



Bursa Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi

Başvuru/Received: 15.08.2018 Kabul/Accepted: 22.10.2018

STEM Alanları Bilim İnsanlarının Fen, Matematik, Mühendislik ve Teknoloji Arasındaki İlişkiler Hakkında İnançları: STEM için Pedagojik bir Çerçeve

Ahmet KILINÇ¹, Mehmet DEMİRBAĞ², Şirin YILMAZ³

¹Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, akilinc@uludag.edu.tr

²Dr. Öğr. Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Eğitim Fakültesi

³Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Eğitim Fakültesi

ÖZET

STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics – Fen, Teknoloji, Mühendislik, Matematik) son dönemde hem Türkiye hem de dünyada eğitimsel platformlar için gündeme gelmiş bir kısaltmadır. STEM eğitimi ise Amerika’da STEM alanlarındaki iş gücünün azalması ile endüstri liderleri tarafından Amerikalı eğitimcilerin önüne konulan bir eğitim reformudur. Öte yandan Türkiye’de bu eğitim Fen öğretim programlarına dahil edilmeye başlanmıştır. Gerek çıkış noktalarının benzemezlği gerekse de bu eğitim kapsamında içerik, kazanım ve hedefler noktasında nasıl bir eğitimin yapılması gerektiğinin meçhul olması Türkiye örneklemini için önemli problemlerdir. Bu noktada bu çalışmanın amacı Türkiye’de STEM alanlarında öncü bilim insanlarının Fen, Matematik, Mühendislik ve Teknoloji arasındaki ilişkiler hakkındaki inançlarını ortaya çıkarmak ve bu inançları kullanarak Post-normal Bilim (PNB) kapsamında STEM için pedagojik bir çerçeve oluşturmaktır. Bu kapsamda Türkiye’de STEM alanlarındaki bilimsel faaliyetleri ile öne çıkan bir üniversite seçilmiş ve bu üniversitede STEM alanlarından birinde uzman olan 17 bilim insanı ile yarı-yapılandırılmış görüşmeler yapılmıştır. Görüşmelerde Fen, Matematik, Mühendislik ve Teknolojinin tanımları, bunların birbirleriyle ve topluyla olan ilişkileri ve bu alanlarda etiğin önemi üzerine sorular

solunmuştur. Verilerin içerik analizleri sonrasında PNB kapsamında STEM'in pedagojik bir çerçeveye oturtulabileceği ve bu çerçevenin beş temel parçadan oluştuğu gözlenmiştir. Bunlar 1) Fen, Matematik, Mühendislik ve Teknoloji tanımları, 2) Fen, Matematik, Mühendislik, Teknoloji ve Toplum ilişkileri, 3) Ortak yanlar, farklılıklar ve birbirlerinden yararlanma, 4) Post-normal sorunun kanıt dayalı olarak cevaplanması ve 5) Etik boyutlardır.

Anahtar Kelimeler: STEM, Post-normal bilim, bilim insanları.

STEM academicians' beliefs about the relationships between Science, Mathematics, Engineering and Technology: A pedagogical framework for STEM

ABSTRACT

STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) is an abbreviation that is on the agenda of educational platforms both in Turkey and around the world in recent times. When it comes to STEM education, it is an educational reform that has been put on the table of American educators particularly by industrial leaders due to the lack of workforce in the STEM areas. In parallel with these developments, this education has been incorporated into Turkish Science Education programs. Both the dissimilarity of the starting points and uncertainties as to how this education would be applied in school environments in terms of content, learning outcomes and purposes are crucial problems for Turkish context. At this point, the purpose of the present study was to uncover the STEM academicians' beliefs about the relationships between Science, Mathematics, Engineering and Technology and to develop a pedagogical framework using a Post-Normal Science (PNS) approach. We conducted semi-structured interviews with 17 STEM academicians who were the experts in one of the STEM areas in one of the top universities in Turkey. The questions about definitions of Science, Math, Engineering and Technology, the relationships among these areas and society and the importance of ethics in these areas were asked. After the content analysis of the transcripts, we concluded that a pedagogical framework for STEM could be developed and it could include five dimensions: 1) The definitions of Science, Math, Engineering and Technology, 2) The relationships among Science, Math, Engineering, Technology and Society, 3) Common aspects, differences and benefiting from each other, 4) Responding post-normal questions based on the evidence, 5) Ethical aspects.

Key Words: STEM, STEM Education, Post-normal Science, Scientists.

1. GİRİŞ

STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics – Fen, Teknoloji, Mühendislik, Matematik) kelimesi son birkaç yıl içerisinde Fen ve Matematik eğitimcilerinin, hatta birçok diğer branştan (STEAM kısaltmasında sanat ve sosyal bilimlerin (arts) de dahil olması gibi) eğitimcinin sıklıkla duyduğu kavramlardan biridir. STEM kelimesi her ne kadar Türkçe’de Fen, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik kelimelerinin ilk harflerinin birleşimi olsa da STEM eğitimi adını aldığı anda üzerine yüklenen eğitsel değer açısından akademisyenlerde ‘Acaba yeni bir eğitim teorisi mi?’, öğretmenlerde ise ‘Acaba yeni bir öğrenme/öğretim stratejisi mi?’ sorularını uyandırmıştır. Ancak bu ‘kısaltmanın (STEM)’ ve ‘kısaltılmış eğitimin (STEM Eğitimi)’ doğru anlaşılması ve var olan öğrenme/öğretim teorileri ve stratejilerinde nereye konulacağını (ya da konulmayacağını) netleştirilmesi önemlidir.

STEM kısaltması Amerika’da 2000’li yılların başlarında ön plana çıkarılmıştır. Amerika’da özellikle Fen, Matematik ve Mühendislik alanlarını tercih eden öğrencilerde ciddi azalmaların olması, öte yandan bu alanların teknolojik gelişim ve akabinde geldiği düşünülen süper güç olma durumunun ana kompetanı olması bu ülkede bir çıkmaz yaratmıştır (Bybee, 2010; National Science Foundation, 2010; National Research Council, 2012). Genel olarak bakıldığında Amerika’da üniversite tercihi yapan bireylerin sözel alanlarda okumayı sayısal alanlara nazaran daha çok tercih etmeleri ve Hindistan ve Çin gibi ülkelerden gelen sayısal alanlarında uzmanlaşmış kalifiye çalışanların o ülkelerde iyileşen koşullar nedeniyle artık Amerika’yı tercih etmemeleri STEM alanlarında ciddi bir iş gücü kaybının yaşanacağını göstermiştir (Business Roundtable, 2005). Bu durum özellikle dünya genelinde ciddi bir ekonomik güce sahip olan Amerikan endüstri devlerinin eğitimsel süreçlere müdahalesi ile sonuçlanmıştır (Zeidler, 2016). Bu müdahale kapsamında bazı raporlar (Tapping America’s potential: The education for innovation initiative [Business Roundtable, 2005]; A decade of action: Sustaining Global Competitiveness [BSCS, 2007]) hazırlanmış ve bu raporlarda STEM alanlarında giderek büyüyen iş gücü eksikliği vurgulanmıştır.

Bu gelişmelere kayıtsız kalmayan Amerikan yönetimi öğrencilerin STEM alanlarına olan ilgilerinin artırılması yönünde bir strateji ortaya koymuştur (Duncan, 2009). Bu strateji okullardaki Fen ve Matematik eğitimini etkileme potansiyeline sahip olan ‘Next Generation Standards’ (Gelecek Jenerasyon Standartları) dökümanına yansımıştır (National Research Council, 2012). Bu dokümana iş gücünün artırılmasının yanında,

PISA ve TIMSS gibi sınavlarda Amerika'nın istenen sıralarda olmaması, STEM okuryazarlığının artırılması, modern iş gücü için gereken becerilerin sağlanması ve Amerikalı öğrencilerin genel başarılarındaki düşmeler gibi eğitim odaklı amaçlar da eklenmiştir. Bu standartları temel alan ve tüm eyaletlerde uygulanmak üzere önerilen K-12 Fen Çerçevesi'nde (National Research Council, 2011) ise Fen, Mühendislik ve Teknolojinin modern yaşamın vazgeçilmez parçaları oldukları, Fen ve Mühendislik hakkındaki bazı bilgilerin doğru tedavilere karar verme ya da enerji açısından daha verimli ısınma yollarını tercih etme gibi halkın aldığı kararlarda etkili olabildiği vurgulanmıştır. Bu çerçeve 'Fen ve Mühendislik uygulamaları', 'Ortak kavramlar' ve 'Disiplinlerin ana fikirleri' olmak üzere üç boyuttan oluşmaktadır. 'Fen ve Mühendislik uygulamaları' bölümünde öğrencilerin hem Fen hem de Mühendislik pratikleri ile ilgilenmelerinin özellikle bilim insanları ve mühendislerin neler yaptıklarını öğrenmelerinde ve Fen ile Mühendislik arası ilişkilerin anlaşılmasında etkili olabileceği vurgulanmıştır. Fen ve Mühendislik uygulamaları için 1) Soru sorma (Fen için) ve problemi tanımlama (Mühendislik için), 2) Modeller kullanma ve geliştirme, 3) Gözlemler planlama ve yapma, 4) Verileri analiz etme ve yorumlama, 5) Matematiksel ve hesaplama odaklı düşünme, 6) Açıklamalar oluşturma (Fen için) ve çözümler dizayn etme (Mühendislik için), 7) Kanıt üzerinden argümanlar üretme ve 8) Bilgiyi toplama, değerlendirme ve iletişime sunma şeklinde bir liste oluşturulmuştur. Görüleceği üzere listedeki bazı pratikler Fen ve Mühendislik için birlikte planlanmıştır. 'Ortak kavramlarda' ise Fen alanındaki uygulamalar ve Mühendisliğin ortak kavramları olarak 1) Örüntüler, 2) Neden-sonuç ilişkileri: Mekanizmalar ve açıklamalar, 3) Ölçek, oran ve nicelik, 4) Sistemler ve sistem modelleri, 5) Enerji ve madde 6) Stabilite ve değişim belirlenmiştir. 'Disiplinlerdeki ana fikirler' için ise 1) Fiziksel bilimler, 2) Yaşam bilimleri, 3) Yer ve uzay bilimleri ile 4) Mühendislik, Teknoloji ve Fen uygulamaları olmak üzere dört disiplinin yan yana getirildiği gözlenmiştir. Burada özellikle Mühendislik, Teknoloji ve Fen uygulamaları disiplini altında Mühendislik dizaynı ve Mühendislik, Teknoloji, Fen ve Toplum arası ilişkiler ön plana çıkarılmıştır.

Amerika'da sanayi-okul-politika uzayında gerçekleşen bu eğilimlerin Avrupa'da da belli bir karşılık bulduğu söylenebilir. Avrupa ülkelerinde de benzer şekilde STEM iş gücünde azalmaların olması bu ülkeleri benzer önlemler alma yönünde hareketlendirmiştir. Bu noktada Amerika kadar olmasa da bazı Avrupa ülkelerinin kendi Fen ve Matematik öğretim programlarına Mühendislik ve Teknoloji odaklı temaları dahil ettikleri gözlenmiştir (European School Net, 2017).

Türkiye'ye bakıldığında (sorunun kaynağı farklı olsa da) STEM iş gücünde bazı sıkıntıların olacağı vurgulanmaktadır. Örneğin Türkiye Sanayi ve İş Adamları Derneği (TÜSİAD) (2017) 2023 yılı için tüm sektörlerdeki toplam istihdamın yaklaşık 34 milyon ve bunun yaklaşık 3,5 milyonunun STEM alanlarında olmasını beklemektedir. Ayrıca TÜSİAD 2016-2023 döneminde STEM istihdam gereksiniminin 1 milyona yaklaşacağını ve bu ihtiyacın 300 bininin yani yaklaşık % 31'inin karşılanamayacağını öngörmektedir. Öte yandan STEM ve STEM odaklı eğitimin Amerika'daki gelişim süreciyle benzer şekilde Türkiye'de TÜSİAD, özel bir üniversite (Akgündüz vd., 2015) ve Milli Eğitim Bakanlığının (MEB, 2016) hazırlamış olduğu bazı strateji raporları bulunmaktadır. Bu raporlarda Amerika örneklemeden ciddi oranda esinlenerek Türkiye'de de benzer problemlerin gözleneceği, özellikle Türkiye sanayisinin rekabet edebilirliğinin artırılması noktasında acil eylem planlarının yapılmasının gerekliliği ve MEB'in bu noktada harekete geçmesinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu önerileri dikkate alan MEB 2017 yılı itibariyle güncellemiş olduğu Fen Bilimleri, Fizik, Kimya ve Biyoloji öğretim programlarına Fen uygulamaları ve Mühendislik-Teknoloji odaklı temaları eklemiştir. Örneğin ortaokul Fen Bilimleri Öğretimi Programına (2017a) dört yıllık eğitimin her yılında son ünite olarak 'Uygulamalı Bilim: Fen ve Mühendislik Uygulamaları' eklenmiştir. Bu eklemede STEM iş gücünde yaşanan problemlerin yanına Amerika'daki Gelecek Jenerasyon Standartlarında olduğu gibi Türk öğrencilerin PISA ve TIMSS gibi sınavlarda düşük başarı göstermesi, geleceğin meslekleri için STEM odaklı becerilerin üniversite öncesinde verilmesinin gerekliliği gibi faktörler gerekçe olarak eklenmiştir. Öte yandan üniteye detaylı bakıldığında Fen bilimleri, Matematik, Mühendislik ve Teknolojinin bütünleştirilmesinin sağlanarak öğrencilerin problemlere disiplinler arası bir bakış açısıyla bakmaları, öğretmenlerin bütünleştirme için rehberlik yapması, öğrencilerin ise üst düzey düşünmesi ve ürün geliştirmesi ön plana çıkarılmıştır. Yine bu ünite kapsamında günlük hayattan problemlerin tanımlanması, problemler için belli kriterlere göre çözümler üretilmesi, ürünlerin tasarlanması, sunumu ve ürünü pazarlamak için stratejilerin geliştirilmesi gibi aşamalar önerilmiştir. Lise programlarında ise örneğin Fizik Öğretim Programında (MEB, 2017b) 'Modern Fiziğin Teknolojideki Uygulamaları' ve Kimya Öğretim Programında 'Enerji Kaynakları ve Bilimsel Gelişmeler' gibi Mühendislik ve Teknoloji odaklı üniteler yer almıştır (MEB, 2017c).

1.1. Eleştirel Yaklaşım

STEM ve STEM eğitimi kavramlarına eleştirel olarak bakıldığında üç temel durumun öne çıktığı gözlenmektedir:

1.1.1. STEM trendinin eğitsel girdiler olmadan şekillenmesi:

STEM kavramı görüldüğü üzere özellikle sanayi temsilcileri tarafından ortaya atılmış ve sonrasında eğitimcilerin masasına bırakılmış bir durumdadır (Williams, 2011). STEM iş gücünün Amerika'da azalmaya başlaması 'bir şekilde boşluğu kapat' şeklinde yorumlanacak basit bir politika ile iş ve ekonomi dünyasından yöneticiler ve uzmanların üniversite öncesi eğitime müdahalesi ile sonuçlanmıştır. Bu politikanın geliştirilme süreçlerinde eğitim uzmanlarının görüşlerinin dikkate alınmadığı ve özellikle eleman yetiştirme, hızlı üretim, rekabet ve pazarlama gibi noktalara vurgu yapıldığı ve ahlaki unsurların geri plana atıldığı farklı platformlarda dile getirilmiştir (Zeidler, 2016). Bu durum hem STEM fikrinin ortaya çıktığı Amerika'da hem de son dönemde transfer edildiği Türkiye'de öğretmenlerin STEM odaklı eğitimlerde neyi nasıl ve neden öğretmeleri gerektiği konusunda kafa karışıklıkları içinde kalmalarına neden olmuştur.

1.1.2. STEM alanları yan yana getirilebilir mi?:

Bybee (2013) önerdiği STEM eğitimi perspektiflerinde STEM'in Fen ya da Matematik yerine kullanılabileceğini; hem Fen hem de Matematiği kapsayan bir yapıda olabileceğini; Teknoloji, Mühendislik ve Matematiği içeren Fen şeklinde algılanabileceğini; aynı derste birbirinden farklı alanların bir arada verilebileceği bir yapıda olabileceğini; Teknoloji ve Mühendislik yardımıyla Fen ve Matematiğin bir araya getirilmesi olarak düşünülebileceğini ya da alanlar arasında kavramlar, süreçler ve kaynaklar açısından bir koordinasyon olarak düşünülebileceğini ifade etmiştir. Ancak uzmanlar dört alanın nasıl yan yana getirileceği ve bu birlikteliğin nasıl bir pedagojik ürüne dönüşeceği hakkında ciddi belirsizlikler olduğunu ifade etmişlerdir (Williams, 2011; Zeidler, 2016).

Örneğin Fen ampirik anlamda doğada belli varlıkların olduğunu ve bu varlıkların belli yasalar ve mekanizmalar halinde bir düzen içinde bir arada olduklarını varsayar. Fenin amacı belli bir merak iç güdüsü ile bu mekanizmaları ve patternleri ortaya çıkararak bilgi üretmektir (Boyd, Gasper ve Trout, 1999). Matematikte ise Fenin ilgilendiği gözlenebilir varlıkların yerini artık duyuşal gözlemlere ve zaman-uzay zeminine tabii olmayan ve farklı bir meta-gerçeklik sunan sayılar ve doğrular gibi yapılar almıştır. Bu unsurlar belli bir dil yapısını oluşturarak doğal ve doğal olmayan süreçlerin

temsilleri haline gelmiştir (Clark, 2014; Horsten, 2017). Mühendisliğe bakıldığında ise Fendeki gibi ‘zaten olan’ varlık durumlarından ya da Matematikteki gibi ‘zaten olmayan’ varlık durumlarından öteye gidilerek ‘olması gereken’ varlık durumlarına bir geçiş söz konusudur (Bunge, 2014; Franssen, 2014). Mühendislik sosyal faydayı amaçlayarak Fen ve Matematik alanlarından gelen bilgileri belli yapılar, ürünler ve çözümler üretmek üzere kullanmaktır (Mitcham ve Schatzberg, 2009).

Bu açılardan bakıldığında Fen, Mühendislik ve Matematik arasında temel düzeyde ontolojik farklılıkların olduğu ve bu durumların doğal olarak bu alanların epistemolojilerine yansıdığı gözlenmektedir. Örneğin Fen bilgisi gözlem süreçleri gibi kanıtlara dayanmakta olup (a posteori) gelecek çalışmalarla yeniden revize olma ihtimaline sahip olan bir yapıdadır (Boyd, Gasper ve Trout, 1999). Ancak Matematik bilgisi belli mantık silsileleri ile ilerlemekte, fiziksel kanıt gerektirmeyen (a priori) ve gelecek bilgilerle revize olma durumları oldukça sınırlı olan yapılardır (Clark, 2014; Horsten, 2017). Mühendislik ise ihtiyaçlara odaklanan prosedürel bir bilgi üretmekte ve bu bilgi, ihtiyacı karşıladığı sürece revizyona tabii tutulmaktadır. Bu noktada eski Yunan’da kullanılan Techne ve Episteme ayrımları önemlidir. Techne teknoloji kelimesinin kökeni olarak üretim ve gerçekleştirilmeye odaklanan ve deneyim (know-how veya Emperiria) ile teorik bilgi (Episteme) arasında yer alan bir bilgi tipidir. Techne deneyim ile değişme ve revize olma özelliğinde iken Episteme örneğin Matematikteki gibi değişmeyen ve saf olarak var olan bilgi anlamında kullanılmaktadır (Schadewaldt, 2014).

Alanların felsefi olarak bir araya getirilebilirliği ile ilgili olarak bir diğer durum ise bilim sosyolojisinden gelmektedir (Kuhn, 1962). Matematikçiler, Fenciler ve Mühendisler en azından üniversite düzeyinde ve sonrasında farklı eğitime ve kültürlemelere tabii tutulmaktadır. Farklı araştırma amaçlarına yönelik farklı topluluklarda bir araya gelmeleri ve bu topluluklardaki göstergelerin ve iletişim kanallarının farklı olması alanların psikolojik ve sosyolojik anlamda ayrılmasını kolaylaştırmıştır (Kuhn, 1962; Snow, 1964).

Alanların aralarındaki ilişkiler ile ilgili olarak ta farklı yaklaşımlar söz konusudur. Örneğin bazı araştırmacılar bir süre teknolojiyi Uygulamalı Fen olarak görmüş ancak bu görüş ilerleyen süreçlerde çürütülmüştür. Bazı araştırmacılar ise teknolojiyi ‘Sonlandırılmış Fen’ olarak görmüş ve Fenin bilinçli veya bilinçsiz olarak bir şekilde dış sosyal amaçlar ve çıkarlar doğrultusunda ilerlediği düşünülmüştür. Bir diğer durum ise deneysellik ve gözlem durumları üzerinden Fen ve Teknoloji arasındaki ilişkilendirilmedir.

Bu ilişkilendirmede Fende bir nevi Mühendislik yapıldığı ve yapılan gözlem ve deneylerin bir şekilde doğadan bağımsız olarak dizayn edildiği ve üretilen bilginin dizayn edilmiş bilgi olduğu düşünülmüştür (Mitcham ve Schatzberg, 2009). Bazı araştırmacılar ise Feni Teknoloji olarak görüp TeknoFen (technoscience) görüşü altında toplanmıştır. Bu görüşte hem Fenciler hem de Mühendislerin müdahale, müzakere ve yapılandırma gibi pratiksel süreçlerin içinde oldukları; her iki alandada materyalitenin önemli olduğu, Fennin son yıllarda ‘Büyük Fen (Big Science)’ haline geldiği ve endüstriyel bir organizayona ihtiyacı olduğu ifade edilmiştir (Mitcham ve Schatzberg, 2009). Öte yandan Matematiğin diğer alanlarla olan ilişkilerinde bir dil veya araç olarak Fen ve Mühendislikteki ilişkileri modellediği ve geleceğe yönelik tahminlerde veya ilişkilerin anlaşılmasında ve açıklanmasında bu modellerin kullanıldığı düşünülmektedir. Uygulamayı barındırmayan ya da hedeflemeyen pür matematik alanlarında ise farklı bir gerçeklik alanında ve pratiğe öykünmeyen bir matematiğin yapıldığı bilinmektedir (Horsten, 2017).

Genel olarak bakıldığında STEM alanlarının bir araya getirilebilirliği noktasında alanların ontolojik, epistemolojik ve sosyolojik açıdan net farklılıklar barındırdıkları, ancak uygulama süreçlerinde birbirlerini etkiledikleri, birbirlerine doğru sızdıkları ve birbirlerinden yararlandıkları gözlenmektedir.

1.1.3. Türkiye’de STEM ve STEM eğitiminin gerekçelerinin Amerika’dan farklı olması:

Her ne kadar Amerika’da STEM iş gücünde ciddi azalmaların olduğu ve bu azalmaların ilgi azalması gibi bir parametreden kaynaklandığı söylene de Türkiye’de bu çıkış noktasının gerekçe olarak kullanılması problemlidir. Türkiye’de son yıllarda birçok üniversitede Fizik, Kimya, Biyoloji ve Matematik gibi temel bilim bölümlerinin öğrenci yokluğundan dolayı kapatıldığı bilinmektedir (Hürriyet, 2015). Ancak bu kapanma süreçleri öğrencilerin bu bölümleri zor bulmaları ya da sosyal bilimlere olan ilgilerinde artmanın olması şeklinde açıklanamaz. Nitekim iş garantisi olarak algıladıkları Tıp, bazı Mühendislikler ve güçlü üniversitelerin Fen ve Matematik bölümlerinde öğrenci sayılarında bahsedilen değişimlerin olmadığı gözlenmektedir. İlgili mesleğin ‘iş garantisi’ sağlaması ve süreklilik arz eden bir maaş, sigorta ve diğer güvencelere sahip olması Türkiye’de meslek seçimindeki temel faktörler olduğu bilinmektedir (Kılınç, Watt ve Richardson, 2012). Türkiye’de belirtilen Fen ve Matematik bölümlerinin sanayinin ve iş sektörünün ihtiyaç ve beklentilerini karşılamayan elemanlar yetiştirmesi ya da ‘piyasaya yönelik’ bir eğitimi

amaçlamaması ve bunun sonucunda ortaya çıkan ciddi işsizlik oranları bu bölümlerin kapatılmasının nedenleri olarak düşünülebilir. Böyle önemli bir farklılık söz konusu iken Amerika ile benzer çıkış noktaları varmış gibi STEM eğitiminin Türkiye'ye taşınması geleceğe yönelik yeni çıkmazlara neden olabilir. Sonuçta belirtilen alanlarda iş gücü ve sanayi kapasitesinin oluşturulması ve üniversite programlarının bu ihtiyaca yönelik olarak dizayn edilmesi gibi çözümler varken, öğrencilerde STEM'e yönelik ilgiyi arttırma gibi bir çıkış noktasını kullanmak Türkiye örneklemindeki iş gücü üretme problemini görmezden gelmek anlamına gelir. Nitekim STEM alanlarına üniversite öncesinde ilgisi artan öğrencilerin bu alanlardan mezun olduklarında iş bulamamaları uzun yıllar boyunca yapılan eğitimsel yatırımların boşa gitmesine ve ilgili bölümlerde daha fazla sayıda boş sandalye oluşmasına neden olacaktır.

1.2. PNB bir çıkış noktası olabilir mi?

STEM eğitsel girdiler hesaba katılmadan, felsefi olarak bir arada bulunabilirlik sınanmadan ve farklı örneklemlere konteks odaklı değişkenler düşünülmeden transfer ediliyor olsa da, Fenden Teknolojik bir ürüne doğru giden süreçte Normal Fen, Uygulamalı Fen ve Mühendisliğin nasıl birbirlerini takip ettiklerini ve Matematikte dahil edilirse hangi süreçte hangisinin devreye girdiğini bilmek Fen ve Teknoloji ürünleri ile donatılmış olan modern yaşamda, öğrencilere daha geniş ve etkili bir öğrenme kümesi sunabilir. Öte yandan nükleer santrallerin kurulması, yapay zeka, küresel ısınma ve GDO'lu besinler gibi sosyobilimsel konularda karar verirken sadece Fen değil Mühendislik ve Teknoloji ile ilgili tanımsal, prosedürel ve ahlaki bilgilere sahip olunması günümüz vatandaşlarının önemli ihtiyaçlarından biridir (Yazar, 2017; Zeidler, 2016).

Bu durum STEM'in bir şekilde gerekli olduğu ancak daha farklı bir çıkış noktası üzerine kurulmasının uygun olduğu anlamına gelmektedir. Sanayiciler, hükümetler ve zorunlu olarak eğitimcilerin artan dikkati, STEM'e PNB (Funtowicz ve Ravetz, 2003; Ravetz, 2012) üzerinden bir felsefi çerçeve kurarak etkili bir şekilde kullanılabilir. Teknolojiyi uygulamalı bilim, sonlandırılmış bilim ya da doğrudan bilim olarak gösteren çerçevelerden (Mitcham ve Schatzberg, 2009) farklı olarak PNB alanları birbirlerinden bağımsız ve iç içe gösterebilen geniş bir çerçeve sunmaktadır.

PNB Thomas Kuhn (1967) zamanında vurgulanan Normal bilimden farklıdır. Normal bilim sadece merak ile puzzle çözme ile ilerleyen bir doğaya sahip iken son otuz yılın bilimi, insanların sosyal ihtiyaçlarını hesaba katan ve kompleks insani problemlerle (küresel ısınma ve kanser gibi) belirsizlikler altında çalışmayı gerektiren bir Post-normal Bilime doğru

kayma eğilimindedir. PNB’de merakla ilerleyen ve puzzle çözen Normal Bilim, bunu içine alan ve müşteri ihtiyaçlarına göre şekillenerek bilgi üreten Uygulamalı Bilim, Uygulamalı Bilimi içine alan ve belirsizlik durumlarında verilerin analiz edilmesini ve bir öneride bulunmayı gerektiren Profesyonel Danışmanlık ve bu ilk üç yapıyı içine alan ve belirsizlikler ve ihtimallere dayalı olan Post-normal Bilim olmak üzere dört yapı iç içedir. Burada Mühendislik her ikisinin de bazı özelliklerini kullandığı için Uygulamalı Bilim ile Profesyonel Danışmanlık arasında yer alır.

Normal bilimde belirsizliklere izin verilmeyip, değerler saklı tutulurken Post-normal bilimde belirsizlikler yönetilir ve değerler herkese açıktır. Post-normal bilimde doğa, insandan bağımsız değil insanla olan ilişkileri üzerinden ele alınır. Üretilen bilimsel bilgi Normal bilimdeki gibi sadece bilim insanları tarafından değil, halk, medya, politikacılar gibi başka paydaşlar tarafından da değerlendirilir. Ayrıca bu süreçlerde etik endişeler de dikkate alınır (Funtowicz ve Ravetz, 2003; Ravetz, 2012).

1.3. Amaç

Bu çalışmanın amacı Türkiye’de STEM alanlarında öncü bilim insanlarının Fen, Matematik, Mühendislik ve Teknoloji arasındaki ilişkiler hakkındaki inançlarını ortaya çıkarmak ve bu inançları kullanarak (PNB kapsamında) STEM için pedagojik bir çerçeve oluşturmaktır.

2. YÖNTEM

Çalışma nitel bir çoklu durum araştırmasıdır (Yin, 2013). Çalışmanın analiz ünitesini (Yin, 2013) STEM alanları bilim insanlarının (toplam 17 kişi) STEM alanları ile ilgili tanımlar, ilişkiler ve etik boyutlar hakkındaki inanç sistemleri oluşturmuştur. Bu noktada Rokeach (1968) inancı *birinin bilinçli ya da bilinçsiz bir şekilde söylediklerinden çıkarılan önermeler* şeklinde tanımlamıştır. Bu kapsamda bilim insanlarının görüşmelerde verdiği cevaplarda benzer şekilde kullanılan inançlar seçilmiş ve özellikle bransa bağlı durumlar arası (bilim insanları arası) farklılıklar irdelenmiştir. Ayrıca belirtilen analiz ünitesi net bir şekilde neden-sonuç ilişkileri barındırmadığı için neden ve nasıl sorularının yerine ne (örneğin matematik nedir?, matematik ile mühendislik arasında ne gibi ilişkiler vardır?, fende etiğin yeri nedir?) sorusu üzerine odaklanılmıştır.

2.1. Bilim İnsanlarının Seçimi

Bilim insanlarının seçiminde temel Fen bilimleri ve Mühendislik alanında uluslararası derecelendirme kuruluşları (örneğin World Universities

Rankings gibi) tarafından yapılan sıralamalarda Türkiye’de güçlü pozisyonları elde eden bir üniversiteden seçim yapılması kararlaştırılmıştır.

STEM alanlarında seçilen bilim insanlarının her bir alanı yeterince temsil edebilmesi için kasıtlı örnekleme prensipleri (Patton, 1990) kullanılmıştır. Bu amaçla seçilen üniversitede Fizik, Kimya, Biyoloji, Matematik ve Mühendislik bölümlerindeki bilim insanlarının online olarak ulaşılabilen CV’leri incelenmiş ve çalışma alanları dikkate alınmıştır. İletişime geçilen bilim insanlarında aynı bilim alanında benzer araştırma konularını çalışmamalarına ve Fen ile Matematik branşlarında hem teorik ve hem de uygulamalı alanlardan bireylerin seçimine dikkat edilmiştir. Bu noktada Fizik, Kimya, Biyoloji ve Matematik alanlarının her birinden üçer ve Mühendislik alanında ise 10 bilim insanı olmak üzere toplam 22 bilim insanı ile (e-mail yoluyla) iletişime geçilmiştir. E-mailde çalışmanın amaçları, katılımın gönüllük prensiplerine dayalı olduğu ve kısa süreli bir görüşme için ofislerine gelmek istendiği ifade edilmiştir. Bu iletişimin sonucunda Tablo 1’de belirtilen 15 bilim insanı görüşme teklifini kabul etmiştir. Diğer bilim insanları ise ya çalışma yoğunluklarından dolayı çalışmaya katılamayacaklarını ifade etmiş ya da e-maili cevaplamamışlardır. Ayrıca çalışma verilerinin çeşitlendirilmesi ve zenginleştirilmesi amacıyla BÖTE ve Felsefe bölümlerinden birer bilim insanı ile benzer şekilde (e-mail yoluyla) temasa geçilmiş ve Onların da katılımcılara dahil olması ile toplam 17 kişilik bir çalışma grubu oluşturulmuştur.

Tablo 1. Çalışmaya katılan bilim insanları ve özellikleri

Bilim İnsanı No	Unvan	Branş	Lisans	Y.Lisans	Doktora
B1 1	Profesör	İnşaat Müh.	İnşaat Müh.	Kıyı Müh.	Kıyı Müh.
B1 2	Doçent	Makine Müh.	Makine Müh.	Makine Müh.	Makine Müh./Isı Transferi
B1 3	Doçent	Makine Müh.	Makine Müh.	Makine Müh./Isı Transferi	Isı Transferi
B1 4	Doçent	Makine Müh.	Makine Müh.	Makine Müh.	Makine Müh.
B1 5	Dr Öğrt	Elektrik- Elektronik Müh.	Elektrik ve Elektronik Müh.	Elektrik ve Elektronik Müh.	Elektrik ve Elektronik Müh.
B1 6	Profesör	Bilgisayar Müh.	Bilgisayar Müh.	Bilgisayar Müh/ Bilişim Bilimi	Programlama
B1 7	Doçent	Biyoloji	Biyoloji	Biyoloji	Moleküler ve Hücrel Biyoloji
B1 8	Dr Öğrt	Biyoloji	Biyoloji	Biyoloji	Biyoloji
B1 9	Doçent	Kimya	Kimya	Teorik Kimya	Fiziksel Kimya
B1 10	Profesör	Kimya	Kimya	Kimya	Biyokimya
B1 11	Profesör	Fizik	Fizik/Matematik	Yoğun Madde Fiziği	Yüksek Enerji Fiziği
B1 12	Doçent	Fizik	Fizik	Fizik	Fizik
B1 13	Profesör	Matematik	Matematik	Matematik	Matematik
B1 14	Profesör	Matematik	Elektrik- Elektronik Mühendisliği	Matematik	Matematik
B1 15	Profesör	Matematik	Elektrik- Elektronik Mühendisliği	Matematik	Matematik
B1 16	Profesör	BÖTE	Matematik	Bilgisayar Müh.	Bilişsel Bilimler/Eğitim teknolojisi
B1 17	Profesör	Bilim Felsefesi	Felsefe	Jeoloji Müh	Jeoloji

2.2. Yarı-Yapılandırılmış Görüşmeler

Bilim insanlarının inançlarını ortaya çıkarmak amacıyla beş grup görüşme sorusu üretilmiştir. Birinci grupta bilim insanlarının eğitim bilgileri ve çalışma alanları alınmıştır. İkinci grupta bilim insanlarının Fen, Matematik, Mühendislik ve Teknolojiyi tanımlamaları istenmiştir. Üçüncü grupta bilim insanlarının Fen, Matematik, Mühendislik, Teknoloji ve Toplum arasındaki ilişkileri bir model çizerek anlatmaları ve bu ilişkileri gerçek bir örnek üzerinde açıklamaları istenmiştir. Dördüncü grup soruda ise STEM alanları ikili çiftler haline getirilerek (Fen ve Mühendislik gibi) bu çiftlerin ortak düşünme yolları, çifti temsil eden branşlardan birinin diğerinden nasıl yararlandığı ve branşların bilim üretme şekilleri arasındaki

farklılıklara odaklanılmıştır. Son grupta ise STEM alanlarında etiğin rolü sorgulanmıştır.

Beş grup sorunun oluşturulması ve görüşme sorularının son versiyonlarının şekillenmesinde PNB yaklaşımı (Funtowicz ve Ravetz, 2003; Ravetz, 2012), STEM alanlarının felsefi (ontolojik ve epistemolojik) ve sosyolojik açıdan yan yana getirilebilirliği (örneğin Boyd, Gasper ve Trout, 1999; Clark, 2014; Mitcham ve Schatzberg, 2009), STEM ile ilgili eğitim reformları (European School Net, 2017; MEB, 2017; National Research Council, 2012) ve STEM eğitim reformları ile ilgili eleştiriler (Williams, 2011; Zeidler, 2016) dikkate alınmıştır. Ayrıca Fen eğitimi alanında çalışan iki araştırmacı ile özellikle STEM eğitimine odaklanan biri Fen ve biri de Matematik eğitimcisi olmak üzere toplam dört araştırmacının görüşlerine danışılmıştır. Fen eğitimi çalışan araştırmacılardan biri etik odaklı soruların eklenmesinin çalışmayı güçlendireceğini ifade etmiştir. STEM eğitimi çalışan araştırmacılar ise STEM alanında çiftler yaratıp bunlar arası ortak ve farklı yönlerin ortaya çıkarılması noktasında önerilerde bulunmuştur. Ayrıca araştırmacılar sorular üzerinde anlaşılabilirliği kolaylaştıracak bazı dil odaklı düzeltmeler ve öneriler yapmıştır. Öte yandan görüşme soruları için bir üniversitenin Etik Kurulu'ndan onay alınmıştır.

Yarı yapılandırılmış görüşme sorularının son versiyonu Tablo 2'de verilmiştir. Bu tabloda görüleceği gibi sorular farklı STEM alanları için farklı şekillerde düzenlenmiştir. İlk iki grupta sorulan kişisel bilgiler ve STEM alanlarının belli bir model içinde ilişkilendirilmesi tüm bilim insanlarına sorulurken, örneğin Mühendislikte etiğin önemi sadece Mühendislik branşı bilim insanlarına sorulmuştur. Bu şekilde branşlara özgü inançlar ortaya çıkarılmıştır.

Tablo 2. Yarı yapılandırılmış görüşme soruları

Sorular	Fen	Mat.	Müh.	Fels.
1. Eğitim bilgilerinizi ve çalışma alanlarınızı paylaşabilir misiniz?	+	+	+	+
2. Aşağıdakileri sırasıyla tanımlayabilir misiniz? (a. Fen, b. Teknoloji, c. Matematik, d. Mühendislik)	+	+	+	+
3a. Fen, Matematik, Mühendislik ve Teknoloji arasındaki ilişkileri bir kağıt üzerinde model şeklinde çizerseniz bu model nasıl olurdu? (Kağıt veriniz). Kağıt üzerinde bu ilişkileri nasıl açıklarsınız?	+	+	+	+
3b. Şimdi modelinize ‘toplum’u ekleseniz toplumun model içindeki pozisyonu ve diğer elemanlarla olan ilişkilerini nasıl açıklarsınız?	+	+	+	+
4. Şimdi bu modeldeki tüm ilişkileri bir örnek üzerinde açıklamak isteseyiz bu örnek hangisi olurdu ve bu örnek üzerinde ilişkileri tekrar anlatabilir misiniz?	+	+	+	+
5a. Aşağıdaki çiftleri düşündüğünüzde her ikisinde de ortak olan düşünme yolları (anlaşılmasa ortak çalışma yöntemleri) neler olabilir? a. Fen ve Matematik, b. Fen ve Mühendislik	+			
5b. Aşağıdaki çiftleri düşündüğünüzde her ikisinde de ortak olan düşünme yolları (anlaşılmasa ortak çalışma yöntemleri) neler olabilir? a. Fen ve Matematik, b. Matematik ve Mühendislik		+		
5c. Aşağıdaki çiftleri düşündüğünüzde her ikisinde de ortak olan düşünme yolları (anlaşılmasa ortak çalışma yöntemleri) neler olabilir? a. Fen ve Mühendislik, b. Matematik ve Mühendislik			+	
5d. Aşağıdaki çiftleri düşündüğünüzde her ikisinde de ortak olan düşünme yolları (anlaşılmasa ortak çalışma yöntemleri) neler olabilir? a. Fen ve Mühendislik, b. Matematik ve Mühendislik, c. Fen ve Matematik				+
6a. Bilim insanlarının nasıl bilim ürettiklerini düşünüyorsunuz?	+	+		+
6b. Fen alanlarındaki bilim insanlarının kendi işlerinde Mühendislikten nasıl yararlandıklarını düşünüyorsunuz?	+		+	+
6c. Mühendislerin kendi alanlarında Fen biliminden nasıl yararlandıklarını düşünüyorsunuz?	+		+	+
6d. Mühendislerin kendi alanlarında Matematikten nasıl yararlandıklarını düşünüyorsunuz?		+	+	+
7a. Mühendislerin kendi alanlarında (Fen) bilimden yararlanma şekilleri ile (Fen) bilim insanlarının (Fen) bilim üretme şekilleri arasında sizce farklılıklar var mı? Açıklar mısınız?	+		+	+
7b. Matematikçilerin kendi alanlarında matematiği üretme şekilleri ile Mühendislerin kendi alanlarında Matematikten yararlanma şekilleri arasında sizce farklılıklar var mı? Açıklar mısınız?		+	+	+
7c. Matematikçilerin kendi alanlarında matematiği üretme şekilleri ile Fen bilimcilerin kendi alanlarında Matematikten yararlanma şekilleri arasında sizce farklılıklar var mı? Açıklar mısınız?	+	+		+
8a. Fen biliminde etiğin yeri hakkında neler düşünüyorsunuz?	+			
8b. Matematikte etiğin yeri hakkında neler düşünüyorsunuz?		+		
8c. Mühendislikte etiğin yeri hakkında neler düşünüyorsunuz?			+	
8d. Fen Bilimi, Matematik ve Mühendislikte etiğin yerini sırasıyla açıklayabilir misiniz?				+

+ : Soru soruldu

E-mail yazışması sonrasında olumlu yanıt veren bilim insanları ile yarı-yapılandırılmış görüşmelerin yapılması amacıyla telefon yoluyla iletişim kurulmuştur. Telefonda çalışmanın genel amaçları tekrar özetlenmiş ve uygun bir gün ve saatte buluşmak üzere sözleşilmiştir. Yarı-yapılandırılmış görüşmeler çalışmanın iki farklı yazarı tarafından bilim insanlarının ofislerinde ses kaydı alınarak yapılmıştır.

2.3. Verilerin Analizi

Veri analizinde içerik analizi prosedürlerinden yararlanılmış ve üç aşamaya dikkat edilmiştir (Patton, 1990). Birinci aşama olan *hazırlık* aşamasında görüşme transkriptleri çalışmanın iki farklı yazarı tarafından iki kez okunmuş ve okumalar sırasında seçilecek muhtemel inançlar ile ilgili küçük notlar alınmıştır. İkinci aşama olan *inanç seçimi* aşamasında ise açık kodlamalardan (Charmaz, 2014) yararlanılmış ve her bir bilim insanının kullanmış olduğu ifadelerde ortaya çıkan temel inançlar seçilmiştir. Seçim sırasında söylemin doğasında olan aşırı örneklendirmeler ve konu dışı ifadeler inançların dışında tutulmuştur. Üçüncü aşama olan *tematik gruplamalarda* ise aksiyal kodlamalar yapılmıştır (Corbin & Strauss, 2014). Bu aşamada (branş içi ve farklı branşlar arasında) bilim insanlarının seçilen inançları arasında kıyaslamalar yapılmış ve ortak veya farklı olan inançlar temalar halinde birer durum şeklinde yazılabilir hale getirilmiştir. Ayrıca her bir tematik inanç grubunu temsil eden örnek ifadeler belirlenmiştir.

2.4. Geçerlilik ve Güvenilirlik

Çalışmada naturalistik sorgulamada (Lincoln & Guba, 1985) esas alınan geçerlilik ve güvenilirlik süreçleri kullanılmıştır. Buna göre bilim insanları ile uzun süreli bir çalışma yürütülmemiş olsa da *akran güvenirliliği, ön yargıların yönetimi, negatif verilerin incelenmesi ve detaylı bilgilendirme* gibi unsurlara dikkat edilmiştir. *Akran güvenirliliğinde* çalışmanın iki yazarı verilerin analizlerini önce birbirlerinden bağımsız, sonrasında ise bir araya gelerek tekrarlı kıyaslamalar ile yapmışlardır. Her bir seçilen inançta tam bir konsensüs oluşturulmadan yeni datalara geçilmemiştir. Ayrıca bu analizler sırasında belirtilen iki yazarın STEM ve STEM eğitimi ile ilgili bazı *önyargılarının analiz sürecini etkilememesine* dikkat edilmiştir. Böyle bir durum herhangi bir yazar tarafından fark edildiğinde ön yargıyı ifade eden yazar uyarılmıştır. Seçilen inançların aksi yönünde verilerin bulunup bulunmadığı ise *negatif verilerin incelenmesi* ile araştırılmıştır. Özellikle ortaya çıkan inançların aksi yönünde ifadeler ve inançların varlığı için tüm veriye geri dönmüş ve her bir bilim insanı için son kez detaylı bir okuma yapılmıştır. Öte yandan çalışmanın katılımcıları, katılımcılara ulaşım, veri

toplama süreçleri, analizler ve örnek ifadeleri de barındıran *detaylı bilgilendirmeler* yapılmıştır.

3. BULGULAR

Yarı-yapılandırılmış görüşmelerde beş grup soru kullanılmıştır. Bunlardan ilki olan bilim insanlarının kişisel bilgileri yöntem kısmında verildiği için diğer dört grup soruya verilen cevaplardan seçilen inançlar aşağıda başlıklar halinde sunulmuştur.

3.1. Fen, Matematik, Mühendislik ve Teknoloji tanımları

Bilim insanlarının tanımlarına bakıldığında iki grup tanımlamanın yapıldığı gözlenmiştir. Bilim insanlarından 12'si verilen alanları birbirleriyle doğrudan ilişkiler kurmadan tanımlamaya çalışırken, kalan beşi (bir Fizikçi, bir Kimyager, bir Matematikçi, bir İnşaat Mühendisi ve bir Makine Mühendisi) alanlar arasındaki ilişkileri kullanarak tanımlamalar yapmıştır.

3.1.1. Alanlar arası ilişkiler kurulmadan yapılan tanımlamalar

Birinci gruptaki bilim insanlarının tanımlamalarına bakıldığında **Fen** özellikle *doğayı, hayatı ve sosyal yaşamı anlamak ve açıklamak* olarak tanımlanmaktadır. Bir Fizikçi Fenni *doğal olayları anlamak için bir araç* olarak tanımlarken bir Matematikçi bu tanımlamayı *insan düşüncelerini ve doğal olayları anlamak* olarak yapmıştır. Bir Makine Mühendisi ise benzer şekilde *doğadaki olayları açıklamaya çalışmak* olarak ifade etmiştir. Detaylı bir tanımda ise bir Biyolog Fennin özellikle bulmaca çözen doğasına vurgu yapmıştır: *Fen, bana göre, var olan bir takım şeylerin çalışılarak anlaşılmasına çalışılması ... Doğru yöntemler kullanarak ve kanıtlar sunarak daha önce bilinmeyenleri anlamaya çalışmak*. Matematikçilerin ise diğer branşlardan farklı olarak Fen tanımlamalarına insan düşüncelerini anlamak ya da sosyal mekanizmaları çözümlemek gibi doğal süreçlere ek olarak insan temelli faktörleri de dahil ettikleri gözlenmiştir.

Yine birinci grup bilim insanlarının **Matematik** ile ilgili tanımlamalarına bakıldığında genel olarak *Fen bilimlerinin ya da Mühendisliğin anlamlandırılmasında kullanılan dil ya da araç* olarak ifade ettikleri gözlenmiştir. Tanımlamalar branşlara göre bazı değişiklikler göstermiştir. Örneğin Matematikçiler kendi Matematik tanımlarında araç odaklı tanımlar yerine anlama odaklı tanımlara yer vermişlerdir. Örneğin bir Matematikçi *Matematiği insan düşüncelerini ve doğayı anlamak ve anlayıp özüne inebilmek* olarak tanımlarken, Matematik kökenli bir BÖTE uzmanı *her şeyin en alt yapı birimi, doğada her şeyin altında olan ya da her şeyin*

üzerine kurulu olduğu şeklinde bir tanım kullanmıştır. Fen ve Mühendislik alanı bilim insanları ise Matematiği daha çok işlerinde kullandıkları dil odaklı bir araç olarak düşünmüşlerdir. Mesela bir Bilgisayar Mühendisi Matematiği *daha soyut düşünme gerektiren ve Fen bilgilerini soyutlaştırmaya yarayan araç* diye tanımlarken, benzer şekilde bir Makine Mühendisi *Fen bilgilerini ifade etmek için kullanılan bir dil* şeklinde tanımlamıştır. Bir Biyolog ise Matematiğin dil odaklı bir araç olması ile ilgili olarak bir Kimyager ile tanışmasını ve Matematik sayesinde anlaşabilmelerini örnek vermiştir: ... *ben bir kere bir hoca ile tanıştım. Kimyager kendisi ... Hoca İranlı. Hiç İngilizce bilmiyor. Geçti tahtaya ve formüllerle konuşmaya başladı. Hayran kaldım. Hiç Türkçe bilmiyor. Hiç İngilizce bilmiyor. Farsi biraz anlayabiliyorsun, vücut dilinden falan ama hocanın ne demek istediğini ben anladım ... 1.5 saat Matematikle Kimya konuştu.* Öte yandan bir Bilim Felsefecisi Matematik tanımında yine Fenden gelen bilgileri dile aktarmak olarak bir ifade kullanmış ama bunun matematiksel modelleme ile olduğunu grupta ilk defa ifade etmiştir.

Birinci grup bilim insanının **Mühendislik** tanımlarına bakıldığında genelde *Fen ve Matematiğin günlük hayat problemlerine uygulanması ile bu problemlerin çözümünü sağlayan bilim dalı* olarak bir tanımın kullanıldığı gözlenmiştir. Burada özellikle Fen alanındaki bilim insanlarının tanımlarında *Fen bilimlerinden elde edilen bilgilerin günlük yaşam problemlerinin çözümünde kullanılması* gibi bir tanımlı tercih ettikleri gözlenmiştir. Örneğin bir Kimyager, Mühendisliği *Fen bilimlerinin ortaya koyduğu şeyleri insanlığa sunmaya çalışan alan* olarak tanımlamıştır. Matematikçiler ise Fen bilimleri-Mühendislik bağımlı tanımlarında tercih etmemiş ve Mühendisliği somut ürünler üretmeye çalışan ve Teknoloji ile bunları yaratmaya çalışan alan olarak tanımlamışlardır. Ayrıca Matematikçilerden biri Mühendisliğin aslında askeri kökenli bir yapısı olduğunu ve sonradan savaş dışı amaçlara yöneldiğini vurgulamıştır. Kendisi *Mühendislik aslında askeri kökenli bir kavramdır. Mülki olması onun ikinci aşamasıdır. Mesela İnşaat Mühendislerine civil engineer denmesi bundandır* demiştir. Öte yandan Mühendisler Mühendislik tanımlarında özellikle günlük yaşam problemleri ve insanların ihtiyaçlarını ön plana çıkarmış ve Fencilerin aksine Mühendisliğin sadece Fenden değil Fen, Matematik ve Teknolojiden köken aldığı ifade etmişlerdir. Mesela bir Bilgisayar Mühendisi *Fen ve Matematik bilgilerinin gerçek hayata uyarlanması ve hayat problemlerinin sistematik bir şekilde çözülmesi* olarak Mühendisliği tanımlamıştır. Benzer şekilde bir Elektrik-elektronik Mühendisi *Mühendislik hepsini birleştiren nokta. Fen ve Matematik kullanarak Teknoloji üreten bilim dalı* demiştir.

Birinci grup bilim insanının **Teknoloji** tanımlarına bakıldığında ise Fen ve Matematikçilerin Teknolojiye daha çok Mühendisliğin ürünü olarak baktıkları ya da Mühendislikle yer değiştirilebilir bir tanıma sahip olduğunu düşündükleri gözlenmiştir. Örneğin bir Matematikçi *Teknoloji Mühendislikle beraber düşünülebilir* şeklinde bir ifade kullanırken, bir Biyolog Teknolojiyi *Fen bilimlerinin Mühendislik aracılığıyla günlük hayata uygulanması* şeklinde tanımlamıştır. Öte yandan bazı Fenciler Teknolojinin Fen bilimine olan katkısına da vurgu yapmışlardır. Örneğin bir Kimyager Teknoloji için *ben anladıkça daha iyi anlamamı sağlayan şeyler bunlar. Teleskoplar veya PH metre gibi. Sistematik analiz ve ölçümler yapmak için (kullanılan) araçlar* demiştir. Mühendislerin ise Teknolojiyi sadece somut ürünler değil sorunları çözme yöntemlerini de barındıracak şekilde tanımladıkları gözlenmiştir. Örneğin bir Makine Mühendisi Teknolojiyi *Fen, Matematik ve Mühendislik kullanılarak hayat problemlerini çözme yöntemleri* diye tanımlamıştır. Bir BÖTE uzmanı ise ürün odaklı ve yöntem odaklı Teknolojileri birbirinden ayırmıştır. Kendisi *Teknolojiyi araç olarak görme eğilimi var. Aslında (teknoloji) bir şeyi en verimli, en maksimum şekilde yapma yoludur. Bazen araç olabilir, bazen yöntem olabilir. Elle tutulanlar var. Böyle olmayanlar var. Öğretim tasarımları mesela. Daha etkili bir yöntem olarak bu tasarımlar geliştiriliyor* demiştir.

3.1.2. Alanlar arasında ilişkiler kurularak yapılan tanımlamalar

Fen, Matematik, Mühendislik ve Teknoloji arasındaki karşılıklı ilişkileri kullanarak tanımlamalar yapan ikinci gruptaki bilim insanlarına bakıldığında, bir Fizikçinin Mühendislik ile Fen bilimleri arasında net bir ayırım yapmadığı, her ikisinde de hipotetik önerilerin ispatlanmaya çalışıldığını ve güvenilirliğin önemli olduğunu vurguladığı gözlenmiştir. Kendisi *hepsi için elimizde bir hipotez olması ve test edilebilir bir dizayn olması ve tekrarlanabilir bir deney yapılması söz konusu. Eğer tekrarlanabilir bir şeyler yapılmıyorsa Fen ve Teknoloji diyemeyiz ... Türkiye’de Fen ve Mühendislik çok ayrı gibi görünüyor ama güntümüzde böyle bir ayırım sahte duruyor* demiştir. Bir Kimyager ise tanımlamalarında Matematik ve Mühendisliğin Fen bilimine hizmet ettiğini, Matematik ve Mühendisliğin ortak bir şekilde yaratıcı süreçler barındırdığını ve Mühendisliğin Fencilerin desteğine ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde bir İnşaat Mühendisi Fen ve Matematik alanlarının temel bilimler olduğunu ve bunlar olmazsa Mühendisliğin ilerlemeyeceğini ifade etmiştir. Bu noktada kendi alanı olan Deprem Mühendisliğini örneklemiştir. Kendisi *temel bilimler denizde olacak bir deprem ile ilgili hesaplamalar yaparlar. Mesela suların beş metre yükseleceğini hesaplarlar. Biz de Mühendisler olarak buna göre kıyı tasarımları yaparız. Bu alanda Fen*

bilimleri, Matematik, Sosyal bilimciler, Mühendisler ve karar vericiler olmak üzere birçok alan beraber çalışırız demiştir. Öte yandan bir Makine Mühendisi Matematiği Fen bilimlerini formülize etmek olarak tanımlamıştır. Kendisi *bir fiziksel olayın nasıl meydana gelebileceğini Matematiksel metotlar sayesinde önceden tahmin edebiliyoruz ... diyelim ki bir gaz genleştiği zaman genleşen gazın sıcaklığı ne olacak? Yahut da bir motor çalışırken ona verdiğiniz yakıt ne şekilde dönme enerjisine dönüşecek gibi ... Bütün bunları Matematik yardımı ile biliyoruz* demiştir. Son olarak bir Matematikçi Fen bilimlerinin Matematik gibi aksiyomatik bir yapıda olmadığını, dolayısıyla bazı sınırlılıklar barındırdığını ifade etmiştir. Örneğin *Fende kullanılan metotların çoğu bizim için sağlıklı değil. Bu metotlar aksiyomatik sistemlerin amacı olan, içinde mantıksal boşluk bulundurmayan sistemleri kurmak gibi bir doğada değil. Ama Fende aksiyomatik çalışma şansı yok. Yine de deney yapma şansları var ama yine de ucu açık durumlar söz konusu* demiştir. Öte yandan Matematiğin tarihsel gelişiminde öncelikle Fen ve Mühendislik kaynaklı problemlerle yola çıktığını ama daha sonra bu problemlerden gerçek yaşamın ötesine geçebilen soyut bir dünyaya doğru evrildiğini ifade etmiştir. Matematiğin özellikle dinamik sistemleri anlama ve modelleme ile geleceği veya geçmişi tahmin etme üzerinden Fen ve Mühendisliğe hizmet ettiğini de ifade etmiştir. Ayrıca Teknolojinin Fenden elde edilen sonuçları günlük hayatta kullanılabilir hale getirme işi olduğunu söylemiştir. Ancak bu süreçte özellikle Teknolojinin ihtiyaç görmeyi hedeflemesi, kazanç odaklı olması ve rekabetten dolayı etik unsurlara dikkat edilmeden üretilebildiğini vurgulamıştır. Bu durumu ilaç firmaları, cep telefonları ve uzaktan savaş araçları ile hedeflerin vurulması gibi örnekler üzerinden açıklamıştır.

3.2. Fen, Matematik, Mühendislik, Teknoloji ve Toplum arası ilişkiler

Bilim insanlarının Fen, Matematik, Mühendislik, Teknoloji ve Toplum arası ilişkileri gösterdiği modeller incelendiğinde beş bilim insanının Matematiğe (iki Makine Mühendisi, bir Biyolog, bir Matematikçi ve bir BÖTE uzmanı) diğerlerine göre en temel rolü/yeri verdiği gözlenmiştir. Kalan 12 bilim insanı ise herhangi bir alanı temel olarak almamıştır.

3.2.1. Alanlardan Matematiğin temel olarak alındığı ilişkiler

Bir BÖTE uzmanı piramit şeklinde en altta Matematik, onun üzerinde Fen ve en üstte Mühendislik ve Teknoloji birlikte olacak şekilde üç katmanlı bir model oluşturmuştur. Bu modelde Matematiğin diğerlerinin ortak paydası olduğunu ve evrensel bir dil olduğunu belirtmiştir. Kendisi *uzaylı biri gelse onlarla bile muhtemelen Matematik sayesinde konuşacağız*

demıştır. Ayrıca Matematiğin üzerindeki Fennin Matematikten köken aldığı ve dünyada olup bitenleri açıklayan mekanizmalar ve kuralları ürettiğini ifade etmiştir. Öte yandan Mühendislik ve Teknolojinin hem Matematik hem de Fenden köken alarak bu alanların uygulamaları olduğunu düşünmüştür. Bir Makine Mühendisi ise matematiğin en iç halkayı oluşturduğu iç içe daireler çizmiştir. BÖTE uzmanı ile benzer şekilde Matematiği kapsayan daireyi Fen, Fen ve Matematiğin iç içe olduğu daireyi Mühendislik ve Mühendisliği de kapsayan daireyi Teknoloji olarak göstermiştir. İlişkilendirmelerine bakıldığında Matematiği en temel araç olarak gördüğü ve hem Fen ile etkileşim halinde olduğu hem de onun için gerekli bir araç olduğunu düşündüğü gözlenmiştir. Benzer şekilde Mühendislik için *bu ikisi (Fen ve Matematik) ile etkileşim halinde olan ve ikisini de kullanan* şeklinde bir ifade kullanmıştır. Ayrıca Mühendisliğin Fen ve Matematikten faydalanarak günlük problemleri çözme yöntemi olduğu, Teknolojinin ise Mühendisliği kapsayarak problem çözme sürecindeki yetenekler olduğunu ifade etmiştir. Bir başka Makine Mühendisi ise yine Matematiğe önemli bir rol vermiş ancak asıl amacın Fenden Teknolojiye geçiş olduğunu ifade etmiştir. Çizmiş olduğu modelde Matematiğin Fen, Mühendislik ve Teknolojiye modellemeler sayesinde yardımcı olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca Fenden Teknolojiye giden yolda Mühendisliği, Mühendislik ile Teknoloji arasında bağlantı kurarak sonradan devreye sokmuştur. Kendisi *asıl amaç Fenden Teknolojiye gitmek. Matematik yardımcı unsur. Kendi başına bir bilim değil, bir dil, bir formülize etme şekli. Matematik bir bilgiyi size anlaşılabilir kılıyor ... takip edilebilir ve ondan bir sonuç çıkarılabilir (kılıyor)* demıştır. Bir Biyolog ise modelinde Matematiği merkeze koymuş, bir tarafına Fen diğer tarafına ise Teknoloji ve Mühendisliği koymuştur. Her iki tarafla da Matematiği çift yönlü oklar çizerek ilişkilendirmiş ancak sadece Teknoloji ve Mühendisliğin *Fen ve Matematiği hayata geçirdiğini* ifade etmiştir. Bir Matematikçi ise Matematiği en altta büyük bir dikdörtgen olarak göstermiş, karşısına benzer büyüklükte bir dikdörtgende Teknoloji ve Mühendisliği koymuştur. Bu iki dikdörtgeni ise Fizik, Kimya ve Biyoloji olarak belirlediği küçük dikdörtgenler aracılığıyla birbirlerine bağlamıştır.

Bu beş bilim insanı da **Toplumu** modellerine eklediklerinde, Toplumu son kullanıcı ve/veya bilgi veya Teknoloji ürünlerinden istifade eden bir yapı olarak göstermişlerdir. Örneğin BÖTE uzmanı Matematik, Fen ve Teknoloji ile Mühendisliğin basamaklarını oluşturduğu piramit modelini bir daire ile çevrelemiş ve bu dairenin Toplum olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca toplumun bilimin ürünleri üzerinden ya doğrudan ya da bilim yaparken dolaylı olarak etkilendiğini düşünmüştür. Kendisi *bu faktörler*

*insan hayatını etkilerler. Bilim bilim için mi? Bilim toplum için mi? Her ikisi de geçerli. Bilim bilim için ama bir süre sonra topluma aktarılmış olur. Bilim toplum için'de ise insanları daha ileriye götürmek için çalışılıyor. Bir şekilde toplum etkileniyor demıştır. Alanları iç içe halkalar halinde gösteren Makine Mühendisi ise bu halkaların dışında başka bir daire çizmiş ve bu daireyi Toplum olarak adlandırarak, Toplum ile alanlar arasında çift yönlü oklar kullanmıştır. Kendisi *Toplum bu bilgilerin içinde değil ama bunları kullanıyor* demıştır. Diğer Makine Mühendisi Fenden Teknolojiye doğru olan temel yolu, Teknolojiyi insan ve topluma bağlayarak tamamlamıştır. Kendisi sadece toplumun teknolojilerden istifade ettiğini söylemiştir. Biyoloğun modelinde ise aralarındaki karşılıklı ilişkiler bir şerit halinde gösterilen Fen, Matematik ve Teknoloji ile Mühendislikten Topluma doğru her birinden birer ok ile bağlantı kurulmuştur. Kendisi toplumun hepsiyle ilişki halinde olduğunu ifade etmiştir. Matematikçinin modeline bakıldığında ise Toplumu modelde göstermediği ancak belirtilen alanlar ile toplum arasındaki ilişkilerin insanı merkeze alan iktisat, edebiyat, tarih ve sanat gibi beşeri bilimler sayesinde olduğunu ifade etmiştir.*

Beş bilim insanının alanlar arasındaki ilişkileri gösterdikleri örneklere bakıldığında ise BÖTE uzmanı **otomobili** örnek olarak vermiştir. Kendisi *Toplum bu şekilde enerjiyi etkili kullanıyor, ulaşımı sağlıyor. Altında Matematik, Fen, Mühendislik ve Teknoloji var. Matematik içinde kullanılıyor. Mesela diferansiyel sistemi var. Diferansiyel denklemler Matematikten geliyor ... Bunun Fen boyutu var. Mesela hareket açısından, kinetik enerji, ivme gibi. Bunların hepsinin hayata geçmesi gerekiyor. Bu kurallar var, tamam ama, matematiğin temel prensiplerini alıp Fen kanunlarını alıp bunu da Mühendislik ve Teknoloji olarak ben bunu nasıl yürüteceğim? Hangi Teknolojiyi kullanacağım boyutu var. Bir Makine Mühendisi ise örnek olarak **nükleer teknolojiyi** vermiştir. Yapmış olduğu halka modelinde en içteki Matematikten en dıştaki Teknolojiye doğru giderken Fen ve Mühendisliğin de devreye girdiğini ve bu Teknolojinin topluma kadar ulaştığını ifade etmiştir. Diğer Makine Mühendisi ise **buharlı makineleri** örnek olarak vermiştir. Kendisi *buharlı makineler keşfedildi değil mi? İnsanların ne buharlı makineden haberi vardı, ne de şeyden ... Ama bununla ilgili temel bilgileri biliyorlardı. Suyu kaynattığın zaman basıncının arttığını ve faz değiştirdiğini biliyorlardı. Bu Fen oluyor ... Ama yalnız başına bir şey ifade etmiyor ... Bir Mühendis gelip çıkıyor diyor ki ben bunu insanlığın faydası için kullanacağım ... Bir silindirin içine bir piston koyacağım, bunu ısıtacağım. Bir tekerleği döndürecek. Bunu ne kadar döndürebileceğini Matematikten bulabiliyorsun. Yani bir piston ne kadar hızlı döner? Dönen tekerler ne kadar kuvvetle şeyi çeker falan bunların**

hepsi Matematik gerektiriyor. Mühendislikte bunun imalatı oluyor. Pistonun imalatı, içindeki kaynama, ondan sonra genişleme vs. bunlar Mühendislik uygulamaları oluyor. Bir Biyolog ise karşılıklı ilişkiler için örnek olarak **tp** alanını vermiş ancak bu ilişkilerin bu alanda nasıl şekillendiğini açıklamamıştır. Bir Matematikçi ise **sosyal gelişimde alt yapısal faktörlerin etkileri** üzerine bu ilişkileri açıklamıştır. Kendisi *fikri hayatın kısırlığı gibi toplumsal meselelerin kökünde ne yatmaktadır? İşte reklama dönüşmüş bir formülle eğitim şart denecektir. Kısa vadede ilk bakışta bunların halledilmesinde, yani insanların fikir üretebilmesi için kendilerini emniyette hissetmeleri, huzur ve refaha sahip olmaları gerekir. Bunun için insanlara medeni vasıtalar hediye etmemiz lazım, yol yapmamız köprü yapmamız lazım ... Mesela eğitim meselelerinin %95'i maddi olarak halledilebilir. İyi havalandırılmış, ısıtılmış bir sınıf huzur içinde çocukları getirirsiniz, başlarına da sahasında bilgili bir öğretmen koyduğunuzda eğitim problemlerinin % 95'i biter. Ondan sonra müfredatı tartışabilirsiniz... Önümüzdeki 10-15 yıl içinde insanlara asgari bir fikir hayatının sağlanması için öncelikle maddi vasıtaların temini gerekiyor* demiştir.

3.2.2. Alanlardan birini temel olarak almayan ilişkiler

Kalan 12 bilim insanı ise oluşturmuş oldukları modellerde alanlardan herhangi birini temel olarak kullanmadan daha çok daireler ile kesişim kümelerini tercih etmişlerdir. Örneğin bir Bilim Felsefecisi Matematik dairesini Fenle, Fen dairesini Mühendislikle, Mühendislik dairesini ise Teknoloji ile kesiştirmiş ve bu şekilde bir zincir oluşturmuştur. Kendisi alanlar arasındaki ilişkinin bir belirlenim ilişkisi olduğunu, hepsinin karşılıklı olarak birbirlerini etkilediğini ifade etmiştir. Bir Bilgisayar Mühendisi ise Matematik ile gösterdiği daireyi Fen ile kesiştirmiş ve kesişim kümesinin olduğu yere bir dikkörtgen çizmiştir. Bu dikkörtgene Mühendislik demiş ve dikkörtgenin içine Fen ve Matematik'in kesiştiği bölgede küçük bir daire daha çizmiş ve onu Teknoloji olarak isimlendirmiştir. Kendisi Matematikle Fenin kesiştiğini ancak Matematik'in tamamen Fennin içinde olmadığını ifade etmiştir. Ayrıca Teknolojinin Fen ve Matematik içererek Mühendisliğin altında olduğunu ve Mühendisliğin Fen ile Matematik'in sonucu olduğunu söylemiştir. Bir Makine Mühendisi ise Mühendislik ve Teknoloji arasında karşılıklı oklar çizmiş ve Fen ve Matematik'i hem Mühendisliğe hem de Teknolojiye birer okla bağlamıştır. Kendisi *Fen ve Matematik Mühendisliğe girdidir. Birer araç olarak katkıda bulunurlar. Dolaylı olarak Fen ve Matematik Teknolojiyi etkiliyor* demiştir. Bir Elektrik-elektronik Mühendisi ise Mühendislikten Teknolojiye bir ok çizmiş,

sonrasında ise Teknolojiden Mühendisliğe doğru geri bildirim şeklinde bir ok daha çizmiştir. Ayrıca Fen ve Matematiği Mühendisliğe birer okla bağlamıştır. Kendisi *Fen ve Matematik girdiler. Mühendisliğin çıktısı ise Teknoloji. Teknolojiden geri besleme geliyor bize (Mühendislere). Bu Teknolojiyi daha iyi yapmak için gerekli tasarımları yapıyoruz* demiştir. Bir İnşaat Mühendisi ise dört alanın da dairelerini birbirleri ile kesiştirecek şekilde bir model oluşturmuştur. Mühendisliğin yaşamın her yerinde olduğunu, Fen sayesinde daha büyük yerlere gelebildiğini ve Fen ve Matematiği bir arada düşündüğünü ifade etmiştir. Bir Fizikçi ise Matematik ve Fen dairelerini aynı büyük daire içinde toplamış, bunların karşısına ise içinde Mühendislik ve Teknoloji olan başka bir büyük daire koymuştur. Kendisi hepsinin birbiri içine geçmiş durumda olduğunu, Matematiğin Fen tarafından kullanılan bir dil olduğunu, onun için Fen ve Matematiği bir arada gösterdiğini, Teknoloji ve Mühendisliğin ise Fen-Matematik ikilisine göre daha yakın olduklarını ifade etmiştir. Bir diğer Fizikçi ise belirtilen alanlar arasında aslında net ayrımlar olmadığını, bunun özellikle Türkiye gibi ülkelerde şekillendiğini ifade etmiştir. Bu durumu özellikle Thomas Kuhn'un paradigma değişimleri üzerinden açıklamıştır. Kendisi *Fen ve Teknolojideki değişimler sabit değildir. Birdenbire bir devrim yaşanır ve ona göre ilerlemeler olur. Bazen beklenmedik bir devrim olur ve alanlar arasında ayrışmalar olur. Bu model benim hayatımda doğrulandı. Dünyada böyle ama Türkiye'de sahte bir ayırım var. ÖSYM'nin yaptığı puanlama ile ilgili* demiştir. Öte yandan bir Kimyager Matematik dairesini kapsayan bir Fen dairesini Teknoloji dairesi ile kesiştirmiş ve bu kesişim kümesine Mühendislik ismini vermiştir. Kendisi *Fen ve Matematik iç içe olmalı. Teknoloji biraz daha dışarıda olmalı, Mühendislik ise bunları insanlığa sunan* şeklinde konuşmuştur. Bir diğer Kimyager ise Fenden Mühendislik ve Matematiğe karşılıklı oklar çizdiği ve Mühendislik ile Matematiği bir çizgi ile birleştirdiği model için *Fen olmadan Mühendislik zor var olur ama Matematik her koşulda var olur* demiştir. Öte yandan Matematiğin yine de ihtiyaçtan doğduğunu eklemiştir. Bir Biyolog ise bu alanlar arasındaki ilişkilerin yan yana geldiği asıl önemli konunun bir biyolojik problemi doğru bir şekilde çözmek olduğunu söylemiştir. Kendisi *temel olan biyolojik sorudur. Bu tip bir deneyi yapmak için nasıl bir deney düzeneği kurmalıyım? Nasıl bir teknik kullanmalıyım? Bazen tesadüfen bile bulabildiğimiz şeyler oluyor. Ama önemli olan biyolojik sorudur* demiştir. Ayrıca *bilim insanının görevi biyolojik problemi görmek, ortaya çıkarmak ve sonrasında diğer alanlardan yardım alarak bunu çözmektir* diyerek devam etmiştir. Kalan iki Matematikçi ise herhangi bir model çizmeden sadece açıklamalar üzerinden ilişkileri anlatmıştır. Matematikçilerden biri belirtilen alanların kavramsal olarak farklı nitelikleri ve kendilerine özgü noktaları olduğunu, öte yandan

birbirlerinden de kopuk olmadıklarını ifade etmiştir. Örneğin *biri diğerlerinin alt yapısı olarak kabul edilebilir, özellikle Mühendislikte bunun alt yapısı iyi bir Fen bilimleri eğitimi, Matematik eğitimi, iyi bir algılama ve biraz da yaratıcı dizayn yetenekleri. Matematik eğitiminde diğerleri o kadar belirgin değil, bir Matematikçi çok iyi Fizik ve Kimya bilmeden bir şeyler yapabilir. Kendine özgü olarak yapabilir. Günümüzde uygulamalı Matematik çok yaygınlaştı, teknolojik sorunlarla ilgili modeller geliştirip çözmeye çalışıyor. Bu alanda çalışan Matematikçilerin diğer alanlardan anlaması gerekiyor* demiştir. Bir diğer Matematikçi ise öncelikle Teknoloji ile Matematik ilişkisine odaklanmıştır. Kendisi bu ilişkinin iki yönlü olduğunu ifade etmiştir: *ilk olarak ölçümlerden elde edilen sonuçları denklem haline getirerek anlamak için yani basit bir düzeyde hesaplama yapmak için olabilir. İkincisi dayandığı bilimsel prensipler açısından çok kuvvetli bir matematiğin kullanılması söz konusu olabilir* demiştir. Öte yandan Fen ve Teknolojinin ilişkisinde Fen ne kadar ileri giderse Teknolojinin de o kadar ileri gidebileceğini ama Teknolojik ihtiyaçların da Fenne yön verebileceğini belirtmiştir. Fen ile Matematiğin ilişkisine geldiğinde ise çift yönlü bir ilişki olduğunu Fizik ile Matematik ilişkisi üzerinden açıklamıştır. Kendisi *bunların en başında teorik Fizik geliyor. Fiziksel olayları ve kâinatın yapısını anlamak için Fizikçiler ürettikleri bir teoriyi Matematiksel olarak ifade etmeye ihtiyaç duyuyorlar, bu çok kuvvetli bir geometriye dayanıyor. Örneğin elektromanyetik dalganın gerçekte geometrik özellikte olduğunu söyleyen bir teori bize çok farklı bir Matematik söylemek zorunda. Bu Fiziğin Matematiğe katkısı. Yani Fizikten çıkan teorilerin Matematiksel modellere uygulanması. Fizikçiler için de böyle. Mesela yaptıkları model Matematik olarak irrasyonel sonuçlar veriyorsa teoriyi yeniden düzeltmek zorundalar* demiştir. Matematik ile Mühendisliğin ilişkisine geldiğinde aslında Matematiğin Fen ile olan ilişkisine nazaran Mühendislikle ilişkisinin daha sınırlı olduğunu ifade etmiştir. Bu noktada Mühendislere yoğun Matematik eğitimi verilmesine rağmen mezun olduklarında öğrendikleri Matematiğin çok az bir bölümünü işlerinde kullandıklarını belirtmiştir. Ayrıca Matematiğin Mühendislikle ilgili bazı teknolojik problemlere çözüm için kullanılabileceğini ve sonrasında buradan soyutlanarak farklı bir yönde ilerleyebileceğini ifade etmiştir. Kendisi *mekanikten gelen bir soru var diyelim, bu soruyu Matematikle çözdünüz ve bu hızla döndürmeyin şu hızla döndürün bunu da bu hızla kaydırın dersiniz sorun ortadan kalkar, problem çözülür. Matematikçiler için bu sistem, verilen ölçümlerden soyutlandığı zaman mekanikte ciddi bir problem haline dönebilir veya diferansiyel denklemlerde çok ciddi bir hale gelebilir ve bir stabilite problemi olabilir ... Matematiğin gelişmesine bunun katkısı olabilir ama bu çok kısa zamanda kendisini kökünden kopararak giden soyut bir çalışmadır* demiştir.

Belirtilen 12 bilim insanı **Toplumu** diğer alanları içine kapsayan bir şekilde modellerine ya da açıklamalarına dahil ettikleri gözlenmiştir. Bilim Felsefecisi Toplum ile diğer alanlar arasındaki ilişkiye aslında Fen, Matematik ve Mühendisliğin de birer topluluk halinde hareket etmesi üzerinden yaklaştığı gözlenmiştir. Kendisi *her biri kendi içinde birer toplum. Bunlar büyük topluluğun parçası. Ama kendi otonomileri var. Dışarıda kaldıkları yerde (toplum dairesini kesmedikleri yerde) otonomlar. Mesela Matematiğin kendi içinde bir kültürü ve kuralları var* demiştir. Bir Bilgisayar Mühendisi ise Toplumun belirtilen alanların hepsini içinde barındırdığını ancak özellikle Mühendisliğin Toplumla doğrudan temas halinde olduğunu, Fen ve Matematiğin Toplumla dolaylı ilişkileri olan yerlerin olabildiğini ifade etmiştir. Bir Makine Mühendisi ise modelinde Mühendislik ve Teknolojiyi Toplum ile ilişkilendirmiştir. Toplumun Mühendislik ve Teknolojiden ürün olarak yararlandığını, Fen ve Matematikten ise eğitim amaçlı olarak yararlandığını ifade etmiştir. Bir Elektrik-elektronik Mühendisi ise üretilen bütün ürünlerin toplumdaki problemleri çözmeye yönelik olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca Mühendislerin Teknolojiler ile ilgili toplumdan gelen geri beslemeler ile çalıştığını da söylemiştir. Bir İnşaat Mühendisi ise Mühendisliğin toplum hayatında teknolojiler üzerinden yer edindiğini, uçakta, otobüste, yapılarda ve evdeki cihazlarda Mühendisliğin olduğunu ifade etmiştir. Bir Fizikçi ise Türkiye’de toplumun Fen ve Teknolojiden kopuk olduğunu, bu ilişkiyi kurmaya yönelik çabaların olduğunu ama bunun yeterli olmadığını ifade etmiştir. Ayrıca Türkiye’deki medya ile ilgili olarak medyanın bilim haberlerini sınırlı oranda verdiğini ve verilen haberlerde de bazı bilimsel hataların olabildiğini ifade etmiştir. Bir Kimyager ise bütün alanlardaki bilgi birikiminin özellikle toplum için olduğunu ve toplumdaki bilginin gelişimine katkıda bulunduğunu ifade etmiştir. Bir diğer Kimyager ise toplumun alanlar arasındaki ilişkileri beslemesi gerektiğini ancak Türkiye’de bu durumun günümüzde olmasının mümkün olmadığını ifade etmiştir. Özellikle toplumun ekonomi ve güvenlik ile ilgili problemlerle uğraştığını ve genel eğitim ortalamasının ve kadınların eğitim oranının görece düşük olduğunu ifade etmiştir. Kendisi *toplum kitap okumazsa bunları idrak edecek düzeye gelemeyebilir. Toplum sorgulamalı. Mesela öğrencileri sürekli sorsunlar diye cesaretlendiriyorum. Kendi kendine çalışma yapma durumlarını yaratmaya çalışıyorum* demiştir. Ayrıca bilimin inter-disipliner bir doğaya sahip olduğunu, seminer ve kongreler gibi çalışmalarla alanların birbirinden öğrendiklerini ifade etmiştir. Ancak Türkiye’de farklı bölümlerdeki bilim insanları arasında bu tip çalışmaların sınırlı oranda yapıldığını ifade etmiştir. Bir Biyolog ise Türkiye’de bir bilgi kirliliği olduğunu ifade etmiştir. Özellikle herhangi bir bilimsel gelişmenin ya da sağlık ile ilgili bir sorunun

takip edebileceği herhangi bir yerin olmadığını ifade etmiştir. Kendisi Amerika'da NIH (National Institute of Health) var. İnsanlar bu kurumun web sitesine girerek hastalıkların nedenlerini, tedavi yöntemlerini ve sonuçlarını görebiliyorlar demiştir. Bir Matematikçi ise toplumda eğitim açısından temel bilimlerin ön plana çıkması gerektiğini ve sadece Mühendislik ürünlerine odaklanıldığı zaman belli bir süre ürün üretileceğini ancak bir süre sonra bu üretimin duracağını ifade etmiştir. Öte yandan Mühendisliğin topluma göre şekillendiğini Fen ve Matematikteki gelişimin ise bazı durumlarda uzun süre sonra topluma yansıdığını ifade etmiştir. Bir diğer Matematikçi ise toplum hareketlerinin belirtilen alanlar arasındaki ilişkiler doğrultusunda yönlendirildiğini ve şekillendiğini ifade etmiştir.

12 bilim insanının alanlar arasındaki ilişkileri gösterdikleri örneklerle bakıldığında bir Bilim Felsefecisinin **bilimde ettiği** örnek olarak verdiği gözlenmiştir. Burada özellikle Fen, Matematik, Teknoloji ve Mühendisliğin birer topluluk olarak geniş toplumun birer parçası oldukları ve genel toplumun etik unsurlarından bu topluluklardaki etik yapıların etkilendiğini ifade etmiştir. Kendisi *bilim insanı topluluğunda ilerleme esas olduğu için bazı zalim deneyler iyi çalışmalar olarak düşünülebilirken bunlar genel toplumda karşılık bulmadığı için kısıtlanabiliyor* demiştir. Bir Bilgisayar Mühendisi ise **internet teknolojisini** örnek olarak vermiştir. Bu teknolojiye özellikle sosyal ağlarda algoritmalar üzerinden çalışıldığını ve bu algoritmaların şekillenmesinde Matematik, Fizik, Bilgisayar Mühendisliği ve Elektrik Mühendisliğinin beraber çalıştığını ifade etmiştir. Kendisi mesela *Matematiksel modellerle kullanıcılara reklam öneriliyor veya yeni bir ürün öneriliyor. Arkadaş öneriliyor. Bunlar hep Matematiksel modellerle yapılıyor. Mühendislik var. Zaten o çok açık bir şekilde. Fen nerede dersiniz bunun, Fen de Elektrik Mühendisliği var işin içinde. Elektrik Mühendisliği zaten Fiziğin türevidir* demiştir. Bir Makine Mühendisi örnek olarak **otomobili** vermiştir. Otomobili oluşturmak için Fen ve Matematiğin gerekli olduğunu ama onu geliştirebilmek için teknolojinin işe girmesi gerektiğini ifade etmiştir. Kendisi *daha iyi bir araba olması yönünde yapılacak araştırma çalışmaları, Teknoloji oluyor biraz. Yani Mühendisliğin temel bilimleri ve Matematiği o ikisini eşit görüyorum. Ama bunu daha faydalı, daha iyi bir ürüne dönüştürme sürecinde Teknoloji ile birleştiriyoruz* demiştir. Bir İnşaat Mühendisi de **otomobili** örnek olarak vermiştir. Özellikle Teknolojinin diğer alanlarla nasıl çalıştığını ifade etmek açısından detaylı bir açıklama yapmıştır. Kendisi *otomobil yapmak için önce Fizik bilmek lazım. Yani kuvvet nedir?, tork nedir? ... Bunların hepsi fiziğin temeli. Teker çevirecek elektrik, işte doğru akım ... Matematik zaten her zaman var. İvmesi, hızı. Onlar hep Matematiktir yani. Yolun zamana bölümü hız. Hızın zamana*

*bölümü ivme diye. Bunlar arabanın içinde var. Ama bu bilgileri getirip Mühendislikte kullanarak araca çevirmek için Malzeme Mühendisliği, Makine Mühendisliği motoru yapar. Elektrik Mühendisi elektrik donanımı yapar. Teknoloji de burada var. Bunu tasarlar. Ama orada bu teknisyeni, Teknoloji bilgisi olanlar uygulatır. Ustabaşları, işçiler uygular. Mühendislik de bunların hepsini yapmaz. Mühendis söyler. Ama oradaki işçilerin başında duran Teknoloji bilgisi olanlardır. Sonra bunu halk alır kullanır demiştir. Bir Elektrik-elektronik Mühendisi örnek olarak **kamerayı** vermiştir. Kendisi toplum açısından kameranın hayatı kolaylaştırdığını ifade etmiştir. Bu teknolojik ürünü Mühendislerin yaptığını ancak burada kullanılan know how bilgisinin ise Fen ve Matematikten geldiğini ifade etmiştir. Kendisi *siz içinde bir tane hafıza kullanıyorsunuz ya da optik kullanıyorsunuz. Bunların hepsi optiğin içinde. Lenslerin tasarımında Kimya da var Fizik te. Bu lensin tasarımında Matematik te kullanılıyor. İşte bu focal lengthten bahsediyoruz ya da odak uzaklığından. Bunların hepsinin altında bir Matematiksel temel var.* demiştir. Bir Fizikçi ise **cep telefonlarını** örnek olarak göstermiştir. Bu aletlerin birer Mühendislik ve Teknoloji harikası olduklarını, devrelerin Fizikçiler ve Matematikçilerden gelen bilgilerle geliştirildiğini ve sonrasında Mühendislik ve Teknoloji uygulamaları ile son hallerini aldıklarını ifade etmiştir. Bir Kimyager ise **televizyonu** örnek olarak vermiştir. Burada Matematik ve temel bilimlerin beraber çalışarak Mühendislik için temel oluşturduğunu ve Mühendislerin Teknologlarla beraber bu cihazı geliştirdiklerini ifade etmiştir. Bir diğer Kimyager ise **evrim kuramını** örnek olarak göstermiştir. Bu kuramın Fen ve hatta Sosyal bilimlerin bile yadsımadığı bir kuram olduğunu ancak toplumda dini yaklaşımlardan dolayı kabul görmeyebileceğini ifade etmiştir. Kendisi bu noktada *evrim kuramı olmadan AIDS hastalığını tedavi edemeyiz. Virüs sürekli değişime uğruyor. İlaçlara karşı sürekli dirençli hale geliyor. Evrimsel kurama göre biz şöyle tedavi yöntemleri kullanıyoruz. Bir süre bazı ilaçlar kullanılıyor. Ama bir süre sonra ilaç bırakılıyor. Bu şekilde seçim engelleniyor* demiştir. Bir Matematikçi ise ilişkileri gösterecek bir örneği vermenin zor olacağını ancak **toplumsal ilerlemede** ilişkilerin önemli olduğunu ifade etmiştir. Kendisi *özellikle toplumun böyle bir üretim ve gelişim hızına ulaşabilmesi için iyi donatılmış bireylere ihtiyacı var, özellikle eğitim kısmında temel bilimler ve Matematik öncü rol oynuyor. Temel eğitimlerini aldıktan sonra özelleşme döneminde bu tabii ki üniversitelerde olacak Teknoloji eğitimi ön plana çıkabilir* demiştir. Bir diğer Matematikçi ise **Domuz Griibi vakasını** örnek olarak vermiştir. Burada salgın bir hastalığın ilerlemesi ile ilgili olarak tahmin odaklı bazı Matematiksel modellerin yapıldığını, Fencilerin hastalığın kaynaklarını araştırdıklarını ve Mühendislerin ise ilaç ve aşı süreçlerinde çalıştıklarını ifade etmiştir. Ancak*

bütün modellerde yüksek sayıda insan ölmesi beklenirken böyle bir durumun olmadığını ve burada ekonomik kaygılarla bu çalışmaların yapıldığının anlaşıldığını ifade etmiştir.

3.3. İkililer arasında ortak yanlar, farklı yönler ve birbirlerinden yararlanma

3.3.1. Fen ve Matematik arası

Fen ve Matematik arasındaki **ortak yanlar** ile ilgili olarak bir Bilgisayar Mühendisi bu soru kendisine sorulmamasına rağmen **pattern bulma** ve buna bağlı soyut düşünmeyi ortak olarak düşünmüştür. Kendisi *Fen bir doğa olayını açıklamak için patternlere bakıyor. Matematik de onu açıklayacak formülleri yazmak için o da patternlere bakabiliyor veya Fendeki bulguyu Matematiksel olarak açıklayabiliyorsunuz. İkisinde de bir soyutlama ve bir pattern, tam Türkçesini bulamadım, dizi, dizgi, desen, bir seri tanıma. Tekrarlayan bir şeyi bulma gibi demiştir.* Benzer şekilde bir Makine Mühendisi hem Fen hem de Matematikte **bilginin organize edildiğini** ve düzenli bir hale getirildiğini ifade etmiştir. Kendisi *Fen mevcut bilgi, fiziki bilgi, yaşadığımız dünya ile ilgili fiziki bilgi. Matematik ise düşünme şekli. Her ikisi de bilgiyi organize etme şekli. Bir şeyi sadece bilmek yeterli değil. Evde mesela sadece eşyaların olması yeterli değil. Bunların belirli bir şeye göre dizili olması gerek. Halıyı yere koyacaksınız, buzdolabını mutfuğa koyacaksınız ... Yani Fen ve Matematik farklı bilgileri size organize ediyor ve size tamamen bir sonuç çıkarmanızı sağlıyor* demiştir. Ayrıca Matematiğin Fendeki bilgileri formüleleştirerek tahmin yapmayı sağladığını da ifadelerine eklemiştir. Bir Fizikçi ise hem Fen hem de Matematiğin doğaya bakarak çözümü olmayan **problemleri çözme** amacıyla ortak olarak yola çıktıklarını ifade etmiştir. Bir Matematikçi ise her iki alanda da problem çözümede bilimsel düşünmeye dair unsurların ön plana çıktığını ifade etmiştir. Kendisi *ister Teknoloji problemi olsun ister Fizik problemi olsun, bireyin burada soruya nasıl yaklaştığı ve nasıl düşündüğü çok önemli. Eğitim bu konuda bir şeyler vermek durumunda; birey önce soruyu anlamak, onunla ilgili olabilecek olamayacak yan etkiler ... bunları araştırması gerekir. Bunu Matematikçi de Fizikçi de yapmak zorunda. Bu anlamda düşünme şekli bence farklı değil. Çalışma yöntemi farklı.* Bir Kimyager ise hem Matematik hem de Fende ileriye dönük **tahminler yapıldığını** ifade etmiştir. Ayrıca Matematik ile daha zengin ve daha soyut düşünülebileceğini, matematiğin reel olmayan yapıları anlayabildiğini ve Fende kavramsal olarak netleştirilemeyen olguları netleştirdiğini, modellediğini ve formüle ettiğini ifade etmiştir. Bir Matematikçi ise bilimsel düşünmenin Matematiksel düşünmeden önemli bir farkı olmadığını ve her

iki alanda da **teorilerin yarıştığını** ifade etmiştir. Kendisi *Fende mesela çok yüksek hızlarla gidersek ya da çok hassas ölçümler yaparsak klasik mekanikten vazgeçmek lazım. Örneğin belli bir hız için klasik teori yeterli olabilir. Hızın düşük olduğu yerlerde neyle yapılırsa yapılsın sonuç aynı çıkıyor. Ancak bunun dışında olan haller var. Günlük mekanikten gelen Newton mekaniğinin yapısı düşük hızlarda geçerli ama yüksek hızlarda rölativistik faktörleri ekleyince daha iyi çalıştığı gözleniyor. Ama bu Newton mekaniğini öldürmüyor, bunun teknolojide ve günlük hayatta tuttuğu yerler var. Bu eldeki teorinin her şeyi açıklamadığı ve eski teoriyi kaldırmadığımızı ve bu teorinin bazı özel hallerinde hala eski teorinin açıklayabildiğini gösteriyor. Eskinin daha ince bir versiyonunu, daha geniş bir spektrum için getiriyoruz. Matematikte de bu var. Mesela yıllarca insanlar Euclid'in paralellik aksiyomunu ispat etmeye çalıştılar. Bu aksiyom düzenli gözleme dayanan bir aksiyom. Elinizde bir doğru varsa ve bunun dışında bir nokta varsa buradan ancak ve mutlaka bir tane paralel çizebilirsiniz. Bunu Euclid'in diğer aksiyomları ile ispatlamaya çalışıyorlar. Ama sonrasında bunun birçok şeyinin geçerli olduğu ama bu özelliğin geçerli olmadığı bir geometri yazamaz mıyız? diyorlar. Böylece Euclidian olmayan geometri çıkıyor. Örneğin doğrunun tanımı değişiyor. Bunlar iki bin yıllık kabul gören aksiyomların yapısını değiştiriyor. Geometri yazmak için sadece Euclid olmadığını ve farklı türler olabileceğini ve daha kompleks hesaplar yapılabileceğini görüyorsunuz demıştır.*

Matematikçilerin kendi alanlarında matematiği üretme şekilleriyle Fencilerin kendi alanlarında Matematikten yararlanma şekilleri arasındaki **farklar** sorulmuş olsa da bilim insanlarının daha çok bu iki alanın **birbirlerinden yararlanmaları** üzerine cevaplar verdiği gözlenmiştir. Örneğin bir Fizikçi aslında ciddi farklar olmadığını ancak Matematikçilerin **her adımlarının doğru olmasına** özen gösterdiklerini Fencilerin ise daha çok çalışarak o adımların neden doğru olduğunu anlamaya çalıştıklarını ifade etmiştir. Bir Kimyager ise Matematikçilerin Fencilerin doğayı anlaması için yöntemler üretebildiklerini, Matematikçilerin ise **uygulama odaklı düşünmediklerini** ve ürettikleri bazı bilgilerin, sonrasında Fen alanında işe yarayabileceğini ifade etmiştir. Bir Biyolog ise Matematiğin bir dil ve araç olduğunu ve çeşitli araştırmalarda kendilerine yardım ettiğini ifade etmiştir. Ancak biyolojide **yaşam ile ilgili soruları** cevaplamanın biyologların amacı olduğunu ama Matematikte böyle bir amacın söz konusu olmadığını ifade etmiştir. Bir Matematikçi ise yüz yıl öncesinde sorulan temel alanlar arasında bulanıklıklar olduğunu, örneğin Euler'in hem Matematikçi, hem Astronom hem Felsefeci hem de Mühendis olduğunu, Newton'un Mühendislik üzerine işler yaptığını ifade etmiştir. Ancak özellikle Teorik

Fizik ile Matematik arasında ciddi bir alışveriş olduğunu, Fizikçilerin üretimlerinden Matematiğin zuhur ettiğini, Fizikçilerin ise Matematiksel ifadelerden yoğun olarak yararlandıklarını ifade etmiştir. Bir diğer Matematikçi ise örneğin Fizikçilerin Matematiği araç olarak kullandıklarını ama özellikle son zamanlarda Matematikçilerle beraber çalışmaya başladıklarını ifade etmiştir. Kendisi Fencilerin özellikle bulduklarını Matematiksel bir modele oturtturduklarında mutlu olduklarını ve bu kapsamda hazır Matematiksel model ve formüllerden yararlandıklarını ifade etmiştir. Bunun özellikle hazırcı bir yapı olduğunu ancak bazı Fizikçilerin Matematiğe ciddi bir katkısının olduğunu söylemiştir.

3.3.2. Fen ve Mühendislik arası

Fen ve Mühendislik arasındaki **ortak yanlar** ile ilgili olarak bir Makine Mühendisi **analitik düşünmeyi** önermiştir. Kendisi *her iki alanda da somut yargılardan yola çıkarak soyut sonuçlara ulaşmak* olarak analitik düşünmeyi tanımlamıştır. Bir diğer Makine Mühendisi ise ortak düşünme yolları olarak **deneysellik ve Matematiksel modellemeyi** önermiştir. Bir Elektrik-elektronik Mühendisi ise analitik düşünme, **problem çözme** ve **grupla çalışmayı** ortak yollar olarak göstermiştir. Analitik düşünmeyi problem çözme ile harmanladığı açıklamasında *Problemi ortaya koyacaksınız. Tanımlayacaksınız. Daha sonra çözüme gidecek stepleri belirleyeceksiniz. Hipoteziniz olacak vs. sonra şu ara stepleri gerçekleştireceksiniz. Deneyler yapacaksınız ya da tasarım yapacaksınız. Sonra da sonucu doğrulayacaksınız. Problem çözebilme kapasitesi ve analitik düşünme ... bence bütün hepsinde var* demiştir. Grup halinde çalışma ile ilgili olarak, bireysel çalışmalar sonrasındaki ürünlerin hem Fende hem de Mühendislikte diğer çalışmalarla kıyaslandığını, herkesin her konuda uzman olamayacağını ve bu sayede de ortak çözümler geliştirildiğini ifade etmiştir. Bir Bilgisayar Mühendisi de Fen ve Mühendislikte ortak düşünme yolu olarak problem çözmeyi önermiştir. Kendisi *Fen ve Mühendislik doğayı anlama çabası olduğu için doğada bilinmeyen soruları cevaplamaya yönelik çalışmalar yapılır. Bir olgunun sebebi araştırılır. Bu bir problem çözme becerisi gerektirir. Mühendislik te gerçek hayattaki bir problemi çözmeye dayalı bir çalışmadır* demiştir. Bir Fizikçi ise Fen ve Mühendislik gibi ayrımların artık Massachusetts Institute of Technology (MIT) gibi üniversitelerde ortadan kalkmaya başladığını ve özellikle interdisipliner çalışmaların ortaya çıktığını ifade etmiştir. Bu noktada eğitiminin de farklılaşması gerektiğini vurgulamıştır. Kendisi *bir çocuk Fen ve Mühendislikten mezun olabilmeli, istediği bölümden istediği dersi alarak ... çocuklara hiçbir zaman ne olmak istediklerini sormam, bu yanlış bir soru. Ne yapmak istiyorsun? Çocuğun biri ben duyma cihazı yapmak istiyorum*

dedi, annesi az duyuyor, ne okuman lazım bunun için dedim, şunu düşündü: Biyoloji bilmem lazım, cihaz yapmak için makine, biraz da elektronik dedi. İşte tamam dedim, senin üniversiteye gidip bu üç dalda ders alman lazım. Yani insanları üniversiteye biz ne okumak istediğine dair kabul ediyoruz ne yapmak istediğine dair değil, MIT ile aramızdaki fark bu demıştır. Bir Kimyager hem Fen hem de Mühendisliğin **toplum için çalıştığını**, insanların yaşamını kolaylaştıracak bilgi, bulgu ve sonuçlar ürettiklerini ifade etmiştir. Bir Biyolog ise hipotetik düşünme ve test etmenin her iki alan için ortak olabileceğini ifade etmiştir. Bir BÖTE uzmanı ise Fen alanı bilim insanlarının da uygulamalı alana kaydığını ve bu uygulama alanının Mühendislikle ortak olabileceğini ifade etmiştir.

Fen alanındaki bilim insanlarının Mühendislikten kendi alanlarında **nasıl yararlandıkları** ile ilgili olarak bir İnşaat Mühendisi aslında Fen ve Matematikçilerin Mühendislerin pratiğe uyguladıklarından esinlendiklerini ancak yine de kendi alanları çerçevesinde Mühendislikten yararlanmadıklarını ifade etmiştir. Kendisi *O temel bilimcinin doğruya gitmesi, onun iyi bir temel bilimci olmasıdır. Mühendislikten etkilenmemesi daha doğrudur. Mühendisi dinler, eleştirir, bildiğini yapar* demıştır. Bir İnşaat Mühendisi Fencilerin kendi alanlarında Mühendislik ürünü bazı cihazları **bir araç** olarak kullandıklarını ifade etmiştir. Benzer şekilde bir Makine Mühendisi de Fencilerin Mühendislerin geliştirdiği teknolojilerden kendi alanlarında yararlandıklarını hatta bazı bilim insanlarının Mühendislik faaliyeti yaparak kendi alanları için cihazlar ürettiklerini ifade etmiştir. Bir diğer Makine Mühendisi ise Fen ile Mühendislik arasında karşılıklı bir ilişki olduğunu ifade ettikten sonra Fencilerin hızlandırıcı örneğinde olduğu gibi Mühendislerden kendi çalışmaları için cihazlar dizayn etmelerini istediklerini söylemiştir. Bir Bilgisayar Mühendisi ise Fen alanında yoğun olarak veri biriktiğini ve özellikle Bilgisayar Mühendislerinin bu veriyi Matematiksel yöntemlerle **modelleyerek** işlediklerini belirtmiştir. Kendisi *Biyoloji işte veya Fizik bilimi, Astronomi vs. Kimyada da aynı şekilde. Şimdi buralarda çok veri birikiyor. Mesela Biyolojide bir gen haritası ... o kadar çok bilgi var ki. Bunun çözümüne insan enerjisi yetmiyor. Ama Matematiksel modellerle Bilgisayar Mühendisliği bütün buradaki gerçek hayat problemlerini, doğa ile ilgili olan hayat problemlerini hızlı inceleyebildiği, analiz edebildiği için çözümler bulabiliyor* demıştır. Bir Bilim Felsefecisi ise günümüzde teknolojilerin Fen alanı araştırmalarını belirlediğini hatta bu teknolojiler olmadan bilimsel araştırma yapmanın imkansızlaştığını ifade etmiştir. Bu noktada CERN'deki Mühendislik ürünü teknolojilerin Fizik ile ilgili çalışmalarda kullanılmasını örnek olarak vermiştir. Bir Fizikçi ise Mühendislik ürünü bilgisayarları kendi Fizik çalışmalarında kullandıklarını,

özellikle Hızlandırıcı Fiziği, Parçacık Fiziği ve Dedektör Fiziği çalışanlarda ciddi oranda Mühendislikten yararlandığını ifade etmiştir. Bir diğer Fizikçi ise Fenci ve Mühendis ayrımının uygun olmadığını önemli olanın **bilim insanı sıfatı** olduğunu ifade etmiştir. Bu noktada *Mühendis olsa da bilim insanıdır, temel bilimci olsa da bilim insanıdır. İnsan araştırmasının gerektiği her işi yapar. Ben şimdi bilgisayar programı da yazıyorum, elektronik işleri de yapıyorum. Ben Mühendis değilim deyip bırakayım mı?* demiştir. Bir Kimyager Fen bilimlerinde Mühendislerin geliştirdiği cihazları kullandıklarını ifade etmiştir. Osiloskop labında, canlılar veya optik ile ilgili bir deneyde Mühendislik ürünlerinden yararlandıklarını ifade etmiştir. Bir Kimyager ise İleri Teknoloji cihazları kullandığını, Bilgisayar Mühendislerinin özellikle ellerindeki yoğun veriyi process etmede yardım ettiklerini ifade etmiştir. Bir Biyolog ise elektron mikroskobu örneğini vererek biyolojik çalışmaların çoğunda veri toplarken teknolojiden yararlandıklarını ifade etmiştir. Bir diğer Biyolog ta Fencilerin Mühendislik ürünü olan teknolojilerden yararlandıklarını ifade etmiştir. Ancak buna ek olarak bazı Biyologların da belli teknikler ve teknolojiler geliştirdiğini DNA örneği üzerinde açıklamıştır. Bir BÖTE uzmanı ise Fen alanlarının Mühendisliğe son zamanlarda yaklaştığını, beraber çalıştıklarını ve ürün ürettiklerini ifade etmiştir. Kendisi *Fen alanındaki bilim insanları cihaz, alet olarak Mühendislikten yararlanıyorlar. Ayrıca Mühendisler yapılanlardan nasıl yararlanabilirler gibi bir kaygı da bazılarında olabilir. Buna göre son zamanda teknoloji geliştirmek araştırma sorularını şekillendiriyor olabilir* demiştir.

Mühendislerin kendi alanlarında Fen bilimlerinden nasıl **yararlandıkları** ile ilgili olarak bir İnşaat Mühendisi Mühendislerin Fenden yararlanmak zorunda olduğunu eğer yaralanmazlarsa yaptıkları işlerde etkili sonuçlar alamayacaklarını ifade etmiştir. Örneğin kendisi *Fiziği o kadar iyi bilmeniz lazım ki bir tanesini atlarsanız o uçak düşer ... Araba gitmez ...* demiştir. Benzer şekilde bir Makine Mühendisi ise Mühendislerin Fenden **bir araç** olarak yararlandıklarını ifade etmiştir. Kendisi *işte belirli bir yasa oluşturulmuş. Onunla ilgili bazı çalışmalar yapılmış, belirli denklemler bütünü oluşturulmuş Fende. Onları alıyoruz, Mühendislikte kendi yapacağımız ürünlerde kullanıyoruz* demiştir. Bir diğer Makine Mühendisi ise Mühendisliğin de aslında bir Fen bilimi olduğunu, fark olarak daha çok pratik problemleri çözmeye çalıştığını ifade etmiştir. Ayrıca Fenciler gibi yeni bir bilgi keşfetmediklerini de eklemiştir. Öte yandan Uygulamalı Fencilerin Fenciler ile Mühendisler arasında ara bir katmanı teşkil ettiklerini ve bu grubun Mühendislerin Fenden yararlanmalarında oldukça önemli olduğunu ifade etmiştir. Kendisi *bu arada aslında bir katman var. Yani*

direkt olarak Mühendisler ve Fenciler değil de bir de bu applied science dediğimiz insanlar var. Fen ile gerçek hayat arasında ilişkiyi kuran bir tercüman gibi ... iki tarafla da haberleşen, iki taraftan da biraz anlayan bilim insanları var demiştir. Bir diğer Makine Mühendisi de benzer şekilde Fencilerin yeni buluşları ile Mühendisliğin ilerlediğini ve örneğin yeni Fizik kanunlarının yeni Mühendislik alanları demek olduğunu söylemiştir. Bir Bilgisayar Mühendisi ise örneğin Bilgisayar Mühendislerinin Fizikten, Kimyadan ve Malzeme biliminden yoğun olarak yararlandığını, bunlardan gelen materyal ve bilgileri kullandıklarını söylemiştir. Bir Bilim Felsefecisi ise deprem gibi bazı toplumsal problemlerin çözümünde Fen bilimciler ile Mühendislerin **beraber** çalıştıklarını ifade etmiştir. Bir Fizikçi ise özellikle Türkiye’de Mühendislerin kendilerini Fencilere göre daha üstün gördüklerini, dolayısıyla Fen bilimlerinden kopuk olduklarını ifade etmiştir. Bir Kimyager ise Mühendislerin bilim insanlarının bilgi ve tecrübelerinden yararlandıklarını ve geliştirdikleri ürünlerde Fencilikle beraber çalıştıklarını ifade etmiştir. Örnek olarak *sensör konusunda çalışıyorsa bir dizayn yapıyor, oraya koyacağı kimyasalı benimle çalışmak zorunda ... ya kimyacı işe alacak ya da benimle ya da kimya labında çalışan biriyle, her halükarda temel bilimciyi işin içine sokmak zorunda* demiştir. Bir diğer Kimyager ise Mühendislerin yaratıcı ürünler geliştirmek istiyorlarsa muhakkak bilimsel yardım aldıklarını ve güçlü bilim insanları ile temas halinde olduklarını ifade etmiştir. Bu durumu insan genomunun sekanslanması örneği ile açıklamıştır. Bir Biyolog ise Biyomedikal Mühendisliği örneğinde genetik ile ilgili temel bilgileri bu alanda çalışan doktora öğrencileri ile paylaştığını ve dışarıdan bir göz ile onların pratiksel problemlerine yorumlar yaptığında başka bir bakış açısı ile ufuklarının geliştiğini ifade etmiştir. Bir BÖTE uzmanı ise Fen bilimlerinden yararlanmadan Mühendislik yapılamayacağını ifade etmiştir. Kendisi *doğada bir olay var. Fencilerin ortaya çıkardığı bu olayı Mühendisler kullanıyor. Mesela Fizik alanında Nobel alan çalışmada belli bir let ışığını üretemiyorduk. Ama Fizikçilerin yaptığı çalışma sayesinde bunun üstesinden geldiler. Sonrasında da Mühendisler bunu alıp plazma ekranlar gibi ürünleri hayata geçirdiler. Yani Fen alanındaki bilinmeyen çözümleri sonucunda hayatımıza uygulamaları yansıdı* demiştir.

Mühendislerin kendi alanlarında Fen bilimlerinden yararlanma şekilleri ile Fencilerin kendi alanlarında bilim üretme şekilleri arasında **farklılık** açısından bir İnşaat Mühendisi her iki grubun da deneyler yaptığını ancak Mühendislerin deneylerinde **hataların** Fene göre çalışmanın ayrılmaz bir parçası olduğunu ifade etmiştir. Kendisi *bizim deneylerimizde hata vardır. Hem sayısal deneylerde hem de fiziksel deneylerde vardır. Ama analitik bilimsel deneylerde hata yoktur ... Mühendisler uygulama için*

deneyler yapabilirler. Daha çok deney yaparlar. Yaptıkları deneylerde hatalar olur. Hataların da ne kadar olduğunu bilir ama o deneyi yapar. Sonra sonucunu alır, hatayı düşünür ve uygular demiştir. Bir Makine Mühendisi ise temel bilimlerde topluma yönelik kullanılabilir bir ürün geliştirme gibi bir kaygının olmadığını ifade etmiştir. Ancak Uygulamalı Fizik ve Uygulamalı Kimya gibi alanlarda pratiğe yönelik çalışmalar yapıldığını vurgulamıştır. Bir Makine Mühendisi ise Fencilerin Fen üretirlerken ürettikleri bilginin ne işe yarayacağını ya da **ürüne dönüşüp dönüşmeme potansiyelini** düşünmediklerini ancak Mühendislerin muhakkak insanlara faydalı ürünler üretmeyi temel olarak çalıştıklarını ifade etmiştir. Bu durumu penisilin ve elektromanyetik dalgaların keşfi örneklerinde açıklamıştır. Bir Bilgisayar Mühendisi ise Mühendislerin deneyleri, yaptıkları işlerin ve modellerin **doğruluğunu onaylamada**, Fencilerin ise deneyleri doğruya varmada ve anlamada kullandıklarını ifade etmiştir. Bir Bilim Felsefecisi ise Mühendislerin daha çok Fen alanının ürünlerinden ve sonuçlarından faydalandıklarını ancak Fen bilimlerinde ise Mühendislikten yararlanılsa da asıl amacın yeni düşünceler üretmek olduğunu ifade etmiştir. Bir Fizikçi ise Türkiye’de Mühendislerin Fenden yeterince yararlanmadıklarını ve çok hızlı çözüme gideceklerini düşündüklerini söylemiştir. Ama realitede Fenciler olmadan ilerleyemediklerini söyleyen Mühendis arkadaşlarının da olduğunu ifade etmiştir. Benzer şekilde bir başka Fizikçi Türkiye’de Fencilerin desteği alınmadığı için yenilikçi teknolojilerin üretilmediğini ve Mühendislerin bazı durumlarda kendilerini üstün görebildiklerini ifade etmiştir. Kendisi (Mühendisler) temel bilim insanları ile çalışmıyorlar. Kendilerini üstün görüyorlar. Mesela Oxford ‘u konuşacaksan orada böyle bir şey yok. Biz orada elektronikçilerle de çalıştık. Bu titriler önemli değil. CERN de öyle. Biz bir iş yapıyoruz, karşıdaki insan Mühendis mi?, Teknisyen mi?, eğitimi ne? sorgulanmıyor. Yaptıkları işe bakılıyor demiştir. Bir Kimyager ise temel bilimcilerin sadece temel kavramlara ve olgulara odaklandığını, Mühendislerin ise bunların uygulamaları üzerine çalıştıklarını ifade etmiştir. Bir diğer Kimyager ise bilim insanlarının bilinmeyenleri aradıklarını, önemli buluşların özellikle merak ve soru sorma ile elde edildiğini ifade etmiştir. Mühendislerin ise Fendeki tahminler yerine **daha somut** verilerle çalıştıklarını ifade etmiştir. Örneğin yeni bir çip üretme konusunda Mühendislerle olan işbirliği sırasında, kendilerinin (Kimyager) bilinmeyen bir şeyi keşfetme yönünde ilerlerken, Mühendislerin bilinmezlik durumunda çalışmanın olamayacağı yönünde bir doğaya sahip olduklarını söylemiştir. Kendisi ortak bir proje hakkında (biz Kimyagerler) bilseydik zaten yapmazdık (dedik). Mühendisler ise onu bilebilmek için modellememiz gerekir ama modellenecek bir şey yok dediklerini ifade etmiştir. Bir Biyolog

ise Mühendislerin yüzeysel bir şekilde Fen bilimlerinden yararlandıklarını, özellikle çok ince detaylarda Fen bilimcilerin ilerlemeler kaydettiklerini ve bu noktalarda Mühendislerin Fen bilimcilerden yararlanmaları gerektiğini ifade etmiştir. Bir BÖTE uzmanı hem Fende hem de Mühendislikte bilim üzerinde çalışıldığı için ve bunun temelini **merak** olmasından dolayı arada ciddi farklar olmadığını ifade etmiştir. Kendisi *Fen bilimci doğada ne var ne yok onu araştırıyor, Mühendiste ise benzer şekilde temel itici güç merak. Ben doğada bu oluyor da ben bundan nasıl faydalanırım, bu problemi nasıl çözerim, nasıl bir ürün oluştururum. Temel amaç her ikisinde de bu merakı tatmin etmek, ortadan kaldırmak, kafasındaki soruları cevaplayabilme* demiştir. Ayrıca geçmişte ciddi ayrımlar söz konusu iken bugün bunun azaldığını ve Fencilerin örneğin hayat problemlerine yönelik çalıştığını ifade etmiştir. Ama bir fark olarak çıkış noktaları (Fende doğayı anlamak, Mühendislikte ürün üretmek) olabileceğini ifade etmiştir.

3.3.3. Matematik ve Mühendislik arası

Matematik ve Mühendislik arası **ortak yanlar** ile ilgili olarak bir Makine Mühendisi **analitik düşünmeyi** ortak bir düşünme yolu olarak göstermiştir. Burada özellikle Matematiğin soyut ve teorik olan kısmı değil, somut ve belirgin noktalar olan bölümlerinde ortak hareket edildiğini ifade etmiştir. Bir diğer Makine Mühendisi ise hem Matematiğin hem de Mühendisliğin matematiksel araçları kullandığını ve bu araçların arkasındaki kuramsal durumların ortak olduğunu ifade etmiştir. Bir Bilgisayar Mühendisi ortak yan olarak **modellemeyi** önermiştir. Her ikisinde de bir problemin çözümü için önce soyutlandığını sonrasında ise modellendiğini ifade etmiştir. Bir BÖTE uzmanı ise öncelikle Pür ve Uygulamalı Matematik ayrımını yapmanın faydalı olacağını ifade etmiştir. Pür Matematikçiler için yapılanların ne işe yarayacağını çok önemli olmadığını söyleyerek MR cihazını örnek vermiştir. Kendisi *MR cihazlarının arkasında bazı matematiksel mekanizmalar var. Bu adamın o dönemde böyle bir cihaz gibi bir kaygısı yok. Bu adamın derdi aslında o Matematik problemini çözmek. İşte bunu Mühendisler ya da Uygulamalı Matematikçiler alıp kullanabiliyorlar* demiştir. Pür Matematikçilerin düşünme yolunun bir problemi çözmek, uygulamacıların ise daha çok uygulamak olduğu için özellikle ikinci grubun Mühendislerle ortak bir dil konuşabildiklerini ifade etmiştir. Bu noktada Kriptografi'yi örnek vermiştir. Kendisi *bunun arkasında yatan Matematik. Ama bunun uygulamalı tarafı var. Bir takım çözümlerin ve ürünlerin ortaya çıkması gerekiyor. Burada Mühendisler ve Bilgisayar bilimciler beraber çalışıyorlar* demiştir.

Mühendislerin kendi alanlarında Matematikten **yararlanmaları** ile ilgili olarak bir İnşaat Mühendisi ve bir Makine Mühendisi Mühendislerin Matematikten her alanda faydalandıklarını ve Matematikçilerin geliştirdikleri metotları kullandıklarını ifade etmiştir. Yine bir diğer Makine Mühendisi Matematikteki formülleri **modelleme ve çözüm** aşamalarında kullandıklarını ifade etmiştir. Kendisi (*Matematik*) *bizim için bir araç, amaç değil. Anlayabildiğimiz kadar kullanıyoruz. Modelleme ve çözüm aşamasında. Yani Matematikçiler kadar olaya hâkim değiliz ama ihtiyacımız kadarını öğrenmeye çalışıyoruz* demiştir. Bir Elektrik-elektronik Mühendisi ise girdi-tasarım-çıkıtı üçlüsü üzerinden Matematik kullanımını açıklamaya çalışmıştır. Örneğin *girdi var, sistem var, çıktıyı çözmemiz gerekiyor. Benim elimde işte kamera var. Kameranın özellikleri şu. Buraya kaydediyorsun. Nasıl kaydediyorsun? Nasıl bir görüntü elde edersin? Onu modelleyebilmemiz gerekiyor. O da işte Matematik* demiştir. Öte yandan Mühendisliğin Matematik olmadan olmayacağını ve öğrencilerin de Matematiğin uygulamalarını bu tip Mühendislik problemleri üzerinden görebileceğini ifade etmiştir. Kendisi *öğrencilerin de aslında bunları görmesi lazım. Matematiği öğreniyorlar. Ya ben bu geometriyi nerede kullanacağım? Ya da işte orada kareleri alıyorlar. İki bilinmeyenli fonksiyonlar çözüyorlar. Bunu nerede kullanacağım, yani ne gereksiz x'ler y'ler diyorlar ama bunun aslında Mühendislikte gerçek zaman tanımlı problemleri, gerçek hayattaki problemleri çözmek için nerelerde kullanıldığını görseler bu kadar uzakta durmazlar, severler konuları* demiştir. Ayrıca bu muhakemesini bir başka örnek üzerinde sürdürmüştür: *... mesela lisede denklem çözüyor ve denklemlerin aslında fiziksel olarak bir sürü alanda karşılığı var. O denklemin fiziksel bir olayı simgelediğini çoğu zaman bilmiyorlar. Sonuçta Matematik sürekli buna dayansın demiyorum ama böyle örnekler de verilebilir* demiştir. Bir diğer Makine Mühendisi ise Mühendisliğin hendese yani geometri kelimesinden geldiğini dolayısıyla Matematiği Mühendislerin yoğun olarak kullandıklarını ifade etmiştir. Kendisi *mesela diyelim ki Mühendis bir bina yapacak ... Bu binanın diyelim ki bir yerine kolon konulacak. O koyduğunuz kolon dayanacak mı dayanmayacak mı? Nereden bileceksiniz? Onun bir Matematik formülü var. O Matematik formülünü kullanıyorsunuz* demiştir. Bir Bilgisayar Mühendisi ise özellikle trigonometri ve vektörlerin internette veri oluşturulması ve paylaşılmasında çok önemli olduğunu ancak bu tip bir Matematiğin YGS/LYS gibi sınavlarda geçmediğini ifade etmiştir. Kendisi *internetten bilgi alımı mesela. İnternette siz bir kelime yazıyorsunuz. Onun sonucu geliyor, değil mi? ve sizin istediğiniz birinci veya ikinci sırada gelebiliyor. Bu hani çok kolay bir şey gibi görünüyor. Ama arkasında tamamen Matematik var ... Lineer cebirdeki vektörlere denk geliyor. Onların*

arasındaki açığa denk geliyor ... Matematiksel bir modelleme webteki sizin sorgunuzu şekillendiriyor. Orada hiç bir sihir yok. Tamamen Matematiksel. İki tane vektör arasındaki açı. Hep bunu YGS sorularında bilmem nelerde sorularında sorarlar ya, biz orada ona öyle Matematiksel pattern olarak öğreniriz. Bu açığı, cosinüsünü, bilmem nesini hesaplatıp dururlar. Buradaki cosinus açısı sizin oradaki dökümanları düzgün almanıza yarıyor demiştir. Bir Bilim Felsefecisi Mühendisliği Matematik olmadan yapmanın imkânsız olduğunu ve Matematiğin özellikle modellemede kullanıldığını ifade etmiştir. Bir Matematikçi ise özellikle mekanik analizde Mühendislerin yoğun olarak Matematikten yararlandıklarını ve genelde Matematiği temele oturtma gayretinde olduklarını ifade etmiştir. Bu noktada kendisi *hatta bu yüzden hocamız Cahit Arf biraz mekaniğe bulaşma ihtiyacını hissetmiştir. O günlerden sonra Mühendisler Cahit Arf'a saygı göstermişler* demiştir. Bir Matematikçi ise klasik anlamda bazı Mühendislerin hesaplamalardan istifade ettiklerini ancak bu Mühendisliğin ilerlemeci olmadığını ifade etmiştir. Özellikle AR-GE faaliyetleri için Mühendislerin Fen ve Matematikteki yenilikleri ve güncel bilgiyi takip etmelerinin öneminden bahsetmiştir. Bir BÖTE uzmanı ise Matematiğin Mühendisler için olmazsa olmaz olduğunu ancak Matematik kullanımının Mühendislik alanına göre artıp azalabileceğini ifade etmiştir. Kendisi *mesela Elektrik Mühendisliğinde orada kullanılan Matematik daha yüksek seviyede olmak zorunda, ama bir Gıda Mühendisliğinde daha az olmak durumunda* demiştir. Ayrıca Mühendislerin Uygulamalı Matematikçilerle yakın çalıştıklarını ve onların ürünlerini kullandıklarını ifade etmiştir. Bir Matematikçi ise Matematiğin büyük bir kısmının Mühendislerin ilgi alanında olmadığını ifade etmiştir.

Matematikçilerin kendi alanlarında Matematiği üretme şekilleri ile Mühendislerin kendi alanlarında Matematikten yararlanma şekilleri arasında herhangi bir **farklılık** olup olmadığına dair bir İnşaat Mühendisi Matematikçilerin yaptıkları çözümlerin doğru olmasına özen gösterdiklerini ve hatayı en aza indirecek şekilde çalıştıklarını söylemiştir. Mühendislerde ise Matematiği kullanırken belli oranda **hatayı** baştan kabul ettiklerini söylemiştir. Bu durumu kendi eğitiminden bir örnekle açıklamıştır: *Ben iki tane ders aldım, doktora yaparken. Sayısal modelleme diye. Birisini Mühendislik bilimlerinden diğerini ise Matematik bölümünden. Mühendislikten aldığımda virgülden sonra üç basamak bile yeter. Matematik bölümünden aldığımda ise 12 basamak, 24 basamağa kadar hatayı küçültmeye çalıştıklarını gördüm* demiştir. Bir Makine Mühendisi ise Matematikçilerin daha çok kağıt kalem üzerinden teorik olarak geliştirdiklerini; Mühendislerin ise bunları alarak uygulamalara yönelik bazı hesaplara ve ürünlere dönüştürdüklerini ifade etmiştir. Bir diğer Makine

Mühendisi ise Mühendisliğin daha **deneysel** olduğunu ve **ispat** ile ilgilenmediğini ifade etmiştir. Kendisi *bir model iyi ve kavramı açıklıyorsa, neden açıkladığını pek merak etmiyoruz biz. Matematikçiler daha titiz o konuda. Bir denklemin çözümünü buldukları zaman onunla yetinmiyorlar. Yok işte teknik çözümü falan gibi daha başka çözümler ne olabilir diye soruyorlar* demiştir. Başka bir Makine Mühendisi ise Matematğin tarihinde geliştirilen bazı formül ve düşünme şekillerinin ilerleyen zamanlarda Mühendislikte işe yarayabildiğini ifade etmiştir. Ayrıca Matematikçilerin örneğin üç bilinmeyenli denklemlerin nasıl çözülmesi ile ilgilenirken Mühendislerin bu çözümleri alarak ihtiyacı olan bilinmeyenleri formüllerde ilgili yerlere yazdıklarını, yani veri sağladıklarını ifade etmiştir. Bir Elektrik-elektronik Mühendisi ise açıklamasını farklılıklardan ziyade daha çok Matematğin Mühendisliğe nasıl yardım ettiği üzerine kurgulamıştır. Bu yardım için görüntü işleme örneğini kullanmıştır. Kendisi *o hareketin modellenmesi. Temelinde bir Matematik var. Bir polinomla modellememe lazım mesela. Kriptoloji. Bu çok önemli konulardan bir tanesi. Şifreleyerek göndereceğiniz. Onun temelinde Matematik yatıyor ve çok farklı alanlara o teoremler uygulanabilir* demiştir. Bir Bilim Felsefecisi ise Mühendislerin önceden geliştirilmiş olan Matematiksel modelleri kullandıklarını ancak Matematikçilerin bundan farklı olarak hem kendi soyut ürünlerini hem de düşünsel yapıları geliştirdiklerini ifade etmiştir. Ancak bir kesişim durumu olarak Mühendislerin kullandığı Matematiksel modellerin bazı Matematikçileri daha iyi modeller geliştirmek konusunda motive ettiğini de eklemiştir. Bir Matematikçi ise Mühendislik ile Matematik arasında bir alacakaranlık kuşağı olduğunu, sadece ve özellikle ‘engineering science’ denen gruptaki Mühendislerin Matematik bilgilerinin güçlü olduğunu ifade etmiştir. Bir diğer Matematikçi ise Matematikçilerin ürettikleri ürünlerin nerede kullanılacağına dair bir dürtü ile hareket etmediklerini, Mühendislerin ise köken aldığı kelime olan hendese ile uyumlu olacak şekilde Matematği iyi bilmelerinin gerekli olduğunu ifade etmiştir. Bir diğer Matematikçi ise Matematiksel düşüncenin mühendisler için katı gelebileceğini, Mühendislerin daha çok **pratik sonuç** çıkarma hedefinde olduklarını ifade etmiştir. Örneğin *Edison’un kurduğu ampül fabrikasında ampülün ambalajı yapılacaktı. Ampülün hacmi hesaplanmalı. Matematikçiler ampülün bir eğri olarak şekline bakıyorlar, döndürünce çıkan hacmi hesaplıyorlar. Edison getirin ampülü demiş, dibini kesin, içine su doldurun ve tartın demiş. Bu işte Mühendislik. Önemli olan sorunu çözmek* demiştir. Ayrıca Matematiksel hesaplamaların gerektirdiği cihaz ve sistemlerin aslında **günlük hayatta** bazı durumlarda **tutmadığını** ancak Mühendislerin yaklaşık hesaplarla bu cihaz ve sistemleri şekillendirdiklerini ifade etmiştir. Burada Mühendislerin yeni Matematik keşfetmediklerini aslında bu durumun

Matematiğin imalat noktasında çalışmamasından kaynaklandığını ifade etmiştir. Bu noktada Mühendisler ile Matematikçiler arasındaki düşünme şekli farkı olarak Mühendislerin günlük yaşamı dikkate almalarının önemli olduğunu ifade etmiştir.

3.4. STEM alanlarında etik

3.4.1. Fende etik

Bir Fizikçi Türkiye’de bilimsel etik konusunda bazı problemlerin olduğunu, özellikle intihal noktasında dikkat edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Bu tür problemlerin önlenmesi için üniversite eğitiminde hatta lisede dikkatli olunması gerektiğini vurgulamıştır. Kendisi *birinci sınıflara laboratuvar dersi veriyorum. Sürekli her şeye referans vereceksiniz, nereden aldığınızı söyleyecekseniz, çalamazsanız çırpamazsanız (diyorum) ... İnsanların orijinal düşünmesi lazım. Bunun liseden başlaması lazım. Lisede hoca bir ödev veriyor, gidiyor Wikipedia’dan yazıyor. Bu çok sakat. İnternet kopyalamak için var değil* demiştir. Bir Kimyager etiğin Fen bilimlerinde olmazsa olmaz olduğunu, özellikle baskılar ve hırslar sonucunda etik çizgilerin dışına çıkılmaması gerektiğini ve topluma zarar verebilecek davranışlardan sakınılması gerektiğini vurgulamıştır. Bir diğer Kimyager ise Fende etiğin çok önemli olduğunu ifade etmiş özellikle referans vermeden alıntı yapmanın tehlikeli olduğunu söylemiştir. Ayrıca kanıtların bir bilim insanı tarafından kolaylıkla oluşturulabileceğini ifade etmiştir. Kendisi bu durumla ilgili olarak *bu korkunç bir şey. Yapılmaması gereken bir şey. Bu toplumun kaynaklarının ziyan edilmesi anlamına bile gelebilir* demiştir. Bir Biyolog ise yayınlar ve bütün üretimlerinde etiğe dikkat edilmesi gerektiğini, bazı durumlarda yapılan çalışmaların muhtemel negatif sonuçlarının tahmin edilemeyeceğini ama tahmin edilebilir olanların önlenmesi gerektiğini ifade etmiştir.

3.4.2. Matematikte etik

Bir Bilim Felsefecisi Fen ve Mühendisliğe nazaran Matematiğin geniş toplum karşısında daha rahat olduğunu ve toplumsal etik sorunlarından daha az etkileneceğini ifade etmiştir. Kendisi *bir Matematikçi daha fazla Kaos Matematiği geliştirebilir. Toplumun sonu olur diye kaygısı da olmayabilir. Yani geniş toplum çok fazla Matematikçileri sıkmaz gibi geliyor bana* demiştir. Bir Matematikçi ise bütün ilmi ve insani faaliyetlerde etik unsurların önemli olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca Perelman örneğinde bazı Matematikçilerin yüksek ahlak kıstasları uyguladıklarını ifade etmiştir. Bu kişilerin Matematik alanında ödül veren kurumlarla irtibatını kestiklerini ve inzivaya çekildiklerini ve çok yüksek ahlaki kıstaslar oluşturduklarını ifade

etmiştir. Bir diğer Matematikçi de benzer şekilde etiğin genel bir insanlık değeri olduğunu ve sadece Matematik değil tüm insani faaliyetler için düşünülmesi gerektiğini ifade etmiştir. Ayrıca yayın yapma ile ilgili bazı temel etik değerlerin akademik yükselme ya da dış zorlamalar gibi nedenlerle ihlal edilmemesi gerektiğini söylemiştir. Kendisi *günümüzde intihal olayları artmaya başladı, intihalin de düzgün bir tanımı yok, neresinden baksanız dürüst olmamaktır. İnsanlar dürüst olmadıkları zaman, kendilerine saygılarını yitirdikleri zaman bilim insanı olarak veya teknoloji üreten bir insan olarak topluma ne kadar yarar sağlayabilirler* demiştir. Bir diğer Matematikçi ise etiğin profesyonel yaşamda intihal yapmamak gibi bir anlama geldiğini söylemiştir. Öte yandan toplumsal açıdan bakıldığında toplumda Mühendislikten farklı olarak doğrudan kullanılma yeri olmadığı için kötü bir Matematiğin ya da topluma zarar verecek bir Matematiğin olmadığını ifade etmiştir. Ancak Matematikçilerin Fenciler ve Mühendislerle beraber çalıştıkları, nükleer projelere özellikle Lineer Matematik çalışanlardan bazılarının itiraz ettiklerini ifade etmiştir.

3.4.3. Mühendislikte etik

Mühendislikte etik ile ilgili olarak bir İnşaat Mühendisi etiğin maksimum düzeyde olması gerektiğini ve bunun insanlar arası ilişkilerden uygulamalara kadar geçerli olduğunu ifade etmiştir. Kendisi *Mühendisler arası ilişkiler iş icabı ... İnşaat Mühendisi olarak söylüyorum, büyük yapılar var. İnsanlar kullandığı için orada etik önemli. Yani uygulamada etik önemli. Tasarımda önemli. Çünkü üretim, ürün insan için oluyor* demiştir. Bir Makine Mühendisi ise Mühendislikte etiği akademik ve profesyonel etik olarak ikiye ayırdıklarını ifade etmiştir. Özellikle profesyonel etik ile ilgili olarak *yani firmaların olsun, Ar-Ge çalışanları olsun bunu ön planda tutmaları gerektiğini düşünüyorum. Topluma faydalı olacak. Çevre olsun, insan olsun. Onların belirli haklarını ihlal etmeyecek şekilde ürünlere yönelmeleri gerektiğini düşünüyorum* demiştir. Bir diğer Makine Mühendisi benzer şekilde hem akademik hem de profesyonel etiğin önemli olduğunu ifade etmiştir. Kendisi akademik etik için *yani kullanılan bir kaynağa atıf yapılması ... Bir Mühendislik faaliyeti sonucu ortaya çıkan teknolojinin veya ürünün doğru amaçlarla kullanılması, fikir haklarına saygı duyulması ...* demiştir. Profesyonel etik için ise Fen, Mühendislik ve Teknolojinin amacının insanlığa faydalı olmak ve geliştirmek olduğunu, bunun dışına çıkan çalışmaların etik açıdan problemli olacağını ifade etmiştir. Bu durumu tabanca ve dinamitin geliştirilmesi örneklerinde açıklamıştır. Örneğin tabanca ile ilgili olarak *Amerika'da ilk defa tabancalar yapılmış. Tabancanın imalatı ile birlikte tabii cinayetler de artıyor. Bu da bir teknoloji ... Biliyorsunuz eskiden tabancalar önden doldurmalıydı. Sonra*

mermiler bulundu, teknoloji gelişti ve teknoloji geliştikçe ne oldu? İnsanlar daha iyi tabancalar yapmaya başladı. Daha iyi tabancalar yapmaya başlayınca daha çok insan ölmeye başladı. Yani şimdi bir keşif yaparken bunun sonunda ne olacağını bilemeyebilirsiniz demıştır. Bir Elektrik-elektronik Mühendisi ise daha çok akademik etik üzerine düşünmüş ve etiğin Mühendislik eğitimindeki öneminden bahsetmiştir. Kendisi bir yayın yapacaksınız, o doğru olması lazım. Düşünün. Deney yapmadan işte siz şunun direnci şu kadar olmalı diyemezsiniz. Her şeyi kurallarına uygun yapmanız lazım. Yanlış bir bilgi veremezsiniz demıştır. Bir Bilgisayar Mühendisi de hem akademik hem profesyonel etikten bahsetmiştir. Profesyonel etikte özellikle kendi alanında nelere dikkat edilmesi gerektiğini açıklamıştır: işte bilgisayar programı yazıyorum diyelim ve internette diyelim. Siz oraya tıkladığınızda ben sizin datanızı alıp onu paylaşabilirim mesela. Onu yapmamak etik bir şeydir. Veya izin almadan sizin bilgilerinizi paylaşmamam gerekiyor. Ama buna uymayabilirsin. Orada bu bilgilerden haksız kazançlar elde edebilirsin demıştır. Bir Bilim Felsefecisi Mühendisliğin Fen ve Matematiğe nazaran daha fazla toplumla iç içe olmasından dolayı Mühendislik etiğinin toplumun etik değerlerinden ve normlarından daha fazla oranda etkileneceğini düşünmüştür. Bir BÖTE uzmanı ise Mühendisliğin aslında insan hayatı ile yakından ilişkili olsa da genel olarak bütün alanlar için etiğin önemli olduğunu, hem bilgi üretirken hem de bu bilginin insana olan etkileri açısından dikkat edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Bu noktada örneğin tıpta 'karşılıkine zarar verme' kuralı var. Ya da sadece insana değil 'doğaya zarar verme' durumu da var. Mühendislik te hem insanı hem de doğayı etkilediği için etik önem arz ediyor demıştır. Ayrıca yine Mühendisliğe özgü olarak çalışılan firmaya yönelik etik ve bağlayıcı durumlar var, aynı şekilde işveren kurumun dikkat etmesi gereken kurallar, çıkan ürünün takip edilmesi ile ilgili etik durumlar var diyerek Mühendislikte etiğin çok boyutlu olduğunu ifade etmiştir.

4. TARTIŞMA

Çalışmanın bulguları düşünüldüğünde, STEM alanlarının aralarında ontolojik, epistemolojik ve sosyolojik farklılıklar olmasına rağmen (Bunge, 2014; Franssen, 2014; Schadewaldt, 2014), hem bu farklılıkların korunabileceği hem de özellikle birbirleri ile olan ilişkileri üzerine kurgulanabilecek pedagojik bir çerçevenin oluşturulabileceği düşünülmüştür. Bu çerçeve beş boyuttan oluşmaktadır. Bunlar: 1) Tanımlar, 2) Fen, Matematik, Mühendislik, Teknoloji ve Toplum arası ilişkiler, 3) Ortaklıklar,

farklılıklar ve birbirinden yararlanma, 4) Post-normal sorunun cevaplanması ve 5) Etik boyutlardır. Aşağıda her bir boyut sırasıyla tartışılmıştır.

4.1. Tanımlar

STEM alanları bilim insanlarının yapmış oldukları tanımlar incelendiğinde alanlar arasında ilişki kurulmadan yapılan ve ilişki kurularak yapılan tanımlamalar olmak üzere iki grubun olduğu gözlenmiştir. İlişkiler bir başka soruda ele alındığı için bu bölümde bilim insanlarının alanlar ile ilgili birbirlerinden bağımsız olarak yaptıkları tanımlamalara dikkat edilmiştir. Bu kapsamda Fen ile ilgili tanımlamalara bakıldığında Fennin *doğayı, hayatı, insanı ve sosyal yaşamı kanıtlar üreterek anlamaya ve açıklamaya çalışan bilimler* şeklinde genel bir tanım ile tanımlanabileceği gözlenmiştir. Matematik ile ilgili tanımlara bakıldığında ise *Matematiğin mantıksal ilişkilerin, bilimlerin, Mühendisliğin ve insanın anlaşılmasında ve modellenmesinde kullanılan evrensel bir dil* şeklinde bir tanımlama ile tanımlanabileceği gözlenmiştir. Mühendislik ile ilgili tanımlara bakıldığında ise *Mühendisliğin Fen, Matematik ve Teknolojinin kullanılması ile insanların günlük yaşamdaki ihtiyaç ve problemleri için somut çözümler üreten bilim* olarak tanımlanabileceği gözlenmiştir. Teknoloji ile ilgili tanımlara bakıldığında ise *Teknolojinin günlük hayat problemlerinin en verimli şekilde çözülmesinde kullanılan yöntemler ya da araçlar* şeklinde tanımlandığı gözlenmiştir. Bu tanımlamalar genel olarak alanlar ile ilgili olarak literatürde kullanılan tanımlamalar ile uyumludur (Bunge, 2014; Clark, 2014; Franssen, 2014; Horsten, 2017; Mitcham ve Schatzberg, 2009; Schadewaldt, 2014).

Yukarıdaki genel tanımlamaların dışında bilim insanlarının branşlarına özgü bazı farklılıkların olduğuna da dikkat çekmek gerekir. Örneğin Matematikçilerin Fen tanımlamalarında doğa olaylarını açıklamanın yanında insanın düşüncelerini ve sosyal mekanizmaları anlamak olarak tanımlamaları Fen alanının hedef konuları arasındaki kaymaları ve geçişgenliği göstermektedir. Matematik ile ilgili tanımlamalarda ise Fenci ve Mühendislerin daha çok dil ve araç odaklı tanımlar tercih ederken Matematikçilerin daha çok anlama ve açıklama odaklı tanımları tercih ettikleri gözlenmiştir. Bu açıdan Fen tanımı ile benzer şekilde anlama ve açıklama yapılarının Matematik için önemli olduğu söylenebilir. Mühendislik ile ilgili tanımlara bakıldığında yine bilim insanlarının kendi perpektiflerinden yaklaştıkları, örneğin Fencilerin sadece Fen bilgilerini günlük hayata uyarlama şeklinde tanımladıkları, Matematikçilerin tanımlarında Fene atıf yapmadıkları, ancak Mühendislerin Fen, Matematik, Teknoloji ve Toplumu içine alan tanımlar tercih ettikleri gözlenmiştir.

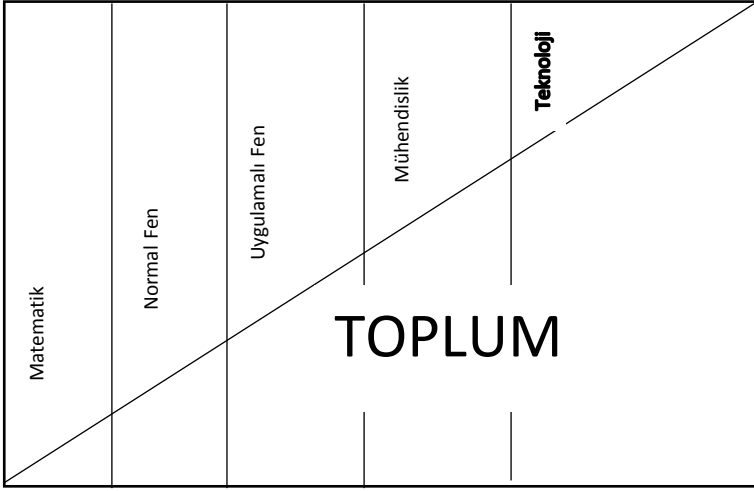
Ancak bu tanımlarda da Fen ve Matematikteki gibi problemlerin çözümlenmesine vurgu yaptıkları gözlenmiştir. Teknoloji tanımlarında ise Fen ve Matematikçilerin daha çok somut ürünler üzerinden tanımlar tercih ettikleri ancak Mühendislerin somut veya somut olmayan şekilde problem çözme yöntemleri olarak bir tanım kullandıkları gözlenmiştir. Bu tip farklılıklar alanların içinde yetişen bilim insanlarının alanlara özgü ontolojilere, epistemolojilere, ahlaki kriterlere ve kültürelmelere maruz kaldıklarını ve alanlar arasında sınırlı oranda iş birliği ve iletişim olduğunu göstermektedir (Kuhn, 1962; Snow, 1964).

4.2. Fen, Matematik, Mühendislik, Teknoloji ve Toplum arası ilişkiler

Bilim insanlarının çizmiş oldukları modeller ve bu modeller ile ilgili açıklamaları irdelendiğinde ve bu ilişkilere PNB açısından yaklaşıldığında (Funcovitz ve Ravetz, 2003; Ravetz, 2012) Fen, Matematik, Mühendislik, Teknoloji ve Toplum arasındaki ilişkiler için Şekil 1'deki model hazırlanmıştır. Bu modelde dikdörtgenin üst yarımında alanlar bulunurken alttaki yarımında Toplum bulunmaktadır. Üstteki yarımında alanlar birbirlerini sırası ile etkilemekte ve bir sonraki alan kendinden önceki bütün alanlardan beslenmektedir. Ayrıca üst yarımındaki alanların alt yarımındaki Toplumu kestiği yerler, ilgili alanın toplum ile olan ilişkisinin yoğunluğunu temsil etmektedir.

Şekil 1'e göre düşünüldüğünde Matematik Normal Feni yoğun olarak beslemektedir. Burada Normal Fen doğa olaylarının arkasındaki örüntüleri ortaya çıkarmakta ve bazı ilişkiler tespit etmektedir (Boyd, Gasper ve Trout, 1999). Bu ilişkilerin belirli testlere tabii tutulması ve bazı eşitlikler veya grafikler halinde modellenmesi noktasında Matematik yoğun olarak kullanılmaktadır. Öte yandan Uygulamalı Fen hem Normal Fen hem de Matematiği içerisinde barındırmaktadır. Uygulamalı Fen, çalışma grubundaki bilim insanlarının da önerdiği gibi Normal Fenden farklı olarak doğa olaylarının arkasındaki nedenleri anlama ve açıklamadan ziyade belirli uygulamaları ve müdahaleleri hedefleyen bir alandır. Ancak bu süreçte Normal Fende üretilen teorik açıklamaları ve bunların Matematiksel ifadelerini kullanır. Ayrıca kendi oluşturduğu gözlem ve deney odaklı çalışmalarda Matematiksel denklemlerden yararlanmaktadır. Mühendislik ise Matematik, Normal Fen ve Uygulamalı Feni kapsamaktadır. İnsan yaşamına ait ya da doğa ile ilgili belirli bir problemin çözümü noktasında çözümün Matematiksel modellenmesinde Matematikten, ilgili çözümün dizayn edilmesi ve modellenmesi sırasında gereken doğa yasaları ve teorik açıklamalar için Normal Fenden ve yine çözümün üretimi sürecinde pratiğe yönelik parametreler arasındaki ilişkileri vermesi bakımından Uygulamalı

Fenden yararlanmaktadır. Teknoloji ise özellikle teknisyenler tarafından Mühendislerin yönlendirmeleri sonucunda belli bir insan veya doğa problemine yönelik çözüm yöntemi ya da somut bir ürün üretilmesidir.



Şekil 1. Fen, Matematik, Mühendislik, Teknoloji ve Toplum ilişkileri

Toplum ile olan ilişkilere bakıldığında ise bazı hesaplamalar ve ölçümler noktasında Matematik günlük yaşamda Toplum tarafından yoğun olarak kullanılsa da bazı bilim insanları Matematiğin Toplum ile kesiştiği noktaların sınırlı olduğunu ifade etmiştir. Ancak Matematiğin diğer alanlar (Normal Fen, Uygulamalı Fen, Mühendislik ve Teknoloji) üzerinden dolayı olarak Toplum ile sıkı ilişkiler kurduğunu da belirtmişlerdir. Öte yandan Normal Fen ile toplumun kesişiminin biraz daha yoğun ilişkiler barındırdığı söylenebilir. Hız, ivme, insan fizyolojisi ve suyun kaynaması gibi örnekler bireylerin normal fenni ilk elden deneyimledikleri ve bazı nedensel muhakemeler geliştirdikleri durumlardır. Uygulamalı Fen ise örneğin belli tedavi ve terapi yöntemlerinin kullanılması, bir havuzun hangi kimyasal ile daha kısa sürede temizleneceğinin belirlenmesi gibi noktalarda toplumla Normal Fene göre daha sıkı ilişkiler kurmaktadır. Mühendisler ise doğrudan halkın temas halinde olabildiği, laboratuvar ve üniversiteler dışında bulunan ve kendilerinden hizmet alınabilen bireylerdir. Sandalyeden kaleme, nükleer santralden köprülere kadar birçok alanda üretilen çözüm ve ürünler doğrudan halk tarafından kullanılmakta ve halkın yaşamını kolaylaştırmaktadır. Bunun dışında toplumdaki ilgili alanlara doğru ihtiyaçlar ve dönütler doğrultusunda

da bir belirlenim ilişkisi vardır. Örneğin Kırım Kongo Kanamalı hastalığına yönelik bir aşının geliştirilmesi toplum sağlığı için önemli bir problemdir. Bu problemde Matematikçiler, Normal Fenciler, Uygulamalı Fenciler ve Mühendislerin ortak çalışmaları gerekmektedir. Bu şekilde toplumun son kullanıcı olduğu ve fayda oryantasyonlu pragmatik yaklaşımların dışında bütün alanların kendi içinde birer topluluk olduğu da unutulmamalıdır. Bu noktada toplulukların kendi iç psikolojileri ve sosyolojilerinin ile genel toplumun psikolojisi ve sosyolojisinin karşılıklı etkileşimlerinin de önemli olduğu görülmektedir (Kuhn, 1962; Snow, 1964). Ayrıca PNB ile uyumlu olarak (Funcovitz ve Ravetz, 2003; Ravetz, 2012) halkın alanları algılaması noktasında okullardaki Fen ve Matematik eğitimi ile bilim iletişimi çalışmalarının önemli olduğu bilim insanları tarafından vurgulanmıştır. Özellikle üretilen bilimsel bilgi ve teknolojilerin halk tarafından değerlendirilmesi sürecinde bazı durumlarda sınırlı bilgi, muhakeme ve risk algılarının devreye girmesi bilgi ve teknolojilerin revizyonu ve bazı durumlarda ise ortadan kaldırılması ile sonuçlanmaktadır (European Commission, 2012). Fukushima nükleer felaketi sonucunda Avrupada bazı ülkelerde halkın santrallerin kapatılması yönünde baskı yapması burada örnek olarak verilebilir (Sjöberg, 2008). Burada alanların analitik düşünme, eleştirel düşünme ve karar verme gibi birçok beceriyi içinde barındırdıkları ve toplumda sosyal bir değişim yaratmada alanlara yönelik eğitimin önemli olduğu da vurgulanmıştır. Tersi bir durumda ise yalancı bilim, yanlış propagandalar ya da para odaklı teknolojik kültürlemelerin toplum üzerinde negatif etkilerinin olabileceği de ifade edilmiştir. Son bir durum ise bilim insanların teknolojinin insan medeniyetinin şekillenmesinde kültürel ve tarihsel bir kavram olarak ele alınmasının ve ekonomiden sosyal sınıfların oluşumuna, politikaların şekillenmesinden savaşımlara kadar geniş bir perspektiften düşünülmesinin gerekli olduğunu vurgulamalarıdır.

4.3. Ortaklıklar, farklılıklar ve birbirlerinden yararlanma

Tablo 3'te gösterildiği gibi **Fen ve Matematik arası ilişkilerde ortak olan yanlara** bakıldığında altı ortak özelliğin bilim insanları tarafından ön plana çıkarıldığı gözlenmiştir. Bunlar: 1) Örüntü bulma, 2) Bilgiyi organize etme, 3) Tahmin etme, 4) Problem çözme, 5) Teorilerin yarışması ve 6) Modellemedir. **Örüntü bulma** ile ilgili olarak hem Fen de hem de Matematikte tekrar eden ve seri şeklinde olduğu düşünülen olay ve kavramları anlama ve açıklama durumu ortak bir özellik olarak gösterilmiştir. Örneğin Fende DNA molekülünde bütün Adenin nükleotitlerin Timin ile, Guanin nükleotitlerinin ise Sitozin ile bağ yapması bir örüntüdür. Matematikte de benzer şekilde örneğin 7, 5, 3, 1 şeklinde kurulan bir seride örüntünün ikiye azalma şeklinde olması bir başka

örüntüdür. İkinci durum ise hem Fenin hem de Matematiğin **bilgiyi organize etmeleridir**. Bu organizasyonda özellikle doğa ve insan ile ilgili durumlarda görünenlerdeki karmaşıklığın arkasında belli bir organizasyon ve netlik üretme çabası düşünülebilir. Fende örneğin Einstein'ın birçok fiziksel olayı bir arada açıklamaya çalışan $E = mc^2$ formülü böyle bir düzen ve organizasyon yaratma çabasıdır. Yine benzer şekilde Matematikte yüzlerce verinin ve ilişkinin temsil edilerek ve gruplanarak fonksiyonlar halinde gösterilmesi bilgiyi organize etmektedir. Bir diğer durum ise hem Fende hem de Matematikte **tahmin etmenin** ortak olarak var olmasıdır. Fende genelde belli gerçekliklerin arkasındaki nedensel durumları açıklamak amacıyla teorilerin üretildiği ve bu teorilerin aslında gelecekte benzer olayları tahmin etme amacıyla kullanıldığı gözlenmektedir. $PV=nRT$ şeklindeki ideal gaz denkleminde olduğu gibi Fende üretilen ve karşılıklı ilişkilere dayanan Matematiksel eşitlikler, eşitlikte yer alan faktörlerin gelecekteki eğilimlerini tahmin etmek amacıyla kullanılır. Matematiğe bakıldığında ise özellikle istatistiğin büyük oranda geçmiş, mevcut durumu ya da geleceği tahmin etme üzerine kurgulandığı gözlenmektedir. Örneğin seçim şirketleri 2000 kişilik küçük örneklemeler kullanarak 50 milyon seçmenin hangi partilere oy vereceği ile ilgili tahminlerde bulunmaktadır. Ayrıca her iki alan içinde **problem çözmenin** ortak olduğu vurgulanmıştır. Her iki alanda da soruyu anlamaya çalışmak, soruyu test edilebilir bir forma dönüştürmek, soru için alternatif çözümler oluşturmak ve bu çözümleri test ederek ilerlemek gibi süreçlerin önemli olduğu ifade edilmiştir. Örneğin Fende ‘az ışık alan bölgelerde yetişen bitkilerin yaprakları daha çok ışık alan bölgelerdekine göre neden daha koyu renklidir?’ şeklindeki bir soru kendi içerisinde çalışılması gereken parametreleri (ışık alma durumları, yapraktaki renk pigmentleri), bu parametrelerin nasıl bir yöntemle çalışılacağı (biri az ışık alan diğer çok ışık alan bitkilerin olduğu bir deney düzeneği) ve soru formu (neden?) üzerinden nasıl bir cevabın (kanıta dayalı nedensel bir açıklama) talep edildiğini göstermektedir. Benzer şekilde Matematikte de ‘İstanbul’da şehir aydınlatmasında kullanılan enerji kaynaklarından hangisi ekonomik olarak daha avantajlıdır?’ sorusu kendi içerisinde çalışılacak parametreleri (İstanbul, enerji kaynakları, aydınlatma), bu parametrelerin nasıl bir yöntemle çalışılacağı (kıyaslamalı bir Matematiksel modelleme) ve soru formu (hangisi daha avantajlı) üzerinden nasıl bir cevabın (birinin diğerlerine göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde avantajlı olması) talep edildiğini göstermektedir. Bir diğer ortak nokta olarak **teorilerin yarışması** öne sürülmüştür. Burada özellikle belli gerçeklik ve örüntülerin hem Fen hem de Matematikte belli teorilerle/teorik unsurlarla açıklanmaya çalışıldığı ve aynı durum ile ilgili olarak birkaç farklı teorinin/teorik unsurun bulunabildiği ve bu teorilerin/teorik unsurların belirtilen durumu açıklamak

için yarış halinde olduğu vurgulanmıştır. Örneğin Fende ışığın hareketi ile ilgili olarak Newton ve Einstein'ın ortaya attığı teoriler vardır. Newton'un açıklamalarının geçerli olduğu birçok durum söz konusu iken Einstein'ın açıklamalarının Newton'un açıklayamadığı bazı durumları da açıklayabildiği gözlenmiştir. Benzer bir durum Euclid ve Labacowiski'nin paralellik üzerine kurdukları aksiyomları için de geçerlidir. **Modelleme** ise son ortak noktadır. Örneğin matematikçiler sadece doğa olayları (Fen) değil, birçok soyut durumlar için de modellemeler yaparak bilgiyi soyutlaştırma ve organize etmektedirler. Fen ve Matematik arası **farklılıklara** bakıldığında ise iki farklılığın özellikle vurgulandığı gözlenmiştir. Bunlardan ilkinde Fende **hatalara** ve mantıksal boşluklara dayalı daha ucu açık bir ilerleme söz konusu iken Matematikte bütün süreçlerin doğrulanması ve mantıksal boşluk ya da hata bulundurmayacak şekilde ilerlemenin olduğu ifade edilmiştir. İkinci farklılıkta ise Fende **ana amacın** doğanın anlaşılması ve açıklanması olduğu Matematikte ise böyle bir ilk amacın olmadığı ancak Matematikte üretilen bilgi ve yöntemlerin sonrasında doğayı anlamak amacıyla kullanılabilceği ifade edilmiştir. Fen ve Matematik alanlarının **birbirlerinden yararlanmaları** ile ilgili olarak ise karşılıklı bir yararlanma durumundan bahsedilmiştir. Literatür ile uyumlu olarak (Horsten, 2017) genel olarak Fencilerin Matematiği, bulmuş oldukları ilişkileri formül ya da başka modellerle modellemede kullandıklarını, Matematikçilerin ise özellikle teorik Fizik gibi Fen alanlarında bulunan yeni keşifler ile yeni Matematik alanları ürettikleri ifade edilmiştir.

Tablo 3. Alanlar arasında ortaklıklar, farklılıklar ve birbirlerinden yararlanma durumları

	Fen ve Matematik	Fen ve Mühendislik	Matematik ve Mühendislik
Ortaklıklar	<p>1. Örüntü bulma</p> <p>2. Bilgiyi organize etme</p> <p>3. Tahmin etme</p> <p>4. Problem çözme</p> <p>5. Teorilerin yarışması</p> <p>6. Modelleme.</p>	<p>1. Analitik düşünme</p> <p>2. Deney yapma</p> <p>3. Problem çözme</p> <p>4. Grupla çalışma</p> <p>5. Toplum sorunları ile ilgilenme</p> <p>6. Modelleme</p> <p>Fende belirsizlikler içinde doğa yasaları ile ilgili yeni keşifler ve doğrular üretilirken Mühendislikte belirsizlikler içinde hareket edilmez ve var olan doğrular onaylatılmaya çalışılır.</p>	<p>1. Problem çözme</p> <p>2. Analitik düşünme</p> <p>3. Modelleme</p>
Farklılıklar	<p>Fende mantıksal boşluklar ile ilerleme devam ederken Matematikte mantıksal boşluklara genelde izin verilmez.</p> <p>Fende doğayı anlamak için bilgi üretilirken Matematikte doğa ile ilgili bir temel hedef söz konusu olmayabilir ancak üretilen bilgi daha sonra doğayı anlamak amacıyla kullanılabilir.</p>	<p>Fende deney süreçlerinde hata yapmaya genelde izin verilmezken Mühendislik deneylerinde hatalar yoğun olarak yapılır, ancak bu hatalar hesaba katılarak ürün dizayn edilir.</p> <p>Fende bilgi üretme ana motivasyon kaynağı iken Mühendislikte bilgiyi bir çözüm ya da ürüne dönüştürme ana motivasyon kaynağıdır.</p> <p>Mühendisler geliştirdikleri çözümlerde Fende keşfedilen yasa ve teorileri birer araç olarak kullanır. Fen ise Mühendislik ürünü teknolojileri bilimsel çalışmalar ve yeni keşiflerde kullanır.</p>	<p>Problem çözerken Matematikte ifadeler detaylı olarak kullanılırken Mühendislikte amaca göre bazı sadeleştirmeler yapılır.</p> <p>Matematik günlük yaşamın dışına çıkabilen hesaplamalar üretirken Mühendisler bu hesaplamaları günlük yaşama göre pratik sonuç çıkaracak şekilde revize ederler.</p> <p>Mühendislik deney odaklı ilerlerken Matematik ispat odaklı ilerler.</p>
Birbirlerinden Yararlanma	<p>Fen Matematiği bir dil olarak kullanır. Özellikle nedensel ilişkileri formül ve grafiklerle modellemede kullanır.</p> <p>Matematik ise Fendeki bazı ilişkilerden yararlanarak ilerleyebilir. Özellikle teorik Fizikte keşfedilenler yeni Matematik alanlarının türemesini sağlar.</p>	<p>Uygulamalı Fen alanı Fen ile Mühendislik arası geçişleri kolaylaştırır.</p>	<p>Mühendisler dinamik sistemleri anlama ve modellemek için Matematik dilinden (örneğin denklemler) yararlanır. Matematikçiler ise bazı Mühendislik problemleri üzerinden yeni bir Matematik geliştirebilir.</p>

Fen ve Mühendislik arası ilişkilere bakıldığında ise bilim insanları **ortak yanlar** olarak 1) Analitik düşünme, 2) Deney yapma, 3) Problem çözme, 4) Grupla çalışma ve 5) Toplumsal sorunlar ile ilgilenme ve 6) Modelleme gibi faktörleri öne çıkarmışlardır. Bu ortak yanlardan analitik düşünme, deney yapma ve problem çözme Amerika’da geliştirilen K-12 Fen

Çerçevesindeki (National Research Council, 2011) ‘patternler’, ‘neden-sonuç ilişkileri: mekanizmalar ve açıklamalar’ ve ‘ölçek, oran ve nicelik’ ile benzerlik gösterirken, modelleme yine aynı çerçevedeki (National Research Council, 2011) ‘sistemler ve sistem modelleri’ ile benzerlik taşımaktadır. Fen ve Mühendislik ile ilgili ortak yanlara tek tek bakıldığında **Analitik düşünme** ile ilgili olarak her iki alanda da belirli somut verilerin analizleri ile soyut sonuçlar çıkarıldığı ya da soyut bazı durumların deneylerle ve ürünlerle somutlaştırılabildiği düşünülmüştür. Örneğin eşit uzunluktaki üç yayın uçlarına asılan farklı ağırlıktaki nesnelerin yarattığı uzama miktarlarını gösteren bir tablonun analiz edilerek yorumlanması ile eşit büyüklükte ancak farklı malzemelerden üretilmiş olan üç farklı anahtarın yıpranma katsayılarını gösteren bir tablonun analiz edilerek yorumlanması benzer şekilde analitik düşünmeyi gerektirmektedir. **Deney yapma** ile ilgili olarak her iki alanda da belirli hipotezlerin kurulduğu ve bu hipotezlerin deneysel düzenekler halinde test edildikleri ifade edilmiştir. Örneğin bir kaptaki suyun kaynama noktasını etkileyen faktörlerden birini değiştirerek suyun kaynama durumunun incelenmesi ile dizayn edilen bir Drone prototipinin uçmayı etkileyen parametrelerden biri değiştirilerek istenilen yükseklikte uçup uçmadığının belirlenmesi her iki alanda da benzer şekilde deneylerin kullanıldığını göstermektedir. **Problem çözme** ile ilgili olarak ise her iki alanda da problemin ortaya atıldığı, tanımlandığı ve çözüme yönelik aşamaların belirlendiği düşünülmüştür. Ayrıca bu süreçte her iki alanda da merakın önemli bir itici güç olduğu ifade edilmiştir. ‘Yalıtımda sünger mi yoksa poliester mi daha az ısı kaybına yol açar?’ sorusu Uygulamalı Fen için soruyu kavrama, çözüme yönelik gözlem düzenekleri hazırlama ve bu düzeneklerin test edilmesini çağrıştırmaktadır. ‘Sünger yalıtımında ısı kaybını iki kat azaltmak için nasıl bir çözüm geliştirirsiniz?’ sorusu ise Mühendislik için yine soruyu kavrama ve çözüme yönelik tasarımlar oluşturma ve bunları test etme gibi basamakları çağrıştırmaktadır. **Grupla çalışma** noktasında ise hem Fende hem de Mühendislikte yapılan çalışmaların diğer çalışmalar ile kıyaslandığı, farklı uzmanlıklardan kişilerin bir araya gelerek disiplin içi veya interdisipliner çalışabildikleri ifade edilmiştir. Örneğin Fenciler kongrelerde yan yana gelmekte ve bilimsel çalışmalarını meslektaşları ile paylaşarak dönütler almaktadırlar. Benzer şekilde mühendisler de hem kongrelerde hem de fuarlarda yan yana gelmekte ve ürünleri ve çözüm önerileri ile ilgili olarak meslektaşlarından dönütler almaktadırlar. **Toplumsal sorunlar ile ilgilenme** noktasında ise özellikle Uygulamalı Fen ve Mühendisliğin toplum için çalıştıkları ve insanların yaşamını kolaylaştıracak bilgi ve ürünler ürettikleri vurgulanmıştır. Örneğin şeker hastalarında iki farklı diyetin etkilerinin kıyaslanması Uygulamalı Fencileri devreye sokarken, şeker hastalarında deri

altı çiplerle kandaki şeker dengesinin takip edilmesi Mühendisleri devreye sokmaktadır. Her iki durumda da toplumsal bir sorun olan ve birçok kişiyi ilgilendiren şeker hastalığı ele alınmıştır. **Modelleme** noktasında ise Fenciler doğa olayları arasındaki ilişkileri, Mühendisler ise dizayn ettikleri çözümler ve ürünlerde etkili olan parametreler arasındaki ilişkileri temsil etmede denklemler ya da grafikler gibi Matematiksel modellerden yararlanmaktadır. Örneğin basit bir elektrik devresinde ışığın parlaklık miktarını etkileyen faktörler (kablunun uzunluğu, cinsi, kalınlığı, vd) üzerinden bir eşitlik (model) kurulabilirken benzer şekilde bir rüzgar gülünde gülün dönme hızını etkileyen faktörler (rüzgar hızı, gülün ağırlığı, vd) üzerinden bir başka eşitlik (model) kurulabilir. Fen ve Mühendislik arası ilişkilerde **farklılıklara** bakıldığında ise Fen alanı özellikle **keşfetme** üzerine kurgulanan ve **belirsizlikler** içinde ilerleyen bir alan olarak vurgulanırken Mühendislikte benzeri belirsizliklerin olmadığı ve yeni bir durumun keşfi gibi bir amacın bulunmadığı ifade edilmiştir. Diğer bir deyişle Mühendislerin model olarak oluşturdukları belli doğruları deneylerle test ederek **doğrulatma** çabasında oldukları ancak Fencilerin bu tip doğruları keşfetme ve üretme yönünde ilerledikleri vurgulanmıştır. Bir diğer farklılık olarak Fen deneylerinde **hata yapma** oranı en aza indirilirken Mühendislikte hem hesaplamalar hem de somut deneylerde sürekli hataların yapıldığı ancak bu hatalar hesaba katılarak ürünlerin dizayn edildiği ifade edilmiştir. Son olarak Fende bilgi üretme üzerine kurulu bir **motivasyon** söz konusu iken Mühendislikte bilginin çözüme veya ürüne dönüşme potansiyeli önemlidir. Fen ve Mühendislik arası ilişkilerde **birbirlerinden yararlanma** noktasında ise Mühendisler Fende üretilen teoriler, yasalar ve eşitlikleri kendi çalışmalarında **araç** olarak kullanırken, Fenciler Mühendislik ürünü teknolojileri ve çözümleri kendi çalışmalarında özellikle gözlem ve verileri işleme süreçlerinde kullanmaktadırlar. Ayrıca bazı Fenciler araştırma sorularını çözümlenme sürecinde gerektiğinde Mühendislik te yapmaktadır. Ya da CERN örneğindeki gibi bazı araştırma sorularının çözümlenmesinde Fenciler ile Mühendislerin beraber çalışması söz konusudur. Ancak Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde gerek üniversite sınavlarındaki kompartımanlaşmadan gerekse interdisipliner çalışma kültürünün azlığından dolayı Fenciler ile Mühendisler sınırlı oranda yan yana gelebilmektedir. Öte yandan Uygulamalı Fizik ya da Uygulamalı Kimya gibi alanlarda hem Normal Fen hem de Mühendislik bilgi ve becerilerinin kullanıldığı ve bu alanların PNB ile uyumlu olarak (Funcovitz ve Ravetz, 2003; Ravetz, 2012) Normal Fen ile Mühendislik arasındaki bilgi ve teknoloji aktarımını sağladıkları ifade edilmiştir.

Matematik ve Mühendislik arası ilişkiler incelendiğinde ortak yanlar olarak 1) Problem çözme, 2) Analitik düşünme ve 3) Modelleme ön plana çıkarılmıştır. **Problem çözme** noktasında ise hem Matematiğin hem de Mühendisliğin insan yaşamı ile ilgili bazı problemleri çözme noktasında problemi tanımladıkları, çözüm stratejileri geliştirdikleri ve bunları test ettikleri ifade edilmiştir. Burada özellikle Pür Matematik yerine Uygulamalı Matematikçilerin Mühendislerle yakın bir problem çözme yönteminden istifade ettikleri düşünülmüştür. **Analitik düşünme** ile ilgili olarak ise soyut ve teorik durumlarda Matematik ve Mühendisliğin farklı davranabildiği ancak somut veriler üzerinde yapılan değerlendirmeler ve çıkarımlarda benzer şekilde analitik düşünüldüğü ifade edilmiştir. Örneğin bir evdeki elektrik faturalarının yıl boyunca aylık olarak dağılımlarını gösteren bir grafiğin yorumlanması ile araba motorunun aylara bağlı olarak tükettiği benzin miktarını gösteren bir grafiğin yorumlanması benzer olup analitik düşünmeyi gerektirmektedir. Bir diğer ortak yan olarak **Modelleme** önerilmiştir. Her iki alanda da problemin çözümü için öncelikle somut durumlar üzerinden soyutlamalar yapıldığı ve bu soyut yapıların modellere çevrilerek problemin çözümü için bir taslak oluşturulduğu ifade edilmiştir. Örneğin hava durumunun tahmin edilmesinde birçok aritmetik ve geometrik datalar kullanılarak bir tahmin denklemi (modeli) oluşturulurken bir robotun bir sonraki hareketinin tahmin edilmesinde de benzer şekilde birçok aritmetik ve geometrik datanın yan yana geldiği modeller kullanılmaktadır. Matematik ve Mühendislik arası **farklılıklara** bakıldığında ise özellikle problem çözme aşamalarında Mühendislerin amaçlarını kolaylaştırmak adına virgül sonrası sayıları belli bir ondalık basamağa kadar kullandıkları ancak Matematikçilerin mümkün olduğu kadar çok basamaktan yararlandıkları ve dolayısıyla bir problemin **en doğru** cevabını bulana kadar işlem yapmaya devam ettikleri ifade edilmiştir. Öte yandan Matematikte (örneğin bazı hızların hesaplanmasında) hesaplanan bazı değerlerin **günlük yaşamın sınırları dışına** çıkabildiği ancak bu değerleri Mühendislerin yaşama uydurmak amacıyla revize ettikleri ifade edilmiştir. Bir diğer durum ise Matematikte **ispat** süreçleri ile bilgi üretilirken Mühendislikte **deneyler** ve test etme ile bilgi üretildiğidir. Matematik ve Mühendislik alanlarının **birbirlerinden yararlanmalarına** bakıldığında ise Mühendislerin aynı Fende olduğu gibi Matematikten özellikle belli ilişkileri modellemede formül veya denklemler olarak yani bir dil olarak yararlandıkları, Matematikçilerin ise örneğin mekanik ve hız ile ilgili bazı Mühendislik problemlerini kendi alanlarına çekerek birer Matematik problemi haline getirdikleri ve bunların üzerine Matematiksel ilerlemeler kaydettikleri belirtilmiştir. Öte yandan Mühendislik uygulamalarının Matematik

eğitiminde etkili bir şekilde kullanılabilmesi ve Matematiğin günlük yaşamla olan bağlantılarının bu şekilde anlaşılabilmesi ifade edilmiştir.

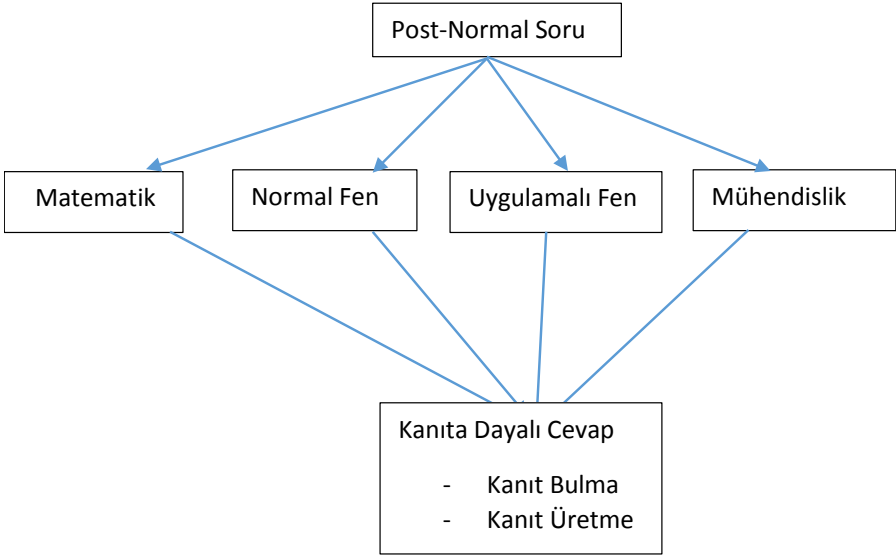
4.4. Post-normal soruların kanıta dayalı olarak cevaplanması

STEM alanları bilim insanlarının farklı sorulara vermiş oldukları cevaplar detaylı olarak incelendiğinde aslında Fen, Matematik, Mühendislik ve Teknolojinin ortak olarak **problem çözme** üzerine kurgulandıkları gözlenmiştir. Ayrıca bu durum ikililerin (Fen-Matematik, Fen-Mühendislik ve Matematik-Mühendislik) ortak özellikleri ile ilgili listede (Tablo 3) bütün ikililerde gösterilen ortak bir özellik olmuştur. Benzer şekilde Amerika’da oluşturulan K-12 Fen Çerçevesi’nde ‘soru sorma’ ile başlayan problem çözme süreci Fen ve Mühendislik uygulamaları için ortak pratikler olarak gösterilmiştir (National Research Council, 2011). Öte yandan bilim insanlarından örneğin bir Fizikçi Mühendislik ile Fen bilimlerinin düşünme şekli ve yöntemler olarak benzer olduğunu ifade etmiştir. Her ikisinde de hipotetik önerilerin olduğu ve bu önerilerin geçerlilik ve güvenilirliğinin deneylerle test edildiğini ifade etmiştir. Benzer şekilde bir Biyolog Fen ve Mühendislik arasında kıyaslamalar yaparken aslında önemli olanın biyolojik problemi çözmek olduğunu ve temel olanın biyolojik soru olduğunu ifade etmiştir. Benzer şekilde bir Elektrik-elektronik Mühendisi hem Fen hem de Mühendislikte problemin ortaya konduğunu, tanımlandığını, çözüme gidecek aşamaların belirlendiğini, hipotetik düşünüldüğünü, deneyler ya da tasarımlar yapıldığını ve bunun üzerinden doğrulamalar yapıldığını ifade etmiştir. Bir Matematikçi ise Matematik problemleri, Teknoloji problemleri ile Fizik problemlerini kıyaslarken öncelikle soruyu anlamak ve muhtemel cevapları düşünmek ve test etmenin önemli olduğunu ifade etmiştir. Her ne kadar kullanılan yöntemler farklı olsa da düşünme şeklinin aynı olduğunu ifade etmiştir. Bunu destekler nitelikte aynı Matematikçi geçmişte alanlar arasında bulanıklıklar söz konusu iken bireylerin hem Astronom, hem Filozof, hem Matematikçi hem de Mühendis olabildiklerini Euler ve Newton örneğinde açıklamıştır. Benzer şekilde bir diğer Fizikçi ise Mühendis ve Fencî ayırımının uygun olmadığını, her ikisinin de bilim insanı olduğunu ve insanın araştırması gereken her şeyi araştırabileceklerini ifade etmiştir. Bir BÖTE uzmanı ile bir Fizikçi ise ortak olarak Fen ve Mühendislik gibi kompartımanlaşmaların son dönemde azaldığını ve her iki grupta da itici gücün merak ve soruları cevaplama olduğu vurgulanmıştır.

Yukarıdaki bilgiler bir araya getirildiğinde aslında Fen, Matematik ve Mühendislik pratiklerinin insan, doğa ve gerçeklik ötesi **soruların cevaplanmasında kullanılan kanıta dayalı yöntemler** bütünü olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu alanların ontoloji, epistemoloji ve sosyolojilerinin

farklı olduğu düşünüldüğünde (Bunge, 2014; Franssen, 2014) ve bu farklılığın korunarak tüm alanlara nasıl nüfus edileceği planlandığında sorunun içeriği ve sorulma şeklinin belirleyici olacağı düşünülmüştür (Şekil 2). Örneğin “yenilenebilir enerji kaynaklarından hangisi Ülkemiz için ekonomik olarak daha avantajlıdır?” sorusu Matematiksel hesaplamaları ve modellemeleri gerektiren bir sorudur. Bu sorunun cevaplanmasında tablolar ya da denklemler gibi Matematiksel modeller kullanılarak kanıtlar üretilebilir. Ya da var olan (hazır) Matematiksel kanıtlar kullanılabilir. “Yere doğru bırakılan bir taş neden düşer?” sorusu yoğun olarak Normal Fen ve sınırlı oranda Matematik gerektiren bir sorudur. Bu soruyu çözmek isteyen birey ya var olan kanıtlardan yararlanacak ya da gözlem ve deneyler kurgulayarak ve elde ettiği ilişkileri matematiksel olarak modelleyerek (kanıtlarını kendisi üreterek) bir cevap verecektir. “Buğday ekimi yapılan bir bölgedeki erozyonu önlemede hangi bitkiler buğday yerine tercih edilebilir?” sorusu yoğun olarak Uygulamalı Fen, belirli oranda Normal Fen ve Matematik ile cevaplanabilecek bir sorudur. Sonuçta Uygulamalı Fen post-normal açıdan bakıldığında (Funcovitz ve Ravetz, 2003; Ravetz, 2012) Normal Fen ve Matematiği içerisinde barındırmaktadır. Bu noktada yine Uygulamalı Fen araştırmalarından gelen kanıtlar hazır olarak kullanılabileceği gibi, birey kendi gözlemlerini dizayn ederek (örneğin deneysel bir ortamda farklı bitkilerin erozyona olan katkılarını matematiksel olarak kıyaslayarak) kendi kanıtlarını üretebilir ve bu şekilde bir cevap oluşturabilir. Ancak bu süreçte bitkilerin anatomisi, fizyolojisi ve taksonomisi ile ilgili Normal Fen’e özgü bilgilerden de yararlanacaktır. “Binalarda yağmur sularının depolanması ve bu suların tuvaletlerde kullanılmasını nasıl sağlayabilirsiniz?” sorusu yoğun olarak Mühendislik gerektiren ve Mühendislikle beraber belirli oranda Uygulamalı Fen, Normal Fen ve Matematik gerektiren bir sorudur (Funcovitz ve Ravetz, 2003; Ravetz, 2012). Burada özellikle Uygulamalı Fen ve Normal Fen’e ait daha önce var olan kanıtlar irdelenebilir, bu kanıtlar üzerinden bir Matematiksel modelleme oluşturulabilir, örnek bir tasarım yapılarak test edilebilir ve bu tasarımın aksayan yönleri yeni testlerle geliştirilebilir. Öte yandan birey var olan Mühendislik tasarımlarını da doğrudan kanıt olarak kullanılabilir.

Matematik, Normal Fen, Uygulamalı Fen, Mühendislik süreçlerinin işleyişleri, ilişkileri ve bu süreçlerin Toplumla ilişkilendirilmesi üzerine post-normal soruların oluşturulabileceği bağlamlar olarak bilim insanları; etik, sosyal ağlar, otomobil, kamera, cep telefonları, televizyon, internet teknolojisi, MR cihazı, kriptografi, evrim kuramı, toplumsal ilerleme, nükleer teknoloji, buharlı makineler, sosyal değişim ve Domuz gribi vakasını önermişlerdir.



Şekil 2. Post-normal sorunun cevaplanması

4.5. Etik boyutlar

STEM alanları bilim insanlarının etik boyutlar ile ilgili değerlendirmelerine bakıldığında Fen, Matematik ve Mühendislik alanlarında bilim ürettikleri için öncelikle akademik çalışmalar ile ilgili etik unsurları ön plana çıkardıkları gözlenmiştir. Atıf yapmadan bilgileri kullanma, akademik yükselme ile ilgili baskılardan ya da popülerlik adına çalışmayı manüple etme ve yanlış bilgiler verme gibi etik açıdan problemli durumlardan kaçınılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Öte yandan profesyonel anlamda doğrudan toplumu etkileyecek kötü Fen ve kötü Mühendislik uygulamaları da etik açıdan değerlendirilmiştir. Fen ve Mühendislik alanlarında yapılan çalışmanın muhtemel sonuçlarının iyi hesaplanması ve insana ve doğaya muhtemel zararlar söz konusu ise o çalışmanın yapılmaması vurgulanmıştır. Özellikle Mühendislik alanında güçlü binaların inşa edilmesi, dinamit gibi teknolojilerin sadece iyi amaçlar için kullanılması, kişisel bilgilerin online platformlarda paylaşılmaması ve çalışılan firmaya yönelik üretilen ürün ile ilgili sınırlamalara dikkat edilmesi gibi etik normlar ifade edilmiştir. Matematik alanında ise akademik çalışmalar ile ilgili genel bilimsel etiklerin dışında halk ile doğrudan temasın sınırlı olması nedeniyle iyi Matematik ve kötü Matematik ayrımını yapmanın zor olduğu ancak bazı Matematikçilerin özellikle nükleer araştırmalara

katkıda bulunma konusunda endişelerinin olduğu belirtilmiştir. Genel olarak bakıldığında PNB (Funcovitz ve Ravetz, 2003; Ravetz, 2012) ile uyumlu olarak Fen, Matematik ve Mühendislik alanlarında hem akademik hem de profesyonel yaşam ile ilgili bazı etik unsurların önemli olduğu ve örneğin nükleer santrallerin kurulması konusunda halkın karar vermesi noktasında bu etik unsurların halk ile net bir şekilde paylaşılmasının önemli olduğu gözlenmiştir.

5. SONUÇ VE PEDAGOJİK ÖNERİLER

Her ne kadar STEM eğitimi STEM iş gücünün azalması (Bybee, 2010) gibi bir çıkış ile temellendirilmeye çalışılsa da günümüzde nükleer santrallerin kurulması, GDO'lu besinler ve yapay zeka gibi sosyobilimsel konuların anlaşılması ve bu konularda sağlıklı kararlar verilmesi sadece Normal Fen değil Matematik, Uygulamalı Fen ve Mühendislik süreçlerinin de sürece dahil olmasını ve öğrencilerin bu alanlarda da gerekli bilgi, beceri ve duyuşsal unsurlarla donatılmasını gerektirmiştir (Kılınç, Demiral ve Kartal, 2017). Öte yandan STEM alanlarının nasıl yan yana getirileceği ile ilgili hem felsefi hem de pratik anlamda muallak durumlar söz konusudur (Williams, 2011; Zeidler, 2016). Dolayısıyla bu çalışmada STEM için PNB kapsamında pedagojik bir çerçeve oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu çerçevede yer alan beş boyutun her birinin birer öğrenme alanı olarak kabul edilebileceği düşünülmüş ve bu boyutlar Şekil 3'te gösterilmiştir

Pedagojik anlamda bu öğrenme alanlarının hangi öğretim süreçleri ile ilişkilendirileceği noktasında gelecek çalışmalara ihtiyaç olduğu aşikardır. Ancak iki durumun bu stratejilere yön verebileceği düşünülmektedir. Birinci durumda belirtilen öğrenme alanlarına ait kavramlar, beceriler ve duyuşsal unsurlar ortaya çıkarılıp bunların farklı örnekler ile açık bir şekilde öğretimi söz konusu olabilir. İkinci durumda ise özellikle dördüncü öğrenme alanı (Post-normal soruların kanıta dayalı olarak cevaplanması) baz alınarak tek bir bağlamda farklı alanların nasıl beraber çalıştıkları, aralarındaki ortak yanlar ve farklılıklar, bu alanların toplumla olan ilişkileri ve etik boyutlar üzerine öğrenci merkezli ve sorgulamaya dayalı öğrenmeler yapılabilir.

Geliştirilen pedagojik çerçevenin Ülkemizde ortaokul ve lise programlarına dahil edilen STEM odaklı ünitelerin işlenmesinde öğretmenlerimize ve öğrencilerimize yardımcı olacağı düşünülmektedir. Pratik anlamda bakıldığında bir Fen Bilimleri öğretmeni 'Erozyon ve önlenmesi' gibi bir bağlamı tercih edebilir. Bu bağlam ile ilgili çok sayıda

post-normal soru üretebilir: ‘Erozyonla kaybedilen toprak miktarında hangi faktörler etkilidir ve bu faktörler kullanılarak bir erozyon denklemi kurulabilir mi? (Matematiksel Soru)’, ‘Bir derede suyun akış hızında etkili olan faktörler nelerdir? (Normal Fen Sorusu)’, ‘Bir dere kenarında erozyon neden olur? (Normal Fen Sorusu)’, ‘Erozyonun önlenmesinde ağaçlandırma mı yoksa suyun debisinin değiştirilmesi mi daha etkilidir? (Uygulamalı Fen Sorusu)’, ‘Erozyonun yoğun olarak yaşandığı bir dere yatağında nasıl bir çözüm, var olan su ve kara ekosisteme en az zararı vererek erozyonu önleyebilir (Mühendislik Sorusu)?’ ‘Elektrik üretiminde kullanılan HES’ler erozyona neden olur mu? (Matematik, Normal Fen, Uygulamalı Fen ve Mühendislik gerektiren PNB Sorusu). Bu sorular farklı post-normal alanlar tarafından çözümlenecektir. Bazıları sadece Matematiksel modellerle, bazıları gözlem ve deney düzenekleri (Normal Fen ve Uygulamalı Fen) ile bazıları ise Mühendislik gerektiren çözümlerle ve bazıları bütün alanları gerektirecek şekilde cevaplanacaktır (Şekil 2). Bu süreçlere aktif olarak katılan öğrencilerin bu sırada alanlar ile ilgili tanımlamalar, karşılıklı ilişkiler (Şekil 1 ve Tablo 3), alanların doğası, alanlar arası geçişler ve etik boyutlar ile ilgili bilgileri kendilerinin üretmesi sağlanabilir.

Öğrenme Alanı 1. Matematik, Fen, Mühendislik ve Teknolojiyi tanımları

Öğrenme Alanı 2. Matematik, Fen, Mühendislik, Teknoloji ve Toplum arası ilişkiler

- 2.1. Bilimsel sorudan teknolojiye alanlar arasındaki ilişkiler
- 2.2. Bilimsel sorudan teknolojiye alanların toplumla ilişkileri
- 2.3. Alanların birer özel topluluk halinde hareket etmesi
- 2.4. Halkın post-normal bilimi algılaması, karar verme ve sosyal

değişim

Öğrenme Alanı 3. Matematik, Fen ve Mühendislik arasındaki ortak yanlar, farklılıklar ve birbirlerinden yararlanma durumları

- 3.1. Alan çiftleri arasında ortak yanlar
- 3.2. Alan çiftleri arasında farklılıklar
- 3.3. Alanların birbirlerinden yararlanma durumları

Öğrenme Alanı 4. Post-normal soruların kanıta dayalı olarak cevaplanması

- 4.1. Matematiğin Doğası ve Matematiksel Sorgulama
- 4.2. Fenin Doğası ve Bilimsel Sorgulama
- 4.3. Mühendisliğin Doğası, Dizayn ve Teknoloji Odaklı Sorgulama
- 4.4. Post-normal bilimin doğası ve Alanlar arası geçişler

Öğrenme Alanı 5. Etik boyutlar

- 5.1. Alanlarda akademik etik
- 5.2. Alanlarda profesyonel etik

Şekil 3. STEM için Pedagojik Çerçeve

6. SINIRLILIKLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Normalde PNB çerçevesinde Normal Fen, Uygulamalı Fen ve Mühendisliğin yanında Profesyonel Danışmanlık ve Post-normal Fen de yer almaktadır. Ancak son iki unsur var olan STEM ile ilgili pedagojik çerçevelerde yer almadığı için hem görüşme sorularında hem de oluşturulan pedagojik çerçevede kullanılmamıştır. Ancak özellikle lise seviyesinde örneğin Domuz Gripi vakasında verilerin sınırlı olduğu durumlarda bilim insanlarından Profesyonel Danışmanlık hizmeti alındığı ya da kanser gibi hastalıklarda uygun terapi yönteminin belirlenmesinde belirsizlik prensipleri ile çalışan Post-Normal Fen'den yararlandığı vurgulanabilir. Böyle bir durumda Şekil 2'de gösterilen Post-Normal soruları cevaplayacak alanlar genişleyecek ve yeni soru formları oluşturulabilecektir. Bu noktada ilgili bilim insanları ile bütün PNB'yi kapsayan görüşmeler yapılabilir ve kalan iki alanın da sürece dahil edilmesi sağlanabilir.

Bir diğer sınırlılık ise verilerin sadece Türkiye'deki bir üniversiteden toplanmış olmasıdır. Bu durumda geliştirilen çerçeve bu üniversitedeki STEM anlayışını barındırmış olabilir. Bu kapsamda Türkiyede'ki ve dünyadaki diğer STEM alanları bilim insanları ile benzeri görüşmelerin yapılması oluşturulan pedagojik çerçeveyi güçlendirecektir.

Son olarak üretilen pedagojik çerçevenin sadece öğrenme alanlarına odaklandığı gözlenmektedir. Bu noktada kazanımlar, öğretim stratejileri, ölçme-değerlendirme süreçleri, öğretmen ve öğrenci rolleri ve öğretim vizyonu gibi bir öğretim programının temel parçalarını oluşturan diğer unsurlar (Tyler, 2013) da geliştirilebilir. Bu geliştirme süreçlerinde öğretmenlerin ve eğitim üzerine çalışan akademisyenlerin görüşleri alınabilir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri programı çerçevesinde yürütülen OUAP(E)-2015/17 nolu araştırma kapsamında gerçekleştirilmiştir. Uludağ Üniversitesi'ne bu destek için teşekkür ederiz.

8. REFERANSLAR

Akgündüz, D., Aydeniz, M., Çakmakçı, G., Çavaş, B., Çorlu, M. S., Öner, T. & Özdemir, S. (2015). STEM eğitimi Türkiye raporu: Günün modası mı yoksa gereksinim mi? [A report on STEM Education in Turkey: A

provisional agenda or a necessity?][White Paper]. İstanbul Aydın Üniversitesi: STEM Merkezi ve Eğitim Fakültesi. Retrieved from <http://www.aydin.edu.tr/belgeler/IAU-STEM-Egitimi-Turkiye-Raporu-2015.pdf>

- Biological Sciences Curriculum Study (2007). *A decade of action: Sustaining Global Competitiveness*. Executive Summary. Colorado Springs, CO:BSCS.
- Boyd, R., Gasper, P. Ve Trout, J.D. (1999). The philosophy of science. London: MIT press.
- Bunge, M. (2014). Philosophical inputs and outputs of technology. In R. Scharff and A. ValDusek (Eds). *Philosophy of Technology* (pp = 191-200). Oxford: Blackwell.
- Business Roundtable. (2005). *Tapping America's potential: The education for innovation initiative*. Washington, DC.
- Bybee, R. W. (2010a). The teaching of science: 21st century perspectives. Arlington, Virginia: NSTA Press
- Bybee, R. W. (2010). What is STEM education? *Science*, 329, 996. doi: 10.1126/science.1194998
- Bybee, R. W. (2013). The case for STEM education: Challenges and opportunities. Arlington: NSTA Press. Carneval, A. P., Smith, N., & Melton, M. (2011). *STEM*. Washington, DC: Center on Education and the Workforce
- Charmaz K. (2014). *Constructing grounded theory*. 2nd ed. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Clark, P. (2014). Mathematics. In M. Curd ve S. Psillos (Eds). *The Routledge Companion to Philosophy of Science*. London: Taylor and Francis.
- Duncan, A. (2009). Secretary Arne Duncan's remarks to the President's Council of Advisors on Science and Technology. Retrieved from <http://www2.ed.gov/news/speeches/2009/10/10232009.html>.
- European School Net (2017). *STEM*. <http://www.eun.org/focus-areas/stem> adresinden 14.11.2017 tarihinde ulaşılmıştır.
- Funtowicz, S. O., & Ravetz, J. R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures*, 25(7), 739-755.
- Franssen, M. (2014). Analytic Philosophy of Technology. In R. Scharff and A. ValDusek (Eds). *Philosophy of Technology*(pp= 201-204). Oxford: Blackwell.
- Kılınç, A., Watt, H. ve Richardson, P.(2012). Factors influencing teaching choice in Turkey. *Asia Pasific Journal of Teacher Education*. 40(3), 199-226.

- Kılınç, A., Demiral, U., & Kartal, T. (2017). Resistance to dialogic discourse in SSI teaching: The effects of an argumentation-based workshop, teaching practicum, and induction on a preservice science teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(6), 764-789.
- Kuhn, T.S., 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Milli Eğitim Bakanlığı (MEB). (2017a). Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı. Ankara <http://mufredat.meb.gov.tr/ProgramDetay.aspx?PID=143> adresinden 10.11.2017 tarihinde elde edilmiştir.
- Milli Eğitim Bakanlığı (MEB). (2017b). Fizik Dersi Öğretim Programı. Ankara <http://mufredat.meb.gov.tr/ProgramDetay.aspx?PID=174> adresinden 10.11.2017 tarihinde elde edilmiştir.
- Milli Eğitim Bakanlığı (MEB). (2017c). Kimya Dersi Öğretim Programı. Ankara XXX adresinden elde edilmiştir. <http://mufredat.meb.gov.tr/ProgramDetay.aspx?PID=178> adresinden 10.11.2017 tarihinde elde edilmiştir.
- Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) (2016) STEM Eğitim Raporu. http://yegitek.meb.gov.tr/STEM_Egitimi_Raporu.pdf adresinden 10.11.2017 tarihinde elde edilmiştir.
- Mitcham, C. ve Schatzberg, E. (2009). Defining technology and Engineering Sciences. In D. Gabbay, P. Thagard and J. Woods (Eds). *Philosophy of Technology and Engineering Sciences*(pp 27-63). Amsterdam: Elsevier.
- National Research Council (NRC). (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Science Foundation. (2010). *Preparing the next generation of STEM innovators: identifying and developing our nation's human capital*. Retrieved from <http://www.nsf.gov/nsb/publications/2010/nsb1033.pdf>.
- Patton, M. (1990). *Qualitative evaluation and research methods* (pp. 169-186). Beverly Hills, CA: Sage.
- Ravetz, J. (2012). The significance of the Hamburg workshop: Post-normal science and the maturing of science. *Nature and Culture*, 7(2), 133-150.
- Rokeach, M. (1968). *Beliefs, attitudes, and values: A theory of organization and change*. San Francisco: Jossey-Bass

- Schadewalt, W. (2014). The Greek concepts of 'nature' and 'technique'. In R. Scharff and A. ValDusek (Eds). *Philosophy of Technology* (pp = 25-32). Oxford: Blackwell.
- Snow, C.P. (1964). *The two cultures*. Cambridge: Cambridge University Press
- Türkiye Sanayiciler ve İş Adamları Derneği (TUSİAD) (2017). 2023'e doğru Türkiye'de STEM gereksinimi. Adresinden 14.11.2017 tarihinde ulaşılmıştır.
- Tyler, R. W. (2013). *Basic principles of curriculum and instruction*. University of Chicago Press.
- Williams, J. (2011). STEM education: Proceed with caution. *Design and Technology Education: An International Journal*, 1(16), 26-35. Yazar, 2017.
- Yin, R. K. (2013). *Case study research: Design and methods (Applied Social Research Methods)* (5th Ed.). United States of America: Sage Publications, Inc.
- Zeidler, D. (2016). STEM education: A deficit framework for the twenty first century? A sociocultural socioscientific response. *Cultural Studies of Science Education*, 11(1), 11-26.

STEM academicians' beliefs about the relationships between Science, Mathematics, Engineering and Technology: A pedagogical framework for STEM

ABSTRACT

STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) is an abbreviation that is on the agenda of educational platforms both in Turkey and around the world in recent times. When it comes to STEM education, it is an educational reform that has been put on the table of American educators particularly by industrial leaders due to the lack of workforce in the STEM areas. In parallel with these developments, this education has been incorporated into Turkish Science Education programs. Both the dissimilarity of the starting points and uncertainties as to how this education would be applied in school environments in terms of content, learning outcomes and purposes are crucial problems for Turkish context. At this point, the purpose of the present study was to uncover the STEM academicians' beliefs about the relationships between Science, Mathematics, Engineering and Technology and to develop a pedagogical framework using a Post-Normal Science (PNS) approach. We conducted semi-structured interviews with 17 STEM academicians who were the experts in one of the STEM areas in one of the top universities in Turkey. The questions about definitions of Science, Math, Engineering and Technology, the relationships among these areas and society and the importance of ethics in these areas were asked. After the content analysis of the transcripts, we concluded that a pedagogical framework for STEM could be developed and it could include five dimensions: 1) The definitions of Science, Math, Engineering and Technology, 2) The relationships among Science, Math, Engineering, Technology and Society, 3) Common aspects, differences and benefiting from each other, 4) Responding post-normal questions based on the evidence, 5) Ethical aspects.

Key Words: STEM, STEM Education, Post-normal Science, Scientists.

1. INTRODUCTION

STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) has become one of the words that Science and Math educators and even Art and Social Studies educators (STE-A-M) have most frequently heard in the last couple of years. Even if STEM is the abbreviation of the words Science, Technology, Engineering and Math, when it becomes 'STEM education', it raises the questions such as 'Is it an educational theory? (for educational scientists) or 'Is it a learning/teaching strategy?' (for the teachers) At this point, it is important to put (or don't put) STEM and STEM education into correct place within existing theories and strategies.

STEM has become popular in the USA in the beginning of 2000s. STEM areas are considered to be main drivers of becoming a super power. However, the decreases in the number of applicants to STEM majors were considered an important problem for the USA's future (Bybee, 2010; National Science Foundation, 2010; National Research Council, 2012). Particularly the fact that American students much commonly chose social sciences than STEM areas for the university education and that the Indian and Chinese qualified workforce preferred working in their own countries due to healing conditions were considered the main reasons for the lack of work force in the USA (Business RoundTable, 2005). These trends resulted in the intervention of industrial leaders having enormous economical power into the educational processes in the USA. These leaders have pioneered the preparation of a range of reports (Tapping America's potential: The education for innovation initiative [Business RoundTable, 2005]; A decade of action: Sustaining Global Competitiveness [BSCS, 2007]) and they strongly emphasized the upcoming lack of STEM workforce.

The American government that was influenced by these developments produced a strategy highlighting the importance of enhancing school students' interest in STEM areas (Duncan, 2009). This strategy was reflected to Next Generation Standards document that had the potential to influence the Science and Math education in the American schools (National Research Council, 2012). In addition to the increase in the number of applications to STEM areas, many educational components such as STEM literacy and enhancement of America's position in the PISA and the TIMSS examinations were incorporated into this document as the justifications. The K-12 Science Framework (National Research Council, 2011) was also developed using these standards and suggested to use in the classrooms in all of the states. In this framework, it was emphasized that Science, Engineering and Technology were important components of the modern life and that some knowledge about Science and Engineering could influence public's decisions such as choosing among medical interventions or among heating systems. This framework had covered three dimensions: 'Scientific and Engineering practices', 'Cross-cutting concepts' and 'Disciplinary core ideas'. In science and engineering practices, it was emphasized that students' engagement with science and engineering practices was crucial in understanding what scientists and engineers were doing and the relationships between science and engineering. As scientific and engineering practices, a list covering components such as 1) Probing question (for science) and describing problems (for engineers), 2) Developing and using models, 3) Planning and carrying out investigations, 4) Analyzing and interpreting data,

5) Using mathematical and computational thinking, 6) Constructing explanations (for science) and designing solutions (for engineers), 7) Engaging in argument produced from evidence, 8) Obtaining, evaluating and communicating information were suggested. Looking at this list, we can argue that the scholars planned some common practices for both science and engineering. As ‘Cross-cutting concepts’, 1) Patterns, 2) Cause and effect: Mechanism and explanations, 3) Scale, proportion and quantity, 4) Systems and system models, 5) Energy and matter, flows, cycles and conservation 6) Stability and change were listed. In addition, ‘Core disciplinary ideas’ were constructed within four disciplines such as 1) Physical sciences, 2) Life sciences, 3) Earth and space sciences, and 4) Engineering, Technology and Applications of Science. For the last discipline, engineering design and the relationships between engineering, technology, science and society were also emphasized.

These developments within the space of industry-school-politics in the USA have also found a place in the European countries’ educational programs. In parallel with the USA, the European countries also experience same problems in the STEM workforce and have acted by taking similar precautions. At this point, engineering- and technology-oriented components were incorporated into science education programs in some European countries despite the proportion was not as much as that in the USA (European School Net, 2017).

Looking at Turkish context, even if the reason for the problem is different, it was emphasized that Turkey would experience the decreases in the STEM workforce in near future. The Turkish Industry and Business Association (TUSIAD, 2017), for example, estimated that the employment number would be about 34 million for all employment areas in 2023 and 3.5 million out of this number would be in the STEM areas. In addition, this organization considered that the employment demand in the STEM areas would be about 1 million in the term between 2016 and 2023 and Turkey would not meet 31 % of this demand. There are some strategy reports regarding STEM and STEM education prepared by different organizations (TUSIAD[2017], a private university [Akgunduz et al., 2015] and Ministry of National Education [MNE, 2016]) in Turkey. By strongly inspiring from the USA context, it was emphasized that Turkey would experience similar problems, that it was necessary to develop urgent action plans in order to enhance the competitiveness of the Turkish industry and that MNE needed to act shortly. The MNE taking these suggestions into account incorporated scientific practices and engineering-technology oriented dimensions into middle school science and high school physics, chemistry and biology

programs that were updated at the beginning of 2017. In the middle school science teaching program (MNE, 2017a), for example, a unit ‘Applied Science: Scientific and Engineering Practices’ were incorporated into each year’s programs (Grades 5, 6, 7 and 8). In this updated program, as in the USA context, in addition to the problems in the STEM workforce, the Turkish students’ achievement scores in the PISA and the TIMSS examinations and the importance of STEM-oriented skills were used as the justifications. In addition, making students to use an interdisciplinary perspective by integrating science, math, engineering and technology, asking teachers to guide students in this integration and to enable them to use higher-order thinking skills and produce products were the pedagogical goals of this reform. Similar to middle school level, ‘The technological applications of modern physics’ were incorporated into Physics teaching programs (MNE, 2017b) and ‘Energy resources and Scientific developments’ were added into Chemistry teaching programs at high school level (MNE, 2017c).

1.1. Critical Approach

Looking at the critics about STEM and STEM education, three points were particularly offered by the scholars:

1.1.1. The development of STEM and STEM education without educational inputs:

STEM was particularly put forwarded by industrial leaders and then left to the tables of educators (Williams, 2011). The decreases in the STEM workforce resulted in the intervention of managers and experts from the platforms of economics and business to the school education by a simple policy such as ‘somehow bridge the gap!’ The fact that they did not take educators’ opinions into account and that producing workforce, economic competitiveness and marketing were particularly emphasized without considering moral dimensions were declared in different platforms (Zeidler, 2016). This situation caused both American and Turkish teachers to face uncertainties on what, how and why to teach STEM-oriented units.

1.1.2. Can STEM areas be come together?:

Bybee (2013), in his STEM education perspectives, suggested that STEM could be used instead of science or math or it could cover both science and math or it could be understood as science covering technology, engineering and math or it could be a course offering pieces from each area or it could put science and math together by means of technology and engineering or it could be considered as an integrated system covering

coordination among the areas in terms of concepts, processes and resources. However, the scholars argued that there were uncertainties on how these areas come together and how this combination could become a pedagogical structure (Williams, 2011; Zeidler, 2016).

Science, for example, assume that there are certain entities in the nature and they are together thanks to certain laws and mechanisms. The purpose of science is to uncover these mechanisms and patterns in order to produce knowledge by a wonder-oriented intuition. On the other hand, in math, there are structures such as numbers and lines that are not dependent on time, space and sensual observations as well as that present a different meta-reality. These structures construct a language representing natural and unnatural processes and the entities (Clark, 2014; Horsten, 2017). Looking at engineering, there is a shift from the beings that ‘already exist’ in science and the beings that ‘do not already exist’ in math to the beings that ‘should be existed’ (Bunge, 2014; Franssen, 2014). The engineering targets social benefit and uses scientific and mathematical knowledge to produce solutions, structures and products (Mitcham & Schatzberg, 2009).

From this lens, we can argue that there are differences regarding ontologies among science, math and engineering and these differences inform the epistemologies of these areas. In scientific knowledge, for example, the knowledge is based on observation-oriented empirical evidence (a posteriori) and has the potential to be revised by future studies. On the other hand, math progress by logical chains and does not require physical evidence (a priori). In addition, mathematical knowledge has limited potential to be revised by future studies (Clark, 2014; Horsten, 2017). On the other hand, engineering produces procedural knowledge focusing on the needs and its knowledge experiences revisions according to how much it meets the needs. At this point, the difference between the terms ‘Techne’ and ‘Episteme’ in ancient Greek is important. Techne, as the root of the term ‘technology’, is a knowledge type focusing on the production and realization and that located between experience (know-how or Emperia) and theoretical knowledge (Episteme). Techne has the potential to be revised and altered, whereas Episteme, as in mathematics, is used as the knowledge that is pure and unchanged (Schadewaldt, 2014).

One another situation about the possibility of putting the areas together is related to sociology of science (Kuhn, 1962). Mathematicians, scientists and engineers have been exposed to different enculturation and trainings at least at the university and graduate levels. The demarcation between the areas have easily been emerged because there are differences

among the areas in terms of communication channels and the symbols (Kuhn, 1962; Snow, 1964).

There are also different approaches regarding the relationships among the areas. For example, certain scholars considered technology as ‘applied science’; however, this approach was rebutted in following stages. One another group of researchers believed that technology was ‘finalized science’ and that science progressed via external social goals and benefits whether deliberately or undeliberately. One another situation is making associations between science and technology in terms of experimentation and observation. In this association, it was considered that scientists, as engineers did, designed the produced knowledge independent from the nature via observations and experiments (Mitcam & Schatzberg, 2009). Some researchers, on the other hand, came together under the idea that science was the technology (Techno-science). In this approach, it was believed that both scientists and engineers realized practical processes such as intervention, argumentation and construction and that the materialism was crucial for both of the areas. They also considered that science became ‘big science’ and required an industrial organization (Mitcam & Schatzberg, 2009). About mathematics, it was believed that math translated the relationships within science and engineering into the models by certain symbols and that these models were then used in the predictions and explanations of the relationships. However, in the pure math areas in which there was no any application, it was known that there was a different type of math that did not produce applications and progressed within a different ontological space (Horsten, 2017).

Taken together, about possibility of putting STEM areas together, it can be argued that areas covered clear differences in terms of ontologies, epistemologies and sociologies but they influenced and leaked into each other in the practical processes.

1.1.3. The justifications for STEM education are not the same for Turkey and USA:

Even if it was emphasized that the STEM workforce faded in the USA and this stemmed from the decrease in the interest in these areas, using such a justification for Turkish context is problematic. We know that many departments of physics, chemistry, biology and math in many Turkish universities in the last years were closed due to the lack of students (Hürriyet, 2015). However, we cannot explain this problem by the fact that students found these departments tough to study or due to the enhancement in their interest in social majors. The medicine, some engineering

departments and the science departments in some top universities, for example, still attract many students. At this point, we are aware that the slogans such as ‘guaranteed job’ and ‘reliable profession’ (health insurance, reliable income, etc.) are crucial in the selection of majors in the Turkish context (Kılınç, Watt & Richardson, 2012).

We can argue that one of the fundamental reasons for the problem in Turkish context may be the fact that the departments of science and math have educated many students that do not meet the expectations of entrepreneurs and industrial organizations and that they have not targeted the certificates that are easily usable in the market. This situation has resulted in many unemployed graduates and follow up closed departments. While there is such an important difference, we argue that transferring STEM education to Turkey as if there are similar starting points would result in new problems in the near future. At the end, while there are some other solutions such as building workforce and industrial capacity in the respected areas and revising university programs according to the demands of industry, using the starting point such as enhancement of student interest in STEM areas would be a myopic approach in the Turkish context. In other words, not to be able to find jobs in the industry despite enhanced interest in the STEM areas would result in much more number of empty seats in the university classrooms and loose of money despite long-term educational investments.

1.2. Can the PNS be a starting point?

We believe that knowing how mathematics, normal science, applied science and engineering come into play in the continuum from science through the technology can present an efficient and extended pedagogical structure about the modern life that is equipped with the products of science and technology even if STEM is transferred from different contexts without thinking of the context-oriented variables, without considering it in terms of philosophical and sociological coherence and without taking educational inputs into account. In addition, knowing propositional, procedural and moral components of knowledge not only about science but also about engineering and technology when people decide on socioscientific issues such as nuclear plants, artificial intelligence, global warming and GM foods is a crucial part of current scientific literacy (Kılınç, Demiral, & Kartal 2017; Zeidler, 2016). This situation means that STEM is somehow necessary but it needs a different starting point. We believe that the increasing attention of entrepreneurs, governments and educators on STEM can effectively be used by building a philosophical and sociological background that is based on the Post Normal Science (PNS) (Funtowicz & Ravetz, 2003; Ravetz, 2012).

The PNS is a more overarching framework presenting the areas both independently and nested in compare to the approaches such as technology as applied science, technology as finalized science and technology as science (Mitcham ve Schatzberg, 2009). The PNS is different from normal science that was emphasized by Thomas Kuhn (1967). Normal science has the nature of progressing by puzzle-solving with the powerful wonder, whereas the science of the last three decades has shifted its direction through a post-normal point emphasizing working on complex humanistic problems (such as global warming and cancer) under the uncertainties and taking the needs of humans into account. In addition, the uncertainties are not permitted and values are not used in decision-making processes of normal science, whereas uncertainties are managed and values are explicitly shared in the PNS. In addition, the nature is not independent from the human; it is considered by its relationships with the humans in the PNS. As one another point, in the PNS, the produced knowledge is not only evaluated by the scientists but also by other stakeholders such as public, media, politicians and so on. Ethical dimensions are also an important part of these evaluations (Funtowicz & Ravetz, 2003; Ravetz, 2012).

In the PNS (Funtowicz & Ravetz, 2003; Ravetz, 2012), there are four nested structures: 1) Normal science that has progressed by the wonder and puzzle-solving, 2) Applied science covering normal science and producing knowledge according to customer's demands, 3) Professional consultancy covering both normal and applied science and presenting suggestions based on the data analysis under uncertain conditions, and 4) Post-normal science covering previous three areas and that is based on predictions and uncertainties. The engineering here is between applied science and professional consultancy because it uses the features of both of these areas.

1.3. Research Purpose

The purpose of present study was to uncover the beliefs of the leading academicians working in STEM fields in Turkey about relationships between science, mathematics, engineering and technology and to create a pedagogical framework for STEM using the PNS approach and these beliefs.

2. METHOD

Present study was a multiple case study. The analyze unit of the research was the belief systems of the STEM academicians (17 academicians) about the descriptions, relationships and ethical dimensions

regarding STEM. Rokeach (1968) defined beliefs as the propositions derived from what someone has said consciously or unconsciously. Likewise, beliefs used in the same way (as the responses given) by the academicians in the interviews were selected and especially the differences related to the branches (or between the cases) were examined.

2.1. The selection of the academicians

In the selection of the academicians, it was first decided that the university from where the academicians would be selected should include the departments of fundamental sciences and engineering that were ranked in top positions according to the international ranking agencies (e.g., World Universities Rankings). At this point, one of the top universities in Turkey was considered to be appropriate.

Purposeful sampling procedures (Patton, 1990) were used so that selected academicians in the STEM fields can adequately represent each field. For this purpose, the online accessible CVs of the academicians in physics, chemistry, biology, mathematics and engineering departments of the selected university were examined and their study areas were taken into consideration. We were careful in selecting the academicians who did not work on similar research topics in the same field, and in particular in selecting individuals from both theoretical and applied fields. At this point, a total of 22 academicians, three from each of the fields of physics, chemistry, biology and mathematics and 10 from the engineering field were contacted via e-mail. The aims of the study, the fact that participation was based on voluntary principles and that we were willing to come to their office for a short time interview were stated in the e-mail. As a result, 15 academicians displayed in Table 1 accepted our invitation. Other academicians either expressed that they would not be able to participate in the study due to their workload or did not respond the e-mail. Also, in an attempt to diversify the study data, we contacted one academician from instructional technologies and one another from philosophy departments via the e-mail and a sample of 17 people were formed with their inclusion.

Table 1. Some features of the academicians in the sample

Academicians No	Title	Department	Major	Master	Ph D
AC 1	Professor	Civil Eng.	Civil Eng.	Coastal Eng.	Coastal Eng.
AC 2	Assoc. Prof.	Mechanical Eng.	Mechanical Eng.	Mechanical Eng.	Mechanical Eng.
AC 3	Assoc. Prof.	Mechanical Eng.	Mechanical Eng.	Mechanical Eng.	Heat Transfer
AC 4	Assoc. Prof.	Mechanical Eng.	Mechanical Eng.	Mechanical Eng.	Mechanical Eng.
AC 5	Asst. Prof	Electrical- Electronic Eng.	Electrical- Electronic Eng.	Electrical- Electronic Eng.	Electrical- Electronic Eng.
AC 6	Professor	Computer Eng.	Computer Eng.	Computer Eng./ Information Science	Computing
AC 7	Assoc. Prof.	Biology	Biology	Biology	Molecular and Cellular Biology
AC 8	Asst. Prof.	Biology	Biology	Biology	Biology
AC 9	Assoc. Prof.	Chemistry	Chemistry	Theoretical Chemistry	Physical Chemistry
AC 10	Professor	Chemistry	Chemistry	Chemistry	BioChemistry
AC 11	Professor	Physics	Physics/Mathematics	Condensed Matter Physics	High Energy Physics
AC 12	Assoc. Prof.	Physics	Physics	Physics	Physics
AC 13	Professor	Mathematics	Mathematics	Mathematics	Mathematics
AC 14	Professor	Mathematics	Electrical- Electronic Eng.	Mathematics	Mathematics
AC 15	Professor	Mathematics	Electrical- Electronic Eng.	Mathematics	Mathematics
AC 16	Professor	Instructional Technologies	Mathematics	Computer Eng.	Cognitive Science / Instructional Technology
AC 17	Professor	Philosophy of Science	Philosophy	Geological Eng.	Geology

2.2. Semi-structured Interviews

Five groups of interview questions were produced in order to uncover the beliefs of the academicians. In the first group, background information and study fields of academicians were asked. In the second group, academicians were asked to define science, mathematics, engineering and technology. In the third group, academicians were asked to draw a model in which they can explain the relationships between science, mathematics, engineering, technology and society. They were also asked to further explain these relationships in a real example. In the fourth group, the STEM fields were matched as the binary pairs (such as science and engineering) and the common thinking tools, how one field benefit from one another and the differences between the fields in terms of production of

scientific knowledge were asked. In the last group, the role of ethics in the STEM fields was questioned.

In the production of these questions, the PNS approach (Funtowicz and Ravetz, 2003; Ravetz, 2012), the philosophical (ontological and epistemological) and sociological nature of the STEM fields (e.g., Boyd, Gasper & Trout, 1999; Clark, 2014; Mitcham & Schatzberg, 2009), educational reforms related to STEM (European School Net, 2017, MNE, 2017; National Research Council, 2012), and criticisms about these reforms (Williams, 2011; Zeidler, 2016) were taken in consideration. In addition, the opinions of two science educators, one mathematics educator and one another researcher particularly studying STEM education were consulted. One of the science educators expressed that the inclusion of ethically oriented questions would strengthen the study. Researchers working on STEM education suggested creating pairs using the fields of STEM and asking their common and different features. In addition, researchers have made some language-based corrections and suggestions to ease the understanding of the questions. In addition, the approval of the Ethics Committee of a university was obtained for the interview questions.

The final version of the semi-structured interview questions is given in Table 2. First two groups of question about the personal information, descriptions and the relationships were asked to all of the academicians. However, for example, the place of the ethics was asked only to the engineering academicians. By this way, the department-specific beliefs were uncovered within the other groups of questions.

Table 2. Semi-structured interview questions

	Science	Math.	Engin.	Phil.
1. Could you please introduce yourself briefly? Your education, work experience and study areas.	+	+	+	+
2 Could you please describe in your own terms? (a. Science, b. Technology, c. Mathematics, d. Engineering)	+	+	+	+
3a. Could you please draw a model on a paper where you show the relationships among science, math, technology and engineering and please explain them?	+	+	+	+
3b. If you incorporate ‘society’ into your model, how could you explain its position and its relationships with the other components?	+	+	+	+
4. Could you please give an example in which you can contextualize these relationships?	+	+	+	+
5a. Could you please explain cross-cutting concepts and study areas between following pairs: a. Science and Math, b. Science and Engineering (Prompts: history, problems and solutions, methods and procedures, thinking tools, etc.)	+			
5b. Could you please explain cross-cutting concepts and study areas between following pairs: a. Science and Math, b. Math and Engineering (Prompts: history, problems and solutions, methods and procedures , thinking tools, etc.)		+		
5c. Could you please explain cross-cutting concepts and study areas between following pairs: a. Science and Engineering, b. Math and Engineering (Prompts: history, problems and solutions, methods and procedures , thinking tools, etc.)			+	
5d. Could you please explain cross-cutting concepts and study areas between following pairs: a. Science and Engineering, b. Math and Engineering, c. Science and Math (Prompts: history, problems and solutions, methods and procedures , thinking tools, etc.)				+
6a. How do you think that scientists use math in their works?	+	+		+
6b. How do you think that scientists use engineering in their works?	+		+	+
6c. How do you think that engineers use science in their works?	+		+	+
6d. How do you think that engineers use math in their works?		+	+	+
7a. Is there any difference between how engineers use science and how scientists use science in their works?	+		+	+
7b. Is there any difference between how mathematicians use math and how engineers use math in their works?		+	+	+
7c. Is there any difference between how mathematicians use math and how scientists use math?	+	+		+
8a. Could you please explain the place of ethics in science?	+			
8b. Could you please explain the place of ethics in math?		+		
8c. Could you please explain the place of ethics in engineering?			+	
8d. Could you please explain the place of ethics in science, math and engineering respectively.				+

+: The question was asked.

After the e-mail correspondence, the academicians who responded positively were contacted by the telephone in order to conduct semi-structured interviews. The general objectives of the study were summarized again and we agreed to meet at a suitable day and time on the telephone. Semi-structured interviews were carried out by the second and third authors by using audio recording tools in the academicians' offices.

2.3. Data Analysis

Content analysis procedures were utilized and three steps were considered in the data analysis (Patton, 1990). During the *preparation* phase, the interview transcripts were read twice by two authors, and notes regarding possible beliefs to be selected were taken. In the *belief selection* phase, open codes (Charmaz, 2014) were used and the fundamental beliefs expressed in the statements used by each academician were selected. Excessive examples and the expressions that were not essential in the discourse were then excluded from these beliefs. In the *thematic grouping* phase, axial coding was done (Corbin & Strauss, 2014). At this stage, comparisons were made between the selected beliefs of the academicians within the branch and among different branches and the common or different beliefs were written in a thematic way. In addition, example quotations representing each group of thematic beliefs were chosen.

2.4. Validity and Reliability

The validity and reliability procedures of the naturalistic inquiry (Lincoln & Guba, 1985) were used. Even though a long-term study was not conducted with academicians, attention was paid to factors such as *peer agreement, prejudice management, examination of negative data, and detailed information*. For the *peer agreement*, the two authors analyzed the data by first independently working and by then making iterative comparisons together. The new data was not processed until a complete consensus was established in each chosen belief. In addition, it was noted that the two authors did not influence the analysis process using their *prejudices* regarding STEM and STEM education. When such a situation was noticed by any author, the author expressing the prejudice was warned. Whether or not the data were found to be opposite to the selected beliefs was investigated by examining the *negative data*. Especially for the availability of the expressions and the beliefs in the opposite direction to the selected beliefs, the whole database was returned and a detailed reading was done for each academician for the last time. In addition, the participants were *informed in detail* in terms of research purposes, data collection processes and analyzes.

3. FINDINGS

We used five group of questions in the semi-structured interviews. Because first group was related to the personal information about the academicians and we shared them in the methods section, we presented the beliefs selected in the responses of academicians in the other questions in this section.

3.1. The descriptions of science, math, engineering and technology

Looking at academicians' descriptions, we noticed that there were two group of descriptions. 12 academicians described the areas without building connections between them, whereas remaining five (one physicist, one chemist, one mathematician, one civil engineer and one mechanical engineer) used the relationships among the areas in their descriptions.

3.1.1. The descriptions that do not cover the relationships among the areas

Looking at the first group academicians' descriptions, **science** was described as *understanding and explaining the nature, human and social life*. One physicist, for example, described science as *the tool for understanding natural cases*, whereas one mathematician described it as *understanding humans' thoughts and natural cases*. Similarly, one mechanical engineer stressed that science was trying to explain the natural cases. In a detailed description, one biologist focused particularly puzzle-solving nature of science. She said ... *to me, science is trying to understand something ... using correct methods and presenting evidence. Trying to understand something that have not been known before*. In general, we can argue that, in compare to the others, the mathematicians incorporated human-oriented components such as understanding of humans' thoughts and social mechanisms in their description of science.

Looking at first group academicians' descriptions of **math**, they generally described it as *the language or the tool that is used for making science and engineering meaningful*. However, the descriptions varied according the branches. The mathematicians preferred understanding-oriented descriptions rather than tool-oriented ones in their descriptions. One mathematician, for example, described it as *understanding humans' thoughts and the nature and reach to the core*, whereas an instructional technologist with a math background described math as *fundamental unit of everything, the thing that is under everything in the nature or the thing on which everything is grounded*. When it comes to academicians from science and engineering disciplines, we can argue that they used math as a language-oriented tool that they used in their works. One computer engineer, for

example, considered math as *the tool abstracting the scientific knowledge and requiring abstract thinking*. Similarly, one biologist exemplified how she met a chemist and they used math for the communication: *I met one scholar in the past... he was a chemist ... he was from Iran and did not speak any English. He was talking by formulae on the blackboard. He amazed me. He did not know any Turkish. No English. You could understand little Farsi, or from his body language, but I could understand what he tried to explain ... He talked chemistry by math for about one and half hours*. On the other hand, a philosopher of science considered math as the way to translate the scientific knowledge to a type of language by making modelling.

Looking at first group academicians' definitions of **engineering**, they generally considered engineering as *the scientific field applying science and mathematics to daily life problems and solving these problems*. Particularly those from science departments preferred the definition such as *using scientific knowledge in solving the daily life problems*. A chemist, for example, defined engineering as *the branch presenting the things that science has produced to the humanity*. On the other hand, the mathematicians did not prefer the connection between science and engineering in their descriptions and defined engineering as the area producing concrete products and creating them with the technologies. In addition, one of the mathematicians emphasized that engineering indeed stemmed from military activities at the beginning and then moved through into the other areas. He said *engineering is indeed an army-rooted term. It became civilized at its second phase. For example, civil engineers ...* On the other hand, engineers underlined the daily life problems and the needs of the humans in their descriptions and considered that engineering stemmed not only from science but also from math and technology. A computer engineer, for example, defined engineering as *applying scientific and mathematical knowledge to daily life and solving the daily life problems by a systematic method*. Similarly, an electrical-electronic engineer said *engineering is the point combining all. It is a science producing the technology using (natural) science and math*.

3.1.2. The descriptions including the relationships among the areas

Looking at the second group of academicians using the relationships among science, math, engineering and technology in their descriptions, one physicist did not make a clear demarcation between engineering and science and considered that people tried to prove the hypothesis and cared the reliability of produced knowledge in both of the areas. She said *we need to*

have a hypothesis, a testable design and repeatable experiment for all of them. Unless it is a repeatable thing, we cannot call it science or technology. It seems that science and technology are different in Turkey but such a difference is illogical in current times. A chemist considered that math and engineering served to science, they both included creative processes and engineers needed the support of scientists. One civil engineer similarly thought that science and math are fundamental sciences and that engineering would not progress without them. At this point, he used an example from earthquake engineering that was his specific study area: *The fundamental sciences make calculations about a possible earthquake within the sea. For example, they result in that the water level will increase by five meters. We, engineers, then, produce the coast designs. We study together with scientists, mathematicians, social scientists, engineers and decision makers in this area.* In addition, one machine engineer described math as the formulizing of science. He said *we can estimate how a physical case would happen by the mathematical methods ... For example, what will be the degree of temperature once a type of gas gets expand? Or how does a type of fuel will turn into turning energy? ... we know all of these with the help of mathematics.* Finally, a mathematician considered that science did not have an axiomatic nature like mathematics, so it had certain limitations. For example, he said *most methods used in science are not healthy for us. These methods did not have a nature like establishing systems which do not have any logical gaps and which axiomatic systems targeted. However, in science, there is no chance of axiomatic work. Nevertheless, they have the chance to conduct the experiments, but they are still open-ended situations.* In addition, he stated that, in the mathematics' historical development, it first settled with problems stemming from science and engineering, but then it had evolved from these problems into an abstract world that could go beyond the real life. He also stated that mathematics served for science and engineering, especially through understanding and modeling dynamic systems and predicting the future or the past. Technology is the job of making the results obtained from science available for everyday life. However, in this process, he emphasized that the technologies were produced without paying attention to ethical factors due to their demand- and profit-oriented nature and the economic competition. He explained this situation through the examples such as drug companies, mobile phones and shooting targets with remote combat vehicles.

3.2. Relationships between Science, Mathematics, Engineering, Technology and Society

Looking at the models in which academicians showed the relationships between science, mathematics, engineering, technology and society, we noticed that five academicians gave the most fundamental role to mathematics (two mechanical engineers, one biologist, one mathematician, and one instructional technologist). The remaining 12 academicians did not take any field as their basis.

3.2.1. Relationships in which math was taken as the basis

An instructional technologist created a three-tiered model in the form of a pyramid, with mathematics at the bottom, science on it, and engineering and technology on top together. In this model, he stated that mathematics was the common ground of the others and that it was a universal language. He said *if aliens come to Earth, we would probably talk to them through mathematics*. He also stated that science originated from mathematics and it produced mechanisms and rules that explained what happened on the Earth. He also considered that engineering and technology were the applications of science and math. In addition, a mechanical engineer built nested circles whose inner one was math. Much like the instructional technologist, he showed the circle covering mathematics's circle as science, the circle covering both the circles of math and science as engineering and the circle covering the circle of engineering as technology. Looking at the interactions he built, he argued that mathematics was the most fundamental tool interacting with science. He said *these (science and math) interact with engineering and engineering uses both*. He also stated that engineering was a method of solving everyday problems using science, mathematics, and technology and that technology was the skills in solving these problems by using engineering. Another mechanical engineer too gave an important role to mathematics, but he stated that the main objective was the transition from science to technology. In his model, he argued that mathematics helped science, engineering and technology by mathematical models. In addition, he put engineering into play by building a connection between it and technology. At this point, he said *the main goal is to go from science through technology. Mathematics is an auxiliary element. It is not a science, it is a language, a way of formulating something ... Math makes a knowledge understandable to you ... it make something measurable and a conclusion can be drawn from it*. In the model of the biologist, she put mathematics in the center, putting science on one side and technology and engineering on the other side. She associated mathematics with both sides by

drawing bidirectional arrows. He considered that technology and engineering translated science and mathematics into the daily life products. In addition, a mathematician showed mathematics as a large rectangle at the bottom and technology and engineering as a rectangle of similar size on opposite side. These two rectangles were connected to each other through small rectangles he named as physics, chemistry and biology.

When these five academicians incorporated the **society** into their models, they showed it as a final user or a structure using the knowledge or the technological products. For example, an instructional technologist surrounded his model including mathematics, science, technology and engineering as steps of a pyramid by the circle of society. He also thought that society were influenced either directly through the products of science or indirectly while conducting science. He said *these factors affect human life. Is science for science? Alternatively, is science for the society? Both are valid. Science is for science, but after a while it is transferred to the society. Science is working for society because it takes people further.* The mechanical engineer who used nested circles to represent the fields drew one another circle outside the others and called it as society. In addition, he drew bidirectional arrows between this circle and nested ones. He said *society is not in this knowledge body, but uses them.* The other mechanical engineer completed the way from science through technology by connecting society to the technology. He considered that only the society benefited from technology. In the model of the biologist including links among the fields, she built bidirectional arrows between the society and each field. She said *the society is in contact with all of the fields.* Looking at mathematician's model, he did not show the society in the model, but he mentioned such relationships between the society and the fields via social sciences such as economy, literature, history and arts.

Looking at the examples of the five academicians in which they contextualized the relationships among the fields, the instructional technologist gave the **automobile** as an example. He said *society use this energy effectively, they commute by it. There are math, science, engineering and technology under it. Math is used inside of it. For example, there is a differential system. Differential equations come from math ... There is a scientific dimension. For example, kinetic energy, acceleration and so on. All of these must be passed on to daily life. I have these rules, okay, but how do I take the basic principles of mathematics and take scientific laws and make it move via engineering and technology? Therefore, there is also the dimension of which technology I need to use.* A mechanical engineer gave **nuclear technology** as an example. In his nested circles model, he

expressed that science and engineering entered the line from the innermost mathematics to the outermost technology, and this technology reached to society. The other mechanical engineer gave the example of **steam engines**. He said *steam engines were discovered, right? People did not know what steamed machine was or what ... But they knew the basic information about them. They knew that when the water boiled, the pressure increased and the phase changed. This is science ... But it does not mean anything alone ... An engineer comes up and says that I will use it for the benefit of humans... I will put a piston in a cylinder, I will heat it. It will turn a wheel. You can find out from mathematics how much you can turn it. So how fast does a piston spin? They all require mathematics. Engineering is making it. Making the piston, boiling the water inside it, expansion of something, etc. These are the engineering applications.* In addition, a biologist gave the field of **medicine** for the interrelationships but did not explain how those relationships were shaped within this example. A mathematician explained these relationships on **the effects of infra-structural factors in the social development**. He said *what lies at the root of social affairs, such as the inferiority of the intellectual life. This will require the education, as many people would tell like a simple formula. At the first glance, in the short term, they must have peace of mind, feeling of security, and wealth in order for them to be able to produce ideas. For this, we have to give people civilized tools, we have to make roads, bridges, etc. ... For example, 95% of educational matters can be financially solved. You bring the children in a well-ventilated, heated classroom and when you put a well-informed teacher in it, 95% of educational problems is finalized. Then you can discuss the curriculum ... In the next 10-15 years, first the material means need to be provided to the humans so that they can build a basic intellectual life.*

3.2.2. Relationships that do not take one of the fields as the basis

The remaining 12 academicians preferred circles and intersection clusters without using any of the fields as the basis in their models. For example, a philosopher of science intersected the circle of math with the one of science, the circle of science with the one of engineering, and the circle of engineering with the one of technology and produced a chain. He considered that the relationships between these fields were based on uncovering each other and that they all interacted with each other. A computer engineer intersected the circle of math with science and drew a rectangle where the intersection was set. He named this rectangle as engineering and drew one another small circle in this rectangle. He called it as technology. He considered that science intersected with math but math was not completely within science. He also believed that engineering was the result of science

and mathematics and that technology was under engineering by including science and mathematics. A mechanical engineer drew bidirectional arrows between engineering and technology and connected science and math to these two components by arrows. He said *science and mathematics are inputs to engineering. They contribute it as the tools. Therefore, science and mathematics indirectly affect technology.* An electrical-electronics engineer drew an arrow from engineering to technology and then drew one another arrow from technology to engineering as the feedback. In addition, he connected science and mathematics with engineering by arrows. He said *science and mathematics are inputs. The output of engineering is technology. The feedback from the technology comes to us (engineers). We are making the necessary designs to make this technology better.* A civil engineer drew a model in which the circles of the four fields were intersected. He expressed that engineering was everywhere in daily life, that science made engineering powerful, and that science and mathematics were together. A physicist put together the circles of science and math within a large circle and put one another large circle including the circles of engineering and technology on the opposite side. He stated that all of them were intertwined. He displayed science and math together because he believed that math was a language used by science. He also believed that the pair of technology and engineering is closer than the pair of science and math in terms of bidirectional relationships. Another physicist argued that there was no clear distinctions between the fields and such distinctions were formed within the countries like Turkey. She explained this situation using Thomas Kuhn's paradigm shifts. She said *the changes in science and technology are not stable. Suddenly a revolution emerges and the developments happen accordingly. Sometimes an unexpected revolution emerges and the distinctions (between the fields) then are constructed. This model has been confirmed in my life. This happens in the world but there are false distinctions in Turkey. It is all about the scorings made by OSYM (The university student selection and recruitment unit).* A chemist intersected the circle of science containing the circle of math with the circle of technology and named this intersection cluster as engineering. She said *science and mathematics must be nested. Technology has to be a little bit more out of them and engineering is the way of offering them to humanity.* Another chemist drew bidirectional arrows between science and connected math and science by a line. She said *without science engineering would not exist, but mathematics would exist in every condition ... Still, math comes from the needs of the humans.* A biologist argued that the crucial point about the relationships between these areas was to solve a biological problem correctly. She said *the fundamental point is the biological question. How can*

I set up an experimental design to conduct this kind of experiment? What kind of technique should I use? Sometimes we can find the things even by chance. However, the important thing is the biological question. In addition, she said the duty of the scientist is to see the biologic problem, uncover it and then solve it by getting help from the other areas. The remaining two mathematicians only explained the relationships without drawing any model. One of the mathematicians stated that the fields were conceptually different and distinct from each other; on the other hand, they were not separated from each other. He said *one could be regarded as the substructure of others, especially in engineering where the underlying structures are good science education, mathematics education, good perception and a little creative design skills. Others are not so salient, a mathematician, for example, can do something very well without knowing physics and chemistry. He can do it in his own way. Today, applied mathematics is very common. They try to develop and solve models for the technological problems. Mathematicians studying in this area need to understand about other fields.* Another mathematician focused primarily on the relationship between technology and mathematics. He stated that this relationship was bidirectional. He said *(the relationship between technology and math) can first be to conduct simple calculations such as understanding the results of the measurements by producing equations. Second, it might be the use of a very strong mathematics in terms of the scientific principles on which it is based.* Regarding the relationship between science and technology, he thought that the more science went further, the more technology could go further, but the technological needs could also be directed by science. About the relationship between science and mathematics, he again considered that there was a bidirectional relationship, explaining mathematics's association with physics. He said *consider theoretical physics. The physicists needs expressing the theories that they produce in order to understand physical cases and the structure of the universe, using mathematical terms. This is based on a very strong geometry. For example, a theory telling us that the electromagnetic wave actually is geometric in nature has to tell us a very different mathematics. This is the contribution of the physics to mathematics. As such, applying the theories emerged in physics to mathematical models. For example, if the model they create mathematically produce irrational results, they have to correct the theory.* When it comes to the relationship between mathematics and engineering, he believed that math's relation with engineering is more limited than the one with science. He argued that although engineers got very strong math education, they used limited amount of this education once they were graduated. In addition, he stated that mathematics could be used to solve some technological problems and then it

could be abstracted from there and proceeded in a different direction. He said *let's say there is a question coming from mechanics. You have solved this question with mathematics and if you say do not turn this (tool) at this speed turn it at that speed, the problem then was solved. For the mathematicians, this system can become a serious mechanical problem when abstracted it from the given measurements, or it can become a very serious in differential equations and become a stability problem ...It may be contributing to the development of mathematics, but this is an abstract study that is going away from its roots in a very short time.*

We noticed that these academicians incorporated **society** into their models or explanations as the component covering the fields. The philosopher of science, for example, approached the relationship between society and other fields from the fact that science, mathematics and engineering indeed proceed as the specific societies. He said *each one is a society in itself. They are the part of a big community, but they have their own autonomies. They are autonomous in the places where they do not cut the circle of the society. For example, mathematics has its own culture and rules.* A computer engineer argued that society is within all of the specified fields. However, particularly engineering was in direct contact with society. Science and mathematics had indirect relationships with society. A mechanical engineer associated society with engineering and technology in his model. He stated that the society benefit from engineering and technology as the products and benefit from science and mathematics for the educational purposes. An electrical-electronics engineer argued that all of the products produced by these fields were intended to solve the problems within society. He also stated that engineers worked by the feedbacks of the society about the technologies. A civil engineer argued that especially engineering was involved in social life by the technologies. He expressed that engineering was in the planes, cars, buildings and machines. A physicist considered that society was disconnected with science and technology in Turkey despite the efforts to establish such relationship. She also argued that scientific developments did not receive the attention of the Turkish media and there were some scientific errors in the news. A chemist stated that the knowledge in all of the fields was for the society and it contributes to the development of humanity. Another chemist argued that the society need to foster the relationships between the fields; however, it was impossible in these days. He noted that the society was particularly troubled by the problems related to economy and security and average level of education and the education rate of women were relatively low. She said *if society does not read books, they might not able to understand these (relationships between*

fields and their importance). The society should question. For example, I encourage students to probe the questions. I create self- studying situations (for them). She also expressed that science had an interdisciplinary nature and fields were learned from each other through the seminars and the congresses. However, this type of work was conducted at a limited rate between scientists from different fields in Turkey. A biologist argued that there was information pollution in Turkey. There was no place to follow any scientific development or health problems. She said *there is the National Institute of Health (NIH) in America. People access the website of this institution; see the causes of their diseases, treatment methods and results over there.* A mathematician stated that fundamental science should be in the front for the education of society because only focusing on engineering products will produce products for a certain period but this production would stop after a while. In addition, he considered that engineering was shaped according to society; the reflection of the developments within science and math on the society took long time. Another mathematician stated that social movements were directed and shaped according to the relationships between fields.

Given the **examples** in which 12 academicians showed the relationships among fields, a philosopher of science considered that **ethics in science** could be an example. He argued that science, mathematics, technology and engineering, as the communities, are part of a broader society and the ethical elements of the general society influenced the ethical structures in these fields. He said *while some cruel experiments can be considered as good works because they are progressive in the community of scientists, but they can be restricted because they do not find place in the public.* A computer engineer gave the example of **internet technology**. He expressed that in this technology, especially in the social networks, algorithms were studied and the fields such as mathematics, physics, computer engineering and electrical engineering worked together in the formation of these algorithms. He said *for example, by mathematical models, they recommend new products to the users. They recommend new friends. These are all done with mathematical models. There is also engineering in it. Electrical engineering is already a type of physics.* A mechanical engineer gave **the cars** as the example. He said *you need to know physics to produce the car. So what is the strength, what is the torque? ... These are all the base of physics. Electricity to turn the wheel, the current ... Mathematics is always there. Its acceleration, speed ... They are always mathematics ... These are in your car. But to bring this information together and turn it into the engine, you need to use material engineering and mechanical engineering.*

The electrical-electrics engineer makes electrical equipment. Technology is here too. It designs it. The technicians who know the technology knowledge apply all of these. The supervisors tells, the workers apply. Engineers do not do all of these. The engineer tells. However, those managing the workers are the ones who know the technology. After that, the society get this and use. An electrical-electrics engineer identified **camera** as an example. She stated that these tools make the social life easy. She argued that engineers produced it but the know how knowledge for its production came from science and math. A physicist gave **cell phones** as the example. He argued that they are great examples of engineering and technology. He said that the circuits within them were developed with the knowledge from physicists and mathematicians and they were finalized by the knowledge from engineers and technologists. A chemist gave the **television** as an example. She thought that mathematics and natural sciences worked together to form the basis for engineering and engineers developed this device together with technologists. Another chemist showed **theory of evolution** as an example. She stated that this theory was not denied by science and even social sciences; however, a part of society did not accept it because of religious pressures. She said *we cannot cure AIDS disease without evolutionary theory. The virus is constantly changing and resistant to drugs. According to the evolution theory, we use the following treatment methods: Some drugs are used for a while. However, after a while, the drug is stopped. By this way, the selection is blocked.* A mathematician argued that it would be difficult to give an example for showing the relationships but that these relationships are crucial for **social development**. He said *the society need well-equipped individuals to achieve such a rate of production and development, especially, in the education sector, where basic sciences and mathematics (need to) play a leading role.* Another mathematician gave the case of **swine flu** as an example. He argued that some predictive mathematical models have been made about the progression of the disease, that scientists explored the reasons for the disease, and that the engineers worked for the production of the drugs and vaccines. However, in all of the models, a high number of people were expected to die but it was understood that these studies were done with economic concerns.

3.3. Common aspects, differences and benefitting from each other

3.3.1. Between Mathematics and Science

Regarding the commonalities between science and mathematics, a computer engineer considered **finding patterns** and **abstract thinking** as the mutual sides, although this question was not asked to himself. He said

science is looking at the patterns to explain the nature. Math can also look at patterns to write formulas or you can mathematically explain a scientific finding. In both, there is abstraction, a pattern, recognizing series, sequence ... It is like finding a recurring thing. Similarly, a mechanical engineer stated that **knowledge was organized** in both science and mathematics. He said science is the existing knowledge, physical knowledge about the world we live in. Mathematics is the way of thinking. They both are the way of organizing the knowledge. It is not enough just to know something. They need to be aligned according to something. You must put the carpet on the ceiling, the refrigerator in the kitchen ... So science and mathematics are organizing different knowledge pieces and they give you a completely different result. He also added that mathematics formulated scientific knowledge to make predictions. A physicist stated that both science and mathematics were the ways of **solving** unsolved **problems** by looking at the nature. In addition, a mathematician stated that the elements of scientific thinking before the problem solving were the foregrounds. He said *whether it is a technology problem or a physics problem, it is very important that how the individual approaches the question and how he/she thinks it. The education needs to give something about this issue. The individual must first understand the question, the alternative situations that can be related to it ... they need to investigate it. Both mathematician and physicist have to do this. I think the way of thinking in this sense is not different, the working method is different.* A chemist stated that both mathematics and science made prospective **predictions**. In addition, he believed that it could be thought richer and more abstractly by the math and it made unclear topics clear in conceptual sense as well as modelled and formulized them. In addition, a mathematician stated that scientific thinking did not differ significantly from mathematical thinking, and the **theories competed** in both of the fields. He said *for example, if we go at very high speeds or make very precise measurements, we have to give up classical mechanics. A classical theory may suffice for a given speed. Where the speed is low, the result is always the same. However, there are cases beyond this. The structure of the Newtonian mechanics coming from the daily mechanics is valid at low speeds, but it appears to work better when adding relativistic factors at high speeds. However, this does not kill the Newton mechanics; there are places where it works in the technology and everyday life. This shows that the theory at hand does not explain everything and we have not removed the old theory, in some special cases, this theory still explains some specific cases. We bring a thinner version of the old one and develop it for a wider spectrum. This is also available in mathematics. For example, for years people have been trying to prove Euclid's parallel axiom. It is an axiom*

based on regular observation. If there is a line in your hand and there is a point outside it, you can draw only one line from that point. They are trying to prove it with other axioms of Euclid. After that, they asked whether we could write a geometry whose many things are valid, but this property is not valid. Therefore, non-Euclidian geometry comes out. For example, the definition of the line has changed. These change the structure of the axioms that are accepted for two thousand years. You can see that there is not only Euclid to write geometry, there can be different types and more complex calculations can be made.

Although they were asked about the **differences** between the ways in which mathematicians produced mathematics in their fields and scientist used mathematics in their fields, we noticed that scientists were more likely to focused on how one area **benefitted from** one another. For example, a physicist considered that there were no important differences, but mathematicians paid attention to **each steps to be true** whereas scientists worked harder to find out why those steps were right. A chemist stated that mathematicians could produce methods for scientists so they could understand the nature and they did not use a **practice-oriented thinking**. However, after some time, the knowledge they produced might work in the field of science. A biologist stated that mathematics was a language and a tool that helped them in various research. However, she considered that the intention of biologists was to answer **questions about life**, but mathematics did not have such a goal. A mathematician said that there were blurred points among the asked areas a hundred years ago. For example, Euler was a mathematician, an astronomer, a philosopher and an engineer. Similarly, Newton was doing engineering work. However, in particular, he stated that there was important exchanges between theoretical physics and mathematics, that the mathematics were produced from the products of physicists, and that physicists made use of mathematical expressions. Another mathematician stated that physicists used mathematics as a tool, but recently they started working with mathematicians. He stated that scientists were happy when they made their findings embed on a mathematical model and that they made use of readily available mathematical models and formulas. He said that benefitting from available models was a particularly easy way, but some physicists were serious contributors to mathematics.

3.3.2. Between Science and Engineering

A mechanical engineer suggested **analytical thinking** as one of the common aspects between science and engineering. He defined analytical thinking as *reaching abstract results using concrete justifications in both*

areas. Another mechanical engineer suggested **experimentation** and **mathematical modeling** as the ways of common thinking. An electrical-electronics engineer suggested analytical thinking, **problem solving** and **working with groups** were the common sides. In his explanation in which he blended analytical thinking with problem solving, he said *you will put forward the problem. Define it. Then determine the steps to solve it. You will have the hypothesis and then perform these steps ... You conduct the experiments or make the design. Then you will verify the results. The capacity of problem solving and analytical thinking ...I think they are included in both.* Regarding group working, he expressed the results or the products of both science and engineering were compared with the other studies, that everyone would not be expert in every field and that they produced joint solutions by coming together. A computer engineer suggested problem solving as the common way of thinking in science and engineering. He said *because science and engineering are trying to understand the nature, studies are being done to answer unknown questions in the nature. The cause of a phenomenon is investigated. This requires a problem-solving skill. Engineering is also a work based on solving a real life problem.* A physicist said that distinctions such as science and engineering begun to disappear at the universities such as the Massachusetts Institute of Technology (MIT); instead, interdisciplinary studies were emerged. She emphasized that the education system should be differentiated at this point. She said *the student must be graduated from science and engineering by taking the course s/he desires from the section s/he desires ... I never ask the student what they want to be, it is a wrong question. I ask them what you want to do? One of the students said that I wanted to do a hearing device - her mother can hear a little. What does she need to do for this? She thought that she needed to know biology, the machine to make the device and a little electronics. I said okay, you should go to the university and take the lessons in these three areas. I mean, we take the people to study at university according to what they want to study, not what they want to do. This is the difference between us and the MIT.* A chemist stated that both science and engineering **worked for the society** and produced knowledge, findings and results that would make life easier for the people. A biologist stated that **hypothetical thinking** and **testing** could be common. An instructional technologist stated that scientists moved to the applied fields and these fields of application could be common side with the engineering.

As to how scientists **benefit from** engineering in their field, a civil engineer argued that actually what engineers put into practice inspired scientists and mathematicians, but these groups still did not benefit from

engineering in their own fields. He said *reaching the truth is the identification of the fact that that scientist is a good scientist. It is better not to be influenced by engineering. He/she can listen and criticize the engineer but conduct what he/she wants.* The other civil engineer stated that scientist used the devices that were the products of engineering as **the tools** in their field. Similarly, a mechanical engineer stated that scientist used the technologies developed by engineers in their field, and some scientists produced devices for using in their fields by conducting engineering activities. Another mechanical engineer, after expressing that there was a mutual relationship between science and engineering, argued that scientists asked engineers to design devices for their own works, like in the accelerator example. A computer engineer stated that there were a lot of data accumulated in science and that especially computer engineers processed these data by **modelling** with mathematical methods. She said *it is same in biology, physics, astronomy etc. Moreover, in chemistry. Now a lot of data is gathering around these (fields). For example, a gene map in biology ... there is so much information that human energy is not enough to process. However, with the mathematical models, computer engineering is able to quickly analyze the real life problems, the life problems related to nature and find solutions.* A science philosopher stated that today technology is determining the frontiers of scientific research and that it is impossible to do scientific research without these technologies. At this point, he gave the usage of technological products that were the results of engineering activities in the studies about physics as the example. A physicist stated that they used computers that were engineering products in their own works. They particularly benefited from engineering in accelerator physics, particle physics and detector physics. Another physicist stated that the distinction between engineer and scientist was not appropriate because they both were already scientists. At this point, he said *s/he is a scientist, even if s/he is an engineer. Alternatively, even if s/he is a fundamental scientist, s/he is also a scientist. S/he does what s/he needs in the study. I am writing a computer program and doing electronic work. Should I leave all these because I am not engineer?* A chemist stated that they used the devices developed by engineers. She stated that they used engineering products in the experiments related to living things, in the labs of optics and oscilloscope. A chemist stated that they used advanced technology devices and computer engineers helped them process intensive data at their hands. In addition, a biologist gave the example of electron microscope and stated that biologists were benefiting from technology when collecting data in the majority of their studies. Another biologist stated that the scientists were benefiting from technologies that were engineering products. In addition to this usage, she

also argued that some biologists explored the DNA samples using certain techniques and technologies that they developed. An instructional technologist stated that science fields recently came close to engineering and they worked together to produce products. He said *scientists benefit from engineering as a device or an instrument. They may also have a concern that engineers can benefit from their structures. Therefore, technology development these days may shape scientific research questions.*

About how engineers **benefit from** science in their fields, a civil engineer stated that engineers had to make use of science; otherwise, they would not gain efficient results in their works. He said *you need to know physics so good that if you skip one (rule), that plane falls ...The car does not go ...* Similarly, a mechanical engineer stated that engineers used science as a tool. He said *here is a specific law created (within science). Some work has been done about it and a set of certain equations have been formed. Then we take it and we use it in the products we produce.* Another mechanical engineer stated that engineering was actually one branch of science, trying to solve more practical problems. He also added that they did not discover new knowledge like scientists. In addition, he argued that applied scientists constituted an intermediate layer between scientists and engineers and that this group was very important for engineers to benefit from science. He said *there is actually a layer between these (engineering and science). There are people whom we call applied scientists who are neither engineers nor scientists. They are like the translators establishing a relationship between science and real life. These are scientists who communicate with both sides and understand a little from them.* An electrical-electrics engineer similarly argued that scientist's new inventions advanced engineering and that new laws of physics implied new engineering fields. A computer engineer said that computer engineers made extensive use of physics, chemistry, and materials science and used the materials and knowledge from them. A science philosopher stated that scientists and engineers worked together to solve some social problems such as earthquakes. A physicist argued that particularly in Turkey engineers considered themselves superior to scientists, and therefore they were disconnected from science. A chemist stated that engineers benefited from the knowledge and experience of scientists, they worked with scientists in the products they developed. As an example, she said *if s/he (the engineer) is working on a sensor s/he has to work with me (the chemist) for putting the chemical within it ... either s/he works with a chemist or someone working in the lab, in any case, s/he should put the a scientist into business.* Another chemist stated that engineers definitely got scientific help if they wanted to develop creative products and they were in

touch with powerful scientists. She explained this situation in the example of the sequencing of the human genome. A biologist stated that she shared her knowledge with the ph D students from biomedical engineering and they developed new horizons when she interpreted the practical problems from an external eye. An instructional technologist stated that engineering cannot be done without benefiting from science. He said *there is something in the nature. Engineers use these things that scientists have uncovered. For example, in the field of physics, we could not produce a certain luminous flux. However, thanks to the work done by the physicists who won Nobel Prize, they overcome this problem. Then engineers have taken it and produced plasma screens. In other words, as a result of uncovering the unknown in the field of science, new applications are passed through our lives.*

In terms of the **difference** between the ways in which engineers use science in their own fields and the way scientists produce science in their own fields, a civil engineer stated that both groups conducted experiments, but the errors were an inseparable part of engineering relative to science. He said *there are errors in our experiments ... Both in the numerical experiments and in the physical ones. However, there are no such errors in analytical (scientific) experiments. Engineers can conduct experiments for the practice. They do much more experiments. The errors emerge in these experiments. Engineer knows how much the errors are, but s/he conducts that experiment. Then s/he takes the result, thinks about the error and applies it.* A mechanical engineer stated that there was no any concern of producing the products for public use in fundamental sciences. However, he emphasized that practical studies were carried out in areas such as applied physics and applied chemistry. Another mechanical engineer stated that scientists did not think on where the knowledge they produced would be used or about the potential of whether this knowledge would be translated into the products, but engineers definitely worked on the basis of producing beneficial products for the people. He explained this situation in the examples of the discovery of penicillin and electromagnetic waves. On the other hand, a computer engineer stated that engineers used the experiments to confirm the correctness of their works and models, while the scientists used the experiments to be able to reach and understand the truths. A science philosopher stated that engineers were more likely to benefit from the products and results of the science, whereas scientists' main goal was to produce new thoughts even if they benefited from engineering. A physicist considered that Turkish engineers did not benefit enough from science and that they thought they would reach the solution very fast. However, there

were also his engineer friends who said that they could not proceed without scientists. Similarly, another physicist said that innovative technologies could not be produced because the contribution of scientists was limited and that engineers could see themselves superior in some cases. She said *engineers do not work together with natural scientists. They see themselves superior. For example, if you talk about Oxford, there is no such thing. We worked there with the electronics (engineers). These titles do not matter. So is CERN. We are doing something, whether the person that I am working with is engineer or technician or what is his/her education is not questioned. They are looking at what they do.* A chemist stated that scientists focused only on basic concepts and phenomena and that engineers were working on their applications. Another chemist stated that scientists were seeking unknowns and that important discoveries were achieved especially by curiosity and questioning. She argued that engineers studied on **more concrete structures** instead of the estimates in science. For example, in a collaboration with engineers to produce a new chip, she argued that engineers had a nature that they could not work in the case of the lack of knowledge, whereas scientists had the nature that was moving towards discovering something unknown. She said *we (chemists) did not do it anyway if we knew about the results. Engineers said that we need to model it to know it, but they said there is nothing to be modeled.* A biologist stated that engineers were superficially benefiting from science, scientists were making progress especially in very fine details and engineers should benefit from the science at these points. In addition, an instructional technologist stated that there were no serious differences between science and engineering because both were already science whose ground was **curiosity**. He said *scientist investigates what is/what is not in nature, and the basic driving force in engineering similarly is the curiosity. This happens in the nature and how can I benefit from this?, how to solve this problem, how to create a product ... The main goal in both is to satisfy this curiosity, to remove it and to answer the questions in the head.* In addition, he argued that while there were serious distinctions (between science and engineering) in the past, but today the gap became very small and that scientists initiated to study real life problems too. However, as a difference, he pointed out that there might be starting points (understanding the nature in science, producing products in engineering).

3.3.3. Between Mathematics and Engineering

With regard to the **common aspects** between mathematics and engineering, a mechanical engineer considered that **analytical thinking** was a common way of thinking. He expressed that there was a common

component not in the abstract and theoretical parts of the mathematics but in the concrete and distinctive parts. Another mechanical engineer argued that both mathematics and engineering used mathematical tools and that the theoretical backgrounds of these tools were common. A computer engineer suggested **modeling** as a common side. In both cases, he stated that for resolving a problem, it was first gotten abstract and then modelled. An instructional technologist considered that first it would be useful to make a separation between pure and applied mathematics. He gave the example of the MR device by saying that the practical goals were not important to pure mathematicians. He said *behind MR devices, there are some mathematical mechanisms. This guy (pure mathematician) has no such concern at that time. This guy's trouble has been resolving that mathematical problem. Engineers or applied mathematicians take it and use.* He also argued that pure mathematicians' thinking style was to resolve the problem whereas applied mathematicians' was practical; therefore, applied ones were able to produce a common language with engineers. At this point, he gave the example of cryptography. He said *there is math behind it. However, that has a practical side. A number of solutions and products need to be produced. Engineers and computer scientists are working together here.*

With regard to the **use of mathematics** by engineers in their field, a civil engineer and a mechanical engineer stated that engineers benefited from mathematics in every area and that they used the methods developed by the mathematicians. One another mechanical engineer expressed that they used mathematical formula in the stages of **modelling and problem solving**. He said *mathematics is a tool for us, not a goal. We use it as much as we can understand ... at the modeling and problem solving phases ... As such, we are not as good as mathematicians but we are trying to learn as much as we need.* An electrical-electronics engineer explained the use of mathematics over the input-design-output triple. He said *for example, there is an input, there is a system and we need to resolve the output. There is a camera at my hand, for example. Here are the features of the camera ... You are recording it here ... How do you record it? How do you get an image? We need to model it. That is called mathematics.* In addition, he stated that engineering would not work without mathematics and students could see the applications of mathematics through such engineering problems. He said *students should actually see these. They learn mathematics. They ask where do I use this geometry? Alternatively, they get the squares. They resolve the equations with two unknowns. They say where do I use these?, xs and ys are how unneccary things. Indeed, if they see where math is used for resolving real life problems in engineering, they would not stay away from math and they*

love it. He also continued his comments by a new example: *For example, in the high school the equations are used to resolve. These equations actually have a lot of physical applications. They most of the time do not know that the equation symbolizes a physical event. In the end, I do not say that mathematics should always be based on these (engineering practices), but such examples can be given.* Another mechanical engineer expressed that engineers intensively used math considering the (Turkish) term stemmed from geometry. He said *let's say that the engineer will build a building ... Let's say that a column will be put in this building. Will that column that you put on stand or not? How can you know? It has a mathematical formula. You are using it.* A computer engineer argued that *particularly trigonometry and vectors were very important in creating and sharing data on the internet, but that this type of mathematics did not exist in the national examinations (University Entrance Examinations).* She said *for example, information retrieval from the internet. You are writing a word on the internet. You get its' result, right? and what you want can come in the first or second place. This seems to be a very easy thing. However, behind it is completely mathematics ... It is the vectors in the linear algebra. It coincides with the angle between them. A mathematical modeling shapes your inquiry on the web. There is no magic there ... completely mathematical ... the angle between two vectors. They always ask these questions in the University Entrance Examinations, but we learn it there as the mathematical patterns. They always ask us to calculate this angle, its cosine, etc. The cosine angle here helps you correctly get the documents there.* A science philosopher stated that conducting engineering was impossible without mathematics and that mathematics was used especially in the modeling. In addition, a mathematician stated that engineers intensively used mathematics particularly in the mechanical analysis and tried to base what they do on the math. At this point, he said *Cahit Arf, our lecturer, felt necessity to deal with mechanics. After that day, the engineers initiated to respect Cahit Arf.* Another mathematician argued that engineers in the classical sense benefited from the calculations, but that this engineering was not progressive. Especially for research and innovation activities, he expressed that engineers need to follow the innovations and up-to-date information about science and mathematics. An instructional technologist stated that mathematics was a must for engineers, but the use of it might increase or decrease according to the engineering fields. He said *for example mathematics used in electrical engineering has to be at an advance level, but it has to be less in food engineering.* He also stated that engineers worked closely with applied mathematicians and used their products. A mathematician, on the other hand, argued that a large part of mathematics is not of interest to engineers.

About whether there is any **difference** between the way mathematicians produce mathematics in their field and the way that engineers **benefit from** mathematics in their field, a civil engineer told that mathematicians paid attention to the correctness of their solutions and tried to minimize the errors. In the case of engineers, he said that they were accepting the **error** at the beginning. He explained this situation by an example from his own education: *I took two courses called Digital Modelling while doing my Ph D. One is from engineering sciences and the other is from mathematics. In the engineering, three digits after the warrant is sufficient. On the other hand, I noticed that mathematicians used 12 digits or even 24 digits in order to minimize the error.* A mechanical engineer considered that mathematicians developed theoretical approaches through paper-pen works, whereas engineers used these approaches and transformed them into some calculations and products for the applications. Another mechanical engineer stated that engineering was more **experimental** and not interested in the **proof** in compare to math. He said *if a model is good and explains the concept, we do not wonder why it explains it. Mathematicians are more sensitive in that regard. When they find a solution for an equation, they are not satisfied with it. They are looking for different solutions such as technical solutions and so on.* Another mechanical engineer stated that some of the formulas and thinking styles developed in the history of mathematics could later work in engineering. In addition, he argued that for example mathematicians were interested in how to solve three unknown equations, and that engineers taken these solutions and put the variables into relevant places in these formulas in order to produce the data. In addition, an electrical-electronics engineer described how mathematics helped engineer more than the differences between them. He used image processing as an example: *... the modeling of that movement ...there is a mathematical basis. For example, you need to model it by a polynomial ... Cryptology ... This is one of the most important issues. You will send it by encrypting it. Its base is mathematics and these theorems could be applied to many areas.* A science philosopher argued that engineers used previously developed mathematical models, but that mathematicians developed their own abstract products as well as intellectual structures. However, as a state of intersection, mathematical models used by engineers triggered some mathematicians to develop better models. A mathematician stated that there was a twilight zone between engineering and mathematics, and that the mathematical knowledge of engineers in the group called 'engineering science' was very strong. Another mathematician stated that mathematicians did not act with the intention to know where their products would be used; however, engineers needed to know mathematics well consistent with the (Turkish) engineering

word's root (hendese) - "geometry". Another mathematician expressed that mathematical thinking might be rigid for engineers because engineers were more likely to produce **practical conclusions**. He said *for example, the light bulb factory that Edison built was going to package the ampoule. Bulb volume need to be calculated. Mathematicians look at the shape of the bulb as a curve, calculating the volume by turning it. Edison said bring the bulb, cut the bottom, fill the water into it and weigh it. This is engineering. The important thing is to solve the problem.* In addition, he stated that the devices and systems used in **daily life** requiring mathematical calculations in some cases **do not work**, but that engineers shaped these devices and systems by using approximate calculations. He stated that engineers did not discover new mathematics here. At this point, as the difference of thinking between engineers and mathematicians, he argued that engineers took daily life into account.

3.4. Ethics in the STEM fields

3.4.1. Ethics in Science

A physicist stated that there were some problems about scientific ethics in Turkey, especially the attention should be paid at the point of plagiarism. To prevent such problems, he emphasized that the care must be taken in the university education and even in the high schools. He said *I am now giving a lab course for freshman. I say that you will always refer to everything, you will tell where you get it from, you cannot steal or else ... People need to think originally. That needs to start in the high school education. A teacher gives a homework in high school and the students take that information from Wikipedia. That is problematic. Internet is not only for copying.* A chemist emphasized that ethics was an indispensable part of science and that especially due to the pressures and the ambition, ethical lines should not be excluded. She also argued that attitudes harming the society should be avoided. Another chemist stated that ethics was very important in science and said that it was unacceptable to quote without giving any reference. She also stated that the evidence could easily be created by the scientists. She said *this is something terrible. Something shouldn't be done at all. It might even come to mean the waste of resources of the society.* A biologist stated that ethics should be considered in the publications and in all of productions and that the negative consequences of studies in some cases cannot be predicted however predictable ones should be avoided.

3.4.2. Ethics in Mathematics

A philosopher of science argued that mathematics was more at ease in the society than science and engineering, and that it would be less affected by the problems of social ethics. He said *a mathematician can develop more chaos mathematics. There may not be worries related to the end of society. In other words, it seems to me that mathematicians wouldn't be bothered.* A mathematician stated that ethical elements were important in all of scientific and humanitarian activities. In addition, in the case of Perelman, he argued that some mathematicians used high moral criteria. He stated that these people are concerned about the award-winning institutions in the field of mathematics, and that they are retired and create very advanced moral criteria. He said that these people rejected the awards of international committees and studied in the reclusion. Another mathematician likewise stated that ethics was a value of the humanity and that this should be considered for all of the humanistic activities, not just Mathematics. He also said that some basic ethical values related to publishing should not be violated for the reasons such as academic promotion or external pressures. He said *nowadays plagiarism has begun to increase ... There is no proper definition of plagiarism, but it simply means not to be honest. When people are not honest and disrespectful to themselves, how much benefit could they provide as a scientist or a technology-producing person?* Another mathematician said that ethics means a sense of not doing plagiarism in the professional life. On the other hand, when viewed from a societal point, he said that there was no bad mathematics or a mathematics that will harm the society because it was not directly used in the society. However, he said that some mathematicians particularly studying linear mathematics objected to working in the nuclear projects likewise some scientists and engineers.

3.4.3. Ethics in Engineering

With regard to engineering ethics, a civil engineer stated that ethics must be at the maximum level and this was valid not only for the practices but also for the relationships among the humans. He said *the relationships between the engineers themselves as a civil engineer, I can say that there are huge structures. Ethics are important there because people use it. So ethics is important in practice. Design is important because they are used by the humans. As such, it is important in the practice ... In the design ... because the production is for the humans.* A mechanical engineer stated that they divided ethics into two in engineering as academic and professional ethics. Especially with respect to professional ethics, *I think that companies, Research and Innovation employees, should keep it (professional ethics) in*

the foreground. It should be useful for the society, the environment and human beings. I think that the engineers should produce the products that do not violate the specific rights of these groups. Another mechanical engineer similarly stated that both academic and professional ethics were important. For the academic ethics, he said ... *referring to a reference ... the usage of the product or a technology for the right purpose ... respect the intellectual properties ...* For the professional ethics, he argued that the aim of science, engineering and technology was to be beneficial to humanity and the studies that were out of this point would be ethically problematic. He explained this situation in the examples of the development of pistol and dynamite. He said for example *pistols were made for the first time in America. Along with the production of the pistol, of course, the murders are increasing. This is a technology too ... You know, the pistols were filled in the front, then the bullets were found, the technology was developed and what happened as technology have developed? People started to make better guns. As they make better guns, more and more people have started to die. I mean, you may not know what happens at the end of a discovery.* An electrical-electronics engineer thought more about academic ethics and talked about the importance of ethics in engineering education. He said *you are going to make a publication, it has to be true. Without experimenting, for example, you cannot say that resistance should be this or that. You need to do everything in accordance with the rules. You cannot give wrong information.* A computer engineer mentioned both academic and professional ethics. Especially in professional ethics, he explained what should be cared in his own field: *here I am writing a computer program and let us say it is online. When you click on it, I can take your data and share it. It is ethical not to do it. Alternatively, I should not share your information without permission. However, you may not follow these rules. You can get unfair gains from this information.* A science philosopher thought that engineering ethics would be affected more from the ethical values and norms of society than the ethics of science and mathematics because of the fact that engineering was more intertwined with society. An instructional technologist stated that engineering was in fact closely related to human life; however, ethics was important for all of the areas in general. He expressed that attention should be paid both to the produced knowledge and to the impacts of this knowledge on the humans. At this point, he said *for example in the medicine, there is a rule 'do not harm the people'. Not only for the human beings, but also for the nature. Engineering is crucial because it affects not only humans but also the nature. In addition, there are ethical and legal situations for the engineering companies and there are ethical situations about the rules that*

the employer institution should be paying attention and about the following products that they produced.

4. DISCUSSION

Considering the findings of the present study, despite the ontological end epistemological differences among STEM areas (Bunge, 2014; Franssen, 2014; Schadewaldt, 2014), we argue that a pedagogical framework can be constructed by keeping the differences and particularly grounding on interrelationships. This framework includes five dimensions:

1) Descriptions, 2) The relationships among science, math, technology and society, 3) Common sides, differences and benefiting from each other, 4) Responding post-normal question using evidence, 5) Ethical dimensions. Each dimension has been discussed below.

4.1. Descriptions

Looking at the descriptions of STEM scientists, we noticed that one group produced the descriptions without considering the relationships among the areas and that one another group benefited from the relationships among the areas. We particularly focused on the descriptions that did not cover relationships because the other group was the focus point of one another question. Looking at the descriptions about science, we can argue that science can be described as *the studies trying to understand and explain the nature, human and social life by producing evidence*. Looking at the descriptions about mathematics, a description such as *a universal language that is used in understanding and modelling the nature, human, logical relationships, sciences and engineering* can be used. The academicians described the engineering as *the science producing concrete solutions for daily life needs and problems of humans using science, math and technology*. Looking at the descriptions about technology, the description such as *the methods and tools used for solving the daily life problems in the most productive ways* can be used. These definitions are generally consistent with the definitions used in literature about these fields (Bunge, 2014, Clark, 2014, Franssen, 2014, Horsten, 2017, Mitcham & Schatzberg, 2009, Schadewaldt, 2014). It should also be pointed out that there were some specific differences that were particular to branches of academicians. For example, the fact that mathematicians described science as the study understanding people's opinions and their social mechanisms in addition to explaining the events of nature showed the shifts and transmission between the target fields. Related to the definitions of mathematics, we noticed that

scientists and engineers preferred more language and tool-oriented definitions, while mathematicians preferred more understanding- and explanation-oriented definitions. When we look at the engineering definitions, we noticed that scientists approached the definitions from their own perspectives. For example, they considered engineering as the application of scientific knowledge to the daily life. On the other hand, mathematicians did not refer to science in their definitions. However, engineers preferred definitions that included science, mathematics, technology and society. In these definitions, they did not emphasize the solution of the problems like scientists and mathematicians highlighted. About the definitions of technology, we noticed that scientists and mathematicians preferred to define technology over concrete products; however, engineers used a definition including both concrete products and non-tangible problem solving methods. Such differences showed that the academicians were exposed to the ontologies, epistemologies, ethical criteria, and cultures that were specific to the fields, and that there were limited collaboration and communication among the fields (Kuhn, 1962; Snow, 1964).

4.2. The relationships among Science, Mathematics, Engineering and Technology

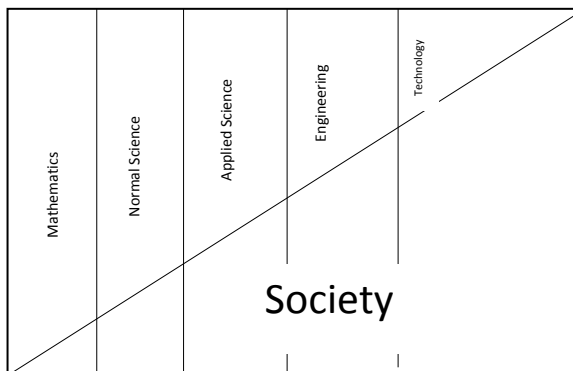


Figure 1. The relationships among science, mathematics, engineering, technology and society

When the models drawn by the academicians and the explanations about these models were examined and the relationships were approached from the PNB point of view (Funcovitz & Ravetz, 2003; Ravetz, 2012), the

model in Figure 1 was produced. In this model, there are fields in the upper half of the rectangle, while in the lower half there is the society. In the upper half, the fields influence each other respectively, and the next field is nourished from all of the previous fields. In addition, the area that the upper half intersects the society represents the density of the relationship between the relevant field and the society.

Considering Figure 1, mathematics intensely nurtures normal science. Here normal science uncovers the patterns behind natural phenomena and identified some relationships. Mathematics is extensively used at the point where these relations are subjected to certain tests and are modeled as some equations or graphs. Applied science, on the other hand, includes both normal science and mathematics. Applied science, as the academicians suggested, unlike normal science aiming at understanding and explaining the reasons behind natural phenomena, focuses on specific applications and interventions. However, in this process, it uses theoretical explanations produced in normal science and their mathematical expressions. In addition, it uses mathematical equations uncovered during observational and experimental studies. Engineering includes mathematics, normal science and applied science. For the resolving a problem regarding the nature or human life, it benefits from mathematics for mathematically modelling the solution, from normal science for the natural laws and theoretical explanations that are necessary in the stages of designing and modelling the solution, and from applied science because it provides the relationships between the practice- or intervention- oriented parameters. When it comes to technology, it is the production of a solution method or a concrete product for a certain human or nature problem by the technicians under the guidance of engineers combining math, normal science and applied science or directly by engineers.

Looking at the fields' relationship with society, some of the academicians expressed that mathematics intersected with society in a limited way although mathematics is used extensively by society in everyday life at the points of some calculations and measurements. However, they also pointed out that mathematics indirectly had a close relationship with society through other fields (normal science, applied science, engineering and technology). On the other hand, it can be argued that the intersection of society with normal science has some more intense relationships. Examples such as speed, acceleration, human physiology, climates and boiling the water are the cases where individuals experience firsthand experience in daily life and develop some causal reasoning. Applied science is more closely related to society than normal science considering the examples such

as the use of certain treatment and therapy methods or determining which chemical products clean the pool in a short time. On the other hand, engineers are individuals who are commonly outside the laboratories and universities and who can directly be contacted by the public. Solutions and products from chairs to pencils and from nuclear power plants to bridges are directly used by the public and make the daily life easy. Apart from this, there are relationships among the fields in opposite direction in terms of requirements and feedbacks of the society. For example, the development of a vaccine for the Crimean-Congo hemorrhagic disease is an important problem for society's health. This problem requires the collaboration among mathematicians, normal scientists, applied scientists and engineers. In addition to these pragmatic approaches that are based on public benefit, we should argue that all of the fields are also societies within themselves. At this point, we can argue that the interactions between the psychology and sociology of the society and their own internal psychology and sociology are also crucial (Kuhn, 1962; Snow, 1964). In addition, in consistent with PNB (Funcovitz and Ravetz, 2003; Ravetz, 2012), academicians emphasized that public understanding of the fields was important, particularly in the cases of school science and mathematics education and of science communication activities. Particularly in the process of evaluating the scientific information and technology, the public may use limited information and reasoning and risk perceptions (European Commission, 2012). In some cases, such approaches may result in the revision and even the removal of such information and the technologies (Sjöberg, 2008). As a result of the Fukushima nuclear power plant disaster, for example, the people in some European countries asked the power plants to shut down. At this point, the academicians also emphasized that the fields included a number of skills such as analytical thinking, critical thinking and decision making and that education for these areas is important in creating a desired social change in the society. Otherwise, they argued that pseudo-science, false campaigns or technology-oriented culturizations based only on financial gains might have negative effects on the society. A final point is the fact that academicians emphasized that it was necessary to consider technology as a cultural and historical concept in forming human civilization and to think it from a broad perspective (the formation of economies to social classes, the formation of policies to wars, etc.)

4.3. Common aspects, differences, benefiting from each other

Table 3. Common aspects, differences, benefiting from each other

	Science and Mathematics	Science and Engineering	Mathematics and Engineering
Common aspects	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recognizing the patterns. 2. Organizing the information. 3. Estimation. 4. Problem solving 5. Competition of theories. 6. Modeling 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analytical thinking. 2. Experimentation. 3. Problem solving. 4. Working with groups. 5. Dealing with social problems. 6. Modeling. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Problem solving. 2. Analytical thinking. 3. Modeling.
Differences	<p>Logical gaps in mathematics are generally not allowed while it is permitted during scientific progresses.</p> <p>While the knowledge is being developed to understand nature in science, mathematics may not target the nature, but mathematical knowledge can be used later to understand it.</p>	<p>While new discoveries and truths about the natural laws under the uncertain conditions are produced in science, engineering is not acted under uncertain conditions and the existing truths are tried to be confirmed.</p> <p>Although errors are usually not be allowed during testing processes in science, errors are made intensely in engineering experiments. The technological products are designed taken into the account these errors.</p> <p>While producing knowledge is the main motivation source in science, the main motivation in engineering is to transform knowledge into a solution or a product.</p>	<p>When solving the problems, (numeric) expressions in mathematics are used in detail, whereas some simplifications in the (numeric) expressions are made for engineering purposes.</p> <p>Mathematics produces calculations that may be out of everyday life while engineers revise these calculations to produce practical results based on everyday life.</p> <p>Engineering progresses by experiment oriented mechanisms while mathematics progresses by proof oriented mechanisms.</p>
Benefiting from each other	<p>Science uses mathematics as a language. In particular, it uses math for modeling the causal relationships by the formulas and graphs. Mathematics, on the other hand, can be improved by using some relations in science. Especially those discovered in theoretical physics allow the derivation of new mathematical fields.</p>	<p>Engineers use the laws and theories discovered in science as the tools in solutions they develop. Science uses engineering products and technologies for scientific research and new discoveries.</p> <p>Applied science field eases the transition between science and engineering.</p>	<p>Engineers benefit from mathematical language (e.g. equations) to understand and model dynamic systems. Mathematicians can develop new mathematical procedures through some engineering problems.</p>

As shown in Table 3, when we look **at the common aspects between science and mathematics**, we noticed that six common features were put forward by the academicians. These are: 1) Recognizing patterns, 2) Organizing the information, 3) Estimation, 4) Problem solving, 5) Competition of theories and, 6) Modelling. About **recognizing patterns**, understanding and explanation of events and concepts that were thought to be both repetitive and serial were shown as a common feature. For example, in science, in the DNA molecule, the fact that all Adenine nucleotides bind to Timin and Guanine nucleotides bind to Cytosine is a pattern. Similarly, in mathematics, the pattern in the series such as 7, 5, 3, 1 is the two reduction. The second common feature was that both science and mathematics **organized the information**. This organization can be thought of an effort to find out a certain organization and to produce clarity behind the complexity that appears especially in the situations related to nature and people. In science, for example, $E = mc^2$, popular formulae of Einstein trying to explain many physical phenomena together, is an effort to create such an order and organization. Similarly, in mathematics, hundreds of data and relationships are being represented and grouped by the functions. Another situation was that both in science and mathematics **estimation** existed in common. In general, in science, the theories are produced to explain the causal situations behind the certain realities, and these theories are actually used to predict similar events in the future. The ideal gas equation of $PV = nRT$, for example, is based on reciprocal relations to predict the future behaviors of the factors in the equation. When it comes to mathematics, statistical calculations are commonly built on the basis of predicting the past, current situation or the future. For example, election companies use small samples of 2000 people to estimate which party will be elected in the elections where 50 million voters will vote. It was also emphasized that **problem solving** was common in both areas. In both areas, it was argued that the processes such as trying to understand the question, converting the question into a testable form, creating alternative solutions for the question and progressing by testing these solutions were important. For example, in science, the question of 'why the leaves of plants growing in low light areas are darker than those of the more lighted regions' is a question showing which parameters need to be studied (light extraction, color pigments in the leaf, etc.), which method need to be used to study these parameters (an experimental setup including one group with lots of light-receiving plants and one another having low light-receiving plants) and what kind of respond (an evidence-based causal explanation) will be produced via the question form (why?). Similarly, in mathematics, the question 'Which energy source that has been used for the city lighting in Istanbul has more advantageous?' includes the parameters

that will be addressed (Istanbul, energy sources, lighting), how to study these parameters (a comparative mathematical modelling) and what kind of answer (which one is statistically significantly more advantageous than the others) will be produced via the question form (which one has more advantageous). Another common point was the **competition of theories**. It was emphasized here that especially certain realities and patterns were tried to be explained by certain theories/theoretical components in both science and mathematics and that there were several different theories/theoretical components about the same situation and these theories/theoretical components were in competition to explain the situation. For example, there are theories of Newton and Einstein about the motion of light in science. While there are many situations in which Newton's statements are valid, it is observed that Einstein's accounts can explain some situations that Newton could not account for. A similar situation can be observed about the axioms Euclid and Labacowiski have built regarding parallelism. **Modelling** was one another common feature. Mathematicians, for example, not only for natural cases (science) but also for some abstract situations, benefit from modelling in order to abstract and organize the information. When we look at the **differences** between science and mathematics, we noticed that two differences were particularly emphasized. In the first, it was stated that in mathematics progress was made in a way that all of the processes were confirmed and that there was no logical gap or mistake, while there was an open-ended progress in science due to the mistakes and logical gaps. Within the second difference, it was argued that the main purpose of science was to understand and explain the nature. On the other hand, in mathematics there was no such primary goal. However, the knowledge and methods produced in mathematics could be used to understand the nature. About **benefitting from each other**, a mutualism was mentioned. In accordance with the literature (Horsten, 2017), it was stated that, in general, scientists used mathematics in order to model the relationships with formulas or other models and mathematicians produced new mathematical fields with new discoveries especially in the scientific branches such as theoretical physics.

When we look at the relationships **between science and engineering**, academicians emphasized common aspects such as 1) Analytical thinking, 2) Experimentation, 3) Problem solving, 4) Working with groups, 5) Dealing with social problems, and 6) Modeling. Analytical thinking, experimentation, and problem solving from these common aspects are similar to the 'Patterns', cause-effect relationships: mechanisms and explanations' and 'scale, proportion and quantity' in the K-12 Science Framework (National Research Council, 2011). The modelling is also

similar to the 'systems and system models' of the K-12 Science Framework (National Research Council, 2011) developed in the USA. Looking at the common aspects of science and engineering, **analytical thinking** was thought to be the production of abstract results with analyzes of specific tangible data or to be making some abstract situations concrete by the experiments or the products in both fields. For example, interpreting analytically a table showing the amounts of elongation created by the objects of different weights hanging on the ends of three equal springs and a table showing coefficients of wearing of three different keys made of different materials, in a similar way, require analytical thinking. Regarding **experimentation**, it was argued that certain hypotheses were established in both of the fields and these hypotheses were tested in experimental setups. For example, investigating water boiling state by changing one of the factors affecting the boiling point of a water in a pot and investigating whether a Drone prototype is flown at the desired height by changing one of the parameters affecting the flight of it indicate that the experiments are used in both areas in a similar way. With regard to **problem solving**, it was thought that both fields revealed the problems, described them, and determined the steps for solving them. It was also expressed that **curiosity** was an important driving force in both of the processes. 'Sponge insulation or polyester insulation leads to less heat loss?' is a question for applied science requiring the steps such as understanding of the question, the preparation of observation setups and the testing of these setups for resolution. The question "How do you develop a solution to reduce the heat loss in the sponge insulation by two times?" also requires the steps such as understanding the question and creating and testing designs for solving it. Regarding **working with the groups**, it was argued that the studies done in both science and engineering were compared with other studies and that people from different specialties came together and could work in their disciplines or in an interdisciplinary way. For example, scientists come together in the congresses and share their scientific work with their colleagues. Similarly, engineers come together at congresses and fairs, and receive feedback from their colleagues about their products and solution proposals. About **dealing with social problems**, it was emphasized that particularly applied science and engineering worked for the society and produced knowledge and products that would make people's life easier. For example, applied scientists come into play for the comparison of the effects of two different diets on the diabetics, whereas engineers come into play for the pursuit of the blood sugar balance using the subdermal chips in the diabetic patients. In both cases, diabetes mellitus, which is a social problem and which affects many people, has been dealt with. Regarding **modeling**,

for understanding the relationships between natural cases (scientists) and for understanding the relationships between the parameters that are influential for the production of solutions and products (engineers), both groups benefit from models such as equations and graphics. For example, in a simple electric circuit, an equation (model) can be established over the factors affecting the amount of brightness of the light (cable length, type, thickness, etc.), while one another equation (model) displaying the factors that similarly affect the speed of windmill (wind speed, weight of windmill, etc.) (model) can be produced. When the **differences** between science and engineering are considered, it was argued that the science was specially designed for the discovery and progressed under uncertain conditions, whereas there was no similar uncertainties in engineering and no purpose of a new natural discovery. In other words, it was emphasized that engineers were trying to validate certain truths that they have built up by the models; however, scientists are proceeding to discover and produce such truths. Another difference is about the **rate of error** in the experiments. In science experiments, this rate is the lowest, whereas, in engineering, it was argued that continuous mistakes are made in the calculations and experiments; however, the products were designed by taking into account them. Finally, while the **motivation** for conducting science is producing knowledge, the translation of the knowledge into solution or product is crucial in engineering. Regarding **benefitting from each other**, scientists use engineering products and solutions in their own works, especially in the process of observation and data processing, while engineers use theories, laws, and equations produced in science as the tools. In addition, some scientists are doing engineering research when necessary in the process of analyzing research questions. In addition, in the analysis of some research questions such as the CERN example, scientists and engineers work together. However, in the developing countries such as Turkey, due to the compartmentalizing of the branches in the university exams and due to the limited interdisciplinary work culture, scientists and engineers can come together rarely. In addition, in the branches such as applied physics and applied chemistry, the scientific and engineering-oriented knowledge and skills are used and these branches enable the transmission of the knowledge and technology between normal science and engineering that is consistent with PNS approach (Funcovitz & Ravetz, 2003; Ravetz, 2012).

When the relationships between **mathematics and engineering** are examined, common aspects are 1) problem solving, 2) analytical thinking and 3) modelling. About **problem solving**, both mathematics and engineering described the problems, developed solution strategies and tested

them. It is thought that instead of pure mathematics in particular, applied mathematicians benefited from a problem solving method that was close to the engineers'. With regard to **analytical thinking**, it was stated that in abstract and theoretical situations mathematics and engineering could behave differently, but analytical thinking was similar in the evaluations and inferences made on concrete data. For example, interpretation of a graph showing monthly distributions of electricity bills in a house, and a graph showing the amount of gasoline consumed by the car engine depending on the month similarly require analytical thinking. Another common aspect is the **modelling**. In both areas, it was argued that abstracting was conducted on concrete situations for the solution of the problems, and the models developed based on these abstract components were used as the framework for solving the problem. For example, when estimating the weather, a model of forecasting using a number of arithmetic and geometric data is used, while models with many arithmetic and geometric data are similarly used when estimating the next movement of a robot. When we look at **the differences** between mathematics and engineering, it was argued that in the problem solving stages, engineers used a certain number of decimals after the comma in order to facilitate their aim, but mathematicians were using as many decimals as possible and therefore continue to operate until they find correct answer. In addition, it was stated that some values calculated in mathematics (e.g. in calculating some speeds) could go beyond the boundaries of everyday life, but the engineers revised these values to fit them to the daily life. Another situation is that in mathematics, knowledge is produced by proof processes whereas knowledge is produced by experiments and testing in engineering. When mathematics and engineering are examined in terms of **benefiting from each other**, mathematicians make some certain engineering problems about mechanics and velocity mathematical problems and recorded mathematical progresses on them, whereas engineers (like scientists) benefit from mathematics as the language especially when they use formulas or equations in order to model certain associations. In addition, it was stated that engineering applications could be used effectively in mathematics education and that the connections of mathematics to everyday life could be understood in this way.

4.4. Responding post-normal questions based on evidence

When the STEM academicians' responses examined in detail, we noticed that science, mathematics, engineering and technology were jointly built on **problem solving**. In addition, this characteristic was a common feature in the list (Table 3) of common features of the pairs (science-mathematics, science-engineering and mathematics-engineering). The

problem-solving process that began with 'asking questions' in the K-12 Science Framework in America was also shown as common practices for science and engineering applications (National Research Council, 2011). In addition, a physicist among academicians, for example, said that engineering and science are similar in terms of ways of thinking and methods. They both have hypotheses, and the validity and reliability of these hypotheses are tested by the experiments. Similarly, when a biologist made comparisons between science and engineering, she argued that the important thing was to solve the biological problem and that the fundamental thing was the biological question. Similarly, an electrical-electronic engineer stated that in both science and engineering, the problem was revealed, identified, the phases to be solved were determined, the hypothetical thinking was used, and experiments or designs were made and verified. A mathematician compared mathematical problems, technology problems, and physics problems and argued that it was important to understand the question and to think and test possible answers for all of these problems. Although the methods used were different, he stated that the way of thinking was the same. Supporting this, the same mathematician explained this situation in the cases of Euler and Newton who were astronomers, philosophers, mathematicians, and engineers. Similarly, another physicist stated that the discrimination between engineer and scientist was not appropriate, that they were both scientists, and that they could investigate everything a person needed to investigate. An instructional technologist and a physicist also emphasized that the compartmentalization such as science and engineering have been decreasing in recent years and that in both groups, driving force was the curiosity and responding the questions.

Taken together, we can argue that science, mathematics, and engineering practices are the **evidence-based methods used in responding humanistic, natural and meta-physical questions**. Considering the ontology and epistemology of these areas are thought to be different (Bunge, 2014; Franssen, 2014), and considering how we can diffuse into all of the areas by preserving these differences, we thought that the content of the problem and the way in which it is questioned was the determining factor (Figure 2). For example, "Which of the renewable energy sources is economically more advantageous for our country?" is a question that requires intensive **mathematical** calculations and models. In response to this question, evidence can be generated using mathematical models such as tables or equations. Alternatively, existing mathematical evidence can be used. The question "Why is a stone left to the ground to fall?" is a question that intensively requires **normal science** and limited **mathematics**. The

individual who wants to respond this question either will benefit from the existing evidence or will respond it by constructing observations/experiments and mathematically modeling the relations he has achieved (producing the evidence himself). "Which plants are preferable instead of wheat to prevent erosion in a field area where wheat agriculture has been conducted for long time?" is a question that can be answered with intensive **applied science**, certain level of **normal science** and **mathematics**. At the end, when applied science is viewed from post-normal perspective (Funcovitz & Ravetz, 2003; Ravetz, 2012), it contains normal science and mathematics. At this point, evidence from existing applied scientific research can be used or the individual can produce his/her own evidence and design a response from his own observations (e.g., mathematically comparing how different plants contribute to erosion in an experimental environment). In this process, he will also benefit from normal scientific knowledge about plant anatomy, physiology and taxonomy. The question "How can we store rainwater in the buildings and utilize that water in toilets?" is a question that is heavily dependent on engineering and requires engineering, applied science, normal science and mathematics at different levels. (Funcovitz & Ravetz, 2003; Ravetz, 2012). Here, the existing evidence of applied science and normal science can be examined, a mathematical model can be created based on these evidences, a sample design can be created, tested and the defective aspects of this design can be developed with new tests. In addition, the individual can also use existing engineering designs as the direct evidence.

About the contexts where the process of mathematics, normal science, applied science, engineering, their interrelationships and associating them with the society, the academicians proposed ethics, social networks, automobiles, cameras, mobile phones, television, internet technology, MR device, cryptography, evolutionary theory, social progress, nuclear technology, steam engines, social change and swine flu.

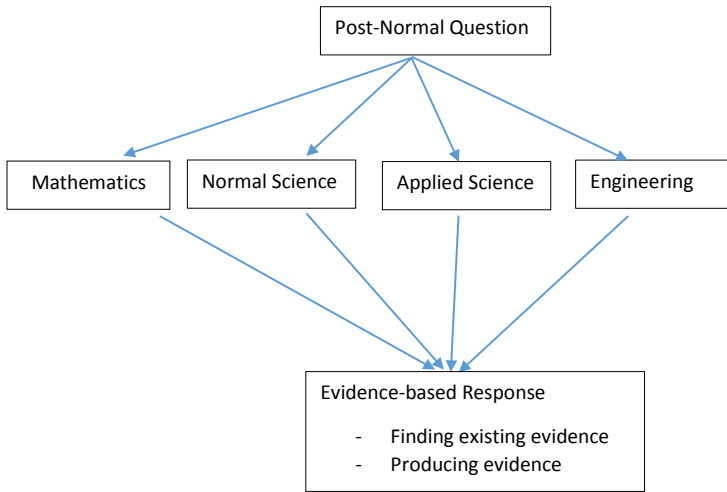


Figure 2. Responding Post-normal questions based on evidence

4.5. Ethical Aspects

When STEM academicians' evaluations on ethical aspects are examined, we noticed that ethical elements related to academic studies were primarily given importance because they produced academic works in mathematics, science and engineering fields. They expressed the need to avoid ethically problematic situations such as using information without citing and manipulating the research due to pressures related to academic promotion or due to the desire to gain popularity. In addition, bad science and bad engineering practices that directly affect the society in a professional sense were also evaluated ethically. It was emphasized that the probable negative results of the work done in the fields of science and engineering should be well calculated and if there were possible damages to human and nature, then this work should not be done. Especially ethical norms such as building strong buildings, using technologies such as dynamite for only good purposes, not sharing personal information on online platforms, and paying attention to restrictions related to the products produced by the companies were expressed. In mathematics, they argued that it was difficult to distinguish between good mathematics and bad mathematics because of the limited direct contact with the public except for general scientific ethics related to academic studies. However, they argued that some mathematicians point out that they were particularly concerned about contributing to nuclear research. Generally examined, there are some ethical considerations related to academic and professional life in the fields of science, mathematics and

engineering in accordance with PNB (Funcovitz & Ravetz, 2003; Ravetz, 2012), and it was important to clearly share these ethical components with the public when they need to make decisions on post-normal scientific issues such as building nuclear plants.

5. CONCLUSION AND PEDAGOGICAL IMPLICATIONS

Even if STEM education has been grounded by the lack of STEM workforce (Bybee, 2010), recent cases such as establishment of nuclear plants, GM foods and artificial intelligent have necessitated public to possess knowledge, skills and values about math, normal science, applied science and engineering in order to better understand these SSI and make informed decisions about them (Kılınç, Demiral & Kartal, 2017). In addition, there are philosophical and practical uncertainties on how STEM areas can be come together (Williams, 2011; Zeidler, 2016). Therefore, in the present study, we strived to produce a pedagogical framework for the STEM using a PNB approach. The five dimensions that are included in this framework can be considered as learning areas and they have been shown in Figure 3.

It is clear that future research is necessary in order to connect these learning areas with the teaching processes. However, two suggestions may direct these research attempts. First, the conceptions, skills and affective dimensions about these learning areas can be uncovered and explicitly taught by different examples. Second, particularly considering fourth learning dimension (responding post-normal question using evidence), how these areas work together, the common aspects and differences, their relationships with the society and ethical dimensions can be taught by context-based, student-centered and inquiry oriented-learning environments.

We believe that the pedagogical framework that we developed in the present study has the potential to help the teachers and students in teaching and learning STEM-oriented topics in Turkish middle and high schools. In practical sense, for example, a science teacher may prefer the context 'Erosion and its prevention'. A range of post-normal questions can be produced about this context: 'Which factors are influential in the estimation of the soil lost?' (Mathematical question), 'Which factors are influential in the velocity of water flow?' (Normal science question), 'Which solution is better in the prevention of erosion?: Planting trees or altering the water flow?' (Applied science question), 'Which solution can prevent the erosion in a river experiencing erosion for long time by producing the least harm to the water and land ecosystem?' (Engineering question), 'Do hydrothermal

power plants influence the erosion problems in the rivers? (PNB question covering math, normal science, applied science and engineering)? These questions would be responded by different post-normal areas. Some require only mathematical models, some observations and experimental settings (Normal science and applied science) and some the solutions including engineering or all of the areas (Figure 2). Students who can actively participating in these processes may easily learn the descriptions, conceptions, interrelationships (Figure 1 and Table 3), the nature of areas and their inquiry methods and ethical dimensions.

Learning Area 1. Descriptions of Math, Science, Engineering and Technology

Learning Area 2. The relationships among Math, Science, Engineering, Technology and Society

2.1. The relationships among the areas from scientific question through technology

2.2. The relationships of the areas with the society from scientific question through technology

2.3. The areas as special societies

2.4. Public understanding of post-normal science, decision making and social change

Learning Area 3. The common aspects, differences and benefiting from each other

3.1. The common aspects between the pairs of areas

3.2. The differences between the pairs of areas

3.3. Benefiting from each other in the pairs of areas

Learning Area 4. Responding post-normal question using evidence

4.1. Mathematical Inquiry and the nature of Math

4.2. Scientific Inquiry and the nature of Science

4.3. Technology-oriented inquiry, design and the nature of Engineering

Learning Area 5. Ethical dimensions

5.1. Academic ethics in the areas

5.2. Professional ethics in the areas

Figure 3. The learning areas of pedagogical framework for the STEM developed using PNB approach

6. LIMITATIONS AND FUTURE PERSPECTIVES

PNB framework not only covers normal science, applied science and engineering, but also includes professional consultancy and post-normal science. However, the last two components were not used both in the interview questions and in the produced pedagogical framework because they were not included in existing pedagogical frameworks. At this point, particularly at high school level, it can be emphasized that scientists have offered professional consultancy service in the case of Swine Flu when the evidences have been limited or that the post-normal science procedures working by uncertainty-oriented processes have been used in the illnesses such as cancer in order to find correct treatment methods. By these two additions, the areas that would respond post-normal questions in Figure 2 will extend and new question forms could be formulated. At this point, the interviews covering all of the PNB areas could be conducted with academicians and the remaining two areas could be incorporated into the general framework.

One another limitation is the fact that the data were collected within a Turkish university. Therefore, the produced pedagogical framework may cover only the selected university's STEM approach. Conducting similar interviews with the scientists from other universities in Turkey and in other countries would enhance the constructed pedagogical framework.

Finally, the pedagogical framework focus particularly on learning areas. At this point, learning outcomes, teaching strategies, assessment procedures, teaching vision and the roles of students and teachers that are other fundamental components of teaching programs can be developed. During this process, the opinions of teachers and educational scientists could be collected.

7. ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by the Uludag University Scientific Research Program (Project Number: OUAP[E]-2015/17)

8. REFERENCES

Akgündüz, D., Aydeniz, M., Çakmakçı, G., Çavaş, B., Çorlu, M. S., Öner, T. & Özdemir, S. (2015). STEM eğitimi Türkiye raporu: Günün modası mı yoksa gereksinim mi? [A report on STEM Education in Turkey: A provisional agenda or a necessity?][White Paper]. İstanbul Aydın

Üniversitesi: STEM Merkezi ve Eğitim Fakültesi. Retrieved from <http://www.aydin.edu.tr/belgeler/IAU-STEM-Egitimi-Turkiye-Raporu-2015.pdf>

- Biological Sciences Curriculum Study (2007). *A decade of action: Sustaining Global Competitiveness*. Executive Summary. Colorado Springs, CO:BSCS.
- Bunge, M. (2014). Philosophical inputs and outputs of technology. In R. Scharff and A. ValDusek (Eds). *Philosophy of Technology* (pp = 191-200). Oxford: Blackwell.
- Business Roundtable. (2005). *Tapping America's potential: The education for innovation initiative*. Washington, DC.
- Bybee, R. W. (2010a). The teaching of science: 21st century perspectives. Arlington, Virginia: NSTA Press
- Bybee, R. W. (2010). What is STEM education? *Science*, 329, 996. doi: 10.1126/science.1194998
- Bybee, R. W. (2013). The case for STEM education: Challenges and opportunities. Arlington: NSTA Press. Carneval, A. P., Smith, N., & Melton, M. (2011). *STEM*. Washington, DC: Center on Education and the Workforce
- Charmaz K. (2014). *Constructing grounded theory*. 2nd ed. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Clark, P. (2014). Mathematics. In M. Curd ve S. Psillos (Eds). *The Routledge Companion to Philosophy of Science*. London: Taylor and Francis.
- Duncan, A. (2009). Secretary Arne Duncan's remarks to the President's Council of Advisors on Science and Technology. Retrieved from <http://www2.ed.gov/news/speeches/2009/10/10232009.html>.
- European School Net (2017). STEM. <http://www.eun.org/focus-areas/stem> adresinden 14.11.2017 tarihinde ulaşılmıştır.
- Funtowicz, S. O., & Ravetz, J. R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures*, 25(7), 739-755.
- Franssen, M. (2014). Analytic Philosophy of Technology. In R. Scharff and A. ValDusek (Eds). *Philosophy of Technology*(pp= 201-204). Oxford: Blackwell.
- Kılınç, A., Watt, H. ve Richardson, P.(2012). Factors influencing teaching choice in Turkey. *Asia Pasific Journal of Teacher Education*. 40(3), 199-226.
- Kılınç, A., Demiral, U., & Kartal, T. (2017). Resistance to dialogic discourse in SSI teaching: The effects of an argumentation-based workshop, teaching

practicum, and induction on a preservice science teacher. Journal of Research in Science Teaching, 54(6), 764-789.

- Kuhn, T.S., 1962. The Structure of Scientific Revolutions. University of Chicago Press, Chicago
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic inquiry. Beverly Hills, CA: Sage.
- Ministry of National Education (MNE). (2017a). Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı. Ankara <http://mufredat.meb.gov.tr/ProgramDetay.aspx?PID=143> adresinden 10.11.2017 tarihinde elde edilmiştir.
- Ministry of National Education (MNE). (2017b). Fizik Dersi Öğretim Programı. Ankara <http://mufredat.meb.gov.tr/ProgramDetay.aspx?PID=174> adresinden 10.11.2017 tarihinde elde edilmiştir.
- Ministry of National Education (MNE). (2017c). Kimya Dersi Öğretim Programı. Ankara XXX adresinden elde edilmiştir. <http://mufredat.meb.gov.tr/ProgramDetay.aspx?PID=178> adresinden 10.11.2017 tarihinde elde edilmiştir.
- Ministry of National Education (MNE) (2016) STEM Eğitim Raporu. http://yegitek.meb.gov.tr/STEM_Egitimi_Raporu.pdf adresinden 10.11.2017 tarihinde elde edilmiştir.
- Mitcham, C. ve Schatzberg, E. (2009). Defining technology and Engineering Sciences. In D. Gabbay, P. Thagard and J. Woods (Eds). Philosophy of Technology and Engineering Sciences(pp 27-63). Amsterdam: Elsevier.
- National Research Council (NRC). (2012). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Science Foundation. (2010). Preparing the next generation of STEM innovators: identifying and developing our nation's human capital. Retrieved from <http://www.nsf.gov/nsb/publications/2010/nsb1033.pdf>.
- Patton, M. (1990). *Qualitative evaluation and research methods* (pp. 169-186). Beverly Hills, CA: Sage.
- Ravetz, J. (2012). The significance of the Hamburg workshop: Post-normal science and the maturing of science. *Nature and Culture*, 7(2), 133-150.
- Rokeach, M. (1968). Beliefs, attitudes, and values: A theory of organization and change. San Francisco: Jossey-Bass
- Schadewalt, W. (2014). The Greek concepts of 'nature' and 'technique'. In R. Scharff and A. Valdusek (Eds). Philosophy of Technology (pp = 25-32). Oxford: Blackwell.

Snow, C.P. (1964). *The two cultures*. Cambridge: Cambridge University Press

Türkiye Sanayiciler ve İş Adamları Derneği (TUSİAD) (2017). 2023'e doğru Türkiye'de STEM gereksinimi. Adresinden 14.11.2017 tarihinde ulaşılmıştır.

Williams, J. (2011). STEM education: Proceed with caution. *Design and Technology Education: An International Journal*, 1(16), 26-35.

Zeidler, D. (2016). STEM education: A deficit framework for the twenty first century? A sociocultural socioscientific response. *Cultural Studies of Science Education*, 11(1), 11-26.