سقف عرشه فولادی

ارائه شماره ٤ :
روند کنترل محاسباتی سقف مرکب عرشه فولادی، مباحثی درباره طراحی ورق و سایر اجزای سقف عرشه فولادی، آتش سوزی و ...

سخنران : هومن کیانی

خرداد ماه ۱۳۹۵

فرضیات کنترل سقف عرشه فولادی :

- ✓ کنترل ورق تحت بارهای حین اجرا :
  - تحمل بارهای حین اجرا در هر دو نوع از سقف های مرکب و غیر مرکب توسط ورق عرشه فولادی
  - کنترل خیز تحت بار مرده با حداکثر خیز مجاز ($\min(\frac{L}{180}, 0.75\ inch(1.90\ cm))$)
- ✓ کنترل مقطع مرکب :
  - با فرض اتصال کامل بتن به ورق به وسیله اصطکاک و اتصال شیمیایی بین بتن و فولاد
  - در نظر گرفتن ورق به عنوان آرماتور کششی برای دال بتنی
  - طراحی برای حالت تک دهانه (لنگر مثبت)
  - محاسبه ظرفیت خمشی مقطع بر اساس تنش تسلیم ورق

روند کنترل محاسباتی سقف مرکب عرشه فولادی
مباحث آتش سوزی در سقف های عرشه فولادی
طراحی ورق عرشه فولادی
طراحی ورق فلاشینگ و پر کننده
افزایش خیز حین بتن ریزی

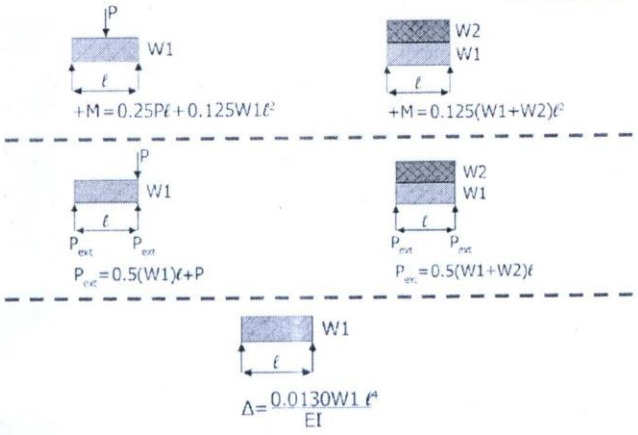
فهرست مطالب :

روند کنترل محاسباتی سقف مرکب عرشه فولادی
مباحث آتش سوزی در سقف های عرشه فولادی
طراحی ورق عرشه فولادی
طراحی ورق فلاشینگ و پر کننده
افزایش خیز حین بتن ریزی

مثال ۱ : محاسبه حداکثر طول دهانه مجاز ورق (بدون شمع بندی)

پیوست شماره ۱
SDI C-2011
← محاسبه مقادیر لنگر، عکس العمل های تکیه گاهی و خیز بحرانی برای حالت های ۱، ۲ و ۳ دهانه

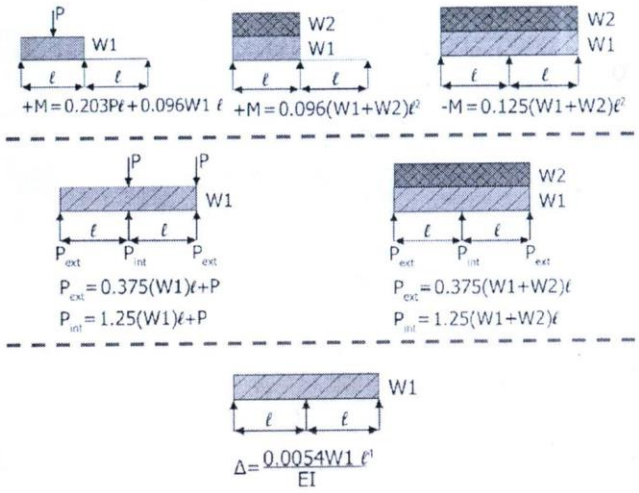
حالت تک دهانه :



روند کنترل محاسباتی سقف مرکب عرشه فولادی
مباحث آتش سوزی در سقف های عرشه فولادی
طراحی ورق عرشه فولادی
طراحی ورق فلاشینگ و پر کننده
افزایش خیز حین بتن ریزی

مثال ۱ :

مقادیر بحرانی لنگر، عکس العمل های تکیه گاهی و خیز - حالت ۲ دهانه :



مثال ۱ :

ورق عرشه فولادی : 12 × 2 اینچ – ضخامت : 20 gage

(30.5 × 5 سانتی متر – ضخامت : 0.91 میلی متر)

	US	SI
ضخامت کل دال	4.5 inch	11.4 cm
وزن مخصوص بتن	145 pcf	2323 kg/m^3
P	150 lb	68 kgf
$W1$	45.8 psf	223.6 kg/m^2
$W2$	20 psf	97.7 kg/m^2

مثال ۱ :

پارامترها :

$P = P_{lc}$:	بار زنده متمرکز حین ساخت
I :	ممان اینرسی مقطع ورق عرشه (در واحد طول)
$W1 = W_{dc} + W_{dd}$:	وزن واحد سطح دال+ وزن واحد سطح ورق
$W2 = W_{lc}$:	بار زنده گسترده حین ساخت
L :	طول آزاد دهانه

روند کنترل :

- ✓ کنترل برای لنگر و برش
- ✓ کنترل برای بار متمرکز عکس العمل های تکیه گاهی
- ✓ کنترل برای خیز

مثال ۱ :

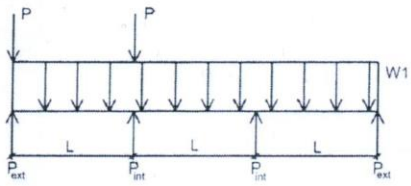
جدول 1A – فصل ۵ SDI Floor Deck Design (2014) :

مشخصات مقطع و مقادیر لنگر خمشی مجاز ورق عرشه فولادی مرکب

							ASD (Ω = 1.67)		LRFD (Φ = 0.90)	
Profile	Gage Number	Design Thickness (inches)	I_p (inch^4)	I_n (inch^4)	S_p (inch^3)	S_n (inch^3)	M_p/Ω inch-lbs	M_n/Ω inch-lbs	ΦM_p inch-lbs	ΦM_n inch-lbs
1.5x6	22	0.0295	0.1424	0.1732	0.1693	0.1753	4055	4199	6095	6311
1.5x6	20	0.0358	0.1850	0.2104	0.2098	0.2244	5025	5375	7553	8078
1.5x6	18	0.0474	0.2675	0.2791	0.2855	0.2963	6838	7097	10278	10667
1.5x6	16	0.0598	0.3528	0.3528	0.3666	0.3722	8781	8915	13198	13399
1.5x6 INV	22	0.0295	0.1732	0.1424	0.1753	0.1693	4199	4055	6311	6095
1.5x6 INV	20	0.0358	0.2104	0.1850	0.2244	0.2098	5375	5025	8078	7553
1.5x6 INV	18	0.0474	0.2791	0.2675	0.2963	0.2855	7097	6838	10667	10278
1.5x6 INV	16	0.0598	0.3528	0.3528	0.3722	0.3666	8915	8781	13399	13198
2x12	22	0.0295	0.2960	0.2878	0.2453	0.2497	5875	5981	8831	8999
2x12	20	0.0358	0.3765	0.3671	0.3246	0.3295	7775	7892	11686	11862
2x12	18	0.0474	0.5000	0.4949	0.4736	0.4664	11344	11171	17050	16790
2x12	16	0.0598	0.6315	0.6248	0.5982	0.5872	14328	14065	21535	21139
3x12	22	0.0295	0.7283	0.7351	0.3994	0.4363	9566	10450	14378	15707
3x12	20	0.0358	0.9214	0.9318	0.5248	0.5734	12565	13734	18886	20642
3x12	18	0.0474	1.2213	1.2673	0.7534	0.7845	18046	18790	27122	28242
3x12	16	0.0598	1.5426	1.5995	0.9536	0.9904	22841	23722	34330	35654

مثال ۱ :

حالت بارگذاری ۴:



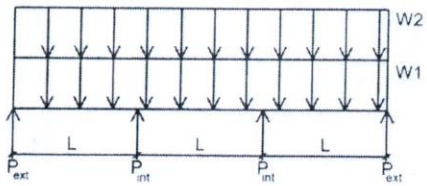
$P_{ext} = 0.4(W1)L + P$

$P_{int} = 1.1(W1)L + P$

$P_{int} = 1.1(W1)L + P = 1.1(45.8)L + 150 = 804$

$L = 13.04\ ft$

حالت بارگذاری ۵:



$P_{ext} = 0.4(W1 + W2)L$

$P_{int} = 1.1(W1 + W2)L$

$P_{int} = 1.1(W1 + W2)L = 1.1(45.8 + 20)L = 804$

$L = 11.15\ ft$

مثال ۱ :

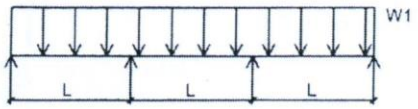
حالت بارگذاری ۶:

Normal Weight Concrete (145 pcf)

Total Slab Depth	Deck Type	Maximum Unshored Clear Span		
		1 span	2 span	3 span
4.00 (t=2.00) 40 PSF	2x12x22 ga	6'-11	7'-8	8'-2
	2x12x20 ga	8'-4	9'-4	9'-8
	2x12x18 ga	10'-4	11'-1	11'-5
	2x12x16 ga	11'-2	12'-5	12'-10
4.50 (t=2.50) 46 PSF	2x12x22 ga	6'-7	6'-11	7'-9
	2x12x20 ga	7'-11	8'-10	9'-2
	2x12x18 ga	9'-10	10'-6	10'-11
	2x12x16 ga	10'-7	11'-9	12'-2
5.00 (t=3.00) 52 PSF	2x12x22 ga	6'-2	6'-4	7'-2
	2x12x20 ga	7'-7	8'-6	8'-9
	2x12x18 ga	9'-6	10'-1	10'-5
	2x12x16 ga	10'-2	11'-3	11'-8
5.50 (t=3.50) 58 PSF	2x12x22 ga	5'-6	5'-10	6'-7
	2x12x20 ga	7'-3	8'-1	8'-5
	2x12x18 ga	9'-1	9'-8	10'-0
	2x12x16 ga	9'-10	10'-10	11'-2
6.00 (t=4.00) 64 PSF	2x12x22 ga	5'-0	5'-5	6'-2
	2x12x20 ga	7'-0	7'-9	8'-1
	2x12x18 ga	8'-9	9'-3	9'-7
	2x12x16 ga	9'-6	10'-5	10'-9
6.50 (t=4.50) 70 PSF	2x12x22 ga	4'-6	5'-0	5'-8
	2x12x20 ga	6'-9	7'-3	7'-9
	2x12x18 ga	8'-6	8'-11	9'-3
	2x12x16 ga	9'-2	10'-0	10'-4

مثال ۱ :

حالت بارگذاری ۶:



$$\Delta = \frac{0.0069(W1)(L^4)}{EI}$$

$$\Delta_{max} = \frac{L}{180}$$

$$\Delta = \frac{L \times 12}{180} = \frac{0.0069(45.8) \times L^4 \times (1728)}{29.5 \times 10^6 \times \frac{(0.3765 + 0.3671)}{2}}$$

$L = 11.02\ ft$

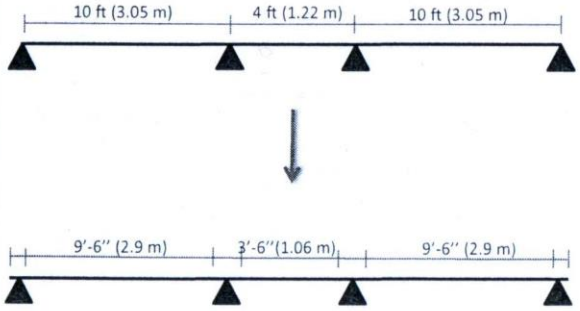
$\Delta_{max} = 0.75\ in$

$$\Delta = 0.75 = \frac{0.0069(45.8) \times L^4 \times (1728)}{29.5 \times 10^6 \times \frac{(0.3765 + 0.3671)}{2}}$$

$L = 11.08\ ft$

مثال ۲ : کنترل دال عرشه با دهانه ها و عرض های تکیه گاهی متفاوت

✓ کنترل دال عرشه با مشخصات مثال ۱ اما با دهانه های غیر مساوی و عرض نشیمن تکیه گاهی متفاوت



- عرض نشیمن تکیه گاه های داخلی : ۶ اینچ (۱۵ سانتی متر)
- عرض نشیمن تکیه گاه های خارجی : ۳ اینچ (۷/۵ سانتی متر)

مثال ۱ :

جدول 5A – فصل ۵ SDI Floor Deck Design (2014) :
مقادیر مجاز برشی و کمانش جان ورق عرشه فولادی مرکب

Profile	Gage Number	Shear (lbs) ASD Ω = 1.60	Shear (lbs) LRFD Φ=0.95	Web Crippling ASD (lbs) Ω = 1.70 OFE	Ω = 1.75 OFI	Ω = 1.80 TFE	Ω = 1.75 TFI	Web Crippling LRFD (lbs) Φ=0.90 OFE	Φ=0.85 OFI	Φ=0.85 TFE	Φ=0.85 TFI
1.5x6	22	1689	2537	649	1077	623	1331	993	1602	954	1981
1.5x6	20	2003	3045	926	1565	955	1958	1417	2327	1460	2912
1.5x6	18	2617	3979	1575	2715	1776	3446	2409	4039	2717	5126
1.5x6	16	3203	4868	2374	4147	2844	5308	3632	6169	4351	7895
2x12	22	1241	1887	319	555	289	672	488	826	443	1020
2x12	20	1496	2275	456	804	446	888	697	1196	682	1470
2x12	18	1973	2999	775	1389	835	1738	1186	2066	1277	2586
2x12	16	2437	3704	1169	2113	1341	2674	1789	3143	2052	3977
3x12	22	1510	2296	334	613	282	717	510	912	432	1067
3x12	20	2224	3381	479	887	440	1058	733	1319	674	1573
3x12	18	3312	5034	820	1527	836	1866	1254	2271	1280	2776
3x12	16	4110	6247	1239	2318	1355	2874	1896	3448	2073	4275

مثال ۱ :

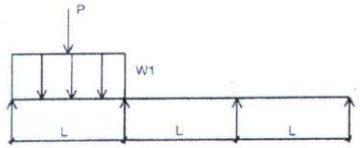
مشخصات ورق :

	US	SI
A_s	0.537 in^2/ft	11.37 cm^2/m
I_p	0.3765 in^4/ft	51.41 cm^4/m
I_n	0.3671 in^4/ft	51.13 cm^4/m
S_p	0.3246 in^3/ft	17.45 cm^3/m
S_n	0.3295 in^3/ft	17.71 cm^3/m
M_p/Ω	7775 $in.lbs/ft$	29389 $kg.cm/m$
M_n/Ω	7892 $in.lbs/ft$	29831 $kg.cm/m$
V/Ω	1496 lbs/ft	2226.3 kg/m
R/Ω – OFE (*)	456 lbs/ft	678.6 kg/m
R/Ω - OFI(*)	804 lbs/ft	1196.5 kg/m

* مقادیر R/Ω با فرض عرض نشیمن ۲ اینچ در حالت بار انتهای دهانه و ۴ اینچ در حالت بار داخل دهانه به دست آمده اند.

مثال ۱ :

حالت بارگذاری ۱:

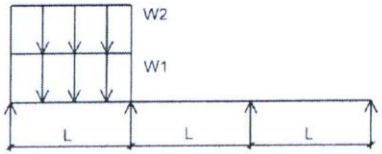


$+M = 0.2PL + 0.094(W1)(L^2)$

$7775 = +M = 0.20(150)(L) + \frac{0.094(45.8)(L^2)}{12}$

L = 108.7 inch = 9.06 ft

حالت بارگذاری ۲:



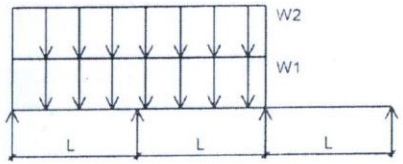
$+M = 0.094(W1 + W2)(L^2)$

$7775 = -M = \frac{0.094L^2(45.8 + 20)}{12}$

L = 122.8 inch = 10.23 ft

مثال ۱ :

حالت بارگذاری ۳:



$-M = 0.117(W1 + W2)(L^2)$

$7892 = -M = \frac{0.117L^2(45.8 + 20)}{12}$

L = 110.09 inch = 9.24 ft

$V = 0.617(W1 + W2)L = 0.6(45.8 + 20)L = 1496$

L = 36.85 ft

کنترل برای اندرکنش برش و خمش طبق رابطه C3.3.1-1 آیین نامه AISI S100 :

$$\sqrt{\left(\frac{M_{applied}}{M_n/\Omega}\right)^2 + \left(\frac{V_{applied}}{V_n/\Omega}\right)^2} \le 1.0$$

$M_{applied} = 0.117 \times L^2(45.8 + 20) \times 12 = 92.38L^2$ inch-lb

$V_{applied} = 0.617L(45.8 + 20) = 40.60L$

$$\sqrt{\left(\frac{92.38L^2}{7892}\right)^2 + \left(\frac{40.60L}{1496}\right)^2} = 1.0$$

L = 9.10 ft

مثال ۲ :

✓ حصول مقادیر لنگر، برش و عکس العمل های بحرانی تیر سراسری از تحلیل سازه

حالت بارگذاری ۱:

$V = 336\ lbs$ $\quad \boxed{M+ = 7632\ in-lb}$ $\quad M- = 7464\ in-lb$

حالت بارگذاری ۲:

$V = 389\ lbs$ $\quad M+ = 6588\ in-lb$ $\quad M- = 7200\ in-lb$

حالت بارگذاری ۳:

$\boxed{V = 392\ lbs}$ $\quad M+ = 6432\ in-lb$ $\quad \boxed{M- = 7608\ in-lb}$

اندرکنش برش و خمش:

$$\sqrt{\left(\frac{M_{applied}}{M_n/\Omega}\right)^2+\left(\frac{V_{applied}}{V_n/\Omega}\right)^2} \le 1.0 \rightarrow \sqrt{\left(\frac{7608}{7892}\right)^2+\left(\frac{392}{1496}\right)^2} = 0.998 - OK$$

مثال ۲ :

$P_n = A(1 + B\sqrt{N})$

P_n : مقاومت اسمی کمانش جان ورق

N : عرض نشیمن بار متمرکز

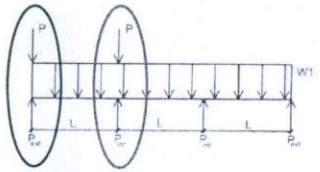
F_y = 40 ksi			OFE	OFI	TFE	TFI
1.5 x 6	22	A	396	702	561	756
		B	1.46	0.99	0.82	1.22
	20	A	601	1082	901	1186
		B	1.32	0.90	0.74	1.11
	18	A	1115	2045	1791	2288
		B	1.14	0.78	0.64	0.96
	16	A	1792	3323	3009	3772
		B	1.02	0.70	0.57	0.86
2 x 12	22	A	177	326	242	341
		B	1.46	0.99	0.82	1.22
	20	A	270	503	392	537
		B	1.32	0.90	0.74	1.11
	18	A	504	951	788	1042
		B	1.14	0.78	0.64	0.96
	16	A	813	1547	1334	1722
		B	1.02	0.70	0.57	0.86
3 x 12	22	A	172	333	221	336
		B	1.46	0.99	0.82	1.22
	20	A	263	515	365	531
		B	1.32	0.90	0.74	1.11
	18	A	496	974	747	1036
		B	1.14	0.78	0.64	0.96
	16	A	804	1586	1278	1720
		B	1.02	0.70	0.57	0.86
	Ω (ASD)		1.70	1.75	1.80	1.75
	Φ (LRFD)		0.90	0.85	0.85	0.85

مثال ۲ :

حالت بارگذاری ۴:

بارگذاری روی دو بال

(Two Flange Loading)



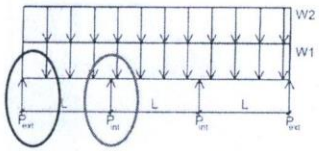
$\rightarrow P_{ext} = 274\ lbs$ بارگذاری روی دو بال و لبه انتهایی – (TFE)

$\rightarrow P_{int} = 525\ lbs$ بارگذاری روی دو بال و لبه داخلی – (TFI)

حالت بارگذاری ۵:

بارگذاری روی یک بال

(One Flange Loading)



$\rightarrow P_{ext} = 191\ lbs$ بارگذاری روی یک بال و لبه انتهایی – (OFE)

$\rightarrow P_{int} = 358\ lbs$ بارگذاری روی یک بال و لبه داخلی – (OFI)

مثال ۲ :

OFE N = 3" A = 270 B = 1.32 Ω = 1.70

$P_n = A(1+B\sqrt{N}) = 270(1+1.32\sqrt{3}) = 887$

$P_n/\Omega = 887 / 1.70 = 522$ lbs

TFE N = 3" A = 392 B = 0.74 Ω = 1.80

$P_n = A(1+B\sqrt{N}) = 392(1+0.74\sqrt{3}) = 1288$

$P_n/\Omega = 1288 / 1.80 = 716$ lbs

OFI N = 6" A = 503 B = 0.90 Ω = 1.75

$P_n = A(1+B\sqrt{N}) = 503(1+0.90\sqrt{6}) = 1612$

$P_n/\Omega = 1612 / 1.75 = 921$ lbs

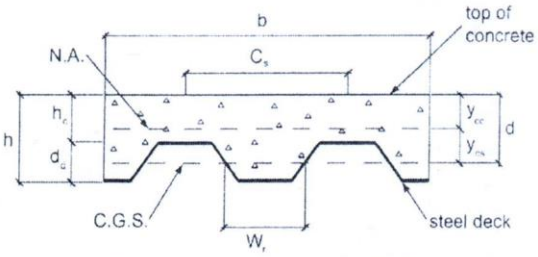
TFI N = 6" A = 537 B = 1.11 Ω = 1.75

$P_n = A(1+B\sqrt{N}) = 537(1+1.11\sqrt{6}) = 1997$

$P_n/\Omega = 1997 / 1.75 = 1141$ lbs

مثال ۳ : مشخصات مقطع دال مرکب

✓ محاسبه مشخصات مقطع مرکب برای سقفی با مشخصات مثال ۱



$C.G.S$	محور تار خنثی مقطع کاهش نیافته ورق عرشه فولادی	
$N.A$	تار خنثی مقطع مرکب تبدیل یافته	
C_s	گام ورق (فاصله میان مرکز دو قله یا دو قعر متوالی)	= 12 in
W_r	عرض میانگین ورق دندانه های ورق	= 6 in
d_d	ارتفاع ورق	= 2 in
h	ارتفاع کل دال	= 4.5 in
h_c	ارتفاع بتن روی تاج ورق	= 2.5 in

مثال ۳ :

محاسبه ممان اینرسی مقطع مرکب ترک خورده :

رابطه A4-2
SDI C-2011

$$I_c = \frac{b}{3n}(y_{cc})^3 + A_s(y_{cs})^2 + I_{sf}$$

$$= \frac{12}{3(9)}(1.32)^3 + (0.537)(2.18)^2 + 0.3765 = 3.95 \text{ inch}^4$$

I_{sf} : ممان اینرسی مقطع کاهش نیافته ورق عرشه فولادی در واحد عرض دال $= 0.3765 \text{ inch}^4$

محاسبه محل تار خنثی مقطع مرکب ترک نخورده :

رابطه A4-3
SDI C-2011

$$y_{cc} = \frac{0.5(b)(h_c)^2 + nA_s d + W_r d_d (h - 0.5d_d)\frac{b}{C_s}}{bh_c + nA_s + W_r d_d \frac{b}{C_s}}$$

$$= \frac{0.5(12)(2.5)^2 + 9(0.537)(3.50) + (6)(2)(4.5-1)\left(\frac{12}{12}\right)}{(12)(2.5) + (9)(0.537) + (6)(2)\left(\frac{12}{12}\right)} = 2.06 \text{ inch}$$

مثال ۳ :

محاسبه محل تار خنثی مقطع مرکب ترک خورده :

رابطه A4-1
SDI C-2011

$$y_{cc} = d\left\{\sqrt{2\rho n + (\rho n)^2} - \rho n\right\} \le h_c$$

$$= 3.50\left\{\sqrt{(2)(0.01278)(9) + [(0.01278)(9)]^2} - (0.01278)(9)\right\} = 1.32 \text{ inch}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{0.537}{(12)(3.5)} = 0.01278$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 9$$

A_S	سطح مقطع ورق عرشه فولادی در واحد عرض دال
b	واحد عرض دال
d	فاصله روی سطح بتن تا محور N.A
n	نسبت مدول الاستیسیته فولاد به مدول الاستیسیته بتن

$$y_{cs} = d - y_{cc} = 3.50 - 1.32 = 2.18 \text{ inch}$$

مثال ۳ :

محاسبه ممان اینرسی مقطع مرکب ترک نخورده :

رابطه A4-4
SDI C-2011

$$I_u = \frac{b(h_c)^3}{12n} + \frac{bh_c}{n}(y_{cc} - 0.5h_c)^2 + I_{sf} + A_s(y_{cs})^2 + \frac{W_r bd_d}{nC_s}\left[\frac{d_d^2}{12} + (h - y_{cc} - 0.5d_d)^2\right]$$

$$= \frac{12(2.5)^3}{12(9)} + \frac{12(2.5)}{9}(2.06 - 1.25)^2 + 0.3765 + 0.537(1.44)^2 + \frac{6(12)(2)}{9(12)}\left[\frac{2^2}{12} + (4.5 - 2.06 - 1)^2\right]$$

$$= 8.62 \text{ inch}^4$$

ممان اینرسی موثر مقطع مرکب جهت استفاده در محاسبات خیز:

✓ میانگین ممان های اینرسی ترک خورده و ترک نخورده

رابطه A4-5
SDI C-2011

$$I_d = \frac{I_u + I_c}{2} = \frac{8.62 + 3.95}{2} = 6.28 \text{ in}^4$$

مثال ٤ : کنترل دال مرکب در برابر بار متمرکز

- ✓ کنترل سقف مثال ۱ جهت تحمل بار متمرکز 2000 lb (907 kg)
- ✓ ابعاد بار متمرکز : $4.5 \times 4.5\ in^2$ ($11.43 \times 11.43\ cm^2$)
- ✓ به روش LRFD

W_{DL}	بار مرده شامل وزن بتن و عرشه	46 psf	$225\ kg/m^2$
$W_{LL,const}$	بار زنده حین ساخت	20 psf	$9\ kg/m^2$
$W_{const} = W_{DL} + W_{LL,const}$	بار کل حین ساخت	66 psf	$322\ kg/m^2$
P^*	بار زنده متمرکز	2000 lb	907 kg
W_{LL}	بار گسترده متمرکز	100 psf	$488\ kg/m^2$

* بار زنده متمرکز به صورت غیر همزمان با بار زنده گسترده فرض شده است

روند کنترل :

- ✓ محاسبه عرض موثر بار متمرکز در دو جهت متعامد
- ✓ کنترل برش
- ✓ کنترل خمش در دو جهت قوی و ضعیف دال
- ✓ کنترل خیز
- ✓ کنترل برش پانچ نزدیک تیرها

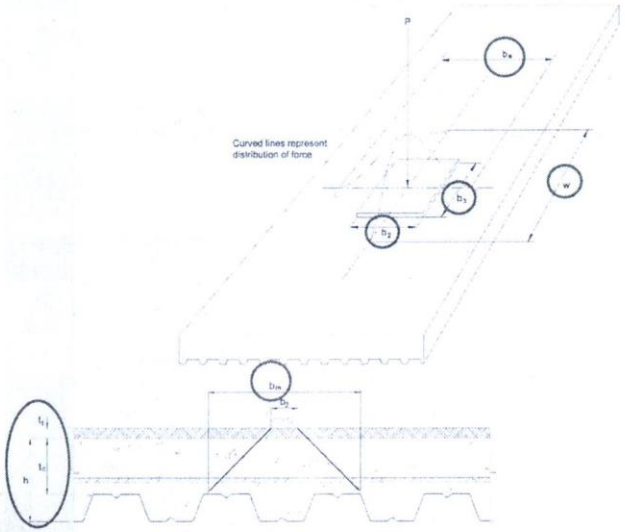
مثال ٤ :

- ✓ محاسبه عرض موثر بار متمرکز در دو جهت متعامد

b_e	:	عرض موثر بار متمرکز در جهت عمود بر ورق
b_m	:	عرض بیرون زده بار متمرکز در جهت عمود بر ورق
b_2	:	عرض واقعی بار متمرکز در جهت عمود بر ورق
b_3	:	عرض واقعی بار متمرکز در جهت موازی ورق
h	:	عمق کل دال مرکب
L	:	طول دهانه دال عرشه (مرکز تا مرکز تکیه گاه ها)
P	:	مقدار بار متمرکز
t_c	:	ضخامت بتن روی ورق
t_f	:	ضخامت کف سازی روی بتن
W	:	طول موثر بار متمرکز در جهت موازی ورق
x	:	فاصله از مرکز بار متمرکز تا نزدیک ترین تکیه گاه

مثال ٤ :

- ✓ محاسبه عرض موثر بار متمرکز در دو جهت متعامد



مثال ٤ :

- ✓ محاسبه عرض موثر بار متمرکز در دو جهت متعامد

$b_m = b_2 + 2t_c + 2t_f$

$h = 4.5$ inch

$t_c = 2.5$inch

$t_f = 0$ inch

$b_m = 4.5 + 2(2.25) + 0 = 9.5$ inch

❖ برای محاسبه لنگر بحرانی بار در وسط دهانه در نظر گرفته می شود :

خمش – دهانه منفرد :

$$b_e = b_m + (2)(1\text{-}x/L)x \quad \leq \quad 106.8\,(t_c/h)$$

خمش – دهانه های متوالی :

$$b_e = b_m + (4/3)(1\text{-}x/L)x \quad \leq \quad 106.8\,(t_c/h)$$

$$\rightarrow b_e = 9.5 + 2\left(1 - \frac{54}{108}\right)(54) = 63.5\ \text{inch} \leq 59\ \text{inch}$$

$$\boxed{b_e = 59\ \text{inch}}$$

مثال ٤ :

✓ محاسبه عرض موثر بار متمرکز در دو جهت متعامد

$$b_{ev} = b_m + (1-x/L)x \le 106.8\,(t_c/h)$$

❖ برای محاسبه برش بحرانی بار به فاصله ارتفاع تیر از مرکز تکیه گاه در نظر گرفته می شود:

$$b_{ve} = b_m + \left(1-\frac{h}{L}\right)(x) = 9.5 + \left(1-\frac{4.5}{108}\right)(4.5) = 13.8 \text{ inch} \le 59 \text{ inches}$$

✓ کنترل برش

❖ تبدیل بار متمرکز به بار گسترده خطی معادل :

$$w_{pv} = \frac{P}{b_{ve}} = 1739.13 \text{ plf}$$

❖ محاسبه برش ضریبدار :

$$V_u = 1.2(W_{DL})L + 1.6(W_{pv}) = (1.2 \times 46 \times 9) + (1.6 \times 1739) = 3279 \text{ plf}$$

❖ کنترل با برش مجاز:

$\Phi V_{nt} = 4716$ plf

4716 plf ≥ 3279 plf OK

مثال ٤ :

✓ کنترل خمش در دو جهت قوی و ضعیف دال

❖ محاسبه لنگر مثبت ضریبدار در وسط دهانه – در نظر گرفتن بار زنده گسترده :

$$M_{pos(WLL)} = 0.125(1.2W_{DL} + 1.6W_{LL})(L^2)$$
$$= 0.125(1.2 \times 46 + 1.6 \times 100)(9^2)$$
$$M_{pos(WLL)} = 2179 \text{ ft-lbs} \longrightarrow \text{کنترل کننده}$$

ΦM_{no} = 42.3 in-kips = 3525 ft-lb

3525 ≥ 2179 ft-lbs OK

	Factored Yield Moment – ΦM_n (inch-kip per foot)							
	F_y = 40 ksi f'_c = 3000 psi Normalweight Concrete (n=9)				F_y = 40 ksi f'_c = 3000 psi Lightweight Concrete (n=14)			
Slab Depth (inches)	22 ga in^4/ft	20 ga in^4/ft	18 ga in^4/ft	16 ga in^4/ft	22 ga in^4/ft	20 ga in^4/ft	18 ga in^4/ft	16 ga in^4/ft
4.5	35.44	42.30	54.35	66.69	33.86	40.27	51.43	62.77
5	41.73	49.84	64.16	78.85	39.99	47.59	60.90	74.45
5.25	44.95	53.71	69.19	85.11	43.13	51.35	65.78	80.49
5.5	48.21	57.62	74.29	91.45	46.32	55.17	70.74	86.63
6	54.82	65.57	84.68	104.39	52.80	62.95	80.86	99.20
6.25	58.16	69.59	89.94	110.95	56.08	66.89	86.00	105.59
6.5	61.53	73.65	95.25	117.58	59.39	70.87	91.19	112.05
7	68.33	81.84	105.97	130.97	66.08	78.92	101.70	125.13
7.25	71.75	85.97	111.38	137.73	69.45	82.97	107.00	131.75
7.5	75.19	90.11	116.82	144.52	72.84	87.05	112.34	138.40

مثال ٤ :

✓ کنترل برش

2x12 Deck

Slab Thickness (in)	F_y = 40 ksi – Normalweight Concrete (145 pcf)				F_y = 40 ksi – Lightweight Concrete (115 pcf)			
	ΦV_n (22 ga)	ΦV_n (20 ga)	ΦV_n (18 ga)	ΦV_n (16 ga)	ΦV_n (22 ga)	ΦV_n (20 ga)	ΦV_n (18 ga)	ΦV_n (16 ga)
4.5	4368	4716	5361	5361	3898	4021	4021	4021
5	4789	5116	5764	6162	3999	4348	4621	4621
5.25	4977	5324	5972	6578	4155	4502	4933	4933
5.5	5190	5537	6185	6816	4315	4662	5253	5253
6	5632	5979	6627	7258	4646	4993	5641	5915
6.25	5860	6207	6855	7486	4817	5164	5812	6258
6.5	6094	6441	7089	7720	4992	5339	5988	6609
7	6576	6924	7572	8203	5354	5701	6350	6981
7.25	6772	7119	7767	8398	5501	5848	6496	7127
7.5	6967	7314	7962	8593	5647	5994	6642	7273

✓ کنترل خمش در دو جهت قوی و ضعیف دال

b_e = 59 inch

❖ تبدیل بار متمرکز به بار گسترده خطی معادل :

$$w_{pb} = \frac{P}{b_e} = \frac{2000}{\left(\frac{59}{12}\right)} = 406.78 \text{ plf}$$

❖ محاسبه لنگر مثبت ضریبدار در وسط دهانه – در نظر گرفتن بار زنده متمرکز :

$$M_{pos(P)} = 0.125(1.2W_{DL})(L^2) + 0.25(1.6W_{pb})(L) = 0.125(1.2 \times 46 \times 9^2) + 0.25(1.6 \times 407 \times 9)$$

$$M_{pos(P)} = 2024 \text{ ft-lbs}$$

مثال ٤ :

✓ کنترل خمش در دو جهت قوی و ضعیف دال

❖ خمش جهت ضعیف – استفاده از شبکه آرماتور در وسط دهانه:

$$W = \frac{L}{2} + b_3 = 58.5 \text{ in} \le 108 \text{ in}$$

b_e = 59 in

$$M_{weakaxis} = \frac{Pb_e}{15w} = \frac{1.6(2000)(59)}{15(58.5)} = 215.2 \text{ in-lbs/in} = 2583 \text{ in-lbs/ft}$$

استفاده از شبکه آرماتور با فاصله ۶ اینچ و قطر ۰/۱۶۳ اینچ

$A_s = 0.042 \text{ in}^2/\text{ft}$

b = 12 in

d = $t_c/2$ = 1.25 in

$$a = \frac{F_y A_s}{\Phi(b)(f'_c)} = \frac{60(0.042)}{0.90(12)(3)} = 0.078 \text{ in}$$

$$\phi M_n = \phi F_y A_s\left(d - \frac{a}{2}\right) = 0.90(60)(0.042)\left(1.25 - \frac{0.078}{2}\right) = 2.746 \text{ in- kips/ft}$$

2583 in-lbs/ft < 2746 inch-lbs/ft OK

مثال ٤ :

✓ کنترل خیز

استفاده از ممان اینرسی طراحی، محاسبه شده در مثال ۳

Slab Depth (inches)	I_p 22 ga in⁴/ft	I_p 20 ga in⁴/ft	I_p 18 ga in⁴/ft	I_p 16 ga in⁴/ft	I_n 22 ga in⁴/ft	I_n 20 ga in⁴/ft	I_n 18 ga in⁴/ft	I_n 16 ga in⁴/ft	I_a 22 ga in⁴/ft	I_a 20 ga in⁴/ft	I_a 18 ga in⁴/ft	I_a 16 ga in⁴/ft
4.5	7.96	8.50	9.45	10.41	3.41	3.95	4.84	5.69	5.69	6.23	7.15	8.06
5	10.81	11.48	12.65	13.85	4.50	5.22	6.42	7.55	7.66	8.39	9.53	10.70
5.25	12.49	13.23	14.53	15.85	5.12	5.94	7.30	8.61	8.60	9.56	10.91	12.23
5.5	14.37	15.17	16.60	18.05	5.77	6.71	8.26	9.74	10.07	10.94	12.43	13.90
6	18.72	19.68	21.38	23.12	7.22	8.40	10.37	12.26	12.97	14.04	15.87	17.69
6.25	21.23	22.27	24.11	26.00	8.02	9.33	11.53	13.64	14.62	15.80	17.82	19.82
6.5	23.97	25.09	27.08	29.13	8.86	10.31	12.76	15.11	16.41	17.70	19.92	22.12
7	30.18	31.47	33.78	36.16	10.67	12.44	15.42	18.31	20.42	21.96	24.60	27.23
7.25	33.67	35.06	37.53	40.08	11.64	13.59	16.88	20.03	22.66	24.32	27.20	30.06
7.5	37.44	38.92	41.57	44.30	12.67	14.79	18.37	21.85	25.05	26.85	29.97	33.07

$I_{av} = 6.23 \text{ inch}^4$

$$\Delta = \frac{w_{pb}L^3}{48E_s I_{av}} = \frac{406.78(108^3)}{48(29{,}500{,}000)(6.23)} = 0.058 \text{ inch}$$

مثال ٤ :

✓ کنترل برش پانچ نزدیک تیرها

$b_2 = b_3 = 4.5$ inch

$t_c = h_c = 2.5$ inch

$f'_c = 3000$ psi

$$V_{pr} = (2 + \tfrac{4}{\beta_c})\Phi_v\sqrt{f'_c}\,b_o h_c \le 4\Phi_v\sqrt{f'_c}\,b_o h_c$$

رابطه 2.4.9a
SDI C-2011

β_c : نسبت بعد بزگتر بار متمرکز به بعد کوچکتر آن

$\beta_c = 4.5/4.5 = 1.0$

$b_o = 2(b_2+t_c) + 2(b_3+t_c) = 2(4.5+2.5) + 2(4.5+2.5) = 28$ inches

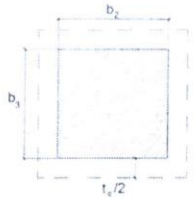
$V_{pr} = (2+\tfrac{4}{1})0.75\sqrt{3000}(28)(2.5) \le 4(0.75)\sqrt{3000}(28)(2.5) = 11502$ lbs

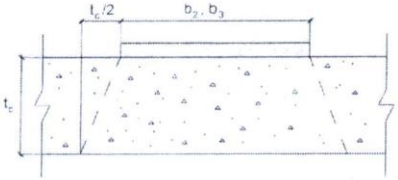
1.6 P = 1.6(2000) = 3200 lbs < 11502 lbs OK

مثال ٤ :

✓ کنترل برش پانچ نزدیک تیرها

محیط موثر برش پانچ در مستطیلی کنترل می شود که از هر لبه بار متمرکز وارده به اندازه $\frac{t_c}{2}$ فاصله دارد.





مثال ٥ : بار گسترده خطی موازی دهانه ورق

ورق عرشه فولادی : 12 × 2 اینچ – ضخامت : 18 gage

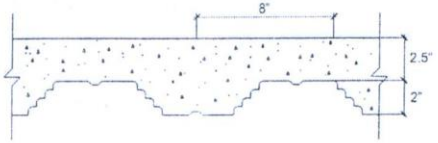
ضخامت دال : 4.5 اینچ

عرض دیوار : 8 اینچ

طول دیوار : 8 فوت

ارتفاع دیوار : 10 فوت

وزن واحد سطح دیوار : 50 psf



مثال ۵ :

✓ کنترل خمش در جهت قوی دال:

$W_{concrete} = 44$ psf

$W_{deck} = 1.8$ psf

$W_d = 44 + 1.8 = 45.8$

$\Phi M_n = 54.35$ inch-kips

$\Phi V_{nt} = 5361$ lbs/ft

$b_m = b_2 + 2t_c + t_t = 8 + 2(2.5) + 0 = 13$ inch

با فرض وارد شدن بار در یک چهارم عرض ورق :

$$b_e = b_m + 2\left(1 - \frac{x}{L}\right)(x) = 13 + 2(1 - 0.25)(24) = 49 \text{ inch} \leq 59 \text{ inch}$$

W : عرض بار در جهت موازی ورق که در اینجا به علت وجود بار خطی برابر با طول کل دهانه است

$W = 96$ inch

مثال ۵ :

✓ کنترل خمش در جهت ضعیف دال:

استفاده از شبکه آرماتور با فاصله ۶ اینچ و قطر ۰/۱۶۳ اینچ در وسط عمق دال

$A_s = 0.042$ inch^2/ft

$d = 1.25$ inch

عمق بلوک وینتی :

$$a = \frac{A_s F_y}{0.85(f'_c)(b)} = \frac{A_s F_y}{0.85(f'_c)(b)} = \frac{0.042(60000)}{(0.85 \times 3000 \times 12)} = 0.082 \text{ inch}$$

محاسبه ظرفیت خمشی و مقایسه با لنگر معادل وارده :

$$\phi M_{weak} = 0.90 A_s F_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_{weak} = 0.90(0.042)(60000)\left(1.25 - \frac{0.082}{2}\right) = 2741 \text{ inch-lbs}$$

$1632 \times 1.2 = 1958$ inch-lbs ≤ 2741 inch-lbs

مثال ۵ :

محاسبه ظرفیت تحمل بار گسترده در واحد سطح دال:

$$\phi M_n = \frac{(1.6w_l + 1.2w_d)(L)^2(12)}{8} = \frac{(1.6w_l + 1.2 \times 46)(8)^2(12)}{8} = 54.350 \text{ inch-kips}$$

$\rightarrow W_L = 319$ psf

تبدیل بار خطی دیوار به بار گسترده معادل و مقایسه با ظرفیت باربری مجاز :

$$500 \times \frac{12}{49} = 122 \text{ psf} \leq 319 \qquad \text{OK}$$

✓ کنترل خمش در جهت ضعیف دال:

$$M_{weak} = \frac{Pb_e}{15W}$$

$P = 500(8) = 4000$ lbs

$$M_{weak} = \frac{Pb_e}{15W} = \frac{(4000)(49)}{(15)(96)} = 136 \text{ inch-lbs/inch}$$

$M_{weak} = 136(12) = 1632$ inch-lbs/ft

مثال ۵ :

✓ کنترل برش:

فرض بار زنده گسترده 80 psf علاوه بر بار دیوار

$\Phi V_{nt} = 5361$ lbs

$$b_e = b_m + \left(1 - \frac{x}{L}\right)(x)$$

$b_e = 13 + 0.75 \times 24 = 31$ inch

$$V_{applied} = \frac{\left[1.6(80) + 1.2\left(500 \times \frac{12}{31} + 144\right)\right](8)}{2} = 1652 \text{ lbs} \leq 5361 \text{ lbs} \quad \text{OK}$$

مثال ٦ : بار گسترده خطی عمود بر دهانه ورق

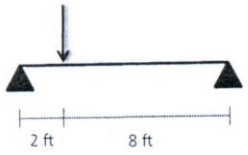
ورق عرشه فولادی : 12 × 3 اینچ – ضخامت : 18 gage

ضخامت دال : 6.25 اینچ

بار خطی گسترده : 650 plf

طول دهانه آزاد : 10 فوت

محل ورود بار خطی: 2 فوت از لبه تکیه گاه سمت چپ



$$V_L = (80)(5) + \frac{(650)(8)}{10} = 920 \text{ lbs/ft}$$

$$V_R = (80)(5) + \frac{(650)(2)}{10} = 530 \text{ lbs/ft}$$

✓ جداساز آتش (Fire Sepration) :

- یک عضو یا مجموعه ای از اعضا که به عنوان یک محافظ در برابر گسترده شدن آتش عمل می کنند و ممکن است نرخ مقاومت در برابر آتش سوزی داشته یا نداشته باشند .
- جداسازهای آتش برای دال های کف می تواند با استفاده از ضخامت دال بتنی محاسبه شوند.
- SDI Floor Deck Design به عنوان نمونه جدول ضخامت های معادل برای دال عرشه ۱/۵ اینچی را ارائه نموده است. این ضخامت دال معادل می تواند با ضخامت های مورد نیاز دال برای ساعت های مختلف مقاومت در برابر آتش در آیین نامه های مختلف مقایسه شود.

✓ نرخ مقاومت در برابر آتش سوزی (Fire Resistance Rating) :

- مدت زمان بر حسب ساعت یا کسری از آن که یک ماده یا مجموعه ای از مواد در برابر عبور شعله و شارش گرما تحت شرایط آزمایش و معیار کارایی مشخص، مقاومت می کنند.

مثال ٦ :

✓ کنترل خمش در واحد عرض دال :

$$M_{max} = (6.63)(530) - \frac{(80)(6.63)^2}{2} = 1756 \text{ ft-lbs/ft} = 21.07 \text{ inch-kips/ft}$$

$M_u = 1.6 \times 21.07 = 33.71$ inch-kips

✓ کنترل برش در واحد عرض دال :

$\Phi V_n = 5664$ lbs/ft

$V_u = 1.6 \times 920 = 1472$ lbs/ft $\leq$ 5664 lbs/ft OK

جدول ضخامت های معادل برای دال عرشه ۱/۵ اینچی در آیین نامه SDI :

1.5x6 Form Deck				
Cover (in)	Total Slab Depth, in.	Effective Thickness (in)		Control
		1.5x6 Deck	1.5x6 Deck Inverted	
2	3.50	2.2	2.5	B
2-1/4	3.75	2.5	2.8	B
2-1/2	4.00	2.7	3.0	B
2-3/4	4.25	3.0	3.3	B
3	4.50	3.2	3.5	B
3-1/4	4.75	3.5	3.9	C
3-1/2	5.00	3.8	4.2	C
3-3/4	5.25	4.1	4.5	C
4	5.50	4.4	4.9	C
4-1/4	5.75	4.7	5.1	C
4-1/2	6.00	5.0	5.4	C
4-3/4	6.25	5.3	5.6	C
5	6.50	5.6	5.9	C
5-1/4	6.75	5.9	6.1	C
5-1/2	7.00	6.2	6.4	C
5-3/4	7.25	6.4	6.6	C
6	7.50	6.7	6.9	C
6-1/4	7.75	6.9	7.1	C
6-1/2	8.00	7.2	7.4	C
6-3/4	8.25	7.4	7.6	C
7	8.50	7.7	7.9	C

حالت A : هنگامی که فاصله بین دو قعر یا قله ورق بزرگتر یا مساوی چهار برابر ضخامت معادل حداقل باشد، ضخامت معادل (موثر) برابر ضخامت حداقل خواهد بود.

حالت B : هنگامی که فاصله بین دو قعر یا قله ورق کوچکتر یا مساوی دو برابر ضخامت معادل حداقل باشد، ضخامت معادل (موثر) با تقسیم سطح مقطع خالص بر واحد عرض دال محاسبه می شود.

حالت C : هنگامی که فاصله بین دو قعر یا قله ورق بین دو تا چهار برابر ضخامت معادل حداقل باشد، ضخامت معادل (موثر) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$t + [(4t/s) - 1] (t_e - t)$$

s : فاصله بین دو قعر یا قله ورق

t : ضخامت معادل حداقل

t_e : ضخامت موثر محاسبه شده مطابق حالت B

جدول ضخامت معادل حداقل بر اساس نرخ های متفاوت آتش سوزی و سنگدانه بتن :

Concrete Aggregate Type	Minimum equivalent thickness (in) for fire resistance rating (hours)				
	1 hr.	1.5 hr.	2 hr.	3 hr.	4 hr.
Siliceous	3.5	4.3	5.0	6.2	7.0
Carbonate	3.2	4.0	4.6	5.7	6.6
Sand-lightweight	2.7	3.3	3.8	4.6	5.4
Lightweight	2.5	3.1	3.6	4.4	5.1

آتش سوزی :

COMPOSITE FLOOR DECK					
Restrained Assembly Rating (Hrs.)	Type of Protection	Classified Deck Type	Concrete Topping	U.L. Design No.	Unrestrained Beam Rating (hrs.)
1, 1-1/2, 2 & 3	Exposed	1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 3-1/2" LW, NW	D216	1, 1-1/2, 2 & 3
1, 1-1/2, 2 & 3	Grid	1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 3-1/2" LW, NW	D219	1, 1-1/2, 2 & 3
1-1/2 & 2	Gypsum Board	1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" NW	D502	1-1/2 & 2
1, 1-1/2, 2 & 3	Sprayed on Fire Resistive Materials	1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D703	1-1/2
1, 1-1/2 & 2		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D712	2
1, 1-1/2 & 2		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D722	1, 1-1/2 & 2
2		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" NW	D730	NA
1, 1-1/2, 2, 3 & 4		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D739	1, 1-1/2, 2, 3 & 4
1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2" LW, NW	D743	1, 1-1/2, 2 & 3
2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D755	1, 1-1/2, 2 & 3
1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D759	1, 1-1/2, 2 & 3
2, 3 & 4		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D760	1, 1-1/2, 2, 3 & 4
1, 1-1/2, 2, 3 & 4		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D767	1, 1-1/2, 2, 3 & 4
3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D768	1-1/2 & 3
2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 3-1/2" NW	D771	1 & 1-1/2
2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW	D773	1, 1-1/2, 2 & 3
2		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D775	1-1/2 & 2
1, 1-1/2, 2, 3 & 4		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D779	1, 1-1/2, 2, 3 & 4
1, 1-1/2, 2, 3 & 4		1.5CD, 2CD & 3CD	3-1/4" LW	D782	1-1/2, 2, 3 & 4
2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D784	1, 1-1/2, & 2
2, 3 & 4		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D785	1, 1-1/2, 2 & 3
2		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D786	1 & 1-1/2
1, 1-1/2, 2, 3 & 4		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D787	1, 1-1/2, 2, 3 & 4
3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D816	1-1/2 & 2
2		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D822	1
2		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D825	1, 1-1/2 & 2
2		1.5CD, 2CD & 3CD	3-1/4" LW	D826	1, 1-1/2 & 2
2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D831	1, 1-1/2 & 2
1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D832	1, 1-1/2, 2 & 3
2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D833	1-1/2
2		1.5CD, 2CD & 3CD	3-1/4" & 3-1/2" LW	D840	1 & 1-1/2
1, 1-1/2, 2, 3 & 4		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D858	1, 1-1/2, 2, 3 & 4
1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2" LW, NW	D859	1, 1-1/2, 2 & 3
2, 3 & 4		1.5CD, 2CD & 3CD	3-1/4" LW	D860	1, 1-1/2 & 2
2		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D861	1 & 1-1/2
1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" LW, NW	D871	1, 1-1/2, 2 & 3

آتش سوزی :

COMPOSITE FLOOR DECK					
Restrained Assembly Rating (Hrs.)	Type of Protection	Classified Deck Type	Concrete Topping	U.L. Design No.	Unrestrained Beam Rating (hrs.)
1, 1-1/2, 2 & 3	Unprotected	1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 5-1/4" LW, NW	D902	1, 1-1/2, 2 & 3
2		1.5CD, 2CD & 3CD	3-1/4" LW	D907	1 & 2
2		1.5CD, 2CD & 3CD	3-1/4" LW	D913	1
3/4, 1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 5-1/4" LW, NW	D916	1, 1-1/2, 2 & 3
1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 5-1/4" LW, NW	D918	1 & 1-1/2
1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 5-1/4" LW, NW	D919	1 & 1-1/2
3/4, 1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 5-1/4" LW, NW	D922	1, 1-1/2, 2 & 3
3/4, 1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 5-1/4" LW, NW	D923	1, 1-1/2, 2 & 3
3/4, 1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 5-1/4" LW, NW	D925	1, 1-1/2, 2, 3 & 4
3/4, 1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 5-1/4" LW, NW	D927	1, 1-1/2, 2 & 3
1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 5-1/4" LW, NW	D929	1, 1-1/2 & 2
2		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 5-1/4" LW, NW	D931	1
2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-5/8" to 5-1/4" LW, NW	D935	1, 1-1/2 & 2
2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 5-1/4" LW, NW	D936	1, 1-1/2, 2 & 3
2		1.5CD, 2CD & 3CD	2-1/2" to 4-1/2" LW, NW	D937	1 & 1-1/2
3/4, 1, 1-1/2, 2 & 3		1.5CD, 2CD & 3CD	2-5/8" to 5-1/4" LW, NW	D943	1, 1-1/2, 2 & 3

- ✓ استاندارد U.L (Underwriters Laboratories)
- ✓ استاندارد شماره ۲۶۳ – استاندارد آزمایش های ساخت و مواد ساختمانی (UL 263 - Standard for Fire Tests of Building Construction and Materials)

http://database.ul.com/cgi-bin/XYV/template/LISEXT/1FRAME/bxuv_search.html

↓

جداول نرخ آتش سوزی برای انواع سقف

آتش سوزی :

UL ONLINE CERTIFICATIONS DIRECTORY Home Quick Guide Contact Us UL.com

Design No. D902

BXUV.D902

Fire-resistance Ratings - ANSI/UL 263

Page Bottom

Design/System/Construction/Assembly Usage Disclaimer

- Authorities Having Jurisdiction should be consulted in all cases as to the particular requirements covering the installation and use of UL Certified products, equipment, system, devices, and materials.
- Authorities Having Jurisdiction should be consulted before construction.
- Fire resistance assemblies and products are developed by the design submitter and have been investigated by UL for compliance with applicable requirements. The published information cannot always address every construction nuance encountered in the field.
- When field issues arise, it is recommended the first contact for assistance be the technical service staff provided by the product manufacturer noted for the design. Users of fire resistance assemblies are advised to consult the general Guide Information for each product category and each group of assemblies. The Guide Information includes specifics concerning alternate materials and alternate methods of construction.
- Only products which bear UL's Mark are considered Certified.

BXUV - Fire Resistance Ratings - ANSI/UL 263

BXUV7 - Fire Resistance Ratings - CAN/ULC-S101 Certified for Canada

See General Information for Fire-resistance Ratings - ANSI/UL 263

See General Information for Fire Resistance Ratings - CAN/ULC-S101 Certified for Canada

Design No. D902

May 20, 2016

Restrained Assembly Ratings – 1, 1-1/2, 2 and 3 Hr.

Unrestrained Assembly Ratings – 0, 1, 1-1/2, 2 or 3 Hr. (See Items 4 & 6)

Unrestrained Beam Ratings – 1, 1-1/2, 2 and 3 Hr.

This design was evaluated using a load design method other than the Limit States Design Method (e.g., Working Stress Design Method). For jurisdictions employing the Limit States Design Method, such as Canada, a load restriction factor shall be used – See Guide BXUV or BXUV7

*** Indicates such products shall bear the UL or cUL Certification Mark for jurisdictions employing the UL or cUL Certification (such as Canada), respectively.**

آتش سوزی :

جدول نرخ آتش سوزی – شماره طراحی D902
(مقطع مرکب بدون حفاظت در برابر آتش)

آیین نامه Fire-resistance Ratings - ANSI/UL 263 – D902

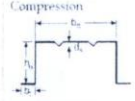
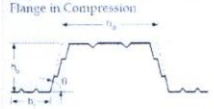
Restrained Assembly Rating Hr	Concrete (Type)	Concrete Unit Weight pcf	Concrete Thkns In.
1	Normal Weight	147-153	3-1/2
1-1/2	Normal Weight	147-153	4
2	Normal Weight	147-153	4-1/2
3	Normal Weight	147-153	5-1/4
1	Lightweight	107-113	2-1/2
1	Lightweight	107-120	2-5/8
1-1/2	Lightweight	107-113	3
2	Lightweight	107-113	3-1/4
2	Lightweight	107-116	3-1/4*
2	Lightweight	114-120	3-1/2
3	Lightweight	107-113	4-3/16
3	Lightweight	114-120	4-7/16

* With 2 and 3 in. deep steel floor units only.

محدودیت های ابعادی ورق عرشه فولادی :

✓ مطابق با آیین نامه AISI-S100-07 :

Table 1.1.1-2
Limitations for Pre-qualified Beams (Continued)

Hats (Decks) with Stiffened Flange in Compression 	$b_w/t \le 97$ $b_b/t \le 467$ $0 < d_s/t < 26$ (d_s = Depth of stiffener) $0.14 < b_c/b_a < 0.87$ $0.88 < b_c/b_f < 5.4$ $0 < n \le 4$ (n = Number of compression flange stiffeners) $E/F_y > 492$ [$F_y < 60$ ksi (414 MPa or 4220 kg/cm²)]
Trapezoids (Decks) with Stiffened Flange in Compression 	$b_w/t \le 203$ $b_w/t < 231$ $0.42 < (h_c/\sin\theta)/b_b < 1.91$ $1.10 < b_c/b_f < 3.38$ $0 < n_c \le 2$ (n_c = Number of compression flange stiffeners) $0 < n_w \le 2$ (n_w = Number of web stiffeners and/or folds) $0 < n_t \le 2$ (n_t = Number of tension flange stiffeners) $52° < \theta < 84°$ (θ = Angle between web and horizontal plane) $E/F_y > 310$ [$F_y < 95$ ksi (655 MPa or 6680 kg/cm²)]

کنترل کمانش جان ورق :

$$P_n = Ct^2F_y \sin\theta \left(1 - C_R\sqrt{\frac{R}{t}}\right)\left(1 + C_N\sqrt{\frac{N}{t}}\right)\left(1 - C_h\sqrt{\frac{h}{t}}\right)$$

C_h : ضریب نازکی جان

C_N : ضریب طول نشیمن

C_R : ضریب زاویه داخلی

آتش سوزی :

✓ جدول ضخامت تخمینی بتن روی ورق عرشه جهت طراحی اولیه در SDI – Floor Deck (2014)

✓ بر اساس استاندارد UL

Rating (Hours)	Lightweight Concrete Cover (inches)	Normalweight Concrete Cover (inches)	Fireproofing Required on Deck?
1	2.5	3.5	No
1.5	3	4	No
2	3.25	4.5	No
3	4.25	5.25	No
1	-	2.5	Yes
1.5	2.5	2.5	Yes
2	2.5	2.5	Yes
3	2.5	2.5	Yes
4	2.5	2.5	Yes
4	3.25	-	Yes

کنترل کمانش جان ورق :

✓ جدول C3.4.1-5 آیین نامه AISI-S100-07 : ضرایب رابطه محاسبه ظرفیت کمانش جان ورق

TABLE C3.4.1-5
Safety Factors, Resistance Factors, and Coefficients for Multi-Web Deck Sections

Support Conditions	Load Cases		C	C_R	C_N	C_h	USA and Mexico ASD Ω_w	USA and Mexico LRFD ϕ_w	Canada LSD ϕ_w	Limits
Fastened to Support	One-Flange Loading or Reaction	End	4	0.04	0.25	0.027	1.70	0.90	0.80	$R/t \le 20$
		Interior	5	0.10	0.17	0.004	1.75	0.85	0.75	$R/t \le 10$
	Two-Flange Loading or Reaction	End	9	0.12	0.14	0.04	1.90	0.85	0.70	$R/t \le 10$
		Interior	10	0.11	0.21	0.030	1.75	0.85	0.75	
Unfastened	One-Flange Loading or Reaction	End	3	0.04	0.29	0.025	2.45	0.60	0.50	$R/t \le 20$
		Interior	5	0.10	0.17	0.004	1.75	0.85	0.75	
	Two-Flange Loading or Reaction	End	6	0.16	0.15	0.050	1.65	0.90	0.80	$R/t \le 5$
		Interior	17	0.10	0.10	0.040	1.65	0.90	0.80	

محاسبه ظرفیت برشی ورق:

✓ ضرایب اطمینان در روش های ASD و LRFD :

$V_n = A_w F_v$
$\Omega_v = 1.60 \quad (ASD)$
$\phi_v = 0.95 \quad (LRFD)$

✓ محاسبه تنش برشی اسمی :

$h/t \le \sqrt{Ek_v / F_y}$ $\qquad F_v = 0.60F_y$

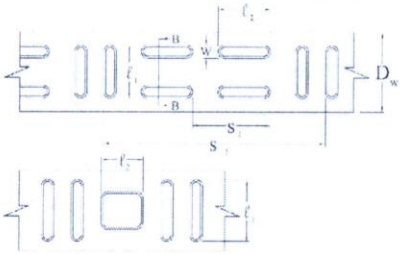
$\sqrt{Ek_v / F_y} < h/t \le 1.51\sqrt{Ek_v / F_y}$ $\qquad F_v = \dfrac{0.60\sqrt{Ek_v F_y}}{(h/t)}$

$h/t > 1.51\sqrt{Ek_v / F_y}$ $\qquad F_v = \dfrac{\pi^2 Ek_v}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} = 0.904\, Ek_v/(h/t)^2$

(برای حالت بدون وجود سخت کننده طولی) $k_v = 5.34$

طراحی برجستگی های روی ورق (embossment) :

✓ تیپ های برجستگی ورق :



تیپ ۳

✓ محاسبه ضریب برجستگی ورق :

تیپ ۱ : $p_{s1} = 12\,(l_c / S)$

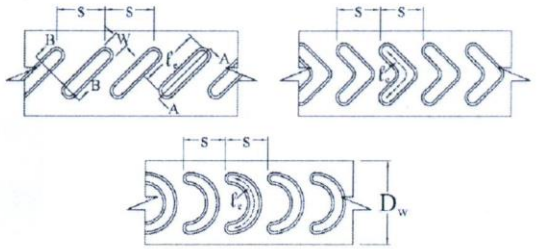
تیپ ۲ : $p_{s2} = 12\,(l_1 + l_2)/S$

تیپ ۳ : $p_{s1} = 12\,(\text{sum of } l_1 \text{ lengths within } S_1)/S_1$

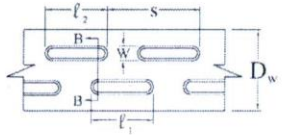
$p_{s2} = 12\,(\text{sum of } l_2 \text{ lengths within } S_2)/S_2$

طراحی برجستگی های روی ورق (embossment) :

✓ تیپ های برجستگی ورق :



تیپ ۱



تیپ ۲

طراحی برجستگی های روی ورق (embossment) :

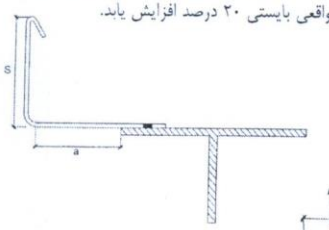
✓ کنترل ضریب برجستگی ورق با مقادیر ضریب برجستگی حداقل:
جدول A2-1 آیین نامه SDI – C2011

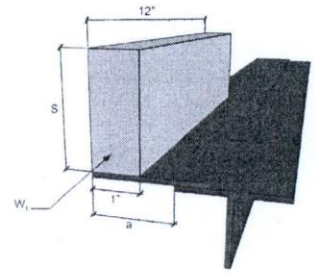
Table A2-1 Minimum Embossment Factor

Deck Embossment Type	Nominal Deck Depth	Minimum p_s
1	1.5 in.	5.5
1	2.0 in.	12.0
1	3.0 in.	18.0
2	1.5 in.	5.5
2	2.0 in.	8.5
2	3.0 in.	8.5
3	1.5 in.	5.5
3	2.0 in.	10.0
3	3.0 in.	12.0

طراحی ضخامت ورق فلاشینگ :

- ✓ تحمل بار بتن خیس و بارهای زنده حین اجرا
- ✓ حداکثر خیز مجاز فلاشینگ = ۰/۲۵ اینچ (۶/۳ میلی متر)
- ✓ مقایسه مقادیر محاسبه شده و آزمایش شده نشان می دهد که خیز قائم محاسبه شده به منظور نزدیکتر شدن به مقدار خیز واقعی بایستی ۳۰ درصد افزایش یابد.



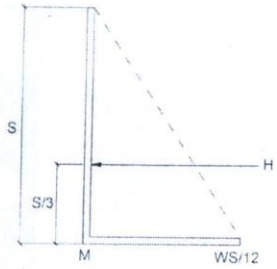


S : ضخامت بتن

a : عرض آزاد فلاشینگ

طراحی ضخامت ورق فلاشینگ :

- ✓ محاسبه تغییر مکان افقی لبه قائم فلاشینگ



- محاسبه بار افقی حاصل از وزن بتن تازه در واحد طول

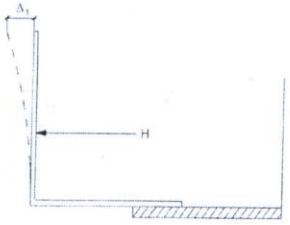
$$H = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{S}{12}\right)\left(\frac{WS}{12}\right) = \frac{WS^2}{288}$$

- محاسبه لنگر حاصل از نیروی افقی H در واحد طول

$$M = \frac{HS}{3} = \frac{WS^3}{864}$$

طراحی ضخامت ورق فلاشینگ :

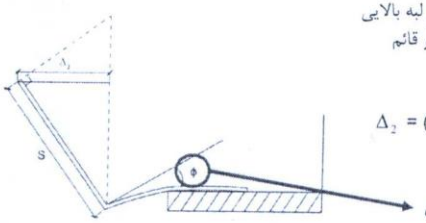
- ✓ محاسبه تغییر مکان افقی لبه قائم فلاشینگ



- محاسبه تغییر مکان افقی لبه بالایی ورق فلاشینگ حاصل از بار افقی

$$\Delta_1 = \frac{HS^3}{15EI} = \frac{WS^5}{4320EI}$$

- محاسبه تغییر قائم مکان لبه بالایی ورق فلاشینگ حاصل بار قائم



$$\Delta_2 = (S)(\sin\phi)$$

زاویه شیب ورق حاصل از بار قائم

طراحی ضخامت ورق فلاشینگ :

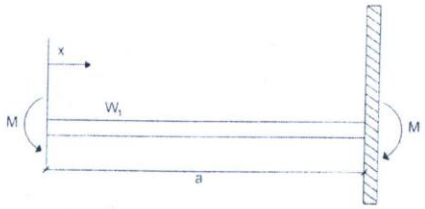
- ✓ محاسبه تغییر مکان افقی لبه قائم فلاشینگ

$$\Delta T = \Delta_1 + \Delta_2 = \text{Total Deflection}$$

- محاسبه تغییر مکان کل لبه بالایی ورق فلاسینگ

$$\Delta T = \frac{WS^5}{4320EI} + (S)(\sin\phi)$$

- ✓ محاسبه تغییر مکان قائم لبه انتهایی فلاشینگ



- مدلسازی قسمت افقی فلاشینگ به عنوان تیر طره
- معادله دیفرانسیل تغییر مکان قائم
- اعمال شرایط مرزی و حصول رابطه تغییر مکان قائم

طراحی ضخامت ورق فلاشینگ :

✓ محاسبه تغییر مکان قائم لبه انتهایی فلاشینگ

$$M_{max} = \frac{WS^3}{864} + \frac{W_i a^2}{2}$$

$$\Delta T_h = \frac{Ma^2}{2EI} + \frac{W_i a^4}{8EI}$$

- افزایش ۲۰ درصدی تغییر مکان قائم
- محاسبه ممان اینرسی ورق فلاشینگ
- کنترل خیز محاسبه شده با مقدار ۰/۲۵ اینچ (۶/۳ میلی متر) و طراحی ضخامت
- کنترل تنش محاسبه شده با مقدار تنش مجاز خمشی

مثال ۵ : کنترل ضخامت ورق فلاشینگ

ضخامت بتن	8 inch
عرض ازاد ورق	4 inch
وزن واحد حجم بتن	150 psf
ضخامت ورق فلاشینگ	(10 Gage) 0.1345 inch

- محاسبه مشخصات مقطع قسمت افقی فلاشینگ

$t = 0.1345$ inch

$$I = \frac{bt^3}{12} = \frac{12(0.1345)^3}{12} = 0.002433 \text{ in}^4$$

$$S = \frac{bt^2}{6} = \frac{12(0.1345)^2}{6} = 0.03618 \text{ in}^3$$

$E = 29{,}500{,}000$ psi

$EI = 29{,}500{,}000\ (0.002433) = 71777$ lb. – in^2

✓ مقادیر ضخامت مجاز (بر حسب Gage) برای مقادیر مختلف ضخامت دال و عرض آزاد ورق فلاشینگ

Slab Depth, in	Overhang, in												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4.00	20	20	20	20	18	18	16	14	14	12	12	10	10
4.25	20	20	20	18	18	16	16	14	12	12	12	10	10
4.50	20	20	20	18	18	16	16	14	12	12	12	10	10
4.75	20	20	18	18	16	16	14	14	12	12	10	10	10
5.00	20	20	18	18	16	16	14	14	12	12	10	10	
5.25	20	20	18	16	16	14	14	12	12	12	10	10	
5.50	20	18	18	16	16	14	14	12	12	12	10	10	
5.75	20	18	18	16	14	14	12	12	12	12	10	10	
6.00	20	18	16	16	14	14	12	12	12	12	10	10	
6.25	18	18	16	16	14	14	12	12	12	10	10	10	
6.50	18	16	16	14	14	12	12	12	12	10	10		
6.75	18	16	16	14	14	12	12	12	10	10	10		
7.00	18	16	14	14	12	12	12	12	10	10	10		
7.25	16	16	14	14	12	12	12	10	10	10	10		
7.50	16	14	14	12	12	12	12	10	10	10			
7.75	16	14	14	12	12	12	12	10	10	10			
8.00	16	14	12	12	12	12	10	10	10				
8.25	14	14	12	12	12	12	10	10	10				
8.50	14	14	12	12	12	10	10	10					
8.75	14	12	12	12	12	10	10	10					
9.00	14	12	12	12	10	10	10	10					
9.25	14	12	12	12	10	10	10						
9.50	12	12	12	10	10	10	10						
9.75	12	12	12	10	10	10							
10.00	12	12	10	10	10	10							
10.25	12	12	10	10	10								
10.50	12	12	10	10	10								
10.75	12	10	10	10									
11.00	12	10	10	10									
11.25	12	10	10										
11.50	12	10	10										
11.75	10	10	10										
12.00	10	10											

مثال ۵ : کنترل ضخامت ورق فلاشینگ

- محاسبه تغییر مکان قائم

$$M_{max} = \frac{WS^3}{864} = \frac{150(8)^3}{864} = 88.88 \text{ in-lb/ft}$$

$$\Delta T_v = \frac{WS^6}{4320EI} + S(\sin\phi) = \frac{150(8)^6}{4320(71777)} + 8(\sin(0.00619)) = 0.1763 \text{ in.}$$

$$\text{Where } \phi = \frac{Ma}{EI} + \frac{W_i a^3}{6EI} = \frac{88.88(4)}{71777} + \frac{150(4)^3}{6(71777)} = 0.00619 \text{ radians}$$

- محاسبه تغییر مکان افقی

$$M_{max} = \frac{WS^3}{864} + \frac{W_i a^2}{2} = \frac{150(8)^3}{864} + \frac{8.33(4)^2}{2} = 155.52 \text{ in-lb/ft}$$

$$\Delta T_h = \frac{Ma^2}{2EI} + \frac{W_i a^4}{8EI} = \frac{155.52(4)^2}{2(71777)} + \frac{8.33(4)^4}{8(71777)} = 0.0210 \text{ in}$$

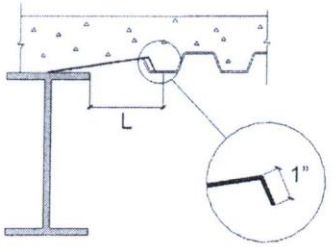
- کنترل تنش و خیز مجاز

$\Delta_{max} = 0.25/1.20 = 0.2083$ in > 0.1763 in OK

$F_b = 0.6\ F_y = 0.6(33000) = 19800$ psi

$f_b = M/S = 155.52/0.03618 = 4298$ psi < 19800 psi OK

✓ طراحی ضخامت ورق پرکننده



- قطع ورق به منظور اتصال گل میخ در صورت قرار گرفتن تاج ورق روی بال تیر
- پر کردن فاصله بین لبه انتهایی ورق و تیر فولادی
- تحلیل ورق پرکننده به عنوان یک تیر با اتصال مفصلی
- حداکثر طول دهانه مجاز ورق پرکننده : 9 inch
- کنترل به وسیله مقاومت خمشی و خیز
- حداکثر خیز مجاز : 0.25 inch

✓ طراحی ضخامت ورق پرکننده

✓ کنترل خیز:

- حداکثر خیز مجاز : 0.25 inch

$$\Delta = \frac{5w_1L^4}{384EI} \le 0.25 \text{ inch}$$

$$I = \frac{bt^3}{12} = \frac{12t^3}{12} = t^3$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{5w_1L^4}{384E\Delta}} = \sqrt[3]{\frac{5w_1L^4}{384E(0.25)}}$$

❑ ضخامت طراحی ⟵ بیشترین ضخامت از میان ۳ مقدار فوق

✓ جدول ارائه شده برای ضخامت ورق پر کننده توسط SDI :

Slab Thickness (in)	Span (in)	Type	Thickness (in)
≤ 12	≤ 5	20	0.0358
	5.1 ≤ L ≤ 5.5	16	0.0598
	5.6 ≤ L ≤ 9	14	0.0747

✓ طراحی ضخامت ورق پرکننده

✓ کنترل مقاومت خمشی :

- طول دهانه ورق پرکننده 5 inch (12.7 cm) و یا کمتر باشد
- تحمل وزن بتن به همراه بار زنده حین اجرا

$$M_r \le M_a \qquad M_a = F_bS = F_b\left(\frac{bt^2}{6}\right) = F_b\left(\frac{12t^2}{6}\right)$$

$$M_r = \frac{(w_1 + w_2)L^2}{8} \qquad t = \sqrt{\frac{6}{12F_b}\frac{(w_1 + w_2)L^2}{8}}$$

- طول دهانه ورق پرکننده بین 5 inch (12.7 cm) و 9 inch (22.9 cm) باشد
- تحمل بار خطی حداقل 200 lb/ft (300 kg/m)

$$M_r \le M_a \qquad M_a = F_bS = F_b\left(\frac{12t^2}{6}\right)$$

$$M_r = \frac{\left(\frac{P}{L}\right)(L)^2}{8} \qquad t = \sqrt{\frac{6}{12F_b}\frac{\left(\frac{P}{L}\right)(L)^2}{8}}$$

افزایش وزن بتن در واحد سطح به دلیل خیز حین بتن ریزی:

✓ وجود خیز حین بتن ریزی و نیاز به تسطیح سقف ⟵ افزایش حجم بتن نسبت مقدار پیش بینی شده

سطح اضافه شده بابت خیز اضافه :

$$A = \frac{3x10^{-3}wL(20736)}{EI}$$

حجم بتن اضافه شده :

$$W = \frac{0.432wL^5w_c}{EI}$$

$$w = Vw_c = \left(\frac{t}{12} + C_v\right)w_c$$

C_V : ضریب تعیین حجم واحد سطح برای انواع مختلف سقف عرشه فولادی

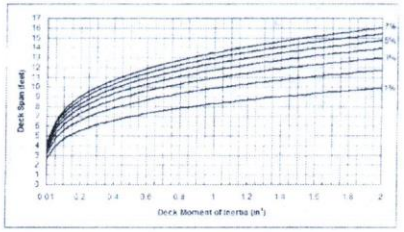
t : ضخامت بتن روی تاج ورق عرشه فولادی

Profile	C_v
3 x 12	0.125
2 x 12	0.0833
1.5 x 6	0.0469
1.5 x 6 Inverted	0.0781

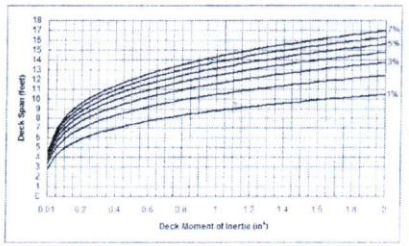
حجم اضافه شده:

$$\Delta V = \frac{W}{w_c} = \frac{0.432 w_c L^5 V}{EI}$$

بتن معمولی :



بتن سبک :



امید است مفید فایده باشد

با تجدید احترام

ساباط سازه عرشه

پایان