Kompozitler (CIPP-GRP)

Kazısız teknolojiler geniş oranda içeride sertleştirilmiş astarları (CIPP) kullanır. Burada, işlem süresi azdır, rehabilitasyon güvenli sonuç verir. CIPP genellikle boru sürmeden daha ucuzdur. CIPP boru termoset reçine ve muhtelif sentetik tabakalar içerir. Farklı reçineler (epoksi, polyester ve vinilester) ve güçlendiriciler kullanılır ve farklı kalınlıklar elde edilir. Sertleştirilmiş borulardan çekme çubukları kesilir. Çekme testi yanında Dinamik Mekanik Analiz (DMA) testleri (3-nokta eğme) de yapılır.

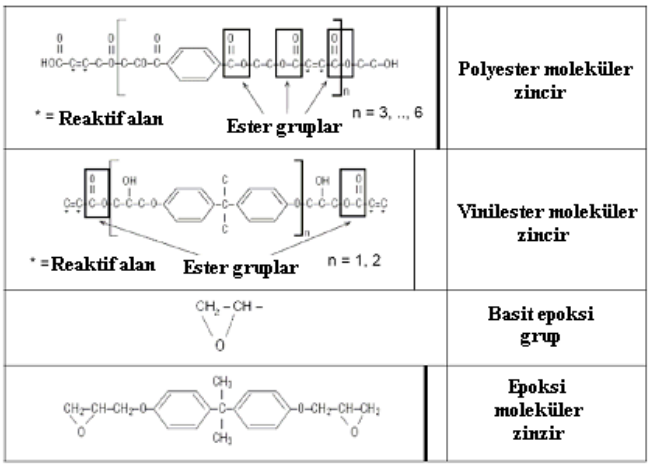
İçte sertleştirilmiş astar borular (CIPP) en önemli kazısız teknoloji uygulamasıdır, 1997'de patentlenmiştir ve geçen 10 yıl yenileme projelerinin ana unsuru olmuştur. Maliyet avantajlı, güvenli ve kolay uygulanabilirdir. Bu teknoloji boruların içini korumak içindir. Termoset kompozit eski boru içinde sertleştirilerek elde edilir. Kompozit tabaka tekstilden yapılmış yuvarlak örgü kumaştır. Kumaş aralarına önceden termoset polimer reçine verilmiştir. İçeri yerleştirilen kumaş hava veya su ile şişirilir, mevcut eski boru yüzeyine yapıştırılır. Reçineli bu malzemeye termal enerji sertleştirme için verilir. CIPP' nin mekanik karakteri eğer yük taşıyacaksa, sızdırma ile beraber öne çıkar.

Kompozitin özelliği 4 faktöre bağlıdır. Bunlar, reçine karakteri, takviye fiberler, reçine/fiber oranı, fiberlerin yönelimi ve örgüdür. Kompozit malzemeler, iyi mekanik özellikle, yapışma özelliği ve tokluk özelliği gösterir. Çevrede doğal öğütmeye/çözünmeye ise direnç gösterirler. Reçine kırılgan olmamalıdır ve yükü fiberlere nakletmelidir. CIPP kompozitte yüksek elastik modül ve kırılmada yüksek uzama istenir.

Polyester reçineler ester (O = C – O) grup malzemedir. Polyester reçine ucuz ortaftalik ve pahalı izoftalik olmak üzere iki grupta mütalaa edilir. Viskoziteyi %50 azaltmak için polyestere stren ilave edilir. Stren bağlanmayı teşvik eder.

Vinilester reçineler polyester grubuna benzer, az ester grubu gösterir. Vinilester reçine daha tok ve direngendir.

Epoksi reçineler yüksek mekanik karakter ve çevresel bozunmalara karşı diğer reçinelere göre daha direngendir. Epoksi ismi bir oksijen atomu 2 karbon atomu bağı ile ilişkilidir. Bu reçine suya karşı çok dirençlidir, mekanik ve termal gerilmelere dayanıklıdır. Ayrıca yüksek direngenlik, tokluk ve ısı direncine sahiptir. İdealize molekül zincir yapısı polyester, vinilester ve epoksi için Şekil 3.10'da verilmiştir.



CIPP' de kullanılan reçinelerin idealize molekül yapıları

Fiberlerin ekonomik özellikleri, fiber/reçine ara yüzeyi, fiber hacim oranı, yüke göre fiberlerin yönelimi mukavemeti sağlar. Reçine sistemlerinin genel karakteristikleri Tablo 3.4.' de verilmiştir.

Reçine sistemlerinin temel karakteristikleri

Poleyster reçine	Tip: Resinpol R 302 Doymamış izoftalik asit bazlı polyester reçine, stren içinde çözünmüş, tiksotropik ve ön-hızlandırılmış
Vinilester reçine	Tip: Vinylester 922 İkili kompanent tiksotropik hızlandırılmış vinilester reçine
Epoksi reçine	Tip: Trias Chem RP090 Modifiye edilmiş Bisphenol-A epoksi reçine (üçüncü dereceden amin ile kürlenmiş)

Çekme mukavemeti malzemeye bağlıdır. Çekme mukavemeti E-camı için 2400 MPa, karbon için ise 5300 MPa' dır. Çekmede Young modülü E-camı için 69 GPa, karbon için ise 440 GPa'dır. Fiberlerin çekme mukavemeti, ticari malzemelere göre çok yüksektir (örneğin çelikler için 4450 – 1240 MPa). E-cam (elektrik cam) CIPP' de çok kullanılır. Tablo 3.5.' de cam fiber dokuma için karakteristikler verilmiştir.

Cam fiber dokumanın karakteristikleri

Dokuma fiberler	Yün
Cam tipi	E-cam
Nominal yüzey ağırlığı	600 g/m^2
Dokuma tipi	T (düz)
Ovallik	Yün, 1200 tex %40 ağırlık
Örgü	Dokuma, 1200 tex %60 ağırlık

Fiber matris ara yüzeyi çok önemlidir ve matrise gelen yükün fiber tarafından taşınmasını sağlar. Yetersiz yapışma çatlama yayılması için kaynak görevi görür. Fiber inceliği önemlidir. Fiber çapının azalması yük dağılımını yayar. Fiber hacim oranı artışı mekanik özelliği arttırır ve teknolojik limit %60–70 fiberdir. Daha yüksek oran yapışmama (ıslatmama) problemi doğurur. Kompozitler anizotropiktir, çekme yükü fiber yönü ile aynı ise kompozit fonksiyoneldir. Cam fiber kalınlığı 4–13 μm olabilir.

CIPP kompozitinin geçirimsiz iç tabakası PU, PP veya PE' den yapılır. Testleri yapılmış CIPP astarların reçinesi, ekleme prosesi ve kalınlılıkları Tablo 3.6.' da verilmiştir.

Test edilmiş CIPP astarların tipolojisi

Tipoloji	Matris reçine	Ekleme prosesi	Kalınlık (mm)
1	Polyester	Tekli ekleme	4
2	Vinilester	Tekli ekleme	4
3	Epoksi	Tekli ekleme	4
4	Epoksi	Üçlü ekleme	4
5	Vinilester	Tekli ekleme	8
6	Epoksi	Tekli ekleme	8
7	Epoksi	Üçlü ekleme	8
8	Polyester	Tekli ekleme	8

Standartlar Arasındaki Farklılıklar

Farklar aşağıdaki sebeplere dayanır;

- Mevcut kanalizasyon sisteminin sınıflandırılması (eski boru durumu),
- Hesaplamalarda esas alınan girdi (kabul) deformasyon değerleri,
- Yer değiştiren su basıncı,
- Yer ve trafik yükünün hesaplanması.

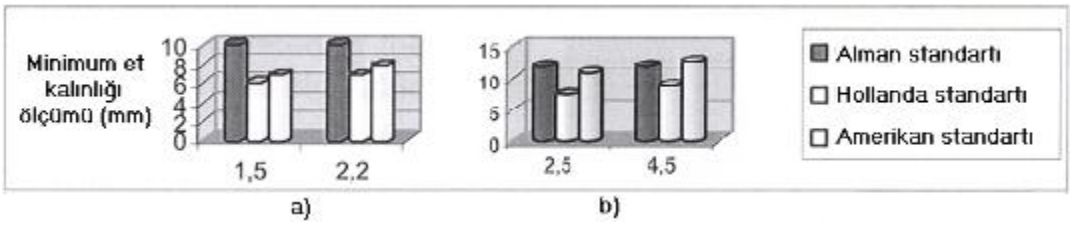
Alman ve Amerikan standartlarına göre eski boru durumu aşağıdaki gibi sınıflandırılır,

- 1. teknik durum; Hafif iç korozyon, iç aşınma, birleşmelerde sızma, birleşme kayması. Yüke direngen yapı.
- 2. teknik durum; Uzun yırtıklar, önemsiz deformasyon, çevre yükünü taşıyabilme,
- 3. teknik durum; Boru hasarlı yük taşıyamaz.

Alman ve Amerikan standartlarından farklı olarak Hollanda standardı ise boru dışında toprak ve boru şekline de odaklanmıştır. Boru ile ilgili kategoriler;

- Kırılmamış boru,
- Kırılmış boru, yapışmış – yapışmamış toprak,
- Kırılmış boru, zayıf toprak,
- Kırılmamış yumurta şeklinde boru,
- Kırılmış özel yumurta şeklinde boru,
- Standart yumurta şeklinde boru.

CIPP astar için kalınlıklar değişebilmektedir. Tablo 3.7. ve Şekil 3.17.' de Almanya, Amerika ve Hollanda için kabul değerleri verilmiştir.



Astarlar için minimum et kalınlığı ölçümü, 600 mm borular için, **a)** eski hat güçlü (toprak yükü az), **b)** eski hat zayıf (toprak yükü çok)

a) Kısmi Hasar Görmüş Borular İçine CIPP Uygulama Dizaynı

Kısmi olarak hasar görmüş borulara yerleştirilecek CIPP dizaynında güncel uygulamalar ASTM F1216–93 standardındaki X1.1. eşitliği kullanılarak yapılmaktadır.

$$P_{cr} = \frac{2E}{1-v^2}\frac{1}{(SDR-1)^3}$$ (Timoshenko'nun eşitliği)

(1)

Burada;

SDR = Standard Dimension Ratio, boru dış ölçüsü/ ortalama boru et kalınlığıdır.

Bu modifikasyon, Timoshenko eşitliğine arttırma faktörü, güvenlik faktörü, ovalite düşme faktörü ve plastiklerin sürünmesi için izin verilen kısa süreli elastik modülü (uzun süreli elastik modüllün yerine kullanılması) kapsar. Bu eşitlik yalnızca CIPP' nin dış hidrostatik yeraltı suyu basıncını karşılayabilmesi amacıyla kullanılmaktadır ve aşağıda formüller de verilmektedir.

$$P_w = \frac{2KE_L}{(1-v^2)}\frac{1}{(SDR-1)^3}\frac{C}{N}$$

(2)

Burada;

P_w = Yeraltı su basıncı
K = Arttırma faktörü
E_L = Uzun süreli elastik modül
N = Toplam güvenlik faktörü
C = Ovalite (ovallik) faktörü

Arttırma faktörü, K, boru içindeki CIPP'nin bükülme (buckling) dayanımında artma olarak ifade edilir. Bununla ilgili ASTM F1216–93'de tavsiye edilen minimum değer 7'dir. Lousiana Tech University'de yapılan bir deneysel analiz sonucu K değerinin bir üretimden diğer üretime önemli ölçüde çeşitlilik gösterdiği belirtilmiştir.

Spesifik bir CIPP sisteminin uzun süreli bükülme modülü, E_L, kısa süreli bükülme modülünün sürünme modül faktörü ile çarpılmasıyla hesaplanır. Sürünme faktörünün seçimi yapının dizayn ömrü ilişkisinde tahmini yükün uygulanma süresine, P_w, bağlıdır. ASTM F1216–93, 50 yılın üzerindeki bir dizayn ömrü olan astarın sürünmesi için kısa süreli eğme modülündeki düşüşün %50 olarak değerlendirilmesini önermektedir. Yinede bu düşme üretilen astarlar arasında değişebilmektedir.

Ovalite düşme faktörü, C, ASTM F1216-93'de mevcut borudaki ilk kusur veya ovalliğine bağlı olarak CIPP taşıma kapasitesinde azalma için hesaplanması amaçlanmaktadır. Bu faktör mevcut oval borunun ortalama ölçülmüş maksimum ve minimum değerleri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C = \left[\frac{(-q)}{(+q)^2} \right]^3$$

(3)

Burada

$$q = \frac{\text{maksimum ölçü - ortalama ölçü}}{\text{ortalama ölçü}} \quad \text{veya} \quad \frac{\text{maksimum ölçü - ortalama ölçü}}{\text{ortalama ölçü}}$$

(4)

Bütün CIPP dizaynlarında hedef, astar et kalınlığının hesaplanmasıdır. ASTM F1216-93 sonuç et kalınlıkları için 3 gereksinimi açıkça belirtilmektedir. Bu gereksinimler; (1) dizayn kalınlığı uygulanan yer altı su basıncını taşıyabilmelidir, (2) dizayn kalınlığı yeraltı su basıncı oluşumu bulunmadığı takdirde minimum SDR şartını karşılamalıdır, (3) bir ovalite CIPP' nin verilen dizayn kalınlığında aşırı gerilmenin neden olduğu bu ovallik ile taşıyabilmelidir. Bu şartlar aşağıdaki eşitliklerde sunulmuştur:

$$t_1 = \frac{D}{\left[\frac{2KE_L C}{P_w N (1-v^2)}\right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

(5)

$$t_2 = \frac{D}{100}$$

$$t_3 = \frac{3qD}{0.5 + \sqrt{0.25 + \left[6q\left(\frac{\sigma_{BL}}{P_w N_b (1+q)}\right)\right]}}$$

(6)

Burada, CIPP malzemesi için uzun süreli izin verilen bükülme (eğilme) mukavemeti σ_{BL}' dir. Eşitlik (6)'da astar kalınlığını bilinmeyen olarak sunulan eşitlik 2'nin bir başka formu olduğu not edilmelidir. 1.5 değeri toplam güvenlik faktörü, N için ve eğme gerilme güvenlik faktörü N_b sık sık önerilmiştir.

b) Komple Hasar Görmüş Borular İçine CIPP Uygulama Dizaynı

Komple hasara uğramış mevcut borulara yerleştirilecek CIPP için günümüzdeki dizayn pratikleri ASTM F1216–93 standardındaki eşitlik X1.3.'de verilmiştir. Bu eşitlik bir önceki bölümde belirtildiği gibi ilave edilen ovallik düşüş faktörü, C ve AWWA güvenlik faktörü

1.8'den biraz daha düşük değer olan 1.5 değerinde bir dizayn güvenlik faktörü ile ANSI/AWWA C950'den adapte edilmiştir. ASTM F1216, Eşitlik X1.3. eşitliği ile hidroliği, toprağı ve diğer yükleri karşılayan CIPP dizaynı gerektirmektedir (Şekil 4.23.).

$$q_1 = \frac{C}{N}\left[32 R_w B' E'_s \left(\frac{E_L I}{D^3}\right)\right]^{1/2}$$

(7)

Burada;

q_1	=	Boru üzerindeki toplam dış basınç, MPa;
R_w	=	Suyun kaldırma faktörü (0.67 minimumu); 1–0.33 (H_w/H);
H_w	=	Boru üzerinin yukarısındaki su yüksekliği, m
H	=	Boru üzerindeki toprağın yüksekliği, m
B	=	Elastik destek katsayısı; $1/(1+4e^{-0.065H})$ inch-pound units, $1/(1+4e^{-0.213H})$ SI units;
I	=	$t^3/12$ – CIPP'nin atalet momenti, mm^4/mm
t	=	CIPP kalınlığı, mm
C	=	Ovallik düşme faktörü, daha önceki bölümde belirtilen eşitlik
N	=	Güvenlik faktörü
E_s	=	Toprak reaksiyon modülü, MPa
E_L	=	CIPP için uzun süreli elastik modül, MPa;
D	=	Orijinal borunun ortalama iç ölçüsü, mm.

Maksimum beklenilen yer altı suyu yüksekliği, H_w ve toprak yüksekliği, H, dizayn için ölçülmeli veya hesaplanmalıdır. E_s için değer toprak keşfi ve alan mühendislik görüşleri temel alınarak seçilmelidir. ASTM bundan başka eşitlik X1.4 de kısa süreli elastik modülü kullanılıp hesaplanmış olan minimum bir kalınlıkla müsaade edilen maksimum kalınlıkta SDR hesaplanmasını sağlar. Buda aşağıdaki formülde görülmektedir.

$$\frac{EI}{D^3} = \frac{E}{12\left(SDR\right)^3} \geq 0.093 \text{ (US Units); } \geq 0.00064 \text{ (SI Units)}$$

(8)

Burada;
E = İlk elastik modül;
SDR = Standart ölçü oranı (D/t)

Tablo 4. Kürleme Sonu Oluşan Astarın Başlangıç Yapısal Özellikleri

Özellik	Minimum değer, keçe (MPa)	Minimum değer, CTP (MPa)
Eğme Mukavemeti	(31)	135
Elastik Modülü	(1 724)	10 000