

Pavement Engineering

مهندسی روسازی

فصل نهم: تحلیل روسازی و تراکم

علیرضاغنی زاده

دانشیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی سیرجان

مقدمه

- ✓ منظور از تحلیل روسازی، محاسبه عکس‌العمل‌ها یا به عبارتی محاسبه تنش‌ها، کرنش‌ها و افت‌وخیزهای روسازی تحت اثر یک بارگذاری مشخص است.
- ✓ تاکنون روش‌های مختلفی برای تحلیل روسازی‌های آسفالتی پیشنهاد شده است که مهم‌ترین آنها **نظریه الاستیک چند لایه‌ای** و **روش اجزاء محدود** می‌باشند.
- ✓ اکثر برنامه‌های تحلیل روسازی‌های آسفالتی از روش نظریه الاستیک چندلایه‌ای برای تحلیل روسازی استفاده می‌کنند.

۲

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

نرم افزارهای تحلیل روسازی بر اساس نظریه چند لایه‌ای



- BISAR (De Jong et al., 1979)
- JULEA (Uzan, 1994)
- LEAF (Hayhoe, 2002)
- KENLAYER (Huang, 2004)
- Mnlayer (Khazanovich and Wang, 2007)
- NonPAS (Ghanizadeh and Ziayi, 2015)

۳

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

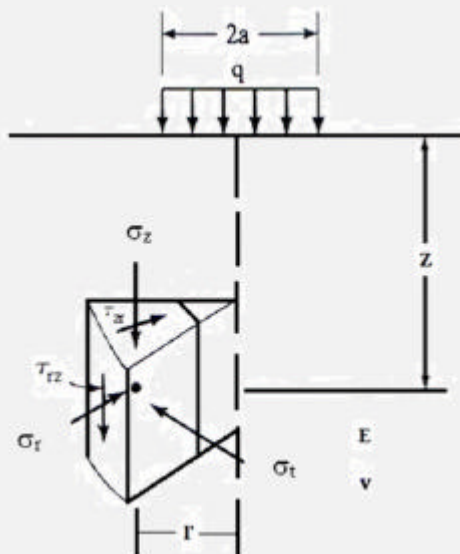
نظریه نیم فضای بینهایت



$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_t + \sigma_r)]$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \nu(\sigma_t + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E} [\sigma_t - \nu(\sigma_z + \sigma_r)]$$



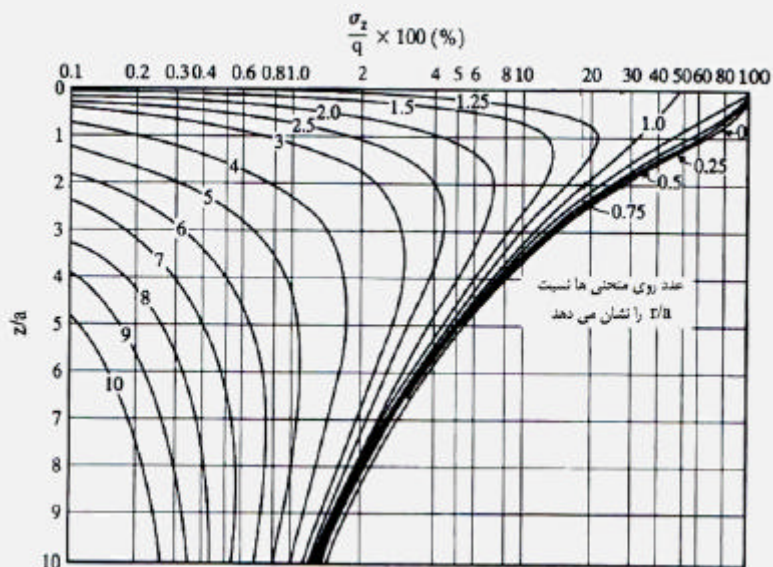
۴

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

نظریه نیم فضای بینهایت: تنش قائم

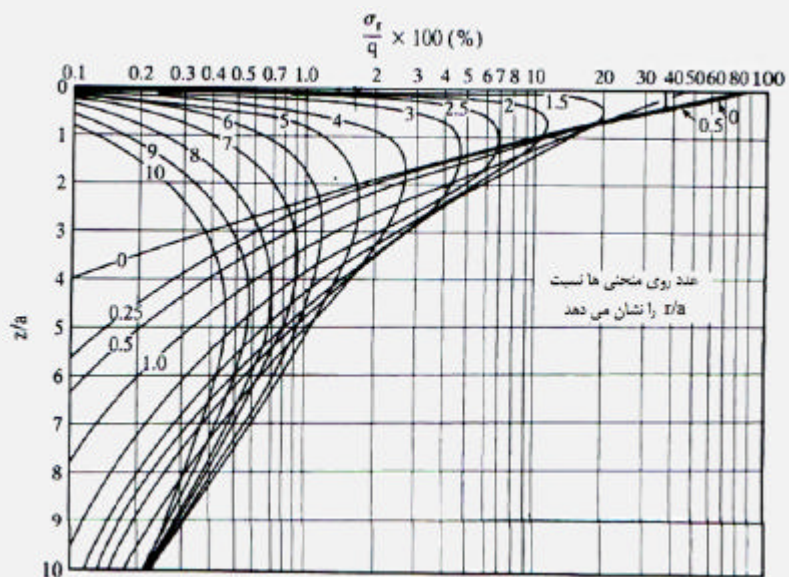


۵

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

نظریه نیم فضای بینهایت: تنش شعاعی



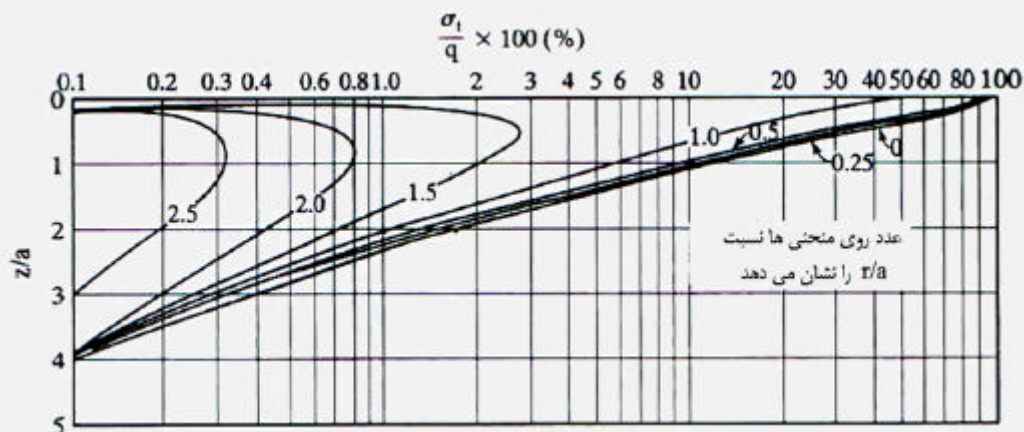
۶

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

نظریه نیم فضای بینهایت: تنش مماسی

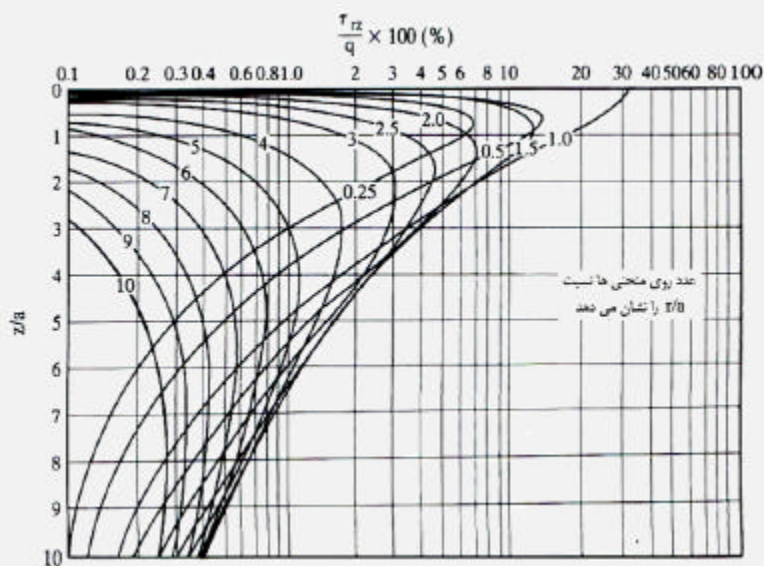


۷

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

نظریه نیم فضای بینهایت: تنش برشی

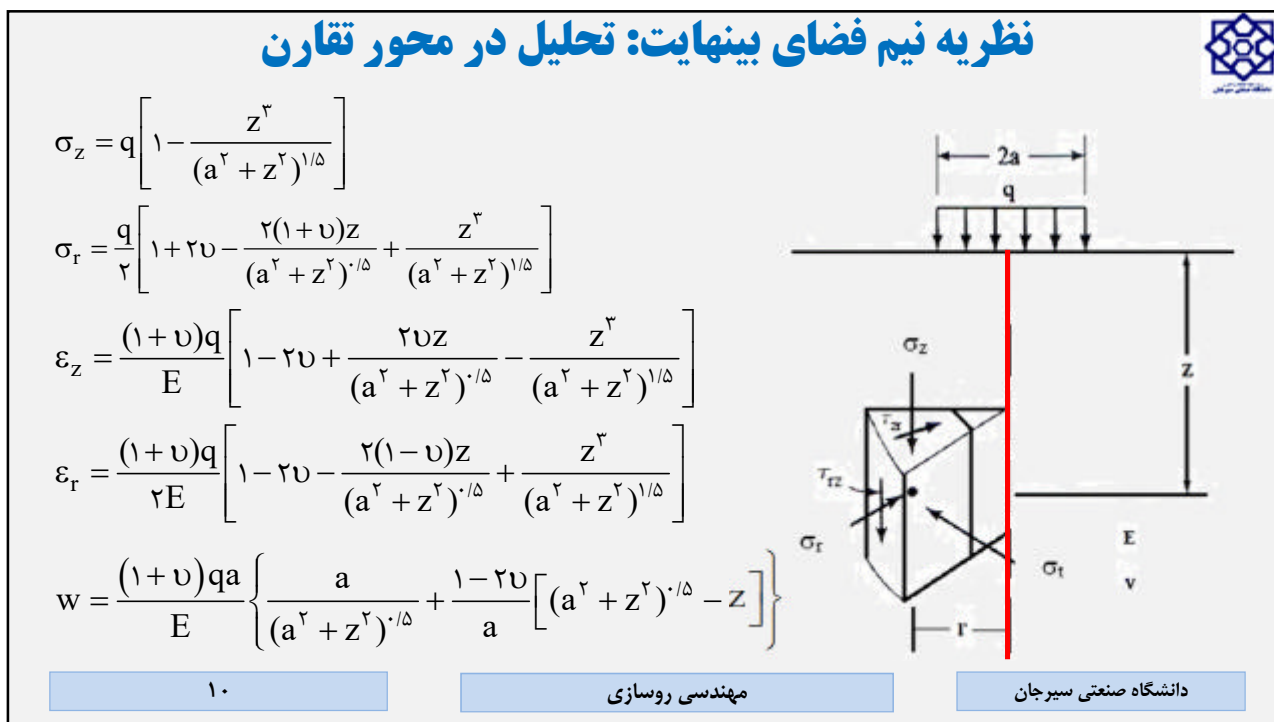
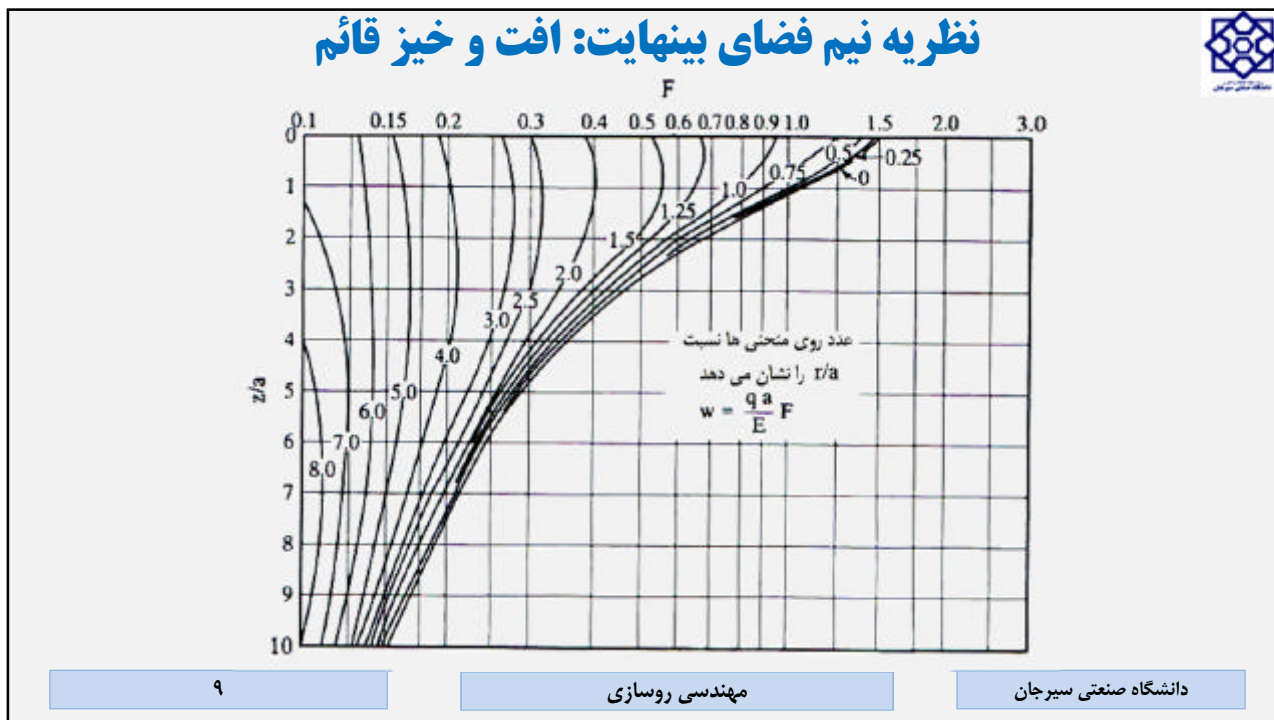


۸

مهندسی روسازی

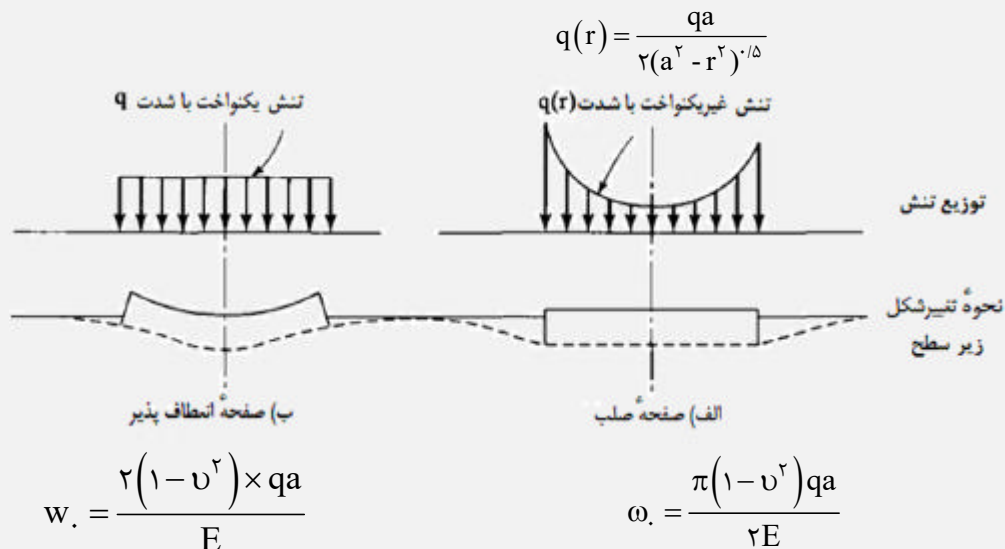
دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering



Pavement Engineering

نظریه نیم فضای بینهایت: افت و خیز حاصل از بارگذاری صلب



۱۱

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

سیستم های چند لایه ای



- ✓ روسازی های انعطاف پذیر در حقیقت سیستم های چند لایه ای هستند که در آنها با حرکت از لایه های زیرین به سمت لایه های فوقانی، کیفیت مصالح افزایش می یابد. از این رو فرض نمودن روسازی به صورت توده ای همگن، فرضی اشتباه است.
- ✓ برمیستر در سال ۱۹۴۵ ابتدا روشی را برای تحلیل سیستم های دو لایه ای ارائه کرد، اما دو سال بعد وی این روش را برای تحلیل سیستم های سه لایه ای نیز گسترش داد.
- ✓ با ظهور کامپیوترها این نظریه می تواند برای سیستم های چند لایه ای با هر تعداد لایه نیز به کار گرفته شود.

۱۲

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

فرضیات نظریه الاستیک چند لایه‌ای



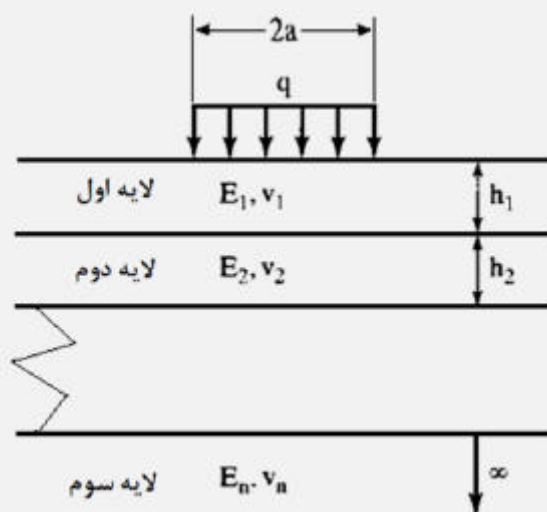
- ✓ هر لایه همگن ، همسانگرد و دارای رفتار الاستیک خطی است و با دو پارامتر مدول ارتجاعی و نسبت پواسون مشخص می‌شود.
- ✓ از وزن مصالح و اثرات ناشی از آن صرف نظر شده و لایه‌ها در جهت افقی بی‌نهایت فرض می‌شوند.
- ✓ ۳- هر لایه دارای ضخامت مشخص h است، به جز لایه زیرین (بستر) که ضخامت آن بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شود.
- ✓ ۴- تنش قائم یکنواخت q از طریق یک سطح دایره‌ای با شعاع a بر روی سطح روسازی اعمال می‌شود و هیچ گونه تنش برشی بر روی این سطح وجود ندارد.
- ✓ ۵- شرایط پیوستگی در محل اتصال لایه‌ها (فصل مشترک لایه‌ها) برقرار است، بدین معنی که تنش قائم، تنش برشی، افت‌وخیز قائم و تغییرشکل شعاعی در دو سمت محل اتصال لایه‌ها یکسان است.

۱۳

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

فرضیات نظریه الاستیک چند لایه‌ای



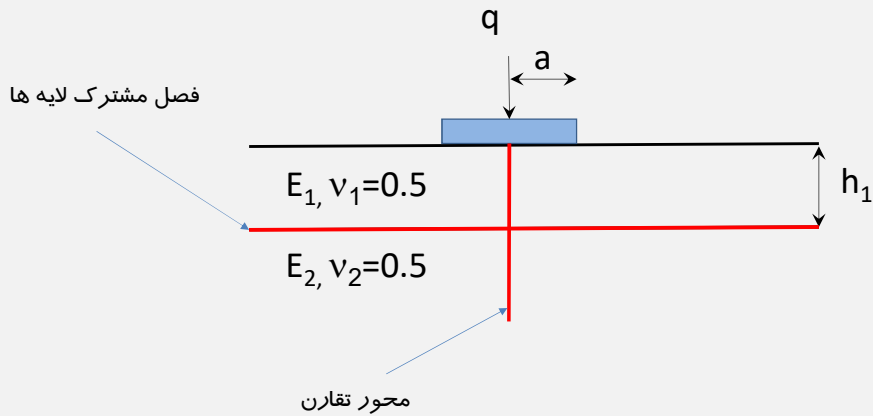
۱۴

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

تحلیل سیستم دو لایه‌ای: تنش قائم در محور تقارن بارگذاری

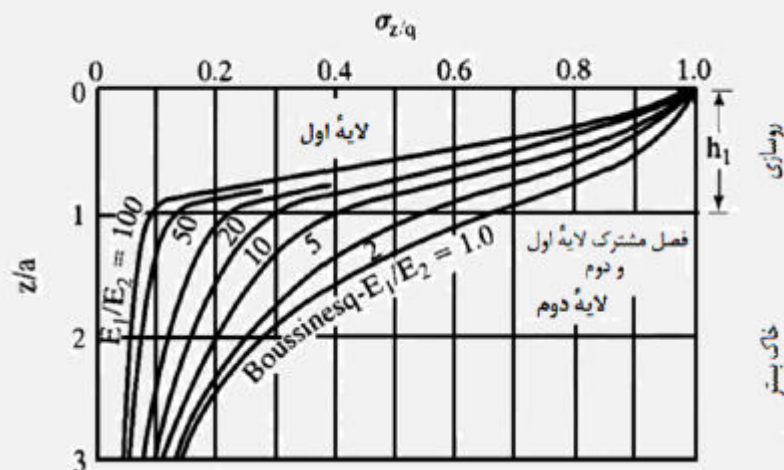


۱۵

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل سیستم دو لایه‌ای: تنش قائم در محور تقارن بارگذاری



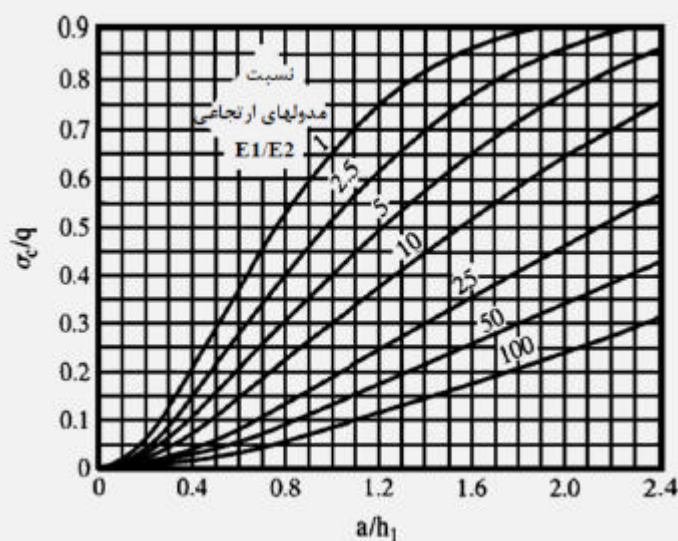
۱۶

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

تحلیل سیستم دو لایه‌ای: تنش قائم در فصل مشترک برای سیستم‌های دو لایه‌ای

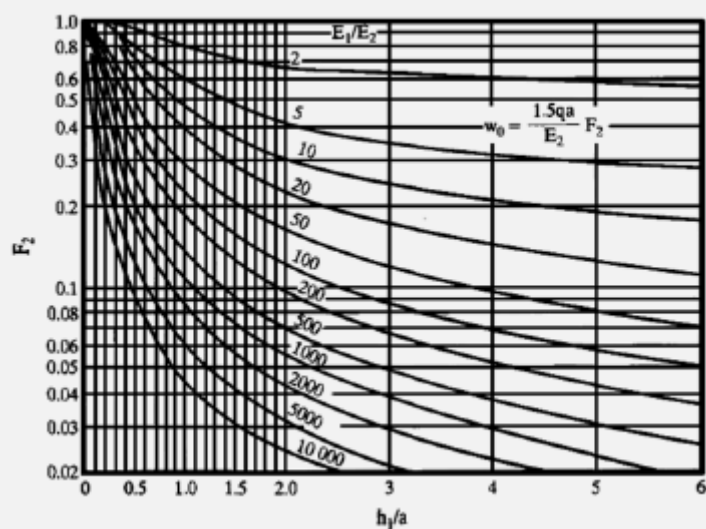


۱۷

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل سیستم دو لایه‌ای: افت و خیز سطح روسازی در محور تقارن بارگذاری



بارگذاری انعطاف‌پذیر

$$w_0 = \frac{1/5qa}{E_r} F_r$$

بارگذاری صلب

$$w_0 = \frac{1/18qa}{E_r} F_r$$

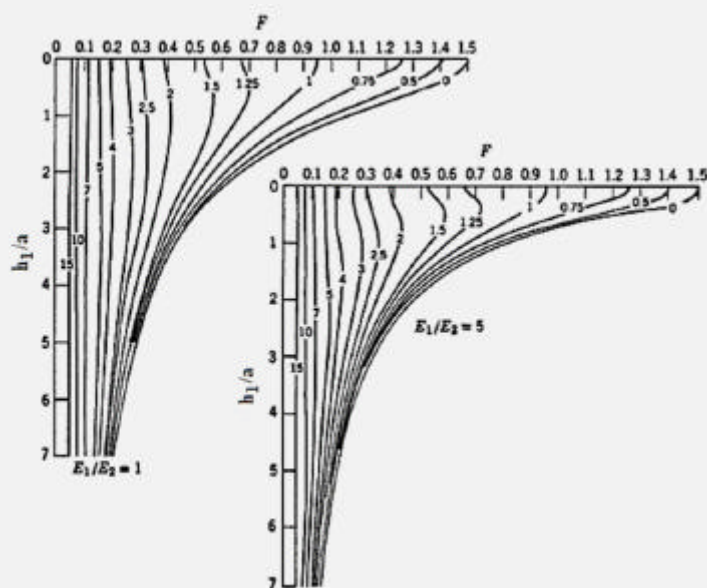
۱۸

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

تحلیل سیستم دو لایه‌ای: افت و خیز فصل مشترک دو لایه



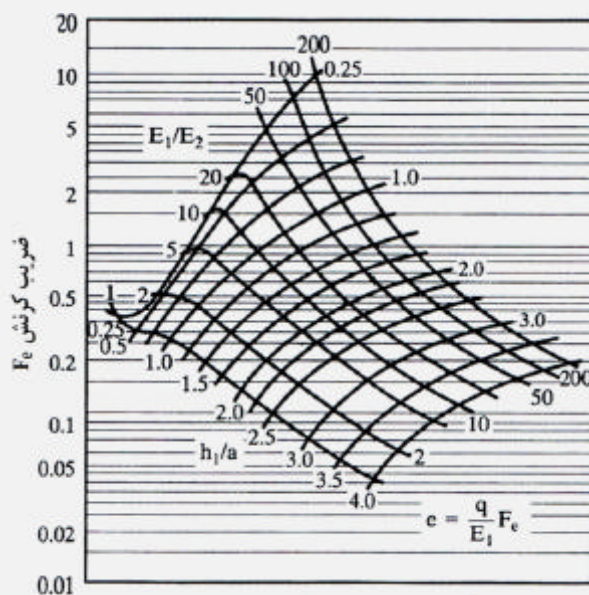
$$w = \frac{qa}{E_1} F$$

۱۹

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل سیستم دو لایه‌ای: کرنش کششی افقی در تار پایین لایه اول



$$e = \frac{q}{E_1} \times F_e$$

۲۰

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

تحلیل سیستم سه لایه‌ای

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_z}{E}$$

$$\varepsilon_y = -\nu \frac{\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_z}{E}$$

$$\varepsilon_z = -\nu \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_z}{E}$$

فصل مشترک لایه
اول و دوم

فصل مشترک لایه
دوم و سوم

۲۱

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل سیستم سه لایه‌ای

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} (\sigma_z - \sigma_r)$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{2E} (\sigma_r - \sigma_z)$$

$$\varepsilon_z = -2\varepsilon_r$$

$$\sigma'_{z1} = \sigma_{z1}$$

$$\sigma'_{z2} = \sigma_{z2}$$

فصل مشترک لایه
اول و دوم

فصل مشترک لایه
دوم و سوم

۲۲

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

تحلیل سیستم سه لایه‌ای

$$k_1 = \frac{E_1}{E_r} \quad \text{و} \quad k_r = \frac{E_r}{E_r}$$

$$A = \frac{a}{h_r} \quad \text{و} \quad H = \frac{h_1}{h_r}$$

$$\sigma_{z1} = q(ZZ1)$$

$$\sigma_{zr} = q(ZZr)$$

$$\sigma_{z1} - \sigma_{r1} = q(ZZ1 - RR1)$$

$$\sigma_{zr} - \sigma_{rr} = q(ZZr - RRr)$$

$$\sigma_{z1} - \sigma'_{r1} = \frac{\sigma_{z1} - \sigma_{r1}}{k_1}$$

$$\sigma_{zr} - \sigma'_{rr} = \frac{\sigma_{zr} - \sigma_{rr}}{k_r}$$

۲۳

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل سیستم سه لایه‌ای: فاکتورهای تنش برای سیستم سه لایه‌ای

جدول ۹-۱: فاکتورهای تنش برای سیستم‌های سه لایه‌ای

x = k1			x = k1			x = k2			A	h2	H
ZZ2-RR2	ZZ1-RR1	ZZ2	ZZ1	ZZ2-RR2	ZZ1-RR1	ZZ2	ZZ1	ZZ2-RR2	ZZ1-RR1	ZZ2	ZZ1
-0.999	0.2321	-0.591	-0.3981	-0.5392	1.8198	-0.81	-0.5029	-0.1996	-0.8922	-0.896	-0.995
-0.9817	0.2321	-0.6197	-0.4193	-0.5602	1.8388	-0.817	-0.4839	-0.2207	-0.8733	-0.9171	-0.976
-0.9644	0.2321	-0.6414	-0.4404	-0.5812	1.8578	-0.824	-0.4649	-0.2418	-0.8544	-0.9382	-0.957
-0.9471	0.2321	-0.6630	-0.4615	-0.6022	1.8768	-0.831	-0.4459	-0.2629	-0.8355	-0.9593	-0.938
-0.9298	0.2321	-0.6847	-0.4826	-0.6232	1.8958	-0.838	-0.4269	-0.2840	-0.8166	-0.9804	-0.919
-0.9125	0.2321	-0.7063	-0.5037	-0.6442	1.9148	-0.845	-0.4079	-0.3051	-0.7977	-1.0015	-0.900
-0.8952	0.2321	-0.7280	-0.5248	-0.6652	1.9338	-0.852	-0.3889	-0.3262	-0.7788	-1.0226	-0.881
-0.8779	0.2321	-0.7496	-0.5459	-0.6862	1.9528	-0.859	-0.3699	-0.3473	-0.7599	-1.0437	-0.862
-0.8606	0.2321	-0.7713	-0.5670	-0.7072	1.9718	-0.866	-0.3509	-0.3684	-0.7410	-1.0648	-0.843
-0.8433	0.2321	-0.7929	-0.5881	-0.7282	1.9908	-0.873	-0.3319	-0.3895	-0.7221	-1.0859	-0.824
-0.8260	0.2321	-0.8146	-0.6092	-0.7492	2.0098	-0.880	-0.3129	-0.4106	-0.7032	-1.1070	-0.805
-0.8087	0.2321	-0.8362	-0.6303	-0.7702	2.0288	-0.887	-0.2939	-0.4317	-0.6843	-1.1281	-0.786
-0.7914	0.2321	-0.8579	-0.6514	-0.7912	2.0478	-0.894	-0.2749	-0.4528	-0.6654	-1.1492	-0.767
-0.7741	0.2321	-0.8795	-0.6725	-0.8122	2.0668	-0.901	-0.2559	-0.4739	-0.6465	-1.1703	-0.748
-0.7568	0.2321	-0.9012	-0.6936	-0.8332	2.0858	-0.908	-0.2369	-0.4950	-0.6276	-1.1914	-0.729
-0.7395	0.2321	-0.9228	-0.7147	-0.8542	2.1048	-0.915	-0.2179	-0.5161	-0.6087	-1.2125	-0.710
-0.7222	0.2321	-0.9445	-0.7358	-0.8752	2.1238	-0.922	-0.1989	-0.5372	-0.5898	-1.2336	-0.691
-0.7049	0.2321	-0.9661	-0.7569	-0.8962	2.1428	-0.929	-0.1799	-0.5583	-0.5709	-1.2547	-0.672
-0.6876	0.2321	-0.9878	-0.7780	-0.9172	2.1618	-0.936	-0.1609	-0.5794	-0.5520	-1.2758	-0.653
-0.6703	0.2321	-1.0094	-0.7991	-0.9382	2.1808	-0.943	-0.1419	-0.6005	-0.5331	-1.2969	-0.634
-0.6530	0.2321	-1.0311	-0.8202	-0.9592	2.1998	-0.950	-0.1229	-0.6216	-0.5142	-1.3180	-0.615
-0.6357	0.2321	-1.0527	-0.8413	-0.9802	2.2188	-0.957	-0.1039	-0.6427	-0.4953	-1.3391	-0.596
-0.6184	0.2321	-1.0744	-0.8624	-1.0012	2.2378	-0.964	-0.0849	-0.6638	-0.4764	-1.3602	-0.577
-0.6011	0.2321	-1.0960	-0.8835	-1.0222	2.2568	-0.971	-0.0659	-0.6849	-0.4575	-1.3813	-0.558
-0.5838	0.2321	-1.1177	-0.9046	-1.0432	2.2758	-0.978	-0.0469	-0.7060	-0.4386	-1.4024	-0.539
-0.5665	0.2321	-1.1393	-0.9257	-1.0642	2.2948	-0.985	-0.0279	-0.7271	-0.4197	-1.4235	-0.520
-0.5492	0.2321	-1.1610	-0.9468	-1.0852	2.3138	-0.992	-0.0089	-0.7482	-0.4008	-1.4446	-0.501
-0.5319	0.2321	-1.1826	-0.9679	-1.1062	2.3328	-0.999	0.0101	-0.7693	-0.3819	-1.4657	-0.482
-0.5146	0.2321	-1.2043	-0.9890	-1.1272	2.3518	-1.006	0.0311	-0.7904	-0.3630	-1.4868	-0.463
-0.4973	0.2321	-1.2259	-1.0101	-1.1482	2.3708	-1.013	0.0521	-0.8115	-0.3441	-1.5079	-0.444
-0.4800	0.2321	-1.2476	-1.0312	-1.1692	2.3898	-1.020	0.0731	-0.8326	-0.3252	-1.5290	-0.425
-0.4627	0.2321	-1.2692	-1.0523	-1.1902	2.4088	-1.027	0.0941	-0.8537	-0.3063	-1.5501	-0.406
-0.4454	0.2321	-1.2909	-1.0734	-1.2112	2.4278	-1.034	0.1151	-0.8748	-0.2874	-1.5712	-0.387
-0.4281	0.2321	-1.3125	-1.0945	-1.2322	2.4468	-1.041	0.1361	-0.8959	-0.2685	-1.5923	-0.368
-0.4108	0.2321	-1.3342	-1.1156	-1.2532	2.4658	-1.048	0.1571	-0.9170	-0.2496	-1.6134	-0.349
-0.3935	0.2321	-1.3558	-1.1367	-1.2742	2.4848	-1.055	0.1781	-0.9381	-0.2307	-1.6345	-0.330
-0.3762	0.2321	-1.3775	-1.1578	-1.2952	2.5038	-1.062	0.1991	-0.9592	-0.2118	-1.6556	-0.311
-0.3589	0.2321	-1.3991	-1.1789	-1.3162	2.5228	-1.069	0.2201	-0.9803	-0.1929	-1.6767	-0.292
-0.3416	0.2321	-1.4208	-1.2000	-1.3372	2.5418	-1.076	0.2411	-1.0014	-0.1740	-1.6978	-0.273
-0.3243	0.2321	-1.4424	-1.2211	-1.3582	2.5608	-1.083	0.2621	-1.0225	-0.1551	-1.7189	-0.254
-0.3070	0.2321	-1.4641	-1.2422	-1.3792	2.5798	-1.090	0.2831	-1.0436	-0.1362	-1.7400	-0.235
-0.2897	0.2321	-1.4857	-1.2633	-1.4002	2.5988	-1.097	0.3041	-1.0647	-0.1173	-1.7611	-0.216
-0.2724	0.2321	-1.5074	-1.2844	-1.4212	2.6178	-1.104	0.3251	-1.0858	-0.0984	-1.7822	-0.197
-0.2551	0.2321	-1.5290	-1.3055	-1.4422	2.6368	-1.111	0.3461	-1.1069	-0.0795	-1.8033	-0.178
-0.2378	0.2321	-1.5507	-1.3266	-1.4632	2.6558	-1.118	0.3671	-1.1280	-0.0606	-1.8244	-0.159
-0.2205	0.2321	-1.5723	-1.3477	-1.4842	2.6748	-1.125	0.3881	-1.1491	-0.0417	-1.8455	-0.140
-0.2032	0.2321	-1.5940	-1.3688	-1.5052	2.6938	-1.132	0.4091	-1.1702	-0.0228	-1.8666	-0.121
-0.1859	0.2321	-1.6156	-1.3899	-1.5262	2.7128	-1.139	0.4301	-1.1913	-0.0039	-1.8877	-0.102
-0.1686	0.2321	-1.6373	-1.4110	-1.5472	2.7318	-1.146	0.4511	-1.2124	0.0150	-1.9088	-0.083
-0.1513	0.2321	-1.6589	-1.4321	-1.5682	2.7508	-1.153	0.4721	-1.2335	0.0361	-1.9299	-0.064
-0.1340	0.2321	-1.6806	-1.4532	-1.5892	2.7698	-1.160	0.4931	-1.2546	0.0572	-1.9510	-0.045
-0.1167	0.2321	-1.7022	-1.4743	-1.6102	2.7888	-1.167	0.5141	-1.2757	0.0783	-1.9721	-0.026
-0.0994	0.2321	-1.7239	-1.4954	-1.6312	2.8078	-1.174	0.5351	-1.2968	0.0994	-1.9932	-0.007
-0.0821	0.2321	-1.7455	-1.5165	-1.6522	2.8268	-1.181	0.5561	-1.3179	0.1205	-2.0143	0.012
-0.0648	0.2321	-1.7672	-1.5376	-1.6732	2.8458	-1.188	0.5771	-1.3390	0.1416	-2.0354	0.033
-0.0475	0.2321	-1.7888	-1.5587	-1.6942	2.8648	-1.195	0.5981	-1.3601	0.1627	-2.0565	0.054
-0.0302	0.2321	-1.8105	-1.5798	-1.7152	2.8838	-1.202	0.6191	-1.3812	0.1838	-2.0776	0.075
-0.0129	0.2321	-1.8321	-1.6009	-1.7362	2.9028	-1.209	0.6401	-1.4023	0.2049	-2.0987	0.096
0.0044	0.2321	-1.8538	-1.6220	-1.7572	2.9218	-1.216	0.6611	-1.4234	0.2260	-2.1198	0.117
0.0217	0.2321	-1.8754	-1.6431	-1.7782	2.9408	-1.223	0.6821	-1.4445	0.2471	-2.1409	0.138
0.0390	0.2321	-1.8971	-1.6642	-1.7992	2.9598	-1.230	0.7031	-1.4656	0.2682	-2.1620	0.159
0.0563	0.2321	-1.9187	-1.6853	-1.8202	2.9788	-1.237	0.7241	-1.4867	0.2893	-2.1831	0.180
0.0736	0.2321	-1.9404	-1.7064	-1.8412	2.9978	-1.244	0.7451	-1.5078	0.3104	-2.2042	0.201
0.0909	0.2321	-1.9620	-1.7275	-1.8622	3.0168	-1.251	0.7661	-1.5289	0.3315	-2.2253	0.222
0.1082	0.2321	-1.9837	-1.7486	-1.8832	3.0358	-1.258	0.7871	-1.5500	0.3526	-2.2464	0.243
0.1255	0.2321	-2.0053	-1.7697	-1.9042	3.0548	-1.265	0.8081	-1.5711	0.3737	-2.2675	0.264
0.1428	0.2321	-2.0270	-1.7908	-1.9252	3.0738	-1.272	0.8291	-1.5922	0.3948	-2.2886	0.285
0.1601	0.2321	-2.0486	-1.8119	-1.9462	3.0928	-1.279	0.8501	-1.6133	0.4159	-2.3097	0.306
0.1774	0.2321	-2.0703	-1.8330	-1.9672	3.1118	-1.286	0.8711	-1.6344	0.4370	-2.3308	0.327
0.1947	0.2321	-2.0919	-1.8541	-1.9882	3.1308	-1.293	0.8921	-1.6555	0.4581	-2.3519	0.348
0.2120	0.2321	-2.1136	-1.8752	-2.0092	3.1498	-1.300	0.9131	-1.6766	0.4792	-2.3730	0.369
0.2293	0.2321	-2.1352	-1.8963	-2.0302	3.1688	-1.307	0.9341	-1.6977	0.5003	-2.3941	0.390
0.2466	0.2321	-2.1569	-1.9174	-2.0512	3.1878	-1.314	0.9551	-1.7188	0.5214	-2.4152	0.411
0.2639	0.2321	-2.1785	-1.9385	-2.0722	3.2068	-1.321	0.9761	-1.7399	0.5425	-2.4363	0.432
0.2812	0.2321	-2.2002	-1.9596	-2.0932	3.2258	-1.328	0.9971	-1.7610	0.5636	-2.4574	0.453
0.2985	0.2321	-2.2218	-1.9807	-2.1142	3.2448	-1.335	1.0181	-1.7821	0.5847	-2.4785	0.474
0.3158	0.2321	-2.24									

Pavement Engineering

محدودیت های اعمال بار در ایران



✓ در ایران نیز طبق مقررات حمل و نقل در جاده‌ها فشار یا نیروی وزن وارده از سوی هر یک از محورهای وسایل نقلیه بر سطح راه نباید از حدود ذیل تجاوز نماید (اصلاحیه مقررات حمل بار ۱۳۸۹):

- محور جلو (یک چرخ در هر طرف) ۸ تن؛

- محور منفرد (دو چرخ در هر طرف) ۱۳ تن؛

- محور دو گانه (چهار چرخ در هر طرف) ۲۲ تن.

✓ همچنین وزن کامیون دو محور و بار آن نباید از ۲۰ تن و کامیون سه محور و بار آن از ۲۸ تن فراتر رود (اصلاحیه مقررات حمل بار ۱۳۸۹).

۲۷

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

انواع وسایل نقلیه برای طراحی روسازی



وزن کل (تن)	محور عقب		محور وسط		محور جلو		آرایش چرخ‌ها	تعداد محور	نوع وسیله نقلیه
	وزن (تن)	نوع	وزن (تن)	نوع	وزن (تن)	نوع			
۲	۱	ساده	-	-	۱	ساده		۲	سواری
۳	۲	ساده	-	-	۱	ساده		۲	وانت
۴	۳	ساده	-	-	۳	ساده		۲	همین‌اوس
۶	۴	ساده	-	-	۳	ساده		۲	گنبدوس
۱۵	۹	ساده	-	-	۶	ساده		۲	کامیون دو محور سنگین
۱۶	۱۳	ساده	-	-	۶	ساده		۲	کامیون دو محور سنگین
۲۶	۲۰	ترکیب	-	-	۶	ساده		۲	کامیون سه محور
۳۶	۱۰	ساده	۱۰	ساده	۶	ساده		۴	تریلی چهار محور
۳۲	۱۶	ترکیب	۱۰	ساده	۶	ساده		۴	تریلی پنج محور
۴۰	۱۸	ترکیب	۱۴	ترکیب	۶	ساده		۵	تریلی پنج محور
۴۰	۲۴	ترکیب	۱۰	ساده	۶	ساده		۵	تریلی پنج محور

اگر فاصله محورهاى وسط با عقب کمتر از ۲ متر باشد، محور ترکیب در نظر گرفته می‌شود.

۲۸

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

تمرین: سامانه های زیر را شرح دهید



- ✓ ATR (Automated Traffic Recorders)
- ✓ AVC (Automated Vehicle classification)
- ✓ WIM (Weight in Motion)

۲۹

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

روش های مختلف در نظر گرفتن ترافیک برای طراحی روسازی



✓ به منظور انجام محاسبات ترافیک جهت طراحی روسازی معمولاً از دو روش استفاده می شود که عبارت اند از:

- روش تفکیک طیف بار
- روش محور ساده هم ارز

۳۰

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

روش طیف بارگذاری



- ✓ در روش طیف بار که معمولاً در روش‌های طراحی مکانیستیک-تجربی روسازی کاربرد دارد، اثر وزن و تعداد عبور هر یک از محورهای عبوری از روی روسازی به صورت جداگانه در طراحی و ایجاد خرابی روسازی در نظر گرفته می‌شود.
- ✓ برای این منظور باید اطلاعات دقیق مربوط به هر یک از محورهای عبوری شامل تعداد عبور، آرایش چرخ‌ها، فاصله چرخ‌ها، شعاع سطح تماس و فشار تماس مشخص باشد تا بتوان از طریق این اطلاعات روسازی موردنظر را تحلیل و سپس با تکیه بر معادلات تجربی خرابی‌های روسازی را پیش‌بینی نمود.

۳۱

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

روش محور ساده استاندارد هم‌ارز



- ✓ در روش محور ساده استاندارد هم‌ارز که معمولاً در روش‌های تجربی طراحی روسازی کاربرد دارد، تعداد عبور هر یک از محورها با توجه به شدت خرابی که آن محور در روسازی ایجاد می‌کند، به تعداد عبور معادل محور ساده استاندارد تبدیل می‌شود.
- ✓ ضریب موردنیاز برای تبدیل تعداد عبور یک محور مشخص به تعداد عبور معادل محور ساده استاندارد به نوع، وزن و مشخصات روسازی بستگی دارد.
- ✓ به علاوه در بیشتر آیین‌نامه‌ها، محور ساده هم‌ارز به صورت یک محور منفرد $8/2$ تنی با چرخ زوج در نظر گرفته می‌شود.

۳۲

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

ضریب بار هم‌ارز



- ✓ ضریب بار هم‌ارز به صورت نسبت خرابی حاصل از یک بار عبور محور موردنظر به خرابی حاصل از یک بار عبور محور استاندارد تعریف می‌شود.
 - ✓ خرابی را به چند روش مختلف می‌توان بیان کرد که هر روش طراحی از پارامتر به خصوصی برای بیان آن استفاده می‌کند.
 - ✓ در روش طراحی اشتهو این پارامتر کاهش سطح خدمت‌دهی روسازی است که تحت عنوان شاخص سرویس‌دهی فعلی PSI اندازه‌گیری و در محاسبات وارد می‌شود.
- برای تبدیل تعداد عبور محور L_1 (N_{L1}) به تعداد عبور معادل محور ساده استاندارد $1/2$ تنی ($N_{1/2}$) می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$N_{1/2} = N_{L1} \times ELA F_{L1} \quad (9-55)$$

۳۳

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

قانون توان چهارم اشتهو برای محاسبه ضریب بار هم‌ارز



ساده‌ترین روش برای تعیین ضریب بار هم‌ارز یک محور، استفاده از قانون توان چهارم اشتهو است. بر طبق این قانون برای تعیین ضریب بار هم‌ارز محوری، وزن محور موردنظر (W_a) بر وزن محور استاندارد (W_s) تقسیم و سپس مقدار به دست آمده به توان چهارم می‌رسد. این رابطه به شکل زیر بیان می‌شود:

$$LEF = \left(\frac{W_a}{W_s} \right)^4 \quad (9-61)$$

ساده‌ترین روش برای تعیین ضریب بار هم‌ارز یک محور، استفاده از قانون توان چهارم اشتهو است. بر طبق این قانون برای تعیین ضریب بار هم‌ارز محوری، وزن محور موردنظر (W_a) بر وزن محور استاندارد (W_s) تقسیم و سپس مقدار به دست آمده به توان چهارم می‌رسد. این رابطه به شکل زیر بیان می‌شود:

$$LEF = \left(\frac{W_a}{W_s} \right)^4 \quad (9-61)$$

۳۴

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

ضرایب بار هم‌ارز طبق نشریه ۲۳۴



جدول ۹-۹: ضریب بار هم‌ارز برای محور منفرد و $P_t = 2/5$.

عدد ضخامت روسازی (SN)						بار محوری (تن)
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
-/۰۰۰۰۳۸	-/۰۰۰۰۳۸	-/۰۰۰۰۴۸	-/۰۰۰۰۶۷	-/۰۰۰۰۷۶	-/۰۰۰۰۶۶	۱
-/۰۰۰۳۴۳	-/۰۰۰۳۶۴	-/۰۰۰۵۰۵	-/۰۰۰۶۶۶	-/۰۰۰۶۶۶	-/۰۰۰۴۶۴	۲
-/۰۰۱۵۷	-/۰۰۱۷۳۸	-/۰۰۲۱۶	-/۰۰۲۷۴	-/۰۰۲۶۲	-/۰۰۱۷۴	۳
-/۰۰۵۱۰۹	-/۰۰۵۶۱	-/۰۰۶۶	-/۰۰۷۸۴	-/۰۰۶۹۵	-/۰۰۵	۴
-/۰۱۲۸۹	-/۰۱۳۹۵	-/۰۱۵۸	-/۰۱۷۴	-/۰۱۵۰۹۶	-/۰۱۲۳۹	۵
-/۰۲۷۸۹	-/۰۲۹۵	-/۰۳۲۱۵	-/۰۳۳۴۴	-/۰۲۹۷۲	-/۰۲۶۷۲	۶
-/۰۵۳۱۴	-/۰۵۴۸۷	-/۰۵۷۲۳	-/۰۵۷۶۲	-/۰۵۴۰۹	-/۰۵۱۶۷	۷
-/۰۹۲۹۰	-/۰۹۳۳۱	-/۰۹۳۶۱	-/۰۹۳۶۲	-/۰۹۳۰۳	-/۰۹۲۶۳	۸
۱/۵۰۷۳	۱/۴۷	۱/۴۳۳۵	۱/۴۵۲	۱/۵۲۵۸	۱/۵۶۲۷	۹
۲/۳۲۴	۲/۲۰۱	۲/۱۱	۲/۱۹۳	۲/۴۰۷	۲/۵۱	۱۰
۳/۴۲۴	۳/۱۶۵	۳/۰۲	۳/۲۴۵	۳/۶۸۱	۳/۸۹۹	۱۱
۴/۸۲۵	۴/۳۸۹	۴/۲۰۹	۴/۶۷	۵/۴۴۷۷	۵/۸۲	۱۲
۶/۵۸۵	۵/۹۲۵	۵/۷۳۸	۶/۵۶۵	۷/۸۱	۸/۴۲	۱۳

۳۵

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

ضرایب بار هم‌ارز طبق نشریه ۲۳۴



جدول ۱۰-۹: ضریب بار هم‌ارز برای محور دوگانه و $P_t = 2/5$.

عدد ضخامت روسازی (SN)						بار محوری (تن)
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
-/۱۶۷۹	-/۱۸۲	-/۲۰۹۱	-/۲۳۱۱	-/۱۹۹۸	-/۱۶۱۷	۱۰
-/۳۷۱۴۴	-/۳۹۴۱	-/۴۴۱۵	-/۴۴۹۴	-/۳۹۸۲۹	-/۳۵۵۵	۱۲
-/۷۲۰۴	-/۷۴۴۵	-/۷۷۸۵	-/۷۸۳	-/۷۳۲۸	-/۶۹۸۸	۱۴
۱/۲۷۲	۱/۲۷۵۶	۱/۲۸۲۸	۱/۲۸۲۸	۱/۲۷۲	۱/۲۶۴	۱۶
۲/۰۷	۲/۰۲۱۱	۱/۹۷۵	۲/۰۰۲	۲/۰۹	۲/۱۳۸	۱۸
۳/۱۹۱۵	۳/۰۲	۲/۹۰۶	۳/۰۱	۳/۰۵۵	۳/۴۴۸	۲۰
۴/۶۹۱	۴/۳۴۵	۴/۱۴	۴/۴۴۸۹	۵/۰۴	۵/۳۸	۲۲

جدول ۱۱-۹: ضریب بار هم‌ارز برای محور سه‌گانه و $P_t = 2/5$.

عدد ضخامت روسازی (SN)						بار محوری (تن)
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
-/۶۹۹۳	-/۷۳۰۲	-/۷۷۶۱	-/۷۸۷۸	-/۷۲۱	-/۶۷۳۲	۲۰
۱/۰۵۴۷	۱/۰۸۰۶	۱/۱۱۵۱	۱/۱۱۴۸	۱/۰۶۲۱	۱/۰۲۷۷	۲۲
۱/۵۲۵	۱/۵۳۳۸	۱/۵۴۱۲	۱/۵۴۱۲	۱/۵۲۵	۱/۵۱۹۶	۲۴
۲/۱۳۶	۲/۱۰۲	۲/۰۷۳۹	۲/۰۷۹	۲/۱۴۲۸	۲/۱۷۶۱	۲۶

۳۶

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

مثال



مثال ۹-۱۵:

برای یک وسیله نقلیه با دو محور منفرد با چرخ زوج در حالتی که وزن محور آن ۴۰۰۰ کیلوگرم باشد، با فرض شاخص خدمت‌دهی نهایی (P_t) برابر با ۲/۵ و عدد سازه‌ای برابر با ۴، ضریب بار هم‌ارز وسیله نقلیه را محاسبه کنید.

حل:

با توجه به اعداد ارائه شده در جدول (۹-۹)، ضریب بار هم‌ارز هر محور این وسیله نقلیه برابر با ۰/۰۶۶ به دست می‌آید که با توجه به دو محور بودن وسیله نقلیه، ضریب هم‌ارزی مجموع برای آن معادل ۰/۱۳۲ خواهد بود. باید در نظر داشت که اگر هر طرف از محورهای وسیله نقلیه به جای دو چرخ دارای یک چرخ (چرخ منفرد به جای چرخ زوج) باشد، آنگاه ضریب بار هم‌ارز ۱۰٪ افزایش می‌یابد.

۳۷

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

محاسبه ترافیک در دوره طراحی روسازی



$$ESAL_n = EAL_1 \frac{(1+g)^n - 1}{g} \quad (۵۶-۹)$$

که در این رابطه:

$ESAL_n$ = تعداد کل ترافیک عبوری در n سال دوره طرح برحسب تعداد محور ساده استاندارد؛

EAL_1 = تعداد کل ترافیک عبوری در سال اول طرح برحسب تعداد محور ساده استاندارد؛

g = ضریب رشد سالیانه ترافیک.

تعداد ترافیک یا تعداد محورهای استاندارد عبوری از خط طرح از رابطه (۹-۵۷) به دست می‌آید.

$$W_{18} = D_D \times D_L \times ESAL_n \quad (۵۷-۹)$$

که در این رابطه:

W_{18} = تعداد کل محورهای استاندارد عبوری در دوره طرح از خط طرح؛

D_D = ضریب توزیع جهتی ترافیک؛

D_L = ضریب توزیع خطی ترافیک (جدول ۹-۱۵). این جدول صرفاً جنبه راهنما داشته و مهندس

طراح باید دلایل توجیهی انتخاب ضریب توزیع ترافیک در خط طرح پروژه مورد نظر را ارائه نماید.

۳۸

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

ضرایب توزیع خطی ترافیک



جدول ۹-۱۵: درصد عبوری از خط طرح.

درصد عبوری از خط (DL)	تعداد خط در هر جهت
۱۰۰	۱
۸۰-۱۰۰	۲
۶۰-۸۰	۳
۵۰-۷۵	۴

۳۹

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

مثال نحوه محاسبه ترافیک طرح



مثال ۹-۱۶:

متوسط ترافیک روزانه یک آزادراه چهار خطه با نشانه خدمت دهی نهایی ۳ در سال اول گشایش طرح در دو جهت رفت و برگشت برابر ۲۰,۰۰۰ وسیله نقلیه در روز شمارش شده است که تعداد هر یک از وسایل نقلیه در جدول (۹-۱۶) و در زیر نام آن‌ها قید شده است. اگر نرخ رشد سالانه برای گروه وسایل نقلیه سواری و وانت برابر ۶٪ و برای سایر گروه‌های وسایل نقلیه برابر ۴/۵٪ باشد، تعداد کل محورهای معادل برای دوره طرح ۲۰ ساله را محاسبه کنید. عدد سازه‌ای روسازی را برابر با ۵ در نظر بگیرید. همچنین ضریب توزیع جهتی ترافیک برابر با ۰/۵ و ضریب توزیع خطی برابر با ۰/۹ در نظر گرفته شده است.

۴۰

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

Pavement Engineering

مثال نحوه محاسبه ترافیک طرح



جدول ۹-۱۶: نمونه محاسبات تعداد محورهای استاندارد.

انواع کلسیون				انویوس	میشی‌یوس	وانت	سواری	نوع وسیله نقلیه
محور ۴	محور ۳	محور ۲ سبک	محور ۲ سنگین					
۲۱۹۰۰۰	۲۶۵۰۰۰	۲۱۹۰۰۰	۵۸۴۰۰۰	۲۱۹۰۰۰	۲۱۹۰۰۰	۱۶۶۰۰۰۰	۶۰۱۵۰۰۰	حجم ترافیک در سال اول طرح
۶۸۷۰۰۲۰	۱۱۲۵۰۰۵۰	۶۸۷۰۰۲۰	۱۸۳۲۰۰۸۰	۶۸۷۰۰۲۰	۶۸۷۰۰۲۰	۵۲۷۱۳۴۰۰	۱۶۲۷۱۱۸۵۰	حجم ترافیک در مدت ۲۰ ساله طرح
۳۱۵۹۵	۳۱۰۵۴	۱/۷۳۹	۵/۸۰۳	-۱/۳۳۶۱	-۱۰۰۶۱۲۲	-۱۰۰۴۴۲	-۱۰۰۰۰۷۶	ضریب بار هم‌اوزن وسیله نقلیه
۲۳۶۱۷۷۵۸	۲۳۶۸۲۵۲	۱۱۸۷۸۲۸	۸۷۹۱۱۲۳۵	۲۳۶۰۶۱۱	۲۸۲۱۸۲	۲۳۷۹۵۱	۱۱۲۲۶۱	جمع تعداد محور استاندارد در دوره طرح
								ESAL ₈
								W _{8.1}

۴۱

مهندسی روسازی

دانشگاه صنعتی سیرجان

