

ESNEK ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİ

Esnek üstyapı tasarım yöntemleri genel olarak 3 gruba ayrılmaktadır:

- **Ampirik Yöntemler**
- **Analitik Yöntemler**
- **Analitik - Ampirik Yöntemler**

Ampirik Yöntemler :

Yollarda yapılan ölçme ve değerlendirmeye dayanan ve teorik bilgilerle desteklenen projelendirme yöntemleridir.

Ampirik yöntemler, deney sonuçlarına bağlı kaldığı için farklı bölgeler için yapılan tasarımlar gerçekçi olmayabilir.

Fakat, malzeme özelliklerinin yeterli seviyede belirlenememesi nedeniyle, uzun yıllar bu yöntem kullanılmıştır.

Bu yönleme örnek olarak AASHTO Yöntemlerinin ilk versiyonlarını vermek mümkündür.

Analitik Yöntemler:

Analitik yöntemde ise **malzeme modelleri ve gerilme teorileri** kullanılarak modellenen üstyapının herhangi bir noktasındaki trafik ve çevresel etkilere bağlı oluşan **gerilme, şekil değiştirme ve deformasyonlar** hesaplanabilir.

Üstyapıdaki **malzemenin özellikleri, trafik yükleri ve çevre koşulları** göz önüne alınarak, **gerilme teorileri** ve bunlardan **türetilen abaklar** yardımıyla üstyapı tabaka kalınlıkları tasarlanabilmektedir.

Asphalt Institute ve Shell metodları bu yönteme örnek teşkil eder.

Analitik - Ampirik Yöntemler:

Analitik metotla modellenemeyen bazı faktörlerin üstyapı performansında etkili olduğu görülmüştür. Bu sebeple analitik modellerin, **performans gözlemleri** ve **ampirik bağıntılarla kalibrasyonu** gereklidir.

Bu zorunluluk analitik-ampirik yöntemlerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Sonuç olarak, analitik-ampirik yöntemler **gerçeğe daha yakın, daha başarılı** sonuçlar sunmaktadır.

AASHTO 1986 rehberinde ise söz konusu yöntemden dolaylı olarak yararlanılmıştır. Bunlar:

- **Yük nakli ve drenaj katsayısı**
- **Resilient modül**

Böylece malzemeler “elastik modül” ile temsil edilebilmiştir.

AASHTO 1993

ESNEK ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMİ

İlk olarak Üstyapı Tasarım Yöntemi, **AASHO** tarafından **1956-1958 yılları** arasında **Illinois'de** inşa edilen, **çeşitli tip ve kalınlıkta kaplamalardan** oluşan, deneme yolunda ki **gözlemlerin sonuçlarına** dayanılarak hazırlanmıştır.

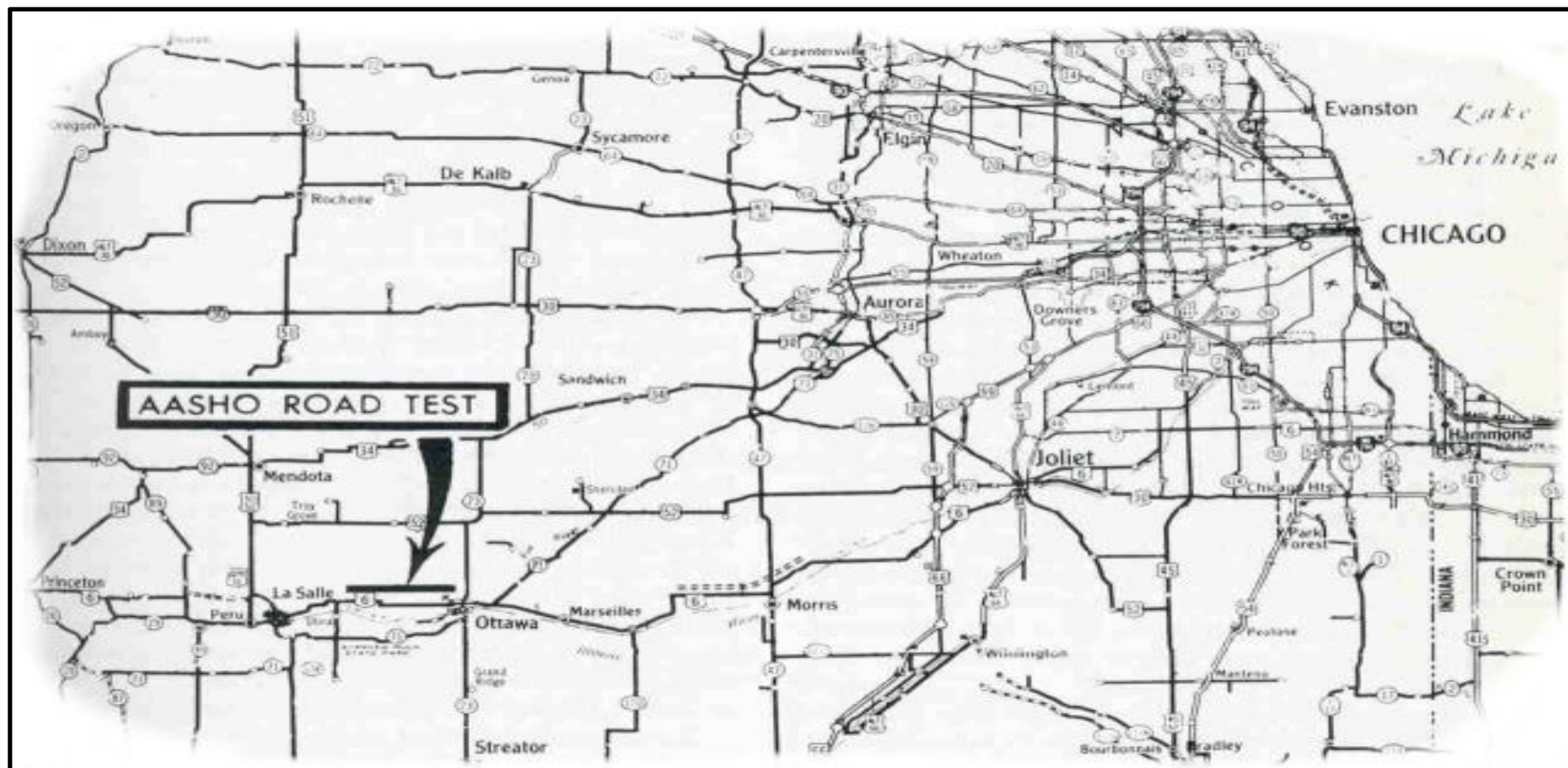
Yolun **farklı dingil yüklerini** içeren taşıt yükleri altındaki davranışı ve **hizmet düzeyi** 2 yıl boyunca gözlenmiş, ölçümler sonunda elde edilen veriler bilgisayarlardan da yararlanılarak değerlendirilip mevcut diğer tasarım yöntemleri ile **mevcut teorik bilgileri destekleyen** yeni bir tasarım yöntemi önerilerek, **1962** yılında **AASHO Rijit ve Esnek Üstyapıların Tasarımı Rehberi** adıyla yayınlanmıştır.

Rehber bir süre kullanıldıktan sonra AASHTO Tasarım Komitesi tarafından gözden geçirilip **yenilenmiş** ve **1972 yılında** yeni hali yayınlanmıştır.

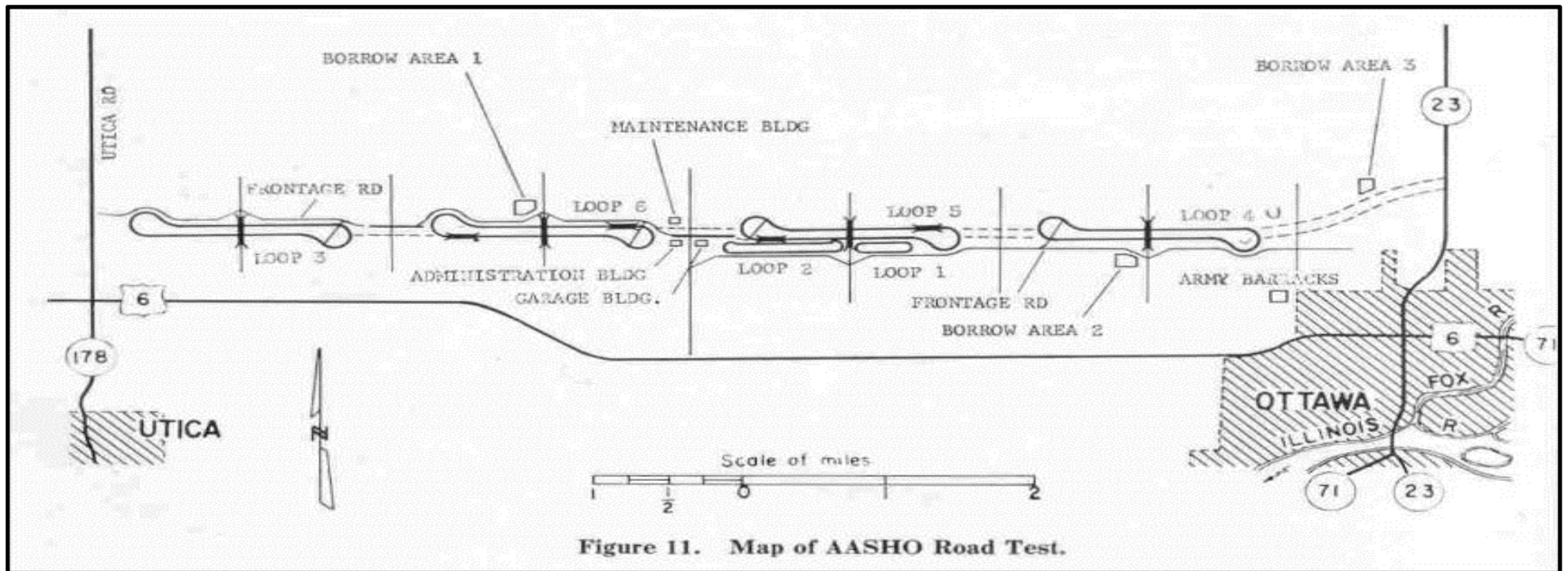
Yıllar sonra, 1972' den o güne kadar **üstyapı tasarımı ve analiz teknolojisindeki gelişmelerin** de rehberde yerini alması gerektiği düşüncesiyle 1983 yılında Üstyapı Tasarımı Alt Komitesi ve bir müşavirler grubu çalışmalarına başlamış, **AASHTO 1986 Üstyapı Tasarımı Rehberi yayınlanmıştır.**

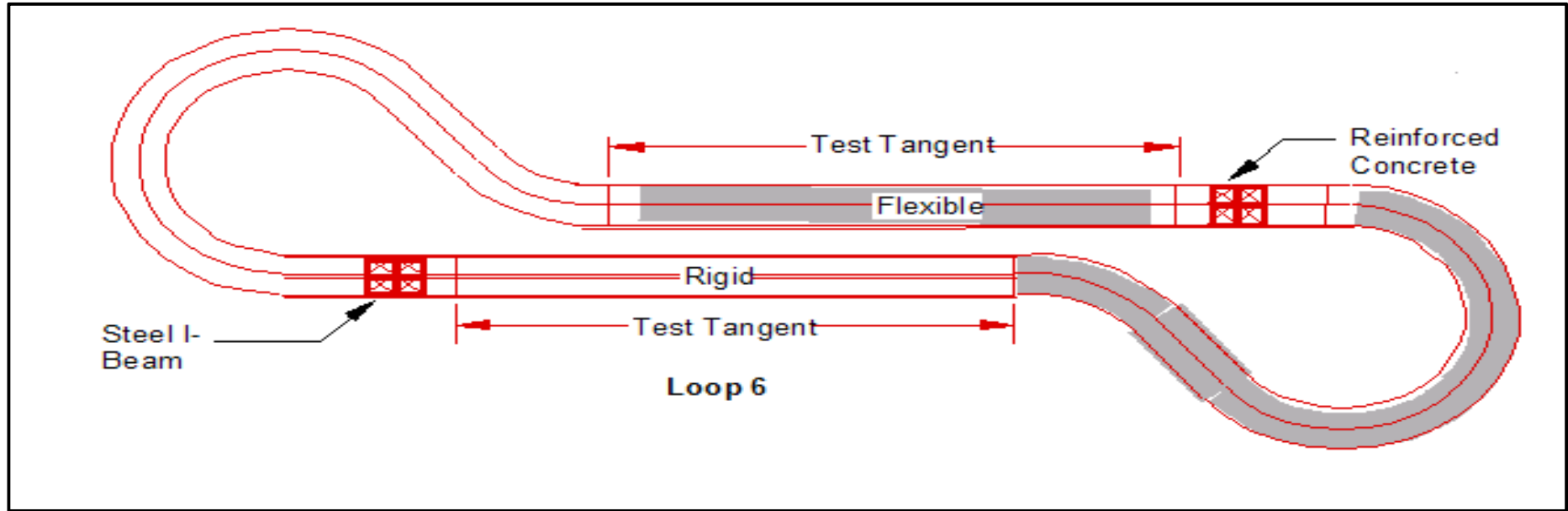
Esnek üstyapı tasarım yöntemleriyle ilgili önemli değişiklikler yapılmış, esnek üstyapıların tasarımı **kısmen deneyimlere** dayandırılmakla birlikte, **taban zemini taşıma gücü, trafik dingil yükleri ve tekrarı** ile ilgili yerel koşullar ve ayrıca üstyapıda kullanılan **malzemelerin dayanım özellikleri** de göz önünde bulundurulmuştur. **1993 yılında AASHTO Tasarım Rehberi'nin gözden geçirilmiş bir hali yayınlanmış,** bununla birlikte **esnek üstyapı tasarım yöntemleri konusunda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.**

AASHO Road Test (1958 – 1962)



- Construction : August 1956 - September 1958
- Test Traffic : October 1958 - November 1960
- Special Studies : Spring and early summer 1961







Environment

- Mean Temperature (July) 76°F (25 °C)
- Mean Temperature (January) 27°F (-2.77 °C)
- Annual Average Rainfall 34 inches (86 cm)
- Average Frost Depth 28 inches (71 cm)
(for fine-grained soil)

Flexible Materials

- HMA
 - Dense-graded
 - 85-100 pen asphalt
- Base Course
 - Crushed limestone
 - 10% passing No. 200
 - Average CBR = 107.7
- Subbase Course
 - Sand/gravel mixture
 - 6.5% passing No. 200
 - CBR = 28 – 51
- Subgrade
 - A-6 soil (silt/clay)
 - 82% passing No. 200
 - Average CBR = 2.9
 - Optimum wc = 13%

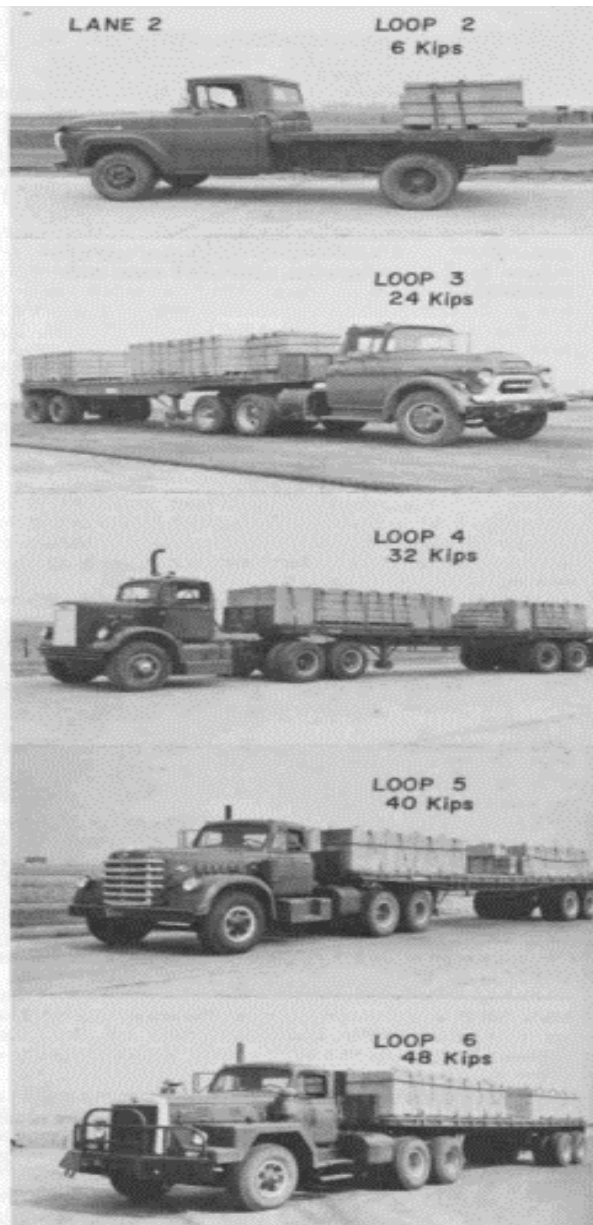
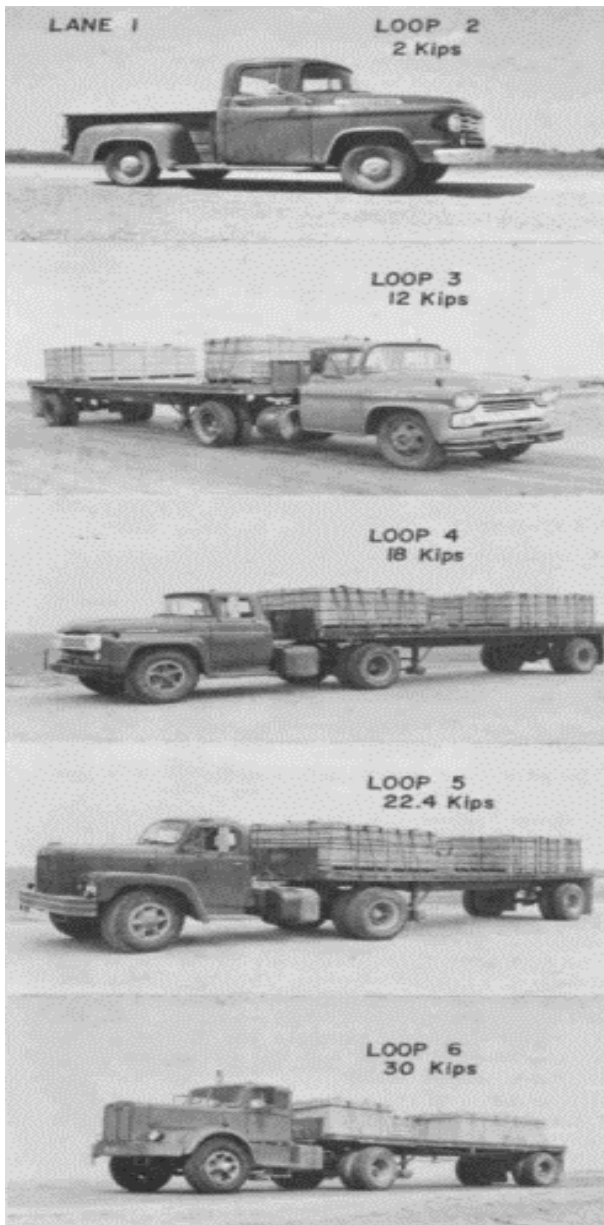
Flexible Sections

- HMA
 - 1 to 6 inches thick
- Base Course
 - 0 to 9 inches thick
- Subbase Course
 - 0 to 16 inches thick
- Thickest section
 - 6 inches HMA
 - 9 inches base
 - 16 inches subbase
 - Used for heavy loads
 - 2.6 to 3.6 PSI at test end
- Thinnest section
 - 1 inch HMA
 - Used for light loads
 - 8 to 25 ESALs to failure

Flexible Performance

- Majority failed
- Even thickest sections sustained appreciable damage
- Most failed during spring thaw
 - Frost action was a major contributor
 - Thicker base & subbase helped to mitigate frost action

Trucks



Picture from: Highway
Research Board
Special Report 61A-G

AASHO Yol Testinde esnek üstyapılar için **yük ve üstyapı değişkenleriyle** arasındaki bağıntıları içeren bir denklem geliştirilmiştir.

“AASHO Yol Testi Denklemi” belirli **çevre ve malzeme koşulları** için **asfalt betonu tabaka kalınlığı, yük büyüklüğü, dingil tipi, uygulanan yük miktarı ve servis yeteneği kaybı** arasında ampirik bir bağıntı kurmaktadır.

1986' daki rehberde yer alan "**güvenilirlik**" kavramı, tasarımcıya üstyapı tasarımında **karşılaşılabilecek belirsizliklere** bir açıklık getirme imkânı verir. Bu kavram sayesinde tasarımcı belli bir risk düzeyine kadar elverişli tasarımlar yapabilir. Güvenilirlik ve toplam standart sapmanın bir fonksiyonu olan "**Güvenilirlik Tasarım Faktörü (Fr)**" trafik tahminlerinde, üstyapı performansı tahmininde ve malzeme ile yapı özelliklerinin belirlenmesinde karşılaşılabilecek muhtemel **hata payının önlenmesinde** kullanılır.

Ayrıca 1986' da **zemin destek sayısı** yerine **resilient modülüne** yer verilmiştir. **Resilient modülü** malzeme özelliklerin belirlenmesinde **gerçekçi bir test** yöntemi kullanılmasına imkan verir. Stabilize ve stabilize olmayan **malzemelerin tabaka katsayılarının** belirlenmesinde de **resilient modülü** kullanılabilir.

AASHO 86'da drenaj özelliklerini hesaba katmak için bir de **drenaj faktörü (m_i)** tanımlanmıştır.

Zeminlerin şişmesinin ve **don kabarmasının** etkilerini de tasarım esnasında göz önünde bulundurmak için 1986 rehberinde bu konuya yer verilmiştir.

1986'da yayınlanan rehberde AASHO Yol Testinden yararlanılarak üstyapı kalınlıklarının hesaplanmasında kullanılmak üzere üstyapıya etkiyen yükleri içine alan "**AASHO Deney Yolu Denklemi** " geliştirilmiş ve aynı denklem AASHTO Tasarım Rehberi 1993'te de kullanılmıştır.

AASHO 1993 Deney Yolu Denklemi :

$$\log W_{18} = Z_R \times S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

- W_{18} = 8,2 ton (18-kip) eşdeğer standart dingil yükü (ESDY) tekrar sayısı
(equivalent standard axle load-ESALs)
- Z_R = Standart sapma
- S_0 = Trafik ve performans tahmininden kaynaklanan toplam standart sapma

- S_N = Üstyapı kalınlığını bulmak için gerekli üstyapı sayısı (structural number)

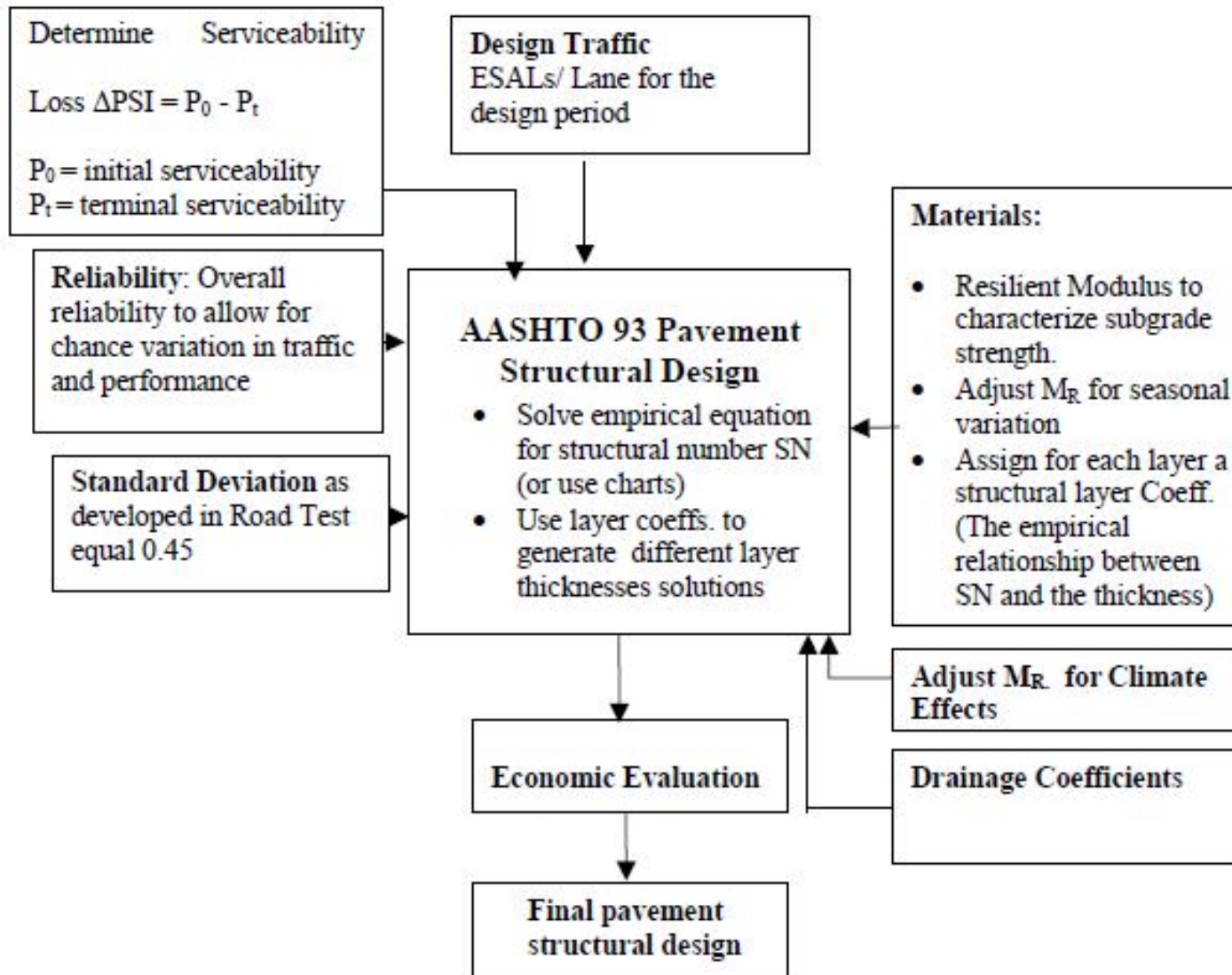
$$= a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + \dots$$

$a_i = i^{\text{th}}$ tabaka katsayıları

$D_i = i^{\text{th}}$ tabaka kalınlıkları

$m_i = i^{\text{th}}$ tabaka drenaj katsayıları

- ΔPSI = Başlangıçtaki tasarım servis kabiliyeti indisi (P_o) ile son servis yeteneği (P_t) arasındaki fark, toplam servis yeteneği kaybı
- M_R = Taban zemini efektif resilient modülü (psi)



AASHTO 93 Structural Design Procedures

ESNEK ÜSTYAPININ TASARIMI İÇİN GEREKLİ VERİLER:

1. GENEL TASARIM DEĞİŞKENLERİ

- **Zaman kısıtları**
 - Performans periyodu
 - Analiz periyodu
- **Trafik**
- **Güvenilirlik**
- **Çevresel etkiler**
 - Taban zemini şişmesi
 - Don kabarması

2. PERFORMANS ÖLÇÜTÜ

- Servis yeteneği

3. MALZEME ÖZELLİKLERİ

- Taban zemini efektif elastisite modülü
- Üstyapı malzemeleri özellikleri
- Tabaka katsayıları

4. ÜSTYAPI YAPISAL ÖZELLİKLERİ

- Drenaj

1. GENEL TASARIM DEĞİŞKENLERİ:

Herhangi bir üstyapının tasarımında mutlaka hesaba katılması gereken değişkenlerden olan genel tasarım değişkenlerini:

*performans ve analiz periyodlarını içeren **zaman kısıtları**, *trafik, *tasarım **güvenilirliği** ile *yol yatağı şişmesi, don kabarması gibi **çevresel etkiler** açıklayabiliriz.

➤ **Zaman Kısıtları:**

Üstyapının tasarımı için "**Performans Periyodu**" ve "**Analiz Periyodu**"nun seçilmesi gereklidir.

▪ Performans Periyodu:

Yolun hizmete açıldığı tarihten ilk takviye tabakasının yapılacağı tarihe kadar geçen süreyi veya birden fazla takviye yapılmışsa takviye işlemleri arasında geçen süreleri belirtir.

Diğer bir deyişle üstyapının **başlangıç servis yeteneği indisinden (P_0)**, seçilen **son servis yeteneği indisine (P_t)** düştüğü ana kadar **geçen süreyi** ifade eder.

Performans periyodunun minimum ve maksimum değerleri belirlenirken karayolu ile ilgili kurumların geçmişteki **deneyimleri**, inşaatın başlangıcında **mevcut kaynakların durumu, bakım işlemlerinin düzeyi ve türü** gibi konular göz önünde bulundurulmalıdır.

Minimum performans periyodu üstyapının hizmet kalitesinin biteceği en kısa süreyi ifade eder. **Maksimum performans periyodu** ise kullanıcının öngörülen servis derecesine göre bekleyebileceği en uzun süreyi belirtir.

▪ **Analiz Periyodu:**

Performans periyodların toplamı olarak ifade edilebilir ve ilk performans periyodunu ve devamında yapılan bir veya daha fazla takviyeyi içerir. Bugünkü deneyimler, esnek üstyapı ömrünün 20 yıldan fazla olduğunu göstermiştir. Tablo 4.1' de esnek üstyapılar için AASHTO 93' te önerilen analiz periyodları verilmiştir.

Tablo 4.1 : Tavsiye Edilen Analiz Periyodları

Highway Conditions	Analysis Period (years)
High-volume urban	30-50
High-volume rural	20-50
Low-volume paved	15-25
Low-volume aggregate surface	10-20

➤ Trafik

AASHTO Tasarım Yöntemleri analiz periyodu süresince taşınacak **toplam 8.2 ton (18 - kip) eşdeğer standart dingil yüküne** (ESDY) dayanır. Dingil yükleri AASHTO Yol Testi'nden elde edilen Yük Eşdeğerlik Faktörleri (YEF) kullanılarak ESDY' ne dönüştürülür.

Tasarım trafiğinin belirlenebilmesi için **Yön Dağıtma Faktörü (D_y)** ve **Şerit Dağıtma Faktörü (D_s)** kullanılarak sistem üzerindeki toplam ESDY'nin ayarlanması gerekir.

Trafik tahminleri trafik analiz süresi için yapılır. Yolun hizmete açıldığındaki trafik "**ilk trafik**", trafik analiz süresi sonundaki trafik ise "**son trafik**" olarak adlandırılır. İlk ve son trafik değerleri yardımıyla **trafik analiz süresi için saptanan trafik değeri** üstyapı hesabında **tasarım trafiği** olarak kullanılır.

Trafik sayımlarıyla her bir araç grubu için **günlük trafik (t_0)** ve **trafik artış katsayısı (r)** belirlendikten sonra "**t**" yıl sonraki günlük trafik (**t_t**) aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$t_t = t_0(1 + r)^t$$

İlk yıl için günlük trafik (**t_0**) ve son yıl için günlük trafik (**t_t**) belirlendikten sonra "**t**" süresi için günlük ortalama analiz trafiğinin (**t_p**) hesaplanması için;

$$t_p = 0,4343 \frac{(t_t - t_0)}{\log \left(\frac{t_t}{t_0} \right)}$$

formülü kullanılır. Yoldan analiz süresince geçecek toplam trafik (**T_p**) ise :

$$T_p = t_p \times 365 \times t$$

Günlük ortalama trafik hacmi trafik gruplarına göre değil de değişik dingil yükü gruplarına göre verilmişse analiz süresi için **toplam eşdeğer dingil sayısı** "**dingil eşdeğerlik faktörleri**" (DEF) kullanılarak hesaplanır.

Bazı dingil eşdeğerlik faktörleri **Tablo D.1, D.2, D.3, D.4, D.5, D.6, D.7, D.8, ve D.9'** da **son servis yeteneği indisi (Pt), dingil tipleri ve üstyapı sayısına bağlı** olarak verilmiştir.

Bu faktörler yardımıyla tasarım trafiği ESDY cinsinden hesaplanabilir.

Table D.1. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 2.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.002	.003	.002	.002	.002	.002
6	.009	.012	.011	.010	.009	.009
8	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	.075	.085	.090	.085	.079	.076
12	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Table D.2. Axle Load Equivalency Factors For Flexible Pavements, Tandem Axles and p_t of 2.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Table D.3. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Triple Axles and p_t of 2.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
6	.0004	.0004	.0003	.0003	.0003	.0003
8	.0009	.0010	.0009	.0008	.0007	.0007
10	.002	.002	.002	.002	.002	.001
12	.004	.004	.004	.003	.003	.003
14	.006	.007	.007	.006	.006	.005
16	.010	.012	.012	.010	.009	.009
18	.016	.019	.019	.017	.015	.015
20	.024	.029	.029	.026	.024	.023
22	.034	.042	.042	.038	.035	.034
24	.049	.058	.060	.055	.051	.048
26	.068	.080	.083	.077	.071	.068
28	.093	.107	.113	.105	.098	.094
30	.125	.140	.149	.140	.131	.126
32	.164	.182	.194	.184	.173	.167
34	.213	.233	.248	.238	.225	.217
36	.273	.294	.313	.303	.288	.279
38	.346	.368	.390	.381	.364	.353
40	.434	.456	.481	.473	.454	.443
42	.538	.560	.587	.580	.561	.548
44	.662	.682	.710	.705	.686	.673
46	.807	.825	.852	.849	.831	.818
48	.976	.992	1.015	1.014	.999	.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.06	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15.0	13.8	13.0	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Table D.4. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 2.5

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0004	.0004	.0003	.0002	.0002	.0002
4	.003	.004	.004	.003	.002	.002
6	.011	.017	.017	.013	.010	.009
8	.032	.047	.051	.041	.034	.031
10	.078	.102	.118	.102	.088	.080
12	.168	.198	.229	.213	.189	.176
14	.328	.358	.399	.388	.360	.342
16	.591	.613	.646	.645	.623	.606
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.3	9.5	7.9	6.8	7.0	7.8
32	13.9	12.8	10.5	8.8	8.9	10.0
34	18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.5
36	24.0	22.0	17.7	14.4	13.9	15.5
38	30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	19.0
40	39.3	35.9	28.5	22.5	21.1	23.0
42	49.3	45.0	35.6	27.8	25.6	27.7
44	61.3	55.9	44.0	34.0	31.0	33.1
46	75.5	68.8	54.0	41.4	37.2	39.3
48	92.2	83.9	65.7	50.1	44.5	46.5
50	112.	102.	79.	60.	53.	55.

Table D.5. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Tandem Axles and p_t of 2.5

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0001	.0001	.0001	.0000	.0000	.0000
4	.0005	.0005	.0004	.0003	.0003	.0002
6	.002	.002	.002	.001	.001	.001
8	.004	.006	.005	.004	.003	.003
10	.008	.013	.011	.009	.007	.006
12	.015	.024	.023	.018	.014	.013
14	.026	.041	.042	.033	.027	.024
16	.044	.065	.070	.057	.047	.043
18	.070	.097	.109	.092	.077	.070
20	.107	.141	.162	.141	.121	.110
22	.160	.198	.229	.207	.180	.166
24	.231	.273	.315	.292	.260	.242
26	.327	.370	.420	.401	.364	.342
28	.451	.493	.548	.534	.495	.470
30	.611	.648	.703	.695	.658	.633
32	.813	.843	.889	.887	.857	.834
34	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.73	1.69	1.68	1.70	1.73
40	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	3.41	3.27	2.99	2.88	3.00	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
48	5.08	4.80	4.25	3.98	4.17	4.49
50	6.12	5.76	5.03	4.64	4.86	5.28
52	7.33	6.87	5.93	5.38	5.63	6.17
54	8.72	8.14	6.95	6.22	6.47	7.15
56	10.3	9.6	8.1	7.2	7.4	8.2
58	12.1	11.3	9.4	8.2	8.4	9.4
60	14.2	13.1	10.9	9.4	9.6	10.7
62	16.5	15.3	12.6	10.7	10.8	12.1
64	19.1	17.6	14.5	12.2	12.2	13.7
66	22.1	20.3	16.6	13.8	13.7	15.4
68	25.3	23.3	18.9	15.6	15.4	17.2
70	29.0	26.6	21.5	17.6	17.2	19.2
72	33.0	30.3	24.4	19.8	19.2	21.3
74	37.5	34.4	27.6	22.2	21.3	23.6
76	42.5	38.9	31.1	24.8	23.7	26.1
78	48.0	43.9	35.0	27.8	26.2	28.8
80	54.0	49.4	39.2	30.9	29.0	31.7
82	60.6	55.4	43.9	34.4	32.0	34.8
84	67.8	61.9	49.0	38.2	35.3	38.1
86	75.7	69.1	54.5	42.3	38.8	41.7
88	84.3	76.9	60.6	46.8	42.6	45.6
90	93.7	85.4	67.1	51.7	46.8	49.7

Table D.6. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Triple Axles and p_t of 2.5

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0002	.0002	.0002	.0001	.0001	.0001
6	.0006	.0007	.0005	.0004	.0003	.0003
8	.001	.002	.001	.001	.001	.001
10	.003	.004	.003	.002	.002	.002
12	.005	.007	.006	.004	.003	.003
14	.008	.012	.010	.008	.006	.006
16	.012	.019	.018	.013	.011	.010
18	.018	.029	.028	.021	.017	.016
20	.027	.042	.042	.032	.027	.024
22	.038	.058	.060	.048	.040	.036
24	.053	.078	.084	.068	.057	.051
26	.072	.103	.114	.095	.080	.072
28	.098	.133	.151	.128	.109	.099
30	.129	.169	.195	.170	.145	.133
32	.169	.213	.247	.220	.191	.175
34	.219	.266	.308	.281	.246	.228
36	.279	.329	.379	.352	.313	.292
38	.352	.403	.461	.436	.393	.368
40	.439	.491	.554	.533	.487	.459
42	.543	.594	.661	.644	.597	.567
44	.666	.714	.781	.769	.723	.692
46	.811	.854	.918	.911	.868	.838
48	.979	1.015	1.072	1.069	1.033	1.005
50	1.17	1.20	1.24	1.25	1.22	1.20
52	1.40	1.41	1.44	1.44	1.43	1.41
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.93	1.90	1.90	1.91	1.93
58	2.29	2.25	2.17	2.16	2.20	2.24
60	2.67	2.60	2.48	2.44	2.51	2.58
62	3.09	3.00	2.82	2.76	2.85	2.95
64	3.57	3.44	3.19	3.10	3.22	3.36
66	4.11	3.94	3.61	3.47	3.62	3.81
68	4.71	4.49	4.06	3.88	4.05	4.30
70	5.38	5.11	4.57	4.32	4.52	4.84
72	6.12	5.79	5.13	4.80	5.03	5.41
74	6.93	6.54	5.74	5.32	5.57	6.04
76	7.84	7.37	6.41	5.88	6.15	6.71
78	8.83	8.28	7.14	6.49	6.78	7.43
80	9.92	9.28	7.95	7.15	7.45	8.21
82	11.1	10.4	8.8	7.9	8.2	9.0
84	12.4	11.6	9.8	8.6	8.9	9.9
86	13.8	12.9	10.8	9.5	9.8	10.9
88	15.4	14.3	11.9	10.4	10.6	11.9
90	17.1	15.8	13.2	11.3	11.6	12.9

Table D.7. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 3.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0008	.0009	.0006	.0003	.0002	.0002
4	.004	.008	.006	.004	.002	.002
6	.014	.030	.028	.018	.012	.010
8	.035	.070	.080	.055	.040	.034
10	.082	.132	.168	.132	.101	.086
12	.173	.231	.296	.260	.212	.187
14	.332	.388	.468	.447	.391	.358
16	.594	.633	.695	.693	.651	.622
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.60	1.53	1.41	1.38	1.44	1.51
22	2.47	2.29	1.96	1.83	1.97	2.16
24	3.67	3.33	2.69	2.39	2.60	2.96
26	5.29	4.72	3.65	3.08	3.33	3.91
28	7.43	6.56	4.88	3.93	4.17	5.00
30	10.2	8.9	6.5	5.0	5.1	6.3
32	13.8	12.0	8.4	6.2	6.3	7.7
34	18.2	15.7	10.9	7.8	7.6	9.3
36	23.8	20.4	14.0	9.7	9.1	11.0
38	30.6	26.2	17.7	11.9	11.0	13.0
40	38.8	33.2	22.2	14.6	13.1	15.3
42	48.8	41.6	27.6	17.8	15.5	17.8
44	60.6	51.6	34.0	21.6	18.4	20.6
46	74.7	63.4	41.5	26.1	21.6	23.8
48	91.2	77.3	50.3	31.3	25.4	27.4
50	110.	94.	61.	37.	30.	32.

Table D.8. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Tandem Axles and p_t of 3.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0002	.0002	.0001	.0001	.0000	.0000
4	.001	.001	.001	.000	.000	.000
6	.003	.004	.003	.002	.001	.001
8	.006	.011	.009	.005	.003	.003
10	.011	.024	.020	.012	.008	.007
12	.019	.042	.039	.024	.017	.014
14	.031	.066	.068	.045	.032	.026
16	.049	.096	.109	.076	.055	.046
18	.075	.134	.164	.121	.090	.076
20	.113	.181	.232	.182	.139	.119
22	.166	.241	.313	.260	.205	.178
24	.238	.317	.407	.358	.292	.257
26	.333	.413	.517	.476	.402	.360
28	.457	.534	.643	.614	.538	.492
30	.616	.684	.788	.773	.702	.656
32	.817	.870	.956	.953	.896	.855
34	1.07	1.10	1.15	1.15	1.12	1.09
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.71	1.64	1.62	1.66	1.70
40	2.21	2.11	1.94	1.89	1.98	2.08
42	2.75	2.59	2.29	2.19	2.33	2.50
44	3.39	3.15	2.70	2.52	2.71	2.97
46	4.15	3.81	3.16	2.89	3.13	3.50
48	5.04	4.58	3.70	3.29	3.57	4.07
50	6.08	5.47	4.31	3.74	4.05	4.70
52	7.27	6.49	5.01	4.24	4.57	5.37
54	8.65	7.67	5.81	4.79	5.13	6.10
56	10.2	9.0	6.7	5.4	5.7	6.9
58	12.0	10.6	7.7	6.1	6.4	7.7
60	14.1	12.3	8.9	6.8	7.1	8.6
62	16.3	14.2	10.2	7.7	7.8	9.5
64	18.9	16.4	11.6	8.6	8.6	10.5
66	21.8	18.9	13.2	9.6	9.5	11.6
68	25.1	21.7	15.0	10.7	10.5	12.7
70	28.7	24.7	17.0	12.0	11.5	13.9
72	32.7	28.1	19.2	13.3	12.6	15.2
74	37.2	31.9	21.6	14.8	13.8	16.5
76	42.1	36.0	24.3	16.4	15.1	17.9
78	47.5	40.6	27.3	18.2	16.5	19.4
80	53.4	45.7	30.5	20.1	18.0	21.0
82	60.0	51.2	34.0	22.2	19.6	22.7
84	67.1	57.2	37.9	24.6	21.3	24.5
86	74.9	63.8	42.1	27.1	23.2	26.4
88	83.4	71.0	46.7	29.8	25.2	28.4
90	92.7	78.8	51.7	32.7	27.4	30.5

Table D.9. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Triple Axles and p_t of 3.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0001	.0001	.0001	.0000	.0000	.0000
4	.0005	.0004	.0003	.0002	.0001	.0001
6	.001	.001	.001	.001	.000	.000
8	.003	.004	.002	.001	.001	.001
10	.005	.008	.005	.003	.002	.002
12	.007	.014	.010	.006	.004	.003
14	.011	.023	.018	.011	.007	.006
16	.016	.035	.030	.018	.013	.010
18	.022	.050	.047	.029	.020	.017
20	.031	.069	.069	.044	.031	.026
22	.043	.090	.097	.065	.046	.039
24	.059	.116	.132	.092	.066	.056
26	.079	.145	.174	.126	.092	.078
28	.104	.179	.223	.168	.126	.107
30	.136	.218	.279	.219	.167	.143
32	.176	.265	.342	.279	.218	.188
34	.226	.319	.413	.350	.279	.243
36	.286	.382	.491	.432	.352	.310
38	.359	.456	.577	.524	.437	.389
40	.447	.543	.671	.626	.536	.483
42	.550	.643	.775	.740	.649	.593
44	.673	.760	.889	.865	.777	.720
46	.817	.894	1.014	1.001	.920	.865
48	.984	1.048	1.152	1.148	1.080	1.030
50	1.18	1.23	1.30	1.31	1.26	1.22
52	1.40	1.43	1.47	1.48	1.45	1.43
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.92	1.86	1.85	1.88	1.91
58	2.28	2.21	2.09	2.06	2.13	2.20
60	2.66	2.54	2.34	2.28	2.39	2.50
62	3.08	2.92	2.61	2.52	2.66	2.84
64	3.56	3.33	2.92	2.77	2.96	3.19
66	4.09	3.79	3.25	3.04	3.27	3.58
68	4.68	4.31	3.62	3.33	3.60	4.00
70	5.34	4.88	4.02	3.64	3.94	4.44
72	6.08	5.51	4.46	3.97	4.31	4.91
74	6.89	6.21	4.94	4.32	4.69	5.40
76	7.78	6.98	5.47	4.70	5.09	5.93
78	8.76	7.83	6.04	5.11	5.51	6.48
80	9.84	8.75	6.67	5.54	5.96	7.06
82	11.0	9.8	7.4	6.0	6.4	7.7
84	12.3	10.9	8.1	6.5	6.9	8.3
86	13.7	12.1	8.9	7.0	7.4	9.0
88	15.3	13.4	9.8	7.6	8.0	9.6
90	16.9	14.8	10.7	8.2	8.5	10.4

Table D.20. Traffic Growth Factors*

Analysis Period Years (n)	Annual Growth Rate, Percent (g)							
	No Growth	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

*Factor = $\frac{(1 + g)^n - 1}{g}$, where $g = \frac{\text{rate}}{100}$ and is not zero. If annual growth rate is zero, the growth factor is equal to the analysis period.

NOTE: The above growth factors multiplied by the first year traffic estimate will give the total volume of traffic expected during the analysis period.

Tasarım şeridindeki trafiğin ($W_{8.2}$) hesaplanmasında aşağıda verilen bağıntı kullanılır.

$$W_{18(8,2)} = W_{18(8,2)} \times D_y \times D_s$$

$W_{8.2}$ = İki yöndeki toplam 8.2 ton (18 - kip)

D_y = **Yön dağıtma faktörü**. Trafiğin yönlere göre dağılımını belirlemeye yarar, yüzde olarak ifade edilir ve genellikle **0.5 değerini** alır. Her iki yönde, farklı sayı ve ağırlıkta trafiğe hizmet eden yollarda **0.3 ile 0.7** değerleri arasında değişebilir.

D_s = **Şerit dağıtma faktörü**. Trafiğin şeritlere göre dağılımını belirlemekte kullanılır, yüzde olarak ifade edilir ve şerit sayısına bağlı olarak değişir. AASHTO 93' te esnek üstyapılar için önerilen D_s değerleri Tablo 4.3' te verilmiştir.

Tablo 4.3 : Şerit Sayısına Göre Tavsiye Edilen Şerit Dağıtma Faktörleri

Number of Lanes in Both Directions	Percent of 18-kip ESAL Traffic in Design Lane
1	100
2	80-100
3	60-80
4 or more	50-75

➤ **Güvenilirlik**

Güvenilirliğin genel tanımları şunlardır:

- Güvenilirlik servis kabiliyeti indeksinde beklenmeyen kayıplar sonucu bakım gerekebileceği ihtimalini dikkate alır.
- Üstyapının trafik yüklerine minimum bir dirençle karşı koyması durumunda oluşabilecek aksaklıkları gidermeye çalışır.
- Üstyapının mevcut koşullar altında beklenen performansı gösterememe durumunu hesaba katarak bu gibi hallerde yolun beklenen hizmeti verememesi ihtimalini ortadan kaldırır.