

دانشکده مهندسی

# بررسی رفتار پانل‌های پیش‌ساخته سبک سه بعدی بتنی تحت بارهای جانبی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه

محمد وطن چیان یزدی

شهریورماه 1389

## چکیده

یکی از سیستم‌های نوین ساختمانی که امروزه در دنیا متداول است، پانل‌های پیش‌ساخته سبک سه‌بعدی بتنی موسوم به پانل‌های 3D است. این پانل‌ها که می‌توانند به صورت المان‌های باربر و غیرباربر استفاده شوند از دو شبکه فولادی و یک هسته عایق تشکیل می‌شوند که به وسیله تعدادی اعضای قطری مورب به یکدیگر متصل می‌شوند. پس از نصب این پانل‌ها در محل، لایه‌های بتن‌آرمه روی آنها بتن‌پاشی می‌شود. یکی از سؤالات اساسی در مورد این پانل‌ها، ظرفیت برشی آنها و عملکرد و رفتار آنها تحت بارهای جانبی و رفت و برگشتی است.

تفاوت اصلی یک پانل 3D با یک دیوار برشی، دولایه بودن آن و وجود المان‌هایی به نام برشگیر است که دو لایه را به هم متصل کرده است. همین مطلب است که می‌تواند رفتار دیوار را تحت بارهای جانبی تحت تأثیر قرار دهد. در ضوابط و دستورالعمل‌های منتشرشده تاکنون عملکرد و ظرفیت یک دیوار 3D تحت بارهای جانبی همانند دیوار برشی مشابه آن پیشنهاد شده است. اما در اینجا این سؤال مطرح می‌شود که تا کجا می‌توان رفتار این دو را یکسان در نظر گرفت و اساساً این روش جایگزینی تا چه حد قابل اعتماد است.

هدف اصلی این تحقیق، بررسی ظرفیت و رفتار دیوارهای ساخته شده با پانل 3D، تحت بارهای جانبی به صورت افزایشی خطی و رفت و برگشتی است. این بررسی به صورت مقایسه رفتار این دیوارها با دیوارهای برشی مشابه آنها انجام می‌شود. در دیوارهای برشی مشابه، دو لایه بتنی به صورت یکپارچه درآمده و برشگیرها حذف می‌شوند. بررسی‌های ذکرشده به صورت آنالیز استاتیکی غیرخطی نمونه‌های انتخابی در نرم‌افزار ABAQUS صورت گرفته است. نتایج این بررسی‌ها در قالب نمودارها و کنتورهای کرنش ارائه شده‌اند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که تحت بارهای جانبی افزایشی خطی، رفتار پانل 3D و دیوار برشی مشابه آن تا ارتفاع 3 متر یکسان بوده و اختلاف میان رفتار از این ارتفاع به بعد اتفاق می‌افتد. همچنین تحت بارهای رفت و برگشتی، نتایج نشان دهنده آن است که به تدریج با افزایش ارتفاع نمونه‌ها نسبت ظرفیت پانل‌های 3D به دیوارهای برشی مشابه به مقدار ثابتی میل می‌کند.

نتایج این تحقیق این امکان را فراهم می‌آورد که بتوان از این پس به جای تحلیل و طراحی سازه‌ای تقریباً پیچیده‌تر به نام پانل 3D، دیوار برشی مشابه آن را تحلیل و طراحی کرد.

**کلمات کلیدی:** پانل 3D، بتن پاششی، برشگیر، دیوار برشی، بار جانبی، آنالیز استاتیکی غیرخطی.

## فهرست مطالب

1.....	فصل اول : کلیات
2.....	1-1 مقدمه
2.....	2-1 معرفی و گستره استفاده از پانل‌های 3D
5.....	3-1 مزایا و محدودیتهای سازه‌های پانلی
6.....	4-1 انواع پانل‌های ساندویچی از لحاظ عملکرد سازه‌ای
8.....	5-1 اجزای پانل‌های ساندویچی
9.....	6-1 پانل‌های 3D و اجزای آن
10.....	7-1 روش تولید پانل‌های 3D
10.....	8-1 روش اجرای ساختمان‌های پانلی
12.....	9-1 بررسی آئین‌نامه‌ها و ضوابط موجود
12.....	1-9-1 نشریه شماره 385
13.....	2-9-1 معیارهای فنی پانل‌های 3D ایران
13.....	3-9-1 استاندارد شماره 7143
14.....	4-9-1 آئین‌نامه‌ها و ضوابط خارجی
16.....	فصل دوم : تاریخچه تحقیقات
17.....	1-2 مقدمه
17.....	2-2 تحقیقات انجام شده در ایران
24.....	3-2 تحقیقات انجام شده در خارج از ایران
29.....	فصل سوم : مبانی مدلسازی
30.....	1-3 مقدمه
31.....	2-3 محصولات نرم‌افزار ABAQUS
31.....	3-3 مدلسازی با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS
32.....	4-3 مبانی مدلسازی
32.....	1-4-3 مشخصات مصالح
36.....	2-4-3 المان‌های استفاده شده
37.....	3-4-3 بررسی صحت مدلسازی
39.....	5-3 روش تحقیق
40.....	1-5-3 سازه‌های انتخابی

43.....	فصل چهارم : آنالیز استاتیکی غیرخطی تحت بار جانبی افزایشی خطی
44.....	1-4 مقدمه
44.....	2-4 بررسی سازه‌ای دو لایه در پانل‌های 3D
50.....	3-4 بررسی عملکرد یکپارچه دو لایه بتنی
53.....	4-4 بررسی مقایسه‌ای عملکرد نمونه‌های P و W
62.....	5-4 بررسی عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی قائم در نمونه‌های W و P
64.....	6-4 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های W و P
64.....	1-6-4 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P1 و W1
65.....	2-6-4 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P2 و W2
68.....	3-6-4 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P3 و W3
71.....	4-6-4 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P4 و W4
74.....	5-6-4 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P5 و W5
77.....	6-6-4 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P6 و W6
81.....	7-6-4 بحث در مقادیر کرنش در نمونه‌های P و W
85.....	7-4 نتیجه‌گیری
87.....	فصل پنجم : آنالیز استاتیکی غیرخطی تحت بار جانبی رفت و برگشتی
88.....	1-5 مقدمه
89.....	2-5 بررسی مقایسه‌ای عملکرد نمونه‌های P و W
98.....	1-2-5 بررسی تغییر مکان‌های کمانشی
102.....	2-2-5 بررسی عامل پیچش
103.....	3-2-5 بررسی ارتفاع تشکیل مفصل پلاستیک
104.....	4-2-5 بررسی تغییر رفتار دیوار از حالت برشی به حالت خمشی
105.....	3-5 بررسی عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی قائم در نمونه‌های W و P
107.....	4-5 بررسی شکل‌پذیری تغییر مکانی در نمونه‌های W و P
109.....	5-5 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های W و P
109.....	1-5-5 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P1 و W1
110.....	2-5-5 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P2 و W2
113.....	3-5-5 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P3 و W3
116.....	4-5-5 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P4 و W4
122.....	5-5-5 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P5 و W5
124.....	6-5-5 بررسی مقادیر کرنش در نمونه‌های P6 و W6

126	.....	7-5-5 بحث در مقادیر کرنش در نمونه‌های P و W
131	.....	6-5 نتیجه‌گیری
133	.....	فصل ششم : نتیجه‌گیری
134	.....	1-6 نتیجه‌گیری
137	.....	2-6 پیشنهاد برای تحقیقات آینده
138	.....	منابع و مراجع

## فهرست شکل‌ها

- شکل 1-1 دیاگرام توزیع تنش خمشی خالص در پانل‌های ساندویچی (الف) پانل مرکب کامل (ب) پانل نیمه مرکب (ج) پانل غیر مرکب، دو لایه سازه‌ای (د) پانل غیر مرکب، یک لایه سازه‌ای ..... 8
- شکل 2-1 پانل ساندویچی پیش ساخته سبک سه بعدی بتنی (3D Panel) ..... 9
- شکل 1-3 نحوه پاسخ بتن به بارگذاری و باربرداری در (a) کشش و (b) فشار ..... 34
- شکل 2-3 المان C3D8R ..... 37
- شکل 3-3 المان B31 ..... 37
- شکل 1-4 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P1 و (ب) W1 ..... 66
- شکل 2-4 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P1 و (ب) W1 ..... 67
- شکل 3-4 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P2 و (ب) W2 ..... 69
- شکل 4-4 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P2 و (ب) W2 ..... 70
- شکل 5-4 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P3 و (ب) W3 ..... 72
- شکل 6-4 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P3 و (ب) W3 ..... 73
- شکل 7-4 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P4 و (ب) W4 ..... 75
- شکل 8-4 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P4 و (ب) W4 ..... 76
- شکل 10-4 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P5 و (ب) W5 ..... 78
- شکل 9-4 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P5 و (ب) W5 ..... 78
- شکل 11-4 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P6 و (ب) W6 ..... 80
- شکل 12-4 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P6 و (ب) W6 ..... 80
- شکل 1-5 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P1 و (ب) W1 ..... 111
- شکل 2-5 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P1 و (ب) W1 ..... 112
- شکل 3-5 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P2 و (ب) W2 ..... 114
- شکل 4-5 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P2 و (ب) W2 ..... 115
- شکل 5-5 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P3 و (ب) W3 ..... 117
- شکل 6-5 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P3 و (ب) W3 ..... 118
- شکل 7-5 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P4 و (ب) W4 ..... 120
- شکل 8-5 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P4 و (ب) W4 ..... 121
- شکل 9-5 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P5 و (ب) W5 ..... 123
- شکل 10-5 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P5 و (ب) W5 ..... 123
- شکل 11-5 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف) P6 و (ب) W6 ..... 125
- شکل 12-5 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) P6 و (ب) W6 ..... 125

## فهرست نمودارها

- نمودار 1-3 منحنی تنش- کرنش در نظر گرفته شده در مدل «پلاستیسیته آسیب دیده بتن» برای شاکریت ..... 35
- نمودار 2-3 منحنی تنش- کرنش در نظر گرفته شده در مدل «الاستوپلاستیک» برای مفتول (فولاد) ..... 36
- نمودار 3-3 تغییر مکانهای اعمالی به نمونه‌ها در آزمایش ..... 38
- نمودار 4-3 مقایسه نتایج آزمایش و آنالیز عددی برای پانل به ابعاد (الف)  $120 \times 64$  سانتیمتر و (ب)  $120 \times 124$  سانتی متر ..... 39
- نمودار 1-4 نحوه تغییرات بار جانبی افزایشی خطی با زمان ..... 44
- نمودار 2-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P1 و L1 ..... 45
- نمودار 3-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P2 و L2 ..... 45
- نمودار 4-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P3 و L3 ..... 45
- نمودار 5-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P4 و L4 ..... 46
- نمودار 6-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P5 و L5 ..... 46
- نمودار 7-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P6 و L6 ..... 46
- نمودار 8-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در جهت عمود بر جهت اعمال بار در دو نمونه P1 و L1 ..... 47
- نمودار 9-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در جهت عمود بر جهت اعمال بار در دو نمونه P2 و L2 ..... 48
- نمودار 10-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در جهت عمود بر جهت اعمال بار در دو نمونه P3 و L3 ..... 48
- نمودار 11-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در جهت عمود بر جهت اعمال بار در دو نمونه P4 و L4 ..... 48
- نمودار 12-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در جهت عمود بر جهت اعمال بار در دو نمونه P5 و L5 ..... 49
- نمودار 13-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در جهت عمود بر جهت اعمال بار در دو نمونه P6 و L6 ..... 49
- نمودار 14-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو لایه بتنی در نمونه P1 ..... 51
- نمودار 15-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو لایه بتنی در نمونه P2 ..... 51
- نمودار 16-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو لایه بتنی در نمونه P3 ..... 51
- نمودار 17-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو لایه بتنی در نمونه P4 ..... 52
- نمودار 18-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو لایه بتنی در نمونه P5 ..... 52
- نمودار 19-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو لایه بتنی در نمونه P6 ..... 52
- نمودار 20-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P1 و W1 ..... 53
- نمودار 21-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P2 و W2 ..... 54
- نمودار 22-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P3 و W3 ..... 54
- نمودار 23-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P4 و W4 ..... 54
- نمودار 24-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P5 و W5 ..... 55
- نمودار 25-4 منحنی بار-تغییر مکان ماکزیمم دیوار در دو نمونه P6 و W6 ..... 55

- نمودار 26-4 نمودار تفاضل تغییر مکان کمانشی ماکزیمم و مینیمم در مقابل ارتفاع سازه در نمونه‌های P و W ..... 56
- نمودار 27-4 منحنی بار-تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در دو نمونه P1 و W1 ..... 58
- نمودار 28-4 منحنی بار-تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در دو نمونه P2 و W2 ..... 58
- نمودار 29-4 منحنی بار-تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در دو نمونه P3 و W3 ..... 58
- نمودار 30-4 منحنی بار-تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در دو نمونه P4 و W4 ..... 59
- نمودار 31-4 منحنی بار-تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در دو نمونه P5 و W5 ..... 59
- نمودار 32-4 منحنی بار-تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در دو نمونه P6 و W6 ..... 59
- نمودار 33-4 نمودار نسبت ارتفاع تشکیل مفصل پلاستیک به ارتفاع سازه در مقابل ارتفاع سازه ..... 60
- نمودار 34-4 نمودار نسبت ارتفاع به طول سازه در مقابل تغییر مکان نهایی در نمونه‌های P و W ..... 62
- نمودار 35-4 نمودار نسبت ارتفاع به طول سازه در مقابل بار نهایی در نمونه‌های P و W ..... 62
- نمودار 36-4 نمودار عکس‌العمل تکیه‌گاهی قائم فشاری ماکزیمم در مقابل ارتفاع سازه در نمونه‌های P و W ..... 63
- نمودار 37-4 نمودار عکس‌العمل تکیه‌گاهی قائم کششی ماکزیمم در مقابل ارتفاع سازه در نمونه‌های P و W ..... 63
- نمودار 38-4-نمودار نسبت عکس‌العمل تکیه‌گاهی فشاری و کششی ماکزیمم نمونه‌های W به P در مقابل ارتفاع سازه ..... 64
- نمودار 39-4 مقادیر کرنش (الف) کششی و (ب) فشاری ماکزیمم در شاتکریت در نمونه‌های P و W ..... 81
- نمودار 40-4 مقادیر کرنش (الف) کششی و (ب) فشاری ماکزیمم در مفتول‌های مش در نمونه‌های P و W ..... 82
- نمودار 41-4 مقادیر کرنش کششی و فشاری ماکزیمم در برشگیرها در نمونه‌های P ..... 83
- نمودار 42-4 مقادیر کرنش (الف) کششی و (ب) فشاری ماکزیمم در مفتول‌های مش و شاتکریت در نمونه‌های W ..... 84
- نمودار 43-4 مقادیر کرنش (الف) کششی و (ب) فشاری ماکزیمم در مفتول‌های مش، شاتکریت و برشگیرها در نمونه‌های P ..... 85
- نمودار 1-5 الگوی تغییر مکان‌های رفت و برگشتی اعمال شده به نمونه‌ها ..... 88
- نمودار 2-5 منحنی هیستریزیس در نمونه (الف) W1، (ب) P1، (ج) W1 و P1 ..... 89
- نمودار 3-5 منحنی هیستریزیس در نمونه (الف) W2، (ب) P2، (ج) W2 و P2 ..... 90
- نمودار 4-5 منحنی هیستریزیس در نمونه (الف) W3، (ب) P3، (ج) W3 و P3 ..... 91
- نمودار 5-5 منحنی هیستریزیس در نمونه (الف) W4، (ب) P4، (ج) W4 و P4 ..... 92
- نمودار 6-5 منحنی هیستریزیس در نمونه (الف) W5، (ب) P5، (ج) W5 و P5 ..... 93
- نمودار 7-5 منحنی هیستریزیس در نمونه (الف) W6، (ب) P6، (ج) W6 و P6 ..... 94
- نمودار 8-5 نمودار تغییرات تغییر مکان ماکزیمم در مقابل ارتفاع سازه در نمونه‌های P و W ..... 95
- نمودار 9-5 نمودار تغییرات برش پایه ماکزیمم در مقابل ارتفاع سازه در نمونه‌های P و W ..... 96
- نمودار 10-5 نمودار تغییرات تعداد سیکل‌های طی شده تا خرابی در مقابل ارتفاع سازه در نمونه‌های P و W ..... 96



11-5	نمودار تغییرات نسبت تغییر مکان و برش پایه ماکزیمم در مقابل ارتفاع سازه در نمونه‌های P به W	97
12-5	نمودار تفاضل تغییر مکان کمانشی ماکزیمم و مینیمم در مقابل ارتفاع سازه در نمونه‌های P و W	98
14-5	منحنی بار- تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در نمونه (الف) P2 و (ب) W2	99
13-5	منحنی بار- تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در نمونه (الف) P1 و (ب) W1	99
16-5	منحنی بار- تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در نمونه (الف) P4 و (ب) W4	100
15-5	منحنی بار- تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در نمونه (الف) P3 و (ب) W3	100
18-5	منحنی بار- تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در نمونه (الف) P6 و (ب) W6	101
17-5	منحنی بار- تغییر مکان کمانشی ماکزیمم دیوار در نمونه (الف) P5 و (ب) W5	101
19-5	نمودار نسبت تغییر مکان ماکزیمم کمانشی نمونه‌های گروه P به W در مقابل ارتفاع سازه	102
20-5	نمودار نسبت ارتفاع تشکیل مفصل پلاستیک به ارتفاع سازه در مقابل ارتفاع سازه	104
21-5	نمودار نسبت ارتفاع به طول سازه در مقابل تغییر مکان ماکزیمم در نمونه‌های P و W	105
22-5	نمودار نسبت ارتفاع به طول سازه در مقابل برش پایه ماکزیمم در نمونه‌های P و W	105
23-5	نمودار عکس‌العمل قائم تکیه‌گاهی فشاری ماکزیمم در مقابل ارتفاع سازه در نمونه‌های P و W	106
24-5	نمودار عکس‌العمل قائم تکیه‌گاهی کششی ماکزیمم در مقابل ارتفاع سازه در نمونه‌های P و W	106
25-5	نمودار نسبت عکس‌العمل قائم تکیه‌گاهی فشاری و کششی ماکزیمم نمونه‌های W به P در مقابل ارتفاع سازه	107
26-5	نمودار مقادیر شکل‌پذیری تغییر مکانی در نمونه‌های W و P در مقابل ارتفاع سازه	108
27-5	نمودار نسبت شکل‌پذیری تغییر مکانی در نمونه‌های W به P در مقابل ارتفاع سازه	109
28-5	مقادیر کرنش (الف) کششی و (ب) فشاری ماکزیمم در شاتکریت در نمونه‌های P و W	126
29-5	مقادیر کرنش (الف) کششی و (ب) فشاری ماکزیمم در مفتول‌های مش در نمونه‌های P و W	127
30-5	مقادیر کرنش کششی و فشاری ماکزیمم در برشگیرها در نمونه‌های P	127
31-5	مقادیر کرنش (الف) کششی و (ب) فشاری ماکزیمم در مفتول‌های مش و شاتکریت در نمونه‌های W	128
32-5	مقادیر کرنش (الف) کششی و (ب) فشاری ماکزیمم در مفتول‌های مش، شاتکریت و برشگیرها در نمونه‌های P	129
33-5	مقادیر کرنش (الف) کششی و (ب) فشاری ماکزیمم در مفتول‌های مش و برشگیرها در نمونه‌های P	130

## فهرست جداول

- جدول 1-2 بخشی از استانداردها و ضوابط مرتبط در استفاده از پانل های 3D ..... 15
- جدول 1-3 مشخصات مکانیکی در نظر گرفته شده در مدل «پلاستیسته آسیب دیده بتن» برای شاتکریت ..... 34
- جدول 2-3 نقاط منحنی تنش-کرنش در نظر گرفته شده در مدل «پلاستیسته آسیب دیده بتن» برای شاتکریت در فشار و کشش ..... 35
- جدول 3-3 مشخصات مکانیکی در نظر گرفته شده در مدل «لاستوپلاستیک» برای مفتول (فولاد) ..... 36
- جدول 4-3 مشخصات پانل های مدلسازی شده (کلیه واحدها به mm) ..... 41
- جدول 5-3 مشخصات دیوارهای برشی مدلسازی شده (کلیه واحدها به mm) ..... 42
- جدول 6-3 مشخصات لایه های شاتکریت مدلسازی شده (کلیه واحدها به mm) ..... 42
- جدول 1-4 نسبت تغییر مکان ماکزیمم نمونه های گروه L به نمونه های گروه P ..... 47
- جدول 2-4 نسبت تغییر مکان ماکزیمم در جهت عمود بر جهت اعمال بار نمونه های گروه L به نمونه های گروه P ..... 50
- جدول 3-4 نسبت تغییر مکان ماکزیمم و بار نهایی نمونه های گروه P به نمونه های گروه W ..... 55
- جدول 4-4 مقدار و نسبت تغییر مکان کمانشی ماکزیمم نمونه های گروه P به نمونه های گروه W ..... 60
- جدول 5-4 نسبت ارتفاع تشکیل مفصل پلاستیک به ارتفاع کل در نمونه های گروه P و W ..... 60
- جدول 1-5 تغییر مکان ماکزیمم و بار نهایی نمونه های گروه P و W ..... 95
- جدول 2-5 نسبت تغییر مکان ماکزیمم و بار نهایی نمونه های گروه P به نمونه های گروه W ..... 96
- جدول 3-5 مقدار و نسبت تغییر مکان کمانشی ماکزیمم نمونه های گروه P به W ..... 102
- جدول 4-5 نسبت ارتفاع تشکیل مفصل پلاستیک به ارتفاع کل در نمونه های گروه P و W ..... 103

# فصل اول

## کلیات

**چکیده:** در این فصل در ابتدا به معرفی و گستره استفاده از پانل‌های 3D پرداخته شده و به ذکر مزایا و محدودیت‌های آن پرداخته می‌شود. سپس انواع و اجزای پانل‌های ساندویچی و 3D تشریح گردیده و در ادامه به روند تولید این پانل‌ها اشاره می‌گردد. در ادامه نحوه اجرای یک سازه پانلی بیان شده و در نهایت به معرفی آئین‌نامه‌ها و ضوابط موجود در داخل و خارج از ایران پرداخته می‌شود.

- 1-1 مقدمه ..... 2
- 2-1 معرفی و گستره استفاده از پانلهای 3D ..... 2
- 3-1 مزایا و محدودیتهای سازه‌های پانلی ..... 5
- 4-1 انواع پانل‌های ساندویچی از لحاظ عملکرد سازه‌ای ..... 6
- 5-1 اجزای پانل‌های ساندویچی ..... 8
- 6-1 پانل‌های 3D و اجزای آن ..... 9
- 7-1 روش تولید پانل‌های 3D ..... 10
- 8-1 روش اجرای ساختمان‌های پانلی ..... 10
- 9-1 بررسی آئین‌نامه‌ها و ضوابط موجود ..... 12

## 1-1 مقدمه

با توجه به وسعت کشور ایران و شرایط اقلیمی متفاوت در نواحی مختلف این سرزمین، لازم است روش‌های ساختمان‌سازی متناسب با ویژگی‌های خاص منطقه‌ای تدوین و به‌مورد اجرا گذاشته شود. نظر به اینکه کشور ایران روی یکی از کمربندهای فعال زمین لرزه در جهان قرار دارد، لذا ایجاد سازه‌های مقاوم و امن از اولویت خاصی برخوردار است. بررسی نیاز کشور به واحدهای مسکونی نشان می‌دهد که با توجه به جوان بودن بافت نیروی انسانی، هر ساله به تعداد قابل توجهی واحد مسکونی جدید نیاز است که روش‌های سنتی ساخت جوابگوی بخش محدودی از این نیاز می‌باشد [1]. با توجه به نیازهای موجود و لزوم بهبود کیفیت تولید ساختمان، باید روش‌های تولید صنعتی به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرد. یکی از فنون مطرح شده در دو دهه اخیر، استفاده از صفحات ساندویچی متشکل از دولایه بتن مسلح با شبکه جوش شده و یک لایه پلی‌استایرن موسوم به «پانل‌های پیش‌ساخته سبک سه‌بعدی بتنی» است که در برخی طرح‌های ساخت مسکن در ایران به کار گرفته شده است.

کاربرد پانل‌های پیش‌ساخته سبک سه‌بعدی بتنی به عنوان یک سیستم جدید هم‌اکنون در کشور در حال افزایش بوده و با توجه به اهمیت سبک‌سازی، بهینه‌سازی و صرفه‌جویی مصرف سوخت در ساختمان، این پانل‌ها می‌توانند به عنوان دیوارهای داخلی و خارجی، باربر و جداکننده به کار روند. با توجه به آزمایشات انجام شده و در صورت تکمیل تحقیقات در خصوص رفتار و عملکرد لرزه‌ای، این پانل‌ها، می‌توانند ضمن سبک کردن ساختمان، جایگزین مناسبی جهت سیستم‌های سنتی رایج معرفی شوند. به علاوه از این سیستم می‌توان به عنوان راهکار مناسبی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها نام برد.

لازم به ذکر است به علت طولانی بودن نام، از این پس به جای عبارت «پانل‌های پیش‌ساخته سبک سه‌بعدی بتنی» از عبارت «پانل‌های 3D» به عنوان جایگزین استفاده می‌شود.

## 1-2 معرفی و گستره استفاده از پانل‌های 3D

پانل‌های 3D اولین بار در سال 1967 میلادی توسط شخصی بنام ویکتور وایزمن (Victor Wiseman) در ایالت کالیفرنیا آمریکا به ثبت رسید [2]. ساختمان‌های با ساختار پانل‌های سه‌بعدی در زمره سیستم‌های پیش‌ساخته محسوب شده و از امتیازات ساختمان‌های پیش‌ساخته برخوردارند. مفاهیمی که در ادبیات فنی ساختمان‌های پیش‌ساخته به کار می‌روند، مواردی نظیر تولید انبوه، فرآیندهای تضمین کیفیت و کنترل کیفیت، ویژگی‌های خاص ساخت در کارگاه، حمل و نقل و نصب در این ساختارها هستند. از جمله مزایای سیستم‌های پیش‌ساخته می‌توان به کاهش نسبی هزینه‌های کار نیروی انسانی، پرت

مصالح و ماشین آلات مورد نیاز، کاهش زمان اجرا، کنترل کیفیت بهتر، وابستگی کمتر به شرایط جوی و صرفه جویی در تجهیزات نصب، اشاره نمود. در مقابل نقاط ضعف سیستم‌های پیش ساخته مواردی چون بالا بودن هزینه حمل و نقل قطعات، نیازمندی به هزینه جراثقال برای جابجایی در محل، اتصالات ناهمگون و نامطمئن و طرح معماری محدود را در بر دارد.

سیستم‌های پانل سه‌بعدی با رویکردی میانه در مقایسه با سیستم‌های درجا و پیش ساخته می‌توانند مزایای روش‌های سیستم‌های پیش ساخته را در برداشته و از طرفی دیگر از برخی مشکلات آن‌ها رهایی یابند. این سیستم‌ها به دلیل استفاده از فناوری بتن پاشیده بسیاری از مشکلات ساختمان‌های بتن آرمه را رفع نموده است. پانل‌های سه‌بعدی به دلیل عدم حضور بتن تا قبل از نصب نهایی در ساختار طراحی شده، در محل اجرا دارای وزن کم و سهولت نقل و انتقال می‌باشند. مهمترین نکته سازه‌ای در سیستم‌های پانل‌های سه‌بعدی، تکمیل نیازمندی‌های اتصالات بعد از نصب پانل‌ها در محل و قبل از بتن پاشی آن‌ها می‌باشد که این موضوع موجبات ایجاد ساختاری یکپارچه با اتصالات همگون و مطمئن را فراهم می‌آورد. در واقع در سیستم پانلی پس از استقرار پانل‌های حمل شده به محل اجرا و نصب تمامی ملزومات اتصالات در کلیه زوایا، فرآیند بتن‌پاشی انجام گرفته و در نهایت ساختار صلب با قابلیت باربری سه‌بعدی و عملکرد جعبه‌ای برای تحمل تمامی بارهای ثقلی و جانبی فراهم می‌آید. در این ساختار با توجه به یکپارچگی تمامی دیوارها و سقف‌ها و اتصال کلیه زوایا، سازه‌ای با عملکرد جعبه‌ای ساخته می‌شود. به همین دلیل درجات آزادی فعال سیستم به تعداد فزاینده‌ای افزایش یافته به گونه‌ای که برخلاف سیستم‌های قابی نیروهای ایجاد شده در سیستم به صورت گسترده در نقاط مختلف پخش و شدت آن‌ها به مراتب کاهش می‌یابد. این موضوع مزایای مختلفی از جمله کاهش مساحت مورد نیاز شالوده، جلوگیری از ایجاد نیروهای بلندشدگی در پای سازه، عدم ایجاد ممان پیچشی مضاعف و افزایش مفاصل پلاستیک در سازه تا حصول ناپایداری را موجب می‌شود که این موارد به دلیل یکپارچگی و درجات آزادی فزاینده سیستم می‌باشد.

سیستم پانل‌های سه‌بعدی به دلیل استفاده از یک لایه عایق در ساختار خود موجب می‌شود تا اعضای این مجموعه بتوانند به عنوان عایق‌های حرارتی و صوتی ایفای نقش نمایند. به دلیل گستردگی شبکه فولادی در تمامی اعضای سیستم در تمامی سطوح، احتمال ایجاد آوار و ریزش‌های ناشی از جدایش مصالح در بارگذاری‌های لرزه‌ای به حداقل ممکن کاهش می‌یابد به گونه‌ای که در حالات حدی نهایی باربری، اجزای گسیخته شده در محل خود باقی می‌مانند. از آنجا که اعضای باربر سازه پانلی جداکننده فضاها را می‌سازند، استفاده از سایر جداکننده‌های غیرباربر به حداقل می‌رسد. همچنین به دلیل ساخت اعضای نیمه‌پیش ساخته در کارخانه و

حمل و نصب سریع آن، سرعت اجرای کار به نحو قابل توجهی افزایش می‌یابد. ساختار پانل‌ها به گونه‌ای است که امکان استفاده از آن‌ها در ساختارهای کم ارتفاع به عنوان اعضای باربر قائم و افقی، نیاز به دیگر اجزای باربر از جمله تیر و ستون را مرتفع می‌سازد. در واقع ساختمان‌های کم ارتفاع را می‌توان با تکیه بر رفتار سه بعدی پانل‌ها بدون نیاز به قاب‌های باربر طراحی و اجرا نمود. علاوه بر آن پانل‌ها قابلیت کارکرد و استفاده هم زمان با قاب‌های ساختمانی متعارف را دارا می‌باشند. این ویژگی می‌تواند از ابتدای طرح سازه توسط مهندس محاسب با ایفای نقش باربری جانبی در سازه، طرح سازه ساختمان را تشکیل دهد. همچنین عملکرد و اجرای مناسب این پانل‌ها قابلیت استفاده از آنها را در سازه‌های موجود فراهم می‌سازد. ویژگی اخیر می‌تواند با هدف مقاوم‌سازی و تقویت باربری قاب‌های موجود مورد استفاده قرار گیرد.

عملکرد لرزه‌ای سیستم‌های پانلی به دلیل ساختار خاص آن‌ها دارای تفاوت‌هایی با اعضای متعارف سازه‌ای می‌باشد. در این رابطه خواص مکانیکی اجزای پانل و عملکرد جعبه‌ای ساختار سازه‌ای آن، باعث ایجاد سازه‌ای با شکل‌پذیری کمتر نسبت به سازه‌های معمول می‌شود. در عین حال علی‌رغم شکل‌پذیری کمتر، رفتار کلی سازه‌های سه بعدی پانلی نشانگر ضرایب اضافه مقاومت بالاتری در مقایسه با انواع دیگر ساختارهای باربر جانبی بوده است. در مجموع این دو ویژگی اخیر موجب می‌گردد ضریب رفتار این سازه‌ها در حدود ضریب رفتار سازه‌های با سیستم دیوارهای برشی بتن‌آرمه به دست آید.

ترکیب پانل‌ها با سیستم‌های قابی دیگر در شرایط طرح از ابتدا یا ارایه طرح مقاوم‌سازی می‌تواند با تکیه بر شکل‌پذیری قاب و اضافه مقاومت پانل به طرح سازه‌ای کنترل شده توسط مهندس طراح منتهی گردد.

ساختار دیافراگم‌های افقی ساختمان‌های پانلی سه‌بعدی می‌تواند به منظور تامین دهانه بارگیر مورد نیاز علاوه بر سقف‌های پانلی از انواع دیگر سیستم‌های سقف متداول از جمله سقف تیرچه بلوک، سقف با تیرچه‌های با جان باز یا دال بتن آرمه باشد.

علاوه بر جنبه‌های مقاومتی سازه‌های پانلی، جنبه‌های پایایی در این سیستم‌ها، نظیر سازه‌های بتن آرمه نیز مطرح می‌باشد. با توجه به ساختار هندسی پانل، آثار گزندبار ناشی از شرایط محیطی می‌تواند بر پایایی پانل تاثیرگذار باشد. این موارد در طرح سازه‌ای توسط مهندس محاسب با توجه به شرایط اقلیمی مختلف مورد توجه قرار می‌گیرد.

تامین پایایی سازه‌های پانلی سه‌بعدی از طریق روش‌هایی نظیر استفاده از مصالح استاندارد و یا در نظر گرفتن پوشش کافی میلگردها به منظور کاهش آثار خوردگی و دیگر پی‌آمدهای گزندبار آن می‌تواند مد نظر قرار گیرد. تمام الزامات تامین‌کننده پایایی برای ساختمان‌های بتنی متعارف مندرج در آیین‌نامه

بتن ایران در این سیستم‌ها نیز معتبر است.

### 1-3 مزایا و محدودیت‌های سازه‌های پانلی

با توجه به عملکرد متفاوت سیستم‌های سازه‌ای، استفاده از سیستم‌های مختلف، مزایا و معایب خاص خود را دارد و شرایط موجود ما را به سمت انتخاب سیستم سازه‌ای مورد نظر پیش می‌برد. در این بخش با توجه ویژگی‌های خاص پانل‌های 3D از جمله سبکی، عایق بودن و عملکرد سه‌بعدی سازه ساخته شده با پانل به معرفی مزایای این سیستم پرداخته و در کنار آن به بخشی از معایب موجود اشاره خواهد شد.

#### الف - مزایای سازه‌های پانلی

برخی از مزایای ساختمان‌های ساخته شده از پانل‌های ساندویچی به قرار زیر می‌باشند:

- سرعت بسیار زیاد به علت آسان بودن سیستم نصب و عدم اهمیت خطاهای جزئی در نحوه نصب آن و همچنین سبک بودن پانل‌ها و سرعت جابه‌جائی آنها در کارگاه (وزن هر مترمربع پانل قبل از بتن پاشی حدود 4 کیلوگرم می‌باشد).
- سبک بودن ساختمان به علت وزن کم اجزای تشکیل دهنده سفت کاری و به طور کلی وزن مرده ساختمان (وزن مترمربع دیوار آجری 22 سانتی متری با اندود لازم حدود 500 کیلوگرم و وزن یک متر مربع پانل با اندود لازم حدود 150 کیلوگرم می‌باشد).
- اقتصادی بودن به علت حمل آسان به محل اجرای پروژه (به طور مثال یک تریلر قادر به حمل حدود 1000 مترمربع پانل می‌باشد) و مصرف کم مصالح، سرعت نصب، سبک بودن و در نتیجه تقلیل حجم پی‌ها و همچنین امکان اجرای کار با کارگران ساده و غیر متخصص.
- مقاومت بسیار زیاد در برابر زلزله، باد و طوفان به علت یکپارچگی هر کدام از اجزا و در نتیجه یکپارچگی کل ساختمان از قبیل کف، دیوار، سقف و دارا بودن قدرت کششی و برشی قابل ملاحظه در کلیه نقاط.
- مقاومت در برابر حرارت، برودت و رطوبت و صوت به خاطر عایق مصرفی داخل و بتن طرفین.
- مقاومت در برابر آتش‌سوزی به علت وجود دو قشر بتن‌آرمه در دو طرف پانل (حدود 2 ساعت طبق آزمایش و گزارش مربوطه).
- مقاومت و نفوذناپذیری ساختمان در مقابل حشرات و قارچ‌ها و عوامل طبیعی به علت بتنی بودن سطوح رویه آن.
- آزادی عمل طراح در تهیه فرم‌های متنوع به علت انعطاف‌پذیری اجزای پیش‌ساخته تشکیل دهنده

ساختمان.

- امکان ساخت در هر نقطه از کشور به علت عدم احتیاج به مصالح بخصوص و کارگران متخصص.
- احتیاج نداشتن به هزینه‌های بعدی و تعمیرات به علت سطح تمام شده بتنی و عایق بودن در برابر سرما، گرما و رطوبت و مخارج کمتر برای بیمه نمودن ساختمان.
- استفاده بیشتر فضا (فضای مفید) به علت کم بودن ضخامت دیوارها (ضخامت دیوار پانلی با پلی-استایرن به ضخامت 6 سانتی متر با اندوذهای سیمانی حدود 14 سانتی متر می‌باشد).
- قابلیت ترکیب با دیگر سیستم‌های سازه‌ای از قبیل سازه‌های فولادی و بتن آرمه.

#### ب - محدودیت‌های سازه‌های پانلی

- استفاده از سیستم پانل‌های 3D مشکلات و محدودیت‌های خاص خود را دارد. برخی از این محدودیت‌ها از قرار زیر است:
- عدم امکان ایجاد فضاهای با وسعت زیاد بدون دیوار و عدم امکان منظور نمودن مطلوب فضای پارکینگ از محدودیت‌های این سیستم می‌باشد. راه حل موجود برای رفع این مشکل، ترکیب سازه در ارتفاع (قاب در پایین و پانل در طبقات بالا) می‌باشد.
- عدم امکان پوشش سقف‌های با دهانه‌ی بزرگتر از 3 متر بدون نیاز به تقویت پانل سقفی.
- محدودیت تعداد طبقات 4 طبقه، با توجه به تحقیقات انجام شده تا به حال، امکان ساخت ساختمان با تعداد طبقات بیشتر از 4 طبقه با این سیستم وجود ندارد.
- محدودیت در طرح معماری، در این سیستم دیوارهای باربر نقش باربری را ایفا می‌کنند و این مسئله موجب محدودیت در ارائه طرح‌های متنوع معماری می‌شود.
- محدودیت در انتخاب ابعاد بازشوهای دیوارها با توجه به تأثیر این مطلب در باربری دیوارها.
- محدودیت در انتخاب ابعاد بازشوهای سقف با توجه به تأثیر این مطلب در باربری پانل‌های سقفی.

#### 1-4 انواع پانل‌های ساندویچی از لحاظ عملکرد سازه‌ای [3 و 4]

Einea [3] در تحقیقات خود پانل‌های ساندویچی را به سه گروه مرکب، نیمه مرکب و غیرمرکب تقسیم کرد. با توجه به تحقیقات وی در شرایط بار سرویس، چگونگی عملکرد مرکب مقطع یک پانل به صورت زیر تعریف می‌شود:

یک پانل ساندویچی تحت اثر بارهای سرویس زمانی مرکب کامل در نظر گرفته می‌شود که مقطع آن



به صورت کاملاً یکپارچه بوده و تمامی نیروی برش طولی وارده توسط اتصالات برشی در ارتفاع مقطع انتقال یابد (شکل 1-1-الف).

یک پانل ساندویچی تحت اثر بارهای سرویس زمانی نیمه مرکب در نظر گرفته می شود که اتصالات برشی آن بتوانند بین صفر تا صد در صد برش طولی مورد نیاز برای عملکرد مرکب کامل یک پانل را انتقال دهند (شکل 1-1-ب).

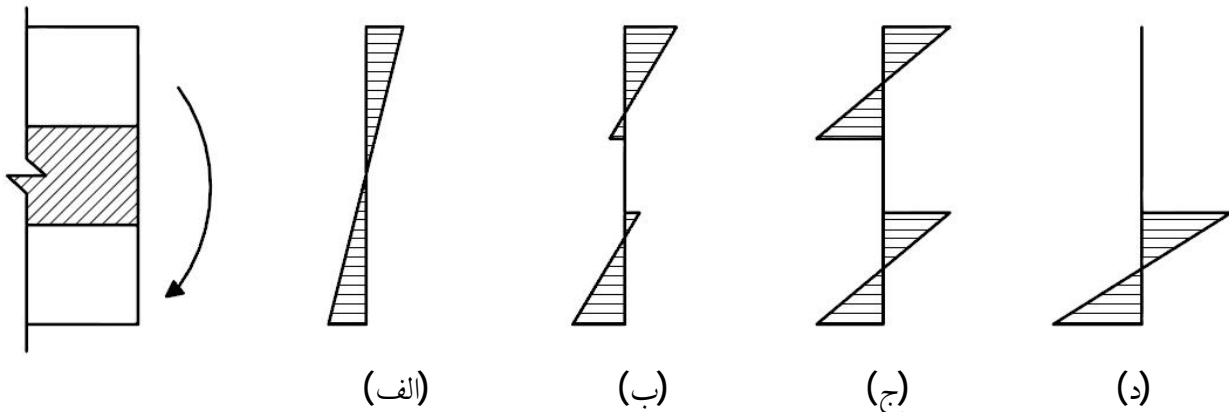
یک پانل ساندویچی تحت اثر بارهای سرویس زمانی غیرمرکب در نظر گرفته می شود که ظرفیت انتقال برش اتصالات برشی آن برابر صفر باشد (شکل 1-1-ج). در اکثر سیستم های پانل غیر مرکب، در اثر افزایش بار، تنها یکی از دو لایه مقاومت می کند که این موضوع در شکل (1-1-د) نمایش داده شده است.

تحت شرایط بار نهایی سرویس، چگونگی عملکرد مرکب مقطع یک پانل با توجه به تحقیقات Einea به صورت زیر تعریف می شود:

یک پانل ساندویچی در حالت مقاومت نهایی زمانی مرکب کامل در نظر گرفته می شود که گسیختگی آن در یک مد گسیختگی یکسان با تیرهای بتن آرمه یکپارچه صورت بگیرد. بنابراین در این حالت گسیختگی پانل به علت خردشدگی بتن فشاری و یا در اثر جاری شدن فولادهای کششی اتفاق می افتد. هر کدام از این مدهای گسیختگی تنها زمانی رخ می دهد که اتصالات برشی پانل، مقاومت برشی کافی برای انتقال برش طولی بین لایه های بتن را داشته باشند.

یک پانل ساندویچی در حالت مقاومت نهایی زمانی نیمه مرکب در نظر گرفته می شود که مقاومت لایه اتصال دهنده (اتصالات برشی) آن کمتر از مقاومتی باشد که برای عملکرد مرکب کامل مورد نیاز است. در این حالت اعضای تشکیل دهنده اتصالات برشی پانل، قبل از خردشدگی بتن فشاری و یا جاری شدن فولادهای کششی، گسیخته می شوند.

یک پانل ساندویچی در حالت مقاومت نهایی زمانی غیرمرکب در نظر گرفته می شود که لایه اتصال دهنده آن قادر به انتقال هیچ برشی بین لایه های بتنی نباشد.



شکل 1-1 دیاگرام توزیع تنش خمشی خالص در پانل‌های ساندویچی (الف) پانل مرکب کامل (ب) پانل نیمه مرکب (ج) پانل غیر مرکب، دو لایه سازه‌ای (د) پانل غیر مرکب، یک لایه سازه‌ای [3]

### 1-5 اجزای پانل‌های ساندویچی

پانل‌های ساندویچی از دو لایه اصلی که لایه عایق در وسط و لایه بتنی در دو طرف می‌باشد تشکیل می‌شوند:

**لایه‌های بتنی:** ضخامت هر لایه بتنی به مواردی نظیر عملکرد سازه‌ای، پوشش بتنی، مقاومت در برابر آتش و کاربری پانل بستگی دارد. در بعضی از نشریات استانداردهایی برای ضخامت لایه‌ها ارائه شده است، اما تولیدکنندگان این سیستم، با توجه به نتایج آزمایش، ضخامت مناسب را انتخاب می‌نمایند. لایه‌های بتنی می‌توانند به دو دسته لایه‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای تقسیم شوند:

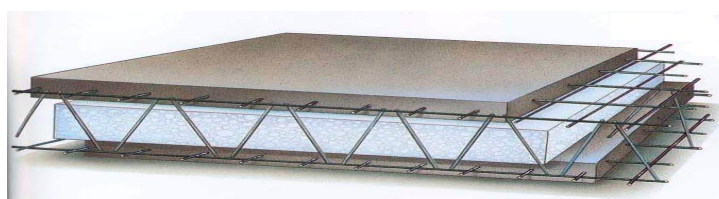
**لایه سازه‌ای:** یک لایه هنگامی به عنوان المان سازه‌ای در نظر گرفته می‌شود که سهم قابل توجهی در تامین مقاومت بار پانل داشته باشد. در پانل‌های تماماً کامپوزیت و نیمه کامپوزیت، هر دو لایه بتنی سازه‌ای هستند. در پانل‌های غیر کامپوزیت، اگر یکی از لایه‌ها سازه‌ای و دیگری غیر سازه‌ای و یا هر دو لایه سازه‌ای باشند، به طور مجزا در مقابل اعمال بار براساس نسبت ضخامت مربوطه‌شان مقاومت می‌نمایند.

**لایه غیر سازه‌ای:** یک لایه غیر سازه‌ای را می‌توان لایه پوششی یا لایه شناور خواند. این نوع لایه اصولاً برای مقاصد زیبایی و پوشش در مقابل اثر عوامل جوی و عایق‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور کاهش اتلاف حرارتی و همچنین در نظر گرفتن کاهش وزن پانل، ضخامت لایه غیر سازه‌ای باید در یک مقدار حداقل تامین گردد. ضمناً ضخامت باید تامین کننده حفاظ مناسبی برای پوشش اتصالات نیز باشد.

**لایه عایق:** ضخامت و نوع لایه عایق بستگی به خواص حرارتی ماده عایق، ساختار و مقاومت حرارتی مطلوب پانل دارد. عموماً یک ضخامت حداقل یک اینچی (25 میلی متر) برای عایق‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لایه عایق باید دارای ویژگی جذب آب پایین، به منظور پایین آوردن جذب آب از مکان تازه بتن‌پاشی شده باشد. ناپیوستگی لایه عایق باید بوسیله استفاده از بزرگترین اندازه‌های ممکن پانل عایق‌بندی و بوسیله عدم استفاده از اتصال لب‌به‌لب به حداقل برسد.

### 1-6 پانل‌های 3D و اجزای آن

پانل‌های 3D شامل دو صفحه شبکه جوش شده فولادی می‌باشد که یک هسته عایق در میان آن قرار گرفته و توسط تعدادی اعضای خرپایی به یکدیگر متصل شده‌اند که بعد از نصب، بتن از دو طرف روی آن پاشیده می‌شود (شکل 1-2). این پانل‌ها دارای اجزایی به شرح زیر می‌باشند:



شکل 1-2 پانل ساندویچی پیش ساخته سبک سه بعدی بتنی (3D Panel)

**شبکه جوش شده (مش):** از اتصال مفتول‌های فولادی سرد کشیده شده با آرایش عمود بر هم به صورت جوش مقاومتی به یکدیگر، شبکه‌ای ایجاد می‌شود که «شبکه جوش شده» خوانده می‌شود (منظور از مفتول سرد کشیده شده مفتولی است که طی فرآیندهای متوالی کشش، تنش‌زدایی و کشش مجدد که با تقلیل قطر نسبت به مفتول مبنا همراه است ساخته می‌شود). به سطح حاصل از تقاطع دو مفتول تار و پود به صورت متوالی در شبکه جوش شده «چشمه شبکه» اطلاق می‌شود.

**برشگیر:** عضو خرپایی فولادی که با آرایش تعیین شده توسط جوش مقاومتی به دو لایه شبکه جوش شده متصل می‌شود «برشگیر» نامیده می‌شود. این اعضا با آرایش منظم در پانل قرار می‌گیرند، به طوری که اتصال آنها در خواص مکانیکی شبکه جوش شده و پانل تولید شده نهایی خللی ایجاد نکند.

**لایه عایق:** لایه عایق صفحه‌ای یکپارچه با ضخامت معین، قرار گرفته به صورت متقارن و محصور با فاصله از شبکه‌های جوش شده پانل می‌باشد که برشگیر از میان آن عبور داده می‌شود.

**بتن پاششی (شاتکریت):** بتنی که با طرح اختلاط مخصوص ساخته شده و اجرای آن توسط پاشش سریع روی سطوح، بدون نیاز به قالب‌بندی، صورت می‌گیرد.

### 1-7 روش تولید پانل‌های 3D

شبکه‌های جوش شده با ابعاد و هندسه مشخص و منظم و با تلورانس‌های ابعادی معلوم شده توسط ماشین‌آلات اتوماتیک ساخته می‌شوند. فرآیند ساخت شبکه مش به این صورت است که ابتدا مفتول‌های با قطر 5/5 تا 6 میلی‌متر تحت عملیات کشش سرد (Cold Drawing) قرار گرفته و پس از طی مراحل عملیات برگشت و تنش‌گیری حرارتی (Annealing) و کشش سرد مجدد و پوسته‌گیری به مفتول‌های با قطر دلخواه تبدیل می‌شوند. بعد از تولید شبکه، یک صفحه پلی‌استایرن در بین دو لایه شبکه جوش شده قرار گرفته و در یک فرآیند اتوماتیک مفتول‌های عرضی قطری (Space Wires) موسوم به برشگیر (Shear Connector) بعد از رد شدن از بین لایه عایق، به شبکه‌های مش طرفین جوش می‌شوند. جوش مورد استفاده در اتصال مفتول‌های پانل به یکدیگر، جوش نقطه‌ای یا مقاومتی (Resistant Welding) می‌باشد.

لایه عایق پانل‌ها عموماً از نوع پلی‌استایرن انبساطی می‌باشد که با انبساط دانه‌های EPS در اثر حرارت سوپر هیت ساخته می‌شود. در این روش گرانول‌های پلی‌استایرن در داخل محفظه انبساط ریخته شده و بخار آب که حرارت آن حدود 160 درجه سانتی‌گراد می‌باشد موجب می‌گردد تا در زمان کوتاهی (حدود یک دقیقه) دانه‌ها شکفته شده و منبسط شود. این دانه‌ها می‌بایست پس از حرارت دادن مدتی در انبار بمانند که معمولاً حدود 10 ساعت است و بعد در دستگاه پرس ریخته می‌شود. حجم موادی که داخل پرس ریخته می‌شوند به اندازه محفظه داخل آن است. در این مرحله مجدداً حرارت لازم توسط بخار آب به مواد منبسط شده داده می‌شود. در اثر این حرارت، دانه‌های منبسط شده، بار دیگر منبسط می‌گردد و به دلیل اینکه فضای داخل بسته است فشار حاصل از انبساط مجدد، باعث می‌شود دانه‌های کروی فضای خالی بین خودشان را پر کنند، و لایه عایق پانل شکل گیرد.

### 1-8 روش اجرای ساختمان‌های پانلی

**اجرای فونداسیون:** طبق نقشه، پی نواری یا گسترده اجرا شده و آرماتورهای انتظار در محل قرارگیری دیوارها تعبیه می‌گردند. استقرار آرماتورهای انتظار بایستی با دقت انجام گیرد تا فاصله آنها طوری باشد که پانل‌های دیوار به راحتی داخل آنها قرار گیرند. عایق کاری سیستم نیز روی فونداسیون صورت می‌گیرد.