

## آشنایی آسان با اکسیژن و امکانات تولید آن در هوا و دریا نوردی نظامی

\* حمزه شاه علی<sup>۱</sup>، آزاده امیرآبادی فراهانی<sup>۲</sup>

تاریخ اعلام قبولی مقاله: ۱۳۹۰/۶/۱۳

تاریخ اعلام وصول: ۱۳۹۰/۳/۱۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** یکی از مهم‌ترین ملزومات هوانوردی در ارتفاع پروازی بیش از ده هزار پا و دریانوردی زیرسطحی در هر عمقی امکانات تولید موثر اکسیژن (به‌خصوص در حیطه نظامی) است که نقش مهم و ارزنده‌ای در پیشگیری از هیپرونتیلیاسیون ایفا می‌کند. هدف از ارائه مطالعه مذکور آشنایی پزشکان، پرستاران، امدادگران و غیره با سازوکار تولید و ذخیره اکسیژن و چگونگی برخورد با هیپوکسی در هوا و دریاست.

**مواد و روش‌ها:** مطالعه مشتمل بر اطلاعات جمع‌آوری شده از مجموعه کتب و مقالات معتبر موجود در زمینه امکانات تولید اکسیژن در هوانوردی نظامی است. بدین منظور ضمن با استفاده از منابع پزشکی و هوانوردی معتبر موجود در این زمینه اهم مطالب با بیانی آسانتر جهت استفاده علاقه‌مندان ارائه گردیده است.

**یافته‌ها:** منابع تولید اکسیژن این گاز را در سه حالت گاز، مایع و ترکیب شیمیایی (مولد اکسیژن) ذخیره می‌کنند و به‌صورت گاز اکسیژن با فشارهای مختلف (مرتبط با نیاز) و دمای مطبوع ارائه می‌کنند. کلیه منابع تامین اکسیژن واجد دو جزء منبع اصلی (Main Source) و ذخیره پشتیبان (Back Up/ Emergency) می‌باشند تا در شرایط اضطراری امکان استفاده از اکسیژن کافی مقدور باشد. متعلقات مرتبط مانند لوله‌های ارتباطی، رگولاتورها، رقیق‌کننده‌ها و ماسک‌ها دارای مقدرات و مشخصات منطبق با نیاز می‌باشند. نحوه کارکرد امکانات مذکور می‌تواند بر حسب نیاز به صورت دستی و اتوماتیک باشد. مهم‌ترین ویژگی دستگاه‌های مورد بحث، شامل: امکان رقیق کردن اکسیژن، تولید اکسیژن ۱۰۰٪، افزایش فشار پایه ارایه اکسیژن، دمای مطلوب آن و انطباق با نیازهای فیزیولوژیکی کاربر می‌باشد. دستیابی به اطلاعات مبسوط از طریق مطالعه مذکور مقدور می‌باشد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** پیشرفت روزافزون فن‌آوری هوانوردی و دریانوردی و ابداع امکانات پیچیده و روزآمد مستلزم آگاهی مناسب گروه‌های هوایی و دریایی مرتبط (به‌خصوص مهندسين و پزشکان هوا فضا و زیرسطحی) جهت پیشگیری از هیپوکسی و عوارض حاصل می‌باشد. به‌خصوص آگاهی پزشکان هوا فضا و زیرسطحی به‌دلیل عدم سابقه احتمالی آشنایی با علوم فنی و مهندسی از اهمیت بالایی برخوردار است. این مقاله در همایش طب پیشگیری و بهداشت شناورهای سطحی و زیر سطحی بندر عباس در سال ۱۳۸۹ ارائه گردیده است.

**کلمات کلیدی:** امکانات تولید اکسیژن، هوانوردی، دریانوردی، هیپوکسی

### مقدمه

(به‌خصوص در حیطه نظامی) است که نقش مهم و ارزنده‌ای در

پیشگیری از هیپوکسی (Hypoxia) و هیپرونتیلیاسیون (Hyperventilation)

ایفا می‌کند. اولین سیستم‌های تولید اکسیژن از ابتدای جنگ جهانی

یکی از مهم‌ترین ملزومات هوانوردی در ارتفاع پروازی بیش از

ده هزار پا و غواصی در هر عمقی امکانات تولید موثر اکسیژن

۱- پژوهشگر، ایران، تهران، دانشگاه علوم پزشکی آجا، دانشکده طب هوا فضا و زیرسطحی (\*نویسنده مسؤول)

تلفن: ۸۸۳۳۵۷۶۹ dr\_shahali@armyums.ac.ir

۲- دستیار، ایران، تهران، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده پزشکی، گروه آسیب شناسی پزشکی، بیمارستان امام خمینی (ره)

اصلی (Main Source) و ذخیره پشتیبان (Back Up/Emergency) هستند که در شرایط اضطراری امکان استفاده از اکسیژن کافی مقدور باشد. متعلقات مرتبط مانند لوله‌های ارتباطی، رگولاتورها، رقیق کننده‌ها و ماسک‌ها دارای مقدورات و مشخصات منطبق با نیاز می‌باشند. نحوه کارکرد امکانات مذکور می‌تواند بر حسب نیاز به صورت دستی ۳ و اتوماتیک باشد.

مهم‌ترین ویژگی دستگاه‌های مورد بحث، شامل: امکان رقیق کردن اکسیژن، تولید اکسیژن ۱۰۰٪، افزایش فشار پایه ارائه اکسیژن، دمای مطلوب آن و انطباق با نیازهای فیزیولوژیکی کاربر می‌باشد (۱).

سیستم‌های تولید اکسیژن در دو گروه عمده تقسیم می‌گردند: Open – Circuit Systems و Closed – Circuit Systems

**Closed – Circuit Systems:** هوای استفاده شده دوباره استنشاق می‌گردد

مزایا: کاهش مصرف اکسیژن

معایب: کنترل میزان اکسیژن وارد شده در سیستم مشکل و پیچیده است. افزایش بخار آب باعث بالا رفتن احتمال یخ زدگی در دمای پایین خواهد شد. مشکل آخر تجمع گاز نیتروژن در هوای تنفسی است. کاربرد: دستگاه‌های تولید اکسیژن در بیهوشی، غواصی، راه پیمایی فضایی و آتش نشان‌ها

**Open – Circuit Systems:** هوای تنفس شده به محیط دفع می‌شود.

انواع: Continuous Flow System و Demand Flow System

مزایا: ساده و ارزان است.

معایب: در سیستم جریان مداوم میزان اکسیژن مورد استفاده بر حسب نیاز قابل تنظیم نمی‌باشد.

کاربرد: به‌طور بسیار گسترده در هوانوردی و غواصی نظامی و غیر نظامی به کار می‌رود (۲).

**ملزومات فیزیولوژیکی در دستگاه‌های مولد اکسیژن**

۱- غلظت مناسب گازهای اکسیژن و نیتروژن

۲- فشار کافی و مقاومت اندک برای ورود هوای استنشاقی و

خروج آسان هوای تنفسی (۳).

**ملزومات عمومی (فنی) دستگاه‌های مولد اکسیژن**

۱- **Safety Pressure:** فشار اکسیژن لازم جهت ایجاد فشار آلوئولار

(Decompression sickness) معادل حداقل ۶۰ mmHg

اول ابداع و استفاده شد که با پیشرفت علوم هوانوردی (افزایش ارتفاع پروازی) و دریانوردی و تغییرات قابل ملاحظه‌ای در کیفیت و کمیت امکانات مذکور حاصل شد.

اولین سیستم‌های تولید اکسیژن از ابتدای جنگ جهانی اول ابداع و استفاده شد که با پیشرفت علوم هوانوردی (افزایش ارتفاع پروازی) و دریانوردی و تغییرات قابل ملاحظه‌ای در کیفیت و کمیت امکانات مذکور حاصل شد. با افزایش ارتفاع پروازی و سائل پرنده به ارتفاعات بالای ده هزار پا و نیاز مبرم به استنشاق گاز اکسیژن احتمال وقوع مخاطرات مرتبط من جمله هیپوکسی و هیپرونتیلیسیون افزایش یافت (به‌خصوص در شرایط بحرانی و افزایش فعالیت فیزیکی پرسنل پروازی).

به دنبال پیشرفت‌های شگرفت ایجاد شده در دریانوردی سطحی و زیر سطحی و به‌کارگیری زیر دریایی‌های بزرگتر با مدت زمان غوص بیشتر و غوص غواصان در اعماق بالای ۳۰ متر دریاهای آزاد احتمال وقوع پیشامدهای مخاطره آمیز مرتبط با تولید و مصرف اکسیژن به شدت افزایش یافت و خود را به‌صورت یک عامل نگران کننده در عملیات‌های هوایی و دریایی نشان داد.

همچنین اطلاع از ساز و کار، عملکرد و نقایص احتمالی امکانات مذکور نقش مهمی در شناخت علل هیپوکسی و پیشگیری از آن خواهد داشت.

فعالیت همزمان و هماهنگ نیروی هوایی و بخش هوایی نیروی دریایی در کنار نیروهای سطحی و زیر سطحی جهت انجام موفق کلیه عملیات‌های محوله نیروی دریایی ضروری است. لذا اطلاع از ساز و کار، عملکرد و نقایص احتمالی امکانات تولید، ذخیره سازی و استفاده موثر گاز اکسیژن در هوانوردی و دریانوردی بسیار مهم بوده و نقش مهمی در شناخت علل هیپوکسی و پیشگیری از آن خواهد داشت (۱).

## یافته‌ها

گاز اکسیژن را می‌توان جهت استفاده در مواقع مورد نیاز در سه منبع گاز، مایع و ترکیب شیمیایی مولد اکسیژن (ذخیره جامد) ذخیره نمود و به‌صورت گاز اکسیژن با فشارهای مختلف (مرتبط با نیاز)، بخار آب و دمای مطبوع استفاده کرد.

کلیه منابع تامین اکسیژن واجد دو جزء پایه می‌باشند که شامل منبع

## منابع اکسیژن

منابع اکسیژن می‌تواند به صورت ذخیره اکسیژن گازی تحت فشار متوسط و بالا، اکسیژن مایع با دمای پایین و تحت فشار متوسط و ترکیبات شیمیایی خنثی باشد. منابع اکسیژن گازی و مایع هر دو در هوانوردی نظامی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. از ذخایر اکسیژن گازی شکل (با فشار متوسط تا بالا) به عنوان ذخایر پشتیبان، هوانوردی غیر نظامی، غواصی و اهداف درمانی (بیمارستان‌ها و غیره) استفاده می‌گردد.

امروزه در هواپیماهای نظامی پیشرفته از دستگاهی به نام (MSOC) (Molecular Sieve Oxygen Concentrator) جهت تولید اکسیژن استفاده می‌گردد.

متاسفانه فن آوری تولید آن تنها در اختیار تعداد معدودی از کشورهای جهان بوده و در دسترس نمی‌باشد. البته در حال حاضر اقداماتی موثری در جهت تولید این دستگاه ارزشمند صورت پذیرفته است (۴).

## استانداردهای گاز اکسیژن در ذخیره سازی

۹۹٪ اکسیژن، کمتر از ۰/۰۰۲٪ دی اکسید کربن و کمتر از ۰/۰۰۵ mg/l بخار آب (در دمای صفر درجه سلسیوس و فشار ۷۶۰ mmHg معادل یک اتمسفر (فشار در سطح دریای آزاد))

## Gaseous Oxygen Storage

کپسول‌های ذخیره اکسیژن گازی بر حسب فشار به دو دسته تقسیم می‌گردند: سیلندرهای کم فشار (۱۸۰۰ lb/in<sup>2</sup>) و پر فشار (۵۰۰۰ lb/in<sup>2</sup>). انواع پر فشار در هوانوردی نظامی استفاده می‌گردد. ظرفیت اکسیژن در این سیلندرها بین ۴۰۰ تا ۲۲۵۰ لیتر است. اغلب کپسول‌های کم فشار سفید یا زرد رنگ بوده و کپسول‌های پر فشار سبز رنگ هستند. در هواپیماهای نظامی سیلندرهای اکسیژن برای جلوگیری از انفجار

## ۲- محافظت در برابر گازهای سمی و بیماری کاهش فشار:

باید این امکان وجود داشته باشد تا در صورت آلوده شدن محیط Cabin یا Cockpit با Toxic Fumes (برای جلوگیری از آلوده شدن هوای تنفسی با هوای محیط) یا کاهش ناگهانی فشار هوای محیط (جهت حفظ فشار آلوئولار اکسیژن در حد نرمال) از اکسیژن با غلظت ۱۰۰٪ استفاده نمود.

۳- دمای مناسب: دمای اکسیژن تنفسی در هوانوردی باید  $\pm ۵^{\circ}\text{C}$  دمای کابین باشد.

۴- سهولت استفاده: از آنجا که به طور معمول میزان استرس در محیط‌های هوایی، فضایی و دریایی بیشتر از حالت طبیعی در سطح زمین است باید امکانات مورد استفاده در حد امکان ساده، راحت و خودکار باشند تا در موقعیت‌های اضطراری بهترین کاربری مقدور گردد.

۵- ارزیابی سلامت دستگاه: به دلیل اهمیت بالای دستگاه‌های اکسیژن رسانی به خصوص در ماموریت‌های نظامی اعم از هوانوردی و غواصی باید کاربر بتواند در کمترین زمان از صحت دستگاه مطمئن گردد.

## ۶- نشانگر مخزن و جریان هوا

۷- وجود دستگاه پشتیبان: به دلیل اهمیت بالا و احتمال معیوب شدن دستگاه‌های اکسیژن رسان وجود دستگاه‌های پشتیبان ضروری است.

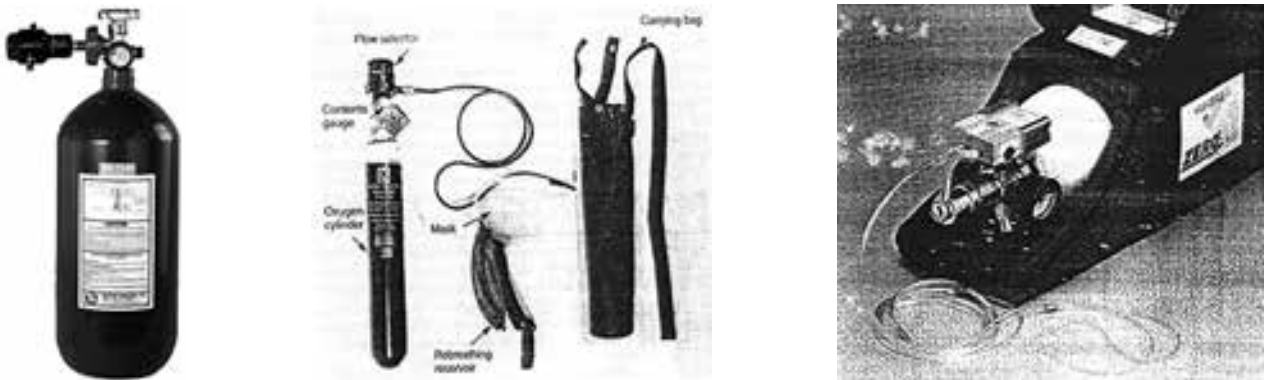
## ۸- استقلال از هوای محیط

۹- مقرون به صرفه بودن: از نظر وزن، حجم و قیمت

۱۰- امکان استفاده در زیر آب یا هنگام خروج اضطراری (Eject): یعنی در هنگام خروج اضطراری خلبان و سقوط احتمالی در آب تا زمان رسیدن به ارتفاع ۱۰ هزار پا و در زیر آب اکسیژن لازم وی را تامین نماید (۳).

جدول ۱- مقایسه حجم و وزن انواع سیستم‌های ذخیره اکسیژن (۲)

Storage System	Weight Of Charged System(Kg)	Space Occupied System(liter)
High Pressure Cylinders	۱۹	۵۲
Liquid Oxygen Converter	۸	۲۵
Solid Chemical Generator	۱۲	۱۰
Molecular Sieve Oxygen Concentrator	۱۹	۲۰

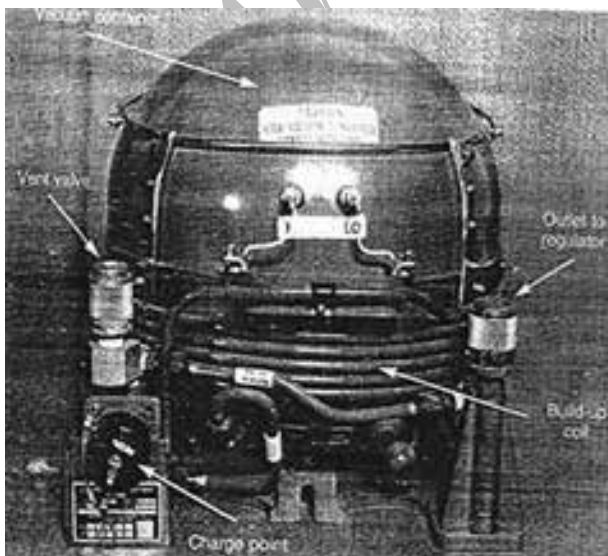


شکل ۱- سیلندرهاى کم فشار (A) و پر فشار (B) اکسیژن گازی شکل

گرم از محیط در داخل لوله‌های ماریچ (LOX Converter) بخش گرم کننده حرکت کرده و به بخش فوقانی مخزن باز می‌گردد که به صورت گازی شکل با دمای بالاتر خواهد بود.

۳- **Delivery:** در این فاز گاز اکسیژن جمع شده در قسمت بالای مخزن توسط لوله‌های ویژه‌ای به دریچه کاهنده فشار (Relief Valve) انتقال یافته و پس از رسیدن فشار آن به  $20-30 \text{ lb/in}^2$  ضمن عبور از داخل کابین گرم و برای استفاده آماده می‌گردد. مبدل‌های اکسیژن مایع در ظرفیت‌های  $5/3$ ،  $10$  و  $25$  لیتری تولید می‌گردند (۶).

ایراد فنی مهم LOX آن است که حدود ۶ تا ۸ ساعت پس از شارژ نمودن آن به‌خصوص به‌دنبال حرکات آکروباتیک در Agile Air Crafts دچار پدیده‌ای می‌گردد که اصطلاحاً به آن Temperature Stratification می‌گویند.



شکل ۲- دستگاه مبدل اکسیژن مایع

در دمای بالا توسط لایه عایق حرارت پوشانده می‌گردد. اغلب تعداد سیلندرها ۲ سیلندر یا بیشتر بوده و هر دو توسط لوله‌های ویژه دارای دریچه‌های یک طرفه (برای جلوگیری از ارتباط دو کپسول) به رگولاتور (تنظیم کننده) متصل می‌گردند. فشار گاز ورودی به رگولاتور حدود  $200-70 \text{ lb/in}^2$  است.

مزایای این سیستم ذخیره اکسیژن متعدد است از جمله اینکه در عین سادگی در سراسر جهان استفاده شده و تجهیزات جانبی آن نیز فاقد پیچیدگی فراوان است. عیب عمده این سیستم وزن و حجم بالای آن است (۵).

### Liquid Oxygen Storage (LOX)

سال‌های متمادی ذخایر اکسیژن مایع در هوانوردی نظامی استفاده گسترده‌ای داشت. هر لیتر اکسیژن مایع به  $840$  لیتر اکسیژن گازی تبدیل می‌گردد. وزن آن نیز از ذخائر گازی سبک‌تر است. از این ذخیره زمانی استفاده می‌گردد که باید حجم و وزن کم بوده و امکانات شارژ مجدد در دسترس باشد.

جهت تبدیل گاز اکسیژن به اکسیژن مایع ابتدا باید آن را در فشار ۱ اتمسفر تا  $183^\circ\text{C}$  - سرد کرده و سپس تحت فشار اندک ( $70-115 \text{ lb/in}^2$ ) ذخیره کرد. سپس با شارژ کردن دستگاه مبدل اکسیژن مایع (Build Up Coil) می‌توان با استفاده از آن اکسیژن گازی با دمای مناسب و فشار  $20-30 \text{ lb/in}^2$  دریافت نمود. در دستگاه مبدل اکسیژن مایع در سه فاز اکسیژن گازی ایجاد می‌گردد:

- ۱- **Filling Phase:** در طی این مرحله تانک دستگاه مبدل اکسیژن توسط ذخایر قابل حمل با فشار  $70-115 \text{ lb/in}^2$  پر می‌گردد.
- ۲- **Build Up Phase:** در این فاز اکسیژن مایع و سرد با دریافت

کلرات کندل حدود ۲۲ سانتی متر طول، ۱۵ سانتی متر قطر و ۶ کیلوگرم وزن داشته و از مزایای آن می توان به وزن و حجم اندک، سادگی و عدم نیاز به کاربر اشاره نمود (۷).

### (BAikali Metal Super oxides)

به دنبال مواجهه بخار آب موجود در هوای بازدمی با سوپراکسید پتاسیم، اکسیژن و هیدروکسید پتاسیم ایجاد می گردد. جهت جداسازی دی اکسید کربن می توان آنرا با هیدروکسید پتاسیم حاصل مواجه نمود تا به کربنات پتاسیم و اکسیژن اضافه تبدیل گردد.

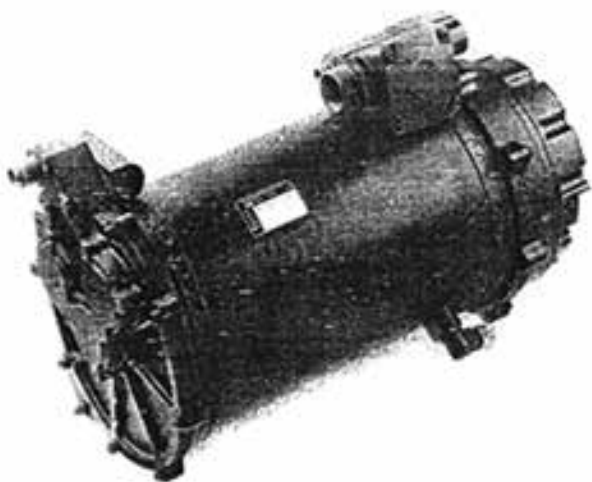
### (CReversed Fuel Cell)

با استفاده از الکتریسیته و هیدرولیز آب می توان اکسیژن (در قطب آند) و هیدروژن (در قطب کاتد) تولید نمود. در این روش با مصرف ۷KW برق ۱۲۶۱/min اکسیژن تولید شده و وزن مجموعه مذکور حدود ۳۰kg خواهد بود. این روش به دلیل میزان الکتریسیته مصرفی و وزن بالا در حال حاضر کاربرد اندکی دارد (۷).

### MSOC

یکی از پیشرفته ترین روش های موجود در زمینه تولید اکسیژن به خصوص در حیطه نظامی (Molecular Sieve Oxygen Concentrator) می باشد (۸).

در دستگاه دو فیلتری MSOC ابتدا هوا توسط Stage های متراکم کننده (Air Compressor) موتور هواپیما جهت ورود به دستگاه فراهم شده



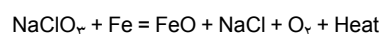
شکل ۳- دستگاه MSOC

در این حالت حدفاصل میان گاز سرد اکسیژن و اکسیژن مایع سردتر در تانک دستگاه مبدل از میان رفته و ایجاد به هم ریختگی باعث اختلال در مکانیسم تولید اکسیژن گازی شکل می گردد. جهت پیشگیری از این پدیده نامطلوب و پایدار کردن LOX باید دمای مخزن نگه دارنده در حدود ۱۶۰- درجه سلیسیوس حفظ شود. این روش پیشگیری بیشتر در هواپیماهای نظامی کاربرد دارد. یکی از مهمترین خطرات LOX آلوده شدن گاز اکسیژن با مواد سمی چون اکسید نیتروژن، کربن، سولفید هیدروژن و هیدروکربن ها است. این آلاینده ها در کف مخزن نگه دارنده به صورت رسوب جمع شده و در دمای بالاتری از اکسیژن مایع به گاز تبدیل می شوند. برای کنترل میزان آلاینده های مذکور از روش های ویژه ای استفاده می گردد. برای مثال با استفاده از روش Spectroscopy Infra Red هنگام شارژ مجدد مخزن نگه دارنده میزان این آلاینده ها بررسی می گردد (۶).

### Solid Chemical Oxygen Generation

#### Chlorate Candle (A)

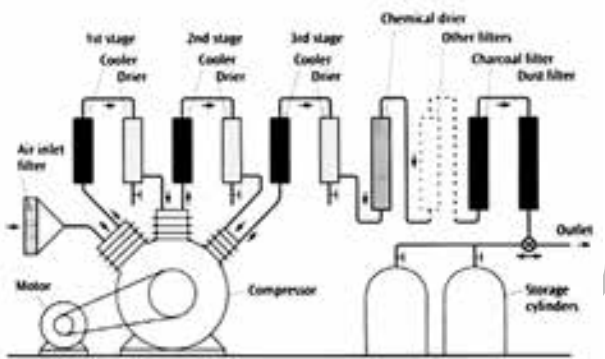
اساس تولید اکسیژن در شمع کلرات واکنش میان کلرات سدیم یا پتاسیم و آهن است که به صورت ذیل انجام می گیرد:



در شمع کلرات دو ترکیب کلرات سدیم/پتاسیم و پودر آهن به صورت فشرده کنار هم قرار داشته و توسط یک لایه نازک بی اثر مانند فایبرگلاس جدا می گردد. گرمای لازم جهت آغاز واکنش توسط فنکد سایشی، جاشنی الکتریکی یا سیم های الکتریکی حرارت زا از انتهای شمع ایجاد می گردد. زمانی که ضامن شمع کلراتی زده شود همزمان با مجاورت پودر آهن و کلرات پتاسیم/سدیم حرارت لازم ایجاد و واکنش آغاز می گردد. این واکنش حدود ۲۵۰ تا ۶۰۰ درجه سلیسیوس حرارت ایجاد می کند که جهت ایجاد امنیت مناسب کل ساختار در داخل یک پوشش عایق قرار می گیرد. جهت خالص سازی اکسیژن و حذف مواد آلاینده از فیلترهای پروکسید باریم استفاده می گردد که اکسیژنی با خلوص ۹۹/۹٪ ایجاد می گردد. از این روش جهت تولید اکسیژن اضطراری در صندلی پران (Ejection Seat) هواپیماهای نظامی و برای مسافران در هواپیماهای غیر نظامی استفاده می گردد. بدین ترتیب حدود ۱۳۰۰ لیتر اکسیژن تولید می گردد که جهت ۳۰ دقیقه تنفس طبیعی ۱۰ نفر کافی می باشد.

### اکسیژن در غواصی

فشرده کننده‌های هوا در غواصی: هوا توسط کمپرسور در چند مرحله فشرده و خشک شده سپس در کپسول‌های ویژه غواصی ذخیره می‌گردد. هوا در ۳ یا ۴ مرحله فشرده می‌شود تا هوا بیش از اندازه گرم نشده و نشت پیدا نکند. ابتدا هوا به میزان ۸ اتمسفر فشرده شده پس از خنک شدن و میعان بخار آب و روغن احتمالی موجود در هوا در مرحله دوم دوباره تا ۴۰ اتمسفر فشرده شده و دوباره میعان آب به میزان بیشتری انجام می‌گردد. در مرحله سوم هوا تا فشار کپسول‌های غواصی (مثلاً ۲۰۰-۳۰۰ اتمسفر) فشرده می‌گردد. گاهی استفاده از یک سیستم خنک کننده جهت خروج مقادیر بیشتر بخار آب مناسب خواهد بود (۹).



شکل ۵- نمای شماتیک کمپرسور سه مرحله‌ای

### منابع آلودگی هوا در غواصی

آلودگی هوا ممکن است قبل از فشرده شدن، حین آن یا ضمن ذخیره‌سازی رخ دهد. اگر فشرده سازی در اماکن صنعتی صورت پذیرد (به‌خصوص در مجاورت موتورهای صنعتی فعال) میزان آلاینده‌های منواکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن در آن بالا خواهد بود. دما و فشار بالا هر دو با افزایش واکنش‌های شیمیایی میزان آلودگی را افزایش می‌دهد. گرم شدن بیش از اندازه کمپرسور یا استفاده از روان کننده‌های نامناسب باعث ایجاد بخارهای روغن و منواکسید کربن در هوای فشرده خواهد شد. استفاده از فشرده کننده‌های برقی باعث کاهش آلودگی می‌گردد.

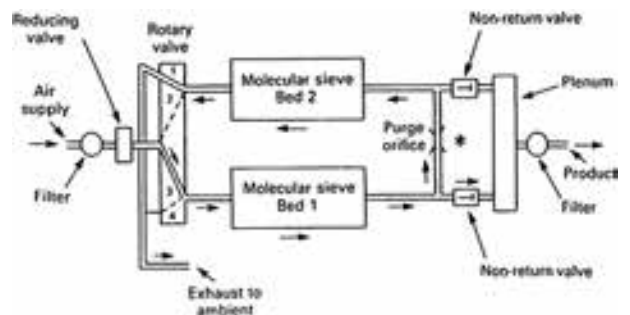
از جمله سایر آلاینده‌هایی که در داخل دستگاه به هوا افزوده می‌شود رنگ مورد استفاده در آن، بخش‌های دارای زنگ آهن و بقایای آب و مواد شوینده به کار رفته است. جهت جلوگیری از ازدیاد زیان بار

و پس از عبور از فیلتر تصفیه کننده به دریچه دوار (Rotary Valve) وارد می‌گردد. این دریچه با توزیع متناوب جریان هوای ورودی باعث افزایش و کاهش فشار مکرر و تولید اکسیژن در فیلترهای دستگاه می‌شود.

جنس فیلترها از آلومینوسیلیکات ( $\text{SiO}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) به صورت کریستال‌های زئولیت (Zeolite) چهارضلعی بوده که مولکول‌های سدیم یا کلسیم و آب در محفظه میانی (Middle Cage) آن قرار دارند. دو نوع فیلتر موجود در دنیا شامل ۵A و ۱۳X بوده که تفاوت آنها در اندازه محفظه میان ساختاری آنها است. در نوع ۵A در محفظه میانی مولکول سدیم قرار دارد و منفذی با قطر  $4.1 \times 10^{-4} \mu\text{m}$  را تشکیل می‌دهد. در نوع ۱۳X قرارگیری مولکول کلسیم باعث ایجاد منافذی با قطر  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  می‌گردد (۸).

به دنبال گرم شدن این ساختار مولکول‌های آب از آن خارج شده و باعث قطبیتو ایجاد کشش یونی در آن می‌گردد. عبور مولکول‌ها از فیلتر فعال شده بر اساس قطبیت و اندازه صورت می‌گیرد. مولکول‌های اکسیژن که کوچکتر و دارای کشش کمتری هستند ضمن فشرده شدن هوا از فیلتر عبور کرده و مولکول‌های نیتروژن در آن بدام می‌افتند. به دنبال کاهش فشار مولکول‌های نیتروژن از فیلتر جدا می‌گردند. سپس اکسیژن تولید شده توسط دریچه‌های یک طرفه به محل مصرف انتقال می‌یابند.

تنها عیب این روش تولید اکسیژن آن است که در صورت از دست رفتن موتور هواپیما (به‌خصوص در هواپیماهای تک موتوره) مثلاً به دنبال آتش گرفتن موتور روند تولید و انتقال اکسیژن مختل می‌گردد. به همین جهت وجود سیلندر اکسیژن گازی پشتیبان ضروری خواهد بود. وزن دستگاه کمتر از ۱۹ kg، با حجم ۲۰۱ و منبع انرژی آن برق ۲۸ v از نوع DC با توان ۵۰w است (۸).



شکل ۴- نمای شماتیک داخل دستگاه MSOC

جدول ۲- استانداردهای خلوص هوا (۱۱)

Content	British Sub-Aqua Club	A/NZ Standard (۱۹۷۹)	US Navy Diving Manual (۱۹۹۶)
O <sub>2</sub> (%)	۲۱±۰/۵	۲۰-۲۲	۲۰-۲۲
CO <sub>2</sub> (%)	۰/۰۳	۹۰۰mg/m <sup>۳</sup>	۱۰۰۰ ppm
Oil (mg/m <sup>۳</sup> )	۱	۱	۵
No	<۱ppm	-	-

### نیتروژن و اکسیژن (O & N)

میزان اکسیژن و نیتروژن مانند ترکیب طبیعی اتمسفر در سطح دریا است. در صورت افزایش میزان اکسیژن امکان مسمومیت با آن و آتش سوزی در اتاق فشار افزایش می‌یابد. در صورت افزایش نیتروژن احتمال ابتلا به DCS<sup>۲</sup> و هیپوکسی بالا می‌رود.

### دی اکسیدکربن (CO<sub>2</sub>)

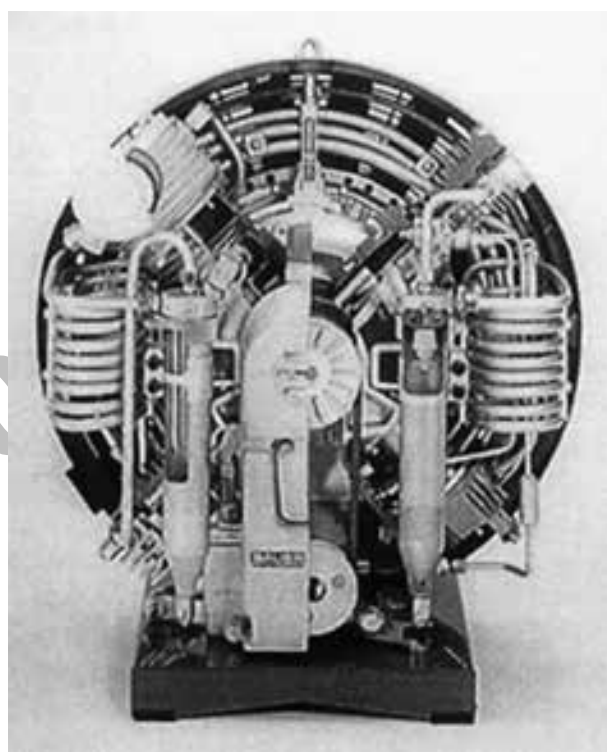
میزان ۰/۰۳٪ در هوای فشرده به این معنی است که در فشار ۱۰ اتمسفر نیز میزان این گاز در حد بروز تغییرات فیزیولوژیک در بدن نخواهد بود. استانداردهای بریتانیا و استرالیا بسیار محافظه کارانه است چرا که در غواصی بنا عمق بالا میزان ۰/۱٪ این گاز هم مشکلی ایجاد نخواهد کرد. افزایش این گاز نشان دهنده اختلال دستگاه (گرما می زیاد یا روغن نامناسب) یا آلودگی خارجی است (۱۲).

### مونواکسیدکربن (CO)

این گاز سمی با هموگلوبین خون ترکیب شده و کربوکسی هموگلوبین ایجاد می‌گردد که علت آن تمایل ترکیب بیشتر (حدود ۱۸ تا ۲۰ برابر) این گاز نسبت به اکسیژن در باند شدن به هموگلوبین است. کربوکسی هموگلوبین توانایی حمل اکسیژن را نداشته و در انتقال دی اکسیدکربن هم ضعیف عمل می‌کند. همچنین ثابت شده که اثرات سیتوتوکسیک مستقیم هم دارد. ارغوانی رنگ شدن پوست به خصوص در مبتلایان به بیماری‌های قلبی ریوی مزمن یک علامت اختصاصی جهت تشخیص مسمومیت نبوده و آنمی، فعالیت فیزیکی و ابتلا به بیماری‌های قلبی ریوی مزمن باعث استعداد به مسمومیت در افراد خواهد شد.

### روغن (Oil)

باعث تغییر نامطبوع بو و طعم هوای تنفسی و ایجاد حمله آسم



شکل ۶- کمپرسور هوای قابل حمل Bauer

آلاینده‌های هوای تنفسی در کپسول‌های غواصی و سیستم‌های زیرسطحی از سیستم‌های آنالیز گاز استفاده می‌گردد (۱۰).

### استانداردهای خلوص گازهای تنفسی در حیطه زیر سطحی

استانداردهای مورد استفاده در نیروی دریایی ایالات متحده، بریتانیا و استرالیا در جدول ۲ بیان شده است. باید توجه داشت گازهای مخلوط جهت غواصی در عمق زیاد دارای فشار بیشتری بوده لذا میزان مواد آلاینده می‌تواند افزایش یابد. علی‌رغم به‌کارگیری استانداردهای ذکر شده در تهیه گازهای تنفسی نمی‌توان آنها را کاملاً ببری از آلودگی دانست (۱۱).

علایمی چون سرفه، تنگی نفس، سیانوز، هموپتزی و ادم ریوی منتشر حتی بیهوشی خواهد شد. اکسید نیترو در غلظت بالا بی حس کننده بوده و در غلظت پایین اثرات مشابه دی اکسید نیتروژن ایجاد می کند (۱۴).

### بحث و نتیجه گیری

پیشرفت روزافزون فن آوری هوانوردی و دریانوردی و ابداع امکانات پیچیده و روزآمد مستلزم آگاهی مناسب گروه های هوایی و دریایی مرتبط (به خصوص مهندسين و پزشکان هوا فضا و زیر سطحی) جهت پیشگیری از هیپوکسی و عوارض حاصل می باشد. به خصوص آگاهی پزشکان هوا فضا و زیر سطحی به دلیل عدم سابقه احتمالی آشنایی با علوم فنی و مهندسی از اهمیت بالایی برخوردار است. در ضمن این مقاله در همایش طب پیشگیری و بهداشت شناورهای سطحی و زیر سطحی بندرعباس در سال ۱۳۸۹ ارائه گردیده است.

شده و صرفاً ذات الریه چربی (لیپوئید پنومونیا) ایجاد می کند. همچنین تجزیه آن با تبدیل به ترکیبات هیدروکربن، نیتروژن و سولفور باعث افزایش احتمال ابتلا به بدخیمی و اختلال های تنفسی خواهد شد (۱۳).

### آب (H<sub>2</sub>O)

کنترل میزان بخار آب جهت نگهداری و ایمنی تجهیزات ضروری است. اگر سیلندر حاوی آب مدتی استفاده نگردد، دچار زنگ زدگی شده و از یک سو با ایجاد ترکیباتی در آن غواص دچار هیپوکسی خواهد شد و از سوی دیگر کاهش مقاومت جدار سیلندر باعث انفجار و آسیب غواص می گردد. همچنین بخار آب باعث اختلال در عملکرد فیلترهای جاذب آلودگی (به خصوص فیلترهای مولکولی) خواهد شد. از طرفی خشکی و دمای پایین هوا باعث ایجاد حملات آسم می گردد.

### دی اکسید نیتروژن و اکسید نیترو (NO & NO<sub>2</sub>)

دی اکسید نیتروژن محرک قوی ریه ها، چشم و گلو بوده، باعث بروز

## References

- 1- J. Rainford & P. Gradwell. *Ernsting's Text Book of Aviation Medicine*; Royal Air Force (RAF), UK, Fourth Edition, 2006. Chapter 5. Oxygen Equipment. P 73. Introduction.
- 2- J. Rainford & P. Gradwell. *Ernsting's Text Book of Aviation Medicine*; Royal Air Force (RAF), UK, Fourth Edition, 2006. Chapter 5. Oxygen Equipment. P 74. General Classes Of Oxygen Systems.
- 3- J. Rainford & P. Gradwell. *Ernsting's Text Book of Aviation Medicine*; Royal Air Force (RAF), UK, Fourth Edition, 2006. Chapter 5. Oxygen Equipment. P 75. Oxygen System Requirements.
- 4- J. Rainford & P. Gradwell. *Ernsting's Text Book of Aviation Medicine*; Royal Air Force (RAF), UK, Fourth Edition, 2006. Chapter 5. Oxygen Equipment. P 76. Oxygen Equipment.
- 5- J. Rainford & P. Gradwell. *Ernsting's Text Book of Aviation Medicine*; Royal Air Force (RAF), UK, Fourth Edition, 2006. Chapter 5. Oxygen Equipment. P 77. Gaseous Oxygen Storage.
- 6- J. Rainford & P. Gradwell. *Ernsting's Text Book of Aviation Medicine*; Royal Air Force (RAF), UK, Fourth Edition, 2006. Chapter 5. Oxygen Equipment. P 77-8-9. LOX.
- 7- J. Rainford & P. Gradwell. *Ernsting's Text Book of Aviation Medicine*; Royal Air Force (RAF), UK, Fourth Edition, 2006. Chapter 5. Oxygen Equipment. P 79-80. Air Independent System.
- 8- J. Rainford & P. Gradwell. *Ernsting's Text Book of Aviation Medicine*; Royal Air Force (RAF), UK, Fourth Edition, 2006. Chapter 5. Oxygen Equipment. P 80-1. Air dependent System (MSOC).
- 9- C. Edmonds, C. H. Lowry, J. Pennefather & R. Walker. *Diving & Subaquatic Medicine*. 4th Edition. Chapter 19. Breathing gas contamination (Air Compressors). P 233-4.
- 10- C. Edmonds, C. H. Lowry, J. Pennefather & R. Walker. *Diving & Subaquatic Medicine*. 4th Edition. Chapter 19. Breathing gas contamination (Sources Of Contaminants). P 235-6.
- 11- C. Edmonds, C. H. Lowry, J. Pennefather & R. Walker. *Diving & Subaquatic Medicine*. 4th Edition. Chapter 19. Breathing gas contamination (Gas Purity Standards). P 236-7.
- 12- C. Edmonds, C. H. Lowry, J. Pennefather & R. Walker. *Diving & Subaquatic Medicine*. 4th Edition. Chapter 19. Breathing gas contamination (Nitrogen and oxygen. Carbon dioxide). P 237-8.
- 13- C. Edmonds, C. H. Lowry, J. Pennefather & R. Walker. *Diving & Subaquatic Medicine*. 4th Edition. Chapter 19. Breathing gas contamination (Carbon monoxide. Oil). P 237-8.
- 14- C. Edmonds, C. H. Lowry, J. Pennefather & R. Walker. *Diving & Subaquatic Medicine*. 4th Edition. Chapter 19. Breathing gas contamination (Water. Nitrogen dioxide and nitrous oxide). P 239-40.



## پزشکی نامه

ج) مونواکسید کربن (CO) د) دی اکسید نیتروژن و اکسید نیترو (NO & NO<sub>2</sub>)  
۸- "Temperature Stratification" در ارتباط با کدام شکل تولید/ذخیره  
اکسیژن است؟

الف) LOX (ب) شمع کلات  
ج) Reversed Fuel Cell (د) MSOC

۹- ..... در گاز تنفسی غواص ضمن ایجاد بو و طعم غیرطبیعی  
باعث عود حمله آسم می شود.

الف) SO<sub>2</sub> (ب) NO & NO<sub>2</sub>  
ج) CO<sub>2</sub> (د) Oil

۱۰) تصور کنید خلبان یک هواپیمای مسافری دو موتور ضامن پرواز  
در ارتفاع ۳۰ هزار پایی به دلیل اختلال در سیستم سوخت رسان هر  
دو موتور خود را از دست بدهد. در صورت استفاده از ژنراتور پشتیبان  
هواپیما کدامیک از دستگاه‌های تولید اکسیژن در این هواپیما کاربرد  
کمتری خواهد داشت؟

الف) شمع کلات (ب) ذخیره گازی اکسیژن  
ج) Reversed Fuel Cell (د) MSOC

شماره سؤال	پاسخ نامه		
	الف	ب	ج
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			
۶			
۷			
۸			
۹			
۱۰			

نام و نام خانوادگی پاسخ دهنده: .....

آدرس پستی و تلفن تماس پاسخ دهنده: .....

خواهشمند است جهت کسب امتیاز بازآموزی پاسخ‌های خود را به  
آدرس: تهران خیابان فاطمی غربی، خیابان شهید اعتمادزاده، جنب  
بیمارستان امام رضا (ع) (۵۰۱)، ساختمان مرکزی دانشگاه علوم پزشکی  
ارتش جمهوری اسلامی ایران، طبقه سوم، دفتر مجله ارسال نمایید.

۱- کلیه منابع تامین اکسیژن واجد دو جزء پایه می باشند. آن دو جزء کدامند؟

الف) لوله‌های ارتباطی، ذخیره پشتیبان

ب) رقیق کننده‌ها، لوله‌های ارتباطی

ج) رگولاتورها، منبع اصلی (د) منبع پشتیبان

۲- در زمینه "Closed - Circuit Systems" کدام عبارت درست نمی باشد؟  
الف) کاهش مصرف اکسیژن

ب) پیچیدگی کنترل میزان اکسیژن وارد شده

ج) احتمال یخ زدگی بسیار اندک در دمای پایین

د) تجمع گاز نیتروژن در هوای تنفسی

۳- کدامیک از عبارت‌های ذیل در خصوص "استانداردهای ذخیره سازی  
گاز اکسیژن" صحیح است؟

الف) کمتر از ۰/۰۲٪ دی اکسید کربن

ب) ۹۹٪ اکسیژن

ج) کمتر از ۰/۵ mg/l بخار آب (د) موارد الف و ج

۴- یکی از مهم ترین خطرهای دستگاه ذخیره اکسیژن مایع (LOX)  
..... است؟

الف) انفجار

ب) انتقال عفونت‌های تنفسی

ج) خراب شدن دستگاه (د) آلودگی با مواد سمی

۵- در داخل یک هواپیمای مسافری هستید و به محل کار خود سفر  
می کنید. به دلیل تغییر ناگهانی در فشار کابین مجبور به استفاده از ماسک

اکسیژن اضطراری می شوید. تصور می کنید روش تولید اکسیژن چیست و  
تا چه مدت زمانی می تواند نیازهای تنفسی شما و سایرین را فراهم نماید؟

الف) ذخیره اکسیژن در حالت گازی شکل - ۴۵ دقیقه

ب) ذخیره اکسیژن در حالت گازی شکل - ۳۰ دقیقه

ج) ذخیره اکسیژن به صورت مایع - ۴۵ دقیقه

د) ذخیره اکسیژن به صورت جامد (ترکیب شیمیایی) - ۳۰ دقیقه

۶- جهت جایگزینی منبع ذخیره اکسیژن در "صندلی پران" یک فروند  
هواپیمای جنگنده اف-۴ با شما مشورت می گردد. با عنایت به اطلاعات

و مقدمات دستگاه‌های تولید و ذخیره اکسیژن کدام یک از موارد زیر  
قابلیت استفاده خواهند داشت؟

الف) شمع کلات یا اکسیژن کازی شکل

ب) LOX یا شمع کلات

ج) اکسیژن کازی شکل یا LOX (د) Reversed Fuel Cell یا MSOC

۷- در در مانگاه‌های نیروی دریایی مشغول خدمت هستید. یکی از غواصان  
مراجعه نموده و از سرفه، تنگی نفس، خلط خونی اندک شکایت دارد. در

معاینه سیانوز و در بررسی رادیوگرافیک ریه ها ادم منتشر ریوی یافت  
می گردد. غلظت کدامیک از مواد زیر در گاز تنفسی وی عامل بروز چنین

علائمی می شود؟

الف) دی اکسید کربن (CO<sub>2</sub>) (ب) روغن (Oil)

## Conversancy with Oxygen and its Production Instrument in Military Aviation and Seafaring

\*Shah ali H; MD<sup>1</sup>, A Farahani A; MD<sup>2</sup>

Received: 6 Jun 2011

Accepted: 4 Sep 2011

### Abstract

**Background:** the most important qualification of aviation at flight altitude over tenthousand feet and sub aquatic seafaring (in all deeps) are the effective oxygen production instruments which have the worthwhile role in prevention of hypoxia and hyperventilation. These systems were used invention inFirstWorld War and greatly improved since this century. Informed about this systems and their introduction, function and probable failures are very necessary.

**Material & Methods:** This study documents collected based on any books, articles and knowledge about marine.

**Results:** Oxygen generator systems produce this gas as a shape of gas, liquid and chemical compounds. All the oxygen generators consist of two major sources: main source and back up source which help on emergency situations. Function of this system was based on two methods: automatic and manual operation. Relative appurtenants such as connecting pips, regulators, air dilution systems and masks have accurate points depend on their facilities. Best part of their functions are air dilution ability, generation of 100% oxygen, positive pressure breathing and suitable oxygen temperature.

**Conclusion:** Progressive development of aviation and seafaring technology and up to date investigations implicate enough flight and sea crew orientation about oxygen and its equipments for hypoxia and hyperventilation prevention.

**Keywords:** Oxygen Production Instruments, Aviation, Seafaring, Hypoxia

1- (\*Corresponding Author) Aerospace and Diving Medical Faculty, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Tel: +982188335769 E-mail: dr\_shahali@armyums.ac.ir

2- Tehran University of Medical Sciences, Medical FacultyT Dept of Medical Pathology, Emam Khomeini Hospital ,Tehran, Iran