
مبانی مصالح هوشمند

در مهندسی عمران و معماری

تألیف و تدوین:

دکتر حمیدرضا وثوقی فر

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

و عضو هیئت آزمایشگاهی پژوهشگاه پاسیفیک دانشگاه برکلی ایالات متحده

مهندس سید کاظم سادات شکوهی

و ثوقی فر، حمیدرضا، ۱۳۵۱-

مبانی مصالح هوشمند در مهندسی عمران و معماری / تألیف و تدوین: حمیدرضا و ثوقی فر،
سید کاظم سادات شکوهی / قم: سماء قلم، ۱۳۹۰.

ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۵۹۶۹-۰۳-۰۰

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا

۳۰۴ص: مصور، جدول، نمودار.

۱. مصالح هوشمند ۲. معرفی و کاربردها ۳. مهندسی عمران و معماری

الف. و ثوقی فر، حمیدرضا ب. سادات شکوهی، سید کاظم: نویسنده همکار ج. عنوان

د. عنوان لاتین Fundamentals of Smart Materials on Civil Engineering and Architecture

۶۲۰/۱۱۲

۸ و ۵ ب / ۴۰

مبانی مصالح هوشمند در مهندسی عمران و معماری

تألیف و تدوین: دکتر حمیدرضا و ثوقی فر؛ مهندس سید کاظم سادات شکوهی /
ناشر: سماء قلم / نوبت چاپ: اول، ۱۳۹۰ / شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه / قیمت: ۵۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۹۶۹-۰۳-۰۰

مراکز پخش:

تهران، خیابان انقلاب، مقابل درب اصلی دانشگاه تهران

فروشگاه انتشارات امیرکبیر تلفن: ۶۶۴۰۲۶۶۴

و

۰۹۱۳۳۵۱۶۸۷۵ ، ۰۹۱۹۶۶۳۷۲۲۳ ، ۶۶۹۰۳۹۸۹

فهرست مطالب

.....	فهرست مطالب	۵
.....	سخن آغازین	۱۱
.....	۱-۱ مقدمه	۱۷
.....	۲-۱ سیستم‌های سنتی طبقه‌بندی مواد	۲۴
.....	۱-۲-۱ دسته‌بندی‌های منطبق بر علم مواد	۲۵
.....	۲-۲-۱ دسته‌بندی‌های مهندسی	۲۶
.....	۳-۲-۱ طبقه‌بندی‌های معماری سنتی	۳۱
.....	۴-۲-۱ سیستم‌های دیگر دسته‌بندی	۳۴
.....	۵-۲-۱ سیستم‌های طبقه‌بندی برای مواد هوشمند و پیشرفته	۳۸
.....	۳-۱ خصوصیات مصالح و مواد	۴۱
.....	۱-۲ مواد هوشمند نوع ۱- تغییر خصوصیت‌دهنده‌ها	۵۳
.....	۱-۱-۲ کرومیک‌ها یا مواد هوشمند تغییر رنگ دهنده	۵۳
.....	۱-۱-۱-۲ خصوصیات اصلی کرومیک‌ها	۵۳
.....	۲-۱-۲ مواد فتوکرومیک	۵۶
.....	۳-۱-۲ مواد ترموکرومیک	۵۸
.....	۴-۱-۲ مواد مکانوکرومیک و کیموکرومیک	۶۱
.....	۵-۱-۲ مواد الکتروکرومیک	۶۱
.....	۶-۱-۲ مواد تغییر حالت‌دهنده	۶۴
.....	۷-۱-۲ پلیمرهای رسانا و دیگر رساناهای هوشمند	۶۷
.....	۸-۱-۲ مواد سیال تغییر خاصیت دهنده	۷۰
.....	۹-۱-۲ فن‌آوری‌های کریستال مایع	۷۱

۷۴	۱۰-۱-۲ نموده‌های ذرات معلق
۷۵	۱۱-۱-۲ مواد دیگر نوع یک
۷۶	۲-۲ مواد هوشمند نوع ۲ - گروهی که در تبادل انرژی فعالند
۷۶	۱-۲-۲ مقدمه
۷۷	۲-۲-۲ مواد نورافشان (نور پراکن)
۸۱	۳-۲-۲ الکترو لومینسانس
۸۴	۴-۲-۲ پدیده‌های اصلی نیمه‌رساناها
۸۷	۵-۲-۲ فتوولتاها، ال ای دی (LED) ها، تراز یستورها، ترموالکتریک‌ها
۹۱	۶-۲-۲ مواد و اثر پیزوالکتریک
۹۹	۱-۳ مقدمه
۱۰۱	۲-۳ آلیاژ نیکل - تیتانیوم (Ni-Ti)
۱۰۷	۳-۳ پلیمرهای حافظه‌دار شکلی
۱۰۸	۴-۳ کاربردهای SMA در کنترل سازه‌های عمرانی
۱۰۸	۱-۴-۳ طبقه بندی کاربردهای SMA در کنترل سازه‌ها
۱۰۹	۱-۴-۳ کاربرد SMA ها در کنترل غیرفعال
۱۰۹	۲-۴-۳ تقسیم بندی کاربرد SMA در کنترل غیرفعال
۱۱۰	۵-۳ ابزارهای جداگر SMA (SMA Isolation Devices)
۱۱۰	۱-۵-۳ جداگرهای لرزه‌ای
۱۱۷	۶-۳ سیستم‌های مهاربندی
۱۲۶	۷-۳ اجزای میرایی SMA برای پل‌ها
۱۳۷	۸-۳ اتصال دهنده‌های SMA
۱۲۸	۹-۳ تقویت سازه جهت بهسازی لرزه‌ای
۱۲۹	۱۰-۳ SMA ها برای کنترل فعال سازه‌ها

۱۳۲.....	۱۱-۳ SMA ها برای کنترل نیمه فعال سازه‌ها.
۱۳۳.....	۱۲-۳ کاربرد SMA ها در بتن.....
۱۳۳.....	۱-۱۲-۳ بازیابی شکل اولیه با استفاده از SMA های سوپر الاستیک.....
۱۳۴.....	۲-۱۲-۳ بتن مسلح هوشمند (IRC).....
۱۳۶.....	۱۳-۳ محدودیت‌های آلیاژهای حافظه‌دار شکلی.....
۱۳۶.....	۱-۱۳-۳ هزینه.....
۱۳۷.....	۲-۱۳-۳ عوامل مؤثر دیگر.....
۱۴۳.....	۱-۴ حسگرها، دیتکتورها، میدل‌ها و راه‌اندازها (فعال کننده‌ها).....
۱۴۳.....	۱-۱-۴ تعاریف و ویژگی‌ها.....
۱۴۶.....	۲-۴ اندازه‌گیری.....
۱۴۷.....	۳-۴ انواع حسگر.....
۱۴۷.....	۱-۳-۴ حسگرهای نوری.....
۱۴۸.....	۲-۳-۴ حسگرهای صوتی.....
۱۴۹.....	۳-۳-۴ حسگرهای حرارتی.....
۱۴۹.....	۴-۳-۴ حسگرهای رطوبتی.....
۱۵۰.....	۵-۳-۴ حسگرهای لمسی.....
۱۵۴.....	۶-۳-۴ حسگرهای موقعیتی.....
۱۵۵.....	۷-۳-۴ حسگرهای مجاورتی (proximity).....
۱۵۸.....	۸-۳-۴ حسگرهای حرکتی.....
۱۶۰.....	۹-۳-۴ حسگرهای شیمیایی، مغناطیسی و دیگر حسگرهای اصلی.....
۱۶۱.....	۱۰-۳-۴ حسگرهای محیطی.....
۱۶۲.....	۱۱-۳-۴ زیست حسگرها.....
۱۶۵.....	۴-۴ غبار هوشمند.....

۱۷۳.....	۱-۵ ویژگی‌های اصلی.....
۱۷۷.....	۱-۱-۵ مدارهای باز و بسته.....
۱۷۹.....	۲-۱-۵ ریز کنترل کننده‌ها (میکرو کنترلرها).....
۱۸۱.....	۲-۵ سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS).....
۱۸۵.....	۳-۵ شبکه‌های حسگر.....
۱۸۸.....	۴-۵ مدل‌های ورودی - خروجی.....
۱۹۱.....	۵-۵ قطعه‌ها، مجموعه‌های مونتاژی و سیستم‌های هوشمند.....
۱۹۷.....	۱-۶ مقدمه.....
۲۰۰.....	۲-۶ پنجره‌ی هوشمند.....
۲۱۱.....	۳-۶ سیستم‌های روشنایی.....
۲۱۳.....	۱-۳-۶ سیستم‌های فیبر نوری.....
۲۱۹.....	۲-۳-۶ حالت یکپارچه.....
۲۳۱.....	۱-۷ مقدمه.....
۲۳۳.....	۲-۷ فتوولتاها.....
۲۳۸.....	۳-۷ سیستم‌های میکرو انرژی و مزو انرژی.....
۲۴۵.....	۱-۸ مقدمه.....
۲۴۹.....	۲-۸ پایش سلامت سازه‌ای.....
۲۵۷.....	۳-۸ کنترل ارتعاشات سازه‌ای.....
۲۶۲.....	۴-۸ پیزوالکتریک‌ها.....
۲۶۴.....	۵-۸ مواد برق سیال (الکترو رولوژیکال) و مغناطیس سیال (مگنتو رولوژیکال).....
۲۶۸.....	۶-۸ مواد دیگر.....
۲۶۹.....	۷-۸ کنترل دیگر پدیده‌های سازه‌ای.....
۲۷۰.....	۸-۸ بررسی مقاوم‌سازی و بهسازی شریان‌های حیاتی با استفاده از مونیتورینگ سلامت سازه.....

۲۷۱.....	۱-۸-۸ مونی‌تورینگ سلامت سازه‌ای در ساختمان‌ها
۲۷۲.....	۲-۸-۸ مونی‌تورینگ شمع‌ها
۲۷۳.....	۳-۸-۸ مونی‌تورینگ فونداسیون گسترده
۲۷۵.....	۴-۸-۸ مونی‌تورینگ سلامت اسکلت ساختمان
۲۷۸.....	۹-۸ مقاوم‌سازی پل Gottalve سوئد با استفاده از مونی‌تورینگ سلامت سازه
۲۷۹.....	۱-۹-۸ توصیف پل و عملیات مقاوم‌سازی (بهسازی)
۲۸۲.....	۱۰-۸ مبانی نظارت دائم بر سلامت سازه توسط حسگرهای ارتعاش توری براگ تار نوری
۲۸۵.....	۱-۱۰-۸ توری براگ تار نوری
۲۹۳.....	فهرست منابع

سخن آغازین

قرن‌های متمادی انسان کاربرد و خواص مصالح استاندارد مانند چوب یا سنگ را پذیرفته بود. طراحی نیز در محدوده‌ی همین مصالح انجام می‌گرفت، ولی در قرن بیستم، توانمندی انتخاب و مهندسی خواص مصالح شکوفا گردید و در کارهای خاص نمود بیشتری یافت.

در سال‌های اخیر با ورود فن‌آوری‌های نوین در عرصه‌ی مصالح ساختمانی، رؤیای معماران و مهندسان سازه در زمینه ارتقای کیفی عملکرد ساختمان‌ها تحقق یافت. پیشرفت مصالح نوین در مهندسی عمران، باعث اصلاح زیربنایی طراحی و ساخت و ساز گردید. در این میان مصالح هوشمند توجه محققان را به سوی خود جلب کرد؛ چرا که این مصالح روند بازدهی منطقی و برنامه‌ریزی شده را تسهیل نموده و از خصوصیات قابل تغییر در برابر نیازهای مختلف برخوردارند؛ از این رو می‌توان مصالح هوشمند را در ابزار کار طراحی ساختمان‌هایی که در معرض تغییر متناوب شرایط هستند، قرار داد.

شگفت نیست اگر اکنون طراحان ساختمان در پی ایجاد سطوح ساختمان، دیوارها و نماها بوسیله‌ی مصالح هوشمند هستند تا بتوانند بطور اتوماتیک طراحی خود را بهینه‌سازی کرده و از یک جعبه بی روح، موجودی متعامل با محیط خود بیافرینند؛ چرا که این امر در عملکرد ساختمان و نیاز رو به افزایش و گردش سالیق مشتریان نقشی تعیین‌کننده را دارد. معماران می‌کوشند تا مصالح هوشمند را در کنار مصالح ساختمانی سنتی قرار دهند؛ زیرا مصالح هوشمند، اختلاف زیادی با مصالح عادی ساختمانی دارد. مصالح ساختمانی استاندارد، ایستا هستند و باید در برابر نیروهای سازه‌ای مقاومت کنند، ولی مصالح هوشمند پویا بوده و در راستای پاسخ به جریان‌ات انرژی عمل می‌کنند که این نکته بسیار مهم و قابل توجه است، چون نمایش عادی از معماری توسط مصالح ایستا انجام می‌گیرد. پلان، برش و نما در محل خود ثابت می‌شود و اجزای فیزیکی ساختمان را نشان می‌دهد. با دخالت مصالح هوشمند، این تصاویر تبدیل به سری‌های ترتیبی می‌گردد. درک مصالح هوشمند باید فراتر از درک ساده خصوصیات مصالح باشد و هنگام استفاده، انتظارات کاربردی از شکل و ظاهر مصالح با اهمیت‌تر است. اگرچه میزان هزینه و قابلیت دسترسی به مصالح هوشمند جایگزینی کامل آن‌ها را نسبت به مصالح سنتی محدود کرده است، اما با بکارگیری فن‌آوری‌های نوین در بخش معماری ساختمان می‌توان مدل‌های اقتصادی قابل اجرا از مصالح جدید به جای مصالح سنتی را عملی نمود.

شکر و سپاس بی دریغ خود را نثار درگاه احدیت نموده که به ما توفیق داد تا کتاب حاضر را در جهت بسط و توسعه سازمان یافته صنعت مصالح هوشمند، تألیف و تدوین نماییم. با توجه به نیاز به مسکن و ساخت و ساز وسیع در کشور، بسط و گسترش مصالح هوشمند می تواند پاسخ گوی مناسبی به سلايق مختلف و گامی مؤثر در زمینه ی بهینه سازی اقتصاد کشور باشد. از این رو برای بهره برداری هر چه بهتر و بیشتر از مطالب این اثر، دعوت صمیمانه خود را از جامعه ی اندیشمندان و محققان این بخش غنیمت شمرده و امیدواریم رهنمودها و راهکارهای اجرایی دوستان، پشتوانه علمی محکمی برای مؤلفین این کتاب باشد.

دکتر حمیدرضا وثوقی فر
مهندس سید کاظم سادات شکوهی
زمستان ۱۳۸۹

smartbook2011@gmail.com