

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش: سازه

عنوان:

مطالعه عوامل مؤثر بر پدیده کمانش پیچشی - جانبی جان تیرهای
لانه زنبوری

استاد راهنما:

دکتر جعفر عسگری مارنانی

استاد مشاور:

دکتر محمدصادق روحانی منش

پژوهشگر:

محمد جلیل زاده افشاری

بهار ۱۳۹۰



ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Central Tehran Branch

Faculty of Engineering and Technology - Department of civil

“M.Sc” Thesis

On Structural Eng.

Subject:

Study of effective factors on lateral torsional buckling of the
web of castellated beams.

Advisor:

D.r. Jafar Askari Marnani

Reader:

Dr. Mohammad Sadegh Rohanimanesh

By:

Mohammad Jalilzade Afshari

Spring 2011

تشکر و قدردانی ...

در طی مدت انجام این تحقیق، همواره راهنمائی‌های ارزشمند و حمایت‌های بی‌دریغ استاد ارجمند جناب آقای دکتر عسگری، راهگشای اینجانب بوده است. از این رو بر خود، لازم می‌دانم از ایشان به دلیل قبول مسئولیت این پایان‌نامه و کمک‌های بسیار ارزشمند ایشان سپاسگزاری نمایم...

سرانجام بهترین آرزوی قلبی‌ام را تقدیم پدر و مادر گرانقدر و خانواده عزیز می‌نمایم که در مدت انجام این کار علاوه بر فراهم کردن محیطی گرم و صمیمی از هیچ‌گونه کوششی در این راه فروگذار نبوده‌اند.

تقديم به:

پدر و مادر عزيزم

و

همه آنان كه به من مي آموزند

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	فصل ۱- پیشینه تحقیقاتی تیرهای لانه زنبوری
۳	۱-۱- کلیات
۴	۲-۱- انواع گسیختگی در تیرهای لانه زنبوری
۵	۳-۱- تحلیل و طراحی به روش تنش مجاز
۵	۱-۳-۱- تیر معادل
۵	۲-۳-۱- روش قیاس به خریای ویرندیل
۱۱	۳-۳-۱- روش جان پیوسته معادل
۱۲	۴-۳-۱- روشهای عددی
۱۲	۴-۱- روشهای آنالیز حدی
۱۲	۱-۴-۱- آنالیز پلاستیک
۱۴	۲-۴-۱- روشهای عددی
۱۵	فصل ۲- سابقه تحقیقات مرتبط با تحقیق حاضر
۱۶	۱-۲- مقدمه
۱۶	۲-۲- خلاصه مطالعات انجام شده
۱۶	۱-۲-۲- تحلیل تفصیلی تنشها و تمرکز تنشها
۱۶	۲-۲-۲- ارائه روش محاسبه تغییر مکان تیرهای لانه زنبوری و ماتریس سختی...
۱۷	۳-۲-۲- بررسی رفتار قابهای متشکل از تیرهای لانه زنبوری
۱۷	۴-۲-۲- تیر منشوری معادل ارائه شده توسط مالک
۱۹	۵-۲-۲- ملزومات کیفی جوش جان در تیرهای لانه زنبوری
۱۹	۶-۲-۲- تحقیقات آزمایشگاهی به منظور مشاهده رفتار و صور مختلف گسیختگی
۱۹	۷-۲-۲- پژوهشهای آزمایشگاهی و نظری در مورد اجزاء تشکیل دهنده تیر لانه زنبوری
۲۰	۸-۲-۲- مطالعات اجزاء محدود غیر خطی رفتار حدی (پلاستیسیته گسترده ...)
۲۰	۹-۲-۲- مطالعات آزمایشگاهی و اجزاء محدود غیرخطی در زمینه کمانش ...
۲۰	۱۰-۲-۲- رفتار دینامیکی تیرهای لانه زنبوری
۲۱	۱۱-۲-۲- رفتار لرزه‌ای قابهای متشکل از تیرهای لانه زنبوری
۲۱	۱۲-۲-۲- سایر زمینه‌های مطالعاتی
۲۱	۱۳-۲-۲- فعالیت‌های انجام شده توسط پژوهشگران و محققان بین المللی در این زمینه

۲۲	۳-۲- جایگاه پایان‌نامه حاضر در مجموعه تحقیقات مربوط به تیرهای لانه زنبوري
۲۳	۴-۲- کمانش جانبي پيچشي جان
۲۴	۱-۴-۲- کمانش جانبي - پيچشي الاستيك جان
۲۵	۲-۴-۲- کمانش جانبي - پيچشي خميري جان
۳۴	۳-۴-۲- مطالعه آزمایشگاهی کمانش جانبي - پيچشي جان
۳۴	۱-۳-۴-۲- نمونه‌هاي آزمایش مالك - محموديان
۳۷	فصل ۳- مدل‌سازي تير لانه زنبوري جهت تحليل
۳۸	۱-۳- مقدمه (روش مدل‌سازي)
۳۹	۲-۳- معرفي و مقایسه المان‌هاي Shell 43 , Shell 93
۴۲	۳-۳- انتخاب شبکه‌بندی مناسب جان
۴۵	۴-۳- ابعاد و هندسه تير CPE 180
۴۷	فصل ۴- معرفي معيارهاي مورد نظر در تحليل رفتار تيرهاي لانه زنبوري
۴۸	۱-۴- مقدمه
۴۸	۲-۴- نقطه بروز سيلان برشي در محل جوش جان
۴۹	۳-۴- بروز سيلان گسترده برشي در محل جوش جان
۵۰	۴-۴- نقطه بروز سيلان و تشكيل مکانيزم كامل ویرندبلي
۵۱	۵-۴- نقطه بروز کمانش پيچشي - جانبي جان
۵۲	۱-۵-۴- بررسی مکانيزم وقوع کمانش پيچشي - جانبي جان
۶۴	۶-۴- نقطه مقاومت نهائي تير
۶۵	فصل ۵: بررسی عوامل مؤثر در بروز کمانش پيچشي - جانبي جان تيرهاي لانه زنبوري
۶۶	۱-۵- مقدمه
۶۷	۲-۵- اثر نوع مصالح در نظر گرفته شده
۶۷	۱-۲-۵- نمودار تنش - کرنش
۷۰	۲-۲-۵- میزان تنش حد جاري شدن (F_y) و تنش حد گسيختگي نهائي (F_u) مصالح
۷۳	۳-۲-۵- مصالح انتخاب شده براي آناليز اين پروژه
۷۴	۳-۵- شرایط مرزي
۷۴	۱-۳-۵- شرایط تکیه‌گاهی
۸۱	۲-۳-۵- قيد (مهار) جانبي بال فوقاني تير لانه زنبوري
۸۶	۴-۵- نابه جائي اوليه
۸۶	۱-۴-۵- جابه‌جائي
۸۷	۲-۴-۵- نابه‌جائي دوراني

۸۸	۱-۲-۴-۵- تأثیر کمانش پیچشی - جانی بر عملکرد و باربری تیر لانه زنبوری
۹۱	۲-۲-۴-۵- بررسی تأثیر میزان نابهجائی دورانی بر رفتار تیر لانه زنبوری
۹۵	۵ - ۵ - مشخصات فیزیکی
۹۶	۱-۵-۵- طول تیر لانه زنبوری (تعداد پانل)
۱۰۳	۲- ۵-۵- شماره (ارتفاع) تیر مولد تیر لانه زنبوری
۱۰۶	۶-۵- نوع بارگذاری
۱۰۸	۷-۵- هندسه برش تیر لانه زنبوری
۱۱۲	فصل ۶ - نتیجهگیری و ارائه پیشنهادات
۱۱۵	فهرست مراجع

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱ - نتایج آزمایشگاهی کمانش جانبی پیچشی جان توسط مهندس محمودیان	۳۱
جدول ۲-۲ - (ادامه) نتایج آزمایشگاهی کمانش جانبی پیچشی جان توسط مهندس محمودیان	۳۲
جدول ۲-۳ - (ادامه) نتایج آزمایشگاهی کمانش جانبی پیچشی جان توسط مهندس محمودیان	۳۳
جدول ۲-۴ - مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتویری های موجود	۳۶
جدول ۳-۱ - مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی با المان های shell 93 و shell 43	۴۰
جدول ۳-۲ - مقادیر خیز وسط دهانه برای اندازه های مختلف مش جان	۴۴
جدول ۴-۱ - مقادیر تغییر شکل های خارج از صفحه (U_z) در نقاط مختلف جان	۵۵
جدول ۴-۲ - مقادیر تنش اصلی عمود بر صفحه (S_3) در نقاط مختلف جان	۵۷
جدول ۴-۳ - مقادیر تنش برشی داخل صفحه (S_{xy}) در نقاط مختلف جان	۵۹
جدول ۴-۴ - مقادیر تنش فون میسز (σ_{von}) در نقاط مختلف جان	۶۱
جدول ۵-۱ - مشخصات مصالح استفاده شده در ادامه آنالیزهای این تحقیق	۷۳
جدول ۵-۲ - مقادیر تغییر مکان قائم نمونه های ایده آل و با نابهجائی	۹۰
جدول ۵-۳ - نتایج حاصل از آنالیز مدل ایده آل و با نابهجائی.	۹۱
جدول ۵-۴ - مقادیر متناظر لنگر و برش برای طول دهانه های مختلف	۹۳
جدول ۵-۵ - مقادیر متناظر لنگر و برش برای تیرهای ۶، ۸، ۱۰ پانله تحت زوایای مختلف نابهجائی	۹۴
جدول ۵-۶ - باربری نهائی و عامل اصلی گسیختگی تیر با دهانه مختلف (مفصل - مهار جانبی ...	۹۸
جدول ۵-۷ - باربری نهائی و عامل اصلی گسیختگی تیر با دهانه های مختلف (مفصل - مهار ...	۱۰۰
جدول ۵-۸ - باربری نهائی و عامل اصلی گسیختگی تیر با دهانه های مختلف (غلتك - مهار ...	۱۰۲
جدول ۵-۹ - مقایسه نتایج حاصل از آنالیز مقاطع CPE 300, CPE 240, CPE 220	۱۰۵

فهرست اشکال

	عنوان	صفحه
۳	شکل ۱-۱- پروسه برش و مونتاژ تیر لانه زنبوری	
۶	شکل ۲-۱- مبانی روش قیاس به خریای ویرندیل	
۶	شکل ۳-۱- مبانی روش قیاس به خریای ویرندیل	
۸	شکل ۴-۱- نمودارهای برش، خمش و نیروی محوری حاصل از تحلیل بروش هاردی کراس	
۹	شکل ۵-۱- روش سادهسازی شده روش قیاس به خریای ویرندیل	
۱۰	شکل ۶-۱- بازوی لنگر d_c	
۱۳	شکل ۷-۱- مکانیزم‌های ارائه شده توسط هلوکس	
۱۴	شکل ۸-۱- مدل قابی شکل ارائه شده توسط ون استرم و شربون	
۱۸	شکل ۱-۲- نیروهای وارده بر مقطع گوه‌ای جان	
۲۳	شکل ۲-۲- کمانش جانبی - پیچشی جان	
۲۴	شکل ۳-۲- معیار تنش خمشی شعاعی	
۲۷	شکل ۴-۲- منحنی ایده آل الاستوپلاستیک سخت شونده تنجشی مصالح	
۲۸	شکل ۵-۲- نوع رفتار در نواحی مختلف مقطع تیر	
۳۰	شکل ۶-۲- نیروی برشی بحرانی در حالت پلاستیک	
۴۰	شکل ۱-۳- هندسه و شرایط مرزی مدل مورد بررسی	
۴۱	شکل ۲-۳- مقایسه نمودار نیرو - تغییر مکان قائم مدل‌های ساخته شده با المان shell 43 و shell 93	
۴۲	شکل ۳-۳- هندسه و شرایط مرزی مدل مورد بررسی	
۴۳	شکل ۴-۳- نتایج برخی از تحلیل‌های انجام شده با اندازه‌های مختلف مش‌بندی	
۴۴	شکل ۵-۳- نمودار خیز وسط دهانه بر حسب اندازه المان جان	
۴۵	شکل ۶-۳- شبکه بندی نهایی انتخاب شده برای جان	
۴۶	شکل ۷-۳- ابعاد هندسه تیر لانه‌زنبوری CPE 180	
۴۹	شکل ۱-۴- آغاز سیلان برشی در محل جوش جان	
۵۰	شکل ۲-۴- سیلان گسترده برشی در محل جوش جان	
۵۱	شکل ۳-۴- بروز پلاستیسیته در يك مقطع فرضی T	
۵۲	شکل ۴-۴- هندسه و شرایط مرزی مدل مورد بررسی	
۵۳	شکل ۵-۴- بروز کمانشی پیچشی - جانبی جان با استفاده از U_z	
۵۳	شکل ۶-۴- نقاط انتخاب شده برای بررسی تغییر کمیت‌ها در حین کمانش	

- شکل ۷-۴- مقادیر تغییر شکل‌های خارج از صفحه (U_z) در نقاط مختلف جان ۵۶
- شکل ۸-۴- مقادیر تنش اصلی عمود بر صفحه (S_3) در نقاط مختلف جان ۵۸
- شکل ۹-۴- مقادیر تنش برشی داخل صفحه (S_{xy}) در نقاط مختلف جان ۶۰
- شکل ۱۰-۴- مقادیر تنش فون میسز (σ_{von}) در نقاط مختلف جان ۶۲
- شکل ۱۱-۴- شرایط مدل مورد بررسی در بررسی مکانیزم کمانش ۶۳
- شکل ۱۲-۴- کمانش پیچشی جانبی کلی‌تیر در محاذات پانل اول (پانل میانی تیر) ۶۴
- شکل ۱-۵- بعضی نمودارهای تنش - کرنش مطرح برای فولاد ۶۷
- شکل ۲-۵- هندسه و شرایط مرزی مدل مورد بررسی ۶۸
- شکل ۳-۵- نمودار تنش - کرنش استفاده شده در دو مدل ۶۸
- شکل ۴-۵- وقوع کمانش پیچشی - جانبی جان در مدل اول و گسیختگی برشی جان در مدل دوم ۶۹
- شکل ۵-۵- مشخصات در نظر گرفته شده برای فولاد در تحقیقات اولیه ۷۰
- شکل ۶-۵- هندسه و شرایط مرزی مدل مورد بررسی ۷۱
- شکل ۷-۵- تأثیر F_{II} روی نحوه خراب شدن تیر لانه زنبوری (میزان U_z) ۷۱
- شکل ۸-۵- هندسه و شرایط مرزی مدل مورد بررسی ۷۲
- شکل ۹-۵- تأثیر F_{II} روی نحوه خراب شدن تیر لانه زنبوری (میزان U_z) ۷۲
- شکل ۱۰-۵- نمودار تنش - کرنش استفاده شده در ادامه مدل‌سازیها ۷۴
- شکل ۱۱-۵- دو نمونه با شرایط تکیه‌گاهی متفاوت ۷۵
- شکل ۱۲-۵- مکانیزم‌های خراب شدگی دو تیر فوق (وقوع کمانش پیچشی - جانبی در مدل ... ۷۵
- شکل ۱۳-۵- دو نمونه با شرایط تکیه‌گاهی متفاوت ۷۶
- شکل ۱۴-۵- مکانیزم‌های خراب شدگی دو مدل فوق (وقوع کمانش پیچشی - جانبی ... ۷۶
- شکل ۱۵-۵- هندسه و شرایط مرزی مدل مورد بررسی ۷۸
- شکل ۱۶-۵- مقادیر U_z نقاط مختلف جان حاصل از آنالیز مدل مربوطه ۷۹
- شکل ۱۷-۵- ناپایداری تیر مورد بررسی به علت کمانش پیچشی - جانبی جان ۸۰
- شکل ۱۸-۵- هندسه و شرایط مرزی مدل مورد بررسی ۸۰
- شکل ۱۹-۵- مکانیزم حاکم بر نحوه خرابی مدل مورد بررسی ۸۱
- شکل ۲۰-۵- سه حالت مرزی مورد بررسی در بال فوقانی تیر لانه زنبوری ۸۲
- شکل ۲۱-۵- نتایج حاصل از آنالیز (کمانش در مدل سوم و گسیختگی برشی و تغییر مکان ... ۸۳
- شکل ۲۲-۵- سه حالت مرزی مورد بررسی در بال فوقانی تیر لانه زنبوری ۸۴
- شکل ۲۳-۵- نتایج حاصل از آنالیز (کمانش در مدل سوم و گسیختگی برشی و تغییر مکان ... ۸۵
- شکل ۲۴-۵- انواع نابجایی محتمل دو تیر لانه زنبوری به صورت بزرگنمایی شده ۸۶
- شکل ۲۵-۵- هندسه و شرایط مرزی مدل‌های مورد بررسی ۸۷

- شکل ۵-۲۶- نتایج حاصل از آنالیز مدل ایده‌آل (الف) و با نابجائی (ب) ۸۸
- شکل ۵-۲۷- نمودار نیرو - تغییر مکان برای نمونه ایده‌آل و با نابهجائی ۸۹
- شکل ۵-۲۸- نمودار اندرکنش لنگر - برش برای مقاومت نهائی نتایج آزمایش و آنالیز اجزاء محدود ۹۳
- شکل ۵-۲۹- نمودار اندرکنش خمش - برش برای مقاومت نهائی تیرهای ۸، ۶، ۱۰ پانله ... ۹۴
- شکل ۵-۳۰- انواع مکانیزم‌های رایج خراب شدگی تیرهای لانه زنبوری ۹۷
- شکل ۵-۳۱- هندسه و شرایط مرزی مدل مورد بررسی از مقاطع CPE220, CPE180 ... ۱۰۴
- شکل ۵-۳۲- تغییر مکان جانبی و باربری نهائی مقاطع مورد بررسی ۱۰۵
- شکل ۵-۳۳- نحوه بارگذاری دو مدل مورد بررسی ۱۰۶
- شکل ۵-۳۴- هندسه و شرایط مرزی مدل مورد بررسی ۱۰۷
- شکل ۵-۳۵- کماتش جان در پائل ابتدایی تیر تحت بار گسترده و کماتش جان در پائل‌های ۱۰۷
- شکل ۵-۳۶- تیر لانه زنبوری ۸ پانله مطابق استاندارد نوع دوم برش ۱۰۸
- شکل ۵-۳۷- ظرفیت باربری و نحوه خرابی پروفیل مورد بررسی ۱۰۹
- شکل ۵-۳۸- تیر لانه زنبوری ۸ پانله مطابق استاندارد نوع دوم برش با گوشه‌های اصلاح شده ۱۰۹
- شکل ۵-۳۹- ظرفیت باربری و نحوه خرابی تیر اصلاح شده ۱۱۰
- شکل ۵-۴۰- جزئیات دو نوع برش مبحث دهم برای تیرهای لانه زنبوری ۱۱۱

چکیده

کمانش پیچشی - جانی جان تیر لانه زنبوري، يکي از مهمترين صور گسيختگي اين گونه تيرها مي‌باشد، به نحوي که در بسياري از موارد کنترل کننده ظرفيت باربري نهائي تير است. در اين تحقيق، عوامل مؤثر بر اين پديده که بر رفتار و عملکرد تير لانه زنبوري اثرگذارند، به کمک روش اجزاء محدود و آناليزهاي متنوع مورد مطالعه و بررسي قرار گرفته‌اند. از جمله مهمترين اين عوامل که در اين پايان‌نامه مورد بررسي قرار گرفته‌اند، مي‌توان مشخصات مصالح، شرايط مرزي، نابه‌جائي، نوع بارگذاري و مشخصات فيزيکي شامل طول تير (نسبت طول به ارتفاع) و شماره پروفيل را نام برد. علاوه بر اين، يك مقايسه رفتاري بين تيرهاي لانه زنبوري ساخته شده با الگوي برش مطابق استاندارد ايران و استاندارد آلمان نيز به عمل آمده است.

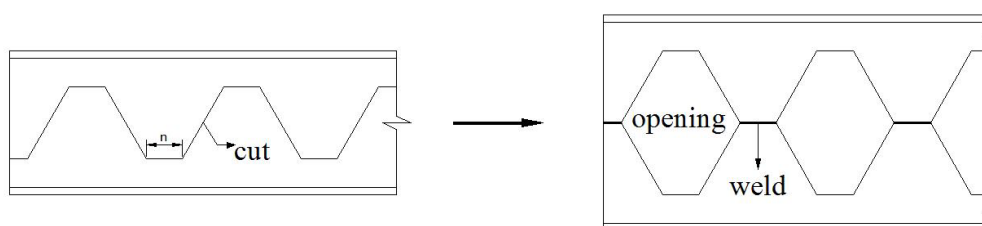
در بخشي از اين تحقيق که به بررسي اثر طول تير لانه زنبوري بر عملکرد اين گونه تيرها مي‌پردازد، مطالعاتي پارامتریک براي تيرهايي با تعداد چشمه‌هاي متفاوت و در هر حالت با نابه‌جائي و شرايط مرزي متنوع محتمل براي اين گونه تيرها، صورت گرفته و مقاومت نهائي تير در هر حالت و ميزان حساسيت نتايج به کميت هاي فوق و نيز مکانيزم‌هاي کمانشي و حالات خرابي محتمل تر در هر يك از حالات مورد بحث و بررسي قرار گرفته است. متعاقباً نتايج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی قبلي و آناليزهاي اين تحقيق مورد مقايسه قرار گرفته‌اند و نشان داده شده است که نتايج از نظر ماهيت رفتار و گونه گسيختگي غالب و همچنين از نظر عددي تطابق مطلوبي با نتايج آزمایشگاهی دارد. در اين خصوص منحنی اندرکنش خمش - برش مربوطه نيز ارائه گردیده است.

فصل اول:

پیشینه تحقیقاتی تیرهای لانه زنبوری

۱-۱- کلیات

برای ساخت تیر لانه زنبوری، ابتدا تیر آهن نورد شده از وسط جان به صورت زیگزاگ بریده می‌شود. سپس دو قسمت بریده شده به نحوی روی هم انتقال داده می‌شوند که قسمت‌های دنداندار روی هم قرار گیرند. برای کامل شدن روند ساخت دو نیمه تیر بریده شده در نقاط اتصال به هم دیگر جوش داده می‌شوند. در نتیجه این کار تیری به وجود می‌آید که دارای ارتفاعی بیشتر از تیر اولیه است (شکل ۱-۱)



شکل ۱-۱- پروسه برش و مونتاژ تیر لانه زنبوری

در سال ۱۹۱۰ برای اولین بار آقای هورتون^۱ از شرکت پل و آهن شیکاگو پیشنهاد کرد که با تقسیم تیر آهن به دو قسمت و به ترتیب فوق می‌توان مقدار مقطع تیر را بدون افزایش وزن آن بالا برد. از آن تاریخ به بعد استفاده از تیرهای لانه زنبوری در سازه ساختمان‌ها، پل‌ها و کشتی‌ها به کار برده شده است. تیرهای لانه زنبوری در ساختمان‌ها به عنوان تیرهای فرعی و اصلی برای حمل بارهای ثقیل و حتی به صورت تیرهای اصلی در قاب‌های خمشی مقاوم در مقابل بارهای جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تحقیقات در زمینه تیرهای لانه زنبوری از سال ۱۹۴۳ شروع شد. در ابتدا روی اجزاء اره مانند تیر آزمایشاتی به عمل آمد و نیز روی صفحات سوراخدار نیز آزمایشاتی جهت مشخص کردن رفتار جان سوراخدار انجام شد [۱]. در سال ۱۹۵۷ آزمایشاتی توسط آقای آلتفیلش^۲ و همکاران [۴] و آقای گیسبون و همکاران [۴] روی نمونه‌های واقعی و کامل این تیرها و به منظور بررسی وضعیت ساختاری تیر لانه زنبوری در محدوده الاستیک و پلاستیک و تعیین مقاومت آنها به عمل آمد. در نتیجه این آزمایشات درک بهتری از رفتار تیر لانه زنبوری تحت اثر بارهای استاتیکی و برای دهانه‌های ساده حاصل گردید. علاوه بر این، روش‌های

1- Horton

2- Altfillisch

تحلیل تقریبی مناسب‌تری که توافق نسبتاً خوبی با نتایج آزمایشات داشت دست آورد این بخش از تحقیقات بود. بعد از آن با ادامه بررسی‌ها و تحقیقات توسط افراد مختلف، تا کنون اطلاعات جامع‌تر و وسیع‌تری در این زمینه به دست آمده است.

هم اکنون از تیرهای لانه زنبوری در کشور ما به صورت گسترده‌ای به عنوان تیرهای فرعی سقف و نیز تیرهای اصلی که صرفاً وظیفه حمل بارهای ثقلی را دارند استفاده می‌شود. همچنین به رغم عدم وجود اطلاعات کافی در زمینه قاب‌های برشگیر ساخته شده با تیرهای لانه زنبوری تعداد قابل توجهی از قاب‌های خمشی با استفاده از این تیرها ساخته شده یا می‌شوند.

دلیل این استفاده گسترده اقتصادی بودن تیرهای لانه زنبوری به ویژه در شرایط فعلی کشور است. این بدان معنی است که اضافه هزینه ساخت این گونه تیرها (هزینه برش، مونتاژ و جوشکاری) کمتر از ارزش فولادی صرفه‌جویی شده در اثر استفاده از تیر لانه‌زنبوری است.

۱-۲. انواع گسیختگی در تیرهای لانه زنبوری

انواع مختلف گسیختگی و بروز ناپایداری مرتبط با حالت حدی نهایی به شرح زیر طی آزمایش‌های انجام شده مشاهده گردیده است که احتمال وقوع هر کدام وابسته به مشخصات هندسی الگوی برش و مقطع و خواص مصالح است. به طور کلی اهم خرابی‌ها عبارتند از:

- تشکیل مکانیزم خمش کلی

- تشکیل مکانیزم ویرندیلی

- بروز پلاستیسیته گسترده

- کماتش جانبی - پیچشی تیر

- کماتش جان (شامل سه حالت: تحت فشار مسلط، تحت برش مسلط (و خمش درون

صفحه‌ای) و تحت اثرات ترکیبی خمش و برش)

- گسیختگی جوش جان

- بروز شکست در گوشه سوراخ‌ها

- بروز کماتش موضعی در گوشه سوراخ‌ها

- کماتش بال در مقطع T

- لهیدگی جان

- خرابی موضعی در محل اعمال بار متمرکز
هریک از گونه‌های گسیختگی مذکور و یاترکیبی از آنها طی آزمایش‌های مختلف مشاهده
گردیده‌اند.

۱-۳-۱- تحلیل و طراحی به روش تنش مجاز

۱-۳-۱-۱- تیر معادل

در این روش که اولین روش تقریبی برای تحلیل تیرهای لانه‌زنبوری است فرض می‌شود که
تئوری ساده شده خمش تیرها که در مورد تیرهای توپر صادق است در این جا نیز صادق
باشد. بنابراین مطابق این روش استفاده از ممان اینرسی تیر لانه‌زنبوری (متوسط ممان
اینرسی مقطع توپر و خالص) جهت تحلیل تیر و در نتیجه تعیین تنش‌ها و تغییر مکان‌ها کافی
است.

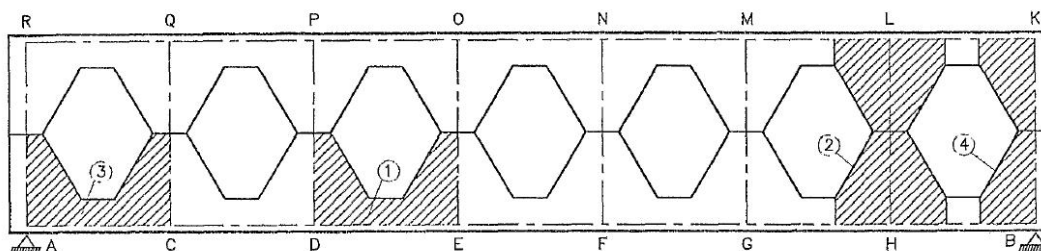
۱-۳-۲- روش قیاس به خرپای ویرندیل

این روش برای اولین بار توسط آنتفیلیش و همکاران در سال ۱۹۵۷ ارائه شد [۴]. در این
روش رفتار تیر لانه‌زنبوری به صورت یک خرپای ویرندیل مدل می‌شود.
فرض متداول در تئوری خمش تیرها مبنی بر این که مقطع مسطح بعد از خمش همچنان
مسطح باقی می‌ماند، در مورد تیرهای لانه‌زنبوری صادق نیست، زیرا:
۱- توزیع تنش در قسمت توپر و یا توخالی در تیر لانه‌زنبوری خطی نیست.
۲- الگوی توزیع تنش در بالا و پایین با دیاگرام ممان خمشی کاملاً تطابق ندارد.
۳- تغییر مکان‌های واقعی در تیر لانه‌زنبوری بسیار بیشتر از آن چیزی است که تئوری ساده
خمشی مشخص می‌شود.

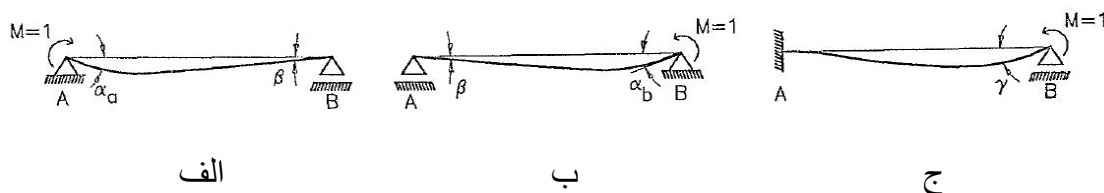
پس می‌توان گفت که تئوری ساده خمش تیرها که مبنای روش تیر معادل می‌باشد، جهت
طراحی تیر لانه‌زنبوری قابل قبول نیست.

نتایج تجربی نشان می‌دهد که مدل کردن تیر لانه‌زنبوری به صورت خرپای ویرندیل نتایج
مناسب‌تری جهت تحلیل تنش‌ها و تغییر مکان‌ها ارائه می‌دهد. این روش با توجه به سهولت و
سرعت محاسبات متداول‌ترین روشی می‌باشد که جهت آنالیز تیر لانه‌زنبوری به روش
الاستیک به کار برده شده است.

شکل ۲-۱ يك تير لانه‌زنبوري را که در آن خطوط مرکزي پايه‌هاي عمودي و بال‌هاي فوقاني و تحتاني، به همراه قسمت‌هاي مؤثري که همراه اين اجزاء در نظر گرفته مي‌شود را نشان مي‌دهد. فرض مي‌شود که اجزاء افقي وسط تير نظير DE يا به عبارت ديگر منطقه هاشور زده ۱، پايه‌هاي عمودي وسط نظير LH به عنوان منطقه هاشور زده ۲، اجزاء افقي انتهائي نظير AC و HB و پايه‌هاي عمودي انتهائي نظير BK و AR به ترتيب مناطق هاشور زده ۳ و ۴ باشند. تکیه‌گاه‌هایی در گره‌های G و F و E و D و C و H معرفي مي‌شوند. يك تغيير مکان واحد به طرف پايين به هر گره به ترتيب اعمال مي‌شود. ممان‌هاي خمشي ايجاد شده به وسيله اين تغيير مکان به وسيله روش هاردي کراس در خرپا توزيع مي‌شود. ممان‌هاي گيرداري انتهائي، ضرايب پخش ممان و ضرايب انتقال را مي‌توان براي هر يك از اجزاء فوق‌الذکر به دست آورد. به وسيله تعادل برش در تکیه‌گاه‌هاي فرضي، يك سري معادلات خطي به دست مي‌آيد، که تغيير مکان‌هاي حقيقي در تار پايين حاصل از ممان خمشي و نيروهاي محوري در تمام اجزاء محاسبه مي‌شود. تغيير مکان حاصل از نيروي برشي نيز به وسيله انرژی در محاسبات اثر داده مي‌شود.



شکل ۲-۱- مبانی روش قیاس به خرپای ویرندیل



شکل ۳-۱ - مبانی روش قیاس به خرپای ویرندیل

ضریب انتقال لنگرهای گیرداري و ضرایب توزیع برای هر يك از اجزاء فرضي فوق را مي‌توان از برهم‌نش تغییر شکل‌هاي نشان داده شده در شکل ۳-۱- الف و ب به دست آورد. در این صورت ضرایب انتقال از A به B برابر خواهد بود.

$$\frac{\beta}{\alpha_a} \quad (1-1)$$

و از B به A برابر است با:

$$\frac{\beta}{\alpha_b} \quad (2-1)$$

ضریب پخش ممان برای عضو ۱ که به اعضاء ۲ و ۳ متصل است برابر است با:

$$DF_1 = \frac{\frac{1}{\gamma_1}}{\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_2} + \frac{1}{\gamma_3}} \quad (3-1)$$

توجه کنید که γ موجود در شکل ۱-۳- ج را مجدداً می‌توان از برهم‌نهی دو تیر شکل ۱-۳- الف و ب به دست آورد. ممان‌های گیرداری در تیرهایی که یکنواخت نیستند برای وقتی که تکیه‌گاه به اندازه Δ تغییر مکان دهد، عبارت است از:

$$M_A = \frac{\Delta(\alpha_b + \beta)}{1(\alpha_a \alpha_b - \beta^2)}, \quad M_B = \frac{\Delta(\alpha_a + \beta)}{1(\alpha_a \alpha_b - \beta^2)} \quad (4-1)$$

و برای یک تیر متقارن داریم:

$$M_A = M_B = \frac{\Delta}{1(\alpha_a - \beta)} \quad (5-1)$$

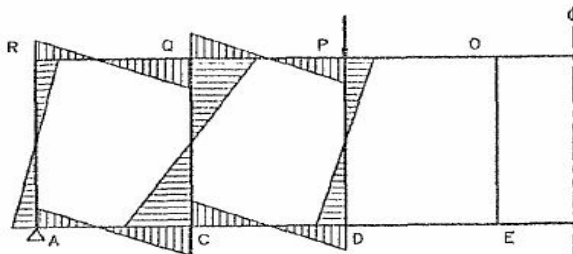
مقادیر ذکر شده در بالا برای اجزاء خرپای فرض شده (اجزاء هاشورزده شده) با توجه به شکل خاص هر جزء محاسبه می‌شوند.

پس از تحلیل خرپای مفروض با ضرایب و لنگرهای گیرداری محاسبه شده به ترتیب فوق به روش هاردی‌کراس، یکسری معادلات خطی به دست می‌آید که پس از حل این معادلات تغییر مکان‌های گره‌ها حاصل می‌شود. در این صورت لنگر خمشی و نیروی محوری در همه اجزاء به راحتی قابل دستیابی است. یک نمونه از نتیجه تحلیل به روش فوق در شکل ۱-۴ آمده است.

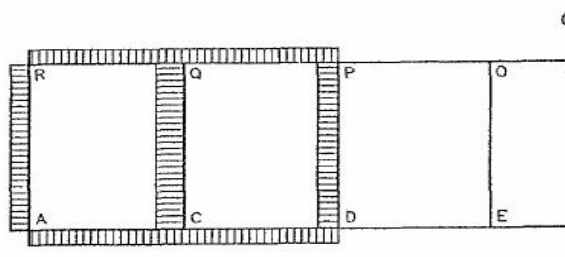
روش ارائه شده در بالا قدری خسته کننده به نظر می‌رسد، به منظور ارائه یک فرمول ساده جهت تحلیل تنش در تیرهای لانه‌زنبوری، روش ارائه شده در بالا را می‌توان با روش تقریبی

زیر جایگزین نمود. تیرهای لانه‌زنبوری را که لنگر خمشی و نیروی برشی مقطع T شکل آن در شکل ۵-۱ به نمایش درآمده است، در نظر بگیرید.

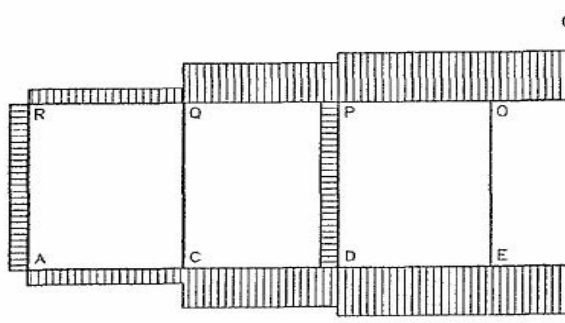
دیاگرام لنگر



دیاگرام برش



دیاگرام نیروی محوری



شکل ۴-۱ - نمودارهای برش، خمش و نیروی محوری حاصل از تحلیل بروش هاردی کراس حال تیر لانه‌زنبوری را از خط وسط هر یک از پانل‌ها می‌بریم. نیروی محوری بال بالا و پایین را می‌توان به سادگی از رابطه زیر تعیین نمود:

$$C = T = \frac{M}{d_c} \quad (۶-۱)$$

که در آن d_c بازوی لنگر است که با دقت کافی می‌توان آن را برابر با $D_c - 2e_f$ فرض نمود بطوریکه e_f فاصله مرکز سطح هر مقطع T نسبت به تار فوقانی خود است (شکل ۱-۶). در این روش فرض می‌گردد که نیروی محوری فوق در مقطع T شکل به صورت یکنواخت