دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دانشکده علوم دامی وشیلات

گروه شیلات

رساله کارشناسی ارشد

مدلسازی اثرات میزان و ترکیب غذا روی رشد و ذخیره مواد مغذی در ماهی قزل آلای رنگین کمان *(Oncorhynchus mykiss)*

سحر عباسی فرد

استاد راهنما :

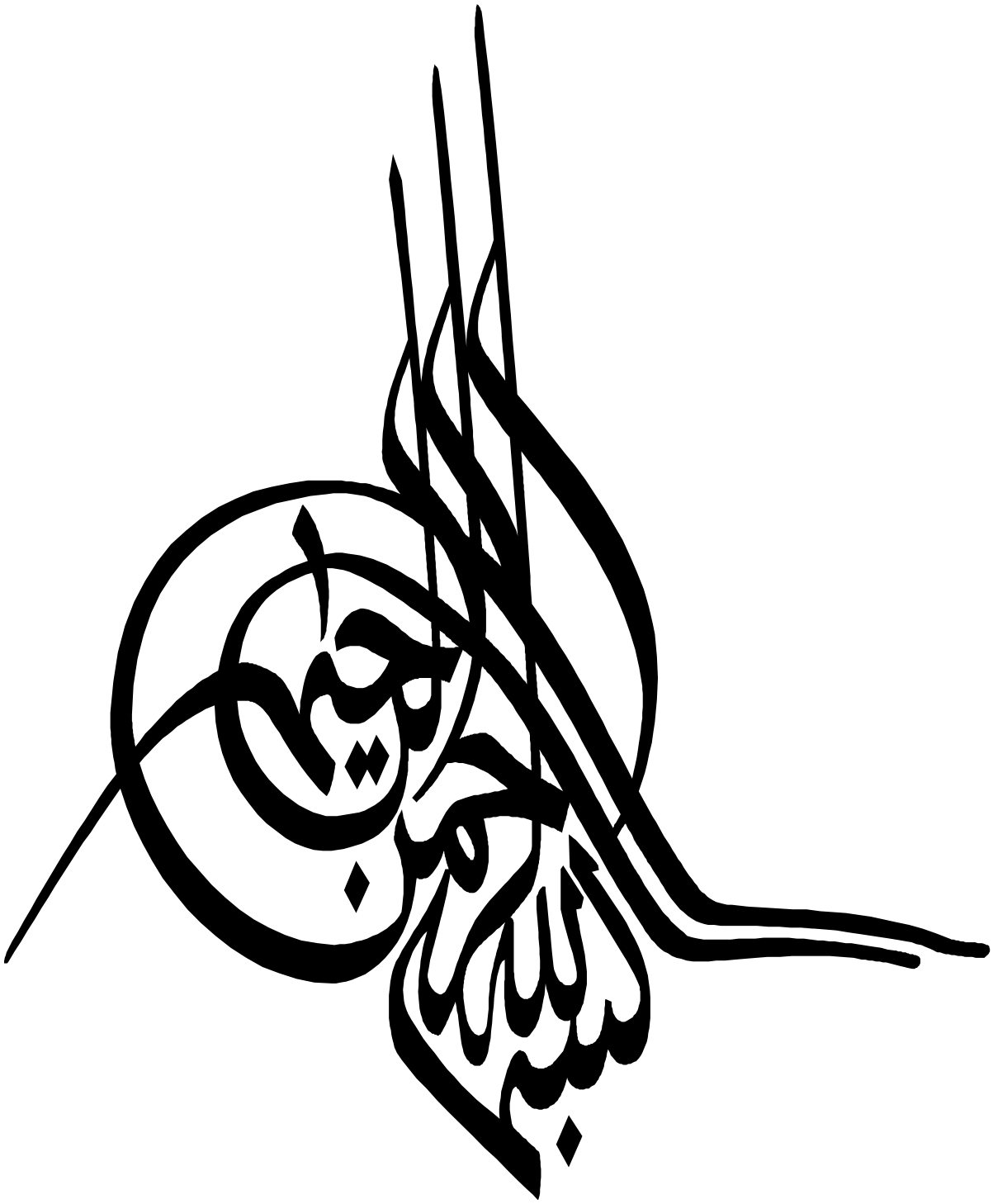
دکتر عبدالصمد کرامت

اساتید مشاور:

دکتر اسداله تیموری

دکتر حسین رحمانی

شهریور ۱۳۹۱


بسم الله الرحمن الرحيم

تشکر وقدر دانی

به حمد و قوه الهی وسپاس ایزد منان ، به حکم ادب و احترام بر خود لازم می دانم تا از زحمات جناب آقای دکتر عبدالصمد کرامت که راهنمایی این پایان نامه را به عهده گرفتند و از رحمات اساتید مشاور خود دکتر اسداله تیموری و دکتر حسین رحمانی تشکر وقدر دانی نمایم. همچنین لازم است از زحمات بی منت پدر ومادر مهربانم که مرا به این مقطع تحصیلی رسانیده اند تشکر کنم.

تقدیم به پدر و مادرعزیزم به پاس قلب بزرگشان که فریاد رس اند و

سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت میگراید.

و به همسر فداکارم به پاس همدلی و همراهی بیکرانش .

فهرست

۱. چکیده ۷

۲. مقدمه ۹

۳. کلیات ۱۳

۳-۱. مدلسازی واهمیت آن ۱۳

۳-۲. خصوصیات بیولوژیکی رشد ماهی ۱۴

۳-۳. مدل های بیوانرژیتیک ۱۵

۳-۴. مدل های بر پایه مواد مغذی ۱۹

۴. مواد وروش ها ۲۳

۴-۱. تشریح مدل و اجزای آن ۲۳

۴-۲. کمی نمودن اجزای مدل (پارامترازسازی) ۳۱

۴-۳. محاسبات ۳۴

۴-۴. داده های استفاده شده برای تست مدل ۴۲

۴-۵. تجزیه وتحلیل داده ها ۴۵

۵. نتایج ۴۷

۵-۱. نتایج تست پارامترهای پیشنهادی ۴۷

۵-۲. مقایسه بین رتایج تست داده های آزمایشی برای مدل پیشنهادی ما با نتایج تست داده های آزمایشی برای مدل (FGS2) ۴۸

۵-۳. نتایج تست داده های آزمایشات در مدل پیشنهادی ما ۵۵

۶. بحث ۵۸

۶-۱. مقایسه میان دقت پیش بینی مدل پیشنهادی ما و مدل (FGS2) ۵۸

۶-۲ بررسی نتایج مدل پیشنهادی ما ۶۰

۷. پیشنهادات ۶۲

۸. منابع ۶۴

۹. خلاصه انگلیسی ۷۳

چکیده

استفاده از علم مدل سازی در مطالعات تغذیه ای میتواند با کمک آزمایشات انجام شده قبلی فرایندهای رخ داده در داخل بدن موجود را بطور کمی پیش بینی نموده و براساس آن برآوردی از پارمترهای مهم تغذیه ای مانند کارآیی مواد غذایی، رشد، تولید مواد آلاینده ارائه دهد.این تحقیق به منظور طراحی مدلی به منظور پیش بینی دقیق تر رشد و ترکیب شیمیایی بدن ماهی قزل آلای رنگین کمان *Oncorhynchus mykiss* انجام شد. چارچوب اصلی کار برگرفته از مدل رشد تحت عنوان (FGS2) برای پیش بینی رشد ماهی قزل آلا بود که اثرات سطوح غذا و ترکیب های مختلف غذا روی رشد این ماهی بررسی کرد و در زمان خود موفقیت خوبی داشت. مدل رشد (FGS2) می توانست چربی و پروتئین ذخیره شده را با توجه به میزان و ترکیب غذا ودرجه حرارت محیط پیش بینی کند. اما این مدل با توجه به گذر زمان نیاز به پارامتر سازی دوباره دارد . از جمله پارامتر هایی که اصلاح شدند شامل قابلیت هضم پذیری برای پروتئین ،چربی وکربوهیدرات ، متابولیسم روتین ، متابولیسم تغذیه و رابطه بین پروتئین و وزن تر ماهی بودند و منابع دیگری برای محاسبه این مقادیر پیشنهاد شدند . داده های موجود در چند آزمایش برای تست مدل استفاده شدند . نتایج نشان دادند که رابطه بین پروتئین ووزن تر ماهی پیشنهادی نتوانست پیش بینی دقیق تری از مدل (FGS2) داشته باشد اما با تغییر قابلیت هضم پذیری برای پروتئین ،چربی وکربوهیدرات، متابولیسم روتین و متابولیسم تغذیه مدل توانست پیش بینی بهتری از مدل (FGS2) داشته باشد . نتایج پیش بینی توسط مدل(FGS2) به این صورت بود برای پروتئین ذخیره شده ۲۰.۹ ٪= ARE میانگین درصد خطا با محدوده ٪ ۱۹.۶- تا ٪ ۸۶.۴ ، برای چربی ذخیره شده ٪ ۲۹.۴ = ARE با محدوده ٪۱۲.۲- تا ٪ ۱۱۷ و برای وزن تر ماهی، ٪ ۲۱.۴ = ARE با محدوده ٪ ۳۵.۲- تا ٪ ۹۰.۹۳. درصورتیکه اگر میزان واقعی هضم پذیری در نظر گرفته شوند این مقادیر به این صورت تغییر خواهند کرد برای پروتئین ذخیره شده ٪ ۴۹.۷ = ARE با محدوده ٪ ۴.۸ تا ٪ ۱۰۱.۵ برای چربی ذخیره شده ٪ ۴۲.۰۶ = ARE با محدوده ٪ ۰.۱ -تا ٪ ۷۵.۷ و برای وزن تر ماهی ٪ ۴۴.۳ = ARE با محدوده ٪ ۳.۱- تا ٪ ۴۴.۳۱. این نتایج توسط مدل بعد از تغییر پارامتر ها به این صورت بود برای پروتئین ذخیره شده ٪ ۵.۷۷ = ARE با محدوده ٪ ۵۲.۵- تا ٪ ۵۸.۲ ، برای چربی ذخیره شده ٪ ۳۰.۰۶ = ARE با محدوده ٪ ۲۸.۸- تا ٪ ۵۷.۹ و برای وزن تر ماهی ٪ ۶.۶۳ = ARE با محدوده ٪ ۸۶.- تا ٪ ۶۲.۷ که نتایج بطور محسوسی با درصد خطای پایین تری همراه بود . پیش بینی دقیق تر مدل ساخته شده در این آزمایش در رابطه با میزان رشد و پروتئین ذخیره شده می تواند در نتیجه اصلاح ضرایب هضم پذیری مواد مغذی، محاسبه تلفات گرمایی بر اساس ترکیب شیمیایی جیره و همچنین تغییر ضرایب متابولیسم روتین باشد.

کلمات کلیدی: مدل رشد , متابولیسم روتین , قزل آلا ,هضم پذیری

فصل اول

مقدمه

مقدمه

پس از ده ها سال تحقیق در عرصه های مختلف زیست شناسی و شناسایی پیچیدگی های فرایندهای زیستی دانشمندان متوجه شده اند که دید جزئی نگر و نگاه محدود به تک تک عناصر و یافته های زیست شناسی، پاسخگوی نظام پیچیده و شبکه مانند موجود حتی در یک سلول زنده نیست. بنابراین علاوه بر ضرورت ادامه تحقیقات در کشف جزئیات، باید دیدی کلی نگرانه و سیستمی به موجودات زنده داشت. در این راستا مشکل در کشف ارتباط بین یافته‌های مختلف است. حجم عظیم اطلاعات گردآوری شده در ۵۰ سال گذشته امکان این‌که افراد بتوانند این ارتباط را شناسایی کنند را بسیار مشکل ساخته است. بنابراین باید از فناوری اطلاعات و رایانه‌ها و انواع برنامه‌های انالیز داده‌ها، شبیه‌سازی و پیش بینی استفاده نمود . بنابراین فناوری اطلاعات نقش بسیار مهمی در زیست شناسی نوین دارد و در این راستا دانشی به نام سیستم بیولوژی یا نگاه سیستمی به زیست شناسی در زیست شناسی نوین ایجاد شده و در حال تحول است و از دانش دیگری موسوم به بیوانفورماتیک و آمار و اطلاعات بهره می گیرد که در این علوم سعی می شود ارتباط بین یافته های مختلف زیستی شناسایی گردد (حمیدی زاده،۱۳۷۹).

قزل آلا از جمله ماهیانی است که پرورش آن در دنیا سابقه طولانی دارد و به حدود یک قرن می رسد (Lovell, 1988). به نظر می رسد از اولین ماهیانی باشد که جیره غذایی برای آن نوشته شده است. در ایران نیز پرورش ماهی به منظور تولید گوشت از سال ۱۳۳۹با تولید ماهی قزل آلای رنگین کمان شروع شد (محبوبی صوفیانی،۱۳۸۰). با توجه به مورد پسند بودن و استقبال مصرف کنندگان از این ماهی و پتانسیل های موجود پرورش این گونه در کشور ، طی سال های اخیر افزایش داشته است . بر اساس سالنامه آماری سازمان شیلات ایران میزان تولید آن از ۹ هزارتن در سال ۱۳۷۹به ۶۲ هزار تن در سال ۱۳۸۷رسیده است.(سالنامه آماری شیلات۱۳۸۸)

انرژی غذای بلعیده شده توسط ماهی پس ا ز تامین نیاز متابولیسم پایه می تواند صرف ساخت بافت های جدید شود که اصطلاحاً رشد نامیده می شود (Wootton, 1990). هدف در تغذیه حیوانات تبدیل مواد غذایی به بافت (افزایش رشد) با کیفیت بالا و در کمترین زمان ممکن است . به همراه افزایش رشد، کیفیت و ترکیبات تشکیل دهنده محصولات تولید شده نیز می تواند با اهمیت باشد به عنوان مثال تبدیل میزان کمتری از غذا به چربی یکی از اهداف تغذیه بهینه است که میتواند به نفع تولید کننده ومصرف کننده باشد. تولید کمتر مواد آلاینده ناشی از پرورش می تواند یکی دیگر از اهداف تغذیه بهینه باشد (Amirkolaie, 2011). بر این اساس تعدادی زیادی از آزمایشات صرفا توجه شان به سمت کارآیی غذا ، میزان استفاده پروتئین و چربی در ارتباط با اندازه ماهی ، میزان غذا و همچنین جابجایی مواد اولیه غذایی جلب شده است.

(Aursand, *et al* 1994; Azevedo, *et al* 1998; Lupatsch, *et al* 2001; Cheng, *et al* 2003).

در این راستا تعیین رابطه کلی بین مصرف غذا واضافه وزن به منظور پیش بینی رشد واحتیاجات مواد مغذی ونیز مدیریت تولید ، مفید به نظر میرسد (Dumas *et al* ., 2010) . از طرفی تعیین روابط بین مصرف غذا و رشد برای انواع مختلف غذاوبرای دسته های وزنی مختلف ماهیان در شرایط پرورشی مختلف نیاز مند زمان و هزینه بالا است . به این منظور مدلسازی میتواند به کمک آید و ارتباط بین مصرف غذا و رشد را پیش بینی کند و نقش بسیار مهمی را در برنامه ریزی برای توسعه آبزی پروری ایفا کند (Ricker1979 , Tran-duy et al., 2008) .

در این میان مدل هایی که میتوانند بخوبی رشد وکاربری مواد مغذی را توصیف و پیش بینی کنند میتوانند در رشد اقتصادی و پایداری محیطی مفید باشند (Hua et al ., 2009) . مدل های بیوانرژیتیک رایج دارای محدودیت هایی هستند و به قدر کافی مناسب نیستند تا برای شرایط وسیعی که آبزی پروری با آن مواجه است قابل اجرا باشند ، بنا براین نیاز برای مدل های تشریحی که بر پایه کاربری مواد مغذی باشند احساس میشود (Bureau & hua 2008).

در طول دهه گذشته یک مدل تشریحی بر پایه مواد مغذی برای رشد ماهی در دانشگاه wageningen توسط (Machiels & Henken1986) برای گربه ماهی *Clarias gariepinus* و (Van Dam and penning De Veries 1995) برای ماهی تیلاپیا *Oreochromis niloticus* و قزل آلا *Oncorhynchus mykiss* انجام شد که به ترتیب منجر به معرفی مدل پیش بینی رشد ماهی (Fish growth simulator 1) (FGS1) و (Fish growth simulator 2) (FGS2) گردید . این مدل ها در زمان خود موفقیت خوبی در پیش بینی رشد داشتند ، اما بعضی از پارامتر هایی که آن ها در نظر گرفتند با توجه به گذشت زمان تغییر کرده برای مثال کیفیت غذای مصرفی ماهی و هضم پذیری مواد مغذی بالاتر رفته و این مدل ها با پارامتر های گذشته برای شرایط پرورشی امروز قابل اجرا نخواهند بود . از طرفی بعضی از پارامتر های مربوط به متابولیسم نیز میتوانند باز نویسی شوند .

بر اساس موارد اشاره شده هدف و فرضیات این تحقیق شامل موارد زیر خواهد بود:

هدف تحقیق :

توسعه مدل (FGS2) با به روز کردن پارامتر ها برای قزل آلای رنگین کمان.

فرضیات تحقیق:

۱. مدل میتواند میزان رشد و ترکیب شیمیایی بدن ماهی قزل آلا را پیش بینی کند
۲. به روز کردن پارامترهای هضم پذیری و متابولیسم پیش بینی دقیق تری را به دنبال خواهد داشت

فصل دوم

کلیات

کلیات

مدلسازی واهمیت آن

صنعت آبزی پروری در سالیان اخیر گسترش فوق العاده ای در سرتاسر دنیا داشته و یک رشد سالیانه حدود ۸درصد در سی سال گذشته نشان داده که بسیار بیشتر از سایر بخشهای تولیدات دامی و کشاورزی می باشد (FAO, 2010) . ثابت ماندن میزان صید جهانی به همراه افزایش تقاضا برای مصرف ماهی و افزایش قیمت محصولات آبزی پروری باعث گسترش صنعت آبزی پروری شد (NRC 1999 ; FAO 2006) . برآوردها نشان میدهد که رشد سالیانه تولید در صنعت آبزی پروری در بین سالهای ۲۰۳۰-۲۰۱۰ بالای ۴درصد می باشد(Brugere & Ridler 2004).

سئوالی که اکنون در برابر محققین شیلاتی وجود دارد این است آیا چنین پتانسیل رشدی پایدار خواهد بود و اینکه خطرات پیش روی گسترش صنعت آبزی پروری کدامند . به عبارت دیگر افزایش تولید در بخش آبزی پروری چالشهای را درباره پایدار بودن افزایش تولید سالیانه، سوددهی واحدهای تولیدی ،مشکلات ناشی از پساب آزاد شده بوسیله پرورش ماهی و نهایتا حفظ کیفیت محصول ایجاد میکند (Naylor et al., 2000; Watanabe 2002). این موارد عمدتا به غذا و تغذیه ارتباط دارند . این نگرانی ها به همراه افزایش هزینه تولید در سالیان اخیر محققین را بر آن داشت تا برای مدیریت بهینه تولید آبزیان وپیش بینی مشکلات فراروی تولید به دنبال توسعه ابزار های دقیقتر باشند.

در این فرایند استفاده از مدل های ریاضی (استفاده از معادلات ریاضی برای توصیف فرایندها در داخل یک سیستم) می تواند راه حل موثری برای حل بعضی از چالش هایی که آبز ی پروری با آن مواجه است باشد. از طرفی روابط متقابل پیچیده در فرایندهای تغذیه ای ، میزان وسیع اطلاعات قابل دسترس امروزه وهزینه بالای انجام آزمایشات در آزمایشات تغذیه ای ، استفاده از مدل های ریاضی را توجیه پذیر ساخته است. مدل ها ابزارهای مفیدی هستند که می تو انند فرایندهای پیچیده ای مثلا رشد با یک زبان ساده تری توضیح دهند . به عبارت دیگر مدل قادر است فرایندهای بیوشیمیایی و زیستی پیچیده ای که در زندگی روزمره در جریان است با زبان ریاضی بصورت قابل فهم بیان کند و با پارامترهای ریاضی آنها را محاسبه کند.

همچنین مدل می تواند پارامترهای مختلفی که در یک فرآیند نقش دارد تعیین نموده ومیزان اهمیت هر یک از آن ها را معین کند. امروزه به اثبات رسیده که مدل های ریاضی در برآورد رشد و تخمین

احتیاجات غذایی که ازپارامترهای با اهمیت در زمینه تولیدات دامی هستند ، گسترش و قابلیت استفاده زیادی دارند ، بنابراین از دانش مدل سازی میتوان برای پیش بینی رشد و برآورد میزان تولید ماهی و برنامه ریزی درمدیریت آبزی پروری استفاده کرد. (; Dumas et al 2010; Murray 1914 ; Kellner 1911; Brody1945; Blaxter1989; Dumas et al 2008 Baldwin 1995) استفاده از مدل همچنین میتواند وابستگی مارا به انجام آزمایش کم کند به عنوان مثال تعیین روابط بین مصرف غذا و رشد برای انواع مختلف غذاوبرای دسته های وزنی مختلف ماهیان در شرایط پرورشی مختلف نیاز مند زمان وهزینه بالا است . برای غلبه براین مشکلات مدلسازی میتواند به کمک آید و ارتباط بین مصرف غذا و رشد را پیش بینی کند (Ricker1979) .

در سالیان اخیر به همراه افزایش تولید، بهبود کیفیت و ترکیبات تشکیل دهنده محصولات آبزی پروری که در سلامت جامعه نقش دارد اهمیت فوق العاده ای یافته است
(Hocquette et al 2005; Caswell 2006; Mozaffarian & Rimm 2006) ترکیب شیمیایی لاشه، ترکیب اسیدهای چرب و میزان چربی و مواد آلاینده موجود در عضله ماهی از مواردی می باشند که توجه بیشتری در تحقیقات تغذیه ای ، ژنتیکی و بیماریها به خود جلب نموده است استفاده از مدل برای تخمین و کنترل کیفیت لاشه میتواند ابزار مناسبی در اختیار پرورش دهنده برای تامین نیاز بازار و یا سود بیشتر قرار دهد.(et al 2005;Hamilton, et al 2005 ; Tobin, et al 2006

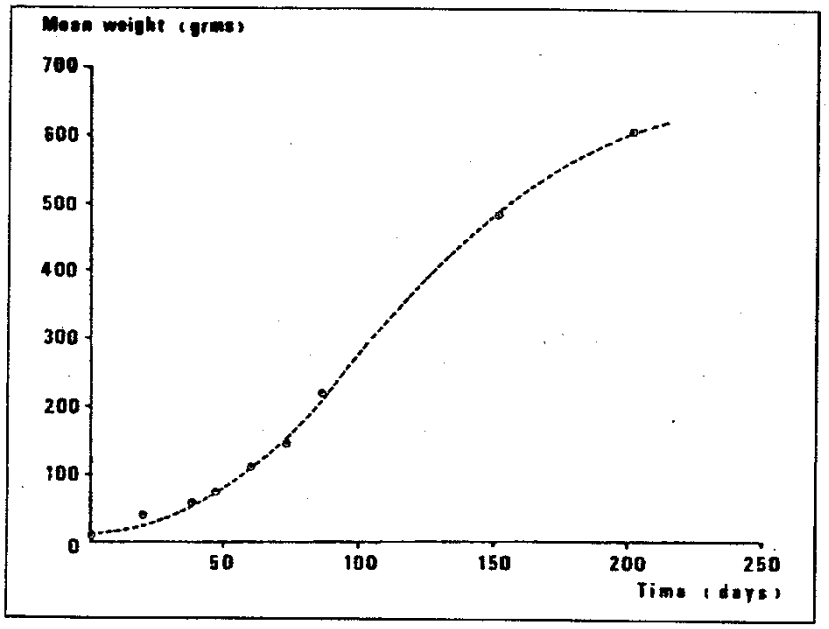
(Rasmussen 2001; Blanchet,

خصوصیات بیولوژیکی رشد ماهی

با وجود پیچیدگی ها ، فرآیند رشد در یک چاچوب کاملا منظم و حساب شده در حیوانات رخ می دهد. استراتژیهای تنظیم کننده متعددی برای تنظیم ورود مواد شیمیایی مانند اسید های آمینه، اسیدهای چرب، مواد معدنی و غیره و همچنین دفع مواد زاید در شرایط محیطی متفاوت به منظور ثبات در بدن موجودات وجود دارد (Nelson & Cox 2000)

فرایندهای مرتبط با رشد می تواند بر طبق اصول و قاعده مشخصی پیش بینی و تعیین شود . میزان رشد، ترکیب شیمیایی بدن و کارآیی استفاده از مواد مغذی یا اختصاص منابع برای رشد با یک دیگر مرتبط می باشند و این پارمترها در طول دوره حیات حیو ان ثابت نیستند. مدل رشد در ماهیها از مدل سگموئیدی (Sشکل) پیروی میکند (شکل ۱) . بدین معنی که شدت افزایش وزن در مرحله نوجوانی و جوانی زیاد

می شود و این شدت رشد زمانی که حیوان به مرحله بلوغ می رسد کند می شود . تفاوتی که بین مدل رشد حیوانات خشکزی و آبزی وجود دارد این است که آبزیان توانایی رشد بعد از بلوغ جنسی و تخم ریزی را دارند و لی حیوانات خشکزی بعد از بلوغ رشد چندانی نشان نمی دهند (Dumas,et al 2010) .



شکل ۱. نمودار رشد ماهی

مدل های بیوانرژتیک:

بیو انرژتیک (تغییرات در اشکال مختلف انرژی در حیوانات) به میزان کمی انرژی مبادله شده بوسیله فرایندهای متابولیسمی موجود زنده برای اینکه زنده بماند و رشد کند ارتباط دارد (Nelson& Cox 2000) . انرژی در اجزای جیره غذایی و ذخیره بدن وجود دارد و به شکل گرما برای انجام کار آزاد می شود (Blaxter1989) .

مدل های بیوانرژیتیک برای تخمین احتیاجات غذایی و میزان تولید مواد آلاینده در یک سیستم پرورش ماهی می تواند استفاده شود(Bureau 1998 ; Lupatsch & Kissil 1998 , 2005 (Winberg 1956; NRC1993; Cho &

این مدل ها با استفاده از معادلات ریاضی ساخته و تعریف می شوند که فرایندهای متابولیسمی انجام شده را به صورت واحد گرما یا حرارت بیان میکنند. حرارت مصرف شده درچهارچوب بودجه انرژی بیان میشود و در این روش معمولا از مفهوم انرژی قابل متابولیزیم استفاده شده ، بطوریکه بودجه انرژی یا گرمای تولید شده برای فرآیند های مختلف متابولیسمی بنا بر اولویتشان استفاده میشوند (HMSO 1975; NRC 1993; Bureau et al., 2002). بودجه انرژی در ماهی بر اساس روش بیو انرژیتیکی و با استفاده از پارمترهای زیر پیشنهاد شد (Warren and Davis 1967, 1968; Ivlev1939; Winberg1956).

$$C=F+U+\Delta B+R$$

C انرژی دریافتی از طریق غذا است ، F انرژی از دست رفته از طریق مدفوع و U انرژی است که از طریق ادرار و آبشش هدر می رود . ΔB نشان دهنده رشد (انرژی ذخیره شده) ماهی و R میزان تلفات انرژی است که برای فرآیند متابولیسم پایه و تولید گرما مصرف می شود . اجزای این معادله با روابط ریاضی بیان میشوند.

این معادله در علم شیلات پذیرفته شده است و توسط (Ricker1968), (Elliott 1976a,b) (Kitchell et al.,1977) برای ماهیها مج ددا تنظیم شده و سهم هر کدام از اجزای معادله در انرژی دریافتی غذا دوباره محاسبه شده است.

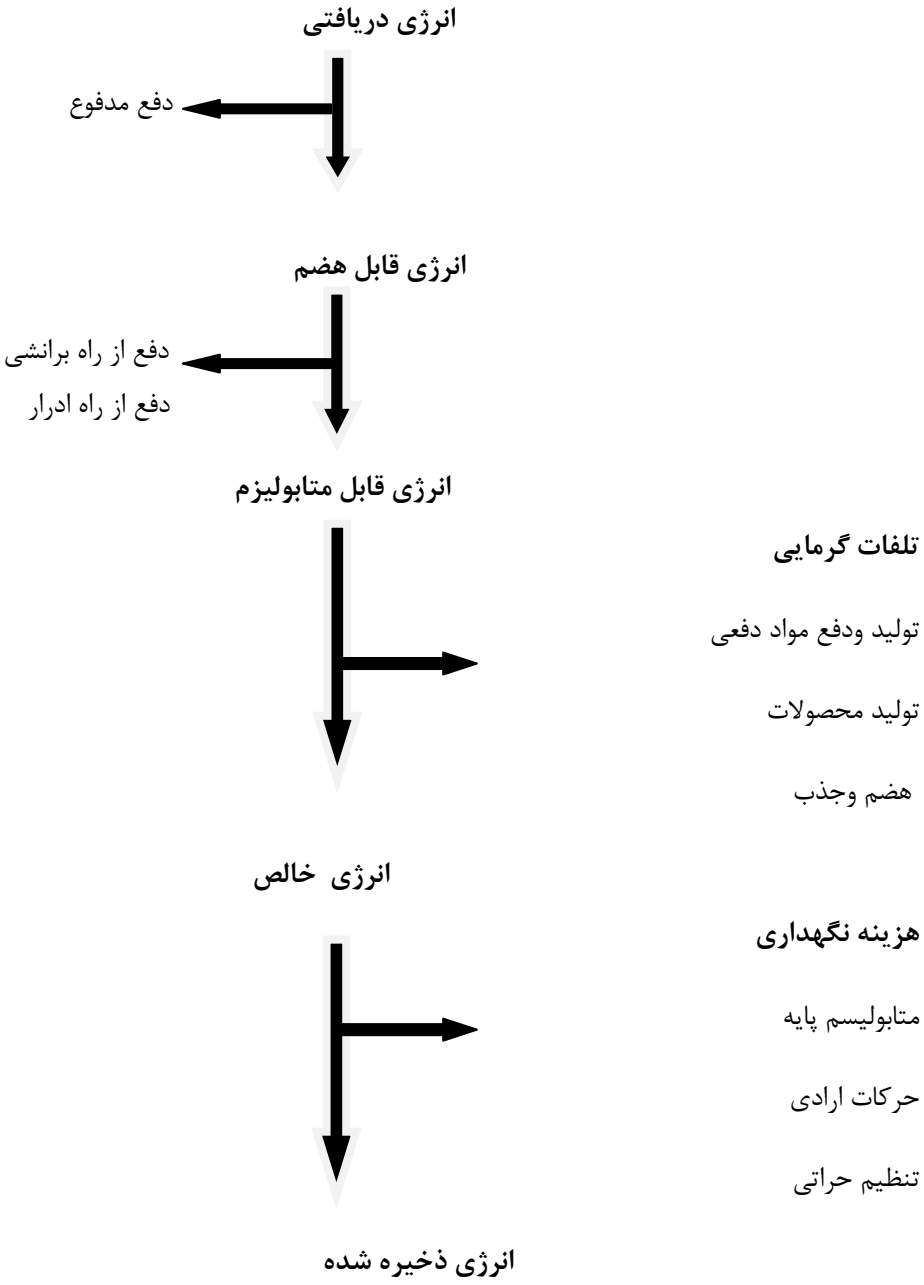
روشهای سیستماتیک برای توصیف بودجه انرژی و فرآیند های متابولیک در تغذیه حیوانات بعدا توسط NRC (1981) توسعه داده شد و تلفات انرژی از طریق گرمای از دست رفته طبقه بندی شد که در شکل ۲ نشان داده شده است.

رشد ماهی در مدل های بیوانرژتیک به دو طریق مختلف پیش بینی میشود:

در روش اول پیش بینی رشد ماهی فرض می شود که انرژی دریافتی افزایش وزن را موجب می شود . این فرضیه بیشتر در مباحث صید و مطالعات اکولوژی در نظر گرفته می شود زیرا دسترسی به غذا در محیط طبیعی اغلب برای ماهی یک محدودیت است (From& Rasmussen1989 ; Elliott1976a, b; Kitchell *et al.*1977).

در روش دیگر پیش بینی رشد ، پتانسیل رشد را که تا حد زیادی به ژنتیک در ارتباط است بیشتر از

تغذیه به عنوان عامل محدود کننده رشد درنظر می گیرند (Oldham,Emmans & Kyriazakis1997 ; Calow1973 ; Hubbell 1971) . در اینجا دریافت انرژی تابعی از احتیاجات فردی برای رسیدن به پتانسیل رشد است . این نگرش بوسیله Winberg (1956) پیشنهاد شد و عمدتا در آبزی پروری از آن استفاده میشود ، جاییکه ماهی عموما تا حد اشباع و با رژیم غذایی کامل تغذیه می شود (Cho 1990 ; Lupatsch *et al* 2001)



شکل ۲ . چارچوب تقسیم بندی انرژی در مدل های عمومی بیوانرژتیک . هر فرآیند متابولیکی منجر به از دست دادن گرما میشود که عموما بوسیله معادلات رگرسیونی تعیین میشود .(NRC (1981) and Bureau et al. (2002

احتمالا مدل بیوانرژیتیکی که بیشترین کاربرد در پرورش ماهی از آن انجام شده برنامه FISH -PRFEQ است (Cho & Bureau 1998) . این مدل از ساختار فاکتوریلی پیروی می کند و میتواند احتیاجات غذایی و مواد آلاینده دفعی در میزان معینی از رشد ، انرژی قابل هضم جیره غذایی وذخیره انرژی بدن را تخمین بزند .مدل FISH-PRFEQ برای گونه های مختلف ماهی و برای اهداف گوناگون مورد استفاده قرار گرفت (Papatryphon, *et al* 2005) . از جمله Zhou et al. 2005 ذخیره انرژی بدن را برای gibel carp تخمین زد .(Kaushik; 1998) نیز از طریق همین مدل میزان تولید مواد آلاینده را برای غیر سالمون ها تخمین زد .

مدل های بیوانرژتیک میتواند میزان انرژی دخیره شده در بدن موجود زنده را پیش بینی کند ، اما آنها اطلاعات کمی در رابطه با ترکیب شیمیایی لاشه (رطوبت ، پروتئین ، چربی و خاکستر) فراهم می کنند. چنین شرایطی می تواند اشکال مهمی داشته باشد . اول اینکه مدل های بیوانرژتیک شاید نتوانند به دقت میزان انرژی ذخیره را برآورد کنند زیرا روابط بین انرژی ذخیره شده و وزن دریافتی در طول مراحل زندگی تغییر می کند (Bureau et al. 2002) . تحت شرایط عمومی پرورش هر واحد از بیومس برای ماهیان بزرگ حاوی (10 kJ g/1BW) انرژی است و در ماهیان کوچکتر این واحد بیومس حاوی (5kJg/1BW) انرژی است . مطالعات نشان دادند که ترکیب بیومس در ماهیان بزرگ نسبت به ماهیان کوچکتر حاوی مقدار بیشتری چربی و مقدار کمتری آب است .(Shul'man 1974; Dumas *et al* 2007) ذخیره چربی و پروتئین دو فرآیند بیولوژیکی مجزا هستند که ذخیره آنها می تواند تحت تاثیر پارامترهای مختلفی باشد که در مدل بیوانرژتیک تعریف نشده است .

دوم اینکه انرژی ذخیره شده در بدن از طریق تغذیه می تواند برای تعیین کارآیی بازیافت انرژی استفاده شود ، ولی برای تعیین دقیق کارایی استفاده مواد مغذی یا تعیین نرخ ذخیره شدن مواد مغذی مفید نیست مگر آنکه معادلات قابل اطمینان برای تعریف ترکیب شیمیایی بدن در مراحل مختلف زندگی ساخته شوند . وجود چنین حالتی نشان دهنده این است که سیستم های سنجش غذا ومدل های رشدی که بر پایه بیوانرژتیک بنا نهاده می شوند محدودیت هایی دارند.
(Birkett & de Lange 2001a; Bajer *et al* 2004; Dijkstra *etal* 2007)

به عنوان مثال در مدل بیوانرژتیک فرض شده که رشد و کارایی تغذیه زمانیکه ماهی در حد متابولیسم پایه تغذیه شود صفر خواهد بود. چنین فرضیه ای در ماهی و سایر حیوانات نمی تواند کاملا درست باشد حیوانات میتواند حتی در زمانی که زیر میزان متابولیسم پایه مصرف میکنند افزایش وزن داشته باشند اگرچه تعادل انرژی منفی می باشد . 2001; Bureau, Hua & Cho 2006)

بنابراین (Huisman 1976; Le Dividich *et al* 1980; Meyer *et al* 1989; Lupatsch, *et al* سیستم های سنجش نیاز غذا یی نمی توانند منحصرا روی مدل بیوانرژیتیک تکیه کنند و مجبور هستند پروتئین جیره و مواد مغذی دیگر را در نظر بگیرند ، بخصوص ماهی که برای تأمین نیاز های متابولیسمی خود به میزان زیادی به پروتئین نیاز دارد علاوه بر این میزان پروتئین قابل هضم و نوع آمینواسید ها می تواند دراین بین پراهمیت باشد (Encarnac_*et al* 2004; Booth *et al* 2007)

تاثیر پروتئین دریافتی و نه فقط انرژی روی کارایی رشد ماهی به اثبات رسید و خیلی زود در مدل ها برای تخمین احتیاجات غذایی ، افزایش وزن و کارایی انرژی وذخیره پروتئین در گونه های مختلف در نظر گرفته شد است مثل:

(Machiels & Henken1986), گربه ماهی آفریقایی (van Dam & DeVries1995)

، تیلاپیا و قزل آلا(Schwarz & Kirchgessner 1995) کپور ،

(Lupatsch, *et al* 2001, Lupatsch et al. 2003) , باس دریایی اروپایی

(Lupatsch et al. 2003; Lupatsch & Kissil 2005) سیم دریایی و گروپر سفید

مدل های بر پایه مواد مغذی:

شواهد نشان میدهد که متخصصین تغذیه برای مطالعه تبدیل غذا به بیومس ، تاکید اصلیشان بر روی مواد مغذی اولیه که انرژی لازم برای متابولیسم پایه ، رشد و تولید مثل را فراهم کنند، بوده است و مواد مغذی بیشتر از میزان انرژی برای مطالعات آنها اهمیت داشت. ترکیب شیمیایی لاشه مانند (آب ، پروتئین، چربی ، کربوهیدرات) و منشاء آن (مانند استخوان، ماهیچه، خون ، چربی ، پوست مو و ضایعات) و همچنین ترکیب شیمیایی غذا و مواد اولیه تشکیل دهنده آن بیشتر در مطالعات تغذیه ای حیوان مد نظر قرار می گرفتند . (Dumas,et al 2010)

بدلیل محدودیت ها ی مدل های بیوانرژتیک کارشناسان تغذیه حیوانات وطراحان مدل رشد به روش های بر پایه مواد مغذی یا بیوشیمیایی روی آوردند . این مدل ها را می توان به این صورت تعریف کرد که سیستم های مکانیزه ایی هستند که طراحی شده اند برای شبیه سازی سرنوشت مواد غذایی جیره ، با در نظر گرفتن کارآیی آمینواسیدها ، اسید های چرب و ماده جدید تشکیل شده از آن ها . مدل های بر پایه مواد مغذی همانند مدل های بیوانرژیتیک برای پیش بینی رشد ، احتیاجات مواد مغذی و خروجی مواد زائد به کار گرفته می شوند.

بهرحال این مدل ها فرآیند های مواد مغذی را با در نظر گرفتن متابولیزم درون سلولی توضیح می دهند و بنابراین بیشتر تشریحی هستند. مدل های بیوانرژتیک عمدتا بر اساس یک چهار چوب ساده نقل و انتقال انرژی به قسمتها ی مختلف، نشان دادن مصرف انرژی به واحد ژول یا کالری وچشم انداز استوکیومتری (هم ارزی) بازده انرژی و مواد مغذی تکیه می کنند . مدل های بر پایه مواد مغذی تکیه بر سیر متابولیک مواد مغذی در بدن دارند ، انرژی را به واحد ATP نشان میدهند و استیوکیومتری معادلات شیمیایی را در نظر می گیرند .

در مدل های ساخته شده بر پایه مواد مغذی ، رشد در نتیجه افزایش مواد شیمیایی (بیشترآب ، پروتئین ، چربی وخاکستر) رخ میدهدنه انرژی که به عنوان فرض اصلی در مدل های بیوانرژتیک به شمار می آید . بنابراین دقت این مدل ها به درستی توصیف های ریاضی از روابط بین مواد مغذی ذخیره شده وافزایش وزن وابسته است. .(Dumas,et al 2010)

این مدل ها برای حیوانات برای اهداف مختلفی طراحی شدند مثل پیش بینی مصرف غذا ، نرخ هضم پذیری و رشد . ساختن چنین مدلهایی نشان داده است که برای پستانداران نیز مفید بوده است . از جمله (Gill, et al 1984) و (Imamidoost & Cant 2005) که چنین مدل هایی را به ترتیب برای گوسفند و میش پیشنهاد کردند .

در زمینه مدل های تشریحی بر پایه مواد مغذی ، برای ماهی مطالعات بسیار معدودی انجام شده از جمله اینکه در دهه های گذشته یک مدل توصیفی برای شبیه سازی رشد طراحی شد :

(Machiels & Henken1986) مدلی را تحت عنوان Fish growth Simulation 1 (FGS1) پیشنهاد کردند ، این مدل می تواند میزان رشد و ذخیره مواد مغذی را بر اساس میزان مصرف غذا و درجه حرارت آب برای گربه ماهی آفریقایی *Clarias gariepinus* پیش بینی کند . به دلیل اینکه این مدل بر اساس فرایند های پایه ای بیوشیمیایی درون سلولی ماهی ها ساخته شده است این مدل رشد می تواند به عنوان یک مدل عمومی به بسیاری از گونه ها تعمیم داده شود.

چندی بعد (Van Dam and Penning de Vries 1995) همان مدل را برای پیش بینی میزان رشد و ذخیره مواد مغذی ، بر اساس ترکیب غذای مصرفی باز نویسی کردند.

(Van Dam and Penning de Vries 1995) مدل FGS1 را با تغییرات کمی برای تیلاپیا *Oreochromis niloticus* و قزل آلای رنگین کمان *Oncorhynchus mykiss* پارامتر سازی کرده و مورد سنجش قرار داد .