مقاله

ماهواره‌های دانشجویی کن‌ست و کیوب‌ست

امیررضا کوثری*
استادیار گروه مهندسی هوافضا
دانشکدۀعلوم و فنون نوین، دانشگاه تهران
kosari_a@alum.sharif.edu

وحید بهلوری
دانشجوی دکتری مهندسی هوافضا
دانشگاه تربیت مدرس
v.bohlouri@modares.ac.ir

سیدحمید جلالی نائینی
استادیار گروه مهندسی هوافضا
دانشگاه تربیت مدرس
shjalalinaini@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۲۳

چکیده

در این مقاله، ماهواره‌های کن‌ست و کیوب‌ست، به‌عنوان دو فعالیت فضایی - دانشگاهی، به انضمام مأموریت‌ها و کاربردهای آنها به اجمال بررسی شده است. برای این منظور به روند طراحی، امکانات و تجهیزات مورد نیاز، هزینه‌ها، استانداردها، مسابقات و شرکت‌های فعال در این زمینه اشاره شده است. سپس طراحی و ساخت کن‌ست و کیوب‌ست با توجه به جرم اندک و هزینۀ ناچیز پرتاب، سادگی و سهولت ساخت، ماژولار بودن و سرعت اجرا از یک دهه پیش و با ظهور فناوری میکروالکترومکانیک و نانوالکترومکانیک در دانشگاه‌ها با اهداف آموزشی آغاز شده و با افزایش سرمایه‌گذاری به‌سمت اهداف کاربردی و تجاری روبه گسترش است. دانشجویان در دو فعالیت کن‌ست و کیوب‌ست در چرخه‌ای کامل از طراحی، ساخت، پرتاب و بهره‌برداری از یک ماهواره قرار گرفته و با کسب دانش سیستمی طراحی ماهواره، تجربۀ کار گروهی، فعالیت میان‌رشته‌ای و بهره‌برداری از ماهوارۀ پرتاب‌شده، تجربۀ ارزشمندی از یک پروژۀ فضایی را در زمانی کوتاه کسب می‌کنند. این دو پروژه می‌تواند در آموزش مهندسی و تربیت مهندسان، که یکی از چالش‌های حاضر نظام آموزش عالی کشور است، سهم به‌سزایی داشته باشد. بررسی حاضر، که در ابعاد مختلفی انجام شده است، سعی در ترغیب دانشجویان و مدیران مربوطه در گسترش این دو فعالیت فضایی در کشور دارد.

واژگان کلیدی: پیکوماهواره[۱]، کن‌ست[۲]، کیوب‌ست[۳]، فعالیت فضایی - دانشگاهی

۱. مقدمه

پروژه‌های فضایی عموماً پرهزینه و زمان‌برند؛ از طرفی قابلیت اطمینان بالا و عدم بروز خطا در حین مأموریت، در صنعت فضایی نیز بسیار مهم و حائز اهمیت است. بنابراین مهندسان صنعت فضایی به مهارت‌های تخصصی و عملی بالایی برای ورود به این عرصه نیازمندند. ایدۀ ماهواره‌های کن‌ست و کیوب‌ست در ابتدا به‌منظور آشنایی دانشجویان و مهندسان با مفاهیم فضایی و انجام یک چرخۀ کامل از یک پروژۀ فضایی از مرحلۀ طراحی، ساخت، پرتاب و بهره‌برداری ارائه شد؛ ایده‌ای که امروزه وارد عرصۀ کاربردی و تجاری شده است [۱-۲].

مفهوم کن‌ست نخستین‌بار در سال ۱۹۹۸ م توسط رابرت تویگز[۴]، در دانشگاه استنفورد[۵]، برای آشنایی دانشجویان با مفاهیم حوزهٔ ماهواره ارائه شد. کن‌ست مخفف کَن[۶] به‌معنای قوطی نوشابه و سَت[۷] به‌معنای ماهواره است. کن‌ست در واقع شبیه‌ساز بسیار سادهٔ یک ماهواره در ابعاد قوطی نوشابه است که در ارتفاع بسیار پایین، نزدیک سطح زمین، به‌طور نمونه از بالن رها می‌شود. در این فعالیت علمی، دانشجویان با طراحی و ساخت یک ماهواره در ابعاد قوطی نوشابه با مأموریت مورد نظر، به کسب تجربه در زمینهٔ طراحی و ساخت ماهواره می‌پردازند. همه‌ساله مسابقات کن‌ست در دنیا جهت ایجاد انگیزه و تشویق دانش‌آموزان و دانشجویان و تبادل ابتکارات و فناوری‌ها و عمدتاً با میزبانی دانشگاه‌ها برگزار می‌شود. این مسابقات از سال ۲۰۰۲ م در ژاپن شروع شد و تاکنون در کشورهای امریکا، فرانسه، اسپانیا و ایران برگزار شده است [۳-۴].

طی دهه‌های ۸۰ و ۹۰ قرن بیستم میلادی، مراکز آموزشی و دانشگاهی که برنامهٔ ماهواره‌ای داشتند، به‌دلیل جرم زیاد ماهواره‌های تعریف‌شده و ارتباط مستقیم جرم ماهواره با هزینهٔ پرتاب، متحمل پرداخت هزینه‌های هنگفتی در این زمینه می‌شدند. ایدهٔ اولیهٔ کیوب‌ست‌ها در سال ۱۹۹۹ م توسط دو تن از استادان دانشگاه‌های کلیفورنیا[۸] و استنفورد ارائه شد. این ایده، پیکوماهواره‌هایی مکعب‌شکل به جرم ۱ کیلوگرم، به ابعاد ۱۰ سانتی‌متر را پیشنهاد نمود و توانست هزینهٔ پرتاب را از ۲۵۰ هزار دلار به ازای هر کیلوگرم به کمتر از ۵۰ هزار دلار کاهش دهد. با توجه به اهداف آموزشی ایدهٔ کیوب‌ست، در سال بعد استانداردی مشخص و مدون توسط دانشگاه کلیفورنیا برای این نوع از پیکوماهواره‌ها ارائه شد. امروزه بیش از ۶۰ دانشگاه در سراسر دنیا در زمینهٔ کیوب‌ست فعالیت می‌کنند و ۷۵ دستگاه کیوب‌ست تا سال ۲۰۱۲ م به فضا پرتاب شده است [۵]. در سال‌های اخیر با روند کوچک‌سازی قطعات با فناوری میکروالکترومکانیک و نانوالکترومکانیک و هزینهٔ اندک پرتاب کیوب‌ست‌ها، سرمایه‌گذاری کشورها روی این نوع از ماهواره‌ها افزایش یافته و از اهداف آموزشی محض به‌سوی تجاری‌سازی فعالیت‌های علمی تحقیقاتی و کاربردی حرکت نموده است؛ مثلاً در این زمینه، فعالیت مشترک بین‌المللی کیوبی۵۰ شامل طراحی و ساخت ۵۰ کیوب‌ست به‌صورت شبکه برای بررسی لایهٔ جوی ترموسفر کرهٔ زمین را می‌توان نام برد [۶] و یا به سرمایه‌گذاری بخش نظامی کشورهای پیشرفته در زمینهٔ کن‌ست و کیوب‌ست با توجه به جرم و ابعاد کوچک و هزینهٔ گزاف برای انهدام آنها اشاره کرد.

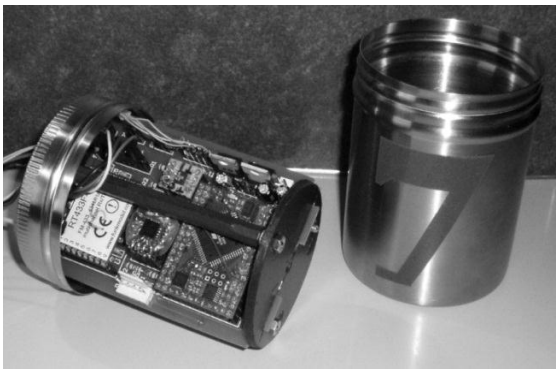
با توجه به نیاز دانشجویان صنعت فضایی به آموزش‌های عملی لازم در زمینهٔ طراحی و ساخت ماهواره و متداول‌شدن برنامه‌های فضایی در دانشگاه‌ها، دو فعالیت کن‌ست و کیوب‌ست با ویژگی‌ها و مزایای خاص خود، می‌توانند علاوه بر پوشش اهداف آموزشی برای دانشگاه‌ها، فرصت‌های جدید کاربردی و تحقیقاتی را با توجه به روند کوچک‌سازی فناوری تولید قطعات مکانیک و الکترونیک، ایجاد کنند.

این مقاله ضمن معرفی اجمالی کن‌ست و کیوب‌ست و مأموریت‌ها و کاربردهای آن، سعی می‌کند دانشجویان را به فعالیت در این زمینه ترغیب کند و اطلاعات اولیه در زمینهٔ استانداردها، تجهیزات لازم، هزینه‌ها و مسائل طراحی و ساخت برای شروع فعالیت را در اختیار آنها قرار دهد. همچنین امید است این اطلاعات، به‌خصوص روند کاربردی و تجاری‌سازی آنها، سبب ترغیب مدیران مربوطه برای جهت‌دهی فعالیت دانشجویان در زمینه‌های مورد نیاز شود.

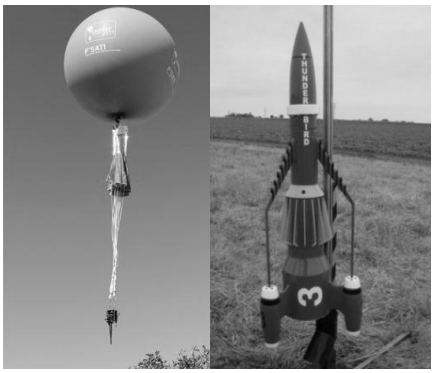
۲. کن‌ست

سامانهٔ کن‌ست شبیه سامانه‌های فضایی از سه قسمت اصلی پرتابگر، بدنهٔ اصلی و ایستگاه زمینی تشکیل می‌شود. در شکل ۱ نمونه‌ای از بدنهٔ اصلی، که لفظ کن‌ست غالباً به آن اشاره دارد، نمایش داده شده است. در این نمونه سازه و چند زیرسیستم الکترونیکی مشاهده می‌شود. کن‌ست از زیرسیستم‌هایی مشابه زیرسیستم‌های اصلی یک ماهواره،

شامل زیرسیستم‌های مخابرات، کامپیوتر روی برد[۹]، کنترل وضعیت، سازه و سازوکار، محموله، توان الکتریکی و زیرسیستم بازیابی تشکیل شده است. پرتابگر وظیفهٔ اوج‌دهی کن‌ست را تا ارتفاع مشخصی برعهده دارد. پرتابگر می‌تواند بالن، راکت یا هواپیمای بدون سرنشین باشد. در شکل ۲ بالن و راکت به‌عنوان پرتابگر مشاهده می‌شود. کن‌ست توسط پرتابگر به بالا پرتاب یا اوج‌دهی می‌شود. پس از رهاسازی از ارتفاع و در حین فرود، کن‌ست فعال می‌شود و مأموریت خود را انجام می‌دهد. کن‌ست‌ها معمولاً سرعت فرود بر سطح زمین را به‌وسیلهٔ چتر کنترل می‌کنند. در شکل ۳ نمونه‌ای از یک کن‌ست در حین فرود با چتر مشاهده می‌شود. در این شکل، کن‌ست توسط چتر سرعت فرود خود را کنترل و در حین فرود، داده‌های محموله را به ایستگاه زمینی ارسال می‌کند. ایستگاه زمینی، که از یک گیرندهٔ مخابراتی و رایانه تشکیل شده، داده‌های ارسالی را جمع‌آوری و پس از پردازش نمایش می‌دهد.



شکل ۱. نمونه‌ای از یک کن‌ست [۳]



شکل۲. پرتابگرهای کن‌ست (بالن و راکت)[۱۰]

شکل۳. نمونه‌ای از یک کن‌ست در حین فرود[۸]

۲-۱. کاربردها و مأموریت‌ها

مأموریت‌هایی که برای کن‌ست‌ها تعریف می‌شود شامل سه دستهٔ کلی سنجش و اکتساب داده، بازگشت به محل معین و حمل محفظهٔ مخصوص است. کاربردهای کن‌ست مطابق با مأموریت تعریف‌شده است. در مأموریت سنجش و اکتساب داده، کن‌ست با استفاده از حسگرهای خود به جمع‌آوری داده از محیط می‌پردازد که معمولاً شامل تصویربرداری از سطح زمین، سنجش آلاینده‌ها، عناصر محیطی و مقدار غلظت گازهای لایهٔ ترموسفر است. با

توجه به این مأموریت، کاربردهای هواشناسی، بررسی لایهٔ جوی و تهیهٔ تصاویر می‌تواند برای کن‌ست تعریف شود. در مأموریت بازگشت به محل معین، کن‌ست پس از رهایش از پرتابگر سعی می‌کند با الگوریتم کنترلی تعریف‌شده، خود را به نقطه‌ای مشخص برساند. این مأموریت قابلیت تجاری‌سازی، نظامی یا رساندن محموله‌ای را به نقطه‌ای خاص در حوادث و بلایای طبیعی دارد. مأموریت‌های دیگری چون حمل سالم یک محموله، فرود ایمن، حمل و نظارت بر محفظهٔ زیستی برای کن‌ست‌ها تعریف می‌شود که قابلیت کاربردی شدن نیز دارد [۷].

۲-۲. طراحی و ساخت

برای طراحی و ساخت کن‌ست، پس از تعریف مأموریت، الزامات طراحی استخراج می‌شود. مهمترین الزامات، مربوط به بودجه‌بندی‌های[۱۱] جرم، ابعاد، توان و الزامات مرتبط با مأموریت کن‌ست است. ابتدا مشخصات فنی محموله[۱۲]، که مجموعه‌ای از حسگرهاست، مشخص می‌شود. نوع حسگرها ارتباط مستقیمی با مأموریت دارند، مثلاً برای مأموریت بررسی لایهٔ ترموسفر زمین از حسگرهای شیمیایی تشخیص گاز استفاده می‌شود. معمولاً حسگرهای دما، فشار، رطوبت، دوربین تصویربرداری، جی. پی. اس.، ژیروسکوپ و شتاب‌سنج در کن‌ست استفاده می‌شود. در جدول ۱ نمونه‌ای از قطعات الکترونیکی که برخی از آنها با فناوری میکروالکترومکانیک ساخته شده‌اند، با جرم، ابعاد، مصرف توان و هزینهٔ کم و قابل استفاده برای کن‌ست ارائه شده است. زیرسیستم توان الکتریکی به‌منظور تأمین توان کن‌ست در طول مأموریت، با استفاده از باتری، فیلتر و رگولاتور ولتاژ طراحی می‌شود. جهت مدیریت و پردازش داده‌های محموله و حسگرها و اعمال فرمان‌های لازم، از زیرسیستم کامپیوتر که شامل حافظه، مدارهای آنالوگ به دیجیتال، دیجیتال به آنالوگ و پردازشگر است، استفاده می‌شود. برای محاسبه و پردازش غالباً از میکروکنترلرهای اِی. وی. آر.، آرم و پی. آی. سی. استفاده می‌شود. زیرسیستم مخابرات داده‌های مأموریت را در باند فرکانسی رادیوآماتوری[۱۳] و به‌صورت کـدشده به ایستگاه زمینی ارسال می‌کند. این زیرسیستم از ماژول‌های مخابراتی فرستنده، گیرنده و آنتن تشکیل می‌شود. برای دریافت، تحلیل و نمایش داده‌های ارسالی، ایستگاه زمینی که شامل گیرندهٔ مخابراتی و آنتن رایانه هست طراحی می‌شود. زیرسیستم سازه جهت حفاظت و نگهداری بردهای الکترونیکی، مقاومت در برابر بارهای واردهٔ محیطی و ارتعاشات مکانیکی طراحی می‌شود. برای فرود ایمن کن‌ست به طراحی زیرسیستم کنترل و بازیابی معمولاً از چتر استفاده می‌شود [۸]. طراحی چتر نیز باید به‌گونه‌ای باشد که سرعت فرود مناسب باشد؛ معمولاً این سرعت کمتر از ۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود. در برخی از مأموریت‌ها که به کنترل نقطهٔ فرود نیاز است، نوع چتر تغییر می‌کند و از یک الگوریتم کنترلی و عملگر کنترل چتر، برای کنترل نقطهٔ فرود استفاده می‌شود.

مراحل اجرای یک پروژهٔ کن‌ست شامل مراحل طراحی مفهومی[۱۴]، طراحی اولیه[۱۵] و طراحی دقیق[۱۶]، ساخت، تجمیع و یکپارچه‌سازی[۱۷]، آزمون، پرتاب و تحلیل داده‌ها می‌شود. زمان اجرای این مراحل، که به‌صورت گروهی توسط دانشجویان انجام می‌شود، بین شش ماه تا یک سال است. برای طراحی و ساخت کن‌ست به امکانات و تجهیزات اولیهٔ الکترونیکی، مثل پروگرامر میکروکنترلر، ابزار لحیم‌کاری، ابزار کالیبراسیون حسگرها، اسیلوسکوپ، مولتی‌متر، منبع تغذیه، که در آزمایشگاه الکترونیک عمومی کارشناسی وجود دارد، نیاز است. همچنین جعبه‌ابزار عمومی، ابزار سوراخکاری و برشکاری، که در آزمایشگاه عمومی مکانیک موجود است، مورد نیاز می‌باشد. گفتنی است در گروه‌ها، دانشجویانی از رشته‌های هوافضا، برق و کامپیوتر نیز مورد نیازند. هزینه‌های ساخت یک کن‌ست به‌طور مستقیم به مأموریت آن بستگی دارد. البته به‌طور معمول، هزینهٔ قطعات کن‌ست کمتر از بیست میلیون ریال است [۹].

جدول ۱. مشخصات نمونه از قطعات کن‌ست

قطعه	جرم (گرم)	توان مصرفی (میلی‌وات)	قیمت (دلار)	ابعاد (میلی‌متر)
ال. ام. ۷۵[18] (حسگر دما)	<۱	۴۷۱	۱	۴×۵×۱/۷
ام. پی. ی. ۶۰۵۰[19] (ژیروسکوپ و شتاب‌سنج)	<۱	۱۳/۵	۱۸	۴×۴×۰/۹
جی. تی. ۷۲۰[20] (جی. پی. اس)	۱۵	۸۵	۱۴/۵	۳۴×۳۴×۹/۲
بی. ام. پی. ۸۵[21] (فشارسنج)	<۱	۳/۶	۶	۵×۵×۱/۲
اچ. آی. اچ. ۴۰۰۰[22] (رطوبت‌سنج)	<۱	۲/۵	۹	۴/۲×۹/۴×۲
زیگ‌بی[23] (ماژول مخابراتی)	۵	۲۰۰	۳۷	۴۱/۵×۲۳×۱۱/۱
باتری (لیتیوم پلیمر)	۴۰	۳۳۰۰ میلی آمپرساعت	۶	۳۰×۲۰×۵
ای. تی. مگا ۸[24] (میکروکنترلر)	<۱	۱۸	۵	۵/۱×۵/۱

۲-۳. مسابقات کن‌ست

به‌منظور آموزش، شناسایی استعدادها، ایجاد تشویق و انگیزه در بین دانش‌آموزان دبیرستان و دانشجویان، مسابقاتی در زمینهٔ کن‌ست راه‌اندازی شده است. نخستین دوره از این مسابقات در سال ۲۰۰۲ م در ژاپن برگزار شد. در سال‌های بعد نیز در کشورهای امریکا، اسپانیا، فرانسه و در ایران از سال ۱۳۹۰ به‌همت پژوهشگاه هوافضا با مأموریت‌های مختلف برگزار شده است [۱۰].

مسابقات کن‌ست شامل طراحی، ساخت و آزمون کن‌ست است که طی آن گروه‌ها می‌توانند چرخهٔ عمر یک سیستم هوافضایی را تجربه کنند. این مسابقات با هدف بازتاب یک برنامهٔ هوافضایی در ابعاد کوچک و در زمان کوتاه طراحی شده است و شامل تمامی جوانب یک برنامهٔ فضایی از سند مرور طراحی اولیه تا ساخت، آزمون، عملیات و مرور پس از مأموریت می‌باشد. مأموریت‌ها و الزامات مورد نظر در مسابقات به‌منظور بازتاب جنبه‌های متنوع مأموریت‌های دنیای واقعی از جمله الزامات عملیاتی سنجش از دور، مخابرات و خودکارسازی طراحی شده است. کن‌ست غالباً در دو کلاس استاندارد و آزاد طبقه‌بندی می‌شود. این کلاس‌ها تنها در محدودیت‌های جرمی و ابعادی متفاوت‌اند و سایر ویژگی‌های آنها یکسان است. کلاس استاندارد در قالب استوانه‌ای با ارتفاع ۱۱۵ و قطر ۶۶ میلی‌متر، نهایتاً می‌تواند ۳۵۰ گرم جرم داشته باشد. کلاس استاندارد در قالب استوانه‌ای با ارتفاع ۲۰۰ و قطر ۸۰ میلی‌متر می‌تواند تا ۱ کیلوگرم جرم داشته باشد.

مأموریت‌هایی که تاکنون برای کن‌ست‌ها طی مسابقات در نظر گرفته شده، شامل مأموریت‌های بررسی اتمسفر یا سنجش جوی، تصویربرداری، فرود ایمن، بازگشت به محل معین، حمل محفظهٔ زیستی و مأموریت آزاد می‌شود [۷]. در جدول ۲ محل، نوع مأموریت، سال و وبگاه مسابقات کن‌ست که علاوه بر اطلاعات مسابقات، اطلاعات فنی مفیدی در اختیار علاقمندان قرار می‌دهد، ملاحظه می‌شود.

مأموریت‌هایی که در مسابقات تعریف می‌شود، بعضاً مقیاس کوچکی از چالش‌های مورد نظر در پروژه‌های واقعی است. به‌عنوان نمونه می‌توان به مأموریت آلفا در مسابقات ایران، که به بررسی نحوهٔ حفاظت و پایش محفظهٔ زیستی موجود زنده مرتبط است، اشاره کرد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با صرف هزینه‌ای اندک توسط دانشگاه در پروژهٔ

کن‌ست، دانشجویان در مدت زمان کوتاهی، بخشی از چرخهٔ عمر یک سیستم شبه‌فضایی از مراحل طراحی، ساخت، آزمون، پرتاب تا بهره‌برداری را تجربه کرده و اطلاعات مفیدی در زمینهٔ طراحی و ساخت ماهواره، تجربه و تعامل در کار گروهی و دانش میان‌رشته‌ای را کسب می‌کنند.

جدول ۲. مسابقات کن‌ست و مأموریت‌ها

مسابقات	سال	مأموریت	وبگاه	تعداد نفراتس
امریکا	۲۰۱۳	بررسی اتمسفر با محموله و حسگرهای معین	http://www.cansatcompetition.com/	۲۲
ایران	۲۰۱۳	بررسی اتمسفر، بازگشت به محل معین، تصویربرداری، حمل محفظهٔ زیستی	http://www.ari.ac.ir/icc	۳۲
امریکا	۲۰۱۲	بررسی اتمسفر، بازگشت به محل معین، تصویربرداری	http://www.cansatcompetition.com/	N/A
ایران	۲۰۱۲	بررسی اتمسفر، بازگشت به محل معین، تصویربرداری	http://www.ari.ac.ir/icc	۱۸
اسپانیا	۲۰۱۲	بررسی اتمسفر، بازگشت به محل معین، تصویربرداری	http://cansat.leem.es/	۲۶
فرانسه	۲۰۱۲	بررسی اتمسفر، بازگشت به محل معین، آزاد	http://www.planete-sciences.org	N/A
ژاپن	۲۰۱۱	بازگشت به محل معین	http://www.cltp.info	N/A

۳. کیوب‌ست‌ها (ماهواره‌های مکعبی)

کیوب‌ست از واحدهای مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری تشکیل شده است. در شکل ۴ نمونه‌ای از یک کیوب‌ست یک‌واحدی نمایش داده شده است. جرم استاندارد هر واحد مکعبی ۱ کیلوگرم است. البته در برخی از استانداردها جرم هر واحد مکعبی ۱/۳۳ کیلوگرم ذکر شده است. به‌دلیل جرم انک و قرارگرفتن به‌عنوان محمولهٔ جانبی پرتابگر، هزینهٔ پرتاب این نوع از ماهواره‌ها بسیار کم است. کیوب‌ست‌ها کلاسی از پیکوماهواره‌ها هستند که امروزه با توجه به ویژگی‌های خاص‌شان مورد توجه قرار گرفته‌اند. در جدول ۳ دسته‌بندی ماهواره‌ها براساس جرم ارائه شده است. مطابق این جدول ماهواره‌هایی که بین ۰/۱ تا ۱ کیلوگرم جرم دارند، جزء دستهٔ پیکوماهواره‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. کیوب‌ست‌ها از نظر مداری در مدار ارتفاع پایین[۲۵] قرار می‌گیرند و معمولاً طول عمر مداری آنها بین یک ماه تا یک سال است. هزینهٔ طراحی و ساخت یک کیوب‌ست دانشگاهی کمتر از ۱۰۰ هزار دلار است. هدف از ارائهٔ ایدهٔ کیوب‌ست، طراحی و ساخت ماهواره توسط توانمندی‌های دانشجویان در دانشگاه‌ها و کسب تجربه توسط آنها طی بازهٔ زمانی یک تا دوساله بوده که با کمترین هزینه پرتاب شود [۲، ۵]. طراحی و ساخت کیوب‌ست‌ها بنا به دلائل زیر صرفهٔ اقتصادی داشته و هزینهٔ کمتری دارد:

۱. پرتاب آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر
۲. استاندارد و ماژولار بودن بردها و تجهیزات
۳. طراحی و ساخت در زمان کوتاه
۴. تجهیزات آزمون ساده‌تر نسبت به دیگر ماهواره‌ها
۵. قرارگرفتن به‌عنوان محمولهٔ جانبی پرتابگر
۶. در دسترس بودن ماژول‌ها و تجهیزات در بازار
۷. مصرف کمتر آرایهٔ خورشیدی
۸. در دسترس بودن تجهیزات رابط پرتابگر

جدول ۳. دسته‌بندی جرمی ماهواره‌ها [۵]

نوع ماهواره	جرم
ماهواره‌های بزرگ	بیشتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم
ماهواره‌های متوسط	بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم
مینی‌ماهواره‌ها	بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم
میکرو اهواره‌ها	بین ۱۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم
نانوماهواره‌ها	بین ۱ تا ۱۰ کیلوگرم
پیکوماهواره‌ها	بین ۰/۱تا ۱ کیلوگرم
فمتوماهواره‌ها	کمتر از ۱۰۰ گرم

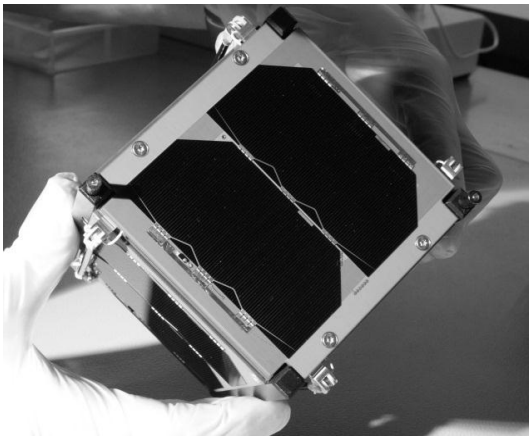
۳-۱. کاربردها و مأموریت‌های کیوب‌ست

به‌طور کلی مأموریت کیوب‌ست‌ها شامل مأموریت‌های سنجش پارامترهای جوی، تصویربرداری از سطح زمین، آزمایش برخی پدیده‌های فیزیکی و تحقیق و توسعهٔ فناوری ساخت کیوب‌ست‌ها می‌شود. به‌طور نمونه می‌توان به کیوب‌ست ای. ای. یو. ۱[۲۶] دانشگاه آلبورگ[۲۷] اشاره کرد. طراحی این ماهواره در سال ۲۰۰۱ م با مأموریت تصویربرداری از سطح زمین آغاز و در سال ۲۰۰۳ م از روسیه پرتاب شد. طول عمر این ماهواره ۲/۵ ماه بود. پروژه ماهوارهٔ ای. یو. ست[۲۸] با مأموریت تصویربرداری از زمین در دانشگاه آدِلاید استرالیا[۲۹] در سال ۲۰۰۷ م آغاز شد (شکل ۵).

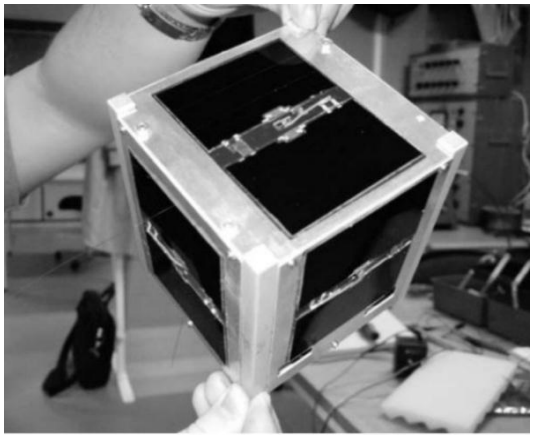
دو پروژهٔ کیوب‌ست کن ایکس ۱[۳۰] و کن ایکس ۲[۳۱] متعلق به دانشگاه تورنتو کانادا[۳۲] است که مأموریت هر دو شامل تست‌هایی از فناوری که شامل دوربین سیماس[۳۳]، تست ارتباط مخابراتی، تست پیشرانش و تست مغناطیس‌سنج می‌شود. کیوب‌ست کن ایکس ۱ در سال ۲۰۰۳ م و کن ایکس ۲ در سال ۲۰۰۸ از روسیه به فضا پرتاب شد [۱۲-۱۳]. نمونهٔ دیگر، کیوب‌ست کیوت ۱ محصول دانشگاه توکیو[۳۴] است که در سال ۲۰۰۳ در مدار قرار گرفت. آزمایش زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت از اهداف مأموریت این ماهواره بود. کیوب‌ست دوم دانشگاه توکیو برای تست زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت با استفاده از حسگرهای خورشید و مغناطیس‌سنج طراحی شده است [۱۴]. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، کیوب‌ست‌ها مأموریت‌های متوعی انجام می‌دهند؛ از تست اجزای ماهواره گرفته تا تست محموله و دستگاه‌های خاص، همچنین گسترش فناوری و موارد دیگر. امروزه سازندگان ماهواره‌ها با تکیه بر فناوری میکروالکترومکانیک و نانوالکترومکانیک توانسته‌اند از کیوب‌ست‌ها استفاده‌های کاربردی کنند. نمونه‌ای از کاربردهای امروزی کیوب‌ست‌ها عبارت‌اند از [۲]:

۱. تحقیقات در زمینهٔ گسترش فناوری
۲. سنجش از راه دور
۳. اثر محیطی فضا روی سیستم‌های بیولوژیکی
۴. آثار تشعشعی روی تجهیزات فضایی
۵. بررسی لایه‌های جوی زمین
۶. فیزیک نجومی

در جدول ۵ تقویم پرتاب کیوب‌ست‌ها از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۱۰ م ارائه شده است. اولین سری کیوب‌ست‌ها شامل ۶ دستگاه کیوب‌ست در سال ۲۰۰۳ و سری دوم در سال ۲۰۰۵ از روسیه به فضا پرتاب شدند. تا سال ۲۰۱۲ تعداد ۷۵ دستگاه از این ماهواره‌ها در مدار زمین قرار گرفتند. تعداد ۲۵ دستگاه از این ماهواره‌ها فقط در سال ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شدند. هم‌اکنون نیز فعالیت بین‌المللی کیوبی ۵۰ به‌منظور انجام تحقیقات در مورد لایهٔ ترموسفر جو زمین با استفاده از این نوع پیکوماهواره‌ها و با ایدهٔ منظومهٔ ماهواره‌ای به‌منظور شبکه‌کردن این کیوب‌ست‌ها آغاز شده است [۶]. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، از تعریف ایدهٔ کیوب‌ست تاکنون، کاربردها و مأموریت‌های این پیکوماهواره بنا به مزایای ذکرشده روبه افزایش بوده و از اهداف آموزشی به‌سمت اهداف و کاربردهای علمی، تحقیقاتی، فناوری و تجاری سیر نموده است.



شکل ۴. کیوب‌ست یک‌واحدی (برگرفته از شرکت گام اسپیس)



شکل ۵. نمایی از ماهوارهٔ ای. یو. ست استرالیا [۱۱]

جدول ۴. نمونه‌ای از کیوب‌ست‌ها و مأموریت آنها [۲]

نام کیوب‌ست	تعداد واحد	سازنده	مأموریت	پرتاب (میلادی)
کوئک‌ست[۳۵]	۳	دانشگاه استنفورد	زلزله‌نگاری	۲۰۰۳
سی. پی. ۳[۳۶]	۱	دانشگاه پلی‌تکنیک کلیفورنیا	تست فناوری و رادیو آماتوری	۲۰۰۷
ماست[۳۷]	۱	مؤسسه تتر امریکا	گسترش فناوری	۲۰۰۷
کامپس ۱[۳۸]	۱	دانشگاه کاربردی آخن	گسترش فناوری، تصویربرداری	۲۰۰۸
کا. ست[۳۹]	۱	دانشگاه کاگوشیما	سنجش بخار آب، گسترش فناوری	۲۰۱۰
راکس[۴۰]	۱	دانشگاه میشیگان	تست دستگاه رادار استاتیکی	۲۰۱۰

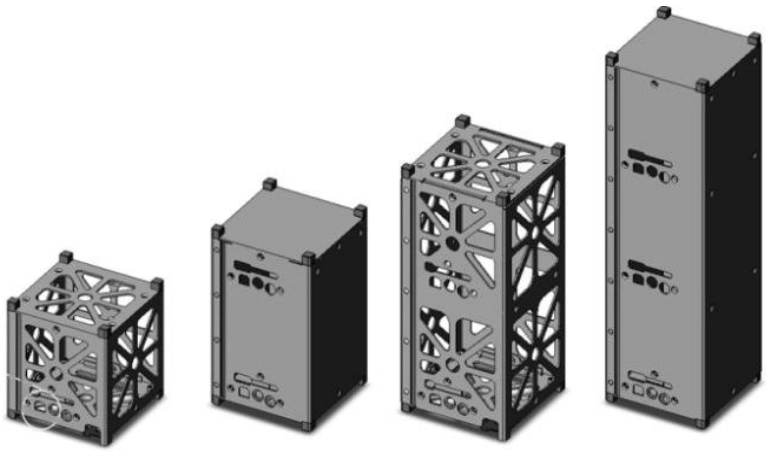
جدول ۵. تقویم پرتاب کیوب‌ست‌ها تا سال ۲۰۱۰

تعداد ماهواره	نام پرتابگر	کشور پرتاب‌کننده	سال پرتاب
۶	Rokot-KM	روسیه	۲۰۰۳
۶	Kosmos-3M	روسیه	۲۰۰۵
۱۳	Dnepr-1	روسیه	۲۰۰۶
	Minotaur-1	امریکا	
۸	PSLV(3)	هند	۲۰۰۸
	Falcon-1 –M-5 (2)	امریکا	
۸	PSLV-CA	هند	۲۰۰۹
	H-2A-202	ژاپن	
۱۳	Minotaur-4	امریکا	۲۰۱۰
	Falcon-9	امریکا	

۳-۲. استاندارد کیوب‌ست‌ها

پس از ارائهٔ ایده کیوب‌ست و اجرای این برنامه در دانشگاه استنفورد و کلیفورنیا، استانداردهایی در دانشگاه پلی‌تکنیک کلیفورنیا برای کیوب‌ست‌ها تدوین و به‌مرور زمان اصلاح شد. طبق نسخهٔ سیزدهم این استاندارد، برای کیوب‌ست‌ها الزاماتی چون الزامات جرمی و ابعادی، سازه‌ای، الکتریکی، عملکردی و الزامات مربوط به آزمون‌های مختلف ارائه شده است. از جمله الزامات جرمی و ابعادی عبارت است از: کیوب‌ست‌ها از واحدهای مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری با حداکثر حجم ۱۰۰۰ سانتی‌متر مکعب و حداکثر جرم ۱ کیلوگرم تشکیل شده است. مرکز جرم باید داخل شعاع ۲ سانتی‌متری از مرکز هندسی کیوب‌ست باشد. برای تشکیل کیوب‌ست یک یا چند واحد مکعبی می‌توانند کنار یکدیگر قرار گیرد. در شکل ۶ نمایی شماتیک از چند نمونه سازهٔ کیوب‌ست نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در این شکل به‌ترتیب از چپ به راست، سازهٔ کیوب‌ست‌های یک واحدی، یک‌ونیم واحدی، دو واحدی و سه واحدی نمایش داده شده است.

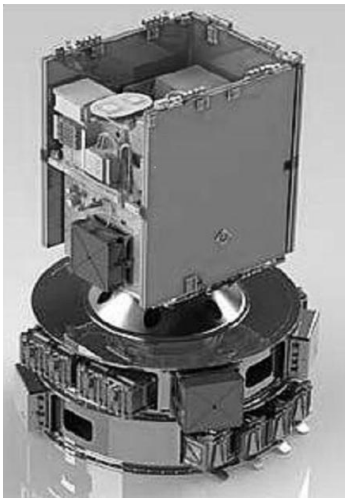
استفاده از آلومینیوم ۷۰۷۵، استفاده از رابط پاد[۴۱] برای پرتاب کیوب‌ست، استفاده از ریل‌های یکپارچه در سازه نمونه‌هایی از الزامات سازه‌ای است. عدم روشن‌بودن عناصر الکتریکی در زمان پرتاب، استفاده از سوئیچ‌های تشخیص لحظهٔ رهایی از پرتابگر و پاد، از الزامات الکتریکی برای کیوب‌ست‌هاست. فعال‌شدن عناصر الکتریکی و ارتباط مخابراتی پس از جدایش از پاد، امکان استفاده از باند فرکانسی رادیوآماتوری برای ارتباط مخابراتی، بازشدن آنتن‌ها پس از ۱۵ دقیقه از جدایش پاد، از جمله الزامات الکتریکی کیوب‌ست‌هاست [۱۵].



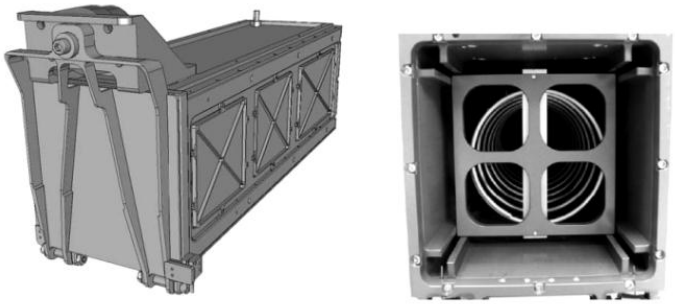
شکل ۶. سازه‌های چند واحدی کیوب‌ست [۱۵]

۳-۳. پرتاب کیوب‌ست‌ها

کیوب‌ست‌ها به‌عنوان محمولهٔ جانبی پرتاب می‌شوند. فصل مشترک پرتابگرها با کیوب‌ست‌ها بخشی است که به آن پاد می‌گویند و با توجه به تجربهٔ زیادی که در طراحی آن به‌دست آمده است، استانداردهایی در ساخت آن تعیین شده که قیودی را برای طراحی کیوب‌ست ایجاد می‌کند. در بخش الف از شکل ۷، رابط محموله‌های پرتابگر با خود پرتابگر (آداپتور) یعنی جایی که ماهواره‌ها روی آن قرار می‌گیرند، مشاهده می‌شود. همچنین در این شکل، یک ماهوارهٔ بزرگ به‌عنوان محمولهٔ اصلی پرتابگر در بالای آداپتور و چند پاد کیوب‌ست به‌عنوان محمولهٔ جانبی در قسمت پایین و دور آداپتور قرار گرفته است. لذا یک کیوب‌ست می‌تواند به‌عنوان محمولهٔ جانبی پرتابگر تلقی شود و یا چندین کیوب‌ست با یکدیگر به فضا پرتاب شوند.



(الف)



(ب)

شکل ۷. نمایی از الف) آداپتور پرتابگر با محموله‌های مختلف، ب) پاد یا رابط کیوب‌ست با آداپتور پرتابگر [۱۶]

در قسمت ب از شکل ۷ رابط کیوب‌ست با آداپتور پرتابگر (پاد) از دو زاویهٔ مختلف مشاهده می‌شود. همان‌گونه که در شکل نمایان است، کیوب‌ست داخل پاد قرار می‌گیرد و فنر داخل پاد را می‌فشارد. در هنگام رهایش با استفاده از نیروی فنر فشرده شده، کیوب‌ست به بیرون پرتاب می‌شود [۱۶].

۳-٤. مؤسسات فعال در حوزهٔ تجهیزات کیوب‌ست

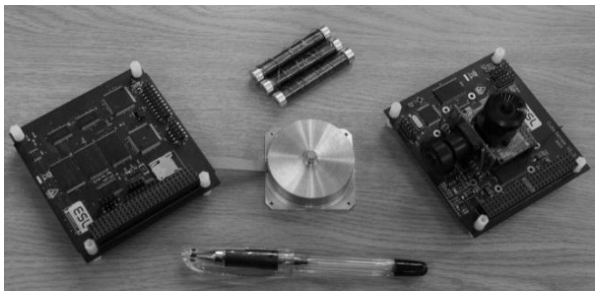
از ابتدای طرح ایدهٔ کیوب‌ست تاکنون دانشگاه‌های متعددی در سراسر دنیا در زمینهٔ طراحی و ساخت این نوع از ماهواره‌ها فعال شده‌اند که از آن جمله می‌توان به دانشگاه‌های استنفورد، کلیفورنیا، تورنتو، توکیو، دِلف و آدلاید اشاره کرد. همچنین با توجه به استاندارد و ماژولار بودن کیوب‌ست‌ها، شرکت‌هایی در زمینهٔ تأمین قطعات، تجهیزات و ماژول‌های کیوب‌ست فعالیت می‌نمایند. نام و نشانی وبگاه شرکت‌های فعال در زمینهٔ ساخت تجهیزات، قطعات و ماژول‌های کیوب‌ست‌ها در جدول ۶ آمده است. به‌عنوان نمونه در شکل ۸ یک سیستم میکروپیشرانهٔ گاز سرد محصول شرکت وکو[۴۲] مخصوص کیوب‌ست‌ها ارائه شده است. این میکروپیشرانه با پنج نازل در پنج طرف کیوب‌ست قرار گرفته که یکی روی سطح فوقانی و چهار عدد دیگر به‌صورت دوتایی در دو طرف متقابل بدنه قرار گرفته است. در شکل ۹ چند محصول شرکت کلاید اسپیس مخصوص کیوب‌ست شامل یک برد زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت (سمت چپ)، یک عدد چرخ عکس‌العملی (وسط شکل)، سه گشتاوردهندهٔ مغناطیسی (بالای شکل) و یک برد تصویربرداری (محموله) در سمت

چپ شکل مشاهده می‌شود. ابعاد این قطعات با مقایسهٔ خودکار موجود در شکل قابل تخمین است. در شکل ۴، مدل مهندسی یک کیوب‌ست تجمیع‌شدهٔ یک‌واحدی با همهٔ تجهیزات محصول شرکت گام اسپیس ارائه شده است.

جدول ۶. وبگاه شرکت‌های فعال در زمینهٔ ساخت قطعات کیوب‌ست

نام شرکت	وبگاه
کلاید اسپیس[۴۳]	www.clydespace.com
پامپکین[۴۴]	www.pumpkininc.com
گام اسپیس[۴۵]	www.gomspace.com
راه‌حل‌های خلاقانه در فضا[۴۶]	www.isispace.nl
Surrey Satellite Technology Ltd	www.sstl.co.uk
Astronautical Development	www.astrodev.com
Sequoia Space	www.sequoiaspace.com

شکل ۸. یک میکروپیشرانهٔ گاز سرد
برگرفته از وبگاه شرکت وکو



شکل ۹. تجهیزات کیوب‌ست محصول شرکت کلاید اسپیس
برگرفته از وبگاه شرکت کلاید اسپیس

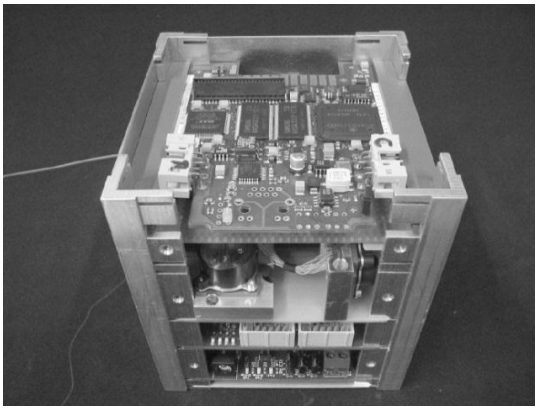
۳-۵. طراحی و ساخت کیوب‌ست

طراحی و ساخت ماهواره فرایندی سیستمی است و از مرحلهٔ نیاز مشتری و تعریف مأموریت آغاز می‌شود. سپس محمولهٔ ماهواره، که وظیفهٔ انجام ماموریت را دارد، طراحی می‌گردد. در ادامه، زیرسیستم‌های مختلف با در نظر گرفتن استانداردها و الزامات، طی مراحل طراحی مفهومی، اولیه و دقیق کامل‌تر شده و پس از آن وارد مرحلهٔ ساخت قطعات و زیرسیستم‌ها می‌شود. در ادامه، مراحل تجمیع و آزمون‌های زیرسیستمی و سیستمی ماهواره انجام می‌شود. در کیوب‌ست‌ها، مشخص‌بودن برخی الزامات و استانداردها و در دسترس بودن دسته‌ای از تجهیزات و قطعات به‌صورت ماژولار، مشخص‌بودن رابط پرتابگر و همچنین وجود ابزارهای طراحی مانند اس. دی. تی. [۱۷]، اسکالس [۱۸] و دی. اس. ام. [۱۹] سبب تسریع در فرایند طراحی و ساخت آنها شده است.

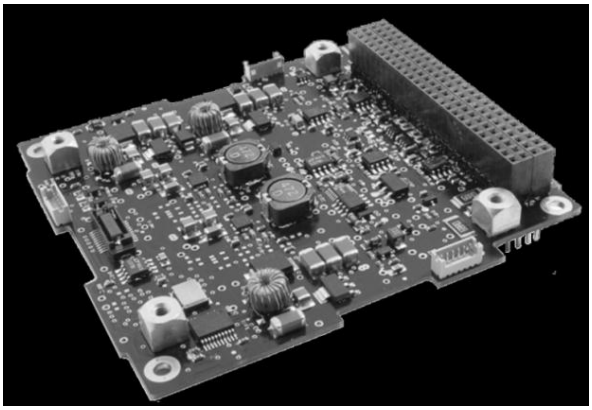
طراحی و ساخت کیوب‌ست نیازمند نیروی متخصص در رشته‌های هوافضا، برق، مکانیک و کامپیوتر است. هزینهٔ طراحی و ساخت یک کیوب‌ست طبق برآورد مرجع [۲] حدود ۱۰۰ هزار دلار است. تجهیزات و آزمایشگاه‌هایی برای ساخت و آزمون کیوب‌ست‌ها مورد نیاز است که از

جمله می‌توان به اتاق تمیز[47] با استاندارد ایـزو ۸[48]، آزمایشگاه‌های مخابرات، الکترونیک، مکانیک در سطح آزمایشگاه‌های مقطع کارشناسی و امکانات آزمون اشاره کرد. به‌دلیل استانداردبودن و ماژولاربودن کیوب‌ست، تجهیزات و قطعات را می‌توان از شرکت‌های مرتبط در این زمینه تهیه کرد.

یک کیوب‌ست دارای زیرسیستم‌های متنوعی چون زیرسیستم‌های توان الکتریکی، مخابرات، کامپیوتر روی برد، تعیین و کنترل وضعیت، پیشرانش، سازه و کنترل حرارت است. بردهای الکتریکی و سایر تجهیزات کیوب‌ست به‌صورت مجتمع و فشرده درون مکعب مخصوص جانمایی می‌شود. در شکل ۱۰ یک نمونه جانمایی زیرسیستم‌ها درون کیوب‌ست مشاهده می‌شود. طراحی زیرسیستم توان الکتریکی براساس توان مصرفی کل ماهواره است. این زیرسیستم ممکن است به‌وسیلهٔ آرایه‌های خورشیدی تعبیه‌شده روی بدنه، به‌طور نمونه در شکل‌های ۴ و ۵، توان الکتریکی تولید کند. سطح آرایه‌های خورشیدی، ظرفیت باتری‌ها و المان‌های الکترونیکی با توجه به توان کل ماهواره تعیین می‌شود. بردهای الکترونیکی به‌صورت ماژولار در شرکت‌هایی که در جدول ۶ به آنها اشاره شد، موجود است. به‌عنوان نمونه در شکل ۱۱ یک نمونه از برد توان به‌صورت ماژولار و استاندارد ارائه شده است.



شکل ۱۰. جانمایی زیرسیستم‌ها درون کیوب‌ست [۵]



شکل ۱۱. برد توان الکتریکی کیوب‌ست؛ برگرفته از وبگاه کلاید اسپیس

مشخصات زیرسیستم کامپیوتر، که شامل پردازنده و حافظه می‌باشد، با توجه به حجم دادهٔ محموله و دادهٔ سلامت[49] مشخص می‌شود. زیرسیستم کامپیوتر مغز ماهواره است و تمامی فرامین و مدهای عملکردی[16] ماهواره با دستور این زیرسیستم انجام می‌شود. در کیوب‌ست‌ها معمولاً از پردازشگر آرم استفاده و برای ارتباط داده بین زیرسیستم‌های متنوع از پروتکل ارتباطی I^2C استفاده می‌شود. ارتباط مخابراتی کیوب‌ست‌ها با زمین در ایستگاه زمینی و معمولاً در باند رادیوآماتوری و یا باند فرکانسی یو. اچ. اف. / وی. اچ. اف. انجام می‌شود. در کیوب‌ست برای تعیین و کنترل وضعیت از حسگرهای مغناطیس‌سنج، خورشیدی، افق زمین و از عملگرهای مغناطیسی و چرخ عکس‌العملی استفاده می‌شود. استفاده از این حسگرها و عملگرها به دقت نشانه‌روی و الگوریتم کنترلی بستگی دارد. روش کنترل حرارت در کیوب‌ست‌ها معمولاً غیرفعال است و از پوشش‌ها و عایق‌ها برای ایزولاسیون استفاده می‌گردد. البته برای افزایش حرارت در برخی از قطعات همچون باتری‌ها در شرایط برودت شدید، فقط از المنت حرارتی استفاده می‌شود. سازهٔ کیوب‌ست‌ها مشخص و استاندارد بوده و از واحدهای ۱۰ سانتی‌متری آلومینیوم ۷۰۷۵ ساخته می‌شود. در جدول ۷ نمونه‌ای از مشخصات جرمی، هزینه‌ای و توانی زیرسیستم‌های کیوب‌ست‌ها به‌صورت درصدی از جرم و توان کل و هزینهٔ ماژول هر زیرسیستم ارائه شده است.

جدول ۷. نمونه‌ای از بودجه‌بندی زیرسیستم‌های کیوب‌ست‌های سنجشی

زیرسیستم	درصد جرم	درصد مصرف توان	قیمت زیرسیستم (دلار)
توان الکتریکی	۲۳/۹	۲/۸	۱۷۵۷۵
کنترل و تعیین وضعیت	۹/۴	۱۵/۲	۱۸۸۵۰
کنترل حرارت	۲	۷	–
مخابرات	۱۳/۲	۲۶	۱۳۴۰۰
سازه و سازوکار	۲۷	۰	۱۴۲۵
کامپیوتر روی برد	۹	۱۲	۵۹۵۰
محموله	۱۵/۵	۳۷	۴۲۰۰

برای طراحی و ساخت یک کیوب‌ست پیشنهاد می‌شود ابتدا فصل ۸ از مرجع [۵] مطالعه شود. سپس برای طراحی، فصل ۲۴ از مرجع [۲] مد نظر قرار گیرد. در ادامه، استانداردهای کیوب‌ست مطابق مرجع [۱۵] مطالعه شود. در مرحلهٔ ساخت و طراحی دقیق می‌توان از سایر نمونه‌های ساخته‌شده مطابق مراجع [۱۱-۱۴] و همچنین نمونه‌های شرکت‌های فعال در زمینهٔ تولید ماژول‌ها و تجهیزات کیوب‌ست‌ها مطابق جدول ۶ استفاده شود.

٤. جمع‌بندی

در این مقاله به بررسی ماهواره‌های دانشجویی کن‌ست و کیوب‌ست پرداخته شد. با توجه به مزایای این ماهواره‌ها به‌دلیل جرم کم و هزینهٔ اندک پرتاب و ساخت قطعات میکروالکترومکانیک و نانوالکترومکانیک، سرمایه‌گذاری و ظهور کاربردهای این ماهواره‌ها روبه افزایش بوده و از اهداف اولیهٔ آموزشی پای به عرصهٔ کاربردهای عملی و تجاری گذاشته است. علاوه بر قابلیت‌های این دو فعالیت که فرصت‌های نوینی را در اختیار مراکز علمی تحقیقاتی می‌گذارد، دانشجویان و مهندسان را هم در چرخه‌ای کامل از طراحی، ساخت، پرتاب و بهره‌برداری یک ماهواره قرار می‌دهد و دانشجویان با کسب دانش سیستمی و آشنایی با طراحی ماهواره، تجربهٔ کار گروهی و فعالیت میان‌رشته‌ای تجربهٔ ارزشمندی از یک پروژهٔ فضایی در مدت زمان کوتاه کسب می‌نمایند. همچنین، پروژهٔ کن‌ست و کیوب‌ست می‌تواند یکی از چالش‌های موجود سیستم آموزشی کشور، که همانا آموزش مهندسی و تربیت مهندس است، را تا حدودی پوشش دهد و سهم به‌سزایی در آموزش مهندسی و تربیت مهندس داشته باشد. بنابراین با توجه به فرصت‌های آموزشی - تحقیقاتی، قابلیت‌ها و مزایای این دو پروژه و امکانات مورد نیاز و هزینه‌های نسبتاً پایین پیشنهاد می‌شود مراکز دبیرستانی نمونه و دانشجویان کارشناسی دانشگاه‌ها به‌ویژه دانشکده‌های هوافضا روی کن‌ست فعال شده و دانشجویان تحصیلات تکمیلی با تخصص‌های مختلف مهندسی روی پروژهٔ کیوب‌ست متمرکز شوند و مدیران با جهت‌دهی مناسب، دانشجویان را به‌سمت تجاری‌سازی و کاربردی نمودن این دو فعالیت سوق دهند.

۵. مآخذ

[1] Fortescue, Peter, Graham Swinerd, John Stark, *Spacecraft Systems Engineering*, John Wiley & Sons, 2011.

[2] Larson, Wiley J., James Richard Wertz, *Space Mission Analysis and Design*, Microcosm, Torrance, CA (US), 1992.

[3] Can Satellite (CanSat), Design Manual, University Space Engineering Consortium-Japan (UNISEC), November 2011.

[4] Wang, T., J. Grande. "The First European Cansat Competition for High School Students." In 20th Symposium on European Rocket and Balloon Programmes and Related Research, 2011, pp. 285-290.

[5] Ley, Wilfried, Klaus Wittmann, Willi Hallmann, *Handbook of Space Technology*, John Wiley & Sons, 2009.

[6] Gill, E., P. Sundaramoorthy, J. Bouwmeester, B. Zandbergen, R. Reinhard. "Formation Flying within a Constellation of Nano-Satellites: The Qb50 Mission." *Acta Astronautica*, 2013, pp. 110-117.

[7] Berman, J., T. Berman, T. Billheimer, E. Buckner, S. Hood, C. Neas. *Cansat Competition*, 2007.

[۸] کوثری، امیررضا. وحید بهلوری. "طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه سنجش از دور جوی با قابلیت بازیابی"، بیست و یکمین کنفرانس مهندسی برق ایران، ۱۳۹۲.

[۹] جلالی نائینی، سید حمید، وحید بهلوری، "ماهواره‌های دانشجویی کن‌ست و کیوب‌ست"، سخنرانی علمی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۲.

[۱۰] غضنفری‌نیا، سجاد. محمدرضا سیمرد، سحر بختیاری، مهسا طاهران. "مروری بر مسابقات کن‌ست ایران"، دوازدهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران، ۱۳۹۱.

[11] Nielsen, J., F. Dalsgaard, J. Abildgaard Larsen, J. D. Grunnet, M. N. Kragelund, A. Michelsen, K. K. Sørensen. "Aausat-Ii, a Danish Student Satellite." *ISAS Nyusu*, 2009.

[12] Wells, J., L. Stras, T. Jeans. "Canada's Smallest Satellite: The Canadian Advanced Nanospace Experiment (Canx-1)." 2002.

[13] Rankin, D., D. Kekez, R.E. Zee, F.M. Pranajaya, D. Foisy, M. Beattie. "The Canx-2 nanosatellite: expanding the science abilities of an anosatellites." *Acta Astronautica*, 2005, pp. 167-174.

[14] Funase, R., E. Takei, Y. Nakamura, M. Nagai, A. Enokuchi, C. Yuliang, K. Nakada, Y. Nojiri, F. Sasaki, T. Funane. "Technology Demonstration on University of Tokyo's Pico-Satellite "Xi-V" and Its Effective Operation Result Using Ground Station Network." *Acta Astronautica*, 2007, pp. 707-711.

[15] Lee, S., A. Hutputanasin, A. Toorian, W. Lan, R. Munakata. "Cubesat Design Specification." *The CubeSat Program*, 2009, pp. 22.

[16] Nason, I., J. Puig-Suari and R. Twiggs. "Development of a Family of Picosatellite Deployers Based on the Cubesat Standard." *In Aerospace Conference Proceedings*, 2002.

[17] Strunce, R., F. Eckert, C. Eddy, "Responsive space's spacecraft design tool (SDT)." In AIAA 4th Responsive Space Conference, 2006.

[18] Aas, C., B. T. Zandbergen, R. J. Hamann, E. K. Gill, "SCALES–A System Level Tool for Conceptual Design of Nano-and Microsatellites." In Proceedings of the 7th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation, 2009.

[19] Kosari, A., V. Bohlouri, M. Fakoor, "Expand of System Design of Cube Satellite with Design Structure Matrix Method." United Nations/United Arab Emirates Symposium on Basic Space Technology, 2013.

پی‌نوشت

۱۵. طراحی اولیه اصطلاحاً مرحله بعد از طراحی مفهومی است. در این مرحله مفاهیم پروژه، مدهای عملیاتی، الزامات زیرسیستم‌ها، بودجه‌بندی‌ها و به‌طور کلی طرح اولیهٔ سیستم ارائه می‌شود.

۱۶. طراحی دقیق اصطلاحاً مرحله‌ای پس از طراحی اولیه است که در آن فریاند طراحی وارد سطح زیرسیستم‌ها و قطعات مربوط به آنها شده و اطلاعات جزء و دقیق قطعات مشخص می‌شود. این مرحله آخرین مرحلهٔ طراحی است و پس از آن پروژه وارد مرحلهٔ ساخت قطعات می‌شود.

۱۷. تجمیع و یکپارچه‌سازی (Integration & Assembly) اصطلاحاً به قراردادن اصولی قطعات، بخش‌ها و زیرسیستم‌های ساخته‌شده در کنار یکدیگر گفته می‌شود؛ به‌نحوی‌که عملکرد هیچ بخشی با مشکل مواجه نشود و سیستم بتواند کارایی مناسب خود را داشته باشد.

18. LM75
19. MPU6050
20. GT720
21. BMP85
22. HIH4000
23. ZigBee
24. ATmega8
25. Low Earth Orbit (LEO)
26. AAU-1
27. Aalborg University, http://www.en.aau.dk (accessed November 02, 2015)
28. AUSat
29. The University of Adelaide, http://www.adelaide.edu.au (accessed November 03, 2015)
30. CanX1
31. CanX2

1. picosatellite
2. CanSat
3. CubeSat
4. Robert Twiggs
5. Stanford University (officially Leland Stanford Junior University), https://www.stanford.edu (accessed November 10, 2015)
6. CAN
7. SAT
8. University of California (UC), http://www.universityofcalifornia.edu (accessed November 01, 2015)

۹. پردازنده‌ای که داخل وسیلهٔ پروازی قرار دارد، اصطلاحاً کامپیوتر روی برد نامیده می‌شود. این وسیله وظیفهٔ مدیریت و پردازش زیرسیستم‌ها و کل ماهواره را مطابق مدهای عملکردی و با اعمال فرمان‌های لازم برعهده دارد.

10. http://www.cansat.eu (accessed November 07, 2015)

۱۱. تخصیص مقادیر جرم، ابعاد، توان، هزینه و جز این‌ها برای کل سیستم و هر زیرسیستم را در مرحلهٔ طراحی بودجه‌بندی می‌نامند. این بودجه‌بندی باید تا انتهای مراحل ساخت با تلرانس مجازی رعایت شود.

۱۲. محموله به بخشی از ماهواره گفته می‌شود که وظیفهٔ انجام مأموریت را برعهده دارد. این قسمت معمولاً شامل دوربین‌های تصویربرداری، ترانسپوندرهای مخابراتی یا حسگرهای سنجش جوی است.

۱۳. باند فرکانسی ویژه‌ای که طبق قوانین و مقررات بین‌المللی برای استفادهٔ عمومی مخابراتی و بی‌سیم آزاد و مجاز است، باند فرکانسی رادیوآماتوری نامیده می‌شود.

۱۴. طراحی مفهومی اصطلاحاً نخستین مرحله از مراحل طراحی سیستمی است. در این مرحله، عمدتاً مفهوم و طرح اولیه از پروژه و الزامات اساسی پی‌ریزی می‌شود.

32. University of Toronto, http://www.utoronto.ca (accessed November 04, 2015)

۳۳. سیماس (CMOS) یا نیم‌رسانای اکسید فلزی مکمل یکی از رده‌های اصلی مدارهای مجتمع است. این حسگر، که در دوربین‌های دیجیتال استفاده می‌شود، در واقع از فناوری نیم‌رساناها استفاده می‌کند. سیماس از سرواژه‌های Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (نیم‌رسانای اکسید فلزی مکمل) گرفته شده است. از ویژگی‌های سیماس مصرف انرژی بسیار کم است [ویراستار].

34. University of Tokyo, http://www.u-tokyo.ac.jp/en (accessed November 05, 2015)

35. QuakeSat

36. CP-3

37. MAST

38. COMPASS-1

39. K-Sat

40. RAX

41. Pico satellite Orbital Deploy (POD)

42. VACCO

43. Clyde Space

44. Pumpkin

45. GOM Space

46. innovative solutions in space

۴۷. اصولاً به محیطی اتاق تمیز (Clean Room) گفته می‌شود که فعالیت‌های تجمیع، یکپارچه‌سازی، تولید یا تحقیقات علمی و صنعتی در آن صورت می‌گیرد. در اتاق تمیز مقدار آلاینده‌های زیست محیطی همچون گردوغبار، رطوبت، ذرات معلق و الکتریسیته ساکن در یک حد استاندارد کنترل می‌شود.

48. ISO8

۴۹. داده‌های غیر از داده‌های محموله داده سلامت خوانده می‌شوند. این داده‌ها عموماً مربوط به پارامترهای حیاتی زیرسیستم‌ها هستند و کارایی و صحت ماهواره را نشان می‌دهند.