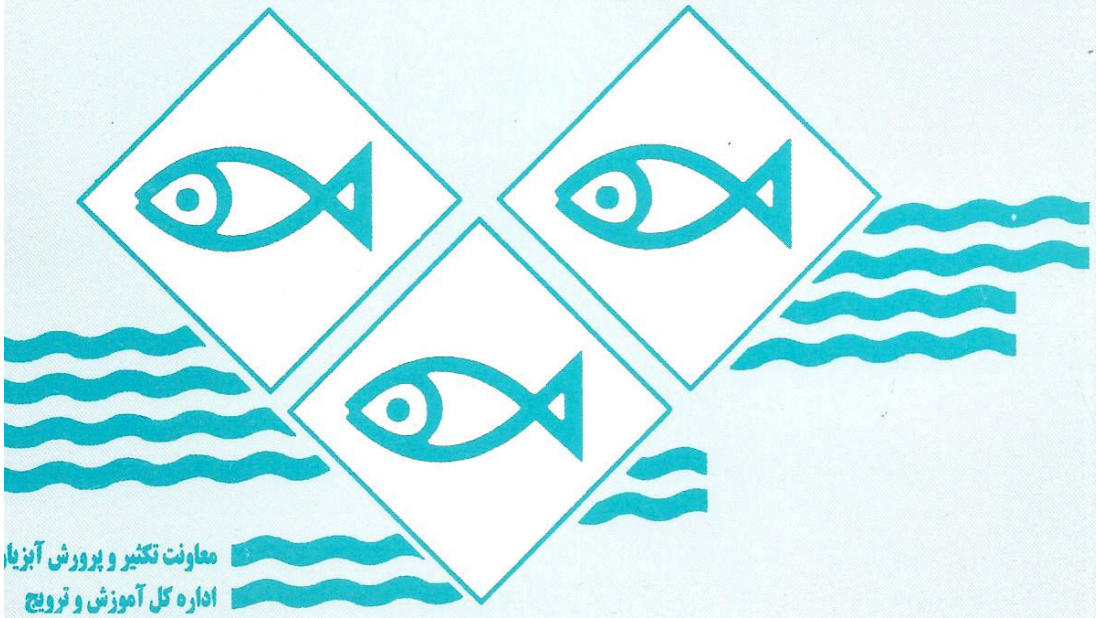
۴۳ ـ ب

ویژه دوره های آموزشی، ترویجی
تکثیر و پرورش آبزیان

وزارت جهاد کشاورزی
شرکت سهامی شیلات ایران

# مدیریت هوادهی و تنظیم اکسیژنی استخرهای پرورش ماهیان گرمابی



معاونت تکثیر و پرورش آبزیان
اداره کل آموزش و ترویج

# مدیریت هوادهی و تنظیم اکسیژنی
# استخرهای پرورش ماهیان گرمابی

**مؤلف:**
**محمود توسلی**

**معاونت تکثیر و پرورش آبزیان**
**اداره کل آموزش و ترویج**
**پاییز ۱۳۸۰**

بسم‌الله الرّحمن الرّحیم

وزارت جهاد کشاورزی
شرکت سهامی شیلات ایران

---

**ناشر:** معاونت تکثیر و پرورش آبزیان ـ اداره کل آموزش و ترویج
**عنوان :** مدیریت هوادهی و تنظیم اکسیژنی استخرهای پرورش ماهیان گرمابی
**مؤلف :** محمود توسلی
**تنظیم :** محمود توکلی، مریم نفری
**ویراستار ادبی :** فاطمه منتظری
**صفحه‌آرا:** ناصر سلطان محمدی
**تیراژ:** ۲۰۰۰ جلد
**نوبت چاپ اول :** پاییز ۱۳۷۶
**نوبت چاپ دوم :** پاییز ۱۳۸۰
**حروفچینی :** آقاپور
**قیمت :** ۴۰۰۰ ریال
**شابک :** ۲ـ ۰۴۸ـ ۴۸۳ ـ ۹۶۴ ISBN: 964- 483- 048- 2

## پیشگفتار

آموزش و ترویج در تمام کشورهای جهان به عنوان اهرمی مؤثر در انتقال علم و فن آوری، جهت بهبود شیوه‌های تولید و وضعیت تولید کنندگان از طریق سازمانهای مختلف دولتی عمل می‌کند. از آن جا که نتایج حاصل از تحقیقات کاربردی و یا فعالیتهای اجرایی هر روز پدیده‌ای نو درروند افزایش محصولات و تولید بهتر به همراه دارد، هیچ گاه پایانی برای آن متصور نیست.

آموزشهای کوتاه مدت غیر رسمی برای تولید کنندگان که به عنوان دوره‌های آموزشی و ترویجی تلقی می‌شود، همواره باید استمرار یافته و برای افرادی که دوره‌های اولیه را سپری کرده‌اند، دوره‌های آموزشی عالی‌تر در نظر گرفته شود، به گونه‌ای که هم مروری بر اطلاعات گذشته داشته و هم روشها و دستاوردهای علمی جدید را فراگیرند.

معاونت تکثیر و پرورش آبزیان در چند سال اخیر با تهیه و تدوین جزوه‌های آموزشی و برگزاری دوره‌های آموزشی ترویجی تکثیر و پرورش آبزیان در سطح وسیعی عمل نموده به نحوی که زمینه شرکت اغلب پرورش دهندگان ماهی در استانها را در این دوره‌ها فراهم کرده است. ولی از آنجا که نیاز به دوره‌های آموزشی پیشرفته‌تر احساس می‌شد، اداره کل آموزش و ترویج این معاونت تصمیم به برنامه‌ریزی، جهت برگزاری دوره‌های ویژه مدیریت مزارع پرورش ماهی در زمینه‌های مدیریت آماده‌سازی استخر، مدیریت ماهیدار کردن استخر، مدیریت تغذیه و کنترل کیفی استخر، مدیریت بهداشت و بیماریها، مدیریت هوادهی و تنظیم اکسیژنی استخر، مدیریت بهره‌برداری از استخر و ... برای استفاده بهتر از امکانات موجود و افزایش تولید برای پرورش دهندگانی که دوره‌های مقدماتی و تکمیلی را طی کرده‌اند، گرفت.

در همین راستا، جلسه‌ای با حضور کارشناسان مجرب در مجتمع تکثیر و پرورش ماهی شهید بهشتی تشکیل و نسبت به تدوین متون آموزشی ویژه دوره‌های مذکور اقدام شد. دوره‌های فوق برای مدت ۳ تا ۴ روز برنامه‌ریزی شده و به صورت تئوری و عملی برگزار می‌شود. امید می‌رود چاپ جزوهٔ حاضر در جهت تقویت توان تولید کنندگان مؤثر واقع شود. به علاوه اخذ نظرات کارشناسان و صاحب نظران در جهت تقویت محتوای جزوه مزید امتنان خواهد بود.

**معاونت تکثیر و پرورش آبزیان**

**اداره کل آموزش و ترویج**

## فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


مقدمه ..... ۷

**بخش اول: اهمیت اکسیژن محلول در آب و نقش آن در تولید**

۱-۱- *اکسیژن محلول و حیات ماهی* ..... ۱۰

۱-۲- *اکسیژن محلول و وجود سم در مواد مختلف درون آب* ..... ۱۳

۱-۳- *اکسیژن، تغذیه، رشد، سلامتی و تولید مثل ماهیان* ..... ۱۴

**بخش دوم: تغییرات اکسیژن محلول در آب**

۲-۱- *علل عمده تغییرات اکسیژن محلول در آب* ..... ۱۷

۲-۱-۱- مهمترین فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب

۲-۱-۲- تولید و مصرف اکسیژن محلول

**بخش سوم: کنترل مصنوعی اکسیژن محلول در آب**

۳-۱- *هوادهی در استخرهای پرورش آبزیان* ..... ۴۰

۳-۱-۱- هوا دهای هیدرولیکی

۳-۱-۲- هوادهای پنوماتیکی

۳-۱-۳- شکل و ساختمان چندنوع هواده

۳-۲- *کاربرد اکسیژن خالص در سیستمهای متراکم پرورش آبزیان* ..... ۵۶

۳-۲-۱- جذب اکسیژن و وسایل آن

۳-۲-۲- تزریق اکسیژن در لولهٔ آبرسانی

**عنوان** **صفحه**


۳-۲-۳- اکسیژن دهی به وسیلهٔ لوله‌های U شکل

***۳-۳- مزایای استفاده از دستگاه هواده در پرورش آبزیان*** ..... ۵۸

***۳-۴- چگونگی استفاده از دستگاه‌های هوادهی*** ..... ۶۲

۳-۴-۱- تعداد هواده مورد نیاز

۳-۴-۲- نحوهٔ استقرار و آرایش دستگاه‌های هواده در استخر

۳-۴-۳- زمان روشن و خاموش کردن دستگاه‌ها

***۳-۵- اصول طراحی سیستم هوادهی*** ..... ۶۸

۳-۵-۱- غلظت تعادل اکسیژن در آب (غلظت اشباع)

۳-۵-۲- انتقال اکسیژن توسط هواده

***مثال ۱-*** هوادهی با هواده چرخ پره‌ای (پدل) ..... ۷۳

***مثال ۲-*** هوادهی با هواده تولید کنندهٔ حباب (پنوماتیکی) ..... ۷۴

**منابع** ..... ۷۵

## مقدمه

امروزه پرورش آبزیان تلاش دارد تا با بکارگیری سیستمها و ابزارهای مختلف، تولید را در واحد سطح یا حجم آب بالا ببرد و در حقیقت وزن توده زنده[1] ماهی را در یک واحد بخصوص افزایش دهد.

ازطرف دیگر ماهی، موجود زنده‌ای است که نفس می‌کشد و برای اعمال حیاتی خود به اکسیژن نیازدارد. اکثر ماهیها اکسیژن مورد نیاز خود را برای تنفس از اکسیژن محلول در آب می‌گیرند و به وسیلهٔ سیستم تنفسی و گردش خون، این اکسیژن را به داخل بدن خود منتقل می‌کنند. از دیدگاه پرورش دهنده ماهی، این مقدار اکسیژن باید در حدی باشد که نه تنهاماهی را زنده نگه دارد، بلکه رشد کافی و همچنین سلامتی آن راتضمین کند.

با افزایش فعالیتهای زیست شناختی در استخرهای پرورش ماهی، نیاز به تأمین

---

1- Bio mass

اکسیژن محلول (در آب) آن استخرها افزایش پیدا می‌کند. در پرورش آبزیان این فعالیتها به طور مرتب انجام می‌شوند؛ به عنوان مثال، تغذیه، افزودن مواد آلی و معدنی به آب استخرها و غیره.این نیاز، به خصوص در سیستمهای پرورشی که در آب راکد انجام می‌شود بیشتر است. در طبیعت در منابع مختلف آبی نیازهای اکسیژن ماهیان از طریق پدیده‌های طبیعی تأمین می‌گردد. در آبهای جاری فاقد آلودگی، دریاها و دریاچه‌های بزرگ اغلب به هیچ وجه مسأله کمبود اکسیژن برای ماهیان به وجود نمی‌آید، مگر آنکه آبها به مواد سمی یا فلزات سنگین و غیره آلوده باشند.

در این منابع، منبع تأمین اکسیژن مورد نیاز آبزیان اغلب دو پدیدهٔ انتشار[۱] و فتوسنتز است. اما در دریاچه‌های کوچک و مردابها و منابع کوچک آبی که مواد آلی و بیوژن زیادی دارند، به خصوص آنهایی که در ارتفاعات بالا یا مناطق بسیار گرم قرار دارند خطر کمبود اکسیژن وجود دارد. در کشور ما نیز تلفات ماهیان در اثر کمبود اکسیژن در برخی منابع آبی گزارش شده است.

پدیده‌هایی مثل شکوفایی جلبک[۲] و یا یخ زدگی کامل سطح منابع آبی بسیار کم عمق در طبیعت می‌توانند سبب کمبود اکسیژن و تلفات ماهی باشند. آلودگی منابع آبی دیگر، نظیر رودخانه‌هایی که فاضلابهای صنعتی و کشاورزی را دریافت می‌کنند می‌توانند سبب کمبود اکسیژن محلول در این منابع طبیعی باشند. البته این یک بحث کاربردی است که یا آلودگیها سبب کمبود اکسیژن می‌شوند یا این که با تأمین اکسیژن می‌توان آلودگی را برطرف کرد که از حوصله این مقدمه خارج است.

در سیستم‌های مصنوعی پرورش آبزیان، روشهای مختلفی جهت تأمین اکسیژن محلول در آب به کار گرفته می‌شود. مثلاً در پرورش ماهی در قفس، که یک روش بسیار متداول پرورش ماهی در جهان امروز است اصل بر این است که جابه جایی آب قفسها با

---

1- Diffusion

2- Algal bloom

آبهای مجاور از طریق چشمه‌های تور قفس می‌تواند تأمین کننده اکسیژن مورد نیاز ماهیهای مورد پرورش باشد و در عین حال ضایعات و مواد سمی ایجاد شده را برطرف کند.

همچنین در سیستمهای موسوم به پرورش ماهی درپن[۱] یا پرورش ماهی در کانالها[۲] تأمین اکسیژن مورد نیاز انبوه ماهیان پرورشی از طریق برقراری جریان دایم آب در استخر امکان پذیر است. یکی از این نمونه‌ها که در کشور ما هم وجود دارد، پرورش ماهیان قزل‌آلا در استخرهای دراز سیمانی است که باتراکم به نسبت بالا صورت می‌گیرد (۱۰-۱۵کیلوگرم ماهی در یک متر مکعب آب) که هنوز هم تنها منبع تأمین اکسیژن محلول در آب، عبور جریان آب غنی از اکسیژن از استخرهای ماهی است.

به طور کلی در تمام آبهای راکد وبخصوص استخرهای خاکی پرورش ماهیان گرمابی، کمبود اکسیژن محلول اغلب از طریق به کارگیری پمپها و دستگاه‌های مخصوص هوادهی جبران می‌شود. مثلاً، یک نمونه از پرورش ماهی در آبهای راکد پرورش ماهی در اکواریوم است که به کمک پمپ دمندهٔ هوا در آب صورت می‌گیرد. در سیستمهای متراکم و پرورش ماهی در مخازن فایبرگلاس و غیره تزریق اکسیژن خالص نیز مرسوم است.

امروزه دستگاه‌های تولید اکسیژن خالص از هوا و آب، بخشی از ابزار پرورشی آبزیان هستند که در سیستمهای فوق متراکم[۳] به کار گرفته می‌شوند. در کتاب حاضر، ابتدا موضوع اهمیت و نقش اکسیژن در پرورش آبزیان و سپس تغییرات طبیعی مقدار اکسیژن محلول در استخرهای خاکی پرورش ماهیان گرمابی مورد بررسی قرار گرفته و سرانجام علل کمبود اکسیژن و راههای جبران کمبود اکسیژن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در نهایت، انواع هوا دهنده‌های موجود در جهان و چگونگی استفادهٔ صحیح از آنها شرح داده شده است.

---

1- Pen Culture

2- Race way culture

3- Super intensive

# بخش اوّل

## ۱- اهمّیت اکسیژن محلول در آب و نقش آن در تولید

بسیاری از پرورش دهندگان ماهی بر این باورند که اگر تلفات ماهی در استخر ندارند بنابراین، مشکلی با اکسیژن محلول در آب ندارند. به عبارت دیگر، تصور عامیانه براین است که اگر کمبود اکسیژن محلول در استخر وجود داشته باشد ماهیها به صورت دسته جمعی تلف خواهند شد و این یک باور غلط است.

زیرا در حقیقت مرگ، آخرین مرحله از تغییراتی است که از مدتها قبل شروع شده و در رشد و سلامتی و تولید، اثرات مخرب بر جای گذاشته است و آنقدر ادامه پیدا کرده و ماهیها را تحت فشار قرار داده که سرانجام به مرگ آنها منجر شده است. بدیهی است، این تغییرات قبل از مرگ در ماهی اغلب نامرئی است و از چشم پرورش دهنده دور می‌ماند.

به هر حال در اغلب حالتها این تغییرات به مرگ منجر نمی‌شود. در این صورت اثرات متنوع و گوناگونی روی ماهی به جای می‌گذارد. از دیدگاه یک پرورش دهنده، مهمترین مسأله رشد و تولید ماهی است که بیشتر از هر چیز تحت تأثیر کمبود اکسیژن قرار می‌گیرد.

### ۱-۱- اکسیژن محلول و حیات ماهی

همان‌گونه که در قبل اشاره شد، ماهیها موجودات زنده‌ای هستند که بیشتر از اکسیژن محلول در آب به عنوان یک گاز حیاتی که برای سوخت وساز و بقا خود به آن نیاز دارند، استفاده می‌کنند. این گاز ابتدا توسط سیستم برانش باید از آب جدا شده و جذب خون شود.

نگاهی به شکل ظاهری برانش و فیزیولوژی گردش خون در برانش نشان می‌دهد که ماهیها در طول حیات و تکامل خود برای جذب اکسیژن محلول از آب به بهترین شکل ممکن، سازگاری یافته‌اند. در حقیقت پرورش دهنده ماهی، لازم است بداند آن چیزی که با چشم معمولی در برانش ماهی دیده می‌شود از نظر وسعت سطح تماس با آب، صدها برابر کمتر از چیزی است که در عمل وجود دارد. وقتی ماهی در آب قرار دارد همزمان با جریان یافتن آب در لابه لای تارهای برانشی[1] تمام این تارها از هم باز شده و سطح تماس آب با خونی که در کیسه‌های همین تارها وجود دارد افزایش پیدا می‌کند. از طرف دیگر جهت جریان خون در برانش ماهی با جهت جریان آب از لابه‌لای تیغه‌های برانش، عکس همدیگر هستند که این حالت، فرصت کافی را به منظور جذب اکسیژن محلول از آب، به درون‌خون‌به‌وجودمی‌آورد.

همچنین، لازم است پرورش دهندهٔ ماهی بداند که انتقال اکسیژن از محیط آب به جریان خون، در کل از همان قوانینی تبعیت می‌کند که اکسیژن هوا به درون آب منتقل می‌شود. در مورد پدیدهٔ انتشار گازها و قوانین مربوط به آن در آینده بحث خواهد شد.

اگر چه سیستم فوق‌الذکر همانند سایر ارگانیسمهای خلقت بسیار استادانه و به بهترین وجه ممکن برای جذب اکسیژن محلول در آب طراحی شده، اما نباید فراموش کرد که استخر پرورش ماهی یک محیط بسته است و تحت اختیار مدیریت آن مزرعه قرار دارد. در اینجا مدیریت استخر باید به موضوع آگاهی کافی داشته باشد و از قرار دادن ماهیان در شرایطی که نتوانند اکسیژن کافی رامورد استفاده قرار دهند خودداری کند.

در بسیاری از بیماریها که برانش ماهی دچار ضایعات می‌شود، علی‌رغم وجود اکسیژن محلول کافی در آب، ماهی توانایی جذب آن را ندارد ومرگ ماهی در اثر خفگی اتفاق می‌افتد. بعضی اوقات واکنش دفاعی خود ماهی در مقابل هجوم انگل باعث این خفگی می‌شود بدین معنی که تمام سطح برانش از یک لایه مخاطی ضخیم پوشیده می‌شود. بدیهی است، در چنین

---

1- Gill Filaments

شرایطی، ماهی قادر به تنفس نیست حتی اگر اکسیژن محلول در آب کافی باشد.

گاهی نیز در اثر کمبود اکسیژن محلول در آب، فقط چند قطعه ماهی تلف می‌شود. حال آن که اغلب کمبود اکسیژن محلول در آب باید به تلفات دسته جمعی ماهیان منجر شود و بر حسب تحمل و اندازه ماهی تلفات انجام گیرد. در جایی که فقط چند قطعه ماهی دراثر کمبود اکسیژن تلف شوند می‌توان، انتظار داشت اینها ماهیانی بوده‌اند که برانش سالم نداشته‌اند. در حقیقت کمبود اکسیژن در حدی که تمام ماهیان را بکشد نبوده است و فقط آنهایی که مشکل در جذب اکسیژن داشته‌اند زودتر از بقیه تلف شده‌اند.

به طور کلی مرگ ماهیان در اثر کمبود اکسیژن دارای علایمی است که با تلفات ناشی ازسایر عوامل و بیماریها متفاوت است، به طور خلاصه این علایم عبارتند از:

* - *تلفات اغلب به طور دسته‌جمعی اتفاق می‌افتد.*
* - *قبل از بروز تلفات، ماهیان (کپور ماهیان) به طور دسته‌جمعی در سطح آب دیده می‌شوند و سعی می‌کنند هوا را ببلعند.*
* - *ابتدا ماهیان درشت‌تر می‌میرند.*
* - *از نظر نوع ماهی در میان ماهیان پرورشی گرمابی ابتدا گونه کپور نقره‌ای تلف می‌شود و پس از آن ماهیان آمور و اگر کمبود اکسیژن شدید باشد و ادامه پیدا کند در نهایت ماهی کپور معمولی نیز خواهد مرد.*
* - *تلفات ناشی ازکمبود اکسیژن اغلب صبح زود اتفاق می‌افتد.*
* - *ماهیان مرده اغلب با دهان باز مرده‌اند.*

در عمل تلفات دسته جمعی ناشی از بیماریهای میکروبی و یا تلفات دسته جمعی ناشی از مسمومیت، ممکن است اتفاق بیفتد. به هر حال در تمام موارد نحوه تلفات با کمبود اکسیژن تفاوتهای آشکار دارد.

برخی ازمحققین عقیده دارند که ماهی قادر است کمبود اکسیژن را حس کند و در نتیجه قبل از این که دچار مشکل شود به دنبال محلی می‌گردد که در آن میزان اکسیژن محلول در

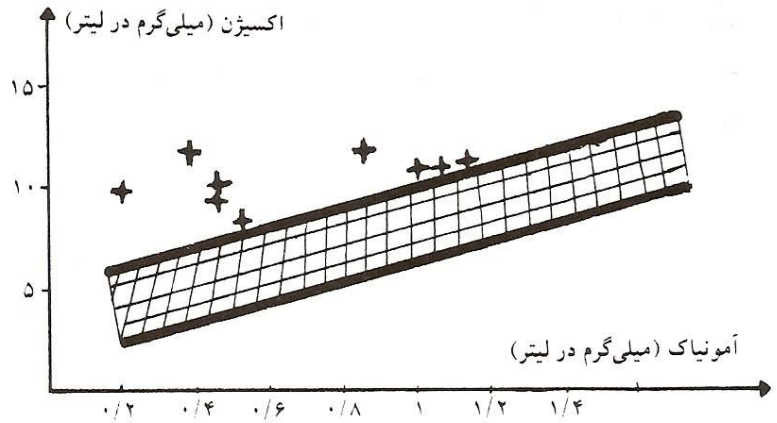
آب بالاتر است واگر در این راه موفق نشود و مقدار اکسیژن باز هم کمتر شود ماهی شروع به افزایش حرکات تنفسی خود می‌کند و ادامه این وضعیت به جایی می‌رسد که ماهی به دلیل کاهش اکسیژن دیگر نمی‌تواند حرکات تنفسی خود را باز هم افزایش دهد واگر کمبود اکسیژن باز هم ادامه پیدا کند، ضربان قلب کاهش می‌یابد تااینجا هنوز ماهی زنده است امکان برگشت به حیات را دارد ولی مدت زمان تحمل این وضعیت بستگی به گونه ماهی و شرایط دارد که در این مورد در آینده بحث خواهد شد.

### ۲-۱- اکسیژن محلول و وجود سم در مواد مختلف درون آب

به عنوان یک قاعده کلی وجود سم در مواد درون آب در حضور اکسیژن محلول کافی، کاهش یافته وبرعکس در شرایط کمبود اکسیژن محلول افزایش می‌یابد.

یک مثال نمونه در این مورد، حد کشندگی آمونیاک است. آمونیاک غیر یونیزه ($NH_3$) ماده‌ای است سمی که از تجزیه برخی مواد مثل کودهای حیوانی و پروتئینها در استخر تولید می‌شود. حد کشندگی ($LC_{50}$) این ماده برای کپور ماهیان ۱-۱/۵ میلی‌گرم در لیتر و برای آزاد ماهیان ۰/۵-۰/۸ میلی‌گرم در لیتر است اما در شرایط کمبود اکسیژن محلول در آب، حد کشندگی ($LC_{50}$) این ماده به ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر هم می‌رسد. در نمودار ۱، این موضوع نشان داده شده است. به طوری که در این نمودار مشاهده می‌شود زمانی که اکسیژن محلول در آب زیر ۵ میلی‌گرم درلیتر است حد کشندگی در ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر آمونیاک است اما زمانی که اکسیژن محلول درآب به ۱۰ میلی‌گرم در لیتر برسد اگر غلظت آمونیاک در آب به ۰/۸ میلی‌گرم در لیتر هم برسد تلفاتی مشاهده نمی‌شود.

موضوع دیگری که نباید از نظر دور بماند، این است که ورود اغلب مواد شیمیایی و سمی که نقش کشنده‌ای در جمعیتهای آبزیان دارند قبل از آن که به طور مستقیم ماهیها را بکشند با گرفتن اکسیژن آب باعث خفگی ماهیها می‌شوند.این موضوع در بخشهای بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.




*نمودار ۱ - حد کشندگی آمونیاک در آب با اکسیژن محلول کافی*

** توجه: بر خلاف وجود آمونیاک محلول با غلظت بالا در آب در ماههای اسفند تا فروردین، به علت وجود اکسیژن محلول کافی هیچگونه صدمه‌ای به ماهی واردنشده‌است.*

### ۳-۱- اکسیژن، تغذیه، رشد، سلامتی و تولید مثل ماهیان

کمبود اکسیژن محلول در آب گرفتن غذا توسط ماهی و هضم و مصرف آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کارشناسان عقیده دارند کمبود اکسیژن محلول در آب در اقتصاد پرورش ماهی بسیار مؤثر است. در شرایط کمبود اکسیژن، ماهی اشتهایی برای خوردن غذا ندارد و اگر هم بخورد. ممکن است به مرگ ماهی منجر شود. بنابراین، در مزارع پرورش ماهی متراکم، به محض مشاهدهٔ کمبود اکسیژن محلول، تغذیه ماهیها راکاهش داده یا قطع می‌کنند. از طرف دیگر، اگر پس از مصرف روزانه غذا در استخر کمبود اکسیژن پدید آید، هضم و جذب آن تحت تأثیر منفی قرارگرفته و در نتیجه ضریب تبدیل غذایی (F.C.R) به شدت بالا می‌رود، کاهش مصرف غذا در شرایط مداوم کمبود اکسیژن محلول سبب کاهش رشد در ماهیان و در نتیجه کاهش تولید نهایی استخر خواهد شد.

علاوه بر تغذیه و رشد، سلامتی ماهی تحت تأثیر مستقیم و غیر مستقیم مقدار اکسیژن در استخرهای پرورش ماهی قرار می‌گیرد. در شرایط عادی که اکسیژن محلول در آب در حالت اشباع قرار دارد ماهی احساس شادابی می‌کند خوب غذا می‌خورد و خوب رشد می‌کند

و قدرت مبارزه با بیماریهای مختلف را نیز دارد. کمبود اکسیژن محلول، برای ماهی نوعی فشار بسیار شدید است که زمینه را برای بیمار شدن ماهی مستعد می‌کند. تحقیقات نشان داده است که واکنشهای دفاع اختصاصی و غیر اختصاصی بدن ماهی در شرایط کمبود اکسیژن در آب، بسیار پایین است.

تولید مثل در ماهی نیز به اشکال مختلف از میزان اکسیژن محلول در آب به شدت متأثر می‌شود. اگر ماهیان مولد ماده، مدتی در استخرهایی که کمبود اکسیژن مزمن در آنها وجود دارد قرار گیرند در فصل تولید مثل، تخم‌دهی مناسبی نخواهند داشت به خصوص در مورد کپور ماهیان، این موضوع مهم است که در اوایل بهار و بلافاصله پس از زمستان گذرانی، ماهیان مولد در استخرهایی با آب غنی از اکسیژن قرارداده شوند وگرنه در اواخر بهار که زمان تخمگیری از این ماهیان فرا می‌رسد، ماهیان به عملیات تکثیر جواب نمی‌دهند. رشد تخمدانها و بیضه در ماهیان هر دو در شرایطی امکان‌پذیر است که مشکل کمبود اکسیژن محلول در آب استخر وجود نداشته باشد. درهر مرحله‌ای از رشد تخمدان، چنانچه ماهیها در آبهای فقیر از اکسیژن قرار داده شوند، ممکن است رشد تخمدان یا بیضه متوقف شود. در سالهای دههٔ گذشته که تکثیر کپور ماهیان در مقیاس تجارتی اهمیت زیادی پیدا کرده بود، آزمایشهای زیادی در این مورد صورت گرفت. در یکی از این آزمایشها، ماهیان مولد دارای تخم رسیده و آماده برای تخم دهی به مدت چند ساعت در آب با مقدار اکسیژن محلول زیر ۳ میلی‌گرم در لیتر نگهداری شدند و پس از آن معلوم شد که ماهیان به تزریقات هورمونی و عملیات تخم‌کشی جواب نمی‌دهند. در این آزمایش تعدادی از همین ماهیان به عنوان شاهد در آب دارای ۷ میلی‌گرم در لیتر اکسیژن نگهداری شدند که تخم دهی کاملی داشتند این موضوع اهمیت و نقش مقدار اکسیژن محلول را در تکثیر و تولید مثل نشان می‌دهد. همچنین آمار نشان می‌دهد، در کشور ما اغلب در فصل تکثیر مصنوعی، درصد زیادی از مولدین به تکثیر جواب نمی‌دهند و پس از تزریق هورمون می‌میرند. وقتی به شرایط نگهداری گذشته این مولدین دقت شود، معلوم می‌گردد درصدی از این ماهیان همان‌هایی هستند که در استخرهای کم‌عمق با پوشش گیاهی نگهداری شده‌اند که در این استخرها شب‌ها به طور معمول اکسیژن به زیر ۳ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد.

# بخش دوّم

## ۲- تغییرات اکسیژن محلول در آب

مقدار اکسیژن محلول در آب ثابت نیست و با توجه به عوامل مختلف دایم در تغییر است. این تغییرات در آبهای جاری کمتر ولی در آبهای راکد بیشتر است.

در آب استخرهای پرورش ماهی که راکد است و به طور مرتب کوددهی می‌شود این تغییرات بسیار شدید است. به طوری که در یک شبانه روز ممکن است تا ۴۰۰ درصد اشباع و یا این که به صفر هم برسد. پرورش‌دهنده ماهی لازم است این تغییرات را بداند و علل آن را به طور کامل بشناسد.

در پرورش آبزیان، مقدار اکسیژن محلول را به دو صورت اندازه‌گیری می‌کنند. اول به صورت میلی‌گرم در لیتر و یا قسمت در میلیون (P.P.M) که این دوواحد باهم برابر هستند و دوم به صورت درصد اشباع. زمانی که آب اکسیژن به طور کامل اشباع شده باشد، گفته می‌شود مقدار اکسیژن اشباع ۱۰۰ درصد است. آب در هر دمایی با توجه به فشار هوا و غلظت نمک با مقدار معینی اکسیژن محلول، اشباع می‌گردد. در پرورش ماهی کافی است به درجه حرارت آب توجه شود. جدول یک مقدار اکسیژن محلول در آب را در حالتی که به طور کامل از اکسیژن اشباع باشد، در دماهای مختلف نشان می‌دهد.

*جدول ۱ - میزان اکسیژن محلول در آب در درجه حرارتهای مختلف*

| درجه حرارت (سانتی‌گراد) | اکسیژن محلول (میلی‌گرم در لیتر) |
|---|---|
| ۱ | ۱۴/۶۵ |
| ۲ | ۱۴/۲۵ |
| ۳ | ۱۳/۸۶ |
| ۴ | ۱۳/۴۹ |
| ۵ | ۱۳/۱۳ |
| ۶ | ۱۲/۷۰ |
| ۷ | ۱۲/۴۶ |
| ۸ | ۱۲/۱۴ |
| ۹ | ۱۱/۸۴ |
| ۱۰ | ۱۱/۵۵ |
| ۱۱ | ۱۱/۲۷ |
| ۱۲ | ۱۰/۷۵ |
| ۱۳ | ۱۰/۶۰ |
| ۱۴ | ۱۰/۲۶ |
| ۱۵ | ۱۰/۰۳ |
| ۱۶ | ۹/۸۲ |
| ۱۷ | ۹/۶۱ |
| ۱۸ | ۹/۴۰ |
| ۱۹ | ۹/۲۱ |
| ۲۰ | ۹/۰۲ |
| ۲۱ | ۸/۸۴ |
| ۲۲ | ۸/۶۷ |
| ۲۳ | ۸/۵۰ |
| ۲۴ | ۸/۳۳ |
| ۲۵ | ۸/۱۸ |
| ۲۶ | ۸/۰۲ |
| ۲۷ | ۷/۸۷ |
| ۲۸ | ۷/۷۲ |
| ۲۹ | ۷/۵۷ |
| ۳۰ | ۷/۴۴ |

پس چنین نتیجه می‌گیریم، یکی از علل تغییرات مقدار اکسیژن محلول در آب تغییر دمای آب است. عوامل دیگری نظیر تغییر در فشار و تغییرات نور (شبانه روز) هم دخیل هستند.

## ۱-۲- علل عمده تغییرات اکسیژن محلول در آب

به طور کلی دوگروه از عوامل در این تغییرات دخالت دارند. گروه اول فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب، گروه دوم تولیدکنندگان و مصرف کنندگان اکسیژن محلول.

### *۱-۱-۲- مهمترین فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب*

**الف - درجه حرارت آب:** دما به طور مستقیم و غیر مستقیم در مقدار اکسیژن محلول در آب اثر می‌کند. افزایش درجه‌حرارت آب به طور مستقیم می‌تواند باعث خروج گاز اکسیژن از آب شود. در کل، آبهای گرم ظرفیت نگهداری اکسیژن کمتری نسبت به آبهای سرد دارند. اگر ظرفی را که محتوی آب است روی چراغ بگذاریم و کناره‌های ظرف را نگاه کنیم می‌بینیم حبابهای کوچکی از محیط آب به بیرون می‌روند. اینها گازهای محلول در آب

هستند که به علت گرم شدن آب و بـه حـرکت در آمـدن مـولکولهای آب از مـحیط خـارج می‌شوند. هر چه دمای آب بالاتر رود مقدار اکسیژن محلول در آن، از نظر عددی کمتر است به طوری که در جدول مشاهده می‌شود، آب ۳۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به آب صفر درجه سانتی‌گراد، به تقریب نصف اکسیژن دارد و این در حالی است که آب ۱۰۰ درصد از اکسیژن اشباع شده‌باشد.

درجه حرارت اثرات غیرمستقیم دیگری در تغییر اکسـیژن مـحلول در آب دارد کـه در گروه دوم تغییر دهندگان مقدار اکسیژن قرار دارند.

**ب - فشار جو:** در کل هر چه فشار هوا کمتر باشد، مقدار اکسیژن محلول در آب ازنظر عددی کمتر خواهد بود. دریاچه‌های مناطق کوهستانی که در ارتفاعات بالا قرار دارند مقدار اکسیژن محلول در آب کمتری دارند.

این موضوع از نظر پرورش ماهی، در جایی اهمیت دارد که پرورش دهنده ماهی بداند در صورت تغییر ناگهانی در فشار هوای جو، روی اکسیژن محلول در آب استخر اثر می‌گذارد. زیرا، محل پرورش ماهی ازنظر ارتفاع ثابت است. اما فشار هوا در یک منطقه همیشه ثابت نیست. اغلب قبل از توفانها فشار هوا پایین می‌آید. در هواشناسی پدیده‌ای به نام فروبار یا ایجاد مرکز کم فشار وجود دارد که در آن زمان به طور معمول مقادیری از اکسیژن محلول در آب به هوا برمی‌گردد. در مزارع پرورش ماهیان گرمابی که به اسـتخرهای خـود کـود حیوانی زیادی می‌دهند همزمان با این پدیده، مقادیری از گازهای سمی محبوس شـده در لجن کف استخر به علت کاهش فشار، از کف آزاد شده و به طرف بالا حرکت می‌کنند و در این مسیر گاهی مقداری از آنها درآب حل می‌شود. پرورش دهندگان ماهی، به این پدیده گاز گرفتگی استخر می‌گویند.

**ج - غلظت نمک:** آبهای شور کمتر از آبهای شیرین اکسیژن را در خود می‌توانند نگهداری کنند اما این موضوع در پرورش ماهی اهمیت چندانی ندارد.

### ۲-۱-۲- *تولید و مصرف اکسیژن محلول*

تغییرات اکسیژن محلول در آب در یک مدت زمان مشخص را می‌توان، به وسیلهٔ معادلهٔ زیر محاسبه کرد:

$$O_2'' - O_2' = P - R - Y \pm A$$

$O_2'' - O_2'$ = تغییرات اکسیژن.

P = تولید اکسیژن محلول در آب که از طریق فتوسنتز توسط زی‌شناوران گیاهی،خزه‌ها، جلبکها و گیاهان سبز صورت می‌گیرد.

R = مقدار اکسیژن مصرف شده توسط تنفس، باکتریها، زی‌شناوران جانوری و مواد شیمیایی.

Y = مقدار اکسیژن تثبیت شده در کف استخر (لجن).

$\pm$ A = مقدار اکسیژن حل شده در آب از طریق هوا یا مقدار اکسیژنی که از آب به هوا برمی‌گردد.

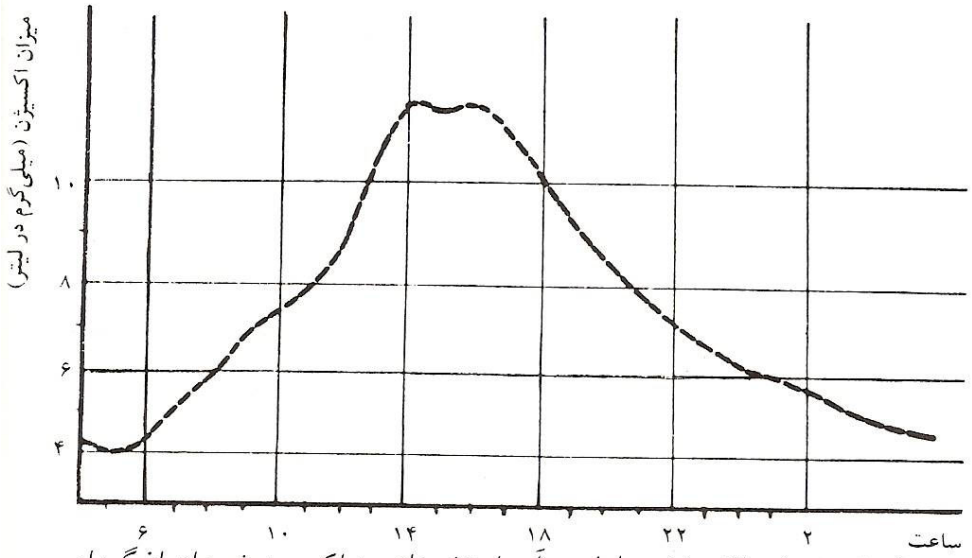
به طوری که در معادله فوق، مشخص است منابع تأمین اکسیژن و تولید آن فقط توسط موجودات گیاهی و گاهی اوقات هم هواست یعنی دو مقدار P و $\pm$ A تنها منابع تأمین اکسیژن در آب استخر هستند. حال به بررسی این دوعامل می‌پردازیم.

**الف - تولید اکسیژن در آب استخرها**

● *تولید اکسیژن از طریق پدیده فتوسنتز در استخرها* : مهمترین علت تغییرات شبانه‌روزی اکسیژن در آب استخرهای پرورش ماهی، پدیدهٔ فتوسنتز با نور است، فتوسنتز با نور عملی است که در طی آن اکسیژن به عنوان محصول جانبی تولید می‌شود.

محصول اصلی این پدیده تولید قند است. در این پدیده گاز کربنیک محلول در آب مصرف شده و تحت اثر نور خورشید تبدیل به مواد قندی و اکسیژن می‌شود.

$$۶Co_2 + ۶H_2O \xrightarrow{\text{نور خورشید}} C_۶H_{۱۲}O_۶ + ۶O_2$$

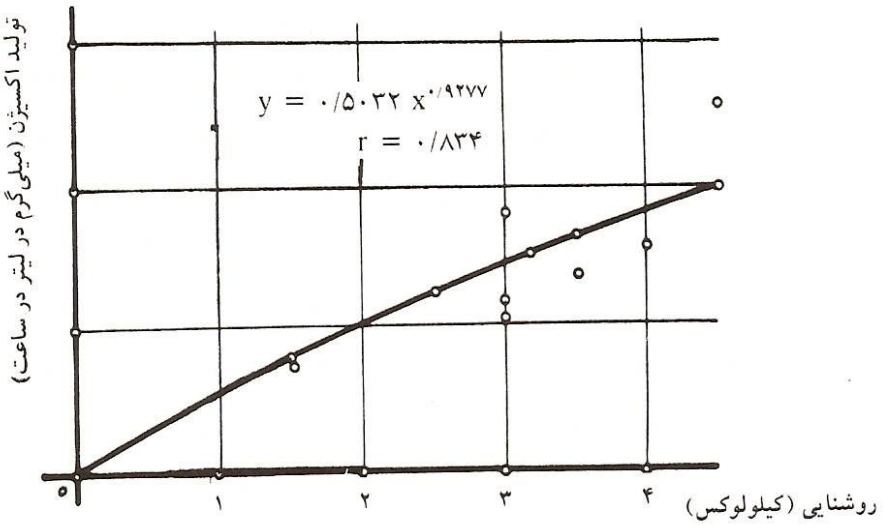



*نمودار ۲- تغییرات اکسیژن محلول در آب استخرهای متراکم پرورش ماهیان گرمابی*

فتوسنتز از صبح زود به تدریج شروع می‌شود و در همین حال اکسیژن محلول در استخرها کم‌کم افزایش پیدا می‌کند. همان‌طوری که در نمودار ۲ دیده می‌شود بیشترین مقدار اکسیژن محلول در آب استخرهای پرورش ماهی، در ساعتهای اولیه بعد از ظهر دیده می‌شود. در بعضی حالتها مقدار آن خیلی بیشتر از حد اشباع است. در ساعتهای آخر بعد از ظهر فتوسنتز با نور به سرعت کاهش پیدا می‌کند و کمترین میزان آن در ماههای تابستان و در طول شب اتفاق می‌افتد.

همه موجودات زنده‌ای که کلروفیل دارند و در استخر زندگی می‌کنند می‌توانند از دی‌اکسید کربن ($Co_2$) و با مصرف انرژی خورشید، تولید کربوهیدرات یا قند کنند و در این میان اکسیژن تولید شده به تدریج در آب حل می‌شود.

در استخرهای عمیق، بیشترین مقدار اکسیژن حل شده در آب را زی‌شناوران گیاهی تولید می‌کنند اما در استخرهای کم‌عمق گیاهان آبزی - جلبکها و خزه‌های کف استخر نقش اصلی را به عهده دارند.




*نمودار ۳- رابطه بین تولید اکسیژن محلول در آب و روشنایی*

شدت نور اثر خیلی مهمی بر فتوسنتز و در نتیجه تولید اکسیژن دارد.علاوه بر این، حرارت هم مهم است زیرا واکنشهای فتوسنتز در حرارت بالا با شدت بیشتر صورت می‌گیرد. در نمودار ۳ رابطه بین شدت نور و تولید اکسیژن محلول در آب مشاهده می‌شود.

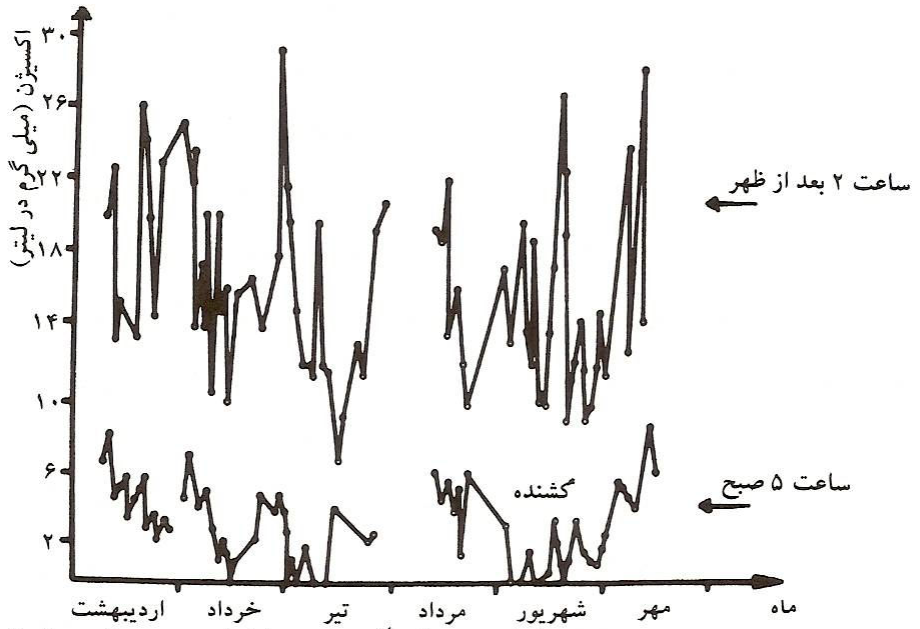
در روزهای ابری و غبارآلود که شدت اشعهٔ نوری هوا کمتر است و یا در اواخر تابستان که طول مدت روز کوتاه می‌شود میزان اکسیژن تولیدی کمتر است. حتی ممکن است آنقدر نباشد که جوابگوی نیازهای تنفسی موجودات زنده در طول شب باشد.

البته گفته می‌شود که تنفس موجودات زنده در زمانی که اکسیژن محلول در آب کمی کمتر از حد اشباع است اندکی کاهش پیدا می‌کند و بنابراین، مصرف کمتر خواهد بود، اما به هر حال در حدی که تولید کمتر بوده مصرف کمتر نخواهد شد، بنابراین فرایند تولید و مصرف صفر و به اصطلاح «خرج از دخل» بیشتر می‌شود.

حالتهای فوق، به طور مکرر در پرورش ماهیان گرمابی پیش می‌آید. در انتهای فصل پرورشی که توده زنده ماهی در استخر در حالت حداکثر می‌باشد و از طرف دیگر طول مدت

روشنایی روز کوتاه و یا تعداد روزهای ابری بیشتر می‌شود و سرانجام در زمانی که دمای آب بالاست و فعالیتهای پرورشی در حداکثر قرار دارد، احتمال کمبود اکسیژن زیاد می‌شود و اکسیژن محلول به تدریج پایین می‌آید و به تقریب هر شب تا نزدیک صفر پیش می‌رود. مطالعات نشان داده است که اگر مقدار اکسیژن محلول در آب در ساعتهای اولیه بعد از ظهر به ۱۰-۱۲ میلی‌گرم در لیتر نرسد و میزان اکسیژن در طلوع آفتاب روز بعد، خطرناک خواهد بود و بسته به طول مدتی که اکسیژن کم است می‌تواند به مرگ و میر ماهیها منجر شود.

همچنین فتوسنتز در استخرهای غنی از زی‌شناوران گیاهی خود در اواسط روز می‌تواند به صورت مانعی برای تولید بیشتر باشد. زیرا با افزایش بیش از حد زی‌شناوران گیاهی قابلیت نفوذ نور به اعماق آب کاهش می‌یابد و زی‌شناوران گیاهی همانند پرده‌ای سطح آب را می‌پوشانند. این بسیار مهم است زیرا در استخرها، تولید به لایه‌های سطحی آب محدود می‌شود و بنابراین مقدار تولید جوابگوی مصرف اکسیژن در لایه‌های پایین‌تر نیست. ادامه این وضع حتی می‌تواند به برهم خوردن تعادل مواد موجود در استخر منجر شود به طوری که در حالتهای بحرانی، تلفات سنگین در خود زی‌شناوران نیز اتفاق می‌افتد.




*نمودار ۴- غلظت اکسیژن محلول در سطح آب (دو زمان ۵ صبح و ۲ بعد از ظهر)*

● *حل شدن اکسیژن در آب ازطریق هوا* : در حالی که تولید اکسیژن به وسیلهٔ فتوسنتز فقط به تابش نور و تا حدی هم به درجه حرارت بستگی دارد، حل شدن اکسیژن در آب ازطریق هوا وابسته به عوامل زیر است:

- دمای هوا
- فشار هوا
- غلظت نمکهای محلول در آب
- اختلاف غلظت اکسیژن محلول در آب و هوا

با توجه به عوامل فوق، واضح است که همیشه اکسیژن از هوا به داخل آب حل نمی‌شود بلکه، برعکس آن هم وجود دارد. زیرا اگر اختلاف غلظت اکسیژن محلول در آب با هوا بر عکس باشد و یا فشار کمتر باشد عکس آن اتفاق می‌افتد. به همین دلیل حرف A در فرمول ارائه شده دارای علامت (+ یا -) است. یعنی این که گاهی اوقات تنها تأمین کنندهٔ اکسیژن پدیده فتوسنتز است و هوا نیز یک عامل مصرف کننده به حساب می‌آید.

در هر حال، حل شدن اکسیژن در آب یا برگشت اکسیژن از آب به هوا، تحت اثر پدیده‌ای به نام انتشار صورت می‌گیرد.

● *انتشار طبیعی اکسیژن به وسیلهٔ باد در آب* : انتشار یا نفوذ طبیعی اکسیژن به داخل آب به دلیل اختلاف فشار جزئی[1] اکسیژن موجود در هوا اتفاق می‌افتد. فشار اکسیژن هوا اغلب ثابت است. بنابراین مقدار اکسیژنی که به داخل آب منتشر می‌شود بستگی به مقدار اکسیژن اشباع لایه‌ای از آب دارد که با هوا در تماس است. در آبهای راکد لایه سطحی آب به سرعت با اکسیژن هوا اشباع می‌شود و از آنجا به آهستگی به پایین جریان می‌یابد، میزان انتقال تودهٔ اکسیژن که تعیین کنندهٔ میزان اکسیژن انتقال یافته است (گرم اکسیژن در متر مربع سطح در ساعت) خیلی متغیر است به طوری که بعضی از دانشمندان معتقدند، می‌تواند بین

1- Partial Presure

آب استخرهای پرورشی ماهی یک ترکیب زیست شناختی بسیار پیچیده است. بنابراین، مصرف اکسیژن از یک استخر به استخر دیگر و در شرایط مختلف تفاوتهای زیادی دارد.

در استخرهای پرورش ماهی در شرایط مختلف، مصرف کننده اصلی اکسیژن تغییر می‌کند. اگر در یک استخر کوددهی شده ماهی وجود نداشته باشد پس از چند روز که از کوددهی می‌گذرد جمعیت زی‌شناورجانوری به شدت زیاد می‌شود و زی‌شناوران گیاهی به مصرف زی‌شناوران جانوری می‌رسند در نتیجه مصرف کننده اصلی اکسیژن زی‌شناوران جانوری هستند. اما اگر در همین استخر ماهی رهاسازی شود زی‌شناوران جانوری به سرعت کاهش پیدا می‌کنند به طوری که جمعیت باقیمانده آنها در حدی نیست که تأثیر قابل ملاحظه‌ای در مصرف اکسیژن استخر داشته باشد. به طور کلی به نظر می‌رسد کودهای حیوانی و مواد آلی دیگر مثل باقیماندهٔ غذاها، علوفه‌های تر، ساقه‌های یونجه و مدفوع ماهیان در اکثر موارد مصرف کننده عمدهٔ اکسیژن هستند در حقیقت، این باکتریهای هوازی هستند که اکسیژن را برای فعالیتهای تجزیه مواد آلی مصرف می‌کنند.

در استخرهایی که پوشش گیاهی شدید دارند گیاهان آبزی درشب به تنهایی قادرند کل اکسیژن محلول آب را مصرف کنند.

مصرف اکسیژن توسط ماهیها نیز به شدت متغیر است و به عوامل و فاکتورهای زیادی بستگی دارد.

● *مصرف اکسیژن توسط ماهی* : گونه‌های ماهیان در طی تکاملشان با شرایط مختلفی سازگاری یافته‌اند. به طور عموم ماهیانی که در آبهایی با جریان زیاد و غنی از اکسیژن زندگی می‌کنند (آزاد ماهیان، قزل‌آلا) مقدار اکسیژن بیشتری نیاز دارند و فقط یک کاهش اکسیژن مختصر می‌تواند ضایعاتی به وجود آورد. ولی ماهیانی که در آبهای راکد و یا با جریان ضعیف زندگی می‌کنند به اکسیژن کمتری نیاز دارند (کپور ماهیان) و قادرند کمبود اکسیژن را برای مدت کوتاهی تحمل نمایند.

برخی ماهیان نیز شناخته شده‌اند که می‌توانند از اکسیژن اتمسفر استفاده کنند. اینها

۰/۰۳تا ۵ گرم در مترمربع در ساعت، بسته به وضعیت آب استخر تغییر کند.

در استخر پرورش ماهی، انتشار بستگی به محلول شدن لایه سطحی آب با هوا دارد که به طور عمده در اثر عمل باد اتفاق می‌افتد. اکسیژن گرفته شده از جو در استخرهای کوچک حدود ۱/۵ گرم در متر مربع در روز است ولی در استخرهای بزرگ که عمل باد شدیدتر است حدود ۴/۸ گرم در متر مربع در روز است عمل انتشار اکسیژن، بسته به درصد اشباع اکسیژن آب می‌تواند بر عکس باشد.

در آبهای با میزان اکسیژن فوق اشباع، اکسیژن از آب به هوا منتشر می‌شود. این نوع انتشار اغلب با مخلوط شدن آب (در اثر باد) همراه است. به طور کامل معلوم است که عمل باد اثرات خوبی روی کیفیت آب استخرهای پرورش ماهی دارد و زمانی که یک مزرعه پرورش ماهی طراحی می‌شود باید به جهت معمولی باد در منطقه توجه شود تا از عمل باد بیشتر استفاده شود.

در استخرهای پرورش ماهی متراکم که تأمین اکسیژن آب به طور مصنوعی انجام می‌شود، عمل باد و انتشار از هوا از اهمیت کمتری برخوردار است.

**ب - مصرف اکسیژن در آب استخرها**

منابع اصلی مصرف اکسیژن درآب همان گونه که در فرمول ارائه شده هم مشهود است عبارتند از:

* - *تجزیه مواد آلی و معدنی توسط باکتریها و به طریق شیمیایی.*
* - *تنفس موجودات‌جانوری اعم‌از ماهیها - زی‌شناوران‌جانوری‌و غیره‌در طی‌شبانه روز.*
* - *تنفس موجودات گیاهی فقط در شب.*
* - *تثبیت در لجن کف استخر.*
* - *خروج اکسیژن از آب توسط پدیدهٔ انتشار در زمانی که آب دارای اکسیژن بیشتر از ۱۰۰ درصد اشباع باشد. در این مبحث ما تا حد امکان به بررسی هر یک از موارد فوق می‌پردازیم.*

اغلب در مناطق استوایی زندگی می‌کنند و تنفس آنها ممکن است با استفاده از اندامهایی مثل روده، کیسهٔ شنا و یا چیزی شبیه به شش و یا تنفس جلدی باشد. مصرف اکسیژن به وسیلهٔ ماهی به طور معمول به صورت میلی‌گرم بر وزن بدن یا کیلوگرم در ساعت نشان داده می‌شود. به مقدار اکسیژنی که ماهی برای گذران اعمال حیاتی خویش مصرف می‌کند بدون این که غذا بخورد یا شنا کند «***مصرف اکسیژن استاندارد***» گویند. مصرف اکسیژن استاندارد به هیچ وجه به درصد اکسیژن اشباع آب بستگی نداشته و به طور عمده به درجه حرارت آب بستگی دارد. نمودار ۵ نشاندهندهٔ رابطهٔ بین درجه حرارت و مصرف اکسیژن استاندارد است که براساس تجارب برخی محققین ارائه شده است (در کار پرورش ماهی از واژهٔ «مصرف اکسیژن فعال» استفاده می‌شود و آن اکسیژن مصرف شده برای شنا و تغذیه است. مصرف اکسیژن فعال توسط ماهی تاکنون بسیار به ندرت اندازه‌گیری شده و این به دلیل پاره‌ای مشکلات تکنیکی در کار اندازه‌گیری آن است).

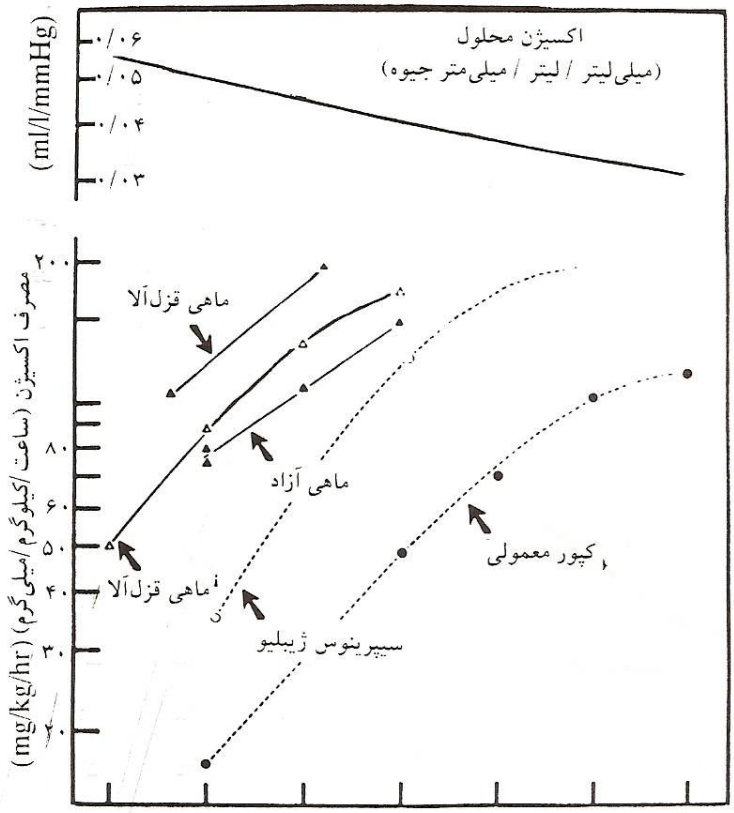
اکسیژن فعال مورد نیازماهی، علاوه بر درجه حرارت آب به فاکتورهای دیگری نیز بستگی دارد. این فاکتورها عبارتند از: $Co_2$ محلول، pH آب، فشار، میزان سوخت و ساز، وزن انفرادی ماهی و غیره. در سالهای اخیر به طور کامل معلوم شده است هر چقدر غلظت اکسیژن محلول در آب بیشتر باشد، تنفس ماهی بیشتر می‌شود. در نمودارهای شماره ۷ و ۸ رابطه بین غلظت اکسیژن محلول درآب و مقدار اکسیژن مصرفی توسط ماهی نشان داده شده است.

همچنین گفته شد که گونه‌های مختلف ماهی، نیازهای متفاوتی (از نظر مقدار) به اکسیژن دارند. یک اندازه‌گیری نشان می‌دهد که اگر مقدار اکسیژن مصرف شده توسط ماهی کپور معمولی عدد یک باشد مصرف سایر گونه‌ها به شرح زیر است:

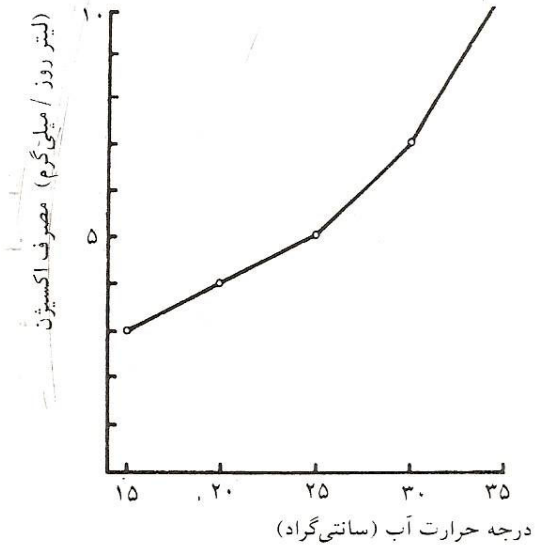
| | | |
|---|---|---|
| ماهی قزل آلا = ۲/۸۳ | ماهی پلد[1] = ۲/۲۰ | اردک ماهی = ۱/۷۶ |
| ماهی رُچ[2] = ۱/۵۱ | ماهی خاویاری بستر = ۱/۵۰ | ماهی سوف = ۱/۴۶ |
| ماهی سیم = ۱/۴۱ | مارماهی = ۰/۸۳ | لای ماهی = ۰/۸۳ |

1- Peled

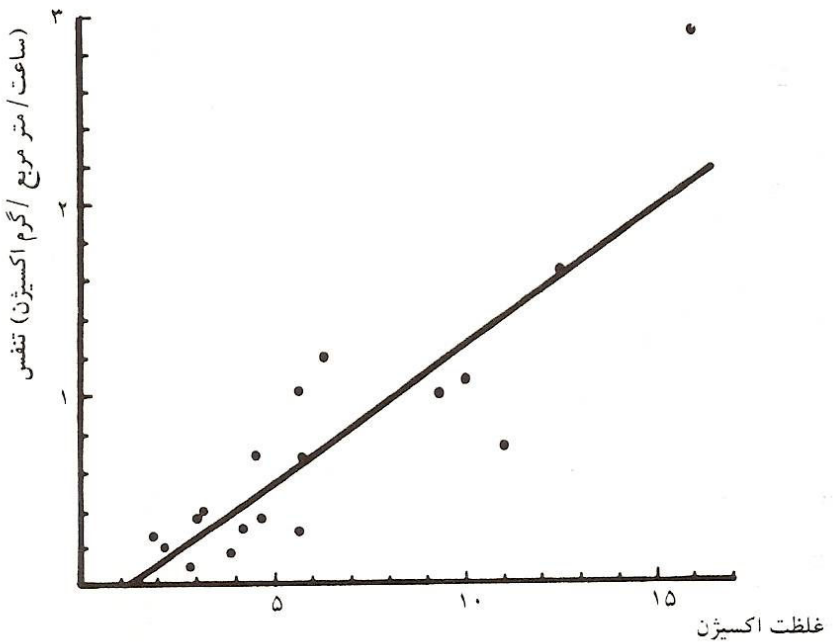
2- Roach




نمودار ۵- مصرف معمول اکسیژن توسط کپور ماهیان و آزاد ماهیان بعد از خوگیری به دمای آب




نمودار ۶- رابطه بین مصرف اکسیژن در استخر و درجه حرارت




*نمودار ۷- رابطه بین غلظت اکسیژن محلول در آب و تنفس*

جداول ۲ و ۳ نشان دهنده مقدار مصرف اکسیژن هستند. در جدول ۲ مصرف اکسیژن ماهی با اندازه‌های مختلف و انگیزه حرکت نشان داده شده است و در جدول ۳ مصرف اکسیژن در ارتباط با درجه حرارت آب آورده شده و نشان می‌دهد مصرف اکسیژن ماهی می‌تواند، بر حسب درجه حرارت تغییرات مهمی بکند که بستگی به فعالیت ماهی دارد.

جدول ۲ نشان می‌دهد که در شرایط یکسان، ماهیان کوچکتر اکسیژن بیشتری مصرف می‌کنند. مصرف اکسیژن فعال توسط ماهی، رابطهٔ دقیقی با مقدار اکسیژن محلول (اکسیژن اشباع) دارد. در نمودار ۸، رابطه درصد اکسیژن اشباع ومصرف اکسیژن فعال توسط چند گونه ماهی نشان داده شده است. نمودار ۹ تغییرات مصرف اکسیژن کپور ماهیان را براساس وزن بدن آنها نشان می‌دهد.

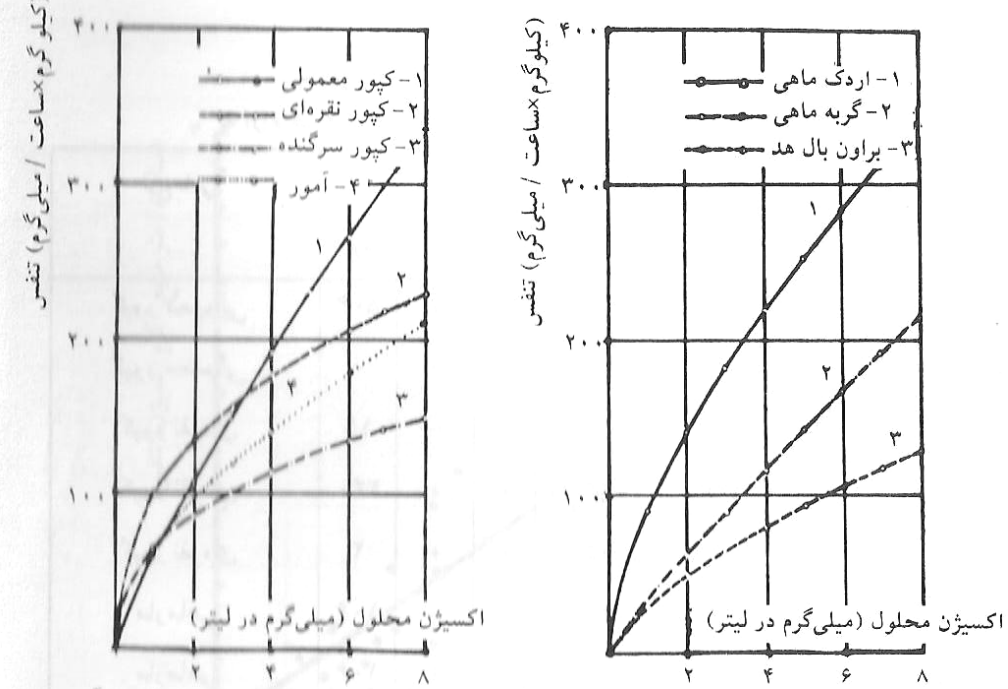
**جدول ۲- مصرف اکسیژن چندگونه ماهی**
**به ازاء هرکیلوگرم وزن بدن ماهی در روز ($O_2$mg/kg/day)**

| نوع‌ماهی | وزن (گرم) | تغذیه | شنا | درجه‌حرارت (سانتی‌گراد) | مصرف‌اکسیژن (میلی‌گرم) | منابع |
|---|---|---|---|---|---|---|
| کپور معمولی | ۸۰۶ | + | – | ۱۲ | ۱۹۲۱ | Nakanishi – ۱۹۷۴ |
| کپور معمولی | – | – | – | ۲۰ | ۱۲۰۰ | Hoston – ۱۹۷۳ |
| کپور نقره‌ای | ۱۵ | – | – | ۲۰ | ۴۵۸۰ | Mohadova – ۱۹۷۷ |
| کپور نقره‌ای | ۲۴۰ | + | + | ۲۳ | ۵۹۴۷ | Velskanov – ۱۹۷۵ |
| کپور نقره‌ای | ۲ | + | + | ۱۵ | ۱۳۸۹۹ | Velskanov – ۱۹۷۵ |
| مارماهی | ۱۰۶ | – | – | ۱۸ | ۹۲۴ | Jedryzkowsi |
| مارماهی | ۱۰۶ | + | – | ۱۸ | ۱۴۳۰ | and fisher – ۱۹۷۳ |
| قزل‌آلای رنگین‌کمان | ۷۳ | + | – | ۱۱ | ۲۹۱۷ | Nakanisi – ۱۹۷۴ |
| قزل‌آلای رنگین‌کمان | – | – | – | ۱۵ | ۳۶۰۰ | Hoston – ۱۹۷۳ |

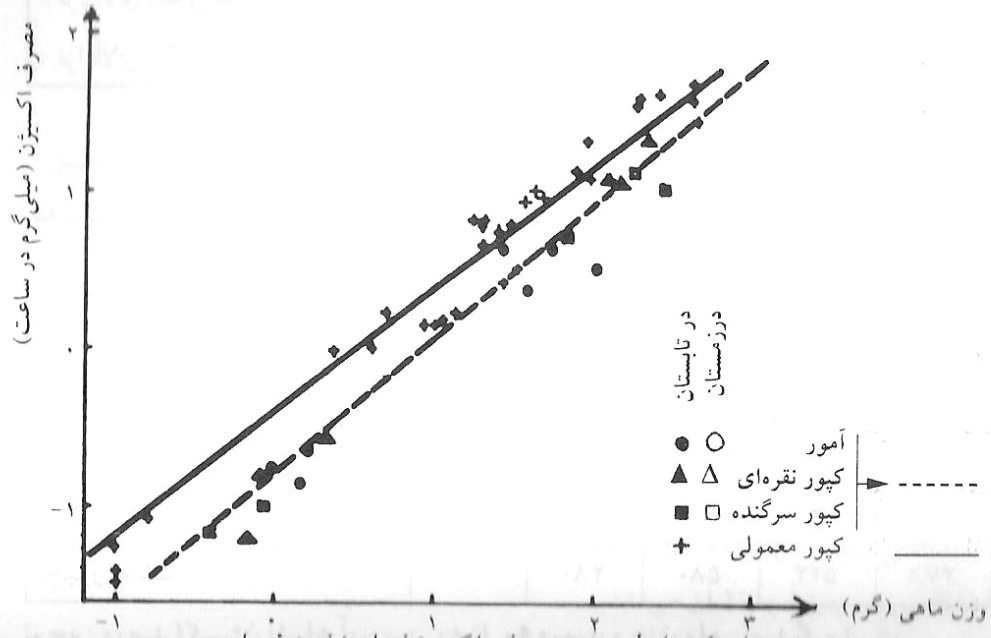
**جدول ۳- مصرف اکسیژن ماهی قزل‌آلای رنگین کمان**
**(میلی‌گرم به ازاء هرکیلو وزن بدن در یک ساعت)**

| درجه حرارت آب (سانتی‌گراد) | ۵ | ۱۰ | ۱۵ | ۲۰ | ۲۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| کاهش سوخت و ساز | ۲۰ | ۲۲ | ۷۲ | ۹۰ | ۱۳۸ |
| شرایط طبیعی بدون استرس | ۱۰۰ | ۱۸۰ | ۲۵ | ۲۸۰ | – |
| سوخت و ساز فعال، تغذیه زیاد | – | – | ۴۷۲ | ۳۶۰ | – |
| مجبور به شنا | – | ۴۸۰ | ۵۸۰ | ۵۴۴ | ۴۷۸ |

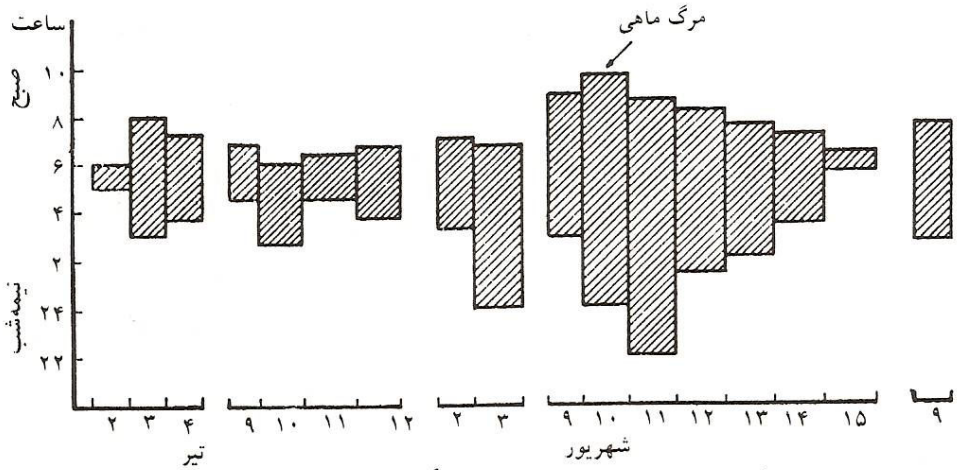
*توجه : درصد اکسیژن اشباع آب بین ۸۰ تا ۹۰ درصد و وزن ماهی صد گرم است.*




نمودار ۸- رابطه بین مصرف اکسیژن چند گونه ماهی و مقدار اکسیژن محلول در آب




نمودار ۹- رابطه بین مصرف اکسیژن با وزن بدن ماهی




*نمودار ۱۰ - طول مدت کمبود اکسیژن در لایهٔ سطحی استخرهای پرورش ماهی (کمتر از ۰/۳ میلی‌گرم درلیتر)*

حد کشندگی کمبود اکسیژن محلول، مقدار اکسیژنی است که یک گونه به خصوص ماهی در یک مدت زمان مشخص نمی‌تواند آن را تحمل کند.

به طوری که در نمودار ۱۰ مشخص شده در یک استخر متراکم و کود داده شده، پرورش ماهی با ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر اکسیژن محلول، تلفات خیلی مهمی روی نداده است. البته در صورتی که مدت زمان کمبود اکسیژن کوتاه باشد، اما بیش از ده ساعت کمبود اکسیژن، تلفات سنگینی را باعث می‌شود.

براساس تحقیقاتی که بر روی پرورش متراکم ماهی کپور در شرایط اروپای مرکزی انجام گرفته است، احتمال کمبود اکسیژن کمتر از یک میلی‌گرم در لیتر اکسیژن محلول از ابتدای تیر تا ابتدای شهریور به تقریب به طور دایم وجود دارد ولی تلفات ناشی از کمبود اکسیژن اغلب در مرداد اتفاق می‌افتد و این مسأله را می‌توان، به این صورت توجیه کرد که در ماه تیر، کمبود اکسیژن فقط یک الی دو ساعت طول می‌کشد ولی در ماه مرداد می‌تواند حتی ۱۲ ساعت طول بکشد. به طور معمول در پرورش ماهی کمبود اکسیژن را بسیار خطرناک توصیف می‌کنند و علت آن تلفات سنگین ماهی است.

● ***مصرف اکسیژن جهت تجزیه مواد آلی و معدنی*** : یکی از عمده‌ترین مصارف اکسیژن محلول در آب استخرهای پرورش ماهی گرمابی، تجزیهٔ مواد است.این تجزیه اغلب توسط باکتریها انجام می‌شود. در طبیعت، مسؤول اصلی کاهش اکسیژن محلول در آب، مواد آلی یا آلودگیها هستند. مواد آلی پس از ورود به آبهای رودخانه‌ها و مردابها اکسیژن محلول را برای عمل تجزیه هوازی و شیمیایی به خود می‌گیرند. برای اندازه‌گیری غلظت کل مواد آلی موجود در آب و قابلیت جذب اکسیژنی آنها در آزمایشگاهها، اغلب مقدار اکسیژن مصرف شده به وسیلهٔ این مواد را اندازه می‌گیرند و به آن اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی[۱] (B.O.D) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (C.O.D) می‌گویند. مقدار C.O.D به وسیله روش کابلا[۲] مشخص می‌شود. در استخرهای پرورش کپور ماهیان و آزاد ماهیان مقدار این عدد نباید به ترتیب بیشتر از ۲۰ تا ۳۰ و ۱۰ باشد و اگر بیشتر شود استفاده از دستگاه هوادهی در استخرها اجباری خواهد بود.

مقدار B.O.D که اغلب مصرف اکسیژن بیوشیمیایی در مدت ۵ روز را اندازه می‌گیرند برای کپور ماهیان نباید بیشتر از ۱۰ و برای آزاد ماهیان بیشتر از ۵ میلی‌گرم اکسیژن در لیتر باشد.

باکتریهای هوازی برای بدست آوردن انرژی مورد نیاز خود جهت تکثیر و غیره، به مواد آلی و معدنی حمله می‌کنند و آنها را تجزیه می‌کنند. این پدیده معدنی شدن[۳] نام دارد.

باکتریهای موجود در آب استخر، از نظر قابلیت مصرف اکسیژن محلول به سه گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از: باکتریهای هوازی که برای تجزیه مواد از اکسیژن محلول در آب استخر استفاده می‌کنند و باکتریهای غیرهوازی که نیازی به اکسیژن محلول در آب ندارند و اکسیژن مواد مورد نیاز خود را از منابع دیگر تأمین می‌کنند و گروه سوم

---

1- Biochemical Oxygen Demand 2- Kabela

3- Mineralization

باکتریهای اختیاری که بر حسب ضرورت به هر دو روش زیست می‌کنند. بدیهی است، ما به دوگروه اخیر کاری نداریم چیزی کـه در مـصرف اکسـیژن اسـتخرها بسـیار مـهم است باکتریهای هوازی هستند.اینها به دو گروه تقسیم می‌شوند:

۱- **باکتریهای هتروتروف:** این دسته از باکتریها، مواد آلی مـوجود در اسـتخر رامـورد مصرف قرار می‌دهند و برای تجزیه این مواد، اکسیژن به مقدار زیاد مصرف می‌کنند.

این پدیده در حقیقت تصفیهٔ طبیعی آبهاست و خاصیت خود پالایی منابع آبی که خود به خود آلودگی را از خود بر طرف می‌کنند به همین شکل است. واکنشهایی که صورت می‌گیرد از این قرار است:

$$\text{مواد آلی} + \text{اکسیژن} \xrightarrow{\text{باکتریهای هوازی}} CO_2 + H_2O + \text{انرژی}$$

انرژی تولید شده از این معادله صرف سوخت و ساز و تولید مثل باکتریها می‌شود.

۲- **باکتریهای اتوتروف:** این دسته ازباکتریها، مواد معدنی را مورد هجوم قرار می‌دهند. زیرا، توانایی حمله به مواد آلی را ندارند. باکتریهای آهن-سولفور و ازت ازاین‌دسته‌هستند.

باکتری ازت، آمونیاک را طی دو مرحله به نیترات تبدیل مـی‌کند. نـیترات مـاده‌ای است معدنی که به شدت مورد نیاز گیاهان و جلبکها و زی‌شناوران گیاهی برای رشد است.

$$NH_3 + O_2 \xrightarrow[\text{باکتری ازت}]{\text{نیتروزوموناس}(1)} No_2 + \text{انرژی}$$

$$No_2 + O_2 \xrightarrow[\text{باکتری ازت}]{\text{نیتروباکتر}(2)} No_3 + \text{انرژی}$$

$$H_2S + O_2 \xrightarrow{\text{باکتری گوگرد}} H_2So_4 + \text{انرژی}$$

---

1- Nitrozomonas

2- Nitrobactria

باکتری آهن، این فلز را به صورت $Fe(OH)_3$ در می‌آورد. این باکتری رشته‌ای شکل است و وقتی مسن شود رنگ آب را قهوه‌ای می‌کند و آب، بو و طعم نامطبوع به خود می‌گیرد. روابط فوق را، می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

| | | |
|---|---|---|
| C – ماده آلی | | $CO_2$ |
| H – ماده آلی | | $H_2O$ |
| N – ماده آلی + $O_2$ | باکتریها ⟶ | $NO_3$ |
| S – ماده آلی | | $SO_4$ |
| P – ماده آلی | | $PO_4$ |

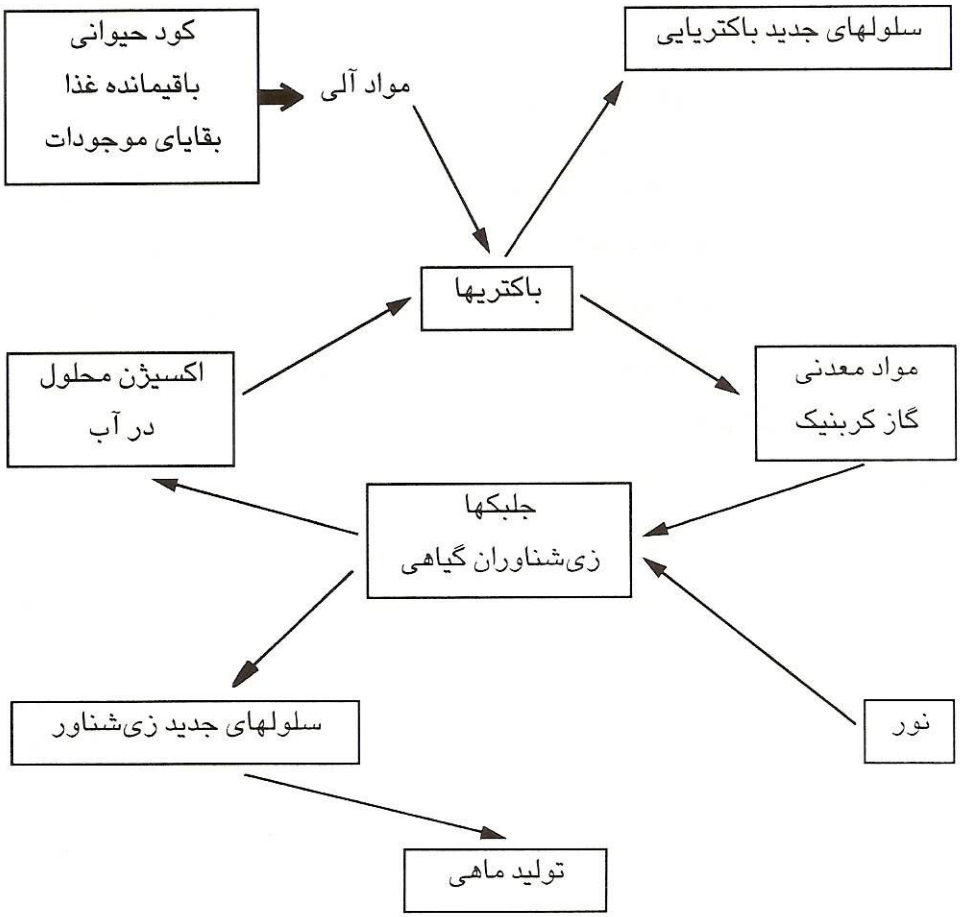
سرعت این واکنشها به درجه حرارت بستگی دارد. بنابر برخی تحقیقات، کاری که این باکتریها در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد ظرف مدت ۶۰ روز انجام می‌دهند در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد ظرف مدت ده روز انجام می‌شود.

اگر چه این واکنشها به اکسیژن به نسبت زیادی نیاز دارند و اکسیژن محلول در آب رامی‌گیرند اما اگر این فعل و انفعالات انجام نشوند وضعیت خطرناکتری در استخر پدید خواهد آمد. مثلاً وقتی که پرورش دهنده ماهی از کود شیمیایی نیترات یا سولفات یا فسفات آمونیوم برای باروری استخر خود استفاده می‌کند در pH بالا، آمونیوم موجود در این کود به صورت آمونیاک در می‌آید ($NH_3$) این ماده سمی و خطرناک است باکتریها آن را به صورت نیترات در می‌آورند تا به فرم ماده‌ای غیرسمی و مفید درآید. به هر حال فلسفه کوددهی به استخرهای پرورش ماهی بر این اصل استوار است. تمام مواد آلی برای این که به فرم قابل جذب زی‌شناوران گیاهی درآیند ابتدا باید این راه را طی کنند و به فرم مواد معدنی قابل جذب درآیند به همین دلیل، پرورش دهندگان ماهی با تجربه در موقع کوددهی همیشه از کودهای تازه استفاده می‌کنند که محتوی باکتریهای بیشتری هستند.

البته، در عدم حضور اکسیژن در محیط آبی نیز این واکنشها کم و بیش ادامه پیدا خواهند کرد. زیرا همان گونه که گفته شد باکتریهای غیرهوازی نیز در آب وجود دارند که می‌توانند

این تجزیه‌ها را انجام دهند. اما، بد نیست بدانید که سرعت دو برابر شدن باکتریهای هوازی بسیار سریع‌تر از سرعت دو برابر شدن باکتریهای غیرهوازی است (در حدود ۳۰ برابر) به همین دلیل، در استخرهایی که دستگاه هوادهی کافی وجود داشته باشد، خطر تجمع مواد آلی در محیط استخر کمتر خواهد بود.

تمام فعل و انفعالات فوق، در استخر پرورش ماهی صورت می‌گیرد. این فعل و انفعالات، در شکل یک نشان داده شده است.




*شکل ۱- تولید و مصرف اکسیژن توسط جلبکها و باکتریها در استخرهای پرورش ماهی*

مصرف اکسیژن طی این فرایندها بستگی به حضور باکتریهای هوازی دارد. اگر باکتریها در محیط نباشند اکسیژن کمتری مورد نیاز خواهد بود اما این یک چرخه بسته است. زیرا، حضور باکتریها خود به حضور اکسیژن وابسته است به همین دلیل در حوضچه‌های تصفیه فاضلاب که سرعت این واکنشها اهمیت بیشتری دارد بالاجبار دستگاه‌های بزرگ هوادهنده برقرار می‌کنند.

مقدار اکسیژن مصرف شده در این واکنشها، بستگی به مقدار مواد آلی دارد. مثلاً، تبدیل مواد آلی کربندار به گاز کربنیک را در نظر می‌گیریم.

$$\text{مواد آلی} - C + O_2 \xrightarrow{\text{باکتریها}} CO_2$$

در این واکنش، به ازاء هر ۱۲ گرم کربن، ۳۲ گرم اکسیژن مصرف می‌شود. مثلاً، فرض کنیم مقداری مواد پوسیده گیاهی که حاوی ۱۲ گرم کربن بوده است به آب وارد شود ۳۲ گرم از اکسیژن محلول در آب گرفته می‌شود و اگر در نظر بگیرید که درهر لیتر آب استخر ۸میلی‌گرم اکسیژن بیشتر وجود ندارد بنابراین، این مقدار کربن، اکسیژن ۴۰۰۰ لیتر آب را خواهد گرفت. البته، این محاسبه در صورتی عملی خواهد شد که هیچ اکسیژنی از بیرون وارد آب نشود و فتوسنتز هم متوقف باشد با این محاسبه ساده حال می‌توان، اکسیژن محلول مورد نیاز جهت تجزیهٔ کامل یک تن کود گاوی را محاسبه نمود. در هر تن کود گاوی، به تقریب ۸۵ کیلوگرم کربن ۴۰ کیلوازت و ۳۰ کیلو فسفر وجود دارد. برای تجزیه کامل این مقادیر به ترتیب ۲۲۶ و ۹۱ و ۳۰ کیلو در جمع ۳۴۷ کیلوگرم اکسیژن مورد نیاز خواهد بود. اگر درهر لیتر آب، ۱۰ میلی گرم اکسیژن وجود داشته باشد این مقدار اکسیژن در ۳۴۷۰۰متر مکعب آب وجود دارد و این رقم دو برابر حجم آب یک هکتار استخر است. ملاحظه می‌شود که اکسیژن مورد نیاز، جهت ده‌ها تن مواد آلی که در طول دوره پرورش به یک هکتار استخر داده می‌شود چقدر زیاد است. به هر حال این محاسبه تئوری است و در عمل تفاوتهای چندی وجود دارد. اول این که استخر یک محیط باز و با هوا در تماس دایم

است به طوری که در مبحث قبل ذکر شده اکسیژن موجود در هوا از طریق پدیدهٔ انتشار وارد محیط آب می‌شود. با وزیدن اندکی باد ممکن است ده‌ها کیلوگرم اکسیژن وارد محیط شود (۰/۰۳تا۵ گرم در متر مربع در هر ساعت)، دوم آنکه این مقدار اکسیژن طی مدت زمان زیادی مورد نیازاست و ممکن است درعمل تجزیه کامل یک تن کود گاوی ۲ ماه به درازا بکشد و سوم آنکه پدیدهٔ فتوسنتز همه روزه علاوه بر تأمین اکسیژن مورد نیاز برای این فعل و انفعالات، اکسیژن محلول در آب را گاهی تا ۴ برابر حد اشباع هم بالا می‌برد با همه این اوصاف، پرورش دهندگان ماهی با تجربه، در کوددهی احتیاط می‌کنند. بهتر است، کودها را به تدریج به استخر وارد کنند همچنین، کوددهی در روزهای ابری انجام نشود و زمان کوددهی در ساعتهای اولیه کار صبح باشد.

● *مصرف اکسیژن درکف استخر*: مصرف اکسیژن در کف استخر به طور عموم بستگی به مصرف موجودات کفزی و تجمع مواد آلی در لجن دارد. به طور کلی آبی که به طور مستقیم با لایهٔ کف استخر در تماس است همیشه دارای اکسیژن محلول کمتری از لایه‌های بالایی است. برخی مطالعات نشان می‌دهد مقدار اکسیژنی که در مدت ۲۴ ساعت در کف استخر جذب می‌شود ۱-۳ گرم در هر متر مربع از کف استخر است اگر عمق آب یک متر باشد مقدار اکسیژن مصرفی در حدود بین ۱-۳ میلی‌گرم در لیتر خواهد بود.

● *مصرف اکسیژن توسط گیاهان* : تمام موجودات گیاهی که در طول روز توسط عمل فتوسنتز اکسیژن تولید می‌کنند پس از قطع روشنایی اکسیژن را مصرف می‌کنند و تولید گاز کربنیک می‌کنند. به عبارت دیگر، هر چه تراکم زی‌شناوران گیاهی در استخر بیشتر باشد از یک طرف در طول روز اکسیژن بیشتری تولید می‌شود و از طرف دیگر در طول شب اکسیژن بیشتری مصرف می‌کنند.

مصرف اکسیژن توسط گیاهان عالی سبز که برگ آنها درداخل آب قرار می‌گیرد و جلبکها و زی‌شناوران گیاهی در شب، بستگی به تراکم آنها در استخر و درجه حرارت آب و غیره دارد.

با توجه به این واقعیت، موجودات گیاهی درشب مصرف کنندهٔ اکسیژن محلول درآب هستند. بنابراین برخلاف مواردی که در قبل در خصوص مصرف اکسیژن توسط باکتریها گفته شد، در طول شب در استخرهای غنی ازموجودات گیاهی، بزرگترین مصرف کننده اکسیژن «گیاهان» هستند. در استخرهای پرورش ماهیان گرمابی که با آبهای راکد سروکار دارند اگر پوشش گیاهی عالی (ماکروفیتها) وجود داشته باشند، باید در نظر داشت که فقط گیاهانی که برگ آنها درون آب قرار می‌گیرد از این نظر اهمیت دارند و در غیر این صورت، گیاهانی که برگهای آنها بیرون آب قرار می‌گیرند اکسیژن مود نیاز خود را از هوا می‌گیرند و گاز کربنیک حاصل از آن را نیز به هوا برمی‌گردانند.

علاوه بر گیاهان ماکروفیت - خسه‌های ریشه‌ای که در سطح آب قرار می‌گیرند، نیز قادرند قسمتی از اکسیژن مورد نیاز خود را از جو بگیرند و قسمتی را نیز از لایه‌های سطحی آب بگیرند. بدیهی است گیاهانی که اکسیژن مورد نیاز خود را از هوا می‌گیرند اکسیژن تولیدی خود را نیز به هوا برمی‌گردانند. ولی به طور کلی زی‌شناوران گیاهی، مهمترین گروه موجودات گیاهی هستند که دراستخرها یافت می‌شوند و تولیدات اولیه را، در استخرها تشکیل می‌دهند. این که آیا موجودات گیاهی قادرند به اندازهٔ اکسیژن مورد نیاز مصرفی خود در طول روز، اکسیژن تولید کنند یا نه؟ سؤالی است که بیش از هر چیز به طول مدت تابش روشنایی به سطح استخر، بستگی دارد. به همین دلیل، ممکن است روزهای ابری و غبار آلود شبهای خطرناکی به دنبال داشته باشد.

# بخش سوّم

## ۳- کنترل مصنوعی اکسیژن محلول درآب

تغییرات اکسیژن محلول در آب استخرهاو علل اساسی این تغییرات در فصل دوم گفته شد. همان گونه که در نمودار شماره ۲ مشاهده می‌شود، اکسیژن محلول در آب در طول شبانه روز، در طی دورهٔ پرورش تغییرات مهمی می‌کند. اینها تغییراتی هستند که به طور طبیعی اتفاق می‌افتند. اما پرورش دهندهٔ ماهی، ناچار است این تغییرات را در استخر خود کنترل کند. چیزی که تا اینجا معلوم شد این است: وقتی که اکسیژن محلول درآب در شرایطی، خیلی کم می‌شود، ممکن است کل پرورش ماهی را به خطر اندازد.

راهی را که اکثر پرورش دهندگان ماهی تا کنون در پیش گرفته‌اند، بیشتر روی این موضوع متمرکز بوده که فعالیتهای پرورش ماهی را کاهش دهند. یعنی این که کود و غذای کمتری بدهند، ماهی کمتری در واحد سطح رها کنند و در نتیجه تولید کمتری داشته باشند و حتی‌المقدور کاری نکنند که خطرآفرین باشد. اما اکنون اغلب به دنبال آن هستند که تولید را در واحد سطح افزایش دهند. لذا خطر کمبود اکسیژن باید به طریق دیگری کنترل شود.

در اینجا منظور از کنترل مصنوعی اکسیژن محلول در آب استخرهای ماهی کارهای فنی و عملی است که اثرات مستقیم روی میزان اکسیژن محلول آب دارد.

اکسیژن محلول آب استخرها می‌تواند به دو روش تغییر کند:

۱- تغییر در میزان جریان آب ورودی به استخر

۲- هوادهی دراستخر

در مواقعی که استخرهای پرورش ماهی متراکم، کوددهی می‌شوند یعنی در جایی که بیشتر غذای مورد نیازماهی از طریق تولیدات طبیعی خود استخرها تأمین می‌گردد، افزایش جریان آب استخر نمی‌تواند به عنوان وسیله‌ای جهت اشباع اکسیژن مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین تنها راه باقیمانده هوادهی[1] به استخر است.

### ۱-۳- هوادهی در استخرهای پرورش آبزیان

هوادهی مصنوعی به استخرهای پرورش ماهی وسیله‌ای است که اکسیژن تمام یا قسمتی از استخر را در حدی که تضمین کنندهٔ اکسیژن مورد نیاز ماهی باشد بالا می‌برد و بنابراین، در یک سطح بخصوصی از سیستم تولیدی محدودیت تولید را از بین می‌برد.

در پرورش ماهی غیر متراکم، هوادهی استخرها فقط به منظور نجات جان ماهیان مورد پرورش در زمانی که کمبود اکسیژن وجود دارد انجام می‌گیرد. باافزایش تراکم ماهی و در سیستمهای متراکم‌تر پرورش، به دلیل شتاب فعالیتهای زیست‌شناختی (کوددهی زیاد، تغذیه بیشتر و تراکم زیاد ماهی) اکسیژن طبیعی آب کمتر و کمتر می‌شود وبه عنوان فاکتور محدود کنندهٔ تولید در می‌آید. هوادهی شدید استخرها نه تنها باعث نجات جان ماهی می‌شود، بلکه به عنوان فاکتور اساسی تولید در می‌آید و به عنوان تضمین کننده تأمین اکسیژن در حد متعادل این امکان را به وجود می‌آورد که از امکانهای زیست‌شناختی موجود در استخر استفاده شود.

همان‌گونه که در قبل ذکر شد گرفتن غذا توسط ماهی و تغذیه، با کاهش اکسیژن محلول در آب تحت تأثیر قرارگرفته و کاهش می‌یابد. این تأثیر منفی ممکن است در حدود ۲۰ تا ۳۰درصد باشد. بنابراین در استخرهای پرورش متراکم، تأمین اکسیژن کافی نقش مهمی در اقتصادی بودن کار پرورش ماهی دارد. در همین حال اشباع اکسیژن آب بیش از ۱۰۰

1- Aeration

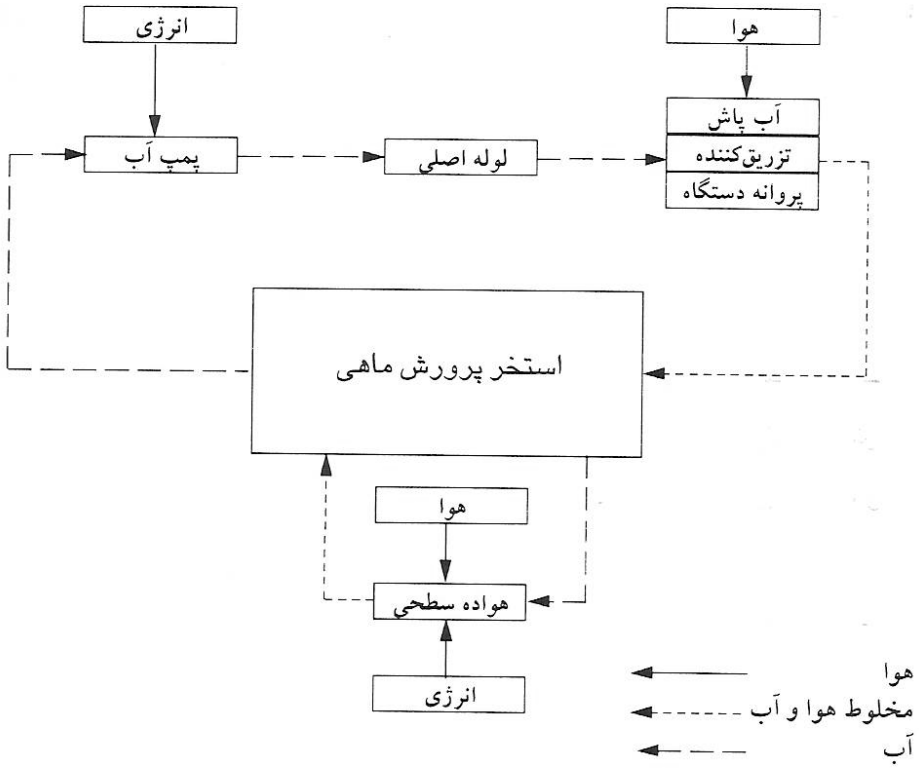
درصد، در اعمال حیاتی زندگی عادی ماهی یک ضرر به حساب می‌آید چون آنها مجبور می‌شوند که تنفس خود را افزایش دهند (در قبل ذکر شد که رابطهٔ مستقیمی بین اکسیژن و شدت تنفس وجود دارد).

افزایش شدت تنفس در ماهیان آب شیرین، از نظر فیزیولوژیک عواقبی را برای ماهی به دنبال دارد که مهمترین آنها دفع نمک بدن و افزایش شدت ادرار است. این وضعیت خود می‌تواند به مرگ در ماهی منجر شود و بنابراین هوادهی در استخرهای پرورش ماهی به مفهوم تنظیم میزان اکسیژن محلول آب است و نه الزاماً به مفهوم افزایش اکسیژن آب.

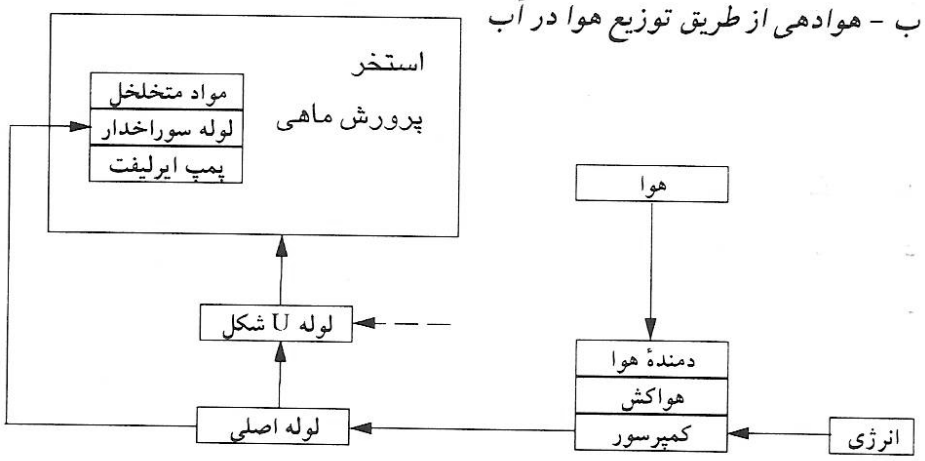
در جریان طراحی هوادهی استخرهای پرورشی، می‌توان به وسعت آب استخرها (سطح‌تماس با هوا) به عنوان یک توان بالقوه در گرفتن هوا توجه کرد. اکسیژن بیشتر از حد اشباع روی لایه‌های سطحی آب استخر، می‌تواند به وسیلهٔ مخلوط شدن با آب کاهش پیدا کند و اکسیژن محلول به طور یکنواخت بین کلیه لایه‌های آب توزیع شود. مخلوط شدن آب در مخازن کم عمقی چون استخرهای پرورش ماهی، تأثیری در تولید اکسیژن زی‌شناوران ندارد. مخلوط شدن آب در طول روز تضمین می‌کند که قسمت مهمی از اکسیژن برای ساعتهای شب یعنی موقعی که مصرف بیش از تولید است ذخیره شود.

در پرورش ماهی از اکسیژن موجود در اتمسفر، برای غنی‌سازی آب استخر از اکسیژن استفاده می‌کنند. به طور اساسی، دو روش برای غنی‌سازی آب از اکسیژن وجود دارد. در روش اول، انرژی به وسیلهٔ بعضی از انواع کمپرسورها به هوای اطراف داده شده و هوا به این طریق به داخل آب رانده می‌شود و در نتیجه هوا مقداری از اکسیژن موجود در خود را در داخل آب حل می‌کند و درروش دوم، انرژی به طور مستقیم به آب استخر یا منبع آب دیگری داده می‌شود و آب دارای انرژی زیادتر، می‌تواند خودش اکسیژن را از جو بگیرد و مقداری از آن را در داخل خود حل کند. اصول کار این دو روش در شکل دو با شمای ظاهری نشان داده شده است. هوادهی به روش اول را هوادهی حباب‌ساز و هوادهنده آن را هوادهنده‌های پنوماتیکی می‌گویند. هواده گروه دوم را هوادهنده‌های هیدرولیکی می‌گویند.

*الف - انواع هوادهنده هیدرولیکی*




*ب - هوادهی از طریق توزیع هوا در آب*




*شکل ۲- اصول اساسی هوادهی به استخرهای پرورش ماهی*

پمپ آب، اساس وسایل هوادهی گروه دوم است (هیدرولیکی) که با آن مقدار انرژی آب افزایش پیدا می‌کند. وسیلهٔ گیرنده هوا می‌تواند یک آبشار کوچک یک فواره با یک نازل یا چیز مشابه آن باشد.

به طور معمول، این وسایل از طریق یک لوله به پمپ متصل می‌شود. در گروه هوادهنده‌های هیدرولیکی یا گروهی که به سطح آب هوا می‌دهند (به دلیل ساختمان به خصوص آنها در شکل، به طور جداگانه نشان داده شده‌اند). هوادهی به سطح آب می‌تواند به وسیلهٔ یک آب پخش‌کن یا افشانک ساده انجام شود و یا آن که به وسیلهٔ یک پمپ سانتریفوژ بدون محفظه که ساختمان آن مخصوص استخرهای پرورش ماهی طراحی می‌شود انجام گیرد. در گروهی از هوادهنده‌ها که در سالهای اخیر طراحی وتولید شده‌اند وقتی که انرژی به لایه‌های زیرین آب داده می‌شود در آن نقطه، خلاء ایجاد شده و باعث مکش هوا به درون آب می‌شود.

قسمت اصلی انواع هواده‌هایی که طرز کارشان به وسیلهٔ انتشار هواست، یک کمپرسور است و انواع مختلفی از آن را می‌توان، به کار بست. مثلاً یک دمندهٔ هوا[1] و یا یک کمپرسور معمولی و غیره. با این وسایل هوا به درون آب از طریق یک جسم متخلخل تزریق می‌شود، به طور مثال، از طریق یک لوله دراز که در آن سوراخهایی تعبیه شده و یا سنگ هوا که مخصوص پرورش ماهی است ساخته می‌شود.

### ۱-۱-۳- *هوادهنده‌های هیدرولیکی*

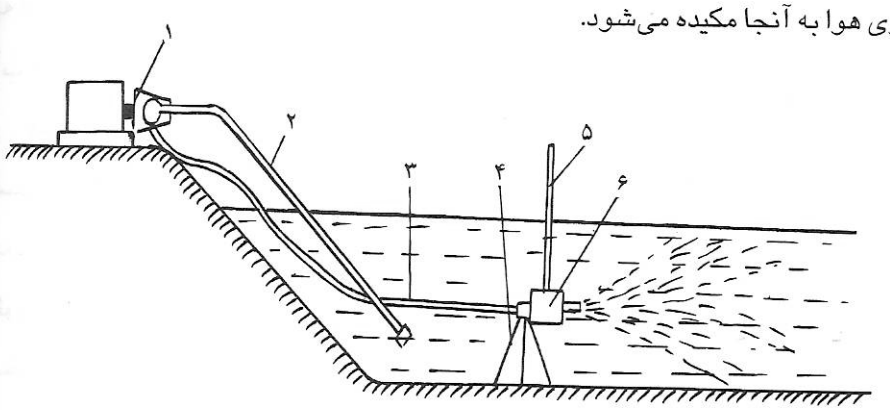
وقتی که هوادهی به وسیلهٔ فواره انجام می‌گیرد آب با فشار زیاد از یک نازل یک دریچه باریک و با سرعت زیاد بیرون می‌آید و به صورت قطرات ریز داخل استخر پاشیده می‌شود و مقداری از اکسیژن هوا در آب حل می‌شود. وقتی که آب به استخر می‌ریزد قطرات آب به سطح آب ضربه وارد می‌کنند و در نتیجه سطح آب استخر متلاطم می‌شود و بالطبع انتشار

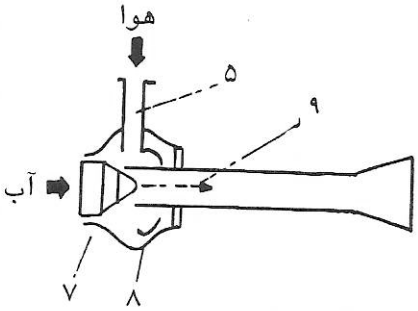
1- Roote type

هوا به درون آب افزایش می‌یابد. در روش دیگر می‌توان، لوله‌ای را به طرف سطح آب خم کرد و آب را از طریق آن با فشار خیلی زیاد همراه با حبابهای هوا وارد استخر کرد.

در نوع دیگر، هوادهنده بنام تزریق کننده[۱] آب، از داخل لوله موسوم به سیستم ونچوری[۲] عبور می‌کند در نتیجه فشار آب در سیستم از فشار اتمسفر کمتر می‌شود و مقداری هوا از طریق یک لوله مکنده که از آب بیرون است با آب مخلوط می‌شود. جزییات بیشتری از این نوع هواده در شکل ۳ دیده می‌شود.

یک وسیله مخصوص مخلوط کننده آب و هوا نیز، برای پرورش ماهی طراحی شده است. این وسیله دارای پروانه‌ای است که در داخل یک لولهٔ انتقال آب به استخر می‌چرخد پروانه‌ها با جریان آب حرکت می‌کنند و روی تیغه‌های آن فشار پایین آمده و باز هم از طریق لوله دیگری هوا به آنجا مکیده می‌شود.




*شکل ۳- دستگاه پرتاب آب و هوا (اژکتور)*
*۱، ۲ و ۳- پمپ آب و لوله‌های مکش و دهش آن، ۴- پایه، ۵- لوله مکش هوا، ۶- دستگاه ونچوری، ۷- نازل، ۸- محفظه کاهش فشار، ۹- محل خروج آب و هوا*

۱- Ejector

2- Venturi type

آبشار کوچک[1] نیز می‌تواند جهت هوادهی مورد استفاده قرار گیرد که در آن، آب به قطرات کوچک شکسته می‌شود و سطح تماس با هوا زیاد می‌شود.

سیستمهای هوادهی هیدرولیکی اغلب در جاهایی به کار برده می‌شوند که آب به وسیلهٔ پمپ به داخل لوله‌ها هدایت می‌شود. اما آنها به خصوص زمانی مفید هستند که اختلاف ارتفاع به طور طبیعی وجود داشته باشد.

هوادهنده‌های سطحی به طور مستقیم در داخل استخر قرار می‌گیرند و در نتیجه گردش پره‌های آنها چه به طور عمودی یا افقی آب به داخل هوا پاشیده می‌شود، این نوع هواده‌ها، جریان آب عمودی یا افقی در داخل استخر ایجاد می‌کنند و در نتیجه اکسیژن محلول آب زیادتر می‌گردد.

### ۲-۱-۳- *هوادهنده‌های پنوماتیکی*

این گروه هوادهنده‌ها بیشتر با دمیدن هوا به طور مستقیم در داخل آب کار می‌کنند. هوا به وسیلهٔ انواع گوناگونی از کمپرسورها در داخل آب تزریق می‌شود: یا از طریق لوله‌ای سوراخ‌دار که حبابهای درشت به قطر ۱۰ میلی‌متر را در آب تولید می‌کند و یا یک جسم متخلخل، مثل سنگ هوا که می‌تواند حبابهای ریزی به قطر ۲-۵ میلی‌متر درآب تولید کند، توزیع می‌شود. در هر حال، حبابها، پس از تشکیل در آب شناور می‌شوند و از لایه‌های آب عبور می‌کنند تا به سطح آب برسند و قسمتی از اکسیژن هوا به داخل آب حل می‌گردد. همچنین جریان ضعیفی از آب از پایین به بالا ایجاد و باعث مخلوط شدن لایه‌های آب می‌شود.

### ۳-۱-۳- *شکل و ساختمان چند نوع هوادهنده*

امروزه هوادهنده‌هایی در مقیاس تجارتی مخصوص پرورش آبزیان تولید و به بازار عرضه می‌شود. دستگاه‌های هوادهی در حقیقت راه تکاملی کوتاهی را در چند دهه اخیر طی کرده و سرانجام به شکل به نسبت قابل قبولی رسیده‌اند. مسائل زیادی در هوادهنده‌ها

---

1- Cascade

وجود داشته ودارد که مصرف کنندگان را در انتخاب نوع هوادهنده دچار سردرگمی می‌کند به هر حال در انتخاب نوع هوادهنده به فاکتورهای مختلفی باید توجه کرد که مهمترین آنها در اینجا آورده شده است:

*۱- ظرفیت انتقال اکسیژن به داخل آب نسبت به مقدار انرژی مصرفی.*
*۲- قیمت دستگاه نسبت به مقدار اکسیژن حل شده در آب.*
*۳- سرویس ونگهداری در استخر با توجه به طول فصل پرورشی.*
*۴- وزن دستگاه و امکان حمل و نقل.*
*۵- نصب و استقرار در استخر وهزینه‌های متعلق به آن.*
*۶- استحکام و دوام درآب، نور وگرما و لجن.*
*۷- ایمنی درآب.*
*۸- عدم ایجاد مزاحمت برای ماهی.*
*۹- طول مدت کارکرد بدون توقف و عدم تقلیل بازده دستگاه در ضمن کار.*
*۱۰- این که به جز هوادهی چه کارهای دیگری می‌تواند انجام دهد.*

در اغلب اوقات قبل از این که نوع هواده انتخاب شود، پرورش دهنده باید بداند چه کارهایی را ازاین دستگاه انتظار دارد. هوادهنده وسیله‌ای است که اگر به هنگام لزوم کارایی نداشته باشد یا از کار بیفتد برای پرورش دهنده می‌تواند فاجعه آفرین باشد و سرمایه او را به خطر بیندازد. از میان هوادهنده‌هایی که امروزه در مقیاس تجارتی در بازار وجود دارند ما به تشریح شکل، ساختمان و عملکرد چند نمونه مهم می‌پردازیم:

**هوادهنده هیدرولیکی**

الف - هوادهنده پدل یا چرخ آسیابی[۱] ج - هوادهنده قارچی

ب - هوادهنده ایمپلر[۲] د - هوادهنده‌های مکشی (جت)[۳]

**هوادهنده‌های پنوماتیکی (حباب‌ساز)**

هـ - دمندهٔ هوا[۴] و - پمپ ایرلیفت[۵] ز - کمپرسور

---

1- Paddel wheel Aerator
2- Impeller Aerator
3- Aspiratory jet
4- Air blower
5- Air lift

**الف – هواده پدل (چرخ پره‌ای)** : این هواده در کشورهای ژاپن و تایوان و برخی کشورهای اروپایی، طرفداران فراوانی دارد. اساس کار این دستگاه عبارت است از، پروانه‌هایی که جهت عمود برسطح آب می‌چرخند، آب استخر در برخورد با این پره‌ها به صورت قطرات ریزی به بالا پرتاب می‌شود و در نتیجه می‌تواند مقداری از اکسیژن هوا را در داخل خود حل نماید. محور پروانه‌ها موازی با سطح آب است. کل مجموعه به وسیلهٔ شناورهای روی آب نگهداشته می‌شود.

دستگاه اغلب برقی است و ظرفیتهای مختلف دارد. در پرورش ماهی، به طور معمول نوع ۱ الی ۳ کیلو وات آن استفاده می‌شود. البته این نوع هوادهنده را می‌توان، با نیروی مکانیکی نیز به حرکت درآورد. و در هر صورت سیستم آن به طریقی است که بیشتر به سطح آب می‌تواند اکسیژن دهی کند در نتیجه اکسیژن را از سطح آب هم می‌تواند دور کند.

از جمله محاسن این دستگاه‌ها قیمت به نسبت پایین، ظرفیت انتقال اکسیژنی مناسب برای استخرهای کم عمق و قابلیت حمل و نقل است و از جمله معایب آن عدم ایجاد حرکت در آب، بالا بردن تبخیر و شوری آب و عدم توانایی رسانیدن اکسیژن به لایه‌های کف و لجن استخر را می‌توان ذکر کرد. در هر صورت برای استخرهای کم عمق (۱/۲ متر) پرورش ماهیان گرمابی باتوجه به قیمت آن، هواده مناسبی است. در شکل ۴ تصویر این نوع هواده را مشاهده می‌کنید.

**ب – هوا دهنده‌های ایمپلر و رُتاری** : در کشور پهناور چین و کشورهای همجوار نوعی هواده، طرفدار بسیار دارد که به منظور بهره‌گیری در استخرهای پرورش ماهی طراحی شده است. اساس کار این دستگاه به این صورت است که پروانه آن به موازات سطح آب در عمق حدود نیم متری می‌چرخد و گردابی ایجاد و قسمتی از آب را به اطراف پخش می‌کند که در نهایت با ایجاد تلاطم قطرات، مقدار اکسیژن آب را کاهش یا افزایش می‌دهد. در هر

صورت این هواده، اغلب کم ظرفیت و برای استخرهای کوچک تولید می‌شود و از موتورهای ۰/۵ ، ۱ و ۲ کیلو واتی در ساخت آنها استفاده می‌شود. کوچک و قابل جابه جایی است و به هنگام کار جریان به نسبت بهتری از سطح به عمق در آب ایجاد می‌کند (در هواده قبلی جهت جریان آب ازعمق به سطح بود) البته انواع دیگری از هواده، با پروانه افقی وجود دارد که در کف استخر نصب می‌شوند و جریان وارونه ایجاد می‌کنند. قیمت این دستگاه کم و در همه جا قابل ساخت است و فن‌آوری پیچیده‌ای ندارد. به نظر می‌رسد بزرگترین نقص این نوع هواده، ایجاد مزاحمت برای ماهیان باشد، علی‌الخصوص در استخرهای متراکم بچه‌ماهی امکان برخورد ماهی با پروانه وجود دارد. در بعضی از انواع این هوادهنده ظرفیت اکسیژن دهی پایین است و به همین دلیل برای استخرهای زیر یک هکتاری به تعداد زیاد از آنها استفاده می‌کنند. محور موتور عمود بر سطح آب است و موتور دستگاه از آب بیرون است که به وسیلهٔ سه پایه شناور روی آب نگهداشته می‌شود (شکل ۴).

ج - **هواده قارچی**: اینها پمپ‌هایی هستند غرق شونده که در کف استخر نصب می‌شوند و در سالهای اخیر به بازار عرضه شده‌اند. آب را از لایه کف استخر مکیده و به سطح آب می‌رانند و در سطح آب فواره کوتاهی ایجاد می‌شود که به شکل قارچ درمی‌آید. اغلب با موتورهای کوچک ساخته می‌شوند بسیار سبک هستند و کارایی بالایی دارند. بهترین کاربرد آنها در استخرهای بتونی و کم عمق (سردابی) است. زیرا در کف استخر قرار می‌گیرند و اگر استخر در منطقه استقرار سیمانی نباشد آب را به شدت گل آلود می‌کنند. این هواده‌ها بیشتر در کشورهای آلمان و اروپای غربی استفاده می‌شوند و درعمق تا ۰/۸ متر کارایی به نسبت خوبی دارند. به نظر می‌رسد در استخرهای پرورش ماهیان گرمابی با عمق بالای ۱/۵ متر هیچ کاربردی نداشته باشند (شکل ۴).

د - **هوادهنده‌های مکشی (جت)** : این دستگاه در حقیقت شکل تکامل یافته دستگاه‌های هوادهی است که ابتدا به منظور استخرهای تصفیهٔ فاضلاب طراحی شده و سپس وارد کار پرورش آبزیان شده است. شاید، بهترین وسیلهٔ هوادهی برای استخرهای عمیق و بزرگ باشد.

اصول کار این دستگاه عبارت است از، پروانه‌ای که به صورت مایل در عمق آب (عمق نیم متری) می‌چرخد و در زمان چرخش با دور زیاد اطراف پروانه خلاء ایجاد می‌شود و هوا از درون سوراخی که بیرون آب روی تنه وجود دارد به درون آب مکیده می‌شود و در اینجا هوا باآب روی پروانه مخلوط شده و به طرف جلو رانده می‌شود. مجموعه دستگاه روی آب شناور است.

موتورهای این دستگاه، برقی است و اغلب از یک تا هفت کیلو وات قدرت دارند دستگاه سبک و قابل جابه جایی است. قسمتهایی که در درون آب قرار می‌گیرد به طور معمول از نوع پلاستیکی و فقط یک شفت فولادی دارد که اغلب جنس آن ضد زنگ است.

این هواده، سه کار انجام می‌دهد یکی هوادهی، دوم ایجاد جریان افقی در آب، سوم بر هم زدن لایه‌های حرارتی و غذایی ستون عمودی آب. ظرفیت اکسیژن دهی این دستگاه‌ها به طور معمول خوب است. زیرا، هوا به درون عمق آب رانده می‌شود و لایه‌های کف را که کمبود اکسیژن بیشتری دارد اشباع می‌کند همچنین جذب اکسیژن از حبابهای هوا سریع‌تر صورت می‌گیرد.

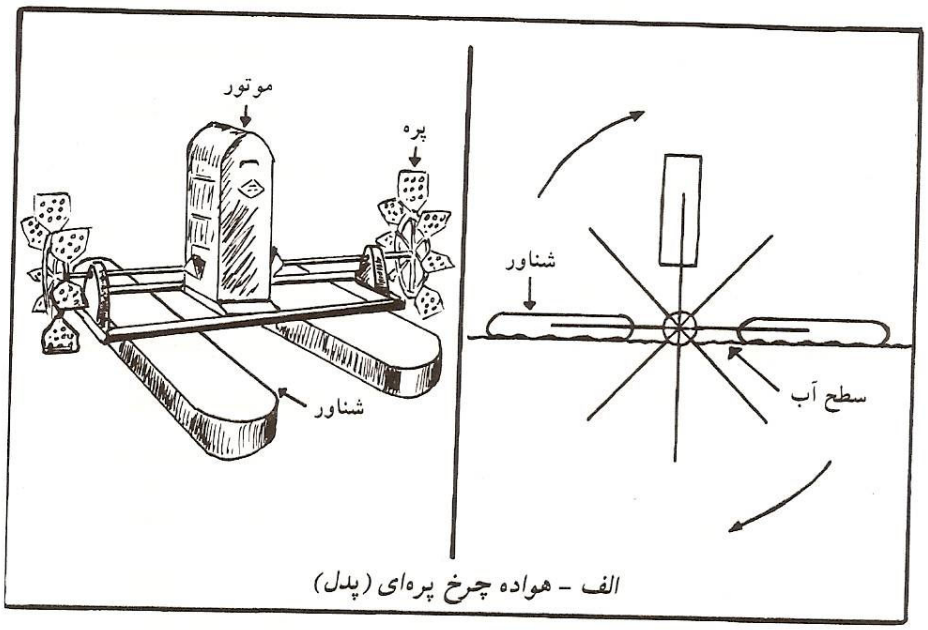
توصیه می‌شود در استخرهای پرورش ماهیان گرمابی و میگو که عمق بالای ۱/۵ متر دارند به خصوص در مناطق گرمسیری که لایه بندی حرارتی در آب ایجاد می‌شود از این هواده استفاده شود.

محدودیت استفاده از این نوع هواده مربوط به فرسایش کف در استخرهای کم عمق می‌باشد و در نتیجه اخیراً نوع دیگری از این نوع هوادهنده ساخته شده که مزایای بیشتری دارد. کارخانه مبتکر و سازنده آن را به نام هواده توربو - آسپیراتینگ[1] می‌نامد.

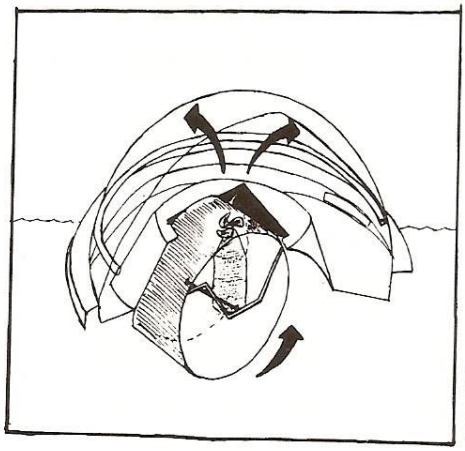
اصول کار این وسیله بر همان اساس هوادهنده جت است ولی دستگاه در زیر آب قرار می‌گیرد و سوراخ مکش هوا با لوله‌ای به سوراخ متصل شده است. دستگاه به کمک دو شناور در عمق دلخواه نگهداری می‌شود.

---

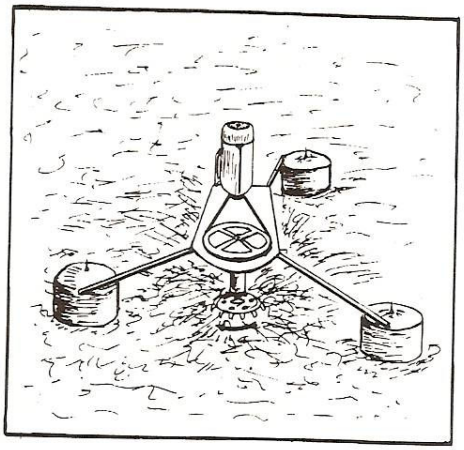
1- Turbo Aspirating




الف - هواده چرخ پره‌ای (پدل)



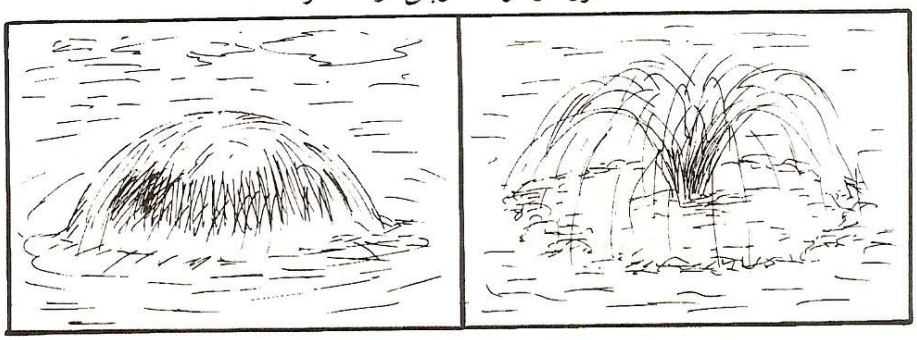
ج - هواده قارچی

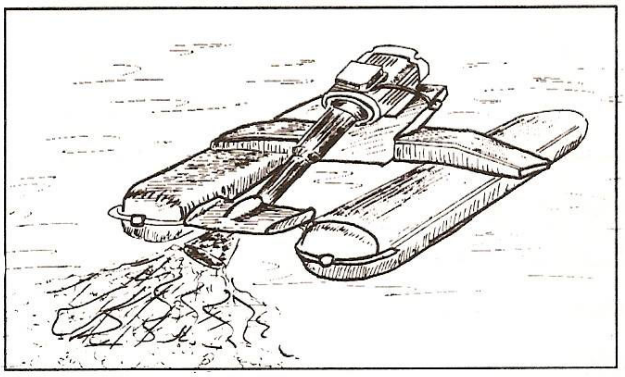


ب - هواده ایمپلر

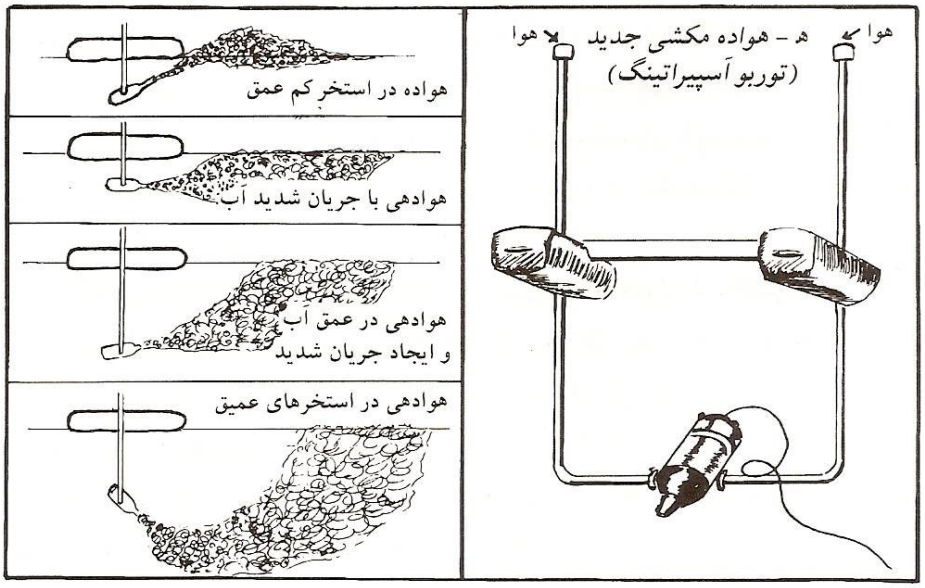
شکل ۴- انواع هوادهنده‌های هیدرولیکی

طرز کار هواده قارچی در استخر





د - هواده مکشی (جت)



بدیهی است در چنین سیستمی، نیازی به شفت یا محور انتقال موتور به پروانه وجود ندارد و موتور مستقیماً به پروانه متصل است. بنابراین دستگاه سبک‌تر شده و قیمت آن هم پائین‌تر است. از جمله مزایای دیگر این دستگاه امکان تغییر در جهت پرتاب آب و هوا حول یک محور افقی ۱۸۰ درجه است در نتیجه هوادهی را می‌توان در هر عمقی از آب و حتی در استخرهای با عمق ۸۰ سانت هم تنظیم کرد (یکی از معایب هواده قبلی این است که در عمق کم قابل استفاده نیست). با ابداع این وسیله، هوادهنده‌های موجود جت عملاً از دور خارج خواهند بود.

**هـ- دمنده‌های هوا**: دستگاه‌های هیدرولیکی فوق، بیشتر برای استخرهای پرورش ماهی در فضای باز استفاده می‌شوند. به نظر می‌رسد، هوادهی به استخرهای پرورشی آبزیان ابتدا از پمپ‌های معمولی آب شروع شده باشد. اما پس از مدت کوتاهی هوادهنده‌های پنوماتیکی جای پمپهای معمولی آب را گرفت. دمندهٔ هوا که با فشار زیاد هوا را به درون آب می‌دمد در میان هوادهنده‌های پنوماتیکی وسیلهٔ پرطرفداری است. در سالهای دهه‌های ۷۰ و ۸۰ در اروپای شرقی - فلسطین اشغالی و جاهای دیگر مورد استفاده فراوان قرار می‌گرفت.

البته در حال حاضر، این وسیله اغلب مخصوص سالنهای تفریخگاه میگو و ماهیان دریایی است و در استخرهای خاکی بزرگ به دلیل سرمایه‌گذاری به نسبت بالا برای نصب و راه‌اندازی، کاربری چندانی ندارد. ازنظر کارایی، هوا دهنده‌های پنوماتیکی برای سالنهای تکثیر بازده بالایی دارند. موتورهای آنها اغلب در یک‌جا نصب می‌شوند وقدرت تا ۲۰ کیلو وات یا بیشتر را هم دارند. در تمام دستگاه‌های هوادهی حباب‌ساز یا پنوماتیکی، لوله کشی هوا به درون استخر اجتناب ناپذیر است. در ضمن، همگی به سنگ هواهای زیاد، لوله‌های متخلخل و یا اژکتور نیاز دارند.

بزرگترین عیب این هواده‌ها سرمایه‌گذاری بالایی است که برای لوله‌کشی، سنگ هوا وغیره دارند. در حقیقت لوله کشی و سنگ هوا اگر برای اکواریوم معمولی باشد مشکلی ندارد. ولی اگر برای دهها هکتار استخر باشد مشکل به نظر می‌رسد.

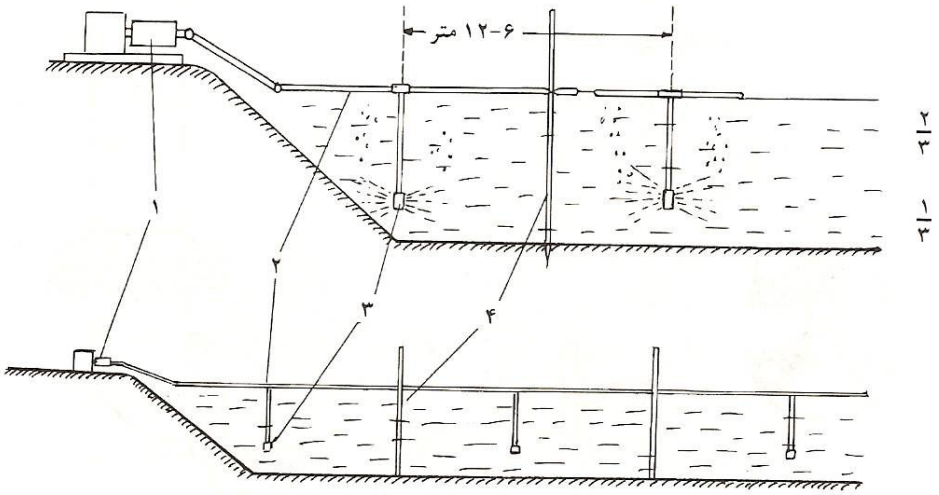
ساختمان دمنده‌های هوا تشکیل شده از پروانه‌هایی که با سرعت خیلی زیاد در درون محفظه‌ای می‌چرخد ازیک مجرا هوا به داخل محفظه مکیده و از طرف دیگر خارج می‌شود. در هوادهنده‌های پنوماتیکی لازم است فشار درون لوله زیاد باشد، زیرا روزنه‌های خروجی

هوا در زیر سطح آب قرار دارند و هر چه اینها در عمق بیشتری قرار بگیرند فشار هوا باید بیشتر باشد تا حبابهای هوا خارج شوند به همین دلیل تنظیم فشار در لوله‌های طویل خود یک بحث پیچیده دیگری ایجاد می‌کند.

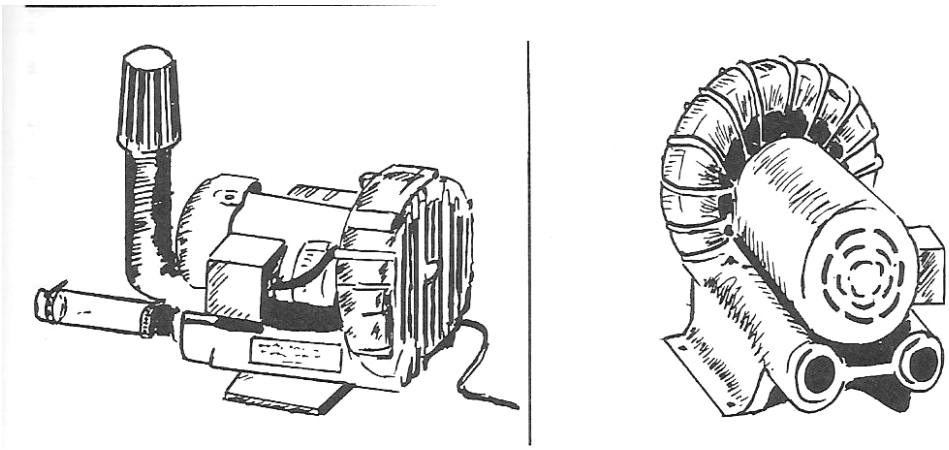
حبابهای هوا که در آب ایجاد می‌شوند، هر چه ریزتر باشند جذب اکسیژن بیشتری صورت می‌گیرد برای تولید حبابهای ریز، فشار بیشتری لازم است و هزینهٔ استهلاک بالاتر است.

در کل از دمنده هوا فقط باید در سالنهای تکثیر ماهی و سیستم‌های مدار بسته استفاده کرد پس برای پرورش ماهیان گرمابی استفاده از آن توصیه نمی‌شود (شکل ۵).

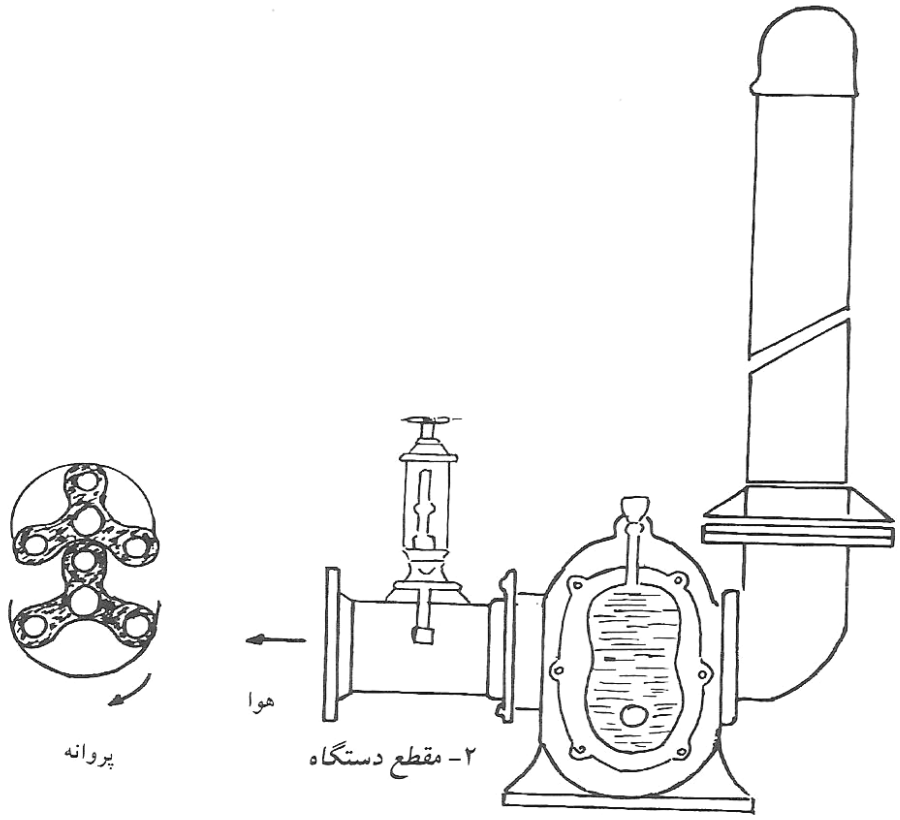
و - **پمپهای ایرلیفت**: نوعی پمپ بخصوص است که آب را اندکی بالا می‌آورد و با تزریق هوا کار می‌کند. اساس کار به این صورت است که لوله‌ای به شکل حرف اس (S) انگلیسی در آب قرار دارد به طوری که یک سر آن در کف استخر وسر دیگر آن بیرون از آب قرار می‌گیرد، هوای فشرده از یک دمنده یا کمپرسور به محفظه‌ای در قسمت پایین لوله در آب دمیده می‌شود و به این وسیله مخلوط آب وهوا از لوله بیرون رانده می‌شود. این نوع هواده مخصوص استخرهای بتونی کوچک و اغلب قدیمی است (شکل ۵).




*شکل ۵- الف - چگونگی استقرار هوادهنده پنوماتیکی*
*۱- پمپ هوا، ۲- لوله توزیع هوا، ۳- دستگاه تبدیل هوا به ذرات ریز، ۴- پایه جهت نگهداری لوله توزیع هوا.*

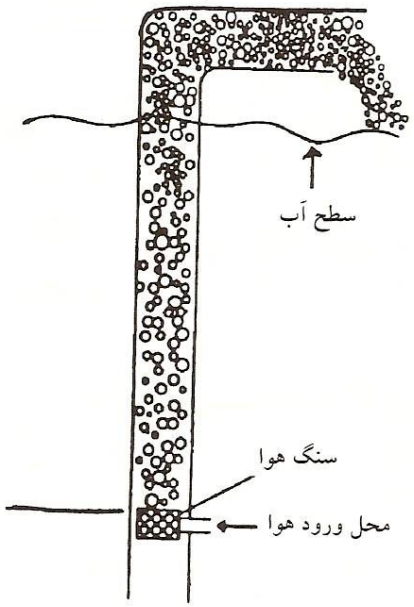


۱- دمنده‌های هوا




۲- مقطع دستگاه

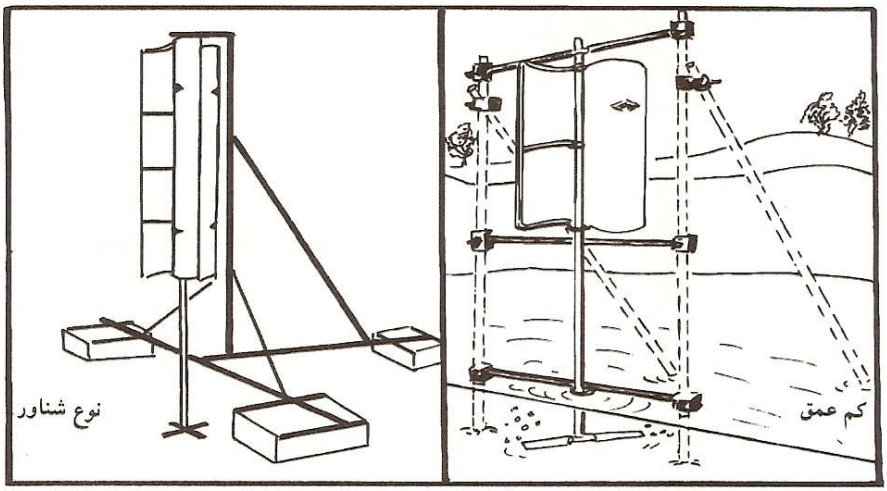
شکل ۵- ب - انواع هوادهنده پنوماتیکی




*شکل ۵- ب (ادامه) - پمپ ایرلیفت*

ز - **کمپرسور هوا** : کمپرسور هوا وسیله‌ای نیست که برای هوادهی به استخرهای پرورش ماهی به کار آید، شاید در دهه‌های گذشته از آن برای هوادهی به مخازن کوچک آب، مثل زوگها و وانها استفاده می‌شده است. تمام معایب دمنده‌های هوا را دارد به اضافه این که چون موتور مکانیکی دارد بزرگتر و سنگین‌تر است و اغلب مقداری روغن موتور را نیز همراه هوا به بیرون می‌دهد که در پرورش ماهی یک آلوده کننده به حساب می‌آید و کسی طرفدار آن نیست و امروزه دیگر هیچ کاربردی ندارد.

دستگاه‌هایی که شرح آنها رفت به طور تجارتی در بازار برای مصارف پرورش آبزیان و تصفیه فاضلاب وجود دارند. علاوه بر اینها تعداد بسیار زیادی دستگاه‌های هواده در بازار یافت می‌شود که کاربردهای گوناگونی دارند. مثلاً یک نوع هوادهنده بادی که نیاز به برق یا موتور ندارد و با جریان باد کار می‌کند. این هواده مخصوصاً در مناطقی که سطح آب یخ می‌بندد و باد نمی‌تواند در آب اختلاط ایجاد کند و مناطق سردسیر کوهستانی ایده‌ال است و نوع مرغوب آن با سرعت باد معادل ۱ متر در ساعت هم کار می‌کند (شکل ۶). همچنین انواع دیگری از هوادهنده‌ها وجود دارند که برای کامیونهای حمل و نقل ماهی که با برق ۱۲ ولت کار می‌کنند به کار می‌روند.




*شکل ۶- هواده بادی مخصوص مناطق یخبندان و کوهستانی*

**۲-۳- کاربرد اکسیژن خالص در سیستمهای متراکم پرورش آبزیان**

اغلب سیستمهای پرورش ماهی متراکم در جاهایی احداث می‌شوند که آب با حجم زیاد و کیفیت خوب امکان جریان یافتن در سیستم را دارد. در چنین سیستمهایی، اکسیژن مورد نیاز به وسیلهٔ جریان آب تأمین می‌شود. این بدان معنی است که ظرفیت ماهی استخر به وسیلهٔ جریان آب معلوم می‌شود و بستگی به جریان آب دارد.

اما، به هر حال جریان آب را نمی‌توان بیش از حد معینی افزایش داد و این به دلایل اقتصادی، فیزیولوژیکی و فنی است اگر چه سایر عناصرسیستم، امکان افزایش تراکم ماهی را داشته باشد.

ظرفیت ماهی در استخر را تا حدی به وسیلهٔ هوادهی مستقیم، می‌توان افزایش داد. اما مسائل اقتصادی محدودیتهایی در راه ایجاد سیستم هوادهی برای تک تک استخرها ایجاد می‌کند بااستفاده از اکسیژن خالص، محدودیت در تراکم بیشتر ماهی تا حدی از بین می‌رود (سیستمهای پرورش فوق متراکم). به علاوه مقدار اکسیژن می‌تواند به طریقی تنظیم و ایمنی

بیشتری در کار ایجاد شود. یکی از مزایای مهم به کارگیری اکسیژن خالص این است که حجم زیادی از اکسیژن در آب قابل حل است و علت آن هم این است که اختلاف فشار زیادی بین غلظت اکسیژن خالص و غلظت اکسیژن محلول در آب وجود دارد. در به کار بردن اکسیژن باید به مخارج تهیه و هزینه‌های توزیع آن در آب توجه داشت. به هر حال، با یک طراحی مناسب این امکان وجود دارد که هزینه‌های زیاد سرمایه‌گذاری را با کاهش انرژی مورد نیاز جبران نمود.

اکسیژن خالص به شکل گاز یا مایع در دسترس وجود دارد. برای تأمین اکسیژن مورد نیاز در پرورش ماهی به طور معمول شکل مایع آن مصرف می‌شود. اکسیژن مایع با ۹۹ درصد خلوص در مخازن سربسته تحت فشار نگهداری و به هنگام کاهش فشار و قبل از مصرف، به گاز تبدیل می‌شود.

همان طور که در قبل گفته شد، امروزه مولدهای تولید اکسیژن خالص، طراحی شده‌اند که قادرند اکسیژن با درجه خلوص ۹۰ درصد تولید کنند. اینها اغلب به کمک صافیهای مولکولی، مولکولهای ازت را از هوا جدا می‌کنند و در کنار تأسیسات پرورش ماهی فوق متراکم در همه جا نصب می‌شوند.

*۱-۲-۳- جذب اکسیژن و وسایل آن*

به خاطر به حداقل رسانیدن اکسیژن مورد نیاز، باید وسایلی را به کار گرفت که بیشترین جذب اکسیژن را درآب تضمین کنند. اصول کلی کار این وسایل شبیه به سایر هوادهنده‌هاست ولی به خاطر این که مدت زمان تماس گاز با آب افزایش پیدا کند، بعضی تغییرات فنی مورد نیاز است. یکی ازاین راهها حبابی کردن اکسیژن است که در آن اکسیژن وارد شده به آب به حبابهایی شکسته می‌شود. میزان رقت اکسیژن به طور اصولی بستگی به عمق آب، طول مسیر عبور حبابها و میزان اکسیژن تزریق شده دارد. با کاهش اندازهٔ حبابها بازده بیشتری بدست می‌آید. بنابراین زمان تماس و سطح تماس افزایش پیدا می‌کنند ولی کاهش اندازهٔ حبابها نیاز به مقدار قابل توجهی انرژی اضافی دارد. همچنین ممکن است

اتصال مجدد حبابها یا انعقاد آنها در آب اتفاق بیفتد. کارایی تبدیل اکسیژن بـه حـبابها را می‌توان، با قرار دادن جهت جریان حرکت حبابها در جهت مخالف جریان آب[1] افزایش داد (شکل ۷- الف).

البته اکسیژن حل نشده در آب را می‌توان، دوباره جمع‌آوری کرد و آن را بطور مجدد به سیستم تزریق نمود (شکل ۷- ب) و یا می‌توان یک سیستم بسته را طراحی کرد که در آن اکسیژن و آب به طور دایم در همدیگر مخلوط می‌شوند (شکل ۷- ج).

*۲-۲-۳- تزریق اکسیژن در لولهٔ آبرسانی*

موقعی که اکسیژن در داخل یک لوله با جریان آب در یک نقطه مشخص وارد شود بازده کار به مدت زمان تماس اکسیژن با آب در داخل لوله و نیز فشار داخل لوله بستگی پیدا می‌کند. اکسیژن را می‌توان، از طریق یک لوله ونچوری به طوری که در شکل ۷- د نشان داده شده است در آب وارد کرد.

*۳-۲-۳- اکسیژن دهی به وسیلهٔ لوله‌های U شکل*

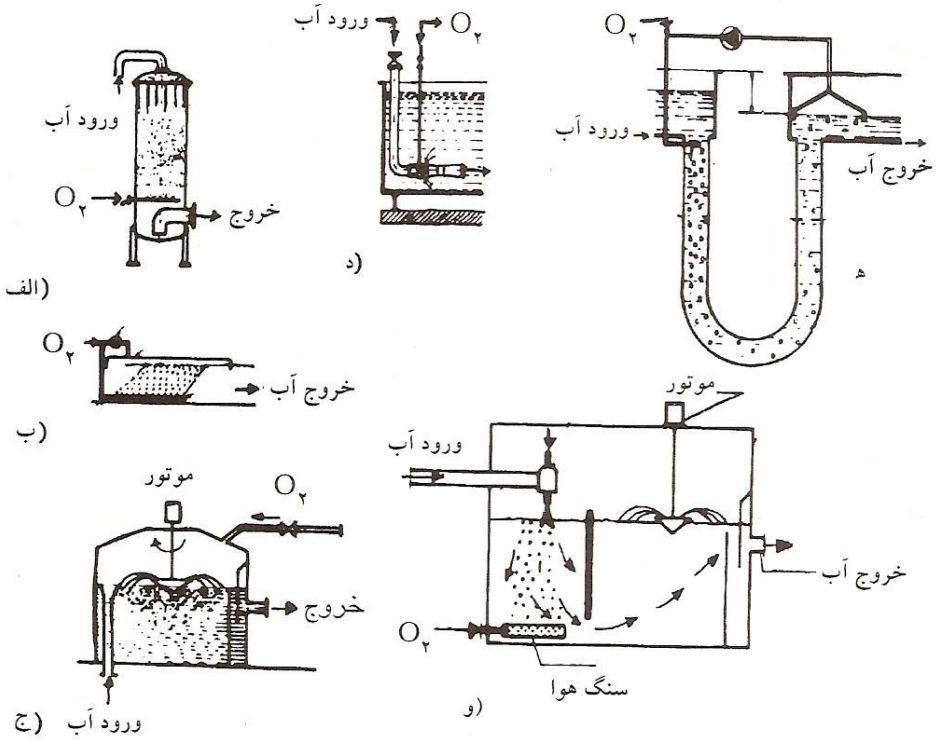
در شکل ۷- هـ اکسیژن دهنده U شکل نشان داده شده است که در آن حبابهای اکسیژن در طول جریان آب حمل می‌شوند. بنابراین، زمان تماس و میزان جذب آن به جریان ورودی و خروجی آب و عمق لوله بستگی دارد. به نظر می‌رسد که این روش به دلیل بازده بالا و مصرف انرژی کم و سهولت در کار پرورش ماهی، بسیار مؤثر باشد. علاوه بـر وسـایل تشریح شده فوق، وسایل مشابه دیگری نیز وجود دارد که در شکل ۷- و ، اصول کلی آنها نمایش داده شده است.

**۳-۳- مزایای استفاده از دستگاه هواده در پرورش آبزیان**

همان‌گونه که در ابتدای این بخش گفته شد، پرورش دهندگان ماهی در کشور ما امروزه

---

1- Counter flow column




*شکل ۷- انواع مختلفی از اکسیژن دهنده‌ها*

***الف** - جریان متقابل اکسیژن در آب، ب - چرخش گاز در سیستم، ج - قرار دادن اکسیژن در مجاورت پروانه دوّار، د - اکسیژن دهنده ونچوری، ه - اکسیژن دهندهٔ U شکل، و - سیستم مرکب*

به دنبال راههایی هستند که تولید را در واحد سطح افزایش دهند و به اصطلاح از زمین، آب و تأسیسات موجود استفادهٔ بیشتری کنند.

افزایش تولید در واحد سطح از دیدگاه عملی به معنی افزایش توده زنده ماهی است. بدیهی است، هرگاه بخواهیم ماهی بیشتری در حجم معینی از آب نگهداری کنیم و انتظار داشته باشیم آن ماهیها هم به اندازهٔ کافی رشد کنند، ناگزیر باید غذای بیشتری برای ماهیان فراهم کنیم. افزایش تولید غذا در استخر از طریق افزایش کوددهی امکان‌پذیر است. همان‌طور که در فصل گذشته بحث شد، افزایش در فعالیتهای پرورش و کوددهی و تغذیهٔ بیشتر و نگهداری ماهی در استخر، در عمل به مفهوم کیفیت بدتر آب خواهد بود. در چنین

شرایطی که آب از نظر کیفی مشکل داشته باشد، تولید متوقف شده و پرورش دهنده ناچار است راه حلی پیدا کند.

به طور کلی منظور از کیفیت بد آب در اینجا دو موضوع متفاوت است، اول کمبود اکسیژن محلول در آب و دوم افزایش ضایعات و مواد سمی در استخر که خود عناصر مزاحم به حساب می‌آیند و باید به طریقی از محیط خارج شوند.

پس اگر پرورش دهنده بخواهد تولید را افزایش دهد، علاوه بر تأمین بچه ماهی، غذا و کود، دو کار اساسی دیگر را باید انجام دهد یکی بر طرف کردن مشکل کمبود اکسیژن محلول در آب و دیگری بیرون راندن مواد و ضایعات نامطلوب از محیط آب. در مورد روش تأمین اکسیژن محلول برای فعالیتهای پرورش ماهی صحبت شد. اما موضوع برطرف کردن مواد سمی و ضایعات مسکوت ماند. ابتدا باید بررسی شود مواد سمی که ممکن است در استخر پیدا شوند، چه هستند. گفته شد که مواد آلی در اثر فعالیتهای باکتریایی تبدیل به مواد معدنی می‌شوند همهٔ این مواد مورد استفاده جلبک و زی‌شناوران گیاهی قرار می‌گیرند و تولیدات اولیه را افزایش می‌دهند. اما به هر حال بخشی از این مواد معدنی برای ماهی نوعی سم به حساب می‌آیند. این مواد به طور عمده،عبارتند از: آمونیاک ($NH_3$)، گاز هیدروژن سولفور ($SH_2$)، گاز متان ($CH_4$) و گاز کربنیک ($CO_2$) که در غلظت زیاد سمی هستند.

*جدول ۴- محصولات فعالیت باکتریهای هوازی و بی‌هوازی*

| عناصر | هوازی | بی‌هوازی |
|---|---|---|
| کربن | $CO_2$, $CO_3^{2-}$ (تابع PH) | $\underline{CH_4}$ |
| هیدروژن | $H_2O$ | |
| ازت | $NO_3^-$ | $NH_4^+$, $\underline{NH_3}$ (تابع PH) |
| گوگرد | $SO_4^{2-}$ | $HS^-$, $\underline{H_2S}$ (تابع PH) |
| فسفر | $H_2PO_4^-$, $HPO_4^{2-}$ (تابع PH) | $H_2PO_4^{2-}$, $HPO_4^{2-}$, $PH_3$ (تابع PH) |

** توجه: مواردی که زیر آنها خط کشیده شده می‌توانند برای آبزیان سمی باشد.*

*آمونیاک*؛ خود می‌تواند با اکسیژن محلول در آب ترکیب شده و به صورت نیترات قابل جذب برای خزه‌ها درآید پس در صورت تأمین اکسیژن، این مشکل برطرف خواهد شد.به علاوه گفته شد که آمونیاک در حضور اکسیژن، سمی بودن خود راکاهش می‌دهد.

*گازهیدروژن سولفوره*؛ از تخمیر بی‌هوازی باکتریها و بعضی از فعالیتهای باکتریایی ایجاد می‌شود که در شرایط کمبود اکسیژن محلول غالب می‌شوند و از طریق فعالیتهای بی‌هوازی مواد آلی را تجزیه می‌کنند. بنابراین، در صورت تأمین اکسیژن به دو طریق این گاز برطرف می‌شود. طریق اول مکانیکی است یعنی با برقراری جریان دستگاه هواده، از محیط آب خارج می‌شود زیرا، بر طبق قوانین انتشار گاز از محیط پر غلظت به محیط کم غلظت خواهد رفت و چون در هوا گاز $SH_2$ وجود ندارد اغلب با فعالیت دستگاه هوادهی تمام آن در هوا مخلوط خواهد شد. طریق دوم زیست شناختی است یعنی این که با برقراری جریان هوا در کف استخر باکتریهای هوازی فعال شده و جای خود را با باکتریهای بی‌هوازی عوض می‌کنند و تولید $SH_2$ متوقف می‌شود.

*گاز متان*؛ نیز به همان طریق از محیط بیرون خواهد رفت.

*گاز* $Co_2$؛ در طول روز جذب زی‌شناوران گیاهی و خزه‌ها خواهد شد و در شب نیز با فعالیت دستگاه‌های هواده از محیط آب خارج می‌گردد.

بنابراین، همان طوری که ملاحظه می‌شود دستگاه هواده در عمل دو کار انجام می‌دهد: یکی تأمین اکسیژن محلول و دیگری بیرون راندن گازهای سمی دیگر ازمحیط آب. اینجاست که اهمیت کار دستگاه هوادهی معلوم می‌شود. پرورش دهندگان ماهی که از دستگاه هواده جت استفاده می‌کنند گاهی اوقات متوجه می‌شوند که به محض روشن شدن دستگاه د رنیمه شب، بوی نامطبوعی از استخر به هوا پراکنده می‌شود. این همان گاز $SH_2$ است که در کف استخر تجمع پیدا کرده و خارج می‌شود.

### ۴-۳- چگونگی استفاده از دستگاه‌های هوادهی

استفاده از دستگاه‌های هوادهی در استخرهای پرورش آبزیان، نیاز به آموزش و تجربه دارد. موضوعهای مهمی که در چگونگی استفاده باید در نظر داشت عبارتند از:

۱- تعداد هواده مورد نیاز درهر هکتار استخر

۲- نحوه استقرار و آرایش دستگاه‌ها در استخر

۳- زمان روشن و خاموش کردن دستگاه‌ها

#### ۱-۴-۳- *تعداد هواده مورد نیاز در واحد سطح*

به طور کلی در هر سطحی از تولید یا تراکم، برای نگهداری اکسیژن محلول در آب در حد اشباع و همچنین تخلیه گازهای سمی، تعداد بخصوصی دستگاه هواده مورد نیاز است. برای تعیین این تعداد دو روش وجود دارد: یکی روش ریاضی که مبتنی بر محاسبه‌ها و فرمولهای ریاضی است که از حوصلهٔ پرورش دهندگان ماهی خارج است، ولی برای آشنایی کارشناسان و علاقه‌مندان قسمتی از این محاسبه‌ها در پایان این بخش آورده می‌شود و دوم، روش تجربی که برای پرورش دهندگان کاربردی‌تر است و به آسانی می‌توان آن را تعیین نکرد.

در روش ریاضی ابتدا، ظرفیت اکسیژن دهی یک دستگاه هواده را تعیین می‌کنند. اگرچه اغلب کارخانه‌های سازنده این دستگاه‌ها ظرفیت آن را روی دستگاه می‌نویسند ولی این اعداد باید در شرایط محل چک شوند، سپس فرض می‌کنند که اکسیژن محلول در آب استخر در حالت حداقل به عدد صفر می‌رسد و حالا باید محاسبه شود، برای این که اکسیژن محلول در آب ازعدد صفر (پایین‌ترین حد ممکن) به عدد ۱۰۰ درصد اشباع برسد چه تعداد هواده نیازاست. بدیهی است، در اینجا تمام اطلاعات وضعیت فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی استخر مورد نیاز است چون رسانیدن اکسیژن محلول از صفر به ۱۰۰ درصد با توجه به فاکتورهایی مثل دمای آب، تراکم ماهی، غلظت مواد آلی، کلروفیل وغیره متفاوت است. روی همین اصل روش تجربی بر روش ریاضی مزیت دارد.

در روش تجربی، پرورش دهنده به یک سری اندازه‌گیریهای اکسیژن در آب نیازدارد. دواستخر هم اندازه در یک مزرعه پرورش ماهی انتخاب می‌شود تمام کارهای مدیریتی اعم از کوددهی، تغذیه، تراکم و غیره باید یکسان باشد. در یک استخر در هر هکتار ۲ دستگاه هواده نصب و راه‌اندازی می‌شود و در طول یک فصل تابستان به طور دایم مقدار اکسیژن محلول در آب هر دو استخر در ساعات اولیه بامداد اندازه‌گیری شده و یادداشت می‌شود. شک نیست که در شرایط خاصی اکسیژن محلول در آب استخر بدون دستگاه هوادهی به زیر ۲ میلی‌گرم در لیتر و در کف استخر حتی به صفر هم می‌رسد در همان شرایط و زمان، اگر اکسیژن محلول در آب استخر دارای دستگاه هوادهی در حدود ۸۰ درصد اشباع باشد باید گفت که آن تعداد و نوع هواده برای تولیدی در همان سطح کافی است. ولی اگر اکسیژن محلول در استخر دارای هواده، به زیر ۵۰ درصد اشباع برود تعداد دستگاه هواده کم است و باید یک دستگاه در هر هکتار اضافه شود و مجدداً اندازه‌گیری اکسیژن محلول ادامه پیدا کند تا از کافی بودن تعداد دستگاه اطمینان حاصل شود. لازم است تأکید شود، تعداد دستگاه‌های هواده که به این طریق تعیین می‌شوند اولاً برای همان نوع هواده که ساخت یک کارخانه باشند کافی است و ثانیاً اگر قرار شد سیاست تغذیه و کوددهی تشدید شود یا برنامه‌ای برای افزایش تولید در واحد سطح در دست باشد باید تعداد هواده زیادتر شود.

با توجه به تجربه‌های موجود در پرورش ماهی در کشور ما، چنین به نظر می‌رسد که به کارگیری دو دستگاه هواده با ظرفیت اکسیژن دهی هر یک ۴/۵ کیلوگرم اکسیژن در ساعت و برنامه تولیدی ۵-۶ تن ماهی برای یک هکتار استخر، در مناطق نیمه گرمسیری و معتدل کشور ما کافی است. در یک آزمایش که به شکل فوق انجام گردید در طول فصل پرورش، میزان اکسیژن محلول در آب از ۵ میلی گرم در لیتر پایین تر نمی‌رفت دراین آزمایش، مقدار ۵ تن ماهی در هر هکتار نگهداری می‌شد درجه حرارت آب حدود ۳۰ درجه در نوسان بود و روزانه حدود یک صد کیلوگرم غذای خشک و ۱۵۰ کیلوگرم یونجهٔ تر و یک صد کیلوگرم کود حیوانی مرطوب مصرف می‌شد. البته، یادآور می‌شود که تعویض آب به مقدار کم ولی

دایم انجام می‌شد. در هر صورت این آزمایش کامل نیست و نقص‌هایی دارد.

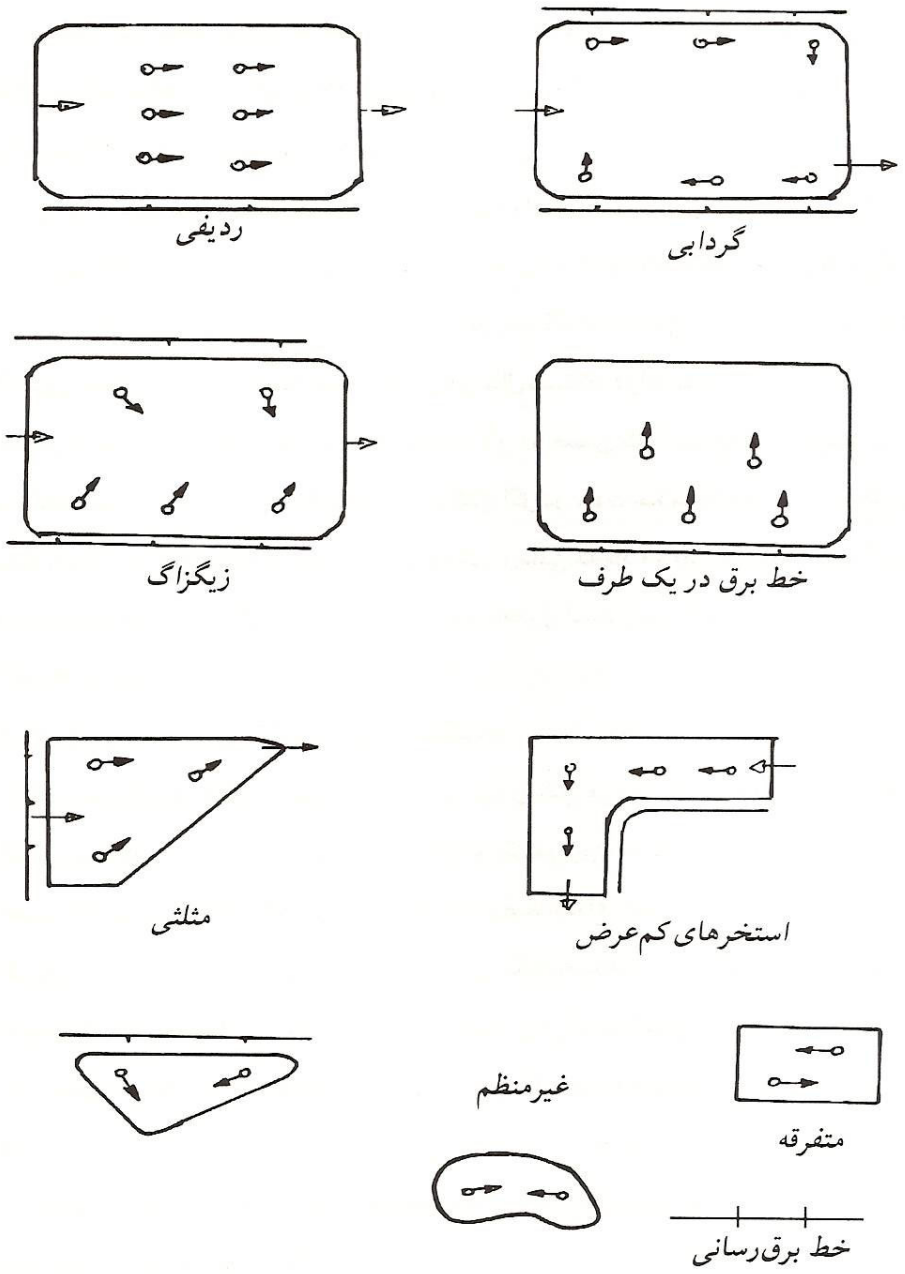
**۲-۴-۳- *نحوهٔ استقرار و آرایش دستگاه‌های هواده در استخر***

به طور کلی دستگاه‌های هواده باید به طور متفرق در سطح استخر پخش گردند و فواصل به نسبت مساوی از یکدیگر داشته باشند. فاصله این دستگاه‌ها ازسواحل استخر، کمتر از ۱۵ متر نباشد وبه هیچ وجه به شکلی قرار نگیرند که آب استخر را گل‌آلود کنند.

در هوادهنده‌های حبابی و ایمپلر و پدل، جهت هواده اهمیت ندارد،اما در هوادهنده‌های مکشی یا جت باید به جهت دستگاه هم توجه کرد. زیرا این دستگاه‌ها همان گونه که ذکر شد می‌توانند، در استخر جریان افقی ایجاد کنند و آب را به حرکت در آورند. در شکل ۸، چند نمونه نحوهٔ آرایش دستگاه‌های هواده جت به صورت پیشنهادی آورده شده است. در یکی از این اشکال، اگر تعداد دستگاه‌های هواده کافی باشد در استخر گردابی ایجاد خواهد شد و در نتیجه تمام ضایعات و آشغالها در وسط استخر متمرکز می‌شوند و این بخصوص زمانی مفید خواهد بود که سیستم تخلیه آب در وسط استخر پیش بینی شده باشد که در پرورش ماهیان گرمابی مرسوم نیست.

در استخرهایی که به صورت دراز و مستطیل ساخته می‌شوند و طول زیادی دارند، دستگاه‌های هوادهی را در جهت طول استخر با فواصل مساوی نصب می‌کنند. مثلاً اگر عرض استخر ۵۰ متر باشد یک دستگاه هواده در یک عرض کافی است. اگر عرض استخر یکصد متر باشد دو دستگاه هواده را به فاصلهٔ حدود ۵۰ متر ازهمدیگر در یک ردیف، می‌توان جای داد و به همین ترتیب هر چه عرض استخر بیشتر باشد تعداد هوادهی که در یک ردیف جای می‌گیرند بیشتر خواهد بود.

جهت جریان آب در استخرهایی که از سیستم عبور جریان آب استفاده می‌کنند و جهت باد در مناطقی که بادهای دایمی وجود دارد می‌تواند در نحوهٔ استقرار دستگاه‌های هوادهی مؤثر باشد.




شکل ۸- آرایش پیشنهادی هوادهنده‌های تزریقی در استخر پرورش آبزیان

به طور کلی نصب هواده در مدخل ورودی آب تازه و غنی از اکسیژن ضرورتی ندارد بلکه، هواده را باید در محلهایی که دسترسی کمتری به آب تازه وجود داردو گوشه‌هایی ازاستخر که آب مرده تجمع یافته است نصب کرد.

از طرف دیگر، در مواقعی که باد شدیدی وجود دارد، روشن کردن دستگاه‌های هوادهی ضرورتی ندارد. علی‌الخصوص اگر شدت باد در حدی است که در استخر موج ایجاد می‌کند، در این صورت باد می‌تواند لایه‌های آب را به هم زده، گازهای سمی را از آب خارج کرده و اکسیژن محلول را در حد اشباع منظم کند. در هر حال دستگاه هواده جت را، می‌توان در جهت همسو با جریان باد نصب کرد در این صورت اگر در ضمن کار دستگاه، باد وزیده شود، دستگاه بهتر و راحت‌تر کار خواهد کرد و برعکس، اگر در جهت خلاف باد نصب شده باشند، ممکن است به موتور دستگاه فشار وارد شود. در زمانی که باد ملایمی می‌وزد بازده کاری هواده‌های پدل و فواره کردن آب، بیشتر از حد معمول است زیرا آب به قطرات ریزتر، شکسته خواهد شد.

### ۳-۴-۳- *زمان روشن و خاموش کردن دستگاه‌ها*

اندازه‌گیری‌های مقدار اکسیژن محلول در آب، روشن می‌کند که در چه شرایطی مقدار اکسیژن محلول در آب از ۱۰۰ درصد اشباع پایین‌تر می‌رود. به طور کلی اگر در ساعات غروب و اوایل شب مقدار اکسیژن محلول از ۸۰ درصد اشباع پایین‌تر باشد خطر صفر شدن اکسیژن در بامداد روز بعد وجود دارد. بنابراین، باید به منحنی تغییرات اکسیژن محلول توجه داشت که چه زمانی ممکن است اکسیژن محلول درآب از ۷ میلی‌گرم در لیتر کمتر شود و در چنین شرایطی یا یک ساعت قبل از آن باید اقدام به روشن کردن دستگاه‌های هوادهی‌کرد.

ساعت روشن و خاموش کردن هوادهنده‌ها در استخرهای پرورشی ماهیان گرمابی که کود داده می‌شود، در جدول ۵ ارائه شده است.

*جدول ۵- ساعت روشن و خاموش کردن هوادهنده‌ها در ارتباط با شرایط جوی*

| شرایط جوی | ساعت روشن کردن | ساعت خاموش کردن |
|---|---|---|
| روزهای آفتابی کامل | ساعتهای قبل از طلوع | ۹-۸ صبح |
| روزهای نیمه آفتابی | ساعتهای پس ازنیمه شب | ۹-۸ صبح |
| روزهای ابری یا غبار آلود | نیمه شب | ۹-۷ صبح |
| چند روز متوالی ابری | ابتدای شب | ۹-۷ صبح |
| بادهای شدید | نیازی به هوادهی نیست | |
| زمانی که سطح آبها یخ می‌بندد | تمام مدت روشن باشند | |
| در زمستان بدون بخبندان | نیازی به هوادهی نیست | |

همچنین تعیین ساعت دقیق روشن کردن بستگی به شرایط درجه حرارت و وضعیت باد دارد و جدول فوق تقریبی است. در ضمن در مناطق گرم و روزهای آفتابی که در استخر لایه‌بندی حرارتی و غذایی وجود دارد، می‌توان در ساعتهای وسط روز به مدت ۲ ساعت دستگاه‌ها را روشن نگه داشت. همان طوری که در قبل گفته شد، افزایش مواد آلی به استخر عامل مهمی در مصرف اکسیژن محلول به شمار می‌رود. پس باید به این فاکتور توجه کرد.

ضروری است در اینجا به این موضوع اشاره شود که دستگاه‌های هوادهی نباید فقط در شرایط کمبود اکسیژن روشن شوند، بلکه در شرایط زیر نیز باید آنها را روشن کرد:

- *افزایش تراکم گاز سمی نظیر* $SH_2$ و $CO_2$ و $NH_3$.
- *افزایش اکسیژن اشباع بیش از ۳۰۰ درصد (برای کپور ماهیان افزایش اکسیژن محلول بیش از این مضر است و موجب صدمه رسیدن به برانش ماهی می‌شود).*
- *به وجود آمدن لایه‌بندی حرارتی در استخر.*
- *به وجود آمدن لایه‌بندی غذایی (زی‌شناوری) در استخر.*
- *افزایش غلظت مواد آلی (افزایش* B.O.D و C.O.D *) بیشتر از حد مجاز.*
- *ظهور زی‌شناوران سمی در استخر.*

## ۵-۳- اصول طراحی سیستم هوادهی

### ۱-۵-۳- *غلظت تعادل اکسیژن در آب (غلظت اشباع)*

به طوری که در جدول یک مشاهده می‌شود اکسیژن محلول در آب، در فشار و دماهای مختلف تحت شرایطی به غلظت اشباع یا تعادل می‌رسد. این غلظت بیشترین مقدار اکسیژنی است که از طریق هوا می‌تواند در آب حل شود. طبق این تعریف، بیشترین مقدار اکسیژنی که می‌تواند در آب حل شود نسبت به غلظت اکسیژن در گاز در شرایط متعارف و فشار را «غلظت تعادلی» گویند. در شرایط استخر پرورش ماهی، گاز به مفهوم هوای اتمسفر می‌تواند باشد، اما اگر قرار است از اکسیژن خالص استفاده شود گاز به مفهوم اکسیژن خواهد بود.

غلظت تعادلی اکسیژن، در سیستم گاز مایع (هوا - آب) به وسیلهٔ قانون هنری[1] بیان می‌شود:

$$Po_2 = Xo_2 \times H$$

که در آن:

$Po_2$: فشار جزئی اکسیژن در فاز گازی (هوا) در بالای سطح آب بر حسب پاسکال

$Xo_2$: کسر مولی اکسیژن به لیتر

$H$: ضریب ثابت هنری که بستگی به درجه حرارت آب دارد.

و چون فشار جزئی یک قسمت از مخلوط گاز با حجم آن قسمت (کسر حجمی) در مخلوط گاز متناسب است بنابراین:

$$Po_2 = Xo_2 \times P$$

که در آن:

$P$: فشار مخلوط گازها (هوا) به پاسکال

$Xo_2$: کسر حجمی اکسیژن (۲۱ درصد حجم هوا از اکسیژن تشکیل شده یعنی $Xo_2 = ۰/۲۰۹۹$)

1- Henry's law

در معادله‌های فوق، غلظت اکسیژن را به صورت کسر مولی اکسیژن ($Xo_2$) بیان کردیم ولی گاهی، غلظت اکسیژن به صورت کسر وزنی یا غلظت وزنی اکسیژن مطرح می‌شود:

$$Wo_2 = \frac{Xo_2}{(1-Xo_2)} \times \frac{Mo_2}{MH_2o} \ (Kg \times Kg^{-1})$$

در این معادله $MH_2O$ و $Mo_2$ به ترتیب جرم مولکولی اکسیژن و آب هستند و $Wo_2$ کسر وزنی اکسیژن در هواست. که در نهایت بهتر است به جای کسر وزنی از غلظت اکسیژن در حالت اشباع (Cs) استفاده کنیم که مقادیر آن در جدول یک آورده شده و واحد آن کیلوگرم بر متر مکعب است.

$$Cs = \frac{Wo_2}{SH_2o} \ (kg/m^3)$$

برای بدست آوردن غلظت وزنی اکسیژن در حالت اشباع، کافی است کسر وزنی اکسیژن را به وزن مخصوص آب تقسیم کنیم (وزن مخصوص آب = $SH_2o$). جدول صفحه بعد وزن مخصوص آب را در دماهای مختلف نشان می‌دهد. آب در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بیشترین وزن مخصوص را دارد که معادل یک کیلوگرم بر متر مکعب است. با توجه به دو معادلهٔ فوق می‌توان، غلظت اکسیژن را در حالت اشباع به وسیلهٔ معادله زیر به سهولت محاسبه کرد:

$$Cs = \frac{Xo_2 \times P \times SH_2o}{H} \times \frac{Mo_2}{MH_2O} \ (Kg/m^3)$$

باید به خاطر داشت، در محاسبه‌ها برای هواده‌های سطحی، به جای فشار مخلوط گازها (P) فشار معمولی جو را به کار می‌بریم ولی برای هوا دهنده‌های دیگر که محل خروج هوا در زیر آب است باید علاوه بر فشار جو، فشار ارتفاع آب بالای آن را نیز به حساب آورد و ارتفاع هر میلی‌متر آب مساوی ۹/۸۰۶۶۵ پاسکال است. مقدار (Cs) در فشار معمولی اتمسفر در جدول یک نشان داده شده است.

*جدول شماره ۶- رابطه بین چگالی آب خالص (کیلوگرم بر متر مکعب) و درجه حرارت (سانتی‌گراد)*

| درجه حرارت (سانتی‌گراد) | چگالی آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | درجه حرارت (سانتی‌گراد) | چگالی آب (کیلوگرم برمترمکعب) |
|---|---|---|---|
| ۰ | ۹۹۹/۸۷ | ۱۶ | ۹۹۸/۹۷ |
| ۱ | ۹۹۹/۹۳ | ۱۷ | ۹۹۸/۸۰ |
| ۲ | ۹۹۹/۹۷ | ۱۸ | ۹۹۸/۶۲ |
| ۳ | ۹۹۹/۹۹ | ۱۹ | ۹۹۸/۴۳ |
| ۴ | ۱۰۰/۰۰۰ | ۲۰ | ۹۹۸/۲۳ |
| ۵ | ۹۹۹/۹۹ | ۲۱ | ۹۹۸/۰۲ |
| ۶ | ۹۹۹/۹۷ | ۲۲ | ۹۹۷/۸۰ |
| ۷ | ۹۹۸/۹۳ | ۲۳ | ۹۹۷/۵۷ |
| ۸ | ۹۹۹/۸۸ | ۲۴ | ۹۹۷/۳۳ |
| ۹ | ۹۹۹/۸۱ | ۲۵ | ۹۹۷/۷۰ |
| ۱۰ | ۹۹۹/۷۳ | ۲۶ | ۹۹۸/۸۱ |
| ۱۱ | ۹۹۹/۶۳ | ۲۷ | ۹۹۸/۵۴ |
| ۱۲ | ۹۹۹/۵۲ | ۲۸ | ۹۹۶/۲۶ |
| ۱۳ | ۹۹۹/۴۰ | ۲۹ | ۹۹۵/۹۷ |
| ۱۴ | ۹۹۹/۲۷ | ۳۰ | ۹۹۵/۶۸ |
| ۱۵ | ۹۹۹/۱۳ | - | - |

*توجه: در مناطقی که سطح آنها مساوی در یا نمی‌باشد فشار جو از طریق معادله‌های به خصوصی محاسبه می‌شود و تغییرات فشار در مناطق مختلف معمولاً ۱۰ ± درصد است.*

### ۲-۵-۳- انتقال اکسیژن توسط هواده

مقدار اکسیژنی که می‌تواند در یک مدت زمان مشخص به وسیلهٔ یک هواده در آب حل شود به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{dc}{dt} \; KLa \; (Cs - C)$$

واحد : $gr/m^3/h$

که در آن:

$\frac{dc}{dt}$ = *تغییرات غلظت اکسیژن به تغییرات زمان یا مقدار اکسیژنی که در یک زمان مشخص می‌تواند در آب حل شود.*

Cs = *غلظت اکسیژن محلول در آب در حالت تعادل (گرم بر متر مکعب)*

C = *غلظت اکسیژن محلول در آب (گرم بر متر مکعب)*

t = *زمان (ساعت)*

KLa = *ضریب مقدار انتقالی ویژه* $(h^{-1})$

مقدار این ضریب برابر است با:

$$KLs = Kl \times \frac{A}{V} \text{ بر ساعت}$$

که در این معادله:

A = *سطح انتشار (متر مربع)*

V = *حجم آب (متر مکعب)*

KL = *ضریب مقدار انتقال یافته (متر بر ساعت)*

وقتی که قرار است کارایی یک دستگاه، به خصوص هواده اندازه‌گیری شود و معلوم کنند یک هواده در هر مقدار زمان چند میلی گرم در لیتر اکسیژن می‌تواند حل کند، مقدار KL را در یک مخزن کوچک آب و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری می‌کنند. برای این کار بهتر است ابتدا اکسیژن محلول در آب صفر شود[۱]. دراین صورت اگر مقدار اندازه‌گیری شدهٔ KLa را در مقدار غلظت اکسیژن اشباع (Cs) ضرب کنند مقدار اکسیژن حل

---

۱- برای از بین بردن اکسیژن محلول در آب و به صفر رسانیدن آن از سولفیت سدیم استفاده می‌شود.

شده در مدت زمان به خصوص بدست می‌آید. البته این مقدار برای دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد است و به وسیلهٔ رابطه زیر به دمای معمولی (T) بر می‌گردد.

$$KLa = Kla\ (۲۰^{OC}) \times b^{(T-۲۰)}$$

که در این رابطه T دمای آب و b ضریب ثابتی است برای هوا دهنده‌های پنوماتیکی و در استخرهای تصفیه فاضلاب به طور معمول مقدار آن را ۱/۰۲ در نظر می‌گیرند و برای این که اعداد بدست آمده کاربردی‌تر شود، مقدار ظرفیت اکسیژن دهی را محاسبه می‌کنند. (oc) ظرفیت اکسیژن دهی یک دستگاه هواده، نشان می‌دهد که در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و در فشار معمولی جو و اکسیژن و محلول صفردرطول‌مدت‌یک‌ساعت‌چه‌مقداراکسیژن‌درآب توسط‌آن‌دستگاه‌هواده‌حل‌می‌شود. دررابطه‌زیرنحوه‌محاسبه oc نشان‌داده‌شده‌است:

$$oc = KLa\ (10^{oc}) \times Cs\ (10^{\circ})$$

غلظت اکسیژن اشباع شده در دمای $۱۰^{oc}$ × ضریب مقدار انتقالی = ظرفیت اکسیژن دهی دستگاه

البته اگر همان دستگاه هواده برای استخر بزرگتر مورد استفاده قرار گیرد، مقدار اکسیژن حل شده در آب کمتر خواهد بود. زیرا، آزمایش اغلب در یک مخزن کوچک انجام می‌شود. به همین دلیل فاکتور بهتری به نام کل اکسیژن گرفته شده (ot) برای استخرهای بزرگ محاسبه می‌شود.

و رابطه آن به شکل زیر است:

$$Ot = V \times OC\ (gr/h)$$

(واحد : گرم بر ساعت)

ظرفیت اکسیژن دهی دستگاه × حجم آب = کل اکسیژن گرفته شده: یعنی

مقدار ot با توجه به فشار معمولی جو و این که اکسیژن محلول اولیه (C = O) صفر باشد، بدست می‌آید. و در دماهای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۰ درجه سانتی‌گراد، تفاوت دارد

و چون هوادهنده‌ها قدرتهای مصرفی متفاوتی دارند، در حقیقت بهتر است گفته شود به ازاء هر کیلو وات انرژی، چقدر اکسیژن در آب حل می‌کنند و این موضوع به نام اکسیژن گرفته شده مخصوص (ots) خوانده می‌شود.

$$ots = \frac{V \times OC}{P}$$

(واحد : گرم بر ساعت بر کیلووات)

$$\text{اکسیژن حل شده مخصوص} = \frac{\text{ظرفیت اکسیژن دهی} \times \text{حجم آب}}{\text{توان دستگاه}}$$

این فاکتور (Ots) بهترین فاکتوری است که برای هر نوع هواده لازم است دانسته شود و در حقیقت کارایی هواده ساخت هر کارخانه را معلوم می‌کند. مثلاً اکنون چهار نوع هواده جت در بازار وجود دارد: دو نوع هواده آمریکایی هستند که با مارکهای تجارتی $AIRO^{o2}$ و AERO Mix به بازار عرضه می‌شوند و یک نوع که اخیراً در ایران به نام «اشپیتکا» ساخته شده که همگی به طور کامل به هم شبیه هستند و شاید کپی همدیگر باشند. اما به احتمال زیاد Ots آنها با هم تفاوت دارند و در مورد نمونهٔ اولی این اندازه‌گیری صورت گرفت و Ots دستگاه جت حدود ۲ کیلو اکسیژن در ساعت به ازاء هر کیلو وات بوده است. عوامل مؤثر در تغییر این مقدار عبارتند از، تغییر در دور موتور در قطر و ضخامت پروانه و غیره.

**مثال ۱- هوادهی با هواده چرخ پره‌ای (پدل)**

مشخصات فنی دو نوع هوادهنده سطحی پدل و نتایج حاصل از آزمایش آنها در استخر در جدول ۷ آورده شده است. این هواده‌ها در یک استخر بتونی به ابعاد ۱۷/۵ × ۷/۵ متر آزمایش شدند.

*جدول ۷- مشخصات فنی دو نوع هوادهنده سطحی مورد آزمایش*

| مشخصات / نوع هوادهنده | عرض (میلی‌متر) | طول (میلی متر) | قطر (میلی‌متر) | عرض پره‌ها (میلی‌متر) | ظرفیت‌الکتریکی موتور (کیلووات) | تعدادپره |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الف | ۳۵۵۰ | ۲۰۶۰ | ۱۰۰۰ | ۲۵۰ | ۲/۳ | ۸ |
| ب | ۱۶۳۵ | ۱۷۲۰ | ۶۵۰ | ۱۸۰ | ۲/۲ | ۹ |

| نوع هوادهنده | مقدار اکسیژن گرفته شده (متر) | مشخصات کارکرد لیتر در دقیقه، ارتفاع (میلی‌متر) | متوسط اکسیژن گرفته شده (کیلوگرم بر ساعت) | توان مصرفی (کیلووات) | اکسیژن گرفته شده مخصوص (Kg/Kw/h) |
|---|---|---|---|---|---|
| الف | ۱/۲ | ۶۵ ،۱/۵ | ۱/۸ | ۱/۹۸ | ۰/۹۱ |
| | ۱/۲ | ۹۰ ،۹۰ | ۱/۵ | ۱/۶ | ۰/۹۴ |
| | ۰/۸ | ۹۰ ،۹۰ | ۲۲ | ۱/۵۶ | ۱/۴۱ |
| ب | ۱/۲ | ۲۱۰ ،۱۲۶ | ۲/۵۰ | ۲/۵۶ | ۰/۹۸ |
| | ۰/۸ | ۲۱۰ ،۱۲۶ | ۳/۱ | ۲/۵۶ | ۱/۲۱ |

به طوری که در جدول مشاهده می‌شود، هوادهندهٔ نوع (الف) در عمق ۸۰ سانتی متر آب کارایی بیشتری نسبت به عمق ۱/۲ متر دارد از طرف دیگر، اگر چه هواده نوع (الف) بزرگتر از هواده نوع (ب) است ولی در عمق مشابه، کارایی یکسان داشته‌اند، چون توان مصرفی هواده کوچکتر، بیشتر بوده است.

**مثال ۲- هوادهی با هواده تولید کنندهٔ حباب (پنوماتیکی)**

جدول زیر، نتایج آزمایش یک دستگاه هواده را که در یک مخزن ۷/۵ × ۱۷/۵ متر مورد آزمایش قرار گرفت نشان می‌دهد. تعدادی لولهٔ پلاستیکی سوراخ‌دار با طول هر لوله ۲/۳ متر و قطر ۲۵ میلی‌متر با دو ردیف سوراخ روی لوله‌ها که فاصله هر دو سوراخ ۲۰ میلی‌متر و قطرسوراخ ۱/۵ میلی‌متر بوده دراین مخزن کار گذاشته شدند.

| تعداد لوله‌ها | عمق آب (متر) | مشخصات کاری: فشار میلی‌متر جیوه | مشخصات کاری: دبی متر بر ساعت | متوسط اکسیژن گرفته شده کیلوگرم‌برساعت | توان‌مصرفی کیلووات | Ots کیلوگرم / کیلووات‌برساعت |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۵ عدد | ۰/۸ | ۷۶۰ | ۵۸۷ | ۳ | ۱۳/۱ | ۰/۲۳ |
| ۲۰ عدد | ۰/۸ | ۱۳۵ | ۵۱۷ | ۲/۷ | ۹/۴ | ۰/۲۹ |
| ۲۰ عدد | ۰/۸ | ۱۲۰ | ۴۱۰ | ۲/۴ | ۷/۵ | ۰/۳۲ |
| ۲۰ عدد | ۱/۲ | ۱۳۵ | ۳۲۲ | ۳ | ۵/۹ | ۰/۵۱ |
| ۲۰ عدد | ۱/۲ | ۱۲۰ | ۲۲۸ | ۱/۹ | ۴/۰۵ | ۰/۴۷ |

## منابع


۱- ترجمه مهندس فرید پاک. فرهاد؛ آذر ۱۳۶۴؛ ***روشهای ویژه پرورش ماهیان گرمابی***؛ ناشر دانشکده منابع طبیعی کرج؛ دانشگاه تهران.

۲- دکتر کمالی راد. عباس؛ پاییز ۱۳۶۴؛ ***راهنمای آب***؛ ناشر : انتشارات ایران علمی.

۳- دکتر دانشور. نظام‌الدین؛ ***شیمی آب***؛ ناشر : دانشکدهٔ شیمی دانشگاه شیراز.

۴- ترجمه دکتر بنازاده ماهانی. محمد رضا؛ ***تکنولوژی آبهای آلوده***؛ ناشر: جهاد دانشگاهی دانشکدهٔ بهداشت.

۵- ترجمه مهندس محوی. امیر حسین؛ ***تصفیه فاضلاب‌ها در مناطق گرمسیری***؛ تألیف، دانکن مارا؛ ناشر: جهاد دانشگاهی دانشکدهٔ بهداشت.

6- Aquaculture Hungarica, 1978, I & 1980 II *Fisheries research institute Hungary.*

7- C.R. Glodmann & Homm 1987 *Limnology Pab.* pud. Mc Graw Hill.

8- Lvaradi & J - kepenyes 1987. *Aquaculture Engineering* (Aeration & Oxygenation in aquaculture) Pub. FAO.

9- C.E. Boy D-1975 *Water quality management for pond fish Culture.*

10- Z. Svobodova & B, Vykusova. 1991. *Diagonstics, prevention & Therapy of fish Diseases & intoxications. Pub.* Research institute of fish culture czechoslovakia.