

## مهندسی پزشکی در فضا؛ حسگرهای پوشیدنی، پایش علائم حیاتی فضانوردان



شکل (۱) دستگاه (LTM)

می دهد که اطلاعات مشاهده شده به سابقه بیمار اضافه شود. نرم افزار می تواند بر روی سیستم عامل های مختلف اجرا شود و اطلاعات ثبت شده سرپرستان را راهنمایی کند.

سیستم iRevive/LTM اجازه ی مراقبت از بیمار را در هر دو شرایط کوتاه مدت و بلند مدت می دهد. این سیستم که به طور خودکار داده ها را ثبت می کند، خطا ها و زمان مورد نیاز برای مراجعه کردن به اطلاعات را کاهش می دهد و هم چنین اجازه می دهد که تمرکز بیشتری برای مراقبت از بیمار وجود داشته باشد. درست است که این سیستم برای استفاده در فضا طراحی شده است ولی برای مکان های دیگری از جمله بخش اورژانس، میدان جنگ و صحنه ی تصادف مناسب است. از جمله مزایای دیگر دستگاه این است که در مکان هایی مانند فضا یا مکان های دیگر که منابع محدود است مقدار مصرف را مدیریت می کند مثلاً مشخص می کند که برای یک بیمار که در منطقه ی جنگی دچار جراحت شده و باید به بیمارستانی که هزاران کیلومتر فاصله دارد منتقل شود چقدر اکسیژن لازم است. LTM در مراقبت های اولیه اورژانسی که پزشک در دسترس

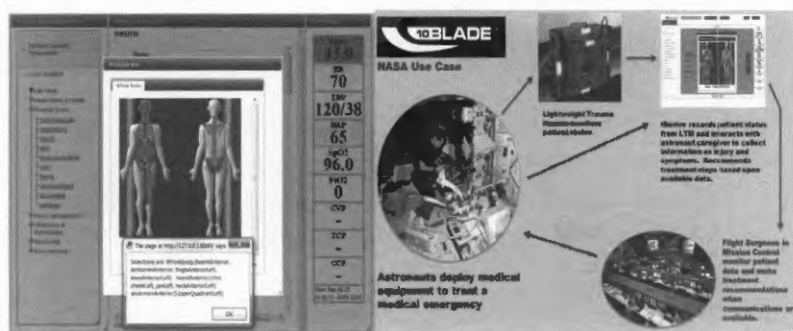
در شماره های پیشین ماهنامه، از سامانه های ثبت علائم حیاتی فضانوردان صحبت به میان آمد. در این شماره چند نمونه دستگاه دیگر را معرفی می کنیم.

### دستگاه Lightweight Trauma Module (LTM)

دستگاه دیگری که علائم حیاتی فضانوردان را پایش می کند دستگاه (LTM) است. این دستگاه مجموعه ای است از حسگر های بیولوژیک که اطلاعات سلامتی و بیولوژیک فرد را به یک دستگاه بی سیم مخابره می کند؛ این دستگاه به گونه ای طراحی شده که مانند جعبه ی سیاه هواپیما قادر است علائم حیاتی از قبیل: درجه ی حرارت پوست، ضربان قلب، تنفس و فشار خون و کلیه تغییرات آن را به دستگاه بررسی مرکزی مخابره کند.

در یک اکتشاف فضایی یکی از فضانوردان دچار آسیب ناشی از یک تصادف فضایی شد و همین امر باعث شد که مهندسان به پستوانه موسسه تحقیقاتی بیومدیکال فضایی بین المللی (NSBRI) سیستمی را ایجاد کنند که می تواند به سرعت تاریخچه سلامتی مربوط به بیمار را در اختیار پزشک قرار دهد و به ارائه مراقبت های پزشکی بهتر فضانوردان کمک کند. این سیستم با نرم افزار ثبت پزشکی الکترونیکی iRevive ترکیب شده است.

دستگاه (LTM) به اندازه ی یک کیف است و علائم حیاتی مانند نبض، اکسیژن خون را اندازه گیری می کند. نرم افزار iRevive به طور خودکار اطلاعات حیاتی از دستگاه (LTM) را ثبت می کند و اجازه



شکل (۲)

نیست مانند بیماران تصادفی مناسب است و برای استفاده به آموزش پزشکی کمی نیاز دارد.

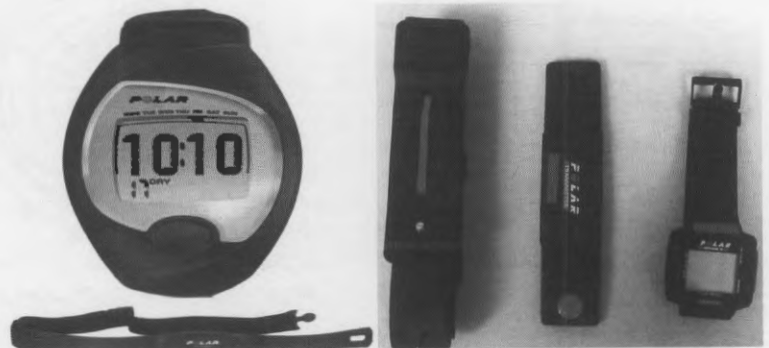
#### دستگاه تمپوس آی سی (Tempus IC)

از دیگر نمونه های این سیستم ها می توان به دستگاه تمپوس آی سی اشاره کرد. سیستم پزشکی از راه دور آژانس فضایی اروپا تمپوس آی سی که با همکاری شرکت انگلیسی «فناوری های تشخیص از راه دور» (RTD) توسعه یافته است، دستگاهی با ابعاد یک کیف دستی کوچک است که در طول پرواز تماس آن با پزشک متخصص مستقر در زمین برقرار است. محققان آژانس فضایی اروپا پیش از سه سال در راه توسعه و آزمایش سیستم تمپوس آی سی تلاش کرده اند. از آن جا که همیشه احتمال رخداد یک وضعیت اورژانسی در طول پرواز وجود دارد. این سیستم ها می توانند در اورژانس های پزشکی فضایی برای فضانوردان در مأموریت های بلند مدت بسیار کاربرد داشته باشند.



شکل ۳) تصویری از دستگاه تمپوس آی سی

این وسیله به همراه پزشکی از راه دور، اطلاعات بیمار توسط سیستمی صوتی تصویری را برای مشاوره توسط ماهواره به یک مرکز پاسخگو در زمین مخابره می کند. اطلاعات حیاتی سلامت قابل اندازه گیری توسط این وسیله مانند: فشار خون، میزان قند خون، درجه حرارت بدن و ضربان قلب است. در واقع تمپوس آی سی با ارسال اطلاعات الکتروکاردیوگرافی بیمار برای تیم پزشکی مستقر در زمین، امکان پیشگیری از حملات قلبی و به دنبال آن پیشگیری از آن را فراهم می کند.



شکل ۴) تصویر سمت راست ابزار کنترل ضربان قلب را نشان می دهد. و تصویر سمت چپ مانیتور ضربان قلب قطبی (Polar Heart Rate Monitor) (مانیتور ساعتی و باند قفسه سینه) را نشان می دهد.

#### ابزار کنترل ضربان قلب

##### (Polar Heart Rate Monitor)

این وسیله اطلاعات ضربان قلب را در طی ورزش های پروازی که برای فضانوردان توسط متخصصان در نظر گرفته می شد جمع آوری نموده، ذخیره می کند و در عین حال این داده ها را نمایش می دهد. این ابزار از سه بخش ساخته شده است:

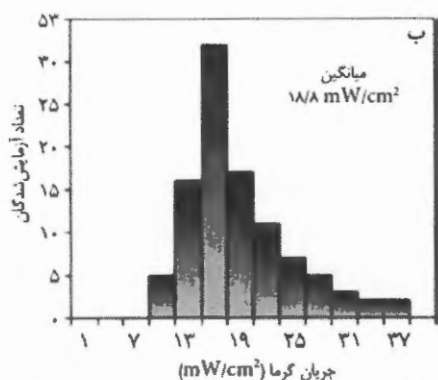
- ✓ مانیتور میج دست باطری دار
- ✓ سنسور / فرستنده باطری دار
- ✓ باند قفسه سینه

باند قفسه سینه ضربان قلب را در طی ورزش ثبت می کند و مانیتور که یک ساعت مچی است آن را نمایش می دهد.

یکی از مهم ترین ویژگی هایی که باید در طراحی این نوع سامانه ها در نظر گرفته شود، سبکی، کوچکی و قابل حمل بودن آن ها است تا کمترین تداخل را با بدن و لباس فضانوردان داشته باشد و در عین حال، آزادی حرکت آن ها را محدود نکند. یکی از ایده های مطرح شده در سال های اخیر، تعبیه حسگرهای ثبت پارامترهای فیزیولوژیکی در لباس است.

تمامی جانداران خون گرم از جمله انسان، در کنار سوخت و ساز و فعالیت های متابولیکی، مقداری گرما تولید می کنند. بخش زیادی از این گرمای تولید شده، صرف تبخیر مایعات سطح بدن می شود و فقط اندکی از آن به صورت تشعشع مادون قرمز از سطح پوست به محیط وارد می شود. از گرمای انتشار یافته به محیط می توان به عنوان منبعی برای تولید الکتریسته استفاده کرد.

به طور معمول، برای تبدیل جریان گرمایی یا هدایت گرمایی بدن به الکتریسته، از یک مبدل ترموالکتریک استفاده می شود. بهترین روش برای افزایش کارایی و بازده چنین مبدل هایی، تعبیه ی آن ها در داخل لباس و در مجاورت با سطح پوست است. لباس در انجام مطالعات گرمایی در سطح پوست بدن انسان، پارامتر بسیار مهمی است زیرا الگوی جریان گرمایی بدن انسان به محیط را تغییر می دهد و اثرات بسیار زیادی بر انتقال گرما



ب) اندازه گیری میانگین جریان گرما توسط مولد ترموالکتریک برای ۱۰۰ نفر، دمای میانگین ۲۲/۳ درجه سانتی گراد در واحد مساحتی متر مربع پوست، در محیط بسته

شکل ۶: اندازه گیری میانگین جریان گرما توسط مولد ترموالکتریک

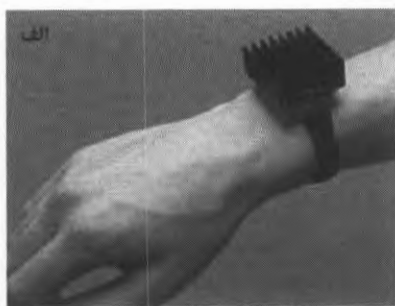
یافته از درون بدن به سطح پوست، با عبور از این مقاومت، جریان گرمایی تولید می کند. برای مثال، در یک آزمایش، دمای پوست وسط پیشانی پیش از اتصال مولد حرارتی الکتریکی اندازه گیری شد. هنگامی که دمای محیط ۲۱ درجه ی سانتی گراد بود، یک مقاومت حرارتی با ظرفیت  $50 \text{ cm}^2\text{K/W}$  به پیشانی متصل شد. جریان گرمایی  $9/5 \text{ mW/cm}^2$  و مقاومت حرارتی  $380 \text{ cm}^2\text{K/W}$  در این ناحیه از پیشانی به دست آمد. برای محاسبه ی مقاومت حرارتی، دمای درونی بدن  $37/5$  درجه ی سانتی گراد فرض شد، در حالی که دمای واقعی به دست آمده توسط دما سنج  $34/7$  بوده است. سپس یک مولد حرارتی - الکتریکی به همراه یک رادیاتور به ابعاد  $1/6 \times 1/6 \times 3/8$  سانتی متر روی پوست نصب شد که  $4$  سانتی متر مربع از سطح پوست را می پوشاند. جریان گرمایی به دست آمده در این آزمایش تا  $22/5 \text{ mW/cm}^2$  افزایش پیدا کرد، مقاومت حرارتی پیشانی تا  $277 \text{ cm}^2\text{K/W}$  کاهش یافت و دمای پوست زیر مولد حرارتی - الکتریکی به  $30/9$  درجه ی سانتی گراد تقلیل یافت.

به دلیل وجود یک عامل خنک کننده، افزایش جریان گرما باعث کاهش مقاومت حرارتی پیشانی با شیب  $1/7$  می شود.

مقاومت حرارتی مچ دست زیر مولد حرارتی - الکتریکی بزرگ قرار گرفته و صفحه ی خنک کننده با ابعاد  $1/6 \times 1/6 \times 3/8$  سانتی متر روی ساعد جانبایی شده است. (در دمای  $22/7$  درجه ی سانتی گراد) که در شکل ۶-الف مشاهده می شود. در یک مکان عمومی، میانگین

مقاومت حرارتی برای  $77$  داوطلب در چند ده دقیقه  $440 \text{ cm}^2\text{K/W}$  به دست آمده است. از داوطلبان خواسته شد که مولد ها را محکم به مچ دست خود ببندند. به این ترتیب، محل اتصال صفحه داغ شده ی مولد حرارتی - الکتریکی با پوست مقدار بسیار کمی تغییر خواهد کرد. داده های آماری ارائه شده در شکل ۶-ب با احتساب نحوه ی بستن مولد توسط داوطلبان است.

میانگین مقدار جریان گرمایی به دست آمده از طریق مولد حرارتی - الکتریکی،  $200 \text{ mW/cm}^2$  بود که به دمای بدن وابسته



الف) قرارگیری مولد ترموالکتریک روی مچ دست

از بدن به محیط در دمای کمتر از  $28$  درجه ی سانتی گراد دارد. هرچه اندام کوچک تر باشد، سرعت کم شدن دما در آن بیشتر خواهد بود. مثلاً، صورت در مقایسه با قفسه سینه سریع تر گرمای خود را از دست می دهد. بخش تنه ی انسان از نظر دمایی پایدارترین قسمت در شرایط مختلف آب و هوایی (آفتابی، بادی و ابری) نسبت به باقی بخش های بدن است و دلیل آن پوشش مناسب

فرد با توجه به آب و هواست. حتی درون ساختمان و محیط های بسته که دما  $20$  تا  $25$  درجه ی سانتی گراد است، دمای پوست در این ناحیه از بدن به میزان بسیار کمی نوسان دارد. در تحقیقاتی که در سال  $2008$  در دانشگاه بوستون انجام گرفته است، نداشت حرارتی مچ و کف دست رسم شده است (شکل ۵).

همان طور که مشاهده می شود، درجه حرارت نقاط مختلف در کف دست، متفاوت است. اگر یک مولد حرارتی - الکتریکی (Thermo-Electric Generator: TEG) به بدن متصل شود، می توان با استفاده از جریان گرمایی حاصل از انتقال گرما، جریان الکتریکی تولید کرد. از آن جا که بین سطح پوست و درون بدن اختلاف دما وجود دارد، برای مدل کردن این اختلاف از اصطلاحی به نام مقاومت حرارتی در هر ناحیه از بدن استفاده می شود. گرمای انتقال



ب) مشخصات حرارتی اطراف مچ دست با قطر  $17$  سانتی متر در دو دمای محیطی  $27$  و  $22/3$  درجه ی سانتی گراد درون اتاق

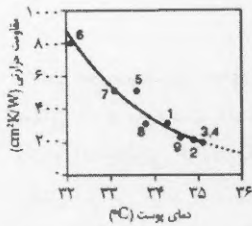


دما (°C)

۲۵/۲۲-۲۶/۰۰
۲۴/۸۸-۲۵/۴۲
۲۴/۳۱-۲۴/۸۸
۲۴/۷۵-۲۴/۳۱
۲۴/۱۹-۲۴/۷۵
۲۴/۶۲-۲۴/۱۹
۲۴/۵۰-۲۴/۶۲
<۲۴/۵۰

الف) تصویر مادون قرمز از نداشت حرارتی کف دست با استفاده از دوربین رادیومتری در محدوده طیفی  $8$  تا  $12$  میکرومتر

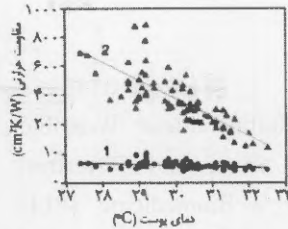
شکل ۵) نداشت حرارتی کف دست و مچ



ج) مقاومت حرارتی بدن انسان در دمای ۳۳ درجه سانتی گراد که به محل نبیضه بالای اسنان بسیار وابسته است.



ب) محل که در آن مقاومت حرارتی بدن انسان اندازه‌گیری می‌شود



الف) تخمین مقاومت حرارتی ۷۷ نفر با نصب مولد حرارتی - الکتریکی روی مچ (در واحد سانتی متر مربع پوست در دمای  $32.7 \pm 0.5$  درجه سانتی گراد) (۱) مقاومت حرارتی بین درون بدن و خون شریانی مچ (۲) مقاومت حرارتی بین خون شریانی و مولد حرارتی - الکتریکی

### شکل ۷ اندازه گیری مقاومت حرارتی بدن داوطلبان

دست متصل گردید (شریان رادیال و روی مچ یا همان محل معمول ساعت مچی). برای خنک کردن پیل گرما سنج (حسگر تبدیل انرژی حرارتی به الکتریکی) تعبیه شده در مولد حرارتی - الکتریکی، از یک قطعه آلومینیم استفاده شد.

آزمایش نشان داد که در شریان رادیال مچ دست، جریان  $90 \text{ mW/cm}^2$  می‌رسد. در هر صورت، در محل های بسته، جریان گرمایی از  $15 \text{ mW/cm}^2$  به  $30 \text{ mW/cm}^2$  افزایش می‌یابد که البته این تغییرات وابسته به محل قرارگیری مولد حرارتی - الکتریکی و مقدار هوای سرد تشخیص داده شده توسط حسگر جریان گرمایی است. بنابراین، جریان گرمایی قابل قبول  $10-20 \text{ mW/cm}^2$  است که از طریق یک مولد حرارتی - الکتریکی پوشیدنی به همراه یک خنک کننده در محیط بسته تأمین می‌شود. در محیط سرد، نواحی مشخصی از بدن انسان جریان گرمایی زیادی تولید می‌کنند که برای اختلاف دمای بیشتر بین جریان گرمایی بدن و محیط و به دنبال آن تولید انرژی الکتریکی، باید هوای سرد توسط حسگر مولد حرارتی الکتریکی تشخیص داده شود. در محیط باز، مولد حرارتی الکتریکی روی گردن (نزدیک شریان) گذاشته شد و حداکثر جریان گرمایی  $60 \text{ mW/cm}^2$  به دست آمد که در دمای صفر درجه سانتی گراد مقدار قابل قبولی است. در دمای ۴ درجه سانتی گراد جریان گرمایی  $70 \text{ mW/cm}^2$  برای قسمت جلویی پا (ران) اندازه گیری شد که مقدار مناسبی است. بنابراین، حداکثر جریان گرمایی مناسب از نظر احساس راحتی،  $100-130 \text{ mW/cm}^2$  در شریان

است. در اندازه گیری دیگری که روی ۷۷ داوطلب انجام شد، دمای بدن بین ۲۷/۵ تا ۳۲/۵ با میانگین ۳۰ درجه سانتی گراد متغیر بود. میانگین جریان گرما با دمای پوست بین  $15-24 \text{ mW/cm}^2$  تغییر می‌کند. میانگین انحراف از معیار به دلیل تفاوت دمای بدن افراد با یکدیگر، ۱۷ درصد به دست آمد؛ بنابراین، مقاومت

حرارتی معادل به میزان زیادی تغییر خواهد کرد. در ۹۰ درصد داوطلبان، مقاومت حرارتی بدن با مقاومت

متقابل اتصال پوست - مولد ترکیب شده و در محدوده  $200-650 \text{ cm}^2\text{K/W}$  به دست آمده است. برای درک اهمیت مقاومت حرارتی بدن در طراحی یک مولد حرارتی - الکتریکی، مقاومت حرارتی به دو المان اصلی زیر تقسیم می‌شود:

● المان اول  $R_c-r$  است. که نمایش دهنده ی مقاومت حرارتی بین دمای هسته ی بدن (درونی) و دمای خون شریانی در مچ دست است.

● المان دوم  $R_r\text{-TEG}$  است که نمایش دهنده ی مقاومت حرارتی بین خون شریانی و صفحه ی گرم شده ی مولد حرارتی - الکتریکی است.

این دو پارامتر با فرض دمای خون  $35/8$  درجه ی سانتی گراد قابل محاسبه است. در شکل ۷، تخمین مقاومت حرارتی داوطلبان با نصب مولد حرارتی - الکتریکی روی مچ نشان داده شده است. در شکل ۷-الف واضح است که تنها پارامتر  $R_r\text{-TEG}$  به دمای پوست شدیداً وابسته است. بنابراین، مقاومت حرارتی دمای پوست در محدوده ی اندازه گیری شده، پاسخ رگ های کنترل کننده ی مچ دست به تبادل گرما بین رگ های شریانی و پوست است. پاسخ به دست آمده حاصل از مقاومت حرارتی سیستم قلبی فرد و مقاومت بین پوست و مولد حرارتی - الکتریکی است.

برای بررسی پایداری حرارت تولیدشده، مقدار گرمای تولیدی در نقاط مختلف بدن و هم چنین توان تولیدی توسط گرمای به دست آمده، دو آزمایش طراحی و انجام شد. در این آزمایش، که رفتار تغییرات گرما و تولید انرژی را در نقاط مختلف گزارش می‌کند، اهمیت توجه به مقاومت حرارتی بدن کاملاً نمایان می‌شود.

در آزمایش اول، اندازه گیری های مقایسه در سه نقطه ی پیشانی، مچ دست (شریان رادیال) و سمت چپ دنده های پایینی قفسه ی سینه انجام شد. یک مولد حرارتی - الکتریکی با ابعاد  $4 \times 3 \times 0.75$  سانتی متر و مقاومت حرارتی  $580 \text{ cm}^2\text{K/W}$  در این آزمایش به کار گرفته شد. جریان گرمایی همانند دمای  $22/8$  درجه ی سانتی گراد بود و تغییرات حرارتی پوست افراد در محل پیشانی از  $33/8$  تا  $35/8$  درجه ی سانتی گراد مشخص شد. مقاومت حرارتی متناظر بدن با توجه به نقطه ی اندازه گیری تغییر می‌کند. یک مولد حرارتی - الکتریکی به صورت متوالی در ۹ نقطه از لباس داوطلبان (شکل ۷-ب) جاسازی شد.

شکل ۷-ج تغییرات مقاومت حرارتی این نقاط را نسبت به گرمای پوست نمایش می‌دهد. بنابراین، مولد در نقاط اندازه گیری، توان های متفاوتی را تولید خواهد کرد.

در آزمایش دوم، توانایی انسان در تولید جریان گرمایی بررسی شد. یک پیل حرارت سنج توسط یک مقاومت حرارتی  $50 \text{ cm}^2\text{K/W}$  در دو نقطه به مچ

سال ۱۳۹۳، ص: ۲۲-۲۳.

3. Mundt, C.W., et al. "A Multiparameter Wearable Physiologic Monitoring System for Space and Terrestrial Applications," Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions, Vol. 9, No. 3, pp. 382-391, 2005.

4. www.nasa.gov/centers/ames/research/technology-onepagelife-guard.html

5. Homick JL, Delaney P, Rodda K. Overview of the Neurolab Spacelab mission. Acta Astronaut. 1998 Jan-Apr; 42(1-4): 79-87. (PubMed PMID: 11541633).

6. Fuller, C.A., Murakami D, Robinson E, Hoban-Higgins TM, Tang I. The Effects of Spaceflight on the Rat Circadian Timing System. In: The Neurolab Spacelab Mission: Neuroscience Research in Space, ed. J.C. Buckey and J.L. Homick, NASA SP-2003-535, 2003. p. 233-41.

7. Scott RE. e-Records in health - preserving our future. Int J Med Inform. 2007; 76: 427-431.

8. Garshnek V, Burkle FM. Applications of Telemedicine and Telecommunications to Disaster Medicine: Historical and Future Perspectives. J Am Med Inform Assoc. 1999 Jan-

رادپال میج دست در دمای ۴ تا ۲/۳ درجه سانتی گراد به دست آمده است. بنابراین یک مولد حرارتی - الکتریکی با ضخامت ۳ سانتی متر می تواند توان  $1-1/4 \text{ mW/cm}^2$  را در حالت قدم زدن تولید کند که توان مناسبی برای حسگرهای پوشیدنی و ثبت و نمایش علائم فیزیولوژیکی است. در شمار ه های آتی، در خصوص استفاده از مولد های حرارتی الکتریکی در برخی دستگاه های پزشکی صحبت خواهد شد.

#### منابع:

1. Scilingo E.P., A. Lanata, and A. Tognetti, Wearable Monitoring Systems, Springer, 2011, pp. 3-25.

۲. ترجمه ی گروه مهندسی پزشکی. بخش نخست حسگرهای پوشیدنی پایش علائم حیاتی. ماهنامه ی فضا نورد، سال پانزدهم، شماره ی ۱۶۴، مرداد و شهریور ماه

## شرکت مهندسی فرادید آزما آرمان



دوره آموزشی "کنترل کیفی، کالیبراسیون و نگهداشت تجهیزات پزشکی، بیمارستانی و آزمایشگاهی"

در سال جدید با ما تجربه کنید:

✓ دریافت خدمات کنترل کیفی تجهیزات تصویربرداری با تسهیلات و تخفیفات ویژه

✓ دریافت پکیج های آموزشی نگهداشت پیشگیرانه تجهیزات پزشکی

✓ دریافت دوره های آموزشی کنترل کیفی تجهیزات پزشکی

...

جهت اطلاع از تسهیلات ویژه با کارشناسان فروش تماس حاصل نمایید.

آدرس: تهران، بزرگراه رسالت، ابتدای خیابان کرمان جنوبی، نبش کوچه عقیقی، پلاک ۶۱، ساختمان ابن سینا، طبقه ۲، واحد ۳

Faradidazma@gmail.com

تلفن: ۲۲۳۰۲۵۴۳ و ۲۲۳۰۲۵۹۴، ۲۶۳۲۱۶۹۸