THBB AKADEMİ

TEKNİK BÜLTEN

3

İÇİNDEKİLER

- ***Betonun Termal Kütlesi ve Enerji Verimliliğine Etkisi***
- ***Beton Transmikserlerinin İcat Edilme Süreci***
- ***Betonarme Yapılarda Soğuk Derz***
- ***Yüksek Sıcaklığın Betona Etkisi***

TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ YAYINIDIR.

Nisan, 2022

BETONUN TERMAL KÜTLESİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

Termal kütle özelliği; bir malzemenin ısı enerjisini emme (absorption), depolama (storage) ve tekrar serbest bırakma (release) yeteneğidir. Yüksek termal kütleye sahip olan beton, tuğla ve fayans gibi yüksek yoğunluklu malzemelerin sıcaklığını değiştirmek için çok fazla ısı enerjisi gereklidir. Ahşap gibi hafif malzemeler ise daha düşük termal kütleye sahiptir. Bu nedenle termal kütlenin uygun kullanımı, konfor ve ısıtma/soğutma performansında büyük bir fark yaratmaktadır.

Yüzlerce yıl önce ilk uygarlıklar, sıcak ve kuru iklimlerde yaşamı konforlu hale getirebilmek için taş ve kerpiç kullanarak bu malzemelerin termal kütle özelliklerinden yararlanmıştır. Günümüzde ise betonarme yapılarda bu avantajdan faydalanılarak hem daha konforlu bir yaşam hem de ısıtma ve soğutma maliyetlerinin daha düşük olması sağlanabilmektedir. Aslında bu sadece enerji verimliliği anlamına gelmemekte, aynı zamanda yüksek güç talebinin ve CO_2 emisyonunun da azaltılması anlamına gelmektedir.

Termal Kütlenin Faydaları

Termal kütlesi yüksek olan beton, enerjiyi yavaş bir şekilde emer ve daha az kütleli malzemelere göre çok daha uzun süre bünyesinde tutar. Bu da ısı transferini geciktirir ve azaltır. Bunun sonucunda:

- Tepki süresi yavaşladığı ve iç ortam sıcaklık dalgalanmaları azaldığı için ısıtma ve soğutma gereksinimlerinde daha az artış meydana gelir.
- Günlük sıcaklık dalgalanması çok yüksek olan iklimlerde termal kütlesi yüksek olan büyük bir yapı, kütlesel olarak büyük elemanlarının daha az ısı transferine neden olması nedeniyle benzer düşük termal kütleli bir yapıdan daha az enerji kullanır.
- Termal kütle; enerji talebini, hizmet oranlarının daha düşük olduğu yoğun olmayan dönemlere kaydırabilir. Santraller pik yüklerde güç sağlayacak şekilde tasarlandığı için pik yükün kaydırılması sonucu gerekli santral sayısı azaltılabilir.

Binalarda betonun kullanılmasının enerji açısından en önemli faydası termal kütlesi sayesinde termal kararlılığı sağlamasıdır. Binalarda kullanılan betonun termal kütlesi;

- Güneş enerjisinden en iyi şekilde kullanılarak ısıtma için gerekli enerji ihtiyacını azaltmakta,
- Isıtma için enerji tüketimini %2 - %15 oranında azaltmakta,
- İç mekândaki ısı dalgalanmalarını düzenlemekte,
- Ofisler ve diğer ticari binalarda bina sakinleri ayrılana kadar tepe sıcaklık değerlerini geciktirmekte,
- Tepe sıcaklıkları düşürmekte ve klima sistemine ihtiyacı azaltmakta,
- Klima sistemi ile birlikte kullanıldığında soğutmada kullanılan enerjide %50'ye kadar düşüş sağlayabilmekte,
- Binaların enerji maliyetlerini azaltabilmekte,
- Hem ısıtma hem de soğutmada kullanılan enerjiyi azaltarak en önemli sera gazı olan CO_2 emisyonunu düşürmektedir.

Yapı Malzemelerinin Termal Kütlesi

Bir yapı malzemesinin enerji verimliliğine katkı sağlayacak yüksek termal kütle özelliğine sahip olması için üç özellik gerekmektedir. Bunlar;

1. Yüksek özgül ısı kapasitesi
2. Yüksek özgül ağırlık
3. Orta seviyede ısıl iletkenlik

Tablo 1'de görüleceği üzere tuğla, taş ve beton gibi özgül ağırlığı yüksek yapı malzemeleri bu özelliklere sahiptir. Tabi burada spesifik ısı kapasitesi ve iletkenlik özellikleri de önemlidir. Bu üç özelliğin bir kombinasyonu olarak termal kütle performansı ortaya çıkmaktadır.

Betonun termal kütlesi, binaların günlük ısıtma ve soğutma döngüsüne uygun bir hızda ısının malzemenin yüzeyi ile içi arasında hareket ettiği anlamına gelir. Ahşap gibi bazı malzemeler yüksek ısı kapasitesine sahiptir, ancak ısıl iletkenlikleri nispeten düşüktür ve bu da gün içinde ısının emilme ve gece açığa çıkma oranını sınırlandırır. Çelik, ısıyı depolayabilir; ancak ahşabın aksine çok yüksek bir termal iletkenliğe sahiptir. Bu da ısının bir binanın doğal ısı akışıyla senkronize edilemeyecek kadar hızlı emildiği ve salındığı anlamına gelir.

Tablo 1. Farklı yapı malzemelerinin termal özellikleri

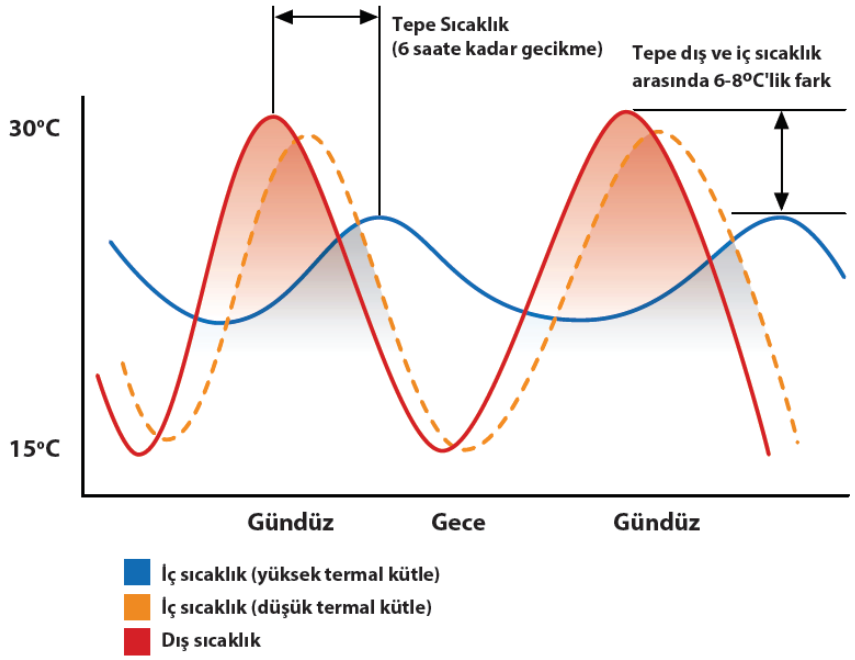
Malzeme	Spesifik Isı Kapasitesi (J/kg.K)	Özgül Ağırlık (kg/m^3)	Termal İletkenlik (W/m.K)	Termal Kütle Özelliği
Beton	1000	2350	1,75	Yüksek
Çelik	450	7800	50	Düşük
Ahşap	1600	500	0,13	Düşük
Hafif Blok	1000	1400	0,57	Orta-Yüksek
Tuğla	1000	1750	0,77	Yüksek
Kumtaşı	1000	2300	1,8	Yüksek

Betonun Termal Kütlesinin Enerji Verimliliğine Etkisi

Sıcak yaz günlerinde, termal kütleye sahip duvarlar ve zeminler, yüzeylerinde ısıyı sabit bir şekilde emerek içeri doğru iletir ve gece daha soğuk havaya maruz kalana kadar depolar. Bu noktada ısı yüzeye geri dönmeye başlar ve serbest kalır. Bu şekilde ısı, Şekil 1'de görüldüğü gibi dalga benzeri bir formasyonla hareket eder ve gündüz/gece koşullarındaki değişime yanıt olarak dönüşümlü olarak emilir ve serbest bırakılır.

Isıyı bu şekilde emme ve salma yeteneği, termal kütleye sahip binaların değişen koşullara doğal olarak yanıt vermesini sağlayarak iç sıcaklığın dengelenmesine yardımcı olur ve büyük ölçüde kendi kendini düzenleyen bir ortam sağlar. Uygun şekilde kullanıldığında, bu dengeleyici etki yaz aylarında aşırı ısınma sorunlarının önlenmesine yardımcı olur ve mekanik soğutma ihtiyacını azaltır. Benzer

şekilde, ısıyı emme yeteneği, güneş enerjisi kazanımlarını ve dâhili cihazlardan gelen ısıyı yakalayıp daha sonra serbest bırakarak ısıtma mevsimi boyunca yakıt kullanımını azaltmaya yardımcı olur.



Şekil 1. Termal kütlenin konfor üzerindeki etkisi

Hava sıcak olduğunda, serin olan beton, içerideki insanların daha serin ve rahat hissetmelerini sağlayabilmektedir. Ayrıca beton, istenmeyen ısıyı emerek (absorbe ederek) iç mekânlardaki sıcaklığın yükselişini yavaşlatmaktadır. Sıcaklıklar gece boyunca düştüğünde, binayı havalandırmak için gece daha serin olan hava kullanılmaktadır. Böylelikle, betonun gündüz absorbe etmiş olduğu ısı tahliye edilmekte ve beton ısı kaybederek ertesi güne hazır hale gelmektedir. Bu sıcak-soğuk depolama etkisi, daha konforlu ve stabil iç mekân sıcaklıkları sağlamaktadır. Termal kütlenin bu faydası, geleneksel olarak Güney Avrupa'daki konutlarda uzun yıllardır kullanılmaktadır ve iklim değişikliği etkisinin aşırı ısınmaya neden olduğu diğer bölgelerde de önem kazanmaktadır. Ayrıca, ticari binalarda mekanik soğutma maliyetlerini azaltmanın bir yolu olarak fayda sağlamaktadır.

Termal kütle konusunda çalışmalar

Finlandiya'daki Tampere Üniversitesi tarafından 28 adet uluslararası yayın taranarak konu ile ilgili bilgiler derlenmiş ve bazı sonuçlara varılmıştır.

- Isıtmada termal kütlenin kullanılması ile %2-15 oranında tasarruf sağlanmaktadır. Hafif ve ağır binalar karşılaştırıldığında Kuzey Avrupa'daki iklim şartlarında %10'luk tipik bir tasarruf görülmektedir.
- Yaz aylarında soğutma kullanılmadığında ağır bir iç mekândaki en yüksek hava sıcaklıkları, dengi hafif binalara göre 3°C-6°C daha düşük olmaktadır.
- Ofis binalarında gece havalandırma yapılması mekanik soğutmanın kullanımını azaltabilir ya da tamamen ortadan kaldırabilir. Yüksek termal kütle ile birlikte gece havalandırma yapıldığında ise soğutma için gerekli enerjide %50'ye varan bir azalma sağlanmaktadır.
- Yüksek termal kütle ile arttırılmış hava sızdırmazlığının tek ailelik konutlarda kullanılması, hafif dengi ile karşılaştırıldığında, ısıtma enerjisi tüketiminde %20 azalma sağlar.

Sonuç

Termal kütle, malzemenin doğasında bulunan bir özellik olduğundan, tüm beton yapılarda ek bir maliyet olmadan bu özellikten yararlanılabilmektedir. Hem doğal havalandırma sayesinde hem de gölgelendirme, yönlendirme ve yalıtımın doğru yerleştirilmesi gibi akıllı tasarım özellikleri sayesinde pasif etkisi artırılabilmektedir. Soğuk havanın betona gömülü borular aracılığıyla iletildiği termal olarak aktif bina sistemlerinin kullanılmasıyla da etkin bir şekilde artırılması mümkündür. Büyük sıcaklık farkları veya soğuk hava cereyanları yaratılmadığından bu, enerji açısından en verimli ve konforlu aktif soğutma şekli olabilir. Termal kütle sayesinde, bu aktif soğutma sistemi, elektrik talebinin düşük olduğu saatlerde (örneğin gece boyunca) enerjisini kullanabilir. Bu enerji depolama etkisi, enerji kullanımının en yoğun olduğu zamanlarda enerjiye olan ihtiyacı azaltarak elektrik şebekesinin dengelenmesine yardımcı olmakta ve değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmaktadır.

Kaynaklar:

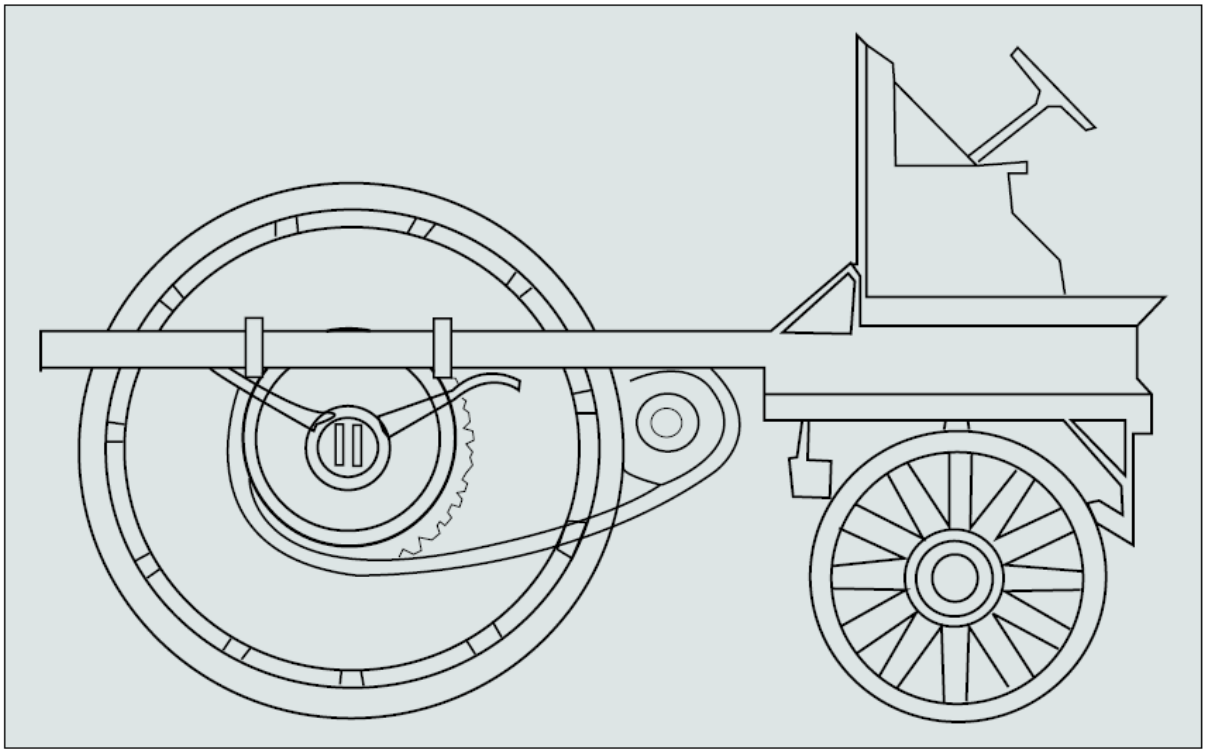
1. https://www.cement.org/buildingcodes/structural-design/energy-performance/thermal-mass
2. https://www.concretecentre.com/Performance-Sustainability-(1)/Thermal-Mass.aspx
3. https://www.theconcreteinitiative.eu/images/ECP_Documents/ConcreteForEnergyEfficientBuildings_EN.pdf

BETON TRANSMİKSERLERİNİN İCAT EDİLME SÜRECİ

Dünyada sudan sonra en fazla tüketilen malzeme betondur. Günümüzde dünya çimento tüketimi yıllık 4,3 milyar ton seviyesine ulaşmıştır. Bu bilgi ışığında, dünya beton üretiminin yıllık 10 milyar m^3 seviyesinde olacağı öngörülebilmektedir. Bu denli büyük miktarda üretilen bir malzemenin taşınması oldukça önemli bir konudur. Mucitler bu soruna 1900'lü yılların başından beri ideal çözümler üretmeye çalışmıştır.

Günümüzde hazır beton çoğunlukla "transmikser" adı verilen özel donanımlı kamyonlarla taşınmaktadır. Bu yazıda beton taşıma araçlarının nasıl ve kimler tarafından icat edildiği konu edilmektedir.

Amerikan Federal Arşiv Kütüphanesi'nde yapılan geniş kapsamlı mikrofilm incelemesinde, ilk mobil beton karıştırıcısı patentinin "harç karıştırıcı" sınıfında 9 Şubat 1904 tarihinde Almanya'da Richard Bodlaender tarafından alındığı tespit edilmiştir. Şekil 1'de aracın ön aks ve vagon tekerleklerinin büyük bir tambur ile değiştirildi görülmektedir. Atlar ile hareket eden aracın tamburunun bir tekerlek gibi dönmesi sonucu içindeki beton karışmaktadır. Bu icadın o gün için hayatı çok kolaylaştırdığı kesin olsa da tam olarak mobil beton aracı olarak değerlendirilmemektedir.

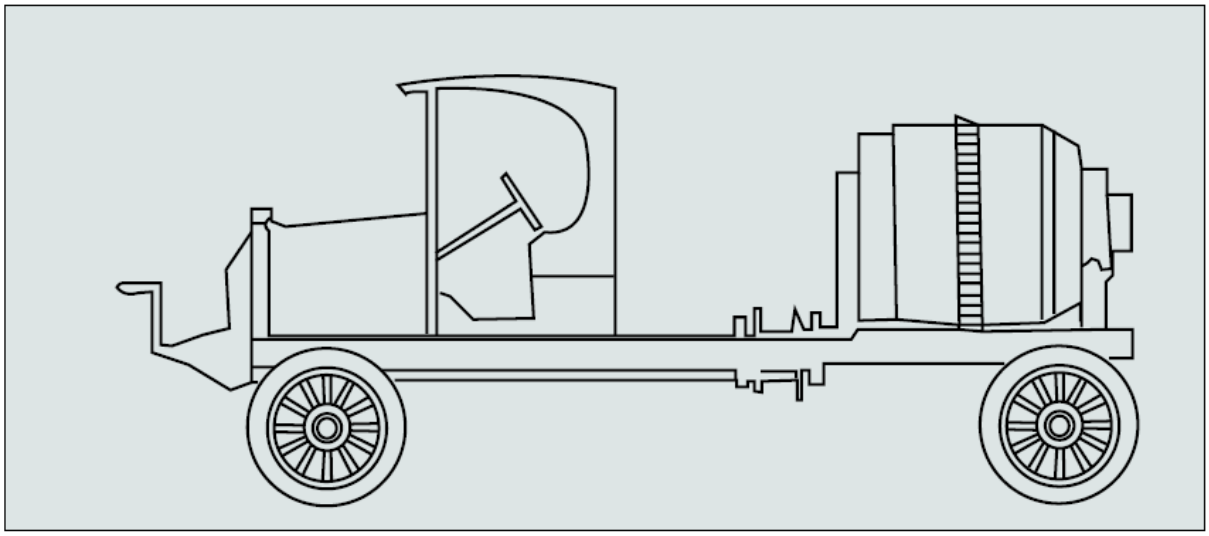


Şekil 1. Richard Bodlaender tarafından patenti alınan taşınabilir beton karıştırıcısı

Bir başka patent 12 Ocak 1909 yılında Pensilvanyalı Alvah Handsel tarafından alınmıştır. Hansel, altıgen bir tambur kullanmıştır; ancak bu tambur dönme hareketini zeminden değil, kömürle çalışan buhar kazanından sağlamaktaydı. Bu kazan karıştırıcıyı hareket ettiren pistonlu bir pompayı çalıştırıyordu. Sistem zincir tahrikli bir diferansiyele sahipti.

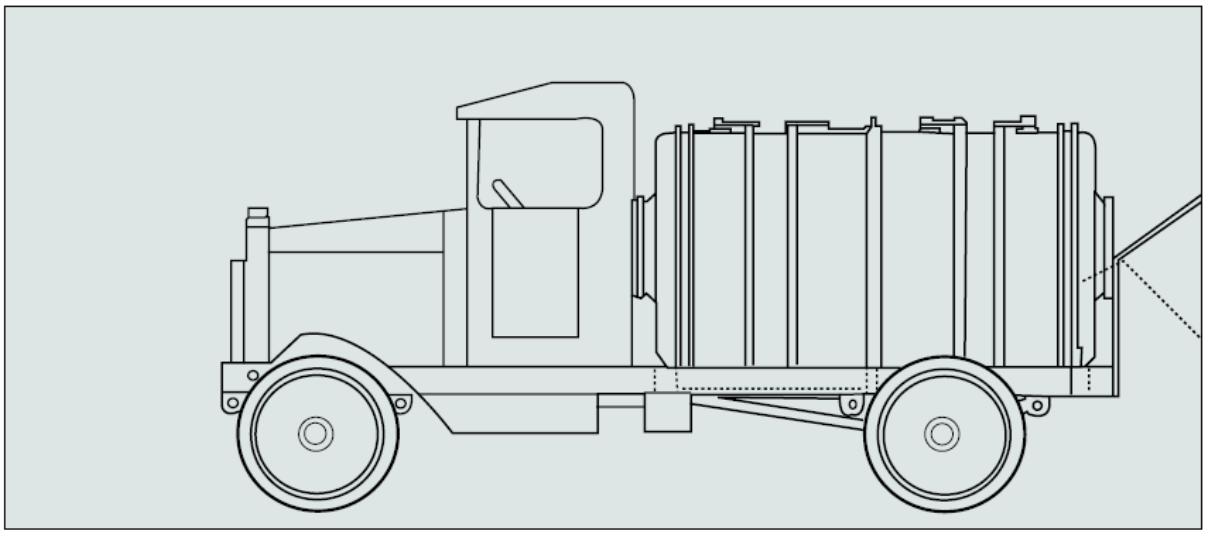
1900'lü yılların başında araçlara, bir güç ünitesinin eklenmesi at gücünden sonra bir kuantum sıçraması yaratmıştı. 24 Mart 1914'de Wisconsinli Ernest Wege tarafından volan içeren daha küçük bir güç ünitesi kullanılmıştır. Wege, zincir tahrik yerine vitesli diferansiyel kullanmıştır.

Günümüzdeki transmikserlere benzeyen ilk gerçek mobil beton aracı Kansaslı Ackert Bickel tarafından tasarlanmıştır. Bu icadın patenti "Beton İşleri için Aparat" başlığı altında 1920 yılında alınmıştır. İçten yanmalı bir motora sahip direksiyonlu bu beton kamyonun ön tarafında el kranklı marş bulunmaktaydı. Bu kamyonun en olumsuz yanı Şekil 2'de görüldüğü gibi şase boyunca kullanılmayan büyük bir alanın olmasıydı.

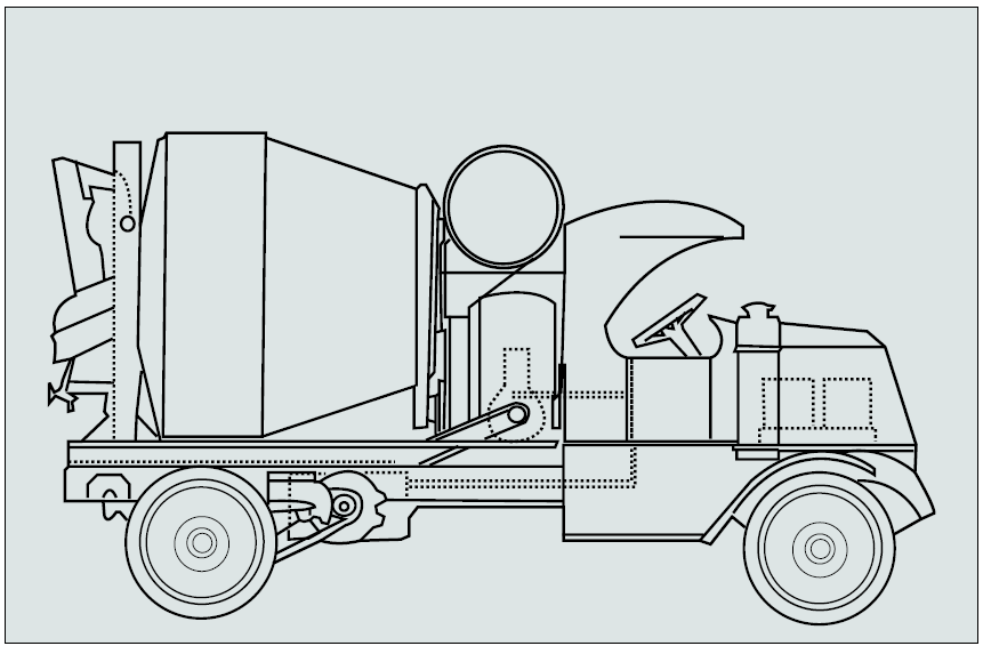


Şekil 2. Ackert Bickel tarafından tasarlanan mobil beton karıştırıcısı

Bickel'in kamyonu, mucit Charles Ball tarafından 24 Haziran 1930'da yeni nesil beton kamyonu için alınan patente kadar sınıfının en iyisiydi. Ball, patentini "karıştırma ve karıştırma makinesi" başlığı altında almıştı. Ball tarafından tasarlanan kamyonun taşıma kapasitesi daha fazlaydı. Yaklaşık 7m^3 beton taşınabilmekteydi. Şekil 3'te görülen bu beton kamyonu 2 yıl içinde radikal bir şekilde modifiye edildi ve patenti güncellendi. Bu tarihten sonraki 40 ila 50 yıl boyunca, beton kamyonun genel görünüşü pek değişmedi.

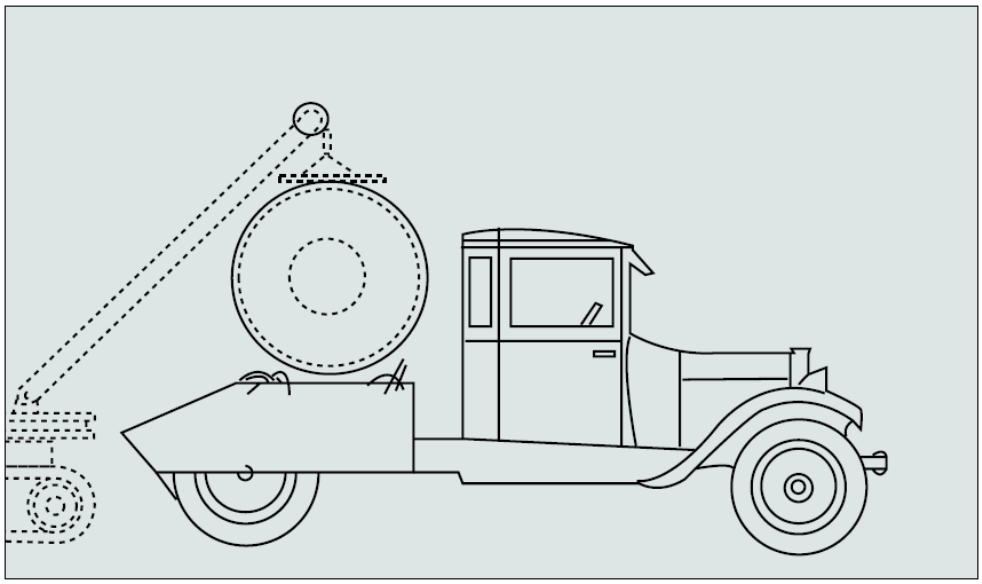


Şekil 3. Charles Ball tarafından 1930 yılında patenti alınan mobil beton aracı



Şekil 4. Charles Ball tarafından 1932 yılında patenti alınan mobil beton aracı

1930'lu yıllarda Amerika'da artan otoyol inşaatları nedeniyle betona ve dolayısıyla beton kamyonlarına olan talep patladı. 1934 yılında Roscoe Lee tarafından "transit beton karıştırıcısı" patenti alındı. Bu beton aracı öncekilerden oldukça farklıydı. Lee, kamyon arkasına monte edilen ve karıştırma kazanını taşıyan bir aparat icat etmişti. Bu kazan bir vinç yardımı ile kamyon üzerine monte edilebiliyordu. Daha ucuz maliyetli olan bu sistem özellikle kamyonun başka amaçlarla kullanımına olanak sağlıyordu. Bu icadın ileriki yıllarda pek de ilgi gördüğü söylenemez.

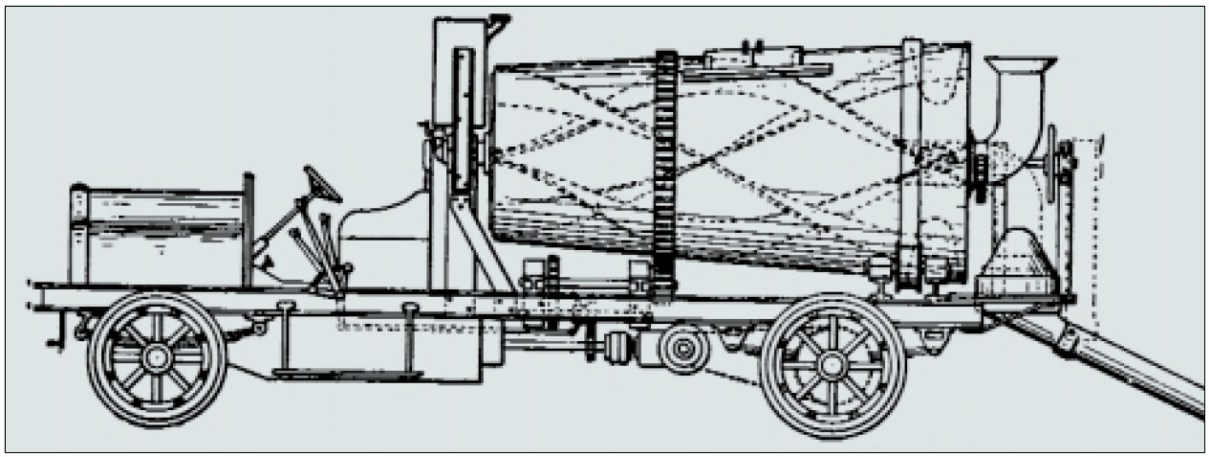


Şekil 5. 1934 yılında Roscoe Lee tarafından patenti alınan transit beton karıştırıcısı

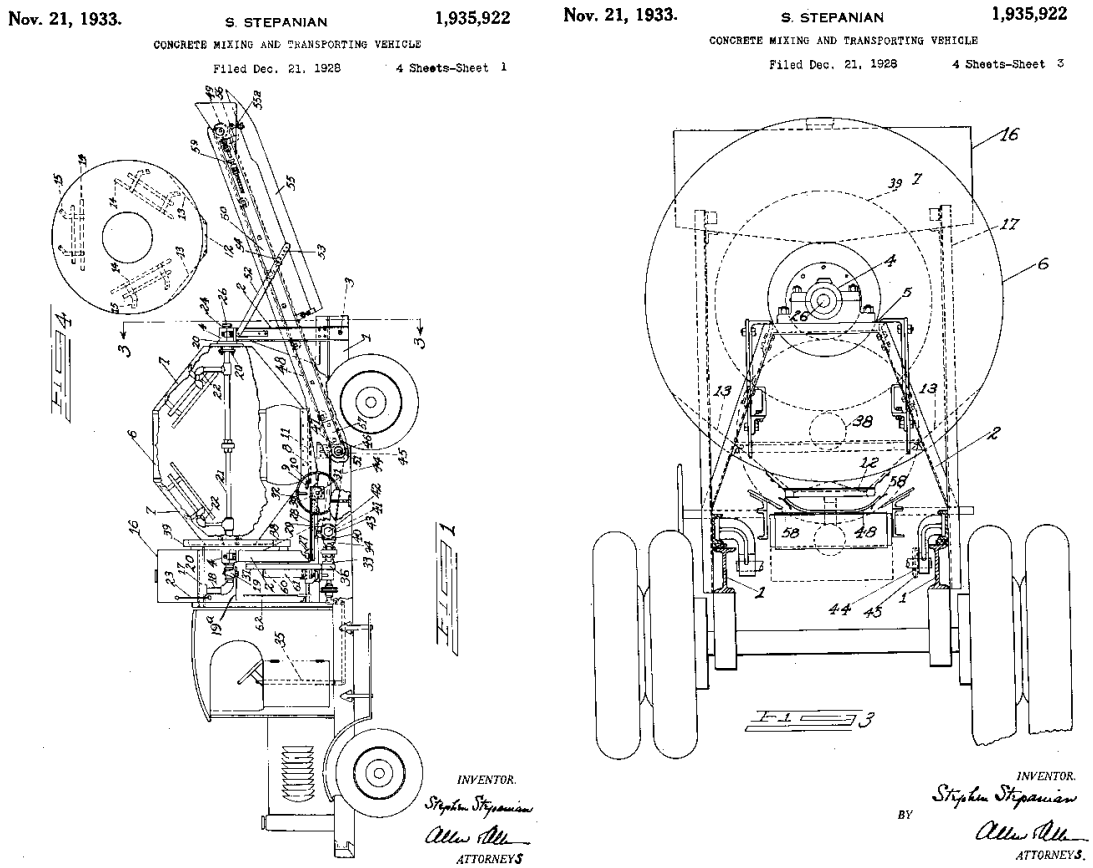
Şimdiye kadar patenti alınmış beton taşıma araçlarının tarihsel gelişiminden bahsedildi. Peki bu kayıtlar hikâyeyi tam olarak özetliyor mu?

Beton dünyasında ilk beton transmikserinin 1916 yılında Amerika'da Stephen Stepanian tarafından icat edildiği bilinmektedir. Stepanian ABD vatandaşı olmadığı için patent başvurusu 1919 yılında reddedilmiştir ve maalesef kayıtlara alınmamıştır. Buna rağmen sanayiye yaptığı katkılardan dolayı

dünya çapında tanınırlık ve saygı kazanmıştır. 1954 yılında Chicago'da düzenlenen Ulusal Hazır Beton Birliği (NRMCA) Kongresinde binlerce katılımcının önünde NRMCA yaşam boyu onursal üyelik payesi ile onurlandırılmıştır.



Şekil 6. 1916 yılında Stephen Stepanian tarafından patent başvurusu yapılan transit beton karıştırıcısı



Şekil 7. Stephen Stepanian'ın patentini aldığı mobil beton karıştırıcısının çizimleri

Kaynak:

1. Paul Campbell, "Who invented the portable mixer anyway?"; The Aberdeen Group; Publication #J00C03; 2000
2. Ready Mixed Concrete: The first fifty years; The Aberdeen Group; Publication C620037; 1967
3. https://www.google.com/patents/US1935922?dq=stephen+stepanian&hl=tr&sa=X&ved=0ahUKEwjis9LkiKXVAhVKLZoKHbITDcsQ6AEIMDAB

BETONARME YAPILARDA SOĞUK DERZ

Soğuk derz, farklı beton katmanlarının planlı ya da plansız bir şekilde yeterli aderans ile kaynaşmaması ve beton tabakalarının farklı olarak çalışmasına neden olan bir uygulama hatasıdır. Ancak, bu hatalı uygulama bazı durumlarda kaçınılmazdır.

Betonarme yapılar monolitik yani tek parça olsa da betonun tek seferde dökülmesi mümkün olmadığından yapı içinde süreksizlikler mevcuttur. Soğuk derz özellikle kütle betonlarında, hacimli projelerde rutin bir durumdur. Soğuk derz uygulama aşamasında önceden planlanacağı gibi şantiyedeki aksaklıklardan nedeniyle kontrol dışı da meydana gelebilir.

Soğuk derz başlıca üç istenmeyen duruma neden olabilir:

1) Prizini almış veya almakta olan beton tabakası üzerine taze beton yerleştirildiğinde eski ve yeni tabaka kaynaşmayacağı için bir bütünlük (süreklilik) sağlanamaz. Özellikle kolonlarda oluşacak bu süreksizlik kesme kuvvetlerine karşı zaaf oluşturur. Kısaca statik açıdan bir sorun yaratır.

2) Kaynaşmayan bölge çevresel etkiler açısından risklidir. Bu bölgeden kolayca su girişi olabilir.

3) Estetik olarak çirkin bir görüntü meydana gelir.

Yukarıda belirtilen tüm bu tehditler önceden ve az da olsa sonradan alınacak tedbirler ile en düşük seviyeye indirilebilmektedir.

Beton dökümünün yeterince uzun bir süre durması sebebiyle oluşan ve betonun sertleşmesi sebebiyle taze beton ile kaynaşmaya izin vermeyen yüzeyler inşaat derzi veya soğuk derz olarak değerlendirilir.

Resim 1. Perdede soğuk derz

Soğuk derz oluşumunun nedenleri:

Soğuk derz planlı veya plansız bir şekilde oluşabilir.

- Hidratasyon ısısı kontrolü amacıyla kütle betonların genelde 2 veya 3 seferde dökülmesi ve 1-1,5 metre kalınlığındaki bir tabaka döküldükten bir müddet sonra ikinci tabakanın dökülmesi
- Kolon ve kiriş/döşeme betonunun ayrı dökülmesi
- Büyük hacimli dökümlerde gün bitimi işin tam olarak bitmemesi
- Temel ve kolonların ayrı dökülmesi
- Düşük döşeme ve ana döşemenin ayrı dökülmesi
- Beton sevkiyatında gecikme
- Organizasyonel hatalar
- Yanlış ve yetersiz sıkıştırma
- Kalıbın patlaması
- Beton taşıyan araçların (transmikser) şantiyeye geç gelmesi

Soğuk derzin yerini belirlemek için proje mühendisinden destek alınması son derece önemli ve elzemdir.

Soğuk derz oluşumunu engellemek için yapılması gerekenler:

a) Kolon ve kirişlere birlikte beton dökülmelidir.
b) Beton sevkiyatı planlamasının önceden yapılması ve buna uyulması gerekmektedir.
c) Betonun sıkıştırılması esnasında vibratör, alt tabaka ile üst tabakayı kaynaştıracak şekilde kullanılmalıdır.
d) Hava durumuna göre beton siparişi ve uygulaması yapılmalıdır.

Soğuk derz oluşumundan önce alınacak önlemler:

a) Sertleşmiş yüzey yeni beton dökümünde önce temizlenmeli ve nemlendirilmelidir.
b) Riskli durumlarda önce dökülen betonun prizinin gecikmesi için akışkanlaştırıcı ya da priz geciktirici katkı kullanılabilir.
c) Bir sonraki beton dökümünün çok geç olmadığı durumlarda ilk dökülen beton yüzeyinin aderansını arttırmak için bir süre sonra basınçlı su ile görünür agrega yüzeyli olması sağlanır.
d) Gecikmeye bağlı olarak ilk beton yüzeyine priz geciktirici kimyasal uygulaması yapılabilir.
e) Prizini almış betonun yüzeyinin pürüzlendirilmesi ve döküm öncesi nemlendirilmesi gerekmektedir.
f) Sertleşmiş beton üzerine dökülecek taze betonun çimento dozajının daha yüksek olması ve iri agrega oranının bir miktar azaltılması faydalıdır.
g) Soğuk derz riski olan durumlarda gerekli tedbirler alınmadan işe devam edilmemelidir.
h) Kolonlarda soğuk derz (ek yeri) bırakılması tavsiye edilmez. Ancak, zorunlu durumlarda ek yerinin momentin en düşük olduğu yerde bırakılması gerekmektedir.
i) Kirişlerde soğuk derzin dikey değil yatay düzlemde olmalıdır. Bunun nedeni kirişlerin

eğilmeye çalışması ve yataydaki derzde enlemesine bir kesme kuvveti oluşmamasıdır. Kirişlerde soğuk derz momentin en az olduğu yerde yani açıklığın 1/3'ünde bırakılabilir. Ancak, pilye kıvrım yerlerinin en az 20 cm ilerisinde olmalıdır.

j) Döşemelerde ve temelde plan dışı durumlarda ilk tabakanın sonraki tabak ile birleşeceği alanın eğimli bırakılması (45°C) ve mümkünse taze halde iken ahşap veya benzeri elemanlar ile dişlendirilmesi ya da agregaların görünür olması sağlanmalıdır. Moment sıfır noktalarında, rabitz teli ya da betonun akmasını engelleyen alternatif bir yöntemle betonu bitirmek doğru bir yöntemdir.

k) Kiriş ve döşemelerde kesme kuvvetlerine karşı takviye donatı eklenebilir.

l) Gerekli durumlarda profesyonel destek alarak aderansı sağlamak için kimyasal malzemeler kullanılabilir. Epoxy aderans arttırıcı kimyasallar püskürtme veya fırça ile önceden temizlenmiş yüzeye uygulanır ve bu işlemin hemen arkasından yeni beton dökümü gerçekleşir. Eğer önlem almadan soğuk derz oluşmuş ise özel su tutucu bantlar, su ile şişen mastik ürünler ve harçlar kullanılabilmektedir.

Soğuk derz beton üreticisi, uygulayıcı ve proje ekibinin ortaklaşa bir şekilde değerlendireceği ve en ideal çözüme kavuşturabileceği bir yapı kusurudur.

Kaynak:

ACI 224. 3R—Joints in Concrete Construction

YÜKSEK SICAKLIĞIN BETONA ETKİSİ

Sıcaklık Aralığı (°C)	Çimento Hamuruna Etki	Agregaya Etki
20 – 80	-Yavaş hızda kapiler su kaybı -Suyun hacimsel genişlemesi	
80 – 90	-Etrenjitlerin ayrışması (dekompozisyon)	
80 – 100	-Kapiler su kaybı	
100 – 200	-CSH jellerinin dehidratasyonu -CSH jellerinin αC_2SH fazına ayrışması -Alçının ayrışması -Fiziksel olarak bağlı suyun kaybı	
200 – 350	-Katoite ve αC_2SH'in ayrışması -Maymit oluşumu -Jaffeite ve αC_2S oluşumu	-Bazı silisli agregaların parçalanması
374	-Su için kritik sıcaklık	
400 – 450	-Portlanditin ayrışması $Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$	
570		-Kuvarsın dönüşümü $\alpha SiO_2 \rightarrow \beta SiO_2$
650 – 800	CSH jellerinin ayrışmasının ikinci fazı ve βC_2S oluşumu	
800 – 1000		-Dolomitin ayrışması - Kalsitin ayrışması $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ -Seramik bağlar hidrolik bağların yerini alır.
1000 – 1200	-Dehidrate fazların erimesi	-Bazaltın erimesi
>1200	-Betonun tamamen ayrışması	

www.thbb.org

www.thbbakademi.org