بررسی مهندسی

کمانهای باستانی ایران

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

از

مهدی فرشاد

(استاد دانشگاه پهلوی ـ شیراز)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

از : مهدی فرشاد
استاد دانشگاه پهلوی ـ شیراز

بررسی مهندسی

کمانهای باستانی ایران

۱ـ مقدمه و تاریخچه

استفاده از انرژی وتبدیل انواع انرژی‌ها بیکدیگر در تاریخ بشری و در تاریخ فنی ایران دارای سابقه‌ای بسیار طولانی است. انسان از دیرینه‌ترین ایام از انرژی ذخیره شده در بدن برای انجام کارهای مکانیکی استفاده میکرده است. کاربرد اجسام بعنوان یك وسیله خردکننده ویا پرتاب شونده‌ونیزکاربرد چوب‌دستی‌مثالهای اولیه‌ای از استفاده بشر از انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی بشمار میرود . استفاده از انرژی اجسام ارتجاعی بااختـــراع و کاربـــرد کمان آغاز میشود. بااستفاده از انرژی ذخیره شده درکمان ارتجاعی انسان قادرگشت‌جسمی را بصورت‌تیر پرتاب‌کند.ازانرژی‌ارتجاعی درساختن وسائل دیگر نیز از قدیم استفاده بعمل میآمد .مثال‌دیگر این‌کاربرد انرژی ساختن سنجاق قفلی‌هائی بوده‌که درآن‌بکمك‌فنر پیچشی مقداری انرژی در سنجاق ذخیره می‌شده است. نمونه‌هائی از این قبیل سنجاق‌ها که متعلق به‌هزاره هشتم قبل ازمیلاد است در

لرستان یافت شده است. بتدریج استفاده از انرژی وتبدیل انواع انرژی بیکدیگر صورتهای دیگری بخود گرفت . چرخ و انواع ماشینهای آبی و بادی در ایران‌که دارای تاریخچه‌ای مفصل هستند، مراحل اولیه استفاده مردمان از انرژی وتبدیل‌آنرا تشکیل‌میدهد. [۱] صنعت‌کمانسازی وهنرکمانداری از دیرباز در ایران سابقه داشته ودر تاریخ این‌کشور نقش عمده‌ای را اجرا کرده است. ابداعات ایرانیان را درکمانسازی وکمانداری بایستی جزو ابداعات فنی عمده دنیای قدیم بشمار آورد، وپیشرفت‌آنان را دراین فن‌نمونه‌ای از درك مکانیکی سازندگان قدیم دانست .

تاریخ فرهنگ ایران حاوی داستانهای فراوانی است‌که در زمینه کمانداری وتیراندازی از دیرباز نقل شده ودرطی قرون نیز پیوستگی داشته است. کمان بصورت یك وسیله مکانیکی طی قرون متمادی درجنگ و صلح بکار میرفته [۲] و علاوه برآن کمانداری و تیراندازی خود الهام بخش بسیاری از آثار ادبی این سرزمین‌گشته است. [۳]آثار نقش‌های‌تاریخی نیز مبین قدمت‌کمانسازی‌وکمانداری درایران است. [۴و۵] ایرانیان در بعضی از دوره‌های تاریخی مثل‌دوره مادها و اشکانیان در کمانداری و تیراندازی سرآمد مردمان دیگر

۱ــ مهدی فرشاد ــ تاریخ مهندسی درایران (منتشرخواهد شد.)

۲ــ پورداود ــ زین ابزار، کمان وتیر ــ بررسی‌های تاریخی سال‌دوم ــ ص۲۹ــ۴۶.

۳ــ ابوالقاسم جنتی عطائی ــ کمانداری وتیراندازی درادبیات فارسی ــ بررسی‌های تاریخی سال پنجم ــ شماره ۱ ــ ص ۱۱۳ــ۱۳۵ و سال ششم ــ شماره ۲ ص ۲۴۲ــ۲۷۶ .

۴ــ رمان گیرشمن ــ هنر ایران در دوران ماد وهخامنشی (ترجمه عیسی بهنام) ــ تهران ۱۳۴۶ .

۵ــ رمان گیرشمن ــ هنر ایران دردوران پارتی‌وساسانی (ترجمه بهرام فره‌وشی) تهران ۱۳۵۰ .

بشمار می‌آمده‌اند و این خصوصیت نه‌تنها برای آنان شهرت‌فراوانی کسب نموده بوده بلکه این هنر موجب تغییرات زیادی در حوادث تاریخی آن‌دورانها نیز گردیده‌است. درآثار ادبی و نوشته‌های‌دیگری که از دوران باستان بجای مانده‌گفته‌های زیادی در مورد تعلیم و تربیت کمانداران، خصوصیات‌فیزیکی و روحی آنان و نیز درمورد خصوصیات تیروکمان و پیکان وصنعت کمانسازی‌آورده شده است.

شکی نیست‌که مشخصات فیزیکی کمان و نحوه ساختمان آن در تاریخچه‌کمانداری و تیراندازی نقش عمده‌ای داشته است. ایرانیان دوره مادی، هخامنشی، اشکانی وساسانی‌کمانهائی مخصوص میساخته وآنهارا بکار میبرده‌اند. کمانهای دوره مادی وساسانی و هخامنشی واشکانی از لحاظ شکل ظاهری و مشخصات مکانیکی با کمانهای ملت‌های‌دیگر مثل آشوری‌ها تفاوت زیاد داشته است. بدیهی است‌که طرح فرم‌کمان وانتخاب مصالح‌ونحوه ساختمان آن دخالت اساسی درکارآئی این وسیله داشته وایرانیان با وقوف باین مطلب‌درساختن کمانهائی‌که عمل تیراندازی را به‌بهترین وجه انجام دهند نکات فنی‌خاصی را رعایت‌میکرده‌اند. شهرت‌ایرانیان باستان درکمانداری وتیراندازی معرف موفق بودن آنها درطرح کمانهای عالی ازنظر مکانیکی بشمار میرود.

مشخصات یک‌کمان خوب راکه درگفته های قدیمی ایرانیان آمده است بشرح زیر میتوان خلاصه نمود.

۱ــ قدرت زیاد پرتاب تیر

۲ــ اندازه بودن ازحیث طول‌کلی کمان وجای دست آن

۳ــ تاب نداشتن

٤ــ سائیدگی و خوردگی نداشتن

۵ــ مناسب بودن جنس کمان و زه آن
٦ــ دقت نشانه روی داشتن
۷ــ زیاد شل و زیاد سفت نبودن
۸ــ مناسب بودن وزن

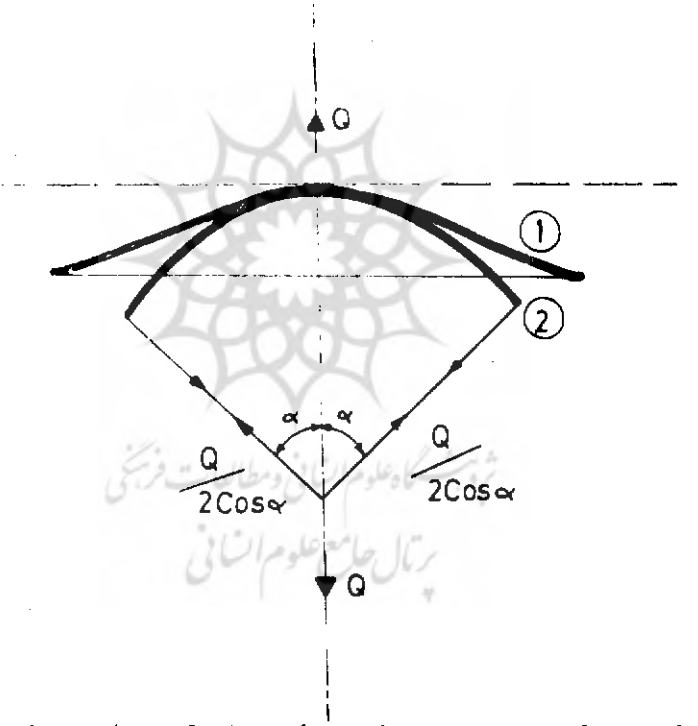
ازنظرمطالعه مکانیکی کمانها ضوابط ۱ و ۲ و ٦ و ۸ به‌فرم وجنس‌کمان وضوابط۱ و ۳ و ٤ و ۵ و ٦ و ۷ و ۸ به‌نحوه ساختمان کمان ارتباط مییابد. کمان سازان وکمانداران‌باستانی باتجربه‌های فراوان درساختن بهترین‌کمانها تبحر یافته بوده‌اند. البته در آن دورانها در کمان بازی مانند سایر جنبه‌های فنی ومهندسی اصول تئوریك بطور مستقیم مورد استفاده‌قرار نمیگرفته،وطرح وخلاقیت صنعتی بکمك تجربه و درك مکانیکی انجام میشده‌است. بااین وصف امروزه میتوان صنایع طرحهای مهندسی وفنی دوره‌های باستانی را بکمك قواعد مکانیکی ومهندسی مورد بررسی قرار داد .

۲ ــ بررسی مکانیکی کمان ها

بررسی فرم کمانها و رفتار مکانیکی ونحوه عمل‌کرد آنها خود یك مسئله مکانیکی است ومیتوان آنرا با یاری تئوریهـــای مکانیك مورد مطالعه قرار داد. ازنظر مکانیکی‌کمان جسمی است ارتجاعی که‌باکشیدن زه وخم‌کردن‌قوس‌کمان میتوان‌مقداری انرژی مکانیکی را درآن ذخیره‌کرد. با رها کردن کمان این انرژی ارتجاعی آزاد و به‌تیر منتقل میشود. انرژی ارتجاعی ذخیره شده درکمان پس از آزاد شدن به‌تیر سرعت اولیه‌ای میدهد وموجب پرتاب‌آن میگردد . پس از پرتاب شدن تیر کمان که انرژی ذخیره شده درآن آزاد شده است بحالت اولیه خود درمی‌آید . بدین ترتیب اصل رفتارمکانیکی وعمل کرد کمان عبارت از قابلیت ذخیره انرژی ارتجاعی و تبدیل

انرژی ارتجاعی به‌انرژی جنبشی است .

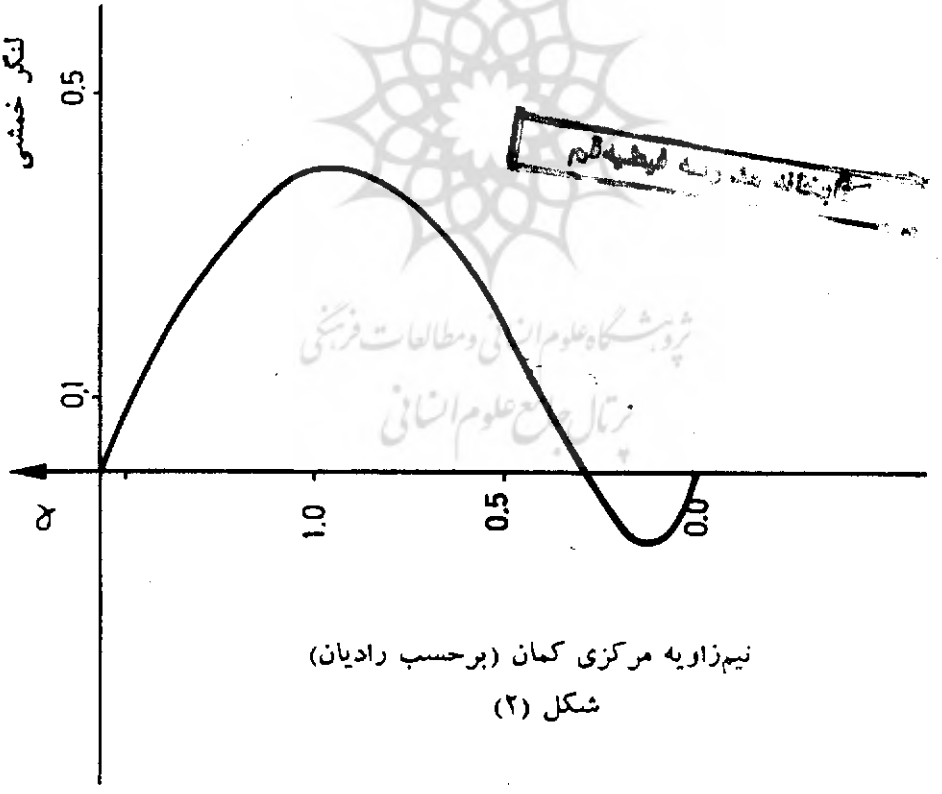
باتوجه به‌عمل کرد مکانیکی‌کمان، چنانچه مشخصات ذکر شده برای یك کمان خوب را بـزبان مکانیکی بیان داریم باین نتیجـه میرسیم : کمان خوب چنان‌کمانی است‌که بامقدار معینی از نیروی عضلانی،کمانگیر بتواند حداکثر انرژی ارتجاعی را درکمان ذخیره نمایدوازآن به‌مؤثرترین‌وجه درپرتاب‌تیر بهره‌گیرد. (اصطلاحات‌فنی مربوط به‌اجسام ارتجاعی در ماخذ ٦ آمده است)



(شکل ۱) کمانی را درحالت اولیه(۱) (که درآن زه کشیده‌است ولی باری از طرف تیرانداز به‌کمان وارد نمی‌آید) و در حـالت

٦ــ مهدی فرشاد ــ فرمهای ساختمانی ــ انتشارات‌دانشگاه پهلوی‌شیراز ــ ۱۳۵۳.

نهائی(۲) با بارواردہ Q)نشان‌میدهد. زاویه‌مرکزی $2x$ پارامتری است‌که تاحدودی نمایشگرمقدار انرژی ذخیره شده درکمان‌میباشد. نیروی Q دارای دو مولفه در امتداد زه کشیده شده است ومقدار نیرو درهرطرف مطابق‌شکل ۱ برابر $Q/2\cos x$ است . حدود زاویه x را ازنظرریاضی میتوان بین ۹۰ درجه (حالت اولیه‌کمان) وصفر درجه متغیر دانست . عملاً x از ۹۰ درجه تا حدود ٤۰درجه تغییر مینماید. نیروی وارده از زه به‌انتهای‌کمان درکمان لنگر خمشی ایجادمیکند واین خودموجب ذخیره انرژی ارتجاعی‌درکمان میگردد. تغییرات لنگرخمشی درساقه‌کمان (نقطه o)درشکل ۲ نمایش داده شده است. چنانکه ملاحظه میشود بازاء زاویه معینی از x (که در



نیم‌زاویه مرکزی کمان (برحسب رادیان)

شکل (۲)

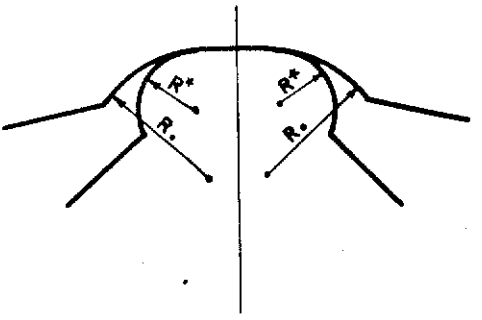
این شکل حدود ۵۵ درجه است) مقدارلنگر خمشی‌که نماینده مقدار انرژی ارتجاعی ذخیره شده است بحداکثرمقدارخود میرسد. بعبارت دیگربا مقدار معینی از نیروی وارده Q تحت زاویه خاصی میتوان حداکثر انرژی را درکمان ذخیره نمود وازآن بهره‌برداری‌کرد.

انرژی داخلی یك جسم ارتجاعی‌که شعاع انحناء آن درهرنقطه درحالت‌اولیه R_1 ودرحالت نهائی R_2 است ازرابطه زیربدست‌میآید.

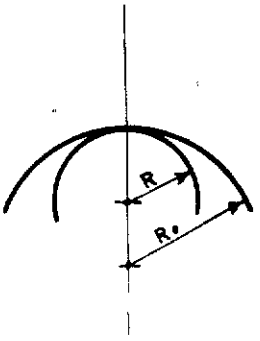
$$U = \frac{1}{2}EI\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)^2 L$$

در رابطه بالا U انرژی ارتجاعی، I لنگر دوم سطح نسبت به‌محور خمش و E ضریب ارتجاعی وبالاخره L طول‌کمان است. برای سهولت بحث‌کیفی فرض شده است‌که کمان درحالت اولیه و نهائی بصورت قوسی از دایره باشد. EI ضریبی است‌که بستگی به‌کلفتی و نازکی کمان وجنس آن دارد. چنانکه ملاحظه می‌کنیم برای کمان باسختی خمشی EI وطول L داده شده، انرژی‌ارتجاعی بستگی به‌مجذور تفاوت دو انحناء (اولیه ونهائی) کمان خواهد داشت. هرقدر تفاوت دو انحناء بیشتر باشد انرژی ذخیره شده در کمان نیز بصورت مجذورکمیت‌ها ونه بصورت خطی بیشتر خواهد بود. بعنوان مثال اگر دوشکل ۳ و ٤ را درنظر بگیریم وفرض کنیم R_0 شعاع انحناء اولیه درهریك ازدوکمان مساوی باشد چنانچه R^* شعاع انحناء نهائی قسمت خم شده شکل۳ و R' شعاع انحناء نهائی کمان شکل ٤ باشد وفرض کنیم R^* کوچکتر از R' است‌آنگاه انرژی ارتجاعی‌کمان شکل ۳ مسلماً بیشتر از انرژی ارتجاعی‌کمان شکل ٤ خواهد بود.

اگرنیمی ازکمان را مطابق شکل ۵ درنظر بگیریم وفرض‌کنیم نیروی P توسط زه تحت زاویه α بآن وارد بیآید این نیرو در



شکل (۳)



شکل (٤)

کمان خمشی ایجاد خواهد کرد ومماس برمنحنی خم شده درانتهای کمان مساوی زاویه ψ خواهد بود. ازنظر تئوری ارتجاعی اجسام نیروی P زاویه خمش ψ و زاویه مرکزی x بایکدیگر ارتباط دارند [۷] هرقدر زاویه مرکزی x بیشتر باشد بار لازم برای‌ایجاد خمش معین ψ کمترخواهد بود. مثلا اگر $x=٤٥^{\circ}$ و $\psi=٧٥^{\circ}$ باشد بار لازم برای ایجاد این تغییر فرم برابر $P=٠/٧\frac{EI}{L2}$ است

اگربعنوان مثال فرض‌کنیم برای‌کمان چوبی

$$L=٨٠\ Cm\ ,\ I=٣Cm^4\ ,\ E=٧٠٠٠٠Kg,CM^2$$

باشد مقدار زیر وبرابر $P=٩٣/٧$ کیلوگرم خواهد بود .

بنابر آنچه که گفته شد نتیجه میشود که انرژی ارتجاعی ذخیره شده درکمان به‌کمیتهای زیر بستگی دارد :

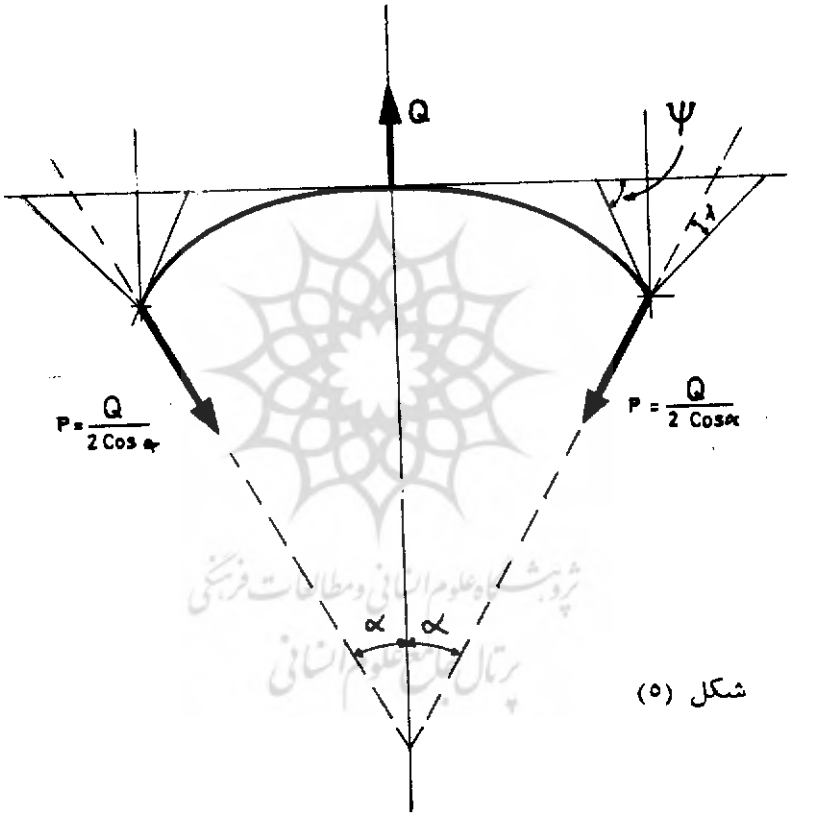
۱ــ فرم هندسی سطح مقطع کمان که بزبان مهندسی در قالب کمیتی بنام لنگر دوم سطح مقطع نسبت به‌محور خمش قابل بیان است(٤). هرقدرکه مقدار لنگر دوم سطح مقطع زیادتر باشد سختی خمشی‌کمان زیادتر است.

---

7 - R. Frisch - Fay , Flexible bars
Butherworths, London, 1962, P 79

۲ــ جنس‌کمان ــ چنانچه‌کمان یك جسم ارتجاعی فرض شود . کمیتی عددی بنام ضریب ارتجاعی مشخص‌کننـــده این خصوصیت است. مقدار این‌کمیت برای چوب چنار حـــدوداً برابر ۱۲۰۰۰۰ کیلوگرم برسانتی متر مربع میباشد .

۳ــ تفاوت انحناء اولیه‌کمان وانحناء نهائی‌کمان ــ هرقدراین



شکل (۵)

تفاوت بیشتر باشد انرژی ارتجاعی ذخیره شده درکمان نیز زیادتر است. انرژی ارتجاعی بامجذور تفاوت اولیه‌انحناءها متناسب‌است.

چنانکه‌گفته شد انـــرژی ارتجاعی با رها کـــردن کمان تبدیل به‌انرژی جنبشی میشود. انرژی جنبشی با مجذور سرعت تیر و با

وزن آن تناسب دارد. با مقدار معین انرژی جنبشی چنانچه وزن تیر کمتر باشد سرعت آن بیشتر خواهد بود.

درکلیه کمانها درحالت اولیه (قبل ازکشیدن زه) همواره مقداری انرژی‌ارتجاعی‌ذخیره‌شده‌است. ازلحاظ‌ساختمانی‌معمولا کمان بدون زه را خم میکرده و زه را روی آن می‌انداخته‌اند، بطوری که زه درحالت اولیه کاملا کشیده بوده و درآن نیروی کششی نسبتاً زیادی وجود میداشته است. خم‌کردن کمان و زه اندازی بآن ازنقطه نظر مکانیکی مانند خمش یك عضو فشاری و ایجاد ناپایداری تعادلی در آن است. یك کمان با زه در حالت اولیه دارای تعادل کاملا پایدار نیست و میتواند وضعیت دیگری تعادلی را بخود بگیرد. بهر صورت مقداری انرژی ارتجاعی ذخیره شده در حالت اولیه وجود دارد و تفاوت انرژی ارتجاعی نهائی با این انرژی اولیه است که تبدیل به انرژی جنبشی شده و موجب پرتاب تیر میگردد. هرقدر تفاوت این دو انرژی زیادتر باشد سرعت اولیه‌ای که به تیر داده میشود زیادتر خواهد بود. سرعت اولیه تیرباوزن تیر نسبت معکوس دارد. هرقدر وزن تیر کمتر باشد سرعت اولیه آن بمراتب (به‌نسبت عکس جذر) بیشتراست.

رفتار ارتجاعی و خصوصیت مکانیکی کمانها را در قالب‌نتایج زیر میتوان خلاصه کرد:

(۱) ــ هرقدر طول کمان بیشتر باشد با ثابت مانده سایر پارامترها انرژی ذخیره شده در آن بیشتر است.

(۲) ــ کیفیت ارتجاعی و انرژی قابل ذخیره در کمان‌بستگی به جنس آن (پارامتر E) و ضریب مقطع (لنگر دوم سطح نسبت به محور خمشی دارد).

(۳) ــ انرژی ارتجاعی‌ذخیره شده درکمان با مجذور تفاوت

انحناء های نهائی و اولیه کمان متناسب است .

(٤) ــ نیروی وارد از کمان به تیر بستگی به مولفه مفید نیروی کششی زه (در امتداد تیر) دارد . با نیروی معین کششی هرقدر زاویه مرکزی زه کمان کشیده شده کمتر باشد این نیرو بیشتر است .

(٥) ــ سرعت اولیه تیر با جذر عکس وزن تیر متناسب‌است.

(٦) ــ سرعت اولیه تیر با تفاوت انرژی ارتجاعی و نهائی و انرژی ارتجاعی اولیه تناسب جذری دارد .

۳ـ بررسی مکانیکی کمانهای باستانی

با استفاده از نتایج بحثی که در بالا در مورد رفتار ارتجاعی و خصوصیت مکانیکی کمانها انجام گرفت میتوان کمانهای‌باستانی را از نقطه نظر فیزیکی مورد تجزیه و تحلیل قرارداد. این مطالعه براساس فرم کمانهای باستانی که در شکل (٦) نشانداده شده(٤) انجام گرفته است.

(۱) ــ مقطع کمان سکائی و مادی در طول تغییر میکرده پس این کمان با وزن معین انرژی بیشتری را ذخیره مینموده است .

(۲)ــ کمان اشکانی از سایر کمانها سبك‌تر بوده است.

(۳)ــ انرژی ارتجاعی اولیه کمان اشکانی از سایر انواع‌کمان بیشتر بوده است (بعلت انحناء بیشتر)

(٤)ــ انحناء نهائی کمان ساسانی بیشتر از سایر کمانهابوده است .

(٥) ــ تفاوت انحناء نهائی وانحناء اولیه درکمان ساسانی مادی از کمانهای‌آشوری وایرزی (نوع اشکانی) بیشتربوده‌است

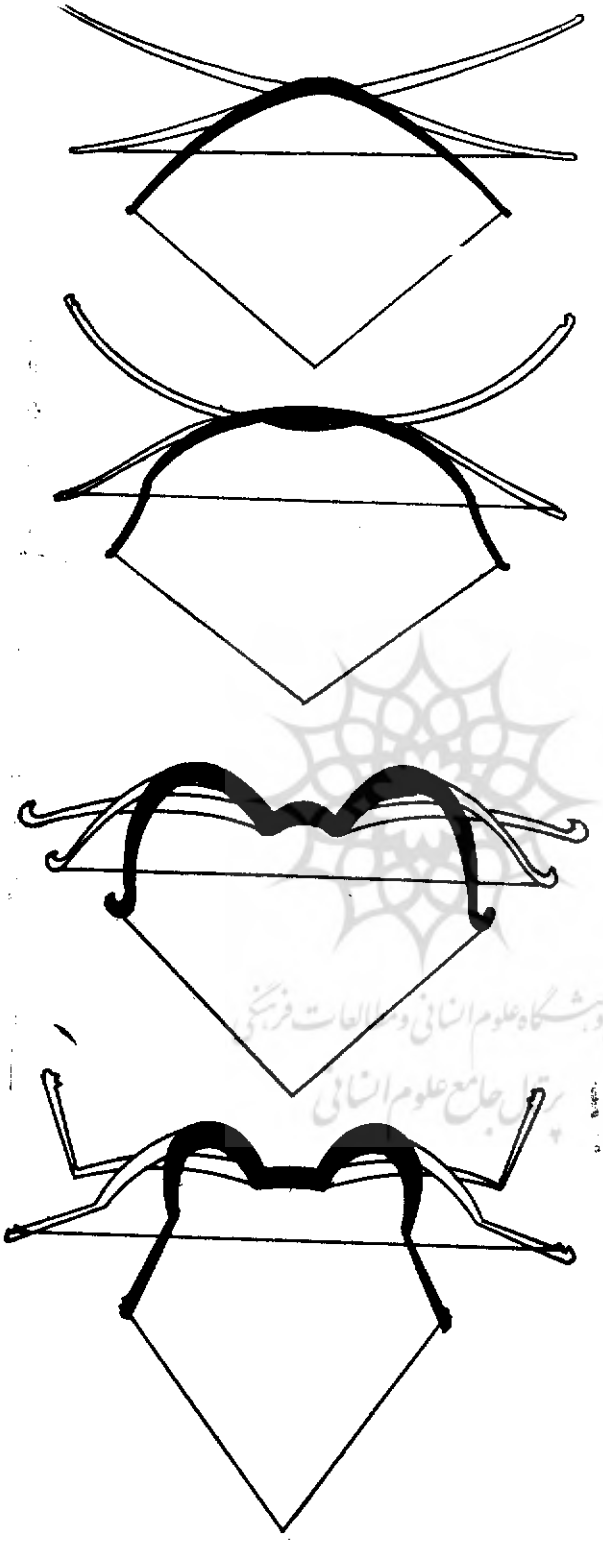
با سختی خمشی معینی این کمانها انرژی بیشتری را در خود ذخیره میکرده‌اند.

(٦) کمانهای مادی (سکائی) و ساسانی دارای فرمی بوده که میتوانسته تغییر انحناءهای زیاد را بوجود بیآورد در نتیجه قابلیت ذخیره انرژی در این کمانها زیاد بوده است.

(۷)ـ شرایط تکیه‌گاهی (جای‌دست) درکمانهای مادی(سکائی) و ساسانی موجب میشده که جهت تیراندازی حفظ و دقت نهائی بالا برود.

(۸)ـ نیم زاویه مرکزی درکمانهای ساسانی در حالت نهائی (کمان‌کشیده شده) باتوجه به‌آثار باقیمانده‌حدود ٤٥درجه‌است (٤) و این زاویه با محاسبات تئوریك انجام شده در این مقاله مطابقت دارد. بموجب این محاسبات با نیروی معین حداکثر لنگر خمشی بازاء زاویه مرکزی که حدوداً برابر مقدار بالاست حاصل میشود و البته این لنگر خمشی نمایشگر مقدار انرژی ذخیره شده در کمانست.

(۹)ـ کمانهای ساسانی این قابلیت فرمی را داشته که میتوانسته‌اند زاویه مرکزی را باکشیدن کمان کوچك کنند. نتیجه این کار آن بوده که با کاهش زاویه مرکزی مولفه مفید نیروی کششی که در پرتاب تیر مؤثر واقع میشده افزایش میافته است.



(۱)

(۲)

(۳)

(٤)

شکل (٦)
کمانهای باستانی ـ
(۱) کمان آشوری ،
(۲) کمان ایرزی
(اشکانی) ،
(۳) کمان سکائی و
مادی ،
(٤) کمان ساسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی