

BETON YOL KÜR KİMYASALLARININ ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

Kejin Wang¹, James K. Cable², Zhi Ge³, Halil Ceylan⁴

¹Associate Professor, ²Associate Professor, ³ Research Associate,

⁴Assistant Professor

Iowa State University, Ames, Iowa 50011, ABD

ÖZET

Beton kürü çimento hidratasyonu, mikroyapı gelişimi ve beton performansıyla yakından ilgilidir. Kolay ve ekonomik bir yöntem olan sıvı membran oluşturuvcu kür kimyasalı ya da kür bileşimi uygulaması beton yol ve köprü kaplamalarında kullanılan en yaygın metottur. Yaygın uygulama alanı bulmasına rağmen değişik tipteki membran oluşturuvcu kürlerin etkinliği ve uygulama teknolojileri hakkında kısıtlı sayıda araştırma çalışması bulunmaktadır. Kür etkinliğinin, özellikle saha uygulamalarının değerlendirilmesi için güvenilir standart deney metodları mevcut değildir.

Bu çalışma çeşitli kür kimyasallarının ve uygulama teknolojilerinin beton yüzey özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Bu bildiri, beton yollarda kullanılan kür kimyasalları odaklı olmak üzere, kür teknolojileri üzerine literatür araştırması ve konuyla ilgili bir laboratuvar çalışmasının deneysel sonuçlarını içermektedir. Laboratuvar araştırmasında üç farklı kür kimyasalı taze harç numuneler üzerine dökümden sonra belirli saatlerde uygulanmıştır. Tek ve çift katman olmak üzere iki farklı uygulama tekniği kullanılmıştır. Nem oranı, iletkenlik, kılcal geçirimsizlik ve hidratasyon derecesi numunenin farklı derinliklerinde ölçülmüştür. Harçların eğilmede çekme ve basınç dayanımları da ölçülmüştür. Malzeme özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Araştırma sonuçları kür kimyasalının harcın nem muhtevasını ve çimento hidratasyonunu önemli şekilde arttırdığını ve yüzeye yakın bölgelerde kılcal geçirimsizliği düşürdüğünü ortaya koymuştur. Öte yandan, test edilen

malzeme ve karışım oranları için en uygun uygulama zamanı hava koşullarıyla birebir ilintilidir. Yüksek etkinlik endeksli kür kimyasalı uygun zamanda uygulandığında çift katmana gerek duyulmamıştır. Uygulanan bütün test yöntemleri arasında değişik kür malzemeleri ve metotları nedeniyle beton yüzeyine yakın alanlardaki mikro yapıdaki küçük değişimlere bile duyarlı olan kılcal geçirimsizlik deneyi, en hassas olanıdır. Kılcal geçirimsizlik deneyi nem içeriği ve hidrasyon derecesiyle yakın ilişkilidir.

1. Giriş

Betona kür uygulanmasında temel amaç çimento hidrasyonunu teşvik etmek için betona yeterli nem ve sıcaklığı sağlamaktır. Betona kür uygulanması, özellikle de betonun erken yaşlarda kötü hava koşullarına maruz kaldığı durumlarda, betonun dayanımının ve dayanıklılığının sağlanması açısından çok önemlidir.

Araştırmalar yüksek kür sıcaklıklarının (100°C) genellikle çimento hidrasyonunu ve erken dayanımı hızlandırdığını göstermiştir. 10°C'nin altındaki kür sıcaklıkları erken dayanım gelişimi için uygun değildir. Eğer sıcaklık -10°C'nin altında ise çimento hidrasyonu tamamen durur (ACI Committee 308, 2000). Çimento hidrasyonu egzotermik bir reaksiyondur yani reaksiyon sırasında ısı açığa çıkar. Eğer hidrasyon ısı beton içinde tutulursa çimento hidrasyonu ve sonucunda beton dayanımı bundan fayda sağlayacaktır. Bu nedenle yalıtkan malzemeler beton kür uygulamalarında sıklıkla kullanılır.

Beton bağıl nemi de çimento hidrasyon hızını kontrol eden faktörlerden biridir. Normalde taze betondaki nem miktarı çimento hidrasyonunun tamamlanması için gerekenden daha fazladır. Eğer bu nem beton içinde tutulabilirse çimento hidrasyonuna katkı sağlayacaktır. Fakat ortamdaki su buharlaşır ve bağıl nem oranı %80'in altına düşerse çimento hidrasyonu durabilir (Mindess ve Young, 1981). Dolayısıyla, doygunluk derecesi sertleşmiş betonun boşluk yapısını, geçirgenliğini, sıvı iletkenliğini ve kılcal geçirimsizlik karakteristiklerini belirler.

Nem kaybı betonun büzülmesine, rötre oluşumuna neden olur. Eğer beton eleman serbest olarak büzülürse rötre çatlağı meydana glemeyecektir. Fakat beton yüzeyi iç bölgelere göre daha fazla büzülürse, çekme gerilmeleri oluşacak ve bu da yüzeyde çatlama neden olabilecektir. Eğer çatlama beton yeterli dayanıma ulaşmadan oluşursa bu erken, vakitsiz veya prematüre çatlama olarak adlandırılır. Düzgün kür uygulaması beton için gerekli nemi sağlar veya mevcut olan nemin kaybolmasını önleyerek erken rötreyi engeller veya azaltır.

Kür süresi çimento hidratasyonu ve beton dayanım gelişimindeki diğer bir anahtar parametredir. Doğru kür uygulaması (yeterli sıcaklık ve yüksek nem) çimento hidratasyonunu hızlandırarak betonun tasarım dayanımına ulaşması için gerekli süreyi azaltır. Zayıf ve yetersiz kür betonda erken yaşta problemlere yol açabilir.

Bu çalışma beton yollarda kullanılan kür kimyasallarının ve uygulama tekniklerinin etkinliğinin ölçülmesinde kullanılacak uygun bir metodun geliştirilmesini amaçlamaktadır. Laboratuvar araştırmasında üç farklı kür kimyasalı taze harç numuneleri üzerine dökümden sonra belirli saatlerde uygulanmıştır. Tek ve çift katman olmak üzere iki farklı uygulama tekniği kullanılmıştır. Nem oranı, iletkenlik, kılcal geçirimsizlik ve hidratasyon derecesi numunenin farklı derinliklerinde ölçülmüştür. Ayrıca, harçların eğilmede çekme ve basınç dayanımları da ölçülmüştür. Malzeme özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışma, kür kimyasallarının ve uygulama tekniklerinin değerlendirilmesinin yanısıra beton yüzey özelliklerinin karakterizasyonuna yönelik bir test metodu gelişimine de katkı da bulunmuştur.

2. TEMEL BİLGİLER

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) 308 no'lu komite yaygın olarak kullanılan beton kür metotlarını iki kategoriye ayırmaktadır: (1) betona dışarıdan su sağlanması, (2) betonda halihazırda mevcut olan suyun muhafazası (plastik örtü veya membran oluşturucu kür kimyasalıyla aşırı ısınmanın ve su kaybının önlenmesi). Yıllar boyunca uygulama sulamadan korumaya doğru kaymıştır (Gowripalan ve diğerleri, 1990).

Sulama teknikleri içinde gölme veya daldırma (beton elemanın tamamen suyla çevrenmesi) en etkin olanıdır, fakat işçilik, zaman, ve maliyet açısından çoğu zaman tercih edilmez. Betonun üzerine yağmurlama sistemi ile su serpilmesi göreceli olarak daha ucuz ve de etkin bir metottur. Fakat, bu teknik yeterli su varsa ve sıcaklık donma noktasınının oldukça üzerindeyse uygulanabilir. Çuval bezi, pamuklu örtü, kum, talaş, saman veya kuru ot gibi nem tutucu malzemeler de betonun üzerine örtülmek suretiyle kürlenme yapılabilir. Bu malzemeler nemi yavaş yavaş betona verdikleri için oldukça etkindir, fakat kuruduklarında tekrar ıslatılmalıdırlar. Bu yöntem de önemli miktarda işçilik ve zaman gerektirir.

Su koruma teknikleri içinde beton yol yüzeyinin plastik veya özel kağıt örtülerle kaplanması sıklıkla kullanılır. Bu tekniklerin işçiliği maliyetlidir ve rüzgarlı havalarda uygulanamaz. ABD'de beton yol kaplamalarının küründe en yaygın kullanılan teknik membran oluşturucu sıvı kür kimyasalı

uygulamasıdır. Kür kimyasalları ekonomiktir, kullanımı kolaydır ve uygulamadan sonra işçilik gerektirmez (Senbetta, 1988).

2.1. Membran Oluşturucu Sıvı Kür Kimyasal Çeşitleri

Kür kimyasalı, su kaybını önlemek veya, renklendirilmiş olması durumunda, ısıyı yansıtmak üzere yerleştirilmiş beton yüzeyine bir tabaka olarak uygulanabilen bir sıvıdır (Murley, 1996).

Tipik bir kür katkısı su veya bir çözücü içinde çözülmüş balmumu veya reçineden oluşur (Vandenbossche, 1999). Yüzeğe uygulandıktan sonra su veya çözücü buharlaşır ve balmumu veya reçine yüzeyde geçirimsiz bir tabaka (membran) oluşturur. Bu membran beton neminin korunmasına yardımcı olur. Kür kimyasalı uygulanmış betonun yüzeye yakın bölgeleri kısmen suya doygun haldedir. Bu doygun bölgenin derinliği uygulanan membranın su tutma kapasitesine bağlıdır.

Kimyasal kompozisyonları ve üretim proseslerine göre kür kimyasalları beş gruba ayrılır (QCL Group, 1999); (1) balmumu emülsiyonu – *wax emulsion*, (2) akrilik emülsiyonu – *acrylic emulsion*, (3) klorlu kauçuk bazlı bileşikler – *chlorinated rubber-based compounds*, (4) hidrokarbonlu reçineler – *hydrocarbon resins*, (5) polivinil asetat (PVA) bazlı bileşikler – *polyvinyl acetate-based compounds*.

Balmumu emülsiyonu -- Bu kür kimyasalları su veya uygun bir çözücü içerisinde çözülmüş balmumu içerir. Bu kimyasallar beton yüzeyine uygulanan kaplamaların (ince beton veya asfalt katman) aderansını olumsuz etkilemektedir.

Akrilik emülsiyonu -- Bu malzemeler uygun kür sağlarlar ve daha önce bahsi geçen yüzey uygulamalarının aderansını olumsuz etkilemez.

Klorlu kauçuk bazlı bileşikler -- Bu bileşikler bir solventte çözülmüş doğal ya da sentetik polimerlerdir. Yüksek kür verimliliğine sahiptirler; fakat solventleri toksik ve parlayıcı olduğundan uygulamaları azami özen gerektirir.

Hidrokarbonlu reçineler -- Bu bileşiklerin büyük çoğunluğu uygun bir çözücüde çözülmüş doğal veya sentetik reçinelerdir. Uygulandıktan sonra çözücü uçacak ve beton yüzeyinde mükemmel kür sağlayan bir membran oluşacaktır; fakat kötü hava koşullarında bu membran kırılabilir hale gelebilmekte ve güneş ışığı etkisinde dağılıp etkinliğini kaybedebilmektedir.

PVA bazlı bileşikler -- PVA bazlı kür kimyasallarıyla yapılan deneyler bu malzemelerin beton nem kaybını önlemede sınırlı etkinliği olduğunu göstermiştir. Kapasiteleri içerdikleri katı miktarıyla orantılıdır ve bu da üreticiden üreticiye farklılıklar göstermektedir.

ASTM 309 membran oluşturucu kür kimyasallarını bileşiğin rengine ve katı muhtevalarına göre şu şekilde sınıflandırır:

- Tip 1 – berrak
- Tip 1-D – berrak ve uçucu boyalı yarısaydam
- Tip 2 – beyaz pigmentli
- Class A – kısıtlama olmayan genel sınıf
- Class B – reçine bazlı karışımlar

2.2. Membran Oluşturucu Sıvı Kür Kimyasallarında İstenen Nitelikler

Daha önce de belirtildiği gibi beton kaplamalarında kullanılan kür kimyasalından istenen taze beton için gerekli olan nemi ve ısıyı muhafaza etmesidir. Bu nedenle kür kimyasalının su tutma ya da su kaybını engelleme ve ısı yalıtma kabiliyetleri kaliteli bir kür için tayin edilmesi gereken özellikleridir.

Su Tutma Özelliği -- Su veya nem tutma yeterliliği, malzemenin hidrolik çimento harcından nem kaybını engellemesidir.

ASTM C309 (Membran Oluşturucu Sıvı Kimyasallar için Şartname) ve ASTM C156 (Beton Kür Malzemelerinin Su Tutma Kapasitesi için Test Metodu) kür kimyasallarının su tutma kapasitelerinin belirlenmesi için kullanılan deney metodlarını tanımlar. Bu metotla belirlenen su tutma değeri beton için gerekli kür koşullarının uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılır. Elde edilen değerler yüksek değişkenlik gösterebilir. Aynı operatör için standart sapma 0.13 kg/m^2 ve laboratuvarlar arası standart sapma 0.30 kg/m^2 olarak verilmektedir (Vandenbossche, 1999). Tip 2 Sınıf B kimyasalı için istenilen değerin 0.55 kg/m^2 olduğu düşünülürse bu sapma değerleri oldukça yüksektir: varyasyon katsayısı %50'leri bulmaktadır.

Tablo 2.1 Minnesota Karayolları İdaresinin (MnDOT) elde ettiği sonuçları vermektedir (Vandenbossche, 1999). Tabloda görüldüğü üzere standart sapma değerleri çok yüksektir. Bu da göstermektedir ki ASTM C156 hassasiyetten yoksundur: yüksek sapma değerleri incelenen kimyasalın kullanıma uygun olup olmadığı değerlendirilmesini güçleştirmektedir (Senbetta, 1988). MnDOT üç farklı firmanın 141 ürününü test etmiş ve müsadde edilen en yüksek nem kaybı değerinin düşürülmesini önermiştir.

Tablo 2.1. Su kaybı ve varyasyon değerleri

Kimyasal	Su Kaybı (kg/m ²)	Standard Sapma (kg/m ²)	Numune Sayısı
W.R. Meadows 1250-white	0.20	0.08	40
W.R. Meadows 2230-white	0.24	0.17	10
W.R. Meadows 100-white	0.49	0.28	12

Laboratuvar deney sonuçlarını etkileyen bir çok faktör mevcuttur. Bu faktörler arasında kür kabiniindeki sıcaklık, nem ve hava döngüsünün kontrolündeki hassasiyet, harç numunelerinin hazırlanması, harç numunesinin kür kimyasalı uygulandığı zamanki yaşı ve yüzey durumu, kür membranının kalitesi ve homojenliği (ASTM C309) sayılabilir. Bu faktörlerin bazıları ASTM C156'da tam olarak değerlendirilmemiştir.

ASTM C156 metodu güvenilir olmadığından bazı eyaletlerin karayolları idareleri kendi şartnamelerine göre testi uyarlamışlardır. Numune boyutlarının değiştirilmesi; test sonuçlarının hesaplanmasının değiştirilmesi; 24 saat ve 72 saat sonuçlarının alınması; ısı lambaları ve vantilatör kullanılarak güneşli ve rüzgarlı hava koşullarının simülasyonu; değişik sıcaklık, bağıl nem ve rüzgar şartları uygulanması ve farklı harç karışım oranları bu uyarlamalardan bazılarıdır.

Iowa Karayolları İdaresi kür kimyasallarının değerlendirilmesinde verimlilik veya etkinlik endeksi ve nem kaybını kullanmaktadır. Iowa şartnamesine göre etkinlik endeksi %95.0'den az olmayacak ve nem kaybı %1.0'den az olacaktır (Iowa DOT, 1997). Minnesota Karayolları İdaresi (MnDOT) müsaade edilen su kaybını 24 saat sonunda 0.15 kg/m², 72 saat sonunda 0.40 kg/m² olarak uygulamaktadır. California Karayolları İdaresi (CalTrans) kür reçinesinin %100 poli-alfa-metilen içermesini şart koşmaktadır.

Yansıtma Özelliği -- Tip 2 membran oluşturucu sıvı kür kimyasalları güneş ışınlarının yansıtılmasına ve dolayısıyla beton içerisinde daha az sıcaklık artışını sağlayan beyaz pigmentler içerir. Kür kimyasallarının yansıtma özelliği buharlaşma hızını ve erken yaş gerilmelerini düşürür. ASTM C309 yansıtmanın en az %60 olmasını şartkoşar.

Diğer Genel Özellikler -- ASTM C309'a göre kür kimyasallarının uyması gerektiği başka kriterler de vardır. Kimyasalın kuruma süresi 4 saatten uzun, uçucu bileşeni zehirleyici ve parlama noktası 10°C'nin üzerinde olmamalıdır. Kür kimyasalı betonla veya herhangi bir bileşeniyle reaksiyona girmemelidir. Malzemenin kıvamı 4°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda püskürtmeye hazır olmalı ve homojen bir tabaka oluşturmalıdır.

ASTM C309, ayrıca, beyaz dışındaki kalıcı renklerin, veya diğer özelliklerin, şartnamenin amacı dışında olduğunu belirtip üretici ve kullanıcı arasındaki anlaşmaya tabi olduğunu belirtir. Bazı kür kimyasalları özel gereksinimlere cevap vermelidir; örneğin alkali dirençli olmalı, aderansı kuvvetlendirmeli, UV ışınlarıyla bozulmamalı ve ek olarak nem tutma kapasitesi ASTM C156'ya uygun olmalıdır.

2.3. Kür Kimyasallarının Tipik Özellikleri

Kür kimyasalları ASTM'de belirtilen sınır değerlere uygun olsa da, her malzemenin kendine has özellikleri vardır. Tablo 2.2 bazı seçilmiş malzemelerin özelliklerini vermektedir. Değişik özelliklere sahip oldukları için her kimyasal üreticinin önerileri doğrultusunda uygulanmalıdır.

Tablo 2.2. Kür Kimyasallarının Tipik Özellikleri

Ürün Adı	ASTM Tarifi	Nem Tutma		Yansıtma (%)	Parlama Noktası (°C)	Uçucu Bileşen İçeriği (g/L)	Kaplama Oranı (ft ² /gal)	Renk
		(g/cm ²)	(%)					
Sealtight 1600	Tip 2 Sınıf A	89.0*	-	53*	100	350	200	Beyaz
Sealtight 2250	Tip 2 Sınıf B	-	0.03	70	57	292	200	Beyaz
Sealtight 1645	Tip 2 Sınıf A	95.9*	-	67*	-	350	200	Beyaz
Atlas Tech-1315	Tip 1 Sınıf A ve B	-	0.28	-	-	300	300	Renksiz

* Bu değerler Iowa DOT testlerinden elde edilmiştir. Nem tutma kolonundaki değerler, Iowa DOT tarafından kullanılan etkinlik endeksidir; diğer değerler 72 saat sonundaki nem kaybını belirtmektedir.

2.4. Membran Oluşturucu Sıvı Kür Kimyasallarının Uygulama Teknolojileri

Kullanılan kür kimyasalı kadar uygulama tekniği de çok önemlidir. Yanlış uygulama zamanı, yetersiz miktar ve/veya kimyasalın beton yüzeyini tamamen kaplamaması başarısızlığa neden olur (Mather, 1990).

Uygulama Zamanı (Zamanlaması) -- Maksimum fayda için kür kimyasalı, beton yüzeyi perdahlandıktan ve yüzeydeki su kaybolduktan hemen sonra uygulanmalıdır. Geç kalınırsa kimyasal beton tarafından emilecektir ki bu da istenmeyen bir durumdur.

Eğer betonda terleme durmamışsa yüzey ne kadar kuru olursa olsun kür uygulanmamalıdır; zira yüzey kuru görünse de terleme devam ediyorsa ve

kimyasal uygulanırsa istenmeyen şu sonuçlar oluşabilir: (1) buharlaşma durdurulmuş olsa bile beton yüzeyine yakın bölgelerde bir su katmanı oluşacaktır ki bu da ilerleyen yaşlarda yüzey kavlamalarına neden olur, (2) buharlaşma geçici olarak durdurulmuş olsa devam eden terleme membranın çatlamasına ve etkinliğinin azalmasına neden olur. İkinci durumun vuku halinde kür kimyasalının yeniden uygulanması gerekir (ACI Committee 308, 2000; Transportation Research Committee, 1979).

Eğer kür kuru beton yüzeyine uygulanırsa kimyasal emilecek ve membran oluşmayacaktır. Kür kimyasalına doymuş üst katman dayanım kazanmayacak ve trafik yükleri altında bozulacaktır.

Uygulama Miktarı -- Uygulanan kimyasal miktarı bütün yüzeyi kaplayacak kadar olmalıdır. Kür kimyasalı derzlerle girmemeli ve yüzeye eklenilecek diğer beton katmanlarıyla temas halinde olmamalıdır. Boşluk oluşmuş, kimyasalla kaplanmamış bölgelere yeni bir katman uygulanmalıdır. Daha önce kimyasalla kaplanmış fakat inşaat faaliyetleri nedeniyle bozulmuş bölgelere tekrardan kimyasal tatbik edilmelidir. Yağmur nedeniyle çıplak kalmış bölgelere de yeniden kimyasal tatbik edilmelidir.

Kür kimyasalının etkinliğini doğrudan arttırmanın yolu, püskürtme miktarının arttırılmasıyla, oluşacak membran kalınlığını arttırmaktır (Loeffler ve diğerleri, 1987). Bu nedenle yeterli kürü sağlamanın en yaygın yolu püskürtme miktarını kontrol etmektir. Tipik uygulama miktarı 2.5-5.0m²/L aralığındadır. Buna rağmen her eyaletin kendi şartnamesi vardır. Tablo 2.3'de Iowa ve Minnesota'da uygulanan tipik değerlere yer verilmiştir. Her eyalet minimum püskürtme miktarının göz önünde bulundurmasına rağmen sadece birkaç eyalet beton yüzey özelliklerini de dikkate alır. Aynı kür sonucunu elde etmek için farklı yüzeylere değişik uygulama gerekir. Düzgün yüzeyler pürüzlü yüzeylere nazaran daha az kür kimyasalı gerektirir.

Tablo 2.3. Kür kimyasallarının püskürtme miktarları

	Tipik	Iowa	Minnesota
Püskürtme hızı (m ² /L)	2.5-5.0	3.3	4.0

Uygulama Homojenliği -- Püskürtme miktarını kontrol etmek için devamlılık da çok önemlidir. Yüzeye zarar vermeden kesiksiz, homojen ve su geçirimsiz bir tabaka elde etmek için püskürtme işlemi çok önemlidir ve kullanılan ekipmanın onaylı olması gerekir (Transportation Research Committee, 1979). Tip 1-D beyaz pigmentli kür kimyasalları, eğer pigmentler kimyasal bileşik içinde homojen olarak dağılmışsa, düzensiz, homojen olmayan yüzey uygulamaları dikkatli incelemeye belirlenebilir. Renksiz,

berrak ya da saydam kimyasallar için çıplak gözle inceleme kesin sonuç vermez. Bu nedenle uygulamadan hemen sonra gözlem yapılmalıdır. MnDOT düzenli, homojen bir yüzey uygulaması için beş faktörü öne çıkarır: hortum ağzı veya püskürtme başlığı, yerleştirilme aralığı, yönelmesi, taşıyıcı arabanın hızı ve rüzgarlık kullanımı.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Kür kimyasallarını, uygulama metotlarını ve kür etkinliğinin test edilmesini değerlendirmek üzere üç farklı kimyasal seçilerek taze betona dökümden sonra üç farklı zamanda uygulanmıştır. Tek kat ve çift kat olmak üzere iki farklı uygulama metodu kullanılmıştır. Nem içeriği, iletkenlik, kılcal geçirimsizlik ve hidrasyon derecesi üç farklı derinlikte ölçülmüştür. Sonuçlar, kür kimyasalı uygulanmamış numunelerle karşılaştırılmıştır.

3.1. Kür Kimyasalları

Çalışmada 1645-white, 1600-white ve 2225-white olmak üzere üç farklı kür kimyasalı kullanılmıştır. 1645-white su bazlı olup halen Iowa DOT tarafından kullanılmaktadır. 1600-white da su bazlıdır; kimyasal ASTM şartnamesine uygun olsa da Iowa DOT şartnamesine uygun değildir. 2225-white reçine bazlı olup MnDOT tarafından kullanılmaktadır. Kimyasalların özellikleri ve maliyetleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan kür kimyasallarının özellikleri

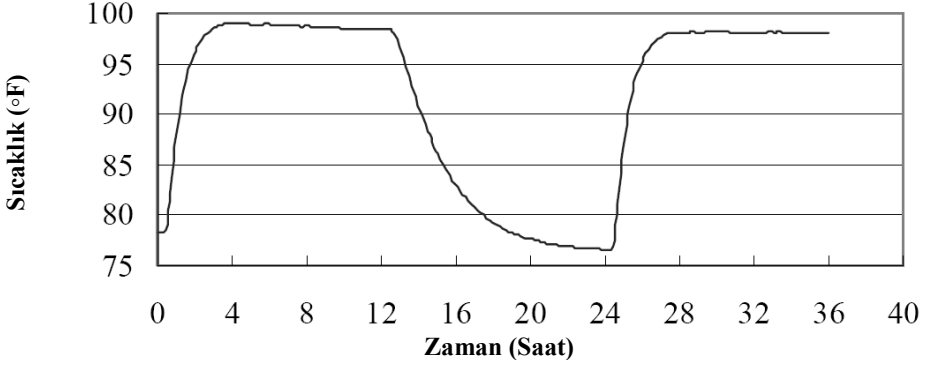
Ürün Adı	ASTM	Etkinlik Endeksi (%)	Katı İçeriği (%)	Maliyet (USD /L)
1645-white	Tip 2 Sınıf A	95.9	29.2	0.53
1600-white	Tip 2 Sınıf A	89.0	17.1	0.26
2225-white	Tip 2 Sınıf B	98.1	43.5	1.72

3.2. Kür Metotları

Kür kimyasalı uygulanmış ve uygulanmamış deney numunelerini karşılaştırabilmek amacıyla üç farklı referans kür metodu kullanılmıştır:

- *Referans 1: Kuru (Havada) Kür* -- Bu kür metodu, yumuşak hava koşullarındaki en olumsuz koşulları temsil etmektedir. Kür kimyasalı uygulanmamış numuneler test gününe kadar oda koşullarında tutulmuştur. Oda sıcaklığı yaklaşık 25°C, bağıl nem %38'dir.
- *Referans 2: Islak Kür* -- Bu kür metodu, yumuşak hava koşullarındaki en olumlu kür koşullarını temsil etmektedir. Numunelere kür kimyasalı uygulanmamış fakat ıslak çuval beziyle örtülmüş ve nem odasında tutulmuştur. Oda sıcaklığı yaklaşık 23°C, bağıl nem %95 üzerindedir.

- *Referans 3: Sıcak (Fınn) Kürü* -- Kür kimyasalı uygulanmamış numuneler test gününe kadar fırında bekletilmiştir. Fırın sabah 7'de çalışmaya başlamış, akşam 7'de durdurulmuştur. Fırın içi bağıl nemi %35'dir. Fırın sıcaklık rejimi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Fırın sıcaklık rejimi

Referans kür metodlarıyla karşılaştırma yapabilmek amacıyla aşağıda belirtilen üç farklı kimyasal katkı uygulanması durumu denenmiştir:

- *Durum 1: Kuru Kür + Tek Kat Kür Kimyasalı* -- Seçilen kür kimyasalı numune yüzeyine dökümden 15, 30, ve 60 dakika sonra uygulanmıştır. Kür koşulları Referans 1'de verilmiştir.
- *Durum 2: Sıcak Kür + Tek Kat Kür Kimyasalı* -- Seçilen kür kimyasalı numune yüzeyine dökümden 15, 30, ve 60 dakika sonra uygulanmıştır. Kür koşulları Referans 3'te verilmiştir.
- *Durum 3: Sıcak Kür + Çift Kat Kür Kimyasalı* -- Kimyasal çift kat uygulanmıştır. İlk kat dökümden 15, 30, ve 60 dakika sonra; ikinci kat da birinci kattan 5 dakika sonra uygulanmıştır. Kür koşulları Referans 3'te verilmiştir.

3.2. Numuneler

Çimento Hamuru Numuneleri -- Çimento hamurundan 2512.510cm boyutlarında küçük plaklar hazırlanmıştır. Kür kimyasal uygulanmasında uygun kuru karışım gerektiğinden, su-çimento oranı 0.28 olarak alınmıştır. Hidratasyon derecesinin tayini için her numuneden 5cm çapında silindirik numuneler alınmıştır.

Harç Numuneleri -- İki farklı boyutta harç numunesi kullanılmıştır: 5510cm kiriş ve 2512.510cm plak. Kirişler nem içeriği ve kılcal geçirimsizlik deneyi için kullanılmıştır. Bu değerleri ölçmek için numune üst, orta ve alt olmak üzere üç parçaya ayrılmıştır. Plaklar sıcaklık gözlemi, iletkenlik ve basınç (ϕ 510cm

karot) deneylerinde kullanılmıştır. Harç karışımlarının hazırlanmasında Tip 1 çimento ve incelik modülü 2.94 olan nehir kumu kullanılmıştır. Su-çimento oranı 0.42, agrega-çimento oranı 2.75 olarak seçilmiştir.

Beton -- Tablo 3.2'de gösterilen karışım oranları kullanılarak 101045cm boyutlarındaki beton numuneleri eğilmede çekme deneyleri için hazırlanmıştır.

Tablo 3.2. Beton karışım oranları

	Ağırlık (kg/m³)
Kaba agrega	1281
İnce agrega	1009
Çimento	465
Hava sürükleyici	6.0 mL
Su	224

3.3. Test Metotları

Nem İçeriği -- Nem içeriği 1 ve 3. günlerde ölçülmüştür. 5510cm harç kırırları üst, orta ve alt olmak üzere üç parçaya ayrılmıştır. Her numune 0.01g hassasiyetinde tartılmış (W_i) ve serbest suyunun buharlaşması için 105°C sıcaklıktaki fırına koyulmuştur. 48 saat sonunda parçalar tekrar tartılarak (W) nem muhtevası (MC) aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$MC = [(W_i - W) / W] * 100\%$$

Kılcal geçirimsizlik (Su emme) -- Kılcal geçirimsizlik değeri harç kırırları üzerinde dökümden üç gün sonra hesaplanmıştır. Kırırlar üçe ayrılarak alt yüzey zımpara kağıdıyla temizlenmiştir. Her parçanın taban alanı ölçülmüş, yan yüzeyler epoksiyle kaplanmış ve üst yüzey de plastikle örtülmüştür. Numune ağırlıkları 0.01g hassasiyetinde belirlendikten sonra taban 3mm derinliğinde suya batırılmıştır. Daha sonra numune 1, 5, 10, 20, 30, 120, 360 dakikalarda ve gerekli olması durumunda daha uzun sürelerde tartılmıştır. Her ölçüm öncesinde suyla temas halinde olan yüzeyin fazla suyu kağıt mendille kurulanmıştır. Birim alandaki ağırlık artışı zamanın karekökü grafiğindeki eğim sabit oluncaya kadar ölçümlere devam edilmiştir. Bu eğim kılcal geçirimsizlik katsayısını vermektedir.

Hidratasyon Derecesi -- Çimento hamurundan hazırlanan numuneden 5cm derinliğinde karot alınmış ve 1.25cm kalınlığında parçalar üst, orta ve alt bölgelerden kesilmiştir. Her parça kırılarak, No.16 elekten elenmiş, tartılmış ve krözeye konmuştur. Kröze 105°C fırında 18 saat tutulduktan sonra numune, buharlaşabilir su tayini için ölçülmüştür (W_{105}). Buharlaşmayan veya

hidrate olmuş suyun tayini için kröze tekrar fırına koyulup 1000°C'ye kadar ısıtılmıştır. Örnekler, 1 saat bu sıcaklıkta tutulduktan sonra desikatöre alınmış, oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve tartılmıştır (W_{1000}). Buharlaşmayan suyun ağırlığı 105°C ve 1000°C'lerde elde edilen değerlerin farkıdır. Çimento hidratasyon derecesi (α) bu ağırlıkla doğru orantılıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Mindess ve Young, 1981):

$$\alpha = [(W_{105} - W_{1000}) / (0.24 * W_{1000})] * 100\%$$

Basınç Dayanımı -- Basınç dayanımları 3. ve 7. günde ϕ 510cm harç silindireleri kullanılarak ASTM C309'a uygun olarak tayin edilmiştir.

İletkenlik -- Harç plakaları döküldükten sonra numune yüzeyini üçe bölecek şekilde iki adet bakır levha (50193mm) yerleştirilmiştir. İki levha arasındaki direnç Solomat MPM 2000 iletkenlik ölçerle ölçülmüştür. Ölçümler 24 saat boyunca her saatte yapılmıştır (Düşük Alternatif Akım - 1000Hz frekans). Bu teknik elektrotlar arasındaki polarizasyondan doğabilecek hataları en aza indirger.

Sıcaklık -- Harç içindeki sıcaklık yüzeyden 5cm, kenardan 2.5cm'lik mesafeden ölçülmüştür. Sıcaklık değerleri 1 hafta süreyle kaydedilmiştir.

Eğilmede çekme -- Eğilmede çekme deneyleri beton kirişler üzerinde 7. günde ASTM C78 göre tayin edilmiştir.

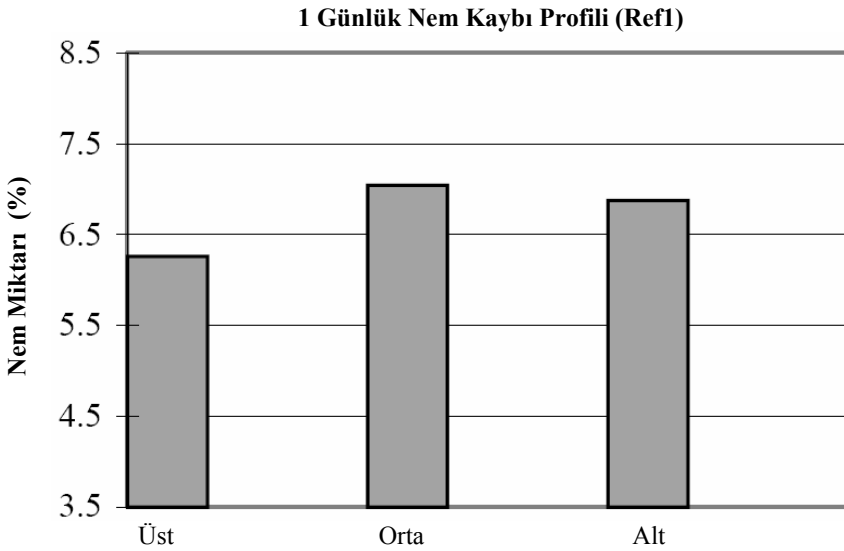
4. TEST SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yer kısıtlaması nedeniyle yukarıda anlatılan deneylerin bir bölümünün sonuçları ayrıntılı sunulacaktır – nem içeriği, hidratasyon derecesi, basınç dayanımı ve eğilmede çekme. Bulgular kısmında ise çalışmanın bütününde varılan sonuçlar verilecektir.

4.1. Nem İçeriği

Daha önce belirtildiği gibi işlenebilirliği sağlamak için beton karışımlarına çimento hidratasyonu için gereken su miktarından fazlası eklenir. Çimento hidrasyonu devam ettikçe mevcut suyun bir kısmı fiziksel veya kimyasal olarak bağlanır; geriye kalan bağlanmamış veya serbest su buharlaşma potansiyeli taşır. Çimento hidratasyonunun ilk evrelerinde ağır agregalar çökme eğilimi içindedir ki bu da suyun yüzeye doğru hareketine neden olur. Böylece taze beton kurumaya başlar başlamaz yüzeyden su kaybetmeye başlar.

Kaybolan nem miktarı çimento tipi, toplam su muhtevası, yerleştirme sıcaklığı, kür malzemesi ve kür süresiyle bağlantılıdır. Şekil 4.1 numune boyunca nem kaybı profilini göstermektedir. Genellikle numunenin üst kısmı, kür kimyasalı uygulanmış olsun olmasın, en yüksek, orta kısmı da en az nem miktarına sahiptir; alt kısımda orta kısımdan biraz daha az nem vardır. Üst parçadaki düşük nem miktarı yüzeyden gerçekleşen kayıp nedeniyledir. Alt kısımdaki kayıp da yerleşme ve terleme yüzündendir. Bu araştırmada betonun üst kısmı özellikle önemsenmektedir ve daha ayrıntılı tartışılacaktır.

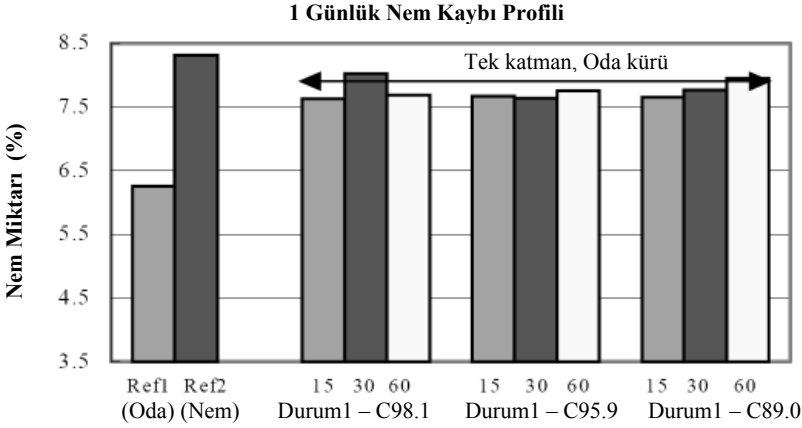


Şekil 4.1 Nem miktarının numune derinliğince dağılımı

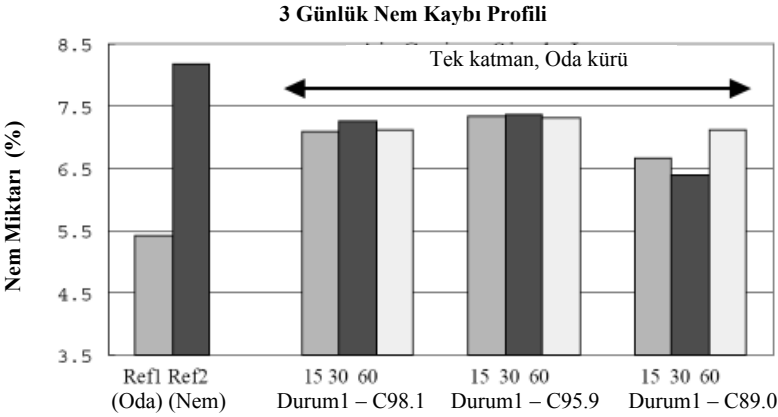
Kür Kimyasal Tipinin Etkisi -- Şekil 4.2 bir günlük harç numunelerindeki nem miktarını göstermektedir; farklı kimyasallar değişik zamanlarda (dökümden 15, 30 ve 60 dakika sonra) uygulanmıştır. Numuneler kür kimyasalı püskürtülme öncesinde ve sonrasında oda koşullarında tutulmuştur. Sonuçlar iki farklı referansla karşılaştırılmıştır. Kür kimyasalı uygulanmamış Ref.1 oda koşullarında, Ref.2 nemli ortamda tutulmuşlardır.

Şekilde gösterildiği üzere en düşük nem içeriğine sahip numune %6.3 ile Ref.1, en yükseği de %8.3 ile Ref.2'dir. Kür kimyasalı uygulanmış numunelerde nem miktarı %7.5-8.0 aralığındadır. Bu da kür kimyasalının nem kaybını önlediğini göstermektedir. Bir günlük nem değerleri için değişik kimyasallar arasında belirgin farklar yoktur. Bu durumun nedeni muhtemelen 24 saat gibi kısa bir sürede nem kaybının kısıtlı olmasıdır.

Şekil 4.3, Şekil 4.2'de bir günlük değerleri verilen harç numunelerinin 3 günlük değerlerini içermektedir. Ref.1 numunesinin nem oranı %6.3'den %5.4'e düşerken aynı süre içinde Ref.2'deki nem kaybı çok düşük olmuştur. 1600-white uygulanmış numunenin nem muhtevası Ref.1'den yüksek olsa da diğer kimyasallardan düşüktür. Sonuçlar üretici tarafından verilen etkinlik endeksi oranlarıyla tutarlıdır.



Şekil 4.2 Oda koşullarında tutulan 1 günlük harç numunelerindeki nem miktarı

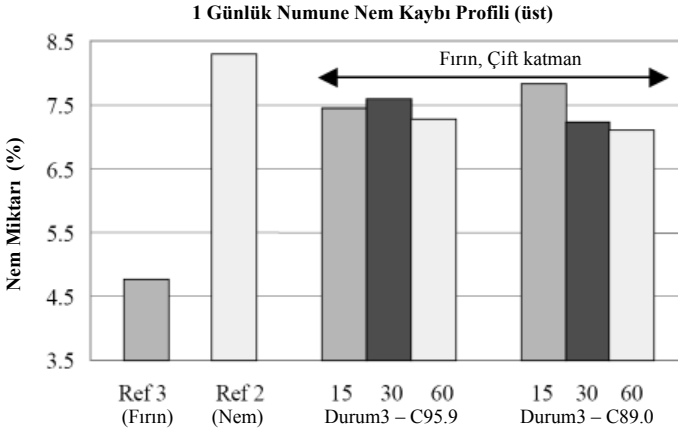


Şekil 4.3 Oda koşullarında tutulan 3 günlük harç numunelerindeki nem miktarı

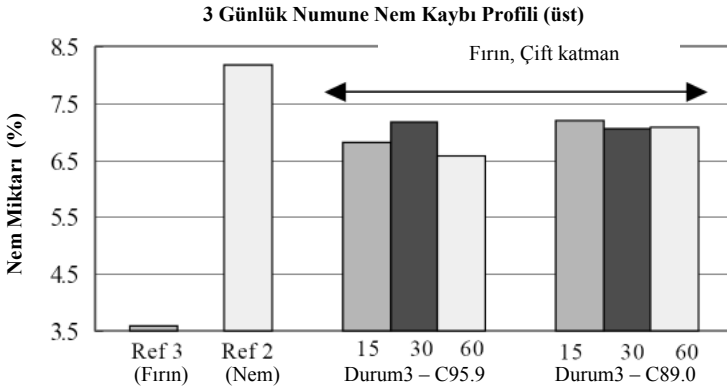
Sert hava koşullarında, yüksek sıcaklık gibi, kür kimyasalının nem tutma üzerindeki etkisi daha belirgin hale gelir. Fırında kür edilmiş Ref.1 numunesinin 1 ve 3 günlük nem muhtevaları sırasıyla %4.7 ve %3.6'dır. Kür kimyasalı uygulanmış numunelerin değerleri ise 1. gün için %6.7-7.4, 3. gün için %6.5-7.0'dir.

Havada kürlle karşılaştırıldığında fırında kürlenmiş numunelerin 1 günlük nem değerleri ortalama %1.5 yükselmiştir. Fakat kürl kimyasalı uygulanmış numunelerdeki nem oranları kürl kimyasalı uygulanmamışlarla karşılaştırıldığında %2.4 yükselmiştir. Bu durum yüksek sıcaklıklardaki aşırı buharlaşmadan kaynaklanıyor olabilir. Bu nedenle, nem muhtevası gözönüne alındığında sıcak havalarda kürl kimyasalı uygulaması yumuşak hava koşullarına göre daha etkin sonuç vermektedir.

Uygulama Zamanı ve Katman Sayısının Etkisi -- Şekil 4.4 ve 4.5 çift tabaka kürl kimyasalı uygulanmış numunelerin 1 ve 3 günlük nem içeriklerini vermektedir. Bu deneyler, 2225(C98.1) pahalı olduğu için, 1645(C95.9) ve 1600(C89.0) ile yapılmıştır. 2245-white'in çift katman uygulaması maliyeti önemli oranda arttıracığı için pratik olarak uygulanabilir görülmemiştir.



Şekil 4.4 Fırında kürlenmiş 1 günlük harç numunelerindeki nem miktarı - çift katman



Şekil 4.5 Fırında kürlenmiş 3 günlük harç numunelerindeki nem miktarı - çift katman

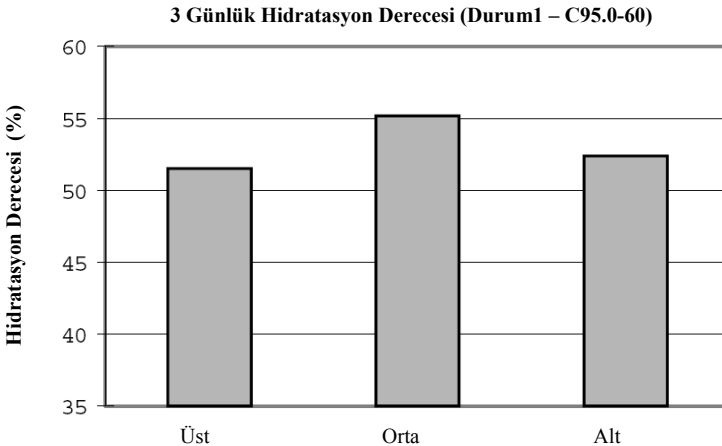
Tek katman uygulamasıyla kıyaslandığında çift kat uygulamasının nem tutmaya katkısı fazla değildir. Bu durum yapılan ölçümlerin aradaki farkı yeterli hassasiyette ölçemediğinin işareti de olabilir.

Kür kimyasalanın uygulama zamanlamasının oda koşullarında tutulmuş numuneler üzerindeki etkisi çok küçüktür. Fakat, sıcak hava koşullarında (fırında kür) püskürtme zamanı arttırıldıkça nem içeriğinin az da olsa düştüğü, 30 dakika gecikmeyle 1645(C95.9) uygulanmış örnek haricinde gözlemlenmiştir. Bu durum saha koşullarında uygulama zamanının farklı olması gerektiğini göstermiştir. Sıcak hava koşullarında kür kimyasalı normal koşullarda olduğundan daha erken uygulanmalıdır.

4.5. Hidratasyon Derecesi

Hidratasyon derecesinin tespiti için iki farklı metot uygulanmıştır - fırın ve termal analiz (TGA). Fırın metodu çok basit ve düşük maliyetli, TGA ise deney ortamının kontrolü açısından etkin, hızlı fakat pahalıdır.

Fırın Metodu -- Şekil 4.6 çimento hidratasyonunun derinlikle (numune boyunca) değişimini göstermektedir. Hidratasyon derecelerindeki genel eğilim plak örneğinin üst bölgesi en düşük, orta bölgesi en yüksek ve alt bölgesi de üst bölgesinden hafif düşük olacak şekildedir. Sonuçlar nem muhtevalarıyla paralellik göstermektedir. Numunenin orta bölgesi yüksek nem oranına ve yüksek sıcaklığa sahip olduğundan bu bölgede hidratasyon daha yüksektir. Üst ve alt bölgelerde ısı kaybı olması da bu bölgelerdeki hidratasyonu olumsuz etkilemektedir.

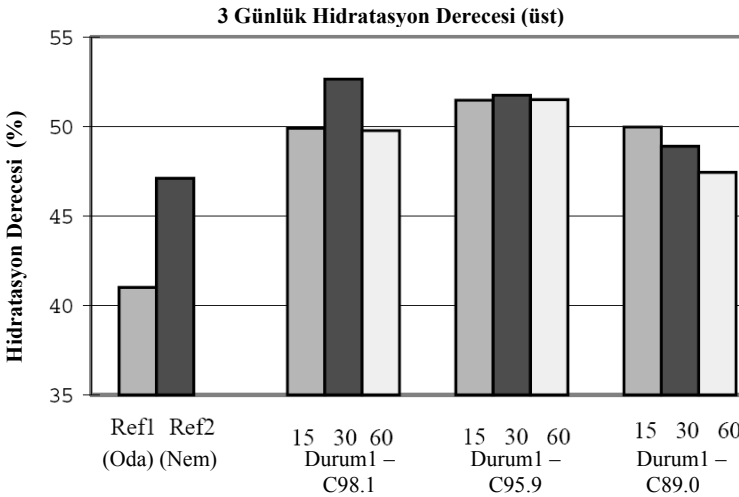


Şekil 4.6 Hidratasyon derecesinin numune derinliğine bağlı dağılımı

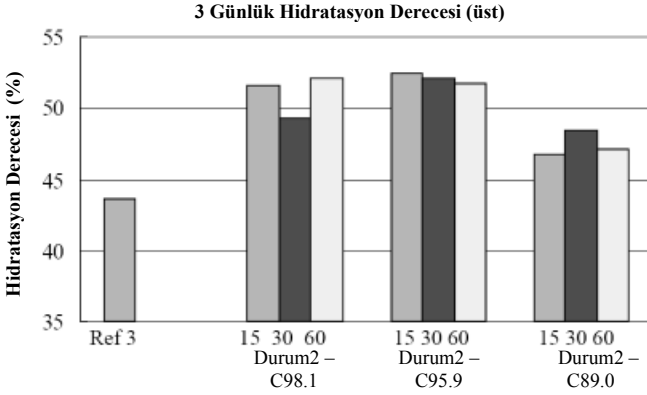
Beton örneklerindeki yüzeye yakın bölgelerdeki hidrasyon dereceleri Şekil 4.7 ve 4.8'de verilmiştir. Şekillerden anlaşıldığı gibi kür kimyasalı uygulaması yumuşak ve sıcak hava koşullarındaki hidrasyonu olumlu etkilemektedir.

Yumuşak hava koşullarında oda küründe (Sekil 4.7) tek tabaka kimyasal uygulanmış (Durum 1) bütün numuneler %47.5'in üzerinde hidrasyona sahiptir. Aynı koşullarda fakat kür kimyasalı uygulanmamış referans numunesinin hidrasyon derecesi %41.5, kür kimyasalı uygulanmamış ve nem odasında tutulmuş referansın (Ref. 2) hidrasyonu yaklaşık %47.5'dir.

Sıcak hava koşullarında (fırın kuru) tek katman kimyasal uygulanmış (Durum 2) numunelerin hidrasyon derecesi %47.0-%52.5, aynı koşullarda kür kimyasalı uygulanmamış (Ref.3) numunelerin hidrasyonu %43.5'dir (Şekil 4.8). Yumuşak (Durum 1) ve sıcak (Durum 2) hava koşulları karşılaştırıldığında, sıcak havanın çimento hidrasyonunu hızlandırdığı görülmektedir. Buna rağmen, kür kimyasalı uygulanmış ve uygulanmamış numunelerdeki hidrasyon dereceleri arasındaki fark sıcaklıkla birlikte nem kaybı da arttığından sıcak hava koşullarında düşmektedir.



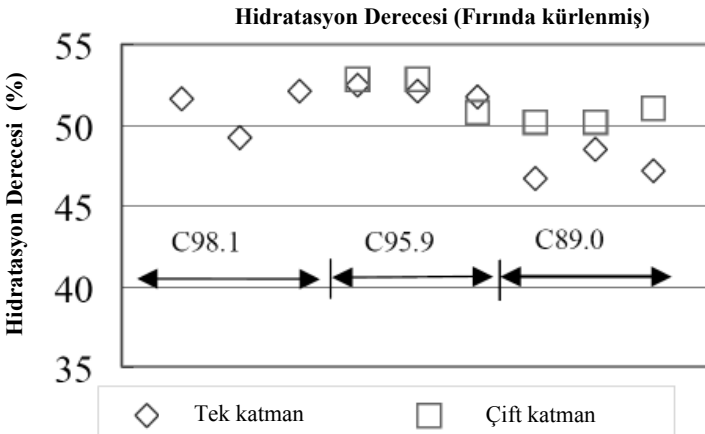
Şekil 4.7 Kür kimyasalının hidrasyon üzerindeki etkisi – oda koşullarında



Şekil 4.8 Kür kimyasalının hidratasyon üzerindeki etkisi – fırında kürlenmiş

Sonuçlar farklı kimyasalların çimento hidratasyonu üzerinde farklı etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Sıcak hava koşullarında daha belirgin olmak üzere 1600(C89.0) diğer kimyasallara göre daha düşük hidratasyon değerlerine neden olmuştur. 1645(C95.9) ve 2225(C98.1)'in değerleri yakındır.

Şekil 4.9 tek ve çift kat kimyasal uygulamalarının sıcak hava koşullarında çimento hidratasyonu üzerindeki etkisini göstermektedir. Çift kat yüksek endeksli kür kimyasalı (1645(C95.9)) hidratasyonu çok az geliştirmiştir. Bu da doğru uygulandığında tek kat kimyasal uygulanmasının yeterli olduğunu göstermektedir. Düşük endeksli kimyasal (1600(C89.0)) kullanıldığında ise çift kat uygulamasının çimento hidratasyonunu belirgin biçimde artırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9 Tek ve çift kat kimyasal uygulamalarının sıcak hava koşullarında çimento hidratasyonu üzerindeki etkisi

TGA metodu -- TGA testinde örnek, azotlu ortamda 10derece/dakika sabit hızla ısıtılmış ve ağırlık kaydedilmiştir. 145°C altında devamlı ve hızlı su kaybı vardır. Bu bölgedeki ağırlık farkı çimento hamurundan buharlaşabilen suyun kaybını temsil eder (Taylor, 1954). 400-500°C aralığında genel eğilimden keskin bir düşüş olur; bu kayıp kristal Ca(OH)_2 'nin ayrışmasını gösterir. 145-400°C ve 500-1,000°C aralıklarındaki kayıp da C-S-H jelinin ayrışmasını gösterir. Bu kayıp da çimento hidratasyon derecesini gösterir.

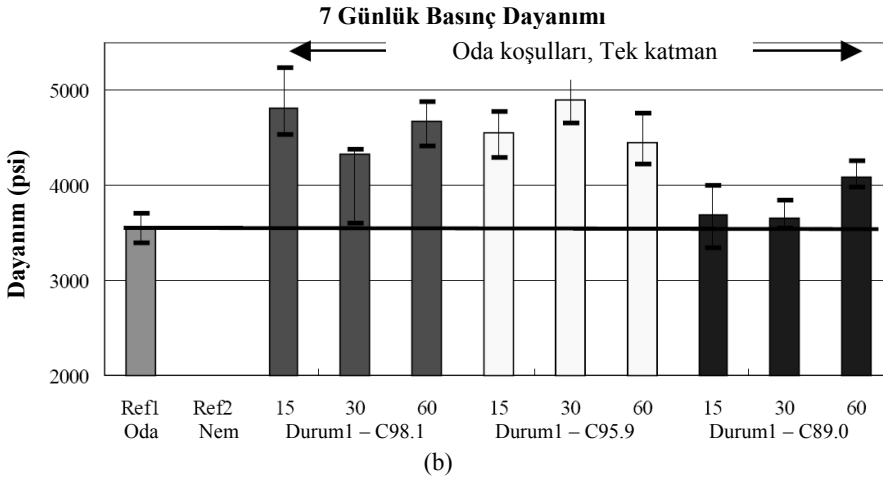
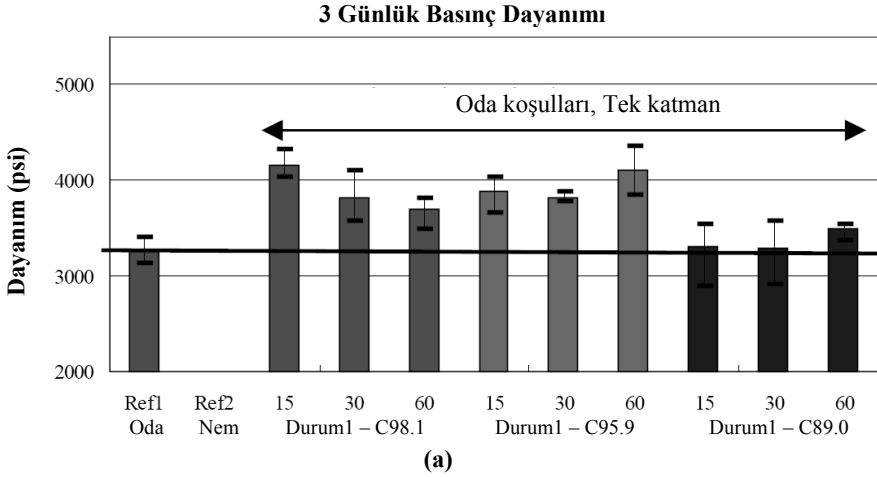
Yapılan istatikselsel analiz sonunda, her iki metottan elde edilen sonuçlar arasında kuvvetli doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir ($R^2= 0.90$). Her ne kadar TGA metodu daha hassas ve hızlı da olsa fırın metodunun da güvenilir bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Özellikle birçok beton laboratuvarında TGA gibi pahalı bir ekipmanın olmadığı düşünülürse bulgular önem arz etmektedir.

4.7. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı genellikle kür etkinliğinin göstergesi olarak kullanılır (Meeks ve Carino, 1999). Bu çalışmada, basınç dayanımları harç dökemelerinden alınan 510cm karotlar üzerinde belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 4.10 ve 4.11'de verilmiştir.

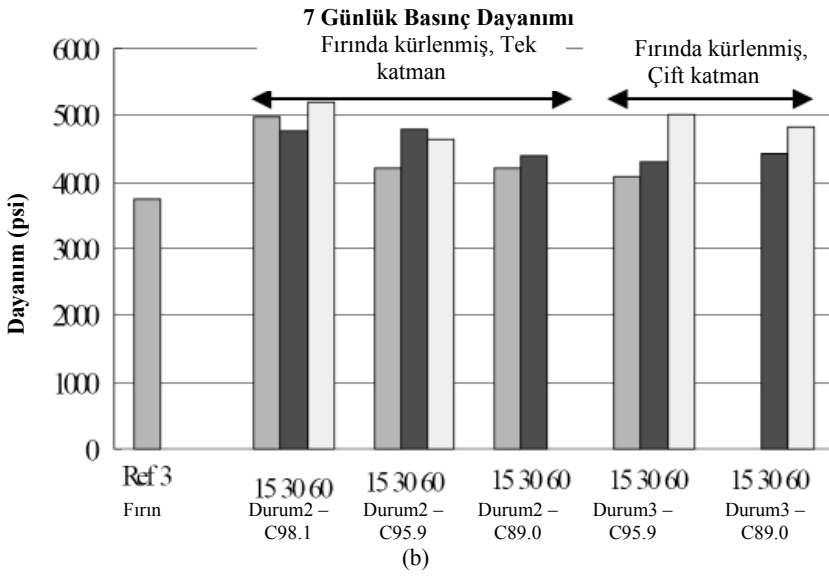
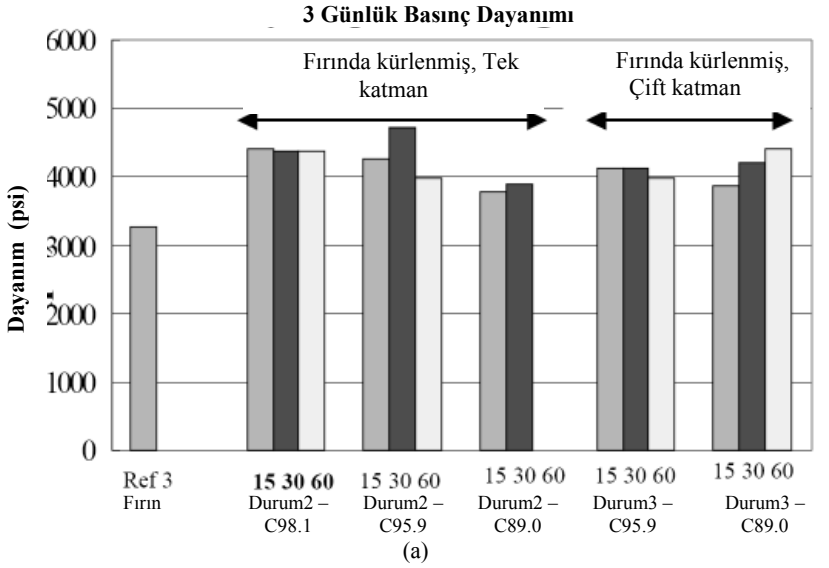
Şekil 4.10'dan gözlemleneceği üzere oda koşullarında, kür kimyasalı uygulanmamış numunelerin 3. gün ve 7. günler basınç dayanımları sırasıyla 2.28 ve 2.48MPa'dır. 2250(C98.1) uygulanmış numune değerleri 3. ve 7. günler için sırasıyla 2.55-2.90MPa ve 2.96-3.31MPa'dır. 1645(C95.9) uygulanmış numuneler 2250(C98.1) uygulanmış numunelerle yakın basınç dayanımları göstermiştir. 1600 (C89.0) uygulanmış numuneler referans numuneleriyle yakın basınç dayanımları göstermiştir. Bu kür kimyasalının beton yüzeyine yakın bölgelerde nem tutsa da bütün beton için bunun geçerli olmadığı düşünülmektedir. Öte yandan yüksek endeksli kimyasallar yüzeye yakın bölgelerden ziyade bütün gövdede nemi tutmakta ve dolayısıyla basınç dayanımı üzerindeki olumlu katkıları daha fazla olmaktadır.

Her iki şekil de, 4.10 ve 4.11, kür kimyasalının uygulama zamanlamasının basınç dayanımı üzerinde açık bir etkisi olmadığını göstermektedir. Basınç dayanımları yüzey özelliklerinden ziyade bütünü yansıtır; ayrıca test metodunun yüzeye yakın bölgelerdeki değişimleri yansıtmak kadar hassas olmadığı da düşünülebilir (ACI Committee 308, 2000).



Şekil 4.10 Kür kimyasalının basınç dayanımına etkisi – oda koşullarında

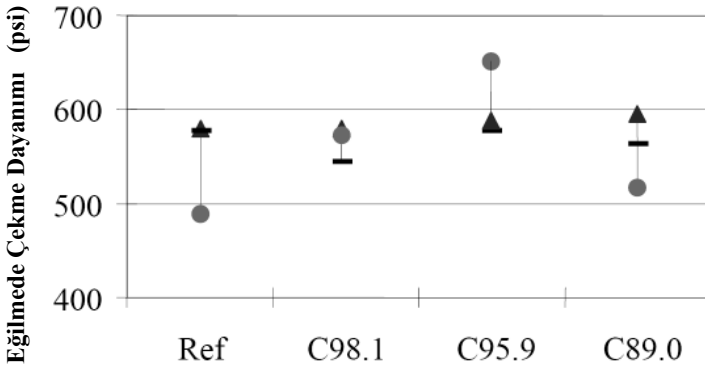
Şekil 4.10 Kür kimyasalının basınç dayanımına etkisi – oda koşullarında



Şekil 4.11 Kür kimyasalının dayanım gücüne etkisi – fırında kürlenmiş

4.9. Eğilmede Çekme

Eğilmede çekme deneyleri, kür kimyasalı uygulanmış ve uygulanmamış 4 set beton kiriş üzerinde yapılmıştır. Kimyasallar, 225(C98.1), 1645(C95.9) ve 1600(C89.0), dökümden 15 dakika sonra uygulanmıştır. Kirişler 38°C fırında bir gün bekletildikten sonra kalıptan sökülmüş ve nem odasında (Sıcaklık= 23°C; Bağıl nem= >%95) altı gün tutulmuş ve testler 7. günde yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.12'de verilmiştir; 1645(C95.9) uygulanmış numunenin değerleri biraz yüksek olsa da genel eğilim kür kimyasalının belirgin bir etkisi olmadığıdır.



Şekil 4.12 Değişik kür koşullarındaki eğilmede çekme dayanımı

5. BULGULAR

Laboratuvar çalışmasında aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Kür kimyasalı uygulanmış olsun olmasın yüzeye yakın bölgelerdeki beton özellikleri (örneğin hidrasyon derecesi, kılcal geçirimsizlik) iç bölgelerden farklılık göstermektedir.
- Kür kimyasalı nem içeriğini ve çimento hidrasyon derecesini ciddi biçimde arttırırken kılcal geçirimsizliği düşürmektedir.
- Yüksek etkinlik endeksli kür kimyasalı uygulanmış örnekler genellikle düşük kılcal geçirimsizlik, yüksek iletkenlik, yüksek hidrasyon ve yüksek basınç dayanımı göstermektedir. Kimyasal tipi özellikle sıcak hava koşullarında etkin olmaktadır.
- Yumuşak hava koşullarında (oda sıcaklığında havada kür), dökümden 30 dakika sonra kür kimyasalı uygulanmış numuneler 15 ve 60 dakika sonra kimyasal uygulanmış numunelere göre daha düşük kılcal geçirimsizlik değerleri vermiştir: buna sebep muhtemelen terlemedir. Buna rağmen, sıcak hava koşullarında (fırın kuru), erken uygulama yüksek nem ve düşük kılcal geçirimsizlik sağlamıştır. Bu sonuçlar

kür kimyasalının uygulama zamanlamasının hava şartları ve beton karışımının terlemesine göre ayarlanması gerektiğini göstermiştir.

- Çift kat yüksek endeksli kimyasal uygulaması tek kat uygulamaya göre belirgin bir ilerleme sağlamamışken, çift kat düşük endeksli kimyasal uygulaması tek kat uygulamaya göre belirgin ilerleme kaydetmiştir. Bu sonuçlar eğer yüksek endeksli kür kimyasalı homojen uygulanırsa tek katın yeterli olduğunu, düşük endeksli malzeme kullanılacaksa çift kat uygulama kür etkinliğini arttırabileceğini göstermiştir.
- Farklı kimyasalların etkileri kılcal geçirimsizlik, hidrasyon derecesi ve basınç dayanım testleri ile kanıtlanmışken nem içeriği ölçümleri farklılık göstermemiştir.
- Saha ve laboratuvar uygulamalarında geleneksel basınç ve eğilmede çekme deneyleri uygulanıyor ve sonuçlar beton kalitesinin bir göstergesi olarak kullanılıyorsa da bu çalışma, bu değerlerin beton yüzey bölgesindeki değişimlere duyarlı olmadığını işaret etmektedir. Bu nedenle bu testler kür etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılamaz.
- Çimento hidrasyon derecesinin belirlenmesinde kullanılan fırın metodu TGA'den biraz yüksek değerler vermekle beraber sonuçlar benzer eğilim göstermiştir.
- Uygulanan test metodları içinde beton yüzey bölgesindeki marjinal değişimlere en hassas olanı kılcal geçirimsizlik testidir.
- Beton yüzey bölgesindeki iletkenlik ölçümleri beton nem içeriğiyle yakın ilişki içindedir. Aradaki ilişki aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

$$\text{İletkenlik} = 1 / [A - B \cdot \log(MC)]$$

A ve B beton malzeme ve karışımına bağlı sabit sayılardır. Bu bağıntı kullanılarak kür kimyasalının su tutma kapasitesi beton yüzeyinin iletkenliğinin takibiyle tahmin edilebilir.

- Beton yüzey bölgesindeki kılcal geçirimsizlik ölçümleri nem muhtevası ve hidrasyon derecesiyle (α) yakın ilişki göstermektedir. Aradaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{Kılcal geçirimsizlik} = 29.11 - 3.56(MC) - 0.53\alpha + 0.07(MC) * \alpha$$

KAYNAKLAR

1. ACI Committee 308. *Standard Practice for Curing Concrete*. ACI 308-92. American Concrete Institute, Detroit, Mich., 1992, 2000.
2. ASTM. *2000 Annual Book of ASTM Standards*. Vol. 4.02. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., 2000.
3. Gowripalan, N., J.G. Cabrera, A.R. Cusens, and P.J. Wainwright.

- "Effect of Curing on Durability," *Concrete International: Design and Construction*, Vol. 12, No. 2 (Feb. 1990), pp. 47–54.
4. Iowa DOT. *English Standard Specifications for Highway and Bridge Construction*. Iowa Department of Transportation, Ames, Iowa, 1997.
 5. Loeffler, M.D., C.G. Papaleontiou, A.H. Meyer, and D.W. Fowler. "Moisture Retention Tests and Agitation for Membrane-Forming Curing Compounds for Portland Cement Concrete," *Transportation Research Record*, No. 1110 (1987), pp. 46–59.
 6. Mather, B. "Curing Compound," *Concrete International: Design and Construction*, Vol. 12, No. 2 (Feb. 1990), pp. 40–41.
 7. Meeks, K.W., and N.J. Carino. *Curing of High-Performance Concrete: Report of the State of the Art*. NIST IR 6295. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Md., March 1999.
 8. Mindess, S., and J.F. Young. *Concrete*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1981.
 9. Murley, J.F. *Florida Standard for Radon-Resistant New Commercial Building Construction*. Florida Department of Community Affairs, Tallahassee, Fla., 1996.
 10. QCL Group. *Technical Note: The Curing of Concrete*. QCL Group, Milton, Australia, March 1999.
 11. Senbetta, E. "Concrete Curing Practices in the United States," *Concrete International*, Vol. 10 No. 4 (1988).
 12. Senbetta, E., C.F. Scholer. "A New Approach for Testing Concrete Curing Efficiency," *ACI Journal*, Jan.-Feb. 1984, pp. 82-86.
 13. Taylor, H.F.W. *The Chemistry of Cements*. Academic Press, Inc., New York, NY, 1964.
 14. Transportation Research Committee on Batching, Mixing, Placing and Curing of Concrete. "Curing of Concrete Pavements," *Transportation Research Circular*, No. 208 (June 1979).
 15. Vandenbossche, J.M. *A Review of the Curing Compounds and Application Techniques*. Minnesota Department of Transportation, St. Paul, Minn., Nov. 1999.