

BÖLÜM 2

PUZOLANLAR (MİNERAL KATKILAR)

Mineral Katkılar

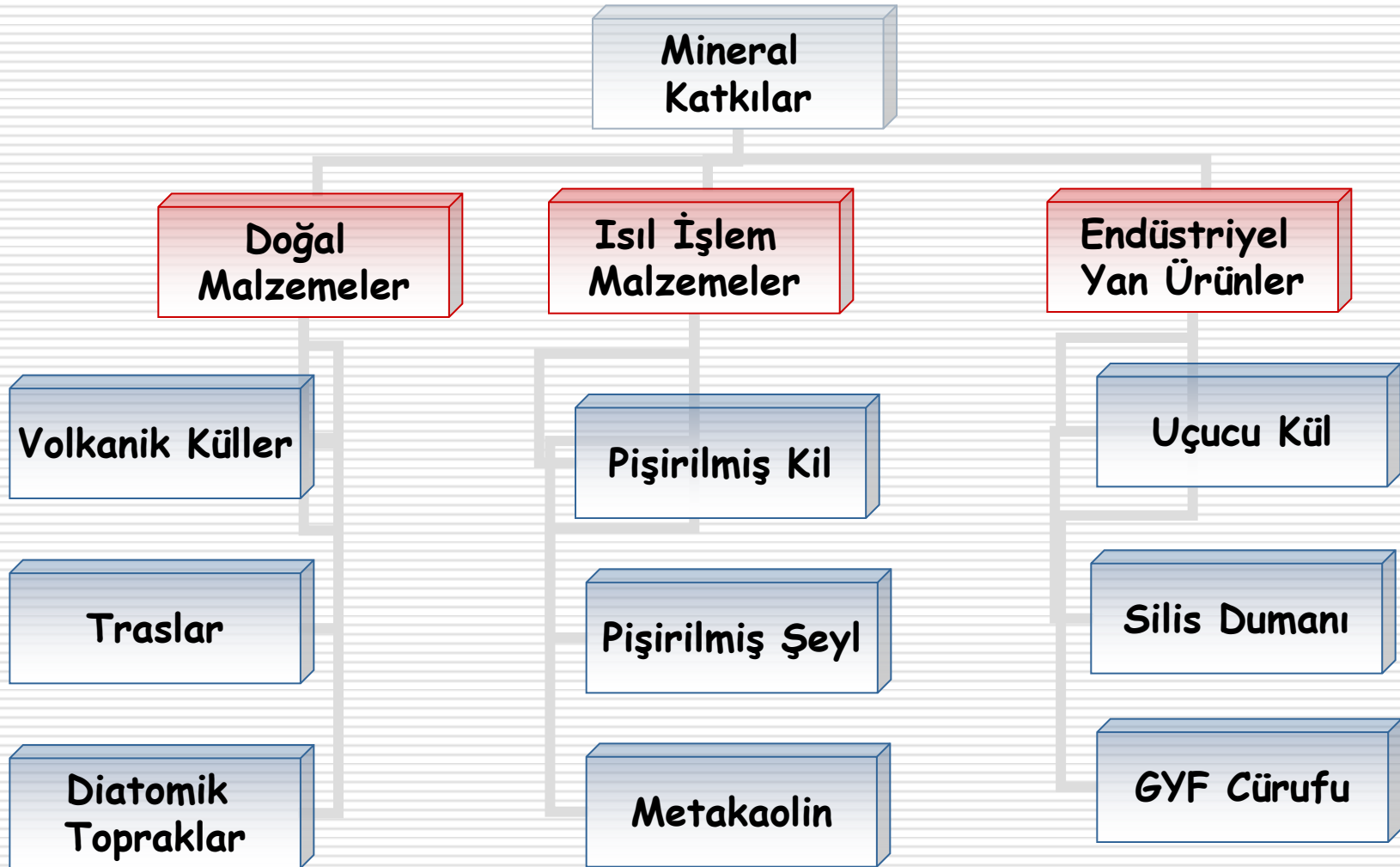
Mineral katkılar **çok ince öğütülmüş olup** karışımdan önce

yada karışım esnasında beton karışımına ilave edilen

ayrı bir bileşendir.



Mineral Katkıların Gruplandırılması



Mineral Katkılarının Kullanımı

İnce taneli mineral katkı maddeleri;

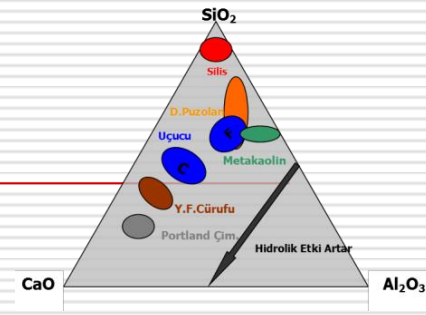
- Çimento üretiminde,
- Beton üretiminde kullanılmaktadır.

Bunların kullanıldıkları oran, genellikle, beton karışımında yer alan çimento miktarı azaltılmakta çimento miktarının **%5 - %50** 'si kadar mineral katkı konulmaktadır.

Mineral Katkı Kullanım Amaçları

1. Taze betonun işlenebilmesini artırmak,
2. Betonun belirli bir veya birkaç özeliğini geliştirmek.
 - Terlemeyi ve segregasyonu azaltmak,
 - Hidratasyon ısını azaltmak,
 - Alkali-silika nedeniyle oluşacak genleşmeyi azaltmak,
 - Su geçirgenliği azaltmak,
 - Nihai dayanımı artırmak,
 - Sülfatlara karşı dayanıklılığı artırmak,
3. Daha ekonomik bir beton elde etmek.

Puzolan



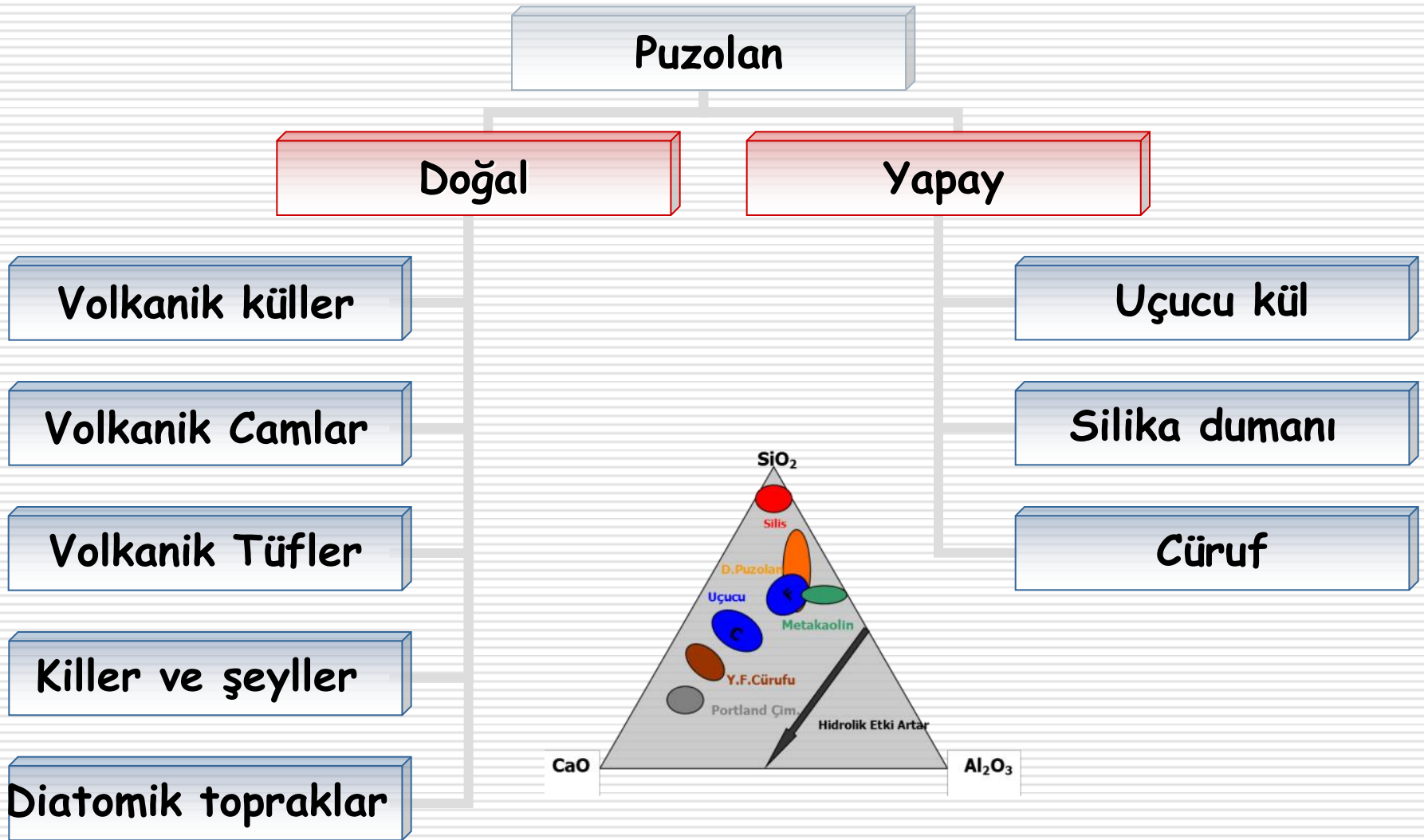
Puzolan, "kendi başlarına **bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen**, fakat ince taneli durumda olduklarında ve **sulu ortamda kalsiyum hidroksit** ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özeliğine sahip olan **silisli veya silisli ve alüminli malzemeler** dir.

Puzolanın Tarihçesi

Eski Romalılar, **Pozzuoli** kasabasının civarında volkanik kül ile söndürölmüş **kirecin suyla birlikte** karılmasıyla elde edilen malzemenin hidrolik bağlayıcılık özeliğı gösterdiğini fark etmişler.



Puzolanik Malzemelerin Tipleri



Puzolanik Reaksiyon

Puzolanların kompozisyonu büyük ölçüde **silis ve alüminden** oluşmaktadır. İnce taneli durumdaki puzolanlar, söndürülmüş kireç ve su ile birleştirildiğinde, bu malzemeler arasında bir takım kimyasal reaksiyonlar yer almaktadır. Kalsiyum hidroksit, silis ve su arasındaki reaksiyonlar, aynen portland çimentosunun hidratasyonunda olduğu gibi, hidrolik bağlayıcılık özeliğine sahip **kalsiyum-silika-hidrat (CSH) jelini** oluşturur.

Puzolanik Aktivite

Puzolanik malzemelerin ne ölçüde bağlayıcılık sağlayabileceği,

“puzolanik aktivite” olarak tanımlanmaktadır.

Puzolanik malzemenin yeterli aktiviteyi gösterebilmesi için,

yeterince ince taneli olması, amorf yapıya sahip olması, ve

yeterli miktarda “silis + alumin + demir oksit” içermelidir.

Dayanım Aktivite İndisi

Kontrol Karışımı

500 gr. Portland çimentosu

1375 gr. Uygun dane dağılımlı standart kum

242 ml.Su

Denenecek Karışım

400 gr. Portland çimentosu

100 gr. Denenecek puzolan örneği

1375 gr.Uygun dane dağılımlı standart kum

.....ml Su (kontrolün akıcılığını $\% \pm 5$ kadar sağlayacak su miktarı)

$$\text{Dayanım aktiflik indisi} = (A/B) * 100$$

A: Puzolanlı denecek karışım ortalama basınç dayanımı

B: Kontrol karışım ortalama basınç dayanımı

Doğal Puzolanlar

Doğal Puzolanlar endüstriyel atıklardan elde edilen ikincil ürün olan puzolanların dışında kalanlardır. Doğal puzolanlar çoğunlukla volkanik orijinlidir.



TS 25 Tras



TÜRK STANDARDI
TURKISH STANDARD

TS 25
Aralık 2008

ICS

**DOĞAL PUZOLAN (TRAS)-ÇİMENTO VE BETONDA
KULLANILAN-TARİFLER, GEREKLER VE UYGUNLUK
KRİTERLERİ**

Natural pozzolan (Trass) for use in cement and concrete -
Definitions, requirements and conformity criteria

Tras



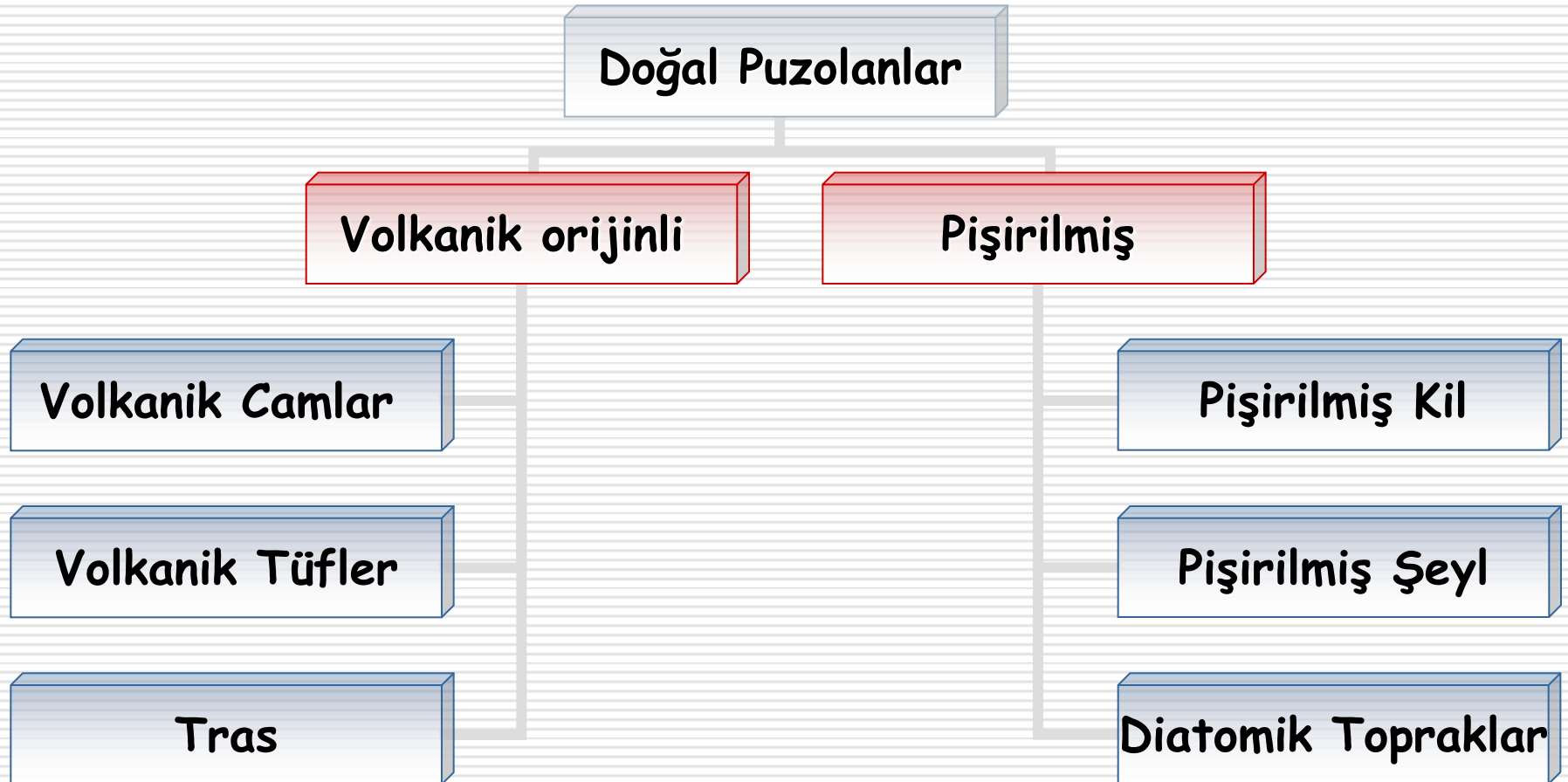
TS 25'e göre kendisi **hidrolik bağlayıcı vasfı olmayan** fakat
ince öğütülmüş **kireç veya çimento** gibi maddelerle sulu
ortamda karıştırıldığı takdirde bağlayıcı maddeler teşkil
edebilen ve karıştırıldığı çimentoya kimyasal mukavemet
kazandıran **volkanik bir kayadır.**

Tüf

Tras çimentoda katkı olarak kullanılan doğal puzolanların **tüf** olarak tanınan en önemli bölümünü oluşturmaktadır.



Doğal Puzolanların Sınıflandırılması



Volkanik Orijinli Doğal Puzolanlar

Genelde alüminli silikadan oluşan erimiş lavların yanardağdan

çıkması sırasında volkanik orijinli doğal puzolanlar

oluşmaktadır. Lavların aşırı ısısı camsı malzemenin oluşumunu

sağlar. Bu camsı oluşum yüksek puzolanik aktivite kazandırır.

Killer ve Şeyler

Kil mineralleri kristal yapıya sahiptir. Bu nedenle kil ve şeyl

ham durumda **puzolanik özelliğe sahip değildir.**



Isıl İşlemden Geçirilmiş Killer ve Şeyler

Kil ve şeyl **700-900°C** de ısıtılınca, kil ve şeyl oldukça **puzolanikleşir**. Isıl işlem kilin ve şeylin kristal yapısını bozar ve hemen hemen **amorflü alüminli silis yapısına** sokar.



Metakaolin Nedir?

Yüksek performanslı çimento bazlı malzemelerin üretiminde **son zamanlarda kullanılmaya** başlanan bir mineral katkıdır.



Metakaolin Nasıl Elde Edilir?

Metakaolin **saf kaolin kilinin** yaklaşık 700-800°C de pişirilmesi

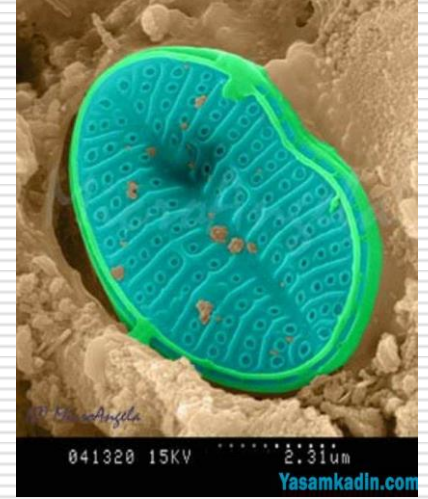
ile elde edilir. Rengi beyazdır.

Kaolinler **kil minerallerinin** bir sınıfıdır ve tüm kil mineralleri

gibi silis malzemesi katmanıdır.

Diatom Nedir?

Diatomlar, **silisli hücrelere sahip** olan mikroskopik büyüklükteki tek hücreli **su bitkileridir**.



Diatomların silisli hücre çeperinin kalıntıları okyanus diplerinde birikir. Çıkarılan diatomlu topraklar işlenerek kullanılır.

Diatomik Toprakların Puzolanik Özelliği

Öğütülmeden veya öğütüldükten sonra puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu tür toprakların 760 - 1000 °C sıcaklığa kadar pişirildikten sonra ince taneli duruma getirilmeleri, puzolanik aktivitelerini artırmaktadır.

Doğal Puzolanlardaki Oksitlerin Miktarı, %

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alkali
Volkanik cam	65.1	14.5	5.5	3.0	1.1	6.5
Volkanik tüf	52.1	18.3	5.8	4.9	1.2	6.6
Diatomlu Toprak	86.0	2.3	1.8	-	0.6	0.4
Piştirilmiş kil	42.2	16.1	7.0	21.8	1.9	1.3

Doğal Puzolanın Betona Olumlu Etkileri

- + İşlenebilirliği arttırır,
- + Terlemeyi azaltır,
- + Hidratasyon ısını azaltır,
- + Geçirgenliği azaltır,
- + Alkali-agrega reaksiyonunu azaltır,
- + Sülfat dayanıklılığını arttırır,
- + Ekonomi sağlar.

Doğal Puzolanın Betona Bozucu Etkileri

- Özellikle soğuk havalarda priz zamanını uzatır,
- Yavaş dayanım kazanımı sağlar,
- Dikkatli ve uzun kür isteyebilir,
- Sabit hava sürüklenme için hava katkı dozajını arttırabilir.

Doğal Puzolanların İçin Sınır Değerler

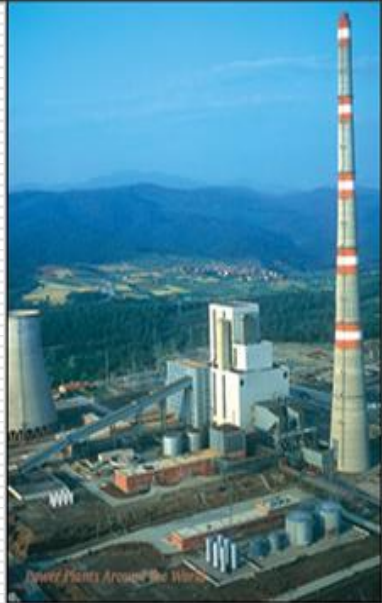
	TS 25	ASTM C 618
Incelik :		
45 µm gözaçıklıklı elekten ıslak olarak elendiğinde, elek üzerinde kalan miktar, maks.%	-	34
Özgül yüzey, Blaine: min. cm ² /g	3000	-
Dayanım Aktivite İndeksi : min. %, 7 günlük	-	75
28 günlük	70	75
Su ihtiyacı : Kontrol numunesine kıyasla, maks. %	-	115

	TS 25	ASTM C 618
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	70.0	70.0
SO ₃ , maks. %	5.0	4.0
Nemlilik, maks. %	3.0	3.0
Kızdırma kaybı, maks. %	10.0	10.0
MgO, maks. %	5.0	-
Na ₂ O olarak alkaliler, maks. %	1.5	1.5

Enerji ve Termik Santral

Gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümeleri enerji tüketimlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu gereksinim karşısında mevcut potansiyeller mümkün olduğu kadar çabuk bir biçimde harekete geçilmiş ve hidroelektrik ve termik santraller kurulması bir çözüm olarak gerçekleşmiştir.

Termik Santraller



Orhaneli
Location: Bursa
Operator: Elektrik Uretim AS
Configuration: 1 X 210 MW
Operation: 1992
Fuel: lignite



Seyitomer
Location: Kutahya
Operator: Elektrik Uretim AS
Configuration: 4 X 150 MW
Operation: 1973-1989
Fuel: Lignite
Boiler supplier: Stein, Deutsche Babcock



Sugoza
Location: Adana
Operator: Iskenerun Enerji (Isken)
Configuration: 2 X 660 MW
Operation: 2003
Fuel: hard coal
Boiler supplier: BBP
T/G supplier: Siemens
EPC: BBP, Siemens, Gama, Tefken

Termik Santral ve Uçucu Kül

Enerji üretiminin arttırılmasında bir çözüm olarak gözüken

kömüre dayalı termik santrallerin sayısının artması önemli

ekolojik, ekonomik ve teknik sorunları da beraberinde

getirebilecek olan **kül üretiminin de artmasına** neden olmaktadır.

Uçucu Kül (Fly Ash)

- Uçucu kül, termik santrallerinin **bacasından gazlarla birlikte uçup gitmeye çalışan küllere** verilen isimdir.
- Endüstriyel bir yan ürün ya da atık olarak bilinir.
- Uçucu küller puzolanik özellikler gösterirler. Kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri ya çok azdır, yada hiç yoktur.

Uçucu Külün Çıkışı...

Uçucu kül terimi **1930'lu yıllarda** elektrik enerjisi endüstrisinin yayılmasıyla ortaya çıkmış ve uçucu külün Portland çimentosu içinde kullanımı yine bu tarihlerde başlamıştır.

1937 yılında R.E Davis, California Üniversitesinde uçucu küllü betonla ilgili araştırma sonuçlarını yayımlamış ve bu çalışma uçucu kül kullanımının temelini oluşturmuştur.

Uçucu Külün İlk Kullanımı...

Uçucu küllerin önemli miktarda kullanılmaya başlanması ise baraj inşaatları sırasında ve betonda hidratasyon ısisının düşürmek amacı ile olmuştur. 1940'lı yıllarda ABD'de ilk kullanım Hoover ve Hungry Horse barajlarında olmuştur. Ülkemizde ise 1960'lı yıllarda Gökçekaya ve Porsuk baraj inşaatlarında kullanılması planlanmıştır.

Uçucu Kül Çeşitleri



1. İri taneli olup baca gazları ile taşınamayan ve kazan tabanına düşen **"taban külü"**
2. Siklon tipi ocaklarda yakılan kömürün suda soğutulularak uzaklaştırılan **"ham kül"**
3. Çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan **"uçucu kül"**

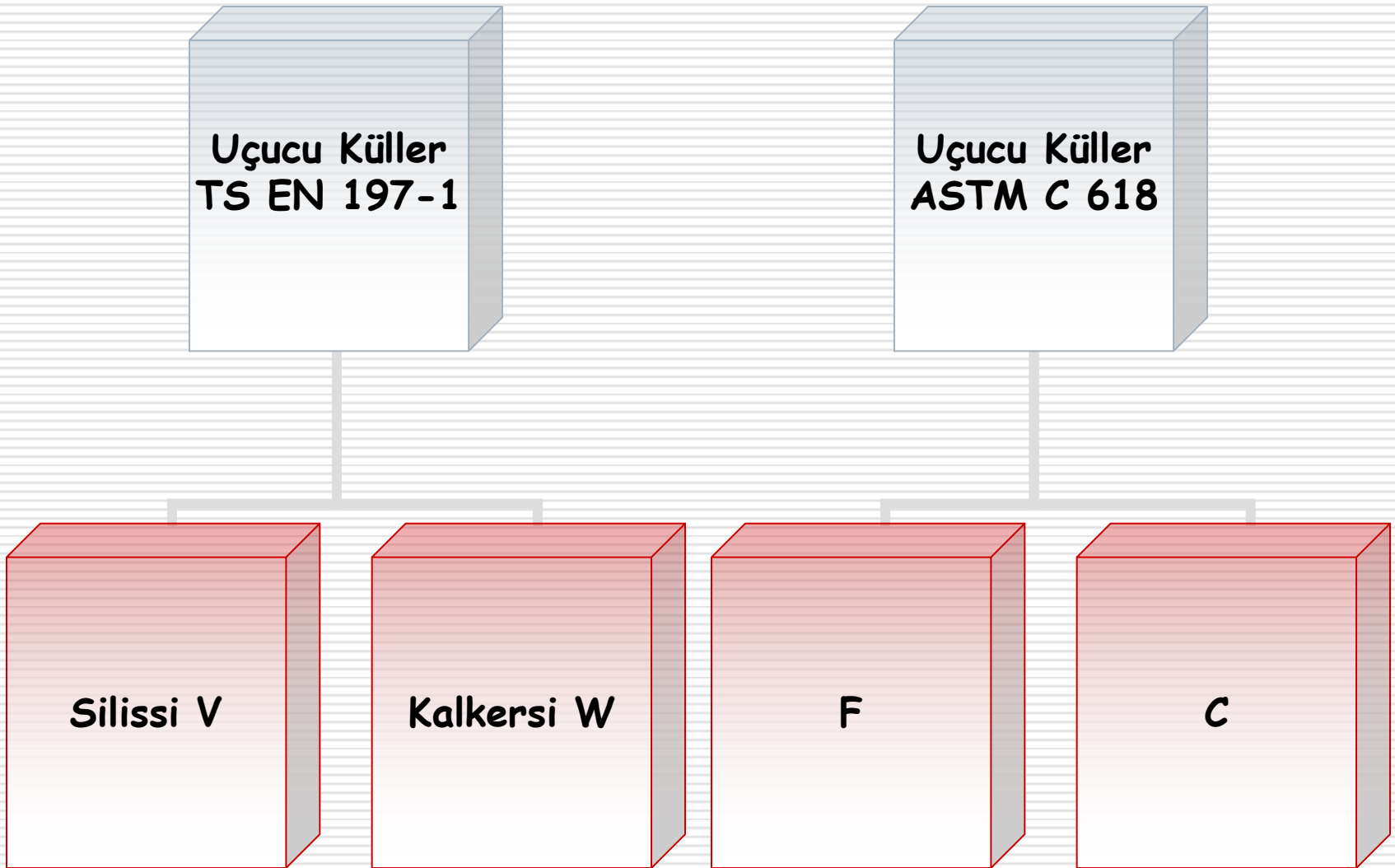
Termik Santraller

1. Afşin-Elbistan,
2. Çatalağzı,
3. Çayırhan,
4. Kangal,
5. Kemerköy,
6. Orhaneli,
7. Seyitömer,
8. Soma,
9. Tunçbilek,
10. Yatağan,
11. Yeniköy
12. Sugözü

Bu santrallerde yılda yaklaşık 15 milyon ton, dünyada ise 600 milyon ton civarında kül elde edilmektedir.



Uçucu Küllerin Sınıflandırılması



V Sınıfı Uçucu Kül

V sınıfı uçucu kül, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip, esas olarak **reaktif silisyum dioksit (SiO_2)** ve **alüminyum oksitden (Al_2O_3)** oluşan, geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, **reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az**, **reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.**

W Sınıfı Uçucu Küller

W sınıfı küller, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup, esas olarak **reaktif kireç (CaO)**, reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan, geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç **(CaO) oranının %10'dan fazla**, reaktif silis miktarının da **%25'den fazla olması gerekmektedir.**

F Sınıfı Uçucu Küller

F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller

girmektedir. Aynı zamanda bu küllerin CaO yüzdesi %10'un

altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F

sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler.

C Sınıfı Uçucu Küller

C sınıfına, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %50'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerin CaO yüzdesi %10'dan fazla olduğu için yüksek kireçli olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler.

Uçucu Külün Betona Faydalı Etkileri

- Sabit su miktarında işlenebilirliği artırır.
- Pompalanabilirliği iyileştirir.
- Kanamayı ve ayrışmayı önler
- Uzun dönemde dayanım kazanmayı artırır.
- Rötreyi azaltır.
- Alkali-silika reaksiyonunu azaltır.
- Sülfata karşı dayanımı artırır.
- Ekonomi sağlar.

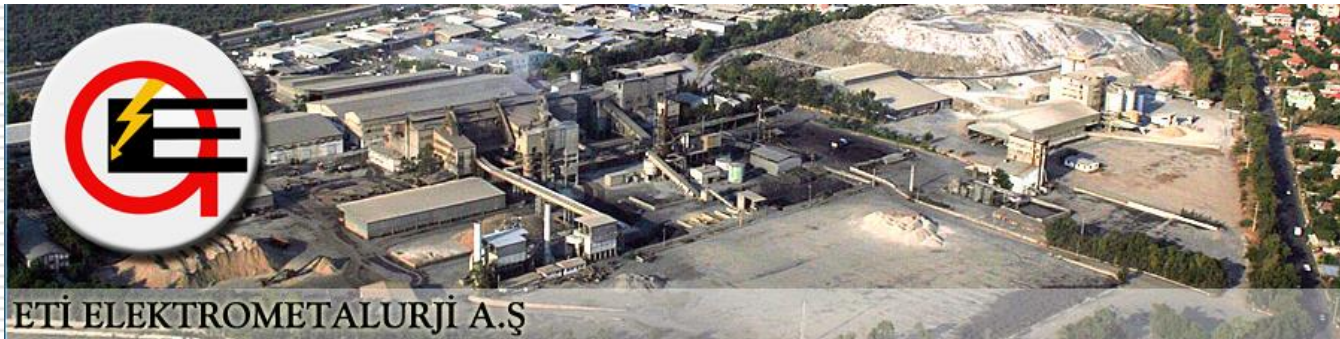


Uçucu Külün Betona Bozucu Etkileri

- Özellikle soğuk havalarda rötreyi artırır.
- Yavaş dayanım kazanma sağlar.
- Dikkatli ve uzun süre küre ihtiyaç duyar.
- Hava sürükleyici katkısının dozajını artırır.

Antalya Ferrookrom Tesisi

Ferrokrom tesislerinin atık malzemesi olup, **bağlayıcılığı, erken ve nihai dayanıma katkısı, inceliği gibi** üstün özellikleri sayesinde atık bir malzeme olmaktan çıkıp çimentodan kat kat pahalı bir madde olmuştur. Türkiye'de sadece Antalya Ferrookrom tesislerinden elde edilebilir.



Silika Füme

Aşırı derecede çok ince bir toz formunda olup boyutları

portland çimentonun tane boyutlarından **100 kez** daha incedir.

Silis dumanı içeriğindeki **SiO_2 yüksek oranda** kristal olmayan

yapıya sahip olduğundan ve çok ince olduğundan **mükemmel**

puzolanik özelliğe sahiptir.

Mikro Silika

Aşırı ince parçaları ve yüksek reaktiviteye sahip olduğundan,

silika dumanı **çok yüksek dayanıma sahip** (≥ 100 MPa) yada

erken yaşta yüksek dayanıma sahip beton üretmek için süper

akışkanlaştırıcılar ile birlikte kullanılır.

Silis dumanı genellikle mikro silika, **silika tozu** diye de bilinir.

Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri-1

Renk: Su ile karıştırıldığında, şerbeti **siyah koyu** renklidir.

İncelik: Silika dumanı çok ince öğütülmüş parçaları içerir. Boyutu **0.1 ile 0.2 mikrometre** arasındadır. Portland çimentosunun taneciklerine göre 100 kez daha küçüktür.

Silika: $\sim 200000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Tütün Külü: $\sim 100000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Uçucu Kül: $4000 \sim 7000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Portland Çimentosu: $3000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri-2

Özgül Ağırlık: 2.2 ile 2.3 arasındadır.

Gevşek Halde Birim Ağırlık: Sıkıştırılmamış birim ağırlığı 240~300 kg/m³ arasındadır. PÇ 'nin ise 1200 kg/m³'tür.

Puzolanik Aktivlik ve Su İhtiyacı: Silika dumanı genel olarak çok yüksek puzolanik aktiviteye sahiptir. Silika dumanının puzolanik aktivitesi içinde bulunan **yüksek silika içeriği** ve **aşırı inceliği** tarafından idare edilmektedir. İnceliğin aşırı olması nedeniyle silika dumanının su ihtiyacı oldukça fazladır.

Mineral Katkıların Aktivite ve Su İhtiyacı

	ASTM C 618'in Sınırları			Silis dumanı
	Doğal Puzolan	F sınıfı uçucu kül	C sınıfı uçucu kül	
28 günlük dayanım aktivite indisi % min	75	75	75	110
Su ihtiyacı kontrolün % max	115	105	105	134

Silika Dumanının Kimyasal Özellikleri

- Silika dumanının SiO_2 içeriği **%85'in** üzerindedir.
- İkinci esas bileşen ise yanmamış karbon kalıntılarıdır.
- Fe_2O_3 içeriği ise %1 ile %2 civarındadır.
- Al_2O_3 , SO_3 , MgO , Na_2O , K_2O gibi oksitler ise %1'den azdır.

Silis Dumanının Betona Faydalı Etkileri

- Basınç dayanımını artırır.
- Yapıştırma dayanımını artırır.
- Kanama ve ayrışmayı azaltır.
- Hidratasyon ısını azaltır.
- Aşınma direncini iyileştirir.
- Kimyasal solüsyonlara karşı dayanımını iyileştirir.
- Sülfata karşı dayanımını iyileştirir.
- Alkali-agrega reaksiyonunu azaltır.

Silis Dumanının Betona Olumsuz Etkileri

- Fazla su ihtiyacı.
- Süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılması ihtiyacını doğurur.
- Bitirilmesi, yüzeylerin perdahlanması zordur.
- Plastik rötre ve çatlaklarına karşı çok hassastır.
- Oldukça koyu renk gösterir.

Demir Cevheri

Demir cevheri doğada esasını oluşturan **demiroksit**

bileşenlerinin yanı sıra bir miktar silis, alümin, kükürt,

fosfor, mangan gibi yabancı maddelere birlikte bulunmaktadır.



DEMİR CEVHERİ



DEMİR CEVHERİ

Demir

Cevher içindeki demirin elde edilebilmesi için, cevherin, içerdiği yabancı maddeden arındırılması ve demiroksit'in açığa çıkarılması gerekmektedir.

Bunun için demir cevherleri yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılıp (1700-1800 °C), erimeye tabi tutulmaktadır.

Cürufun Eldesi

Yakıt olarak kullanılan kok kömürünün karbonu, cevherin demir oksitteki oksijen ile birleşerek karbonmonoksit ve karbondioksit gazları oluşturup fırını terk ederken geriye eriyik haldeki demir ile birlikte eriyik haldeki cürufu bırakmaktadırlar.

Granüle Cürufun Eldesi

Yüksek fırından çıkan **cüruf su ile ani** olarak soğutularak granüle edilen bir yan üründür. Özellikle ani soğutulma sırasında **hidrolik aktivite** kazanır.

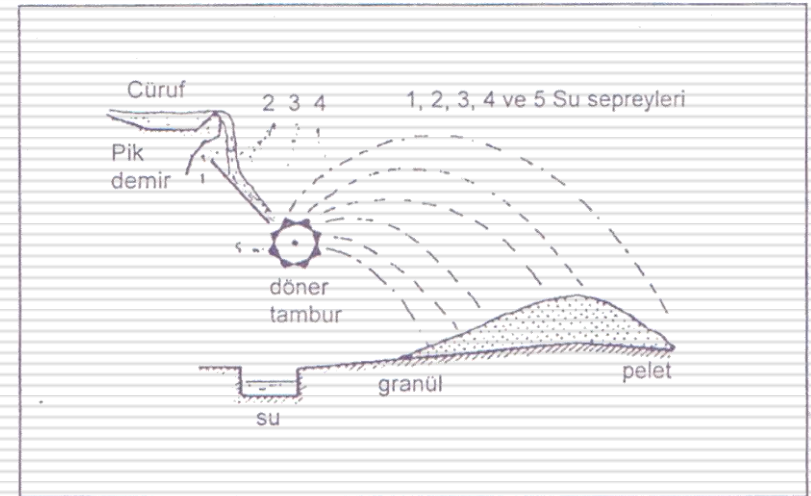
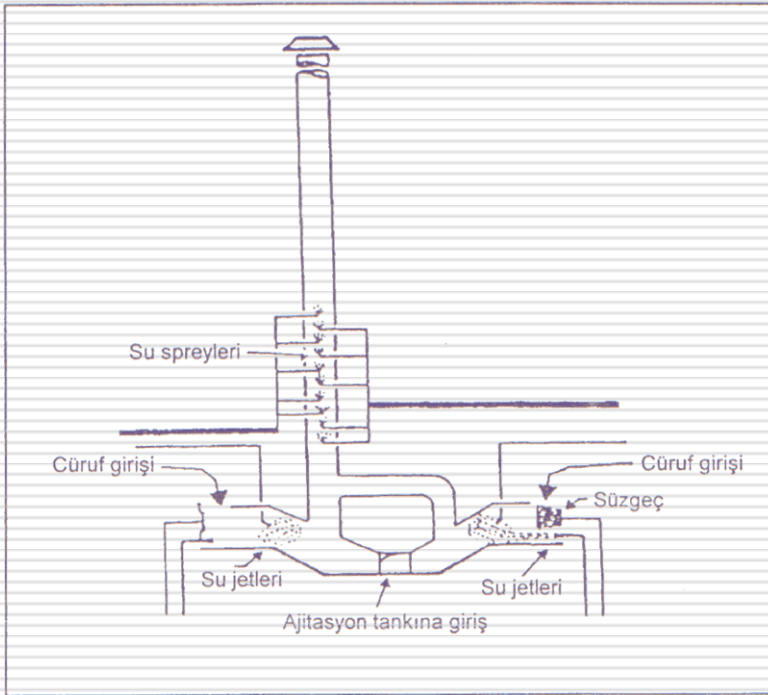


G.Y.F.C Soğutma Yöntemleri

1- Granülasyon Yöntemi

2- Peletleme Yöntemi

- Havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu
- Genleştirilmiş yüksek fırın cürufu
- Granüle yüksek fırın cürufu



Peletleme Yönteminin Şematik Gösterimi.

G.Y.F.C Kimyasal Kompozisyonu

Bileşen	ABD	G.Afrika	Türkiye	P.Ç
CaO	29-50	30-40	34-41	60-67
SiO ₂	30-40	30-36	34-36	17-25
Al ₂ O ₃	7-18	9-16	13-19	3-8
Fe ₂ O ₃	0,1-1,5	-	0,3-2,5	0,-6
MgO	0-19	8-21	3,5-7	0,1-4
MnO	0,2-1,5	-	1-2,5	-
S	0-2	1-1,6	1,2	-
SO ₃	-	0	-	1-3

G.Y.F.C Hidratasyonu

GYFC kendi başlarına suyla reaksiyonu, Portland çimentolarının hidratasyonu ile kıyaslandığında **oldukça yavaş gelişir.**

Bundan dolayı bu reaksiyonu hızlandıracak **aktivatörler** kullanmaya yöneltmiştir.

Hidrolik İndeks, Hidrolik Bağlayıcılık Değeri

G.Y.F.C içindeki CaO/SiO₂ oranı ne kadar yüksek ise bağlayıcı özelliği de o derece iyidir, ideal şartlarda hidrolik indeks değeri 1.5-1.6 civarındadır.

Cürufun hidrolik bağlayıcılık değerini tayin için,

$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 \geq 1$ koşuluna uygunluk gösterdiği

takdirde, hidrolik bağlayıcılık değeri uygun olarak kabul edilir.

Cüruf Aktivite İndeksi ve Cüruf Kategorileri

$$CAİ = \text{Cüruf-Aktivite İndeksi, \%} = (CP/P) \cdot 100$$

Yaş ve sınıf	Ortalama değer	Tek değer
7 Günlük		
Kategori 80	-	-
Kategori 100	75	70
Kategori 120	95	90
28 Günlük		
Kategori 80	75	70
Kategori 100	95	90
Kategori 120	115	110

Cürufun Beton Özelliklerine Yararları

- İlk günlerdeki dayanımı düşük sonraki dayanımları yüksektir.
- Sülfatlı ve deniz sularına karşı daha dayanıklıdır.
- Alkali-silisden kaynaklanan genleşmeler daha azdır.
- Daha az geçirimliliğe sahiptir.
- Yüksek sıcaklıklara karşı daha dayanıklıdır.