

Betonların Dayanımları ve Yüksek Sıcaklıkların Dayanım Üzerindeki Tesirleri

Hüseyin GÜLENSOY (*)

Mustafa BOYBAY (**)

1 — Giriş

Kullanılış alanları gün geçtikçe genişleyen çeşitli betonların dayanıklılıklarının yüksek ve sürekli olması, betonlardan beklenen en önde gelen ve en mühim bir özelliktir. Betonların çeşitli tesirlere maruz kalarak zamanla uğradıkları mukavemet kayıpları, bilindiği gibi, netice olarak büyük maddî zararlara ve çok defa da hayati tehlikelere sebep olmaktadır.

Betonların mukavemetlerine tesir eden faktörleri iki sınıfta mütalââ etmek mümkündür :

1 — Betonların bileşimlerini teşkil eden, agrega/su, agrega/çimento ve çimento/su oranları ile, hidrasyon reaksiyonları, hacim değişimleri v.s. gibi iç etkenler.

2 — Temperatur değişimleri, rüzgâr, tabii ve endüstriyel gazlar ve sıvılar, elektrolitik ortamlar v.s. gibi dış etkenler.

Dış etken olarak mütalââ edilen ani ve ileri derecedeki temperatur değişikliklerinin sebep olduğu mukavemet kayıpları, kullanılan beton çeşitlerine göre, atom reaktörleri, fırınlar, füze platformları ve bir çok sınaî çalışmalarda ciddi problemler ortaya çıkarmaktadır. Bu yüzdendir ki, gerek betonun ve gerekse çimento pastasının yüksek temperaturlerdeki dayanımları, ısı kapasiteleri, ısı iletkenlikleri, yoğunlukları, gösterdikleri hacim değişiklikleri v.s. gibi hususlar pek çok araştırmalara konu teşkil etmiştir.

(*) İst. Üni. Kimya Fakültesi Öğretim Üyesi.

(**) Elazığ D.M.M.A. Kimya Asistanı.

2 — Betonların Dayanımları

Betonlarda aranan ilk özellik muhakkak ki mukavemettir. Betonun dayanımı üzerine tesir eden bütün faktörler, genellikle diğer özelliklere de tesir ederler. Mukavemet, bu yüzdendir ki, betonların kalitesini belirtmek için bir ölçü olarak kabul edilmektedir. Betonların dayanımları, direkt olarak sertleşen çimento pastasının yapısı ile ilgilidir. Çimento komponentlerinin hidrasyonlarının ilerleyişini değiştiren bütün faktörler, elbette ki betonun dayanımına da tesir edecektir.

Betonların dayanımları, herşeyden önce, çimentoyu teşkil eden komponentlerin her birinin ayrı ayrı dayanımlarının toplamı gibi olmaktadır. Dolayısıyla betonların dayanımları, yapıldıkları çimentoların komponentleri bakımından kalitatif ve kantitatif bileşimi ile sıkı sıkıya ilgilidir. Meselâ çimentoyu teşkil eden ve en mühim bir komponent olan trikalsyum silikat (C_3S) miktarı, betonun ilk 28 gündeki mukavemetinin yüksek olması üzerine çok tesir etmektedir. Betonun mukavemetinin 5 - 10 sene içindeki artışı ise, dikalsyum silikat (C_2S) komponentinin miktarı ile orantılıdır. Trikalsyum alüminat (C_3A) komponentinin mevcudiyeti de, beton mukavemetinin ilk günlerde yüksek olmasına, fakat daha sonraları gittikçe azalmasına sebep olmaktadır.

Sodyum ve potasyum gibi alkali metal oksidlerinin betonların dayanımları üzerindeki tesirleri henüz kesin olarak bilinmemektedir. Bununla beraber, çimentonun bileşiminde hiç alkali oksid bulunmamasının, betonun ilk dayanımlarının düşük olmasına yol açtığı da tesbit edilmiş bulunmaktadır.

Tetrakalsyum alümina ferrat (C_4AF) komponenti, betonlarda 10 sene sonra bir dayanım düşmesine sebep olmaktadır. Çimento bileşimindeki diğer oksidlerden meselâ CaO , hemen ilk günlerde, SiO_2 ise 5 - 10 sene sonra dayanımı arttırmaktadırlar. Fe_2O_3 komponentinin de, ilk günlerde dayanım artmasına fakat daha sonra ise dayanım azalmasına yol açtığı isbat edilmiştir. C_3A ve C_4AF komponentlerindeki Al_2O_3 hernekadar dayanımı azaltıyorsa da, trikalsyum silikatın hidrasyonunu hızlandırması bakımından ayrı bir önem taşımaktadır. Çimentodaki SO_3 , sadece ilk gün mukavemetlerinin yüksek oluşunda özel bir rol oynamaktadır.

Çimentoyu teşkil eden komponentlerin birbirinden farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bulunmaları, değişik hidrasyon hızları ile değişik hidrasyon ürünleri vermeleri, muhakkak ki betonların dayanımları üzerinde çok etkili olmaktadır. Meselâ alüminli çimentolar, portlant çimentosuna benzeyen bir şekilde normal bir priz yapmasına rağmen,

portlant çimentosuna oranla daha süratle dayanım kazanmaktadırlar. Maksimum mukavemetin % 80 ine ilk 24 saatte erişmektedirler. Puzzolanlı çimentolar ise, genellikle yavaş bir şekilde dayanım kazanmaktadırlar, fakat maksimum mukavemetleri neticede gene normal portlant çimentosunun seviyesinde olmaktadır.

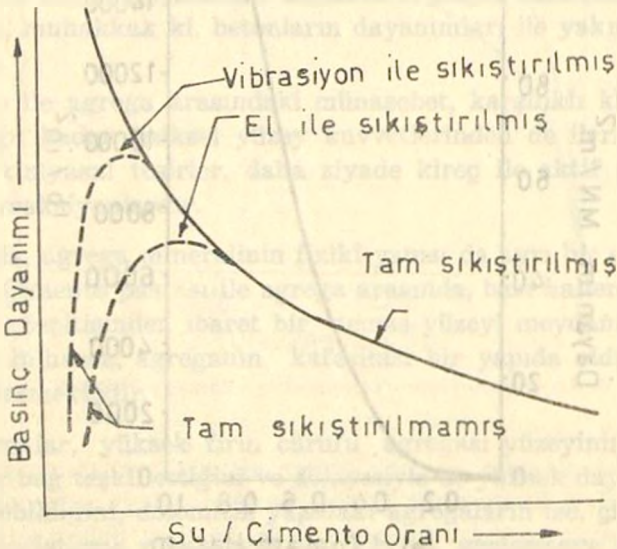
Cüruf çimentolarında ise, dayanım, önce normal portlant çimentosundan düşük, daha sonra ise yüksektir. Dayanım, bu tip çimentolarda, cüruf miktarı ile ters orantılıdır.

Betonun mukavemetine tesir eden diğer faktörler, çimentonun inceliği, ateş zayıfatı oranı, çözünmeyen kısım ile hava miktarıdır. Su/çimento oranı ile betonun sıkıştırılma derecesi, betonun mukavemetine tesir eden diğer iki önemli faktördür. Su/çimento oranı ile dayanım arasındaki bağıntı, genellikle :

$$S = K \cdot \left(\frac{c}{c+e+a} \right)^{w/c}$$

$$S = (K_1 K_2)^{w/c}$$

eşitlikleri ile verilmektedir. Burada, S ; dayanım, K 'lar; sabite, w/c ; hacimca su/çimento oranı, c , e ve a ; sırasıyla su, çimento ve havanın net hacimleri olmaktadır.



Şekil 1. — Çeşitli Şekillerde Sıkıştırılmış Betonların Dayanımları İle Su/Çimento Oranları Arasındaki Bağntı.

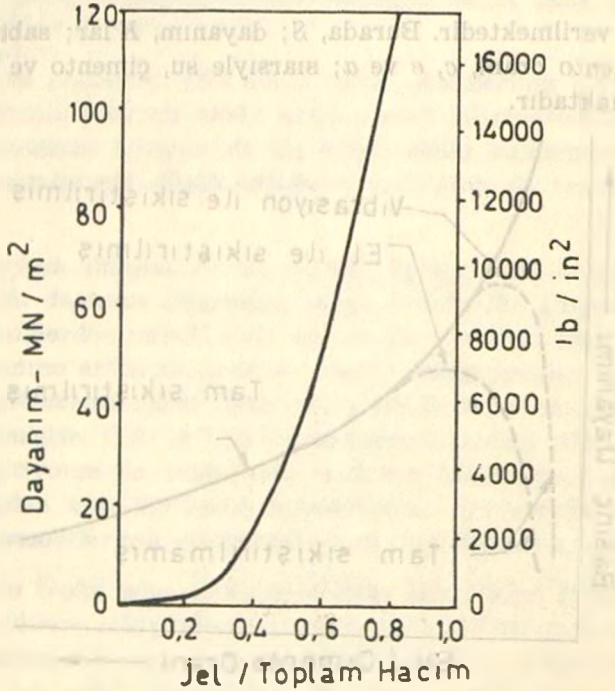
Su/çimento oranının artması çimento pastasındaki poroziteyi arttırdığından, neticede, elde edilen betonun dayanımı da düşük olmaktadır.

Su/çimento oranından başka, betonların dayanımına, sıkıştırmanın da pek büyük tesiri olmaktadır. Şekil 1 de, çeşitli tarzlarda sıkıştırılarak hazırlanmış olan beton nünunelerinin dayanımlarının su/çimento oranı ile olan bağıntısı grafik halinde ifade edilmiş bulunmaktadır.

Buna göre, muayyen bir su/çimento oranından itibaren, genellikle su/çimento oranının artması ile (diğer bir ifadeyle harçtaki çimento miktarının azalmasıyla), ne şekilde sıkıştırılmış olursa olsun, betonların mukavemetleri azalma göstermektedir.

Bundan başka, muayyen bir su/çimento oranına sahip bulunan betonun dayanımının, «Hidratize çimento (jel)/Toplam hacim» oranı ile de ilgili olduğu ortaya konmuş bulunmaktadır. «Jel/Toplam hacim» oranının büyümesi mukavemetin artmasına büyük ölçüde müessir olmaktadır.

Bu husus Şekil 2 de açıkça görülmektedir.



Şekil 2. — Betonlarda Dayanım ile «Jel/Toplam Hacim» Arasındaki Bağntı.

Jel/Toplam hacim oranının artması, hidratize çimento hacminin fazla olması demek olduğu gibi, diğer taraftan, harçtaki por'ların (porozitenin) azlığı manasına da gelmektedir. Bu da, harcın homojen yapıda ve iyi sıkıştırılmış durumda olması demektir. Harçtaki porozitenin artması, diğer taraftan, betonun geçirgenliğine de direkt olarak tesir etmektedir. Porozitenin yüksek olmamasının en önde gelen bir sebebi ise, muhakkak ki, su/çimento oranının yüksek olmasıdır.

Betonların mukavemeti, bunlarda başka, hidratize kalsiyum silikat miktarının suya olan oranı ile de lineer bir şekilde bağlantılıdır.

Su/çimento oranının, hidratasyon hızına ve dolayısıyla de hidratasyon ürünlerinin kalitatif ve kantitatif durumlarına tesir ettiği, bilinen gerçeklerdendir. Su/çimento oranı düşükse, hidratasyon hızı önceleri artmakla beraber, neticede, bağlı suyu ve spesifik yüzeyi düşük olan ürünler meydana gelmektedir.

Betonların önemli dolgu maddeleri olan kum ve agreganın kendilerine has mekanik özellikleri, çimento ve su ile olan ilgileri ve betonda meydana getirdikleri poroziteler, betonların dayanımlarına tesir eden diğer önemli faktörlerdir. Kum ve agreganın iyi ayarlanması, tane büyüklüklerinin uygun seçilmesi, betonun kompozitesinin (çimento, kum ve iri agreganın 1 m³ içinde işgal ettikleri hakiki toplam hacim) yüksek olmasına, diğer bir deyişle, betondaki boşlukların küçük olmasına tesir etmektedir. Bu da, muhakkak ki, betonların dayanımları ile yakinen ilgili olan bir konudur.

Çimento ile agreganın arasındaki münasebet, karşılıklı kimyasal tesirlerden olduğu kadar fiziksel yüzey kuvvetlerinden de ileri gelmektedir. Bahsedilen kimyasal tesirler, daha ziyade kireç ile aktif silis arasında vuku bulan reaksiyonlardır.

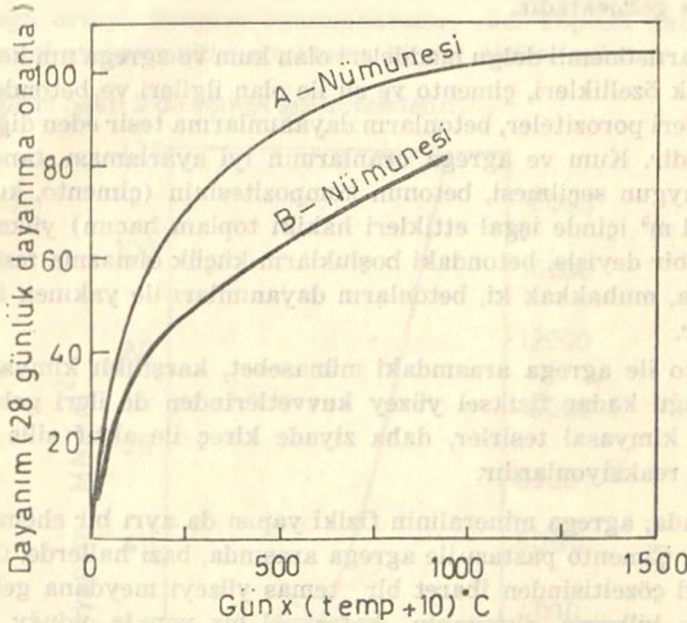
Bu arada, agreganın mineralinin fizikî yapısı da ayrı bir ehemmiyet taşımaktadır. Çimento pastası ile agreganın arasında, bazı hallerde, Ca(OH)₂ - CaCO₃ solid çözeltisinden ibaret bir temas yüzeyi meydana gelmektedir ki, bu olay, bilhassa, agreganın kafesimsi bir yapıda olduğu zamanlar kendini göstermektedir.

Araştırmalar, yüksek fırın cürufu agregası yüzeyinin çimento ile kimyasal bir bağ teşkil ettiğini ve dolayısıyla de yüksek dayanımlı betonlar elde edilebildiğini, dolomitik yapıdaki agregaların ise, çimento ile yüzeyel yer değiştirme reaksiyonlarına girerek genleşmeye uğradığını ve netice olarak da düşük dayanımlı betonlar verdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu tip çalışmalar sonunda, bundan başka, bağlı SiO₂ ihtiva eden mineral-

lerin, kireç - SiO_2 reaksiyonunu yavaşlatması dolayısıyla, serbest SiO_2 ihtiva edenlere nazaran daha düşük bir dayanıma sebep oldukları gösterilmiş bulunmaktadır.

Çevre şartlarının, bu arada bilhassa temperatur ve nemin, betonların mukavemetleri üzerinde çeşitli tesirleri olduğu bilinen hususlardandır. Meselâ, betonun su içindeki muhafazası esnasında temperaturün belirli bir sınıra kadar yükselişi beton dayanımı üzerinde müsbet tesir ederken, bu sınırın aşılması dayanımı düşürmektedir. Bu temperatur sınırı her bir çimento cinsi için elbetteki aynı değildir. Çabuk sertleşen çimentolarda bu temperatur sınırı oldukça düşük kalmaktadır.

Aşağıda Şekil 3 de, değişik iki beton numunesinin su içinde muhafazasındaki «temperatur - zaman» faktörünün dayanım ile olan münasebeti ortaya konmuştur.

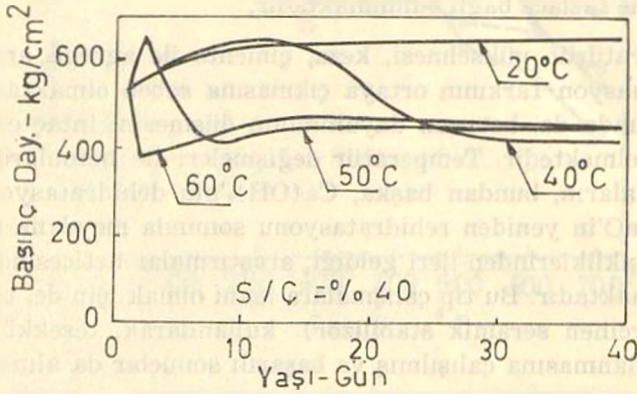


Şekil 3. — Beton Dayanımının «Temperatur - Zaman» Faktörü İle Bağlantısı.

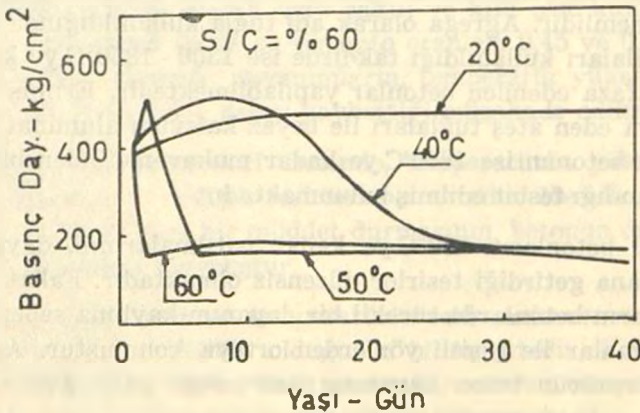
Çimento harçlarının basınçlı buhar altında muhafazasının betonların mukavemetleri üzerine çok büyük tesirleri olduğu ortaya konmuştur. Bu gaye ile yapılan araştırmalar sonunda, basınçlı buhar altında bekletmeler ile, betonun, 28 günlük mukavemetinin % 60'ına 24 saat gibi çok kısa bir zamanda erişebildiği gösterilmiştir.

Araştırmalar ile, ayrıca, betonların dayanım kazanmalarının 100°C ye kadar olan buhar tatbiki ile hızlandırılabileceği de gösterilmiş bulunmaktadır. Hatta, yüksek basınçlı buhar tatbiki ile, kuartz kumunun ki-reç ile birleşerek dayanımın artmasına katkıda bulunduğu ve bu arada puzzolanlı maddelerin mevcudiyetlerinin de reaksiyonları hızlandırdığı, tesbit edilmiştir.

Ancak, bu arada, çimento ve agreganın da özelliklerini gözden uzak tutmamak gerekmektedir. Meselâ, alüminli çimentolarda, temperaturün yükselişi, eğer ortam fazlaca nemli ise, dayanımı düşürmektedir. Bu husus, heksagonal sistemdeki CAH_{10} ve C_2AH_8 bileşiklerinin, kübik sistemdeki C_3AH_6 'ya dönüşmesi ile izah edilmektedir. Çünkü, C_3AH_6 'nın spesifik gravitesi 2,52 iken, CAH_{10} 'nun ancak 1,72 dir. Bu durumda da, meydana gelen porozite, elbetteki dayanımı düşürecektir.



Şekil 4. — Betonlarda «basınç dayanımı - sıcaklık» Bağıntısı.



Şekil 5. — Betonlarda «basınç dayanımı - sıcaklık» Bağıntısı.

Temperatürün, betonların bilhassa basınç dayanımları üzerindeki tesirinin betonun yaşı ile nasıl bir seyir takip ettiği Şekil 4 ve Şekil 5 de gösterilmiş bulunmaktadır. Denemeler aynı tür çimento ile ve fakat % 40 ve % 60 su/çimento oranlarında hazırlanmış beton numuneleri üzerinde yapılmıştır.

3 — Temperatürün Betonlar Üzerindeki Tesirleri

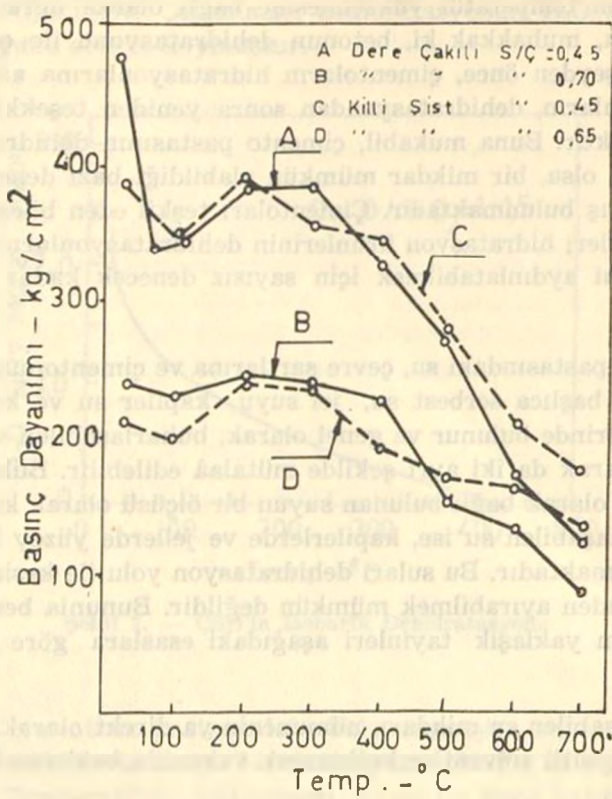
Betonların maruz kaldıkları yüksek ısıların (meselâ, yangın, vs. gibi) dayanımlar üzerinde çeşitli tesirleri olduğu eskiden beri bilinmektedir ve bu husus birçok araştırmalara konu teşkil etmiştir.

Temperatürün yükselişi, herşeyden önce betondaki agreganın genleşmesine yol açmaktadır. Agregaların genleşmesi, gayet tabiidir ki, agreganın cinsine fazlaca bağlı bulunmaktadır.

Temperatürün yükselmesi, keza, çimento ile agrega arasındaki termal deformasyon farkının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır ki, bütün bunlar sonunda da, betonun dayanımının düşmesini intaç eden çatlaklar meydana gelmektedir. Temperatür değişimleri ile betonlarda ortaya çıkan çatlakların, bundan başka, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin dehidratasyonu ile teşekkül eden CaO 'in yeniden rehidratasyonu sonunda meydana gelen normal hacim değişikliklerinden ileri geldiği, araştırmalar neticesinde tesbit edilmiş bulunmaktadır. Bu tip çalışmalara mani olmak için de, uygun bir stabilizör (tercihen seramik stabilizör) kullanılarak, teşekkül etmiş olan CaO 'in bağlanmasına çalışılmış ve başarılı sonuçlar da alınmıştır.

Eğer ateşe dayanıklı beton imali isteniyorsa, daha ziyade alüminli çimentolar tercih edilmektedir. Ancak bu arada, kullanılan agreganın cinsi de çok önemlidir. Agregası olarak adı tuğla kullanıldığında $900 - 1000^\circ\text{C}$ ye, ateş tuğlaları kullanıldığı takdirde ise $1300 - 1350^\circ\text{C}$ ye kadar özelliklerini muhafaza edebilen betonlar yapılabilmektedir. Erimiş alumina agregası ihtiva eden ateş tuğlaları ile beyaz kalsiyum alüminat çimentosundan yapılan betonun ise 1800°C ye kadar mukavemetinden birşey kaybetmeden dayandığı tesbit edilmiş bulunmaktadır.

Normal betonların 250°C ye kadar ısıtılmalarının, dayanımlar üzerinde meydana getirdiği tesirler düzensiz olmaktadır. Fakat 300°C yi geçen ısıtımların betonlarda sürekli bir dayanım kaybına sebep olduğu, pek çok araştırmalar ile çeşitli yönlerden ortaya konmuştur. Aşağıda, Şekil 6 da, temperatürün beton dayanımı üzerindeki tesiri gösterilmiş bulunmaktadır.



Şekil 6. — Temperaturün Beton Dayanımı Üzerindeki Tesiri.

Denemeler, agrega olarak dere çakılı ve killi şist kullanarak yapılmıştır. Her iki agrega ile ve su/çimento oranları 0,45 ve 0,70 olarak yapılan beton numunelerinde, dayanımların, temperatur yükselmesine bağlı olarak devamlı bir şekilde değer kaybettiği müşahade edilmiştir.

Betonların mukavemetleri üzerinde, temperaturün yüksekliği kadar, ısınma müddetinin de değişik tesirleri olmaktadır. Meselâ, betonun yüksek sıcaklıklarda kısa bir müddet durmasının, betonun dayanımını hafifçe arttırdığı ortaya konmuştur.

Bundan başka, yüksek sıcaklıklardaki mukavemet kayıplarının kuru betonlarda daha düşük olduğu da bilinmektedir. Keza, betonların eğilme dayanımlarının basınç dayanımlarına nazaran sıcaklık yükselmesi ile daha fazla etkilendiği de gösterilmiş bulunmaktadır.

Betonların temperatur yükselmesine bağlı olarak uğradıkları dayanım kayıpları, muhakkak ki, betonun dehidratasyonu ile çok yakından ilgilidir. Herşeyden önce, çimentoların hidratasyonlarına ait bilinen bütün reaksiyonların, dehidratasyondan sonra yeniden teşekkül edemedikleri bir gerçektir. Buna mukabil, çimento pastasının dehidratasyonunun, çok yavaş da olsa, bir miktar mümkün olabildiği bazı denemeler ile ortaya çıkarılmış bulunmaktadır. Çimentoları teşkil eden bileşenlerin meydana getirdikleri hidratasyon ürünlerinin dehidratasyonlarının ne şekilde gerçekleştiğini aydınlatabilmek için sayısız denecek kadar çok çalışma yapılmıştır.

Çimento pastasındaki su, çevre şartlarına ve çimentonun özelliklerine bağlı olarak, başlıca serbest su, jel suyu, kapiler su ve komponentlere bağlı su hallerinde bulunur ve genel olarak, buharlaşabilen ve buharlaşamayan su olarak da iki ayrı şekilde mütalâ edilebilir. Buharlaşamayan su, kimyasal olarak bağlı bulunan suyun bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Buharlaşabilen su ise, kapilerlerde ve jellerde yüzey kuvvetleri ile tutulan su olmaktadır. Bu suları dehidratasyon yolu ile kesin sınırlar halinde birbirinden ayırabilmek mümkün değildir. Bununla beraber, her iki su miktarının yaklaşık tayinleri aşağıdaki esaslara göre şöyle yapılabilir :

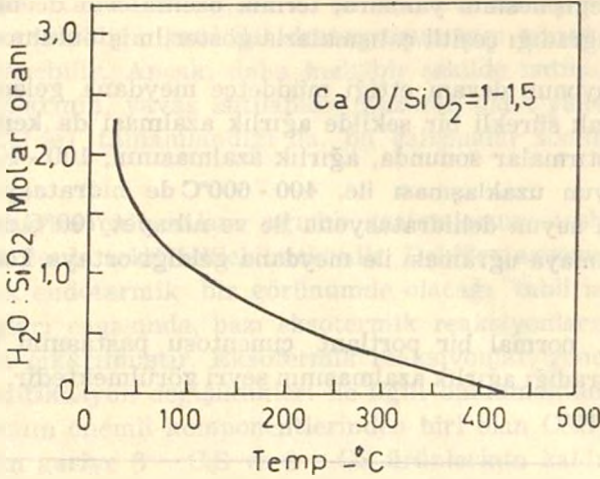
Buharlaşabilen su miktarı, nümunenin ya direkt olarak ısıtılması ile veyahut da çeşitli solventler kullanarak vakumda bekletmekle tayin edilebilmektedir.

Çimento pastasının $Mg(ClO_4)_2 \cdot 2H_2O$ üzerinde $23^\circ C$ de kurutulmasından sonra geri kalan su ise, kimyasal bağlı su olarak kabul edilmektedir. Ancak, magnezyum perklorat üzerindeki bu bekletme esnasında, alüminatlar ile sülföalüminatların ve keza CSH'in bir miktar su kaybettiği söylenebilir. Nitekim, bu husus, aşağıdaki şekillerde de açıkça görülebilmektedir.

Şekil 7 CSH'in ihtiva ettiği suyun isobarik olarak, Şekil 8 ise, gene CSH'in isotermik olarak dehidratasyonunu göstermektedir. CaO/SiO_2 oranı 1,0 - 1,5 olan nümunedeki, H_2O/SiO_2 oranının temperatur yükselmesi ile nihayet $425^\circ C$ de sıfır olduğu Şekil 7 de net olarak görülmektedir. Bu tecrübe sabit baskıda yapılmıştır.

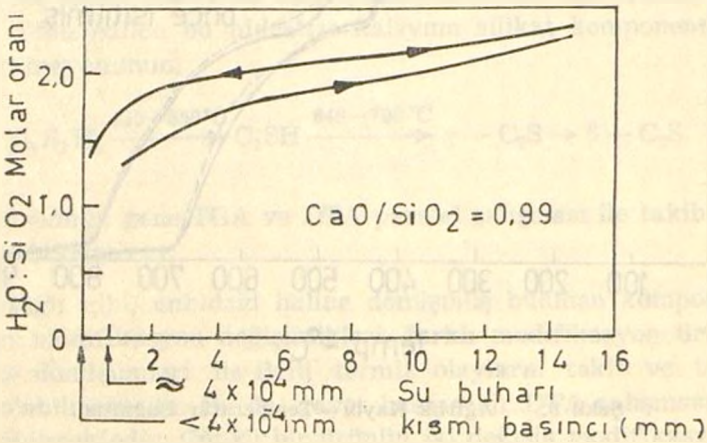
Sabit temperaturde yapılan diğer tecrübelerde ise, CaO/SiO_2 oranı 0,99 olan nümunenin H_2O/SiO_2 oranının (yani diğer bir manada dehidratasyon derecesinin) seyri, su buharı kısmî baskısı (mmHg) olarak izlenmiş bu-

lanmaktadır (Şekil 8). Çalışmalar, dehidratasyonun H_2O/SiO_2 oranı ile orantılı olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 7. — CSH'in İsobarik Dehidratasyonu.

Portlant çimentosu pastasındaki buharlaşmayan suyun, çimentonun bileşimindeki oksidlerin linear bir fonksiyonu olduğu da ayrıca ileri sürülmektedir. Temperaturün yükselmesi, sırası ile, önce buharlaşabilen su ile $Ca(OH)_2$ ve hidratize ürünlerin dehidratasyonunu, daha sonra da

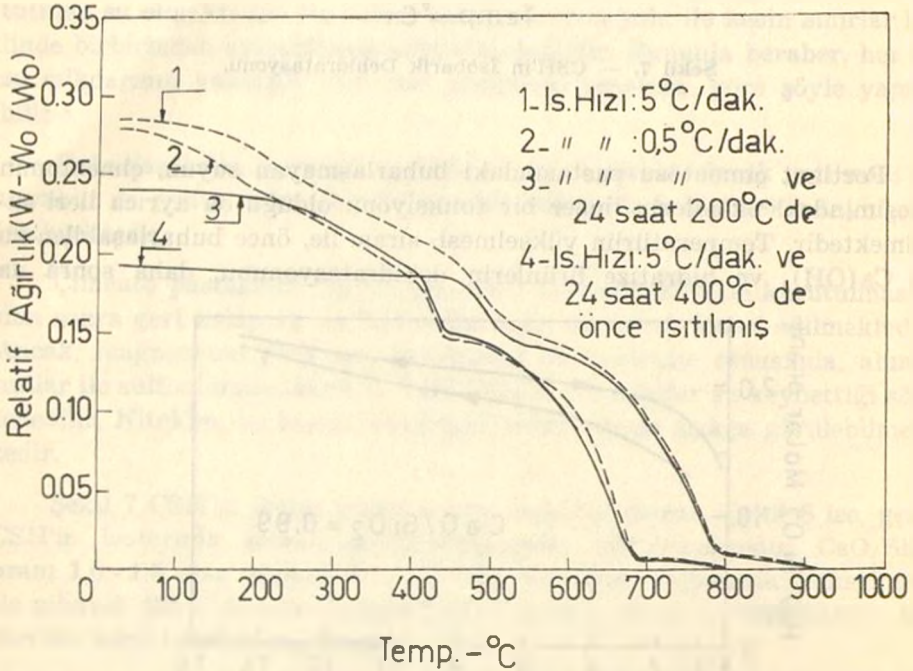


Şekil 8. — CSH'in İsotermik Dehidratasyonu.

CaCO_3 'ün bozunmasını ve çeşitli dönüşümleri ortaya çıkarmaktadır. Hidratize ürünlerin dehidratasyonları esnasında, çimento pastasının ısı absorpsiyonunun, solid fazın fizikokimyasal karakterinin ve bütün kütlelerin porozitesinin değişmesinin yanısıra, termik özelliklerin de büyük ölçüde değişikliklere uğradığı çeşitli çalışmalarla gösterilmiş bulunmaktadır.

Dehidratasyonun devam ettiği müddetçe meydana gelen reaksiyonlara bağlı olarak sürekli bir şekilde ağırlık azalması da kendini göstermektedir. Araştırmalar sonunda, ağırlık azalmasının, 100 - 400°C de nem ve serbest suyun uzaklaşması ile, 400 - 600°C de hidratasyon suyu ve buharlaşmayan suyun dehidratasyonu ile ve nihayet 700°C den sonra ise CaCO_3 'ün bozunmaya uğraması ile meydana geldiği ortaya konmuş bulunmaktadır.

Şekil 9 da, normal bir portlant çimentosu pastasının temperature bağlı olarak uğradığı ağırlık azalmasının seyri görülmektedir.

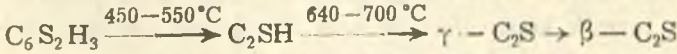


Şekil 9. — Ağırlık Kaybı - Temperatur Bağıntısı.

Dehidratasyon çalışmaları, 0,5°C/dak ve 5,0°C/dak'lık ısıtma hızları ile yapılmıştır. Ayrıca, diğer iki paralel çalışmada da, numuneler 24 saatlik bir ön ısıtmaya (200°C ve 400°C de) tabi tutularak, dehidratasyonlar gözlenmiştir. Genel olarak, bütün bu durumlarda, kütledeki suyun tamamının çıkarılabildiği, yani dehidratasyonun tam olarak gerçekleştirilebildiği söylenebilir. Ancak, daha hızlı bir şekilde ısıtılan numunelerin dehidratasyonlarının, yavaş ısıtılanlara nazaran daha yüksek bir sıcaklıkte (900°C de) tamamlandığı da, bu çalışmalar sonunda anlaşılmış bulunmaktadır.

Dehidratasyon çalışmaları, ağırlık azalmalarının tesbitinden başka TGA ve DTA ile de takip edilebilmektedir. Dehidratasyonun her şeklinin normal olarak endotermik bir görünümde olacağı tabii ise de, TGA ve DTA çalışmaları esnasında, bazı eksotermik reaksiyonların mevcudiyetleri de ortaya çıkarılmıştır. Eksotermik reaksiyonlar, genellikle, komponentlerin modifikasyon değişiklikleri ile ilgili bulunmaktadır. Meselâ, çimento pastasının önemli komponentlerinden biri olan CSH jelinin dehidratasyonundan geriye $\beta - C_2S$ ve $\beta - CS$ ürünlerinin kaldığı bilinmektedir. Araştırmalar, $\beta - C_2S \longrightarrow \beta - CS$ dönüşümünün 850 - 900°C de eksotermik bir şekilde vuku bulduğunu göstermiştir. TGA ve DTA çalışmaları ile dehidratasyon kademeleri de gösterilebilmektedir. Örnek bir çalışma $C_6S_2H_3$ komponenti ile yapılmıştır. Sözü edilen bu komponentin, ilk 4 mol suyunu 55°C de, ikinci 4 mol suyunu 250 - 450°C de, son 1 mol suyunu ise 450 - 650°C de kaybederek nihayet 730°C den sonra $\beta - CS$ ürününe dönüştüğü net olarak gözlenebilmiştir.

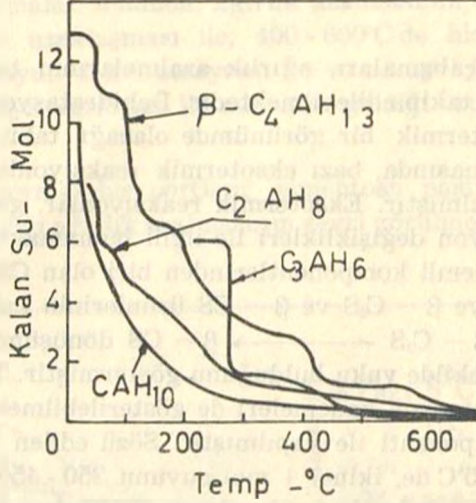
Diğer bir örnek olarak da $C_6S_2H_3$ komponentinin dehidratasyonu gösterilebilir. Sözü edilen bu hidratize kalsiyum silikat komponentinin termal dehidratasyonunun,



şeklinde yürüdüğü gene TGA ve DTA paralel çalışması ile takip edilerek ortaya konabilmıştır.

Görüldüğü gibi, anhidrid haline dönüşmüş bulunan komponentlerin uğradıkları modifikasyon değişiklikleri, farklı modifikasyon ürünlerinin birbirlerine dönüşümleri ile ilgili termik olayların takip ve tesbiti ile mümkün olabilmektedir. Bu da, gayet hassas bir DTA çalışması ile gerçekleştirilebilmektedir. Çünkü bir ürünün iki değişik modifikasyonu arasındaki fark, kristal sisteminin dönüşümünü gerçekleştiren enerji seviye-

sniden ibarettir. Ürünler arasında bir ağırlık farkı yoktur. Bu husus ise, TGA ile değil ve fakat hassas bir DTA çalışması ile ortaya konabilir. TGA ile takip edilen dehidratasyon çalışmalarına ait diğer bir örnek, hidratize çimento komponentlerinden kalsiyum aluminatlar üzerinde verilebilir. Aşağıda Şekil 10 da, değişik hidratize kalsiyum aluminat ürünlerinin muntazam bir şekilde yükselen temperatüre bağlı olarak uğradıkları dehidratasyonun TGA ile takibinden elde edilen eğriler görülmektedir.



Şekil 10. — Değişik Ca-Alumina Hidratlarının Dehidratasyonları.

Bütün ürünlerin 500°C'den itibaren hidratasyon sularının tamamını vermiş oldukları rahatlıkla söylenebilmektedir. Ayrıca, böyle bir çalışmanın, paralel olarak DTA ile de takip edilmesi, hem dehidratasyon kademelerinin termik kontrolleri ve hem de ortaya çıkabilecek modifikasyon ürünlerinin tesbiti bakımından faydalı olmaktadır.

Dehidratasyon üzerine, bunlardan başka, ısıtma hızının, çimento bileşiminin, çimento pastasının yaşının ve ortamın rutubetinin de tesirleri olduğu bilinen gerçeklerdendir.

Görüldüğü gibi, dehidratasyon, çimentoların ve betonların yapılarında önemli fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana getirmektedir. Bilhassa hacim değişimleri, çeşitli bağların ve porozitelerin değişikliklere uğramaları, netice olarak betonun dayanımı üzerinde olumsuz büyük tesirler meydana getirmektedir.

Hidrolik bağlar kuvvetli olduğundan, 300°C ye kadar olan ısınmalar, her cins beton için, genellikle bir dayanım düşmesine sebep olmamaktadır. 300 - 800°C arasındaki ısınmalar sonunda ise, betonların dayanımları, cinslerine bağlı olarak, minimum seviyeye düşmektedir. 800°C den daha yüksek sıcaklıklarda ise, seramik bağların teşekkülü ile bu sefer dayanımların yeniden bir miktar artma gösterdiği tesbit edilmiş bulunmaktadır.

Betonların mukavemetlerinin porozite ile yakından ilgili olduğu daha evvelce de belirtilmiş idi. Araştırmalar, hidratize çimento pastasındaki porozitenin 100°C den itibaren arttığını ve nihayet 1000°C de son huda eriştiğini göstermiştir. Porozitenin yanı sıra, ısınma neticesinde bir büzülme de meydana gelmektedir. Ancak bu büzülme (yani hacim ufalması) poroziteyi karşılayamamaktadır. Bundan dolayıdır ki, betonlarda, ısıtılmanın bir fonksiyonu olarak, devamlı bir dayanım düşmesi müşahade edilmektedir.

Yürütülen seri çalışmalar sonunda, uygulanan dehidratasyon hızı ile meydana gelen büzülme esas alınarak, neticede, betonun porozitesinin sıcaklığın bir fonksiyonu olduğu matematik bir ifadeyle de belirtilmiş bulunmaktadır.

Isıtılma ile dayanımlarını kaybetmiş olan betonların rehidratasyonları üzerinde fazlaca bir çalışma yapılmış değildir. Bu husustaki araştırmaların en dikkat çekeni, hidratize çimentodaki $Ca(OH)_2$ 'in gösterdiği değişiklikler üzerinde yapılmıştır. $Ca(OH)_2$ 'in 400 - 450°C de su kaybetmesi ile meydana gelen CaO, sonra rehidratasyona uğrayarak yeniden $Ca(OH)_2$ 'e dönüşürken, % 70 - 80 oranında bir hacim artışına sebep olmaktadır. Bu da, betonlarda önemli çatlama meydana getirmektedir. Böyle bir ısıtmada, CaO ayrıca, hidratize kalsiyum ve alüminyum silikatların bozunmalarından da teşekkül edebilmektedir. Betonların ateşe dayanıklılıklarının temini için ise, araştırmacılar, CaO'ün yeniden $Ca(OH)_2$ 'e dönüşmesine mani olunmasının gerektiğini, bunun için de seramik stabilizör adı verilen (çeşitli killer, kromit, cüruf, vs. gibi) malzemeler kullanarak CaO'ün bağlanmasının şart olduğunu göstermişlerdir.

Dehidratize edilmiş olan beton numunelerinin rehidratasyonlarının incelenmesinde DTA ve X-ışınlarından da istifade edilmektedir. Daha ziyade bünyedeki kimyasal değişmelerin aydınlatılmasının amaçlandığı bu tip çalışmaların birinde, 7 günlük bir çimento pastasının 1200°C de dehidratize edilmesi ile ele geçen numunelerin rehidratasyonları incelenmiştir. Çalışmalarda, ortamın neminin ve mevcut CO_2 'nin rehidratasyon üzerin-

de tesiri olduğu, % 45 - 55 nemde CaCO_3 ve Ca(OH)_2 , % 98 nemde ise, Ca(OH)_2 'in yanısıra, mevcut $\beta - \text{C}_2\text{S}$ 'in de hidratasyona uğrayarak çeşitli Ca-hidrosilikatların teşekkül ettikleri tesbit edilmiştir.

Diğer bir seri araştırma sonunda da, portlant çimentosuna cüruf ilâvesinin rehidratasyonu azalttığı ortaya çıkarılmıştır. Böyle bir cüruf katkılı portlant çimentosu ile yapılan betonun, temperatur yükselmesi ile uğradığı dehidratasyondan sonraki rehidratasyonun cüruf miktarı ile ters orantılı olduğu da ayrıca tesbit edilmiştir.

Rehidratasyonun en güzel olarak gözleendiği bir denemede, (2,87 CaO. Al_2O_3 ; 2,98 CaSO_4 ; 31,7 H_2O) bileşiminde hazırlanan bir çimento pastası nümunesinin yüksek vakum altında dehidrate edilerek 10 mol sulu hale dönüştürülmüştür. Bu vaziyetteki nümunenin su buharı ile muamele edilerek yeniden tamamen rehidratize edilebildiği gösterilmiş bulunmaktadır.

Bununla beraber, rehidratasyon imkânının ve derecesinin, herşeyden önce, çimentoların bileşimleri ile yakinen ilgili olduğu da bir gerçektir.

FAYDALANILAN ESERLER :

1. A.M. Neville, Properties of Concrete, (New York, Halsted, 1973).
2. F.M. Lea, The Chemistry of Cement and Concrete, (London, Arnold, 1976).
3. R.H. Bogue, Chemistry of Portland Cement, (New York, Reinhold, 1955).
4. V. Lach, Zem.- Kalk.- Gips, 59 (2), 57 - 61, (1970).
5. T. Harada; J. Takeda; S. Yamane and F. Fumura, Concr. Nucl. Reactors, Proc. Int. Semin., 1, 377 - 406, (1972).
6. V. Lach, Proc. 9 th. Conf. Silicate Ind., (Budapest, 1968).
7. T.Z. Harmathy, ACI Journal Proc., 65 (11), 959 - 64, (1968).
8. N.N. Skoblinskaya and K.G. Krasilnikov, Cem. Concr. Res., 5 (4), 381 - 93. (1975).
9. D.L. Kantro and L.E. Copeland, Proc. 4 th. Int. Sym. on the Chem. of Cement. 429 - 52, (Washington, 1960).
10. V.S. Ramachandran, Appl. of DTA in Cem. Chem., Chem. Publ. Co., 81 - 109, (1969).
11. K. Takimoto; H. Takahashi and S. Takaqi, Jap. Cem. Eng. Assoc. 13 th. Gen. Meeting 30, (1959).
12. T.C. Powers, J. Am. Cer. Soc., 41, 1 - 6, (1958).
13. D.L. Bloem, Nat. Ready - Mixed Coner. Assoc. Publ., 90, 11, (1959).

14. T. Atıcılar, T.Ç. Müst. Bült., 127, 3 - 9, (1977).
15. R.L. Blaine; H.T. Arni and M.R. Defore, Nat. Bur. Stand. Bldg. Sc. Ser., 8 (3), (1968).
16. M.V. Euw and P. Gourdin, Mater. and struct., 3 (17), 299 - 311, (Paris, 1970).
17. W.J. McCoy and L.L. Eshenour, Proc. 5 th. Int. Sym. on the Chem. of Cem., 2, 437 - 43, (Tokyo, 1968).
18. M. Jung, Proc. Int. Sym., RILEM, 1, 86 - 107, (IUPAC, 1973).
19. Y.M. Butt; V.M. Kolbasov and L.E. Berlin, Bet. Zhelezobeton, 11, 9 - 10. (1974).
20. H. Marmor; H. Laas; T. Viholemm and H. Vapris, Betonov, 55 - 9, (1971).
21. J. Jambor, Cem. Concr. Assoc. Proc. Conf., 175 - 88, (1976).
22. B. Postacıoğlu, Yapı malzemeleri dersleri, 213, (1975).
23. J. Farran and J.C. Maso, Seanc. Acad. Sci., 260, 2195, (1965).
24. P. Klieger, Proc. Am. Concr. Inst., 54, 1063, (1958).
25. T. Thorvaldson, Proc. Am. Concr. Inst., 52, 771, (1956).
26. RILEM Sym., Shrinkage of Hydraulic Concr., (Madrid, 1968).
27. A.M. Newille, Proc. Inst. C.E., 25, 287 - 324, (London, 1963).
28. P.K. Mehta and G. Lesnikoff, J. Am. Cer. Soc., 54, 210 - 2, (1971).
29. H. Uchikawa and S. Uchida, Semento Gijusto Nempo, 29, 61 - 6, (1975).
30. L.K. Doronin; N.V. Mikhailov and P.A. Rebinder, Pokl. Akad. Nauk. 172 (1), 145 - 8, (1967).
31. T. Harada; J. Taked; S. Yamane and F. Furumura, Concr. Nucl. React. Proc. Int. Sem., 1, 377 - 406, (1970).
32. T. Harada, ACI. Sem. On Concr. for Nucl. React., 16, (W. Berlin 1970).
33. D.J. Hannat, Engineering, 197, 302, (London, 1964).
34. N.G. Zoldners, Mines Branch Res. Rep., 64, (Ottawa, 1960).
35. T.Z. Harmathy and L.W. Allen, J. Am. Concr. Inst. 70 (2), 132 - 42, (1973).
36. N.G., Zoloners, Mines Branch Res. Rep., 64, (Ottawa, 1960).
47. G.L. Kalousek and K.T. Greene, Transp. Res. Circ., 176, 30 - 41, (1976).
38. V.C. Farmer; J. Jeevaratram; K. Speakman and H.F.W. Taylor, Spec. Rep. Highw. Res. Bd., 90, 291, (1966).
39. L. Ludero, Zem.- Kalk.- Glps, 12, 575 - 81, (1959).
40. M. Jung, Proc. Int. Sym., RILEM, 1, 86 - 107, (IUPAC, 1973).
41. S. Diamond; W.L. Dotch and J.L. White, Highw. Res. Rec., 62, 62, (1964).