دفترچه محاسبات سازه خورشیدی

دو ردیف ۶ پنل – دو ردیف ۸ پنل – دو ردیف ۱۰ پنل

ویرایش اسفند ۹۸

مقدمه

سازه های خورشیدی که به اصطلاح به آن استراکچر پنل خورشیدی نیز گفته می شود، سیستم باربر صلبی است که تمامی نیروهای وارد شده به پنل خورشیدی را به زمین به عنوان تکیه گاه نهایی منتقل می کند. همچنین این سازه ها وظیفه دارند پنل های خورشیدی را در یک جهت و زاویه مشخص مقابل نور خورشید قرار دهند تا پنل خورشیدی بتواند با حداکثر راندمان انرژی الکتریکی را تولید نماید. روند طراحی این سازه ها باید به گونه ای باشد که در طول عمر پیش بینی شده بتوانند در مقابل تمامی نیرو های وارد شده پایدار و بدون نقص باقی بمانند.

طرح، محاسبه و اجرای سازه به عواملی متعددی بستگی خواهد داشت که بررسی روش‌های محاسبه و اجرایی متنوعی را ایجاب می کند. عوامل عمده ای که در طرح سازه و تعیین جنس اسکلت باربر سازه موثر است عبارت است از:

- بارهای وارد بر سیستم باربر
- مصالح مصرفی در ساخت اسکلت سازه
- مشخصات مکانیک فنی خاک و اطلاعات ژئوتکنیکی زمین
- روش‌های اجرایی متداول در کشور و منطقه
- مشخصات اقلیمی شامل اختلاف دما، سرعت وزش باد، مقدار بارش برف و ...
- چگونگی اجرا، نحوه نظارت بر اجرا و کنترل کیفی عملیات اجرایی

طراحی سازه ها براساس تخمین آیین نامه ها از میزان بارهای موجود انجام می گردد. امروزه طراحی و اجرای سازه ها به یك فرآیند ظریف و دقیق تبدیل شده است. در سازه های فولادی، دو نوع اعضای سازهای وجود دارد. یك گروه از آنها دستهای متداول که شامل مقاطع گرم-نوردشده و اعضای ساخته شده از ورقها میباشد. دیگری که کمتر شناخته شده ولی استفاده از

آن به صورت فزایندهای در حال رشد است، مقاطع سردنورد شده فولادی بوده که از ورق، نوار یا تسمه های صاف هستند که در ماشین های غلطك با دستگاه پرس یا دستگاههای خم کن شکل داده می شوند و تحت عنوان اعضای سازهای فولادی سردنوردشده (Cold Formed Steel یا CFS) نامیده میشود.

استفاده از اعضای فولادی سردنورد شده در ساختمان ها در حدود سال های 1850در ایالات متحده امریکا و بریتانیا شروع شد. اگرچه این اعضای فولادی به طور گسترده تا حدود سالهای 1940در ساختمان ها مورد استفاده وسیع قرار نگرفت.

از سال 1946استفاده و توسعه ی ساختمان های فولادی با مقاطع جدار نازك سردنوردشده در ایالات متحده با انتشار ویرایش های مختلف "ضوابط طراحی برای اعضای فولادی سرد نورد شده مربوط به موسسه آهن و فولاد امریکا AISIشتاب بیشتری پیدا کرده است.

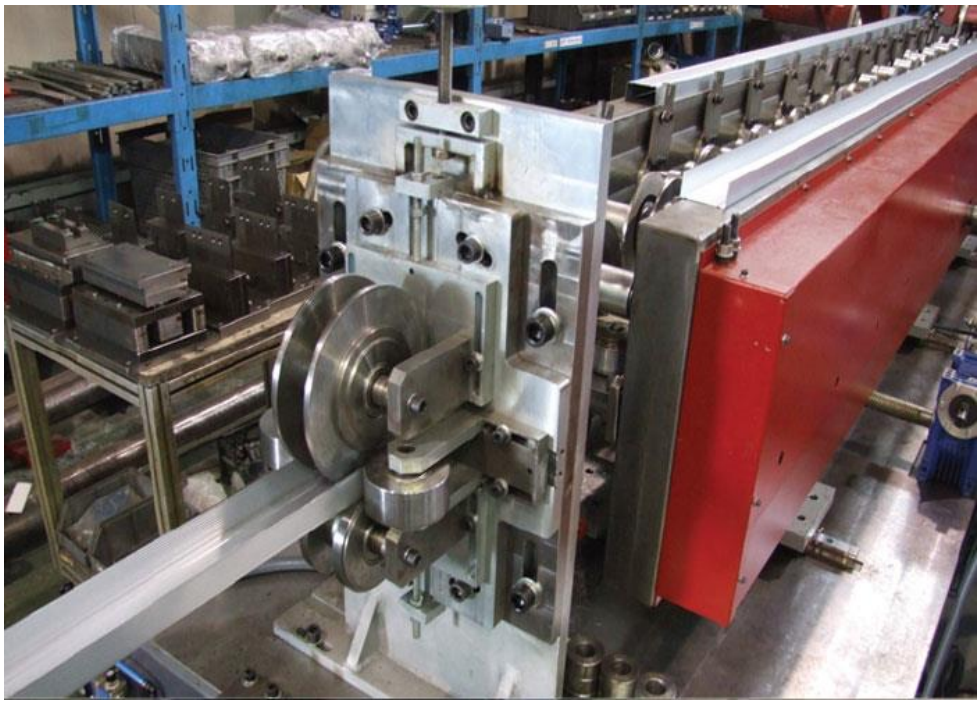
فرایند تولید سازه‌های CSF

برای تولید این سازه ها به طور معمول از رول‌های فولادی ST37 استفاده می شود. این رول ها با ضخامت‌های 1.5 میلی متر تا 5 میلی متر تهیه و به صورت رول نواربری می شوند. سپس به منظور تولید پروفیل‌های فولادی، رول‌ها داخل ماشین‌های رول فرمینگ می روند و در نهایت پروفیل‌های مختلف پس فرایند پرس و فرم تولید می شوند.

گفتنی است در این فرایند ماشین آلات فرم دهی از حرارت برای فرم دهی پروفیل ها استفاده نمی کنند و پروفیل ها صرفا توسط نیروی وارد شده از سوی دستگاه به صورت سرد فرم دهی می شوند.

یک رول فولادی ST37 در حال تولید

رول گالوانیزه کارخانه ای در کنار رول فولاد ST37 سیاه



ماشین آلات رول فرمینگ در حال ساخت پروفیل

ماشین آلات رول فرمینگ

استاندارد های طراحی سازه خورشیدی

استاندارد های رعایت شده در ساخت سازه خورشیدی به صورت زیر است :

آیین نامه بارگذاری	مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و AISI
آیین نامه طراحی سازه های فولادی سرد نورد	نشریه ض-۶
استاندارد گالوانیزه گرم	ASTM123 آمریکا
نرم افزار تحلیل و طراحی سازه	SAP 16.0.0

نوع پروفیل و تجهیزات استفاده شده در سازه

نوع فولاد	رول ST37 با ضخامت 2 میلی متر
مقاومت مشخصه فولاد پروفیل	فولاد دست نخورده با تنش تسلیمی $2400\ \frac{\mathrm{Kg}}{cm^2}$
وزن واحد حجم	$7850\ \frac{Kg}{m^3}$
ترکیب پیچ و واشر	۲ عدد واشر تخت و یک عدد واشر فنری
نوع پیچ	پیچ شش گوش آچار خور تمام دنده
آیین نامه و استاندارد پیچ و مهره	DIN933
نوع نگهدارنده پنل	کلمپ آلمینیومی دو نوع T و Z
نوع پیچ کلمپ	پیچ آلن خور گالوانیزه + مهره و واشر

مشخصات سازه طراحی شده

زاویه پنل نسبت به سطح زمین	**۳۰ درجه**
ارتفاع پنل از پایین ترین پایه سازه	حداقل ۳۰ و حداکثر ۵۰ سانتی متر
سایز پنل قابل نصب	تمامی پنل های ۶۰ و ۷۲ سلولی با عرض یک متر
بار برف	منطقه با برف سنگین ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع
سرعت مبنای باد	باد با سرعت ۱۲۰ کیلومتر در ساعت
وزن پنل قابل قبول	۲۴ کیلوگرم
بار پنل	۱۴ کیلوگرم بر متر مربع

روند ساخت و طراحی سازه

طرح تمامی سازه ها ابتدا در یک نرم افزار نقشه کشی مانند Autocad آماده و پس از بررسی نهایی برای تحلیل بارگذاری وارد نرم افزار SAP می گردد. در نرم افزار SAP اطلاعات اولیه پروفیل های سازه مانند ضخامت، شکل پروفیل، تنش و ... وارد می شود. پس وارد کردن اطلاعات اولیه، بارگذاری سازه آنالیز می شود. بارگذاری سازه شامل موارد زیر است :

- بار مرده
- بار زنده
- بار باد
- بار برف

بار مرده

این نوع بار مربوط به نیروهای همیشگی اعمال شده به خود سازه است. برای مثال وزن خود پروفیل های سازه و پنل های خورشیدی که به صورت همیشگی بر روی سازه اعمال می شود. گفتنی است بار ناشی از وزن پنل ها در حدود ۱۴ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است. بزرگ ترین پنل مورد استفاده در نیروگاه های خورشیدی، پنل های ۷۲ سلولی است که وزن تقریبی آن ها در حدود ۲۲ تا ۲۴ کیلوگرم تخمین زده می شود. با توجه به این که ابعاد پنل های ۷۲ سلولی ۲ متر در ۱ متر است بنابر این بار ناشی از پنل ها مناسب در نظر گرفته شده است. از طرفی ضریب اطمینان لحاظ شده در آنالیز نیز حاشیه امنی را برای این نوع بارگذاری به وجود می آورد.

با توجه به این که پروفیل های سازه از ورق های سیاه و گالوانیزه گرم تولید شده است و وزن آهن آلات برحسب کیلوگرم بر متر با ۷.۸۶ کیلوگرم بر دسی متر مربع محاسبه می‌شود، به راحتی وزن پروفیل ها از روی وزن مخصوص آهن محاسبه می شود.

وزن = وزن مخصوص × قطر یا ضخامت × عرض × طول

به عنوان مثال در صورت استفاده از ورق 2 میلی متر و عرض ورق 0.2 متر، وزن هر پروفیل یک متری برابر است با 3.2 کیلوگرم که با توجه به گالوانیزه بودن ورق ها وزن مخصوص به عدد 8 روبه بالا گرد شده است.

از طرفی به دلیل استفاده از نبشی ها، پیچ و مهره گالوانیزه نمره 10 و کلمپ های آلمینیومی وزن سازه تا عدد مشخصی افزایش پیدا می کند که این وزن نیز در آنالیز سازه در نظر گرفته شده است.

بار زنده سازه

منظور از بار زنده، تمامی نیرو هایی است که بعد از ساخت سازه و به صورت لحظه ای به سازه وارد می شود. برای مثال در ساختمان ها، تردد افراد می تواند نوعی بار زنده در نظر گرفته شود. گفتنی است بار باد، برق و زلزله نیز نوعی بار زنده به حساب می آیند اما به دلیل خاص بودن آن ها به صورت جداگانه برسی می شوند. در سازه های خورشیدی، بار زنده شامل نیروی وارد شده به سازه به خاطر نشتن پرنده ها و نیروهای وارد شده از سوی دست انسان است.

بار باد

در صورت وزش باد به سطح مقاطع فلزی سازه، نیرویی نیز به بدنه سازه اعمال می شود که باید در محاسبات لحاظ شود. همچنین در صورت نصب پنل ها سطح بادگیری نیز بر روی سازه به وجود خواهد آمد که این مورد نیز در طراحی باید در نظر گرفته شود. برای محاسبه حداکثر سرعت باد باید به آنالیز های هواشناسی رجوع و بیشینه سرعت باد ثبت شده برای دوره بازگشت ۵۰ ساله را برسی نمود. به عنوان مثال برای شیراز حداکثر سرعت باد برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حدود ۳۰ متر بر ثانیه ثبت شده که سرعت باد را می توان در حدود ۱۱۰ کیلومتر در ساعت در نظر گرفت.

بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان فشار وارد بر سازه از سوی باد بر اساس فرمول زیر محاسبه می شود.

$$p = I_W * q * C_e * C_g * C_p$$

پارامتر های این رابطه به صورت زیر است :

- پارامتر I_w ضریب اهمیت و برابر ۱ در نظر گرفته شده است
- پارامتر q فشار مبنای باد و از رابطه زیر محاسبه می شود

$$\mathrm{Q} = 0.00613 * V^2 = 88.2 \ \frac{\mathrm{kg}}{m^2}$$

در این رابطه ۷ برابر با سرعت مبنای باد است که برای هر شهر با دوره بازگشت ۵۰ ساله از داده های آماری بدست می آید. سرعت مبنا در اینجا برابر با ۱۲۰ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شده است.

- پارامتر C_e ضریب بادگیری بوده و برای سازه های خورشیدی در زمین باز با تراکم کم ساختمان برابر با :

ارتفاع بالای سازه برابر است با ۲ متر در نظر گرفته شده است

$$C_e = 0.9 * (\frac{h}{10})^{0.2} = 0.65 \ \leq 0.9 \ \rightarrow \ C_e = 0.9$$

ضریب C_g اثر جهشی باد با توجه به آیین نامه برابر با ۲.۵ و ضریب C_p برای فشار و مکش مجموعا ۱.۷ در نظر گرفته شده است. در نتیجه فشار باد برابر است با :

$$p = 1 * 88.2 * 0.9 * 2.5 * 1.7 = 337 \ \frac{Kg}{m^2}$$

بار برف

پس از بارش برف، مقدار مشخصی برف بر روی سازه می نشیند و با توجه به شیب دار بودن سازه ها ممکن است، برف قسمت پایینی بیشتر از قسمت بالایی سازه باشد. بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بار برف از فرمول زیر محاسبه می شود :

$$Pr = 0.7 * Cs * Ct * Ce * Is * Pg$$

که در آن :

- پارامتر I_S ضریب اهمیت و برابر ۰.۹ در نظر گرفته می شود
- پارامتر C_e ضریب برفگیری سازه که مطابق آیین نامه برابر با ۱ در نظر گرفته شده
- پارامتر C_t ضریب شرایط دمایی که مطابق آیین نامه برابر با ۱.۲ که برای سازه هایی در فضای باز و بدون سیستم گرمایشی است
- پارامتر C_S ضریب شیب و به صورت زیر محاسبه می شود :

با توجه به تنوع نقاط برف و محدودیت دوره بازگشت ۵۰ ساله پارامتر ها به صورت زیر محاسبه می شوند :

$$C_s = 1 - \frac{\alpha - \alpha_0}{70 - \alpha_0} = 1 - \frac{30 - 15}{70 - 15} \approx 0.72$$

گفتنی است α_0 با توجه به C_t که بیش از ۱.۱ است مطابق آیین نامه برابر با ۱۵ درجه در نظر گرفته شده است.

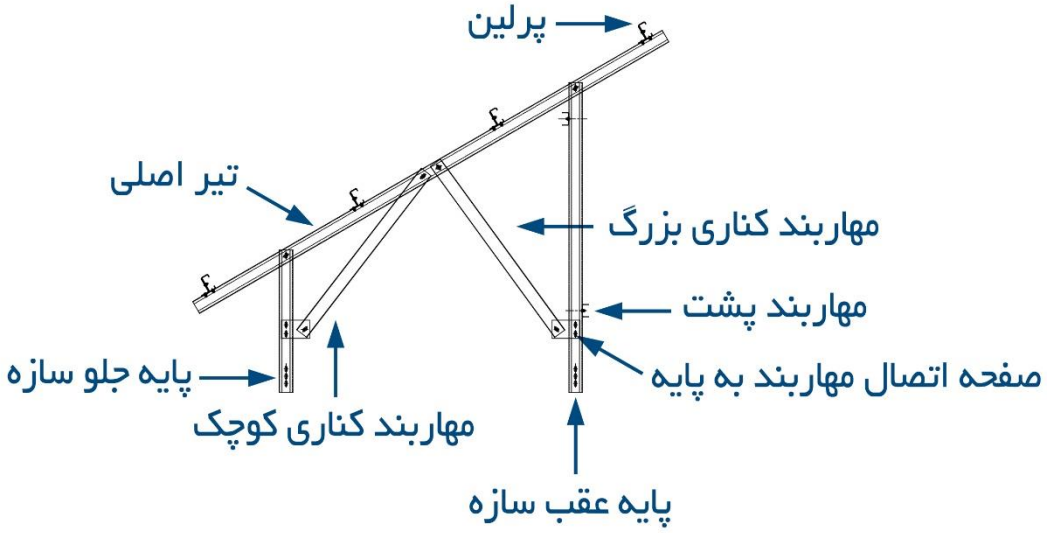
همچنین P_g بار برف زمین و با توجه به منطقه نصب سازه و بر اساس داده های آماری با دوره بازگشت ۵۰ ساله بدست می آید که با توجه به جداول داخل آیین نامه برای منطقه ۴ با بار برف سنگین برابر با ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته می شود. در نتیجه بار برف به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\mathrm{Pr} = 0.7 * 0.72 * 1.2 * 1 * 0.9 * 150 \approx 91 \frac{Kg}{m^2}$$

پس از محاسبه بار های اصلی سازه و آنالیز آن توسط نرم افزار SAP ایرادات طرح اولیه گرفته می شود. ممکن است در برخی مقاطع نیاز به افزایش ضخامت پروفیل حس شود که در این صورت طرح اولیه اصلاح می شود. پس از این نقشه های دو بعدی از نرم افزار خروجی گرفته می شود. رول های برش خورده به عرض های مشخص در دستگاه رول باز کن قرار می گیرند و به سمت ماشین فرم دهی حرکت می کنند. پس از فرم دهی، پروفیل ها به قسمت پانچ هدایت می شوند که سوراخ های لازم برای پیچ و مهره روی آن ایجاد می شود. در صورت استفاده از ورق سیاه، سازه ها برای آبکاری به کارخانه دیگری ارسال می شوند. کلیه پیچ و مهره های استفاده شده در سازه نیز از نوع گالوانیزه است.

مقاطع مورد استفاده در سازه

سازه های دو ردیف ۶ پنل، ۸ پنل و ۱۰ پنل از دو خرپا هر کدام دارای ۲ پایه و مهاربند تشکیل شده است. برای اتصال مهاربند ها به پایه از یک صفحه ۱۰ در ۱۵.۵ سانتی متر با ضخامت ۴ میلی متر استفاده شده است که پایداری نسبتا خوبی را به سازه می دهد.

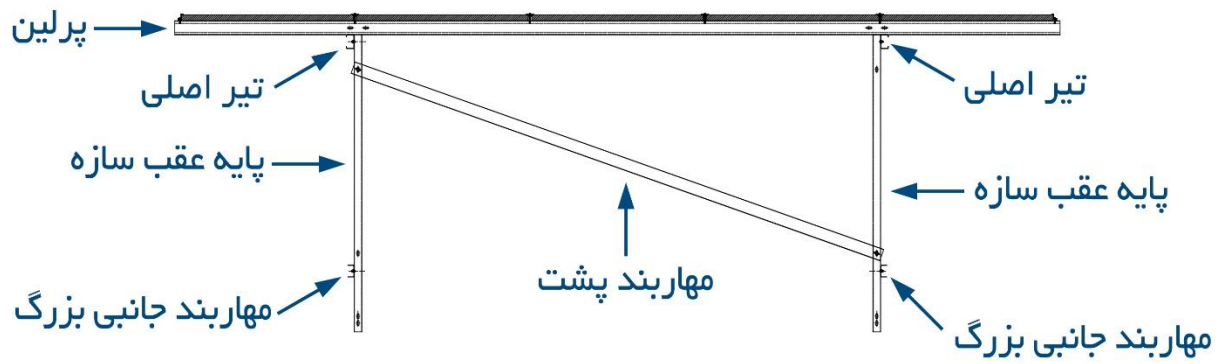


مشخصات مقاطع در خرپا به صورت زیر است :

نام مقطع	عرض پروفیل	عرض جان	عرض بال	عرض لبه	طول پروفیل	وزن پروفیل
پایه جلو	172	80	35	11	787	2.11
پایه عقب	172	80	35	11	1712	4.59
تیر اصلی	172	80	35	11	3000	8.04
مهاربند کوچک	140	80	30	0	1128	2.46
مهاربند بزرگ	140	80	30	0	1168	2.55
صفحه اتصال	155	-	-	-	100	0.48

تمامی ابعاد به میلی متر است

تمامی پنل ها در هر ردیف بر روی دو ریل اصلی به عنوان پرلین قرار می گیرند و توسط کلمپ آلمینیومی به پرلین ها متصل می شوند. به همین صورت هر سازه دو ردیف دارای دو ریل یا ۴ پروفیل C با سوراخ های مخصوص پنل خورشیدی است. پرلین ها بر روی تیر اصلی هر کدام از خرپا ها متصل می شوند. همچنین یک مهاربند پشتی نیز برای استحکام بیشتر سازه بین دو پایه پشتی خرپا متصل می شود.



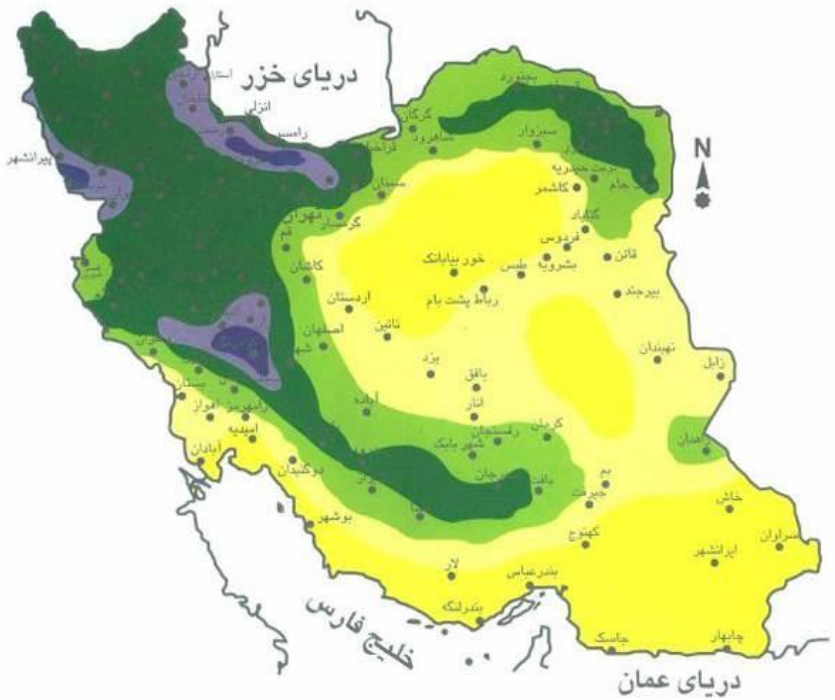
نام مقطع	عرض پروفیل	عرض جان	عرض بال	عرض لبه	طول پروفیل	وزن پروفیل
پایه عقب	172	80	35	11	1712	4.59
تیر اصلی	172	80	35	11	3000	8.04
مهاربند پشت سازه ۱۰ پنل	140	80	30	0	3242	7.08
مهاربند پشت سازه ۶ و ۸ پنل	140	80	30	0	2891	6.31
پرلین سازه ۶ پنل	172	80	35	11	3100	8.31
پرلین سازه ۸ پنل	172	80	35	11	4108	11.02
پرلین سازه ۱۰ پنل	172	80	35	11	5120	13.73

نوع سازه	تعداد پروفیل	وزن سازه	تعداد پیچ	تعداد کلمپ
سازه ۶ پنل	15	81	40	16
سازه ۸ پنل	15	92	40	20
سازه ۱۰ پنل	15	104	40	24

جدول سرعت مبنای باد هر شهر مطابق مبحث 6 آیین نامه مقررات ملی ساختمان

ردیف	نام ایستگاه	سرعت مبنای باد	ردیف	نام ایستگاه	سرعت مبنای باد
۱	آبادان	۹۰	۳۰	دزفول	۱۱۰
۲	آباده	۱۰۰	۳۱	رامسر	۹۰
۳	آبعلی	۱۱۰	۳۲	رشت	۹۰
۴	اراک	۹۰	۳۳	زابل	۱۲۰
۵	اردبیل	۱۳۰	۳۴	زاهدان	۱۳۰
۶	ارومیه	۹۰	۳۵	زنجان	۸۰
۷	آغاجاری	۱۱۰	۳۶	سبزوار	۹۰
۸	اصفهان	۱۱۰	۳۷	سرخس	۱۱۰
۹	امیدیه	۱۱۰	۳۸	سقز	۱۰۰
۱۰	اهواز	۱۱۰	۳۹	سمنان	۸۰
۱۱	ایرانشهر	۱۱۰	۴۰	سنندج	۹۰
۱۲	بابلسر	۱۰۰	۴۱	شاهرود	۸۰
۱۳	بجنورد	۱۳۰	۴۲	شهرکرد	۸۰
۱۴	بم	۱۱۰	۴۳	شیراز	۸۰
۱۵	بندر انزلی	۱۱۰	۴۴	طبس	۹۰
۱۶	بندر عباس	۱۰۰	۴۵	فسا	۹۰
۱۷	بندر لنگه	۹۰	۴۶	قایم شهر	۹۰
۱۸	بوشهر	۱۰۰	۴۷	قزوین	۱۰۰
۱۹	بیرجند	۹۰	۴۸	قم	۹۰
۲۰	پارس آباد	۱۰۰	۴۹	کاشان	۱۰۰
۲۱	تبریز	۱۱۰	۵۰	کرمان	۱۳۰
۲۲	تربت حیدریه	۸۰	۵۱	کرمانشاه	۹۰
۲۳	تهران	۱۰۰	۵۲	گرگان	۸۰
۲۴	جاسک	۱۰۰	۵۳	مراغه	۱۱۰
۲۵	جزیره سیره	۱۱۰	۵۴	مشهد	۹۰
۲۶	جزیره کیش	۱۰۰	۵۵	منجیل	۱۳۰
۲۷	چابهار	۹۰	۵۶	نوشهر	۹۰
۲۸	خرم آباد	۸۰	۵۷	همدان	۱۰۰
۲۹	خوی	۹۰	۵۸	یزد	۱۱۰

تقسیم بندی مناطق کشور برای بار برف



شکل ۶-۷-۱ تقسیم بندی مناطق کشور برای بار برف

- منطقه ۱- مناطق با برف نادر
- منطقه ۲- مناطق با برف کم
- منطقه ۳- مناطق با برف متوسط
- منطقه ۴- مناطق با برف زیاد
- منطقه ۵- مناطق با برف سنگین
- منطقه ۶- مناطق با برف فوق سنگین

ضریب اهمیت مربوط به گروه بندی خطرپذیری سازه ها برای بار باد و بار برف

گروه خطر پذیری	ضریب اهمیت بار باد I_W	ضریب اهمیت بار برف I_s
1	1.25	1.2
2	1.15	1.1
3	1	1
4	0.8	0.8

با توجه به جدول ۶-۱-۱ گروه خطرپذیری ساختمان و سایر سازه ها در مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان، سازه های خورشیدی در گروه خطر پذیری ۴ قرار می گیرند در نتیجه ضریب اهمیت بار باد و بار برف برابر ۰.۸ است. اما برای احتیاط بیشتر این ضریب برابر ۰.۹ در نظر گرفته می شود.

ترکیب بار در فرایند طراحی سازه

در فرایند تحلیل بارگذاری سازه ها می بایست تاثیر همزمانی بار ها را در نظر گرفت. برای مثال ممکن است بار برف با بار باد به صورت همزمان اعمال شود که در این صورت سازه باید به طور کامل مقاوم باشد.

علایم به کار رفته به صورت زیر است :

- بار مرده D
- بار زنده طبقات به جز بام L
- حداقل بار زنده گسترده یکنواخت L_0
- بار زنده بام L_r
- بار برف S
- بار باد W

ترکیب بار مطابق بند ۶-۲-۳-۳ مبحث ۶ آیین نامه مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته شده است و به صورت زیر است :

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L + 0.5\left(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R\right)$
- $1.2\text{D} + 1.6\left(L_r \text{ یا S یا R}\right) + \left[L \text{ یا } 0.5(1.4W)\right]$
- $1.2D + 1.0(1.4W) + L + 0.5\left(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R\right)$
- $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
- $0.9D + 1.0(1.4W)$
- $0.9D + 1.0E$
- $1.2D + 0.5L + 0.5\left(L_r \text{ یا } S\right) + 1.2T$
- $1.2D + 1.6L + 1.6\left(L_r \text{ یا } S\right) + 1.0T$

محاسبه وزن فوندانسیون و لنگر واژگونی سازه

به منظور کنترل سازه در مقابل واژگونی از وزنه بتنی استفاده می شود که با توجه به تحلیل انجام شده در نرم افزار و مشخصات سازه، میزان لنگر واژگونی M_p برابر است با :

- برای باد با سرعت 130 کیلومتر بر ساعت برابر است با 673 کیلوگرم
- برای باد با سرعت 120 کیلومتر بر ساعت برابر است با 591 کیلوگرم
- برای باد با سرعت 110 کیلومتر بر ساعت برابر است با 515 کیلوگرم
- برای باد با سرعت 100 کیلومتر بر ساعت برابر است با 446 کیلوگرم

در صورتی که ضریب اطمینان برابر با ۱ در نظر بگیریم لنگر مقاوم برابر با لنگر واژگونی می شود و در نتیجه اعداد بدست آمده همان وزن مورد نیاز برای مقاوم کردن هر پایه است.

با توجه به استفاده از بتن برای ساخت وزنه ها و وزن مخصوص بتن که برابر با 2400 کیلوگرم بر متر مکعب است حجم هر پایه در سرعت باد ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت برابر است با ۰.۲۵ متر مکعب. به طور مثال می توان از یک بلوک یا قالب سیمانی با ابعاد ۸۰ سانت در ۸۰ سانت با ارتفاع ۴۰ سانت استفاده نمود.

پیاده سازی فوندانسیون وزنی با استفاده از کول میله ای

کول میله ای چاه یک گزینه مناسب برای کنترل لنگر واژگونی سازه های خورشیدی در مقابل بار بار است. کول میله ای یک حلقه سیمانی است که به منظور مقاوم کردن بدنه چاه مورد استفاده قرار می گیرد و به نوعی یک قالب مقاوم مناسب برای بتن ریزی است. به دلیل اینکه پایه وزنی عملا از واژگونی سازه در مقابل بار باد جلوگیری می کند در نتیجه بار کششی اعمال شده به فوندانسیون بالا نبوده و استفاده از یک ست آرماتور ساده در داخل کول می تواند علاوه بر افزایش نسبی مقاومت کششی از ترک خوردن بتن نیز جلوگیری کند. کول ها بر اساس قطر دهانه آن ها نام گذاری می شوند و به صورت متری به فروش می رسند. ارتفاع هر کول در حدود 0.25 متر بوده و در نتیجه هر متر کول شامل 4 عدد حلقه بتنی می شود.

در جدول زیر مشخصات کول های مناسب سازه های خورشیدی و وزن آن ها پس از پر شدن با بتن درج شده است. وزن مخصوص بتن 2400 کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است.

قطر کول	وزن پر شده با بتن	مناسب برای باد با سرعت
90 سانتی متر	381 کیلوگرم	90 کیلومتر در ساعت
100 سانتی متر	471 کیلوگرم	100 کیلومتر در ساعت
110 سانتی متر	570 کیلوگرم	110 کیلومتر در ساعت
120 سانتی متر	679 کیلوگرم	120 کیلومتر در ساعت

به منظور آماده سازی بتن با عیار 350 طرح اختلاط زیر توصیه می شود.

- نسبت آب به سیمان $\frac{W}{C}$ برابر با 0.5 در نظر گرفته می شود
- ماسه شسته رودخانه ای طبیعی 35 درصد مصالح
- ماسه شسته دستگاهی 20 درصد مصالح
- شن نخودی و بادامی 45 درصد مصالح

گفتنی است هر متر مکعب بتن دارای وزن مخصوص 2400 کیلوگرم است. با توجه به عیار 350، مقدار 350 کیلوگرم سیمان در هر متر مکعب استفاده می شود. بر اساس نسبت 0.5 آب به سیمان مقدار آب مورد نیاز برای یک متر مکعب بتن حدود 175 کیلوگرم یا 175 لیتر در نظر گرفته می شود. در صورتی که وزن آب و سیمان را از 2400 کیلوگرم کم کنیم عدد 1875 کیلوگرم به دست می آید. 55 درصد این عدد ماسه و 45 درصد شامل شن است.

به توجه به سادگی سازه های خورشیدی، حساسیت در اختلاط و ساخت بتن تا حدی پایین بوده و توصیه می شود ماسه و شن را به صورت آماده تهیه کنید.

با توجه به این که هر سازه دارای 4 پایه است، میزان خاک و سیمان و آب با توجه به قطر هر کول در جدول زیر مشخص شده است.

قطر کول به سانتی متر	وزن کول های 4 پایه	تعداد بسته 50 کیلوگرمی سیمان	میزان شن و ماسه روی هم	میزان آب مورد نیاز به لیتر
90	1530 کیلوگرم	5	1300کیلوگرم	125
100	1890 کیلوگرم	6	1600 کیلوگرم	150
110	2300 کیلوگرم	7	2000 کیلوگرم	175
120	2720 کیلوگرم	8	2300 کیلوگرم	200