İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYASAL UYGULAMALARININ KUZEY KIBRIS YAPI TAŞLARININ DÜRABİLİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

DOKTORA TEZİ

Nejdet ZİYAETTİN

Anabilim Dalı : Mimarlık

Programı : Yapı Bilimleri

MAYIS 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYASAL UYGULAMALARININ KUZEY KIBRIS YAPI TAŞLARININ DÜRABİLİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

DOKTORA TEZİ
Nejdet ZİYAETTİN
(502042607)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 Mayıs 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Leyla TANAÇAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erol GÜRDAL (İTÜ)
Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY (MSGSÜ)
Prof. Dr. Canan TAŞDEMİR (İTÜ)
Prof. Dr. Kemal ÇORAPÇIOĞLU (MSGSÜ)

MAYIS 2010

Eşim Nurhan CİHAN ZİYAETTİN ve oğlum Ömer Ege ZİYAETTİN'e sevgiyle,

ÖNSÖZ

Doktora çalışmam boyunca değerli öneri ve eleştrileri ile beni yönlendiren, özveri ve sabır ile destekleyen sayın tez danışmanım Prof. Dr. Leyla TANAÇAN'a, çalışmalarım süresince bilgi ve görüşlerinden yararlandığım Prof. Dr. Erol GÜRDAL'a ve Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY'a, deney sürecinde yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Serkan YATAĞAN'a, ve Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuarı teknisyeni İbrahim ÖZTÜRK'e, sağlamlaştırıcı ve koruyucu kimyasalların temininde yardımcı olan Wacker firmasından İbrahim ÖZIŞIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca yanımda olan annem Havva ZİYAETTİN ve babam Ömer ZİYAETTİN'e, tüm ilgi ve desteği için eşim Y.Mimar Nurhan CİHAN ZİYAETTİN ve oğlum Ömer Ege ZİYAETTİN'e teşekkür eder, sevgilerimi sunarım.

Mayıs 2010 Nejdet ZİYAETTİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xviiii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi 2
1.2 Çalışmanın Kapsamı 2
1.3 Çalışmanın Yöntemi 3
2. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMASI **7**
2.1 Doğal Taşların Tanımı ve Sınıflandırılması 7
2.1.1 Magmatik (püskürük) taşlar 9
2.1.2 Sedimanter (tortul) taşlar 9
2.1.2.1 Fiziksel (taneli) tortul taşlar 10
2.1.2.2 Organik tortul taşlar 10
2.1.2.3 Kimyasal tortul taşlar 11
2.1.3 Metamorfik (başkalaşım) taşlar 11
2.2 Araştırmada Kullanılan Taş Tipi ve Özellikleri 11
2.2.1 Kireçtaşı ve tanımı 11
2.2.2 Kireçtaşının oluşumu 12
2.2.3 Kireçtaşının bileşimi 13
2.2.4 Kireçtaşının sınıflandırılması 14
2.3 Doğal Taşların Özellikleri ve Yapılarda Kullanılma Yerleri 16
2.3.1 Yapıda konstrüktif amaçla kullanılan doğal taşlar 16
2.3.2 Yapıda kaplama amacıyla kullanılan doğal taşlar 16
2.3.3 Yapıda dolgu-izolasyon malzemesi olarak kullanılan doğal taşlar 16
2.4 Doğal Taşlarda Ayrışma Nedenleri ve Kireçtaşlarına Etkileri 18
2.4.1 Ayrışmanın tanımı 18
2.4.2 Ayrışma nedenleri 18
2.4.2.1 Taşın yapısından kaynaklanan ayrışmalar (iç nedenler) ve kireçtaşlarına etkileri 19
Taşın litolojisi 19
Taşın mineralojik ve petrografik özellikleri 19
Taşın dokusal özellikleri 19
Taşın kimyasal özellikleri 20
Taşın fiziksel özellikleri 20
2.4.2.2 Çevre koşullarının neden olduğu ayrışmalar (dış nedenler) ve kireçtaşlarına etkileri 22
Fiziksel ve fiziko-kimyasal etkiler 22

Mekanik etkiler 32
Canlılara bağlı etkiler 35
2.4.3 Kireçtaşlarının ayrışma nedenleri hakkında literatür araştırması 36
2.4.4 Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarında oluşan ayrışma ve kirlenme biçimlerinin analizi 39
2.4.4.1 Taş malzeme kaybı (Oyuklanma) 40
2.4.4.2 Lekelenme ve renk bozulması 42
2.4.4.3 Çiçeklenme 43
2.4.4.4 Kırıntılanma 45
2.4.4.5 Kabuklanma 47
2.4.4.6 Yosunlanma 49
2.5 Kireçtaşlarının Dayanıklılığını Arttırmak İçin Uygulanan Yöntemler 50
2.5.1 Dayanıklılığın tanımı ve amacı 50
2.5.2 Doğal taşların dayanıklılığını ve hizmet ömrünü etkileyen faktörler 51
2.5.2.1 ISO 15686-1 standardında verilen faktör metoduna göre doğal taşların hizmet ömrüne etki eden faktörler 51
2.5.3 Dayanıklılığı sağlayan sağlamlaştırıcı kimyasalların yapısı ve gelişimi .. 53
2.5.4 Dayanıklılığı sağlayan kimyasal sağlamlaştırıcıların performans kriterleri 57
2.5.4.1 Sağlamlaştırıcı ve su iticilerin uygunluğu ile ilgili laboratuara yapılması gereken incelemeler ve deneyler 59
2.5.5 Sağlamlaştırıcı kimyasalların etkinliği hakkında literatür araştırması 63
2.5.6 Kireçtaşlarının dayanıklılığını ve hizmet ömrünü arttırmak için uygulanan yöntemler hakkında yapılmış çalışmalar 64
3. KUZEY KIBRIS'TA YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN KİREÇTAŞLARININ DURABİLİTESİ ÜZERİNE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI 69
3.1 Çalışma Alanının Tanıtılması 69
3.1.1 Kıbrıs adasının konumu 69
3.1.2 İklimi 70
3.1.3 Jeolojisi 72
3.1.4 Çalışmada kullanılan taşlar ve çıkarıldığı bölgeler 73
3.1.5 Çalışmada kullanılan kimyasallar 75
3.2 Deney Yöntemleri 77
3.3 Deneysel Çalışmada Kullanılan Numune Boyutları, Adetleri ve Kodları 83
3.4 Koruyucu (K1) ve Sağlamlaştırıcı + Koruyucu (K2) Kimyasalların Uygulama Yöntemlerini Belirlemek İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları 85
3.4.1 Kimyasal uygulama yöntemlerinin taşların su emme özeliği üzerindeki etkisi 86
3.4.1.1 Koruyucu kimyasalın (K1) uygulama yöntemlerinin taşların su emme özelliği üzerindeki etkisi 86
3.4.1.2 Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) uygulama yöntemlerinin taşların su emme özelliği üzerindeki etkisi 87
3.4.2 Kimyasal uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı özeliği üzerindeki etkisi 89
3.4.2.1 Koruyucu kimyasal (K1) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı özelliği üzerindeki etkisi 89
3.4.2.2 Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı özelliği üzerindeki etkisi 90
3.5 Taşların Özelliklerinin Belirlenmesi 93

3.5.1 Taşların kimyasal analiz sonuçları 94
3.5.2 Taşların minerolojik ve petrografik analizleri 94
3.5.3 Taşların fiziksel özellikleri 97
3.5.3.1 Birim hacim kütle tayini 97
3.5.3.2 Özgül kütle tayini 97
3.5.3.3 Gözeneklilik ve sıkılık derecesi tayini 98
3.5.3.4 Kılcal yolla su emme tayini 98
3.5.3.5 Atmosfer basıncı altında su emme oranı tayini 99
3.5.3.6 Su buharı geçirgenlik direnç faktörü tayini 100
3.5.3.7 Doyma derecesinin hesaplanması 101
3.5.4 Taşların mekanik özellikleri 101
3.5.4.1 Tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı 102
3.5.4.2 Tek eksenli yük altında basınç dayanımı deneyi 103
3.5.4.3 Ultrases hızı tayini 104
3.5.4.4 Dinamik elastiklik modülü tayini 104
3.6 Kimyasal Uygulanmış ve Uygulanmamış Taşların Dürabilite Deneyleri 105
3.6.1 Islanma-kuruma etkisine dayanıklılık deneyi ve sonuçları 105
3.6.2 Donma-çözülme etkisine dayanıklılık deneyi ve sonuçları 107
3.6.3 Tuz kristallenmesi etkisine dayanıklılık deneyi ve sonuçları 109
3.6.4 Nemli ortamda SO_2 yıpratmasına karşı dayanıklılık deneyi ve sonuçları 111
3.6.5 UV ışını etkisine dayanıklılık deneyi ve sonuçları 114
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 115
4.1 Taşların Özellikleri 115
4.2 Taşların Dürabilitesi (1. ve 2. aşamanın kıyaslanması) 118
4.2.1 Islanma – kuruma eskitme ajanının yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi 119
4.2.2 Donma – çözülme eskitme ajanının yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi 121
4.2.3 Tuz kristalizasyonu eskitme ajanının yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi 123
4.2.4 Asit çözeltisi (SO_2 buharı) eskitme ajanının yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi 125
4.2.5 UV eskitme ajanının yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi 127
4.3 Kimyasal Uygulamaların Taşların Özellikleri ve Dürabilitesi Üzerindeki Etkisi 127
4.3.1 Yeni taşa uygulanan kimyasalların taşın özellikleri üzerindeki etkisi (1. ve 6. aşamanın kıyaslanması) 127
4.3.2 Yeni taşa uygulanan kimyasalların taşın dürabilitesi üzerindeki etkisi (2. ve 7. aşamanın kıyaslanması) 131
4.3.2.1 Yeni taşa uygulanan kimyasalların ıslanma – kuruma deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi 131
4.3.2.2 Yeni taşa uygulanan kimyasalların donma – çözülme deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi 133
4.3.2.3 Yeni taşa uygulanan kimyasalların tuz kristalizasyonu deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi 135
4.3.2.4 Yeni taşa uygulanan kimyasalların asit çözeltisi deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi 139
4.3.3 Eski taşa uygulanan kimyasalların taşın özellikleri üzerindeki etkisi (2. ve 4. aşamanın kıyaslanması) 140

4.3.3.1 Islanma – kuruma ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi 141
4.3.3.2 Donma – çözülme ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi 143
4.3.3.3 Tuz kristalizasyonu ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi 145
4.3.3.4 Asit çözeltisi ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi 147
4.3.4 Eski taşa uygulanan kimyasalların taşın dürabilitesi üzerindeki etkisi (3. ve 5. aşamanın kıyaslanması) 149
4.3.4.1 Eski taşa uygulanan kimyasalların ıslanma – kuruma deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi 149
4.3.4.2 Eski taşa uygulanan kimyasalların donma – çözülme deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi 151
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 155
5.1 Taşların Özellikleri..... 155
5.2 Taşların Dürabilitesi..... 156
5.3 Kimyasalların Taşların Özellikleri Ve Dürabilitesi Üzerindeki Etkisi..... 156
5.4 Öneriler..... 157
KAYNAKLAR..... 159
ÖZGEÇMİŞ..... 165

KISALTMALAR

KS	**:** Karpaz Taşı
MS	**:** Meluşa Taşı
BS	**:** Buri Taşı
K1	**:** Koruyucu Kimyasal Uygulaması (Wacker SILRES BS 280)
K2	**:** Sağlamlaştırıcı + Koruyucu Kimyasal Uygulaması (Wacker OH 100 + Wacker SILRES BS 280)
IK	**:** Islanma - Kuruma
DC	**:** Donma – Çözülme
TK	**:** Tuz Kristalizasyonu
UV	**:** Ultraviolet
AS	**:** Asit Etkilerine Dayanıklık
TEI	**:** Kimyasal Uygulamanın İşlem Etkinlik Faktörü (Treatment Efficiency Index)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Bazı yapı taşlarının özellikleri ve kullanıldıkları yerler……17
Çizelge 2.2 : A-G faktörlerinin açılımı……...52
Çizelge 2.3 : Sağlamlaştırıcılardan beklenen performans hedefleri……...58
Çizelge 3.1 : K.K.T.C'ye ait muhtelif meteorolojik bilgiler. 71
Çizelge 3.2 : Taş sağlamlaştırıcısı olarak kullanılan kimyasalın özellikleri. 75
Çizelge 3.3 : Koruyucu (su itici) olarak kullanılan kimyasalın özellikleri..... 76
Çizelge 3.4 : Koruyucu kimyasalın (K1) uygulama yöntemlerinin taşların su emme özelliği üzerindeki etkileri..... 87
Çizelge 3.5 : Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) uygulama yöntemlerinin taşların su emme özelliği üzerindeki etkileri. 88
Çizelge 3.6 : Koruyucu kimyasalın (K1) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı özelliği üzerindeki etkileri..... 89
Çizelge 3.7 : Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı özelliği üzerindeki etkileri..... 91
Çizelge 3.8 : Kimyasal uygulama yöntemlerine gore numunelerde bulunan tüketim miktarları. 93
Çizelge 3.9 : Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarının kimyasal analizlerinin sonuçları..... 94
Çizelge 3.10 : Taşların kalsiyum karbonat yüzdesi. 95
Çizelge 3.11 : Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarının fiziksel özellik deney sonuçları..... 97
Çizelge 3.12 : Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarının mekanik özellik deney sonuçları..... 102
Çizelge 3.13 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Karpaz taşının ıslanma-kuruma etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları. 106
Çizelge 3.14 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Meluşa taşının ıslanma-kuruma etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları. 106
Çizelge 3.15 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Buri taşının ıslanma-kuruma etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları. 107
Çizelge 3.16 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Karpaz taşının donma – çözülme etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları. 108
Çizelge 3.17 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Meluşa taşının donma – çözülme etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları. 108
Çizelge 3.18 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Buri taşının donma - çözülme etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları. 109
Çizelge 3.19 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Karpaz taşının tuz kristallenmesi etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları. 110

Çizelge 3.20 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Meluşa taşının tuz kristallenmesi etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları. 110
Çizelge 3.21 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Buri taşının tuz kristallenmesi etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları. 111
Çizelge 3.22 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Karpaz taşının SO_2 yıpratması etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları. 112
Çizelge 3.23 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Meluşa taşının SO_2 yıpratması etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları. 113
Çizelge 3.24 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Buri taşının SO_2 yıpratması etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları..... 113

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Doğal taş türleri arasındaki ilişki. 9
Şekil 2.2 : Taşların ayrışmasına neden olan etkenler. 18
Şekil 2.3 : Ayrışma mekanizması. Yeni bir taş (a) doğal ortam şartlarına maruz bırakıldığında yağmur suyuyla çözelti oluşturan oksitlerle etkileşime girer (b). Çözelti taşa nüfuz eder ve yeniden kristallenme ile kabuk oluşturur (c). Eğer kabuğun bazı kısımları aşınırsa (d), yeni taş ilerideki fiziko-kimyasal etkilere açık olur. 22
Şekil 2.4 : Kalkerli malzemelerde kükürt dioksit (SO_2) korozyonunun olası yolları. 25
Şekil 2.5 : Yağmur sularıyla beslenen zemin suyu, kapiler hareketle temelden yükselip taş malzemede oyukların oluşmasına neden olmuştur. Lefkoşa'da bir ev 41
Şekil 2.6 : Lekelenme ve renk bozulması, Büyük Han – Lefkoşa 42
Şekil 2.7 : Çiçeklenme, Büyük Han – Lefkoşa. 43
Şekil 2.8 : Çiçeklenme, Bellapais'te bir ev – Girne. 44
Şekil 2.9 : Taş malzemenin kırıntılanması, Selimiye Camii bahçe duvarı – Lefkoşa 45
Şekil 2.10 : Taş malzemenin kırıntılanması, Selimiye Camii bahçe duvarı – Lefkoşa. 46
Şekil 2.11 : Taş malzemenin kabuklanması, Büyük Han – Lefkoşa 48
Şekil 2.12 : Taş malzemenin yosunlanması, Büyük Han – Lefkoşa. 49
Şekil 2.13 : Dayanıklılığı etkileyen faktörler 50
Şekil 2.14 : Silikon reçinesi (siloksan bağları ile bağlı) ve kuvarsın molekül yapısı 55
Şekil 2.15 : Tetra Etoksi Silan'ın (TEOS) molekül yapısı 57
Şekil 2.16 : Paraloid B72 uygulanan gözenekli kireçtaşı örneğinin yaşlandırma testi esnasında ince sert bir kabuğun ayrıştırılması. 65
Şekil 3.1 : Akdeniz'e sınırı olan ülkeler ve Kıbrıs'ın konumu. 70
Şekil 3.2 : Kıbrıs adasının topografik haritası. 71
Şekil 3.3 : Kıbrıs jeoloji haritası ve taşların çıkarıldığı bölgelerin konumu..... 72
Şekil 3.4 : Çalışma kapsamında kullanılan kireçtaşları. Soldan sağa: Karpaz, Meluşa ve Buri taşları 73
Şekil 3.5 : Çalışmada kullanılan taşların çıkarldığı bölgelerin konumları. 74
Şekil 3.6 : Karpaz bölgesi, Karpaz taşı ocağı. 74
Şekil 3.7 : Lefkoşa bölgesi, Buri taşı ocağı. 74
Şekil 3.8 : Sağlamlaştırıcı ve koruyucu kimyasalların çalışma prensibi. 76
Şekil 3.9 : Sağlamlaştırıcı ve koruyucu kimyasalların temas açısı ve ıslanma. 76
Şekil 3.10 : Eskitme ajanları ve kimyasal uygulamaların yeni ve eski malzeme özellikleri ve dürabilitesi üzerindeki etkinliklerinin anlaşılması için izlenen yöntemin akış şeması. 81
Şekil 3.11 : Taşların özelliklerini belirlemek için yapılan deneylerin akış şeması. .. 82
Şekil 3.12 : Taşların durabilitesi ve taşlara uygulanan kimyasalların etkisini belirlemek için yapılan deneylerin akış şeması. 82

Şekil 3.13 : Her bir taş tipi için deney aşamalarında kullanılan numune adetlerinin akış şeması.....84
Şekil 3.14 : Fırça yöntemiyle kimyasal uygulaması.....85
Şekil 3.15 : Sprey yöntemiyle kimyasal uygulaması.....86
Şekil 3.16 : Daldırma yöntemiyle kimyasal uygulaması.....86
Şekil 3.17 : Koruyucu kimyasal (K1) uygulama yöntemlerinin taşların ağırlıkça su emme değerindeki değişim oranları.....87
Şekil 3.18 : Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2) uygulama yöntemlerinin taşların ağırlıkça su emme değerindeki değişim oranları.....88
Şekil 3.19 : Koruyucu kimyasal (K1) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı değerindeki değişim oranları.....90
Şekil 3.20 : Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı değerindeki değişim oranları.....91
Şekil 3.21 : Kimyasalların daldırma (15 dk.) yöntemi ile uygulanması.....92
Şekil 3.22 : Kimyasalların daldırma (15 dk.) yöntemi ile uygulanması.....92
Şekil 3.23 : Kağıt filtrede kalan mineraller.....95
Şekil 3.24 : Karpaz taşının (KS) XRD grafiği.....96
Şekil 3.25 : Meluşa taşının (MS) XRD grafiği.....96
Şekil 3.26 : Buri taşının (BS) XRD grafiği.....96
Şekil 3.27 : Kılcal yolla su emme tayini deneyinin yapılışı.....99
Şekil 3.28 : Su emme tayini deneyinin yapılışı.....100
Şekil 3.29 : Su buharı geçirgenlik tayini deneyinin yapılışı.....101
Şekil 3.30 : Tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı deneyinin yapılışı.103
Şekil 3.31 : Tek eksenli yük altında basınç dayanımı deneyinin yapılışı.....104
Şekil 3.32 : Islanma-kuruma deneyi sırasında suda bekleyen numuneler.....105
Şekil 3.33 : Nemli ortamda SO_2 yıpratmasına karşı desikatör içinde bekleyen numuneler.....112
Şekil 3.34 : UV ışını etkilerine karşı dayanıklılık deneyi.....114

KİMYASAL UYGULAMALARININ KUZEY KIBRIS YAPI TAŞLARININ DÜRABİLİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Günümüzün en önemli yaklaşımlarından birisi “sürdürülebilirlik’tir”. Özünde enerji ve kaynak kullanımında etkinlik olan bu yaklaşımın elde edilen diğer bir uç yararı çevre kirliliğinin mümkün olduğunca en aza indirilmesidir. Bu sayede, dünyanın insan eliyle tahrip edilmesinin önüne geçilmesi sağlanmış olur. Tasarım aşamasının sonunda ortaya çıkan yapılarla somutlaşan mimarlık eyleminde sürdürülebilirlik kriterlerinin sağlanabilmesi, tasarım aşamasında alınacak önlemler kadar, seçilen malzemenin de sözü edilen kriterleri sağlaması ile olanaklıdır.

Sürdürülebilir bir yapma çevre açısından çevresel ve ekonomik etkileri azaltmak amacıyla yapı malzemelerinin ve/veya bileşenlerinin uzun ömürlü olması istenir. Bu sebeple, son zamanlarda yeni binaların hizmet ömrünü artırmak ve aynı zamanda bakım aralıklarını uzatmak ve de mevcut binalarda etkin yenileme yapabilmek amacıyla yapı malzemelerinin ve/veya bileşenlerinin dayanıklılığı, hizmet ömrü tahmini ve değerlendirme metodolojileri üzerine yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Hizmet ömrü ISO 15686-1 standardında, yapımdan itibaren bina veya bileşenlerinin performans gereksinimlerini karşıladığı süre olarak tanımlanmaktadır.

Kıbrıs adasındaki tarihi yapılar yöresel doğal taşların (kireçtaşları) dokusu ve rengi ile tanımlanırlar. Bu taşlar, kolay kesilip şekil verildiği ve uygulamalarda iyi sonuçlar verdiği için yüz yıllardır Kıbrıs Adası’nda taş yapıların inşa edilmesinde yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde ise etkin bir yapım sistemi olan betonarme yapılarda, cephe kaplama taşı olarak kullanılmaktadır.

Bu tezin önerilmesindeki ilk yaklaşım, yöresel bir malzeme olan Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarının çevreyi tahrip etmeyecek şekilde yapı malzemesi olarak kullanılmasının teşvik edilmesi, ikinci ve esas olarak da Kıbrıs koşullarında kullanılmakta olan bu taşların dayanıklılığının ve hizmet ömrünün artırılması olanaklarının araştırılmasıdır. Bilindiği gibi, günümüzde yapılarda genellikle cephe kaplama malzemesi olarak kullanılan taşların kapiler su emmesini sınırlandırmak, su buharı geçirimlilik katsayısını korumak ve basınç dayanımını arttırmak dayanıklılık problemlerini azaltmaktadır.

Bu yaklaşımlara uygun olarak, çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir: 1. Ocaktan alınan taş numunelerinin özelliklerinin belirlenmesi; 2. Taşların durabilitesinin ıslanma-kuruma, donma-çözülme çevrimleri, asit çözeltisi, UV ve tuz kristallenmelerine dayanıklılık deneyleri ile tespit edilmesi 3. Kimyasal uygulamalarla yapılan sağlamlaştırma çalışmaları ve kimyasalların eskitme deneyleri sonrası etkinliğinin değerlendirilmesidir. Ocaktan elde edilen taşlara Koruyucu kimyasal (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2) uygulanmış, her birinde 15 dakika daldırma yöntemi ve dört hafta polimerizasyon süresi tatbik edilmiştir. Sonuçta, ocaktan alınan Karpaz taşı, Meluşa taşı ve Buri taşı numunelerinin kireçtaşı olduğu, hava kirliliği ve atmosferik etkiler sonucunda fiziko-kimyasal bir bozulmaya

uğradığı belirlenmiştir. Kimyasalların uygulanması ile su emme oranlarının % 90 azaldığı, birim hacim kütlelerinin % 1-2 arttığı, ultrases hızlarının yaklaşık % 5-10 arttığı ve basınç dayanımlarının % 20-50 arttığı bulunmuştur. Ayrıca, kimyasal uygulanan numunelerin, yapılan eskitme deneylerinden kimyasal uygulanmayan numunelere göre daha az etkilendikleri görülmüştür.

EFFECT OF CHEMICAL APPLICATIONS ON DURABILITY OF NORTH CYPRUS STONES FOR CONSTRUCTION

SUMMARY

One of the most important approaches in today's world is "sustainability". In essence, this approach takes energy and resource-efficiency as basis, but an additional benefit coming with it is minimizing the environmental pollution. And, it is, by this means, possible to prevent the impending destruction of the world by mankind. Meeting the sustainability criteria of architecture in buildings that come into existence as a result of the design process can only be possible through the ability of the selected materials to meet the said criteria as well as measures to be taken during design.

Construction materials and/or components are required to be durable in order to reduce environmental and economic effects in terms of a sustainable artificial environment. Therefore, recently intensive studies on construction material and/or component durability, service life estimation and assessment methodologies are being carried out in order to extend the service life and maintenance intervals of new buildings and perform efficient renovation in existing buildings. Service life is defined under ISO 15686-1 standard as the period in which a building or its components satisfy performance requirements beginning from its construction.

The historic structures in Cyprus are characterized by the texture and and color of local natural stones (limestone). For centuries, these stones have been used as construction materials of stone structures in Cyprus due to their great performance in cutting, shaping and excellent results in applications. Today, they are used as facing stones in reinforced concrete structures the prevalent construction method today.

The first approach in suggesting this thesis is promoting the use of Northern Cyprus limestones as construction materials so as not to ruin the environment, and the second and the basic tenet is doing researches for finding ways to improve the durability and service life of these stones in Cyprus. As is known, limiting the capillary water absorption, maintaining the water vapor permeability coefficient against quick drying and increasing the compressive strength of the stones mostly used as facing stones in modern buildings can reduce durability problems.

The study was conducted in three phases with the said approaches: 1. Determination of the characteristics of the stone samples taken from the quarries; 2. Conversion of wetting-drying, freezing-thawing of stones' durability, proving their resistance to acid solutions, UV and salt crystallization via resistance tests; and 3. Reinforcement studies conducted via chemical applications and the evaluation of effectiveness of chemicals as a result of aging tests. The stones obtained from the quarries are applied protective chemical (K1) and strengthening + protective chemical (K2), immersion method for 15 minutes and a polymerization period of four weeks were applied for each stone. As a result, the samples of Karpaz Stone, Meluşa Stone and Buri Stone taken from the quarries were determined to be limestone and were

exposed to physical deformation and chemical decomposition as a consequence of air pollution and atmospheric effects. With application of chemicals, their water absorption rates were found to decrease by 90%, unit masses to increase by 1-2%, their ultrasound speeds to increase by approximately 5-10% and their pressure resistance was found to increase by 20-25%. Furthermore, the samples applied with chemicals were observed to get less effected from the aging tests compared to those not applied with chemicals.

1. GİRİŞ

Doğal taş, dayanıklı ve kalıcı olma özellikleri sayesinde insanoğlunun varoluşundan günümüze her zaman insan yaşamının bir parçası olmuştur. Doğal veya insanın neden olduğu felaketlerle tahrip edilmediği sürece binlerce yıl ayakta kalabilen doğal taş yapılar, uygarlıkların yeni nesillere taşınmasında ve eski uygarlıkların irdelenmesinde çok önemli bir rol oynamıştır.

Tarihsel gelişime bakıldığında, insan elinden çıkmış en eski ve de en çok dayanan yapılar, taştan yapılmış olanlardır. İşlenmemiş masif blok taşlardan MÖ. 3500 yıllarında yapılan İngiltere'deki "Stonehenge" isimli yapıya bilinenlerin ilki gözüyle bakılmaktadır. Buna yakın tarihlerde yapılan piramitlerin inşaatı ise daha iddialı projelerin geleceğinin habercisi olmuştur. Mısır'da metal aletlerin geliştirilmesiyle beraber, taşın kesimi ve şekillendirilmesi kolaylaşmış, parçalar daha hassas olarak alıştırılmış ve karmaşık oymalı taşlardan tapınaklar ve diğer eserler yapılabilmiştir. Mısır medeniyetini diğer uygarlıklar takip etmiş ve bugün dünyada mevcut binlerce taş eser insanlığa miras olarak bırakılmıştır. Taş, bilinen güzelliği, dayanıklılığı, işlenebilirliliği ve kolay bulunabilirliği gibi nitelikleri nedeniyle özellikle 20. yy. a kadar yapıların ana malzemesi olmuştur. 1800'lü yıllara kadar "masif taşıyıcı yapı elemanı" olarak kullanılan taş, bu tarihten sonra endüstri devriminin de etkisiyle masif malzemeden çok "kaplama" malzemesi olarak kullanılmaya başlamıştır. Endüstri devrimi sonucu ortaya çıkan yeni inşaat teknolojileri ve malzemeleri doğal taş kullanımını azaltmıştır. Özellikle yeni inşaat malzemelerinin çok sayıda ve çeşitte olması, doğal taşa göre üretimlerinin daha kolay ve ekonomik olması, esnek olması gibi özellikleri doğal taşın kullanımını engellemiştir. Bununla birlikte, son yıllarda, özellikle çevre bilincinin gelişmesi ve doğaya geri dönüşün başlamasıyla tekrar kullanım alanları ve miktarı artan doğal taşlar modern mimaride "cephe kaplama" malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Kıbrıs adasındaki tarihi yapılar yöresel doğal taşların (kireçtaşları) dokusu ve rengi ile tanımlanırlar. Bu taşlar, kolay kesilip şekil verildiği ve uygulamalarda iyi sonuçlar verdiği için yüz yıllardır Kıbrıs Adası'nda taş yapıların inşa edilmesinde yapı

malzemesi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde ise etkin bir yapım sistemi olan betonarme yapılarda, cephe kaplama taşı olarak kullanılan kireçtaşlarının sürdürülebilir bir yapma çevre açısından çevresel ve ekonomik etkileri azaltmak amacıyla uzun ömürlü olması istenmektedir. Bu sebeple, yeni binaların hizmet ömrünü artırmak ve aynı zamanda bakım aralıklarını uzatmak ve de mevcut binalarda etkin yenileme yapabilmek amacıyla kireçtaşların dayanıklılığı, hizmet ömrü tahmini ve değerlendirme yöntemleri üzerine yoğun çalışmalar yapılması gerekmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı yapı ve kaplama malzemesi olarak ilk çağlardan beri insanoğlunun yaygın olarak kullandığı, günümüz mimarisinde cephe kaplama malzemesi olarak kullanılan Kuzey Kıbrıs doğal taşlarının;

- dayanıklılığını,
- uzun dönem performansı ve hizmet ömrünü,
- bozulma mekanizmalarını,

sağlamlaştırıcı ve koruyucu kimyasal uygulayarak ve uygulamadan araştırmaktır. Böylece yeni yapıların tasarımında çevrenin bozucu etkilerine karşı daha dayanıklı, daha iyi performans gösteren ve daha uzun hizmet ömrü olan yapı malzeme ve bileşenlerinin tasarımına veri oluşturulacaktır. Ayrıca, yeni binalarda kullanılacak doğal taşların hizmet ömrü planlamasına ve yaşam döngüsü değerlendirilmesine ve mimari mirasın en iyi şekilde korunmasına yönelik olarak en uygun temizlik ve restorasyon işlemlerinin seçimi için de veri sağlanmış olacaktır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmanın kapsamı, Kıbrıs’ta çıkan 3 tip taşın özelliklerinin ve dürabilitesinin, kimyasal uygulamalarla ne derecede başarılı olarak geliştirileceğidir.

Bu çalışmanın birinci aşamasında konuyla ilgili literatür çalışması, ikinci aşamada ise deneysel çalışmalar yer almaktadır. Deneyler, ocaktan alınan Karpaz taşı, Meluşa taşı ve Buri taşı numuneleri üzerinde yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalar 3 adımda toplanmaktadır. Bunlar: 1. Ocaktan alınan taş numunelerinin özelliklerinin

belirlenmesi ; 2. Taşların durabilitesi ve uzun dönem performanslarının belirlenmesi; 3. Kimyasal uygulamalarla yapılan sağlamlaştırma çalışmaları ve kimyasalların etkinliğinin değerlendirilmesidir.

Eskitme deneyleri sırasında tek parametreli eskitme deneyleri (ıslanma – kuruma, donma – çözülme, tuz kristalizasyonu, asit çözeltisi ve uv etkisi) yapılmıştır. Atmosfer ortamındaki çok parametreli eskitmeler çalışma kapsamında değildir. Çalışma kapsamındaki taşlara iki çeşit kimyasal uygulama yapılmıştır. Bunlar: 1. Koruyucu kimyasal (K1); 2. sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2) uygulamalarıdır.

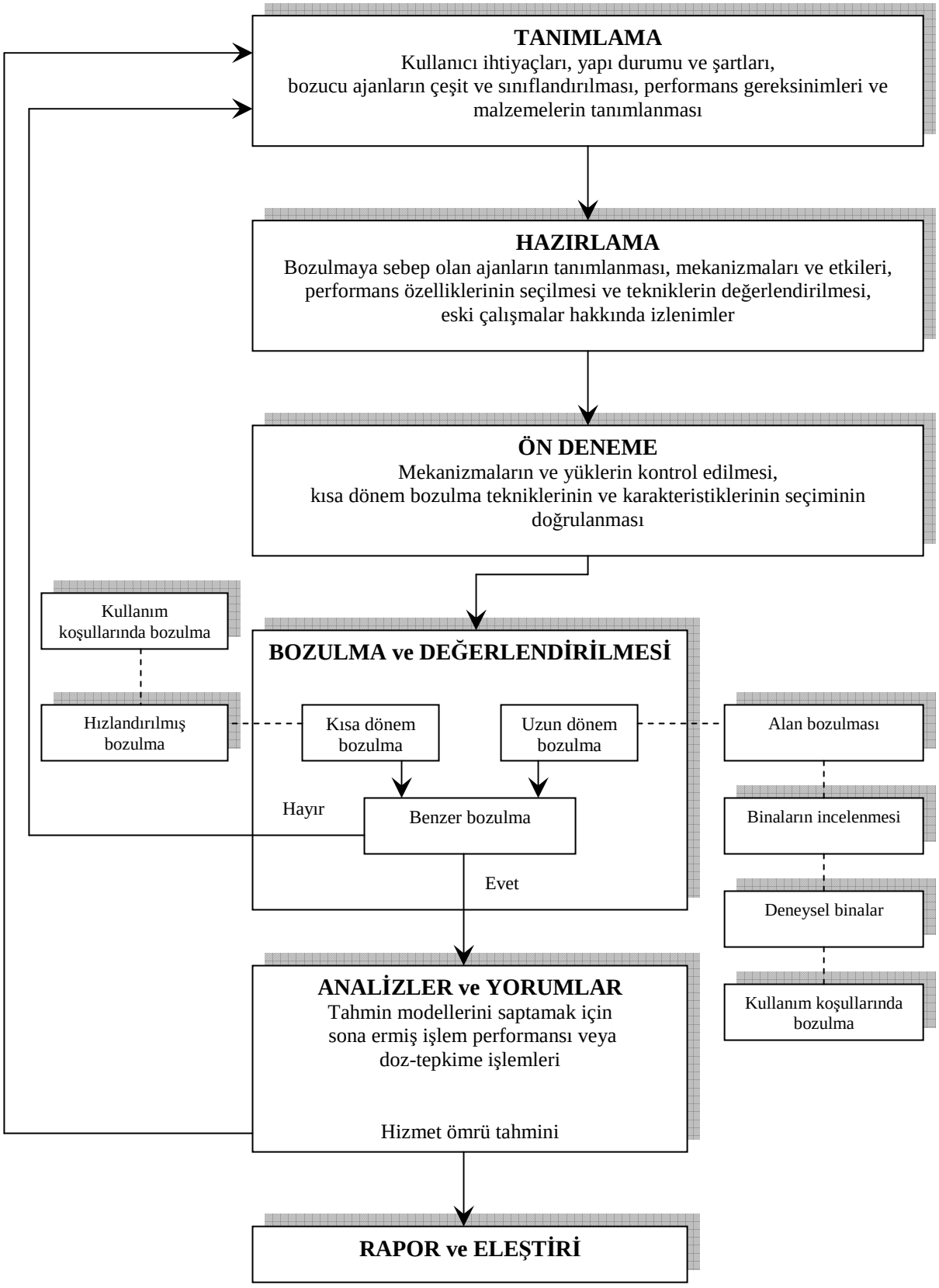
1.3 Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışma, teorik ve deneysel yöntem olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir; Teorik ile gerçekleştirilen 1. aşamada yapıda kullanılan doğal taşlar, doğal taşların sınıflandırması, taşların eskimesine neden olan etkenler, eskime nedenine bağlı olarak meydana gelen bozulmalar ve taşların dayanıklılığının artırılmasında uygulanan yöntemler ile ilgili tüm kaynaklar detaylı bir biçimde taranmıştır.

Literatür araştırması yapıldıktan sonra çalışmanın deneysel yöntemle gerçekleştirilen 2. aşamasına geçilmiştir. Öncelikle proje kapsamındaki çalışma alanı tanımlanıp, taş ocağından alınan yöresel kireçtaşlarının, kimyasal analizi, mineral-petrografik analizi, fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Araştırmada kullanılan taşlarda hasara neden olan etkenlerin yerinde gözlemlere dayanılarak detaylı analizi yapılmıştır. Bu analiz ile yapılacak eskitme deney türleri belirlenmiştir. Araştırmanın amacı doğrultusunda özellikleri belirlenen kireçtaşlarına sağlamlaştırma + koruyucu kimyasal uygulamaları yapılmış ve sağlamlaştırma uygulamasının uzun dönem performansının ve hizmet ömrünün belirlenmesi için maruz kalacakları doğal çevre düşünülerek, kısa süreli hızlandırılmış yapay eskitme deneyleri yürütülerek zaman içinde performansın dayanıklılık açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu çalışmada, kireçtaşlarının dayanıklılığını ve hizmet ömrünü belirlemek için yapıların ve yapı bileşenlerinin hizmet ömrünün planlanması ile ilgili genel prensipleri ve hizmet ömrünün tahmini için gerekli süreçleri ele alan ISO 15686-1 ve ISO 15686-2 standartlarındaki sistematik yöntem (Çizelge 1.1) izlenmiştir.

Mevcut standartlara veya genel yöntemlere göre eskitmeye tabi tutulmuş deney örneklerinin fiziksel, mekanik ve fiziko-kimyasal özelliklerindeki değişiklikler ilgili mevcut standartlara (ISO, EN, ASTM, TS vd.) uygun olarak test edilmiştir.



Şekil 1.1 : Yapı bileşenlerinin hizmet ömrü tahmininin sistematik yöntemi (ISO 15686-2:2001).

2. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Doğal taş eski çağlardan beri bilinen en eski yapı malzemelerinden biridir. Yazılı tarihin oluşmasından beri, dayanıklı ve kalıcı olma özelliği sayesinde binaların yapımlarında tercih edilen bir malzeme olmuştur. Doğal taş, 1800'lü yıllara kadar çoğunlukla "masif, strüktür eleman" olarak kullanılmıştır. Bu tarihten itibaren tüm dünyada başlayan endüstri devriminin etkisiyle bu özelliğini yitirip "kaplama malzemesi" kimliğiyle ağırlıklı olarak kullanılmaya başlamıştır. Taşa özelliğini kazandıran doğal nitelikleri olan güzellik, kalıcılık, değiştirilebilirliği ve ekonomisi sayesinde taşın kullanımı artmıştır.

2.1 Doğal Taşların Tanımı ve Sınıflandırılması

Taşlar, yerkabuğunu meydana getiren kayaların çeşitli etkenler ile oluşturduğu doğal, kristal içyapılı ve bir veya birden fazla mineralden oluşan inorganik esaslı yapı malzemeleridir (Eriç, 2002).

Doğal taş deyimi, doğada (yer kabuğunda) bulunan, değişik kökendeki her türlü kayaç (kaya, kütle, taş) için kullanılan genel bir tanımdır. Endüstriyel ya da ticari anlamdaki "doğal taş" tanımı ise yasal izinle üretilerek, işlenmeden ve/veya işlenerek, boyutlandırmadan ya da boyutlandırılarak işlem gören kayaçlar için kullanılmaktadır (Yüzer, 2004).

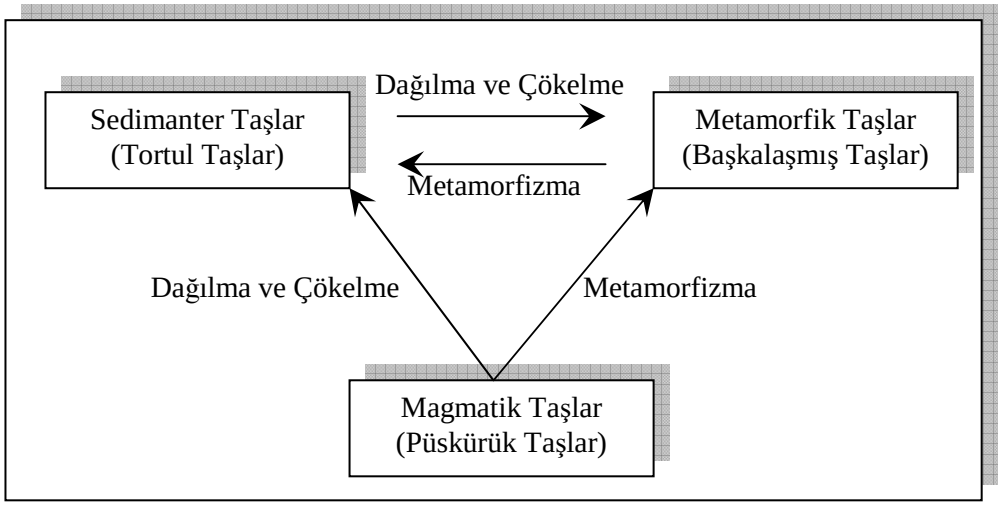
Yerküresi; Stratosfer, Atmosfer, Hidrosfer, Litosfer (Taş Küre) ve Metallosfer'den meydana gelmiştir. 120 km kalınlığındaki litosfer tabakasının, dıştan 40 km'lik kısmı doğal yapı taşlarının orijinini teşkil eden soğumuş yerkabuğudur. Taş küre, değişik özellikler gösteren tabakalardan oluşmuştur. Genellikle en üstte bitkilerin yetiştiği gevşek bir kısım bulunur, bu tabakaya toprak adı verilir. Taş kürenin ayrışmış ve parçalanmış kısımları dışında kalan sert – katı kısmı, taşlardan kayalardan oluşmuştur. Bu katı kısımdan çıkarılan ve aranan özellikleri göstererek yapıda kullanılan taşlara 'yapı taşı' adı verilir (Anonim, 2007). Bu tabakada birim hacim ağırlık 2.7 - 3.3 gr/cm^3 arasında değişmektedir. Yerküresinin merkezine doğru bu değer 3.3-11.8 gr/cm^3'e ulaşmaktadır. Yerkabuğunu meydana getiren elementler

%46 O, %28 Si, %8 Al, %5 Fe, %3 Ca, oksitler ise %56 SiO_2, %15 Al_2O_2, %5 CaO ve %3,7 FeO'tir. Bu elementlerden doğal taşları meydana getiren bileşikler ise kalsiyum esaslı (Karbonat-$CaCO_3$, Sülfat-$CaSO_4.2H_2O$) ve silisyum esaslı (Kuvars-SiO_2, Feldispat-$KAlSi_3O$, Mika, Anfibol, Piroksen, v.s.) olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır (Eriç, 2002).

Taşları oluşturan aynı karakterdeki elemanlara mineral adı verilmektedir. Diğer bir deyişle taşlar, bir veya birkaç mineralin karışımından oluşmuşlardır. Yani mineraller, taşların aynı özelliği gösteren, ayrılabilir parçalarıdır. Bir taşın karakterini belirten basınç dayanımı, rengi, dokusu, strüktürü, sertliği, yoğunluğu ve aşınması gibi özellikleri, kendisini oluşturan minerallerin özelliklerinin toplamıdır. Taşı oluşturan mineraller açık renkli ise taş açık renkli veya sertliği az ise taş yumuşak ve dayanıksız olur. Doğal taşlarda feldispat taşa sağlamlık, kuvars sertlik, mika ise esneklik kazandırmaktadır. Bu bakımdan taşlar hakkında bir bilgi sahibi olabilmek için mineraller hakkında bazı bilgilere sahip olmak gerekmektedir (Anonim, 2007)

Yapı malzemesi olarak kullanılan taşlar her çeşidi ile dünyamızın taş küresinin parçalarıdır. Bu yapı malzemesi gerek doku gerek renk gerek dayanımları ile değişik görüntüler gösterir. Doğal taşlar oluşumuna göre veya genel görünüşlerine ve davranışlarına göre sınıflandırırlar.

Yapı ve sanayide kullanılan taşlar jeolojik olarak, yani, oluşum tarzına ve kökenine göre Magmatik (Püskürük), Sedimanter (Tortul) ve Metamorfik (Başkalaşmış) taşlar olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır. Bu taşlar, derinlerde erime, kristalleşme, dağılma çökelme, basınç, ısı ve kimyasal faktörlerle başkalaşarak bir diğerine dönüşebilir. Bu üç grup arasındaki ilişki Şekil 2.1'de görülmektedir.(Bayramgil, 1959).



Şekil 2.1 : Doğal taş türleri arasındaki ilişki (Bayramgil, 1959).

2.1.1 Magmatik (püskürük) taşlar

Magmatik taşlar litosferin derinliklerindeki magmanın yerkabuğunun değişik derinliklerinde soğuması ve katılaşması sonucu meydana gelen homojen ve izotrop yapılı taşlardır.

Bu taşlar yer kabuğu içindeki soğuma olayının nerede gerçekleştiğine ve soğuma hızına göre kristal yapısındaki değişiklerle kendi içinde, volkanik (yüzey) taşlar, damar taşları ve derinlik taşları olarak 3 gruba ayrılır.

Volkanik (yüzey) taşları hızlı soğuma nedeniyle camsı hamur içinde dağınık ince kristalli (örnek: kuvarslı porfir, diabaz, melafir, perlit, andezit, bazalt, trakit), *damar taşları* orta soğuma nedeniyle ince kristalli ve karma (örnek: granit porfir, syanit porfir, gabro porfir, diorit porfir), *derinlik taşları* ise derinlerde çok uzun sürede yavaş soğuma nedeniyle iri kristalli (örnek: granit, synit, gabro, diorit) bir yapıya sahiptirler (Eriç, 2002).

Magmatik (püskürük) taşlar, sert olduklarından işlenmeleri ve aşınmaları zor olan taşlardır. Her ne kadar sağlamlık, direnç ve dış etkilere dayanıklılık bakımından çok elverişli iseler de işlenme güçlükleri ve her yerde bulunmayışları yüzünden tortul taşlara göre daha az kullanılırlar.

2.1.2 Sedimanter (tortul) taşlar

Magmatik (püskürük) ve metamorfik (başkalaşmış) taşların çeşitli atmosferik ve tektonik olaylar sonucunda parçalanarak mekanik, organik ve kimyasal olarak ayrışması sonucunda parçalanarak tabakalar halinde tortullaşması ile meydana

gelmiş heterojen, boşluklu ve fosil yapılı taşlardır. Tabakaların yönü (tabaka düzlemine tortullaşma yatağı denir) ve bağlayıcının cinsi mukavemeti ve su geçirimliliği etkiler. Homojen ve izotrop değillerdir. (*İzotrop:* Bir maddenin her yönde aynı fiziksel niteliklere sahip olmasıdır) Bağlayıcının silis esaslı olması mukavemeti arttırır. Oluşum nedenlerine göre üç gruba ayrılırlar;

Tortul Taşların Sınıflandırılması

Taş tipi	Özellik	Ayrık	Yapışık
1- Fiziksel Tortul Taşlar	Taneli parçalar 2 mm den büyük	İri çakıl Çakıl	Konglomera Puding (yuvarlak) Breş (köşeli)
	0.2-2 mm	Kaba kum İnce kum	Kumtaşı (Gre)
	0.002 mm ve daha ince	Kil	Marn (Kil+Kireçtaşı)
2- Organik Tortul Taşlar	Kalkerli	Kavkı Mercan	Kavklı kalkerler (Kireçtaşları) Mercanlı kalkerler Küfeki taşı
3- Kimyasal Tortul Taşlar	Kalkerli	Eriyiklerden çökelmiş $CaCO_3$ çökelme veya başkasının yerini alma	Kalkerli: Yoğun kalkerler Tüf ve traverten Albatr Magnezyumlu: Dolomit

Şekil 2.2 : Tortul taşların sınıflandırılması (Anonim, 2007).

2.1.2.1 Fiziksel (taneli) tortul taşlar

Dağınık veya kil, kalker ve silis ile birleşmiş halde bulunurlar. 2 mm den büyük çakıl ve çakılların doğal çimento ile birleşmesi ile konglomera oluşur. Yuvarlak daneli olanlara puding, köşeli daneli olanlara breş adı verilir. Cilalanması için çakıl ve doğal çimento aynı sertlikte olmalıdır.

2.1.2.2 Organik tortul taşlar

Kalker silis ve fosil çökeltilerinden oluşmuşlardır. İçinde genellikle deniz hayvanlarına ait artıklara rastlanır. İçinde kalkerli organizmalar olan taşlara organik

kalkerler adı verilir. Bazıları içerdikleri fosil ile anılırlar. Rüdistli kalker, Nümülitli kalker, Maktralı kalker gibi.

2.1.2.3 Kimyasal tortul taşlar

Karbonat, silis ve sülfat ile birleşmiş halde bulunurlar. Örnek: traverten, yoğun kalker, alçıtaşı

2.1.3 Metamorfik (başkalaşım) taşlar

Bu taşlar, magmatik veya tortul taşların magma kütlesinin etkisiyle değişmesi sonucunda oluşurlar. Magmadan yükselerek, üstteki çeşitli taş ve minerallerden ibaret olan taş örtüsüne sokulan sıvı magma kütlesi ile bu örtü arasında fiziksel ve kimyasal olarak karşılıklı olarak etkileşmeler ve değişmeler olur. Magma kütlesine sokulan taş küre, basınç ve yan kuvvetler ile sıcaklık altında da değişir ve metamorfik taşlar meydana gelir (Gürdal, 2005).

2.2 Araştırmada Kullanılan Taş Tipi ve Özellikleri

2.2.1 Kireçtaşı ve tanımı

Yeryüzünde çeşitli jeolojik devirlerde oluşmuş değişik nitelikteki taşlar (püskürük, tortul, magmatik), pek çok faktörün etkisiyle ayrışır. Su, rüzgar, buzul ve canlıların etkisiyle yüksek yerlerden aşağılara doğru taşınır, belirli bir çökelme ortamında (sıcaklık ve basınç altında) toplanır ve üst üste birikirler. İşte bu şekilde oluşmuş taşlara tortul taşlar (çökel veya sedimanter taşlar) denir. Kalker (kireçtaşı), bu taşlardan biridir.

“Kalker” kelimesi aslında Fransızca kökenli bir kelimedir (calcaire). Türkçe karşılığı “Kireçtaşı”dır. Mineralojide adları geçen ve bileşimleri $CaCO_3$ (kalsiyum karbonat) olan ***kalsit*** ve ***aragonit'in*** şekilsiz türlerine “kalker” denir (taşın içinde de bu kristaller bulunmaktadır).

Kalsit ve aragonit kristalleri hidroklorik asitte (HCl) köpürerek çözünür ve karbondioksit (CO_2) çıkarır. Bu, kalkerleri diğer taşlardan ayıran en belirgin özelliğidir (Yıldırım, 2007).

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2 \qquad \textbf{(2.1)}$$

2.2.2 Kireçtaşının oluşumu

Kireçtaşı, kimyasal ve organik etkilerle akarsularda çöken maddelerin oluşturduğu bir kayaçtır. Doğada yaygın bir şekilde bulunan kalsiyum, yer kabuğunun % 3-4 kadarını oluşturmaktadır. Yer kabuğunun en üst katmanında en sık rastlanan minerallerden biri olan kireçtaşı, değişik jeolojik süreçlerde oluşmuştur (Meriçboyu, 1988).

1- Hidrotermal etkisiyle oluşan kireçtaşı genellikle kristal yapıdadır. Kalsiyum karbonat büyük kütleler halinde, kireçtaşının etrafında kristallenerek oluşur. Değişik granit türlerinde kalsiyum karbonat, hidrotermal etkilerle oluşmuştur. Genel olarak, pek çok maden yatağında rastlanan durum şudur: Sülfat içeren maden yataklarında kalsiyum karbonat, diğer minerallerden sonra kristallenir; yani maden yatağını oluşturan tüm mineraller kristallendikten sonra kalsiyum karbonat kristallenir. Kireç tüfü içeren maden yatakları, bileşimlerinde bunun yanında aragonit ve kalsiyum karbonat da bulundururlar (Meriçboyu, 1988).

2- Karbonit ve diğer mineral asitlerini içeren çözeltilerin ve aşınmanın etkisiyle yapısında kalsiyum bulunduran kayalar parçalanır. Böylece, kalsiyum serbest kalır; akarsularla denize taşınır. Denizden okyanusa ulaşıncaya kadar, çözünmüş olan kalsiyum karbonatın bir kısmı, deniz suyundaki düşük çözünürlük nedeniyle tortulaşır. Kireçtaşı içeren mağaralardaki dikitler, kireç içeren tuzlu çözeltilerden, yapısında karbondioksit (CO_2) bulunduran kireçlerin çökelmesi ile oluşur. Bu tuzlu çözelti, oyuklara sızar ve sıcaklık nedeniyle buharlaşır; çözelti fazlasıyla doygun hale geldiğinden, çok iyi dağılmış olan tortular ayrılır ve yavaş yavaş sertleşir; süregelen dehidrasyon sonucu kristallenir (Meriçboyu, 1988).

3- Özellikle, geniş deniz dibi bölgelerinde, kalsiyum karbonat içeren çok büyük kütleler oluşur. Bu kütleler, ilk önce, kireç çamuru olarak oluşur; kurumuş deniz bitkileri ve omurgasız hayvanlar, bu kireç çamuru içindeki kirecin iskeletini oluştururlar. Bütün bu maddeler, daha sonra kireçtaşı haline dönüşür (Meriçboyu, 1988).

Yüzey buharlaşması ve suyun karbondioksit (CO_2) içeriğini azaltabilen sıcaklık değişimleri ile doygunluğu sağlayan koşullarda çökelen kalsiyum karbonat, kireçtaşının saflığını önemli ölçüde arttırır. Benzer şekilde, buharlaşma sonucu

akarsular etrafında tortullaşma süreci ile oluşan kireçtaşları traverten ve kalkerli tüf olarak isimlendirirler.

Bugün var olan kireçtaşının en büyük kısmı, organik kökenlidir. Çünkü denizde yaşayan canlıların iskeletleri kireçtaşı oluşum sürecinin ana kaynağıdır. Çökelmeden sonra çözeltide kalan kireç, deniz dibinde yaşayan kabuklu canlıların (özellikle iskelet ve kabuk oluşumlarında) gereksinimlerini karşılar. İskeletlerden oluşan kalsiyum karbonatlar incelendiği takdirde, hemen hemen saf olduğu kolayca saptanır. Bu nedenle, tebeşir gibi kireçtaşı çeşitleri çok saftır.

Kireçtaşının fiziksel özelliğini ve kimyasal bileşimini, tortulaşma sırasında killi, silisli veya demirli maddeler etkileyebilir.

Kireçtaşının, organik kökenli tortular tarafından kalker içeren çamura dönüştürülmesi, mikroorganizmalar veya kimyasal hareketlerle hızlandırılır (Meriçboyu, 1988).

2.2.3 Kireçtaşının bileşimi

Kimyasal bileşiminde en az % 90 $CaCO_3$ (kalsiyum karbonat) içeren kayaçlara kalker veya kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde en az % 90 kalsit minerali bulunan kayaçlara da kalker adı verilmektedir (Yıldırım, 2007).

Kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli, **kalsit** ve **aragonit**'tir. Çok saf oldukları zaman bileşimlerinde % 56 CaO ve % 44 CO_2 bulunur, genellikle magnezyum, manganez, demir, kil, bitüm ihtiva ederler ve bu maddelere göre isim alırlar. Kalsit, rhombohedral yapıda ve sertliği 3 Mohs olmasına karşın, 400 ^{0}C'de kalsite dönüşen aragonit'in kristal yapısı ortorhombik ve sertliği 3,5-4 Mohs'dur. Yoğunlukları 2,5 ile 2,7 g/cm^3 arasında değişir. Başkalaşımla kristalleşerek mermerleri oluştururlar. Taşkürede çok bol bulunan kireçtaşının temel bileşeni, kimi kez arı olmayan, biçimsiz ya da kristalleşmiş kalsiyum karbonattır. İkincil derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orijinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde de görülebilmektedir (Yüzer, 2004).

Yeraltı sularından travertenler şeklinde, deniz ya da tatlı sularda ise kimyasal organik veya mekanik çökelme sonucu kalker yatakları oluşur. Oluşum süreçlerinden de anlaşılacağı üzere kalker üç ana grup altında toplanabilmektedir. Yaygın olarak oluşan kireçtaşlarının çoğu organik, kırıntılı ve kimyasal materyaller içermektedir.

Kalsit (hegzagonal $CaCO_3$) ve aragonit (ortorombik $CaCO_3$) kristallerinin her ikisi de modern kireçtaşı oluşumlarında yer alabilmektedir. Fakat aragonit kristallerinin kalsit kristaline daha kolay dönüşebilmesi nedeniyle eski kireçtaşı oluşumlarında aragonit kristali bulmak çok güçtür.

Kirecin hammaddesi olan ve doğada bol miktarda bulunan kireçtaşı, karbonatlı tortul kayaç ve fosiller için kullanılan genel bir deyim olup yapısında pirensip olarak kalsiyum karbonat veya kalsiyum karbonat/magnezyum karbonat bileşikleri ($CaCO_3$ / $MgCO_3$) kombine halde bulunur. Bunun yanı sıra içinde değişik oranlarda demir, alüminyum, silisyum, kükürt gibi safsızlıklara da rastlanabilir. Dünyada çok değişik formasyon ve tiplerde kireçtaşı mevcuttur. Bunlar orijin, jeolojik formasyon, mineralojik yapı, kristal yapısı, kimyasal bileşim, renk ve sertlik özelliklerine göre gruplandırırlar (örneğin tebeşir, marn, traverten gibi). İçindeki magnezyum karbonat ($MgCO_3$) miktarının % 20-40 arasında olması durumunda ise kireçtaşı, rhombohedral yapıdaki dolomit $CaMg(CO_3)_2$ adını alır (Yıldırım, 2007).

2.2.4 Kireçtaşının sınıflandırılması

Kireçtaşı oluştuğu bölgeye, kimyasal bileşimine, yapısına ve jeolojik oluşumuna göre sınıflandırılabilir. Kireçtaşı kimyasal bileşimi esas alınarak şu şekilde sınıflandırılabilir:

1. **Kalsiyum içeriği yüksek kireçtaşı:** Yüksek oranda kalsiyum karbonat, % 5'den daha az magnezyum karbonat içerir.
2. **Magnezyum içeriği yüksek kireçtaşı:** Kalsiyum karbonatın yanı sıra % 5-20 kadar magnezyum karbonat içerir.
3. **Dolomit:** Kalsiyum karbonat ve % 20 – 46 kadar magnezyum karbonat içerir. Bu kireçtaşı türlerinden üretilen kireçler de, kalsiyum içeriği yüksek kireç, magnezyum içeriği yüksek kireç ve dolomitik kireç adlarını alırlar. Kireçtaşı içeren karbonat mineralleri kalsit, dolomit ve manyezittir (Meriçboyu, 1988).

Diğer kireçtaşı türlerinin Avrupa ve Amerika'da benimsenmiş olan sınıflandırmaları şunlardır (Meriçboyu, 1988):

1. **Killi kireçtaşı:** Yapısında kille beraber oldukça yüksek oranda SiO_2 ve Al_2O_3 bulundurur.

2. **Karbon içeren kireçtaşı:** Safsızlık olarak turba, asfalt gibi çeşitli tipte organik maddeler içerir, rengi siyahtır; yandığında genellikle kötü bir koku çıkarır.
3. **Çimento taşı:** Safsızlık olarak kil içeren bir kireçtaşıdır ve Portlant çimentosu üretimi için uygun oranda SiO_2 ve Al_2O_3 ve $CaCO_3$ içerir.
4. **Tebeşir:** Rengi, sertliği ve saflığı büyük ölçüde değişebilen tebeşir, kalsiyum karbonatın yumuşak ve fosil içeren bir türüdür. Tane boyutu çok küçük olduğundan biçimsiz görünür; gözenekli bir yapıya ve çok büyük bir yüzey alanına sahiptir.
5. **Demirli kireçtaşı:** Yapısında safsızlık olarak oldukça fazla demir içerir, sarı veya kırmızı renkte olabilir.
6. **Ergitme taşı:** Bu kireçtaşı türü, kireçtaşının saf türlerinden biridir.
7. **Fosilli kireçtaşı:** Fosil yapısının kolayca görülebildiği karbonatlı kayaçları tanımlamak için kullanılan bir terimdir.
8. **İzlanda sparı:** En saf kireçtaşı türüdür; hemen hemen tamamı $CaCO_3$'dır (% 99.9); optik cisimlerin yapımında kullanılır ve nadiren rastlanır.
9. **Mermer :** Metamorfiktir ve kristal yapıya sahiptir. Bu kayaç, kalsiyumu yüksek kireçtaşı veya dolomitik kireçtaşı olabilir. Çeşitli safsızlıklar içerir ve bu nedenle değişik renklerde olabilir. Kireçtaşının en güzel türüdür ve çok serttir; düzgün yüzeyler halinde kesilebilir ve cilalanabilir.
10. **Fosforlu Kireçtaşı:** %5'e kadar fosfor içeren, kalsiyum yüzdesi yüksek bir kireçtaşı türüdür, kökeni deniz organizmalarıdır.
11. **Marn:** SiO_2 ve kil içeren kalkerlere verilen marn ismi, aynı zamanda, göllerdeki ve bataklıklardaki kil içermeyen, buna karşın toprak ve kalker içeren tortular içinde kullanılır. Marn, deniz organizmalarının oluşturduğu karbonat içeren bir kireçtaşı türüdür; gevşek kristal yapısına çeşitli oranlarda karışmış olan kil ve kum içerir, yumuşaktır.
12. **Traverten:** Gözenekli bir yapısı vardır. Kısmen mikroskobik organizmalar tarafından oluşturulur. Doğal sıcak mineral kaynak sularındaki kalsiyum karbonatın çökelmesiyle oluşan traverten, mermer gibi kullanılır.

2.3 Doğal Taşların Özellikleri ve Yapılarda Kullanılma Yerleri

Yapılarda kullanılan taşlara yapı taşı adı verilmektedir. Doğal taşlar yapıda konstrüksiyon (temel ve duvar örgülerinde), kaplama (duvar, döşeme, çatı, yol), dolgu-izolasyon (ısı, yangın) ve agrega malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Doğal taşların en önemli özellikleri; birim ağırlık, su emme, basınç dayanımı, aşınma mukavemeti, çarpma mukavemeti, yüksek sıcaklıklara ve donmaya dayanıklılıktır. Bazı yapı taşlarının özellikleri ve kullanıldıkları yerler Çizelge 2.2'de verilmiştir.

2.3.1 Yapıda konstrüktif amaçla kullanılan doğal taşlar

Konstrüktif amaçla kullanılacak doğal taşlar homojen yapılı, gözeneksiz, atmosfer etkilerine dayanıklı, basınç mukavemeti ve fiziksel özellikleri yüksek olmalıdır. Bu özelliklere sahip olan püskürük taşlarla fiziksel tortul taşlar konstrüktif amaçla kullanılmaya elverişlidir.

2.3.2 Yapıda kaplama amacıyla kullanılan doğal taşlar

Bu amaç için kullanılan taş malzemelerde atmosfer etkilerine ve dona dayanıklılık (dış cephe kaplamalarında), eğilme mukavemeti ve estetik değerler aranmaktadır. Bu amaçla kullanılan taş çeşitleri, püskürük, tortul ve başkalaşmış taşların grublarına giren türlerdir.

2.3.3 Yapıda dolgu-izolasyon malzemesi olarak kullanılan doğal taşlar

Bu gruba giren doğal taşlar heterojen ve gözenekli bir yapıya sahip hafif malzemelerdir. Genellikle volkanik taş türleri ve organik tortul taşların bazı çeşitleri kullanılır.

Taş cinsi	*Tipi*	*Renk*	*En çok kullanıldığı yer*	*En az kullanıldığı yer*	*Yoğunluk* (gr/cm^3)	*Basınç dayanımı* (N/mm^2)	*Su emme (ağırlıkça %)*
Granit	Püskürük	Geniş	Dış ve iç yüzey kaplaması	Kaldırım ve döşeme kaplaması	*2.56 – 3.20*	139 – 309	0.002 – 0.22
Kireçtaşı	Tortul	Deve tüyü, gri	Dış cephe kaplaması	Harpuşta, denizlik, iç mekan duvar kaplaması	*1.95 – 2.88*	19 – 193	0.25 – 7.5
Traverten	Tortul	Ten, deve tüyü, gri	Dış ve iç yüzey kaplaması	Kaldırım ve döşeme kaplaması	*2.40*	32 – 97	2 – 5
Kumtaşı	Tortul	Sarı, kahverengi, kırmızı ve ten	Dış cephe kaplaması	Kaldırımlarda	*2.13 – 2.75*	31 – 108	1.5 – 6
Arduvaz	Başkalaşım	Mavi, gri, yeşil, kırmızı, siyah	Kaldırımlarda ve çatı kaplamalarında	Duvar kaplaması	*2.80 – 2.88*	124 – 185	0.15 – 0.25
Mermer	Başkalaşım	Geniş	Dış ve iç yüzey kaplaması, döşeme kaplaması	Tezgahlarda	*2.88 – 3.04*	93 – 162	0.069 – 0.6

Çizelge 2.1 : Bazı yapı taşlarının özellikleri ve kullanıldıkları yerler (Rosen ve Heineman, 1996).

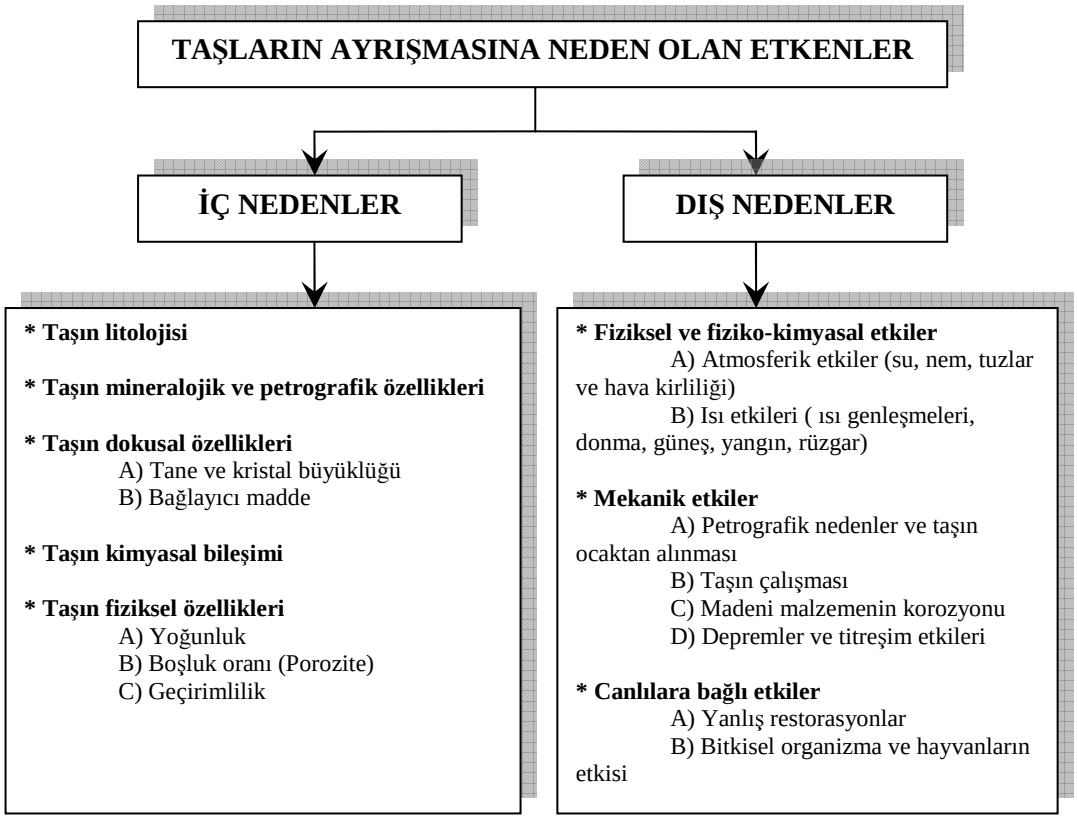
2.4 Doğal Taşlarda Ayrışma Nedenleri ve Kireçtaşlarına Etkileri

2.4.1 Ayrışmanın tanımı

Doğadaki taşlarda atmosfer, insan, su ve canlılar etkisiyle zamanla meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimlere "ayrışma" denir. Ayrışma sonucu dağılma, parçalanma ve topraklaşma meydana gelir. Külteler bozulur, fiziksel ve mekanik özellikleri değişir, binalarda kullanılan taşlar çirkin bir görünüş alırlar.

2.4.2 Ayrışma nedenleri

Taşların ayrışmasına neden olan etkenler iki grupta ele alınırlar: Taşın yapısından kaynaklanan ayrışmalar (iç nedenli ayrışmalar) ve çevresel koşulların neden olduğu ayrışmalar (dış nedenli ayrışmalar). Taşın yapısından kaynaklanan ayrışmalar, taşın litolojisi, mineralojik ve petrografik özellikleri, dokusal özellikleri, kimyasal bileşimi, fiziksel özellikleri vb. durumlardan kaynaklanır. Çevre koşullarının neden olduğu ayrışmalar ise fiziksel ve fizikokimyasal etkiler, mekanik etkiler ve canlılara bağlı etkiler sonucu oluşan ayrışmalardır (Küçükkaya, 2004).



Şekil 2.3 : Taşların ayrışmasına neden olan etkenler (Ziyaettin, 2009).

2.4.2.1 Taşın yapısından kaynaklanan ayrışmalar (iç nedenler) ve kireçtaşlarına etkileri

Taşın litolojisi

Yerinde ve laboratuarda yapılan gözlemlerde elde edilen sonuçlara göre tortul taşlarda bozulma-ayrışma, metamorfik ve magmatik taşlara oranla çok daha hızlı olmaktadır. Özellikle kalker, konglomera ve kumtaşlarında çözünme, çiçeklenme, ayrılma ve kabuk oluşumu şeklindeki bozulmalar daha çok görülür. Metamorfik ve magmatik kökenli taşlar, yapı ve dokuları gereği, tortul taşlara göre daha dayanıklıdır (Erguvanlı, 1955).

Taşın mineralojik ve petrografik özellikleri

Taşlar bir veya birkaç mineralin birleşmesiyle oluşur. Taşların kırılmaya ve basınca karşı gösterdikleri direnç, kristallenme derecesine ve içlerinde bulunan minerallerin suya karşı olan hassasiyetine bağlıdır. Buna göre kil, marn, jips ve kalker çimentolu gre ve konglomeralar, özellikle sulu ortamlarda basınca karşı az direnç gösterirken, silis çimentolu kuvarsitler dayanıklı olup granit ve bazalt kadar sağlamdır (Erguvanlı, 1967).

Kalkerler ve mermerler kalsit ve aragonit minerallerinden oluşmuşlardır ve içlerinde silisyum dioksit (SiO_2) bulunduran magmatik taşlara nazaran daha az dayanıklı taşlardır. Kalsit mineralli yapı taşları belirli süre oldukça sağlam kalmalarına karşılık bozulma başlayınca hastalığın seyri hızlanmaktadır. Killi yapı taşları ise içlerindeki kil minerallerinin cinsine göre, az veya çok miktarda, su emdiğinden gevşer ve ayrışırlar; dirençleri, taşıma güçleri ve kuru iken sahip oldukları sağlamlık azalır. Metamorfik taşlar ise başkalaşım geçirmeleri nedeniyle düzlemsel ve çizgisel yapı gösterirler bu yapıda taşların direnci azalabilir (Erguvanlı, 1982). Taşın yapısı ve mineral bileşimine bağlı yüzey değişimleri, temizleme çalışmaları sırasında esaslı incelenmesi gereken parametreleri teşkil eder. Minerallerin yapısı, büyüklüğü ve değişik bileşenlere göre; taş, çözünmesine neden olan etmenlere karşı değişik reaksiyonlar verir (Verges and Belmin, 1996).

Taşın dokusal özellikleri

A- Tane ve Kristal Büyüklüğü

Taşın sağlamlığı kristal yapısına bağlıdır. İnce kristallerin iri kristallere nazaran birbirine kenetlenmesi fazladır. İri agregalardan oluşmuş bir taşta kompakt yapı

oluşmadığından, kopmalar daha kolaydır. İri kristalli bir taş kolay çözülebilir. Bu durum tortul taşlarda agrega büyüklüğüne bağlıdır (Küçükkaya, 2004).

B- Bağlayıcı madde

Tortul taşların sedimantasyonu sırasında çökelen maddelerin bağlanmasını sağlayan çimentonun (bağlayıcı madde) yapısı agreganın (bağlanmış elemanların) sağlamlığı kadar önemlidir.

Deniz hayvanlarının iskelet ve kabukları eridikten sonra sağlam kalabilmiş kalkerli bağlayıcı madde genellikle boşluklu bir yapı oluşturur. Bağlayıcı madde ve tortul taşı oluşturan organik malzemenin sertlik değerinin aynı olduğu durumlarda ise aşınma homojen bir yapı gösterir.

Taşın kimyasal özellikleri

Taşların kimyasal özellikleri, bunların bileşimleri, çözünme, ayrışma noktaları ve suya karşı davranışları v.d. ile ilgili bilgilerdir. Taşın bünyesinde bulunan kalsiyum klorür ($CaCl_2$), sodyum klorür (NaCl), potasyum klorür (KCl) gibi çeşitli kimyasal maddelerin su ile reaksiyonları farklıdır. Bunlar ya zamanla eriyip ortamdan ayrılabilir ve boşluklar meydana getirirler ya da kalsiyum sülfat ($CaSO_4$) gibi su ile reaksiyonda hacimleri genişleyerek dahili basınçlara neden olabilir ve taşı patlatabilirler (Küçükkaya, 2004).

Örneğin; Dolomitik [$CaMg(CO_3)_2$] yapılı kireç taşlarında karbonik asitli su ile kimyasal reaksiyon sonucu oluşan kalsiyum bikarbonatın [$Ca(HCO_3)_2$] neden olduğu çözünme genişlemeleri taşların deformasyonuna yol açar (Küçükkaya, 2004).

Dolomitik kireçtaşının çözünme reaksiyonu şöyledir;

$$CaMg(CO_3)_2 + 2CO_3 + 2H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2 + Mg(HCO_3)_2 \qquad \textbf{(2.2)}$$

Taşın fiziksel özellikleri

Taşların birim hacim ağırlığı, su emme, porozite (boşluk oranı) şeklinde bilinen fiziksel özellikler dış etkenler karşısında taşın davranışını belirlemektedir. Birçok taş oluşlarında homojen değildir, taş içinde dikey ve yatay değişmeler veya yer yer boşluklar görülür. Bu değişmeler taşta farklı sertlikte kısımları meydana getirir. Bu çeşit taşlar atmosfer olaylarının çok olduğu yerlerde kullanılacak olursa yumuşak kısımların çözünerek oyuklar oluşur. Rüzgar ve yağmurun etkisi ile veya kristalize tuzların reaksiyonları taşların kolayca bozulmasına neden olurlar. Bazen de farklı

nem ve güneş, farklı ayrışmalara sebep olabilmektedir (Küçükkaya, 2004).

A- Yoğunluk

Yapı taşlarında aranılan normal yoğunluk 2,4–2,8 gr/cm^3 tür. Daha büyük yoğunlukta taşlar daha çabuk yoruldukları için taşıyıcı eleman olarak kullanılamazlar. Bu taşlar ancak temellerde dolgu malzemesi olarak ya da sürtünmeye karşı dirençli oldukları için döşeme kaplaması olarak kullanılırlar. Saf kalkerin yoğunluğu 2,7 gr/cm^3 olup yapı taşı olarak kullanılmaya elverişlidir (Küçükkaya, 2004).

B- Gözeneklilik derecesi (% p)

Bir taşın gözeneklilik derecesi, içinde bulunan boşlukların hacminin (V_b), tüm hacmine (V_t) oranıdır. Gözeneklilik derecesi yüksek olan taşlar atmosferik etkilere karşı dayanıksız olduklarından tercih edilmezler (Erguvanlı, 1982).

$$\% p = (V_b / V_t) \times 100 \qquad \textbf{(2.3)}$$

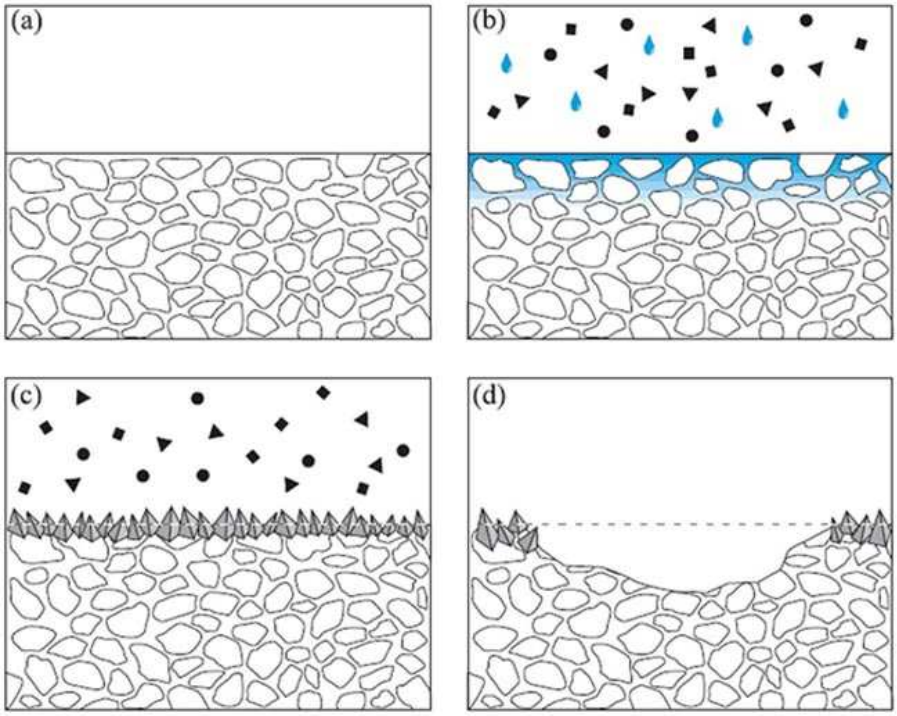
Taş bünyesindeki boşluklar ve çatlaklar oluşumu sırasında çeşitli gazların çıkışıyla meydana gelebileceği gibi oluşum sonrası çeşitli faaliyetler (depremler, kimyasal erimeler, v.b) nedeniyle de meydana gelebilir. Boşluklar; gözenekler ve çizgisel boşluklar (kristal dilinim şeklinde) olmak üzere iki şekilde ele alınabilir. Fazla boşluklu taşlar yapı taşı olarak kullanılamazlar. Bunların en tehlikeli olanları birbirleri ile ilişkili çatlak ve çizgisel boşluklardır.

C- Geçirimlilik (Permeabilite)

Taşların bileşim ve yapısı bozulmadan, belli zamanlar içinde bir sıvıyı ve gazı (su buharı) geçirmesi özelliğine o taşın geçirimliliği denir. Boşluk oranı (porozitesi) yüksek olan taşlar fazla geçirimli olurlar. Yapı taşı olarak seçilen taşlarda genellikle geçirimlilik oranının düşük olması aranır. Fakat bunun yanında, restorasyonda, taşlara yüzeysel koruyucu solüsyonların uygulanması sırasında yüksek geçirimlilik (kolay nüfus etme) kabiliyeti olması aranılan bir özelliktir (Küçükkaya, 2004).

2.4.2.2 Çevre koşullarının neden olduğu ayrışmalar (dış nedenler) ve kireçtaşlarına etkileri

Çevre koşullarının neden olduğu ayrışmalar; hava kirliliği, nem, tuz kristalizasyonu, su, sıcaklık, yangın, rüzgar gibi fiziksel ve fiziko-kimyasal nedenler, taşın çalışması, depremler, titreşimler, petrografik nedenler, madeni malzemenin korozyonu gibi mekanik etkiler ve insanların verdiği zararlar, yanlış restorasyon uygulamaları, bitkisel organizma ve hayvanların etkisi gibi canlılara bağlı etkilerin verdiği zararlar gibi nedenlerden kaynaklanır.



Şekil 2.4 : Ayrışma mekanizması. Yeni bir taş (a) doğal ortam şartlarına maruz bırakıldığında yağmur suyuyla çözelti oluşturan oksitlerle etkileşime girer (b). Çözelti taşa nüfuz eder ve yeniden kristallenme ile kabuk oluşturur (c). Eğer kabuğun bazı kısımları aşınırsa (d), yeni taş ilerideki fiziko-kimyasal etkilere açık olur (Dorsey ve diğ., 2006).

Fiziksel ve fiziko-kimyasal etkiler

A-Atmosferik Etkiler

Hava kirliliği

İngilizce'de, iklimsel yıpranmayı da kapsayan "weathering" kelimesi, genel olarak bu konunun özetlendiği terimdir. Fransızca'da konu ile ilgili; hava etkilerine bağlı bozulmalar için "alteration", kimyasal etkilere bağlı bozulmalar için "deterioration",

bünyesel bozulmalar için “degradation” terimleri kullanılmaktadır (Kieslinger, 1968).

Atmosfer bir gaz karışımıdır. Bileşiminde O, N, CO_2 ile az miktarda H_2O, argon ve çeşitli isler vardır. Endüstriyel bölgelerde ise fazla miktarda SO_2, SO_3, NO_2 ve NH_3 ihtiva eder.

Hava kirliliği taş binaların bozulmasında önemli faktörlerden biridir ve kirlenme azaldıkça etkileri de aynı oranda azalır. Atmosfer haraketleri, rüzgarlar, yağmur ve kar taşın dış yüzünü aşındırıp yüzeysel aşınmalara neden olurken yağmur suyu ile binaların dış yüzeyine taşınan CO_2, SO_2, SO_3, NH_3, NO, NO_2, NO_3^-, N_2O_5 ve Cl^- taşların tahribatında etkili olmaktadır. (Küçükkaya, 2004). Bu iyonlar is ve toz halinde, atmosfer içinde konsantre olmuşlardır ve taş üzerindeki kimyasal etkileri sudaki çözünürlükleri ile asidik yapılarına bağlıdır. Bilhassa fabrika bacaları, kalorifer dumanları, otomobil ekzosları ve gemi bacalarından çıkan, sıvı, katı ve gaz yakacaklardan oluşan bu iyonlar büyük şehirlerde havanın kirlenmesine sebep olur.

Hava kirliliğinin kireçtaşları üzerinde yaptığı etkiler:

Atmosferik kirleticilerin kuru ve ıslak çökelme mekanizmalarının kireçtaşları ile olan etkileşiminin ve kimyasal reaksiyonunun, hava kirliliği seviyesi, meteorolojik faktörler, yağmur suyunun asitliliği, kireçtaşının bulunduğu bölgelerin yapısı ve durumu, kireçtaşlarının bu bölgeler içinde bulunduğu konum, reaksiyon süresi, kireçtaşlarının karakteristik özellikleri ve kimyasal yapıları gibi temel faktörlere bağlı olduğu ve hem kuru hem de ıslak çökelme mekanizmalarının etkisiyle, çok kısa süreçler sonunda dahi parlaklık kaybı meydana geldiği ve bu parlaklık kaybının da, kireçtaşlarının bünyesinde, bundan sonra ortaya çıkabilecek hasar ve bozulmaların başlangıcını oluşturduğu bulunmuştur (Gökaltun, 1999).

Karbon dioksit (CO_2), kükürt dioksit (SO_2) ve kükürt trioksit (SO_3), kireçtaşı bozulmasına hızlı etki eden gazlardır. Bu gazların kireçtaşları üzerinde yaptığı etkiler aşağıda kısaca anlatılmıştır.

Karbon dioksit (CO_2) etkisi: Karbonatlı taşlar saf suda çok az, buna karşıt CO_2’li sularda oldukça erirler. Bu bakımdan CO_2 ihtiva eden yağmur suları karbonatlı taşları çözer ve onları ayrıştırır. Bilhassa karbonat çimentolu kumtaşları için mühim bir ayrışma ve bozulma etmeni olur. Zira kum tanelerini birleştiren karbonat çimento çözünerek taşın strüktürünü bozar ve petek şekilli ayrışma meydana gelir.

Havadaki CO_2 su ile birleşince zayıf bir asit olan karbonik asidi (H_2CO_3) meydana getirir. Bu asidi ihtiva eden yağmur suları ise kalsit, kaolinit, sodyum, potasyum ve kalsiyum montmorillonite ile reaksiyona girer ve onları çözer. Kalsit ile reaksiyon sonucunda suda çözünen $Ca(HCO_3)_2$ kalsiyum bikarbonat açığa çıkar. Reaksiyon tersinirdir ve zamanla çözünme etkisi ile kalkerli kütlelerin ayrışması bazen özel şekiller gösterir. Çatlaklar boyunca veya sert kısımların arasındaki yumuşak kısımlarda özel şekilli, kanal tipi ayrışmalar meydana gelir. Bazen derinlere kadar inen büyük oyuklar oluşur (Tecer, 2006)

$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$ *(karbonik asit)* **(2.4)**

$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$ *(taş çözünür)* **(2.5)**

$\leftarrow$

Karbonik asitli sular yalnız kalkerleri değil aynı zamanda feldspatları da ayrıştırır ve kil minerallerine dönüştürürler. Bu ayrışmalar kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin azalmasına ve değişmesine neden olur (Tecer, 2006).

$2\ KAlSi_3O_5 + CO_2 + 2\ H_2O \rightarrow K_2CO_3 + Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4\ SiO_2$ **(2.6)**

Kükürt dioksit (SO_2) etkisi: Sülfatlar havada SO_2 ve SO_3 şeklinde bulunurlar. SO_2 havada su ile birleşerek zayıf bir asit olan H_2SO_3'ü, SO_3 de H_2SO_4'ü meydana getirir. SO_2 oksitlenerek SO_3'ü oluşturur. Endüstriyel bölgelerde baca gazlarının etkisiyle sülfat iyonları çoğalır ve daha da etkili olur.

Sülfatlar taşların ayrışmasında çok önemli rol onarlar. Özellikle karbonatlı taşlara etkiyerek sülfatları meydana getirirler.

$S + O_2 \rightarrow SO_2(g)$ **(2.7)**

$2SO_2(g) + O_2 \rightarrow 2SO_3(g)$ (kükürt trioksit nem çeken bir gazdır) **(2.8)**

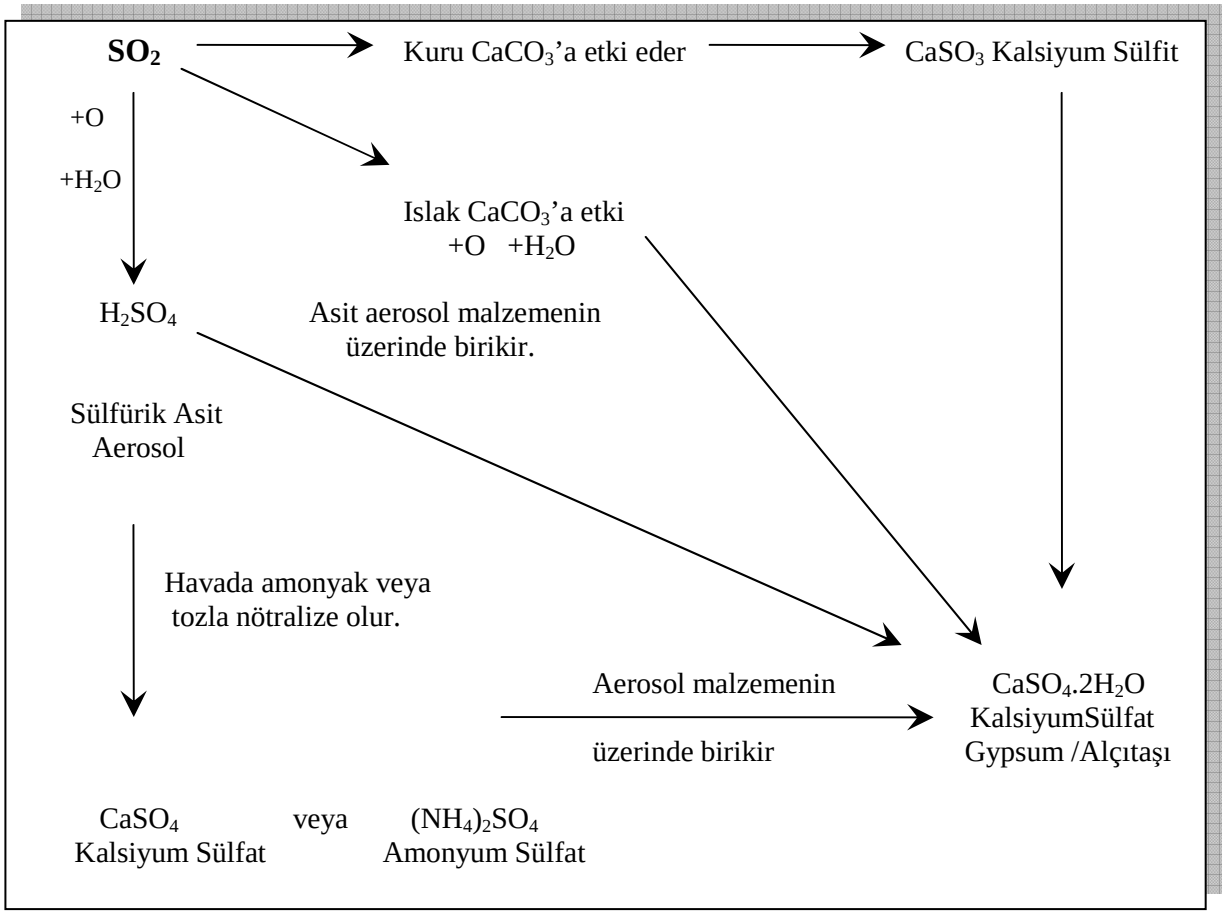
$SO_3(g) + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ (sülfürik asit) **(2.9)**

$CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + H_2O + CO_2 \rightarrow CaSO_4.2H_2O$ **(2.10)**
(yüzeyde kabuklaşmalar)

Meydana gelen kalsiyum sülfat ($CaSO_4$) bünyesine su alarak $CaSO_4.2H_2O$ (Jips) oluşturur. Bu esnada hacim deformasyonu olur ve 1 hacim kalsiyum karbonattan ($CaCO_3$) 1.33 hacim $CaSO_4$, bundan da 2.15 hacim jips oluşur ve taş kabarır, pul pul dökülür ya da yüzeyde birikerek kabuklaşmalara neden olur (Küçükkaya, 2004). Magnezyum karbonat ($MgCO_3$) olması halinde $MgSO_4.7H_2O$ oluşarak 5.30 misli hacim artışı meydana gelir (Yıldırım, 2007).

Meydana gelen bu sülfatlar yalnız hacim artışına bağlı çatlama, kırıntılanma şeklinde deformasyonlara değil aynı zamanda taş üzerinde sert ve geçirimsiz kabuk (alçıtaşı) oluşumuna da neden olurlar. Oluşan alçıtaşının sudaki çözünürlüğünün kalsit kristallerinden daha fazla olması, yağmura açık bölgelerde bulunan taşların erozyonunu hızlandırmaktadır. Eğer taş yüzeyleri, yağmurdan korunan bir bölgede ise bu oluşum taş yüzeylerinin bir süre sonra kabuklanmasına ve giderek dökülmesine yol açmaktadır.

Yapılarda çok sıklıkla kullanılan kireçtaşlarının bazı cinsleri, sülfürik ve karbonik asit gibi asitlerle reaksiyona girdikleri halde, bazıları çok olumsuz koşullarda dahi, büyük bir dayanım gösterirler. Az boşluklu ve çekmeye dayanıklı malzemeler bu tür bozulmaya karşı daha dirençlidirler. Kireçtaşlarının çoğu ve kireç harçları hava kirliliğinin neden olduğu bu bozulma türünden etkilenirler. Bununla birlikte, az boşluklu kireçtaşları oldukça dayanıklıdır (Torraca, 1988).



Şekil 2.5 : Kalkerli malzemelerde kükürt dioksit (SO_2) korozyonunun olası yolları (Yıldırım, 2007).

Azot oksit (NO_2) etkisi: Azot oksitlerin karbonatlı yapı malzemelerine etkileri konusunda kükürt dioksite nazaran geniş bilgi bulunmamaktadır. Kükürt dioksit çalışmalarının aksine azot oksitlerin zararının sıkça gözlemlenememesinin bir nedeni, taşla reaksiyon ürünü olan kalsiyum nitratın ve diğer tepkime ürünlerinin çözünebilirliğinin yüksek olması nedeniyle taş yüzeyinden hızlı bir şekilde temizlenmesidir (Tecer, 2006).

Klorürlerin (Cl_2) etkisi: Klor, çevrenin önemli bir bileşenidir. Kaynağı deniz, çöl ve endüstriyel faaliyetlerdir. Bazı klorürler hidroklorik aside dönüşebilir. Bu, karbonatlı taşların etkili bir çözücüsüdür (Çorapçıoğlu, 1983).

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HCl + HOCl \quad \textbf{(2.11)}$$

$$CaCO_3 + 2\,HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2 \quad \textbf{(2.12)}$$

Partikül maddelerin etkisi: Partikül maddelerin kireçtaşlarına doğrudan etkisi, taş tipi, depolanma miktarı ve partikül içeriğine bağlı olmakla beraber, çok daha azdır. Ancak karbonat taşlarında jips oluşum sürecinde partikül madde, kirleticilerin oksidasyonunda katalizör rol oynamaktadır.

Petrol ve kömür yakan elektrik santralleri, partikül maddenin en büyük nokta kaynaklarıdır; her iki tür kaynaktan alınan örnekler analiz edildiğinde, petrol yakan elektrik santrallerinden yayılan partiküllerde majör elementler olarak Mg, Ni, V, Fe ve minör elementler olarak da Pb, Cr, Ca, Al, K, Ti, Cu elementleri bulunmaktadır. Kömür yakan elektrik santralleri partikülleri Ca, Al, K, Ti ve Fe majör elementleri, V, Mg, Ni ve Cu gibi minör elementleri içermektedir. Bu elementler içerisinde metalik bileşenlerin katalitik özellikleri bilinmektedir. Partikül maddelerin, SO_2'nin sülfata oksidasyonunu hızlandırma kabiliyeti, partiküllerin içerdikleri metallerden ve metallerin oksidasyon şekillerinde iyi bir katalizör olmalarından ileri gelmektedir (Tecer, 2006).

Su ve nem

Su, çevresel nedenli bozulmaların en önemli etkenidir. Yağmur suyu, kar, buz ve zemin suyu biçiminde yapıya ulaşır ve çeşitli yollarla taşın içeriğindeki nemin artmasına sebep olur. Malzeme bünyesine giren su fiziksel ve kimyasal hasarlara neden olur.

Bütün yapı malzemeleri sudan etkilenmekle birlikte, bunların içinde özellikle

binaların temel duvar ve döşemelerini oluşturan kagir nitelikteki malzemeler, suyla doğrudan temasta boşluklu ve gözenekli yapılardan ötürü daha çok etkilenirler. Bu etkileri şu başlıklar altında toplayabiliriz (Toydemir, Gürdal ve Tanaçan, 2000):

- Penetrasyon: Suyun malzeme bünyesine girmesi
- Şişme: Yapı malzemesinin ıslanma sonucu hacminin artması
- Isı iletkenlik katsayısının ıslanma sonucu artması
- Çiçeklenme

Tüm yapı malzemeleri su ile temas ettiklerinde bünye yapılarına bağlı olarak sudan etkilenirler. Yapıların zeminle ve atmosferle ilişkili olan bölümlerinde genellikle kagir kökenli ve bazik karakterli yapı malzemeleri kullanılır. Kagir kökenli ve bazik karakterli yapı malzemeleri bu özellikleri nedeniyle kendilerini etkileyen suyu itmez, aksine kendilerine doğru çekerler. Yapı malzemesini etkileyen suyun basınçlı olması halinde, su, malzemeye basınç etkisiyle girebileceği gibi, basınç olmaksızın malzeme ve yapı elemanı içinde kılcallık yoluyla zeminden yukarıya doğru yükselebilir (Toydemir, Gürdal, Tanaçan, 2000).

Nem, bütün yıkıcı mekanizmaların içinde yer aldığından taş ayrışmasında en fazla etkiye sahip tek faktördür. Nem, gözenekli bir yapı malzemesinin içine, malzemenin zemin suyunu emmesiyle zeminden, yağmur ve karla veya havadan su buharının difüzyonuyla ulaşır. Hava, yağış olmadığı zaman bile nem içerir ve nem, taş ve hava arasında bir dengeye ulaşana kadar taşın içine veya dışına taşınır. Nem, buhar fazında difüzyonla ve sıvı fazda kapiler olarak gözenek içine taşınır.

Taşın içindeki nem içeriği ve nem dağılımına yalnızca dış çevre şartlarıyla değil malzemenin higroskopitesi, porozitesi, gözenek yapısı, boşluk boyutu dağılımı ve nem geçmişi gibi karakteristik özellikleriyle karar verilebilir.

Gözenek sistemindeki higroskopik tuzlar, taşın içindeki nem içeriği ve nem dağılımından da etkilenebilir. Gözenekli bir malzemenin nem içeriği, ya malzemenin hacmi başına suyun ağırlığı (kg/m^3), ya malzeme ağırlığı başına suyun ağırlığı (kg/kg), veya malzemenin hacmi başına suyun hacmi (m^3/m^3) olarak ifade edilebilir. Nem içeriğini ifade etmenin dördüncü yolu, doyma derecesidir (S). Malzeme tamamen doyduğu zaman (S=1) tüm açık gözenekler tamamen su ile doludur (Wessman,1997).

$S = W / P.w$ **(2.13)**

S: Doyma derecesi (m^3/m^3)

W: Malzeme hacmi başına suyun ağırlığı (kg/m^3)

P: Porozite (m^3/m^3)

w: Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

Su ve nemin kireçtaşları üzerinde yaptığı etkiler:

Kireçtaşlarına doğrudan veya dolaylı yoldan etki ederek kalsiyum sülfat (alçıtaşı) oluşumuna neden olan asit içerikli yağmur suyu, aynı zamanda, sertleşip camsı bir tabaka haline gelen alçıtaşı kabuğunun çözünüp parçalanmasında da etkin bir rol oynamaktadır. Ancak fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine göre, farklı davranışlar gösteren kireçtaşları, temiz bir atmosfer içinde bile, asit içerikli olmayan yağmur suyunun etkisi sonucunda dengeli bir çözünme ile karşı karşıya kalabilmektedir. Örneğin, böyle bir ortamda bulunan kireçtaşından yapılmış bir yapının yüzeyinde, yağmur suyunun etkisi ile meydana gelen çözünme, 1000 yıl içerisinde 3-20 mm. arasında değişebilmektedir.

Tuz kristalizasyunu

Tuz kristalizasyonu, potansiyel olarak en fazla zarar verici etkiye sahip olduğundan, bunların içinde en önemli olanıdır. Çözünebilir tuzlar, yapı malzemelerinde parçalanmalara, yüzey dekorasyonlarının dökülmesine neden olan başlıca etkenlerdir.

Doğal taşlar, bünyelerinde genel olarak suda çözünebilen tuzlar ihtiva ederler. Çözünür tuzlar, duvarın malzemesinden (kum, tuğla, harç), topraktan veya havadaki asit gazlarının duvar yüzeyleriyle temasından kaynaklanabilir.

Bozulma teorisi, çözünür tuzların en az iki yoldan taşlar ve boşluklu yapı malzemeleri üzerinde zarara neden olduklarını gösterir.

1. Çözünür tuzlar osmosis yoluyla su çekerler (veya bu higroskopik davranışla su buharının çekilmesi şeklinde de olabilir). Bu şekilde taş duvarın kritik su muhtevasını yükselterek kurumasını geciktirirler.

2. Suyun buharlaşması sonucunda tuzlar, kristalleşerek duvar yüzeyinde leke, yama veya bant şeklinde hoş olmayan görünümler meydana getirirler, çiçeklenme ve yüzey bozulmalarına neden olurlar (Torraca, 1988).

Deniz suyu da 34.000 mg/l toplam tuz miktarı ile metallere ve taşlara karşı korozif olabilmektedir. Deniz suyunun bileşiminde en fazla sodyum klorür ve magnezyum klorür tuzları bulunmaktadır. (%52,51 NaCl, %23,12 $MgCl_2$, %18,45 Na_2SO_4, %3,77 $CaCl_2$, %1,44 KCl, % 0,41 $NaHCO_3$) (Torraca, 1988).

B- Isı Etkileri

Sıcaklık ve ısıl genleşme

Sıcaklıkta meydana gelen ani değişmeler, yapı kabuğunda bulunan farklı malzemelerin, birbirleri üzerinde çekme ve basınç kuvvetleri oluştururlar. Yapı kabuğunda, çeşitli fonksiyonları karşılamak için farklı karakterde ve farklı biçimlerde malzemeler bir arada bulunmak zorundadır. Çekirdek üzerinde bir harç ile tutturulmuş seramik yada cam pencere denizliğinde mermer, doğrama olarak ahşap, alüminyum veya pvc, bunların arasında bağlantı elemanları ve malzemeleri serbest olan veya uzamaya elverişli malzemeler sıcaklık farkı $t_1 = t - t_0$ ile orantılı ve malzemenin genleşme katsayısı ile boyu ile orantılı olarak uzayacak ve diğer malzemeler üzerine basınç ve bağlandığı yapı elemanında ise çekme gerilmeleri oluşturacaktır. Yapı kabuğu malzemesinde oluşan gerilme, sadece malzemenin boyuna bağlı olmadığı, malzemenin elastiklik modülüne, sıcaklık farkına ve genleşme katsayısına bağlıdır (Gürdal, 2004).

Yapı elemanlarının ısı genleşme katsayıları farklıdır. Genleşme katsayıları farklı elemanların bir arada kullanıldığı durumlarda birbirini bozduğu, tahribatlara ve deformasyonlara neden oldukları görülür. 30^0C de 1 metre uzunluğunda farklı bazı yapı elemanlarının uzama miktarı yaklaşık olarak aşağıdaki gibidir (Torraca, 1988).

Mermer	0,15 mm
Kalker	0,15 mm
Kumtaşı	0,15 mm
Granit	0,25 mm
Demir	0,30 mm
Çelik	0,50 mm
Alüminyum	0,70 mm
Betonarme	0,30 – 0,40 mm

Çimento harcı	0,30 – 0,40 mm
Kireç harcı	0,24 mm

Görüldüğü gibi betonarme, çimento harç ve metaller; mermer, kalker ve kumtaşından 2 kat fazla genleşme gösterirler. Restorasyonlar sırasında strüktürel destek elemanlarının çelik veya betonarme olarak düşünüldüğü durumlarda ısı karşısında oluşan farklı basınçlar elemanlardan zayıf olanın tahrip olmasına yol açabilmektedir. Eski taş duvarların, yeni ilave strüktürlerle desteklenmesi, minik çatlaklarla başlayan hızlandırılmış bozulmalara neden olabilmektedir. Aynı şekilde kireç harç, çimento harca nazaran taş malzeme ile daha iyi uyum sağlayabildiğinden tercih edilmelidir.

Sıcaklığın diğer önemli bir etkisi de, taşların hava ile temas eden kesimleri ile korunmuş olan kısımlarının farklı ısınmasından kaynaklanan farklı genleşmelere uğramalarıdır. Ayrıca yıllık ya da günlük sıcaklık farklılıklarının yarattığı gerilmelerin sonucunda yapı elemanlarında meydana gelen değişiklikler elemanların boyutuna göre de farklı özellik gösterir. Boyutları büyük elemanların yarattığı gerilim, küçük bir elemanın yarattığı gerilimden büyüktür. Homojen bir yapıya sahip olan bir yapı elemanı bile yüksek ısı farklılıkları nedeniyle deformasyona uğrayabilirler. (Torracca 1988).

Sıcaklığın değişmesi daimi bir hacim değişmesi olayını getirir. Sıcaklık farkı, taşlarda genleşme ve büzülmeler, taneler arasında farklı yönde ve büyüklükte iç basınçlar oluşturur. Devamlı tekrarı ise malzemenin yorulmasına neden olur. Taşların bünyesinde gözle görülmesi mümkün olmayan kılcal çatlaklar (fissürler) gelişmeye başlar. Sıcaklık değişiminin yinelenmesi, fissür gelişimini hızlandırarak yeni çatlak ve kırıkların oluşmasına neden olur. Giderek çatlakları artan taş fiziksel anlamda parçalanır ve ufalanır. Çölde kum oluşumu bu tekrarın bir sonucudur. Bazı minerallerin ısı genleşmelerine yatkınlığı çoktur, bazıları ise heterojen bir şekilde genleşmeye uğrar. Örneğin kalsit, ana ekseni istikametinde çok genleşmesine rağmen aksi yönde büzülme gösterir. Tekrarlanmış bir ısınma farklı yönlerde bir araya gelmiş kalsit tanelerinin ara boşluklarını çatlatabilir. Sistem suyun ortama katılmasıyla daha da hızlanabilir. Boşluk oranı artar tahribat hızlanır. Bu şekilde mermer bozulur tane tane dökülür. Taşların sıcaklık etkisi karşısında morfolojik değişikliklere uğramaları ile ilgili özelliklerinden istifade edilerek taş ocaklarında büyük bloklar koparılabilmektedir.

Donan suyun etkisi

Yapı kabuğunu oluşturan doğal taş, tuğla, sıva vb. gibi malzemelerin boşluk ve çatlaklarına su emme kapasitesine bağlı olarak giren su, sıcaklığın 0^0C nin altına düşmesi ile donar ise, (genleşme ile) hacmin 1/11 oranında artmasından dolayı, gerekli boşluk bulamaz ise, boşluk aralarında yaklaşık 16 MPa mertebesinde dayanılması güç bir basınç meydana getirir. Özellikle boşluklu kaplama malzemelerinde ve çözünen tuzlar içeren sıvalarda parçalanma ve bozulmalar daha fazla olur (Gürdal, 2004).

Kaplama malzemesinin serbest hacimce su emme oranı ile gerçek porozitesi arasındaki oran donmaya dayanıklılıkta bir gösterge olarak kabul edilir. Doygunluk derecesi, %100 olduğunda bütün boşlukların su ile dolabildiğini gösterir. Dona dayanıklı olabilmesi için malzemenin doygunluk derecesi %80 den küçük olmalıdır Hacmi artan buzun girebileceği boşluklar kalmalıdır (Gürdal, 2004).

Doğal koşullarda, bir duvarın dış yüzünde bulunan kaplama malzemesinde, özellikle doğal taş ve sıvalarda, çatlaklar belirli bir derinliğe kadar su ile dolmakta, bir kısım açık çatlak ve boşluklarda su bulunmamakta ve böylece doyma derecesi %80 nin altında kalmaktadır. Kış mevsiminde, gece havanın soğuduğu saatlerde duvar kesitinde içe doğru olan donma hareketi, gündüz saatlerinde, havanın yumuşaması ve ısıtmanın devreye girmesi ile, çözünme dışarıya doğru olur. Bir kış mevsimi boyunca bir çok defa bu etkiye uğrayan malzemede, yüzeye paralel olarak parçalanma düzlemleri ortaya çıkar. Bu olaylar sırasında parçalanmanın ortaya çıkabilmesi için (Gürdal, 2004):

- Yeterli oranda su emilmiş olmalı,
- Su, kaplama malzemesinde yeteri kadar nüfuz etmiş olmalı,
- Donma derecesinin altında ve üstünde sıcaklık değişimi olmalıdır

Rüzgarların etkisi

Rüzgarlar, küçümsenmeyecek bir taşıma ve aynı zamanda taşıdıkları malzemeyi, yapı cephesine çarparak aşındırma gücüne sahiptirler. Zayıf bağlayıcılı kaplamalarda etkisi kısa sürede görülen rüzgar gücü, taş malzeme ile kaplı yapılarda uzun süreler sonunda zararlı aşındırıcı etki göstermektedir (Gürdal, 2004).

Yangın etkisi

Aşırı sıcaklık yangınlarda olur. Alevin yaladığı taşların dış yüzü süratle bir hacim genişlemesine geçer. Fakat ısı taşın iç yüzüne aynı süratle nüfuz etmez ve taşların içi soğuk kalır. Bu arada malzemenin direncini aşan iç gerilmeler oluşur. Kabarma ile plak ve parça halinde kopmalar birbirini takip eder (Kieslinger,1968).

Ancak yine de yangının ulaşamadığı bölgelerde sağlam taşın kalması mümkündür. Bu olay genellikle kalkerler dahil, bütün taşlar için aynıdır. Restorasyonda bozulmuş kısımlar temizlenerek ve dirençli kısımlar da sağlamlaştırılarak kullanılabilir. Ancak yüksek kuvars yüzdesine sahip taşlar tümüyle parçalandıklarından kullanılamazlar (Erguvanlı,1967).

Mekanik etkiler

A- Petrografik Nedenler ve Taşın Ocaktan Alınması

Bazı taşlar çok eski olmasına karşın çok iyi korunmuştur. Bazı durumlarda ise bozulmalar sadece bir kaç taşta görülür, diğerleri ise çok iyi durumda olur. Halbuki bu taşlar aynı ocaktan gelmiştir. Aynı kaynaktan gelmesine karşılık değişik kaliteler ve karakterlerle karşılaşabilir. Taşların bu ayrılıklarının kökeninde çoğunlukla petrografik nedenler vardır. Örneğin en iyi kalker katmanları arasında çoğunlukla hava koşullarına karşı yeterli dayanıklılığı olmayan marnlı katmanlar olabilir. Taşların uyumsuzluğu bölgesel tektonik basınçların ya da belirli bir dereceye kadar başlamış olan bünyesel bozulmanın da bir sonucu olabilir. Her zaman en iyi taş ocağında bile, bozuk katmanlar vardır (Erguvanlı,1967).

Petrolojik inceleme ile taş kompozisyonu ve onun yüzeysel değişiklikleri hakkında bilgi alınması mümkündür. Araştırmalar boşluk oranının belirlenmesi ve mekanik mukavemet deneyleri ile tanımlanırlar. Bu laboratuar deneyleri çoğunlukla taşların niteliklerinin anlaşılmasına yarar. Ancak, taşların duvar içindeki özel durumları, iç ve dış sıcaklık farklılıkları, nemin hareketinin etkileri, yüklendiği statik yük, yani yaşayan fonksiyonları ile uğrayacakları değişiklikler de farklıdır (Küçükkaya, 2004).

Taş çeşitli aletlerle işlenirken de bazen el kayması veya yanlış vurma sonucu taşta fissür (gözle görülmesi güç, kil gibi ince çatlaklara verilen addır) çatlak ve kırılmalar meydana gelebilir ve bunlar taşların ilerde daha da bozulmalarına neden olabilir.

Yeraltından çıkarılan taşların içinde bir miktar ocak suyu bulunur. Bu, taşların işlenmesi ve şekil verilmesini kolaylaştırır. Taşlar biraz bekletilirse taş su kaybeder ve sertleşir. Bekletme, kalker, traverten, tebeşirli kalker vs. gibi boşluklu taşlarda önemlidir (Küçükkaya, 2004).

B- Taşın Çalışması

Tabakalar arasında sıkışmış olarak bulunan taşlar, yerinden alındıktan sonra hemen kullanılmamalıdır. Çünkü taş ortam değiştirmiş, üzerindeki katmanların baskısı kalkmıştır. Bir müddet izlendiğinde taşın, basıncın aksi istikametinde bir sehim kazandığı, bu hareketin düşünülmediği ortamlarda ise işlendikten sonra yapı yerinde çalıştığı görülmüştür. Ulaşımın güç sağlandığı en kısa mesafelerin bile uzun zamanlarda geçildiği tarihlerde, taş yapım alanına gelinceye kadar çalışma ve dinlenme imkanı bulmuştur. Ancak bunun düşünülmediği günümüzde bu tür deformasyonlara sıkça rastlanmaktadır (Küçükkaya, 2004).

Taşın yapıda kullanımı ocaktaki katmanlara uygun olarak sağlanmalıdır. Aksi durumlarda taşın direnç göstermeyip pul pul döküldüğü hatta parçalandığı görülmüştür. Düşey yüklerin dağılımı tabaka katlarına dik istikamette olmalıdır. Tabaka düzlemine paralel olarak yontulmuş maktralı, killi kireçtaşlarında kavlaklanma, kavlama olarak adlandırılan taşın tabakalar halinde ayrılması, yapraklanması mümkündür (Küçükkaya, 2004).

C- Madeni Malzemenin Korozyonu

Korozyon metallerin ve alaşımların kimyasal ve/veya elektro-kimyasal olaylarla bozulmasıdır. Metaller elektrolitik bir sıvı (asit, baz, tuz eriyikleri ve su gibi) içinde bulunduklarında ortaya çıkan bir bozulmadır.

Taşın metallerle kullanımı halinde, madeni malzemenin korozyonunun olumsuz etkileri arasında, korozyona uğrayan metallerin zamanla genleşmeleri ve taşı zorlayarak basınçla patlatmaları başta gelir. Demir (Fe) ve çinkonun (Zn) oksidasyon ürünleri olan demir II oksit (FeO), demir III oksit (Fe_2O_3) ve çinko oksit (ZnO) kendilerinden hacim olarak daha büyüktür ve korozyon oluştuğunda genleşerek çevrelerindeki taşa basınç yaparlar. Bu şekilde oluşmuş taş kopmalarında genellikle metaller açığa çıkar ve bu durum tahrip nedeninin kolaylıkla anlaşılmasını sağlar.

Bu şekilde taş bozulmaları; daha çok demir kenedin ve diğer metallerin korozyona karşı önlem alınmadan kullanımıyla ortaya çıkan bir sorundur. Kenedin dış cepheye

yakın olmaması uygundur. Taş bağlayıcı ara eleman olarak kullanılacak olan demir kenetlerin iç yağında su verilerek, üzerinde koruyucu karbür tabakası oluşturulması, Osmanlı Mimarisinde korozyona karşı geleneksel koruma yöntemi olarak pratikte bilinmektedir.

Demir taşın lekelenmesinde, bağlanan yapı elemanlarının çatlamasına neden olarak ve karbonatlar ile kolloidal hidratlı oksitlerin oluşumuna sebep olarak gösterirler ve oksitlenme eğilimindedirler. Benzer bir paslanma, sülfat ve oksitlerin limonitesine eğimli olarak, bazı taşlarda tabii olarak bulunan demir minarellerinin içeriğinde olan (pirit, magnetit) maddelerinden dolayı meydana gelebilmektedir.

Bazı kaplama taşlarının yüzeyinde beliren sarı-kahve rengi lekelerin muhtemel nedeni, kaplama taşlarını duvara tespit etmede kullanılan demir lamaların oksidasyonudur (Küçükkaya, 2004).

D- Depremler ve Titreşim Etkileri

Yapı elemanlarında en büyük ve onarılması güç tahriplerin depremler ve su baskınları gibi doğal afetlerden sonra oluştuğu herkesçe bilinen bir gerçektir. Fakat bunların daha da tehlikelisi insanların farkında olmadan yarattıkları titreşimlerdir. Aşırı yüklemeler, tarihi strüktürü etkileyen diğer dahili ve harici yükler ve bunların birikimi yapıların çökmesine varan tahriplere neden olabilirler.

“Trafik titreşimi” genellikle yolları eski, tarihi kentlerde en büyük sorundur. Ağır vasıtaların yarattığı zemin titreşimleri yapılarda çatlaklarla parçalanmalara kopmalara neden olduğu gibi bu bozulmaların atmosferik tahriplerle geliştiği ve giderilmesi güç sonuçlara vardığı gözlenmiştir. Örneğin; Roma’da duvar resimleri Raffaello tarafından yapılmış Farnesina Villasında trafik titreşimlerinin sebep olduğu bozulmalar bütün yapının bakıma alınmasını gerektirmiştir.

Son yıllarda tarihi kentleri koruma politikaları içinde “trafikten arındırılmış tarihsel merkez” kavramı önem kazanmıştır. İtalya, Fransa gibi korumada öncü ülkelerle birlikte ülkemizde de bu yolda çalışmalar yapılmaktadır. Bu nedenlerle tarihi merkezler kısmen de olsa taşıt trafiğine kapatılmakta veya taşıt trafiği yoğunluğunu azaltmak maksadıyla yeniden organize edilmektedir. Örneğin; Roma’da Panteon Tapınağı, Navano Meydanı ve Roma Forumu arkeolojik alanları yakınlarına vasıtaların alınmaması, İstanbul Sultanahmet Camii ve çevresi ile Süleymaniye Camii ve çevresi yeniden entegrasyon projelerinde bu alanların taşıt trafiğine

kapatılmış olması, trafik yükünün tarihi çevreye verdiği zararın irdelenmesi sonucudur (Küçükkaya, 2004).

Canlılara bağlı etkiler

A- Yanlış Uygulamalar

Hiç kuşkusuz insan eliyle oluşmuş tahriplerin başında yanlış, bilgisiz ve yetersiz uygulamalar ve restorasyonlar gelir. Öyle ki bazen yanlış seçilmiş bir taş, kısa zamanda orijinal benzerlerinden daha da kötü duruma gelirken bazen de koruma amacıyla sürülen koruyucu, orijinal malzemeyi daha da bozmaktadır. Kullanılan malzemelerin birbirleriyle olan ilişkileri de önemli bir faktör olup, kimyasal bileşim ya da mekanik mukavemetleri uyuşmayan malzemelerin birlikte kullanılması genelde taşa ve çevresine zarar vermektedir.

Bu uyumsuzluklar şöyle özetlenebilir (Küçükkaya, 2004):

1. Seçilen taş ile kullanılan harç uyuşmayabilir.
    - Eğer kullanılan harç, taştan daha sert ise derz yerlerinden taşın aşınmasına ve dökülmesine sebep olur, yani fiziki bir aşınma meydana gelir.
    - Eğer kullanılan harç, taştan daha yumuşak ise taş harcı aşındırır ve derz araları açılarak yine fiziki bir aşınma meydana gelir. Bu durumda taş, açılan derzden giren nem, su ve bağlı nedenlerden (don, tuzların etkisi v.b.) zarar görür.
    - Eğer kullanılan harç, suda çözünen maddeler içeriyorsa suda çözünen maddeler taşa zarar verirler.
    - Restorasyon ile yenilenen derzler yanlış detaylandırıldıklarında da bozulmalar görülmektedir.
2. Kireçtaşı ve kumtaşının birlikte kullanılması halinde eğer hava kirliliği de varsa havadaki SO_2, H_2S (Hidrojen sülfür gazı) ve su buharı kireçtaşına etki eder. Çözünen $CaCO_3$ kumtaşının arasına girerek orada $CaSO_4$ olarak çöker. $CaSO_4$ hacmi $CaCO_3$ hacminden 1,7 defa daha fazla olduğundan bu hacim genişlemesi kumtaşının parçalar halinde kopmasına yol açar.
3. Kireçtaşı ($CaCO_3$) ve dolomitik kireçtaşı ($CaCO_3$). ($MgCO_3$) birlikte kullanıldığında $MgCO_3$ çok kolay $MgSO_4$'a dönüşür. Bu arada meydana

4. gelen hacim değişikliği $CaCO_3$ hacminin 4 katıdır. Reaksiyonun tekrarı, kireçtaşında oyulmalara yol açar.
5. Ahşap suya olan dayanıksızlığı nedeniyle taş ile belli malzeme olmadan kullanılmamalıdır.
6. Sertlik dereceleri farklı taşların kullanılması durumunda, sert taşın yarattığı gerilimlerin, yumuşak taşın bozulmasında etkin faktör olduğu gözlemlenmiştir.
7. Demir ve galvanize çinko çiviler ve bağlantı parçaları taşlara büyük zarar verir. Çünkü Fe ve Zn'nun oksidasyon ürünleri (FeO, Fe_2O_3 ve ZnO) kendilerinden hacim olarak daha büyüktür. Bu sebepten taşta çatlama ve kopmalara sebep olur. Ayrıca taşta pas lekeleri meydana getirirler.
8. Mermerlerin cilalanması da mermerin özelliklerini aksettirmesi ve uzun ömürlü olması bakımından önemlidir.

B- Bitkisel Organizma ve Hayvanların Etkisi

Yosunlar ve likenler, malzemenin boşluklarında ve çatlaklarında gelişerek, çıkardıkları asitlerle, çatlakların daha da fazla gelişmesine neden olurlar. Bu organizmaların tutunmalarında ve gelişmelerinde nemin de katkısı vardır. Rüzgarla savrulan tozları tutarak özellikle harpuşta ve pencere sövelerinde ince bir toprak tabakası meydana getirirler. Bu toprak tabakasına daha sonra yerleşen küçük tohumlu, çiçekli ve gelişmiş bitkiler kaplama ve duvar malzemesinin parçalanmasına sebep olurlar (Gürdal, 2004).

2.4.3 Kireçtaşlarının ayrışma nedenleri hakkında literatür araştırması

Hava Kirliliği:

Taş bozulmaları fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenler sonucunda oluşmaktadır ve 20. yüzyıl başlarında havayı kirleten gazların neden olduğu fiziko-kimyasal bozulma süreçleri anlaşılmaya başlanmıştır (Hirschwald 1908; Monikowsky 1910; Fox ve Harrison 1925; Laurie 1925). Anılan çalışmalarda havayı kirleten gazlardan kükürt dioksidin, oksitlenerek kükürt triokside dönüştüğü ve havadaki su buharıyla sülfüroz asit oluşturarak, doğal taşlardaki kalsit ($CaCO_3$) ile kimyasal tepkimeye girdiği ve $CaCO_3$'ı kalsiyum sülfat dihidrata dönüştürerek, doğal bağlayıcı çimentonun yok olmasına ve bazı iç gerilmelere yol açtığından söz edilmektedir. Bu bilgiler bugün

daha karmaşık ve gelişmiş laboratuar donanımıyla elde ettiğimiz bilgilerle hemen hemen aynıdır (Ersen, 1998).

Schaffer'ın 1932 yılında yayınlanan "The Weathering of NaturalBuilding Stones" adlı kitabı bu konudaki bilgilerin en bilimsel ve yöntemsel olarak biraraya toplandığı ve dönemin laboratuvar araştırma yöntemlerinin anlatıldığı bir çalışmadır. Ayrıca bu konudaki bilgilenme sürecinde bir dönüm noktası olarak kabul edilebilir (Ersen, 1998).

1932-1964 yılları arasında, havayı kirleten gazlardan SO_2 gaz halinde kuru veya ıslak taş yüzeylerinde depolanarak veya aerosol halinde sülfüroz asit olarak bu ortamda yapı taşı yüzeylerini etkilediği anlaşılmaya başlanmıştır (Warnes 1934, UNESCO 1964). SO_2'nin yapılar üzerindeki etkisi, kireçtaşı ile reaksiyona girerek suda çözünebilen, dolayısıyla yapıların zamanla yıpranmasına yol açan $CaSO_4$ ve $CaSO_4.2H_2O$ meydana getirmesidir. Sülfatlaşma reaksiyonu aşağıda yazıldığı gibidir:

$CaCO_3 \rightarrow CaSO_4.2H_2O$ (Jips)

(H_2O ve SO_2)

Zamanla kabaran, dökülen kabuklar sülfatlaşma belirtisi gösterir. Gözenekleri kalsiyum sülfatla dolan taşlar, bozulma derinliğine bağlı olarak, yüzeyden ıslanma alanı sınırına kadar, tabaka halinde dökülür. En çok etkilenen doğal taşlar kireçtaşları, mermerler, traverten ve kalsit bağlayıcı kumtaşlarıdır. Kireçtaşlarında kimyasal tortul veya organik kireçtaşlarının yüzeylerinde boşluk boyutu dağılımına bağlı olarak farklılaşan bir tuz kabuk oluşur. Bu tuz kabuğun kompozisyonunun belirli bir miktarını hava kirliliğiyle oluşan H_2SO_4 ile tepkime sonucu oluşan $CaSO_4.2H_2O$ oluşturur. Kireçtaşı yüzeylerinde oluşan bu kabuğun rengi havadaki partiküllerin yüzey yoğuşması yoluyla kararır. 1932-1964 yılları arasında tanımlanan tuz kabuk (jips) uzun süre patina ile karıştırılmış ayrıca 'koruyucu kabuk' olarak nitelendirilmiştir.

- Kalsit esaslı taşların karbonatlar ve sülfatlarda çözünmesi
- Silikatlı taşların hava kirliliği ortamında daha çözünür formlara dönüşmeleri
- Kirli kent havasının yüksek miktarda CO_2 içermesi nedeniyle mermer ve dolomitlerin suda çözünme hızlarının 2-3 kat arttığı olguları bu dönemde ortaya çıkmıştır (Winkler 1973,).

1970-1990 yılları arasında hava kirliliğinin verileriyle kireçtaşı yüzeylerinde alçıtaşı kabuk oluşumunun bağıntısı kurulmuştur (Amorosa ve Fassina 1983, Hoke 1978, Rosvall ve Aleby 1988). Bu dönemde SO_2'nin SO_3'e dönüşmesinin yalnızca 400-600 ^0C sıcaklıkta ve bazı katalizörlerin varlığı durumunda olası olduğu, düşük sıcaklıklarda kabuk oluşumunun H_2SO_4 yağmuru yerine kalsitli taşların yüzeylerinde biriken tozların katalizör görevi yaptığı ve yüzeyde kuru birikimle de alçıtaşı kabuğun oluşabildiği anlaşılmıştır (Ersen, 1998).

Ayrıca doğal taşlar, özellikle konumuz olan tortul taşlar jeolojik oluşumları gereği heterojen yapılıdır ve farklı fiziksel özellikler gösterirler. Farklı yoğunlukta hava kirliliği ve yağmur suyu ortamında bulunabilirler. Bütün bunların sonucu olarak farklı yapılarda bozulma morfolojileri ortaya çıkar. Bu nedenle bilimsel araştırmaların verilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Etkin bilimsel çalışmalar ve verilerin değerlendirilmesine 1975-1995 arasında rastlıyoruz. 1975-1993 yılları arasında yapılmış olan taş bozulmaları ve korunması uluslararası sempozyumlarında, konuyu bilimsel verilerle açıklayan çok sayıda bilimsel çalışma sunulmuştur. Örneğin (Ersen, 1998);

- Kireçtaşı ve mermer yüzeylerinde tuz kabuk birikim süreçlerinin farklı olduğu
- Yağmur suyuyla (asidik su) yıkanan veya yapıda korunaklı kuru bölgelerde farklı kabuk oluşumu olduğu
- Aşırı hava kirliliği olan ortamlarda kuru kükürt oranının yaş kükürt oranını geçtiği ve yağmur suyuyla (asidik su) yüzeyi yıkanmayan taşlarda daha kalın ve daha fazla $CaSO_4.2H_2O$ (Jips) içeren kabukların varlığı bilimsel araştırmalar sonucunda anlatılmıştır (Furlan ve Girardet 1983, Sramek 1988)

1900'lü yıllarda başlatılan yapıtaşlarının iklimsel erozyonu konusundaki araştırmalar halen sürmektedir. Kırsal alanlarla kentlerdeki taş yapılardaki yüzey erozyonu karşılaştırmalarında kentlerdeki yapıların hızlı yüzey erozyonu ve detay kaybı hemen görülmektedir. Kükürt dioksit ve sülfürik asit yağmuru taş yüzeylerinde kuru birikimi ve sonradan aside dönüşmesi yollarıyla taşlarda bozulmalara neden olmaktadır (Fassina 1991; Camuffo 1991; Butlin, Jaynes, Sharp 1985). Bu yıllardaki araştırmalarda ayrıca taş bozulma mekanizmalarında azot oksitlerin rolünün çok sınırlı olduğu sonucuna da varılmıştır (Livingston 1985; Fassina 1988).

1990'lı yıllarda insanoğlu küresel ısınmanın ve sera etkisinin daha bariz gözlenmesi ile doğaya verdiği zararın farkına vararak çevre koruma bilincine değer vermeye başlamışlar, doğal yaşamı her yönüyle desteklemişlerdir. 1990'dan günümüze kadar yapılan çalışmalarda ise sürdürülebilirlik kavramı doğrultusunda çevrenin bozucu etkilerine karşı daha dayanıklı, daha iyi performans gösteren ve daha uzun hizmet ömrü olan yapıların tasarımı ve tarihi yapıların korunması bilinci doğrultusunda taşların dayanıklılığını arttırmak için tarihi yapılardan alınan numunelerin tanımlanması gelişmiş deneysel yöntemlerle yapılmaya başlanmıştır. (Fitzner, Heinrichs, Bouchardiere 2002; Török 2003; Lee ve Yi 2007; Cantone, De Medici ve Fiore 2004). Bunlar:

- Taşların mineral yapısını belirlemek için X-ışınları difraktometrisi (XRD) yöntemiyle-kantitatif faz-mineralojik analizleri
- Taşların kimyasal yapısını belirlemek için X-ışını floresan spektrometre (XRF) yöntemiyle-yarı kantitatif element analizleri
- İnce yapı analizleri (elektron mikroskobu ile yüzey/morfolojik özelliklerin incelenmesi, ince kesit/optik mikroskop ile gözenek ve ince yapı analizleri (SEM))

dir.

Ayrıca bu dönemde taşların uzun dönem performansını, dayanıklılığını ve hizmet ömrünü tahmin etmek amacıyla doğal ve hızlandırılmış eskitme deneyleri yapılmaya başlanmıştır (Al-Mukhtar, Beck ve Van 2007).

2.4.4 Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarında oluşan ayrışma ve kirlenme biçimlerinin analizi

Her malzemenin fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik birtakım özellikleri vardır. Hasar veren etkilere karşı malzemenin özellikleri yetersiz ise, malzeme eskimeye başlar. Bu eskime aşınma, çatlama ve kırılma gibi fiziksel olabildiği gibi malzemenin yapısını değiştirebilecek nitelikte kimyasal ve biyolojikte olabilir. Fiziksel zararlara çoğu zaman atmosferik etkiler ve kullanıcı etkileri sebep olmaktadır. Asitlerin malzeme bünyesine olan etkileri, korozyon, çürüme, zararlı böcekler ve mantarlar gibi nedenler ise malzemeye zarar veren kimyasal ve biyolojik nedenlerdir.

Malzemelerde mekanik etkiler (hareketli ve sabit yükler) de çoğu zaman malzemelerde fiziksel hasarlara neden olmaktadırlar (Kuşaslan, 2002).

Aşırı sıcaklar, soğuk kış günlerindeki don etkileri, kapillarite sonucu suyun yapı içindeki hareketliliği, aşırı nem ve benzeri doğal olaylar ve özellikle asitli yağmur suları sonucu yapılar ve yapının temel ögesi olan taşlar, çeşitli kimyasal ve fiziksel etkilere maruz kalırlar. Bu etkiler sonucu taş yüzeylerinde bozulmalar, erimeler ve dökülmeler oluşmaya başlar. Bütün bunların yanında doğal afetlerin de taş yapılara verdiği hasarlar büyüktür.

Taşların oluşumlarına bağlı özellikleri de **(taşın rengi, dokusu, tane bileşimi, gözenikliliği gibi)** dış etkenlerden etkilenerek tahrip olmasına neden olabilmektedir.

Çevresel faktörler (su ve hava gibi) yapıdaki taş öğelerin bozulumunu hızlandırmakta, taşın bünyesine giren sular taşı ayrıştırarak çözmektedir. Zeminden yükselen nem strüktürü ıslatarak taşıyıcı sisteme gelen yükü fazlalaştırdığı gibi, içinde taşıdığı tuzların duvar yüzeyinde yoğunlaşması nedeniyle çiçeklenmelere, duvarın fiziksel ve kimyasal yapısını bozucu etkilere neden olabilmektedir.

Hava kirliliği de anıtların üzerinde kirli bir tabakanın oluşmasına, taşları eriten asit yağmurlarının oluşmasına neden olmaktadır.

Taş yapılarda malzeme çoğu zamanda farklı metallerle bir arada kullanılmıştır. Örneğin demir ve çelik atmosfer ve suyun etkisiyle pas oluştururlar. Bu da taş öğelerde lekelenmelere neden olur. Hatta kesme taş yapılarda bağlantı elemanı olarak kullanılan demir kenet ve miller iyi izole edilmezse korozyana uğramakta, paslanmakta ve genişleyerek duvar bloğu, söve gibi yapı elemanlarını çatlatabilmektedir. Müdahale edilmezse yapı elemanını parçalamaktadır.

Taşların farklı ayrışabilirlik özelliklerine bağlı olarak yüzeysel bozulma, kırıntılanma, tozlaşma, kabuklanma, çiçeklenme, plaklar halinde ayrılmalar ile taşın erozyonu söz konusu olabilmektedir. Kuzey Kıbrıs doğal taşlarında tespit edilen ayrışma biçimleri aşağıda anlatılmıştır.

2.4.4.1 Taş malzeme kaybı (Oyuklanma)

Su, çevresel nedenli bozulmaların en önemli etkenidir. Yağmur suyu, kar, buz ve zemin suyu biçiminde yapıya ulaşır ve çeşitli yollarla taşın içeriğindeki nemin artmasına sebep olur. Malzeme bünyesine giren su fiziksel ve kimyasal hasarlara

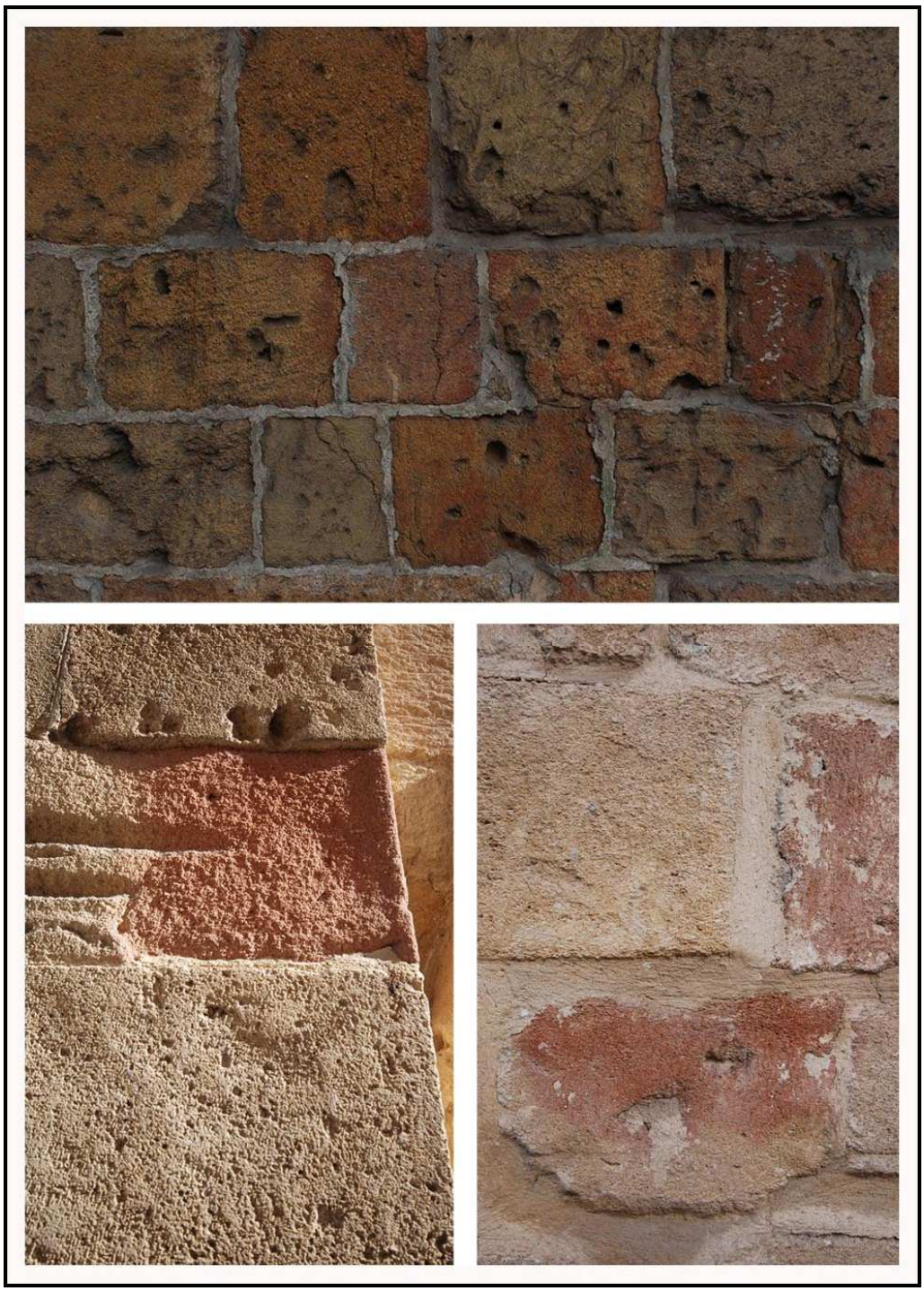
neden olur. Taşların bünyelerinde, ana mineral haricinde bulunan bazı kil ve/veya yumuşak kum katmanlar, taşların genel sağlamlığını bozabilmektedir. Bu katmanlar veya yatakların zamanla yapışma direncinin kaybolması sonucu taş yüzeyinde dökülmeler veya gelişigüzel çukurlaşmalar oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle kireç taşlarında bu etki çok daha fazla hissedilebilmektedir. Asitli yağmur suları ile yumuşayan bu farklı katmanlar, çukurlaşmalara veya dökülmelere neden olmaktadır (Şekil 2.6). Atmosferdeki ve çevredeki toz partiküllerin yağmur suyu ile taş yüzeyine yapışması ve kapillarite ile içlere nüfuz etmesi , özellikle kum taşlarının ve kireç taşlarının yüzeylerinin siyah bir tabaka ile kaplanmasına neden olmaktadır.



Şekil 2.6 : Yağmur sularıyla beslenen zemin suyu, kapiler hareketle temelden yükselip taş malzemede oyukların oluşmasına neden olmuştur. Lefkoşa'da bir ev (Ziyaettin, 2008).

2.4.4.2 Lekelenme ve renk bozulması

Genel veya lokal, kireçtaşının rengindeki bozulma, leke olarak tabir edilir. Lekelenme, taşın veya yapısal elemanların dışardan gelen maddelere maruz kalmasının sonucunda ortaya çıkar. En genel lekelenme tipleri; yağ lekeleri, boya maddeleri, organik lekeler ve metalik lekelerdir (Yıldırım, 2007).



Şekil 2.7 : Lekelenme ve renk bozulması, Büyük Han – Lefkoşa (Ziyaettin, 2008).

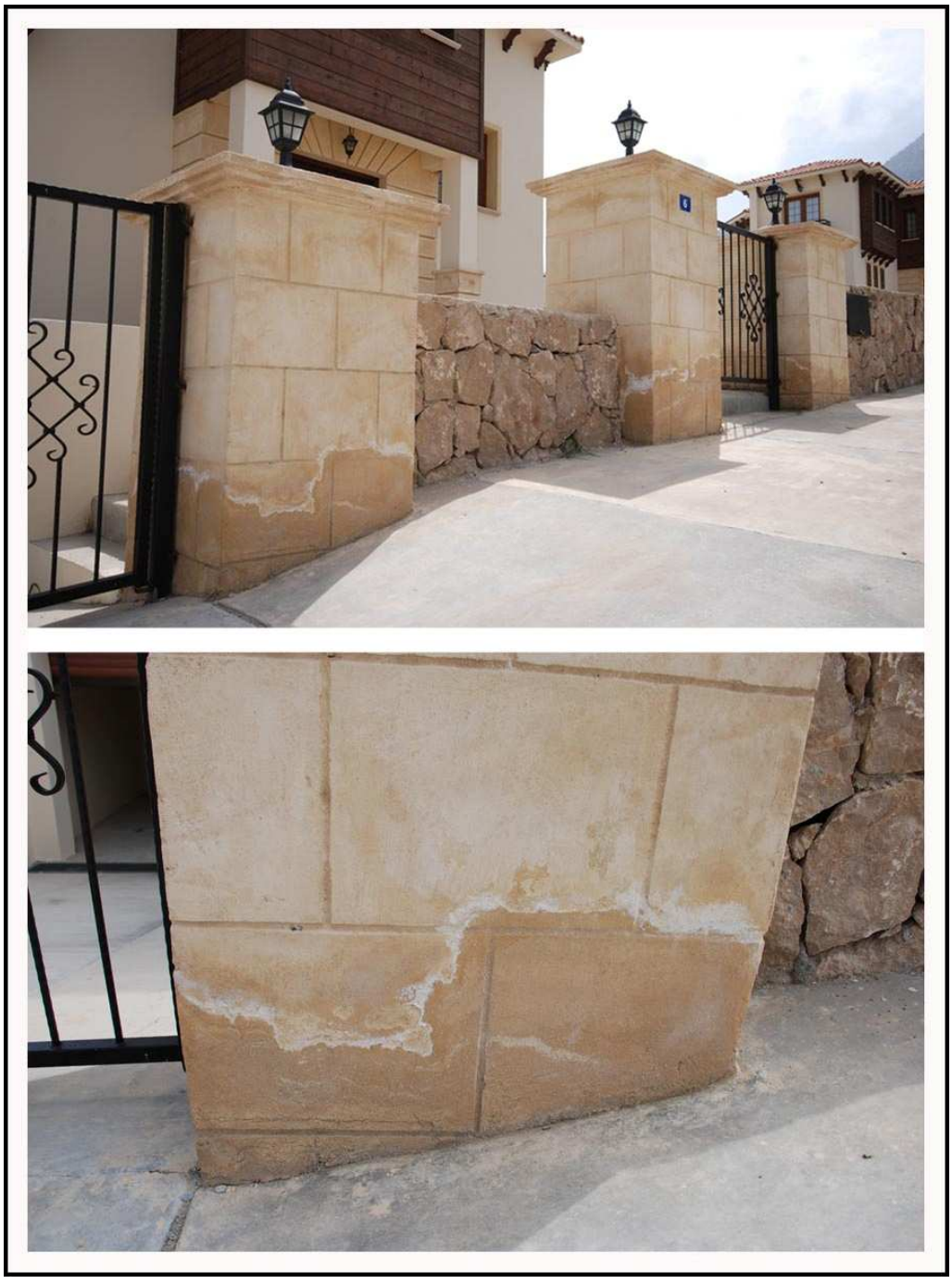
2.4.4.3 Çiçeklenme

Zeminden veya yağışlar yoluyla atmosferden gelen sular, içlerinde çözünmüş değişik kimyasal maddeler taşır. Bu maddeler, temas ettikleri malzemeleri bozucu etkiye sahiptir. Islanmış gözenekli malzeme içerisinde bulunan ve içinde çözünmüş kimyasallar barındıran su, kuruma evresinde yüzeye doğru hareket ederek buharlaşır. Ancak buharlaşma anında beraberinde sürüklediği çözünmüş tuzlar, malzemenin dış yüzünde “çiçeklenme" adı verilen yüzeysel birikime neden olur. Diğer taraftan, suyun içinde bulunan çözünmüş kimyasal maddeler suyun kimyasal etkinliğini arttırdığı gibi, içine girdiği malzemedeki çözünebilir tuzların da bu suyla sürüklenmesine ve yüzeye çıkmasına neden olur (Toydemir, Gürdal ve Tanaçan 2000).

Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da Buri taşında meydana gelen çiçeklenme ve malzeme parçalanmaları görülmektedir. Çiçeklenme, lekelenme dışında malzemede parçalanmaya da yol açacağından, üzerinde önemle durulması gereken bir ayrışma biçimidir.



Şekil 2.8 : Çiçeklenme, Büyük Han – Lefkoşa (Ziyaettin, 2008).

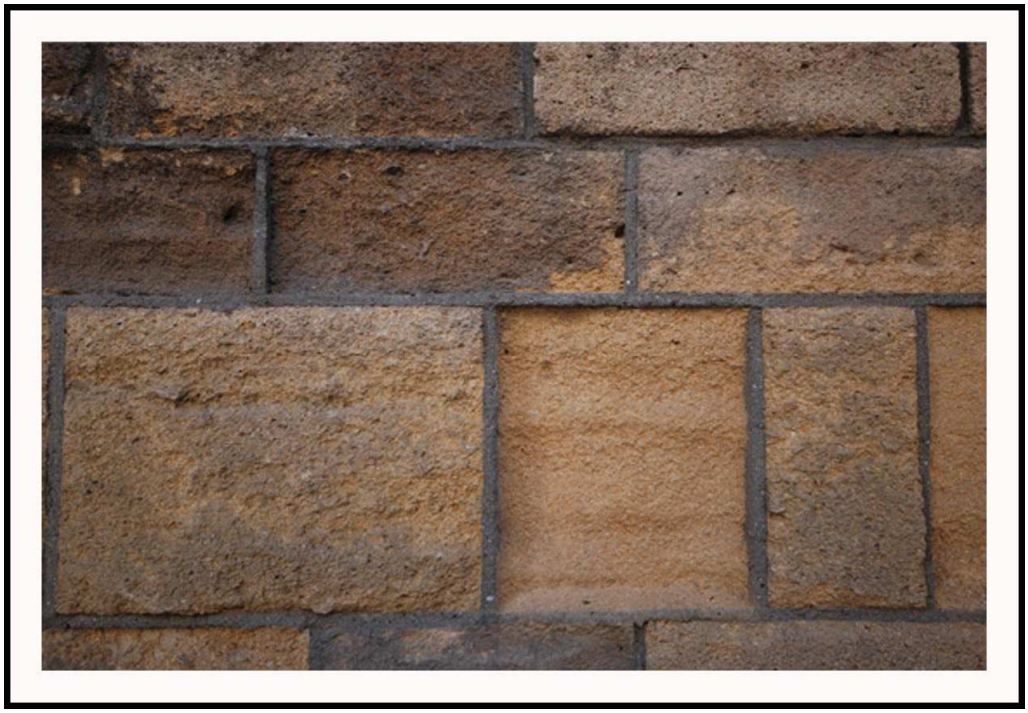


Şekil 2.9 : Çiçeklenme, Bellapais'te bir ev – Girne (Ziyaettin, 2008).

2.4.4.4 Kırıntılanma

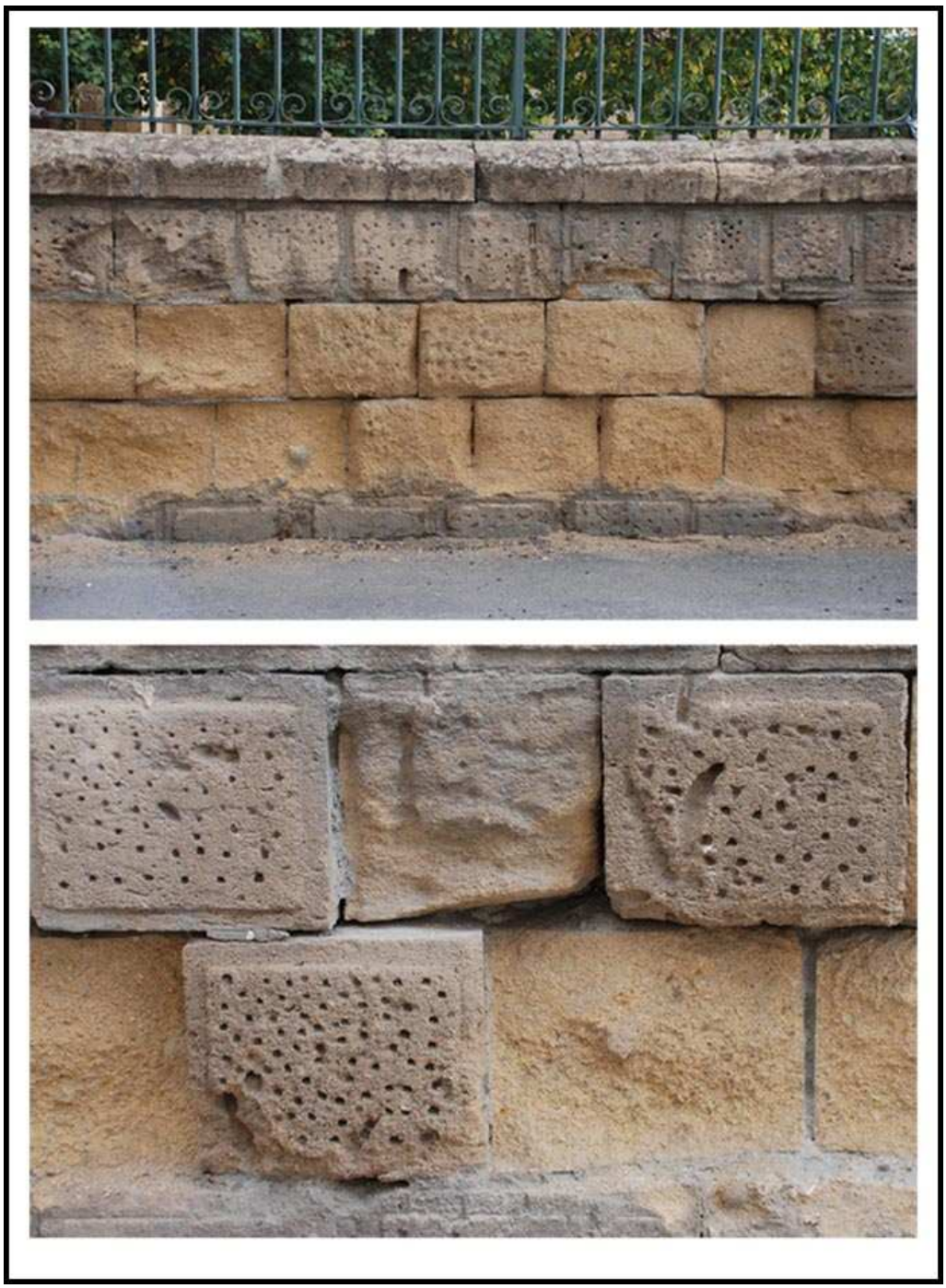
Kırıntılanma, kireçtaşının kendi tabiatında mevcut olan dayanıksızlığın veya içindeki bağlayıcının kademeli olarak ayrışmasının ya da kireçtaşının mukavemetini etkileyen dış faktörlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Kırıntılanma tüm karbonatlı taşlarda oluşabilir (Çorapçıoğlu, 1983).

Şekil 2.10'da kullanılan harç taştan daha sert olduğu için derz yerlerinden taşın aşınmasına ve dökülmesine sebep olmuştur.



Şekil 2.10 : Taş malzemenin kırıntılanması, Selimiye Camii bahçe duvarı – Lefkoşa (Ziyaettin, 2008).

Şekil 2.11’de taşın içindeki bağlayıcının kademeli oalrak ayrışmasının sonucu olarak taşlarda aşınma ve dökülmeler (kırıntılanma) meydana gelmiştir.

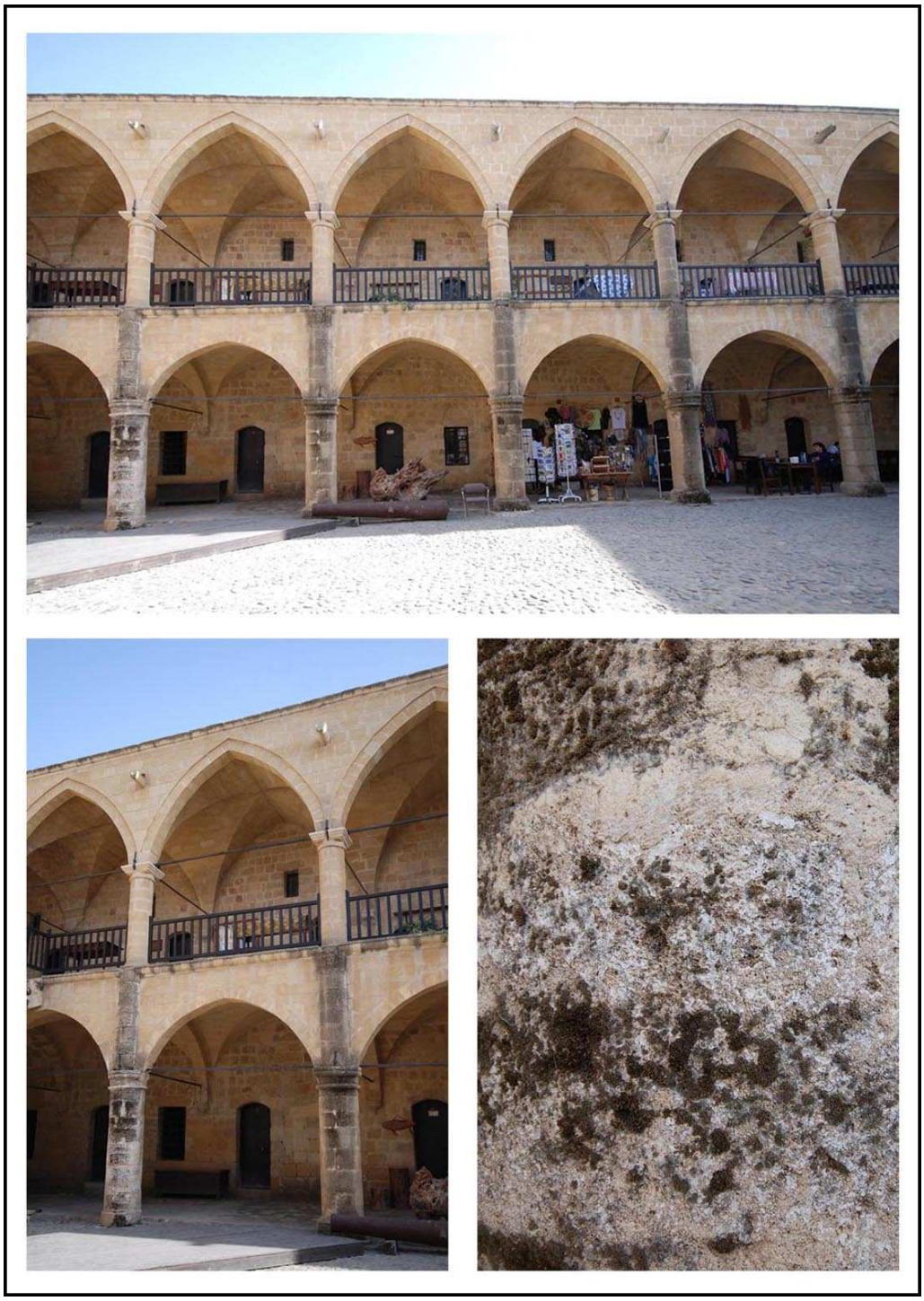


Şekil 2.11 : Taş malzemenin kırıntılanması, Selimiye Camii bahçe duvarı – Lefkoşa (Ziyaettin, 2008).

2.4.4.5 Kabuklanma

Taş yüzeyinde kimyasal olarak biriken yabancı maddelerdir. İnce bir film tabakası şeklinde taş yüzeyini kaplayan bu maddeler, çeşitli tuzlar ve oksitlerden oluşur. Yağmur suyu ve havadaki karbondioksit, karbonat bileşimli kireçtaşlarını eriterek bikarbonat oluşturmaktadır. Bu durum, suyun aktığı yüzey üzerinde, kalınlığı giderek artan kalsiyum karbonat çökelmesine yol açar. Benzer şekilde, havada bulunan SO_2, suyun varlığında kalsit içerikli taşla reaksiyona girerek alçıtaşı ($CaSO_4.H_2O$) oluşumuna neden olmaktadır (Gürdal, Yüzer, Ersen, Güleç ve diğ., 2000).

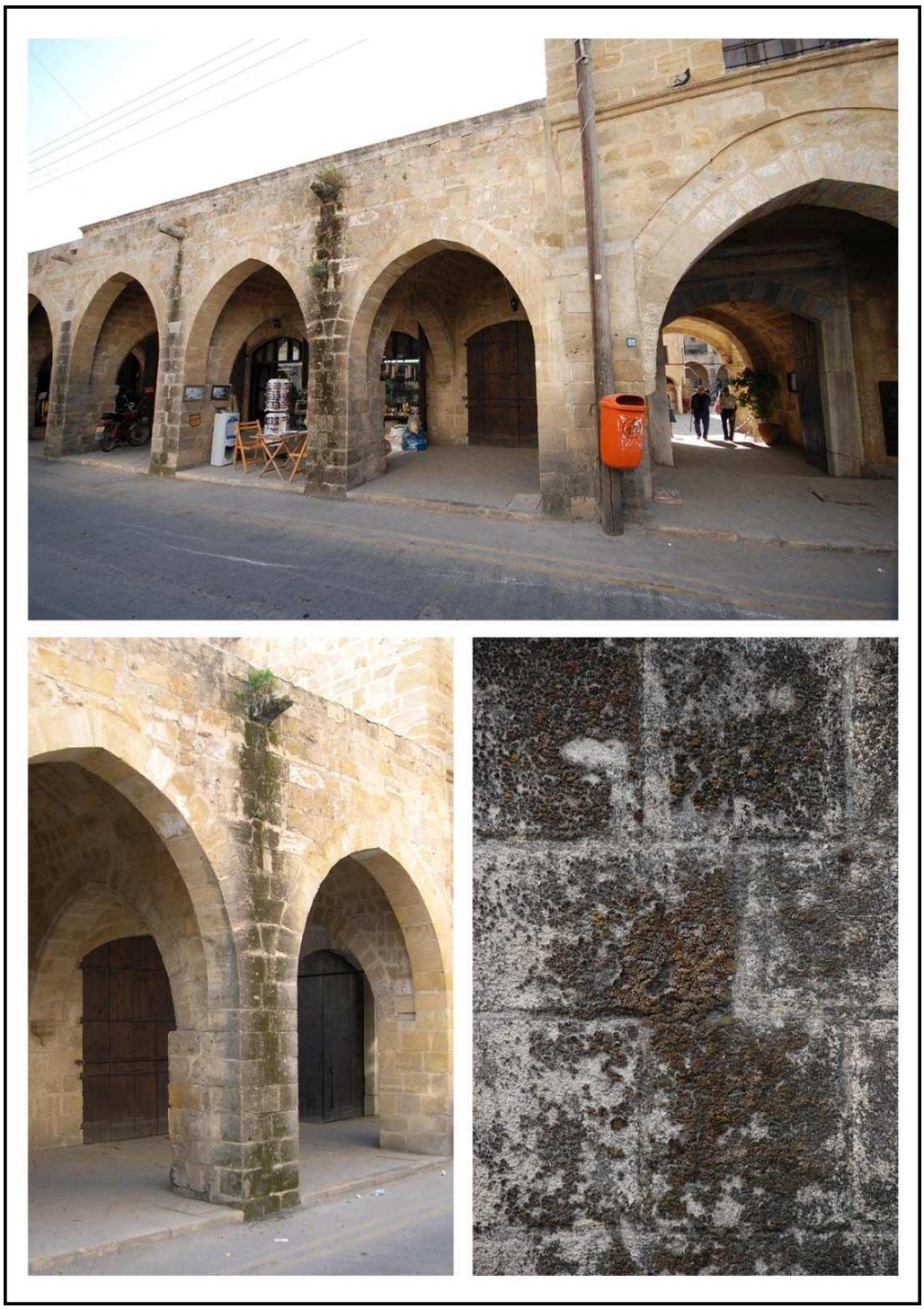
Atmosferdeki ve çevredeki toz partiküllerin yağmur suyu ile taş yüzeyine yapışması ve kapillarite ile içlere nüfuz etmesi, özellikle kum taşlarının ve kireç taşlarının yüzeylerinin siyah bir tabaka ile kaplanmasına neden olmaktadır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : Taş malzemenin kabuklanması, Büyük Han – Lefkoşa (Ziyaettin, 2008).

2.4.4.6 Yosunlanma

Duvarların nemli olan bölgelerinde sarımsı-yaşil renkli liken türü bir kabuk oluşumudur. Maksimum kalınlığı 1-2 mm olan bu bitki türü, salgıladığı asidik emzimlerle taşı ayrıştırmakta ve ince bir toprak tabakası oluşturmaktadır (Gürdal, Yüzer, Ersen, Güleç ve diğ., 2000) (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : Taş malzemenin yosunlanması, Büyük Han – Lefkoşa (Ziyaettin, 2008).

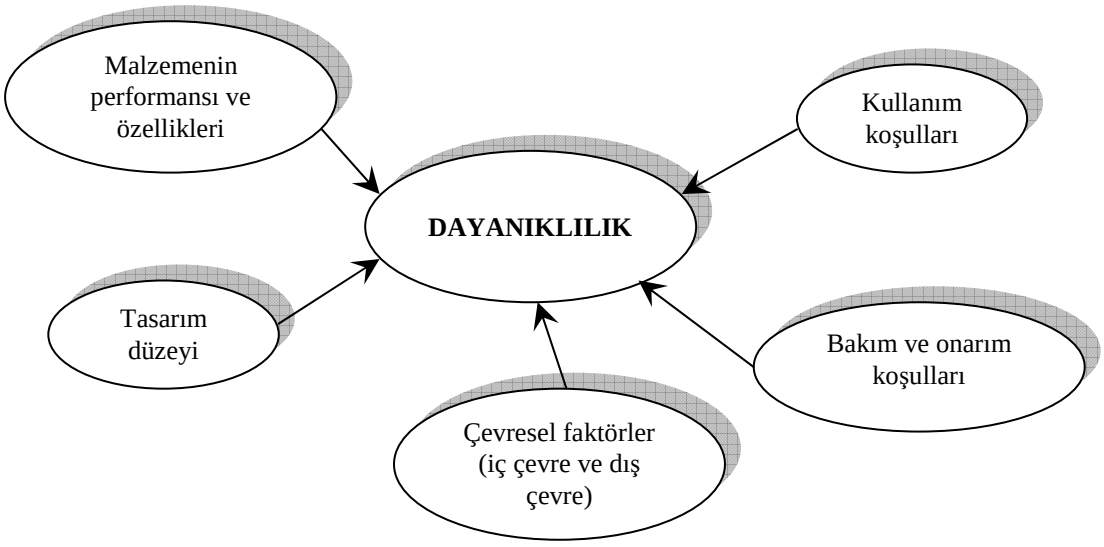
2.5 Kireçtaşlarının Dayanıklılığını Arttırmak İçin Uygulanan Yöntemler

2.5.1 Dayanıklılığın tanımı ve amacı

Dayanıklılık, ISO 15686-1 standardında, bina veya bileşenlerinin dış etkiler altında gerekli performans gereksinimlerini uzun ya da belirtilen bir süre için gösterdiği sağlamlık özelliği olarak tanımlanmaktadır. Dayanıklılık, sadece malzeme özelliği değil çevre ve malzemenin arasındaki etkileşimin sonucudur. Dayanıklı ve uzun ömürlü yapı elemanı veya malzemesi tasarlamak için malzemenin performansı ve özellikleri, bozulmayı önleyici davranışlar, doğru yapım detayları, kullanım koşulları ve bakım-onarım koşullarının göz önüne alınması gerekmektedir (Şekil 2.14) (Maurenbrecher ve diğ., 2001). Dayanıklı yapı tasarlamak için 2 ana koşul bilinmelidir.

Bunlar;

- Yapı elemanı veya malzemesinin performans gereksinimi,
- Yapı elemanı veya malzemesinin dayanıklılığını etkileyen faktörler; tehlike seviyesi, doğal dayanıklılık, bozulmayı önleyici davranışlar, nem, havalandırma, bakım, işçilik, birleşim detayları, mikro organizmalardan korunma.



Şekil 2.14 : Dayanıklılığı etkileyen faktörler (Maurenbrecher ve diğ., 2001)

Hizmet ömrü ISO 15686-1 standardında, yapımdan itibaren bina veya bileşenlerinin performans gereksinimlerini karşıladığı süre olarak tanımlanmaktadır. Doğal taşların dayanıklılığı ve hizmet ömrü, taşların karakteristikleri, çevre etkisi ve kullanım gibi

faktörler gözetilerek artırılabilmektedir. Yapı elemanı veya malzemesinin dayanıklılığının arttırılmasının amacı, tasarlanan yaşam süresi içinde meydana gelen deformasyonların yapının performansını etkilememesidir.

2.5.2 Doğal taşların dayanıklılığını ve hizmet ömrünü etkileyen faktörler

Doğal taşların sürdürülebilir olması için taş yapı malzemelerinin uzun ömürlü olması gerekir. Sürdürülebilir bir çevre açısından yapı malzeme ve elemanlarının sebep olduğu çevresel ve ekonomik etkileri azaltmak ve malzemelerin daha uzun dönem kullanılmasını sağlamak amacıyla son yıllarda hizmet ömrü tahmini ve değerlendirme metodolojileri üzerinde çalışmalar yürütülmektedir. ISO 15686-1 standardına göre, hizmet ömrü, yapımdan itibaren bina ve bileşenlerinin performans gereksinimlerini karşıladığı süre olarak tanımlanmaktadır. ISO 15686-1 standardında, yapıların hizmet ömrünü etkileyebilecek olası etkenler faktör yöntemine göre belirtilmiştir. Buna bağlı olarak doğal taşların dayanıklılığı ve hizmet ömrü, taş malzemelerin karakteristik özellikleri, tasarım ve uygulama (işçilik) düzeyi, maruz kalınan çevre koşulları, bakım ve kullanım şartları gibi faktörlere bağlıdır (ISO 15686-1).

2.5.2.1 ISO 15686-1 standardında verilen faktör metoduna göre doğal taşların hizmet ömrüne etki eden faktörler

Bulunduğu çevredeki etkenlerin şiddetine bağlı olarak, yapı malzemelerinin veya elemanlarının performansı zaman içinde giderek azalır. ISO 15686-1 standardında, hizmet ömrünü etkileyebilecek olası etkenler belirtilmiş ve bunları düzenlemek amacıyla faktör metodu geliştirilmiştir (ISO 15686-1). Faktör metodu, yapı bileşenlerinin referans hizmet ömrüne, söz konusu ortamın özel şartları ve referans şartları arasındaki fark ile ilişkili bir seri düzeltme faktörü olup hizmet ömrünün tahmin edilmesi amacıyla kullanılan A'dan G'ye bir dizi faktör içeren bir yöntemdir. A'dan G'ye faktörler referans hizmet ömrü (RSLC) ile çarpılarak, bileşenin tahmini hizmet ömrü (ESLC) tahmin edilir.

Çizelge 2.2 : A-G faktörlerinin açılımı.

Kalite ile ilgili özellikler	**A**	**Malzemenin performansı**	Malzemenin cinsi Yapım, depolama, taşıma Dayanıklılık özellikleri
	B	**Tasarım düzeyi**	Yapımla ilgili detaylar
	C	**İşçilik (Uygulama) düzeyi**	İşçilik kalitesi Uygulama sırasındaki iklimsel şartlar Uygulama sırasındaki biyolojik oluşumlar
Çevresel faktörler	**D**	**İç çevre koşulları**	Nem, havalandırma, havanın etkileri
	E	**Dış çevre koşulları**	İklimsel koşullar Çevredeki binalar ve trafik, binanın mimari formu ve konumu
Çalışma koşulları	**F**	**Kullanım koşulları**	Mekanik etkiler, kullanıcı kategorileri, kötü kullanım
	G	**Bakım ve onarım koşulları**	Bakım yöntemi, bakım aralıkları

ESLC = RSLC x A x B x C x D x E x F x G

Faktör metodu kullanılarak yapıların hizmet ömrünün tahmin edilmesi sürdürülebilir bir çevre açısından önemlidir. Faktör metoduna göre yapıların uzun dönem performansını ve hizmet ömrünü etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir.

Faktör A: Doğal taşın kalitesi

Faktör B: Tasarım düzeyi (mimari özelliklerin detaylandırılması)

Faktör C: İşçilik (uygulama) düzeyi

Faktör D: İç çevre koşulları

Faktör E: Dış çevre koşulları

Faktör F: Kullanım koşulları

Faktör G: Bakım ve onarım koşulları

2.5.3 Dayanıklılığı sağlayan sağlamlaştırıcı kimyasalların yapısı ve gelişimi

Doğal taşları sağlamlaştırma çalışmaları 19. yy ortalarında başlayıp günümüze kadar gelişmesini sürdürmüştür. Konu üzerindeki çalışmalar halen devam etmektedir. İlk uygulamalarda inorganik maddelerin çözeltileri kullanılmıştır.

Kireç suyu (kalsiyum hidroksit), uzun zamandır uygulayıcıların elinde bulundurduğu en basit sağlamlaştırıcı ürünlerinden biridir. Diğer birkaç kimyasal bileşimle (örneğin: baryum hidroksit, sodyum ve potasyum silikatlar, fluosilikatlar ve alüminatlar) beraber bozulmuş taşın gevşek parçacıklarına bağlanması öngörülen inorganik moleküllerin çökelmesi yoluyla taş tutmasının geliştirilmesini teşvik eden bir grup inorganik sağlamlaştırıcı kimyasal oluşturmaktadır (Lazzarani ve Tabasso 1986). Bozulmuş malzemeyle bağlama aracısı arasındaki kimyasal benzerlik, teoride bu ürün grubunun yüksek potansiyeli olduğu görüşünü ortaya çıkarmaktadır, fakat birkaç nedenle bu potansiyelin pratik şartlarda doğrudan ilişkisi bulunmamaktadır ve bu konudaki yakın geçmişte çıkarılan literatüre bakıldığında inorganik konsolide edicilerin çok nadiren ele alındığı kabul edilmektedir (Rodrigues, 2001).

Bununla birlikte, inorganik maddelerin çözeltileriyle yapılan uygulamalarda derin penetrasyon sağlanamamış ve yüzeyde su buharı geçirimsiz sert bir tabakanın oluştuğu görülmüştür (Ersen, 1991). Yüz yıldır çeşitli kimyasal maddeler kullanılmış olmasına rağmen, inorganik sağlamlaştırıcılarla çok az bir başarı elde edilmiştir. İnorganik sağlamlaştırıcılar bozulma sürecini azaltacaklarına hızlandırmışlardır (Clifton, 1980). Taşın strüktürel yapısının yeniden kurulmasını sağlamalarına ve uzun süre dayanmalarına rağmen, inorganik sağlamlaştırıcılar bir sağlamlaştırıcı maddeden beklenen gereksinimleri karşılayamamaktadırlar. İnorganik sağlamlaştırıcıların, yetersiz ve yüzeysel penetrasyon yapmaları, sert ve kırılgan ince tabakalar oluşturmaları, sağlamlaştırıcının tepkimelerinden kaynaklanan çözünür tuzlar oluşturmaları, kristal çökeltileri arttırmaları, taşın mekanik özelliklerini güçlendirmemeleri ve taşın renginde değişiklik yapmaları nedeniyle inorganik sağlamlaştırıcı kullanma fikri terk edilmiş ve organik sağlamlaştırıcılara yönelme olmuştur (Öztürk, 1992).

Organik sağlamlaştırıcılar, doğal ve sentetik organik sağlamlaştırıcılar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

A-Doğal organik sağlamlaştırıcılar: Taş sağlamlaştırma ve korumada yüzyıllardır kullanılmakta olan mumlar, doğal organik sağlamlaştırıcılar sınıfındandır. En çok bilinenleri balmumu ve parafinlerdir. Fakat mumların kullanımı derin penetrasyon sağlayamadığından sağlamlaştırıcı olarak değil, yüzeysel su itici olarak gözeneksiz taşlarda veya iyi kalitede kireçtaşları için önerilmekteydi. Ancak, yüksek sıcaklıkta yumuşama eğilimleri olması, kil toplaması ve yüzeyde sararmaya sebep olması vb. gibi özellikleri sebebiyle kullanımı tercih edilmemektedir (Öztürk, 1992).

B- Sentetik organik sağlamlaştırıcılar: Sentetik organik polimerlerin taş sağlamlaştırıcı olarak kullanımı 1960'ların başlarına dayanmaktadır. Sentetik polimerler düşük molekül ağırlıklı bileşikler olan monomerlerin polimerizasyonuyla oluşurlar. Sağlamlaştırmada en başarılı sonuçlar monomerlerle emprenye sonucunda alınmaktadır. Çünkü monomerler malzemenin boşluklarına yerleştikten sonra, yerlerinde polimerleşmektedir. Bu gruba en iyi örnek alkoksisilanlardır (Acun Özgünler, 2007).

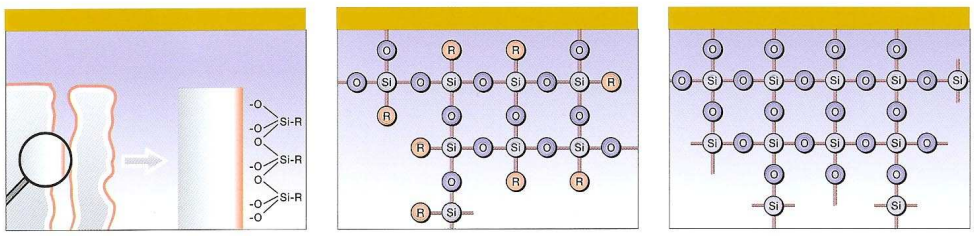
Sentetik polimerlerin iki türlü uygulama yöntemi vardır. Basit olan uygulama, önce monomerik organik molekülleri polimerize etmek, polimer reçineyi organik solventte çözmek ve taşa uygulamaktır. Bu durumda solvent buharlaştığı zaman polimer taşta kalır. Diğer uygulama ise, saf veya bir solventte çözünmüş monomerlerin, çözelti taşa emdirildikten sonra taşın gözeneklerinde polimerizasyonudur. Başlatıcı ve aktive ediciler, polimerizasyonun emdirilmeden sonra olması için ayrıca çözücüde çözünürler.

Sentetik organik sağlamlaştırıcılar kategorisi, **akrilikleri, vinil asetatları, etil silikatları, polisiloksanları, poliüretanları ve epoksi reçineleri** içeren başlıca polimerik yapıda çok geniş bir yelpazede ürün bileşimlerini içermektedir

Sentetik organik sağlamlaştırıcılar, termoplastik (sıcaklık ile yumuşayan) ve termoset (sıcaklık ile sertleşen) reçineler olmak üzere 2 ana grupta toplanırlar. Termoplastik (sıcaklık ile yumuşayan) reçineler kısaca, akrilikler (polimerler ve kopolimerler) ve silikonlardır. Bunlardan başka PVA, PP, PVC türü malzemeler de termoplastik özellik gösterirler. Termoset reçineler, epoksi, polyester ve poliüretanlardır. Yapıları çok farklı olmasına rağmen her ikisi de taş sağlamlaştırmada kullanılırlar. (Öztürk, 1992).

Taş sağlamlaştırma-koruma uygulamalarında en sık rastlanan kimyasallar alkoksisilanlardır. **Tetraetoksisilan (TEOS)** veya **etil silikat** olarak bilinen alkoksisilanlar, ilk olarak 1861'de A.W. Hoffman tarafından taş sağlamlaştırma uygulamalarında kullanılmıştır. Endüstriyel bir kimyasal olarak 1924'de üretilmeye başlanmış ve 1925'de A.P. Laurie tarafından taş sağlamlaştırıcı olarak kullanılmak üzere patenti alınmıştır. 1967-1970 yılları arasında yapılan çalışmalar sonucunda da etil silikatların özellikle silisli taşlarda sağlamlaştırıcı olarak kullanılmasında başarı elde edilmiştir. Etil silikat ve organo-silikon hidrofobik maddelerle olan kombinasyonları 1972'den beri Avrupa'nın batısında daha sonra da Amerika ve Kanada'da yaygınlaşmıştır. Bu gelişmeler, tetra etoksi silanın ve ona bağlı olarak alkoksisilan ve alkoksisilan-akrilik polimer karışımlarının taş sağlamlaştırmada kullanımında büyük ölçüde ilgi uyandırmıştır (Öztürk, 1992).

Alkoksisilan terimi en az bir adet alkoksi grubu taşıyan silan anlamına gelmektedir. Silan terimi, organo silikon bileşenlerinin monomerleri için genel olarak kullanılmaktadır (Ersen, 1991). Taş sağlamlaştırıcı olarak kullanılan alkoksisilanlar, tetra etoksi silan (TEOS) (etil silikat ya da silisik asit esteri), trietoksi metilsilan, trimetoksimetilsilandır. Alkoksisilanlar taş içinde depolandığı zaman, hidrolizden ve yoğuşturmadan sonra gözenekli yapının içinde saklanan kolloidal silikayı başlatır ve süreç sonunda dayanım etkisini sağlayan **siloksan (-Si – O – Si -) bağları** oluşur. Silika molekülleri kimyasal olarak silikat minerallerine benzerdir ve bu nedenle, silikat-esaslı bileşimi bulunan taşlarla çok iyi bir uygunluk sergilerler. Sonrasında, karbonat minerallerine hiçbir yatkınlık göstermezler ve bazı yazarlar kalsitin de polimerleşmenin engelleyicisi olarak harekete geçebileceğini göstermişlerdir (Danehey ve diğ., 1992; Goins ve diğ., 1996). Bu çekinceye rağmen etil silikatlar, karbonatlı malzemelerinin sağlamlaştırıcı kimyasalları olarak sıklıkla kullanılmıştır (Delgado Rodrigues ve diğ., 1998; Castro ve diğ., 1990; Delgado Rodrigues ve diğ., 1997).



Şekil 2.15 : Silikon reçinesi (siloksan bağları ile bağlı) ve kuvarsın molekül yapısı

Görünürdeki bu çelişki, taş sağlamlaştırmanın mevcut sorunlarından birini sergilemektedir: bunun optimum sağlamlaştırma ürünü olmadığı bilinmektedir fakat daha iyisinin olmadığı bir yerde kullanılmıştır. Yakın bir geçmişte, birtakım araştırma grupları, karbonat taşların sağlamlaştırıcı kimyasalı olarak etil silikatların davranışını geliştirmeye teşebbüs ettiler ve halen ümit verici iki hat, ilk aşamalarını vermektedir. Bunlar; 1. Bazı silan moleküllerinin eklenmesi yoluyla etil silikatın elastomerleştirilmesi (Boos ve diğ., 1996), 2. Silika molekülerine yapışmak üzere karbonat mineralleri hazırlamak için organik bir reaktifle ön-arıtması (Weiss ve diğ., 2000).

Etil silikatlar en yaygın biçimde kullanılan taş sağlamlaştırıcı kimyasallardır. Etil silikatlar, silisik asitin alkolle reaksiyonu sonucu oluşan bileşiklerdir. Kuvarsla alkolün tepkimesi, çözünür bir bileşik oluşturmak için gereklidir (Acun Özgünler, 2007).

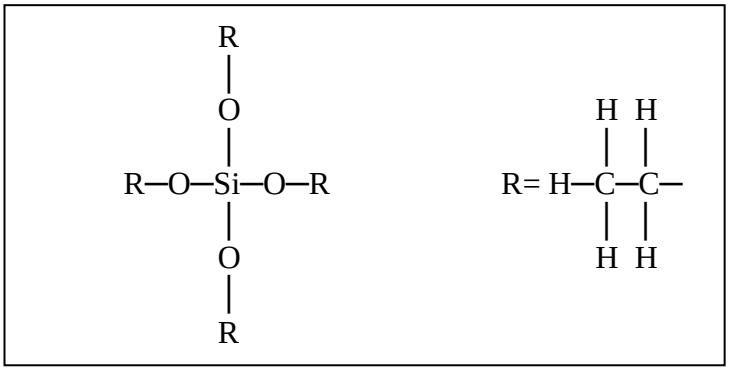
$Si(OH)_4 + 4C_2H_5OH \rightarrow Si(OC_2H_5)_4 + 4H_2O$ **(2.14)**

Silisik Asit Etil Alkol Etil Silikat Su

Yukarıda 2.14 numaralı kimyasal reaksiyon ile verilen çözünür bileşik daha sonra taşa uygulanır. Taşa emdirilirken bileşik, silikaya dönüşür ve geriye kalan alkol buharlaşır. Bu yöntem, taşın minerallerini bağlayan silika jelin oluşması açısından gereklidir. Boşluklarda biriken silika renksizdir, ısı, ışık, ve çoğu kimyasal maddelerden etkilenmemektedir. Aşırı uygulama ve hızlı polimerleşme durumunda taşın rengi çok az koyulaşabilmektedir. Taşın boşuklarındaki kimyasal tepkime;

$Si(OC_2H_5)_4 + 4H_2O \rightarrow Si(OH)_4 + 4C_2H_5OH$ denklemiyle gösterilir. **(2.15)**

Etil silikatların birçok tipi vardır. Ancak taş sağlamlaştırmada kullanılan tetra etoksi silan, silikon ve oksijen atomlarının bağlarını oluşturabilmek için suyla tepkimeye girer. Ayrıca metil trietoksisilan ya da metil trimetoksisilan da bu nedenden ötürü suyla tepkimeye girerler. Bununla birlikte her silikon atomuna bir metil grubu ve yalnızca üç oksijen atomu bağlanır. Metil grubunun varlığı ile malzemede su itici özelliği oluşur. Etil silikat grubunun en bilinen üyesi olan tetraetoksisilan'ın molekül yapısı Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 : Tetra Etoksi Silan'ın (TEOS) molekül yapısı

Akrilik reçinelerin, kültürel miraslı birçok koruma sahasında yaygın bir kullanımı bulunmaktadır ve bunlar aynı zamanda taş korunmasında da kullanılmıştır. Bildirilen bazı durumlar, bunları yaygın bir şekilde bilinir hale getirmiştir. Bolonya'daki S. Petronio Katedrali'nin sağlamlaştırma uygulamaları (Rossi-Manaresi, 1981; Nonfarmale, 1975) orada kullanılan saplamlaştırıcı kimyasal için yeni bir kelime çıkarttı: "Bolonya kokteyli". İyi bilinen, silikon-esaslı bir su itici olan Dri-Film ile beraber bir metil akrilat metakrilat olan Paraloid B72'yi de içermektedir. (%26'ya kadar gözenekliliği olan) Gözenekli karbonat taşlardaki bu formülasyonla elde edilen sonuçlar, konsolidasyon etkisinin en gözenekli çeşitlerde dahi 2mm'yi geçmeyen bir derinlikle sınırlı olmadığını göstermektedir (Rodrigues, 2001).

Sağlamlaştırıcı kimyasalların başka bir kategorisi, **epoksi reçineleridir.** Bu kimyasallar grubu, bazılarının taş sağlamlaştırmada kullanıldığı geniş bir yelpazede ürünleri içermektedir (Domaslowski, 1969; Gauri, 1974; Marinelli, 1975). Özellikle ilgi çekenler, epoksi türlere göre UV radyasyonuna dirençleri yönünden daha iyi özellikleri bulunan siklo-alifatik epoksi reçinelerdir. Bu türdeki konsolidasyon ürünlerinden biri, bazı granit sütunların (Cavaletti et al.1985) derin konsolidasyonunda başarıyla kullanılan ve hem granitlerle hem de karbonat kayalarla LNEC'te de test edilen EUROSTAC'tan EP 2101'dir. Bu ürün, hem granit gibi çatlak malzemelerde hem de karbonat taşlar gibi gözenekli çeşitlerde mükemmel bir emilim kapasitesi göstermiştir (Rodrigues, 2001).

2.5.4 Dayanıklılığı sağlayan kimyasal sağlamlaştırıcıların performans kriterleri

Doğal taşların dayanıklılığını sağlayan ve hizmet ömrünü arttıran kimyasalların seçimi birçok etkene bağlıdır. Bu tür kimyasallardan beklenen en temel beklentiler şunlardır; kararlılık, geri dönüşümlülük, camlaşma sıcaklığı vb. gibidir. Bu

kimyasallardan beklenen maksimum adezyon, ancak düşük viskoziteli sıvı kullanımı ile sağlanabilmektedir. Polivinil alkol, silikon kauçuk gibi malzeme yüzeyi ile reaksiyona girecek ürünler ile jelatin, metil metaakrilat gibi polimerizasyon süresi tamamlandığında büyük boyutlu rötreye neden olacak ürünler, sağlamlaştırıcı olarak kullanılmamalıdır (Horie, 1994).

Taş koruma ve sağlamlaştırma konusunda çalışan uzmanların işbirliği ile hazırlanan 2005 yılına ait ASTM E 2167-01 olarak adlandırılan standartta taş sağlamlaştırıcıların doğru seçimi ve kullanımı ile ilgili bilgiler yönlendirici bir sistematik çerçeve içinde verilmektedir. Buna göre taş koruma ve sağlamlaştırma çalışmalarında önemli olan ve ilk önce yapılması gerekenler; söz konusu taşın bozulma sebebini ve hasar derecesini belirlemek ve o taş için bir koruma planı geliştirmek olduğu belirtilmiştir.

Doğal taş yüzeylere uygulanacak sağlamlaştırıcı ve koruyucu (su itici) kimyasal uygulamalarından beklenen hedefler baştan konmalı ve değerlendirme sırasında bunlar kriter olarak göz önünde bulundurulmalıdır. ASTM E 2167-01 standardında sağlamlaştırıcıların performans hedefleri örnek olarak verilmiştir. Bu hedefler Çizelge 2.4'de gösterilmektedir. Bu tablodaki mekanik özelliklerdeki artış haricindeki hedefler koruyucu (su itici) kimyasallardan da beklenmektedir.

Çizelge 2.3 : Sağlamlaştırıcılardan beklenen performans hedefleri.

Performans Kriterleri	**Artış Olmalı**	**Düşüş Olmalı**	**Az Değişiklik Olabilir**	**Hiç Değişme Olmamalı**
1- Penetrasyon Derinliği	•			
2- Mekanik Özellikleri	•			
3- Su Buharı Geçirimliliği			•	
4- Durabilite Özelliği	•			
5- Isıl Genleşme Özelliği				•
6- Optik Özellikleri				•
7- Suyu Emme Özelliği		•		
8- Biyolojik Etkenlere Karşı Direnç Özelliği	•			

Özet olarak yapılan araştırmalar sonucunda bir taş sağlamlaştırıcı maddeden beklenen özellikler şöyle sıralanabilir.

- Kimyasal sağlamlaştırıcı taşa kolay ve derin penetrasyon yapmalı, kuruma durumunda yerinde kalmalı, bozulmuş kısmı sağlamlaştırarak, taşın sağlam çekirdeğine bağlamalıdır.
- Yüzeyde toplanarak (sınırlı penetrasyon veya hızlı solvent kaybına bağlı olarak yüzeye geri sürüklenmeyle) dolu ve su geçirimsiz, heterojen bir tabaka oluşturmamalıdır.
- Düşük ısıl genleşme katsayısına sahip olmalıdır.
- Taşın renk ve dokusunu bozmamalıdır.
- Taşın porozitesinde ve duvarda suyun sıvı ve gaz halindeki hareketlerini düzenlemeli, başka bir deyişle sıvı halindeki suyun emilmesini önlemeli, ancak kuruma durumunda su buharı geçirimliliğini azaltmamalıdır.
- İklimsel ve biyolojik bozulma süreçlerini engellemelidir.
- Maliyeti çok yüksek olmamalıdır.

2.5.4.1 Sağlamlaştırıcı ve su iticilerin uygunluğu ile ilgili laboratuara yapılması gereken incelemeler ve deneyler

Sağlamlaştırıcı – su itici kimyasalların taş yüzeylerine uygulanmadan önce mutlaka laboratuar ortamında denemelerinin yapılması gerektiği ASTM E 2167-01 standardında açıkça vurgulanmaktadır. Ayrıca laboratuar ortamında yapılması gereken deneysel çalışmalar ve yöntemleri ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Bu standartta verilen bilgiler doğrultusunda geliştirilen inceleme – araştırma yöntemleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

a- Penetrasyon (emprenye) derinliği:

Sağlamlaştırıcı madde taşa kolaylıkla ve derinlemesine nüfuz etmelidir. İdeal olanı penetrasyon derinliğin en az 2.5mm olması, sağlamlaştırıcının üniform bir şekilde dağılması ve yüzeyde bir tabaka oluşturacak şekilde toplanmamasıdır. Penetrasyon derinliğini, sağlamlaştırıcıların yüzey gerilmesi, viskozitesi, buharlaşma hızı, ve jelleşme oranının olduğu kadar uygulanan taşın karakteristik özellikleri ve sıcaklığı da etkilemektedir. Porozite, boşluk boyutu ve dağılımı ve nem de ayrıca

penetrasyonu etkileyen önemli özelliklerdir. Sasse ve Honsinger (1990), sağlamlaştırıcı ve koruyucu kimyasalların taşa iyi penetrasyonu için taşımaları gereken en önemli özellikleri 5 grupta toplamışlardır. Bunlar;

- kimyasalların yüzey geriliminin yüksek (20-30 mN/m) olması,
- reçine molekülü içindeki polar ve apolar gruplar arasındaki etkileşimin az oranda olması,
- ortalama molekül ağırlığının düşük olması,
- düşük reaktivite ile çok yavaş viskozite artışı olması,
- düşük solvent içeriği olması

gibidir.

Penetrasyon derinliği ölçümü kimyasalın taşa ne kadar penetre edebildiğini anlamak açısından önemli bir deneydir. Ölçülen penetrasyon derinliğine göre yapılan uygulamanın başarısı hakkında bir fikir sahibi olunur. Penetrasyon derinliğini ölçmek için yaygın olarak kullanılan 5 yöntem vardır. Bunlar; a- Ultrasonik yöntemler ile belirleme, b- Su damlatma yöntemi, c- İyot buharı yöntemi, d- HCl asit ile aşındırma yöntemi, e- Dithizon yöntemidir. Hangi yöntemin başarılı olacağı ise taşın cinsine bağlıdır (Leroux ve diğ., 2000).

b- Kimyasal yükleme:

Taş sağlamlaştırma için temel gereksinim, bozulmuş taşın fiziksel bütünlüğünü, mekanik özelliklerini ve komşu grenler arasındaki bağları tekrar kurarak kabul edilebilir bir düzeye getirmesidir. Sağlamlaştırıcı – su itici kimyasalların yüklemesinde taşın sahip olduğu ağırlığın ölçülmesi gerekir. Kimyasal sürülen örnek, sabit ağırlığa gelinceye kadar kürlenmeye meyillidir. Kimyasal yüklemesi hesabı, toplam örnek ağırlığının yüzdesi olarak görülür. Fazla sağlamlaştırıcı yüklemesi, taşın porozitesini ve su buharı geçişini azaltacağından minimum yükleme ile sağlamlaştırıcının başarısı hedeflenmelidir.

c- Dayanım özellikleri (Mekanik özelliklerin incelenmesi):

Sağlamlaştırılmış taşın en az bozulmamış taş kadar dayanıklı olması istenir. Bir sağlamlaştırıcı atmosferik kirlenmelere, toza, biyolojik maddelere ve rüzgara karşı en azından bazı zamanlarda bütün bir yüzey oluşturmalıdır.

Kimyasallarla yapılan sağlamlaştırma uygulamasının, taşın mekanik özelliğindeki etkilerini anlamak için basınç, eğilme, aşınma dayanımı, elastiklik modülü tayini için kontrol deneyleri yapılmalıdır.

d- Su emme özelliği:

Boşluklu malzeme, su içinde kaldığı veya su ile temas halinde bulunduğu zaman, boşlukların su dolması sonucunda bir miktar su emmektedir. Malzeme bünyesindeki su, donma sonucunda hacim genişlemesi yoluyla fiziksel parçalanmalara, oksidasyon, karbonasyon ve hidroliz yoluyla kimyasal çözülmelere neden olmaktadır.

Su emme özelliği ile ilgili deneyler sağlamlaştırıcı veya su itici uygulanan ve uygulanmayan numunelere yapılmalıdır.

e- Su buharı geçirimlilik özellikleri:

Sağlamlaştırıcılar su buharı geçirgen olmalıdırlar. Çünkü iyileştirilmiş taşın su buharının ve hava sirkülasyonunun iletilmesine izin vermesi gerekmektedir. Aksi takdirde taşa daha çok zarar verecek tuz ve nem birikimleri, iyileştirilmiş tabakanın yanında oluşmaktadır.

Su buharı geçirimlilik deneyleri hem kimyasal uygulanan hem de uygulanmayan örneklere yapılmalıdır. Islak ve kuru kap yöntemi olmak üzere iki yöntem kullanılır. Yöntem seçimi, taşın gerçekte kullanıldığı yere bağlı olarak maruz kaldığı nem durumuna bakılarak gerçekleştirilir.

f- Görünüş değişikliği incelemeleri:

Sağlamlaştırıcı, taşın dokusunda, renginde ve görünümünde az ya da çok değişiklik yapmamalıdır. Eğer iyileştirme taşın doğal görünümünde bir değişiklik yapıyorsa bunun kabul edilebilirliğini konservatör, yapının korunmasını göz önüne alarak değerlendirmelidir.

Görünüş değişikliği incelemeleri kimyasal uygulanan numunelerle uygulanmayan numuneler karşılaştırma yapılarak ölçülmelidir. Karşılaştırma görsel olarak yapılacaksa Munsell renk kartlarını kullanarak ya da cihaz yardımıyla (CIE lab coordinates) yapılmaktadır.

g- Hızlandırılmış eskitme deneyleri:

Binaların veya yapı elemanlarının performanslarını, dayanıklılığını ve hizmet ömürlerini önceden tahmin etmek amacıyla yapı malzeme ve bileşenleri eskitme deneylerine tabi tutulur. Eskitme deneyleri, yeni yapıların tasarımında, mevcut yapıların bakım ve onarım planlamasında, tarihi/kültürel yapıların korunmasında uygulanır.

Eskitme deneyleri doğal ve yapay olarak iki şekilde yapılır. Doğal eskitme deneyleri, doğal ortamda yapılan uzun dönem doğal eskitme ve yine açık alanda, bir ya da bir kaç iklim faktörünün yapı bileşenlerinin kullanım sırasında maruz kaldığı konumdakine göre etkisinin ve dolayısıyla bozulma hızının arttırıldığı, kısa dönem hızlandırılmış yapay eskitme olarak iki farklı şekilde uygulanır. Eskitme deneyleri bilimsel araştırma amaçlı veya endüstriyel (ticari kullanım) amaçlı yapılabilir.

Hızlandırılmış eskitme deneyleri, kimyasal uygulanan ve uygulanmayan örneklerde karşılaştırmalı olarak yapılmalıdır. Bunlar;

UV ışınına dayanıklılık (sıcaklık ve bağıl nem kontrolü altında),

Islanma-kuruma etkilerine dayanıklılık

Tuz kristallenme etkilerine karşı dayanıklılık (ağırlık kaybı hızı hesaplanır),

Donma-çözülme etkilerine dayanıklılık,

Asit ya da tuzlu su buharına tabi tutarak korozyonun

ölçülmesidir.

Bu deneylerde kimyasal sağlamlaştırıcıların etkinlik faktörlerindeki değişimler (TEI) (Treatment Efficienct Index) yüzde olarak hesaplanmaktadır.

h- Porozimetre deneyleri:

Doğal taş malzemede doluluk/boşluk oranının bilinmesi çok önemli olmaktadır. Çünkü suya karşı davranışını bu özelliği belirler. Birim hacim kütlesi ve özgül kütlesi bilinen malzemelerin doluluk oranı;

k = (dh / do).100 şeklinde hesaplanır. Doluluk oranı bilinen malzemenin porozitesi de;

p =1-(k.100) şeklinde hesaplanır.

Kimyasal sağlamlaştırıcı ve koruyucu uygulanan ve uygulanmayan numunelerde porozimetre ölçümlerinin de yapılması gerekmektedir. Bundan başka boşluk tipi değişimi hakkında bilgi edinmek için SEM görüntülerinden, yüzey alanı ölçümlerinden, su emme karakteri ve ultra ses hızı ölçümlerinden yararlanılır (Acun Özgünler, 2007).

2.5.5 Sağlamlaştırıcı kimyasalların etkinliği hakkında literatür araştırması

Sağlamlaştırma ve koruma işlemi, sağlamlaştırıcı maddelerin taşların yüzeyinden derinlerine emdirilerek, bozulmuş tabakanın kendi içinde kohezyonunun arttırılması ve taşın sağlam tabakasına yapışmasının sağlanmasıdır. Sağlamlaştırma çalışmalarının 19. yy ortalarına giden bir geçmişi vardır (Van Grieken ve Vleugles 1991; harola 1995). İlk uygulamalarda inorganik maddelerin çözeltileri kullanılmıştır. Baryum, kalsiyum, stronsiyum hidroksitleri, soda silikatı ve suda çözünen fluosilikatlar o yıllarda denenmiş malzemelerdir. Bununla birlikte, inorganik maddelerin çözeltileriyle yapılan uygulamalarda derin penetrasyon sağlanmamış ve yüzeyde su buharı geçirimsiz sert bir tabakanın oluştuğu görülmüştür (Ersen 1991). Bunun sonucunda, inorganik sağlamlaştırıcı kullanma fikri zayıflamış ve organik sağlamlaştırıcılara bir yönelme oluşmuştur.

Taş kaplama duvarlar ince ve geçirgen ise, yağmur suyu taşa nüfuz eder ve tuz kristalleşmelerinin oluşmasına ve taşa zarar vermesine neden olur. Özellikle ada ülkelerinde, deniz kenarındaki binalarda deniz tuzu şiddetli rüzgarlarla taşınır ve yüzeye zarar verir. Bu durumlarda suyun binaya girişini engellemek için renksiz bir su itici kullanılır. Bu bir iyileştirme değil, yalnızca bozulmayı geciktirici bir önlemdir. Birçok su itici madde tipi suyun taşa girişini engellemek ya da azaltmak için uzun yıllardır denenmektedir. En önem verilen malzemeler, organik bir solventte çözelti halinde bulunan silikon ve mumlardır (Ashurst ve Dimes 1990).

Su, taş bozulma sürecinde en önemli yeri teşkil ettiğinden, taşların yüzeyine yapılacak su itici bir iyileştirme, malzemenin mekanik özellikleri ve kimyasal bozulmalara karşı dayanıklılığını arttırmış, gözenekliliği ve su emme kapasitelerini azaltılmış olacaktır (Domoslowski ve Lukaszewics 1988).

Koruyucu ve sağlamlaştırıcı malzemelerin amacı taşların bozulmasını mümkün olduğu kadar azaltmak, hatta durdurmaktır. Taşların korunması, kimyasal koruyucu addelerle (akrilik ve silikon reçineler) olduğu kadar, çevre koşullarının

iyileştirilmesi ve zarar verici etkenlerin uzaklaştırılmasıyla da mümkündür (Prueher 1995). Kimyasal maddelerle sağlamlaştırıcı uygulanması, zarar verici etkenlerin, özellikle taşın yüzeyinde oluşabilecek veya yüzeyden içeriye nüfuz edebilecek zararlardan (hava kirliliği, nem, yağmur suyu ve toz gibi) oluştuğunun tespit edilmesiyle ve bunların başka yollarla önlenmediği durumlarda kullanılmalıdır. Fakat yüzey dışından gelebilecek bir bozulma (yükselen nem gibi) olduğu takdirde kimyasal koruyucuların kullanılması tehlikeli olup, çok kötü sonuçlar verebilir.

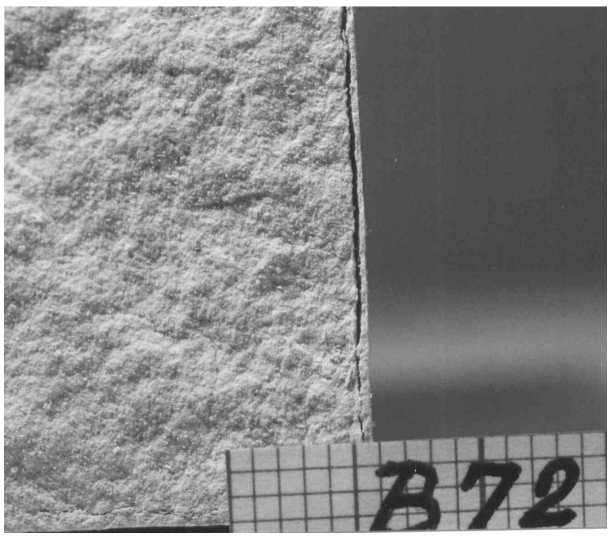
2.5.6 Kireçtaşlarının dayanıklılığını ve hizmet ömrünü arttırmak için uygulanan yöntemler hakkında yapılmış çalışmalar

Hristova ve Todorov, Bulgaristan'ın Madara bölgesindeki kumlu kireçtaşında yaptığı sağlamlaştırma çalışmasında, sağlamlaştırıcı ürün olarak **etil silikat (Wacker OH 100)** ile su itici ürün olarak **silan-siloksan esaslı solüsyon (Wacker BS 290)** kullanılmış ve etkinlikleri araştırılmıştır. Kimyasal uygulamaları daldırma yöntemi ile, sağlamlaştırıcı + su itici ve tek başına su itici kullanılarak yapılmış, polimerleşme süresi için 30 gün bekledikten sonra fiziksel özelliklerdeki değişim ve eskitme deneylerine dayanıklılık performansları değerlendirilmiştir. Sağlamlaştırıcı + su itici uygulaması sonunda numunelerde su emme oranı % 70-90 oranında azalmış, toplam makro boşluk hacmi % 45,3'den % 24,3'e azalmış. Ayrıca ultrases hızı % 30 ve elastite modülü % 60-80 oranında artmış. Tek başına su itici kullanılan numunelerde, toplam makro boşluk hacmi % 9,5-17,8 oranında azalmış, ultrases hızı %15 ve elastite modülü % 30-40 oranında artmış olduğu görülmüştür. Sağlamlaştırıcı + su itici kullanılan numunelerin eskitme deneyinden sonra bulunan basınç dayanımı % 30 artarken tek başına su itici kullanılan numunelerde % 21 artmıştır. Sonuç olarak, sağlamlaştırıcı kullanımının örneğin porozite ve mekanik özelliklerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir (Hristova ve Todorov, 1996).

Bolonya'daki S. Petronio Katedrali'nin konsolidasyonundaki uygulamaları (Rossi-Manaresi 1981, Nonfarmale 1975, 1981) orada kullanılan konsolide edici için yeni bir kelime çıkarttı: "Bolonya kokteyli". İyi bilinen, silikon-esaslı bir su itici olan Dri-Film ile beraber bir **metil akrilat metakrilat olan Paraloid B72'yi** de içermektedir. (%26'ya kadar gözenekliliği olan) Gözenekli karbonat taşlardaki bu formülasyonla elde edilen sonuçlar, konsolidasyon etkisinin en gözenekli çeşitlerde dahi 2mm'yi geçmeyen bir derinlikle sınırlı olmadığını göstermektedir. Rodrigues'e göre Bolonya Katedrali'ndeki bu "kokteyl"in bildirilen olumlu performansının görünürde pek de

iyi sonuçlar vermediği tespit edilmiştir. Rodrigues'e göre, alt-katman ne olursa olsun Paraloid B72 ayrım yapmaksızın kullanılmıştır ve bu, konsolide edicinin performansını analiz ederken bulunan farklılıkların bazılarını açıklayan kesin bir hatadır. Bolonya Katedrali'nde kullanılan taş, her ikisi de gözeneklerden değil başlıca çatlaklardan oluşan ilgili boş alanı bulunan çok yoğun bir kireçtaşı (Verona kırmızısı) ve mermerdir. Olağan bozulma biçimleri, çatlakların genişlemesini ve birkaç büyüklükte soyulmanın oluşmasını içermektedir. Rodrigues'e göre, Paraloid B72, çatlak duvarlar arasında birtakım bağlanan köprüler oluşturan bu çatlakların içine nüfuz edebilir ve dolayısıyla, böyle bir bozulma biçimi için etkin olması beklenen bir rol oynar. Büyük ölçüsüne rağmen, bağlanabilirliği gözenekli taşlarda daha zayıftır, ve bu özellik konsolide ediciyi, taşın sonraki davranışında ciddi ölçüde zararlı sonuçlarla beraber güçte yüksek bir artışa neden olduğu harici taş katmanında kalmaya zorlar. Yukarıda tarif edilen durumlarda yoğun, çatlak yada kırık kireçtaşlarıyla uygun biçimde kullanıldığında, Paraloid B72 (ve benzerleri) değerli bir kullanım sağlayabilir, fakat sonrasında taşlarda çok riskli hatta küresel gözeneklerle özellikle çok gözenekli olanlarda yetersiz olarak kullanıldığında felaket getirici olabilir (Şekil 2.17).

Pratik yönden Rodrigues'in bu sonuçları, **Paraloid 72'nin (ve belki diğer tüm akrilik konsolide edicilerin)** bizim çoğu zaman gördüğümüz gibi geleneksel bir emici konsolide edici olarak değil yapışkan yada zamklama aracı olarak hareket ettiğini göstermektedir (Rodrigues, 2001).



Şekil 2.17 : Paraloid B72 uygulanan gözenekli kireçtaşı örneğinin yaşlandırma testi esnasında ince sert bir kabuğun ayrıştırılması.

Başka bir çalışmada, Nwaubani ve arkadaşlarının, yüzey koruyucu uygulanmış yapı taşlarının boşluk yapısı ve su emme özelliklerinin araştırılması üzerine yaptıkları bir çalışmada; su itici uygulamalarının taşın mikro boşlukları üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Sağlamlaştırma çalışmaları, Almanya'daki tarihi yapılarda kullanılmış olan kırmızı renkli Ebenheider kumtaşı, yeşil renkli Rüthener kumtaşı ve Krensheimer kireçtaşı üzerinde yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, 50x50x100 mm boyutlu prizmatik numunelerde uzunlukları doğrultusunda epoksi kaplanarak, tabandan kılcal yolla sağlamlaştırıcı + su itici kimyasallar emprenye edilerek gerçekleştirilmiştir. Sağlamlaştırıcı ürün olarak **silisik asit etil ester**, su itici ürün olarak **oligomerik alkil alkoksisilan** kullanılmıştır. Daha sonra kimyasalın etkinlik faktörü (TEI) kimyasaldan önce ve sonraki su emme miktarlarının oranlanması ile yüzde olarak hesaplanmıştır. Sonuçta tüm örneklerin, 10µm'den büyük kılcal boşluklarının azaldığı, 1µm'den küçük kılcal boşluklarının arttığı görülmüştür. Sonuç olarak; yüzeysel su itici ürünlerin penetrasyonu ile, yapı taşlarının mikro boşluk oranlarının değiştiği diğer taraftan sağlamlaştırıcıların emprenyesi ile makro boşluklarının değiştiği belirlenmiştir. Ancak su iticiler, sağlamlaştırıcılardan farklı olarak toplam poroziteyi değiştirmiştir. En iyi etkinlik faktörü, **boşluklu kumtaşında %90 olarak bulunurken, en düşük oran ise %60 civarında yoğun kireçtaşlarında bulunmuştur** (Nwaubani ve diğ., 2000).

Kolombiya'daki Santo Domingo kilisesinin girişinde kullanılan volkanik tüf cinsi boşluklu taşlarda, koruyucu kimyasalların etkinliği araştırılmıştır. **Paraloid B-72 akrilik reçinesi solüsyonu), Primal AC-33 (akrilik reçinesi emülsiyonu), Wacker OH+H (silikat ester) ve Toch 8004 (epoksi)** kullanılmış. Sonuçta; Paraloid B-72 sağlamlaştırıcı olarak etkili bulunmamıştır. Primal AC-33 sağlamlaştırıcı olarak iyi ancak su emme oranını çok azaltmamış, epoksi ise iyi bir sağlamlaştırma yapmış ama taşın rengini değiştirip basınç dayanımını 12 MPa'dan 80 MPa'ya kadar arttırdığı için uygun görülmemiştir. Sağlamlaştırıcı ve su iticinin birlikte kullanıldığı **Wacker OH+H uygulması**, **en iyi sonuç veren kimyasal uygulaması olarak bulunmuştur** (Useche, 1990).

Lukaszewicz'in kireçtaşı ve kumtaşlarında tetraetoksisilan (TEOS), akrilik reçinesi (Paraloid B-72), epoksi reçinesi (Epidian 5-10% epoksi reçineli çözelti) gibi 3 farklı sağlamlaştırıcı ürün ile ön sağlamlaştırma işlemi yaptıktan sonra su itici uygulamalarının farklı yapıdaki doğal taşlar üzerindeki etkinliğini araştırmıştır.

Çalışmanın genel sonuçlarına göre; boşluklu taşın yapısı, baskın boşluklarının çapı, sıvıların (su ve kimyasalların) kılcal yükselme hızını belirlemiştir. Ayrıca taşın boşluklarına polisiloksan girişi ile oluşan ortosilisik asit ile yapılan ön sağlamlaştırma, taşın boşluk yapısının değişmesine neden olmuştur. Bu nedenle, boşluk çapı küçüldüğünden çözeltilerin kılcal yükselme hızı azalmıştır. Kimyasal jelin boşluklarda oluşumu, açık boşlukları azalttığı için, diğer koruyucuların emilmesini engellediği görülmüştür. Bu sebeplerden ötürü konservasyon uygulamalarında **akrilik ve epoksi reçineleri yerine boşluklarda daha az jel oluşturan tetraetoksisilan (TEOS) kullanımı önerilmiştir** (Lukaszewicz, 1996).

Literatür araştırmasının sonucunda elde edilen görüş ve bilgiler, yapılacak olan bu tez kapsamında özellikle kimyasal uygulamaların (koruyucu ve sağlamlaştırıcı + koruyucu) seçimi, uygulama yöntemi ve çıkacak sonuçların değerlendirilmesinde yol gösterici niteliktedir.

3. KUZEY KIBRIS'TA YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN KİREÇTAŞLARININ DURABİLİTESİ ÜZERİNE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

Bu çalışmada Kıbrıs koşullarında kullanılmakta olan Karpaz, Meluşa ve Buri taşlarının dayanıklılığının ve hizmet ömrünün arttırılması olanakları araştırılmıştır. Bu çalışmanın birinci aşamasında konuyla ilgili literatür çalışması, ikinci aşamada ise deneysel çalışmalar yer almaktadır. Deneyler, ocaktan alınan Karpaz taşı, Meluşa taşı ve Buri taşı numuneleri üzerinde yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalar 3 adımda toplanmaktadır. Bunlar: 1. Ocaktan alınan taş numunelerinin özelliklerinin belirlenmesi ; 2. Taşların durabilitesi ve uzun dönem performanslarının belirlenmesi; 3. Kimyasal uygulamalarla yapılan sağlamlaştırma çalışmaları ve kimyasalların etkinliğinin değerlendirilmesidir. Çalışma kapsamındaki taşlara iki çeşit kimyasal uygulama yapılmıştır. Bunlar: 1. Koruyucu kimyasal (K1); 2. sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2) uygulamalarıdır.

3.1 Çalışma Alanının Tanıtılması

3.1.1 Kıbrıs adasının konumu

Kıbrıs adası, 150 milyon yıl önce Afrika ve Avrupa kıtalarının ayrılmasıyla oluşan Akdeniz havzasında, Sicilya ve Sardunya'dan sonra gelen üçüncü büyük adadır. Kıbrıs'ın dünya koordinatları; 34^0 34' ve 35^0 41' kuzey enlem, 32^0 17' ve 34^0 35' doğu boylamıdır (Şekil 3.2). Kuzey Doğu Akdeniz bölgesinde kuzeye doğru Anadolu Platosu ve güneye doğru burnuyla Afrika tabakasının arasında yer alır. Kıbrıs Adası'nın yüzölçümü, 9251 km² olup uzunluğu doğu-batı ucu arasındaki maksimum uzunluğu 225 km ve genişliği de 96,5 km'dir. Kıbrıs Adası, kuzeyinde Türkiye'ye 60 km, batısında Suriye'ye 100 km ve Lübnan'a 150 km ve güneyinde Mısır'a 330 km ve Akdeniz'de bulunan Girit ve Rodos adalarına sırayla 370 km ve 500 km uzaklıktadır. Ada, Asya, Afrika ve Avrupa kıtalarının geçiş noktası ve büyük uygarlıkların oluştuğu merkezi bir noktada yer alır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Akdeniz'e sınırı olan ülkeler ve Kıbrıs'ın konumu.

3.1.2 İklimi

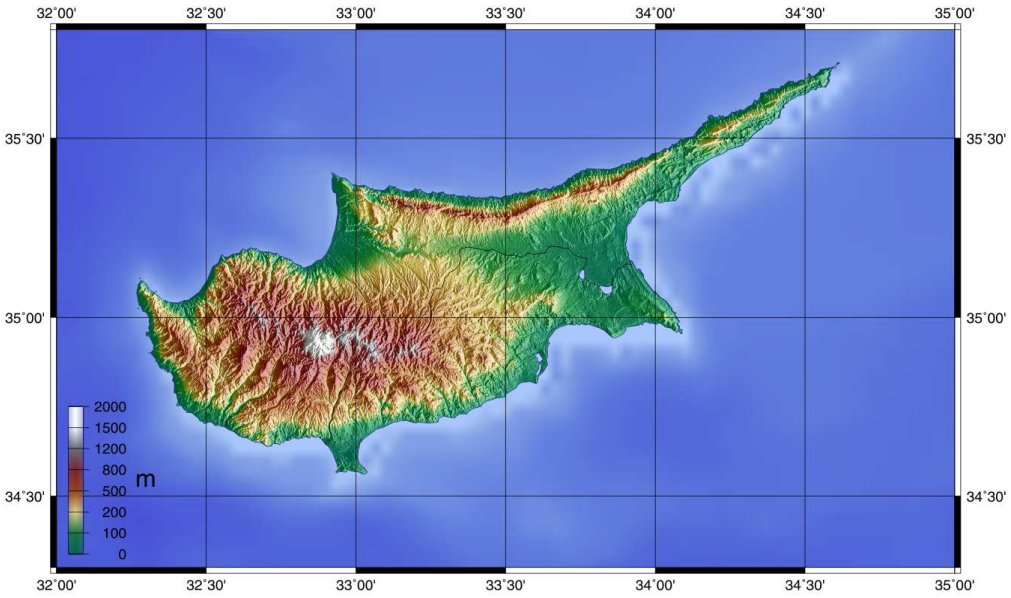
Kıbrıs makro iklim sınıflandırılmasına göre "yarı kurak" olarak adlandırılan iklim kuşağı arasında yer alır. Kıbrıs, Doğu Akdeniz iklimi özelliğini taşır. Yazları sıcak ve kurak; kışları ise serin ve az yağışlıdır. Kıbrıs'ın yıllık ortalama hava sıcaklığı 19.0 C°'dir. Yıl boyunca en sıcak ay genellikle Temmuzdur (Çizelge 3.1). Bu ayda sıcaklık genellikle gündüz saatlerinde (gölgede) 37.0 C°- 40.0 C° arasında değişir. Yılın en soğuk ayı genellikle Ocak ayı olup gündüz saatlerinde hava sıcaklığı 9.0 C°-12.0 C° arasında seyreder ve bu ayda geceleri hava sıcaklığının düşmesi ile birlikte toprak yüzeyi sıcaklığı da özellikle iç kesimlerde 0 C°'nin altına düşerek yer yer don olaylarına neden olur. Kıbrıs'ta yağışlar genellikle Ekim-Mart döneminde görülmekle birlikte yıllık toplam yağış miktarı 387.3 mm'dir. En yağışlı ay Aralık ayı, en kurak aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır (Çizelge 3.1).

Bir ada ülkesi olan Kıbrıs'ta genel olarak rüzgar, yörelerin topoğrafik özelliklerine göre farklı yönlerden eser. Bununla birlikte Kıbrıs genelinde hakim yön batı (W) dır. Yıllık ortalama rüzgar şiddeti ise 2.9 m/sn dir (Çizelge 3.1).

Bulunduğu enlem derecesinden dolayı güneşlenmenin fazla, güneş enerjisinin bol olduğu Kıbrıs'ta yaz aylarında ortalama günün 12 saati güneşli geçer. Kış aylarında bu değer ortalama 5 saat dolayındadır.

Çizelge 3.1 : K.K.T.C'ye ait muhtelif meteorolojik bilgiler.

KKTC'YE AİT MUHTELİF METEOROLOJİK BİLGİLER (1975-2005)													
AÇIKLAMA	**OCA**	**ŞUN**	**MAR**	**NİS**	**MAY**	**HAZ**	**TEM**	**AĞU**	**EYL**	**EKİ**	**KAS**	**ARA**	**YILLIK**
ORT. SIC.(°C)	11,0	11,1	13,0	16,6	21,0	25,3	28,1	27,9	25,2	21,3	16,3	12,4	**19,1**
EN YÜK. ORT. SIC.(°C)	15,3	15,6	18,1	22,2	27,0	31,2	34,1	33,9	31,2	27,1	21,3	16,8	**24,5**
EN DÜŞ. ORT. SIC.(°C)	6,7	6,5	7,8	10,8	14,7	18,9	21,8	21,7	19,3	15,9	11,5	8,2	**13,6**
YAĞIŞ (Ort.) (mm)	75,2	62,0	41,2	23,1	14,6	8,5	1,6	1,8	4,4	20,4	48,9	85,6	**387,3**
ORT.NİSPİ NEM (%)	72,8	71,9	70,3	66,6	62,2	59,6	59,3	62,1	63,1	64,6	68,7	73,5	**66,2**
ORT. RÜZGAR HIZI (m/sn)	3,0	3,1	2,9	3,0	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,6	2,7	2,9	**2,9**
EN ŞİDDETLİ RÜZGAR HIZI (m/sn)	37,8	29,6	33,0	30,0	28,3	26,6	23,2	25,4	35,0	29,8	32,1	38,6	**38,6**
EN ŞİDDETLİ RÜZGAR YÖNÜ	SSE	W	WSW	W	S	WNW	N	SSE	WSW	WSW	NNE	N	**N**
HAKİM YÖN	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	**W**



Şekil 3.2 : Kıbrıs adasının topografik haritası.

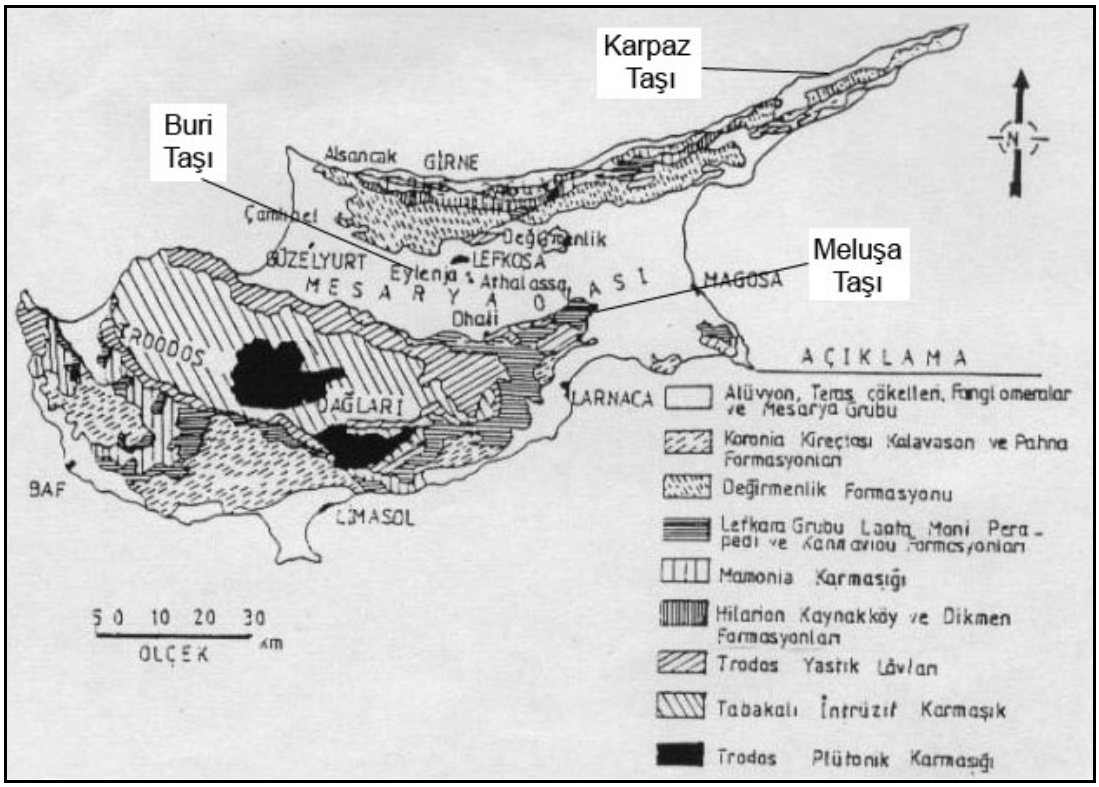
3.1.3 Jeolojisi

Güneyde Afrika, kuzeyde Anadolu ve doğuda da Arabistan levhalarının (kıta) kesiştiği bir bölgede bulunan Kıbrıs Adası'nın jeolojisi, jeolojik bilimler çerçevesinde üç ana bölgeye ayrılmaktadır. Bunlar:

1- Adanın ortasında yer alan ve çoğunlukla mağmatik kayaçlardan oluşmuş Trodos Dağları;

2- Kuzeyde kıyıya paralel uzanan ve çoğunlukla mesozoyik yaşlı kayaçlardan meydana gelen Girne Dağları (Beşparmak Dağları);

3- Batıda Güzelyurt, doğuda Gazimağusa Körfezlerine kadar uzanan, Trodos ve Girne dağları arasında kalan ve çoğunlukla Neojen yaşlı çökellerden oluşan Mesarya Ovası'dır (Şekil 3.3) (Dreghorn, 1978).



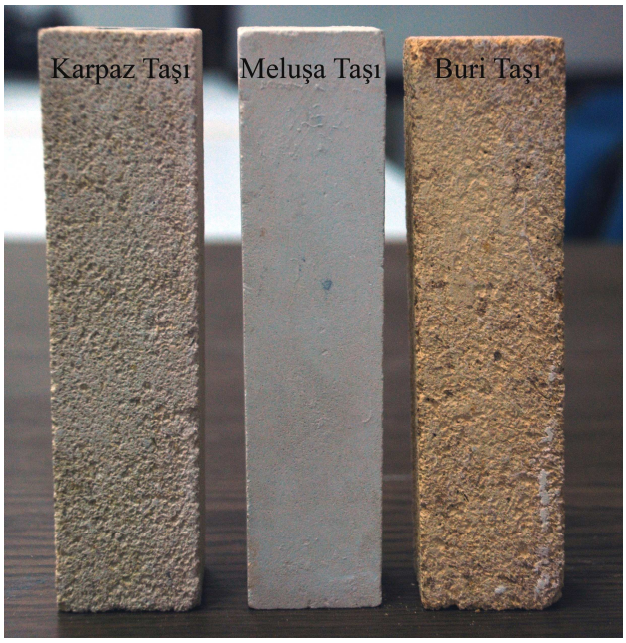
Şekil 3.3 : Kıbrıs jeoloji haritası ve taşların çıkarıldığı bölgelerin konumu (Dreghorn, 1978)

3.1.4 Çalışmada kullanılan taşlar ve çıkarıldığı bölgeler

Çalışma kapsamında Kuzey Kıbrıs'ta yapı malzemesi olarak kullanulan Karpaz taşı, Meluşa taşı ve Buri taşı olmak üzere üç kireçtaşı kullanılmıştır (Şekil 3.4).

Karpaz taşı, Kıbrıs adasının kuzeydoğu ucundan Anadolu'ya doğru uzanan, sivri ve uzun bölgesi olan karpaz yarımadasından çıkarılmaktadır. Bölge topoğrafik olarak hafif engebeli bir yapıya sahiptir. Bölgenin denizden yüksekliği ortalama olarak 200 m civarındadır. Meluşa taşı, Kıbrıs adasının güneydoğu bölgesi olan Erdemli köyünden çıkarılmaktadır. Bölgenin denizden yüksekliği ortalama olarak 200 m civarındadır. Buri taşı, Kıbrıs adasının kuzeybatı bölgesi olan Güzelyurt ve Lefkoşa bölgesinden çıkarılmaktadır. Bu bölgelerin denizden yüksekliği ortalama 300 m civarındadır (Şekil 3.2) (Şekil 3.5).

Kuzey Kıbrıs'ta 8 taş ocağından taş çıkarılmaktadır ve taşların rengi beyazdan sarıya doğru değişmektedir. Şekil 3.6 ve 3.7 'de Karpaz ve Lefkoşa bölgesinden birer taş ocağı görülmektedir. Taş ocaklarından taşı çıkarmak için önce buldozer yardımı ile yüzey düzeltilip, düz yüzeyin üstüne bir çift ray konulmakta ve rayın üstünde hareketli bir elmas testere yardımıyla taşlar kesilmektedir.



Şekil 3.4 : Çalışma kapsamında kullanılan kireçtaşları. Soldan sağa: Karpaz, Meluşa ve Buri taşları (Ziyaettin,2008).



Şekil 3.5 : Çalışmada kullanılan taşların çıkarldığı bölgelerin konumları.



Şekil 3.6 : Karpaz bölgesi, Karpaz taşı ocağı (Ziyaettin,2006).



Şekil 3.7 : Lefkoşa bölgesi, Buri taşı ocağı (Ziyaettin, 2006).

3.1.5 Çalışmada kullanılan kimyasallar

Çalışma kapsamında silan-siloksan esaslı koruyucu kimyasal (K1) ve etil silikat esaslı sağlamlaştırıcı + silan-siloksan esaslı koruyucu kimyasal (K2) uygulamaları yapılmıştır. Şekil 3.8 sağda sağlamlaştırıcı ve koruyucu olarak kullanılan etil silikat ve silan siloksan moleküllerinin taş yüzeyine uygulanmasıyla meydana gelen siloksan bağları görülmektedir. Bu madde şeklin sol tarafında ve Bölüm 2.5.3' de anlatıldığı gibi, taşın tüm yüzeyine yayılarak sağlamlaştırıcı rolü üstlenmektedir. Taşın gözeneklerini kapanmadığı için taşın su buharı geçirmesi sağlanmakta, aynı zamanda su iticilik özeliği elde edilmektedir. Şekil 3.9 da kimyasal uygulandıktan sonra taş yüzeyine gelen suyun yüzey gerilimi artmakta ve su yüzeyde tutunamamaktadır.

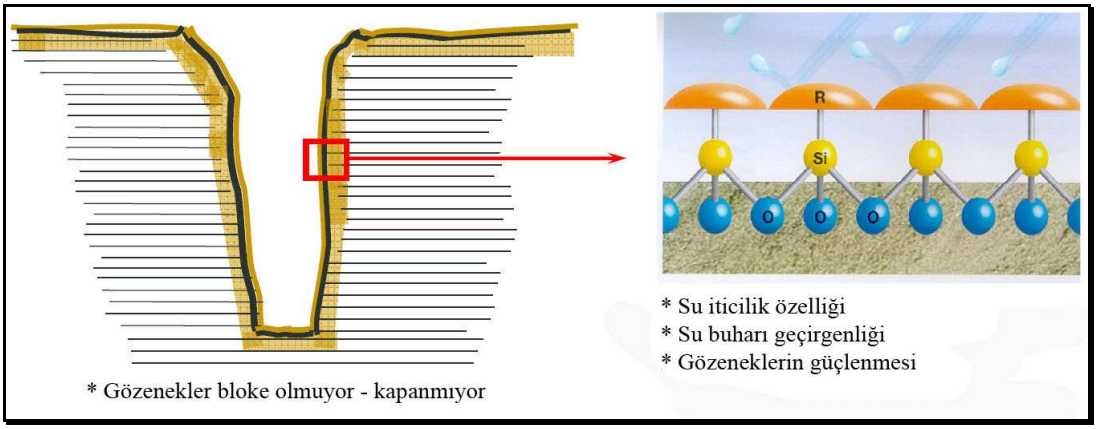
Sağlamlaştırıcı ve koruyucu özellikli kimyasallar Wacker Chemie AG firmasından temin edilmiştir. Sağlamlaştırıcı kimyasal olarak kullanılan ***SILRES OH 100*** kodlu ürün 1:1 oranında whitesprit organik çözücü ile seyreltilerek, koruyucu ürün olarak kullanılan ***SILRES BS 280*** ise 1:11 oranında whitesprit organik çözücü ile seyreltilerek kullanılmıştır. Sağlamlaştırıcı ve koruyucu olarak kullanılan kimyasalların genel özellikleri Çizelge 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Taş sağlamlaştırıcısı olarak kullanılan kimyasalın özellikleri.

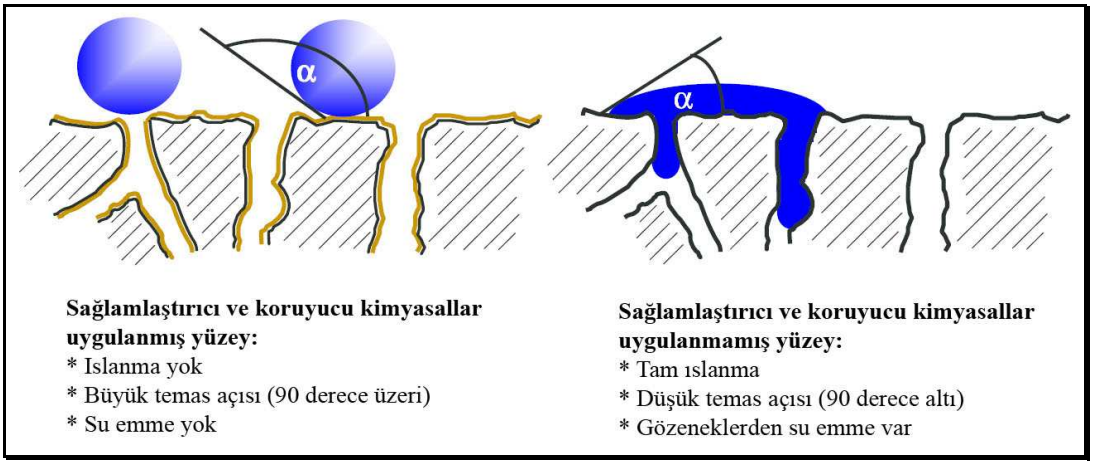
Kimyasalın Adı	**SILRES BS OH 100**
Üretici	Wacker Chemie AG
Özelliği	Taş Sağlamlaştırıcı
Kimyasal Yapısı	Etil Silikat Grubu Saf Silisik Asit Esteri
Renk	Renksiz / Sarımtırak
Çözücüsü	Serbest
İncelticisi	Organik çözücü (Whitesprit)
Aktif İçerik (wt %)	100
B.Hacim Ağ. 25 ^{0}C'de (g/cm^3)	0.997
Yanma Noktası (^{0}C)	+40
Raf Ömrü (ay)	12

Çizelge 3.3 : Koruyucu (su itici) olarak kullanılan kimyasalın özellikleri.

Kimyasalın Adı	SILRES BS 280
Üretici	Wacker Chemie AG
Özelliği	Koruyucu (Su İtici)
Kimyasal Yapısı	Silan / Siloksan Karışımı
Kimyasal Adı	Metil-oktil metoksisiloksan
Renk	Renksiz
Çözücüsü	Serbest
İncelticisi	Organik çözücü (Whitesprit)
Aktif İçerik (wt %)	100
B.Hacim Ağ. 25 ^{0}C'de (g/cm^{3})	1.04-1.06
Yanma Noktası (^{0}C)	+49
Raf Ömrü (ay)	12
En Başarılı Kullanım Yeri	Kum ve Kireçtaşında



Şekil 3.8 : Sağlamlaştırıcı ve koruyucu kimyasalların çalışma prensibi.



Şekil 3.9 : Sağlamlaştırıcı ve koruyucu kimyasalların temas açısı ve ıslanma.

Sağlamlaştırıcı ve koruyucu kimyasalların sağlaması gereken özellikler:

- Malzemenin su emme oranını % 80 azlatmalıdır.
- Malzemenin su buharı geçirgenliğine etkisi maksimum % 10 olmalıdır.
- Malzemenin yüzeyine çabuk ve etkili olarak emilebilmelidir.
- Alkali ve UV ışığına dirençli olmalıdır.
- Malzemede parlak ve yapışkan yüzeyler oluşturmamalıdır.
- Malzemede sararma oluşturmamalıdır.
- Çevreyle dost olmalıdır.

3.2 Deney Yöntemleri

Çalışmanın ana amacı Kuzey Kıbrıs'ta yapı malzemesi olarak kullanılan 3 farklı ocaktan gelen kireçtaşlarının yapıda kullanılabilirliğinin, dayanıklılığının ve hizmet ömrünün arttırılmasının araştırılmasıdır. Bu amaçla taşların durabilitesi saptanmaya çalışılmıştır. Taşlarda durabilite, hızlandırılmış deneylerle özelliklerdeki değişimin gözlenmesi yoluyla saptanırken, olası bu değişimin farklı kimyasalların taşa uygulanması yoluyla önleneceği varsayılmaktadır. Sonuçta çalışmada:

- Üç ayrı tip taşın özellikleri,
- Bu özellikler üzerinde eskitme ajanlarının etkisi,
- Taşların üzerine uygulanan koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2) kimyasalların taşların eskime ve dürabilitesi üzerindeki etkisi

araştırılmıştır. Eskitme ajanlarının ve kimyasal uygulamalarının etkisinin anlaşılması için izlenen yöntem Şekil 3.10'da akış şeması şeklinde gösterilmiştir.

Kireçtaşlarının özelliklerini belirlemek için laboratuar ortamında yapılan deneyler başlıca 4 farklı grupta toplanmıştır: 1. Kimyasal analizler; 2. Minerolojik ve Petrografik analizler; 3. Fiziksel özellik deneyleri; 4. Mekanik özellik deneyleri. Deney grupları içinde yapılan alt deneyler ve izlenen yöntem Şekil 3.10'da, eskitme ajanlarının ve kimyasal uygulamaların etkisinin anlaşılması için yapılan deneyler ve izlenen yöntem Şekil 3.12'de akış şeması şeklinde gösterilmiştir. Şekil 3.10'da yer alan, deneysel çalışmanın akış şemasına göre deneysel yöntem genel olarak 8 ana aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalarda yapılacak deneyler ve çalışmalar aşağıda

anlatılmıştır:

1. Aşama - Ocaktan alınan kireçtaşlarının özelliklerinin belirlenmesi: Ocaktan alınan kireçtaşı örneklerinin özellikleri belirlenmiştir. Kireçtaşlarının özelliklerini belirlemek için laboratuar ortamında yapılan deneyler başlıca 4 farklı grupta toplanmıştır. Bu gruplardan ilki kimyasal analizlerdir. Mineralojik ve petrografik analizler ile fiziksel ve mekanik özellik deneyleri ise diğer grupları oluşturmaktadır. Deney grupları içinde yapılan alt deneyler ve izlenen yöntem Şekil 3.11'de akış şeması şeklinde gösterilmiştir.

2. Aşama - Özellikleri belirlenen taşlara hızlandırılmış eskitme deneylerinin yapılması: Binaların veya yapı elemanlarının performanslarını, dayanıklılığını ve hizmet ömürlerini önceden tahmin etmek amacıyla yapı malzeme ve bileşenleri hızlandırılmış eskitme deneylerine tabi tutulur. Deney kapsamında uygulanan hızlandırılmış eskitme deneyleri ve yararlanılan standartlar;

- Islanma - kuruma etkilerine dayanıklılık (ASTM D 5313-92),
- Donma - çözülme etkilerine dayanıklılık (TS 699 ve TS EN 12371),
- Tuz kristallenmesi etkilerine karşı dayanıklılık (TS 699 ve TS EN 12370)
- Asit etkilerine dayanıklılık (SO_2 buharına dayanıklık) (TS EN 13919)
- UV ışınına dayanıklılık deneyleridir.

3. Aşama – Eskitilmiş taşların ikinci kez eskitilmesi: Halihazırda Kıbrıs'ta bazı tarihi yapılarda mevcut olan, çalışma kapsamında ele alınan bu taşların korunmasında, çalışmada seçilen kimyasalların etkinlik düzeylerini belirleyebilmek amacıyla taşlar, laboratuvar ortamında ikinci kez eskitme deneylerine tabi tutulmuştur. Bu aşamadaki taşlar, (koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2)) kimyasal uygulanıp ikinci kez eskitilen 5 ve 8. aşamadaki taşalr ile kıyaslanıp kimyasalların durabilite üzerindeki etkisi belirlenmiştir. İkinci eskitme deneyleri mimari mirasın korunmasına yönelik olarak en uygun restorasyon işlemlerinin seçimi için veri sağlamak amacıyla yapılmıştır.

4. Aşama – Eskitilmiş taşlara (koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2)) kimyasalların uygulanması: Koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2) kimyasalların eskitilmiş taşların özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

5. Aşama – Koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2) kimyasal uygulanan eskitilmiş taşların eskitilmesi: Her bir eskitme ajanının (koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2)) kimyasal uygulanmış ve eskitilmiş taş malzeme özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

6. Aşama – Ocaktan alınan yeni taşlara (koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2)) kimyasalların uygulanması: (koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2)) kimyasalların ocaktan alınan yeni taşların özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

7. Aşama – (koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2)) kimyasal uygulanan yeni taşların eskitilmesi: Her bir eskitme ajanının (koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2)) kimyasal uygulanmış yeni malzeme özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

8. Aşama – (koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2)) kimyasal uygulanan taşların 2. kez eskitilmesi: Her bir eskitme ajanının (koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2)) kimyasal uygulanmış yeni malzeme özelikleri üzerindeki etkisini belirlemek için yapılmıştır.

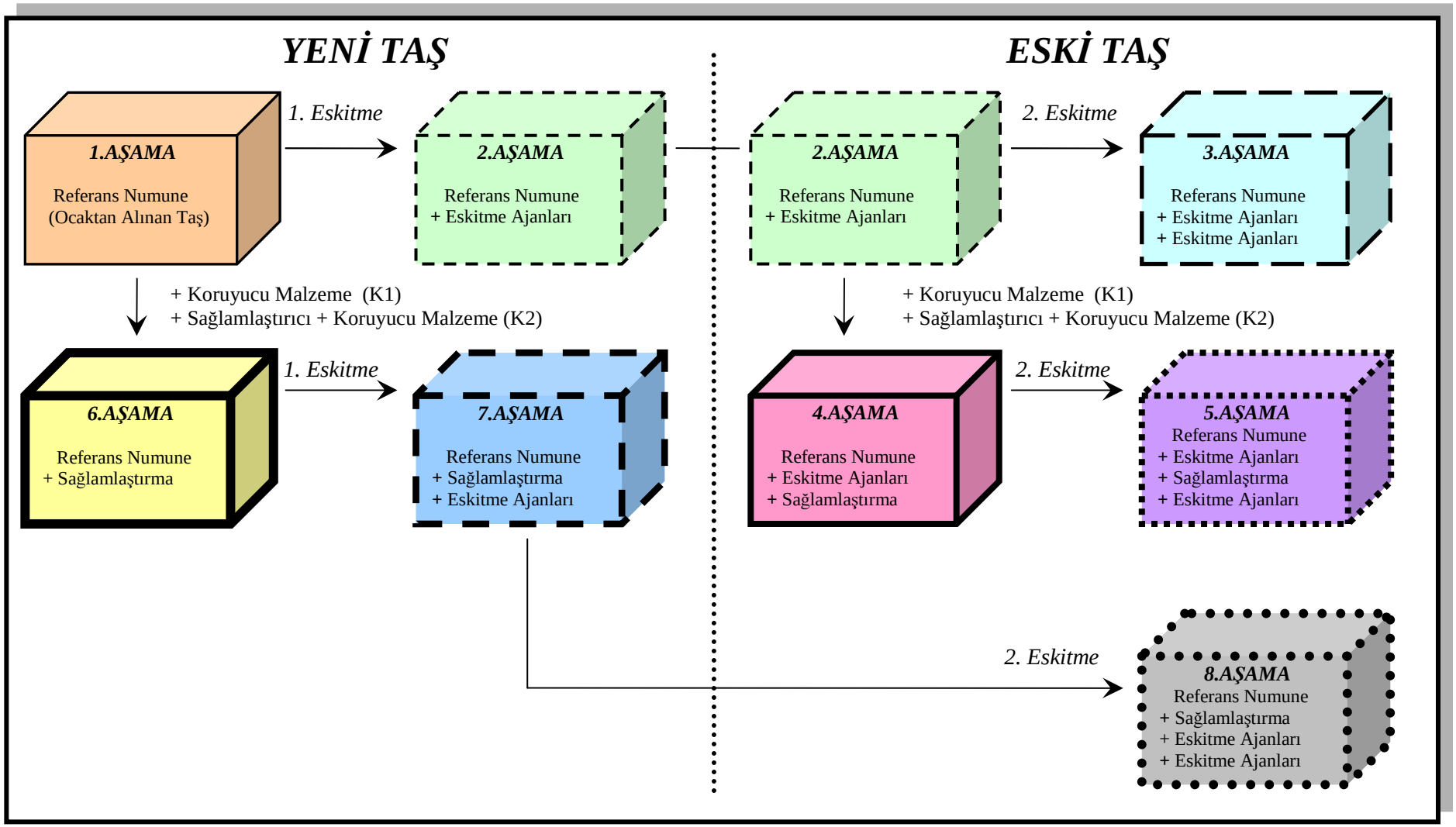
Deneysel çalışmada yapılan eskitme deneylerinde, 1. aşamadan 2. aşamaya olan 1. eskitme ile 6. aşamadan 7. aşamaya olan 1. eskitme aynı zamanda (1. zamandan 2. zamana) ve aynı koşullarda yapılmıştır. Böylece eskitmenin yeni malzeme (1. Aşama) ve yeni korunmuş malzemenin (6. Aşama) özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Aynı şekilde 2. aşamadan 3. aşamaya olan 2. eskitme, 4. aşamadan 5. aşamaya olan 2. eskitme ve 7. aşamadan 8. aşamaya olan 2. eskitme de aynı zaman (2. zamandan 3. zamana) ve koşullarda yapılmıştır. Böylece eskitmenin eskitilmiş (2. Aşama), eskitilip korunmuş (4. Aşama) ve korunduktan sonra eskitilmiş (7. Aşama) üç ayrı malzemenin özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Deneysel çalışma sonucunda;

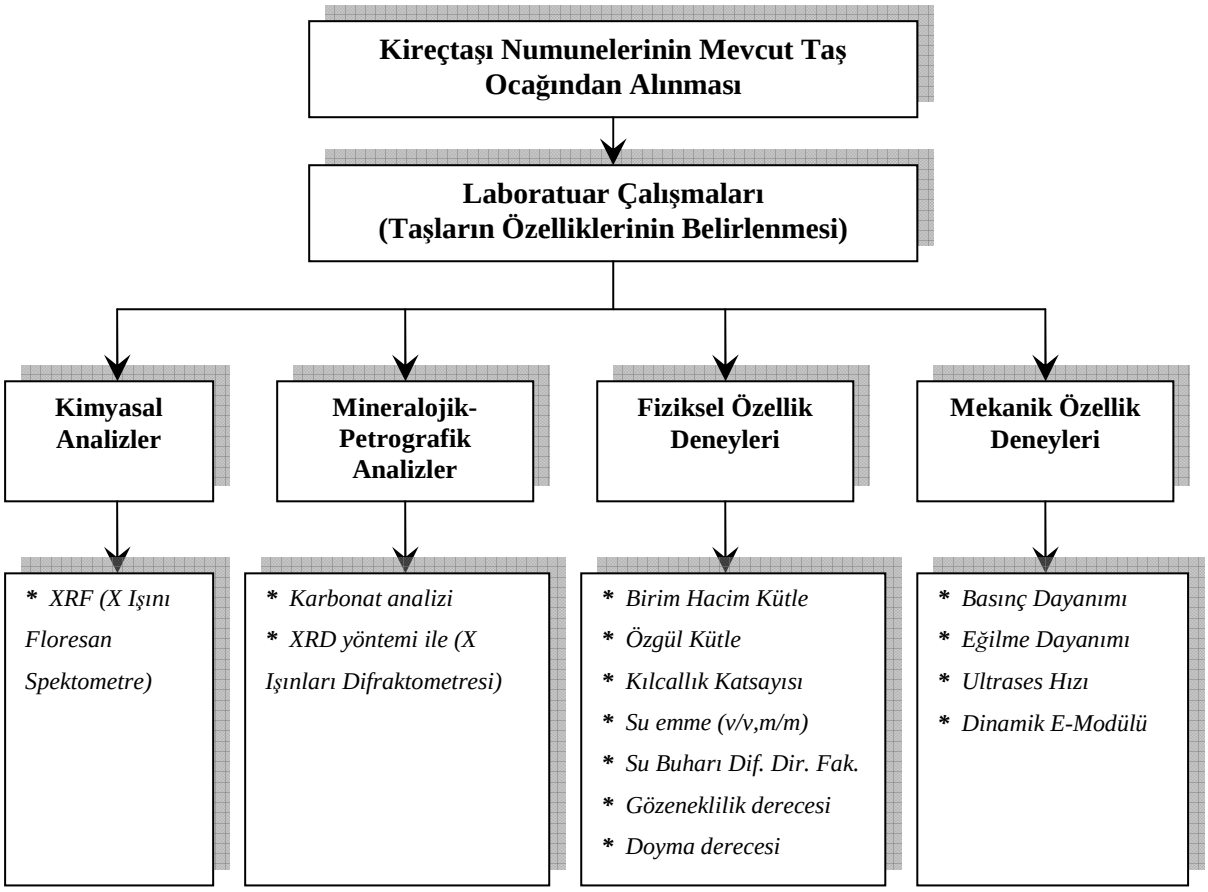
- 1 ile 2. aşama kıyaslanarak her bir eskitme ajanının yeni malzeme (ocaktan alınan) özellikleri üzerindeki etkisi,
- 1 ile 6. aşama kıyaslanarak kimyasal uygulamaların yeni malzeme (ocaktan alınan) özellikleri üzerindeki etkisi,

- 2 ile 7. aşama kıyaslanarak kimyasal uygulamaların yeni taşın durabilitesi üzerindeki etkisi,
- 2 ile 4. aşama kıyaslanarak kimyasal uygulamaların eski taşın özellikleri üzerindeki etkisi,
- 3 ile 5. aşama kıyaslanarak kimyasal uygulamaların eski taşın durabilitesi üzerindeki etkisi,
- Sağlamlaştırma işlemleri birbirleriyle karşılaştırılarak malzeme özellikleri üzerindeki etkileri,
- Eskitme ajanları birbirleriyle karşılaştırılarak malzeme özellikleri üzerindeki etkileri,

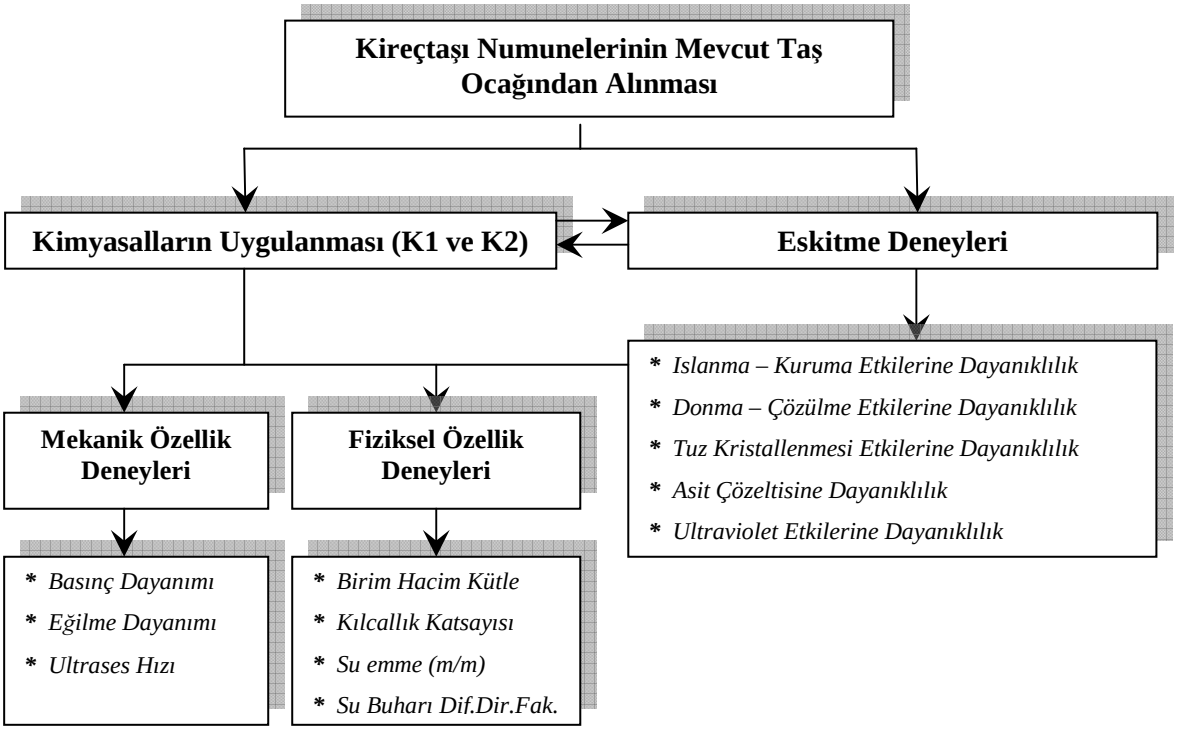
araştırılmıştır.



Şekil 3.10 : Eskitme ajanları ve kimyasal uygulamaların yeni ve eski malzeme özellikleri ve dürabilitesi üzerindeki etkinliklerinin anlaşılması için izlenen yöntemin akış şeması.



Şekil 3.11 : Taşların özelliklerini belirlemek için yapılan deneylerin akış şeması (1.aşama).



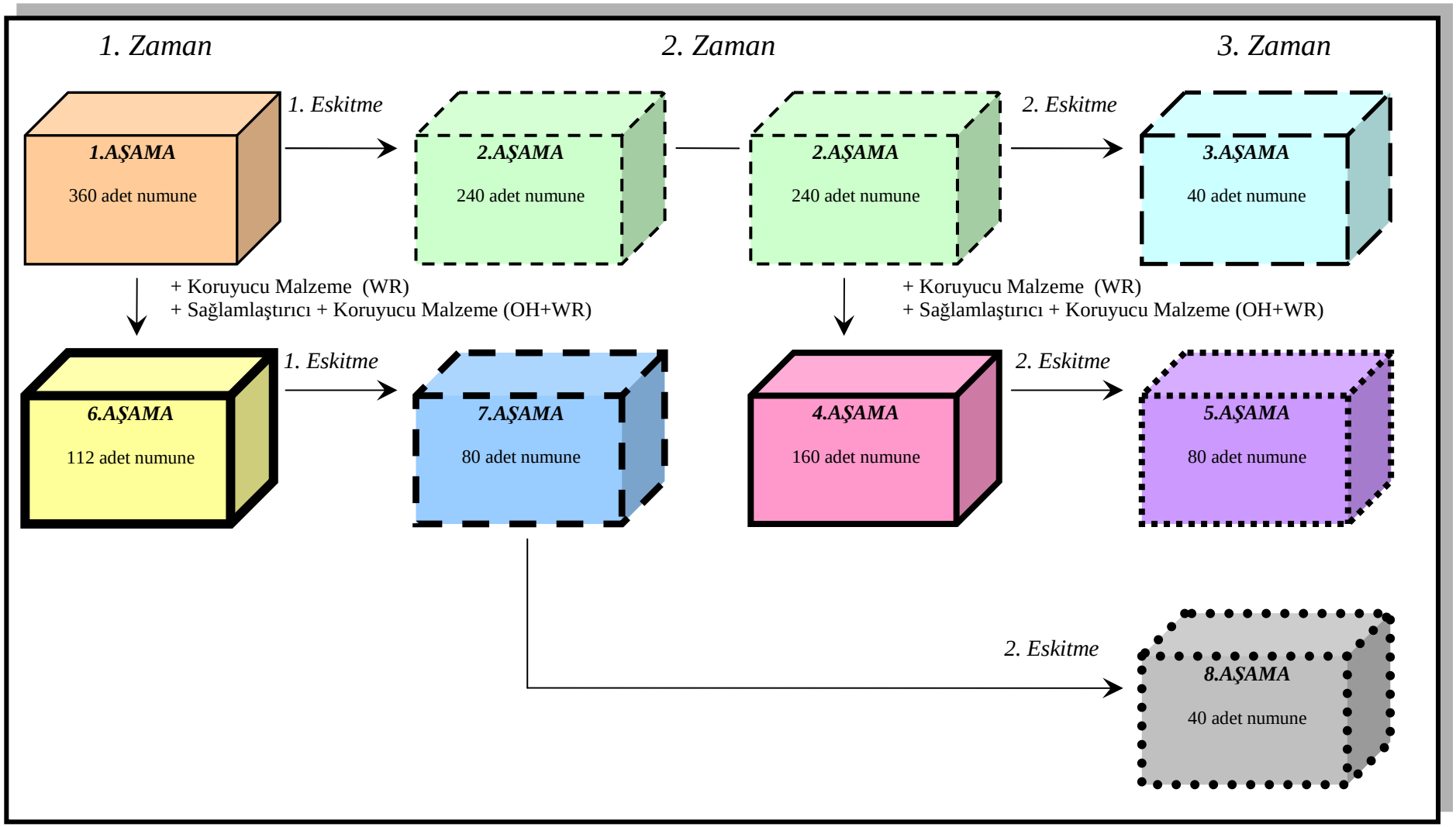
Şekil 3.12 : Taşların durabilitesi ve taşlara uygulanan kimyasalların etkisini belirlemek için yapılan deneylerin akış şeması (2.3.4.5.6.7.8. aşama).

3.3 Deneysel Çalışmada Kullanılan Numune Boyutları, Adetleri ve Kodları

Kuzey Kıbrıs'ta yapı malzemesi olarak kullanılan 3 tip kireçtaşının dayanıklılığını belirlemek için yapılan deneysel çalışma 8 aşamadan oluşmaktadır. Her bir taş tipi, bu aşamalarda yapılan deneyler ve her bir taş tipi için kullanılan numune adetleri aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

Deneysel çalışmada kullanılan kodlar ve anlamları: RN (Referans Numune), KS (Karpaz taşı), MS (Meluşa taşı), BS (Buri taşı), IK (Islanma – Kuruma), DC (Donma – Çözülme), TK (Tuz Kristalizasyonu), AS (Asit Çözeltisi), UV (Ultraviolet), K1 (Koruyucu Kimyasal), K2 (Sağlamlaştırıcı + Koruyucu Kimyasal).

Örneğin; [8KS–K1–IK–IK] kodlu numune, Şekil 3.10'da görülen 8. aşamadaki Karpaz taşına önce K1 kodlu kimyasal uygulandıktan sonra iki kere ıslanma – kuruma eskitme ajanına tabii tutulmuş olduğunu göstermektedir. Deneysel çalışmada toplam 360 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Her deney sonucunda elde edilen değer 6 adet numuneden elde edilen ortalama değerdir. Numuneler 40x40x160 mm boyutlarındadır. Buhar geçirgenliği direnç faktörü deneyinde kullanılan numune boyutu 70 mm çapında 10 mm kalınlığında silindirdir. Her bir aşamada ele alınan numune adetleri ve uygulanan deneyler Şekil 3.13'deki gibidir:



Şekil 3.13 : Her bir taş tipi için deney aşamalarında kullanılan numune adetlerinin akış şeması.

3.4 Koruyucu (K1) ve Sağlamlaştırıcı + Koruyucu (K2) Kimyasalların Uygulama Yöntemlerini Belirlemek İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları

Çalışmanın ana amacı Kuzey Kıbrıs'ta yapı malzemesi olarak kullanılan 3 farklı ocaktan gelen kireçtaşlarının yapıda kullanılabilirliğinin, dayanıklılığının ve hizmet ömrünün arttırılmasının araştırılmasıdır. Bu amaçla taşlarda durabilite, hızlandırılmış deneylerle özelliklerdeki değişimin gözlenmesi yoluyla saptanırken olası bu değişimin farklı kimyasalların taşa uygulanması yoluyla önleneceği varsayılmaktadır. Bu varsayımı kanıtlamak ve kimyasalların taşlara hangi yöntem ile uygulanacağını belirlemek için yapılan öndeneyler bu bölümde yer almaktadır.

Koruyucu ve sağlamlaştırıcı kimyasallar taş yüzeylerine 5 farklı teknikle uygulanabilmektedir Bunlar; fırça (by brush), daldırma (dipping), kılcal yolla emdirme (capillary suction), sprey ve akıtma yöntemi (flooding) şeklindedir.

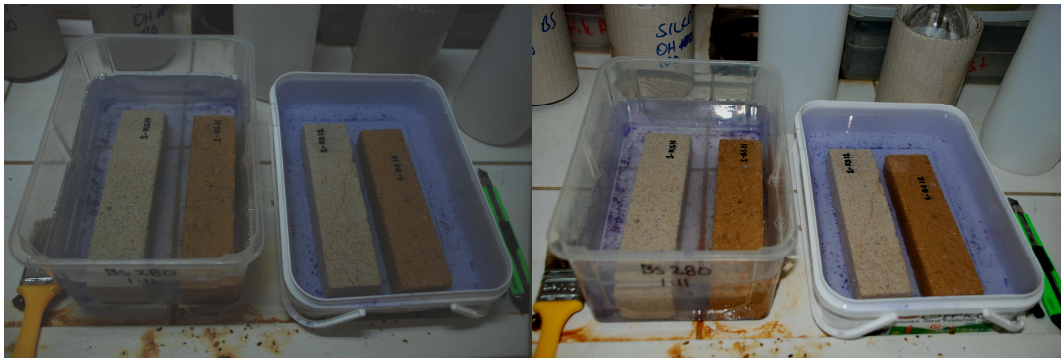
Bu tez çalışmasında kullanılacak kimyasalların ve uygulama yönteminin taşların dürabilitesi üzerindeki etkinliğini belirlemek için üretici firmadan alınan bilgiler ışığında, üç tip taşa, iki farklı kimyasal uygulaması, **fırça (1 kat), fırça (2 kat), sprey, daldırma (1sn.) ve daldırma (15dk.) yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.** Kimyasallar, koruyucu (K1- SILRES BS 280) ve sağlamlaştırıcı+koruyucu (K2- SILRES BS OH 100+ SILRES BS 280) olmak üzere iki tiptir. Şekil 3.14 - 3.16'da kimyasal uygulama yöntemlerine ait işlem süreci görülmektedir.



Şekil 3.14 : Fırça yöntemiyle kimyasal uygulaması.



Şekil 3.15 : Sprey yöntemiyle kimyasal uygulaması.



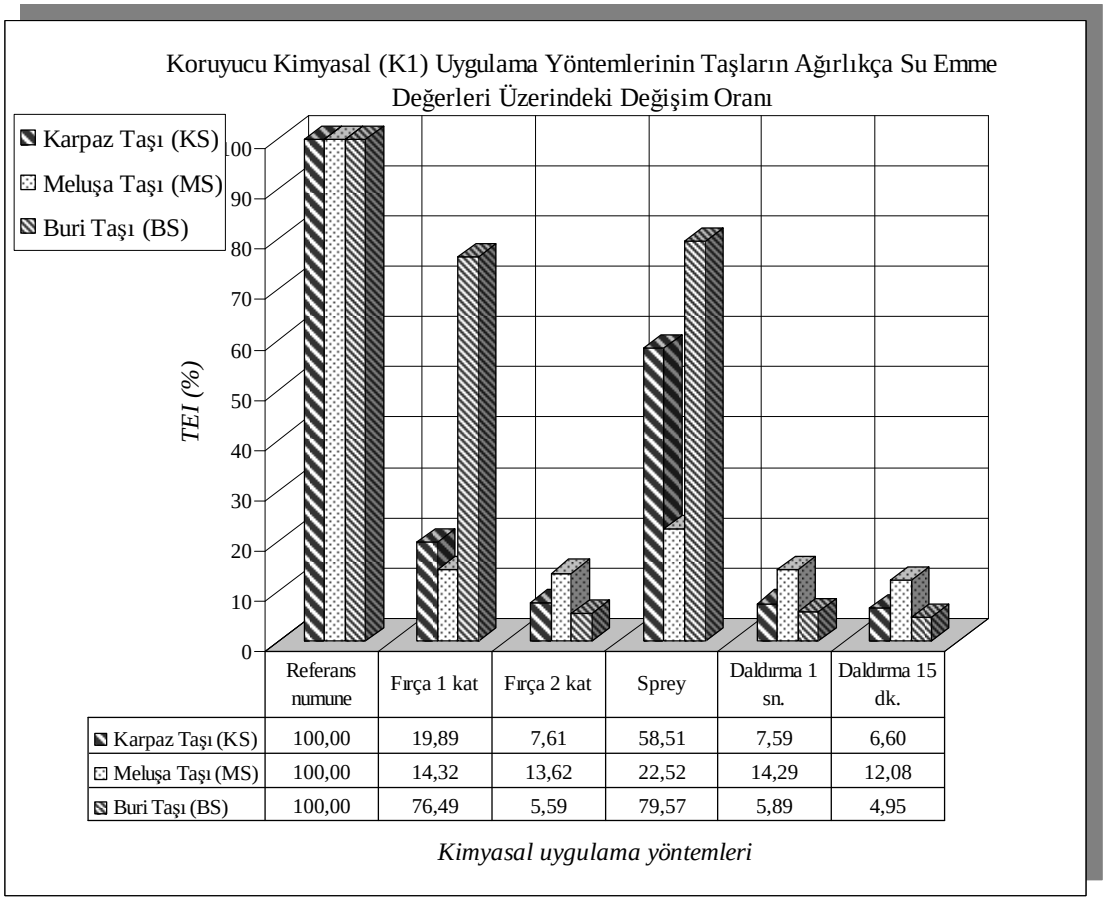
Şekil 3.16 : Daldırma yöntemiyle kimyasal uygulaması.

Kimyasallar uygulandıktan sonra, koruyucu ve sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalların sağlaması gereken en önemli özellik olan uygulandığı taşın **su emme oranını minimum %80 azaltmalı** ve **basınç dayanımını arttırmalı** kriterlerine göre işlenmemiş ve kimyasal uygulama yapılmış taşlara su emme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

3.4.1 Kimyasal uygulama yöntemlerinin taşların su emme özeliği üzerindeki etkisi

3.4.1.1 Koruyucu kimyasalın (K1) uygulama yöntemlerinin taşların su emme özelliği üzerindeki etkisi

Kimyasal uygulamanın taşın su emme oranını minimum %80 azaltmalı kriterine göre Meluşa taşında sprey yöntemi hariç diğer yöntemler, Karpaz taşında fırça (1 kat) ve sprey yöntemi hariç diğer yöntemler ve Buri taşında da fırça (1 kat) ve sprey hariç diğer yöntemler başarılı olmuştur (Şekil 3.17). Her üç taş tipi için de en başarılı koruyucu kimyasal uygulama yöntemi Çizelge 3.4'de görüldüğü gibi **daldırma (15 dk.)** yöntemidir.



Şekil 3.17 : Koruyucu kimyasal (K1) uygulama yöntemlerinin taşların ağırlıkça su emme değerindeki değişim oranları.

Çizelge 3.4 : Koruyucu kimyasalın (K1) uygulama yöntemlerinin taşların su emme özelliği üzerindeki etkileri.

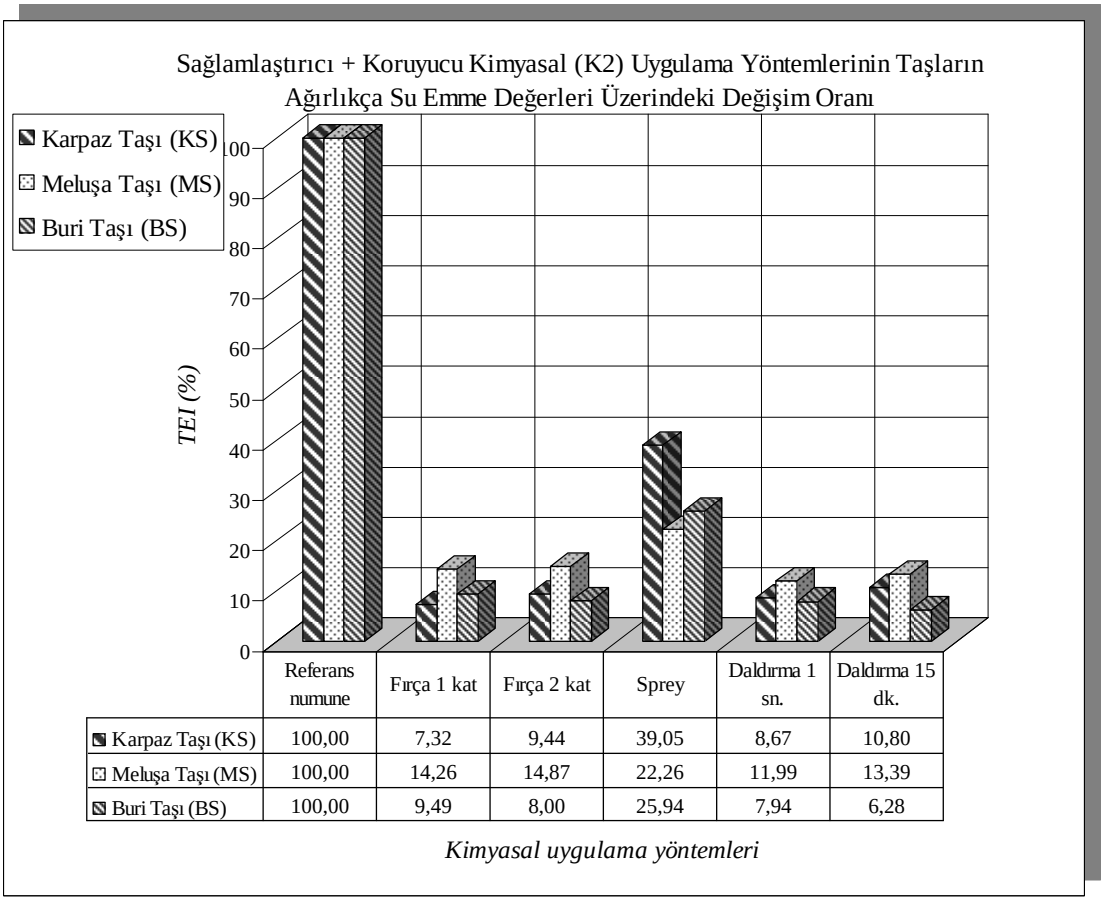
Koruyucu Kimyasal (K1)	Ağırlıkça su emme (Sk) (%)	Fırça 1 kat (%)	Fırça 2 kat (%)	Sprey (%)	Daldırma 1 sn. (%)	Daldırma 15 dk. (%)
Karpaz Taşı (KS)	9.09	1.81	0.69	5.32	0.69	**0.60**
Meluşa Taşı (MS)	15.90	2.28	2.17	3.58	2.27	**1.92**
Buri Taşı (BS)	17.50	13.39	0.98	13.93	1.03	**0.87**

3.4.1.2 Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) uygulama yöntemlerinin taşların su emme özelliği üzerindeki etkisi

Kimyasal uygulamaların taşların su emme oranını minimum %80 azaltmalı kriterine göre her üç taş tipinde de sprey hariç diğer yöntemler başarılı olmuştur (Şekil 3.18). Karpaz taşı için fırça (1 kat), Meluşa taşı için daldırma (1 sn.) ve Buri taşı için de daldırma (15 dk.) Çizelge 3.5'de görüldüğü gibi en başarılı sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2) uygulama yöntemleridir.

Çizelge 3.5 : Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) uygulama yöntemlerinin taşların su emme özelliği üzerindeki etkileri.

Sağlamlaştırıcı + Koruyucu Kimyasal (K2)	Ağırlıkça su emme (Sk) (%)	Fırça 1 kat (%)	Fırça 2 kat (%)	Sprey (%)	Daldırma 1 sn. (%)	Daldırma 15 dk. (%)
Karpaz Taşı (KS)	9.09	**0.67**	0.86	3.55	0.79	0.98
Meluşa Taşı (MS)	15.90	2.27	2.36	3.54	**1.91**	2.13
Buri Taşı (BS)	17.50	1.66	1.40	4.54	1.39	**1.10**



Şekil 3.18 : Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2) uygulama yöntemlerinin taşların ağırlıkça su emme değerindeki değişim oranları.

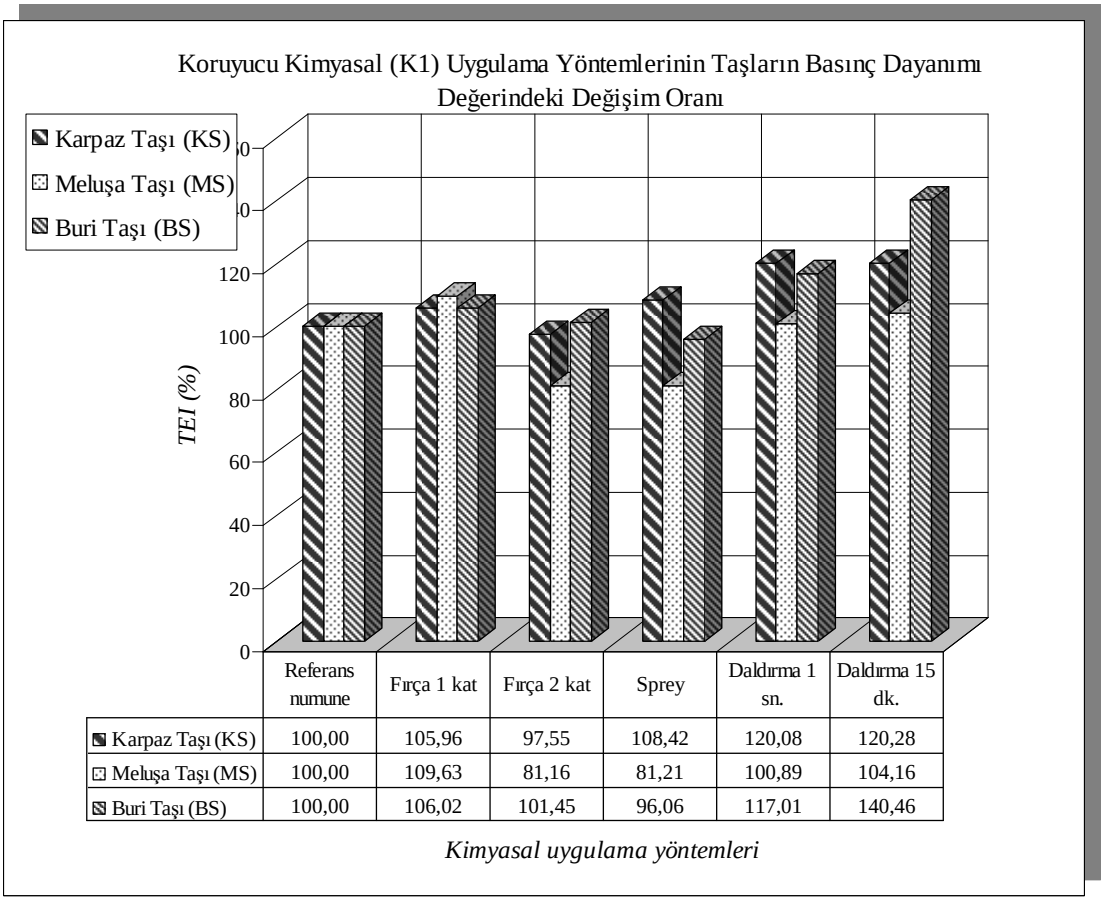
3.4.2 Kimyasal uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı özeliği üzerindeki etkisi

3.4.2.1 Koruyucu kimyasal (K1) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı özelliği üzerindeki etkisi

Kimyasal uygulamanın taşların basınç dayanımını arttırmalı kriterine göre Karpaz taşında fırça 2 kat, Meluşa taşında fırça 2 kat ve sprey, Buri taşında da sprey yöntemi hariç diğer yöntemler başarılı olmuştur (Şekil 3.19). Meluşa taşı için fırça (1 kat), karpaz ve buri taşı için de daldırma (15 dk.) Çizelge 3.6'da görüldüğü gibi en başarılı koruyucu kimyasal uygulama yöntemleridir.

Çizelge 3.6 : Koruyucu kimyasalın (K1) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı özelliği üzerindeki etkileri.

Koruyucu kimyasal (K1)	Basınç dayanımı (MPa)	Fırça 1 kat (MPa)	Fırça 2 kat (MPa)	Sprey (MPa)	Daldırma 1 sn (MPa)	Daldırma 15 dk. (MPa)
Karpaz Taşı (KS)	15.09	15.99	14.72	16.36	18.12	**18.15**
Meluşa Taşı (MS)	19.00	**20.93**	15.42	15.43	19.17	19.79
Buri Taşı (BS)	4.82	5.11	4.89	4.63	5.64	**6.77**



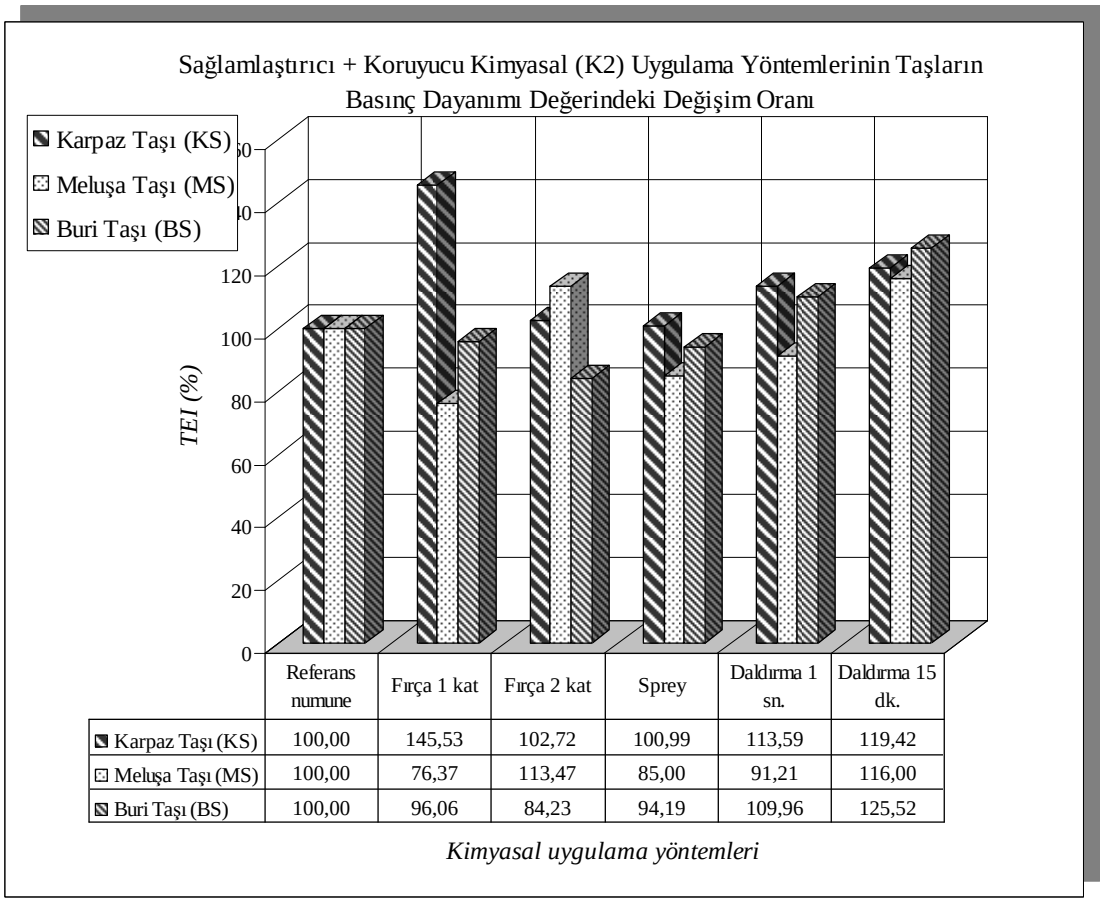
Şekil 3.19 : Koruyucu kimyasal (K1) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı değerindeki değişim oranları.

3.4.2.2 Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı özelliği üzerindeki etkisi

Kimyasal uygulamanın taşların basınç dayanımını arttırmalı kriterine göre Meluşa taşında fırça (1 kat), sprey ve daldırma (1 sn.), Buri taşında da fırça (1 kat), fırça (2 kat) ve sprey yöntemleri hariç diğer yöntemler başarılı olmuştur (Şekil 3.20). Karpaz taşı için fırça (1 kat), Meluşa ve Buri taşı için de daldırma (15 dk.) Çizelge 3.7'de görüldüğü gibi en başarılı sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal uygulama yöntemleridir.

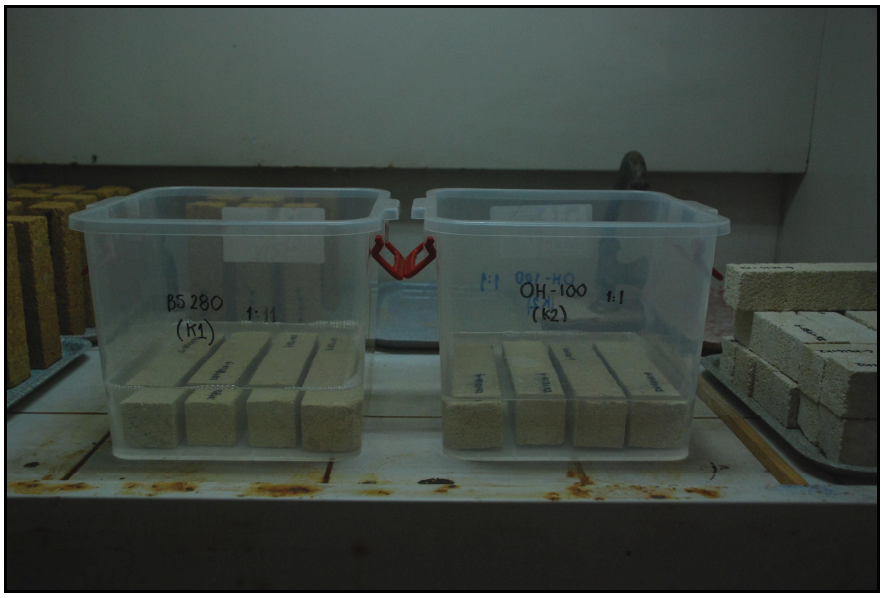
Çizelge 3.7 : Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı özelliği üzerindeki etkileri.

Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2)	Basınç dayanımı (MPa)	Fırça 1 kat (MPa)	Fırça 2 kat (MPa)	Sprey (MPa)	Daldırma 1 sn (MPa)	Daldırma 15 dk. (MPa)
Karpaz Taşı (KS)	15.09	**21.96**	15.50	15.24	17.14	18.02
Meluşa Taşı (MS)	19.00	14.51	21.56	16.15	17.33	**22.04**
Buri Taşı (BS)	4.82	4.63	4.06	4.54	5.30	**6.05**



Şekil 3.20 : Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2) uygulama yöntemlerinin taşların basınç dayanımı değerindeki değişim oranları.

Üretici firmadan alınan bilgiler doğrultusunda, yapılan öndeneyler sonucunda seçilen yöntem, üç taş tipinde de başarılı olan ***daldırma (15 dakika)*** yöntemidir (Şekil 3.21 ve Şekil 3.22).



Şekil 3.21 : Kimyasalların daldırma (15 dk.) yöntemi ile uygulanması.



Şekil 3.22 : Kimyasalların daldırma (15 dk.) yöntemi ile uygulanması.

Daldırma yönteminde izlenen yöntem:

- **Koruyucu (K1) kimyasalın uygulaması:** Yapılan öndeneyler ve üretici firmanın verdiği teknik bilgiler doğrultusunda numuneler 15 dakika SILRES BS 280 kimyasalında bırakıldıktan sonra 4 hafta 20 ^{0}C ve %50 bağıl nem ortamında polimerizasyon için bekletilerek deneylere hazır hale getirilmiştir.
- **Sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2) kimyasalların uygulaması:** Yapılan öndeneyler ve üretici firmanın verdiği teknik bilgiler doğrultusunda numuneler 15 dakika SILRES OH 100 sağlamlaştırıcı kimyasalında

bırakıldıktan sonra 2 hafta 20 ^{0}C ve %50 bağıl nem ortamında bekletilmiştir. Daha sonra 15 dakika koruyucu kimyasal (SILRES BS 280) çözeltilerinde bekletilmiş ve sonra tekrar 20 ^{0}C ve %50 bağıl nem ortamında 2 hafta daha bekletilerek toplam 4 hafta sonunda deneylere hazır hale getirilmiştir.

K1 ve K2 kimyasal uygulama yöntemlerinin, Karpaz taşı (KS), Meluşa taşı (MS) ve Buri taşı (BS), numunelerinde bulunan tüketim miktarları Çizelge 3.8'de özet olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 : Kimyasal uygulama yöntemlerine gore numunelerde bulunan tüketim miktarları.

Taş Tipi	**KS**	**MS**	**BS**	**KS**	**MS**	**BS**
Kimyasal Tipi	K1 (Koruyucu)			K2 (Sağlamlaştırıcı + Koruyucu)		
Tüketim miktarı (kg/m2) **Fırça (1 kat)**	0.16	0.11	0.24	0.22	0.18	0.28
Tüketim miktarı (kg/m2) **Fırça (2 kat)**	0.24	0.21	0.31	0.29	0.28	0.39
Tüketim miktarı (kg/m2) **Sprey**	0.04	0.02	0.11	0.09	0.06	0.18
Tüketim miktarı (kg/m2) **Daldırma (1 sn.)**	0.52	0.31	0.62	0.86	0.63	1.07
Tüketim miktarı (kg/m2) **Daldırma (15 dk.)**	0.89	0.48	0.99	1.16	0.92	1.55
Ortam T^0/RH (%)	20^{0}C/60					

Kimyasalların tüketim miktarı, numunelerin ağırlık artışına göre numunenin sürülen yüzey alanlarının toplamına bölünerek bulunmuştur. Tabloda görüldüğü gibi her üç taş tipinde daldırma (15 dk.) yöntemi ile uygulanan kimyasalların tüketim miktarları en fazla bulunmuştur. Bu fazlalık kimyasalların taşlara daha fazla nüfuz ettiğini göstermektedir. Dolayısıyla öndeneyler sonucunda seçilen daldırma (15 dk.) yöntemi tabloda görüldüğü gibi diğer yöntemlere göre en etkili kimyasal uygulama yöntemidir.

3.5 Taşların Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamındaki Karpaz taşı, Meluşa taşı ve Buri taşının özelliklerinin belirlenmesi için laboratuar ortamında yapılan deneyler kimyasal analiz, mineralojik ve petrografik analiz, fiziksel ve mekanik özellik deneyleridir. Deney grupları içinde yapılan alt deneyler ve izlenen yöntem Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

3.5.1 Taşların kimyasal analiz sonuçları

Karpaz taşı, Meluşa taşı ve Buri taşından hazırlanan numunelerde, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Merkezi'nde XRF (XRF - X-ray Fluoresant Spectometer) yöntemi ile yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 : Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarının kimyasal analizlerinin sonuçları.

Taş Tipi	CaO (%)	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)	CuO (%)	Al_2O_3 (%)	SO_3 (%)	P_2O_5 (%)	Cr_2O_3 (%)	SrO (%)	K_2O (%)	Cl (%)	TiO_2 (%)	Na_2O (%)	ZnO (%)
Karpaz Taşı (KS)	94,45	0,99	0,63	1,75	0,85	0,42	0,18	0,21	0,14	0,16	0,01	0,10	0,01	0,02	0,03
Meluşa Taşı (MS)	87,40	5,86	1,44	0,90	0,86	2,07	0,19	0,32	0,17	0,24	0,23	0,09	0,10	0,02	0,04
Buri Taşı (BS)	91,67	2,18	2,82	1,03	0,85	0,58	0,14	0,30	0,14	0,12	0,01	0,09	0,02	0,02	0,03

Kimyasal analizler sonucunda her üç taşın da kalsiyum oranı yüksek bulunmuştur. Her üç taş tipinin de yaklaşık olarak % 90 kalsiyum karbonat içerdiği için **kireçtaşı** olduğu tespit edilmiştir.

3.5.2 Taşların minerolojik ve petrografik analizleri

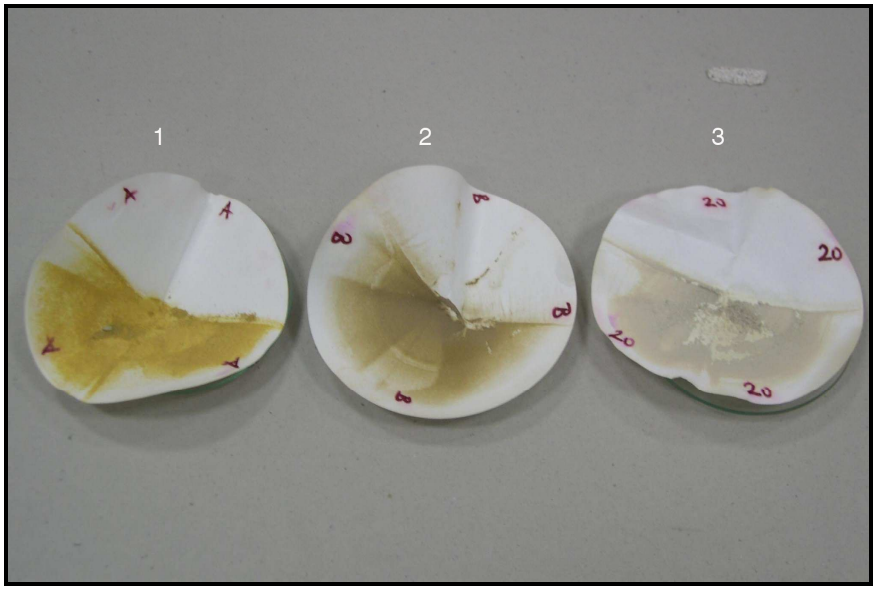
Karbonat Analizi

Kimyasal bileşiminde en az %90 kalsiyum karbonat içeren kireçtaşları hidrolik asitte (HCl) köpürerek çözünür ve karbondioksit (CO_2) çıkarır. Bu, kalkeri diğer taşlardan ayıran en belirgin özelliğidir. $CaCO_3 + 2\ HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$

Araştırmada kullanılan 3 tip Karpaz taşı, Meluşa taşı ve Buri taşları üzerinde bu test uygulanmıştır. Böylece taşların tipleri belirlenmiştir.

Deneyde kullanılan numuneler 1 gün 60 ^{0}C etüvde kuru kütleye gelinceye kadar bekletildikten sonra 1 saat desikatörde bekletilmiştir. Desikatörden alınan taşlardan alınan örnekler havanda dövülüp toz haline getirilmiştir. Her taş örneği için 3 gr. malzeme ayrı ayrı silindir kaplara koyulup ağırlıkları ölçülmüştür. Numunelerin ağırlıkları ölçüldükten sonra % 10 çözünürlükte hazırlanan HCl çözeltisi numunelere damlatılmıştır. Bütün numunelerde köpürme oluşumu ve beyaz gaz kabarcıkları gözlemlenmiştir. Malzemeler ayrı ayrı beherlere alınıp HCl çözeltisi köpürme durana

kadar numunelere damlatılmıştır. Köpürme durunca HCl çözeltisinde çözülmeyen mineraller kağıt filtreye alınıp ağırlıkları ölçülmüştür (Şekil 3.23).



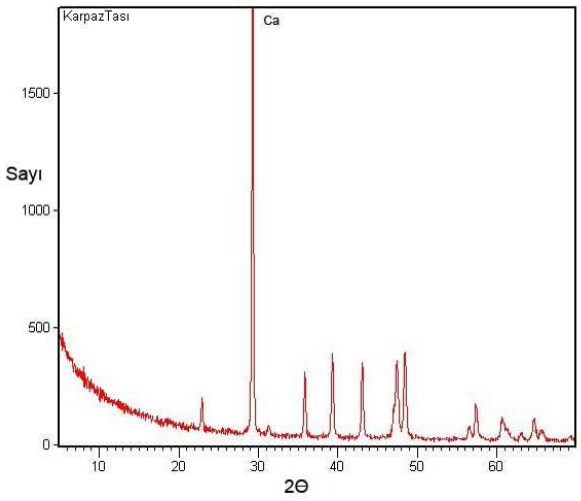
Şekil 3.23 : Kağıt filtrede kalan mineraller.

Böylece HCl çözeltisinde çözülen malzeme ağırlığının toplam taş ağırlığına oranı olan malzemelerin yaklaşık kalsiyum karbonat yüzdesi bulunmuştur (Çizelge 3.10).

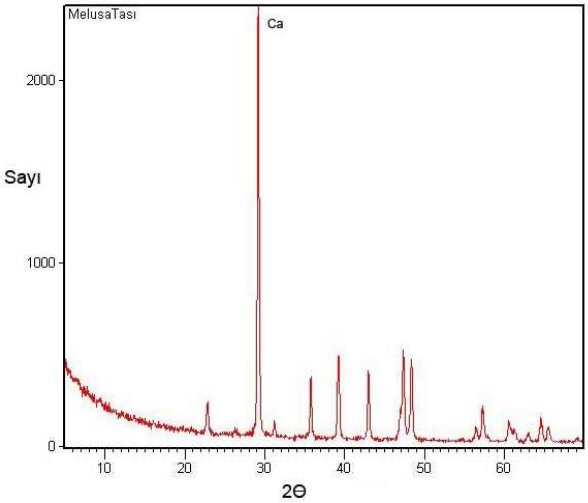
Çizelge 3.10 : Taşların kalsiyum karbonat yüzdesi.

Taş Cinsi	1- Karpaz Taşı (KS)	2- Meluşa Taşı (MS)	3- Buri Taşı (BS)
Taşın Kalsiyum Karbonat ($CaCO_3$) Oranı (%)	**89.2**	**91.7**	**88.8**

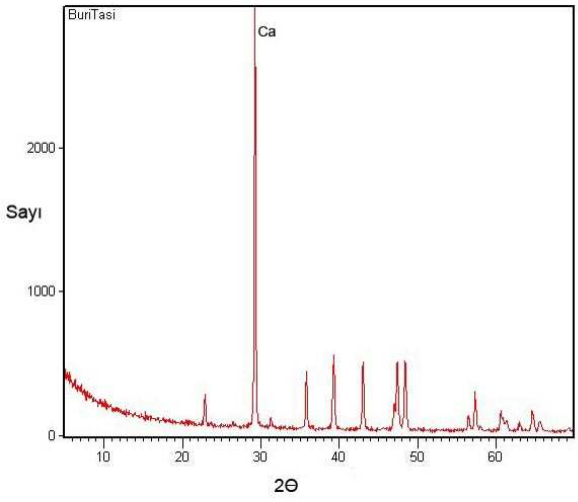
Araştırmada kullanılan taş örneklerinin mineral tipleri ve oranları benzer bulunmuştur. Taşların tümünde, yüksek oranda kalsit mineraline rastlanmıştır. Bu sonuç X-ışını kırılımı (XRD-X ray diffraction) analizlerinin sonuçları ile desteklenmiştir (Şekil 3.24 – Şekil 3.26). Grafiklerde kalsit mineralinin pikinin belirgin olarak çıkması, kristal yapının düzgün olduğunu göstermektedir. Bu taşlarda kalsitin bol miktarda bulunması nedeniyle bu taşlar jeolojik olarak kireçtaşı olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 3.24 : Karpaz taşının (KS) XRD grafiği.



Şekil 3.25 : Meluşa taşının (MS) XRD grafiği.



Şekil 3.26 : Buri taşının (BS) XRD grafiği.

3.5.3 Taşların fiziksel özellikleri

Kuzey Kıbrıs'ta Karpaz taş ocağından alınan Karpaz taşı, Erdemli taş ocağından alınan Meluşa taşı ve Alayköy taş ocağından alınan Buri taşlarından hazırlanan numunelerde, kılcal su emme, atmosfer basıncı altında su emme, özgül kütle, birim hacim kütle ve su buharı geçirimlilik (difüzyonu) direnç faktörü deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları toplu olarak Çizelge 3.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 : Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarının fiziksel özellik deney sonuçları.

Numune	**Kılcallık katsayısı** N (10^{-3}) (cm^2/san)	**Kütlece su emme oranı** Sk (%)	**Hacimce su emme oranı** Sh (%)	**Birim hacim kütlesi** dh (g/cm^3)	**Özgül kütle** do (g/cm^3)	**Gözeneklilik derecesi** p (%)	**Su buharı difüzyonu direnç faktörü** μ (-)	**Doyma derecesi** D (%)
Karpaz Taşı	1.12	9.09	16.85	1.868	2.72	31	9	54
Meluşa Taşı	0.36	15.90	23.43	1.477	2.41	39	11	60
Buri Taşı	3.16	17.50	27.16	1.554	2.64	42	23	65

3.5.3.1 Birim hacim kütle tayini

Deney TS 699 standardı esas alınarak yapılmıştır. Yapılan deneyde numuneler 105 ^{0}C'ye kadar ısıtılmış etüvde değişmez kütleye kadar kurutulmuştur. Daha sonra desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuş olan numuneler, 0,1 gr. hassasiyetle tartılmıştır (Gk). Numunenin hacmi, suya doymuş ağırlık ve su içindeki ağırlığın farkına göre 3.1 numaralı bağıntı yardımı ile bulunmuştur.

$$dh = Gk / V \quad (g/cm^3) \qquad \textbf{(3.1)}$$

Bağıntıda;

Gk: Numunenin kuru kütlesi (g)

V: Numunenin hacmi (cm^3)

dh: Birim hacim kütle (g/cm^3)'dir.

3.5.3.2 Özgül kütle tayini

Deney, TS 699 standardına uygun olarak yapılmıştır. Özgül kütle, 90μ elekten elenmiş toz numune ve damıtılmış su içeren piknometre yardımı ile 3.2 numaralı bağıntı kullanılarak bulunmuştur.

$$do = Gk / V \quad (g/cm^3) \qquad \textbf{(3.2)}$$

Gk: Numunenin kuru kütlesi (g)

V: Numunenin hacmi (cm^3)

do: Özgül kütle (g/cm^3)'dir.

3.5.3.3 Gözeneklilik ve sıkılık derecesi tayini

Birim hacim kütlesi ve özgül kütlesi deneysel yolla tesbit edilmiş taşlarda, gözeneklilik derecesinin belirlenmesi aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanmıştır:

$P = ((1- (dh/do)) \times 100$ (%)

Sıkılık derecesinin değeri ise şu bağıntıyla hesaplanmıştır:

$K = 100 - P$ (%)

3.5.3.4 Kılcal yolla su emme tayini

Kılcal su emme tayini TS EN 1925 ve ASTM C 568-79 standartlarına göre yapılmıştır. Numuneler, kare tabanlarından damıtılmış suyla temas edecek şekilde yerleştirilmişlerdir (Şekil 3.27). Yalnızca alt yüzeyleri su ile temas eden numunelerin, bir kronometre yardımıyla süre tutulup 1'den 13'e kadar her dakikanın katları şeklinde bir zaman diliminde tartımı yapılmış ve 3.3 numaralı bağıntı yardımı ile kılcallık katsayısı bulunmuştur. Deney boyunca su seviyesinin sabit tutulmasına dikkat edilmiştir.

$$N = \frac{(m_1 - m_0)^2}{A^2 \, x \, t} \qquad (cm^2/sn) \qquad \textbf{(3.3)}$$

N = Kılcallık katsayısı (cm^2 / san)

m_0 = Numunelerin ilk ağırlıkları (cm^3)

m_1 = Numunelerin belli bir zaman dilimi sonunda ağırlıkları (cm^3)

A = Numunelerin su ile temas eden taban alanları (cm^2)

t = Numunelerin su ile temas süresi (sn)



Şekil 3.27 : Kılcal yolla su emme tayini deneyinin yapılışı.

3.5.3.5 Atmosfer basıncı altında su emme oranı tayini

Kapiler su emme deneyinden sonra aynı numunelere TS 699 uyarınca atmosfer basıncı altında su emme deneyi uygulanmıştır. Numuneler suda doygun hale gelinceye kadar bekletildikten sonra 0,1 gr hassasiyetle tartılmıştır. Bu işlemden sonra Arşimet terazisinde su içinde tartılmış ve 3.4 ve 3.5 numaralı bağıntılar ile kütlece ve hacimce su emme oranları hesaplanmıştır. Şekil 3.28'de deney düzeneği ve yapılışı görüntülenmiştir.

Kütlece Su Emme Oranı:

$$Sk = \frac{Gd - Gk}{Gk} \cdot 100 \quad (\%) \qquad \textbf{(3.4)}$$

Hacimce Su Emme Oranı:

$$Sh = \frac{Gd - Gk}{Gd - Gds} \cdot 100 \quad (\%) \qquad \textbf{(3.5)}$$

Bağıntıda;

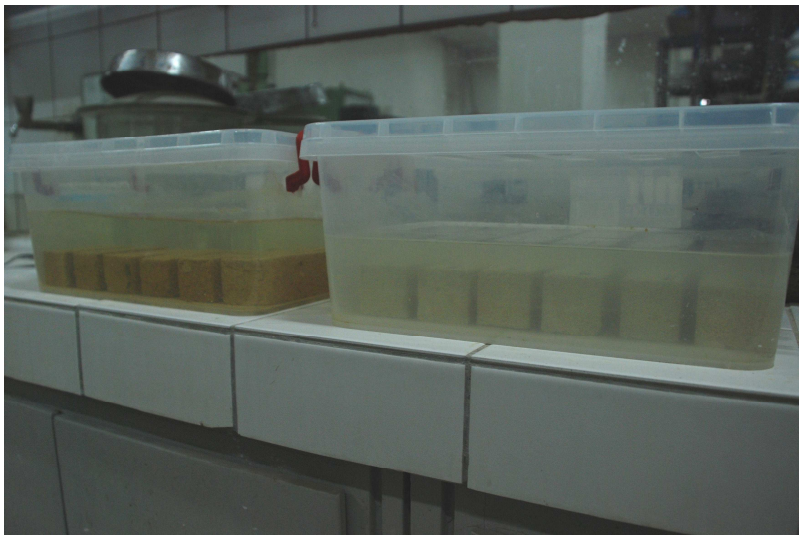
Gd: Suya doymuş kütle (g)

Gk: Kuru kütle (g)

Gds: Su içinde kütle (g)

Sk: Kütlece su emme oranı (%)

Sh: Hacimce su emme oranı (%)'dır.



Şekil 3.28 : Su emme tayini deneyinin yapılışı.

3.5.3.6 Su buharı geçirgenlik direnç faktörü tayini

Su buharı geçirgenlik deneyi, DIN 52615 standardında tanımlanan kuru kap yöntemine göre yapılmıştır. Deneyde su emici malzeme olarak $CaCl_2$ kullanılmıştır. 70x70x10 mm'lik numuneler kullanılmıştır. Bu deney, 20-23^{0}C sıcaklıkta ve % 91-92 bağıl nemde sabitlenen desikatör ortamında yapılmış, numunelerin ağırlık değişimleri her gün aynı saatte ve 5 haneli hassas tartı yardımıyla ölçülmüştür. Bu deney 10 gün sürdürülmüştür ve buna göre örneklerin 3.6 ve 3.7 numaralı bağıntılar yardımıyla su buharı geçirgenlik direnç katsayısı (μ) hesaplanmıştır. Bağıntıdaki, büyük parantez içinde yer alan bölümden elde edilen değer, su buharı difüzyonu bakımından eşdeğer hava tabakası kalınlığını metre cinsinden ifade etmektedir. Şekil 3.29'da deney düzeneği ve yapılışı görülmektedir:

$$\mu = 1/d\ [(E_H x\ A\ x\ [(P_1 - P_2) / G] - d_H)]\ (-) \qquad \textbf{(3.6)}$$

Bağıntıda;

μ: su buharı difüzyonu direnç faktörü (-)

d: Numunenin kalınlığı (m)

E_H: Havanın su buharı iletkenliği (kg/mh (N/m^2))

A: Numunenin alanı (m^2)

P_1 ve P_2: Numunen iki tarafındaki gerçek (kısmi) su buharı basıncı (N/m^2)

G: Kararlı koşullarda numuneden geçen su buharı miktarı (kg/h)

d_H: Numune altında kalan havanın kalınlığı (m)

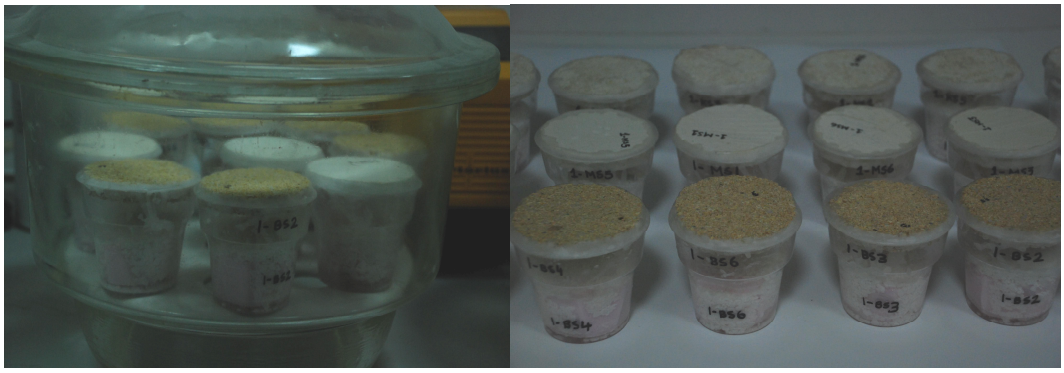
$$E_H := (0{,}083 / R_B\ x\ T)\ x\ (Po/Ph)\ x\ (T/273)^{1.81} \qquad \textbf{(3.7)}$$

Bağıntıda;

T: Sıcaklık (°K)

Ph: Klima odasının deney sırasındaki ortalama hava basıncı (N/m^2)

Po: Normal atmosfer basıncı (N/m^2)' dır.



Şekil 3.29 : Su buharı geçirgenlik tayini deneyinin yapılışı.

3.5.3.7 Doyma derecesinin hesaplanması

Doyma derecesi cismin toplam boşluklarının ne oranda su ile dolduğunu gösterir. Boşlukların bazıları dışarıya açık, bazıları ise dışarıya kapalıdır ve su emme deneyinde içine su almaz. Malzemelerin doyma derecesi 3.8 numaralı bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$D = Sh / p \qquad \textbf{(3.8)}$$

Bağıntıda;

D: Doyma derecesi (%)

Sh: Hacimce su emme oranı (%)

p: Boşluk oranı

dir.

3.5.4 Taşların mekanik özellikleri

Mekanik özellik tayini için; tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı (MPa), basınç dayanımı deneyi (MPa), dinamik elastiklik modülü tayini deneyi (MPa) deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde TS 699 standardından yararlanılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 3.12'de toplu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 : Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarının mekanik özellik deney sonuçları.

Numune	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)	Dinamik E-Modülü E (kN/mm2)
Karpaz Taşı	2.98	6.09	15.16	3.64
Meluşa Taşı	2.77	6.13	22.91	3.15
Buri Taşı	2.49	2.50	4.83	2.79

3.5.4.1 Tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı

Eğilmede çekme dayanımını belirlemek için Form + Test Seidner marka pres yardımı ile TS 699' a uygun olarak orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile eğilmede çekme tayini deneyi yapılmıştır. Bu çalışmada mesnetler arası mesafe 100 mm alınmıştır. 4 x 4 x 16 cm boyutlarındaki deney numunesi, mesnetler üzerine ortalanacak şekilde yerleştirilmiştir. Kırılmanın olduğu andaki P yükü presin göstergesinden okunmuştur. Okunan P yükü, 3.9 numaralı bağıntıda yerine konarak eğilme dayanımı hesaplanmıştır. Şekil 3.30'da deney düzeneği ve yapılışı görülmektedir.

$$\sigma_{eğ} = 3/2 ((Pk \times l) / (b \times h^2)) \quad \textbf{(3.9)}$$

Bağıntıda;

$\sigma_{eğ}$: Eğilme dayanımı, (N/mm^2)

Pk: Deney presinden okunan kırılma anındaki yük, (N)

l: Yükleme tablası mesnetleri arası açıklık, (100 mm)

b: Kırılma kesitinin genişliği, (40 mm)

h: Kırılma kesitinin yüksekliği, (mm)'dir.



Şekil 3.30 : Tek eksenli yük altında eğilmede çekme dayanımı deneyinin yapılışı.

3.5.4.2 Tek eksenli yük altında basınç dayanımı deneyi

Eğilmede çekme deneyi uygulandıktan sonra ikiye bölünen numunelerde, Form + Test Seidner marka pres yardımı ile basınç dayanımı tayini deneyi yapılmıştır. Her bir yarım numune deney presinin yükleme başlıkları arasına yerleştirilerek yük uygulanmıştır. Yüklemeye sabit bir hızla ve darbe etkisi yapmayacak şekilde numune kırılıncaya kadar devam edilmiş ve kırılmanın olduğu anda, deney presinin gösterdiği en büyük yük kaydedilmiştir. Bu değer kırılma yükü (Pk) değerini vermektedir. Newton cinsinden Pk değeri 3.10 numaralı bağıntıda yerine konularak, deneyi yapılan numunenin dayanabildiği maksimum basınç mukavemeti bulunmuştur. Şekil 3.31'de deney düzeneği ve yapılışı görüntülenmiştir.

$$\sigma = Pk / A \qquad \textbf{(3.10)}$$

Bağıntıda;

σ : Basınç dayanımı, (N/mm^2)

Pk: Deney presinden okunan kırılma anındaki yük, (N)

A: Yüklemenin yapıldığı kesit alanı, (mm^2)'dır.



Şekil 3.31 : Tek eksenli yük altında basınç dayanımı deneyinin yapılışı.

3.5.4.3 Ultrases hızı tayini

Ultrases hızlarının belirlenmesi için WTW DIGI EG-C2 modeli ultrases cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile numunelerin iki ucuna cihazın alıcı ve verici probları yerleştirilerek ses geçiş süresi (T, µsn) ölçülmüş, numunelerin uzunlukları dikkate alınarak 3.11 numaralı bağıntı yardımı ile ses geçiş hızları (Vo) hesaplanmıştır. Bu deneyde TS EN 114579 standardından yararlanılmıştır.

$$Vo = L / T \qquad \textbf{(3.11)}$$

Bağıntıda;

Vo: Ultrases hızı, (km/sn)

L: Numunenin uzunluğu, (mm)

T: Zaman, (sn)'

dır.

3.5.4.4 Dinamik elastiklik modülü tayini

Ultrases hızları ile numunelerin yoğunluk değerleri kullanılarak 3.12 numaralı bağıntı ile dinamik elastiklik modülü değerleri hesaplanmıştır. Bu deneyde TS EN 14146 numaralı standarttan yararlanılmıştır.

$$E = [(Vo^2 \times do)/g] \times 10^3 \quad (N/mm^2) \qquad \textbf{(3.12)}$$

Vo: Ultrases hızı (km/sn)

do : Yoğunluk (g/cm^3)

g : yerçekimi ivmesi (m/sn^2)

3.6 Kimyasal Uygulanmış ve Uygulanmamış Taşların Dürabilite Deneyleri

Çalışma kapsamındaki taşların performanslarını, dayanıklılığını ve hizmet ömürlerini belirlemek amacıyla taşlar eskitme deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca, taşların performansının arttırılması için kullanılan kimyasalların taşların durabilitesi üzerindeki etkinlik düzeylerinin saptanması için ASTM E-2167 standardında da yapılması önerilen eskitme deneyleri yapılmıştır.

Laboratuar ortamında uygulanan **ıslanma-kuruma, donma-çözülme, tuz kristallenmesi, uv ışını etkilerine ve nemli ortamda SO_2 buharına dayanıklılık** gibi hızlandırılmış eskitme deneyleri, kimyasal uygulanan ve uygulanmayan numunelerde karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Eskitme deneylerinden bozulmadan çıkan numunelerde tekrar su emme, kılcallık, ultrases, eğilme ve basınç dayanımı gibi kontrol deneyleri yapılmış buna göre kimyasal uygulamaların etkinlik faktörleri (TEI, %) ve performans kayıpları değerlendirilmiştir (Şekil 3.12).

3.6.1 Islanma-kuruma etkisine dayanıklılık deneyi ve sonuçları

Islanma-kuruma etkilerine dayanıklılık deneyi için kimyasal sürülen ve sürülmeyen numuneler ASTM D 5313-04 standardı uyarınca eskitilmiştir. Standart, ıslanma-kuruma çevrimini 12 saat suda, minimum 6 saat 60^0C'lik etüvde bekletme şeklinde belirtilmesine rağmen, eskitme deneylerinin Kıbrıs iklim koşulları da gözönünde bulundurularak daha etkili olması için, çevrim **24 saat 20^0C'lik damıtılmış su içinde, 18 saat 100^0C'lik etüvde** kurutulma şeklinde yapılmıştır. 30 çevrim yapılmış, bir ıslanma-kuruma bir çevrim kabul edilmiştir. Şekil 3.32'de damıtılmış su içinde bekleyen numuneler görülmektedir. Islanma-kuruma çevrimleri sırasında 1, 3, 5, 8, 11, 15, 19, 23, 26, 29. çevrimlerde numunelerin ağırlık değişim oranları hesaplanmıştır. Islanma-kuruma etkilerine dayanıklık deneyi sonunda bozulmadan çıkan numunelere Şekil 3.11'de belirtilen deneyler uygulanmış ve sonuçları Çizelge 3.13 , 3.14 ve 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.32 : Islanma-kuruma deneyi sırasında suda bekleyen numuneler.

Çizelge 3.13 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Karpaz taşının ıslanma-kuruma etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune Karpaz Taşı (KS)	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- IK	2.22	10.70	1.823	9.53	2.66	4.54	12.03
3KS - IK - IK	0.63	8.98	1.914	-	2.67	5.86	11.96
4KS - IK -K1	0.00029	0.80	1.764	-	3.11	6.28	17.74
4KS - IK -K2	0.00031	0.94	1.798	-	3.07	6.15	17.86
5KS - IK -K1- IK	0.00275	1.67	1.803	-	2.60	5.33	12.46
5KS - IK -K2- IK	0.00636	1.74	1.949	-	2.73	5.95	13.58
6KS - K1	0.00023	1.02	1.916	8.60	3.17	6.24	18.17
6KS - K2	0.00148	1.10	1.863	8.15	3.26	6.83	18.29
7KS - K1 - IK	0.00375	3.02	1.883	-	2.91	6.45	14.19
7KS - K2 - IK	0.00197	2.38	1.860	-	2.94	6.15	17.79
8KS - K1 - IK - IK	0.00395	2.39	1.835	-	2.65	4.88	14.09
8KS - K2 - IK - IK	0.00221	1.67	1.943	-	2.76	6.48	14.23

Çizelge 3.14 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Meluşa taşının ıslanma-kuruma etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune Meluşa Taşı (MS)	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- IK	0.30	16.50	1.449	11.44	2.61	4.83	17.12
3MS - IK - IK	0.35	16.39	1.506	-	2.68	5.51	16.88
4MS - IK -K1	0.0096	0.99	1.491	-	2.58	5.45	18.96
4MS - IK -K2	0.0048	1.45	1.487	-	2.79	6.02	19.98
5MS - IK -K1- IK	0.031	1.92	1.586	-	2.47	5.19	18.37
5MS - IK -K2- IK	0.030	2.91	1.508	-	2.53	5.33	18.16
6MS - K1	0.011	2.09	1.475	9.89	2.80	5.98	19.79
6MS - K2	0.0096	1.13	1.489	10.54	2.86	6.26	23.86
7MS - K1 - IK	0.0049	1.81	1.503	-	2.86	6.15	19.81
7MS - K2 - IK	0.0025	1.48	1.460	-	2.74	6.42	19.40
8MS - K1 - IK - IK	0.039	2.23	1.477	-	2.37	6.29	18.63
8MS - K2 - IK - IK	0.029	1.61	1.468	-	2.40	6.05	19.16

Çizelge 3.15 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Buri taşının ıslanma-kuruma etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune **Buri Taşı (BS)**	**Kılcallık katsayısı** N (cm^2/san)	**Kütlece su emme oranı** Sk (%)	**Birim hacim kütle** dh (g/cm^3)	**Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı** μ (-)	**Ultrases Hızı** Vo (km/sn)	**Eğilmede Çekme Dayanımı** $\sigma_{eğ}$ (MPa)	**Basınç Dayanımı** σ_{bas} (MPa)
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- IK	4.83	17.15	1.592	23.41	2.55	2.78	6.11
3BS - IK - IK	2.41	15.09	1.667	-	2.22	2.14	5.08
4BS - IK -K1	0.00028	0.87	1.593	-	2.41	2.87	6.84
4BS - IK -K2	0.00031	1.41	1.621	-	2.48	2.71	6.71
5BS - IK -K1- IK	0.0030	2.07	1.601	-	2.25	3.05	5.99
5BS - IK -K2- IK	0.0076	2.97	1.624	-	2.26	3.13	6.54
6BS - K1	0.0015	1.63	1.597	21.71	2.59	2.75	7.53
6BS - K2	0.0039	1.41	1.663	21.94	2.62	2.90	6.33
7BS - K1 - IK	0.00073	2.17	1.581	-	2.48	2.99	5.13
7BS - K2 - IK	0.0051	2.43	1.606	-	2.50	3.02	6.25
8BS - K1 - IK - IK	0.0019	2.01	1.594	-	2.19	2.89	6.95
8BS - K2 - IK - IK	0.0042	2.41	1.512	-	2.16	2.54	6.65

3.6.2 Donma-çözülme etkisine dayanıklılık deneyi ve sonuçları

Donma-çözülme etkilerine dayanıklık deneyinde, kimyasal sürülen ve sürülmeyen numunelere **6 saat 20^0C'lik damıtılmış su içinde, 18 saat -20^0C'lik dondurucuda tutulması** şeklinde 30 çevrim yapılmıştır. Deneye başlamadan önce numuneler 48 saat suya doyurulmuş, su içindeki ağırlıkları tartıldıktan sonra deneye başlanmıştır. Deneyler ASTM D 5312-04 ve TS EN 12371 standartları uyarınca gerçekleştirilmiştir. Donma-çözülme çevrimleri sırasında 1, 3, 5, 8, 11, 15, 19, 23, 26, 29. çevrimlerde numunelerin ağırlık değişim oranları hesaplanmıştır. Donma-çözülme etkilerine dayanıklık deneyleri sonunda, her üç taş tipinde de mekanik deneylerden önce numuneler üzerinde su emme, kılcallık katsayısı ve ultrases hızı deneyleri yapılmış ve sonuçlar önceki değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu değerler Karpaz taşı için Çizelge 3.16'da, Meluşa taşı için Çizelge 3.17'de ve Buri taşı için Çizelge 3.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.16 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Karpaz taşının donma – çözülme etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune Karpaz Taşı (KS)	Kılcallık katsayısı N (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- DC	1.94	10.94	1.851	9.66	2.78	5.10	12.43
3KS - DC - DC	1.30	10.18	1.859	-	2.70	6.33	10.20
4KS - DC -K1	0.00040	0.50	1.879	-	2.98	6.05	18.02
4KS - DC -K2	0.00058	0.68	1.905	-	2.92	6.13	17.65
5KS - DC -K1- DC	0.00051	1.57	1.866	-	2.67	5.51	11.98
5KS - DC -K2- DC	0.00046	1.86	1.918	-	2.76	6.83	13.82
6KS - K1	0.00023	1.02	1.916	8.15	3.17	6.24	18.17
6KS - K2	0.0015	1.10	1.863	8.60	3.26	6.83	18.29
7KS - K1 - DC	0.0040	4.03	1.824	-	2.74	4.07	16.29
7KS - K2 - DC	0.0013	2.21	1.829	-	2.93	6.65	17.74
8KS - K1 - DC - DC	0.013	3.75	1.968	-	2.87	6.80	13.36
8KS - K2 - DC - DC	0.00064	2.11	1.838	-	2.81	6.88	13.05

Çizelge 3.17 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Meluşa taşının donma – çözülme etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune Meluşa Taşı (MS)	Kılcallık katsayısı N (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- DC	0.33	17.69	1.471	11.20	2.61	4.95	18.83
3MS - DC - DC	0.15	15.95	1.525	-	2.44	5.63	14.40
4MS - DC -K1	0.0008	2.22	1.491	-	2.68	5.25	20.12
4MS - DC -K2	0.0012	2.97	1.532	-	2.64	5.94	22.21
5MS - DC -K1- DC	0.00016	2.07	1.523	-	2.38	4.78	14.51
5MS - DC -K2- DC	0.00016	2.15	1.501	-	2.49	5.77	21.10
6MS - K1	0.0011	2.09	1.475	9.89	2.80	5.98	19.79
6MS - K2	0.0096	1.13	1.489	10.54	2.86	6.26	23.86
7MS - K1 - DC	0.026	2.25	1.511	-	2.69	4.07	20.74
7MS - K2 - DC	0.027	1.97	1.475	-	2.65	4.75	22.45
8MS - K1 - DC - DC	0.00013	3.26	1.478	-	2.46	4.53	16.53
8MS - K2 - DC - DC	0.00010	1.87	1.525	-	2.37	4.14	15.57

Çizelge 3.18 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Buri taşının donma - çözülme etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune **Buri Taşı (BS)**	**Kılcallık katsayısı** N (cm^2/san)	**Kütlece su emme oranı** Sk (%)	**Birim hacim kütle** dh (g/cm^3)	**Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı** μ (-)	**Ultrases Hızı** Vo (km/sn)	**Eğilmede Çekme Dayanımı** $\sigma_{eğ}$ (MPa)	**Basınç Dayanımı** σ_{bas} (MPa)
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- DC	3.24	18.70	1.588	23.35	2.41	2.46	4.85
3BS - DC - DC	4.56	20.85	1.509	-	2.05	1.76	3.06
4BS - DC -K1	0.00072	1.50	1.543	-	2.36	2.69	6.09
4BS - DC -K2	0.00046	1.52	1.626	-	2.42	2.76	6.11
5BS - DC -K1- DC	0.00072	3.01	1.541	-	2.22	2.81	3.98
5BS - DC -K2- DC	0.00098	3.60	1.599	-	2.21	3.13	4.91
6BS - K1	0.0015	1.63	1.597	21.71	2.59	2.75	7.53
6BS - K2	0.0039	1.41	1.663	21.94	2.62	2.90	6.33
7BS - K1 - DC	0.0025	3.13	1.576	-	2.44	2.55	5.12
7BS - K2 - DC	0.0088	3.77	1.613	-	2.52	3.13	6.51
8BS - K1 - DC - DC	0.00074	2.46	1.581	-	2.18	2.62	3.99
8BS - K2 - DC - DC	0.00073	2.87	1.621	-	2.14	3.09	4.55

3.6.3 Tuz kristallenmesi etkisine dayanıklılık deneyi ve sonuçları

Tuz kristallenmesi etkilerine dayanıklık deneyi, kimyasal sürülen ve sürülmeyen numunelerin **6 saat % 14'lük $Na_2SO_4.10H_2O$ çözeltisi içinde, 16 saat 100^0C'lik etüvde ve 2 saat ortamda soğutulması** şeklinde 20 çevrim yapılmıştır. 20.gün sonunda numuneler 1 gün damıtılmış suda bırakılmış ve çeşme suyunda yıkandıktan sonra tartılmıştır. Deneyler TS EN 12370 standardına göre yapılmıştır. Deney sırasında 1, 3, 5, 8, 11, 15, 19. çevrimlerde numunelerin ağırlık değişim oranları hesaplanmıştır. Tuz kristallenmesi etkilerine dayanıklık deneyleri sonunda, bozulmadan çıkan numunelerde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış ve sonuçlar önceki değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu değerler Karpaz taşı için Çizelge 3.19'da, Meluşa taşı için Çizelge 3.20'de ve Buri taşı için Çizelge 3.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.19 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Karpaz taşının tuz kristallenmesi etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune Karpaz Taşı (KS)	Kılcallık katsayısı N (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- TK	1.31	10.02	1.831	-	2.75	3.84	11.23
3KS - TK - TK	-	-	-	-	-	-	-
4KS - TK -K1	0.0010	1.13	1.847	-	3.17	6.24	18.17
4KS - TK -K2	0.00063	1.38	1.949	-	3.26	6.83	18.29
5KS - TK -K1- TK	0.0050	3.04	1.858	-	-	-	-
5KS - TK -K2- TK	0.0075	5.17	1.881	-	-	-	-
6KS - K1	0.00023	1.02	1.916	8.15	3.17	6.24	18.17
6KS - K2	0.0015	1.10	1.863	8.60	3.26	6.83	18.29
7KS - K1 - TK	0.00093	2.77	1.779	-	2.76	6.56	10.12
7KS - K2 - TK	0.0018	2.13	1.810	-	2.65	5.57	10.90
8KS - K1 - TK - TK	0.0060	2.96	1.822	-	2.39	6.12	10.05
8KS - K2 - TK - TK	0.0018	1.93	1.914	-	2.44	5.04	10.28

Çizelge 3.20 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Meluşa taşının tuz kristallenmesi etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune Meluşa Taşı (MS)	Kılcallık katsayısı N (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- TK	0.22	14.50	1.519	-	2.51	5.36	11.93
3MS - TK - TK	-	-	-	-	-	-	-
4MS - TK -K1	-	-	-	-	-	-	-
4MS - TK -K2	-	-	-	-	-	-	-
5MS - TK -K1- TK	-	-	-	-	-	-	-
5MS - TK -K2- TK	-	-	-	-	-	-	-
6MS - K1	0.0110	2.09	1.475	9.89	2.80	5.98	19.79
6MS - K2	0.0096	1.13	1.489	10.54	2.86	6.26	23.86
7MS - K1 - TK	0.0076	2.73	1.486	-	2.64	6.15	18.16
7MS - K2 - TK	0.0068	1.97	1.532	-	2.59	5.36	18.55
8MS - K1 - TK - TK	0.00029	3.02	1.485	-	2.39	5.75	17.97
8MS - K2 - TK - TK	0.00035	2.15	1.571	-	2.28	5.41	17.68

Çizelge 3.21 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Buri taşının tuz kristallenmesi etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune **Buri Taşı (BS)**	**Kılcallık katsayısı** N (cm^2/san)	**Kütlece su emme oranı** Sk (%)	**Birim hacim kütle** dh (g/cm^3)	**Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı** μ (-)	**Ultrases Hızı** Vo (km/sn)	**Eğilmede Çekme Dayanımı** $\sigma_{eğ}$ (MPa)	**Basınç Dayanımı** σ_{bas} (MPa)
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- TK	4.57	18.72	1.581	-	2.30	2.08	4.80
3BS - TK - TK	-	-	-	-	-	-	-
4BS - TK -K1	0.00062	1.66	1.635	-	2.41	2.69	6.54
4BS - TK -K2	0.0011	1.82	1.651	-	2.44	2.84	6.75
5BS - TK -K1- TK	0.0047	3.82	1.616	-	-	-	-
5BS - TK -K2- TK	0.0096	4.52	1.648	-	-	-	-
6BS - K1	0.0015	1.63	1.597	21.71	2.59	2.75	7.53
6BS - K2	0.0039	1.41	1.663	21.94	2.62	2.90	6.33
7BS - K1 - TK	0.00011	4.10	1.594	-	2.22	2.96	5.94
7BS - K2 - TK	0.00022	4.39	1.684	-	2.44	3.22	7.10
8BS - K1 - TK - TK	0.0013	3.08	1.567	-	2.41	2.87	6.11
8BS - K2 - TK - TK	0.00085	2.94	1.638	-	2.52	3.02	6.86

3.6.4 Nemli ortamda SO_2 yıpratmasına karşı dayanıklılık deneyi ve sonuçları

Nemli ortamda SO_2 buharına dayanıklık deneyi, kimyasal sürülen ve sürülmeyen numunelerin **%5 SO_2 içeren H_2SO_3 çözeltisi içinde, desikatörler içinde kapalı bir biçimde, 21 gün tutulması** şeklinde yapılmıştır. Çözelti, kap hacminin her bir 50 litresi için (150 ± 10) ml damıtık veya deiyonize suya (500 ± 10) ml sülfüroz asiti (H_2SO_3) ilave edilerek hazırlanmıştır. Şekil 3.33'de desikatör içinde bekleyen numuneler görülmektedir. Deneye başlamadan önce numuneler 48 saat suya doyurulmuş, su içindeki ağırlıkları tartıldıktan sonra deneye başlanmıştır. Deneyler TS EN 13919 standardı uyarınca gerçekleştirilmiştir. Nemli ortamda SO_2 yıpratmasına karşı dayanıklık deneyleri sonunda, numunelerde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış ve sonuçlar önceki değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu değerler Karpaz taşı için Çizelge 3.22'da, Meluşa taşı için Çizelge 3.23'de ve Buri taşı için Çizelge 3.24'de gösterilmiştir.



Şekil 3.33 : Nemli ortamda SO_2 yıpratmasına karşı desikatör içinde bekleyen numuneler.

Çizelge 3.22 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Karpaz taşının SO_2 yıpratması etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune **Karpaz Taşı (KS)**	**Kılcallık katsayısı** N (cm^2/san)	**Kütlece su emme oranı** Sk (%)	**Birim hacim kütle** dh (g/cm^3)	**Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı** μ (-)	**Ultrases Hızı** Vo (km/sn)	**Eğilmede Çekme Dayanımı** $\sigma_{eğ}$ (MPa)	**Basınç Dayanımı** σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- AS	1.86	10.39	1.791	-	2.95	5.87	14.94
3KS - AS - AS	-	-	-	-	-	-	-
4KS - AS -K1	0.00046	0.98	1.888	-	2.91	5.87	18.09
4KS - AS -K2	0.0032	1.02	1.912	-	2.87	6.45	18.21
5KS - AS -K1- AS	-	-	-	-	-	-	-
5KS - AS -K2- AS	-	-	-	-	-	-	-
6KS - K1	0.00023	1.02	1.916	8.15	3.17	6.24	18.17
6KS - K2	0.0015	1.10	1.863	8.60	3.26	6.83	18.29
7KS - K1 - AS	0.0040	1.75	1.748	-	2.94	5.71	17.10
7KS - K2 - AS	0.0021	2.07	1.816	-	2.93	5.94	17.74
8KS - K1 - AS - AS	-	-	-	-	-	-	-
8KS - K2 - AS - AS	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.23 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Meluşa taşının SO_2 yıpratması etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune Meluşa Taşı (MS)	Kılcallık katsayısı N (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- AS	0.29	16.17	1.504	-	2.98	5.41	18.74
3MS - AS - AS	-	-	-	-	-	-	-
4MS - AS -K1	0.021	1.64	1.502	-	2.79	5.99	19.55
4MS - AS -K2	0.045	1.62	1.511	-	2.92	6.14	20.84
5MS - AS -K1- AS	-	-	-	-	-	-	-
5MS - AS -K2- AS	-	-	-	-	-	-	-
6MS - K1	0.011	2.09	1.475	9.89	2.80	5.98	19.79
6MS - K2	0.0096	1.13	1.489	10.54	2.86	6.26	23.86
7MS - K1 - AS	0.044	2.43	1.506	-	2.99	4.44	20.15
7MS - K2 - AS	0.031	3.24	1.530	-	2.65	4.98	21.12
8MS - K1 - AS - AS	-	-	-	-	-	-	-
8MS - K2 - AS - AS	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.24 : Kimyasal uygulanmış ve uygulanmamış Buri taşının SO_2 yıpratması etkisi sonrasında saptanan fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Numune Buri Taşı (BS)	Kılcallık katsayısı N (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- AS	4.12	17.21	1.627	-	2.84	2.44	4.96
3BS - AS - AS	-	-	-	-	-	-	-
4BS - AS -K1	0.0040	1.40	1.597	-	2.74	2.59	6.19
4BS - AS -K2	0.0048	1.51	1.663	-	2.67	2.71	6.04
5BS - AS -K1- AS	-	-	-	-	-	-	-
5BS - AS -K2- AS	-	-	-	-	-	-	-
6BS - K1	0.0015	1.63	1.597	21.71	2.59	2.75	7.53
6BS - K2	0.0039	1.41	1.663	21.94	2.62	2.90	6.33
7BS - K1 - AS	0.0025	2.01	1.608	-	2.46	2.58	5.99
7BS - K2 - AS	0.0046	2.62	1.627	-	2.54	2.95	6.58
8BS - K1 - AS - AS	-	-	-	-	-	-	-
8BS - K2 - AS - AS	-	-	-	-	-	-	-

3.6.5 UV ışını etkisine dayanıklılık deneyi ve sonuçları

UV ışını etkisine dayanıklık deneyi, kimyasal sürülen ve sürülmeyen numunelerin, UV ışını etkisinde 60 gün tutulması şeklinde yapılmıştır. Numunelerin yarısı alüminyum folyo ile sarılıp uv ışınının etkisi karşılaştırılmıştır. Şekil 3.34'de uv ışını etkisi altında bekleyen numuneler görülmektedir.



Şekil 3.34 : UV ışını etkilerine karşı dayanıklılık deneyi.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, Kuzey Kıbrıs'ta 3 ayrı bölgeden çıkan kireçtaşlarının (Karpaz taşı, Meluşa taşı ve Buri taşı) yerel yapı malzemesi olarak kullanımının teşvik edilmesi ve bu taşların dayanıklılığının ve uzun dönem performansının arttırılması olanaklarının araştırılmasıdır.

Bu kapsamda, Kuzey Kıbrıs'ta yapı malzemesi olarak kullanılan kireçtaşlarının durabilitesi saptanmaya çalışılmıştır. Taşlarda durabilite, hızlandırılmış deneylerle özelliklerdeki değişimin gözlenmesi yoluyla saptanırken olası bu değişimin farklı kimyasalların taşa uygulanması yoluyla önleneceği varsayılmaktadır. Sonuçta çalışmada, 3 tip taşın özellikleri ve özellikleri üzerinde: eskitme ajanlarının etkisi ve üzerine uygulanan koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2) kimyasalların etkisi araştırılmış ve sonuçları üçüncü bölümde gösterilmiştir. Bu deneylerin sonuçları bu bölümde değerlendirilmiş, irdelenmiş, bu konuda yapılacak bundan sonraki çalışmalara ışık tutacak öneriler verilmiştir.

4.1 Taşların Özellikleri

Çalışma konusu olan taşların XRF ve XRD yöntemi ile yapılan kimyasal analizleri sonuçlarına göre, Karpaz bölgesinden çıkarılan Karpaz taşının, yapısında yaklaşık % 95 kalsiyum karbonat ve fosiller bulunduğu için; Alayköy bölgesinden çıkarılan Buri taşının yapısında yaklaşık % 91 kalsiyum karbonat ve fosiller bulunduğu için her ikisinin de organik tortul taşlar sınıfından fosilli kireçtaşı oldukları tespit edilmiştir. Buri taşında bulunan yaklaşık % 3 Fe_2O_3 , taşın rengini sarımtrak yapmaktadır. Erdemli köyünden çıkarılan Meluşa taşının ise, XRF ve XRD yöntemi ile yapılan kimyasal analizlerinde, yapısında kille beraber yüksek oranda SiO_2 ve Al_2O_3 bulunduğu için kimyasal tortul taşlar sınıfından mikritik- killi kireçtaşı olduğu tespit edilmiştir. Kilin yapısı itibariyle su çekme özelliği bulunmaktadır (Şekil 4.1).

Eren ve Bahali (2005), Kıbrıs'taki tarihi yapılarda kullanılan doğal taşları incelemişlerdir. Kullanılan doğal taşları, Meluşa ve Karpaz taşı olmak üzere iki

sınıflamada değerlendirmişlerdir. Meluşa taşının Kırıkkale de bulunduğunu, mikritik kireçtaşı özelliği gösterdiğini ve bu taşın porozite değerinin %20 - %25 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Karpaz taşının ise Yenierenköy kasabasında olduğunu ve bu taşın kireçtaşının bir çeşidi olan kalkerli taş olduğunu ifade etmişlerdir. Karpaz taşında aragonit mineraline rastladıklarını ve bu kayaca da oolitik kireç taşı denilebileceğini belirtmişlerdir. Bu sonuçlar çalışma kapsamında bulunan sonuçlarla paralellik göstermiştir.

Her üç tip taşın fiziksel ve mekanik özelliklerinin verildiği Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi ASTM C 568'ye göre Karpaz taşı düşük-orta yoğunluk, Meluşa ve Buri taşı düşük yoğunluklu kireçtaşı sınıfına girmektedir. TSE 11137'de basınç değerleri taşıma ve kaplama özellikleri dikkate alınarak, taşımada kullanılacaklar için 49 MPa, kaplama olarak kullanılacaklarda ise 29.4 MPa değerindedir. TSE 11137'de istenen değerlere göre her üç taş tipinin de taşıyıcı malzeme olarak kullanılması uygun değildir.

Kılcallık katsayısı en yüksek olan taş Buri taşıdır ve onu sırasıyla Karpaz ve Meluşa taşları takip etmektedir. Buna paralel olarak Buri taşının basınç dayanımı 4.83 MPa ile en düşük değerde bulunmuş, bunu Karpaz ve Meluşa takip etmiştir. Yani kılcallık küçüldükçe taşların basınç dayanımı artış göstermektedir.

Taşlarda gerilme direnci, sıkışma direncinin 1/8 ile 1/60'ı arasında bulunup ortalama olarak 1/30 oranındadır (Artel, 1969). Ancak çalışma kapsamındaki Karpaz, Meluşa ve Buri taşlarında sırasıyla yaklaşık 1/3, 1/4 ve 1/2 oranındadır. Bu da taşların genel olarak yumuşak bir yapıda olduğunu belgelemektedir.

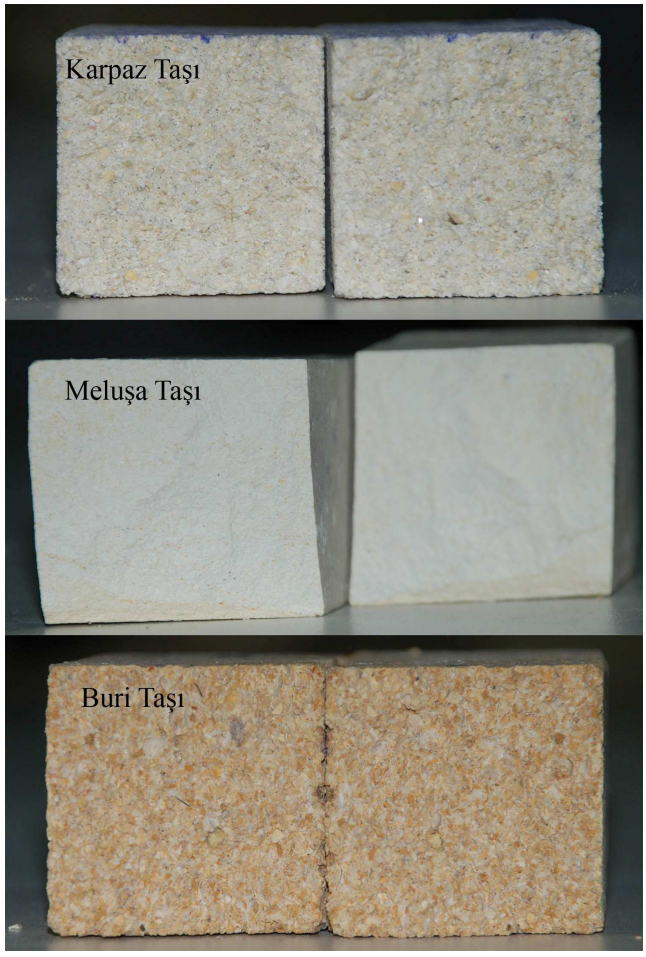
1700-2200 g/cm^3 yoğunluktaki kireçtaşları için verilen ısı iletkenlik katsayısı değeri 0.85-1.7 W/mK'dir (Hegger, 2006). Dolayısıyla çalışma kapsamındaki taşların birim hacim kütleleri yaklaşık bu değerlede olduğu için taşların bu ısı iletkenlik katsayısı değerlerine sahip olabileceği söylenebilir. Bu yoğunluktaki (tüflü kireçtaşı) taşların ısıl genleşme katsayısı 0,003-0,007 mm/mK^0'dir (Hegger, 2006).

Buhar difüzyonu direnç faktörü açısından taşlar değerlendirildiğinde 1700-2200 g/cm^3 yoğunluktaki kireçtaşı grubu için literatürde 20-200 olarak verilmektedir. Çalışmada Karpaz, Meluşa ve Buri taşları için sırasıyla 9, 11 ve 23 değerleri bulunmuştur. Nispeten direnç faktörleri düşük olarak saptanmıştır.

Görünürde her üç taş tipi de damarsız izotrop bir bünye yapısına sahiptir. Kıbrıs bölgesinde en soğuk ay genellikle Ocak ayı olup gündüz saatlerinde hava sıcaklığı 9.0 C^0 - 12.0 C^0 arasında seyretmekte ve bu ayda en düşük ortalama sıcaklık 6.7 C^0 olarak belirlendiği için çalışma kapsamında yapılan donma – çözülme deneyi gibi bir donma olayına rastlanmayacağı açıktır. Fakat, değişik iklimli ve nemli memleketler söz konusu olduğunda donun etkisi önemlidir. Var olduğu zaman, inşaatlarda yerli taşların kullanılması en doğru ve en sağlam yoldur; çünkü, yerli taşlar o iklimin atmosferik etkilerine dayanmış ve denenmiş durumdadırlar.

Bu çeşit taşların dirençleri çok düşüktür. Bazıları kolayca bir testereyle kesilecek kadar yumuşaktır. Bünyelerinde nem tutma özelliğine sahiptirler. Bu tür taşlarla yapılan inşaatın kuzeye karşı tarafları yosun tutabilme hatta zamanla toz ve toprak birikmesi dolayısıyla üzerlerinde köklü bitkiler bile türeyebilmektedir.

Bu değerlendirmelerden bu özellikleri taşıyan taşların dış cephe kaplaması, iç cephe kaplaması, denizlik ve söve bölgelerinde kullanılması gerektiği belirlenmiştir.



Şekil 4.1 : Eğilme dayanımı sırasında kırılan kireçtaşları.

Çizelge 4.1 : Kireçtaşlarına ait standartlarda (ASTM ve TSE) istenen değerler ve çalışma kapsamındaki taşların değerleri.

ASTM (C 568) - Kireçtaşı			**Karpaz Taşı (KS)**	**Meluşa Taşı (MS)**	**Buri Taşı (BS)**
Düşük Yoğunluk	Birim hacim kütle (g/cm^3)	1.760		1.477	1.554
	Kütlece su emme max. (%)	12		15.90	17.50
	Basınç dayanımı (Mpa)	12			4.83
Orta Yoğunluk	Birim hacim kütle (g/cm^3)	2.160	1.868		
	Kütlece su emme max. (%)	7.5	9.09		
	Basınç dayanımı (Mpa)	28	15.16	22.91	
Yüksek Yoğunluk	Birim hacim kütle (g/cm^3)	2.560			
	Kütlece su emme max. (%)	3			
	Basınç dayanımı (Mpa)	55			
TSE – TS 11137			**Karpaz Taşı (KS)**	**Meluşa Taşı (MS)**	**Buri Taşı (BS)**
Kireçtaşı	Birim hacim kütle (g/cm^3)	2.160	1.868	1.477	1.554
	Kütlece su emme max. (%)	4	9.09	15.90	17.50
	Basınç dayanımı (Mpa) (Taşıma)	49			
	Basınç dayanımı (Mpa) (Kaplama)	29.4	15.16	22.91	4.83
	Eğilme dayanımı (Mpa) (Kaplama)	2.94	6.09	6.13	2.50

4.2 Taşların Dürabilitesi (1. ve 2. aşamanın kıyaslanması)

Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarında (Karpaz taşı, Meluşa taşı ve Buri taşı) eskitme deneyleri sonunda bütün taş tiplerinde ıslanma-kuruma, donma-çözülme, tuz kristallenmesi, asit etkileri ve UV etkilerinin, bozulmada ve taşın özelliklerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

4.2.1 Islanma – kuruma eskitme ajanının yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi

Bölüm 3.6.1'de deney yöntemi anlatılan ıslanma-kuruma çevrimleri sonunda taşların özellikleri Çizelge 4.2'de, taşlarda meydana gelen fiziksel ve mekanik değişim miktarları sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de görülmektedir.

Karpaz Taşı'nın kılcallık katsayısında meydana gelen % 98 artış, bu taşın diğer taş türlerine nazaran, bu eskitme etkisi altında en fazla kılcal boşluğa sahip taş haline dönüştüğünü göstermektedir. Kılcallık katsayısında artışa neden olan faktörler bilindiği gibi, kılcal boşluk çapı (5nm-10 µm arasında değişir), kesit içindeki boşluk dağılımı ve boşluk oranıdır. Bu boşlukların birbirleriyle bağlantılı olması da, suyun kısa sürede kılcallıkla emilmesine neden olmaktadır. Bu durum, öte yandan, malzemeye dona dayanıklılık özeliği kazandırmaktadır. Ancak, kılcallık katsayısı artan bir malzemenin, suyun çözücü etkilerine en fazla maruz kalan ve en fazla zarar gören malzeme anlamına da geleceği de bilinmelidir. Malzemenin su emme oranında görülen yaklaşık %17 artış da bu düşüncemizi teyid etmektedir. Ancak, taşın bünyesindeki boşluk çapları kılcal boyuttadır. Malzemenin birim hacim kütlesinde çok önemli bir değişim meydana gelmezken, buhar difüzyonu direnç faktöründe yaklaşık %5 bir artış saptanmıştır. Malzemenin ultrases hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı ıslanma kuruma etkisi altında sırasıyla %27, % 25 ve %20 azalmıştır.

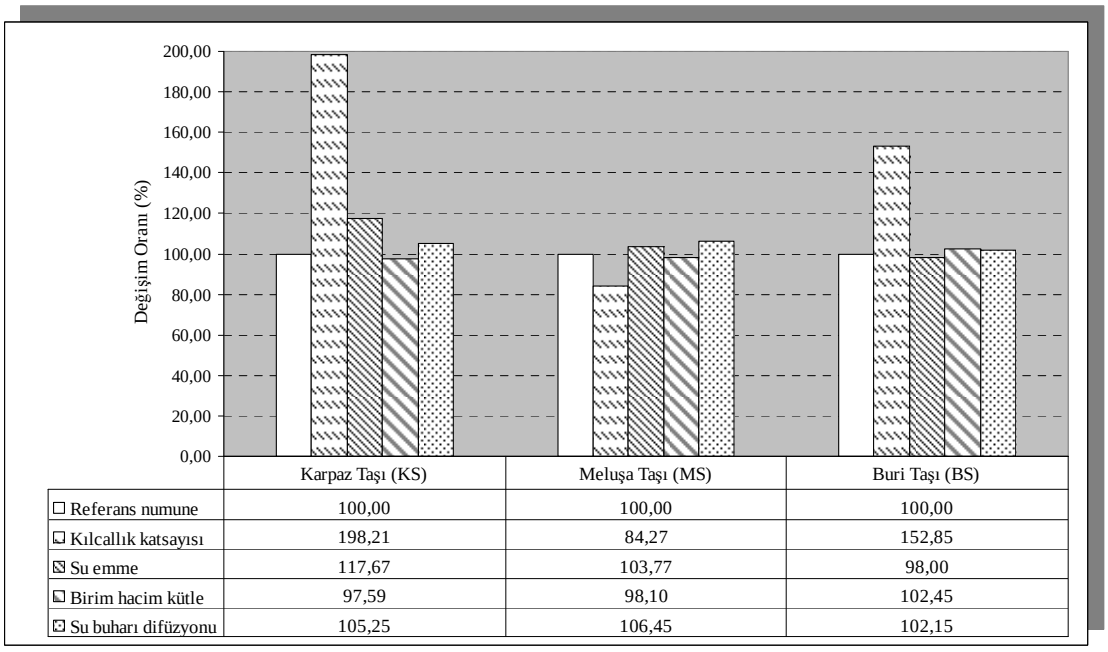
Meluşa Taşı, öte yandan, bu eskitme deneyi altında çok fazla bir değişim göstermemiştir. Karpaz taşının aksine kılcallık katsayısı, yaklaşık %16 azalmıştır. Aslında, taşın eskitme deneyi öncesi sahip olduğu kılcallık katsayısı diğer taşlara nazaran en düşüktür ve hasar da o düzeyde daha az meydana gelmiştir. Su emme oranı yaklaşık %4 artarken kılcallık katsayısının azalması boşluk morfolojisinin bir miktar değiştiğini gösterebilir. Malzemenin ultrases hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı ıslanma kuruma etkisi altında sırasıyla %28, % 22 ve %10 azalmıştır.

Buri Taşı da Karpaz taşı gibi ıslanma kuruma etkisi altında kılcallık katsayısında %50 dolayında artış göstermiştir. Bu eskitme deneyi altında malzemenin ultrases hızı eğilme dayanımı ve basınç dayanımı sırasıyla % 21 azalmış, % 11 ve % 27 artmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda, ıslanma – kuruma eskitme deneylerinde Karpaz ve Meluşa taşlarının eğilme ve basınç dayanımları yaklaşık % 20 azalırken Buri taşının eğilme ve basınç dayanımlarının yaklaşık % 20 arttığı saptanmıştır. Buri taşında

ıslanma – kuruma etkisinden sonra görülen bu farklı davranış biçimi onun atmosferik koşullar altında zamanla daha dayanıklı bir bünye yapısına kavuşacağını göstermektedir. Nitekim taşın ocağında görevli yetkililerden elde edilen bilgi de bu sonuçları doğrular niteliktedir.

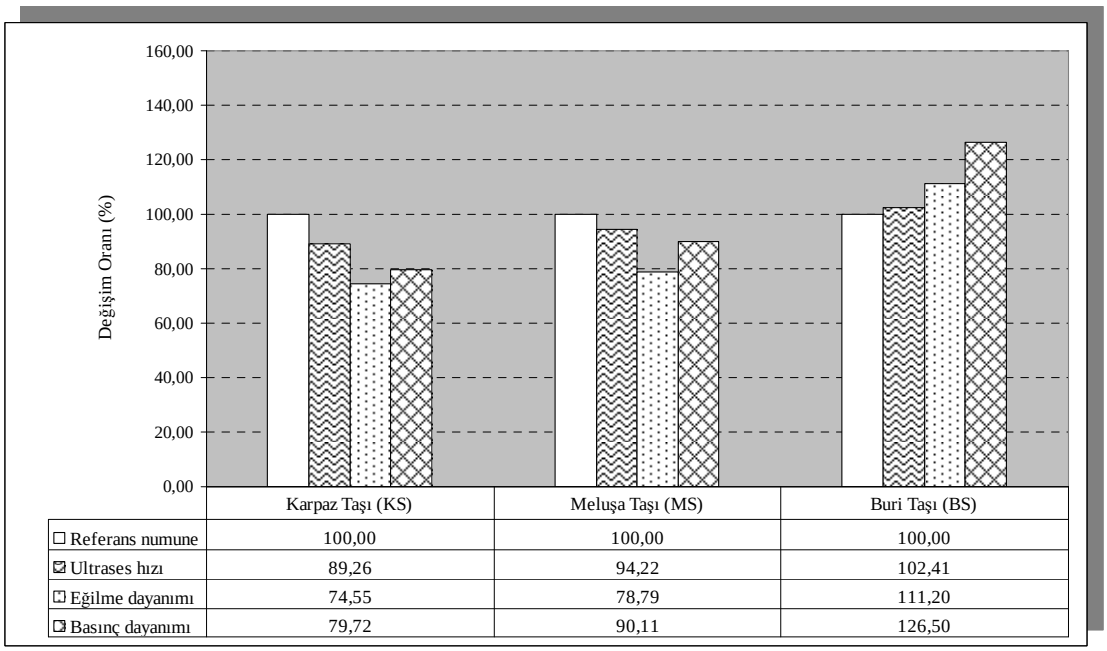
Çizelge 4.2 : Islanma – kuruma eskitme deneyi sonunda taşların özellikleri.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- IK	2.22	10.70	1.823	9.53	2.66	4.54	12.03
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- IK	0.30	16.50	1.449	11.44	2.61	4.83	17.12
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- IK	4.83	17.15	1.592	23.41	2.55	2.78	6.11



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Kılcallık katsayısı	198,21	84,27	152,85
Su emme	117,67	103,77	98,00
Birim hacim kütle	97,59	98,10	102,45
Su buharı difüzyonu	105,25	106,45	102,15

Şekil 4.2 : Islanma – kuruma eskitme ajanının yeni taşın fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi (1.ve 2. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Ultrases hızı	89,26	94,22	102,41
Eğilme dayanımı	74,55	78,79	111,20
Basınç dayanımı	79,72	90,11	126,50

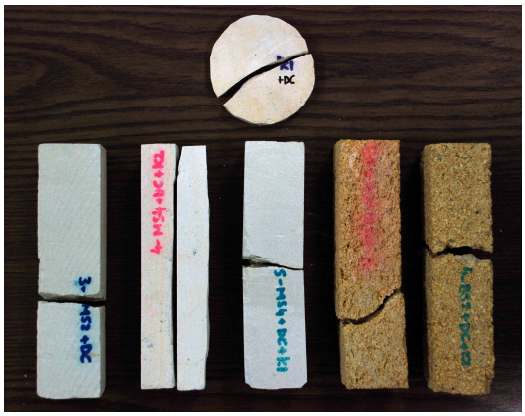
Şekil 4.3 : Islanma – kuruma eskitme ajanının yeni taşın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi (1.ve 2. aşamanın kıyaslanması).

4.2.2 Donma – çözülme eskitme ajanının yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi

Bölüm 3.6.2'de deney yöntemi anlatılan donma – çözülme çevrimleri sonunda taşların özellikleri Çizelge 4.3'de, taşlarda meydana gelen fiziksel ve mekanik değişim miktarları sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görülmektedir.

Donma – çözülme etkisi altında Karpaz taşının kılcallık katsayısı yaklaşık % 73, su emme değeri yaklaşık % 20 artmıştır. Bu durumda bünyenin daha boşluklu bir yapıya dönüşmüş olduğu anlaşılmaktadır. Nitekim Karpaz taşının ultrases hızı, eğilme ve basınç dayanımlarındaki % 20 düşme de bunu teyit etmektedir.

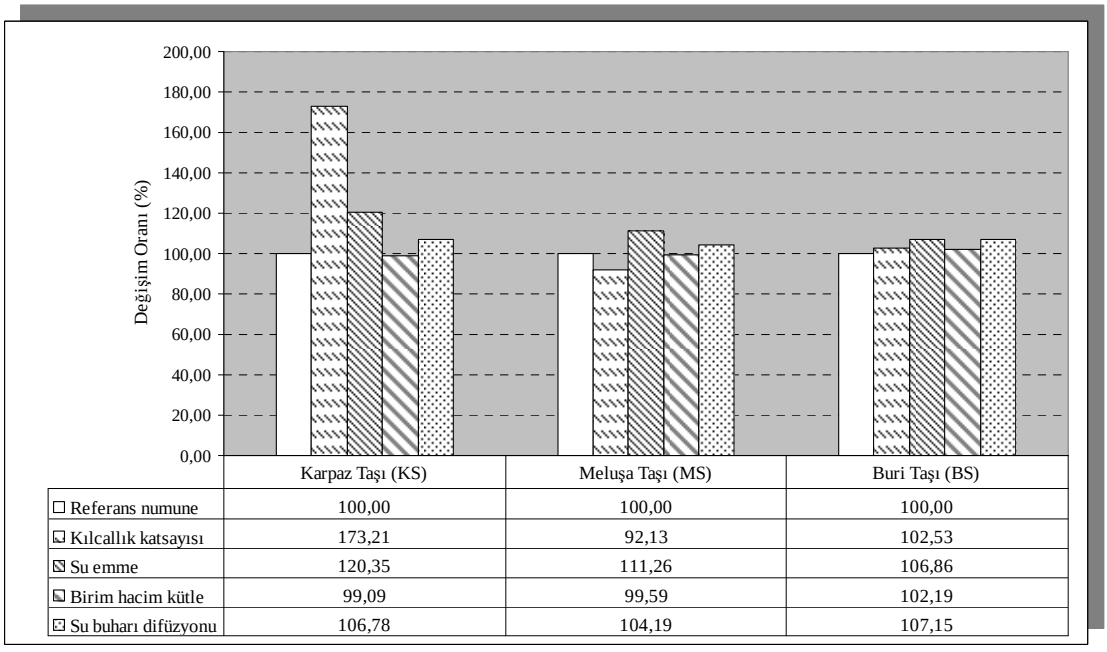
Meluşa ve Buri taşlarının fiziksel özelliklerinde donma – çözülmeye bağlı olarak önemli bir değişiklik gözlenmezken, her iki taşın da ultrases hızındaki % 30 azalma, taşların donma – çözülme etkisi altında ıslandığı zaman bünyesindeki bazı minerallerin gittiğini ve taneler arasındaki sürtünmenin artması ile kırıldığını göstermektedir. Nitekim Şekil 4.4'de donma – çözülme eskitme deneyi sırasında hasar gören Meluşa ve Buri taşları görülmektedir (Meluşa taşında 48 numuneden 3'ü, Buri taşında 48 numuneden 2'si). Aslında her üç taşın doyma derecesi % 80 değerinden küçük saptanmış olmasına rağmen bu anlamdaki parçalanmalar bu kuvvete karşı taşların gösterdiği yapısal direncin düşük olduğunu göstermektedir.



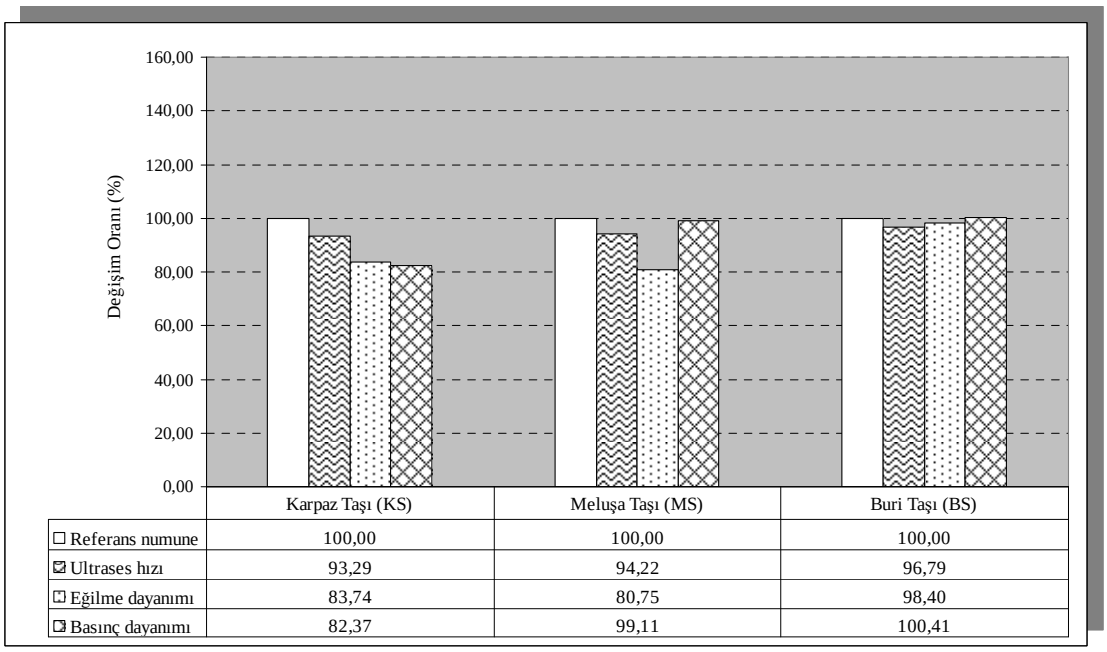
Şekil 4.4 : Donma - çözülme eskitme deneyi sırasında hasar gören kireçtaşları. Soldan sağa: Meluşa ve Buri taşları.

Çizelge 4.3 : Donma – çözülme eskitme deneyi sonunda taşların özellikleri.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- DC	1.94	10.94	1.851	9.66	2.78	5.10	12.43
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- DC	0.33	17.69	1.471	11.20	2.61	4.95	18.83
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- DC	3.24	18.70	1.588	23.35	2.41	2.46	4.85



Şekil 4.5 : Donma – çözülme eskitme ajanının yeni taşın fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi (1.ve 2. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Ultrases hızı	93,29	94,22	96,79
Eğilme dayanımı	83,74	80,75	98,40
Basınç dayanımı	82,37	99,11	100,41

Şekil 4.6 : Donma – çözülme eskitme ajanının yeni taşın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi (1.ve 2. aşamanın kıyaslanması).

4.2.3 Tuz kristalizasyonu eskitme ajanının yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi

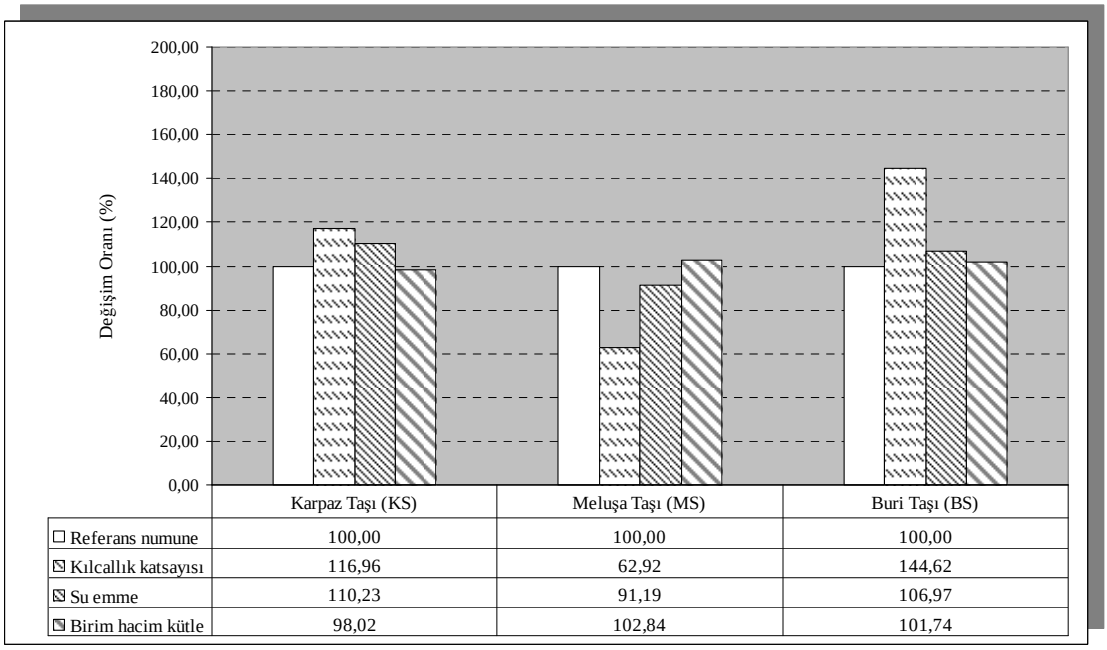
Tuz kristallenmesine dayanıklılık çevrimleri sonunda taşların özellikleri Çizelge 4.4'de, taşlarda meydana gelen fiziksel ve mekanik değişim miktarları sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.9'da görülmektedir.

Tuz kristallenmesine dayanıklık deneyi en yıkıcı eskitme deneyi olmuştur. Bu sonuç taşın iç yapısına giren tuzun kristallenmesiyle çok büyük iç gerilmelere sebep olduğu ve dolayısıyla, emme kapasitesi fazla olan taşlarda etkili olduğunu göstermiştir. Meluşa taşları 11. çevrimde parçalanmıştır (Şekil 4.8). Karpaz ve Buri taşı numuneleri parçalanmasa da kenarlarında kopmalar ve oyuklar oluşmuştur.

Tuz kristallenmesi etkilerine dayanıklılık deneyi sonunda da, her üç taş tipinin birim hacim kütle değişimleri çok farklılık göstermemiştir. Numunelerin su emme oranı eskitme deneyi sonunda Karpaz ve Buri taşında sırasıyla % 10 ve % 7 artmış, Meluşa taşında % 10 azalmıştır. Her üç taş tipinin de ultrases hızı değerleri yaklaşık % 30 azalmıştır. Bu azalış; numunelerin iç yapısına giren tuzun kristallenmesi ve boşluklara girerek tıkaması sonucunda olmuştur. Numunelerin basınç dayanımı oranı eskitme deneyi sonunda Karpaz taşında % 25, Meluşa taşında % 38 ve Buri taşında % 1 azalmıştır.

Çizelge 4.4 : Tuz kristalizasyonu eskitme deneyi sonunda taşların özellikleri.

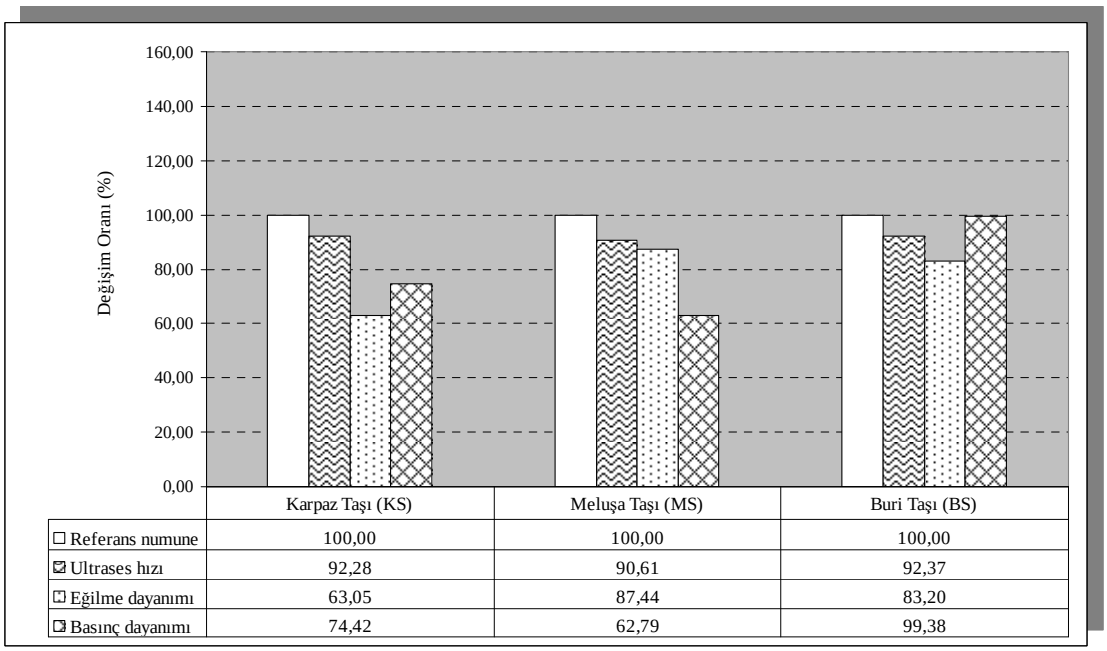
Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- TK	1.31	10.02	1.831	-	2.75	3.84	11.23
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- TK	0.22	14.50	1.519	-	2.51	5.36	11.93
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- TK	4.57	18.72	1.581	-	2.30	2.08	4.80



Şekil 4.7 : Tuz kristalizasyonu eskitme ajanının yeni taşın fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi (1.ve 2. aşamanın kıyaslanması).



Şekil 4.8 : Tuz kristallenmesine dayanıklık deneyi, 11. çevrimdeki Meluşa taşlarının görünümü.



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Ultrases hızı	92,28	90,61	92,37
Eğilme dayanımı	63,05	87,44	83,20
Basınç dayanımı	74,42	62,79	99,38

Şekil 4.9 : Tuz kristalizasyonu eskitme ajanının yeni taşın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi (1.ve 2. aşamanın kıyaslanması).

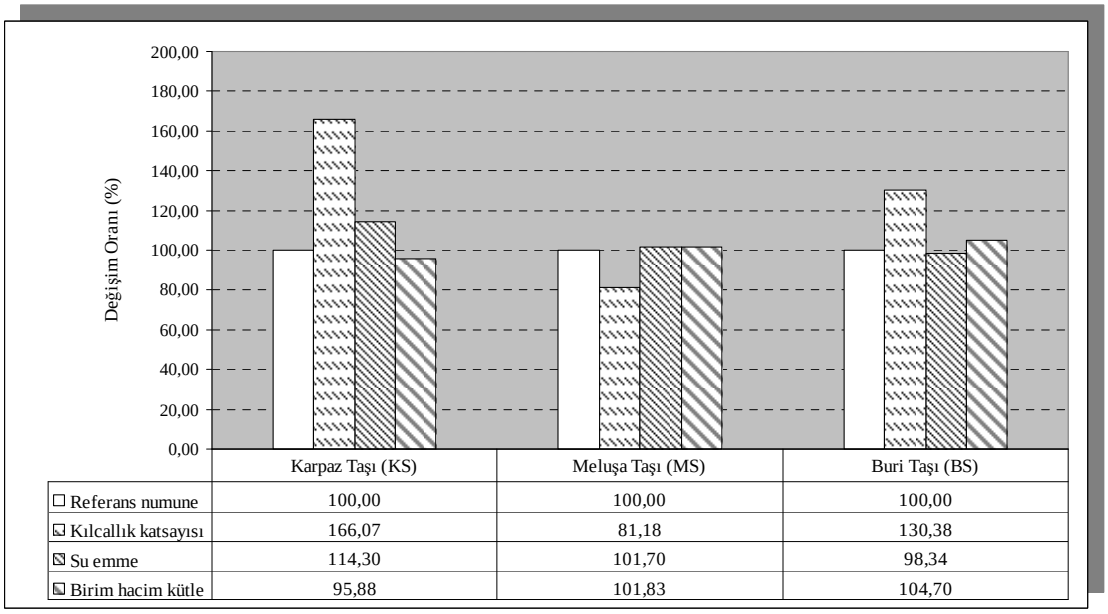
4.2.4 Asit çözeltisi (SO_2 buharı) eskitme ajanının yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi

SO_2 buharına dayanıklılık çevrimleri sonunda taşların özellikleri Çizelge 4.5'de, taşlarda meydana gelen fiziksel ve mekanik değişim miktarları sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de görülmektedir.

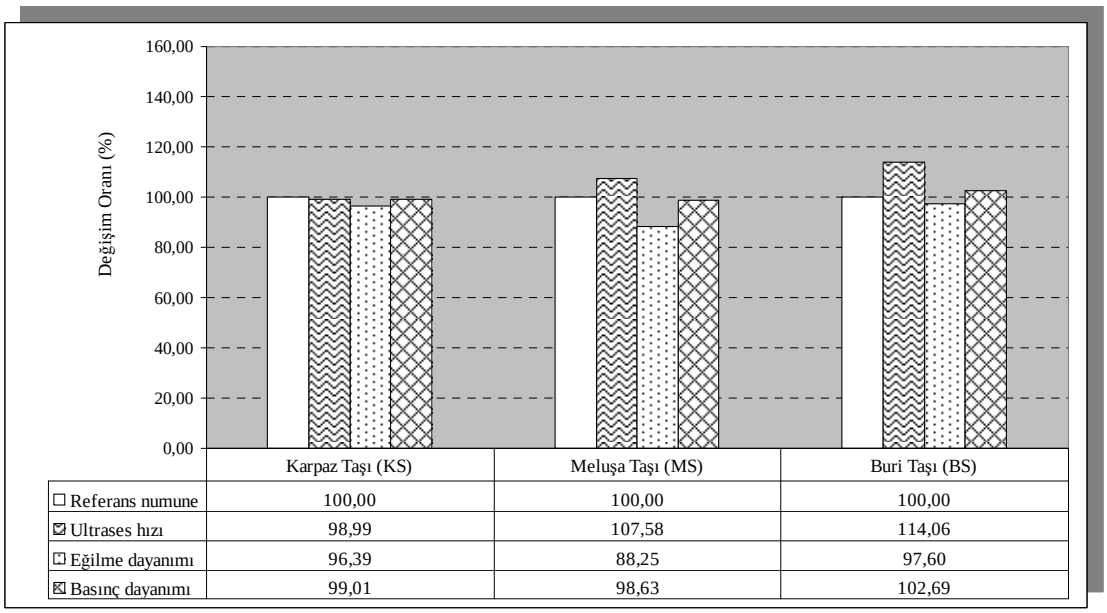
SO_2 buharına dayanıklık deneyi sonunda da ağırlık değişimleri çok farklılık göstermemiştir. Numunelerin su emme oranı eskitme deneyi sonunda Karpaz ve Meluşa taşında sırasıyla % 14 ve % 1 artmış, Buri taşında % 2 azalmıştır. Numunelerin birim hacim kütle ve basınç dayanımlarında çok önemli bir değişim meydana gelmezken, ultrases hızı oranı eskitme deneyi sonunda Karpaz, Meluşa ve Buri taşında sırasıyla % 20, % 17 ve % 12 azalmıştır. Ayrıca asitli desikatör içindeki Karpaz, Meluşa ve Buri taşlarının renkleri çok az açılmıştır.

Çizelge 4.5 : Asit çözeltisi eskitme deneyi sonunda taşların özellikleri.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- AS	1.86	10.39	1.791	-	2.95	5.87	14.94
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- AS	0.29	16.17	1.504	-	2.98	5.41	18.74
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- AS	4.12	17.21	1.627	-	2.84	2.44	4.96



Şekil 4.10 : Asit çözeltisi eskitme ajanının yeni taşın fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi (1.ve 2. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Ultrases hızı	98,99	107,58	114,06
Eğilme dayanımı	96,39	88,25	97,60
Basınç dayanımı	99,01	98,63	102,69

Şekil 4.11 : Asit çözeltisi eskitme ajanının yeni taşın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi (1.ve 2. aşamanın kıyaslanması).

4.2.5 UV eskitme ajanının yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi

UV etkilerine dayanıklık deneyi sonunda da ağırlık değişimleri çok farklılık göstermemiştir. Numunelerde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmamıştır. Numuneler görsel olarak incelenmiştir. Her üç taş tipinde de bir değişim gözlenmemiştir.

4.3 Kimyasal Uygulamaların Taşların Özellikleri ve Dürabilitesi Üzerindeki Etkisi

Karpaz taşı, Meluşa taşı ve Buri taşında kimyasal uygulamaları (K1 ve K2) yapıldıktan sonra fiziksel (kılcallık, su emme, birim hacim kütle ve su buharı difüzyonu) ve mekanik (ultrases, eğilme ve basınç dayanımı) özellik deneyleri yapılmıştır. Kimyasal uygulamaların taşların özelliklerine etkilerini araştırmak için yapılan tüm deneyler aynı numuneler üzerinde kimyasal uygulanmadan ve uygulandıktan sonra tekrarlandığı için kendi aralarında değişim yüzdeleri hesaplanabilmiştir.

4.3.1 Yeni taşa uygulanan kimyasalların taşın özellikleri üzerindeki etkisi (1. ve 6. aşamanın kıyaslanması)

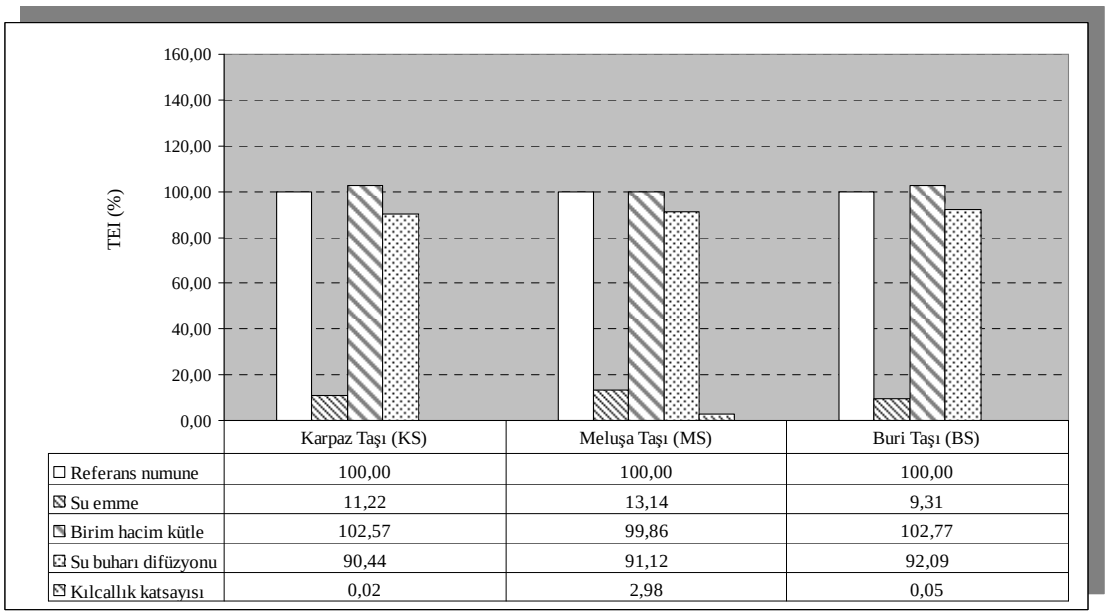
Kimyasalların yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.6 : Kimyasalların yeni taşın özellikleri üzerindeki etkisi.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
6KS - K1	0.00023	1.02	1.916	8.60	3.17	6.24	18.17
6KS - K2	0.00150	1.10	1.863	8.15	3.26	6.83	18.29
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
6MS - K1	0.0110	2.09	1.475	9.89	2.80	5.98	19.79
6MS - K2	0.0096	1.13	1.489	10.54	2.86	6.26	23.86
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
6BS - K1	0.0015	1.63	1.597	21.71	2.59	2.75	7.53
6BS - K2	0.0039	1.41	1.663	21.94	2.62	2.90	6.33

Koruyucu kimyasal (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2) uygulaması her üç taş tipinin de su emmesini %87-92, kılcallık katsayısını %97-99 azaltmıştır (Şekil 4.12 ve Şekil 4.14). Ancak kılcallık katsayısındaki azalma grafikte görünemeyecek kadar azdır. Bu sonuçlar silan-siloksan esaslı koruyucu kimyasalın büyük boyutlu gözenekleri azaltması sonucunda oluşmuştur. Koruyucu kimyasal (K1) taşların birim hacim kütlesini % 1-2.7 arttırıken, sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2) karpaz ve meluşa taşının birim hacim kütlesini değiştirmemiş, ancak, buri taşının birim hacim kütlesini % 7 arttırmıştır. Zezza ve diğerlerinin kimyasal uygulamaların fiziksel özelliklere etkisi hakkında yaptığı bir çalışmada, silan-siloksan esaslı koruyucu ürünlerin, taşın birim hacim kütlesini, % 1.1-2.2 arttırdığı, su emme değerlerini % 80-90 azalttığı sonucunu bulmuşlardır. Bu sonuçlar bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlarla paralellik göstermiştir. Ancak uygulama yeni taş yüzeyine yapıldığı için sağlamlaştırıcı ile birlikte değil, sadece koruyucu (K1) kimyasalın uygulanması istenilen performansı sağlamaya yeterli olmaktadır.

Çalışma kapsamındaki Karpaz, Meluşa ve Buri taşlarında su buharı geçirgenlik direnç faktörü, koruyucu kimyasal (K1) uygulanan numunelerde % 8-10 oranında, sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasal (K2) uygulanan numunelerde % 10-12 oranında azalmıştır (Şekil 4.12 ve Şekil 4.14). Literatürde, sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalların özgün taşın su buharı geçirgenlik direnç faktörünü en çok % 25 azaltması başarılı kabul edilmektedir (Çorapçıoğlu, 1993). Kimyasal üreticisi firma bilgisine göre de, sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasallar taşın su buharı geçirgenlik direnç faktörünü en çok % 10 azaltmalıdır. Bu nedenle bu çalışmada kullanılan iki kimyasal uygulama olumlu bulunmuştur.



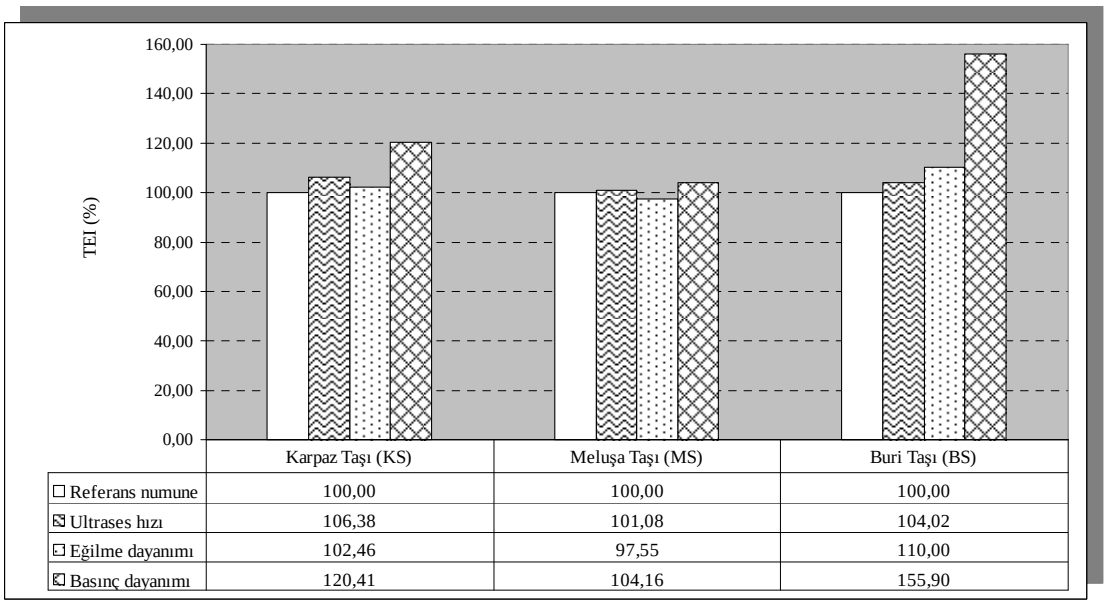
	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	11,22	13,14	9,31
Birim hacim kütle	102,57	99,86	102,77
Su buharı difüzyonu	90,44	91,12	92,09
Kılcallık katsayısı	0,02	2,98	0,05

Şekil 4.12 : Koruyucu kimyasalın (K1) yeni taşın fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi (1. ve 6. aşamanın kıyaslanması).

Hristova ve Todorov'un yaptığı bir çalışmada, tek başına koruyucu uygulanan numunelerde ultrases hızında işlem etkinlik faktörü (TEI) % 15 olurken, sağlamlaştırıcı + koruyucu kullanılan numunelerde % 30 bulunmuştur. Bu değerler taşın düşük porozitesi olup olmamasına göre değişim göstermektedir.

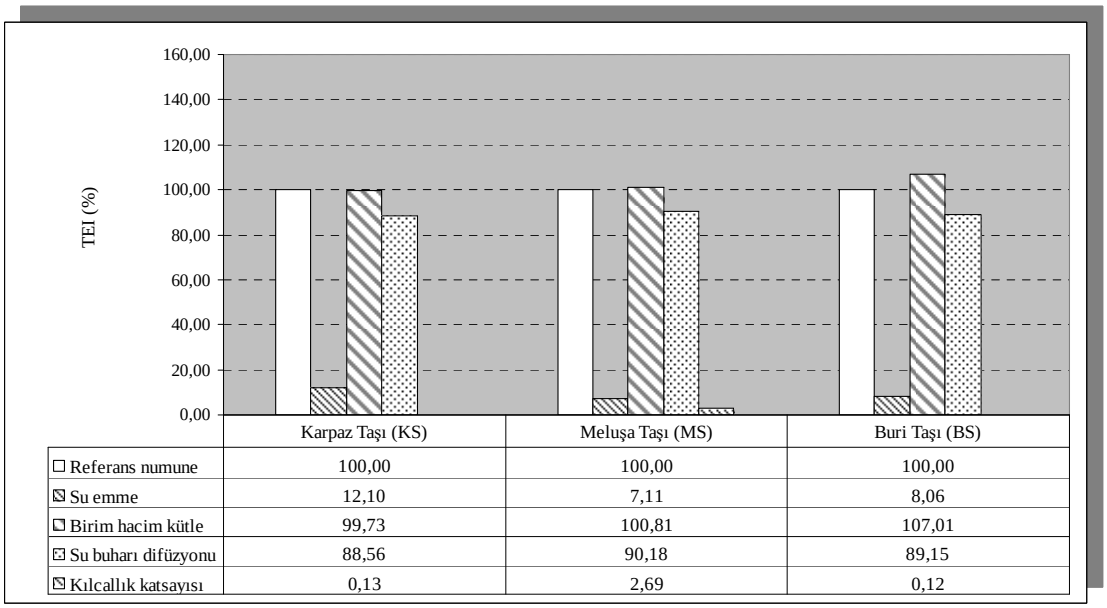
Kimyasal uygulamalarının her üç taşın ultrases hızı üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde kimyasal uygulamalarının (K1 ve K2) Karpaz taşında ultrases hızı işlem etkinlik faktörü %6 ve %10, Meluşa taşında %1 ve %3, Buri taşında %4 ve %5 artmıştır. K2 uygulamasının, K1 uygulamasına göre ultrases hızı üzerindeki etkisi daha fazladır.(Şekil 4.13 ve Şekil 4.15).

Ultrases hızı için yukarıda söylenen değerlendirmelerin kimyasal uygulanmış taşların mekanik özellikleri için de geçerli olduğu söylenebilir. Taşın porozitesi arttıkça kimyasal uygulama işlem etkinlik faktörünün de etkinliği artmaktadır. Örneğin % 31 porozite değerine sahip Karpaz taşında basınç dayanımı kimyasal uygulandıktan sonra yaklaşık % 20 artarken, % 42 porozite değerine sahip Buri taşında basınç dayanımı kimyasal uygulandıktan sonra yaklaşık % 55 artmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda her iki kimyasal uygulamanın da her üç taş tipinin mekanik özelliklerini arttırdığı için kimyasal uygulamaları olumlu bulunmuştur.



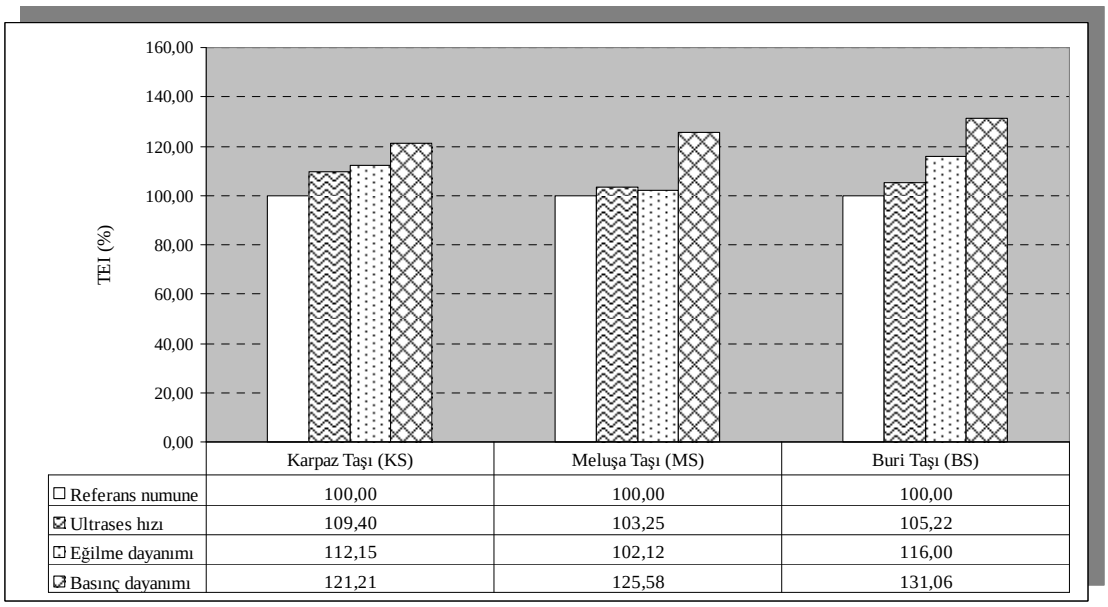
	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Ultrases hızı	106,38	101,08	104,02
Eğilme dayanımı	102,46	97,55	110,00
Basınç dayanımı	120,41	104,16	155,90

Şekil 4.13 : Koruyucu kimyasalın (K1) yeni taşın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi (1. ve 6. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	12,10	7,11	8,06
Birim hacim kütle	99,73	100,81	107,01
Su buharı difüzyonu	88,56	90,18	89,15
Kılcallık katsayısı	0,13	2,69	0,12

Şekil 4.14 : Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) yeni taşın fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi (1. ve 6. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Ultrases hızı	109,40	103,25	105,22
Eğilme dayanımı	112,15	102,12	116,00
Basınç dayanımı	121,21	125,58	131,06

Şekil 4.15 : Sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) yeni taşın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi (1. ve 6. aşamanın kıyaslanması).

4.3.2 Yeni taşa uygulanan kimyasalların taşın dürabilitesi üzerindeki etkisi (2. ve 7. aşamanın kıyaslanması)

4.3.2.1 Yeni taşa uygulanan kimyasalların ıslanma – kuruma deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi

Yeni taşa uygulanan kimyasalların ıslanma – kuruma deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.7'de görülmektedir. Kimyasal uygulamalarının ıslanma – kuruma eskitme ajanından sonra taşın özellikleri üzerindeki etkisinin irdelendiği Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 incelendiğinde Karpaz ve Meluşa taşında kimyasal uygulamalarının taşların gerek fiziksel gerekse mekanik özelliklerini olumlu yönde değiştirdiğini, öte yandan Buri taşını ise hemen hemen herhangi bir değişime uğratmadığı gözlenmiştir. Gerçekten de ıslanma – kuruma etkisi altında niteliklerinin iyileştiğini söylediğimiz Buri taşında kimyasalların etkinlik faktörünün azalması beklenen bir sonuçtur.

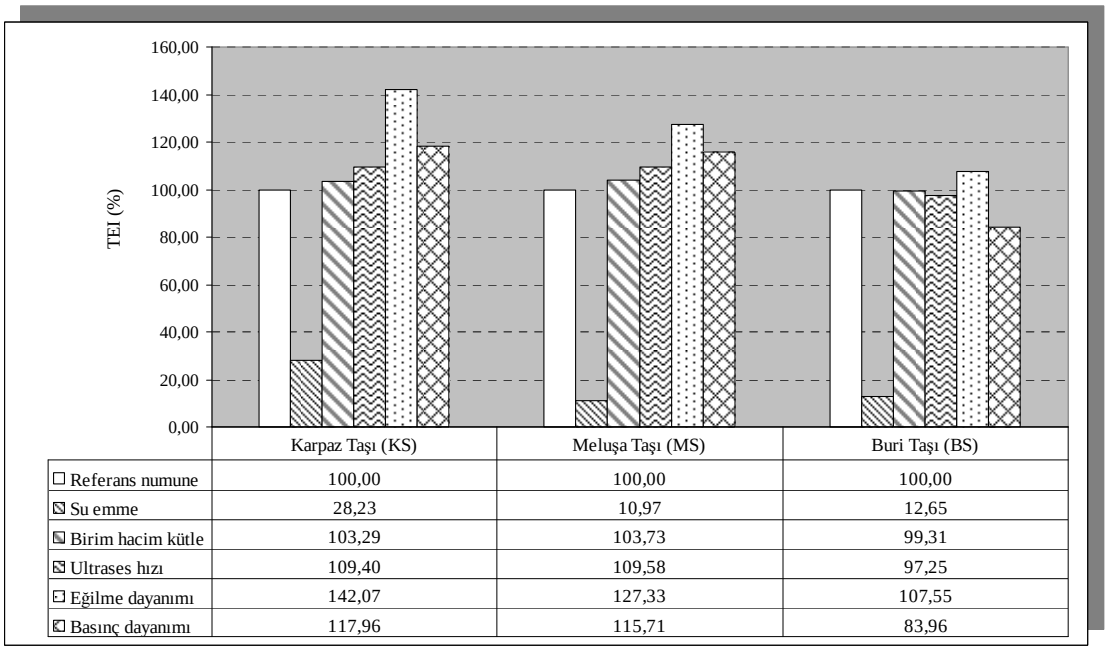
Taşların eskitme deneyi sonrasındaki bünye yapısı ve ağırlığını ifade eden ultrases hızı ve yoğunlukları kimyasal uygulanmamış ve uygulanmış taşlarda hemen hemen aynı kalmıştır. Yine de, ultrases hızının % 10 oranda arttığı Karpaz ve Meluşa taşlarının mekanik dayanımlarının da o nispette arttığı söylenebilir.

Durabilite açısından değerlendirildiğinde sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2) kimyasal uygulamasının sadece koruyucu (K1) kimyasal uygulamasına nazaran daha olumlu

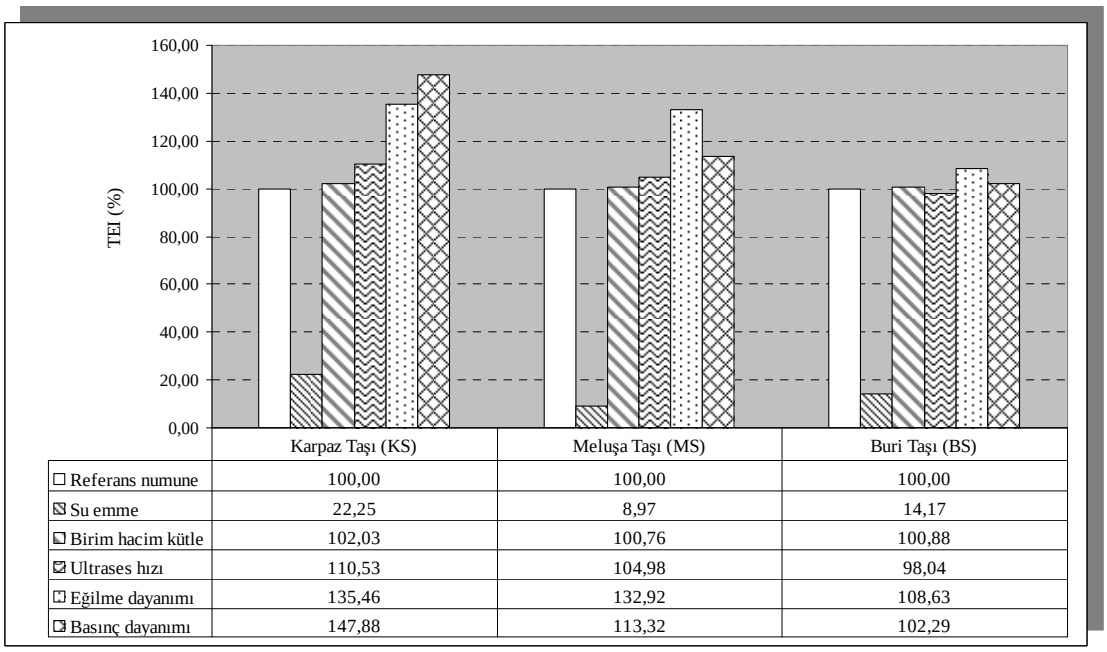
davrandığı, yani korumada daha etkili olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.7 : Yeni taşa uygulanan kimyasalların ıslanma – kuruma deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- IK	2.22	10.70	1.823	9.53	2.66	4.54	12.03
7KS - K1 - IK	0.00375	3.02	1.883	-	2.91	6.45	14.19
7KS - K2 - IK	0.00197	2.38	1.860	-	2.94	6.15	17.79
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- IK	0.30	16.50	1.449	11.44	2.61	4.83	17.12
7MS - K1 - IK	0.0049	1.81	1.503	-	2.86	6.15	19.81
7MS - K2 - IK	0.0025	1.48	1.460	-	2.74	6.42	19.40
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- IK	4.83	17.15	1.592	23.41	2.55	2.78	6.11
7BS - K1 - IK	0.00073	2.17	1.581	-	2.48	2.99	5.13
7BS - K2 - IK	0.0051	2.43	1.606	-	2.50	3.02	6.25



Şekil 4.16 : Yeni taşa uygulanan koruyucu kimyasalın (K1) ıslanma – kuruma deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 7. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	22,25	8,97	14,17
Birim hacim kütle	102,03	100,76	100,88
Ultrases hızı	110,53	104,98	98,04
Eğilme dayanımı	135,46	132,92	108,63
Basınç dayanımı	147,88	113,32	102,29

Şekil 4.17 : Yeni taşa uygulanan sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) ıslanma – kuruma deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 7. aşamanın kıyaslanması).

4.3.2.2 Yeni taşa uygulanan kimyasalların donma – çözülme deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi

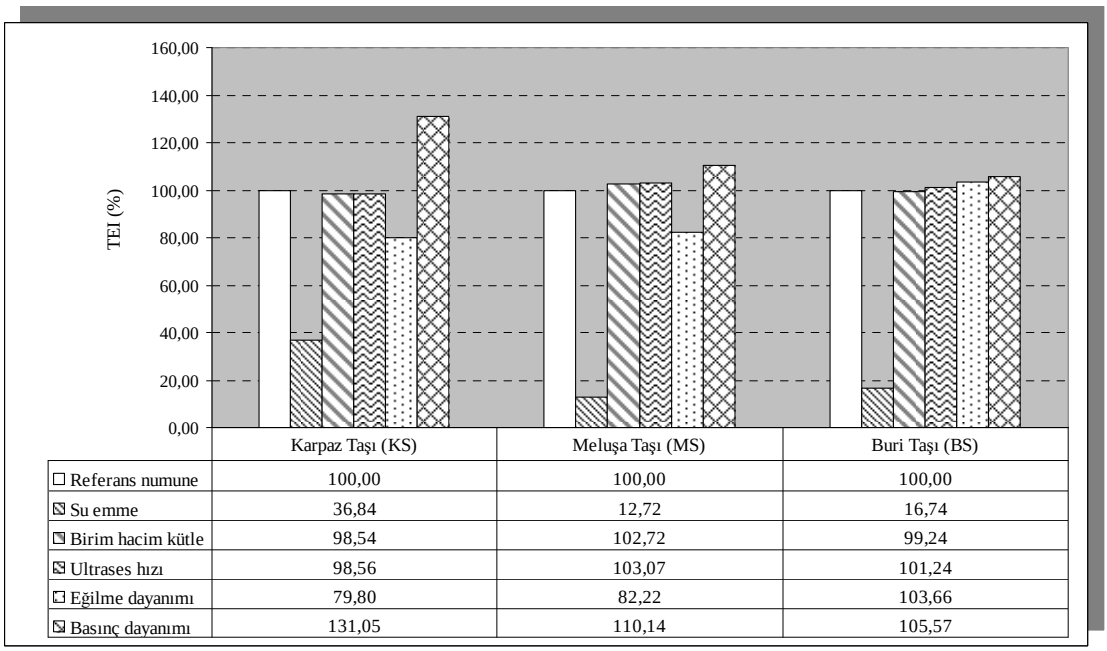
Yeni taşa uygulanan kimyasalların donma – çözülme deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.8'de görülmektedir. Bu etkiler Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da irdelenmektedir.

Her iki kimyasalın etkisi taşların özelliklerine olumlu katkı sağlamış ancak K1 uygulaması su emmeyi yaklaşık % 78 azaltırken, K2 uygulaması yaklaşık % 84 azaltmıştır. Kimyasal uygulamalarının etkinliğinin anlaşılabildiği diğer bir malzeme özelliği olan basınç dayanımındaki artış oranı K2 uygulamasında K1'e göre % 50 daha fazla elde edilmiştir. Her iki kimyasalın da özellikler üzerindeki olumlu etkisi en yüksekten en düşük değerdeki etkiye doğru Karpaz, Buri ve Meluşa taşları olarak tespit edilmiştir. Ultrases hızındaki değişimler de, kimyasalların taşların mekanik dayanımlarını olumlu yönde etkilendiğini göstermiştir.

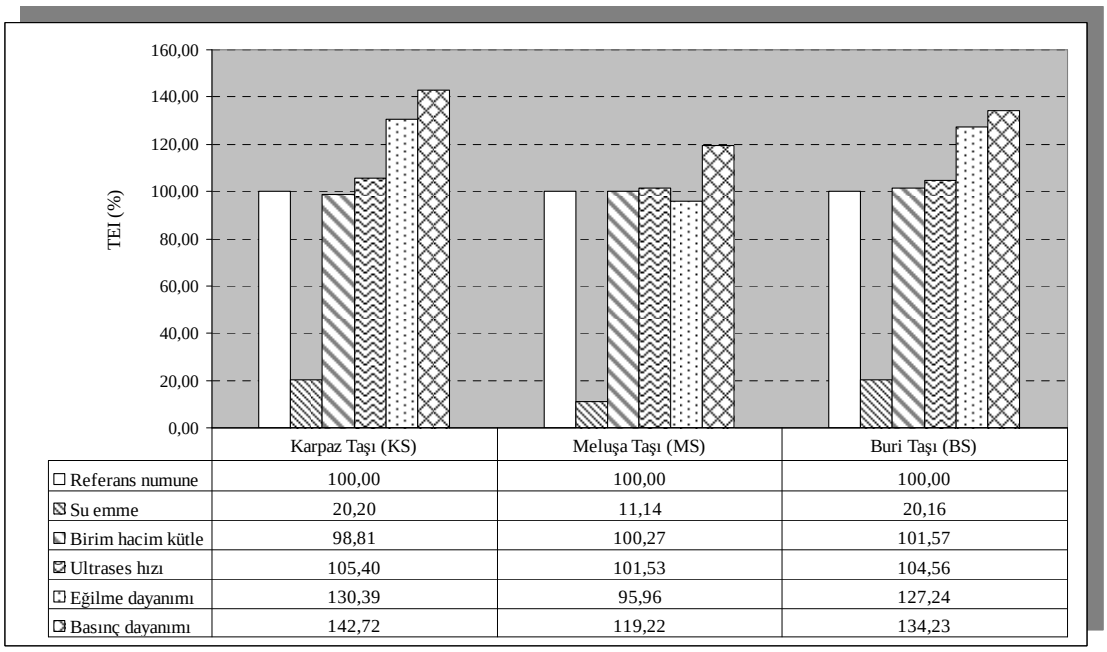
Sonuç olarak taşlara ilk uygulama aşamasında kimyasal uygulanması taşların donma – çözülme etkisi altındaki dürabilitesini arttırdığı; bu artışta K2 uygulamasının daha etkin olduğu gözlenmiştir. Kimyasalların olumlu etkisi Meluşa ve Buri'ye göre en fazla Karpaz taşında görülmüştür.

Çizelge 4.8 : Yeni taşa uygulanan kimyasalların donma – çözülme deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- DC	1.94	10.94	1.851	9.66	2.78	5.10	12.43
7KS - K1 - DC	0.0040	4.03	1.824	-	2.74	4.07	16.29
7KS - K2 - DC	0.0013	2.21	1.829	-	2.93	6.65	17.74
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- DC	0.33	17.69	1.471	11.20	2.61	4.95	18.83
7MS - K1 - DC	0.026	2.25	1.511	-	2.69	4.07	20.74
7MS - K2 - DC	0.027	1.97	1.475	-	2.65	4.75	22.45
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- DC	3.24	18.70	1.588	23.35	2.41	2.46	4.85
7BS - K1 - DC	0.0025	3.13	1.576	-	2.44	2.55	5.12
7BS - K2 - DC	0.0088	3.77	1.613	-	2.52	3.13	6.51



Şekil 4.18 : Yeni taşa uygulanan koruyucu kimyasalın (K1) donma – çözülme deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 7. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	20,20	11,14	20,16
Birim hacim kütle	98,81	100,27	101,57
Ultrases hızı	105,40	101,53	104,56
Eğilme dayanımı	130,39	95,96	127,24
Basınç dayanımı	142,72	119,22	134,23

Şekil 4.19 : Yeni taşa uygulanan sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) donma – çözülme deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 7. aşamanın kıyaslanması).

4.3.2.3 Yeni taşa uygulanan kimyasalların tuz kristalizasyonu deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi

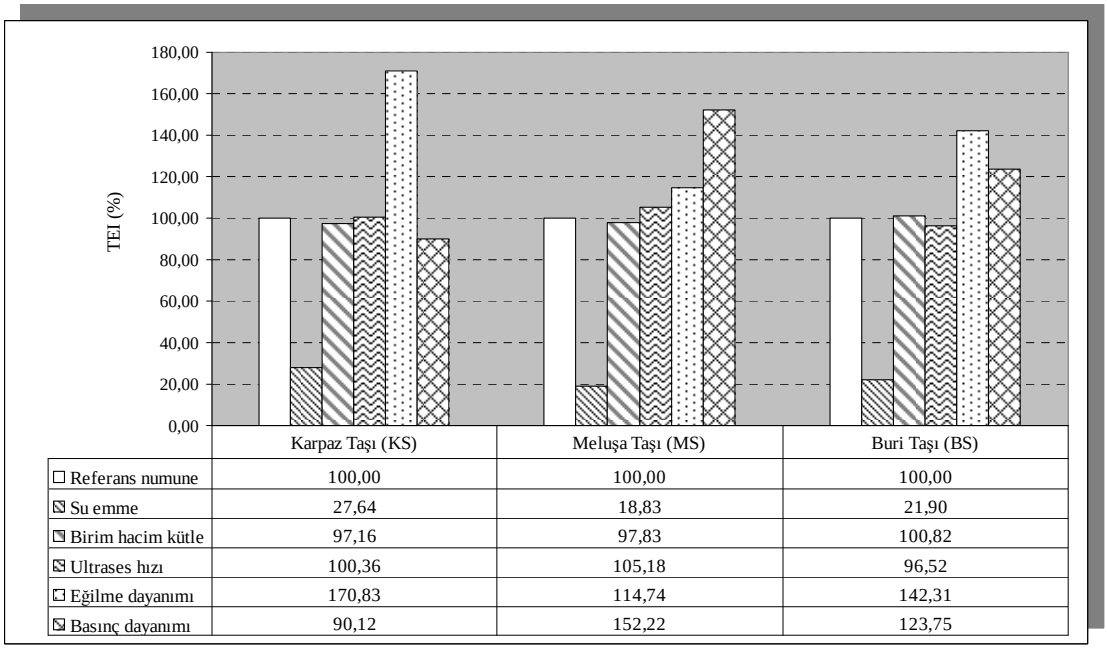
Yeni taşa uygulanan kimyasalların tuz kristalizasyonu deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.9'da görülmektedir. Bu etkiler Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de irdelenmektedir.

Kimyasal uygulanan ve uygulanmayan taşlarla yapılan eskitme deneyleri arasında en yıkıcı eskitme deneyi olmuştur. Taşların dayanıklı olabilmesi için iç yapısının dış etkilerden minimum etkilenmesi gerekmektedir. Fakat bu eskitme deneylerinde taşın iç yapısına giren tuzun kristallenmesiyle iç gerilmelere sebep olduğu belirlenmiştir. Kimyasal uygulanmayan üç taş tipinin de bünyelerinde kopma ve parçalanmalar oluşmuştur. Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de kimyasal uygulanan ve uygulanmayan taşların tuz kristallenmesi deneyinden sonraki durumları görülmektedir.

Her iki kimyasalın etkisi taşların özelliklerine olumlu katkı sağlamış ancak K1 uygulaması su emmeyi yaklaşık % 78 azaltırken, K2 uygulaması yaklaşık % 81 azaltmıştır.

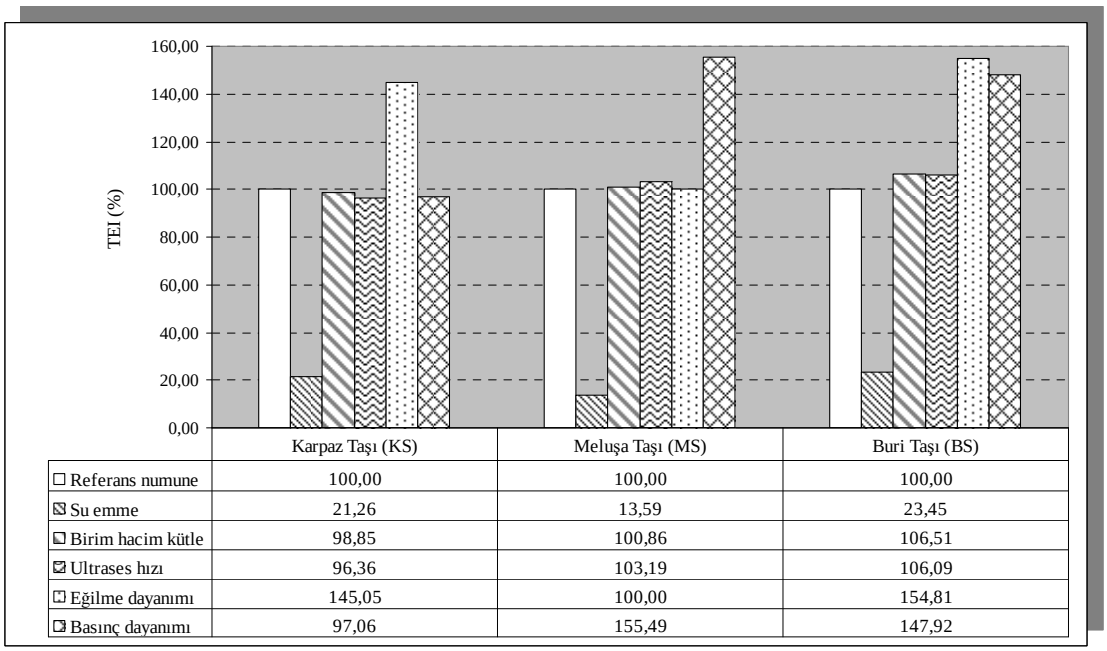
Çizelge 4.9 : Yeni taşa uygulanan kimyasalların tuz kristalizasyonu deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- TK	1.31	10.02	1.831	-	2.75	3.84	11.23
7KS - K1 - TK	0.00093	2.77	1.779	-	2.76	6.56	10.12
7KS - K2 - TK	0.0018	2.13	1.810	-	2.65	5.57	10.90
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- TK	0.22	14.50	1.519	-	2.51	5.36	11.93
7MS - K1 - TK	0.0076	2.73	1.486	-	2.64	6.15	18.16
7MS - K2 - TK	0.0068	1.97	1.532	-	2.59	5.36	18.55
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- TK	4.57	18.72	1.581	-	2.30	2.08	4.80
7BS - K1 - TK	0.00011	4.10	1.594	-	2.22	2.96	5.94
7BS - K2 - TK	0.00022	4.39	1.684	-	2.44	3.22	7.10



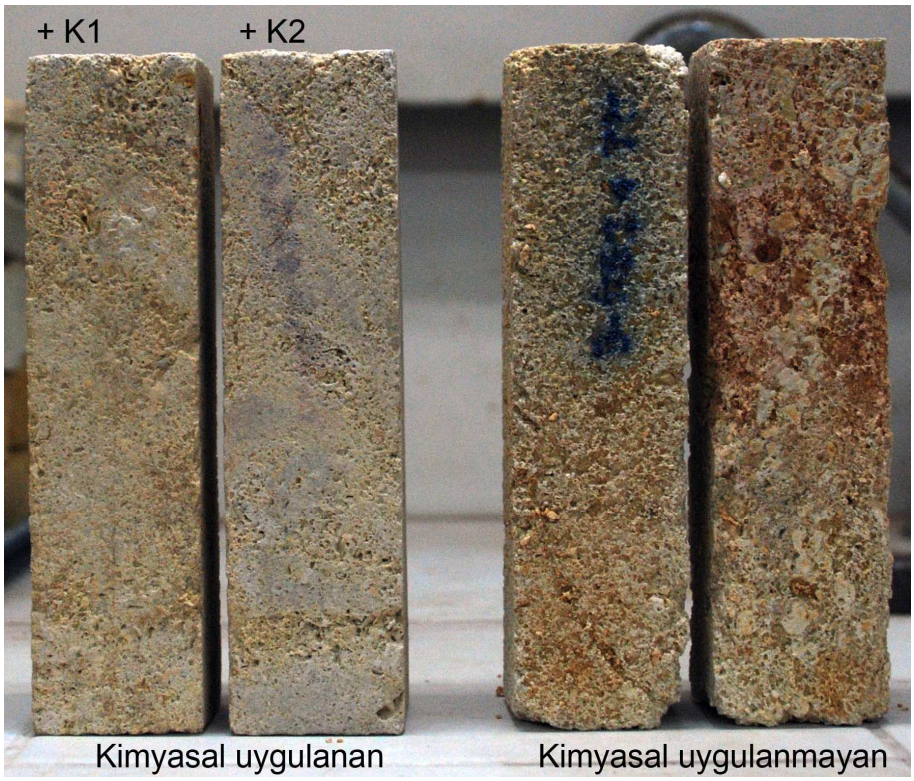
	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	27,64	18,83	21,90
Birim hacim kütle	97,16	97,83	100,82
Ultrases hızı	100,36	105,18	96,52
Eğilme dayanımı	170,83	114,74	142,31
Basınç dayanımı	90,12	152,22	123,75

Şekil 4.20 : Yeni taşa uygulanan koruyucu kimyasalın (K1) tuz kristalizasyonu deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 7. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	21,26	13,59	23,45
Birim hacim kütle	98,85	100,86	106,51
Ultrases hızı	96,36	103,19	106,09
Eğilme dayanımı	145,05	100,00	154,81
Basınç dayanımı	97,06	155,49	147,92

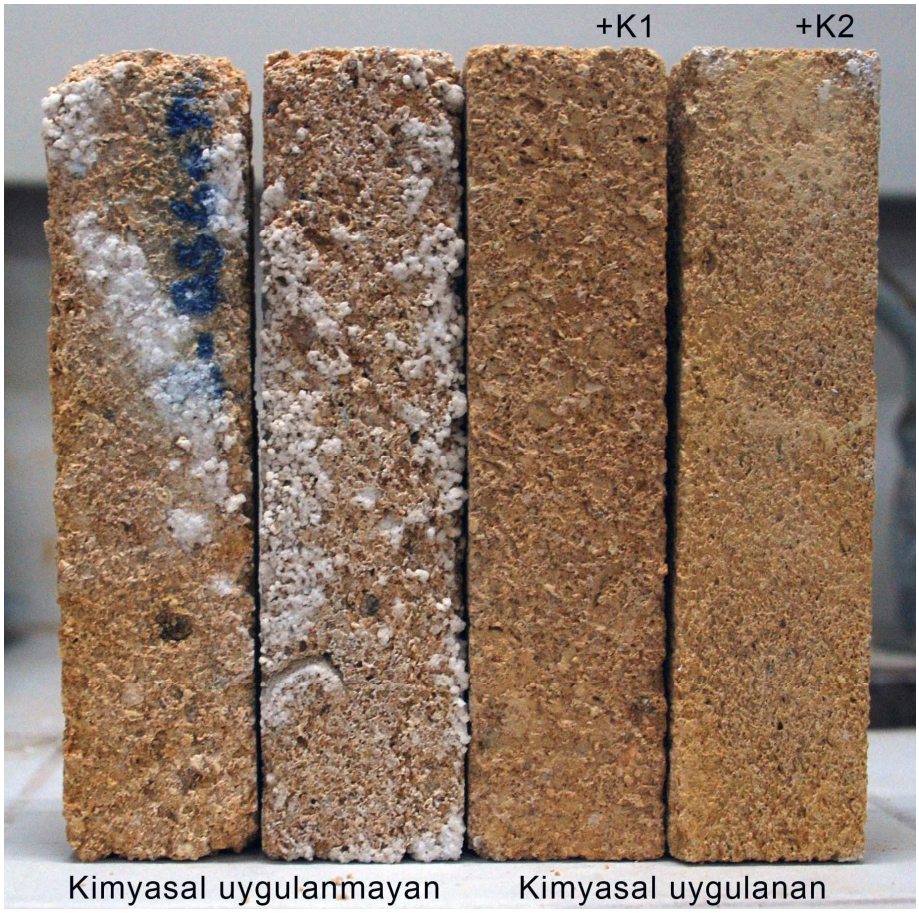
Şekil 4.21 : Yeni taşa uygulanan sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) tuz kristalizasyonu deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 7. aşamanın kıyaslanması).



Şekil 4.22 : Tuz kristallenmesi deneyinden sonra kimyasal uygulanan ve uygulanmayan Karpaz taşlarının görüntüsü.



Şekil 4.23 : Tuz kristallenmesi deneyinden sonra kimyasal uygulanan ve uygulanmayan Meluşa taşlarının görüntüsü.



Şekil 4.24 : Tuz kristallenmesi deneyinden sonra kimyasal uygulanan ve uygulanmayan Buri taşlarının görüntüsü.

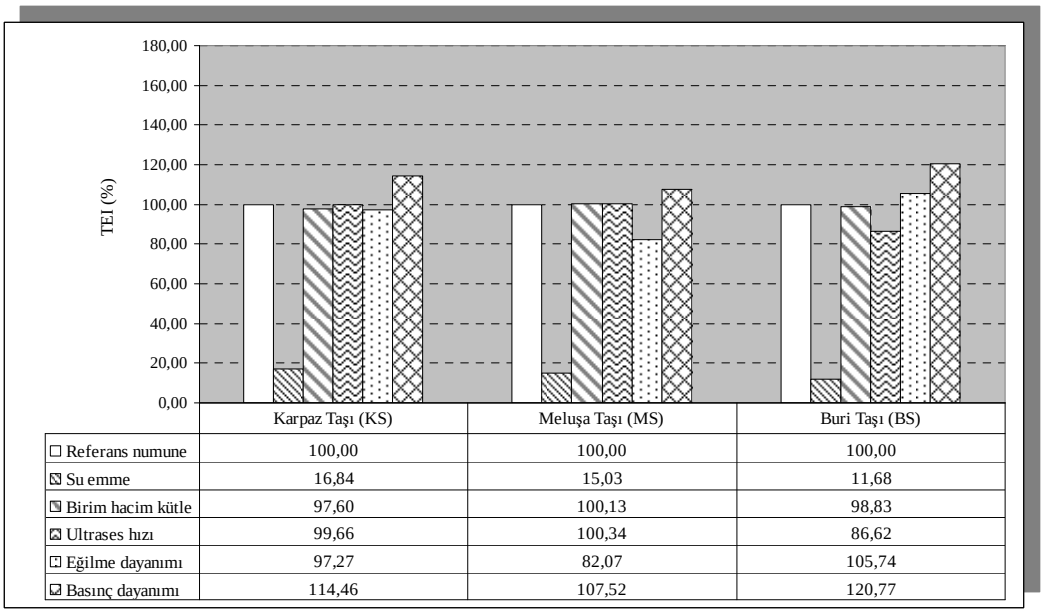
4.3.2.4 Yeni taşa uygulanan kimyasalların asit çözeltisi deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi

Yeni taşa uygulanan kimyasalların asit çözeltisi (SO_2 buharı) deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.10'da görülmektedir. Bu etkiler Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da irdelenmektedir.

Her üç taş tipinin birim hacim kütlelerinde ve ultrases hızlarındaki değişim miktarları arasında çok önemli bir fark bulunmazken, SO_2 buharına dayanıklık deneylerinde sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2) kimyasal uygulamasının koruyucu (K1) kimyasal uygulamasına göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

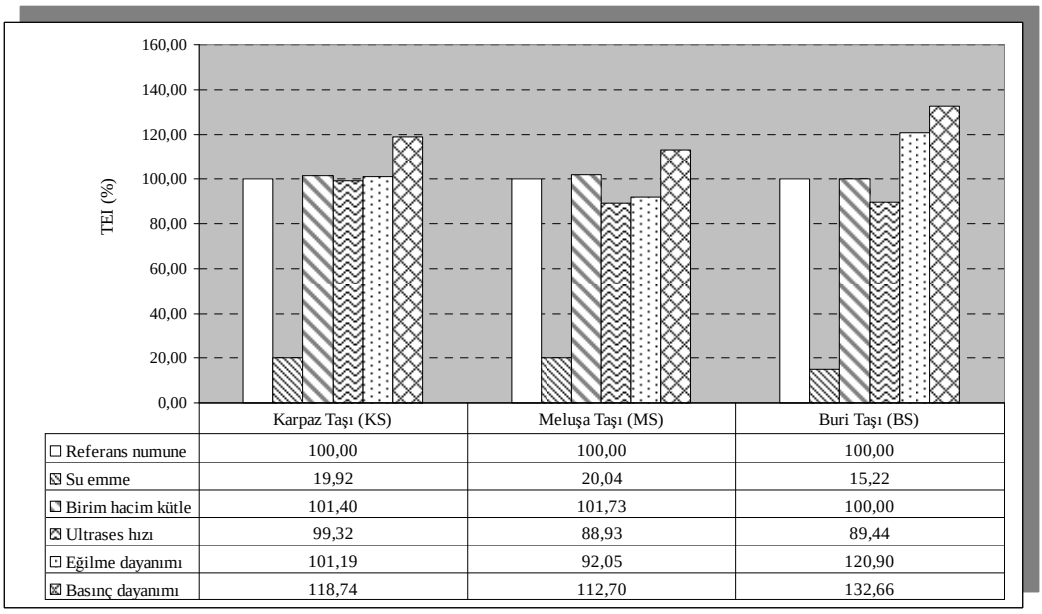
Çizelge 4.10 : Yeni taşa uygulanan kimyasalların asit çözeltisi deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- AS	1.86	10.39	1.791	-	2.95	5.87	14.94
7KS - K1 - AS	0.0040	1.75	1.748	-	2.94	5.71	17.10
7KS - K2 - AS	0.0021	2.07	1.816	-	2.93	5.94	17.74
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- AS	0.29	16.17	1.504	-	2.98	5.41	18.74
7MS - K1 - AS	0.044	2.43	1.506	-	2.99	4.44	20.15
7MS - K2 - AS	0.031	3.24	1.530	-	2.65	4.98	21.12
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- AS	4.12	17.21	1.627	-	2.84	2.44	4.96
7BS - K1 - AS	0.0025	2.01	1.608	-	2.46	2.58	5.99
7BS - K2 - AS	0.0046	2.62	1.627	-	2.54	2.95	6.58



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	16,84	15,03	11,68
Birim hacim kütle	97,60	100,13	98,83
Ultrases hızı	99,66	100,34	86,62
Eğilme dayanımı	97,27	82,07	105,74
Basınç dayanımı	114,46	107,52	120,77

Şekil 4.25 : Yeni taşa uygulanan koruyucu kimyasalın (K1) asit çözeltisi deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 7. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	19,92	20,04	15,22
Birim hacim kütle	101,40	101,73	100,00
Ultrases hızı	99,32	88,93	89,44
Eğilme dayanımı	101,19	92,05	120,90
Basınç dayanımı	118,74	112,70	132,66

Şekil 4.26 : Yeni taşa uygulanan sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) asit çözeltisi deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 7. aşamanın kıyaslanması).

4.3.3 Eski taşa uygulanan kimyasalların taşın özellikleri üzerindeki etkisi (2. ve 4. aşamanın kıyaslanması)

Çalışmanın bu bölümünde çeşitli eskitme ajanlarına tabii tutulan üç tip taş üzerinde kimyasal uygulaması yapılmış ve uygulamadan sonra her üç taş tipi de bir önceki eskitme ajanları altında yeniden eskitme deneylerine tabii tutulmuştur. Böylece

kimyasal koruma yöntemlerinin bu taşın halihazırda kullanıldığı tarihi yapıların korunmasında bir yarar sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır. Örneğin, bir taş tipi ıslanma – kuruma etkisi altında bırakılarak eskitilmiş ardından kimyasal uygulanarak tekrar eski aynı ıslanma – kuruma etkisine tabii tutulmuştur. Bu durumda her bir eskitme ajanının etkisi ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Aşağıda da sırasıyla ıslanma – kuruma, donma – çözülme, tuz kristallenmesi ve asit çözeltisi ajanları etkisinde eskitilen taşların, kimyasal uygulandığı takdirde sahip olduğu yeni özellikler irdelenmektedir.

4.3.3.1 Islanma – kuruma ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi

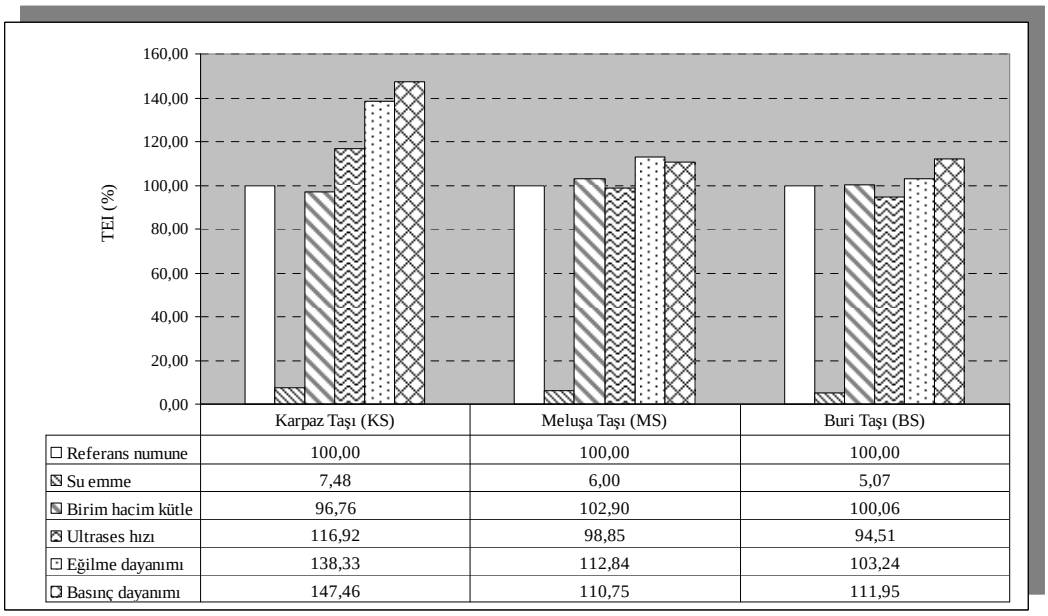
Islanma – kuruma ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.11'de görülmektedir. Koruyucu kimyasalın (K1) etkisi Şekil 4.27, sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) etkisi Şekil 4.28'de irdelenmektedir.

Islanma – kuruma ajanı ile eskitilmiş her üç taş tipinde her iki kimyasalın uygulanmasıyla su emme işlem etkinlik faktöründe yaklaşık % 90 azalma tespit edilmiştir. Kimyasal uygulamasıyla taşların yoğunluklarında herhangi bir değişikliğin olmadığı gözlenirken; özellikle ultrases hızı ölçümlerinde Karpaz taşının Meluşa ve Buri taşına göre biraz daha yüksek değerler verdiği gözlenmiştir. İç yapıdaki ultrases hızına yansıyan bu iyileşme eğilme ve basınç dayanımı değerlerinde de tespit edilmiştir. Eğilme ve basınç dayanımında sırasıyla % 38 ve % 47 oranında bir iyileşme elde edilmiştir. Bu değerler her iki kimyasal uygulaması için de hemen hemen aynıdır. Porozitesi daha düşük olan Karpaz taşının ıslanma – kuruma etkisi altında daha gözenekli bir yapıya sahip olması nedeniyle koruma amaçlı uygulanan kimyasalların etkisi daha belirgin olmuştur.

Çizelge 4.11 : Islanma – kuruma ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi.

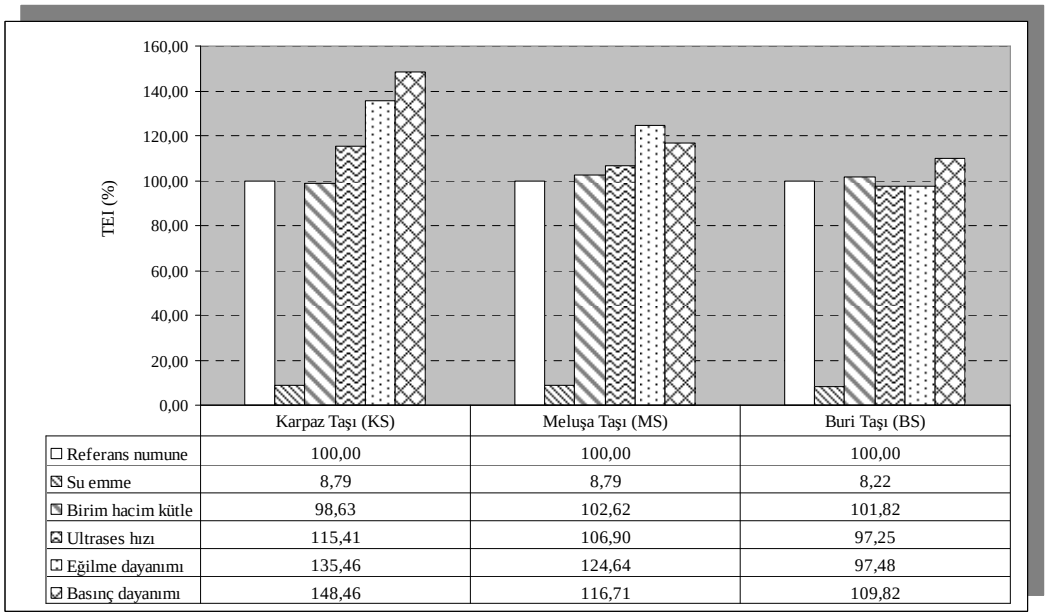
Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- IK	2.22	10.70	1.823	9.53	2.66	4.54	12.03
4KS - IK -K1	0.00029	0.80	1.764	-	3.11	6.28	17.74
4KS - IK -K2	0.00031	0.94	1.798	-	3.07	6.15	17.86

MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- IK	0.30	16.50	1.449	11.44	2.61	4.83	17.12
4MS - IK -K1	0.0096	0.99	1.491	-	2.58	5.45	18.96
4MS - IK -K2	0.0048	1.45	1.487	-	2.79	6.02	19.98
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- IK	4.83	17.15	1.592	23.41	2.55	2.78	6.11
4BS - IK -K1	0.00028	0.87	1.593	-	2.41	2.87	6.84
4BS - IK -K2	0.00031	1.41	1.621	-	2.48	2.71	6.71



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	7,48	6,00	5,07
Birim hacim kütle	96,76	102,90	100,06
Ultrases hızı	116,92	98,85	94,51
Eğilme dayanımı	138,33	112,84	103,24
Basınç dayanımı	147,46	110,75	111,95

Şekil 4.27 : Islanma – kuruma ile eskitilen taşlara uygulanan koruyucu kimyasalın (K1) taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 4. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	8,79	8,79	8,22
Birim hacim kütle	98,63	102,62	101,82
Ultrases hızı	115,41	106,90	97,25
Eğilme dayanımı	135,46	124,64	97,48
Basınç dayanımı	148,46	116,71	109,82

Şekil 4.28 : Islanma – kuruma ile eskitilen taşlara uygulanan sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 4. aşamanın kıyaslanması).

4.3.3.2 Donma – çözülme ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi

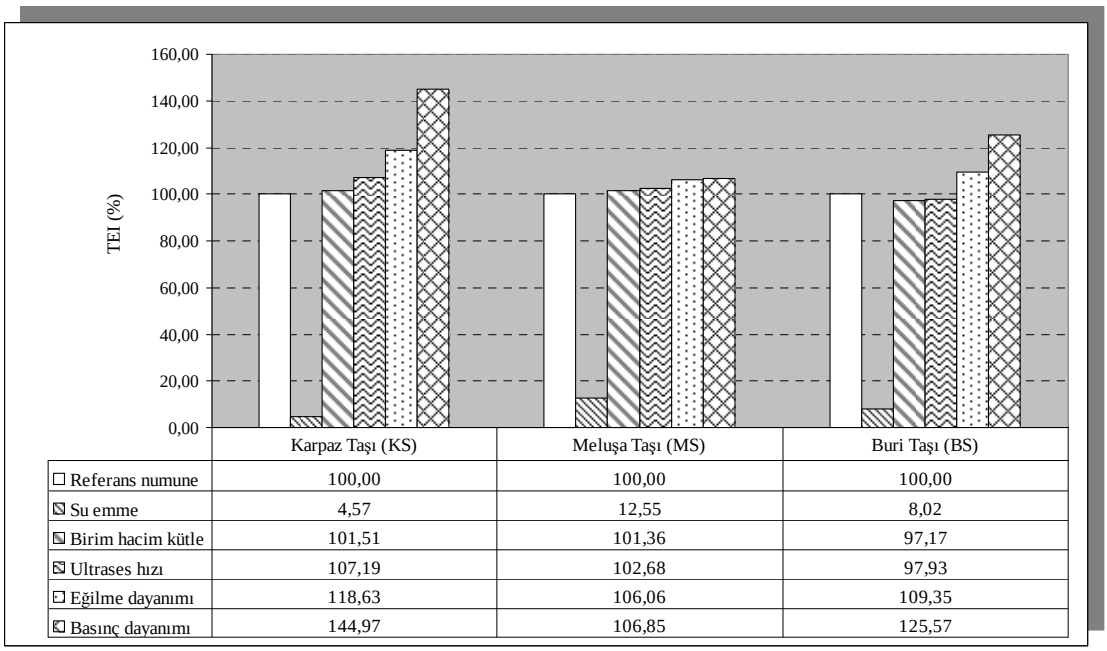
Donma - çözülme ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.12'de görülmektedir. Koruyucu kimyasalın (K1) etkisi Şekil 4.29, sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) etkisi Şekil 4.30'da irdelenmektedir.

Her iki kimyasalın donma – çözülme etkisi ile eskimiş taş üzerinde uygulanması taşların özelliklerini olumlu yönde etkilediği saptanmıştır. Ortalama su emme işlem etkinlik faktöründe % 90 azalma tespit edilmiştir. Taşların mekanik özelliklerinde de iyileşme tespit edilmiştir. Karpaz taşı en çok olumlu yönde etkilenen taş iken bunu Buri ve Meluşa takip etmiştir.

Sonuç olarak donma – çözülme etkisi altında eskimiş taşlarda kimyasal uygulaması olumlu etki sağlamıştır. En etkili olduğu taş türü sırasıyla Karpaz, Buri ve Meluşa olmuştur. K1 ve K2 uygulamalarının etkinlikleri hemen hemen aynıdır.

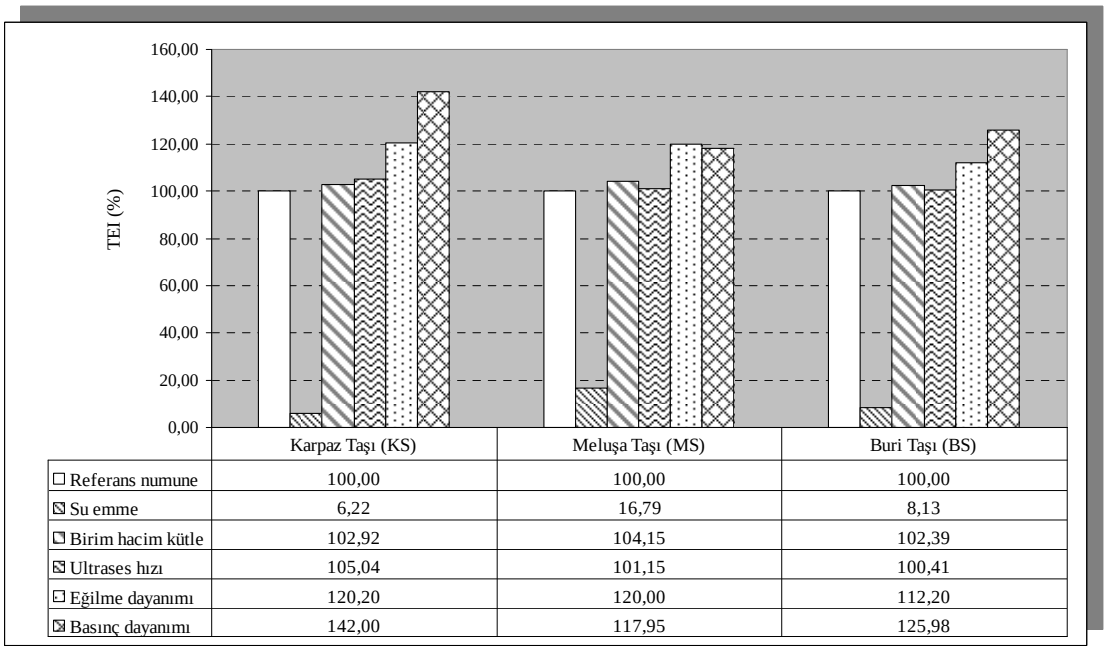
Çizelge 4.12 : Donma – çözülme ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- DC	1.94	10.94	1.851	9.66	2.78	5.10	12.43
4KS - DC -K1	0.00040	0.50	1.879	-	2.98	6.05	18.02
4KS - DC -K2	0.00058	0.68	1.905	-	2.92	6.13	17.65
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- DC	0.33	17.69	1.471	11.20	2.61	4.95	18.83
4MS - DC -K1	0.0008	2.22	1.491	-	2.68	5.25	20.12
4MS - DC -K2	0.0012	2.97	1.532	-	2.64	5.94	22.21
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- DC	3.24	18.70	1.588	23.35	2.41	2.46	4.85
4BS - DC -K1	0.00072	1.50	1.543	-	2.36	2.69	6.09
4BS - DC -K2	0.00046	1.52	1.626	-	2.42	2.76	6.11



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	4,57	12,55	8,02
Birim hacim kütle	101,51	101,36	97,17
Ultrases hızı	107,19	102,68	97,93
Eğilme dayanımı	118,63	106,06	109,35
Basınç dayanımı	144,97	106,85	125,57

Şekil 4.29 : Donma – çözülme ile eskitilen taşlara uygulanan koruyucu kimyasalın (K1) taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 4. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	6,22	16,79	8,13
Birim hacim kütle	102,92	104,15	102,39
Ultrases hızı	105,04	101,15	100,41
Eğilme dayanımı	120,20	120,00	112,20
Basınç dayanımı	142,00	117,95	125,98

Şekil 4.30 : Donma – çözülme ile eskitilen taşlara uygulanan sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 4. aşamanın kıyaslanması).

4.3.3.3 Tuz kristalizasyonu ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi

Tuz kristalizasyonu ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.13'de görülmektedir. Koruyucu kimyasalın (K1) etkisi Şekil 4.32, sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) etkisi Şekil 4.33'de irdelenmektedir.

Şekil 4.32 ve 4.33'de görüldüğü gibi tuz kristallenmesi eskitme deneyinden sonra kimyasal uygulanmayan Meluşa taşları parçalandığı için bu taşlara tekrardan kimyasal uygulama yapılamamıştır (Şekil 4.31).

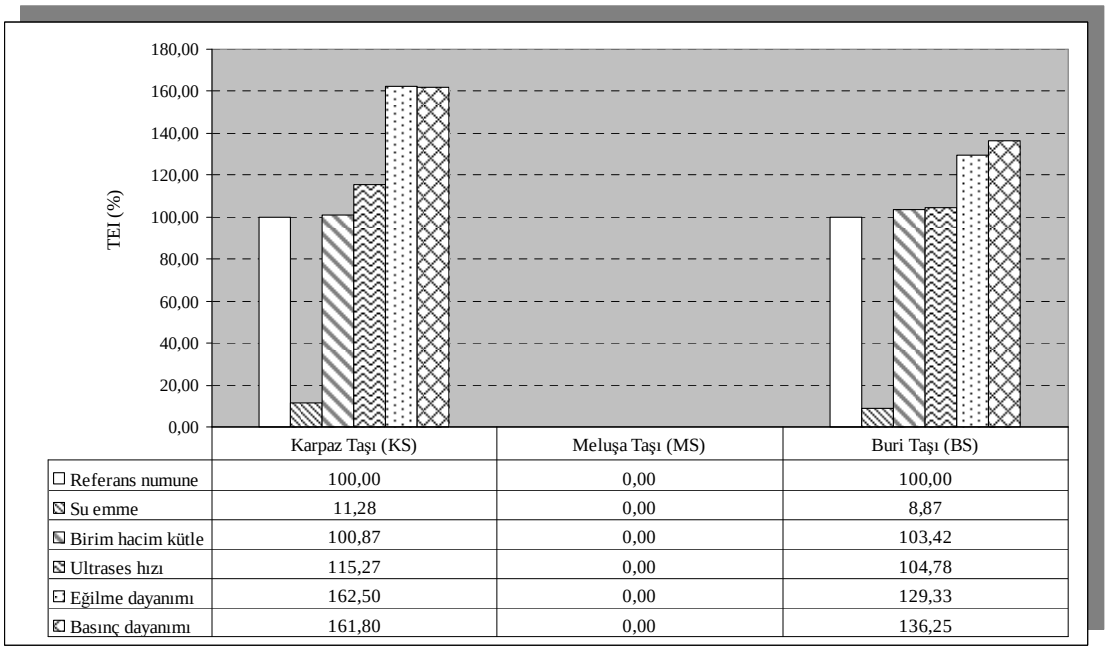
Eskitilen Karpaz ve Buri taşlarının su emme işlem etkinlik faktörü yeni taşlarda olduğu gibi yaklaşık % 87-92 bulunmuştur. Tuz kristallenmesi eskitme deneyinden sonra azalan basınç dayanımları K1 ve K2 kimyasal uygulamaları yapılınca Karpaz taşında yaklaşık % 60, Buri taşında % 40 artmıştır. Kimyasal uygulamaları tuz kristallenmesi ile eskitilen Karpaz ve Buri taşlarında başarılı olmuştur.



Şekil 4.31 : Tuz kristallenmesi deneyinden sonra kimyasal uygulanmayan Meluşa taşlarının görüntüsü.

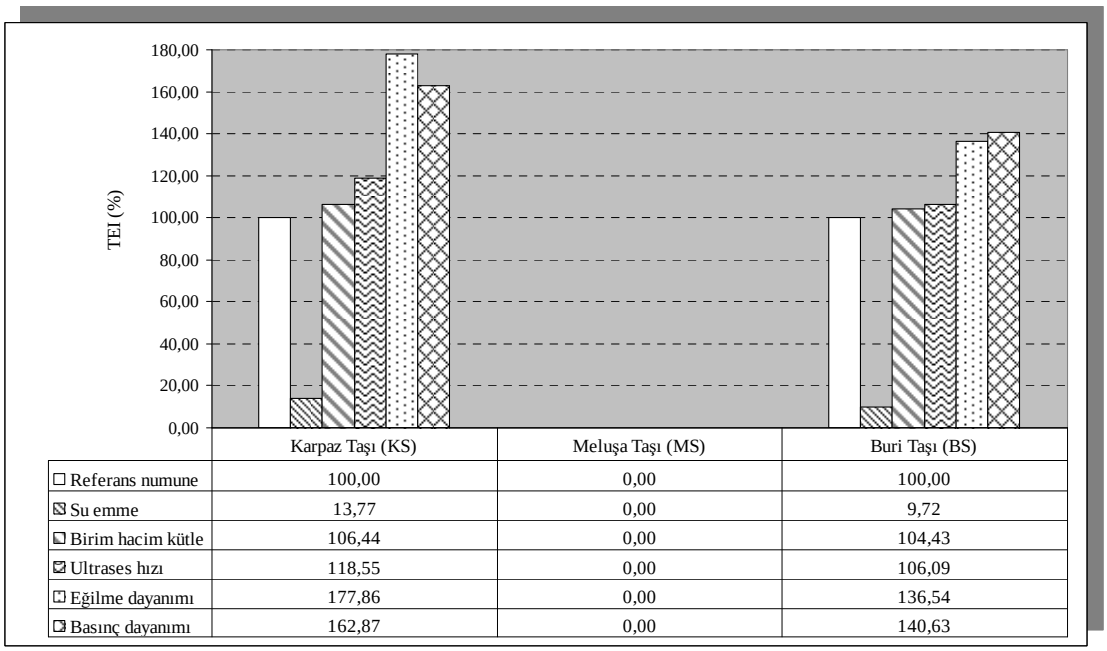
Çizelge 4.13 : Tuz kristalizasyonu ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- TK	1.31	10.02	1.831	-	2.75	3.84	11.23
4KS - TK -K1	0.0010	1.13	1.847	-	3.17	6.24	18.17
4KS - TK -K2	0.00063	1.38	1.949	-	3.26	6.83	18.29
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- TK	0.22	14.50	1.519	-	2.51	5.36	11.93
4MS - TK -K1	-	-	-	-	-	-	-
4MS - TK -K2	-	-	-	-	-	-	-
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- TK	4.57	18.72	1.581	-	2.30	2.08	4.80
4BS - TK -K1	0.00062	1.66	1.635	-	2.41	2.69	6.54
4BS - TK -K2	0.0011	1.82	1.651	-	2.44	2.84	6.75



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	0,00	100,00
Su emme	11,28	0,00	8,87
Birim hacim kütle	100,87	0,00	103,42
Ultrases hızı	115,27	0,00	104,78
Eğilme dayanımı	162,50	0,00	129,33
Basınç dayanımı	161,80	0,00	136,25

Şekil 4.32 : Tuz kristalizasyonu ile eskitilen taşlara uygulanan koruyucu kimyasalın (K1) taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 4. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	0,00	100,00
Su emme	13,77	0,00	9,72
Birim hacim kütle	106,44	0,00	104,43
Ultrases hızı	118,55	0,00	106,09
Eğilme dayanımı	177,86	0,00	136,54
Basınç dayanımı	162,87	0,00	140,63

Şekil 4.33 : Tuz kristalizasyonu ile eskitilen taşlara uygulanan sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 4. aşamanın kıyaslanması).

4.3.3.4 Asit çözeltisi ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi

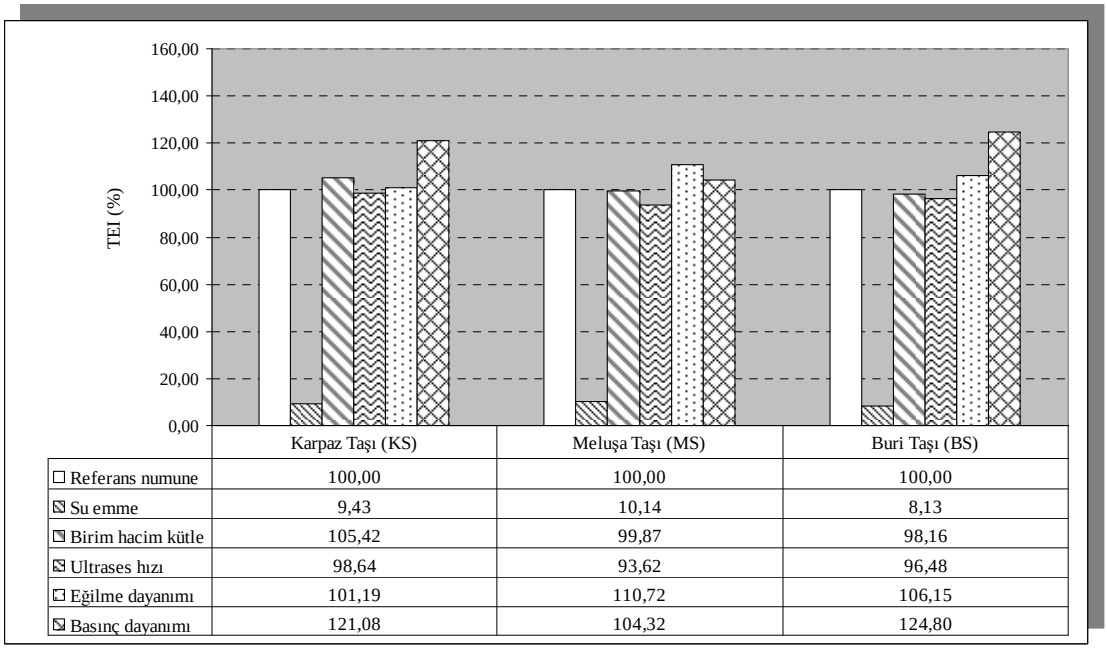
Asit çözeltisi ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.14'de görülmektedir. Koruyucu kimyasalın (K1) etkisi Şekil 4.34, sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) etkisi Şekil 4.35'de irdelenmektedir.

Eskitilen Karpaz, Meluşa ve Buri taşlarında kimyasal uygulamaların (K1 ve K2) su emme işlem etkinlik faktörü yeni taşlarda olduğu gibi yaklaşık % 92 bulunmuştur. Eskitilen taşların birim hacim kütle ve ultrases hızı işlem etkinlik faktörleri pek farklılık göstermemiştir.

SO_2 buharı eskitme deneyinden sonra taşların basınç dayanımlarında değişiklik gözlenmezken, K1 ve K2 kimyasal uygulamaları yapılınca Karpaz ve Buri taşında basınç dayanımı yaklaşık % 20 artmış, Meluşa taşında bir değişiklik gözlenmemiştir.

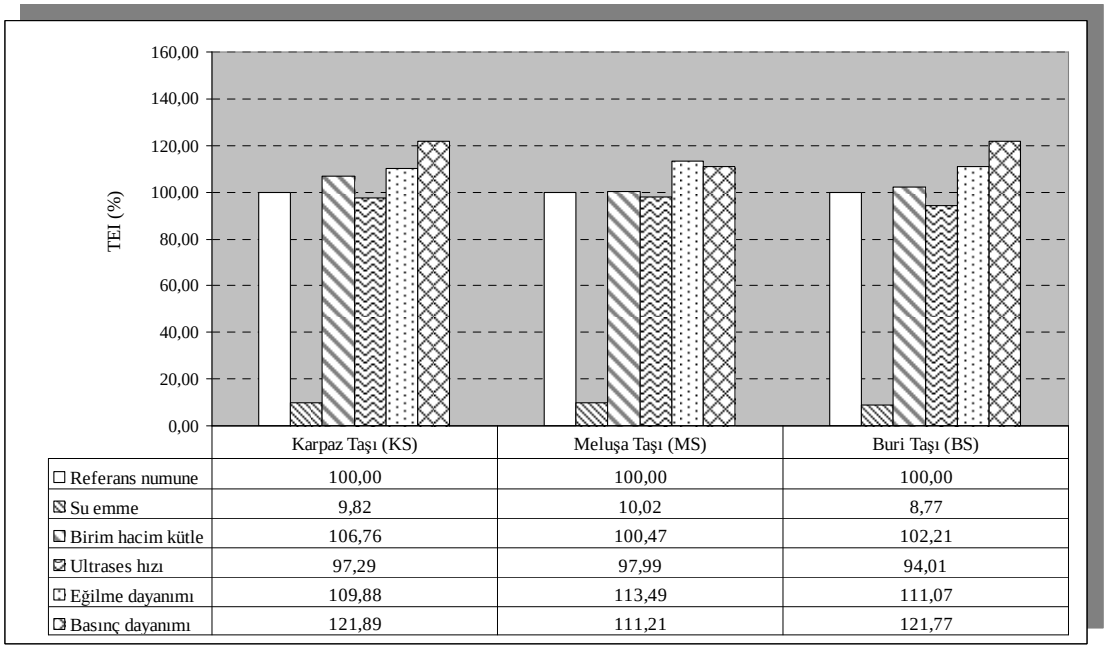
Çizelge 4.14 : Asit çözeltisi ile eskitilen taşlara uygulanan kimyasalların taşların özellikleri üzerindeki etkisi

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
2KS- AS	1.86	10.39	1.791	-	2.95	5.87	14.94
4KS - AS -K1	0.00046	0.98	1.888	-	2.91	5.87	18.09
4KS - AS -K2	0.0032	1.02	1.912	-	2.87	6.45	18.21
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
2MS- AS	0.29	16.17	1.504	-	2.98	5.41	18.74
4MS - AS -K1	0.021	1.64	1.502	-	2.79	5.99	19.55
4MS - AS -K2	0.045	1.62	1.511	-	2.92	6.14	20.84
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
2BS- AS	4.12	17.21	1.627	-	2.84	2.44	4.96
4BS - AS -K1	0.0040	1.40	1.597	-	2.74	2.59	6.19
4BS - AS -K2	0.0048	1.51	1.663	-	2.67	2.71	6.04



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	9,43	10,14	8,13
Birim hacim kütle	105,42	99,87	98,16
Ultrases hızı	98,64	93,62	96,48
Eğilme dayanımı	101,19	110,72	106,15
Basınç dayanımı	121,08	104,32	124,80

Şekil 4.34 : Asit çözeltisi (SO_2 buharı) ile eskitilen taşlara uygulanan koruyucu kimyasalın (K1) taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 4. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	9,82	10,02	8,77
Birim hacim kütle	106,76	100,47	102,21
Ultrases hızı	97,29	97,99	94,01
Eğilme dayanımı	109,88	113,49	111,07
Basınç dayanımı	121,89	111,21	121,77

Şekil 4.35 : Asit çözeltisi (SO_2 buharı) ile eskitilen taşlara uygulanan sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) taşların özellikleri üzerindeki etkisi (2.ve 4. aşamanın kıyaslanması).

4.3.4 Eski taşa uygulanan kimyasalların taşın dürabilitesi üzerindeki etkisi (3. ve 5. aşamanın kıyaslanması)

Restorasyon işlemlerinin seçiminde veri sağlamak amacıyla eski taşlara uygulanan kimyasalların (K1 ve K2) uzun dönem performansı bu bölümde değerlendirilmiştir. Bu amaçla kimyasal uygulanmamış (2.aşama) ve kimyasal uygulanmış (4.aşama) taşlara ıslanma-kuruma, donma-çözülme ve tuz kristallenmesi çevrimlerine dayanıklık deneyleri yapılmıştır. Kimyasal uygulanmamış taşlarda (KS, MS, BS) tuz kristallenmesi deneyinden sonra malzeme kaybı ve parçalanmalar olmuştur. Aşağıdaki bölümlerde kimyasalların her bir eskitme ajanının etkisinden sonra taşın özellikleri üzerindeki etkisi irdelenmektedir.

4.3.4.1 Eski taşa uygulanan kimyasalların ıslanma – kuruma deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi

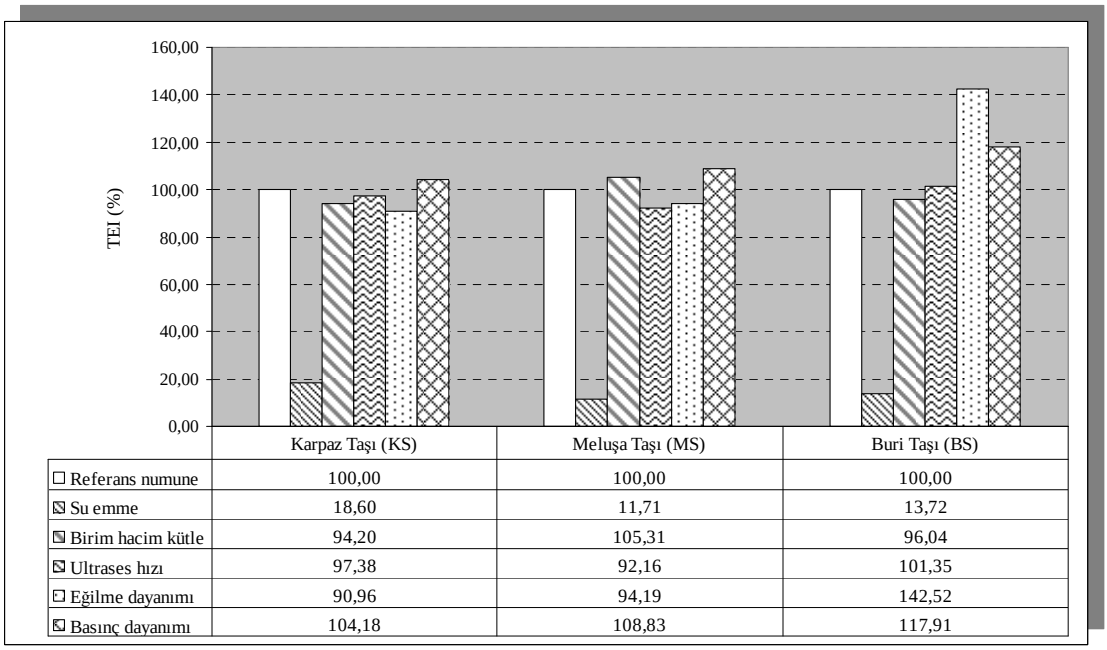
Eski taşa uygulanan kimyasalların ıslanma – kuruma deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.15'de görülmektedir. Koruyucu kimyasalın (K1) etkisi Şekil 4.36, sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) etkisi Şekil 4.37'de irdelenmektedir.

Kimyasal uygulamaların iki önemli etkinlik ölçen su emme ve basınç dayanımı açılarından bakıldığında her üç taş türünde de su emme değerlerinin ortalama % 80

azaldığı tespit edilmiştir. Basınç dayanımları ise yine üç taş türünde de olumlu yönde iyileşmiştir. Basınç dayanımı işlem etkinlik faktörü Karpaz ve Meluşa'da yaklaşık % 4 artarken; Buri taşında yaklaşık % 20 artmıştır.

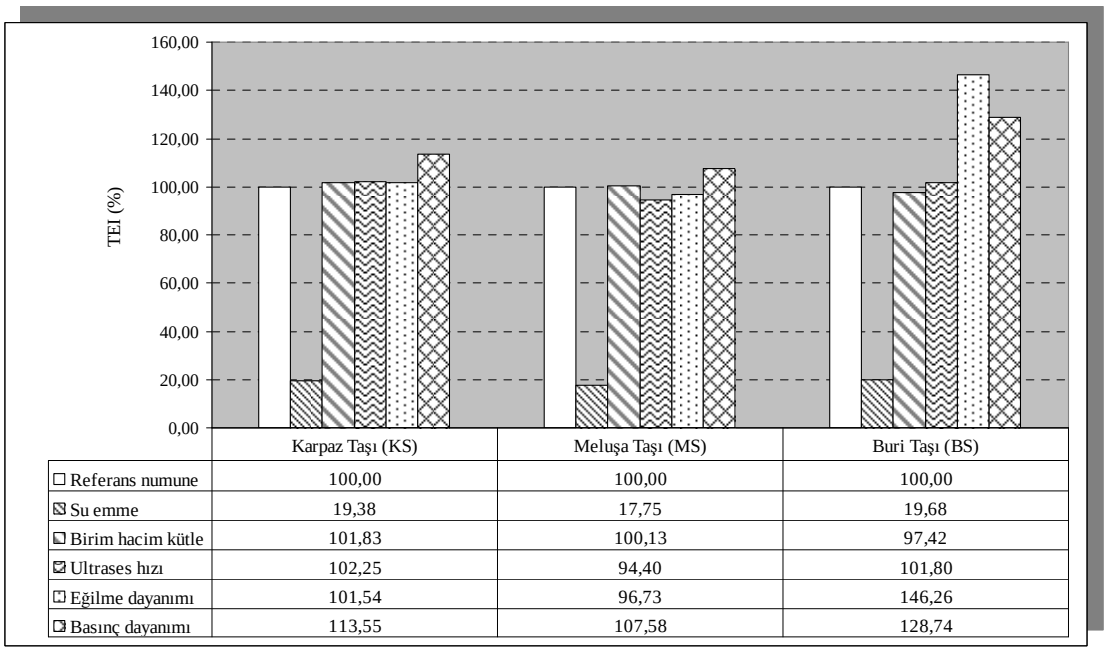
Çizelge 4.15 : Eski taşa uygulanan kimyasalların ıslanma – kuruma deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
3KS - IK - IK	0.63	8.98	1.914	-	2.67	5.86	11.96
5KS - IK -K1- IK	0.00275	1.67	1.803	-	2.60	5.33	12.46
5KS - IK -K2- IK	0.00636	1.74	1.949	-	2.73	5.95	13.58
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
3MS - IK - IK	0.35	16.39	1.506	-	2.68	5.51	16.88
5MS - IK -K1- IK	0.031	1.92	1.586	-	2.47	5.19	18.37
5MS - IK -K2- IK	0.030	2.91	1.508	-	2.53	5.33	18.16
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
3BS - IK - IK	2.41	15.09	1.667	-	2.22	2.14	5.08
5BS - IK -K1- IK	0.0030	2.07	1.601	-	2.25	3.05	5.99
5BS - IK -K2- IK	0.0076	2.97	1.624	-	2.26	3.13	6.54



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	18,60	11,71	13,72
Birim hacim kütle	94,20	105,31	96,04
Ultrases hızı	97,38	92,16	101,35
Eğilme dayanımı	90,96	94,19	142,52
Basınç dayanımı	104,18	108,83	117,91

Şekil 4.36 : Eski taşa uygulanan koruyucu kimyasalın (K1) ıslanma - kuruma deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (3.ve 5. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	19,38	17,75	19,68
Birim hacim kütle	101,83	100,13	97,42
Ultrases hızı	102,25	94,40	101,80
Eğilme dayanımı	101,54	96,73	146,26
Basınç dayanımı	113,55	107,58	128,74

Şekil 4.37 : Eski taşa uygulanan sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) ıslanma - kuruma deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (3.ve 5. aşamanın kıyaslanması).

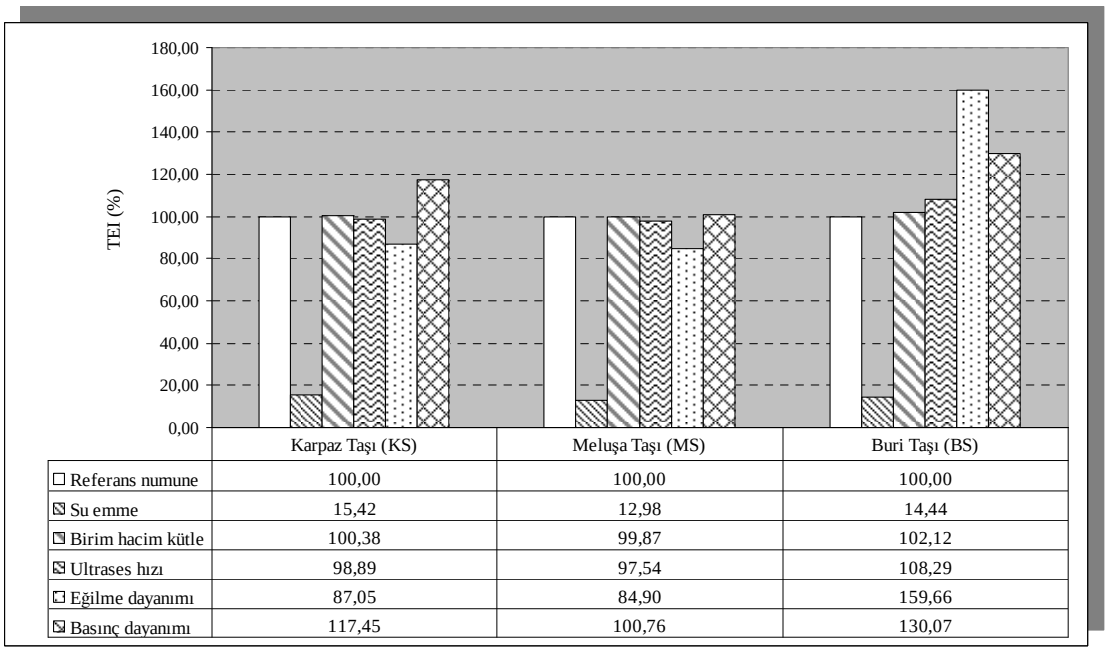
4.3.4.2 Eski taşa uygulanan kimyasalların donma – çözülme deneyinden sonra taşların dürabilitesi üzerindeki etkisi

Eski taşa uygulanan kimyasalların donma – çözülme deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.16'da görülmektedir. Koruyucu kimyasalın (K1) etkisi Şekil 4.38, sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) etkisi Şekil 4.39'da irdelenmektedir.

Kimyasal uygulamaların iki önemli etkinlik ölçen su emme ve basınç dayanımı açılarından bakıldığında her üç taş türünde de su emme değerlerinin ortalama % 85 azaldığı tespit edilmiştir. Basınç dayanımları ise yine üç taş türünde de olumlu yönde iyileşmiştir. Her üç taş tipinin birim hacim kütlelerinde ve ultrases hızlarında çok önemli bir değişim meydana gelmemiştir. Sonuç olarak eski taşlara kimyasal uygulanması taşların donma – çözülme etkisi altındaki dürabilitesini arttırdığı; bu artışta K2 uygulamasının daha etkin olduğu gözlenmiştir. Kimyasalların olumlu etkisi Karpaz ve Meluşa'ya göre en fazla Buri taşında görülmüştür.

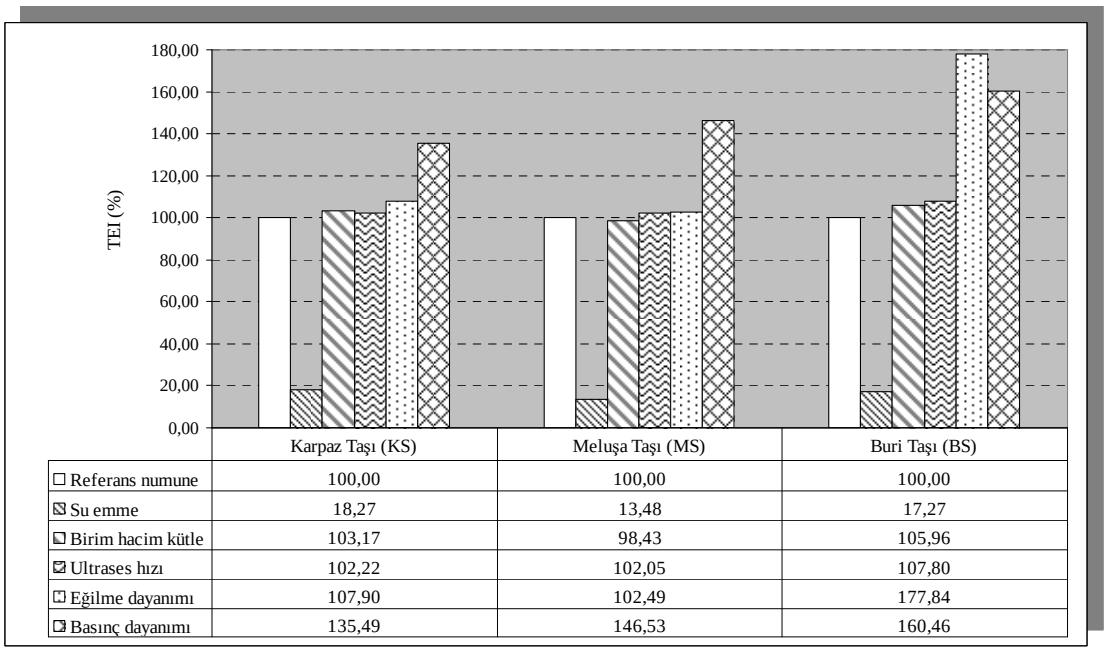
Çizelge 4.16 : Eski taşa uygulanan kimyasalların donma – çözülme deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi.

Numune	Kılcallık katsayısı N (10^{-3}) (cm^2/san)	Kütlece su emme oranı Sk (%)	Birim hacim kütle dh (g/cm^3)	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı μ (-)	Ultrases Hızı Vo (km/sn)	Eğilmede Çekme Dayanımı $\sigma_{eğ}$ (MPa)	Basınç Dayanımı σ_{bas} (MPa)
KS	1.12	9.09	1.868	9.05	2.98	6.09	15.09
3KS - DC - DC	1.30	10.18	1.859	-	2.70	6.33	10.20
5KS - DC -K1- DC	0.00051	1.57	1.866	-	2.67	5.51	11.98
5KS - DC -K2- DC	0.00046	1.86	1.918	-	2.76	6.83	13.82
MS	0.36	15.90	1.477	10.75	2.77	6.13	19.00
3MS - DC - DC	0.15	15.95	1.525	-	2.44	5.63	14.40
5MS - DC -K1-DC	0.00016	2.07	1.523	-	2.38	4.78	14.51
5MS - DC -K2-DC	0.00016	2.15	1.501	-	2.49	5.77	21.10
BS	3.16	17.50	1.554	22.85	2.49	2.50	4.83
3BS - DC - DC	4.56	20.85	1.509	-	2.05	1.76	3.06
5BS - DC -K1- DC	0.00072	3.01	1.541	-	2.22	2.81	3.98
5BS - DC -K2- DC	0.00098	3.60	1.599	-	2.21	3.13	4.91



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	15,42	12,98	14,44
Birim hacim kütle	100,38	99,87	102,12
Ultrases hızı	98,89	97,54	108,29
Eğilme dayanımı	87,05	84,90	159,66
Basınç dayanımı	117,45	100,76	130,07

Şekil 4.38 : Eski taşa uygulanan koruyucu kimyasalın (K1) donma – çözülme deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (3.ve 5. aşamanın kıyaslanması).



	Karpaz Taşı (KS)	Meluşa Taşı (MS)	Buri Taşı (BS)
Referans numune	100,00	100,00	100,00
Su emme	18,27	13,48	17,27
Birim hacim kütle	103,17	98,43	105,96
Ultrases hızı	102,22	102,05	107,80
Eğilme dayanımı	107,90	102,49	177,84
Basınç dayanımı	135,49	146,53	160,46

Şekil 4.39 : Eski taşa uygulanan sağlamlaştırıcı + koruyucu kimyasalın (K2) donma – çözülme deneyinden sonra taşların özellikleri üzerindeki etkisi (3.ve 5. aşamanın kıyaslanması).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

5.1 Taşların Özellikleri

- Karpaz ve Buri taşlarının organik tortul taşlar sınıfından fosilli kireçtaşı, Meluşa taşının kimyasal tortul taşlar sınıfından mikritik-killi kireçtaşı olduğu tespit edilmiştir.
- ASTM C 568'ye göre Karpaz taşının düşük-orta yoğunluk, Meluşa ve Buri taşının düşük yoğunluklu kireçtaşı olduğu belirlenmiştir.
- TSE 11137'de istenilen değerlere göre her üç taş tipinin de taşıyıcı malzeme olarak kullanılmasının uygun olmadığı, iç ve dış cephe kaplaması olarak kullanılması gerektiği belirlenmiştir.
- Görünürde her üç taş tipi de damarsız izotrop ve yumuşak bir bünye yapısına sahiptir. Bu çeşit taşların dirençleri çok düşüktür. Bazıları kolayca bir testereyle kesilecek kadar yumuşaktır. Bünyelerinde nem tutma özelliğine sahiptirler. Bu tür taşlarla yapılan inşaatın kuzeye karşı tarafları yosun tutabileceğinden tasarım aşamasında önlemler alınması gerekmektedir.
- Kılcallık katsayısı en yüksek olan taş Buri taşıdır ve onu sırasıyla Karpaz ve Meluşa taşları takip etmektedir. Buna paralel olarak Buri taşının basınç dayanımı 4.83 MPa ile en düşük değerde bulunmuş, bunu Karpaz ve Meluşa takip etmiştir.
- Buhar difüzyonu direnç faktörü açısından taşlar değerlendirildiğinde Karpaz, Meluşa ve Buri taşları için sırasıyla 9, 11 ve 23 değerleri bulunmuştur. Nispeten direnç faktörleri düşük olarak saptanmıştır.
- Bu özelliklere sahip taşların dış cephe kaplaması, iç cephe kaplaması, denizlik ve söve bölgelerinde kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

5.2 Taşların Dürabilitesi

- Gözenekliliği ve su emme oranı fazla olan Karpaz, Meluşa ve Buri gibi taşlar, yapıların suyla teması daha fazla olan bölgelerinde ve özellikle zemine yakın yerlerinde kullanılmaması doğru olacaktır. Bu bölgelerde su emme oranı az malzemeler veya koruyucu kimyasal uygulanmış malzemeler kullanılmalıdır.
- Her üç taş tipinin de hava kirliliği ve atmosferik etkiler sonucunda fiziko-kimyasal bir bozulmaya uğradığı belirlenmiştir.
- Islanma – kuruma eskitme deneylerinde Karpaz ve Meluşa taşlarının eğilme ve basınç dayanımları azalırken Buri taşının eğilme ve basınç dayanımlarının arttığı saptanmıştır. Buri taşında ıslanma – kuruma etkisinden sonra görülen bu farklı davranış biçimi onun atmosferik koşullar altında zamanla daha dayanıklı bir bünye yapısına kavuşacağını göstermektedir.
- Donma – çözülmeye bağlı olarak Meluşa ve Buri taşlarında önemli bir değişiklik gözlenmezken, her iki taşın da ultrases hızındaki azalma, taşların donma – çözülme etkisi altında gözenek miktarının arttığını göstermektedir.
- Tuz kristallenmesine dayanıklık deneyi en yıkıcı eskitme deneyi olmuştur. Meluşa taşları parçalanmıştır. Karpaz ve Buri taşı numuneleri parçalanmasa da kenarlarında kopmalar ve oyuklar oluşmuştur.
- Asit çözeltisi ve UV etkilerine dayanıklık deneyleri sonunda ağırlık değişimleri çok farklılık göstermemiştir. Asit çözeltisi etkisinde taşların renkleri çok az açılmıştır.

5.3 Kimyasalların Taşların Özellikleri ve Dürabilitesi Üzerindeki Etkisi

- Her iki kimyasal uygulamanın da her üç taş tipinin su emmesini yaklaşık % 90 azalttığı, su buharı difüzyon direnç faktörünü pek değiştirmediği ve mekanik özelliklerini arttırdığı için kimyasal uygulamaları olumlu bulunmuştur.
- Kimyasal uygulama yeni taş yüzeyine yapılacağı zaman sağlamlaştırıcı ile birlikte değil, sadece koruyucu (K1) kimyasalın uygulanması istenilen performansı sağlamaya yeterli olmaktadır.

- Taşların gözeneklilik derecesi arttıkça kimyasalların ultrases hızı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi artmaktadır.
- Dürabilite açısından değerlendirildiğinde, etil silikat esaslı sağlamlaştırıcı + silan-siloksan esaslı koruycudan oluşan (K2) kimyasal uygulamasının taşlara daha iyi penetre olduğu ve makro boşlukların bir kısmını daha iyi doldurması nedeniyle su ve tuzdan daha az etkilendiği, silan-siloksan esaslı koruyucu (K1) kimyasal uygulamasına göre daha olumlu davrandığı, yani korumada daha etkili olduğu belirlenmiştir.
- Eskitme deneyleri, her iki kimyasal uygulamanın da durabiliteye katkısının başarılı olduğunu göstermiştir. Çalışma, her iki kimyasal uygulamanın (K1 ve K2); Karpaz, Meluşa ve Buri taşlarında kullanılabileceğini göstermiştir.
- Taşlara ilk uygulama aşamasında kimyasal uygulanması taşların dürabilitesini arttırdığı; bu artışta K2 uygulamasının daha etkin olduğu gözlenmiştir. Kimyasalların olumlu etkisi Meluşa ve Buri'ye göre en fazla Karpaz taşında görülmüştür.
- Her iki kimyasal uygulamanın da eskitilen taşların özelliklerini arttırdığı için eski taşlara uygulanan kimyasallar olumlu bulunmuştur.
- Eski taşlara kimyasal uygulanması, taşların eskitme deneyleri etkisi altındaki dürabilitesini arttırdığı; bu artışta K2 uygulamasının daha etkin olduğu gözlenmiştir. Kimyasalların olumlu etkisi Karpaz ve Meluşa'ya göre en fazla Buri taşında görülmüştür.

5.4 Öneriler

Bu tez kapsamında, Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarının (Karpaz taşı, Meluşa taşı ve Buri taşı) dayanıklılığı ve uzun dönem performansları koruyucu (K1) ve sağlamlaştırıcı + koruyucu (K2) kimyasal uygulayarak ve uygulamadan laboratuar ortamında yapılan tek parametreli eskitme deneyleri ile irdelenmiştir. Çok parametreli olan atmosfer koşullarına dayanıklık deneylerinin de yapılmasında yarar vardır. Ancak, atmosfer ortamında yapılacak deneysel çalışmaların en az 5 sene takip edilmesi gerektiğinden bu tez kapsamında söz konusu deneysel çalışma yapılamamıştır. Kuzey Kıbrıs kireçtaşlarında yapılan kimyasal uygulamaların dış hava koşullarına dayanımının araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Acun Özgünler, S., 2007. Tarihi yapılarda kullanılan volkanik tüflerin konservasyonu üzerine bir araştırma: od taşı örneği, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Al-Mukhtar, M., Beck, K., Van, T. T., 2007. Accelerated weathering tests on two highly porous limestone, *Environmental Geology*, 2007, Vol.**52**, pp.283-292.

Amoroso, G., Fassina, V., 1983. Stone Decay and Conservation: Atmospheric Pollution, Cleaning, Consolidation and Protection. *Materials Science Monographs*, 11, Elsevier-Amsterdam, Lausanne, Oxford, New York, pp.135-153.

Anonim., 2007. İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Ders Notları, İstanbul.

Artel, T., 1969. *Yapı Malzemesi*, Osman Yalçın Matbaası, İstanbul.

Ashurst, J., Dimes, G. F., 1990. Conservation of Building and Decorative Stone Vol.**1**, Butterworth-Heinemann, p.153, London-Boston.

ASTM C-568, 1990. Standard specification for Limestone Dimension Stone, *American Standards Institute*, USA.

ASTM E-2167, 2001. Standard guide for selection and use of stone consolidants, *American Standards Institute*, USA.

ASTM D-5313, 1992. Standard test methods for wetting-drying cycles of building materials, *American Standards Institute*, USA.

Bahali, M., Eren, Ö., 2005. Some engineering properties of natural building cut stones of Cyprus, *Construction and Building Materials*, 2005, Vol.**19**, pp.213-222.

Bayramgil, O., 1959. *Petrografi*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

Boss, M., Grobe, J., Hilbert, G., Muller-Rochholz, J., 1996. Modified elastic silicic-acid ester applied on natural stone and tests of their efficiency, *Proceedings of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Lisbon, pp.1179-1185.

Cantone, F., De Medici, S., Fiore, V., 2004. Durability and degradation of natural stone in Syracusan facades: materials and techniques compatible for recovery interventions, *Design and Nature II*, M. W. Collins & C. A. Brebbia.

Charola, A. E., 1995. Water-Repellent Treatments for Building Stones: A Practical Overview, *APT Bulletin*, Vol.**26**, No:2/3.(1995), pp.10-17.

Çorapçıoğlu, K., 1983. Doğal Taş Kagir Yapılarda Taş Ayrışmasının Nedenleri ve Maktralı Kalkerler Üzerinde Korumaya Yönelik Bir Araştırma, *Doktora Tezi*, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çorapçıoğlu, K., 1993. *Taş ayrışmasının nedenleri ve koruma teknikleri,* MSÜ Mimarlık Fakültesi Yayını, İstanbul.

Danehey, C., Wheeler, G., Su, S. H., 1992. The influence of quartz and calcite on the polymerization of methyltrimethoxysilane, *Proceedings of the 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone,* Lisbon, pp.1043-1052.

Dreghorn, W., 1978. *Landforms in the Girne range – Northern Cyprus,* Ankara: The mineral Research and Exploration Institute of Turkey.

Dorsey, J., Edelmen, A., Jensen, H. W., Legakis, J., and Pederson, H. K., 2006. Modeling and Rendering of Weathered Stone, *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques,* Laboratory for Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, USA.

Erguvanlı, K., 1955. *Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları,* İ.T.Ü Yayını, İstanbul.

Erguvanlı, K., 1982. *Mühendislik Jeolojisi,* İ.T.Ü Yayını, İstanbul.

Erguvanlı, K., 1967. *Mühendislere Jeoloji,* İ.T.Ü Yayını, Sayı 709, İstanbul.

Eriç, M., 2002. *Yapı Fiziği ve Malzemesi,* Literatür Yayınları, İstanbul.

Ersen, A., 1991. Taş Koruma Kuramı ve Uygulamalarının Evrimi, *Doçentlik Tezi,* İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi, Restorasyon A.B.D., İstanbul.

Ersen, A., 1998. Doğal Yapı Taşlarındaki Bozulmalar ve Bozulma Süreçleri, *Yapı Dergisi,* Sayı 195, Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul.

Fox, J. J., Harrison, T. W., 1925. Some Aspects of Stone Decay, *Journal of Society of Chemical Industry,* (44), 145T-149T.

Fassina, V., 1988. The Stone Decay of the Main Portal of Saint Mark's Basilica in Relation of Natural Weathering Agents and to Air Pollution, *6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone,* Torun, pp.276-286.

Fitzner, B., Heinrich, K., Bouchardiere, D. L., 2002. *Damage index for stone monuments,* Geological Institute, Aachen University of Technology, Aachen, Germany.

Furlan, V., Girardet, F., 1983. Conseridation on the Rate of Accumulation and Distribution of Sulphurous Pollutants in Exposed Stones, *Int. Cong. On Materials Science and Restoration,* Esslingen, pp.285-290.

Goins, E. S., Wheeler, G. S., Griffiths, D., Price, C. A., 1996. The effect of the sandstone, limestone, marble and sodium chloride on the polymerization of MTMOS solutions, *Proceedings of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone,* Berlin, pp.1243-1254.

Gökaltun, E., 1999. Atmosferik kirleticilerin kuru ve ıslak çökelme mekanizmalarının kireçtaşlarındaki parlaklık kaybına etkisi, *Doktora Tezi,* İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gürdal, E., Yüzer, E., Ersen, A., Güleç, A., Eyüboğlu, R., Eriş, İ., Görür, N., Vardar, M., Suner, F., Mahmutoğlu, Y., Pehlivancıoğlu, C., 2000. Dolmabahçe Sarayı Kullanılan Taşların Korunmuşluk Durumlarının ve Ayrışma Nedenlerinin Belirlenmesi Koruma ve Onarım Yöntemlerinin Saptanması Sonuç Raporu, *İTÜ Geliştirme Vakfı Araştırma Projesi Raporu*, İstanbul.

Gürdal, E., 2004. Yapı Hasarları ve Yapı Koruma Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Gürdal, E., 2005. Yapı Malzemesi Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Hegger, M., Auch-Schwelk, V., Fuchs, M., Rosenkranz, T., 2006. *Construction Materials Manual*, Münih.

Hirschwald, J., 1908. *The Testing of Natural Building Stones and Their Resistance to Weather*, Wilhelm Ernst and Sohn Verlag, Berlin, p.675.

Hoke, E., 1978. *Investigation of Weathering Crusts on Salzburg Stone Monuments,* Studies in Conservation (23), pp.118-126.

Horie, C. V., 1994. *Materials for Conservation,* Organic Consolidants, Adhesives and Coatings, pp.77, Butterworth Heinemann, Cornwall.

Hristova, J., Todorov, V., 1996. Consolidation effect of Wacker silicones on the properties of sandy limestone, *Proceedings of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone,* Berlin, pp. 1195-1199.

ISO-15686-2, 2001. Buildings and constructed assets – Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures, *International Standard Organization,* Switzerland.

Kieslinger, A., 1968. Principles Factors in Weathering of Natural Building Stones, *Conference on the Weathering of Stones*, ICOMOS Publication, Paris.

Kocataşkın, F., 2000, *Yapı Malzemesi Bilimi, özellikler ve deneyler*, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Kuşaslan, D., 2002. Yapıda durabilite ve Hasar Analizi – Alçılı Kerpiç Yapıda Hasar Oluşumunun İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Küçükkaya, A. G., 2004, *Taşların Bozulma Nedenleri ve Koruma Yöntemleri,* Birsen Yayınevi, İstanbul.

Laurie, A. P., 1925. Stone Decay and the Preservation of Buildings, *Journal of Society of Chemical Industry,* (44), 86T-92T.

Lazzarini, L., Tabasso, M. L., 1986. I1 restauro della pietra. CEDAM – Padova.

Lee, C. H., Yi, J. E., 2007. Weathering damage evaluation of rock properties in the Bunhwangsa temple stone pagoda, Gyeongju, Republic of Korea, *Environmental Geology,* 2007.

Leroux, L., Verges, V., Costa, D., Rodrigues, J. D., Tiano, P., Snethlage, R., Singer, B., Massey, S., De Witte, E., 2000. Measuring the penetration depth of consolidating products: Comparison of six methods, *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone,* Venice, Italy, pp. 361-369

Livingston, R. A., 1985. The Role of Nitrogen Oxides in the Deterioration of Carbonate Stone, *Proceedings of the 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone,* Lausanne, pp.453-464.

Lukaszewicz, J. W., 1996. The influence of stone pre-consolidation with ethyl silicate on deep consolidation, *Proceedings of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone,* Berlin, 1210..

Manikowsky, V., 1910. The Weathering of Our Large Monuments Die Denkmalpflege, 12(7), pp.51-54.

Maurenbrecher, A. H. P., Trischuk, K., Rousseau M. Z., Subercaseaux, M. I., 2001. Review of Factors Affecting The Durability of Repointing Mortars For Older Masonry, *9th Canadian Masonry Symposium,* 2001.

Meriçboyu, A. E., 1988. Kireçtaşı ve dolomitlerin akışkan yatakta ufalanma özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Nwaubani, S. O., Mulheron, M., Tilly, G. P., Schwamborn, B., 2000. Pore-structure and water transport properties of surface treated building stones, *Materials and Structures,* Vol.33, pp.198-206

Özışık, İ., 2009. Kişisel görüşme.

Öztürk, I., 1992. Alkoxysilanes consolidation of stone and earthen building materials, pp. 26-35, *MSc Thesis,* University of Pennsylvania.

Prueher, B., 1995. Consolidants, Coatings and Water-Repellent Treatments for Historic Masonry: A Selected, Annotated Bibliography, *APT Bulletin,* Vol.**26**, No:4, pp.58-64.

Rodrigues, J. D., 2001. *Consolidation of decayed stones.* A delicate problem with few practical solutions, Historical Constructions, P.B. Lourenço, P.Roca (Eds.), Guimaraes.

Rosen, J. H., Heineman, T., 1996. *Architectural Materials for Construction,* McGraw-Hill, New York.

Sasse, H. R., Honsinger, D., 1990. A new concept for preservation of porous natural stone, *Proceedings of the International Meeting Abaout Lavas and Volcanic Tuffs,* Easter Island, Chile, 217.

Sramek, J., 1988. Sulfur Isotopes in the Revealing Mechanism of Stones, *8th Int. Cong. On Deterioration and Conservation of Stone,* Torun, pp.341-345

Tecer, H. L., 2006. Hava Kirleticilerin Karbonatlı Yapı Malzemeleri Üzerine Etkileri, *Mühendislik Bilimleri Dergisi,* Cilt **11**, Sayı 2, s.231-237, İstanbul.

Torroca, G., 1988. Porous Building Materials, *Materials Science for Architectural Conservation,* ICCROM Publication, Rome.

Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L., 2000. *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme,* Literatür Yayıncılık, İstanbul.

Török, A., 2003. Surface strength and mineralogy of weathering crusts on limestone buildings in Budapest, *Building and Environment,* Vol.**38**, pp.1185-1192.

TS-699, 1987. Tabii yapı taşları, muayene ve deney metotları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-1925, 2000. Doğal taşlar, deney metotları, kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-1926, 2000. Doğal taşlar, deney metotları, basınç dayanımı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-1936, 2001. Doğal taşlar, deney metotları, gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam açık gözeneklilik tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS 11137, 1993. Kireçtaşı yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-12370, 2001. Doğal taşlar, deney metotları, tuz kristallenmesine direncin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-12371, 2003. Doğal taşlar, deney metotları, dona dayanım tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-12372, 2001. Doğal taşlar, deney metotları, tek eksenli yük altında eğilme dayanımı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-12407, 2002. Doğal taşlar, deney metotları, petrografik inceleme, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-12440, 2002. Doğal taşlar, isimlendirme kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-13919, 2004. Doğal taşlar, deney metotları, nemli ortamda SO_2 yıpratmasına karşı direncin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-13755, 2003. Doğal taşlar, deney metotları, atmosfer basıncında su emme tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-14146, 2006. Doğal taşlar, deney metotları, dinamik elastisite modülünün tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN-14579, 2006. Doğal taşlar, deney metotları, ses hızının ilerlemesinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

Ulupınar, Ö., 2000. Bazı kumtaşı, kireçtaşı ve tüflerde kimyasal yöntemlerle sağlamlaştırma üzerine bir araştırma, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

UNESCO, 1964. Preservation of the Monument of Mohenjo Daro, Broşür, 63.

Useche, L. A., 1990. Studies for the consolidation of the façade of the church of Santa Domingo, Popayan, Colombia, *Proceedings of the International Meeting About Lavas and Volcanic Tuffs,* Easter Island, Chile, 165.

Van Grieken, R. E., Vleugels, G. J., 1991. Weathering of Treated and Untreated Limestones in Atmospheric Exposures, *APT Bulletin,* Vol.**23**, No:4, pp.48-51.

Verges, V., and Bermin., 1996. Towards A Definition Of Comman Evaluation Criteria For The Cleaning Of Porous Building Materials, *Science And Technology For Cultural Heritage,* **5**(I), pp.69-83.

Yıldırım, N., 2007. Kireçtaşlarında tuzların yıkıcı etkilerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yüzer, E., 2004. Türkiye'nin Doğal Taşları, *Yapı Dergis*, Sayı 277, Yapı Endüstri Merkezi, 11-15, İstanbul.

Wacker., *Ürün Katalogları ve AR-GE yayınları*, 2008.

Warnes, A. R., 1934. The Decay of Building Stones Through Soot, Sands, Clays and Minerals, (2), pp.17-18.

Weiss, N., Slavid, I., Wheeler, G., 2000. Development and assessment of a conversion treatment for calcareous stone, *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone,* Venice, pp.533-540.

Wessman, L., 1997. Studies on the frost resistance of natural stone, *Licentiate Thesis,* Lund University, Lund Institute of Technology, Division of Building Materials, Sweden.

Winkler, E. M., 1973. *Stone: Properties, Durability in Man's Environment*, Springer – Verlag, New York, Wien.

Zezza, F., Gacia Pascua, N., 1996. Experimental physico-chemical methods for the identification of previous intervention in porous stone, *Proceedings of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone,* Berlin, 801.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Nejdet Ziyaettin
Doğum Yeri ve Tarihi:	Lefkoşa, K.K.T.C – 05.02.1981
Lisans Üniversite:	İ.T.Ü Mimarlık Fak. Mimarlık Bölümü (1998-2002)
Y.Lisans Üniversite:	İ.T.Ü Mimarlık Fak. Mimarlık Anabilim Dalı, Fiziksel Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı (2002-2004)