası (0.063 mm elekten geçen) TS 3530 EN 933-1 (1999)'e göre belirlenmiş olup sonuçlar Tablo 3.13'de sunulmuştur.

Tablo 3.13 ve Şekil 3.53'da görüldüğü gibi tesislerden alınan numuneler 0.063 mm elekten yıkanarak eşdeğer 0.063 mm elekten geçen malzeme miktarı hedeflenmiştir. Yıkama sonrası 0.063 mm elekten geçen AS, AP, CV, ST, OE kodlu örneklerde % 0.5, MK kodlu örnek % 0.8, BC kodlu örnek % 1.0 değeri elde edilmiştir. Yıkama sonrası değerler % 0.5-1.0 arasında değiştiğinden söz konusu farklılıklar çok temiz kum elde edildiğinden dolayı ihmal edilebilir aralıktadır.

Tablo 3.13: İncelenen kumların çok ince malzeme muhtevaları

Numune Kodu	Çok ince malzeme muhtevası (%)				Yıkama sonrası ince malzeme miktarındaki azalma oranı (%)	1 mm elekten eleme sonrası ince malzeme miktarındaki azalma oranı (%)
	Doğal	Üretim (tesis)	Yıkamış (lab.)	Yıkamış, 1 mm altı elenmiş (lab.)		
AS	1.4	1.0	0.5	0.6	50	40
AP	2.0	3.0	0.5	1.0	83	67
MK	6.8	1.0	0.8	0.4	20	60
CV	4.3	2.0	0.5	0.4	75	80
ST	3.4	1.0	0.5	0.8	50	20
OE	16.0	1.0	0.5	0.8	50	20
BC	4.5	2.0	1.0	1.0	50	50



Şekil 3.54: Yıkama-eleme tesislerinden alınan, laboratuvarında yıkamış ve 1 mm altı elenmiş numunelerin çok ince malzeme muhtevası deney sonuçlarının kıyaslanması

Agrega içerisinde ince malzeme muhtevasının ASTM C 33-01 (1981)'e göre aşınmaya maruz kalacak betonlar haricinde % 5; TS 706 EN 12620 (2003)'ye göre ise % 3'ten daha fazla olmaması tavsiye edilir.

3.4.3. Metilen Mavisi Değeri

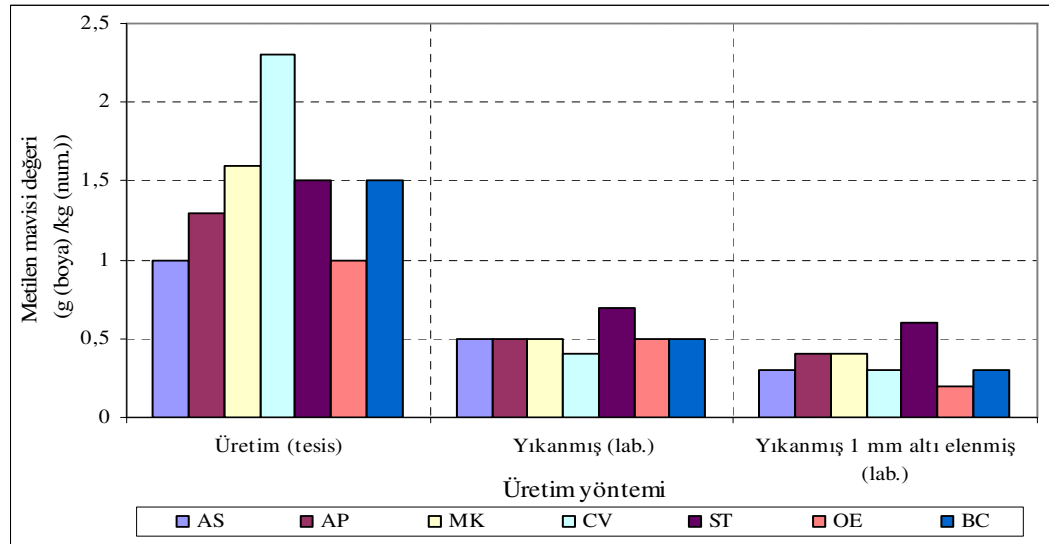
Metilen mavisi deneyi ince agregada içindeki kil, demir oksit ve organik madde miktarını sınırlandırmak için ilk olarak ISSA (International Slurry Seal Association, 1989)

tarafından önerilen, basit ve pratik bir deney metodudur. Deney sonucu, ince agregada içinde potansiyel olarak bulunan zararlı malzemenin miktarını gösterir (Kandall ve diğ., 1998). Deney sırasında ince agregada tarafından fazla miktarda metilen mavisi absorpsiyonu ince agregada içerisinde zararlı kilin varlığına işaret eder (Verhoef, 1992). Düşük absorpsiyon değerleri düşük oranda zararlı kil varlığını gösterir (Stapel ve Verhoef, 1989).

Doğal kum numuneleri üzerinde TS EN 933-9 (2001)'e göre metilen mavisi değeri tayin deneyi yapılmış olup sonuçlar Tablo 3.14'de sunulmuştur.

Tablo 3.14: İncelenen kumların metilen mavisi değerleri

Metilen mavisi değeri (g (boya) / kg (numune))				Yıkama sonrası metilen mavisi değerindeki azalma oranı (%)	1 mm elekten eleme sonrası metilen mavisi değerindeki azalma oranı (%)
Numune Kodu	Üretim yöntemi	Üretim (tesis)	Yıkanmış (lab.)		
AS		1.0	0.5	50	70
AP		1.3	0.5	62	69
MK		1.6	0.5	69	75
CV		2.3	0.4	83	87
ST		1.5	0.7	47	60
OE		1.0	0.5	50	80
BC		1.5	0.5	67	80



Şekil 3.55: Yıkama-eleme tesislerinden alınan, laboratuvarıda yıkanmış ve 1 mm altı elenmiş numunelerin metilen mavisi deney sonuçlarının kıyaslanması

Tablo 3.14 ve Şekil 3.55’da görüldüğü gibi; yıkama-eleme tesislerinden alınan doğal kumların metilen mavisi değerleri 1-2.3 g (boya)/kg(numune) arasındadır. Metilen mavisi değeri; kil minerallerinin tipi ve miktarı, üretim yöntemi ve koşullarına göre değişkenlik göstermektedir. Daha önceki araştırmalarda metilen mavisi değerinin 1 g (boya)/kg(numune)’nın altında olması tercih edilmiştir (Baron ve Ollivier, 1992). Çalışma kapsamındaki araştırmalar için örnekler yıkanarak uygunluk kriteri 1 g (boya)/kg(numune) olduğundan metilen mavisi değerleri 1 g (boya)/kg(numune)’nin altına çekilmiştir.

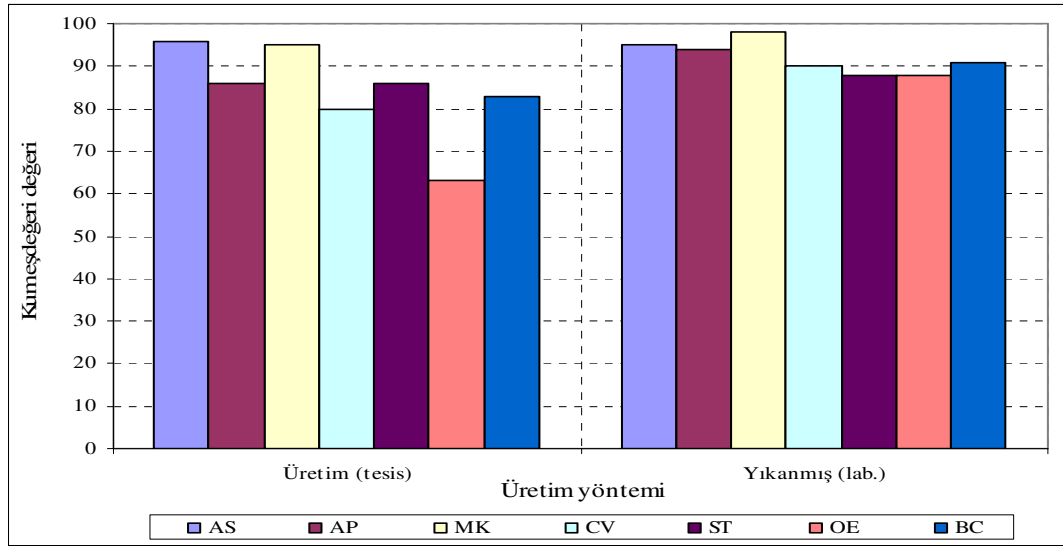
3.4.4. Kum Eşdeğeri Değeri

Kum eşdeğeri deneyi, ince agregalarda ve diğer boyut gruplarına dahil agregalarda, 0-2 mm aralığının kum eşdeğerinin tayini için bir metodu kapsar ve doğal agregalara uygulanır (TS EN 933-8, 2001). Bu deney, İnce agregadaki kil vb. malzeme veya ince tozların oranının saptanması için kullanılan test metodudur.

İncelenen kum numuneleri üzerinde TS EN 933-8 (2001)’e göre kum eşdeğeri tayin deneyi yapılmış sonuçları Tablo 3.15’de sunulmuştur.

Tablo 3.15: İncelenen kumların kum eşdeğeri değerleri

Kum eşdeğeri değeri			Yıkama sonrası kum eşdeğerinde değişim (%)
Numune kodu \ Üretim yöntemi	Üretim (tesis)	Yıkanmış (lab.)	
AS	96	96	0
AP	86	94	9
MK	95	98	3
CV	80	90	13
ST	86	88	1
OE	63	88	40
BC	83	91	10



Şekil 3.56: İncelenen kumların kum eşdeğeri değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 3.15 ve Şekil 3.56’da görüldüğü gibi; çok ince malzemenin niteliğini belirlemek amacıyla yapılan deneyde bulunan sonuçlar, tesislerden alınan numunelerde 63-96, laboratuvarı yıkanmış numunelerde ise 88-98 arasında değişmektedir. Numuneler yıkandığında kil vb. malzemeler temizlendiğinden 0-40 oranında kum eşdeğeri artmıştır. Arnoğlu ve diğ., (2006)’ne göre kum eşdeğeri için önerilen değerler Tablo 3.16’da verilmektedir.

Tablo 3.16: Kum Eşdeğeri “ES” için önerilen değerler (Arnoğlu ve diğ., 2006)

ES	İnce agrega niteliği ve türü
ES < 60	Killi kum; rötre ve şişme tehlikesi vardır, kaliteli betonlarda kullanılmamalıdır.
$60 \leq ES \leq 70$	Hafif killi kum; yaygın olarak kullanılan betonlarda, özellikle rötrede kuşku duyulmaması halinde kabul edilebilir
$70 \leq ES \leq 80$	Temiz kum; düşük oranda ince kil içerdiğinden yüksek kaliteli betonlar için uygun olmaktadır. (Optimum değer ES= 75)
ES ≥ 80	Çok temiz kum; ince kil yok denecek kadar az olduğundan bu durum betonun plastisitesinin azalmasına neden olmakta, dolayısıyla da aynı plastisiteyi tutturmak için karma suyunun miktarının artırılmasını gerektirebilmektedir.

Tablo 3.16'ya göre; yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin kum eşdeğeri deney sonuçları değerlendirildiğinde OE kodlu örnek hariç hepsi çok temiz kum kategorisine girmiştir.

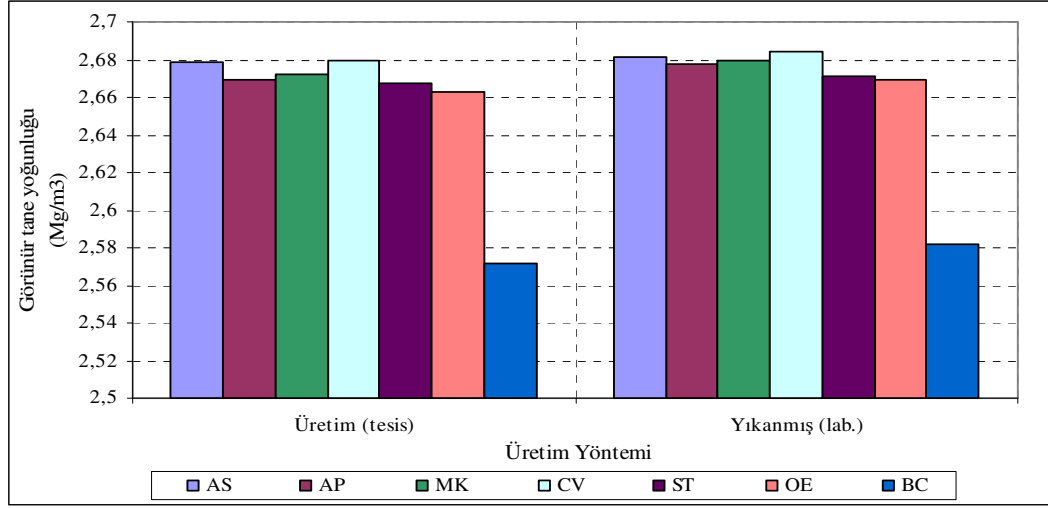
3.4.5. Tane Yoğunluğu (ölgül ağırlık)

Agregalar su geçiren ve geçirmeyen boşluklar içerir. Bu yüzden ölgül ağırlık terimi çok dikkatli tanımlanmalıdır. Bu nedenle bir çok farklı ölgül ağırlık tanımı vardır (Neville, 1995). Agreganın tane yoğunluğunun bilinmesi esas olarak, beton karışım hesaplarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

İncelenen numuneler üzerinde TS EN 1097-6 (2002)'ya göre piknometre metodu ile deneyler yapılmış olup, etiv kurusu tane yoğunluğu, görünen tane yoğunluğu ve doygun, yüzey kuru tane yoğunluğu belirlenmiştir. Doğal kum numuneleri üzerinde yapılan tane yoğunluğu deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 3.17'de sunulmuştur.

Tablo 3.17: İncelenen kumlara ait görünen tane yoğunluğu değeri

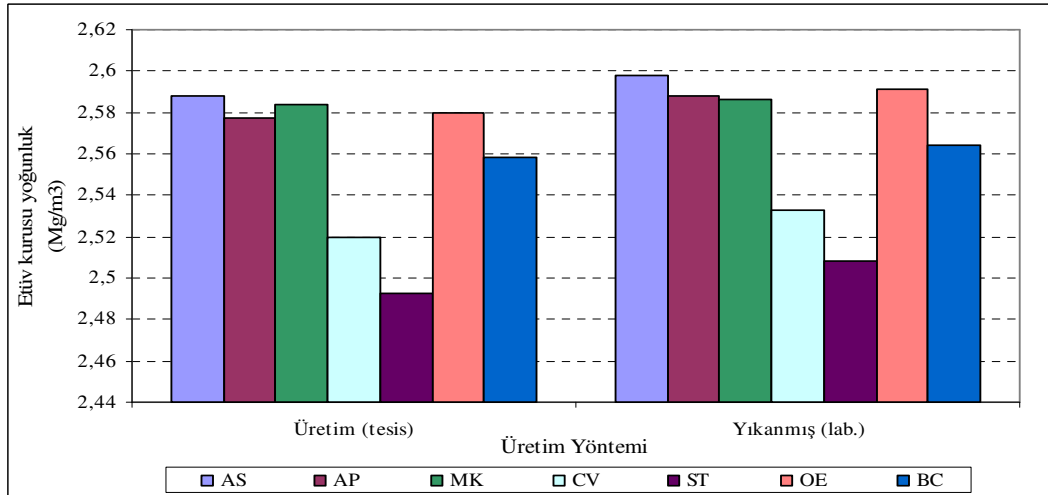
Numune Kodu	Görünen tane yoğunluğu (Mg/m ³)		Yıkama sonrası görünen tane yoğunluğu değeri (%)
	Üretim yöntemi	Üretim (tesis)	Yıkamış (lab.)
AS		2.679	2.681
AP		2.669	2.678
MK		2.672	2.680
CV		2.680	2.684
ST		2.667	2.671
OE		2.663	2.669
BC		2.572	2.582



Şekil 3.57: İncelenen kumlar üzerinde yapılan görünür tane yoğunluğu deney sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 3.18: İncelenen kumlara ait etüv kuru tane yoğunluğu değerleri

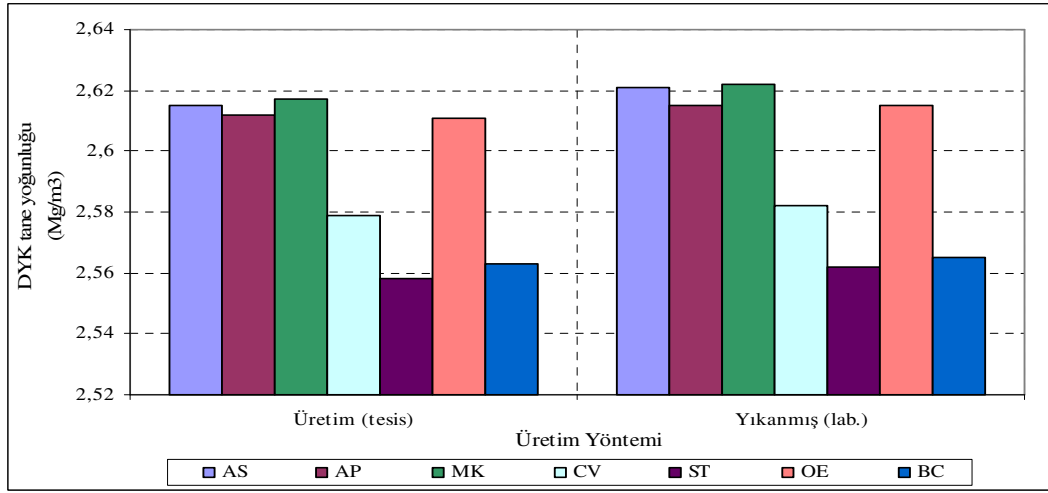
Etiv kuru tane yoğunluğu (Mg/m³)			Yıkama sonrası etiv kuru tane yoğunluğu değişimi (%)
Numune Kodu	Üretim yöntemi	Üretim (tesis)	
AS		2.588	
AP		2.577	
MK		2.584	
CV		2.520	
ST		2.493	
OE		2.580	
BC		2.558	
			2.598
			2.588
			2.586
			2.533
			2.508
			2.591
			2.564



Şekil 3.58: İncelenen kumlara ait etüv kuru tane yoğunluğu değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 3.19: İncelenen kumlara ait doygun ve yüzeyi kurutulmuş tane yoğunluğu değerleri

DYK tane yoğunluğu (Mg/m ³)			Yıkama sonrası DYK tane yoğunluğu değişimi (%)
Numune Kodu \ Üretim yöntemi	Üretim (tesis)	Yıkanmış (lab.)	
AS	2.615	2.621	0.229
AP	2.612	2.615	0.115
MK	2.617	2.622	0.191
CV	2.579	2.582	0.116
ST	2.558	2.562	0.156
OE	2.611	2.615	0.153
BC	2.563	2.565	0.078



Şekil 3.59: İncelenen kumlara ait doygun ve yüzeyi kurutulmuş tane yoğunluğu değerlerinin karşılaştırılması

Doğal kumların tane yoğunluklarını mineralojik bileşimleri denetlemektedir. Kil veya ayrılmış mineraller tane yoğunluğunu değiştirmektedir. Tablo 3.17, 3.18, 3.19 ve Şekil 3.57, 3.58, 3.59’de görüldüğü gibi tesislerden alınan numuneler yıkandığında tane yoğunlukları çok az miktarda artmıştır.

3.4.6. Su Emme ve Porozite

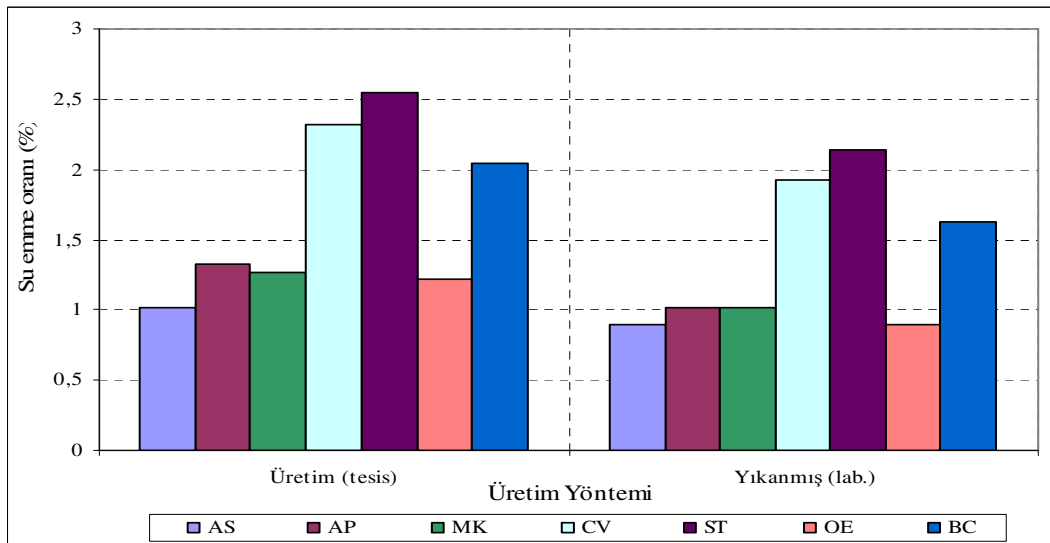
Agrega su emme oranı esas olarak beton karışım hesabında kullanılmaktadır. Agreg a su emme oranı agreganın fiziksel ve mekanik özelliklerine ile dayanıklılığa etki eder (Smith ve Collis, 2001).

Agreganın su emmesi tanelerin porozitesi ile ilişkilidir. Porozite, etüv kurusu özgül ağırlık ile su emme oranının çarpılması ile bulunan bir değerdir (Dewar ve Anderson, 1992). Agreganın porozitesi ve su emmesi, çimento pastası ile bağlanan agreganın donma çözünme, kimyasal dayanıklılık ve aşınma direnci gibi özelliklerini etkilemektedir (Neville, 1995).

İncelenen kum numuneleri üzerinde TS EN 1097- 6 (2002) standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılan su emme oranı deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 3.20 ve Şekil 3.60'da, hesaplanan porozite değerleri ise Tablo 3.21 ve Şekil 3.61'de sunulmuştur.

Tablo 3.20: İncelenen kumlar üzerinde yapılan su emme oranı deney sonuçları

Su emme oranı (%)			Yıkama sonrası su emme oranındaki azalma oranı (%)
Üretim yöntemi Numune Kodu	Üretim (tesis)	Yıkanmış (lab.)	
AS	1.02	0.90	12
AP	1.33	1.01	24
MK	1.27	1.01	21
CV	2.32	1.93	17
ST	2.54	2.14	16
OE	1.22	0.90	26
BC	2.04	1.62	21

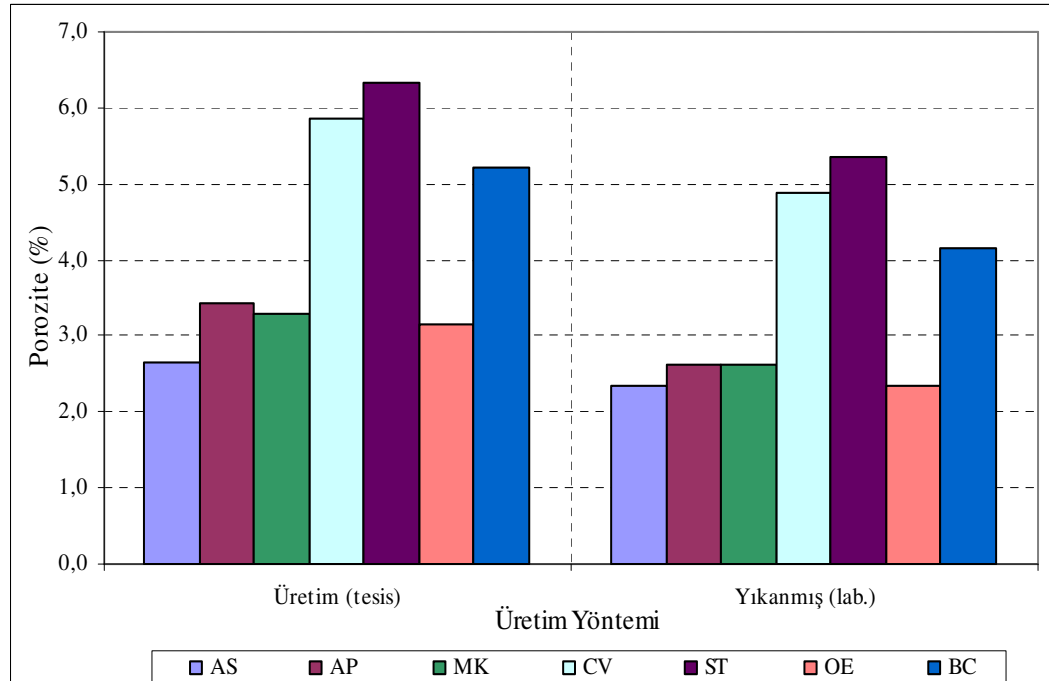


Şekil 3.60: İncelenen kumlar üzerinde yapılan su emme oranı deney sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 3.20 ve Şekil 3.60’de görüldüğü gibi, ST, CV ve BC kodlu kumların su emme oranları diğerlerine oranla daha yüksektir. Doğal kumların su emme oranlarını mineralojik yapıları denetlemektedir. Kil minerallerinin varlığı su emme oranını arttırmaktadır. Tablo 3.20’de görüldüğü gibi, yıkama sonrası, numunelerdeki kil mineralleri kısmen uzaklaştırıldığı için su emme oranı % 12-26 oranında azalmaktadır.

Tablo 3.21: İncelenen kumların poroziteleri

Porozite (%)			Yıkama sonrası porozitedeki azalma oranı (%)
Üretim yöntemi Numune Kodu	Üretim (tesis)	Yıkanmış (lab.)	
AS	2,6	2,3	11
AP	3,4	2,6	24
MK	3,3	2,6	20
CV	5,8	4,9	16
ST	6,3	5,4	15
OE	3,1	2,3	26
BC	5,2	4,2	20



Şekil 3.61: İncelenen kumların porozitelerinin karşılaştırılması

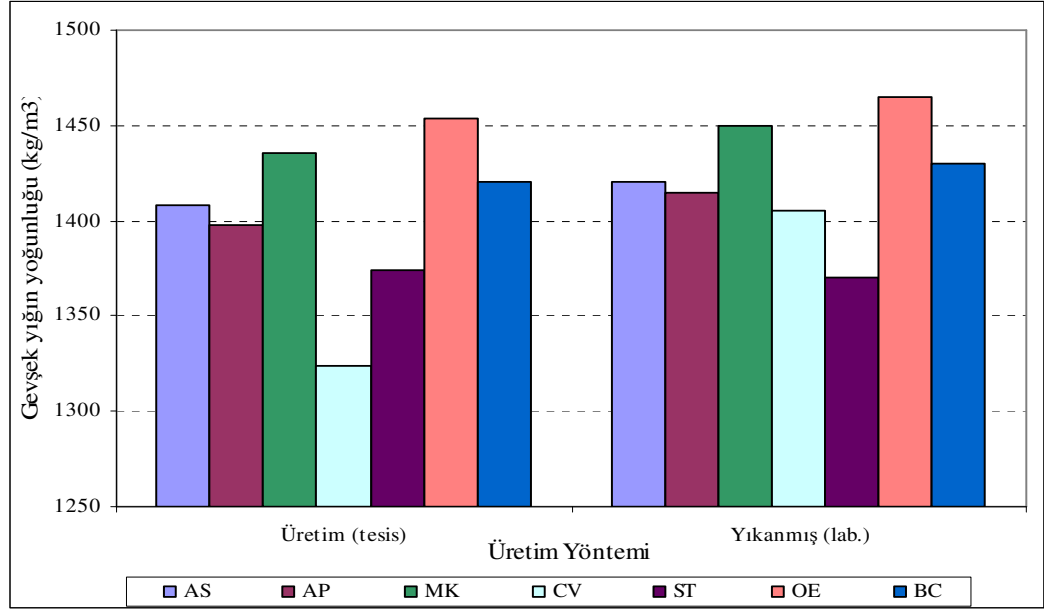
Tablo 3.21 ve Şekil 3.61’de görüldüğü gibi, yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler ile laboratuvarda yıkanmış numuneler kıyaslandığında bütün numunelerin poroziteleri su emme oranının azalmasına bağlı olarak azalmaktadır. Tesislerden alınan numunelerde en düşük porozite AS kodlu numuneye, en yüksek ST kodlu numuneye aittir. Laboratuvarda yıkanmış numunelerde ise en düşük AS ve OE kodlu numuneler, en yüksek ST kodlu numuneye aittir.

3.4.7. Agreganın Gevşek Yığın Yoğunluğu ve Boşluk Hacmi

Agreganın özgül ağırlığı, bir m³ hacminin içerdiği agreganın ağırlığı olarak anlaşılmalıdır (Dewar, Anderson, 1992). Gevşek yığın yoğunluğu: sıkışmamış kuru agreganın kütlelerinin ölçü kabının hacmine bölünmesiyle elde edilen değerdir. Boşlukların yüzdesi de gevşek yığın yoğunluğundan ve tane yoğunluğundan hesaplanır (TS EN 1097-3, 1999). Agreganın gevşek yığın yoğunluğu, agregaların tane dağılımına, tane şekline bağlıdır (Neville, 1995). İncelenen kum numuneleri üzerinde TS EN 1097-3 (1999)’e göre yapılan gevşek birim ağırlık ve boşluk hacmi deney sonuçları Tablo 3.22 ve 3.23’de sunulmaktadır.

Tablo 3.22: İncelenen kumlar üzerinde yapılan gevşek yığın yoğunluğu deney sonuçları

Numune Kodu	Gevşek yığın yoğunluğu (kg/m ³)		Yıkama sonrası gevşek yığın yoğunluğu artışı (%)
	Üretim yöntemi	Üretim (tesis)	Yıkanmış (lab.)
AS		1408	1420
AP		1398	1415
MK		1436	1450
CV		1324	1405
ST		1374	1384
OE		1454	1465
BC		1420	1430

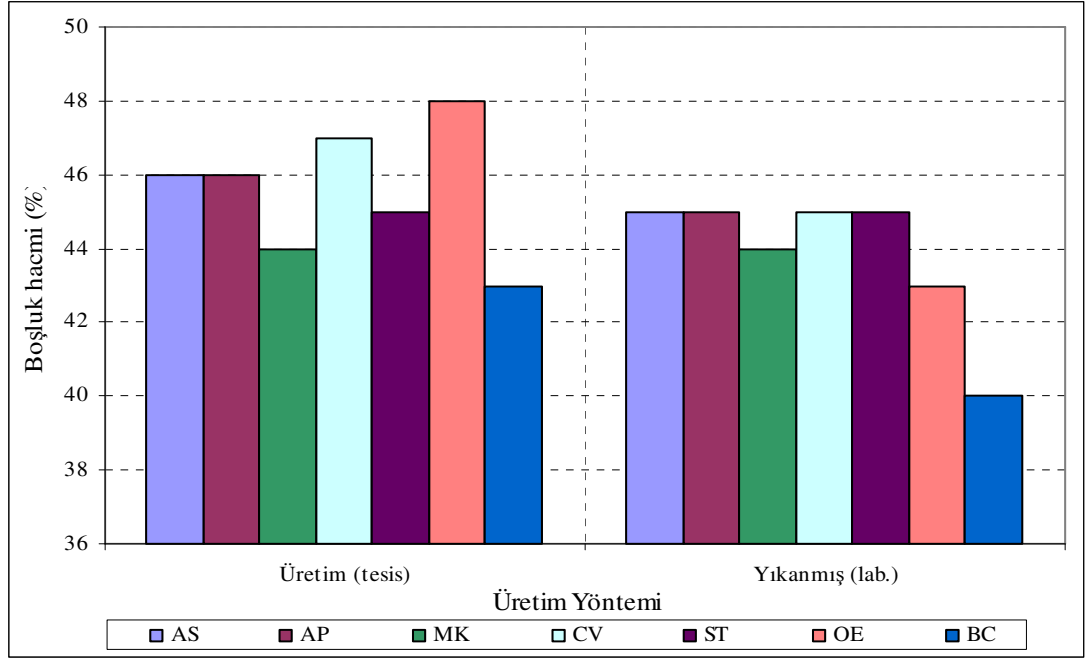


Şekil 3.62: İncelenen kumlar üzerinde yapılan gevşek birim ağırlık deney sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 3.22 ve Şekil 3.62’da görüldüğü gibi; üretimden alınan örnekler üzerinde yapılan gevşek yığın yoğunluğu deney sonuçlarına göre CV ve ST kodlu örnekler hariç diğer tüm örneklerin değerleri 1400 kg/m^3 ’ün üzerindedir. Bunu, agreganın granülometrisi ve özgül ağırlığı denetlemektedir. Granülometriye bağlı olarak boşluk miktarının az olması halinde ve özgül ağırlığının artmasına bağlı olarak gevşek yığın yoğunluğu artmaktadır. Yıkama sonrası doğal kumların gevşek yığın yoğunlukları % 0.7 ile % 6.1 oranında artış göstermiştir.

Tablo 3.23: İncelenen kumlara ait boşluk yüzdesi değerleri

Boşluk hacmi (%)			Yıkama sonrası boşluk hacmindeki azalma (%)
Numune Kodu \ Üretim yöntemi	Üretim (tesis)	Yıkamış (lab.)	
AS	46	45	2.2
AP	46	45	2.2
MK	44	44	0.0
CV	47	45	4.3
ST	45	44	2.2
OE	48	43	10.4
BC	43	40	7.0



Şekil 3.63: İncelenen kumlara ait boşluk yüzdelерinin kıyaslanması

Boşluk hacmi tane şeklini denetlemektedir. Tablo 3.23 ve Şekil 3.63’de görüldüğü gibi yıkama sonrası doğal kumların boşluk hacmi yüzdesi % 0-10.4 arasında azalma göstermiştir.

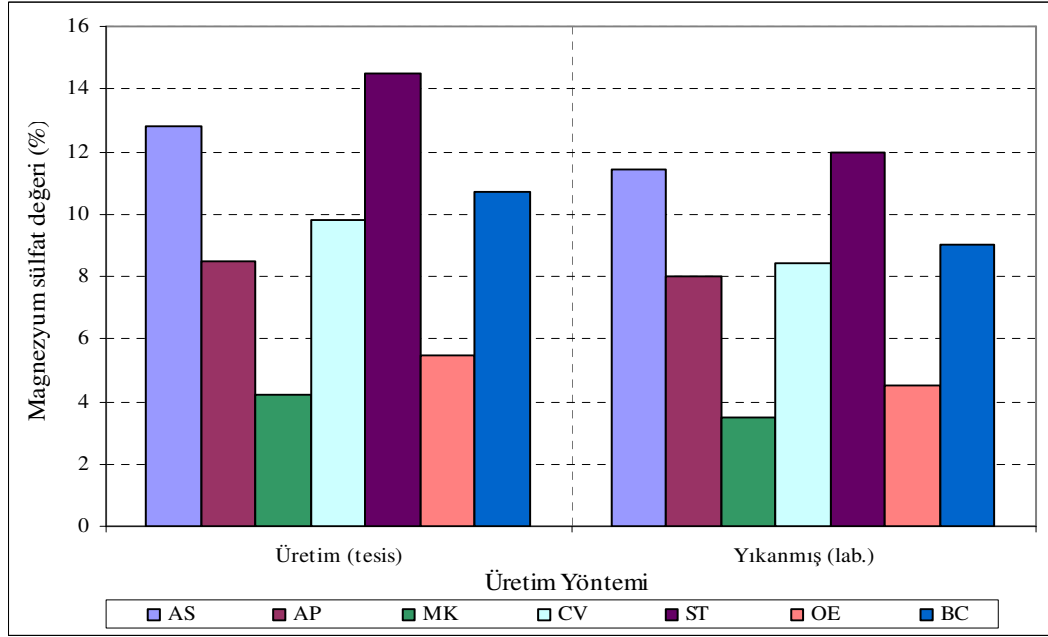
3.4.8. Donmaya Karşı Dayanıklılık

Üretilen betonun donma olayı sonucunda parçalanmaması, bir çok faktörlerin etkisi nedeniyledir. Bu arada en önemli rol, taneler tarafından oynanmaktadır. Bu nedenle beton üretiminde kullanılan agregaların donma etkisine karşı dayanıklı olması gerekir. Bu özellik ancak deneylerle anlaşılır. Bu konuda değişik deney yöntemleri vardır. Bunlardan biri don etkisini benzeştiren, agregayı kristalleşince hacmi artan $MgSO_4$ eriğiği içinde bırakılarak yapılan deneydir (Baradan, 2004).

Prensip olarak deney numunesi doymuş magnezyum sülfat çözeltisine 5 kere daldırılması ve takiben $(110 \pm 5)^\circ C$ ’da etüvde kurutulması esasına dayanır. Magnezyum sülfatın tekrar su alması ve agregada numunesinde tekrarlanan kristalizasyon ile agregada boşluklarında zararlı etkiler ortaya çıkar (TS EN 1367-2, 1999). Doğal kum numuneleri üzerinde TS EN 1367-2 (1999)’ye göre yapılan magnezyum sülfat deneyi sonuçları Tablo 3.24’de sunulmaktadır.

Tablo 3.24: İncelenen kumlar üzerinde yapılan magnezyum sülfat deney sonuçları

Magnezyum sülfat değeri (%)		
Numune Kodu \ Üretim yöntemi	Üretim (tesis)	Yıkanmış (lab.)
AS	12.8	11.4
AP	8.5	8.0
MK	4.2	3.5
CV	9.8	8.4
ST	14.5	12.0
OE	5.5	4.5
BC	10.7	9.0



Şekil 3.64: İncelenen kumlar üzerinde yapılan magnezyum sülfat deney sonuçlarının kıyaslanması

Tablo 3.24 ve Şekil 3.64’de görüldüğü gibi incelenen bütün kumların magnezyum sülfat değerleri TS 706 EN 12620 (2003) standardına göre MS₁₈ (kütlece yüzde kaybı ≤ 18 olan agregalar) kategorisine girmektedir. Tablo 3.24 ve Şekil 3.64’de görüldüğü gibi yıkama sonrası doğal kumların magnezyum sülfat değerleri % 0.5-2.5 arasında azalma göstermiştir.

Yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler üzerinde yapılan magnezyum sülfat deneyi sonuçlarını, numunelerdeki kil mineralleri, su emme ve kavkı kırıntıları denetlemektedir.

3.4.9. Asitte Çözünebilen Sülfat, Suda Çözünebilen Klorür Tuzları ve Toplam Kükürt Muhtevası

Sülfatlar agregalar içerisinde bulunmaları ve çimento ile birlikte sülfo-alüminat adı verilen genişleyen bir tuzun oluşmasına neden olmaları bakımından zararlıdır. Zamanla büyüyen kristaller şeklinde gelişen bu olay sonucu beton parçalanabilir. Bu nedenle sülfat (SO_3) miktarının ağırlıkça % 1'den fazla olmamasına dikkat edilmelidir (Baradan, 2004)

Doğal kum numuneleri üzerinde TS EN 1744-1 (2000)'e göre yapılan asitte çözünebilen sülfat, suda çözünebilen klorür tuzu ve toplam kükürt muhtevasının tayini deney sonuçları Tablo 3.24'de sunulmaktadır.

Tablo 3.25: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kumların asitle çözünebilen sülfat, suda çözünebilen klorür tuzu ve toplam kükürt muhtevası

Numune Kodu	Asitle çözünebilen sülfat (%)	Suda çözünebilen klorür tuzu (%)	Toplam kükürt muhtevası (%)
AS	0.010	0.0021	0.090
AP	0.020	0.0214	0.030
MK	0.020	0.0009	0.013
CV	0.005	0.0019	0.011
ST	0.020	0.0007	0.012
OE	0.010	0.0009	0.050
BC	0.050	0.0013	0.080

Tablo 3.25'de de görüldüğü gibi: incelenen kumların asitle çözünebilen sülfat değerleri TS 706 EN 12620 (2003) standardına göre kütlece % 0.2'yi aşmadığı için $AS_{0.2}$ kategorisine girmektedir. AP kodlu numune denizel kökenli olduğundan en yüksek suda çözünebilen klorür tuzu yüzdesine sahiptir.

Agregaların ve dolgu agregalarının TS EN 1744-1 (2000) Madde 11'e uygun olarak tayin edilmiş olan toplam kükürt muhtevası, S cinsinden % 1'i aşmamalıdır (TS 706 EN 12620, 2003). Nitekim Tablo 3.24'de görüldüğü gibi toplam kükürt muhtevası hiç bir örnekte % 1 değerini aşmamaktadır.

3.4.10. Agregaların Kuruma Büzülmesi

Üretimden alınan doğal kum numuneleri üzerinde TS EN 1367-4 (1999)'ye göre kuruma büzülmesi tayini ile ilgili deneyi yapılmış ve sonuçlar Tablo 3.25'de verilmiştir.

Tablo 3.26: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerinin kuruma büzülmesi yüzdeleri

Kuruma büzülmesi (%)	
Numune Kodu	Üretim (tesis)
AS	0.020
AP	0.021
MK	0.029
CV	0.034
ST	0.035
OE	0.025
BC	0.030

İncelenen kumların kuruma büzülme oranları % 0.02-0.035 arasındadır. Agregaların özellikleri nedeniyle betonda büzülme çatlaklarından dolayı hasar oluşmaması için TS 706 EN 12620 standardında deney sonucunun % 0.075'i aşmaması istenir. Tablo 3.25'de görüldüğü incelenen kumların kuruma büzülmesi değerleri bu değerin altındadır.

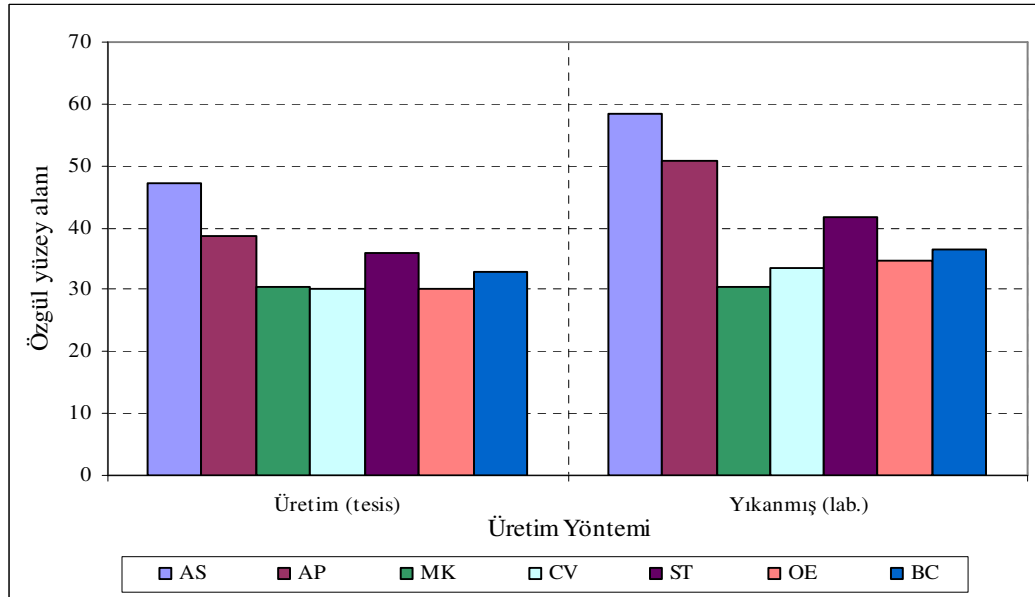
3.4.11. Özgül Yüzey Alanı Hesabı

İnce agregaların özgül yüzey alanı birim hacimdeki yüzey alanı olarak tanımlanır. İnce agregaların özgül yüzey alanı hesabı tam olarak hesaplanamasa da ampirik formüllerle yaklaşık ince agregaların özgül yüzeyleri hesaplanabilir. Pratik olarak özgül yüzey alanı daha fazla olan ince agregaların beton içerisinde karma suyu ihtiyacını artırır. Örnek olarak; düşük işlenebilirlik özelliği olan yüksek dayanımlı beton karışım dizaynında su ihtiyacını düşürdüğü için daha düşük özgül yüzey alanına sahip ince agregalar kullanılabilir. Ancak yüksek işlenebilirlik özelliğine sahip betonda segregasyon meydana gelmemesi için yüksek özgül yüzey alanına sahip ince agregalar kullanılabilir.

(Day, 1999). İncelenen kumların özgül yüzey alanları Day (1999)'a göre hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.27'de sunulmuştur.

Tablo 3.27: İncelenen kumların özgül yüzey alanları

Numune Kodu	Özgül yüzey alanı		Yıkama sonrası özgül yüzey alanı değişimi (%)
	Üretim yöntemi	Üretim (tesis)	Yıkanmış (lab.)
AS		47.04	58.56
AP		38.72	50.80
MK		30.44	30.54
CV		30.16	33.40
ST		36.00	41.80
OE		30.16	34.64
BC		32.72	36.56



Şekil 3.65: İncelenen kumların özgül yüzey alanlarının kıyaslanması

İncelenen kumların tane boyu dağılımı deney sonuçlarından hesaplanan özgül yüzey alanları yıkama sonrası % 0.3 ila % 31 arasında değişim göstermiştir. En yüksek özgül yüzey alanına sahip kumlar 0-0.5 mm arasında tane dağılımına sahip olduğundan AS ve AP kodlu numunelerdir.

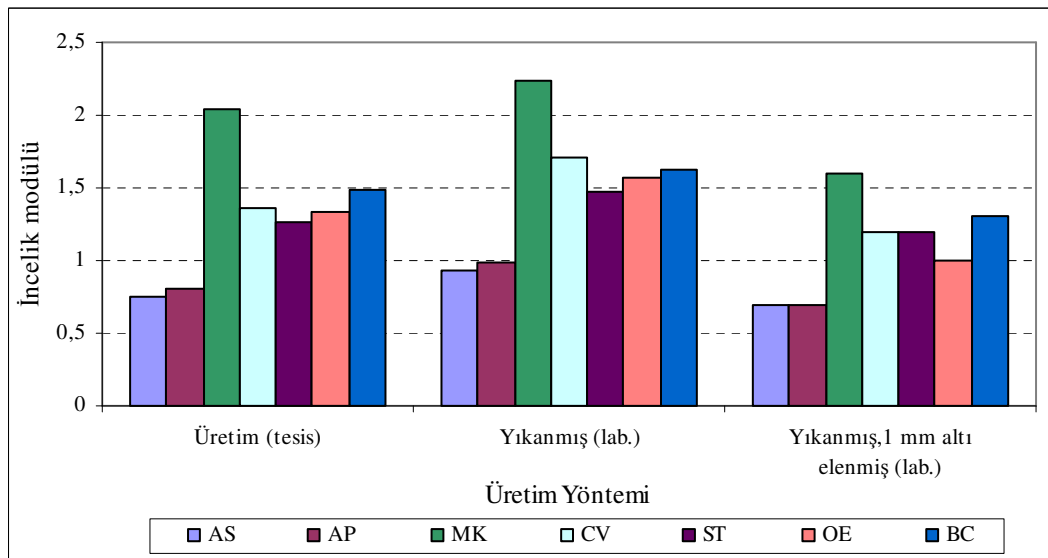
3.4.12. İncelik Modülü

İncelik modülü, tane boyu dağılımı deneyinde standard elek serisinde kalan yığılımlı yüzdelerin toplamı olarak tanımlanır (Neville, 1995). İncelik modülü birimsizdir ve incelik modülünün sayısal değeri arttıkça agreganın kabalaştığı söylenebilir (Tablo 3.11, 3.28 ve Şekil 3.52, 3.53, 3.66)

İncelenen kumlar üzerinde yapılan TS 3530 EN 933-1 (1999)'e göre yapılan tane boyu dağılımı deneyi sonuçlarına göre hesaplanan incelik modülü Tablo 3.28'de sunulmuştur. Tablo 3.28 ve Şekil 3.66'de görüldüğü gibi örnekler yıkama sonrası kabalaştığı için incelik modülleri artmıştır.

Tablo 3.28: İncelenen kumların incelik modülleri

İncelik modülü				Yıkama sonrası incelik modülü artışı (%)
Numune Kodu	Üretim yöntemi	Üretim (tesis)	Yıkanmış (lab.)	
AS		0.75	0.93	24
AP		0.80	0.98	23
MK		2.04	2.24	10
CV		1.36	1.71	26
ST		1.27	1.47	16
OE		1.34	1.57	17
BC		1.48	1.63	10



Şekil 3.66: İncelenen kumların incelik modüllerinin kıyaslanması

Tablo 3.29: Kumların TS 706 EN 12620 (2003)'e göre incelik modülüne bağlı olarak irilik veya incelikleri

İncelik modülü		
CF (kaba taneli)	MF (orta taneli)	FF (ince taneli)
4.0-2.4	2.8-1.5	2.1-0.6

Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin TS 706 EN 12620 (2003)'e göre incelik modülüne bağlı olarak irilik veya incelikleri incelendiğinde (Tablo 3.29); bütün numuneler FF kategorisine girmekle beraber MK kodlu numune aynı zamanda MF kategorisine de girmektedir. Yıkanmış ve 1 mm altı elenmiş numunelerde MK kodlu numune hariç bütün numuneler FF kategorisine, MK kodlu numune FF ve MF kategorisine girmektedir.

Laboratuvarda eşdeğer metilen mavisi değeri elde etmek amacıyla 0.063 mm elek üzerinde yıkanan numunelerin TS 706 EN 12620 (2003)'e göre incelik modülüne bağlı olarak irilik veya incelikleri incelendiğinde (Tablo 3.29); AS, AP, CV ve ST kodlu numuneler FF kategorisine, OE ve BC kodlu numuneler FF ve MF kategorisine, MK kodlu numune ise MF kategorisine girmektedir.

3.5. KUMLARIN ALKALİ-SİLİS REAKSİYONU YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Alkali-silis reaksiyonu (ASR); reaktif silika formları içeren agregaların çimentodan kaynaklanan alkali oksitlerle reaksiyon oluşturmaları ve bunun sonucunda genleşebilme kabiliyetine sahip bir jelin meydana gelmesidir. Bu jel, su emdikçe hacmi daha çok artmakta betonda çatlamlara neden olmaktadır (Postacıoğlu, 1987). Bu çatlaklar betonun dayanımını önemli oranda düşürür. (Fookes, 1980; Postacıoğlu, 1987 ve Wakizaka, 1998).

Genleşmeye neden olan ASR'nin oluşabilmesi için agregada reaktif silika formları ile betonda yeterli miktarda alkali oksitleri (Na_2O ve K_2O) bulunması ve ortamın nemli olması gerekmektedir. Reaksiyonun oluşabilmesi için çimentodaki alkali içeriğinin $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$ değerinin % 0,60'ı ve ortamdaki nemin 20°C sıcaklıkta % 85'i aşması gerekir (Postacıoğlu, 1987; Yıldırım ve diğ., 2003). Bu koşullardan herhangi biri

olmazsa alkali-silis reaksiyonu nedeniyle bir genleşme olmayacaktır. Bunun dışında ortamın porozitesi de önemlidir (Smith ve Collis, 2001).

ASR basitçe iki aşamada gösterilir.

1. Alkali + reaktif silika → Alkali-silika jel ürünleri
2. Alkali silika jeli + nem → Genleşme

Agregayı oluşturan bileşenlerin tümü ve formu agreganın reaktifliğini belirler. Alkali-silis reaksiyonu ilk kez, Stanton (1940) tarafından ifade edilmiştir. Reaksiyona neden olan mineraller; opal (Stanton, 1941; McConnell ve diğ.,1950 ve Bell, 1998), kalsedon ve volkan camı (Rhoades,1942; Stanton, 1941; McConnell ve diğ.,1950), kriptokristalin kuvars (Stanton vd.,1942); tridimit (Hornibrook ve diğ., 1943; McConnell ve diğ.,1950 and Bell, 1998); kristobalit (Landgren ve Sweet, 1952; Mielenz, 1954) ile basınç etkisinde kalmış çatlaklı kuvarstır (Gogte,1973; McConnell vd.,1950 ve Bell, 1998). Alkali-silis reaksiyonu üzerinde birçok araştırma yapılmıştır (Fookes, 1980; Wakizaka, 2000; Gillott, 1975; Wakizaka, 1998; Hobbs, 1990, Grattan-Bellew, 1987; Wakizaka vd., 1987; Wakizaka vd., 1989). Ayrıca fillitler içerisinde bulunan hidromika (illit)'nın ise alkali-silis reaksiyonuna neden olduğu ifade edilmiştir (McConnell ve diğ.,1950 and Bell, 1998).

Bazı agregalar kökenleri ile ilgili olarak reaksiyon yapabilen silisten oluşan bileşenleri içerebilirler. Bu tür bileşenler, betonun boşluk suyunda çözünen alkali hidroksit ile kuvvetli kimyasal reaksiyona girer ve önce berrak, çoğunlukla yüksek konsantrasyonlu ve sonra yüksek viskoziteli alkali silis çözeltisini meydana getirir. Agreganın alkaliye duyarlı bileşenleri böylece yumuşar ve çözünür. Reaksiyon süresi ve şiddeti; özellikle agreganın alkaliye duyarlı bileşenlerinin cins ve miktarına, tane büyüklüğüne ve dağılışına, betonun boşluğunda bulunan çözeltideki alkali hidroksit miktarına ve sertleşmiş betonun çevre koşullarına bağlıdır. Bu nedenle, alkaliye duyarlı tanelerin tek başına değerlendirilmesi yeterli değildir (Fookes, 1980).

Kumlarda alkali-silis reaksiyonuna yol açabilen minerallerin varlığı; binoküler mikroskop incelemeleri ile saptanmaya çalışılmıştır. Tablo 3.3 Şekil 3.12, 3.13, 3.14,

3.15, 3.16, 3.17 ve 3.18’de görüldüğü gibi petrografik incelemelerden sonra, hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri ile kumların alkali-silis reaktivitesi araştırılmıştır.

3.5.1.Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyleri

İncelenen kum örneklerindeki aktif silis ile diğer reaktif minerallerin zararlı etkilerini belirlemek amacıyla, ASTM C 1260 (1994)’de verilen esaslara uyularak hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerle; incelenen kumların çimento hamuruyla oluşturabileceği reaksiyon sonucu, genleşmelerine bağlı boy uzamaları saptanmıştır. Deneylerde kullanılan çimentonun (CEM I 42.5 R) özellikleri Tablo 3.30’da sunulmuştur.

Tablo 3.30: Hızlandırılmış Harç Çubuğu deneylerinde kullanılan çimentonun özellikleri

Kimyasal Özellikler		Deney Sonuçları	CEM I 42,5 R için TS EN 197-1’e göre sınır değerler	
			Alt limit	Üst limit
Kızdırma Kaybı	%	2,19	-	5,0
Çözünmeyen Kalıntı	%	0,25	-	5,0
Magnezyum Oksit (MgO)	%	1,02	-	5,0
Kükürt Trioksit (SO ₃)	%	2,95	-	4,0
Klorür (Cl-)	%	0,01	-	0,1
SiO ₂	%	19,74	-	-
Al ₂ O ₃	%	5,13	-	-
Fe ₂ O ₃	%	3,01	-	-
CaO	%	62,08	-	-
K ₂ O	%	0,36	-	-
Na ₂ O	%	0,30	-	-
Fiziksel Özellikler				
Piriz Başlangıcı	hh:mm	240	3:10	01:00
Piriz Sonu	hh:mm	320	4:10	-
Hacim Genleşmesi	Mm	1	1	-
Özgül Yüzey	cm ² /gr	3643	3667	2800
Mekanik Özellikler				
Basınç dayanımı	2	MPa	27,7	20,0
	7		45,1	-
	28		55,0	42,5

Deneyler, en az üç numune üzerinde yapılmış olup, elde edilen genleşme oranları; 7, 14, 16, 21 ve 28 günlük dönemler halinde, Tablo 31, 32, 33, 34 ve 35’de sunulmuştur.

Tablo 3.31: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kum örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu 7 günlük boyca uzama yüzdeleri

7 Günlük boyca uzama yüzdesi, E_7 (%)					
Örnek kodu	Deney sayısı	Min.	Max.	Ortalama	S. sapma
AS	3	0.008	0.013	0.010	0.002
AP	3	0.051	0.06	0.056	0.005
MK	3	0.038	0.038	0.038	0.000
CV	3	0.024	0.030	0.025	0.005
ST	3	0.017	0.037	0.027	0.010
OE	3	0.020	0.067	0.033	0.012
BC	3	0.012	0.045	0.031	0.018

Tablo 3.31’da görüldüğü gibi; 7 günlük ölçümler sonucunda, ortalama en yüksek genleşmenin AP kodlu kumlar ile üretilen harç çubuklarında, ortalama en düşük genleşmenin ise AS kodlu kumlar ile üretilen harç çubuklarında olduğu belirlenmiştir. Ancak; Tablo 3.31, 3.32, 3.33, 3.34 ve 3.35 incelendiğinde 14, 16, 21 ve 28 günlük ölçümler sonucunda ortalama en yüksek genleşmenin BC kodlu kumlar ile üretilen harç çubuklarında, ortalama en düşük genleşmenin ise yine AS kodlu kumlar ile üretilen harç çubuklarında olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum; BC kodlu örneğin akarsu kökenli olup, çoğunlukla metamorfik kaynaktan beslenmeleri ve dolayısıyla kuvarsların basınç etkisinde kalıp çatlaklı hale gelmelerinden ve ayrıca bu kumların içindeki kalsedon oluşumlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 3.32: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kum örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu 14 günlük boyca uzama yüzdeleri

14 Günlük boyca uzama yüzdesi, E_{14} (%)					
Örnek kodu	Deney sayısı	Min.	Max.	Ortalama	S. sapma
AS	3	0.024	0.039	0.030	0.007
AP	3	0.088	0.093	0.091	0.002
MK	3	0.116	0.126	0.121	0.007
CV	3	0.048	0.070	0.068	0.020
ST	3	0.058	0.121	0.091	0.032
OE	3	0.067	0.100	0.089	0.019
BC	3	0.135	0.173	0.151	0.020

Tablo 3.33: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kum örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu 16 günlük boyca uzama yüzdeleri

16 Günlük boyca uzama yüzdesi, E_{16} (%)					
Örnek kodu	Deney sayısı	Min.	Max.	Ortalama	S. sapma
AS	3	0.026	0.047	0.036	0.010
AP	3	0.094	0.095	0,094	0.0010
MK	3	0.133	0.135	0,134	0.001
CV	3	0.064	0.098	0,080	0.017
ST	3	0.082	0.139	0,107	0.029
OE	3	0.095	0.120	0,111	0.014
BC	3	0.157	0.200	0,173	0.023

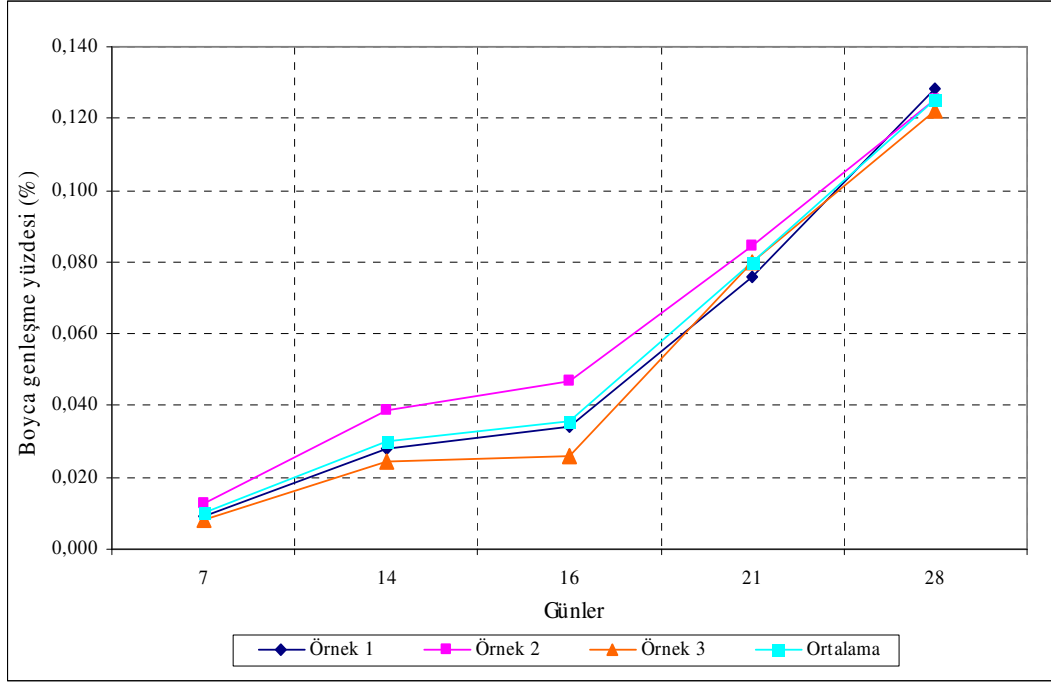
Tablo 3.34: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kum örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu 21 günlük boyca uzama yüzdeleri

21 Günlük boyca uzama yüzdesi, E_{21} (%)					
Örnek kodu	Deney sayısı	Min.	Max.	Ortalama	S. sapma
AS	3	0.076	0.084	0.080	0.004
AP	3	0.105	0.116	0.111	0.006
MK	3	0.187	0.217	0.202	0.021
CV	3	0.107	0.137	0.121	0.015
ST	3	0.108	0.151	0.135	0.024
OE	3	0.131	0.172	0.153	0.021
BC	3	0.191	0.250	0.216	0.030

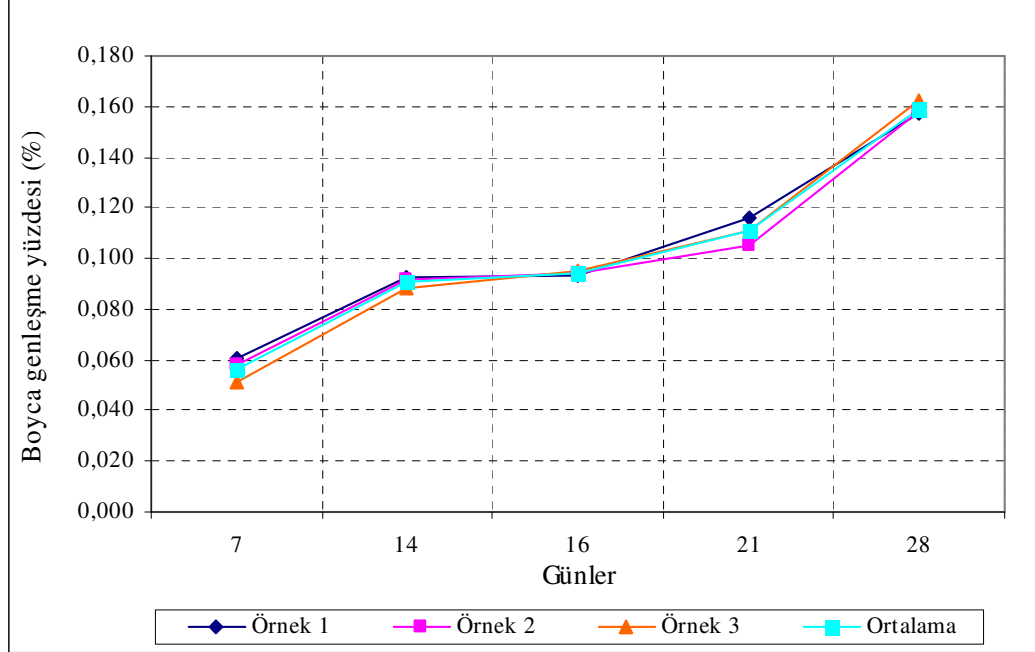
Tablo 3.35: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kum örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu 28 günlük boyca uzama yüzdeleri

28 Günlük boyca uzama yüzdesi, E_{28} (%)					
Örnek kodu	Deney sayısı	Min.	Max.	Ortalama	S. sapma
AS	3	0.122	0.128	0,125	0.003
AP	3	0.158	0.162	0,159	0.002
MK	3	0.232	0.239	0,235	0.005
CV	3	0.154	0.174	0,163	0.010
ST	3	0.150	0.213	0,180	0.032
OE	3	0.137	0.191	0,164	0.027
BC	3	0.243	0.298	0,268	0.028

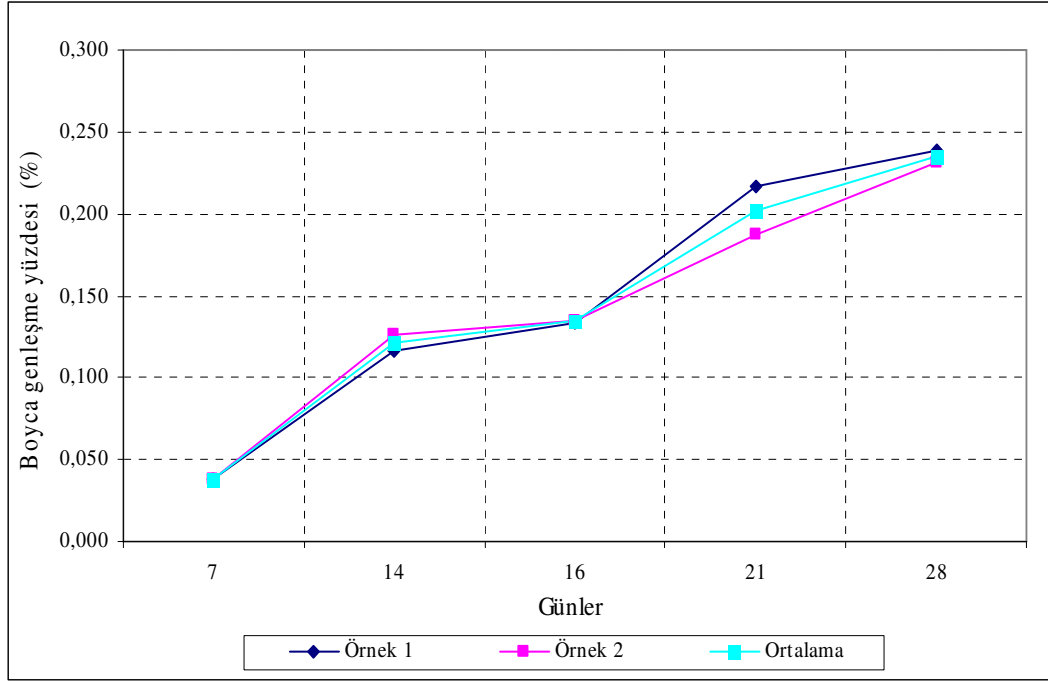
Farklı kum örneklerindeki 7, 14, 16, 21 ve 28 günlük boyca uzama yüzdelerinin değişimi ise Şekil 67, 68, 69, 70, 71, 72 ve 73’de sunulmuştur.



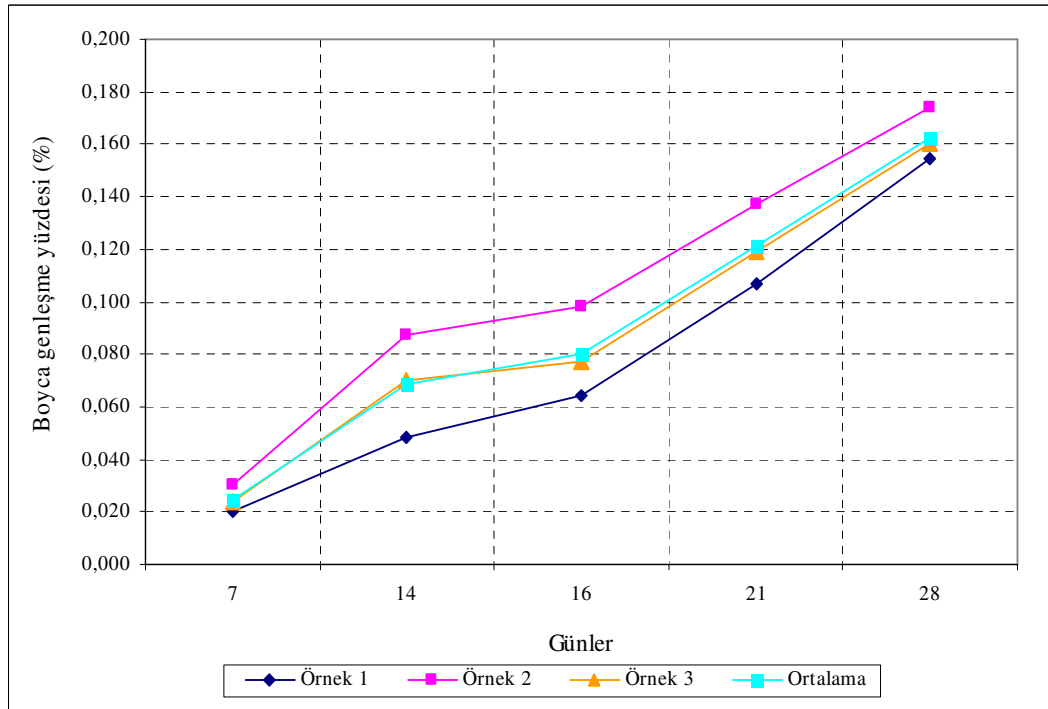
Şekil 3.67: AS kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri



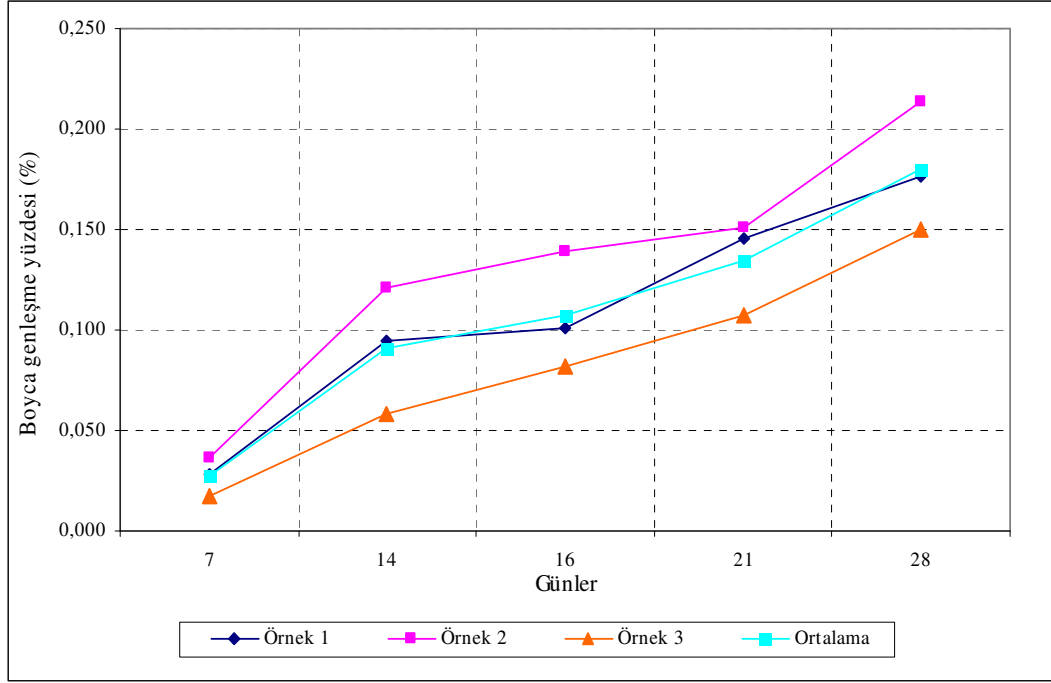
Şekil 3.68: AP kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri



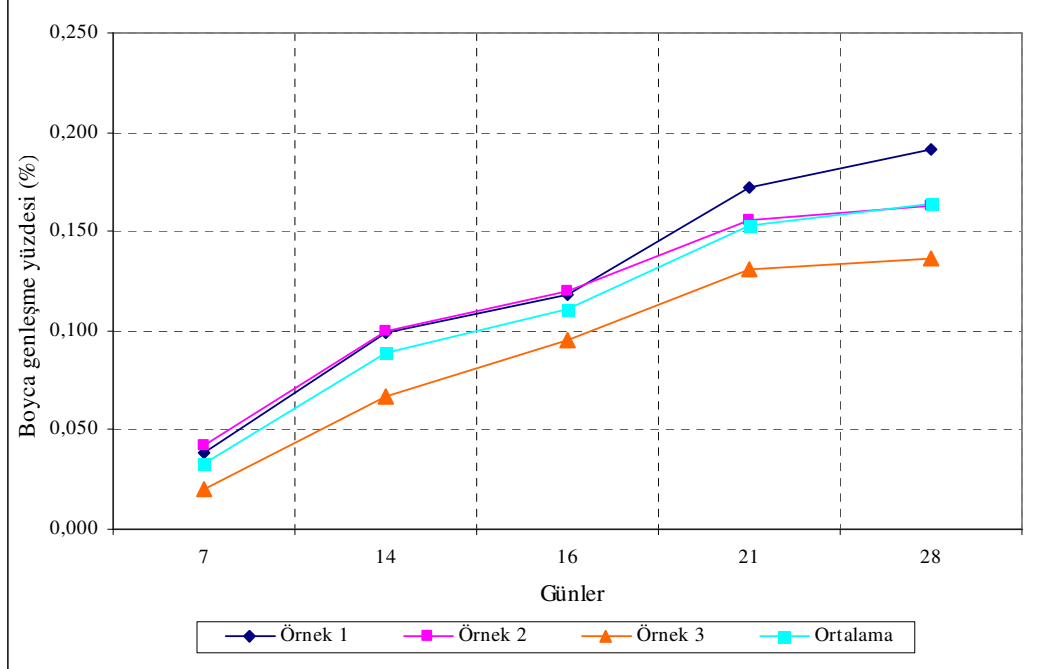
Şekil 3.69: MK kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri



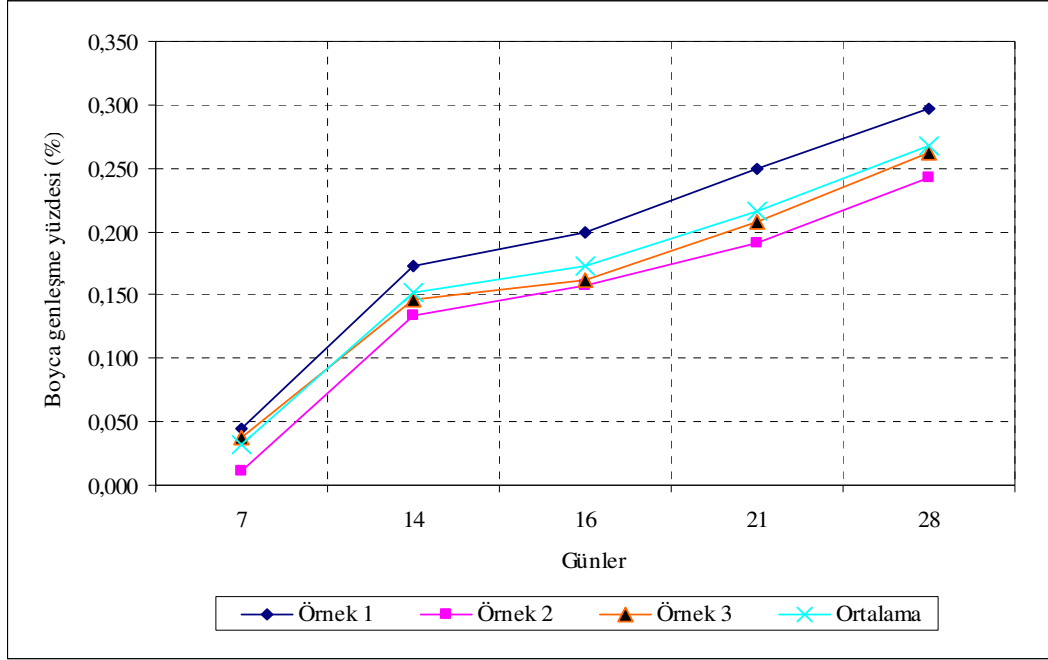
Şekil 3.70: CV kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri



Şekil 3.71: ST kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri

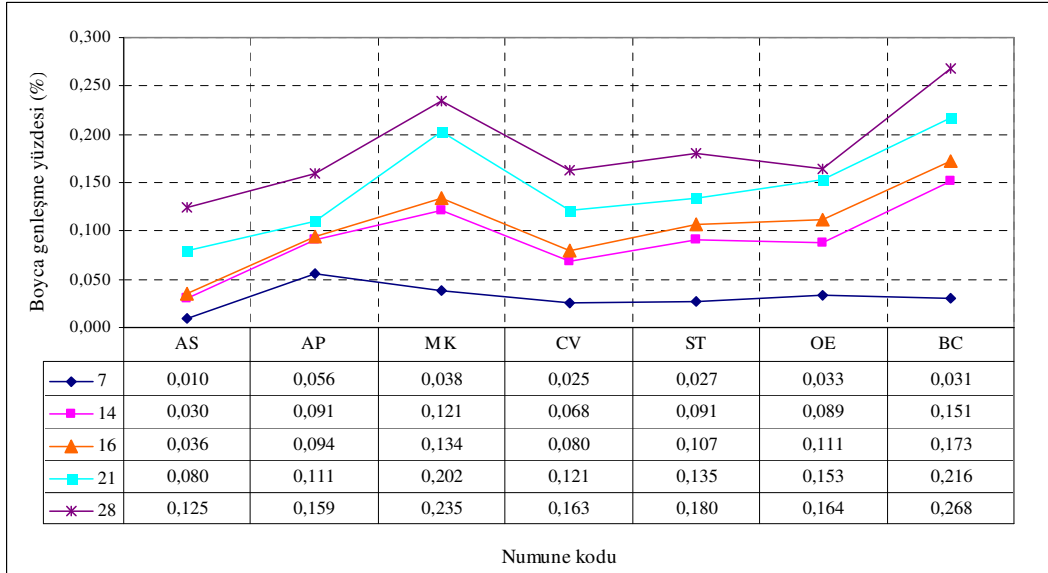


Şekil 3.72: OE kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri



Şekil 3.73: BC kodlu kumlar ile hazırlanan harç çubuklarının ASR sonucu boyca genleşme yüzdeleri

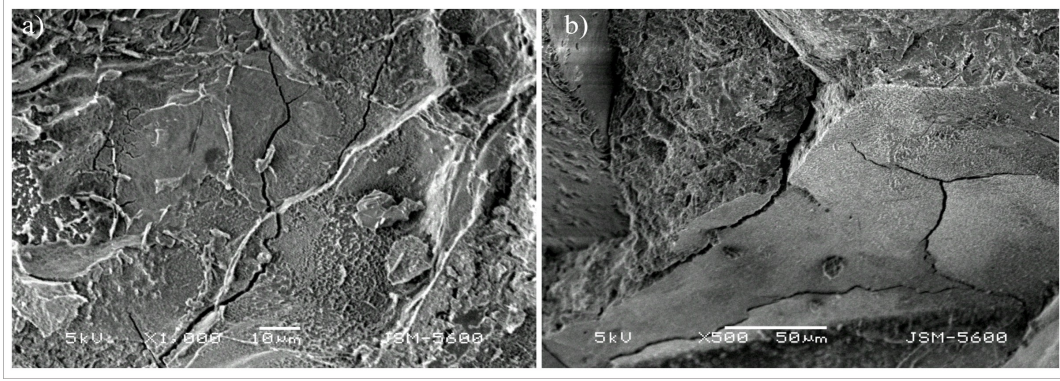
Yıkama-eleme tesislerinden alınan tüm örneklerin 7, 14, 16, 21 ve 28 günlük boyca uzama yüzdelерinin karşılaştırması ise Şekil 3.74’de sunulmuştur. Bu şekilde görüldüğü gibi; hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde en fazla uzama MK ve BC kodlu örneklerde gelişmiştir.



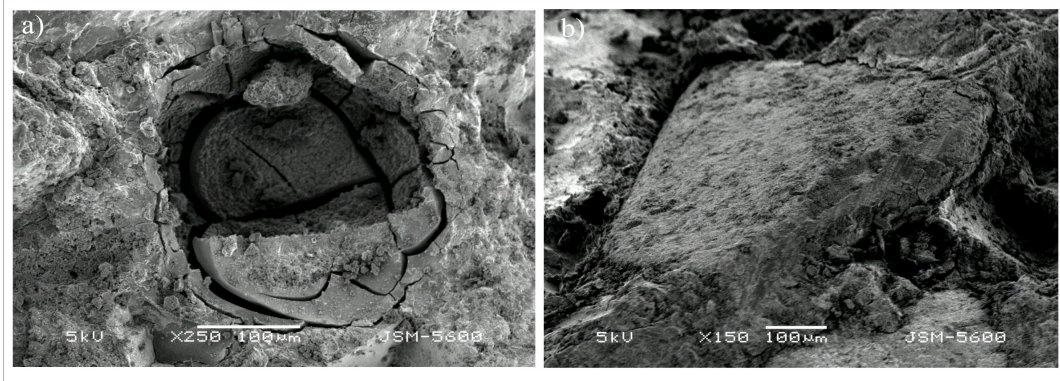
Şekil 3.74: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler kullanılarak yapılan hızlandırılmış harç çubuğu deneyi sonrası harç çubuklarının boyca genleşme yüzdelерinin karşılaştırılması

ASTM C 1260 (1994)'de, 16 günlük genleşme oranlarına göre değerlendirme yapılması gerektiği belirtilmiştir. Buna göre, genleşme oranı % 0.1'den düşük ise agrega “zararsız”, % 0.20 den büyük ise “potansiyel zararlı” kabul edilmekte, % 0.10-0.20 arasında ise ek bilgi sağlayan yöntemlere başvurulmalıdır. Bu yöntemler petrografik analiz ve alkali reaksiyon ürünlerinin tanımlamasıdır. Deney verilerine göre; AS, AP ve CV kodlu kumlar zararlı reaksiyonlara sebep olmaz. Diğer kum örnekleri ise potansiyel olarak zararlı reaksiyonlara sebep olabilir. Alkali-silis reaksiyonunu etkilerini belirlemede kullanılan ve benzer deney yöntemlerinden birisi olan CSA A23.2 (1994)'de ise 21 günlük genleşme oranları dikkate alınmaktadır. Bu standarda göre; 21 günlük genleşmelerin % 0,1'den fazla olması durumunda agregalar reaksiyon açısından sakıncalı olarak değerlendirilmektedir. Genel değerlendirmede, AS kodlu kumun kullanıldığı harç çubuklarının dışında diğer tüm kumların kullanıldığı harç çubuklarındaki 21 günlük genleşme yüzdesi standart limitin üzerindedir. Petrografik incelemelerde kumlar içerisinde tespit edilen, aksif silis mineralleri (çört, kalsedon vb.), metamorfik kaya kökenli kaya kırıntıları ve çatlaklı kuvarslar reaksiyona neden olabilir. Nitekim, Stanton vd. (1942), Bell (1998) ve Gogte (1973) tarafından metamorfizma etkisiyle kuvarsların basınç altında kalmaları ve çatlaklı olmalarının alkali-silis reaksiyonuna neden olabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca CV ve ST kodlu kumların Bölgenin kuzeyinde bulunan Istranca Masifindeki granitlerin dışında fillatlar ile mikaşitlerin beslenmeleri nedeniyle içerdikleri mikalar alkali-silis reaksiyonuna neden olabilir.

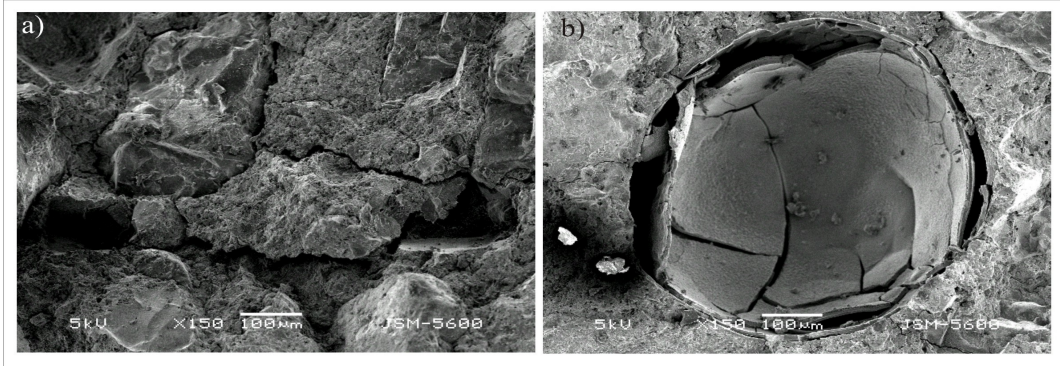
Hızlandırılmış harç çubuğu deney numunelerinin, SEM incelemeleri sonucu, agregaların yüzeyinde ince bir kabuğun (alkali-silis jeli) olduğu ve bu kabukta çatlakların meydana geldiği görülmüştür. Şekil 3.75, 3.76, 3.77, 3.78, 3.79, 3.80 ve 3.81'de agrega yüzeyinde meydana gelen çatlaklar görülmektedir. Bu çatlakların bir bölümü çimento sınırına kadar devam etmekte olup, harcın her yerinde etkili olmamıştır (Şekil 3.76a, 3.77b, 3.78a).



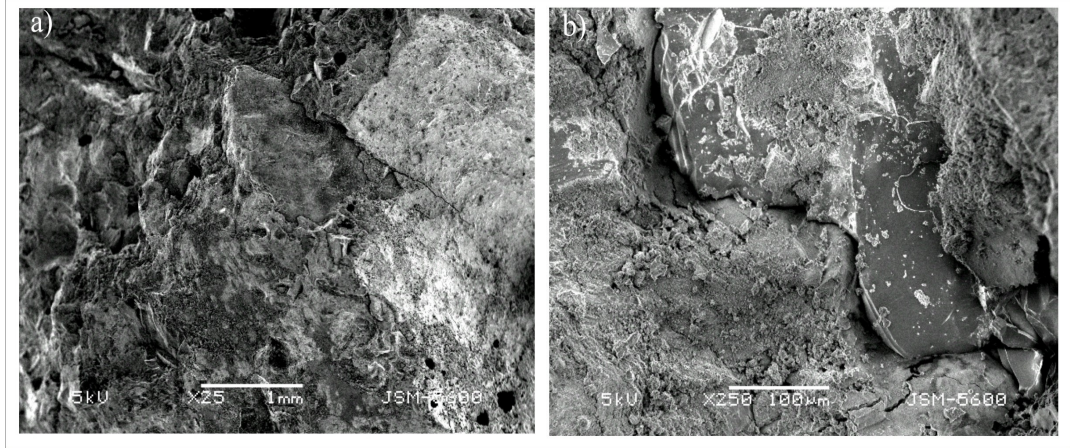
Şekil 3.75: (a) ve (b) AS kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda gelişen jelde görülen tipik genleşme çatlakları



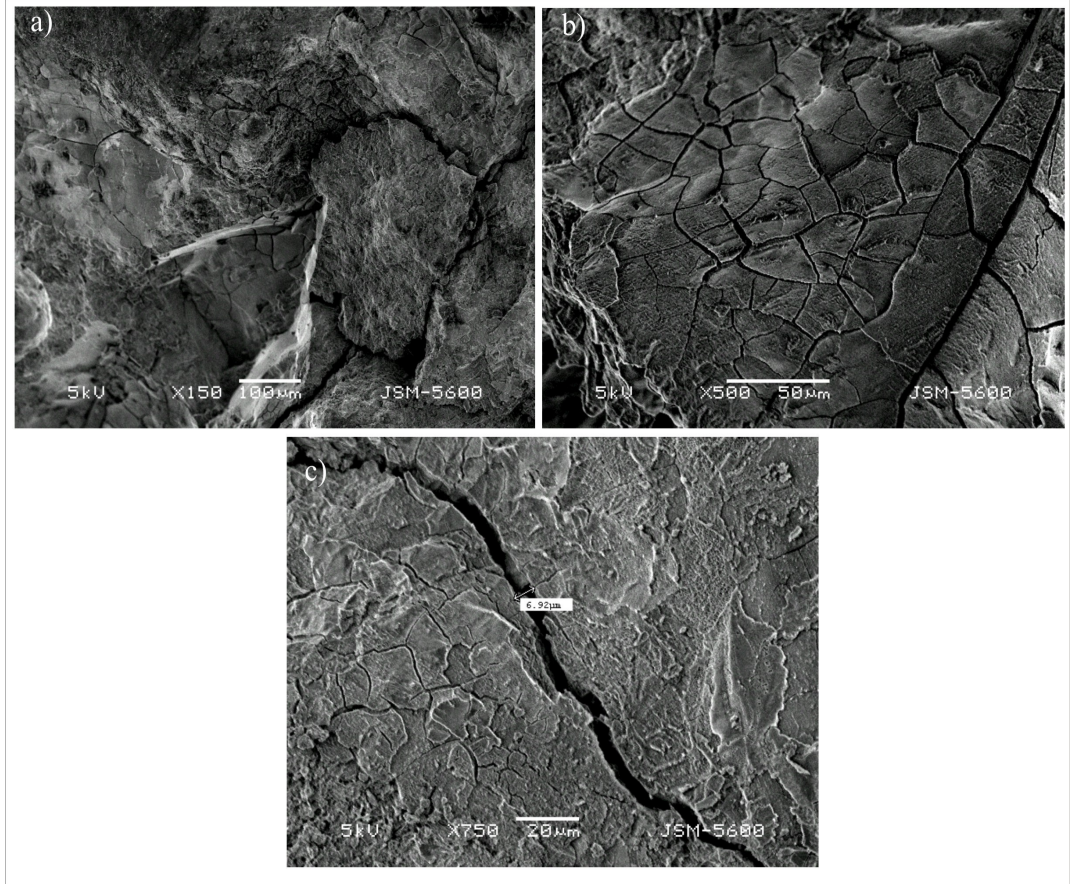
Şekil 3.76: AP kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda gelişen jelde görülen tipik genleşme çatlakları a) tane yüzeyinde ve çatlaklarında gelişen jel ve oluşan çatlaklar b) Çimento ile tane sınırında genleşme nedeniyle görülen ayrılma



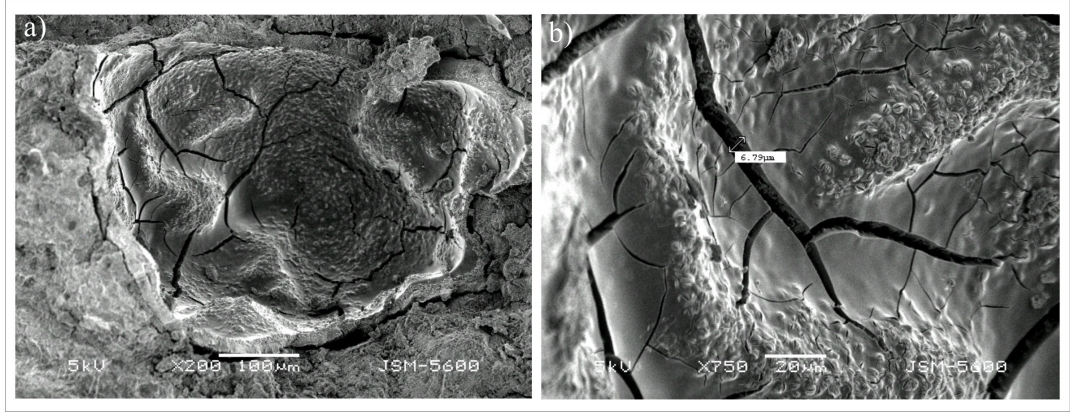
Şekil 3.77: MK kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda a) tane ile çimento kontağında genleşme nedeniyle gelişen ayrılma ve bu hacim değişiminin çimentoda oluşturduğu çatlaklar b) Tane yüzeyinde gelişen jelde görülen tipik genleşme çatlakları



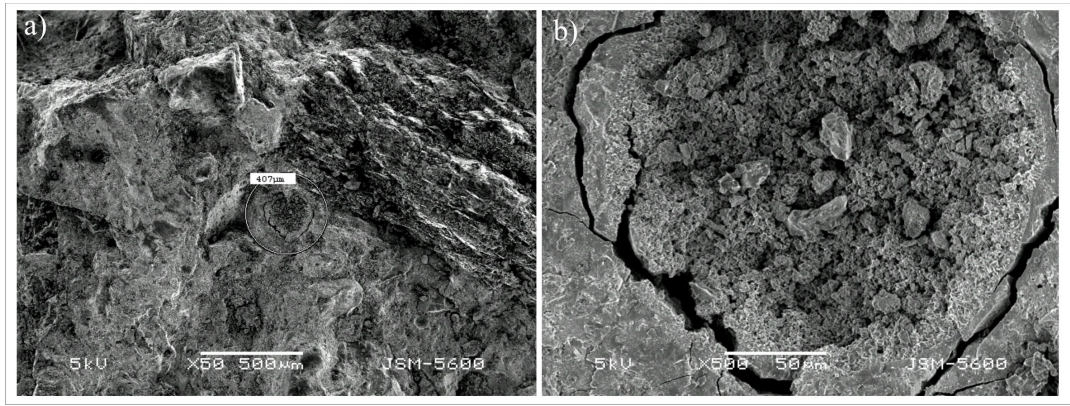
Şekil 3.78: (a) ve (b) CV kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda gelişen jelde görülen tipik genişleme çatlakları



Şekil 3.79: a) ST kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda gelişen jelde oluşan genişleme çatlakları b) aynı çatlakların yakından görünümü c) Çatlak açıklığının yakından görünümü



Şekil 3.80: a) OE kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda gelişen jelde görülen tipik genişleme çatlakları b) aynı çatlakların yakından görünümü



Şekil 3.81: a) BC kodlu kum ile üretilen harç çubukları üzerinde yapılan ASR deneyi sonunda tane yüzeyinde gelişen jelde görülen tipik genişleme çatlakları b) alkali-silis jeli dışında tane yüzeyinde agrega çimento arasındaki reaksiyon nedeniyle gelişen diğer oluşuklar

Özellikle BC kodlu kum örneklerinin betonda ince agrega olarak kullanılmaları durumunda; Fookes (1980) ile Smith ve Collis (2001) tarafından ifade edildiği gibi, düşük alkaliniteye sahip çimentoların ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$ değeri % 0,60'dan düşük) kullanılması yerinde olacaktır. Ayrıca, bu zararlı etkilerden kurtulabilmek için, beton içerisinde puzolonik maddeler kullanılabilir.

3.6. BETON ARAŞTIRMALARI

Doğal kumların beton özelliklerine etkilerini araştırmak amacıyla laboratuvar ortamında deneme betonları üretilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmada; doğal kum

yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler ile bu numunelerin laboratuvarda yıkanmasıyla elde edilen numuneler üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. 7 farklı doğal kumun taze ve sertleşmiş beton özelliklerine olan etkisinin araştırılması kapsamında; eşit ve farklı su/çimento oranında 4 grup altında toplam 28 seri deneme betonu üretilmiştir.

Deneyisel çalışmalar Set Beton Madencilik A.Ş.'nin Merkez Ambarlı AR&GE laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Taze beton üzerinde yapılan deneyler; laboratuvar şartlarında karışım performansı deneyi, taze betonda kıvam tayini deneyi, taze beton yoğunluk deneyi, taze betonda hava muhtevası tayini, sertleşmiş beton üzerinde ise beton basınç dayanımı tayinidir.

3.6.1. Deneme Betonlarında Kullanılan Malzemeler

3.6.1.1. Çimento

Tüm deneylerde, CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Bu çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri üretici tarafından beyan edilmiş olup Tablo 3.30'da belirtilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler TS EN 197-1 (2002)'de belirtilen değerlere uygundur.

3.6.1.2. Agregası

Deneyisel çalışmalarda kullanılacak betonların karışım dizaynlarında farklı kökenli doğal kumlar ile birlikte iri agrega olarak kireçtaşı kökenli kırma taş no 1 (4-12 mm) ve kırma taş no 2 (12-22 mm) kullanılmıştır. Kullanılan iri agregalara ait fiziksel özellikler Tablo 3.36'deki gibidir.

3.6.1.3. Kimyasal Katkı

Kimyasal katkı, beton taze halde iken ilave malzeme olarak ya da beton karışım malzemeleri ile beraber beton karışım işlemi sırasında eklenen kimyasal bir üründür. Kimyasal katkı kullanılmasının nedeni; taze betonun priz süresi, terleme, işlenebilirlik ve karma suyu ihtiyacı, sertleşmiş betonda ise basınç dayanımı gibi özelliklerin iyileştirilmesidir (Neville, 1995). Yapılan çalışmalarda naftalin sülfonat esaslı süper

akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Bu katkıya ait üreticiden alınan deney verileri Tablo 3.37’de sunulmuştur.

Tablo 3.36: Deneme betonlarında kullanılan kaba agregaların fiziksel özellikleri

Agrega tip ve boyutları		Kırmataş no 1 (4-12 mm)	Kırmataş no 2 (12-20 mm)	Standard No
Deney adı		Deney sonuçları		
Aşınmaya karşı direnç (micro deval)	-	16.4		TS EN 1097-1 (2002)
Parçalanma direnci (los angeles)	-	15.4		TS EN 1097-2 (2000)
Gevşek yığın yoğunluğu	kg/m ³	1435	1338	TS EN 1097-3 (1999)
Boşluk hacmi	%	46	50	
Görünür tane yoğunluğu	Mg/m ³	2.732	2.736	TS EN 1097-6 (2002)
Etiv kuru tane yoğunluğu		2.679	2.699	
DYK tane yoğunluğu		2.698	2.712	
Su emme oranı	%	0.63	0.50	TS EN 1367-2 (1999)
Magnezyum Sülfat	%	3.3	-	
Yassılık endeksi	-	13.0	11.0	TS 9582 EN 933-3 (1999)
Tane büyüklüğü dağılımı tayini	Elek boyutu (mm)	Elek altı kümülatif yüzdesi (%, ağırlık)		TS 3530 EN 933-1 (1999)
	31	100	100	
	16	100	53	
	8	58	1	
	4	9	0	
	2	3	0	
	1	0	0	
	0.5	0	0	
	0.25	0	0	

Tablo 3.37: Deneme betonlarında kullanılan kimyasal katkı özellikleri

Özellik		Deney sonuçları
Homojenlik		Homojen
Renk		Kahverengi
Bağıl yoğunluk	g/cm ³	1.20
Katı madde yüzdesi	%	39.06
pH		6.3
Suda çözünebilen klor yüzdesi	%	0.0073
Alkali yüzdesi	%	0.473

3.6.1.4. Karma Suyu

Deneme betonlarının tamamında şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Tabloda görüldüğü gibi deneme betonlarında kullanılan su TS EN 1008 (2003)’de verilen sınır koşullarına göre betonda kullanıma uygundur. Su numunesi üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları Tablo 3.38’de sunulmuştur.

Tablo 3.38: Deneme betonlarında kullanılan şebeke suyu kimyasal analiz sonuçları

Parametre		Deney sonucu	TS EN 1008(2003)'e göre sınır değerler
Klorür, Cl ⁻	mg/L	67	≤ 500
Sülfat, SO ₄ ⁻²	mg/L	64	≤ 2000
Alkaliler (Na ₂ O+K ₂ O)	mg/L	87	≤ 1500
Askıda katı madde	mg/L	< 2	≤ 4
Şeker	mg/L	< 1	≤ 100
Fosfatlar	mg/L	0.07	≤ 100
Nitratlar	mg/L	9.3	≤ 500
Kurşun	mg/L	< 0.01	≤ 100
Çinko	mg/L	0.03	≤ 100
pH		7.72	≥ 4

3.6.2. Agrega Karışımının Granülometrisi

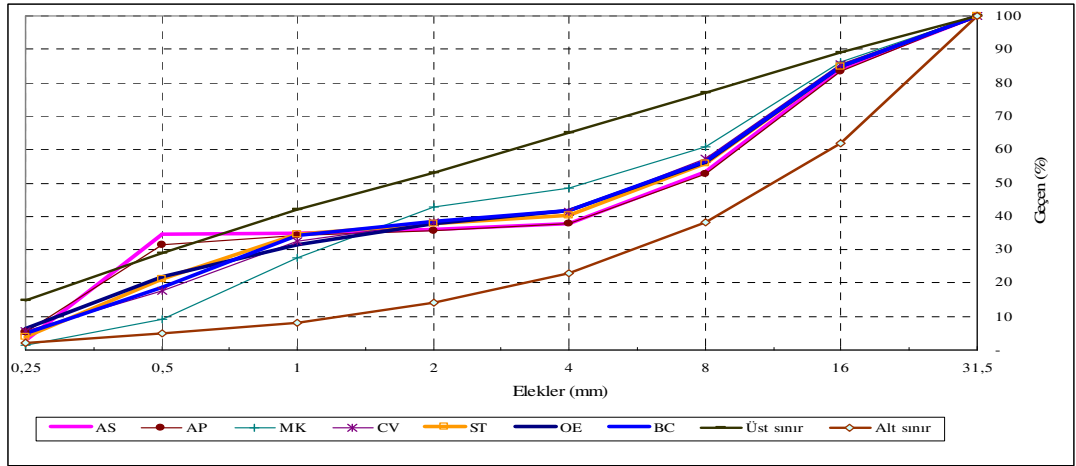
Üretilcek betonun iskeletini oluşturan agregası karışımlarının granülometri eğrisi, granülometri sınır eğrileri tarafından belirlenmiş bir bölge içinde yer almalıdır. Agrega granülometri eğrisinin bu bölge içerisinde kalmasının sağlanması halinde bu agregası karışımı ile üretilcek betonun boşluk miktarı az olacak, karma suyu miktarı büyük bir değeri almayacak, işlenebilirlik özelliği de belli bir düzeyde olacaktır. Böylelikle kalıbına dökülmüş betonun mukavemetinin büyük olması için gerekli koşullar yerine gelmiş olacaktır (Postacıoğlu, 1987).

İnce agregası olarak kullanılan doğal kumların yüzdesi toplam karışımın incelik modülüne göre hesaplanmıştır. Karışımların incelik modülü 4.10 - 4.24 arasında değişmektedir. Karışım dizaynlarında kullanılan doğal kum agregaları ile iri agregası yüzdeleri ve karışımın incelik modülleri Tablo 3.39'de verilmiştir. İncelik modülü dikkate alınarak hesaplanan agregası karışımlarının granülometri eğrileri ise Şekil 3.82 ve 3.83'da sunulmuştur.

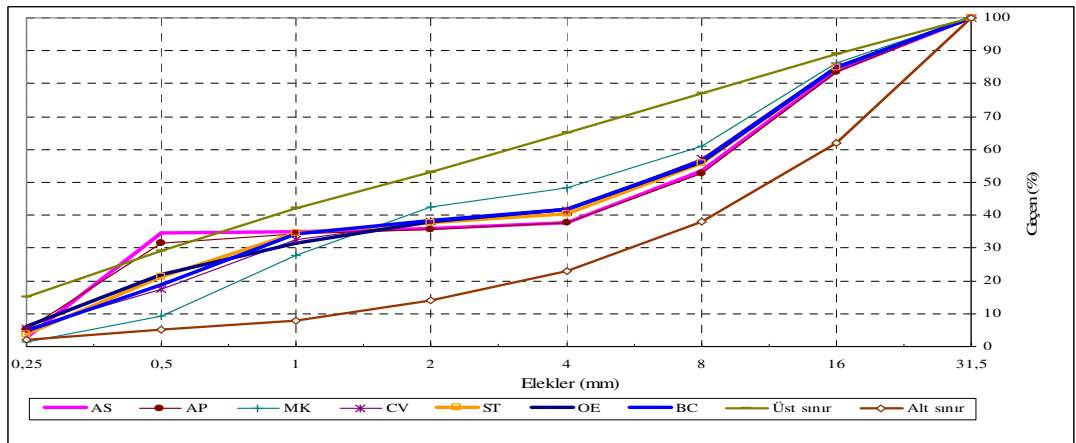
Tablo3.39: Agrega yüzdeleri ve karışımın incelik modülleri

Numune kodu	Karışım dizaynı agrega yüzdeleri (%)							
	Üretim (tesis) Eşit su-eşit katkı				Yıkamış (lab.) Eşit su-eşit katkı			
	Doğal kum	Kırmataş No 1	Kırmataş No 2	Karışım incelik modülü	Doğal kum	Kırmataş No 1	Kırmataş No 2	Karışım incelik modülü
AS	35	31	34	4.10	35	31	34	4.16
AP	35	31	34	4.12	35	30	35	4.19
MK	44	27	29	4.20	46	25	29	4.24
CV	38	30	32	4.17	40	29	31	4.22
ST	36	33	31	4.23	38	30	32	4.22
OE	38	30	32	4.17	39	29	32	4.20
BC	38	30	32	4.22	40	28	32	4.20

*: Beton karışım dizaynları oluşturulurken kırmataş No 1 ve kırmataş No 2 tipi agregalar sabit tutulup doğal kumlar değiştirilmiştir.



Şekil 3.82: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler ile yapılan karışım dizayn granülometrilere



Şekil 3.83: Laboratuvar da yıkamış numuneler üzerinde yapılan karışım dizayn granülometrilere

3.6.3. Beton Karışımları ve Üretimi

Beton karışım dizaynı çalışmalarında aynı tip ve miktarda çimento kullanılmıştır. Taze betonda çökme değeri sabit tutularak, iki farklı karışım hesabı yapılmıştır. Belirlenmiş bir çökme değerine ulaşmak için 1. karışımda su/çimento oranı sabit tutulup kimyasal katkı yüzdeleri değiştirilmiş (Tablo 3.40, 3.42), 2. karışımda ise kimyasal katkı yüzdesi sabit tutulup su/çimento oranı değiştirilmiştir (Tablo 3.41, 3.43). Bu amaç için süper akışkanlaştırıcı beton kimyasal katkısı kullanılmıştır. Beton karışımı, istenen, işlenebilme, dayanım, dayanıklılık, hacim sabitliği ve diğer aranan özelliklere sahip en ekonomik betonu elde etmek amacıyla gerekli agrega, çimento, su, hava ve kimyasal katkı maddesi miktarını tespit edebilmek için yapılan hesaptır. Bu amaçla beton bileşim hesaplarında TS 802 (1985)'de önerilen yöntem esas alınmıştır. Beton karışımları için en uygun granülometri seçilmiştir. Üretilen deneme betonları karışım miktarları Tablo 3.40, 3.41, 3.42 ve 3.43'de verilmiştir.

Tablo 3.40: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler ile üretilen ve eşit su/çimento oranına sahip beton karışım miktarları

Malzeme miktarları (kg/m ³)						
Numune kodu	Üretim (tesis) (Eşit su/çimento)					
	Çimento	Su	Doğal kum	Kırmataş No 1	Kırmataş No 2	Kimyasal katkı
AS	300	170	648	594	654	3.6
AP	300	170	648	594	654	3.6
MK	300	170	818	517	558	3.6
CV	300	170	696	575	616	5.1
ST	300	170	652	594	635	4.8
OE	300	170	704	575	616	3.6
BC	300	170	690	575	616	3.6

Tablo 3.41: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler ile üretilen değişik su/çimento oranına sahip beton karışım miktarları

Malzeme miktarları (kg/m ³)						
Numune kodu	Üretim (tesis) (Eşit kimyasal katkı)					
	Çimento	Su	Doğal kum	Kırmataş No 1	Kırmataş No 2	Kimyasal katkı
AS	300	175	628	576	634	3.6
AP	300	175	644	590	649	3.6
MK	300	175	818	517	558	3.6
CV	300	200	666	551	589	3.6
ST	300	190	633	577	617	3.6
OE	300	175	699	571	611	3.6
BC	300	183	678	564	604	3.6

Tablo 3.42: Laboratuvarda yıkanmış numuneler ile üretilen ve eşit su/çimento oranına sahip beton karışım miktarları

Malzeme miktarları (kg/m ³)						
Numune kodu	Yıkanmış (lab.) (Eşit su/çimento)					
	Çimento	Su	Doğal kum	Kırmataş No 1	Kırmataş No 2	Kimyasal katkı
AS	300	170	641	585	654	3.3
AP	300	170	645	571	673	3.3
MK	300	170	838	471	558	3.2
CV	300	170	721	546	596	4.7
ST	300	170	684	569	616	4.3
OE	300	170	716	549	616	3.3
BC	300	170	722	532	616	3.6

Tablo 3.43: Laboratuvarda yıkanmış numuneler ile üretilen değişik su/çimento oranına sahip beton karışım miktarları

Malzeme miktarları (kg/m ³)						
Numune kodu	Yıkanmış (lab.) (Eşit kimyasal katkı)					
	Çimento	Su	Doğal kum	Kırmataş No 1	Kırmataş No 2	Kimyasal katkı
AS	300	167	647	590	649	3.6
AP	300	170	642	568	666	3.6
MK	300	170	834	468	545	3.6
CV	300	180	709	538	577	3.6
ST	300	185	671	558	597	3.6
OE	300	169	719	552	611	3.6
BC	300	170	724	534	612	3.6

3.6.4. Taze Beton Deneyleri

Dizayn edilen ve karışımı hazırlanan taze beton, taşıma, yerleştirme, sıkıştırma, perdahlama ve taze betonun sertleşme sürecinde gerekli olan rijitliği sağlamalıdır. (Dewar, Anderson, 1992). İncelenen kum numuneleri kullanılarak hazırlanan taze betonların özelliklerini ölçmek için yapılan deney metodlarının tarif edildiği TS EN standartları Tablo 3.44’de verilmektedir.

Tablo 3.44: Taze beton deneyleri ile ilgili standartlar

Deney ismi	Standard No
Taze Betondan Numune Alma	TS EN 12350-1 (2002)
Taze Betonda Çökme (Slamp) Deneyi	TS EN 12350-2 (2002)
Taze Beton Yoğunluk Deneyi	TS EN 12350-6 (2002)
Taze Beton Hava İçeriği	TS EN 12350-7 (2002)

3.6.4.1. Taze Betonda İşlenebilme ve Kıvam

İşlenebilir bir beton kolaylıkla yerleştirilebilir olmalıdır, fakat betonun en önemli özelliği olan işlenebilirlik sadece kolayca yerleştirilebilme ve segregasyon direncine sahip olarak tanımlanamaz. Ayrıca arzu edilen işlenebilirlik, farklı durumlardaki betonun sıkıştırılabilme metoduna bağlıdır (Neville, 1995).

Taze beton kıvamı aşağıda belirtilen deney metotlarına göre yapılır (TS EN 206-1, 2002).

- 1- Çökme deneyi,
- 2- Vebe Deneyi,
- 3- Sıkıştırılabilme derecesi deneyi,
- 4- Yayılma deneyi

TS EN 206-1 (2002)'e göre farklı deney yöntemlerine göre kıvam sınıfları Tablo 3.45'de verilmektedir.

Tablo 3.45: TS EN 206-1 (2002)' e göre kıvam sınıfları

Kıvam sınıfları							
Çökme sınıfları		Vebe sınıfları		Sıkıştırılabilme sınıfları		Yayılma sınıfları	
Sınıf	Çökme, mm	Sınıf	Vebe süresi, sn	Sınıf	Sıkıştırılabilme derecesi	Sınıf	Yayılma çapı, mm
S1	10-40	V0	≥ 31	C0	≥ 1.46	F1	≤ 340
S2	50-90	V1	30-21	C1	1.45-1.26	F2	350-410
S3	100-150	V2	20-11	C2	1.25-1.11	F3	420-480
S4	160-210	V3	10-6	C3	1.10-1.04	F4	490-550
S5	≥ 220	V4	5-3			F5	560-620
						F6	≥ 630

İşlenebilme özelliğinin sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığına önemli derecede etki etmesi nedeniyle, üretilen tüm betonları en iyi şekilde karşılaştırmak için çökme değeri sabit tutulmuştur. Taze beton kıvamının (veya işlenebilirliğinin) ölçülebilmesi için TS EN 12350-2 (2002)'de önerilen çökme metodu kullanılmıştır. Karışımların hepsinde çökme değerinin 180 ± 20 mm olması hedeflenmiştir.

3.6.4.2. Taze Beton Yoğunluk Deneyi

Birim hacim içine sıkıştırılarak yerleştirilen taze betonun ağırlığı taze beton yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır. Taze betonun birim ağırlığının bilinmesi, beton karışım hesapları için gereklidir. Bunun yanı sıra, taze betonun birim ağırlığının ölçülmesi,

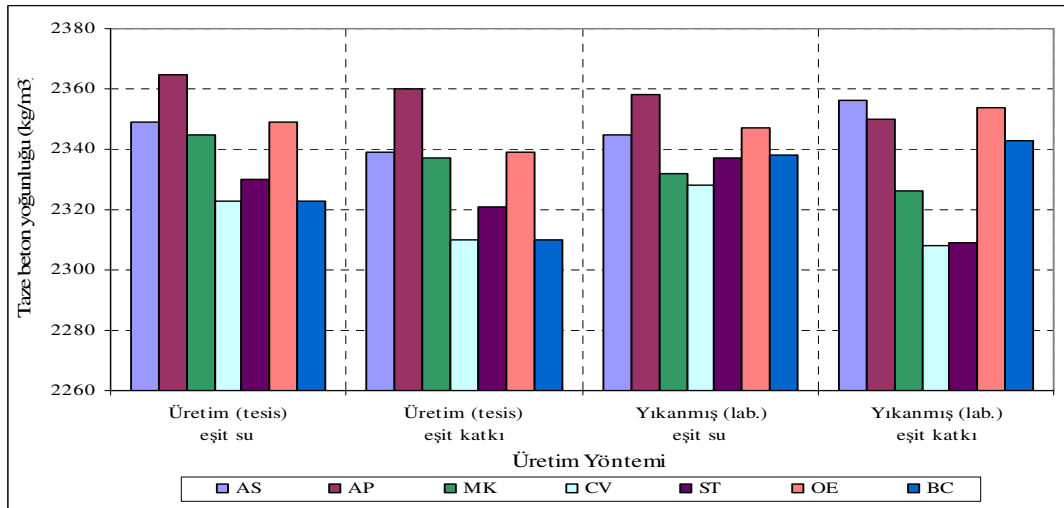
Üretilen beton kalitesini kontrol amacıyla sk sık uygulanan bir işlem durumundadır (Erdoğan, 2003).

Beton yoğunluğu TS EN 206-1 (2002) standardında tarif edildiği üzere kendi içinde  snfa ayrılır. Bunlar:

1. Hafif beton: Etüv kuruu durumundaki yoğunluğu 800 kg/m^3 veya daha büyük olup, 2000 kg/m^3 geçmeyen beton,
2. Normal beton: Etüv kuruu durumundaki yoğunluğu 2000 kg/m^3 büyük olup, 2600 kg/m^3 geçmeyen beton,
3. AĞır beton: Etüv kuruu durumundaki yoğunluğu 2600 kg/m^3 büyük olan beton olarak snflandırılırlar. Bu alıma kapsamında üretilen bütün betonlar normal ağırlıklı beton snflına girmektedir. Üretilen betonların yoğunlukları TS 12350-6 (2002)'ya göre belirlenmiş olup, sonuçlar Tablo 3.46'deki gibidir.

Tablo 3.46: Üretilen taze betonların yoğunlukları

Taze beton yoğunlukları (kg/m^3)				
Numune kodu \ retim Yöntemi	retim (tesis) eşit su	üretim (tesis) eşit katkı	Yıkandı (lab.) eşit su	Yıkandı (lab.) eşit katkı
AS	2349	2339	2345	2356
AP	2365	2360	2358	2350
MK	2345	2367	2332	2326
CV	2323	2310	2328	2308
ST	2330	2321	2337	2309
OE	2354	2347	2347	2354
BC	2340	2344	2338	2343



Şekil 3.84: Üretilen taze beton yoğunluklarının kıyaslanması

Taze beton yoğunluğunu, betonda kullanılan su miktarı, çimento ve agregaların yoğunlukları ve hava miktarı denetlemektedir. Yıkama-eleme tesislerinden alınan ve laboratuvarında yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranında hazırlanan karışımların yoğunluklarındaki farklılık; incelenen kumların özgül ağırlıkları ve taze beton hava miktarlarından kaynaklanmaktadır. tesislerden alınan ve laboratuvarında yıkanan numuneler ile farklı su/çimento oranında hazırlanan karışımların yoğunluklarındaki farklılık ise; incelenen kumların yoğunlukları ve hava miktarlarının yanısıra karışımda kullanılan değişik su miktarlarından kaynaklanmaktadır.

3.6.4.3. Taze Beton Hava İçeriği Deneyi

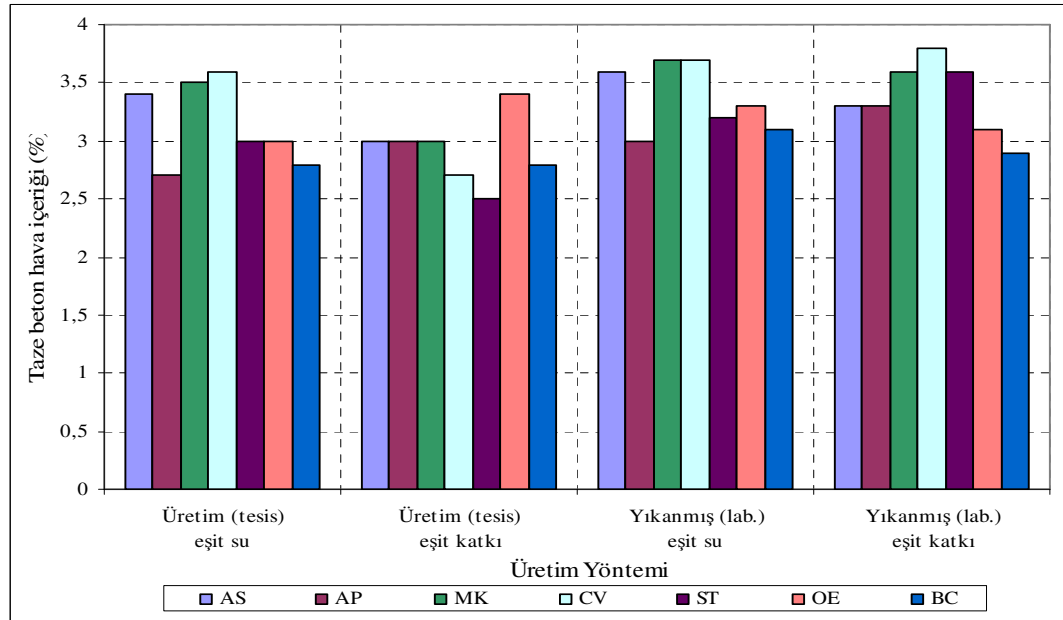
Betonun karılması ve taşınması sırasında taze beton karışımı içerisine bir miktar hava kendiliğinden girmektedir. Taze beton içerisinde kalan bu havaya hapsolmuş hava denilmektedir. Ayrıca karışıma eklenen özel katkı maddesi ile, betonun yapısında homojen bir şekilde yayılmış çok küçük hava kabarcıkları oluşur (Baradan, 2004). Bu katkı maddelerine hava sürükleyici katkı maddeleri, oluşturulan havaya da sürüklenmiş hava denilmektedir.

Betonun boşluk yapısı ve oranı betonun geçirimliliği ile doğrudan bağlantılıdır. Sıvıların ve gazların beton içine iletimi bu yolla olur ve zararlı maddeler bu şekilde betonun içine taşınır. Betonun içine sızan sülfatlar ve asitler genişlemeye neden olarak betonun çatlayıp dökülmesine, oksijen ve klor donatının korozyonuna, boşlukların suyla dolu duruma gelmesi donma sonucunda büyük genişlemelere neden olmaktadır. Dayanım açısından ise hava boşluğunun % 1 artması % 5 dayanım kaybına sebep olmaktadır (Postacıoğlu, 1987).

Taze beton içerisindeki hava miktarının tayini TS EN 12350-7 (2002)'de belirtilen yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 3.47'da sunulmuştur.

Tablo 3.47: Taze beton hava içerikleri

Taze beton hava içeriği (%)				
Numune kodu \ Üretim yöntemi	Üretim (tesis) eşit su	Üretim (tesis) eşit katkı	Yıkanmış (lab.) eşit su	Yıkanmış (lab.) eşit katkı
AS	3.4	3.0	3.6	3.3
AP	2.7	3.0	3.0	3.3
MK	3.5	3.0	3.7	3.6
CV	3.6	2.7	3.7	3.8
ST	3.0	2.5	3.2	3.6
OE	3.0	3.4	3.3	3.1
BC	2.8	2.8	3.1	2.9



Şekil 3.85: Taze beton hava içeriklerinin kıyaslanması

3.6.4.4. Taze Beton Sıcaklığı Deneyi

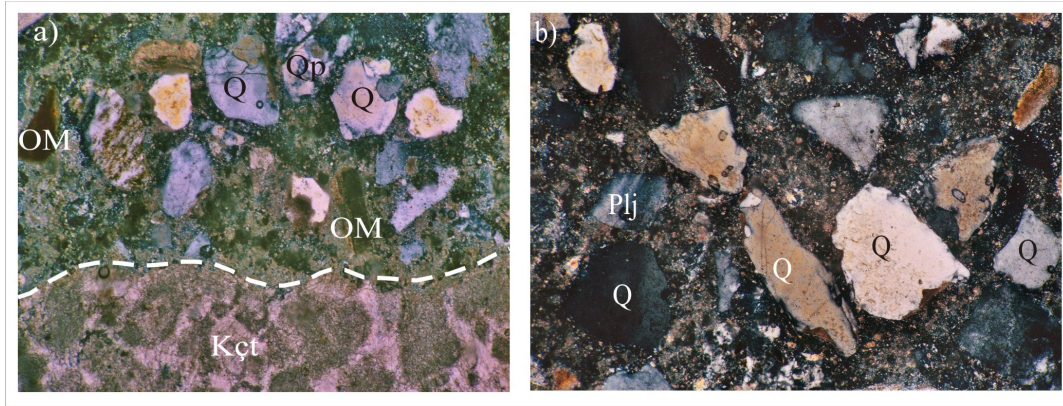
Taze betonun sahip olduğu sıcaklık, taze beton özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. TS EN 206-1 (2002)'e göre taze betonun teslim anında ölçülen beton sıcaklığı +5 °C'den düşük olmamalıdır. Sıcaklığın + 5 °C'nin altına düşmesi durumunda beton içerisindeki çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar çok yavaşlamaktadır. Bir çok ülke standardına göre, beton dökümü esnasında ideal sıcaklık 15-16 °C, ve normal olarak kabul edilen sıcaklık ise 5 °C ile 30 veya 32 °C arasındadır. (Erdoğan, 2003). Üretilen taze betonların hepsi laboratuvar koşullarında hazırlandığı için sıcaklıkları 20 ± 2 °C'dir.

3.6.5. Sertleşmiş Betonlar Üzerinde Yapılan Araştırmalar

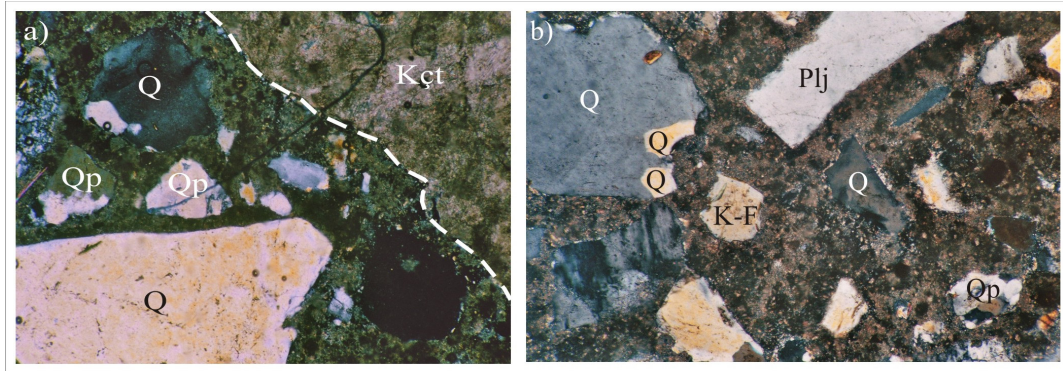
İncelenen kumların kullanıldığı sertleşmiş betonlar üzerinde petrografik araştırmalar yapılmıştır. Daha sonra 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir.

3.6.5.1. Petrografik İncelemeler

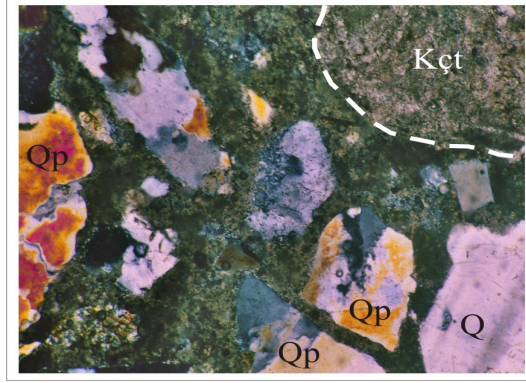
Sertleşmiş beton örneklerinden hazırlanan ince kesitler üzerinde polarizan mikroskobu ile incelemeler yapılmıştır. Şekil 3.86, 3.87, 3.88, 3.89, 3.90 ve 3.91’de görüldüğü gibi beton harcı içerisindeki incelenen kum taneleri ile beton karışımında iri agrega olarak kullanılan kireçtaşlarının beton harcı ile sınırı açıkça görülmektedir. Bu şekillerde görülen mineraller binoküler mikroskop çalışmaları ile XRD analizlerinde saptanan mineraller ile uyumludur. Ayrıca, kayaç parçaları da açıkça görülmektedir.



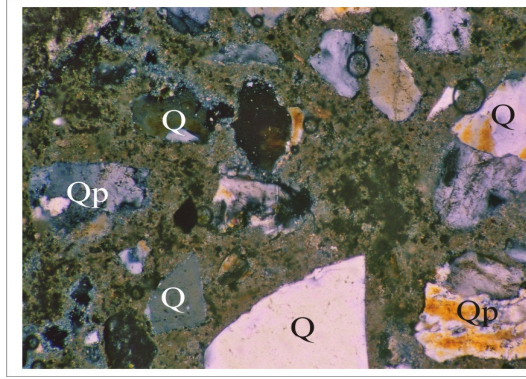
Şekil 3.86: AP Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü (Çift Nikol, 25X) a) Kireçtaşı iri agregası ile kumlu harç kontağı b) Kumların çimento harcı içindeki görünümü (Q: Kuvars, Qp: Kuvarsit parçası, Plj: Plajiolklas, Kçt: Beton karışımlarında kullanılan iri kireçtaşı agregası)



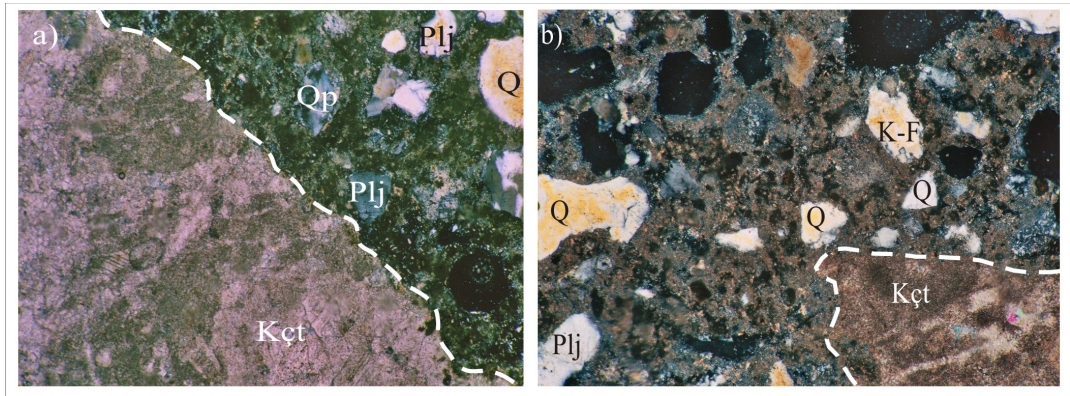
Şekil 3.87: MK Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü (Çift Nikol, 25X) a) Kireçtaşı iri agregası ile kumlu harç kontağı b) Kumların çimento harcı içindeki görünümü (Q: Kuvars, Qp: Kuvarsit parçası, Plj: Plajiolklas, K-F: K-Feldispat, Kçt: Beton karışımlarında kullanılan iri kireçtaşı agregası)



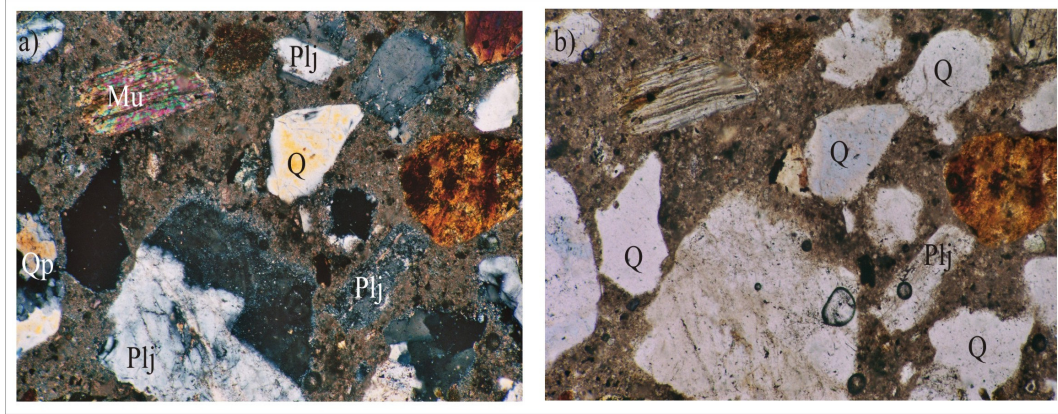
Şekil 3.88: CV Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü (Çift Nikol, 25X) (Q: Kuvars, Qp: Kuvarsit parçası, Kçt: Beton karışımlarında kullanılan iri kireçtaşı agregası)



Şekil 3.89: ST Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü (Çift Nikol, 25X) (Q: Kuvars, Qp: Kuvarsit parçası)



Şekil 3.90: OE Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü (Çift Nikol, 25X) a) Kireçtaşı iri agregası ile kumlu harç kontağı b) Kumların çimento harcı içindeki görünümü (Q: Kuvars, Qp: Kuvarsit parçası, Plj: Plajiolklas, K-F: K-Feldispat, Kçt: Beton karışımlarında kullanılan iri kireçtaşı agregası)



Şekil 3.91: BC Kodlu kum ile üretilen betonun polarizan mikroskobundaki görünümü (25X) a) Çift nikol, çimento harcı içerisindeki doğal kum taneleri ile boşluklar b) Tek nikol (Q: Kuvars, Qp: Kuvarsit parçası, Plj: Plajiolklas, Mu: Muskovit)

3.6.5.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Bu araştırmada sertleşmiş betonun en önemli özelliği olarak nitelendirilebilen basınç dayanımını belirlemek amacıyla, TS EN 12390-2 (2002)'e göre hazırlanan küp numuneleri üzerinde TS EN 12390-3 (2002)'ye göre tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Deneyler Set Beton Madencilik San. ve Tic. A.Ş. Ambarlı Merkez AR&GE Laboratuvarında yapılmıştır.

3.6.5.2.1. Sertleşmiş Betonda Basınç Dayanımı Tayini

Betonun basınç dayanımı, eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti (eksenel basınç yükü, betonda oluşan maksimum gerilme) olarak tanımlanır (Erdoğan, 2003).

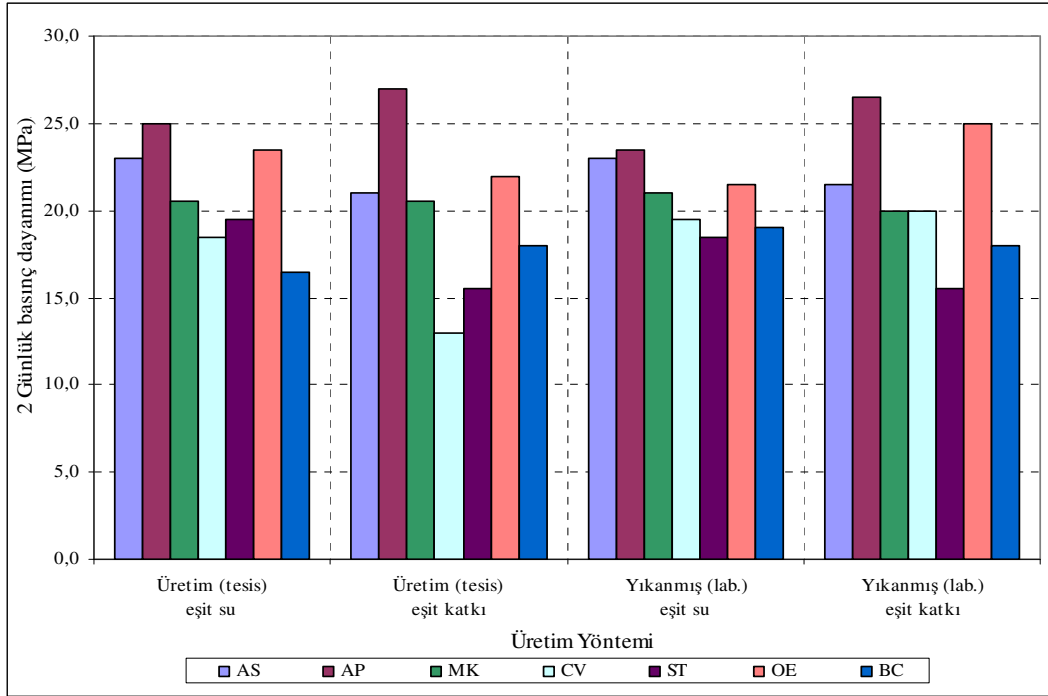
Betonun tüm mekanik özellikleri arasında en önemli olanı ve değeri en büyük olanı basınç dayanımıdır. Ancak betonun çekme dayanımı oldukça zayıftır. Malzemenin bu özelliği göz önüne alınarak betonarme yapı sistemi doğmuştur (Baradan, 2004).

TS EN 206-1 (2002) Standardında beton sınıflarının sağlaması gereken minimum dayanım miktarları yer almaktadır. Betonun basınç dayanımını ölçmek için TS EN 12390-3 (2003)'de verilen yöntem kullanılmaktadır. TS EN 12350-1 (2002) standardının tarif ettiği metoda göre taze betondan 15*15*15 boyutlarındaki küp kalıplarla numuneler alınmıştır. Bu numuneler 2., 7. ve 28. günde tek eksenli basınç

dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler kırılma gününe kadar 20 ± 2 °C sabit sıcaklıktaki kür havuzunda bekletilmek suretiyle kür işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir karışımdan 2, 7, ve 28 günlük basınç dayanımı tayini için 6’şar adet küp numunesi alınmıştır. Deney sonuçları Tablo 3.48’de sunulmuştur.

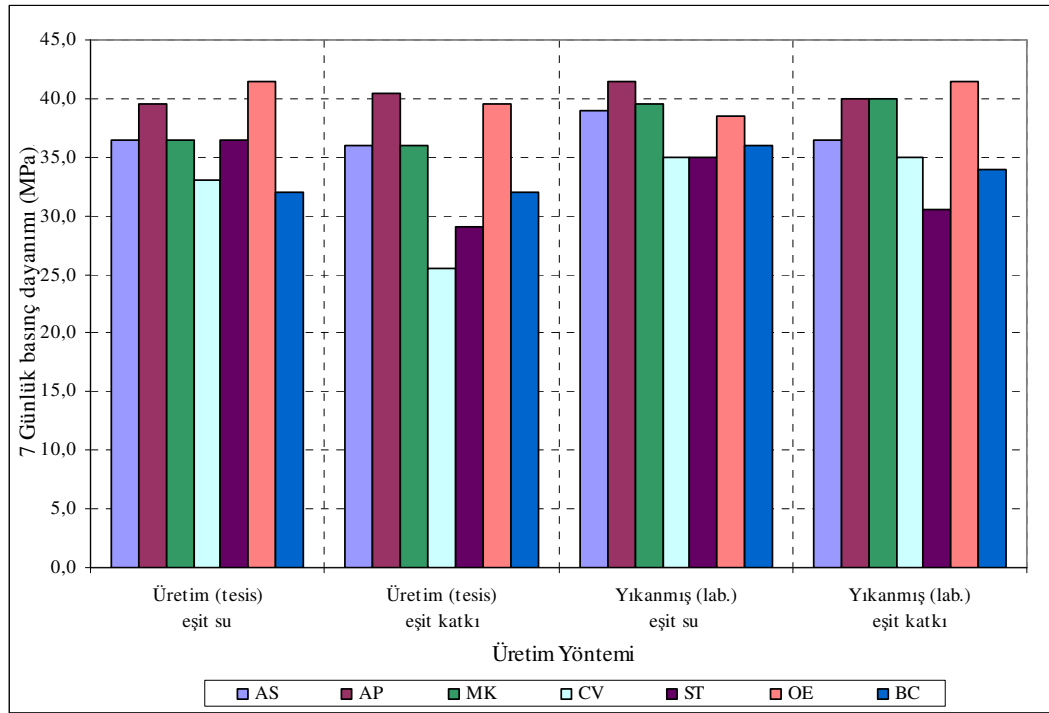
Tablo 3.48: Deneme betonları 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Basınç dayanımı (MPa)												
Üretim yöntemi Numune kodu	Üretim (tesis) eşit su			Üretim (tesis) eşit katkı			Yıkanmış (lab.) eşit su			Yıkanmış (lab.) eşit katkı		
	2	7	28	2	7	28	2	7	28	2	7	28
AS	23.0	36.5	46.0	21.0	35.5	45.5	23.0	39.0	49.0	21.5	36.5	46.0
AP	25.0	39.5	48.0	27.0	40.5	50.0	23.5	41.5	51.0	26.5	40.0	50.5
MK	20.5	36.5	46.0	20.5	36.0	46.5	21.0	39.5	49.0	20.0	40.0	47.5
CV	18.5	33.0	42.0	13.0	35.5	34.5	19.5	35.0	47.5	20.0	35.0	44.0
ST	19.5	36.5	43.5	15.5	29.0	39.0	18.5	35.0	45.5	15.5	30.5	39.0
OE	23.5	41.5	50.0	22.0	39.5	50.0	21.5	38.5	51.0	25.0	41.5	51.5
BC	16.5	32.0	44.5	18.0	32.0	43.0	19.0	36.0	47.5	18.0	34.0	43.0



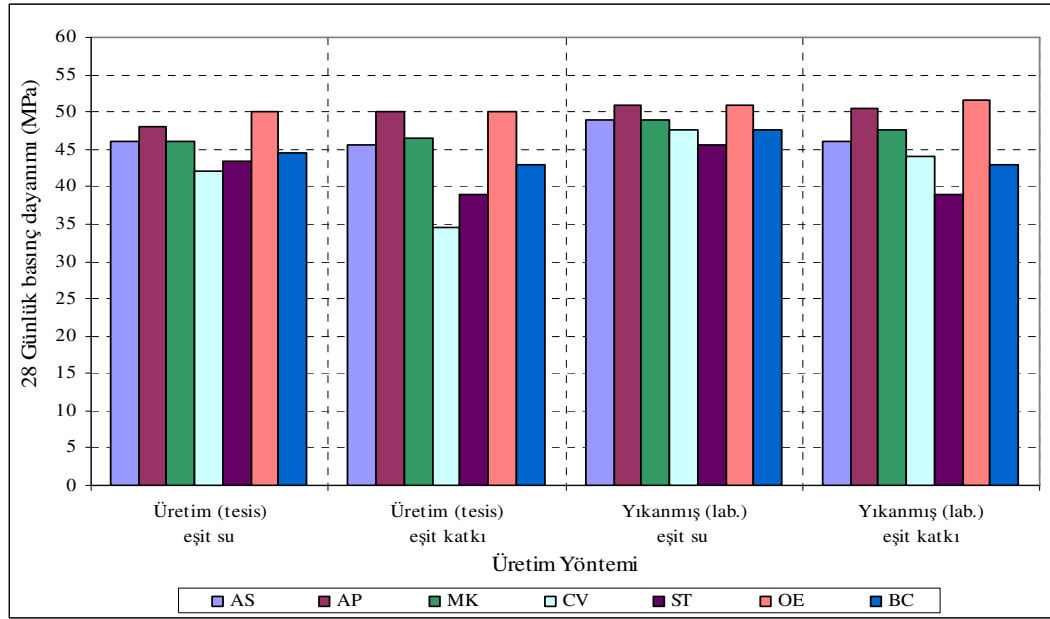
Şekil 3.92: Deneme betonlarının 2 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Tablo 3.48 ve Şekil 3.92’de görüldüğü gibi; yıkama-eleme tesislerinden alınan ve eşit su/çimento oranı ile hazırlanan betonlarda 2 günlük basınç dayanımlarında en düşük sonucu BC kodlu numune; farklı su/çimento oranı ile hazırlanan betonlarda ise en düşük sonucu CV kodlu numune ile hazırlanan betonlar, en yüksek sonucu ise her iki denemede de AP kodlu numune ile hazırlanan betonlar vermiştir. Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile hazırlanan betonlar incelendiğinde; eşit ve farklı su/çimento oranı ile hazırlanan betonlarda en düşük sonuçları ST kodlu, en yüksek sonuçları ise AP kodlu numune ile hazırlanan betonlar vermiştir.



Şekil 3.93: Deneme betonlarının 7 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Tablo 3.48 ve Şekil 3.93’de görüldüğü gibi; yıkama-eleme tesislerinden alınan ve eşit ve farklı su/çimento oranları ile hazırlanan betonlarda 7 günlük basınç dayanımlarında en düşük sonucu BC kodlu numune; en yüksek sonucu ise her iki denemede de OE kodlu numune ile hazırlanan betonlar vermiştir. Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile hazırlanan betonlar incelendiğinde; eşit su/çimento oranları ile hazırlanan betonlarda en düşük sonuçları CV ve ST kodlu, en yüksek sonucu ise AP kodlu, farklı su/çimento oranları ile hazırlanan betonlarda en düşük sonucu ST kodlu, en yüksek sonucu ise OE kodlu numuneler ile hazırlanan betonlar vermiştir.



Şekil 3.94: Deneme betonlarının 28 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Tablo 3.48 ve Şekil 3.94’de görüldüğü gibi; yıkama-eleme tesislerinden alınan ve eşit su/çimento oranları ile hazırlanan betonlarda 28 günlük basınç dayanımlarında en düşük sonucu BC kodlu numune; en yüksek sonucu OE kodlu, farklı su/çimento oranı ile hazırlanan betonlarda ise en düşük sonucu CV, en yüksek sonuçları AP ve OE kodlu numuneler ile hazırlanan betonlar vermiştir. Laboratuvarda yıkanmış numuneler ile hazırlanan betonlar incelendiğinde; eşit su/çimento oranları ile hazırlanan betonlarda en düşük sonucu ST kodlu, en yüksek sonucu ise AP ve OE kodlu, farklı su/çimento oranları ile hazırlanan betonlarda en düşük sonucu ST kodlu, en yüksek sonuçları ise OE kodlu numuneler ile hazırlanan betonlar vermiştir.

3.7. HARÇ ARAŞTIRMALARI

İncelenen kumların çimento pastası özelliklerine etkilerini araştırmak amacıyla laboratuvar ortamında deneme harçları üretilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmada; yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler, bu numunelerin Laboratuvarda yıkanmış numuneler ve laboratuvarda yıkanmış numunelerin 1 mm elekten elenmesiyle elde edilen numuneler ile harçlar hazırlanmıştır. Daha sonra taze ve sertleşmiş harç özellikleri incelenmiştir. 7 farklı doğal kumun taze ve sertleşmiş harç özelliklerine olan etkisinin araştırılması kapsamında eşit su/çimento ve değişik su/çimento oranında 5

grup altında toplam 35 seri harç karışımı üretilmiştir. Sertleşen harç örnekleri üzerinde öncelikle petrografik incelemeler yapılmıştır. Daha sonra aynı örnekler elektron mikroskopunda incelenmiştir. Üretilen harçlar üzerinde ayrıca yayılma ve basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler TS EN standartlarında belirtildiği şekilde yapılmıştır. Deneyisel çalışmalar Set Beton Madencilik A.Ş.'nin Merkez Ambarlı AR&GE Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Harç numunelerinin hazırlanmasında doğal kumların yanında Tablo 3.30'da sunulan çimento, Tablo 3.37'de sunulan kimyasal katkı ve Tablo 3.38'de sunulan şebeke suyu kullanılmıştır.

3.7.1. Harç Karışımları ve Üretimi

Harç karışım hesaplarında yayılma deneyi ASTM C 230'a göre yapılmış ve hedef yayılma değeri 150 ± 30 mm alınarak, iki farklı karışım hesabı yapılmıştır. Aynı yayılma değerine ulaşmak için 1. karışımında su/çimento oranı sabit tutulup kimyasal katkı yüzdeleri değiştirilerek 2. karışımında ise kimyasal katkı yüzdesi sabit tutulup su/çimento oranı değiştirilmiştir. Bütün harç deneme çalışmalarında TS EN 196-1 (2002)'e göre çimento ve kum miktarları 1'e 3 sabit olarak kullanılmış, çalışmanın kapsamına göre su veya kimyasal katkı miktarları değiştirilmiştir. Harç karışımlarında kullanılan malzeme miktarları Tablo 3.49, 3.50, 3.51, 3.53 ve 3.54'de verilmektedir.

Tablo 3.49: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kum numuneleri ile üretilen ve eşit su/çimento oranına sahip harçların karışım miktarları

Malzeme miktarları ve karışım özellikleri								
Numune kodu	Üretim (tesis) (Eşit su)							
	Çimento (g)	Su (g)	Doğal kum (g)	Kimyasal katkı (g)	S/Ç	Yayılma (cm)	Metilen m. (g(boya)/kg(num.))	İncelik m.
AS	450	280	1350	2.97	0.62	16	1.0	0.75
AP	450	280	1350	2.52	0.62	15	1.3	0.80
MK	450	280	1350	0.00	0.62	15	1.6	2.04
CV	450	280	1350	8.10	0.62	16	2.3	1.36
ST	450	280	1350	8.10	0.62	15	1.5	1.27
OE	450	280	1350	0.99	0.62	15	1.0	1.34
BC	450	280	1350	0.99	0.62	16	1.5	1.48

Tablo 3.50: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kum numuneleri ile üretilen ve farklı su/çimento oranına sahip harçların karışım miktarları

Malzeme miktarları ve karışım özellikleri								
Numune kodu	Üretim (tesis) (Eşit kimyasal katkı)							
	Çimento (g)	Su (g)	Doğal kum (g)	Kimyasal katkı (g)	S/Ç	Yayılma (cm)	Metilen m. (g(boya)/kg(num.))	İncelik m.
AS	450	270	1350	5.4	0.60	16	1.0	0.75
AP	450	266	1350	5.4	0.59	15	1.3	0.80
MK	450	256	1350	5.4	0.57	15	1.6	2.04
CV	450	305	1350	5.4	0.68	15	2.3	1.36
ST	450	300	1350	5.4	0.67	16	1.5	1.27
OE	450	256	1350	5.4	0.57	16	1.0	1.34
BC	450	257	1350	5.4	0.57	15	1.5	1.48

Tablo 3.51: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile üretilen ve eşit su/çimento oranına sahip harçların karışım miktarları

Malzeme miktarları ve karışım özellikleri								
Numune kodu	Yıkanmış (lab.) (Eşit su)							
	Çimento (g)	Su (g)	Doğal kum (g)	Kimyasal katkı (g)	S/Ç	Yayılma (cm)	Metilen m. (g(boya)/kg(num.))	İncelik m.
AS	450	280	1350	2.48	0.62	16	0.5	0.93
AP	450	280	1350	1.49	0.62	16	0.5	0.98
MK	450	280	1350	0.00	0.62	15	0.5	2.24
CV	450	280	1350	5.63	0.62	17	0.4	1.71
ST	450	280	1350	6.3	0.62	15	0.8	1.47
OE	450	280	1350	0.50	0.62	16	0.2	1.57
BC	450	280	1350	0.00	0.62	16	0.5	1.63

Tablo 3.52: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile üretilen ve değişik su/çimento oranına sahip harçların karışım miktarları

Malzeme miktarları ve karışım özellikleri								
Numune kodu	Yıkanmış (lab.) (Eşit kimyasal katkı)							
	Çimento (g)	Su (g)	Doğal kum (g)	Kimyasal katkı (g)	S/Ç	Yayılma (cm)	Metilen m. (g(boya)/kg(num.))	İncelik m.
AS	450	260	1350	5.4	0.58	15	1.0	0.75
AP	450	255	1350	5.4	0.57	15	1.3	0.80
MK	450	245	1350	5.4	0.54	15	1.6	2.04
CV	450	290	1350	5.4	0.64	15	2.3	1.36
ST	450	290	1350	5.4	0.64	16	1.5	1.27
OE	450	245	1350	5.4	0.54	15	1.0	1.34
BC	450	245	1350	5.4	0.54	16	1.5	1.48

Tablo 3.53: Laboratuvarda yıkanmış 1 mm altı elek altı doğal kumların ve farklı su/çimento oranına sahip harçların karışım miktarları

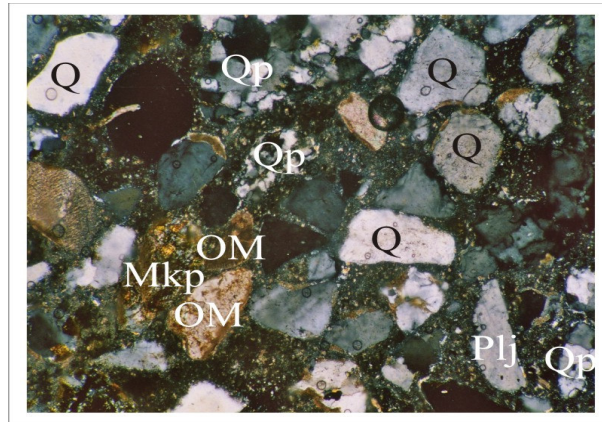
Malzeme miktarları ve karışım özellikleri							
Numune Kodu	1 mm altı yıkanmış (lab.) (Eşit kimyasal katkı)						
	Çimento (g)	Su (g)	Doğal kum (g)	S/Ç	Yayılma (cm)	Metilen m. (g(boya)/kg(num.))	İncelik m.
AS	450	280	1350	0.62	13	0.2	1.40
AP	450	280	1350	0.62	13	0.3	1.30
MK	450	265	1350	0.59	13	0.4	1.20
CV	450	310	1350	0.69	13	0.4	0.90
ST	450	335	1350	0.74	13	0.2	1.40
OE	450	290	1350	0.64	13	0.4	0.90
BC	450	280	1350	0.62	13	0.3	1.10

3.7.2. Sertleşmiş Harçlar Üzerinde Yapılan Araştırmalar

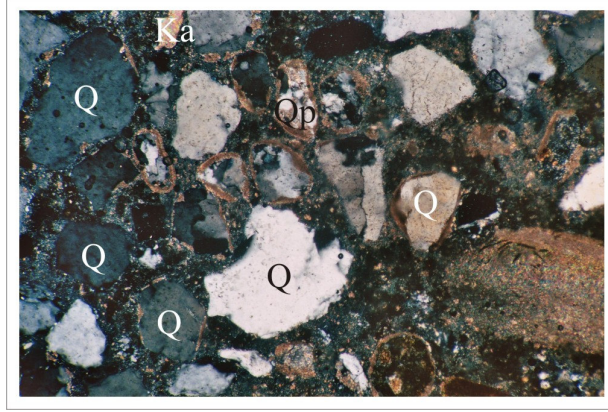
Bu bölümde incelenen kumların kullanıldığı sertleşmiş harçlar üzerinde öncelikle petrografik incelemeler yapılmıştır. Daha sonra aynı örnekler elektron mikroskopuyla incelenmiştir. Kumların harç özelliklerine etkilerini belirlemek amacıyla da sertleşmiş harçların basınç dayanımları belirlenmiştir.

3.7.2.1. Petrografik İncelemeler

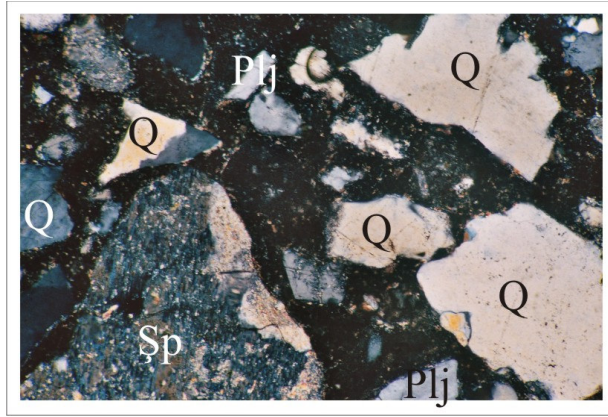
Yıkama-eleme tesislerinden alınan kum örnekleri ile hazırlanan sertleşmiş harç numunelerinden hazırlanan ince kesitler üzerinde polarizan mikroskobu ile petrografik incelemeler yapılmıştır (Şekil 3.95, 3.96, 3.97, 3.98, 3.99, 3.100).



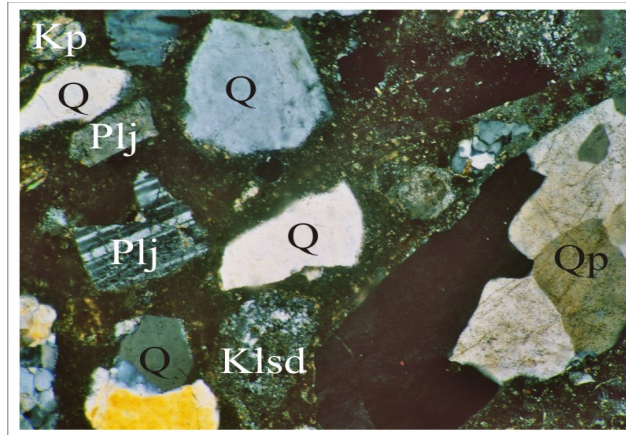
Şekil 3.95: AS Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü (Çift Nikol, 25X) (Q: Kuvars, Qp: Kuvarsit parçası, Plj: Plajiolklas, Mkp: Metamorfik kayaç parçası, OM: Oksitlenmiş Mineral)



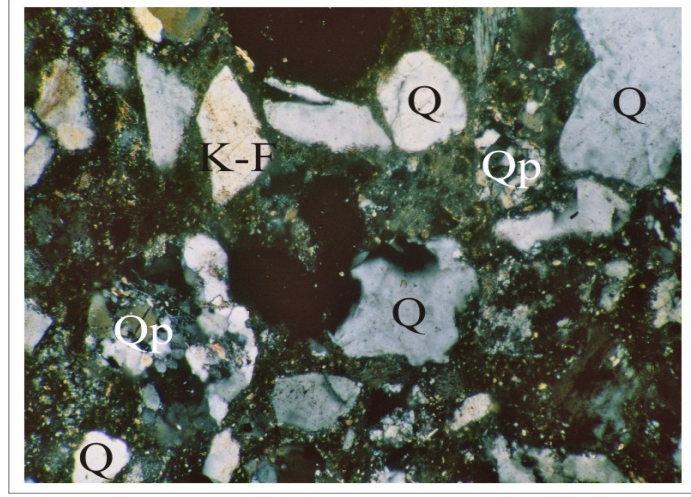
Şekil 3.96: AP Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü (Çift Nikol, 25X) (Q: Kuvars, Qp: Kuvarsit parçası, Ka: Kalsit, Kçt: Kireçtaşı agregası)



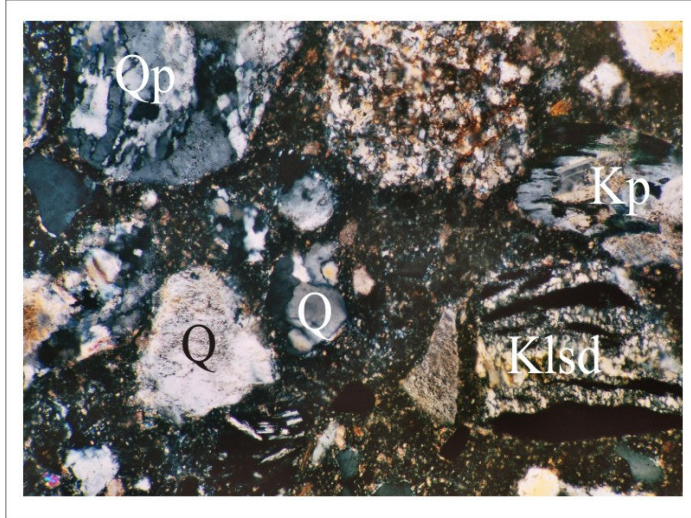
Şekil 3.97: CV Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü (Çift Nikol, 25X) (Q: Kuvars, Plj: Plajiolklas, Şp: Şist parçası)



Şekil 3.98: ST Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü (Çift Nikol, 25X) (Q: Kuvars, Plj: Plajiolklas, Klsd: Kalsedon, Qp: Kuvarsit parçası, Kp: Kayaç parçası)



Şekil 3.99: OE Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü (Çift Nikol, 25X) (Q: Kuvars, K-F: K-Feldispat, Qp: Kuvarsit parçası)

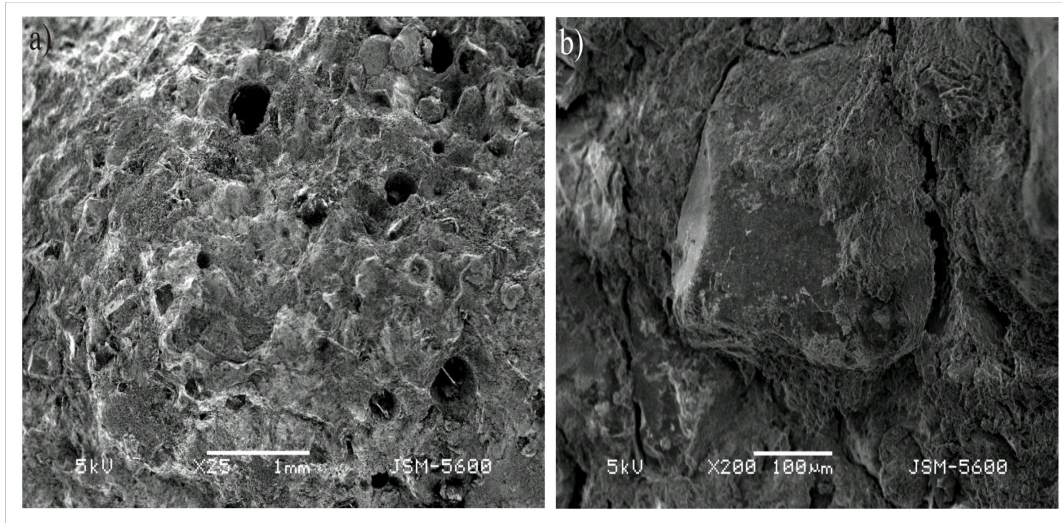


Şekil 3.100: BC Kodlu kum ile üretilen harcın polarizan mikroskoptaki görünümü (Çift Nikol, 25X) (Q: Kuvars, Klsd: Kalsedon, Qp: Kuvarsit parçası, Kp: Kayaç parçası)

3.7.2.2. Elektron Mikroskobu ile Yapılan İncelemeler

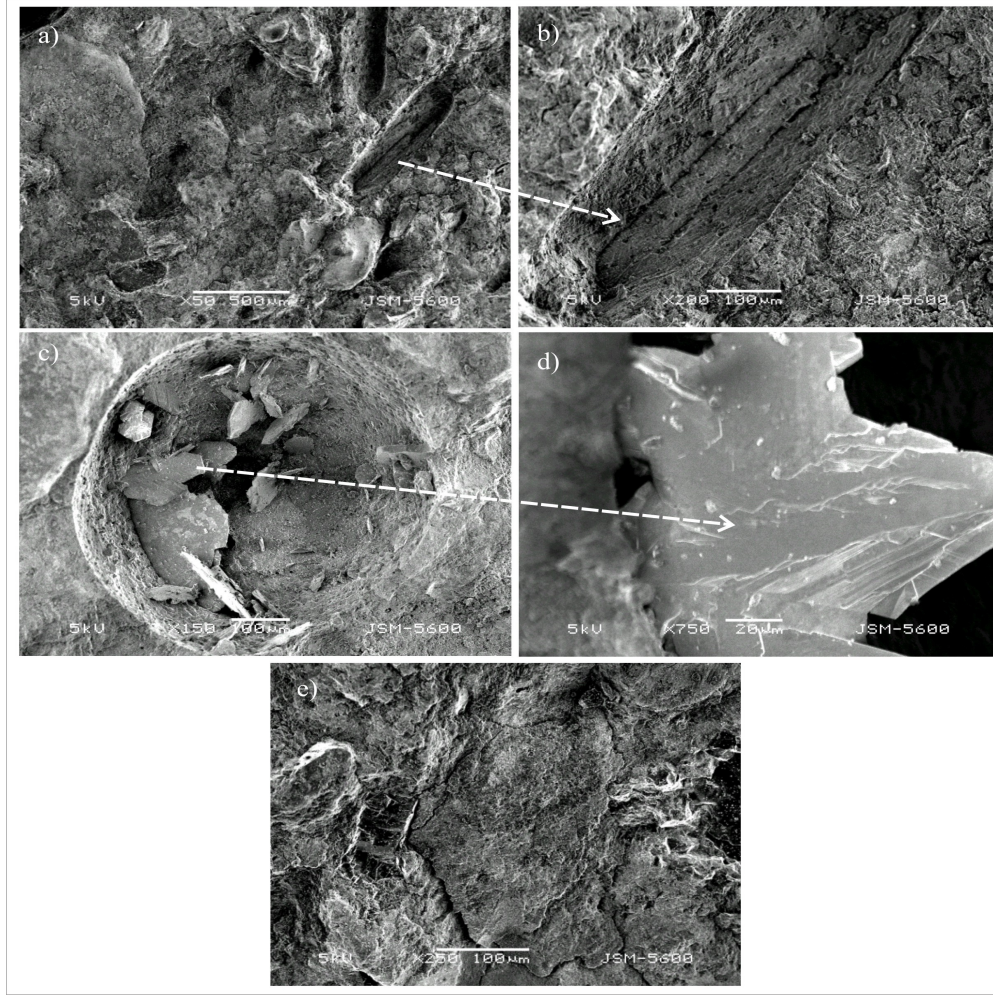
Harç numuneleri üzerinde Elektron Mikroskobu ile yapılan incelemeler Şekil 3.101, 3.102, 3.103, 3.104, 3.105, 3.106 ve 3.107’de sunulmuştur. Bu şekillerde görüldüğü gibi; örneklerin çoğunun çimento hamurundaki boşlukları içinde çimentodaki karbonat ile agregadaki sülfatın oluşturduğu reaksiyon sonucu gelişen kristaller (jips, tomasit, etrenjit vb.) gelişmiştir. Tomasit prizmatik kristaller içeren kalsiyum, silikat, karbonat, sülfat ve hidrat olarak tanımlanır. Etrenjit ile benzer kristal yapıya sahiptir. Yüksek miktarda kireçtaşı tozu içeren betonlar sıradan Portland çimentosu ile hazırlanan

betonlara göre daha yüksek bir tomasit oluşum potansiyeline sahiptir. Tomasit oluşumu için ortamın pH değeri 10,5 dan az, düşük sıcaklık (0-15°C) ve yüksek nemli koşullara sahip olmalıdır (Tesch ve Middendorf, 2006). Beton karışım suyu veya yeraltı suyu yüksek miktarda sülfat içerebilir. Çimento harcındaki CSH, C₃S ve C₂S bileşimlerinden Si⁺⁴ gelmektedir. Betonda karbonatlı agregalarda yüksek miktarda CO₃⁻² bulunur. Ayrıca çimento içinde kireç bulunmaktadır. Betonun içindeki Ca(OH)₂ SO₄⁻² ile reaksiyonu girerek jips oluşmaktadır. Jips CaCO₃ ve CSH ile reaksiyona girerek tomasit oluşumu gerçekleşir. Öte yandan portland çimentosundaki C₃A içeriği ikincil etrenjiti oluşturabilir. Bu da betonun genleşmesine ve de bozulmasına neden olabilir. Böylece SO₄ daha derine nüfuz edebilir. Daha sonra, etrenjit tomasite dönüşebilir. Buda beton yapısının zayıflamasına neden olmaktadır (Crammond, 2003; Mingyu vd., 2006).

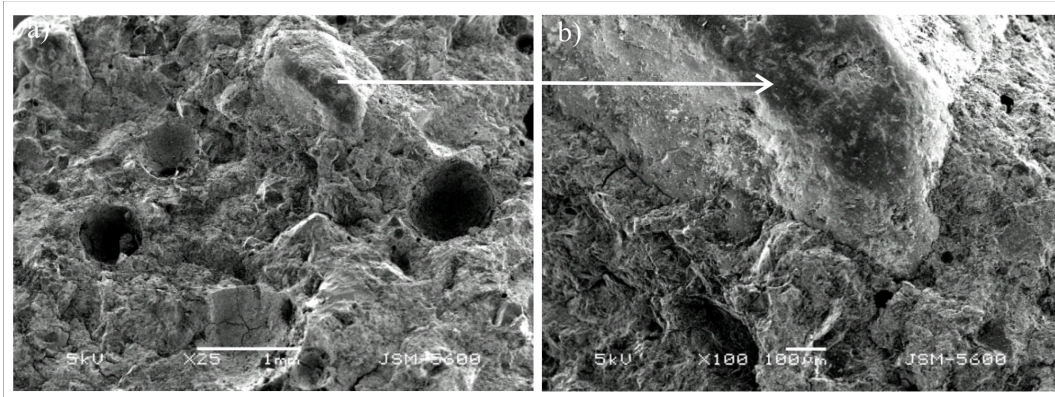


Şekil 3.101: a) AS Kodlu harçtaki tane ve kavrıların çimento hamuru içindeki görünüşleri b) aynı harç örneğinde çimento hamuru içindeki üzeri çimento ile kaplanmış kuvars tanesi. Fotoğrafta ayrıca kuvars tanesi ile çimento arasındaki boşluklu sınır görülmektedir.

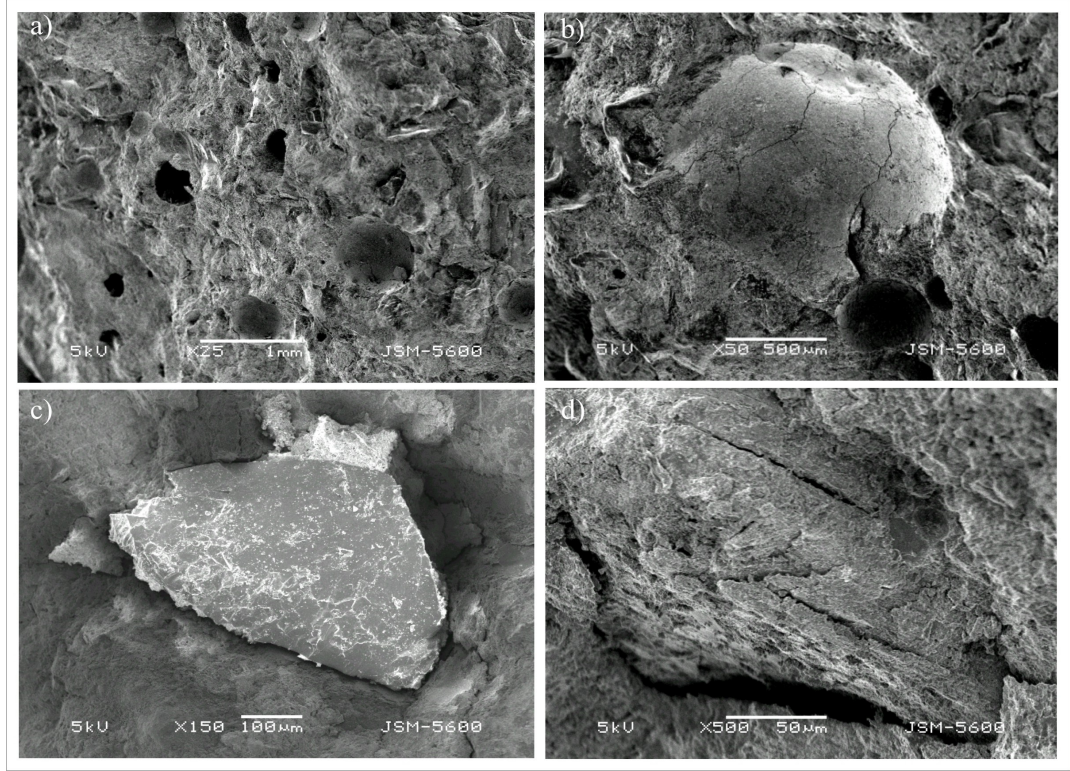
Şekil 3.104 ve 3.105’de montmorillonit içeren CV ve ST kodlu kumlar ile hazırlanmış harçlar içinde gelişen kil topakları görülmektedir. Su emmesi yüksek olan montmorillonit harç karışımındaki suyu bünyesine alarak genleşmiş ve kuruyunca yüzeyinde çatlaklar gelişmiştir.



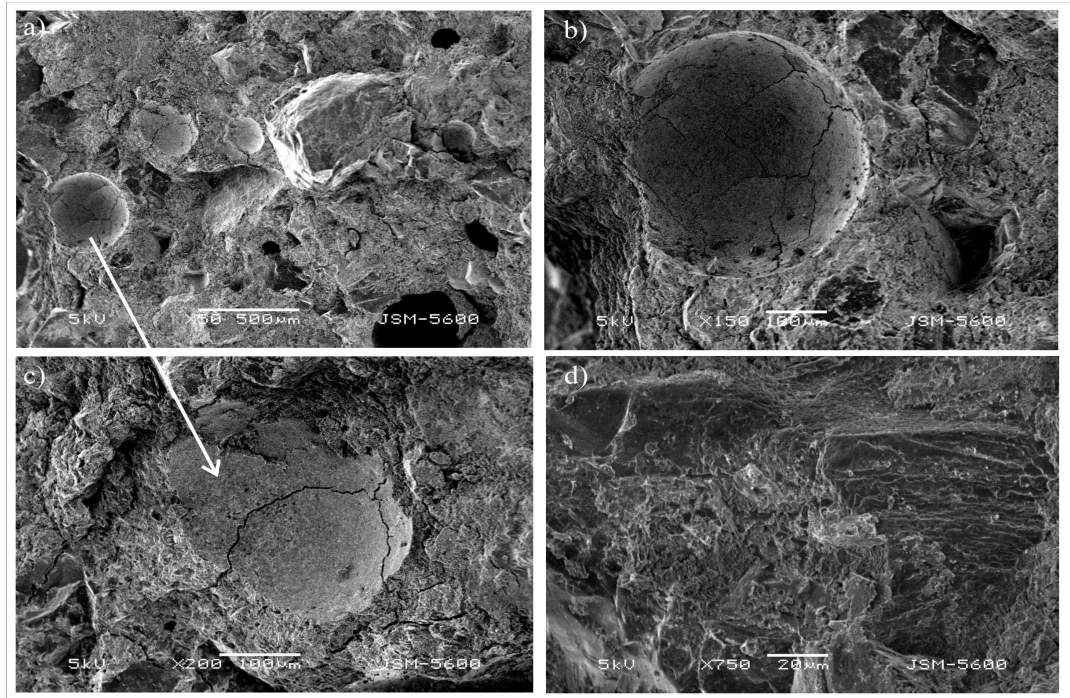
Şekil 3.102: a) AP Kodlu harçtaki tane ve kavkların çimento hamuru içindeki görünüşleri b) Aynı harç örneğinde çimento hamuru içindeki feldspat tanesi c) Çimento hamurundaki boşluklar içinde çimentodaki karbonat ile agregadaki sülfatın oluşturduğu reaksiyon sonucu gelişen kristaller d) Kristallerin yakından görünümü e) Tane-çimento arasında gelişen mikro çatlaklar.



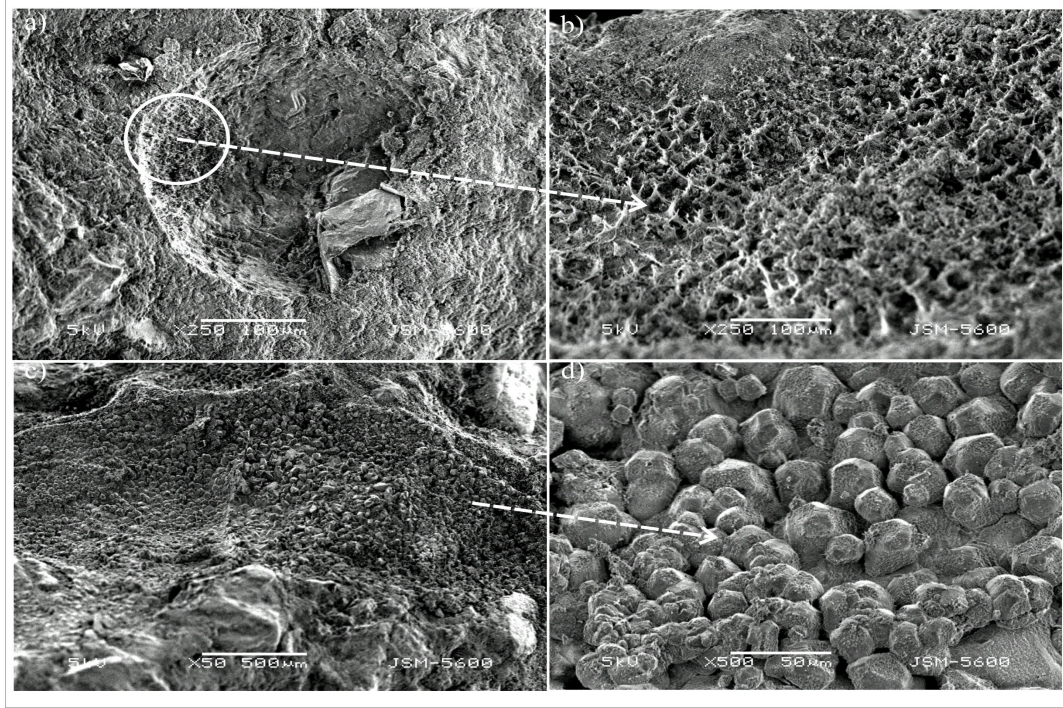
Şekil 3.103: a) MK Kodlu harçtaki tane ve boşluklar b) çimento hamuru içindeki kuvars tanesinin yakından görünümü



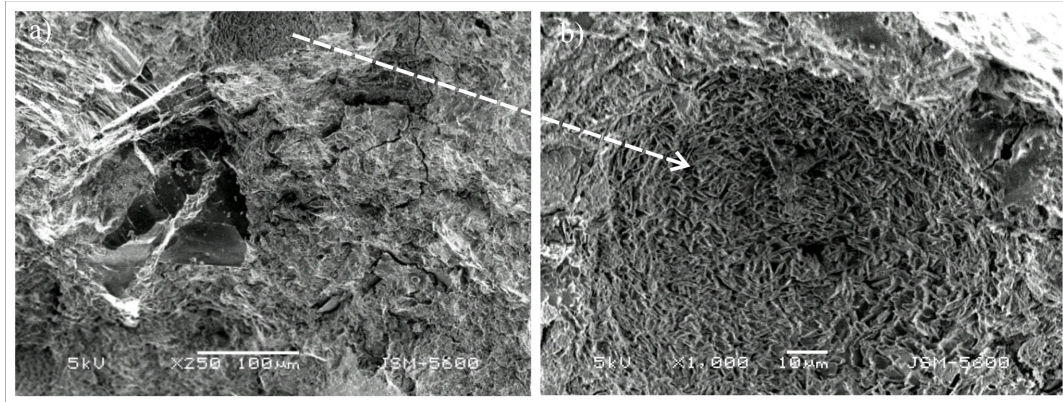
Şekil 3.104: a) CV Kodlu harçtaki tane, boşluk ve kil topakları b) kil topağında gelişen çatlaklar c) çimento hamuru içindeki kuvars tanesi d) çimento hamuru içindeki feldpat tanesi



Şekil 3.105: a) ST Kodlu harçtaki tane ve agregası içerisindeki montmorillonitin oluşturduğu kil topaklarının çimento hamuru içindeki görünüşleri b) kil topağının yakından görünümü c) kil topağında gelişen genleşme çatlakları d) Çimento hidrasyon ürünleri



Şekil 3.106: a) OE Kodlu harç içindeki yuvarlak tane üzerinde gelişen çimento-agrega reaksiyon ürünleri b) Benzer reaksiyon ürünlerinin yakından görünümü c) Çimentodaki karbonat ile agregadaki sülfatın oluşturduğu reaksiyon sonucu gelişen taneli kristaller d) Aynı taneli kristallerin yakından görünümü



Şekil 3.107: a) BC Kodlu harçtaki çimento-agrega reaksiyon ürünleri ve çimento hamurundaki mikro çatlaklar b) Çimentodaki karbonat ile agregadaki sülfatın oluşturduğu reaksiyon sonucu gelişen kristaller

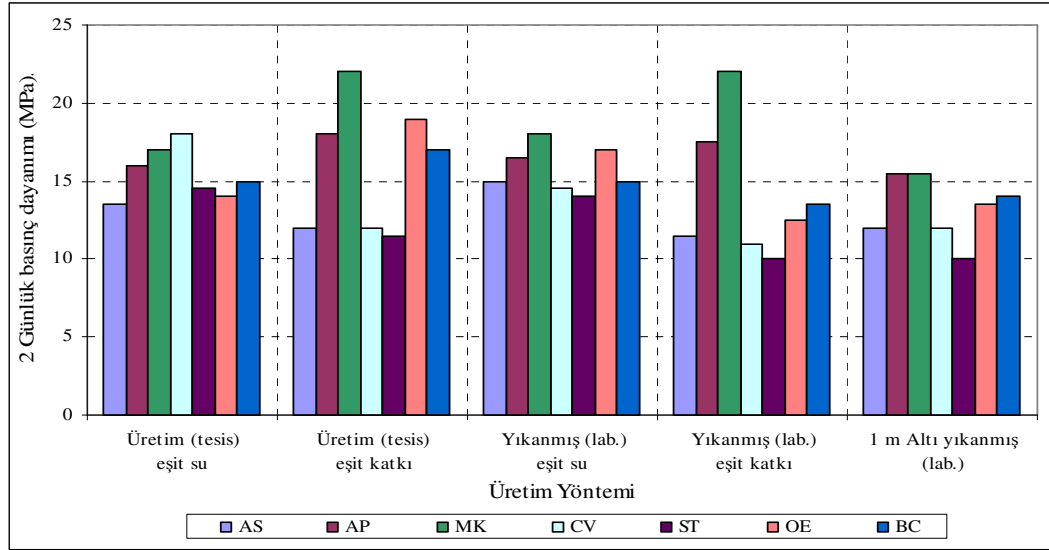
3.7.2.3. Harç üzerinde yapılan deneysel çalışmalar

3.7.1. Bölümünde karışım oranları verilen farklı bileşimlerdeki sertleşmiş harç örnekleri üzerinde TS EN 196-1'e göre tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 3.54'de sunulmuştur.

Tablo 3.54: Harç numunelerinin 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Basınç dayanımı (MPa)									
Üretim yöntemi	Üretim (tesis) (Eşit su)			Üretim (tesis) (Eşit katkı)			Yıkanmış (lab.) (Eşit su)		
	2	7	28	2	7	28	2	7	28
AS	13.5	25.5	32.5	12.0	23.5	32.5	15.0	28.5	34.0
AP	16.0	27.0	31.5	18.0	31.0	38.0	16.5	24.0	34.0
MK	17.0	34.5	39.0	22.0	37.0	43.5	18.0	34.0	43.0
CV	18.0	30.0	34.5	12.0	25.0	30.5	14.5	30.0	35.5
ST	14.5	25.0	31.5	11.5	22.5	32.5	14.0	28.0	32.0
OE	14.0	33.0	39.0	19.0	35.0	42.0	17.0	32.5	39.5
BC	15.0	30.5	37.0	17.0	26.0	38.0	15.0	27.0	37.5

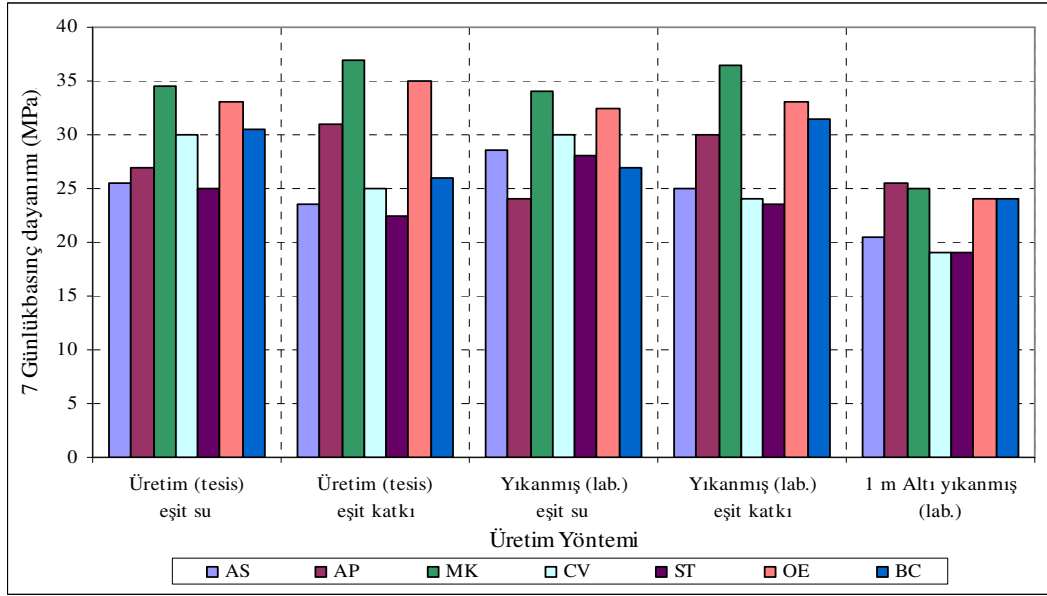
Basınç dayanımı (MPa)						
Üretim yöntemi	Yıkanmış (lab.) (Eşit katkı)			1 mm altı yıkanmış (lab.) (Eşit katkı)		
	2	7	28	2	7	28
AS	11.5	25.0	34.5	12.0	20.5	27.0
AP	17.5	30.0	37.5	15.5	25.5	31.0
MK	22.0	36.5	47.0	15.5	25.0	34.0
CV	11.0	24.0	32.5	12.0	19.0	29.0
ST	10.0	23.5	31.5	10.0	19.0	25.0
OE	12.5	33.0	43.5	13.5	24.0	32.5
BC	13.4	31.5	41.0	14.0	24.0	33.5



Şekil 3.108: Harç numunelerinin 2 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

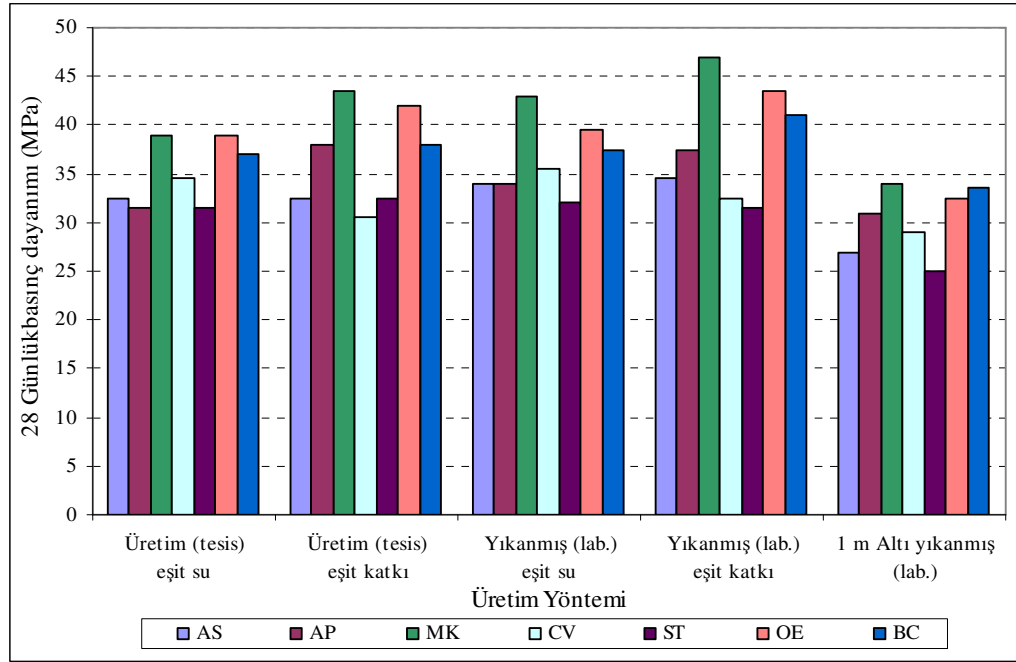
Tablo 3.54, 3.55 ve Şekil 3.108’de görüldüğü gibi; yıkama-eleme tesislerinden alınan ve eşit su/çimento oranı ile hazırlanan harçlarda 2 günlük basınç dayanımlarında en düşük sonucu AS kodlu; en yüksek sonucu CV kodlu, farklı su/çimento oranı ile hazırlanan

harçlarda ise en düşük sonucu ST, en yüksek sonucu MK kodlu numuneler vermiştir. Laboratuvarda yıkanmış numuneler ile hazırlanan harçlar incelendiğinde; eşit ve farklı su/çimento oranları ile hazırlanan harçlarda en düşük sonucu ST kodlu, en yüksek sonucu ise MK kodlu numuneler vermiştir. Son olarak 1 mm altı yıkanmış numuneler ile yapılan harçların basınç dayanımları incelendiğinde en düşük sonucu ST kodlu, en yüksek sonuçları AP ve MK kodlu numuneler vermiştir.



Şekil 3.109: Harç numunelerinin 7 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Tablo 3.54, 3.55 ve Şekil 3.109’de görüldüğü gibi; yıkama-eleme tesislerinden alınan ve eşit ve farklı su/çimento oranları ile hazırlanan harçlarda 7 günlük basınç dayanımlarında en düşük sonucu ST kodlu; en yüksek sonucu MK kodlu numuneler vermiştir. Laboratuvarda yıkanmış numuneler ile hazırlanan harçlar incelendiğinde; eşit su/çimento oranları ile hazırlanan harçlarda en düşük sonucu AP kodlu, en yüksek sonucu ise MK kodlu numuneler; farklı su/çimento oranları ile hazırlanan harçlarda en düşük sonucu ST kodlu, en yüksek sonucu ise MK kodlu numuneler vermiştir. Son olarak 1 mm altı yıkanmış numuneler ile yapılan harçların basınç dayanımları incelendiğinde en düşük sonuçları CV ve ST kodlu, en yüksek sonucu AP kodlu numuneler vermiştir.



Şekil 3.110: Harç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Tablo 3.54, 3.55 ve Şekil 3.110’de görüldüğü gibi; yıkama-eleme tesislerinden alınan ve eşit su/çimento oranları ile hazırlanan harçlarda 28 günlük basınç dayanımlarında en düşük sonucu AP kodlu; en yüksek sonucu OE kodlu numuneler; farklı su/çimento oranları ile hazırlanan harçlarda ise en düşük sonucu CV kodlu, en yüksek sonucu MK kodlu numuneler vermiştir. Laboratuvarda yıkanmış numuneler ile hazırlanan harçlar incelendiğinde; eşit ve farklı su/çimento oranları ile hazırlanan harçlarda en düşük sonucu ST kodlu, en yüksek sonucu ise MK kodlu numuneler vermiştir. Son olarak 1 mm altı yıkanmış numuneler ile yapılan harçların 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde en düşük sonucu ST kodlu, en yüksek sonucu MK kodlu numuneler vermiştir.

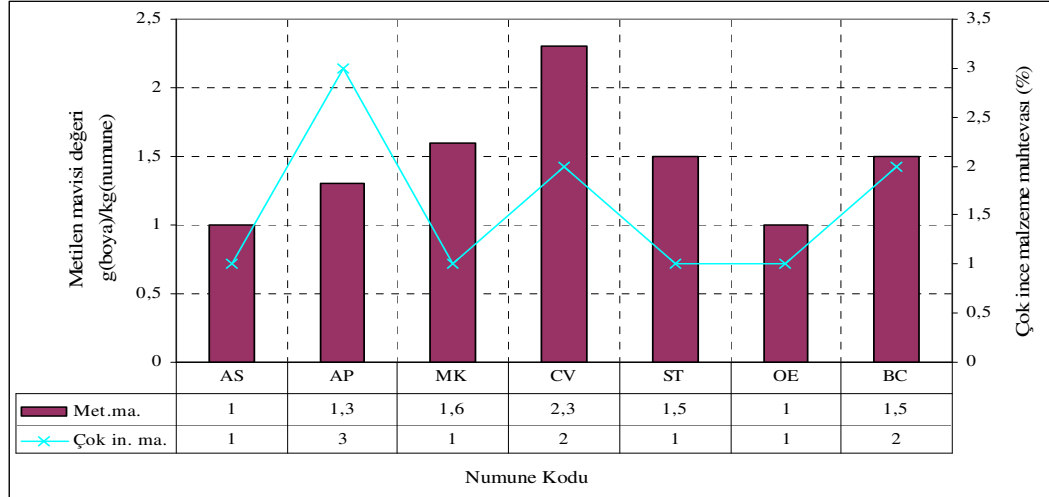
4. DENEYSEL VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde daha önceki bölümlerde sunulan deneysel verilerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde petrografik, mineralojik ve kimyasal analiz sonuçları ile agrega, harç ve beton deneylerinden elde edilen veriler kullanılmıştır.

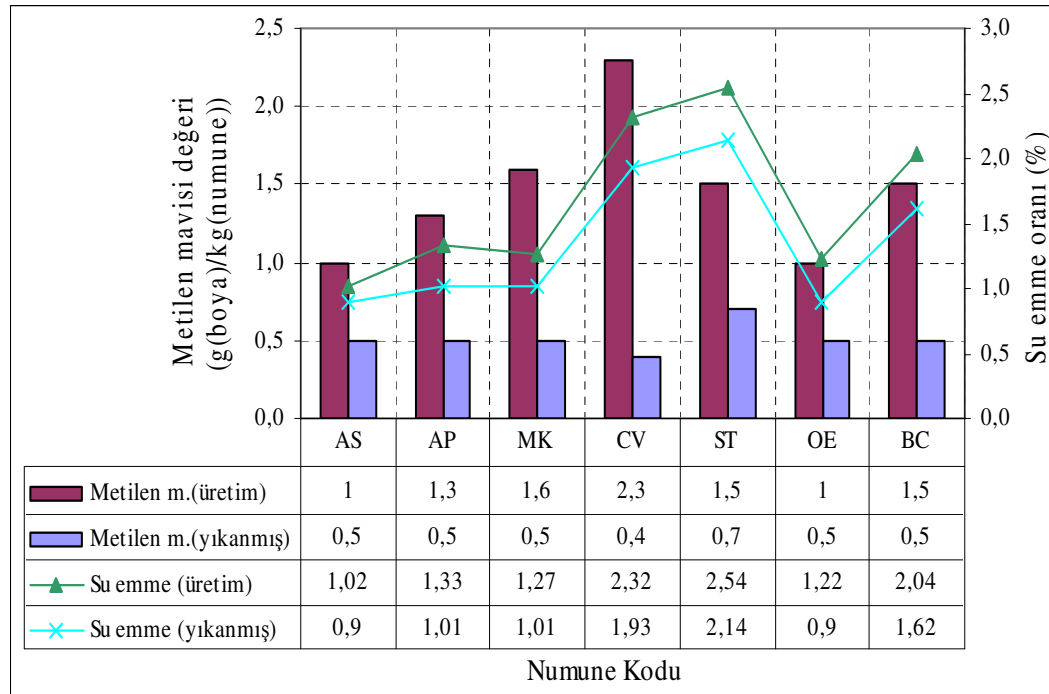
İncelenen kum numuneleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen metilen mavisi değeri ve çok ince malzeme muhtevası ilişkisi Şekil 4.1’de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi; yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin metilen mavisi değerleri ve çok ince malzeme miktarları karşılaştırıldığında, çok ince malzeme miktarı % 2 olan CV ve BC kodlu numunelerin metilen mavisi değerleri CV kodlu numunede 2.3 g(boya)/kg(numune) ve BC kodlu numunelerde 1.5 g(boya)/kg(numune)’dir. Çok ince malzeme miktarları aynı olmasına rağmen metilen mavisi değerlerinin değişkenlik göstermesi kil minerallerinin tipine bağlıdır. CV kodlu numunede kil minerali tipi montmorillonit, BC kodlu numunede ise kaolinitir. AP kodlu numunenin çok ince malzeme miktarının % 3 olması metilen mavisi değerinin 1.3 g(boya)/kg(numune) değerinde olması ve ayrıca AS, MK, ST ve OE kodlu numunelerin çok ince malzeme miktarlarının % 1 olmasına rağmen metilen mavisi değerleri AS ve OE kodlu numunelerde 1 g(boya)/kg(numune), ST kodlu numunede 1.5 g(boya)/kg(numune) ve MK kodlu numunede 1.6 g(boya)/kg(numune) olması, MK ve ST kodlu numunelerde bulunan kil minerali tipi montmorillonit, OE kodlu numunede ise kaolinitir.

Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin metilen mavisi değerleri ile su emme oranları karşılaştırıldığında; Şekil 4.2.’de görüldüğü gibi; metilen mavisi değerlerinin artışına bağlı olarak su emme oranları da artmaktadır. Başlıca montmorillonit olmak üzere kil minerallerinin varlığı metilen mavisi değerleri ve su emme oranını arttırmaktadır. Laboratuvarıda yıkanmış numunelerin metilen mavisi değeri ve su emme oranları karşılaştırıldığında; metilen mavisi değeri yaklaşık olarak 0.5 g(boya)/kg(numune) değerine yikanarak getirildiğinden tüm numunelerde eşdeğer metilen mavisi değerleri elde edilmiştir. Fakat su emme oranlarına bakıldığında tüm numunelerde % 12 - 24 arasında azalmaya rağmen yıkama sonrası % 1’in üstünde su emme oranına sahip CV, ST ve BC kodlu numunelerde kil minerallerinin yanısıra

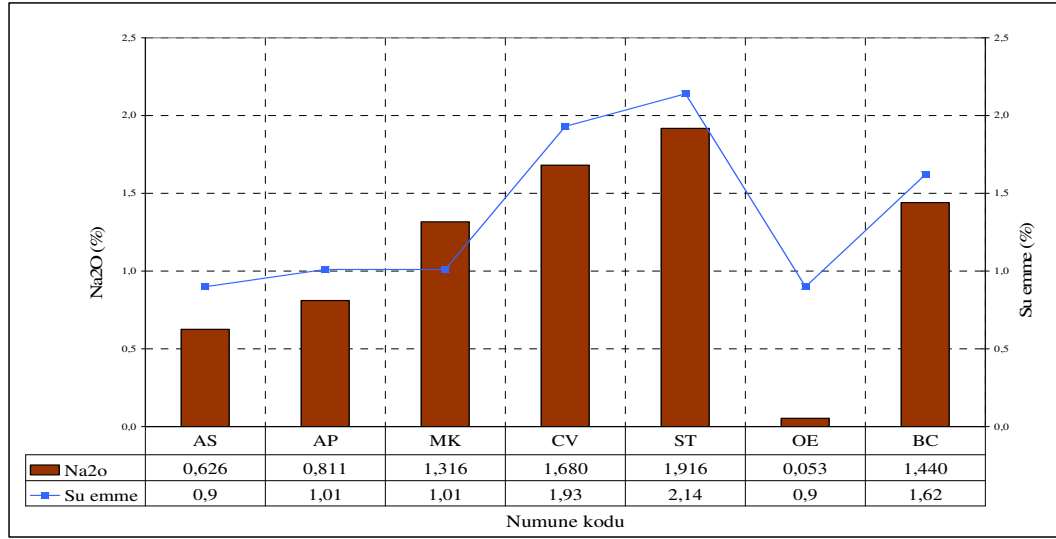
sodyumlu feldispat miktarının belirteci olan Na₂O yüzdeleri diğer numunelere göre daha fazladır (Şekil 4.3.).



Şekil 4.1: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelere ait metilen mavisi değeri ile çok ince malzeme muhtevası ilişkisi

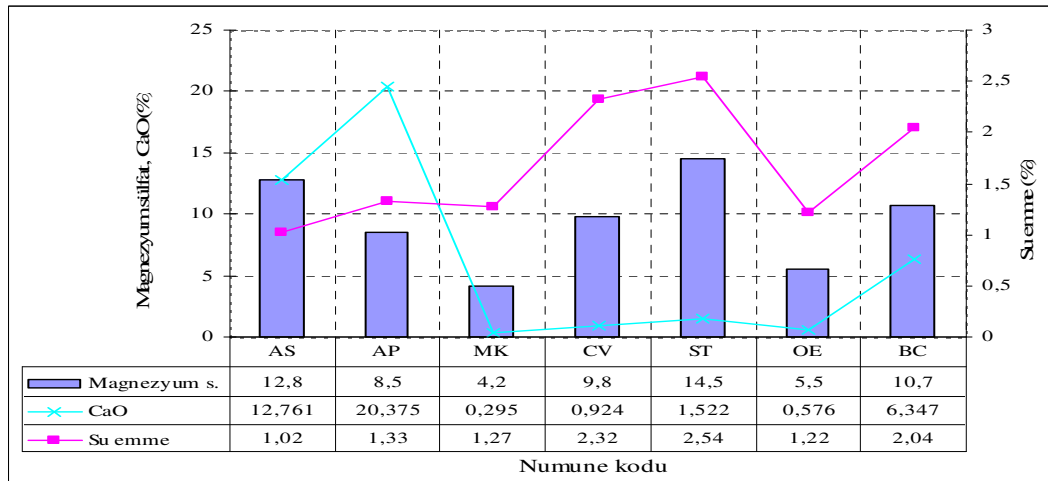


Şekil 4.2: Metilen mavisi – su emme oranı ilişkisi



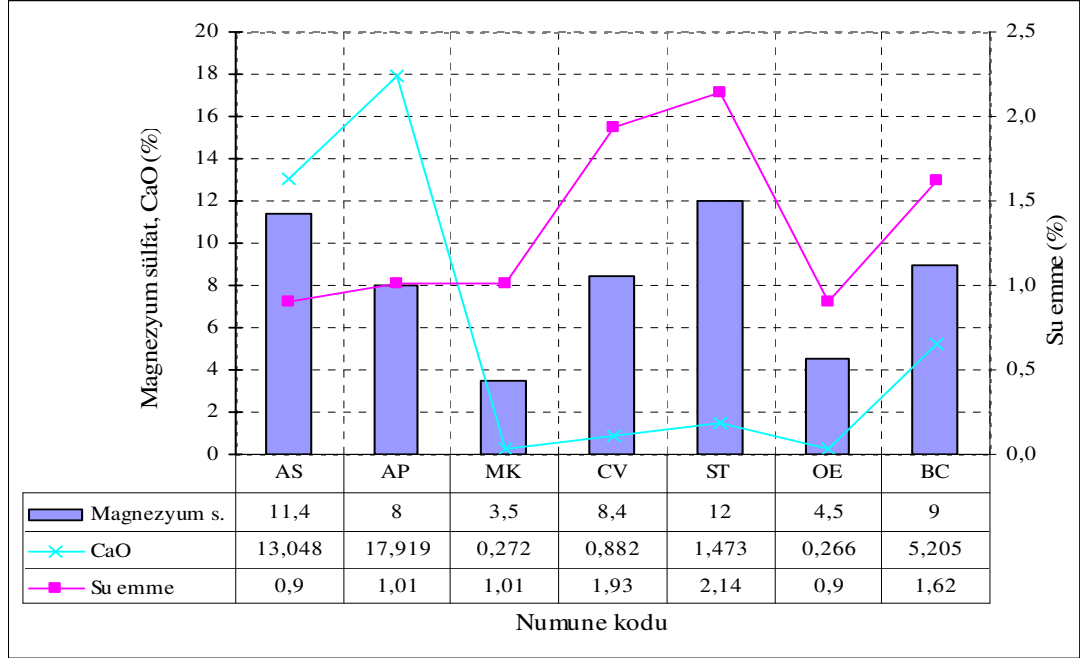
Şekil 4.3: Laboratuvarlarda yıkanmış doğal kum numunelerinin su emme oranı ile Na₂O ilişkisi

İncelenen kum numuneleri üzerinde yapılan su emme, magnezyum sülfat değerleri ve CaO miktarının karşılaştırması Şekil 4.4.'de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi; tesislerden alınan numunelerin su emme oranı ve magnezyum sülfat değeri karşılaştırıldığında, numunelerin CaO %'lerinden de anlaşılacağı gibi, AS ve AP kodlu numuneler hariç diğer numunelerde su emme oranına paralel olarak magnezyum sülfat değerleri artmıştır. AS ve AP kodlu numuneler denizel kökenli olduğu için bünyelerinde bulunan kavrı kırıntılarına bağlı olarak magnezyum sülfat değerleri, benzer su emme oranına sahip MK kodlu numuneye göre AP kodlu numune % 4.3 AS kodlu numune ise % 8.6 daha fazla magnezyum sülfat değerine sahiptir.



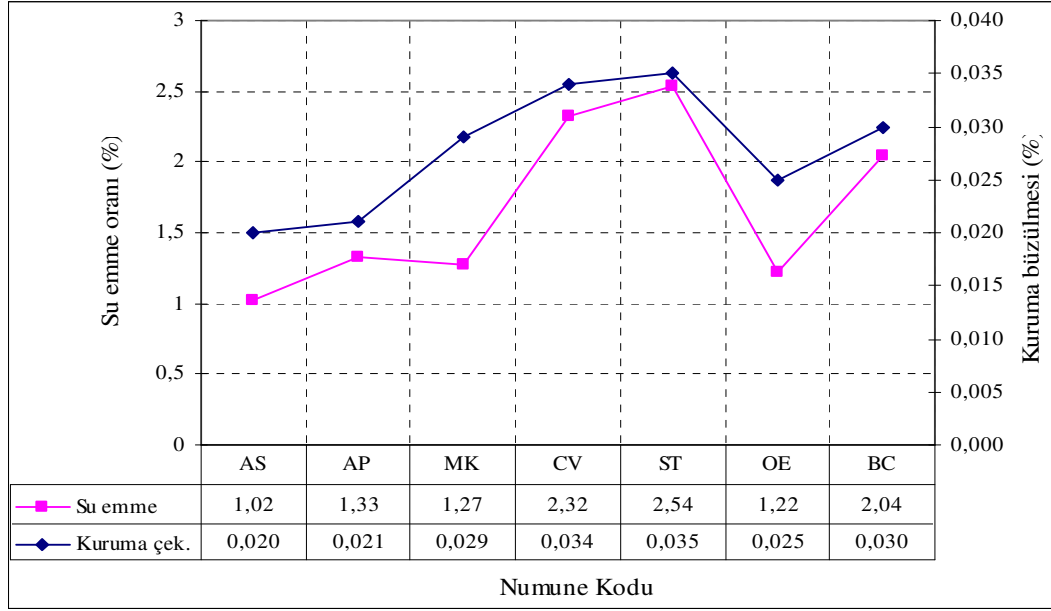
Şekil 4.4: Yıkama-eleme tesislerinden alınmış numunelerin magnezyum sülfat değeri, su emme oranı ve CaO yüzdesi ilişkisi

Laboratuvarda yıkanmış numunelerde de Şekil 4.4'deki ilişki görülmektedir (Şekil 4.5). Laboratuvarda yıkama sonrası su emme oranlarının düşüşüne bağlı olarak magnezyum sülfat değerleri de düşmüştür. ST kodlu numunede su emme oranının % 0.4 oranında düşüşüne bağlı olarak magnezyum sülfat değeri de % 2.5 oranında düşmüştür.



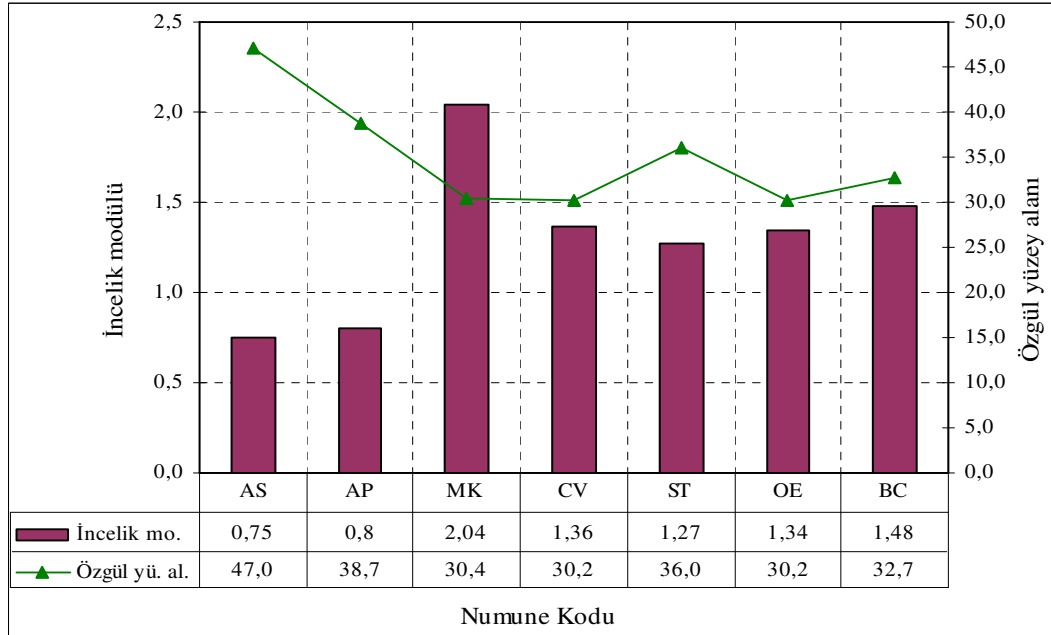
Şekil 4.5: Laboratuvarda yıkanmış numunelerin magnezyum sülfat değerleri, su emme oranı ve CaO yüzdesi ilişkisi

İncelenen kum numunelerine yapılan su emme ve kuruma büzülmesi deney sonuçlarının ilişkisi karşılaştırıldığında, Şekil 4.6.'de görüldüğü gibi, su emme oranları artışına paralel olarak kuruma büzülmesi değerleri artmaktadır. OE ve MK kodlu numuneler karşılaştırıldığında su emme değerleri birbirlerine yakın olmasına rağmen MK kodlu numunenin kuruma büzülme değeri OE kodlu numuneden % 0.004 daha büyüktür. Bunun nedeni; MK kodlu numunenin metilen mavisi değeri OE kodlu numuneden 0.6 g(boya)/kg(numune) daha fazla olmasıdır (Şekil 4.2.).

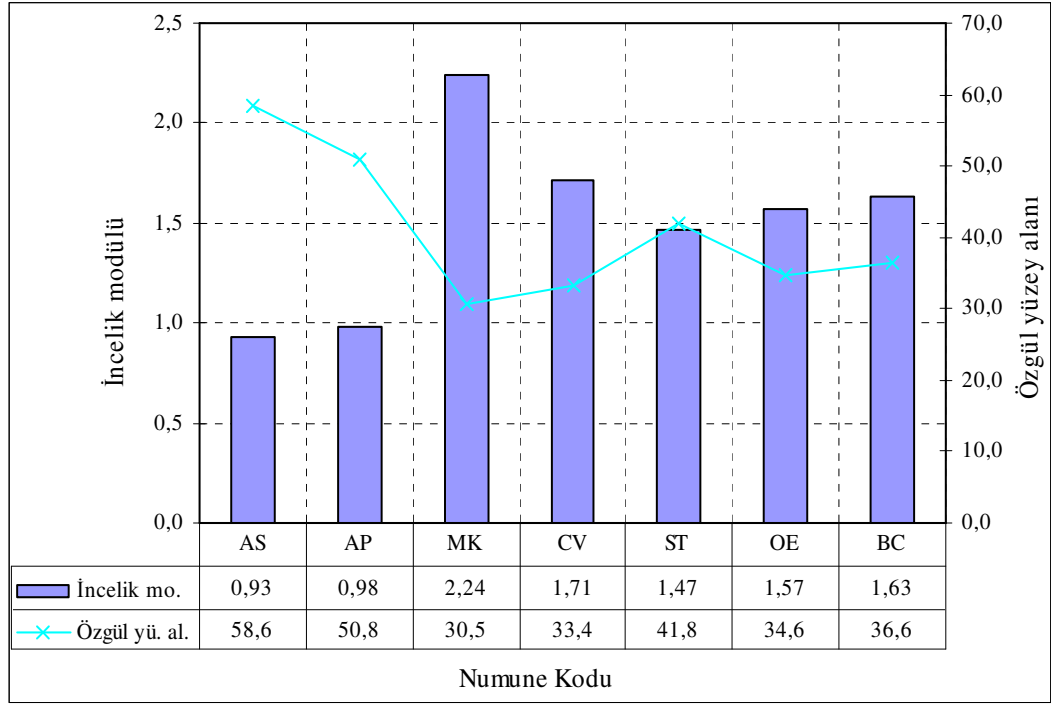


Şekil 4.6: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kumların su emme oranı – kuruma büzülmesi ilişkisi

İncelenen kumların incelik modülleri ve özgül yüzey alanları ilişkileri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8.'de verilmektedir. Tesislerden alınan ve laboratuvarda yıkanmış numunelerin incelik modülü ve özgül yüzey alanları karşılaştırıldığında; bu numunelerin incelik modülü değerleri arttığında özgül yüzey alanları azalmaktadır.



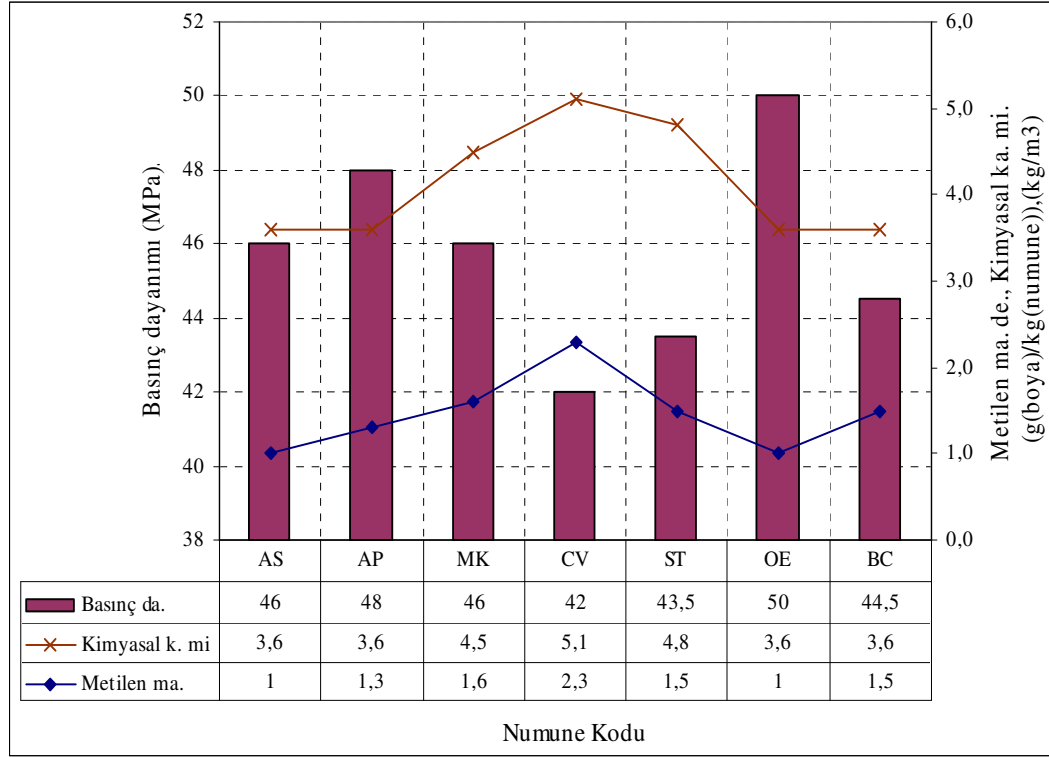
Şekil 4.7: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerinin incelik modülü ve özgül yüzey alanı ilişkisi



Şekil 4.8: Laboratuvarda yıkanmış numunelere ait incelik modülü ve özgül yüzey alanı ilişkisi

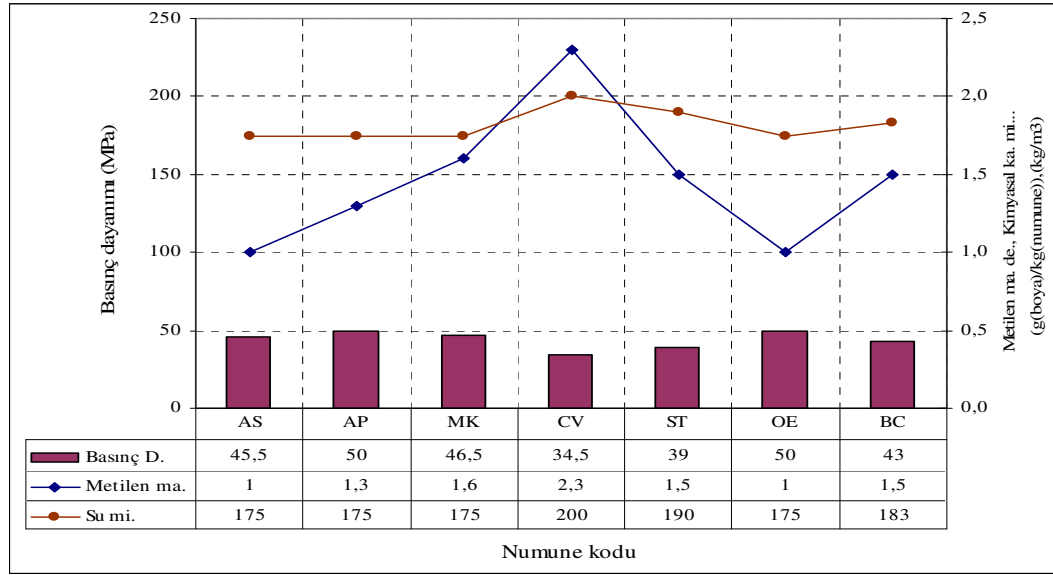
Şekil 4.9’de görüldüğü gibi yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler ile eşit su/çimento oranında üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımı, kum numunelerinin metilen mavisi değerleri ve karışımlarda kullanılan kimyasal katkı miktarları karşılaştırıldığında; metilen mavisi değeri arttıkça kimyasal katkı miktarı da artmaktadır. Çünkü kil minerallerinin bir göstergesi olan metilen mavisi değeri yüksek olan numunelerde kimyasal katkı kil mineralleri tarafından emildiği için kimyasal katkı kullanımı artmaktadır. Aynı zamanda kil mineralinin tipi de kimyasal katkı miktarını değiştirmektedir. ST ve BC kodlu numunelerde metilen mavisi değeri 1.5 g(boya)/kg(numune) olmasına rağmen kimyasal katkı kullanımları ST kodlu numunede 4.8 kg/m^3 , BC kodlu numunede ise 3.6 kg/m^3 ’tür. ST kodlu numunenin kil minerali tipi montmorillonit, BC kodlu numunenin kaolinit olduğundan ST kodlu numunede daha fazla kimyasal katkı kullanılmıştır. Ayrıca üretilen betonlarda eşit miktarda su kullanıldığından metilen mavisi değeri ile 28 günlük basınç dayanım sonuçlarında ters orantılı ilişki göstermektedir. Metilen mavisi değerinin artışına bağlı olarak kil minerallerinin beton bünyesinde olmasından dolayı basınç dayanım değerleri düşmektedir. Nitekim, Arnoğlu ve diğ., (2006)’nin belirttiği gibi; % 10 montmorillonit

minerali içeren kumlarda yaklaşık % 38, % 10 illit minerali içeren kumlarda yaklaşık % 25 ve % 10 kaolinit minerali içeren kumlarda yaklaşık % 20 basınç dayanım kaybı görülmektedir.



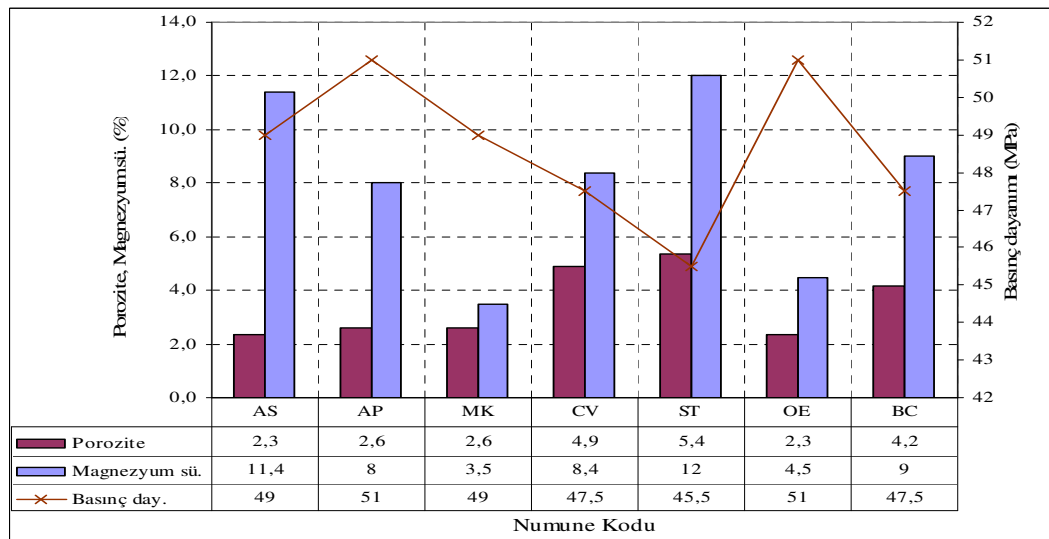
Şekil 4.9: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kumlar ile eşit su/çimento oranında hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımı ile metilen mavisi değeri ve karışımda kullanılan kimyasal katkı miktarı ilişkileri

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler ile eşit kimyasal katkı kullanılarak farklı su/çimento oranında üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımı ile kum numunelerinin metilen mavisi değeri ve karışımlarda kullanılan su miktarları karşılaştırıldığında, Şekil 4.9'te görülen metilen mavisi değeri artışına paralel olarak artış gösteren kimyasal katkı miktarında olduğu gibi metilen mavisi değeri artışına paralel olarak betonlarda kullanılan su miktarları artmıştır. Su miktarının artışına paralel olarakta basınç dayanımları düşmüştür.



Şekil 4.10: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kumlar ile farklı su/çimento oranında hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımı ile metilen mavisi değeri ve karışımında kullanılan su miktarı ilişkileri

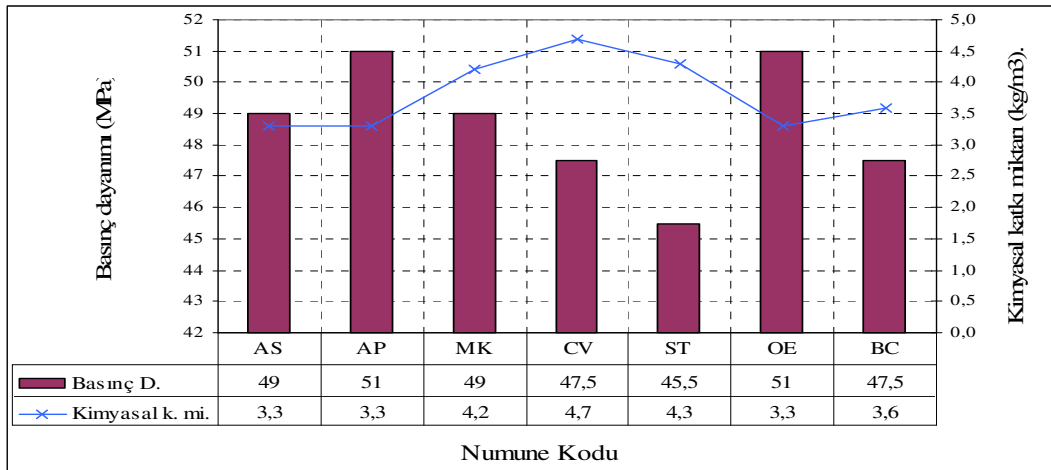
Şekil 4.11’de görüldüğü gibi porozitesi % 4’ün üzerinde olan CV, ST ve BC kodlu numuneler, porozitesi % 4’ün altında olan OE, AP, AS ve MK kodlu numunelere göre 3.5-5.5 MPa arasında daha az 28 günlük beton basınç dayanımı vermiştir. Aynı zamanda denizel kökenli oldukları için bünyelerinde bulunan kavkı kırıntıları magnezyum sülfat değerlerini yükselttiğinden AP ve AS kodlu numuneler hariç diğer numunelerde porozite artışına paralel olarak magnezyum sülfat değerleri yükselmiştir.



Şekil 4.11: Laboratuvarda yıkanmış numunelerin porozite ve magnezyum sülfat değerleri ile eşit su/çimento oranında hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımı ilişkisi

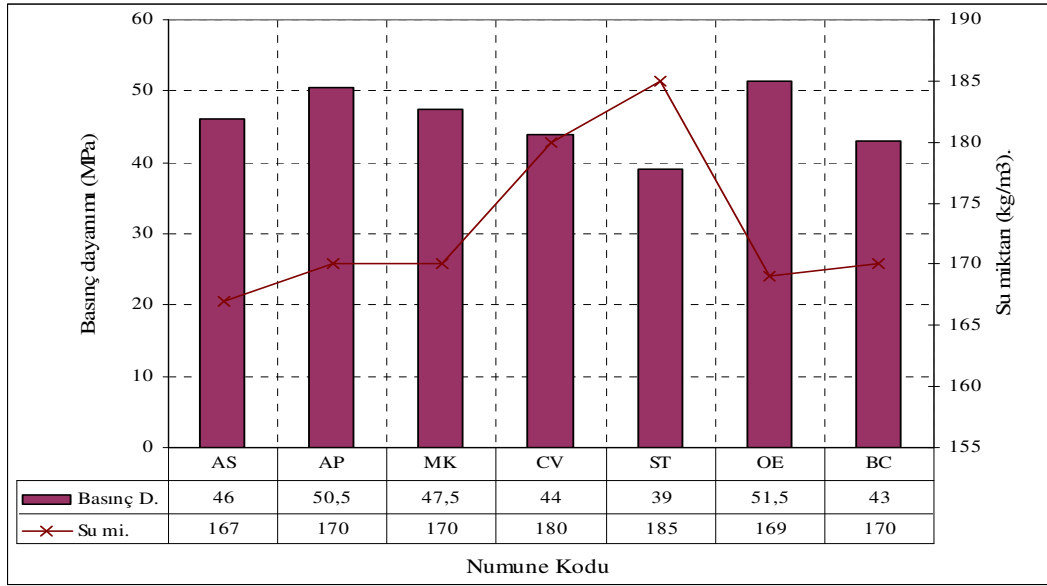
Şekil 4.12.'de görüldüğü gibi; laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranında üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımı ile karışımlarda kullanılan kimyasal katkı miktarları karşılaştırıldığında, metilen mavisi değeri eşit olan AS, AP, MK, OE ve BC kodlu numunelerde (Şekil 4.2.) üretilen betonlarda 3.3 - 4.2 kg/m³ arasında kimyasal katkı kullanılmıştır. Fakat metilen mavisi değeri 0.4 g(boya)/kg(numune) olan CV kodlu numunede 4.7 kg/m³, metilen mavisi değeri 0.7 g(boya)/kg(numune) olan ST kodlu numunede 4.3 kg/m³ kimyasal katkı kullanılmıştır.

Yine laboratuvarıda yıkanmış kumlar ile üretilen betonların Şekil 4.12'de görüldüğü gibi 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında, CV ve BC kodlu numuneler AS ve MK kodlu numunelere göre 1.5 MPa, AP ve OE kodlu numunelere göre 3.5 MPa daha az basınç dayanımı vermiştir. 28 günlük basınç dayanımlarına göre ST kodlu numune ise AS ve MK kodlu numuneye göre 3.5 MPa, AP ve OE kodlu numunelere göre 5.5 MPa daha az basınç dayanımı vermiştir. ST, CV ve BC kodlu numunelerin metilen mavisi değerinin AS, AP, MK, BC ve OE kodlu numuneler ile aynı olmasına rağmen 28 günlük basınç dayanımlarının 1.5-5.5 MPa daha az basınç dayanımı göstermesi Şekil 4.14.'de görüldüğü gibi; incelenen kumlarda sodyumlu feldispat belirteci olan Na₂O, potasyumlu feldispat ve mika belirteci olan K₂O miktarının artışına göre basınç dayanımları azalmıştır. Yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler ile üretilen betonlara (Şekil 4.9) göre kil minerallerinin uzaklaşmasına paralel olarak kimyasal katkı kullanımı ortalama 0.3 kg/m³ azalmıştır. Basınç dayanımları da 1-5 MPa arasında artmıştır.



Şekil 4.12: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranında hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımları ile karışımda kullanılan kimyasal katkı miktarı ilişkileri

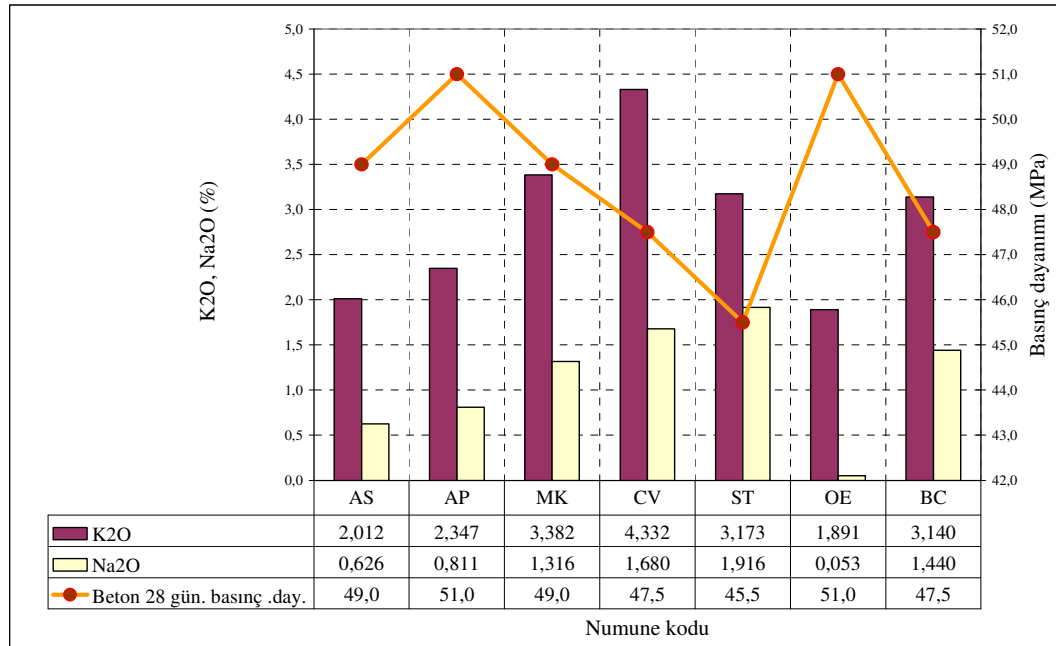
Şekil 4.13.'de görüldüğü gibi; laboratuvarda yıkanmış numuneler ile farklı su/çimento oranında üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımı ile karışımlarda kullanılan su miktarları karşılaştırıldığında metilen mavisi değeri eşit olan AS, AP, MK, OE ve BC kodlu numunelerde (Şekil 4.2.) üretilen betonlarda hemen hemen aynı miktarda su kullanılmıştır. Fakat metilen mavisi değeri 0.4 g(boya)/kg(numune) olan CV kodlu numunede 180 kg/m³, metilen mavisi değeri 0.7 g(boya)/kg(numune) olan ST kodlu numunede 185 kg/m³ su kullanılmış, dolayısıyla en düşük beton basınç dayanım değeri göstermişlerdir. Bunun nedeni; ST ve CV kodlu numunelerden kil minerallerinin uzaklaştırılmasına rağmen su mikrarının diğer numunelere göre fazla olması feldispat ve mika minerallerinin diğer numunelerden fazla olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.13: Laboratuvarda yıkanmış numuneler ile farklı su/çimento oranı ile hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımları ile karışımda kullanılan su miktarı ilişkileri

Şekil 4.14'da görüldüğü gibi feldispat minerallerinin belirteci olan Na₂O miktarı CV, ST ve BC kodlu numunelerden sonra en düşük yüzdeye sahip olan OE kodlu numuneye göre, CV kodlu numunede % 1.63, ST kodlu numunede % 1.87, BC kodlu numunede % 1.39 daha fazladır. CV, ST ve BC kodlu numunelerden sonra en yüksek Na₂O içeren MK kodlu numuneye göre, CV kodlu numune %0.36, ST kodlu numunede % 0.60 ve BC kodlu numunede % 0.12 daha fazla Na₂O içermektedir.. Na₂O yanında muskovit ve potasyum feldispat mineralinin belirteci olan K₂O miktarı MK kodlu numune hariç, CV, ST ve BC kodlu numunelerden sonra K₂O miktarı yine en düşük olan OE kodlu

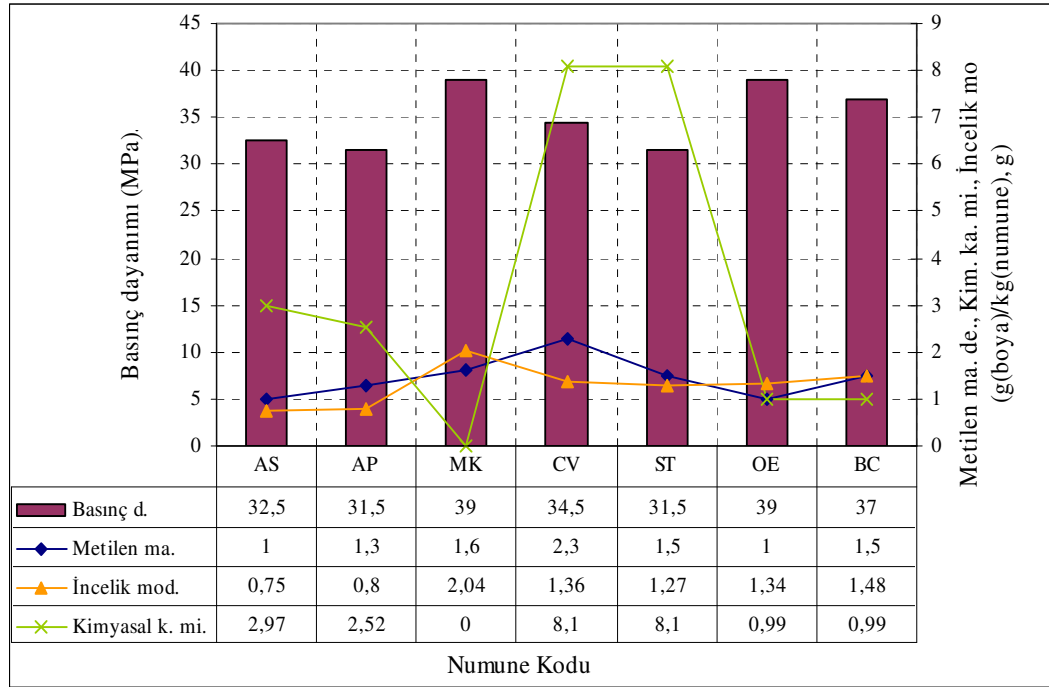
numuneye göre CV kodlu numunede % 2.4, ST kodlu numunede % 1.3, BC kodlu numunede %1.2 K_2O miktarı daha fazladır. CV, ST ve BC kodlu numunelerden sonra MK kodlu numune hariç, en yüksek K_2O miktarına sahip olan AP kodlu numuneye göre CV kodlu numunede %2.0, ST kodlu numunede %0.9, BC kodlu numunede % 0.8 oranında K_2O miktarı daha fazladır. Dolayısıyla üretimden alınan numunelerin laboratuvarda yıkanarak eşit metilen mavisi değerleri elde edilmesiyle numunelerin içinde bulunan kil kökenli mineraller uzaklaştırıldığından, eşit su/çimento oranında betonlar üretilerek tüm doğal numuneler eşit koşullarda denenmiştir. Kil kökenli minerallerin beton içerisinde oluşturdukları kil topaklarına bağlı zayıflıklardan dolayı beton basınç dayanımlarının azalmasının yanı sıra, betonda kullanılan doğal kumlardaki killerin yanında feldispat ve muskovit minerallerinin beton basınç dayanımlarının düşürdüğü görülmektedir. Nitekim, Dewar (1963), Forder (1972), Fookes ve Revie (1982) tarafından, mika varlığının betondaki su ihtiyacını arttırdığı ve genel olarak betonun aşınma direncini, dayanımını ve kalıcılığını olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir.



Şekil 4.14: Laboratuvarda yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranı ile hazırlanan betonların 28 günlük basınç dayanımlarının kumların Na_2O ve K_2O içerikleri ile ilişkisi

Şekil 4.15’de görüldüğü gibi, tesislerden alınan numuneler ile eşit su/çimento oranında üretilen harç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları, kullanılan kimyasal katkı

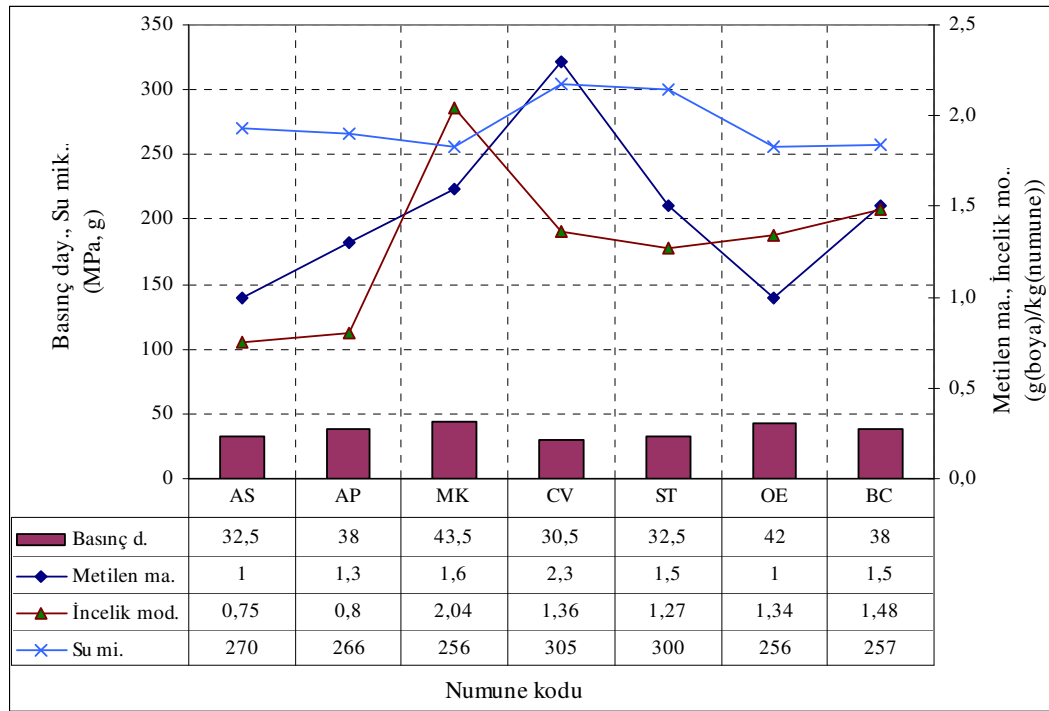
miktarları ve metilen mavisi değerleri karşılaştırıldığında, CV ve OE kodlu numunelerin incelik modülleri aynı olmasına rağmen, harçta aynı kıvam elde edilmesi için ilave edilen kimyasal katkı miktarı CV kodlu numunede 8.1 g, OE kodlu numunede ise 0.99 g olup, 7.11 g daha azdır. 28 günlük harç dayanımları CV kodlu numunede 34.5 MPa, OE kodlu numunede 39.0 MPa olup, 4.5 MPa daha fazladır. CV kodlu numunenin metilen mavisi değeri OE kodlu numuneye göre 1.3 g(boya)/kg(numune) daha fazla olduğundan daha fazla kimyasal katkı kullanılmış ve CV kodlu numunenin bünyesinde OE kodlu numuneye göre farklı tipte (CV kodlu numunede montmorillonit, OE kodlu numunede kaolinit) ve daha fazla kil minerali olduğundan OE kodlu numuneye göre 4.5 MPa daha az basınç dayanımı vermiştir. Aynı metilen mavisi değerine sahip MK, ST ve BC kodlu numuneler karşılaştırıldığında; ST kodlu numunede, MK ve BC kodlu numuneye göre 8.1 ve 7.11 g daha fazla kimyasal katkı kullanılmıştır. MK kodlu numunenin 28 günlük harç basınç dayanımı BC kodlu numuneye göre 2 MPa, ST kodlu numuneye göre 6.5 MPa daha fazladır. ST kodlu numunenin kil minerali türünün MK ve BC kodlu numuneye göre farklı olması ve incelik modülü değerinin BC kodlu numuneye göre 0.12, MK kodlu numuneye göre 0.68 daha az, yani daha ince kum olmasından dolayı 28 günlük harç basınç dayanım değerleri daha düşüktür. Dolayısıyla bu karşılaştırmada basınç dayanımı farklılıklarını incelik modülü ve kil minerali tipi denetlemiştir. AS ve OE kodlu numuneler karşılaştırıldığında metilen mavisi değerleri 1 g (boya)/kg(numune) olmasına rağmen AS kodlu numunenin 28 günlük basınç dayanımı OE kodlu numuneden 6.5 MPa daha azdır. AS kodlu numunenin incelik modülü OE kodlu numuneden 0.59 daha az olmasından dolayı (daha ince doğal kum olması) eşit kıvam için 1.98 g daha fazla kimyasal katkı tüketilmiş ve 6.5 MPa daha az basınç dayanımı vermiştir. Dolayısıyla tüm karşılaştırmalarda 28 gün harç basınç dayanımları ve aynı işlenebilirlik için kullanılan kimyasal katkı miktarını, kil minerallerinin türü, miktarı ve kumların incelik modülü denetlemektedir. Bu faktörler haricindeki etkiler için doğal kumlar laboratuvarında yıkanarak eşdeğer metilen mavisi elde edilen numuneler ile hazırlanan harç örneklerinin özellikleri araştırılmıştır.



Şekil 4.15: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kumlar ile eşit su/çimento oranında hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımı ile incelik modülü, metilen mavisi değeri ve karışımda kullanılan kimyasal katkı miktarı ilişkileri

Şekil 4.16’de görüldüğü gibi, yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler ile farklı su/çimento oranında üretilen harç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları ve numunelerin metilen mavisi, incelik modülü ve harçlarda kullanılan su miktarları karşılaştırıldığında, CV ve OE kodlu numunelerin incelik modülleri aynı olmasına rağmen, harçta aynı kıvam elde etmek için kullanılan su miktarı CV kodlu numunede 305 g olup, OE kodlu numuneye göre (257 g) 48 g daha azdır. 28 günlük basınç dayanımları CV kodlu numunede 30.5 MPa olup, OE kodlu numuneye göre (42 MPa) 11.5 MPa daha azdır. CV kodlu numunenin metilen mavisi değeri OE kodlu numuneye göre 1.3 g(boya)/kg(numune) daha fazla olduğundan daha fazla su kullanılmış ve CV kodlu numunenin bünyesinde OE kodlu numuneye göre farklı tipte ve miktarda (CV kodlu numunede montmorillonit, OE kodlu numunede kaolinit) kil minerali olduğundan OE kodlu numuneye göre 11.5 MPa daha az basınç dayanımı vermiştir. Aynı etki, Şekil 4.15’de eşit su/çimento oranı ile hazırlanan harç numunelerinde de görülmektedir. Aynı metilen mavisi değerlerine sahip MK, ST ve BC kodlu numuneler karşılaştırıldığında; ST kodlu numunede MK ve BC kodlu numuneye göre 44 g daha fazla su kullanılmıştır. MK kodlu numunenin 28 günlük harç basınç dayanımı BC kodlu numuneye göre 5.5

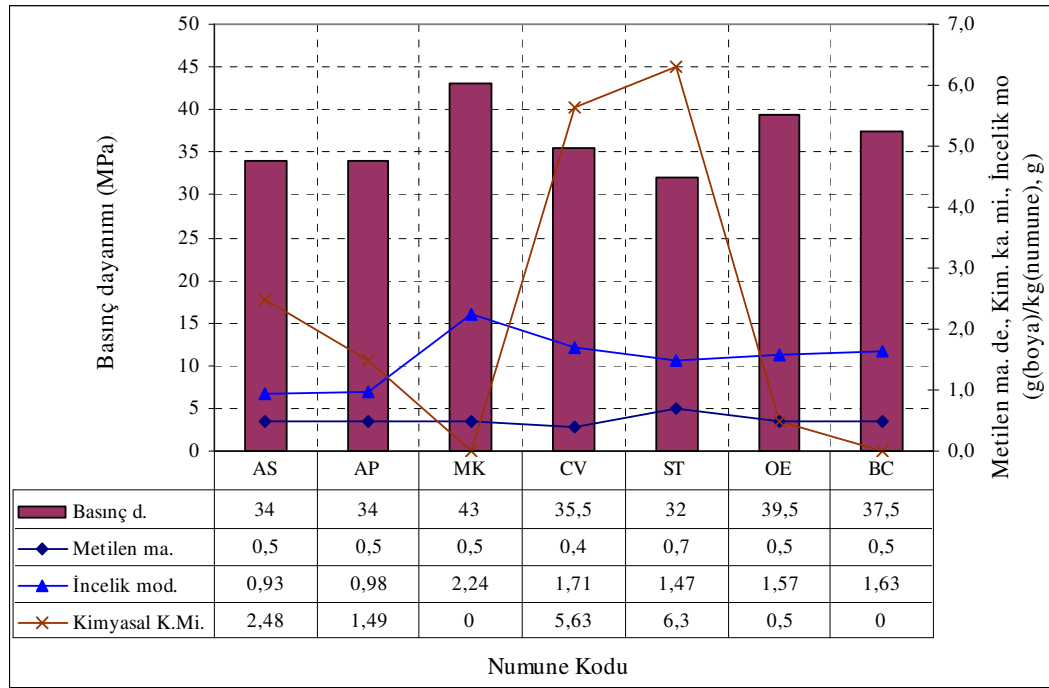
MPa, ST kodlu numuneye göre 11.0 MPa daha fazladır. ST kodlu numunenin kil minerali tipinin (montmorillonit) BC kodlu numuneye göre farklı olması ve incelik modülünün BC kodlu numuneye göre 0.21, MK kodlu numuneye göre 0.77 daha az yani daha ince kum olmasından dolayı 28 günlük harç basınç dayanımı daha düşüktür. AS ve OE kodlu numuneler karşılaştırıldığında, metilen mavisi değerleri 1 g(boya)/kg(numune) olmasına rağmen AS kodlu numunenin 28 günlük basınç dayanımı OE kodlu numuneden 9.5 MPa daha azdır. AS kodlu numunenin incelik modülünün OE kodlu numuneden 0.59 daha az olmasından dolayı eşit kıvam için 14 g daha fazla su tüketilmiş ve 9.5 MPa daha az basınç dayanımı vermiştir. Dolayısıyla tüm karşılaştırmalarda 28 günlük basınç dayanımları ve aynı işlenebilirlik için kullanılan su miktarı, kil minerallerinin tipi ve miktarı ile doğal kumların incelik modülü denetlenmektedir.



Şekil 4.16: Yıkama-eleme tesislerinden alınan kumlar ile farklı su/çimento oranında hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımı ile incelik modülü - metilen mavisi değeri ve karışımda kullanılan su miktarı ilişkileri

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi laboratuvarında yıkanmış numunelerin 28 günlük harç dayanımları, incelik modülü, kimyasal katkı miktarları karşılaştırılmıştır. İncelik modülünün etkisini görmek amacıyla AS, AP ve MK kodlu numuneler karşılaştırıldığında; AS ve AP kodlu numunelerin incelik modülleri MK kodlu

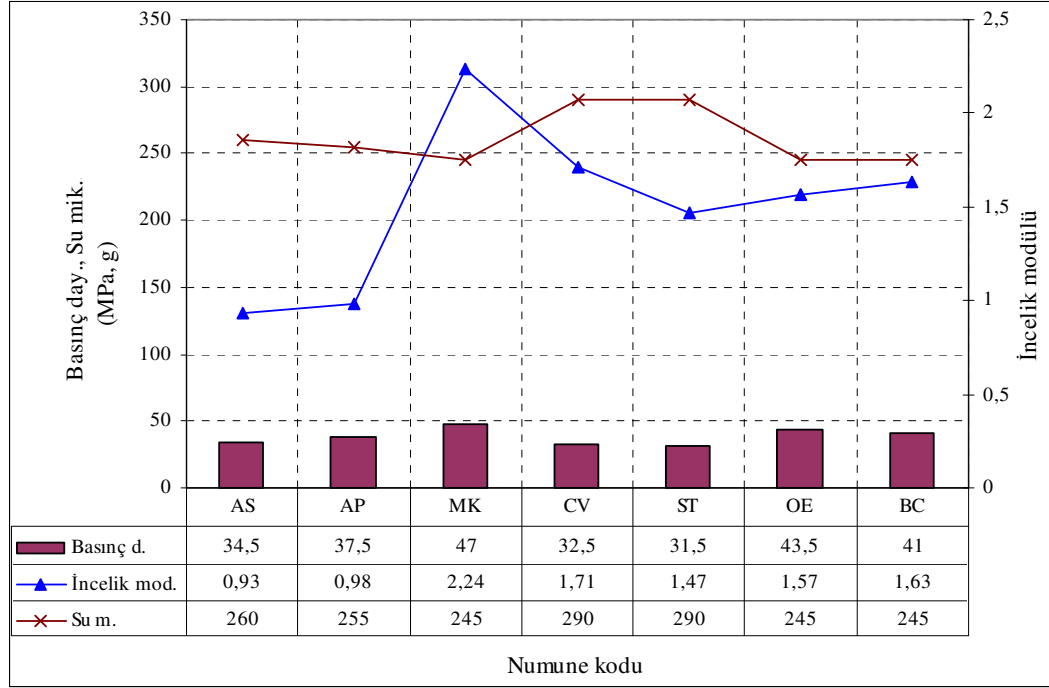
numuneden 1.31-1.26 daha az yani daha ince kum olduklarından MK kodlu numuneye göre 9 MPa daha az 28 günlük basınç dayanımı vermiştir. OE kodlu numunede feldispat mineralinin belirteci olan Na_2O miktarının çok az olması (% 0.05) (Şekil 4.18), kuvars mineralinin belirteci olan SiO_2 'nin diğer numunelerden % 13 - 23 oranında daha fazla olmasından dolayı (Tablo 3.8, Şekil 3.28) CV kodlu numuneye göre 4.0 MPa, ST kodlu numuneye göre 7.5 MPa, BC kodlu numuneye göre 2.0 MPa daha fazla basınç dayanımı vermiştir. Dolayısıyla, özellikle sodyumlu feldispat minerallerinin varlığı basınç dayanımlarını etkilemektedir. AS ve AP kodlu numunelerin OE kodlu numuneye göre 5 MPa daha az basınç dayanımı vermesi AS ve AP kodlu numunelerin OE kodlu numuneye göre daha ince olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.17: Laboratuvarında yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranında hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımı ile incelik modülü ile karışımında kullanılan kimyasal katkı miktarı ilişkileri

Şekil 4.18'de laboratuvarında yıkanmış numuneler ile farklı su/çimento oranında hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımı incelik modülü ile karışımında kullanılan su miktarı ilişkileri karşılaştırılmıştır. İncelik modülünün etkisini gözlemlemek amacıyla AP ve MK kodlu numuneler karşılaştırıldığında; AP kodlu numunenin incelik modülü MK kodlu numuneden 1.26 daha az olduğundan ve MK kodlu numuneye göre 10 g daha fazla su kullanıldığından 9.5 MPa daha az 28 günlük harç basınç dayanımı vermiştir.

OE ve MK kodlu numuneler karşılaştırıldığında; OE kodlu numunenin incelik modülü MK kodlu numuneden 0.67 ve aynı su miktarı kullanılmasına rağmen, 3.5 MPa daha az 28 günlük harç basınç dayanımı vermiştir.

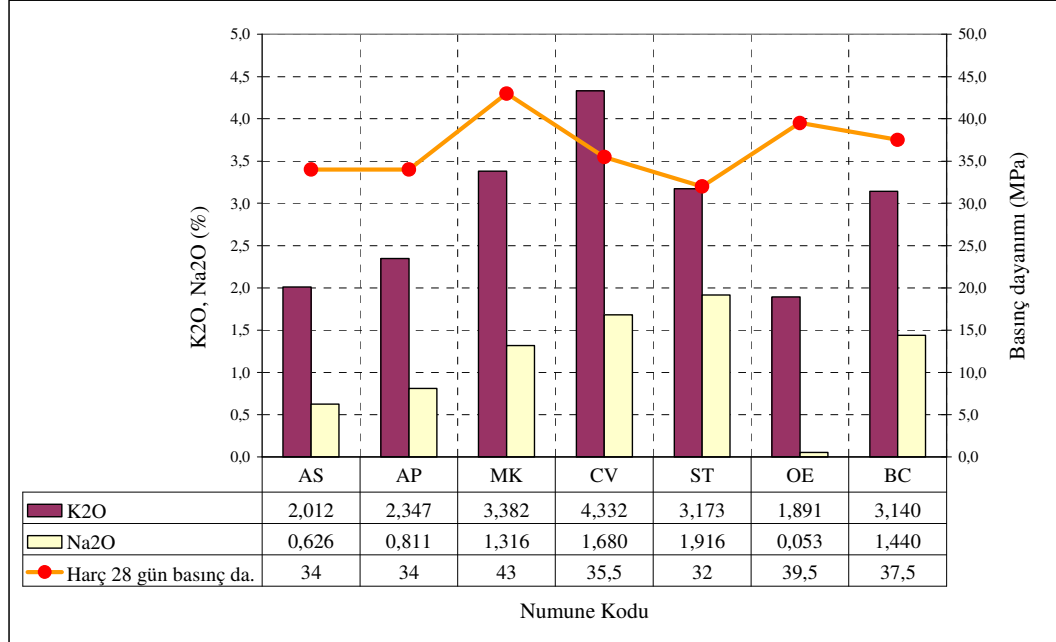


Şekil 4.18: Laboratuvarıda yıkanmış numuneler ile farklı su/çimento oranı ile hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımı, incelik modülü ve karışımda kullanılan su miktarı ilişkileri

CV kodlu numunenin incelik modülü OE kodlu numuneden 0.14 daha fazla yani daha kaba olmasına rağmen, OE kodlu numuneden 45 g daha fazla su kullanıldığından 11 MPa daha az 28 günlük harç basınç dayanımı vermiştir. Bu karşılaştırmada kumlar yıkanarak metilen mavisi değerleri eşdeğer hale getirildiğinden söz konusu numunelerin bünyesinde bulunan kil minerallerinin uzaklaştırıldığı düşünülürse, CV kodlu numunede daha fazla su kullanılmasının nedeni, feldispat mineralinin belirteci olan Na_2O miktarının OE kodlu numuneden %1.63 fazla olması ve muskovit mineralinin belirteci olan K_2O miktarının OE kodlu numuneden % 2.4 daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.19).

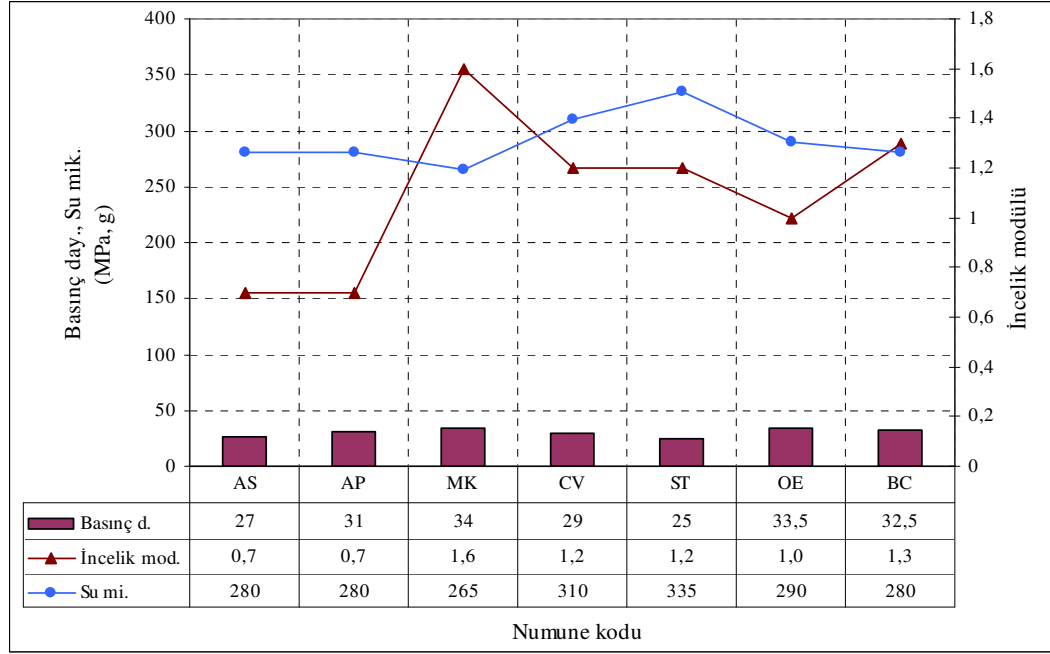
Yine Şekil 4.18’de görüldüğü gibi; OE ve BC kodlu numuneler kıyaslandığında, eşit kıyım için aynı miktarda su kullanılmasına ve BC kodlu numunenin incelik modülü OE kodlu numuneden 0.06 daha fazla yani daha kaba kum olmasına rağmen, CV ve OE

kodlu numunelerin kıyaslanmasında olduğu gibi doğal kumların mineralojik bileşimleri etkisi görülmektedir. Keza, BC kodlu numunenin Na₂O miktarı OE kodlu numuneden % 1.39, K₂O miktarı OE kodlu numuneden % 1.2 daha fazladır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19: Laboratuvarda yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranında hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımlarının kumların Na₂O ve K₂O içerikleri ile ilişkisi

Şekil 4.20’da laboratuvarda yıkanarak ve 1 mm elekten elenerek eşit incelik modülü elde etmek amacıyla hazırlanan numuneler ile üretilen harçların 28 günlük basınç dayanımları ve kullanılan su miktarları karşılaştırılmıştır. AS ve AP kodlu numuneler hariç (denizel kökenli ve tane boyu dağılımı 0-0.5 mm arasında olduğu için) diğer harç numunelerinin incelik modülü değerleri birbirine çok yaklaştırıldığından tamamen mineralojik bileşim su miktarını ve basınç dayanımını denetlemiştir. Keza, ST kodlu numunedeki Na₂O miktarı OE kodlu numuneden % 1.86, K₂O miktarı % 1.29 daha fazladır. Aynı ilişki CV ve OE kodlu numunelerde de gözlemlenmektedir. CV kodlu numunedeki Na₂O miktarı, OE kodlu numuneye göre % 1.63, K₂O miktarı % 2.4 daha fazladır (Şekil 4.19). CV ve ST kodlu numunelerde feldispat ve mika minerallerinin varlığına bağlı olarak su miktarları arttığından, basınç dayanımları CV kodlu numunede 4.5 MPa, ST kodlu numunede ise 8.5 MPa azalmıştır. Dolayısıyla sodyumlu feldispat mineralinin belirteci olan Na₂O miktarı daha etkili olmuştur.

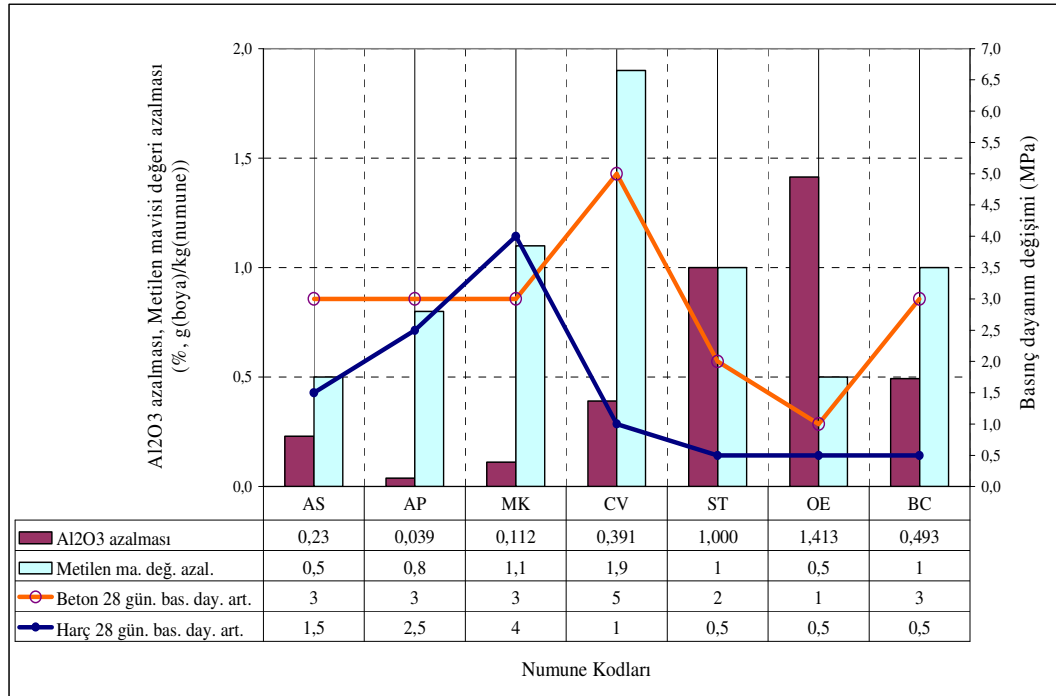


Şekil 4.20: Laboratuvarda yıkanmış ve 1 mm elek altı elenmiş numuneler kullanılarak farklı su/çimento oranı ile hazırlanan harçların 28 günlük basınç dayanımı ile incelik modülü ve su ilişkileri

Şekil 4.21’de Yıkama-eleme tesislerinden alınan ve laboratuvarda yıkanmış kum numuneleri ile eşit su/çimento oranında üretilen beton ve harçlardaki, Al_2O_3 ve metilen mavisi değeri azalması ile ilgili 28 günlük basınç dayanımlarındaki artışların ilişkisi verilmektedir. MK kodlu numunenin incelik modülü diğer numunelerden 0.56 – 1.29 daha fazla olduğundan MK kodlu numune hariç numunelerin laboratuvarda yıkanması durumunda incelik modülü artışı % 23’ün altında olan ST, OE ve BC kodlu numunelerde 28 günlük basınç dayanımı artışı harçlarda 0.5 MPa, % 23 incelik modülü artışı olan AP kodlu numunede 2.5 MPa, % 24 incelik modülü artışı olan AS kodlu numunede 1.5 MPa ve % 26 incelik modülü artışı olan CV kodlu numunede 1 MPa’dır. İncelik modülü artışına bağlı basınç dayanımlarının artışı, aynı zamanda numunelerin yıkanması sonucu kil mineralinin belirteci olan Al_2O_3 miktarı yıkama sonrası % 0.039-1.413 oranında azalmasına paralel olarak metilen mavisi değeri de 0.5-1.9 g(boya)/kg(numune) miktarında azalmıştır. Basınç dayanımlarının artışında incelik modülü artışı ve kil minerallerinin ortamdan uzaklaşması etkili olmuştur. Harç numunelerinin hazırlanmasında sadece kum kullanıldığından incelik modülü basınç dayanımında betondan daha etkili olmuştur. Çünkü beton numuneler hazırlanırken

doğal kum miktarları değiştirilerek eşdeğer beton karışım incelik modülleri elde edilerek doğal kumlar toplam beton karışımında % 35–44 oranında kullanılmış ve deneme betonlarında doğal kumların incelik modülünden gelen etkiler minimuma indirgenmiştir.

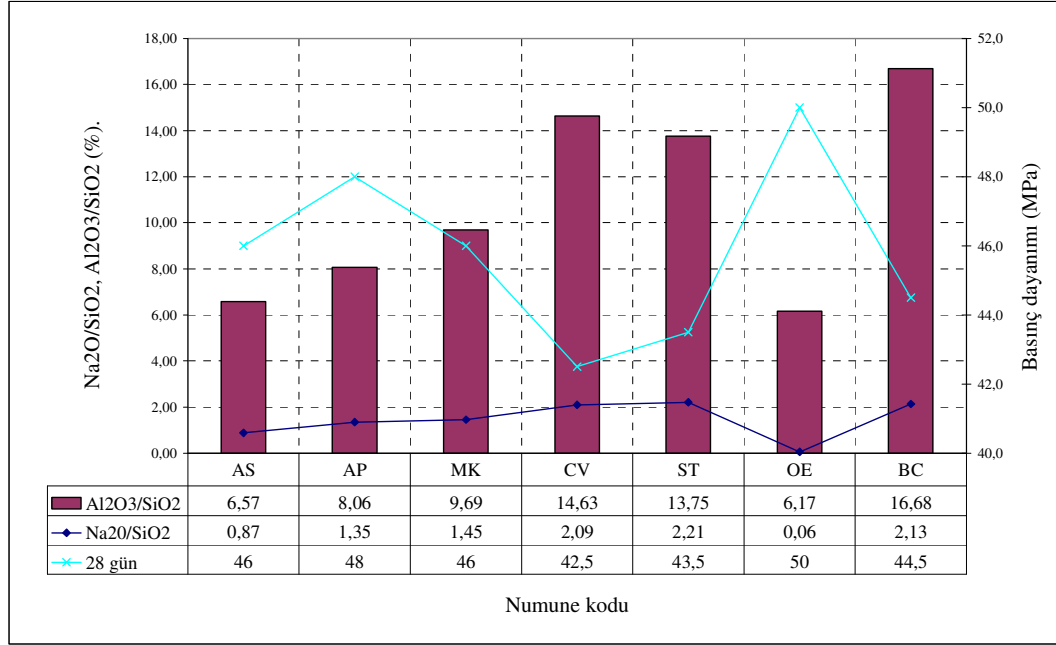
Yıkama sonrası numunelerde bulunan kil minerallerinin uzaklaştırılmasından dolayı, metilen mavisi değerleri 1-1.9 g(boya)/kg(numune) arasında azaldığında 28 günlük beton basınç dayanımları 2–5 MPa, metilen mavisi değerleri 0.5–0.8 g(boya)/kg(numune) azaldığında 28 günlük basınç dayanımı 1 – 3 MPa artmıştır.



Şekil 4.21: Yıkama-eleme tesislerinden alınan ve laboratuvarında yıkanmış kum numuneleri ile eşit su/çimento oranında üretilen beton ve harçlardaki, kumların Al_2O_3 içerikleri ve metilen mavisi değeri azalması ile ilgili 28 günlük basınç dayanımlarındaki değişimlerin ilişkisi

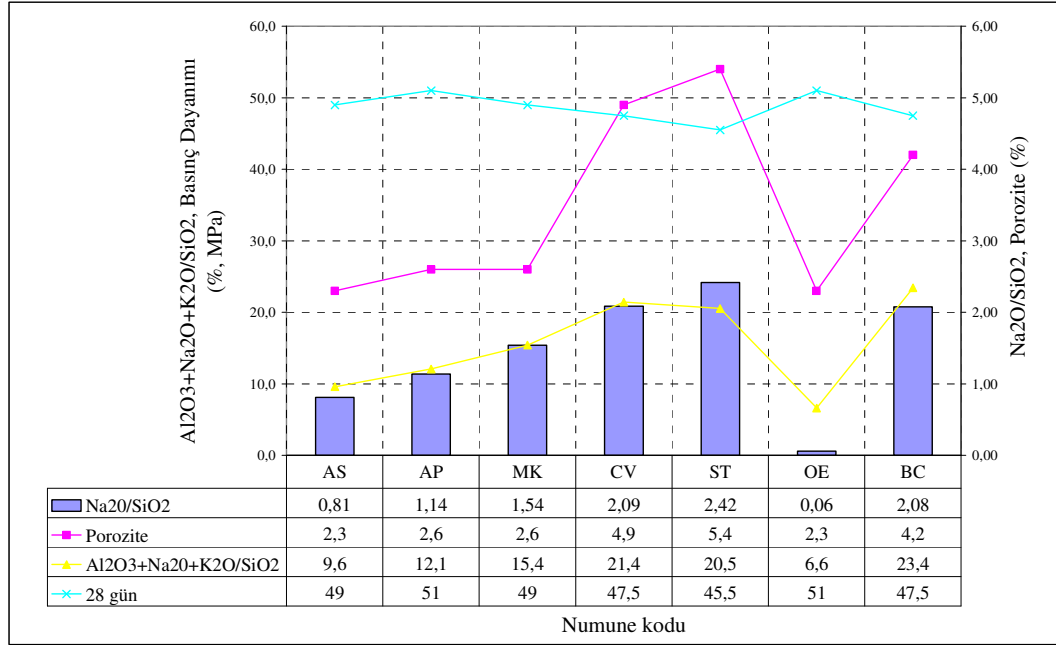
Şekil 4.22’de görüldüğü gibi; Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerinin Al_2O_3 / SiO_2 oranı % 10’un altında olanlar (AP, MK, AS ve OE), % 10’un üstünde olanlara göre (CV, ST ve BC) eşit su/çimento oranında üretilen betonlarda daha fazla 28 günlük basınç dayanımı elde edilmiştir. Yine Şekil 4.22’de görüldüğü gibi; tesislerden alınan numuneler arasında Na_2O / SiO_2 oranı % 2’nin altında olanlar (AP, MK, AS ve OE), %

2'nin üzerinde olan numunelere göre (CV, ST ve BC) eşit su/çimento oranında üretilen betonlarda daha fazla 28 günlük basınç dayanımları vermektedir.



Şekil 4.22: Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin Al_2O_3 / SiO_2 , Na_2O / SiO_2 oranları ile 28 günlük beton basınç dayanımı ilişkisi

Şekil 4.23'de görüldüğü gibi; Laboratuvarıda yıkanmış numunelerin $K_2O + Na_2O + Al_2O_3 / SiO_2$ oranı % 16'in altında olan numuneler (AP, MK, AS ve OE), % 16'in üstünde olan numunelere göre (CV, ST ve BC) eşit su/çimento oranında üretilen betonlarda daha fazla 28 günlük basınç dayanımı elde edilmiştir. Yine Şekil 4.23'de görüldüğü gibi; Laboratuvarıda yıkanmış numunelerin Na_2O / SiO_2 oranı % 2'nin üzerinde ve $K_2O + Na_2O + Al_2O_3 / SiO_2$ oranı % 16 üzerinde olması durumunda (CV, ST ve BC) porozite yüzdeleri % 4'ün üzerine, su emme yüzdeleri ise % 1,2'nin üzerine çıkmakta, buna karşın doymun yüzey kuru tane yoğunluğu 2.60 kg/m^3 'ün altına düşmektedir (Şekil 3.59).



Şekil 4.23: Laboratuvarda yıkanmış numunelerin Al₂O₃ + Na₂O + K₂O/ SiO₂, Na₂O / SiO₂ oranları ve poroziteleri ile 28 günlük beton basınç dayanımı ilişkisi

5. SONUÇLAR

İncelenen kumlarda, kumların içerdği çok ince malzemenin türü ince agreganın kalitesini önemli oranda etkilemektedir. Çok ince malzeme miktarı aynı olan kumlar karşılaştırıldığında; montmorillonit tipi kil minerallerini bünyesinde bulunduran doğal kum, bünyesinde kaolinit tipi kil minerali bulunduran doğal kuma göre daha fazla metilen mavisi değeri vermektedir.

Kuruma çekmesi yüzdeleri su emme oranlarının artışına paralel olarak artmaktadır. Numunelere ait su emme yüzdeleri ise içerdikleri kil minerali türü ile feldispat ve mika minerallerinin varlığı, oranları ve ayrışmaları ile ilgilidir.

Magnezyum sülfat kullanılarak elde edilen don dayanıklılığı değerleri, karasal kökenli kumlarda su emme artışına paralel olarak artmıştır. Denizel kökenli kumlarda ise kavkı kırıntıları don dayanıklılığı değerlerini etkilemektedir.

Yıkama-eleme tesislerinden alınan numuneler ile üretilen beton ve harç karışımlarında kumlara ait metilen mavisi değeri artışına paralel olarak, eşit su/çimento oranında kimyasal katkı miktarları, değişik su/çimento oranlarında ise su miktarları artmaktadır.

Laboratuvarda yıkanmış numuneler ile üretilen beton karışımlarında eşdeğer metilen mavisi değerine sahip kumlar kullanılmasına rağmen üretilen betonlarda eşit su/çimento oranında kimyasal katkı, farklı su/çimento oranında ise su miktarlarını kumların içerdikleri sodyum ve potasyumlu feldispat ile mika denetlemektedir. Bu minerallerin belirteci olan Na_2O , K_2O yüzdelерinin, doğal kumların betonda kullanım öncesi ve sonrasındaki denetim aşamasında belirlenmesi önemli yararlar sağlayacaktır

Mineralojik ve kimyasal özelliklerin yanı sıra, tane boyu dağılımı sürekliliği, incelik modülü ve özgül yüzey alanı beton ve harç dayanımlarını etkileyen diğer önemli parametrelerdir. Özgül yüzey alanı değeri sayısal olarak arttıkça ve incelik modülü değeri azaldıkça harç numunelerinin 28 günlük basınç dayanım değerleri azalmaktadır.

Her ne kadar mineralojik bileşimi uygun olsa da, beton üretiminde kullanılan doğal kumların incelik modülü, özgül yüzey alanı, tane boyu dağılımı ve maksimum tane boyu dikkate alınarak, bu kumların beton karışımlarında kullanılan yüzdeleri belirlenmelidir. Böylelikle, optimum su ve kimyasal katkı kullanımı sağlanacaktır.

Laboratuvarda yıkanan numunelerin içerdiği kil minerallerinin ortamdaki uzaklaştırılması durumunda 28 günlük beton ve harç basınç dayanımları artmaktadır. Bu nedenle üretim yöntemi ve bu yöntemin etkin uygulanması oldukça önemlidir.

AS kodlu örnek dışında, diğer kum örnekleri içerdikleri aktif silis mineralleri (çört, kalsedon vb.), metamorfik kaya kökenli kaya kırıntıları ve metamorfizma geçirmiş çatlaklı kuvarslardan dolayı betonda alkali-silis reaksiyonuna neden olabilirler. Bu nedenle bu tür kumların kullanıldığı betonlarda kum miktarının dikkate alınması, katkılı çimentoların (puzolan, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu) kullanılması ve/veya üretilen betonların mümkün olduğunca geçirimsiz olmasının sağlanması gerekmektedir.

Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin laboratuvarda yıkanması sonucunda içerdikleri Al_2O_3 miktarının azalması kil minerallerini uzaklaştırdığını, K_2O ve Na_2O miktarının azalmaması sodyum, potasyumlu feldispat ve mikaların ortamdaki uzaklaşmadığının göstergesidir. Bu nedenle kil minerallerinin uzaklaştırılması için etkin ve uygun üretim proseslerinin uygulanması gerekmektedir. Ancak, feldispat ve mika mineralleri yıkama ile uzaklaştıramadığından, gerek maliyet açısından gerekse de işlenebilirlik, dayanım ve durabilite açısından beton üretiminde bu tür minerallerin varlığı göz önüne alınmalıdır.

Yıkama-eleme tesislerinden alınan numunelerin Al_2O_3 / SiO_2 oranı % 10'un altında olanlar diğerlerine göre eşit su/çimento oranında üretilen betonlarda daha fazla 28 günlük basınç dayanımı elde edilmiştir.

Laboratuvarda yıkanmış numuneler ile eşit su/çimento oranında üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları numunelerin porozitelerindeki artışa paralel olarak azalmaktadır.

Denizel kökenli kumlarda kavkı kırıntıları kumların don dayanıklılık özelliğini azalttığı, ancak basınç dayanımları üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Yıkama-eleme tesislerinden alınan ve laboratuvarıda yıkanmış numuneler arasında $\text{Na}_2\text{O} / \text{SiO}_2$ oranı % 2'nin altında olanlar, diğerlerine göre eşit su/çimento oranında üretilen betonlarda daha fazla 28 günlük basınç dayanımları vermektedir. Bu durum daha çok örnek ile yapılacak olan istatistiksel analizler ile denetlenmelidir.

Laboratuvarıda yıkanmış numunelerin $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ oranı % 16'in altında olan numuneler, diğerlerine göre eşit su/çimento oranında üretilen betonlarda daha fazla 28 günlük basınç dayanımı elde edilmiştir. Benzer şekilde; laboratuvarıda yıkanmış numunelerin $\text{Na}_2\text{O} / \text{SiO}_2$ oranı % 2'nin üzerinde ve $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ oranı % 16 üzerinde olması durumunda porozite yüzdeleri % 4'ün üzerine, su emme yüzdeleri ise % 1,2'nin üzerine çıkmakta, buna karşın doygun yüzey kuru tane yoğunluğu 2.60 Mg/m^3 'ün altına düşmektedir. Bu sonuçlar da daha çok örnek ile yapılacak olan istatistiksel analizler ile denetlenmelidir.

6. KAYNAKLAR

- AKPOKODJE, E.G., HUDEC, P.P., 1994, The influence of petrology and fabric on the engineering properties of concretionary laterite gravel aggregates, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 27, 39-50.
- ARIOĞLU E., ARIOĞLU N., YILMAZ O., 2006, *Beton agregaları, Çözümlü problemler – Bilgi Föyleri*, Evrim Yayın Evi, İstanbul, 287 s.
- ASTM C 33-01, 1981, Standard specification for concrete aggregate, *Annual book of ASTM Standards*, Volume 04.02.
- ASTM C 230/C 230M-98, 1999, Standard specification for flow table for use in tests of hydraulic cement, *Annual book of ASTM Standards*, Volume 04.01.
- ASTM C 1260, 1994, Standard method for potential alkali-silica reactivity of aggregates (mortar bar method). *Annual book of ASTM Standards*, Volume 04.02, *Concrete and Aggregates*. 648-651.
- BARADAN, B., 2004, *Yapı malzemesi II*, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, 222 s.
- BARON, J., OLLIVIER J., 1992, *Les Bétons*, Éditions Eyrolles, Paris, 522 pp.
- BAYKAL, F., 1943, Şile bölgesinin jeolojisi, *İst. Üniv. Fen Fak. Monogr.*, İstanbul.
- BAYKAL, F., 1963, İstanbul Boğazı batısındaki sahanın jeolojik etüdü, *MTA Rap. No: 3267*, Ankara (Yayımlanmamış)
- BELL, F.G, 1998, Engineering Geology, *Blackwell Science*, Oxford, 359 pp.
- CRAMMOND, N.J., 2003, The thaumasite form of sulphate attack in the UK, *Cement Concrete Composition*, 25,809-818.
- CSA, (Canadian Standards Association) 1994, Test method for detection of alkali-silica reactive aggregate by accelerated expansion of mortar bars. *A23.2-94. Methods of Test for Concrete. Canadian Standards Association*, Ontario, Canada, 236-242.
- DAY, K.W., 1999, Concrete Mix Design, *Quality control and specification, second edition*, Australia, 391 pp.
- DEWAR, J.D. 1963, Effect of mica in the fine aggregate on the water requirement and strength of concrete, *C&CA Technical report TRA/370*.
- DEWAR, J.D. and ANDERSON, R., 1992, Manual of Ready-Mixed Concrete, Blackie Academic & Professional, 248 pp.

- DONZA, H., CABRERA, O. and IRASSAR, E.F., 2002, High-strength concrete with different fine aggregate, *Cement and Concrete Research*, Volume 32, Issue 11, 1755-1761.
- DUMAN, T.Y., KEÇER, M., ATEŞ, Ş., EMRE, Ö., GEDİK, İ., KARAKAYA, F., DURMAZ, S., OLGUN, Ş., ŞAHİN, H. ve GÖKMENOĞLU, O., 2004, İstanbul metropolü batısındaki (Küçükçekmece-Silivri-Çatalca yöresi) kentsel gelişme alanlarının yer bilim verileri, *MTA Özel Yayın Serisi-3*, Ankara.
- ERDOĞAN, M., 1993, İstanbul ve Dolayının Yapay Agrega Potansiyeli, *Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni*, s. 14, 29-41.
- ERDOĞAN T.Y., 2003, Beton, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. yayını*, Ankara, 741 s.
- EROSKAY, S.O., 1978, Kocaeli Yarımadası güneyindeki kireçtaşlarının hidrojeolojisi ve karst parametrelerinin analizi, İ.Ü. Yerbilimleri Fak., *Tübitak TBAG-124 Projesi* (yayınlanmamış).
- FOOKES, P.G., 1980, An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 123, 207-229.
- FOOKES, P.G. and REVIE, W.A., 1982, Mica in concrete-a case history from Eastern Nepal, *Concrete*, 16 (3), 12-16.
- FORDER, I., 1972, Some observations on the use of beach sand, micaceous sand in concrete, *ACT Project*, Institute of Concrete Technology.
- GEDİK, İ., DURU, M., PEHLİVAN, Ş., TİMUR, E., 2005, 1/50.000 ÖLÇEKLİ Türkiye Jeoloji haritaları, İstanbul-F22c Paftası, *MTA Raporu*, No:11, Ankara.
- GILLOTT, J. E., 1975, Alkali-aggregate reactions in concrete, *Engineering Geology*, 9, 303-326.
- GOGTE, B.S., 1973, An evaluation of some common Indian rocks with special reference to alkali-aggregate reactions. *Engineering Geology* 7, pp. 135-153.
- GRATTAN-BELLEW, P.E., 1987, Concrete alkali-aggregate reactions, *Noyes Publications, Park Ridge*, pp. 331-335.
- HOBBS, D. W., 1990, Cracking and expansion due to the alkali-silica reaction: its effect on concrete, *Structural Engineering Review*, 2, 65-79.
- HOCHSTETTER, F., 1870, Avrupa Türkiye'si'nin doğu kısmının jeolojisi. *Jhrb. K.K. Geol. Reichsanstalt*, Bb1, 20/3, 365-461, Wien.
- HORNIBROOK, F.B., INSLEY, H., SCHUMAN, L., 1943, Report on committee C-1 on cement (appendix), *Proceedings American Society Test Materials* 43, p. 218.

- ISSA (International Slurry Seal Association), 1989, Test method for determination of methylene blue absorption value (MBV) of mineral aggregate filler and fines, *ISSA Bulletin* 145.
- KANDALL, P.S., LYNN, C.Y., PARKER, F., 1998, Tests for plastic fines in aggregates related to stripping in asphalt paving mixtures, *National Center Of Asphalt Technology*, Report No 98-3, Auburn University Alabama.
- KASAR, S. ve EREN, A.A., 1986, Kırklareli-Saray-Kıyıköy bölgesinin jeolojisi, *TPAO*, No, 2208 (Yayımlanmamış).
- KESKİN, C., 1971, Pınarhisar alanının jeolojisi, *TJK Bülteni*, XIV, 31-83.
- KESKİN, C., 1974, Türkiye Ergene Havzasının stratigrafisi, *Türkiye İkinci Petrol Kongresi, Tebliğler*, TPJD, Ankara.
- LANDGREN, R., SWEET, S., 1952, Investigation of durability of Wyoming aggregates. *Proceedings Highway Restoration Board* 31, 202–217.
- LEBKUCHNER, R.F., 1974, Orta Trakya Oligoseni'nin jeolojisi hakkında, *MTA Derg*, 83, 1-30, Ankara.
- MAGNI, E.R, ROGERS, C.A., and GRATTAN-BELLEW, P.E. 1987. The influence of alkali-silicate reaction on structures in the vicinity of sudbury, Ontario. *Proceeding of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reactivity, Ottawa 1986 and MTO Report EM-81*. Noyes Publications, Park Ridge, N.J.
- McCONNELL, D., MIELENZ, R. C., HOLLAND, W.Y. and GRENE, K.T., 1950, Petrology of concrete affected by cement aggregate reaksiyon. *In application of Geology to engineering Practice (ed. S. Paige). Berkeley Volume, Memoir American Geological Society*, 222-250.
- MIELENZ, R.C., 1954, Petrographic examination of concrete aggregate. *Proceedings American Society Test Materials* 54, 1188–1218.
- MINGYU, H., FUMEI, L., MINGSHU, T., 2006, The thaumasite formation of sulfate attack in concrete of Yongan Dam, *Cement and Concrete Research* 36, 2006-2008.
- NEVILLE, A.M., 1995, Properties of concrete, *4th Adn, Pitman, London*, 884 pp.
- OKAY, A.C., 1948, Şile, Mudarh, Kartal ve Riva arasındaki bölgenin jeolojik etütü, *İ.Ü. Fen Fak. Mec. Seri B, Cilt XIII*.
- PENCK, W., 1919, Grundzüge der Geologie des Bosphorus. Veröff. *Des instit für meereskunde, geol.-naturw, reihe, h.4*.
- POSTACIOĞLU, B., 1987, Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, *Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul*, 404 s.

- RAISANEN, M., 2005, Quality assessment of a geologically heterogeneous rock quarry in Pirkanmaa county, southern Finland, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64, 409-418.
- RHOADES, R., 1942, Discussion of a paper by Stanton, Porter, Meder and Nicol: California experience with the expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *Journal American Concrete Institute Proceedings* 38, 236:7-236:11.
- ROGERS, C., GRATTAN-BELLEW, P.E., HOOTON, R.D., RYELL, J. and THOMAS, M.D.A., 2000, Alkali-Aggregate Reactions in Ontario, *Canadian Journal Civil Engineering*, Vol 27, p.246-260.
- SMITH, M.R. and COLLIS, L., (EDS.) 2001, *Agregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes*, Geological Society, Engineering Geology Special Publication 17, London, 360 pp.
- STANTON, T.E., 1940, Influence of cement and aggregate on concrete expansion. *Engineering News Record February* 1, 59-61.
- STANTON, T.E., 1941, Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate, discussions, *Proceedings American Society Civil Engineering* 67, 1402-1418.
- STANTON, T.E., PORTER, O.J., MEDAR, L.C. and NICOL, A., 1942, California experience with the expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *Journal American Concrete Institute* 13, 209-236.
- STAPEL, E.E., AND VERHOEF, P.N.W., 1989, The use of the methylene blue adsorption test in assessing the quality of basaltic tuff rock aggregate, *Engineering Geology*, Vol.26, 233-246.
- TASONG, W.A., CRIPPS, J.C., LYNSDALE, C.J., 1998, Aggregate-Cement Chemical Interactions, *Cement and Concrete Research*, 28, 7, 1037-1048.
- TESCH, V., MIDDENDORF, B., 2006, Occurrence of thaumasite in gypsum lime mortars for restoration, *Cement and Concrete Research*, 36, 1516-1522.
- TS EN 196-1, 2002, Çimento deney metotları – Bölüm 1: Dayanım, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 197-1, 2002, Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar -bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 206-1, 2002, Beton-Bölüm 1, Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara
- TS 706 EN 12620, 2003, Beton agregaları, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 802, 1985, Beton karışım hesapları, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

- TS EN 932-1, 1997, Agregaların genel özellikleri için deneyler - kısım 1 -numune alma metodları, *Türk Standardları Enstitüsü, ANKARA*
- TS EN 933-8, 2001, Agregaların kum eşdeğerliği deneyi, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara*
- TS EN 933-9, 2001, Agregaların metilen mavisi deneyi, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 1008, 2003, Beton-karma suyu-numune alma deneyler ve beton endüstrisinde ki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 1097-2, 2000, Agregaların parçalanma direnci deneyi - Los Angeles, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 1097-3, 1999, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler – Bölüm 3 : Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 1097-6, 2002, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler – Bölüm 6 : Tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 1367-2, 1999, Agregalarda magnezyum sülfat deneyi, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 1367-4, 1999, Agregaların termal bozunma özellikleri için deneyler - Bölüm 4: Kuruma büzülmesi tayini, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 1744-1, 2000, Agregaların kimyasal analizi-Organik madde tayini, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS 3530 EN 933-1, 1999, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini – Eleme metodu, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS 9582 EN 933-3, 1999, Agregaların yassılık endeksi tayini, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 12350-1, 2002, Taze betondan numune alma, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 12350-2, 2002, Taze betonda çökme deneyi, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 12350-6, 2002, Taze beton yoğunluk deneyi, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*

- TS EN 12350-7, 2002, Taze beton hava içeriği, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12390-2, 2002, Dayanım deney numunelerinin yapımı, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2002, Dayanım deney numunelerinin basınç dayanımı tayini, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- UMUT, M., KURT, Z., İMİK, M., ÖZCAN, I., SARIKAYA, H., SARAÇ, G. ve KESKİN, İ., 1983, Tekirdağ ili-Silivri (İstanbul ili)-Pınarhisar (Kırklareli ili) alanının jeolojisi, *MTA Rap. No. 7349*, Ankara (Yayımlanmamış).
- UMUT, M., KURT, Z., İMİK, M., ÖZCAN, I., ATEŞ, M., KARABIYIKOĞLU, M. ve SARAÇ, G., 1983, Edirne ili-Kırklareli ili-Lüleburgaz (Kırklareli ili)-Uzunköprü (Edirne ili) civarının jeolojisi, *MTA Rap. No. 7604*, Ankara (Yayımlanmamış).
- URIBE-AFIF, R., 1994, Study of Petrous Aggregates For Concrete in Zimapan Arch Dam in Mexico, *Proceedings of 7th International IAEG Congress*, 3229-3233.
- ÜNAL, O.T., 1967, Trakya jeolojisi ve petrol imkanları, *TPAO Rap. No: 391* (Yayımlanmamış).
- VERHOEF, P.N.W., 1992, The methylene blue adsorption test applied to geomaterials, *Memoirs of the Centre of Engineering Geology in the Netherlands, Delft University of Technology*, No.101, GEOMAT.02, 70 p.
- WAKIZAKA, Y., MORITA, S. KAWANO, H., 1987, Relationships between mineral assemblages of rocks and their alkali reactivities. *CAJ Rev.*, 292–295.
- WAKIZAKA, Y., MORIYA, S., KAWANO, H. ICHIKAWA, K., 1989, Mineralogical interpretations of dissolved silica and reduction in alkalinity of the chemical method. In: *Proceedings 8th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Kyoto*, 519–524.
- WAKIZAKA, Y., ICHIKAWA, K., NAKAMURA, Y. and ANAN, S., 1994, Deterioration of concrete due to specific minerals, *Proceedings of Seventh International IAEG Congress, Lisboa (5-9 September)*, Theme 4, 414-421.
- WAKIZAKA, Y., 1998, Reactivity of rocks and minerals in alkaline solution. *Journal Research, Public Works Res. Inst.* pp. 34-146.
- WAKIZAKA, Y., 2000, Alkali-Silica reactivity of Japanese rocks, *Engineering Geology*, V. 56, 1-2, pp. 211-221.
- YENİYOL, M. ve ERCAN, T., 1990, İstanbul kuzeyinin jeolojisi, Üst Kretase volkanizmasının petrokimyasal özellikleri ve Pontid’lerdeki bölgesel yayılımı, *İst. Üniv. Mühendislik Fak. Yerbilimleri Derg. C.7*, S. 1-2, ss. 125-147, İstanbul.

YURTSEVER, A., 1996, İstanbul yarımadasının (1/500.000 ölçekli haritasının) jeolojisi, *MTA Rap.* No. 9989, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1964 yılında Almanya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Zonguldak’ta tamamladı. 1986 yılında İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Yatakları Programı’nda yüksek lisansa başladı. Aynı üniversitede 1989 yılında doktora programına başladı. 1995 yılından itibaren Set Beton Madencilik San. ve Tic. A.Ş.’de Kalite & Çevre Müdürü olarak görev yapmaktadır. Biri uluslararası bildiri olmak üzere, toplam 3 adet yayını bulunmaktadır. Yabancı dili İngilizce’dir.